JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE
ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE

Osmo stručno savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije

GRUPA I.

CENTRI VOĐENJA

GRUPA II.

LOKALNO I DALJINSKO UPRAVLJANJE U OBJEKTIMA

GRUPA III.

PROGRAMSKA OPREMA – APLIKACIJE

Cavtat, 6–9. novembar, 1990.

Voditelji:

Grupa I.

Dušan Simić, dipl. ing.
Mr. Nediljko Bilić, dipl. ing.
Mr. Milan Radunović, dipl. ing.

Grupa II.

Dr. Zorko Cvetković, dipl. ing.
Mirko Majić, dipl. ing.
Damir Papandopulo, dipl. ing.

Grupa III.

Prof. dr. Ferdinand Gubina, dipl. ing.
Prof. dr. Milan Ćalović, dipl. ing.
Dr. Nešo Mijušković, dipl. ing.
Dr. Dragan Popović, dipl. ing.

Tisak: Sveučilišna naklada d.o.o. Zagreb
Trg m. Tita 14

SADRŽAJ

str.

UVOD .....

Grupa I. CENTRI VODENJA

R 1.00 *Simić Dušan, dipl. ing., mr. Radunović Milan, Jugel, Beograd, Bilić mr. Nediljko, Energoinvest D.P. IRIS, Sarajevo*
Trendovi razvoja tehničkih sistema upravljanja 1

R 1.01 *Mr. Marković Božo, dipl. ing., Energoinvest - SDU, Sarajevo*
Integracija "Load Management" Koncepta u dispečerske centre upravljanja EES-om 3

R 1.02 *Petrović Vasilij, dipl. ing., Dervišević Đido, dipl. ing., Mijović Željko, dipl. ing., Šego Zdenko, dipl. ing., Energoinvest - SDU, Sarajevo, Popović Dragoljub, dipl. ing., Vlaisavljević Dragan, dipl. ing., Rajković Petar, dipl. ing., Zajednica Jugoslovenske elektroprivrede, Beograd*
Nadzor i sekundarna regulacija snaga razmene i učestanosti u dispečerskom centru ZJE pomoću personalnog računara 13

R 1.03 *Mihorko Branko, dipl. ing., Elektroinštitut "Milan Vidmar", Ljubljana, prof. dr. Gubina Ferdinand, dipl. ing., Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana*
Nadzor delovanja in analiza parametrov digitalne sekundarne regulacije 23

R1.04 *Mr. Jeličić-Plavec Marija, dipl. ing., Elektrotehnički institut "Rade Končar", Zagreb*
Analiza funkcionalnosti realiziranih nadzorno-upravljačkih centara s aspekta čovjeka-operatora 33

R 1.05 *Mr. Vuletić Nikica, dipl. ing. "Rade Končar" - Inženjering, Zagreb*
Oprema informacijskih sustava - pogonska iskustva održavanja 43

R 1.06 *Balaško Dubravko, dipl. ing., Pavlek Stjepan, dipl. ing., Elektra, Križ*
Srednjenaponska mreža distribucije "Elektre" Križ, nadzor stanja mreže u pripadnom centru vođenja 51

R 1.07 *Krstulja Boris, dipl. ing. Elektroprimorje, Rijeka*
Dispečerski centar "Elektroprimorje" Rijeka - 10 godina rada 61

R 1.08 *Mr. Šimunić Juraj, dipl. ing., Tehnički fakultet, Rijeka*
Dinamika procesnih informacija EEP-a prikazana kao slučajna veličina na osnovu eksperimentalnog istraživanja 73

R 1.09 *Mr. Rakić-Nikolić Branka, dipl. ing., Čojanović Miloš, dipl. mat., Đorđević Dragan, dipl. ing,. Energoinvest - SDU, Sarajevo*
Savremeni nadzorno-upravljački sistemi za primjenu u elektroenergetici 83

R 1.10 *Stepinac Josip, dipl. ing., Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, Rosina Joško, dipl. ing., Štebe Tomaž, dipl. ing., IB Elektroprojekt, Ljubljana, Janjac Dubravka dipl. ing. Elektroprivreda BiH, Sarajevo*
Pristup izradi Work Statement-a podsistema DCN u okviru TSU... 91

R 1.11 *Perne Tomaž, ing. Miklavčič Stanislav, dipl. ing., ISKRA - Kibernetika, Kranj*
Obdelava podatkov potrošnikov, ki imajo poseben vpliv na elektroenergetski sistem 101

R 1.12 *Cvjetković Veljko, dipl. ing. "Rade Končar" - Inženjering za informacijske sisteme i daljinsko upravljanje, Zagreb*
Koncepti i korištenje X Window sistema u razvijanju grafičkog korisničkog sučelja 111

R 1.13 *Mr. Petković Imre, dipl. ing. J. P. Elektrovojvodina "Novi Sad", Elektrodistribucija, "Subotica", Subotica*
Korisnička orijentisanost programskog sistema PROZA 11 D/R 121

R 1.14 *Mr. Maslić Snježana, dipl. mat., Begić Ljiljana, dipl. ing., Ostojić Predrag, dipl. ing., Đorđević Dragan, dipl. ing. mr. Rakić-Nikolić Branka, dipl. ing. Energoinvest, D.P. SDU, Sarajevo*
PC bazirani sistemi 127

Gr. I. Izvještaj stručnog izvjestioca 133

Grupa II. LOKALNO I DALJINSKO UPRAVLJANJE U OBJEKTIMA

R 2.00 *Dr. Cvetković Zorko, dipl. ing., Juko Cigré, Zagreb, Lastrić Nikola, dipl. ing., Elektroprenos, Zagreb*
Lokalna automatika u tehničkom sistemu upravljanja (TSU) 137

R 2.01 *Antić Radmilo, dipl. ing., Dabić Zdravko, dipl. ing., Elektroistok, Beograd, Radovanović Svetozar, dipl. tehn., Kosovoprojekt, Beograd*
Neka tehnička pitanja vezana za pripremu TS 400(220)/110 kV za daljinsko upravljanje 149

R. 2.02 *Novaković Vesna, dipl. ing., Denić Ljubica, dipl. ing., Petković Milutin, dipl. ing., EPS-Elektroistok, Beograd*
Ispitivanje sistema daljinskog vođenja elektroenergetskih objekata pri puštanju u rad 155

R 2.03 *Mislimovski Nijaz, dipl. ing., Vučković Savo, ing., "Rade Končar" - Inženjering, Zagreb*
Optimizacija vršne potrošnje 167

R 2.04 *Srzentić Vladimir, dipl, ing., Zaninović Juroslav, dipl. ing., Vučak Stipan, dipl. ing., Elektroprivreda Dalmacije, Split*
Sistem nadređenog vođenja HE "Đale" daljinski tretiranje kao jednoagregatno postrojenje, u funkciji regulacije nivoa akumulacije HE "Đale" i akumulacije HE "Zakučac" 175

R 2.05 *Filipović Mirko, dipl. ing., Pamučar Dragan, dipl. ing., Hidroelektrana, "Đerdap" Kladovo*
Uvođenje TSU u HE "Đerdap I" - prikaz usvojenih rešenja - 183

R 2.06 *Šupak Živko, ing. Elektroprenos Opatija,*
Novi pristup obradi signala iz tipske trafostanice 110/35/10 kV 193

R 2.07 *Miklavčič Stanislav, dipl. ing., Kozole Milan, dipl. ing., Iskra Kibernetika, Kranj, Podjetje Števci,*
Spremljanje elektroenergetskega sistema in obdelava podatkov s sistemom ISKRAMATIC - SEP 2 201

R 2.08 *Ribnikar Vinko, dipl. ing , Iskra - Kibernetika, Kranj*
Možnosti upravljanja v sistemu daljinskega omrežnega tonfrekvenčnega krmiljenja z novim MTK sprejemniki 209

R 2.09 *Dr. Levi Božidar, dipl. ing., Institut "Mihajlo Pupin", Beograd*
Industrijski računar TIMKO u elektroenergetskim objektima 217

R 2.10 *Rančić Milorad, dipl. ing., Elektronska industrija, Niš*
Elektronski regulator angažovane snage na naponu 0,4 kV 225

R 2.11 *Dr. Đurić Milenko, dipl. ing., Terzija Vladimir, dipl. ing. Elektrotehnički fakultet, Beograd*
Kompjutorska zaštita bloka generator - transformator realizovana mikroprocesorima i centralnim računarom 235

R 2. 12 *Mr. Gorišek Janez, dipl. ing., Zakonjšek Janez, dipl. ing., mr. Kosi Anton, dipl. ing., Jerina Bojan, dipl. ing., Rupar Jože, dipl. ing., Končnik Drago, dipl. ing., Iskra, Ljubljana*
Distribuirani mikroračunari u automatizaciji, upravljanju i zaštiti transformatorske stanice 243

Gr II. Izvještaj stručnog izvjestioca 249

Grupa III. PROGRAMSKA OPREMA - APLIKACIJE

R 3.00 *Prof. dr. Gubina Ferdinand, dipl. ing., Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana*
Nadzor elektroenergetskog sistema kod poremećaja i aplikaciona programska oprema 253

R 3.01 *Mr. Jelavić Branka, dipl. ing., mr. Klepo Mićo, dipl. ing., Institut za elektroprivredu, Zagreb*
Planiranje rada elektroenergetskog sistema 263

R 3.02 *Malešević Slobodan, dipl. ing., Kosovac Nadija, dipl. mat., Krstić Nermina, dipl. ing., Energoinvest - SDU, Sarajevo*
Optimalno kratkoročno planiranje rada hidroelektrana na slivovima različitih karakteristika 273

R 3.03 *Dr. Arsenov Arsen, dipl. ing., Iliev Atanas, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Skopje*
Uticaj promenljivosti visine i hidraulične povezanosti kod hidroelektrana na optimalnu raspodelu snaga u sistemu sastavljenom iz hidroelektrana i termoelektrana 283

R 3.04 *Mr. Ružić Slobodan, dipl. ing., Elektroprivreda Srbije, Beograd, dr. Rajaković Nikola, dipl. ing. Elektrotehnički fakultet, Beograd*
Implementacija programskog paketa za angažovanje termoagregata u EES na personalnom računaru 293

R 3.05 *Dr. Vučetić Vladislav, dipl. ing.,Malešević Slobodan, dipl. ing., Energoinvest - SDU, Sarajevo, Tica Zlata, dipl. ing., Energoinvest - Iris, Sarajevo*
Ekonomski dispečing metodom Dantzig-Wolfe dekompozicije i generalisanje gornje granice 303

R 3.06 *Mr. Kralj Branimir, dipl. ing., Elektroprivreda Srbije, Beograd*
Uticaj nedeterminističkog karaktera polaznih informacija na rezultate optimizacije rada elektroenergetskog sistema 313

R 3.07 *Doc. dr. Mijušković Nešo, dipl. ing., RO DO Jugel-a u osnivanju, Beograd*
Koncepcija programa za analizu sigurnosti za jugoslavenski TSU ... 323

R 3.08 *Bajraktarević-Rajnpreht Nada, dipl. ing., Pašalić Sead, dipl. ing., Energoinvest - SDU, Sarajevo*
Implementacija softverskog paketa -model- u RDC BiH 333

R 3.09 *Dr. Popović Dragan, dipl. ing., Institut "Nikola Tesla", Beograd, mr. Bulatović Svetislav, dipl. ing. Dispečerska služba ZJE, Beograd*
Neki metodološki i praktični aspekti analiza sigurnosti rada EES Jugoslavije 343

R 3.10 *Dr. Strezoski Vladimir, dipl. ing., dr. Popović Dragan, dipl. ing., Purtić M. Dušan, Institut za energetiku i elektroniku, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*
Metodologija za on-line analizu statičke sigurnosti interkonektivnih elektroenergetskih sistema sa strukturnim poremećajima 353

R 3.11 *Dr. Strezoski Vladimir, dipl. ing., mr. Levi Viktor, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, dr. Popović Dragan, dipl. ing., Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd*
Primena statičkih ekvivalenata za analizu sigurnosti jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u okviru zapadnoevropske interkonekcije 363

R 3.12 *Dr. Arsov Dragomir, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Skopje*
Neki aspekti problematike ocenjivanja stanja elektroenergetskih mreža 373

R 3.13 *Dr. Škokljev Ivan, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Beograd*
Program za korektivno prekidanje 381

R 3.14 *Mr. Čukalevski Ninel, dipl. ing., Institut "Mihajlo Pupin", Automatika, Beograd*
Sistem vođenja EES u nestacionarnim havarijskim režimima - osnovni zahtevi 391

R 3.15 *Dr. Ačkovski Risto, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Skopje*
Modeli operativnog vođenja elektroenergetskih sistema u uslovima nedovoljnih proizvodno-prenosnih kapaciteta sistema 401

R 3.16 *Stipanović Karmela, dipl. ing.,Hazarjan-Marijan Silva, dipl. ing., mr. Horvat Branko, "Rade Končar" Elektrotehnički institut, Zagreb, mr. Logarić Željko, dipl. ing., "Rade Končar" Inženjering, Zagreb*
Optimalna, slijedna regulacija aktivnih snaga i razina vode u akumulacijama hidroelektrana u lancu 413

R 3.17 *Debeljuh Vlatko, dipl. ing., Mastelić Mariza, dipl. ing., Šantek Vladimira, dipl. ing., "Rade Končar" - Inženjering - Informacijski sistemi i daljinsko upravljanje, Zagreb*
Programski sistem za nadzor, planiranje i upravljanje distributivnim mrežama na PC 423

R 3.18 *Taleski Rubin, dipl. ing., dr. Rajičić Dragoslav , dipl. ing., dr. Ačkovski Risto, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Skopje*
Algoritam za rekonfiguraciju distributivnih mreža 433

R 3.19 *Dr. Fuštar Stipe, dipl. ing., Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split*
Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata EES-a ... 443

R 3.20 *Dr.Kezunović Mladen, dipl. ing., Texas A&M Univesity, S.A.D.*
Ekspertni sistemi za analizu kvarova u elektroenergetskim sistemima 453

R 3.21 *Dr. Morvaj Zoran, dipl. ing., Kapetanović Tahir, dipl. ing., Elektrotehnički fakultet, Zagreb*
Ekspertni sustav za nadzor sigurnosti elektroenergetskog sistema 463

R 3.22 *Derganc Boštjan, dipl. ing., Elektroinštitut "Milan Vidmar", Ljubljana*
Preverjanje in prevzemno preizkušanje kompleksnih programskih sistemov 475

R 3.23 *Mr. Slavek Ninoslav, dipl. ing., Elektroprojekt, Zagreb*
Osiguranje kvalitete softverskog produkta u projektiranju informatičkih sustava 485

Gr. III. Izvještaj stručnog izvjestioca 493

UVOD

Prema dosadašnjoj praksi na početku ove knjige trebali bi se nalaziti uvodni referati JUGELA i EKIPE-a. Kako ti referati nisu na vrijeme završeni oni će biti podijeljeni učesnicima na samom savjetovanju.

Što se tiče ostalih referata oni su raspoređeni po grupama i podgrupama s tim da je na početku svake grupe pozvani referat iz dotične problematike koji nosi broj 00.

GRUPA I.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dušan Simić, dipl. ing.,
Mr. Milan Radunović, dipl. ing.
JUGEL, Beograd

Mr. Nediljko Bilić, dipl. ing.
Energoinvest D. P. IRIS, Sarajevo

Referat broj 1.00

TRENDOVI RAZVOJA TEHNIČKIH SISTEMA UPRAVLJANJA

Rreferat će biti dostavljen direktno na Savjetovanju.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6
VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr Božo Marković dipl. ing.
Energoinvest-SDU
Sarajevo

Referat broj 1.01

INTEGRACIJA " LOAD MANAGEMENT " KONCEPTA U DISPEČERSKE CENTRE UPRAVLJANJA EES-om

SADRŽAJ

Ovaj referat je motivisan nekim najnovijim trendovima u oblasti upravljanja EES-om to jest upravljanja opterećenjem sistema poznatog u stručnim krugovima kao " Load Management ". S obzirom na dinamičan razvoj u ovoj oblasti tokom posledniih godina sve više se osjeća potreba koordinacije i integracije ovih mjera i aktivnosti sa već postojećim dispečerskim centrima koji takodje proteklih godina bilježe značajne promjene. U referatu se upravo potencira neophodnost te integracije i predlažu već sada moguci pravci tih aktivnosti.

ABSTRACT

This paper is motivated by the some last trends in the electric power system control i.e. in the area of the load management. During the last several years utilities have been studing, planing and implementing a large number of load management programs. As a result there is an increasing need to integrate load management into the power system centers. The paper emphesizes a necessity for this integration and suggests some actions in this direction.

1. UVOD

Zbog poznatih energetskih i ekonomskih razloga poslednjih godina u svijetu pa i kod nas sve veća pažnja se poklanja racionalnijem korištenju svih vidova energije. U traženju odgovora na pitanje" Kako zadovoljiti rastuće potrebe za električnom energijom ; gradnjom novih i/ili racionalnijim korištenjem postojećih kapaciteta ? " , razvijene zemlje su još sedamdesetih godina aktivno počele da istražuju ovu problematiku dajući joj s vremenom sve veći značaj. Ekonomska opravdanost poduzimanja ovih istraživanja i aktivnosti je neosporno dokazana u svijetu a tehnička izvodivost je uveliko prešla eksperimentalnu fazu i postala dio normalne prakse velikog broja EES-a u svijetu. Bilo kako, danas je to sve evoluiralo u jedan široko zasnovani koncept prihvaćen u najširimm stručnim krugovima kao " Load Management - LM " koncept [1]. Mjere i aktivnosti koje se u svijetu čine ili su već učinjene na ovom polju su izuzetno brojne i obimne a postignuti rezultati ohrabrujući .Procjena da je u svijetu trenutno aktivno preko hiljadu LM projekata i da je samo u USA više od 60% elektroprivrednih (EP) organizacija direktno uključeno na ovim poslovima najbolje ilustruje ovaj proces .Trend porasta ovih aktivnosti koji je tokom proteklih godina bio vrlo dinamičan se i dalje nastavlja sa nesmanjenim intenzitetom,pa se i ubuduće mogu očekivati još intenzivnije aktivnosti na tom polju.

Na žalost, kod nas za sada ne postoji sistematičan i organizovan pristup LM konceptu koji sagledava i uskadjuje trenutne i buduće interese svih učesnika integralnog lanca proizvodnje - prenosa - distribucije i potrošnje električne energije. Osim toga , jugoslovenski elektroenergetski sistem (EES) pa i energetiku uopšte karakterišu brojne specifičnosti koje stvaraju " poseban " ambijent za razvoj LM koncepta . Pa ipak ovaj problem postaje sve više aktuelan i kod nas i već sada daje zapažene rezultate na lokalnom planu . Treba očekivati da će zaživljavljanje pravih tržišnih zakona kod nas ove procese znatno ubrzati i podići na viši (nacionalni) nivo i približiti svjetskim dostignućima.

Bilo kako, dinamičan razvoj, raznovrsne aktivnosti, postignuti rezultati, brojne prednosti i mogućnosti LM koncepta su rezultirale potrebom njegove integracije sa postojećim centrima upravljanja EES-om u jedinstveni sistem tzv. " Energy Management System - EMS " [2].Na tom polju se u svijetu ozbiljno radi i već su postignuti značajni rezultati.

U ovom radu se upravo razmatra potreba LM integracije sa postojećim dispečerskim centrima koji su tokom proteklih godina takodje doživjeli dinamičan razvoj [5].U poglavlju 2 se uvodi pojam tržišta energije i u tom kontekstu se definiše upravljanje proizvodnim -SSM i potrošačkim -DSM dijelom EES-a sa tendencijom ka integraciji u jedinstveni EMS [1,2]. U poglavlju 3 se identifikuju osnovni faktori

integracije a u poglavlju 4 se predlažu mogući vidovi te integracije. U poglavlju 5 se `daju neki generalni zaključi dostignutog nivoa integracije kao i neke smjernice za budući rad.

2. UPRAVLJANJE ENERGIJOM SISTEMA

2.1 Opterecenje sistema kao objekat upravljanja

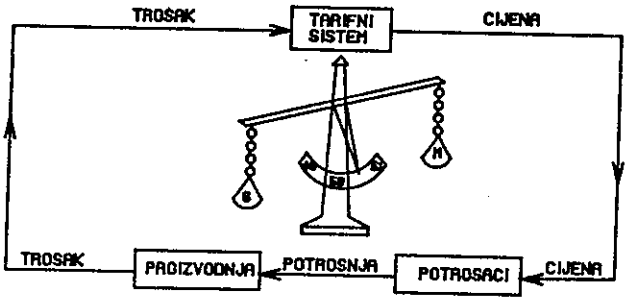
Funkcionisanje elektroenergetskog sistema u normalnim uslovima karakterišu visoki troškovi razvoja (izgradnje), rada i održavanja velikog broja kapaciteta i uredjaja za proizvodnju ,prenos ,distribuciju i potrošnju električne energije. Elektroprivredne organizacije uglavnom ove troškove nadoknadjuju kroz naplatu utroška elektricne energije od strane potrošača , čiji je broj izuzetno velik a priroda vrlo raznolika. Medjutim, ovi troškovi nisu samo stvar EP organizacija , već su za njih zainteresovani i potrošači pa i država u cijelini koja kroz cijenu energije (u ovom slucaju električne) u osnovi planira i reguliše energetsku politiku zemlje .Ti odnosi proizvodjač-potrošač -troškovi (tržište) energije su dugi niz godina bili statični medjutim tokom poslednjih par godina se drastično mijenjaju [2,4] .

Opterećenje EES-a odražava životni i radi ritam potrošača koji električnu energiju koriste za različite potrebe . Ovaj ritam pokazuje značajne dnevne, sedmične ,mjesečne i godišnje (sezonske) varijacije koje snažno utiču na ponašanje opterećena sistema i vrijednost faktora opterećenja [1]. Mada su ove promjene opterećenja u nekim granicama i poželjne (zbog planiranja i održavanja godišnjih remonta , rada PAH itd.) njihov iznos iznad ovog poželjnog nivoa znatno utiče na troškove i efikasnost rada sistema. Cilj je što je moguće više izbjeći te nepoželjne varijacije i podići faktor opterećenja na što viši nivo. Dakle, opterećenje sistema karakteriše intenzivna dinamika, varijabilnost i složena funkcionalna zavisnost (vrijeme, klimatske prilike, ekonomski uslovi, životni standard, struktura potrošnje , terifna politika itd.) što u današnjim uslovima sve vie i više onemogućava pouzdanu procjenu njegovog ponašanja u budućnosti [1,2].

S druge strane EP organizacije kao proizvodjači električne energije vide opterećenje sistema kao zahtjev velikog broja potrošača koga treba zadovoljiti u svakom trenutku na pouzdan, siguran ,ekonomičan i kvalitetan način. U tom smislu , proizvodjači raspolažu s velikim-brojem proizvodnih jedinica koje se medjusobno razlikuju po mnogim elementima (kapacitet, troškovi I,O & M , izvor primarne energije , operativne sposobnosti itd.) značajnim za njihovu ulogu i mjesto u dijagramu opterećenja sistema [3,4]. Različitom kombinacijom ovih jedinica se nastoje zadovoljiti zahtjevi svih potrošača uz istovremenu minimizaciju ukupnih troškova sistema koji svakako nisu fiksni već se i oni mijenjaju tokom dana , sedmice , mjeseca i godine [5]. O

svim ovim promjenama potrošači trebaju biti vjerno upoznati a kroz tarifnu politiku i direktno "uključeni". Za razliku od prethodnih (statičkih) , danas uvodjenjem fleksibilnih dinamičkih tarifnih sistema potrošačima je pružena ta mogućnost pa i to da svojom aktivnošću direkto utiču na njihovo ponašanje i ukupan iznos [3,4].

U praksi se do sedamdesetih godina (kod nas još uvjek) o opterećenju sistema razmišljalo kao o neupravljivoj veličini koja je unaprijed zadana od strane planerskih timova . Njihov zadatak je bio da na odredjenim vremenskim intervalima pradvide ponašanje opterećenja a zatim naprave i moguće planove zadovoljavanja tih budućih potreba sa raspolozivim kapacitetima. Medjutim , danas se o opterećenju sistema razmišlja kao o veličini "pogodnoj" za upravljanje i formiranje zatvorene povratne sprege proizvodnja -cijena (trošak) - potrošnja (slika 1) čime se odnosi proizvodjača i potrošača električne energije drastično mijenjaju . Potrošač se stavlja u ravnopravan odnos s proizvodjačem i kao takav egzistira u novostvorenom tržištu energije sa svim zakonima ponude i potražnje [1,4].

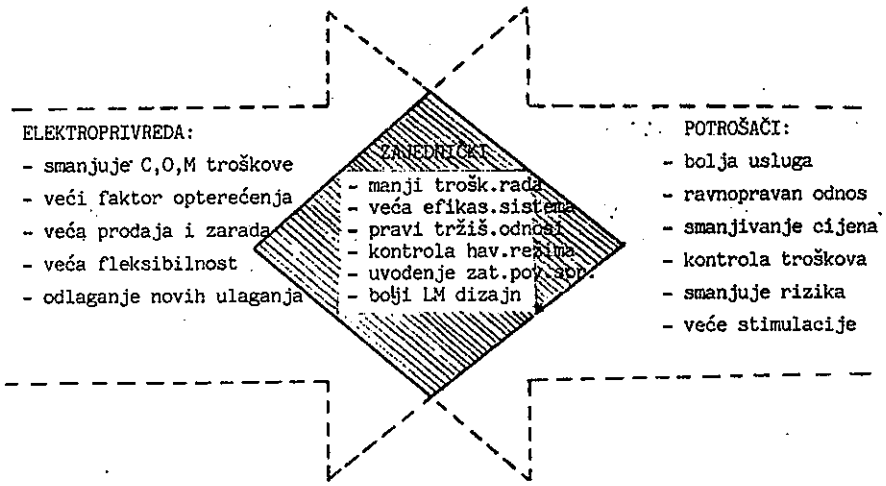


Sve mjere i aktivnosti koje se poduzimaju u proizvodnom dijelu EES-a (od izvora do mjernog mijesta) danas egzistiraju u teoriji i praksi kao " Supply Side Management "-SSM [1]. Dostignuti nivo razvoja ovih mijera, tehničke mogućnosti i praktične aplikacije su danas na vrlo visokom nivou [1,5]. Slične mjere i aktivnosti u potrošačkom dijelu sistema (od mjernog mijesta do potrošača) koje se poduzimaju ili se mogu poduzimati od strane potrošača i/ili elektroprivrednih organizacija su danas poznate kao " Demand Side Management " - DSM (u nastavku ce se koristiti termin " Load Management -LM "[1,2]) .Medjutim dostignuti nivo razvoja LM koncepta je dosta niži i njemu se u poslednje vrijeme poklanja izuzetno velika pažnja [1,4]. Očito da su SSM i LM dva komplementarna podskupa koja danas predstavljaju jedan široko zasnovani koncept upravljanja električnom energijom poznat kao " Energy Management System - EMS " [1,3]. Integracija ova dva podsistema u jedan

integralni sistem predstavlja imperativ koji u ovom trenutku razvoja ostavlja otvorenim brojna pitanja : niži stepen razvoja LM , jasno definisanje integracionih ciljeva, nedovoljno razvijene integracione tehnike, daljni razvoj neophodne tehnologije ,metoda i modela itd [4,5].

2.2. "Load Management" koncept

LM koncept obuhvata brojan skup mjera i aktivnosti koje se poduzimaju od strane potrošača i/ili EP organizacija na modificiranju oblika i amplitude dijagrama opterećenja a u interesu i jednih i drugih. Te aktivnosti se mogu poduzimati u normalnom ili abnormalnom režimu ,sa direktnim ili inderektnim efektima i vrlo različitim ciljevima (slika 2).



Slika 2. Moguci interesi integracije LM i EES-a

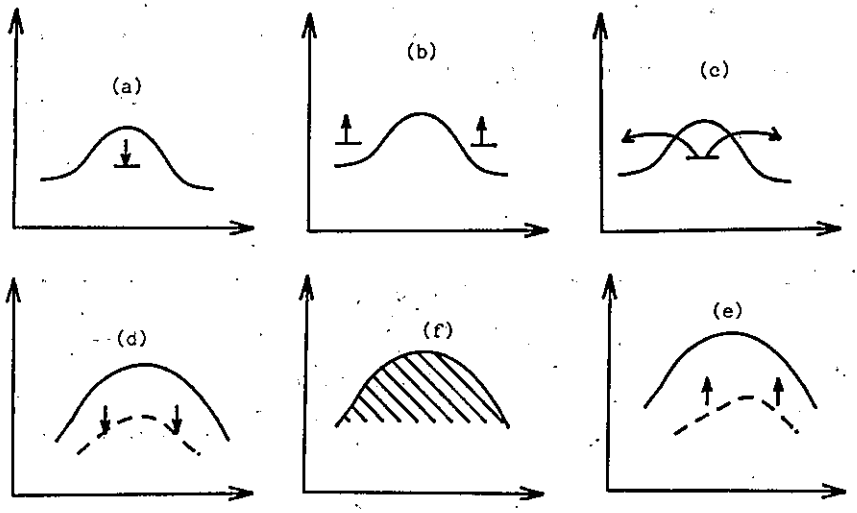
Razvojni proces LM programa obuhvata planiranje, valorizaciju, implementaciju i nadzor odabranih LM mjera i aktivnosti. Svaka od ovih razvojnih etapa zahtjeva posebna , vrlo obimna i temeljna analiziranja koja nije moguće izloziti referatom a i nisu tema ovog rada .Medjutim , u osnovi svih ovih etapa je vrlo složen i odgovoran zadatak izbora i ocjene najpovoljnijih LM mjera i aktivnosti za dati sistem .U tom smislu treba uvazavati hijerarhijsku strukturu donošenja odluka koja sadrži :

- Definisanje strateškog opredjeljenja EP organizacija
- Definisanje operativnih ciljeva
- Izbor načina prilagodjavanja dijagrama opterećenja
- Razvoj neophodnih LM alternativa (tehnika)

Definisanje strateških opredjeljenja EP organizacija je prilično širok pojam i općenito može da obuhvata opredjeljenja na poboljšanju

obrta kapitala , povećanju dobiti , poboljšanju odnosa proizvodjač - potrošač i slično. Ova opredjeljenja se mogu znatno razlikovati od jednog do drugog vlasnika , tehno-ekonomskog okruženja, društvenog sistema itd.

Definisanje operativnih ciljeva znači odgovarajućim mjerama i aktivnostima ostvarivanje željenih LM ciljeva kao što je specificirano na slici 2. Različitim LM tehnikama se ti ciljevi postižu, kompariraju a zatim valorizuju u realnom sistemu.



Slika 3. Mogućnosti prilagodjavanja dijagrama opterećenja

Postoji veliki broj načina prilagodjavanja (modificiranja) dijagrama opterećenja pa ipak se u osnovi mogu izdvojiti sledeći tipovi tih izmjena [1,2] : redukcija vršnog opterećenja (a) , popunjavanje udubljenja (b) , pomjeranje opterećenja u vremenu (c) , akumuliranje energije (d) , kontrola rasta opterećenja (e) i mogućnosti fleksibilnih potrošača (f) (slika 3).Postoje brojna ograničenja i sa strane potrošača i sa strane proizvodjača koja utiču na izbor načina prilagodjavanja dijagrama opterećenja [1,2].

Takodje ,postoje vrlo brojne alternative (tehnike) kojima se mogu postići prethodno postavljeni ciljevi .Jedna IEEE sistematizacija ovih alternativa ,danas široko prihvaćena obuhvata sledeće skupine [1] :

- Upravljanje opremom krajnjih korisnika (potrošača)
- Upravljanje uredjajima EP organizacija
- Akumuliranje energije
- Korištenje drugih izvora energije
- Aktivnosti na popularizaciji LM mogucnosti
- Razvoj energetski efikasnijih uredjaja i opreme
- Vodjenje stimulative tarifne politike

III. INTEGRACIONI FAKTORI

Za potpunije sagledavanje i koncipiranje integracionih mogućnosti LM koncepta na cjelokupnom EES-u poželjno je poći od sledećih činjenica :

- Prilikom sagledavanja energetskih resursa razmotriti moguće LM alternative u potpuno ravnopravnom odnosu sa svim opcijama koje nude proizvodjači električne energije.
- Kod dizajniranja LM programa treba poći od stvarnih potreba , želja i karakteristika potrošača.
- Treba razmatrati zaista samo one skupine LM programa koje najbolje izražavaju odabrane operativne ciljeve EP organizacija.
- Treba objektivno izvršiti valorizaciju LM programa na jedan vrlo sistematičan i logičan način.
- Treba pokloniti adekvatnu pažnju svim elementima LM procesa : planiranju , integraciji .implementaciji i nadzoru.

U ovom trenutku , s obzirom na dostignuti nivo praktičnih aplikacija i teoretskih razmatranja moguće je općenito izdvojiti dvije skupine faktora bitnih za proces integracije [2,3] :

- Faktori koji utiču na formulaciju LM programa
- Faktori koji utiču na implementaciju LM programa

Na formulaciju LM programa najveći uticaj imaju sledeće grupe faktora :

- Izbor operativnog cilja upravljanja opterećenjem za svaku EP
- Ograničenje na ukupan broj dana u kojima se upravlja opterećenjem
- Nivo penetracije LM programa
- Uticaj LM programa na aplikativne programe EES-a

U drugoj skupinu integracionih faktora su oni faktori koji direktno ne utiču na formulaciju LM već na njegovu praktičnu implementaciju . Medju njima treba istaći sledeće :

- Fleksibilnost softverskih rješenja
- Zahtjevi na hardverski interfejs integracije
- Rezidentnost LM softvera

Svakako da prethodnom klasifikaciom nisu obuhvaćeni svi faktori značajni za proces integracije LM . Naprotiv , istaknuti su samo neki od onih koji su u ovom trenutku aktuelni i koji se sada dosta istražuju u svetskim stručnim krugovima .Zbog toga se u narednom poglavlju nešto više govori upravo o jednom ,za sada najvažnijem integracionom faktoru tzv. izboru operativnog cilja upravljanja opterećenja sistema ..

4. JEDAN KONCEPT INTEGRACIJE " LM " I " EMS "

4.1. Osnovni operativni ciljevi upravljanja opterecenjem

Prethodno specificirani integracioni faktori formiraju jedno opšte okruženje u kome se odvija proces integracije LM u postojeće centre upravljanja EES-om. Izmedju svih gore navedenih faktora integracije najsnažniji uticaj na taj proces imaju upravo operativni ciljevi EP organizacija .U ovom trenutku se otišlo najdalje na ostvarivanju ovih ciljeva , premda se i ostalima poklanja sve veća pažnja [3].

Razvoj LM programa , njihova integracija te odgovarajuće podrška mora biti strogo koordiniran sa već postojećim aplikativnim okruženjem EES-a. Razlog za to je uticaj , manji (konfigurator stanja, estimator stanja, ekvivalent, analiza sigurnosti, tokovi snaga, ekonomski dispečing, AGC) ili veći (prognoza opterećenja, unit - commitment, hidro-termo koordinacija, alokacija izvora i sličnio) na ove programe. Zavisno od odabranog cilja , razmatrani LM programi se mogu odvijati u širokim vremenskim horizontima od minute preko dana do godine(a). U tom slučaju se pristupa vremenskoj dekompoziciji problema gdje odluke na višem nivou determinišu odluke na nižem nivou i obično sadrže tri nivoa :

- Real-time odluke – " minuta "
- Srednjoročne odluke – " sat "
- Dugoročne odluke – " sedmica "

Treba naglasiti da su potencijalne LM alternative vrlo brojne i da se u praksi sprovode još brojnijim tehnikama (Općenito se mogu grupisati u tehnike direktnog i tehnike indirektnog upravljanja [1]). Bilo kako, mnoge EP organizacije integrišu ili nastoje integrisati LM programe sa različitim operativnim ciljevima koji uglavnom sadrže :

- Poboljšanje rada sistema u realnom vremenu
- Poboljšanje rada sistema u normalnim danima
- Poboljšanje rada sistema u zadanim (odabranim) danima
- Poboljšanje sigurnosti rada sistema
- Korištenje u poremećenim (havarijskim) stanjima

Može se reći da se u integraciji LM programa otišlo dosta daleko u svim gore navedenim grupama osim poslednje dvije. Svi razvijeni programi se mogu koristiti samostalno ili u različitih hijerarhijskih modulima integracije. Upravo u narednom poglavlju daje se u kratkim crtama mogućnost jedne takve integracije LM koncepta u zadanim danima rada EES-a.

4.2. Poboljsanje rada sistema u zadanim danima

U pojedinim danima kada su prisutna odredjena ograničenja ili je efikasnost rada sistema nazadovoljavajuća moguće je primjenom odredjenih LM aktivnosti znatno popraviti dato stanje. To mogu da budu odredjeni (tzv.kritični) dani u sedmici ,mjesecu ili godini kada se pojavljuje nedostatak kapaciteta, pojava smanjenog/povećanog uvoza/izvoza , neekonomičan rad odredjenih kapaciteta , nedostatak kvaliteta u snadbjevanju i slično . U takvim slučajevima EP organizacije moraju znati :

- U kojim danima ili sedmicama inicirati LM programe ?
- Kako LM programima na odredjenim danima ili sedmicama optimizirati postojeće stanje ?

Očito da ovako postavljen zadatak obuhvata sva tri vremenska intervala : dugoročni, srednjoročni i real-time period.

Na dugom planu ovaj zadatak predstavlja jedan optimizacioni problem sa funkcijom cilja minimizacije sezonskih ili godišnjih troškova rada sistema kroz smanjivanje očekivanih troškova rada kritičnih sedmica .Sa odgovarajućim programima po sedmicama se vrši optimizacija ovih troškova i tako uspostavlja jedno " poželjno " stanje. Ovako uspostavljeni očekivani troškovi služe kao prag (kriterij) za identificiranje potencijalnih sedmica iniciranja LM programa u real-time režimu Bilo koja sedmica sa očekivanim troškovima rada koji prelaze ovaj prag je kandidat za iniciranje LM programa U svakom slučaju ovdje se prioritet mora staviti na stohastičke simulacione metode za procjenu očekivanih troškova rada sistema na razmatranom periodu [5].

Na srednjem planu radi se o LM programu koji daje satnu raspodjelu mjera i aktivnosti na specificiranim danima i sedmicama . Ovdje se mogu razlikovati dva koraka. Prvi korak obuhvata dirketne LM mjere i aktivnosti koje su u stvari modificirani unit-comitment program sa zadatkom da minimizira troškove rada sistema .Ulaz za ovaj program su : klasicni podaci o proizvodnim jedinicama , raspoloživost jedinica, prognoza opterećenja i energetska ograničenja na krajnje korisnike. Drugi korak obuhvata indirektne LM mjere i aktivnosti koje se izvode poslije direktnih sa ciljem minimizacije troškova rada i smanjivanja izdataka

V. ZAKLJUCAK

Kao zaključak prethodnih razmatranja moglo bi se konstatirati sledeće :

- LM predstavlja značajan doprinos ekonomičnom, pouzdanom, i kvalitetnom snadbjevanja potrošača električnom energijom na lokalnom i nacionalnom nivou u svim sektorima potrošnje.
- Broj LM programa u praksi naglo raste i dostiže značajne cifre pa se sve više osjeća potreba njihove efikasne integracije sa postojećim i već solidno razvijenim dispečerskim centrima EES.

- U dosadašnjem periodu je razvijen veliki broj LM programa koji se mogu uspješno integrisati sa već postojećim i poslužiti kao moćno orudje i za planere i za operatere EES-a.
- U ovom trenutku postoji potreba za razvojem još velikog broja novih programa, integracionih tehnika, tehnologija, modela itd.
- Koncept integracije koji se predlaže za odabrane dane i sedmice doprinosi značajnim uštedama u praksi i može se lako prilagoditi i za ostale dane i sedmice tokom godine.
- Kod nas za sada ne postoji organizovan pristup konceptu LM a pogotovu njegovoj integraciji u već postojeće centre EES-a.

LITERATURA

[1]. S. Talukdar, C. W. Gelings," Load Management ", IEEE Press, New York 1986.

[2]. C. W. Gelings, W. M. Smith ,"Integrating Demand Side Management Into Utility Planing ", IEEE Proc., Vol. 3, June 1989.

[3]. M. L. Chan, et all," Practical Methods to Integrate Load Management Into Normal Operation of Power System Control ", EPRI, Nov., 1986.

[4]. F. C. Schwepe ," Homeostatic Control for Electric Power Usage ",IEEE Spectrum , July 1982.

[5]. F. F. Wu, "Computers in Power System Operations",IEEE Proc., Dec. 1987.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vasilj Petrović, Dido Dervišević,
Željko Mijović, Zdenko Šego
ENERGOINVEST - SDU, Sarajevo
Dragoljub Popović, Dragan Vlaisavljević,
Petar Rajković
JUGEL, Beograd

Referat broj 1.02

NADZOR I SEKUNDARNA REGULACIJA SNAGA RAZMENE I UČESTANOSTI U DISPEČERSKOM CENTRU ZJE POMOĆU PERSONALNOG RAČUNARA

SADRŽAJ

U referatu su opisani funkcije, konfiguracija, način rada, hardverska i softverska rešenja sistema za prikaz i automatsku regulaciju u DC ZJE. Takode su opisani način povezivanja novog sistema sa postojećim, analognim i tok implementacije novog sistema. Novi sistem izgraden je pomoću PC računara i standardne telemetrijske stanice, a koristi postojeću analognu telemetrijsku mrežu.

ABSTRACT

This paper reviews the new PC based SCADA and LFC system specifically developed for DC ZJE. The system is now in trial operation. SCADA functions provide monitoring of the Yugoslav 400 kV and partly 220 kV electric networks. The LFC application is replica of the existing L&N analog regulator with some additional features. The both PC based and old analog LFC regulators operate as "hot stand-by" configuration.

1. UVOD

Zastarela tehnička rešenja, zastarelost opreme, nemogućnost snabdevanja rezervnim delovima i ograničene funkcionalne mogućnosti postojeće opreme za ostvarivanje funkcija DC ZJE prema Samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu, znatno ograničavaju rad Dispečerske službe ZJE. Ovo se posebno odnosi na funkcije nadzora elektroenergetskog sistema i regulacije snaga razmene i učestanosti (prikaz i registrovanje telemerenja tokova aktivnih snaga i napona, regulacija snaga razmene izmedu elektroprivreda i sa inostranstvom, kontrola učešća i kvaliteta rada regulacionih bazena, mogućnosti izbornog formiranja regulacionih bazena i sl.). Aktuelnost i težina navedenih problema nametnuli su njihovo urgentno rešavanje. Pri ovome, postavljeni su sledeći ciljevi:

(a) da novi sistem omogući ostvarivanje elementarnih operativnih funkcija DC ZJE (nadzor 400 kV mreže i sekundarna regulacija) u periodu do osposobljavanja TSU (sistem RTCS) za operativno korišćenje sa projektovanim performansama,

(b) da novi sistem može preuzeti funkciju rezervnog sistema za TSU za nadzor pogona 400 kV mreže i regulaciju snaga razmene i učestanosti (elementarne funkcije).

Pri izboru tehničkog rešenja, osnovna ograničenja bila su (1) korišćenje jeftine PC opreme (nedostatak novca), (2) korišćenje postojeće, analogne telemetrijske mreže i (3) nabavka kod domaćeg proizvodača.

S obzirom na navedena ograničenja, sistem za prikaz i automatsku regulaciju (SPAR) zamišljen je kao jednostruka konfiguracija formirana pomoću ekonomične PC i teleinformacione opreme, koja treba da obezbedi izvršavanje osnovnih funkcija nadzora i sekundarnu regulaciju uz pomoć telemernih podataka već raspoloživih u DC ZJE, tj.:

- obradu, prikaz i protokolisanje telemerenja snaga razmene i napona,
- praćenje, prikaz i protokolisanje rada postojećeg, analognog L&N regulatora,
- regulaciju snaga razmene i učestanosti identično sa postojećim, analognim L&N regulatorom uz mogućnost izbornog formiranja regulacionih bazena,
- u kombinaciji sa analognim L&N regulatorom udvostručeni sistem za sekundarnu regulaciju sa ručnim prebacivanjem na analogni, odnosno digitalni regulator.

2. IMPLEMENTACIJA

Nakon preliminarnog ispitivanja razvojnih mogućnosti domaćih proizvodača opreme za daljinski nadzor i vodenje, u DS ZJE u decembru 1988. godine urađeno je idejno rešenje i funkcionalna specifikacija sistema SPAR. Ponude su tražene od šest jugoslovenskih proizvodača, dobijene od četiri, a ugovor je sklopljen sa Energoinvestom - RO SDU (stupio na snagu krajem maja 1989. godine sa rokom izrade od osam meseci). Prijemno fabričko ispitivanje sistema obavljeno je u aprilu i maju 1990. godine. Instaliranje i primopredajno ispitivanje izvršeno je u junu 1990. godine. Kašnjenje u izradi i isporuci sistema uglavnom je nastalo usled višemesečnog zastoja (3-4 meseca) pri izboru konkretne procesne periferijske jedinice jer je zavisilo od spoljnih faktora i poslovne politike isporučioca. Podaci o probnom radu sistema i početna iskustva biće prezentirani neposredno na Savetovanju.

3. FUNKCIJE NOVOG SISTEMA I POVEZIVANJE SA POSTOJEĆOM OPREMOM U DC ZJE

Sistem SPAR vrši lokalnu akviziciju telemerenja (tačnost 0,25%, osvežavanje ~ 2s) i signalizacija izabranih pravaca prenosa telemerenja i obradu ovih podataka za potrebe prikaza, protokolisanja, periodičnog izveštavanja, izdavanja komandi za izbor pravaca, tj. standardne tzv. SCADA obrade. Pored ovoga, SPAR vrši i obrade za izvršavanje funkcije regulacionog kontrolera za regulaciju snaga razmene i učestanosti, i to u režimu "praćenje" i režimu "upravljanje".

Analogni ulazi SPAR-a povezani su na izlaze monokanalnih telemernih prijemnika.

Signalizacije izabranih pravaca prenosa telemerenja (sa izabrane tastature koja nije deo SPAR), uvode se u SPAR i detektovanim promenama pravaca prirodaje se i vreme promene.

Signalizacije ispada telemernih predajnika sa vodova razmene sa inostranstvom takode se uvode u SPAR i koriste za blokiranje rada regulatora.

3.1. Obrada i prikaz telemerenja i signalizacija

Obrade telemerenja obuhvataju konverziju u inženjerske jedinice, proveru prekoračenja definisanih granica, generisanje alarmnih poruka, signala i liste alarma, izračunavanje srednjih vrednosti aktivnih i reaktivnih snaga, formiranje slika, tabela i lista za potrebe prikaza i izdavanje izveštaja, protokolisanje dogadaja, izabiranje (komandovanje) pravca prenosa telemerenja snaga razmene, arhiviranje i post mortem zapise.

Za potrebe nadzora, formiraju se sledeći prikazi i izveštaji:

CRT prikazi

1) Tabela trenutnih vrednosti tokova aktivnih snaga po vodovima;

2) Tabela sa trenutnim vrednostima tokova reaktivnih snaga na vodovima razmene sa UCPTE;

3) Tabela sa trenutnim vrednostima napona sabirnica;

4) Dijagrami sa 30 min. registracijom snaga regulacionih elektrana šest elektroprivreda;

5) Geografski stilizovan mimik-dijagram elektroenergetskog sistema Jugoslavije sa naznačenih šest elektroprivreda, na kome su upisane trenutne vrednosti totala razmena izmedu elektroprivreda, razmena po tranzitnim pravcima izmedu elektroprivreda i razmena sa inostranstvom (po zemljama). Na ovom dijagramu upisane su i vrednosti greške regulacionih bazena (radna konfiguracija);

6) Tabela sa srednjim satnim vrednostima tokova aktivnih snaga po vodovima;

7) Tabela sa srednjim satnim vrednostima totala razmena aktivne snage izmedu elektroprivreda;

8) Tabela sa srednjim satnim vrednostima razmena aktivne snage sa inostranstvom (a) po zemljama, (b) ukupno (paralelni rad);

9) Jednopolna šema mreže 400 kV i 220 kV vodova razmene sa inostranstvom sa trenutnim vrednostima tokova i napona sabirnica u izabranim čvorovima;

10) Tabela uključenih pravaca prenosa telemerenja razmene (uključujući i simulaciju) sa vremenom uključivanja (rezolucija 1 min.). Na tabeli je naznačen izvor podataka za ovu tabelu: postojeća tastatura za izbor pravca ili alfanumerička tastatura;

11) Lista alarma (prekoračenje granica, ispadi telemerenja i dr.) sa vremenom nastanka (rezolucija 1 s).

Svi alfanumerički i polugrafički CRT prikazi na zahtev operatora mogu se izdavati na štampaču.

Izveštaji

1) Dnevni izveštaj koji se izdaje automatski na 24 h sa srednjim satnim vrednostima tokova aktivnih snaga po vodovima;

2) Dnevni izveštaj koji se izdaje automatski na 24 h sa srednjim satnim vrednostima totala razmena aktivne snage između elektroprivreda i sa inostranstvom;

3) Dnevni izveštaj koji se izdaje automatski na 24 h o ispalim telemerenjima sa vremenima ispada;

4) Dnevni izveštaj koji se izdaje automatski na 24 h o uključenim pravcima prenosa telemerenja razmene sa vremenom uključivanja (rezolucija 1 min.);

5) Lista događaja.

3.2. Regulacija snaga razmena i učestanosti

Blok šema funkcionisanja SPAR kao regulatora snaga razmene i učestanosti data je na sl. 1. U režimu "praćenje" u SPAR regulator ulaze sva telemerenja i signalizacije izabranih pravaca telemerenja posredstvom tastature za izbor pravca i izvršavaju se sve regulacione obrade, ali izlazi iz SPAR (G_S, G_B) se ne šalju u regulacione podcentre (bazene), tj. SPAR nije u regulacionoj petlji. Ručnim prebacivanjem prelazi se iz režima "praćenja" u režim "upravljanja" i tada SPAR u potpunosti preuzima funkciju analognog L&N regulatora (koristi se samo L&N standard i konvertor frekvencije) Zadavanje parametara i načina rada (program frekvencije, regulaciona konstanta B sistema i bazena, programi razmena, koeficijenti učešća bazena, bazne snage bazena, brzina promene programa razmene, izbor A i B varijante), konfiguracije i izbor pravca prenosa telemerenja razmene vrši se pomoću alfanumeričke tastature SPAR. Pomoću alfanumeričke tastature vrši se i izborno formiranje regulacionih bazena. U slučaju neispravnosti telemerenja razmene sa oba pravca prenosa, vrši se ručno unošenje (simulacija) željene vrednosti.

Dispečer u DC ZJE može formirati bilo kakvu kombinaciju bazena po broju i po strukturi uz automatsko izračunavanje bazenskih parametara novoformiranih bazena na osnovu ranije unetih parametara za svaku elektroprivredu.

Izračunavanje regulacione greške sistema vrši se prema formuli:

$$G_S = B \cdot \Delta F + \Delta P_r$$

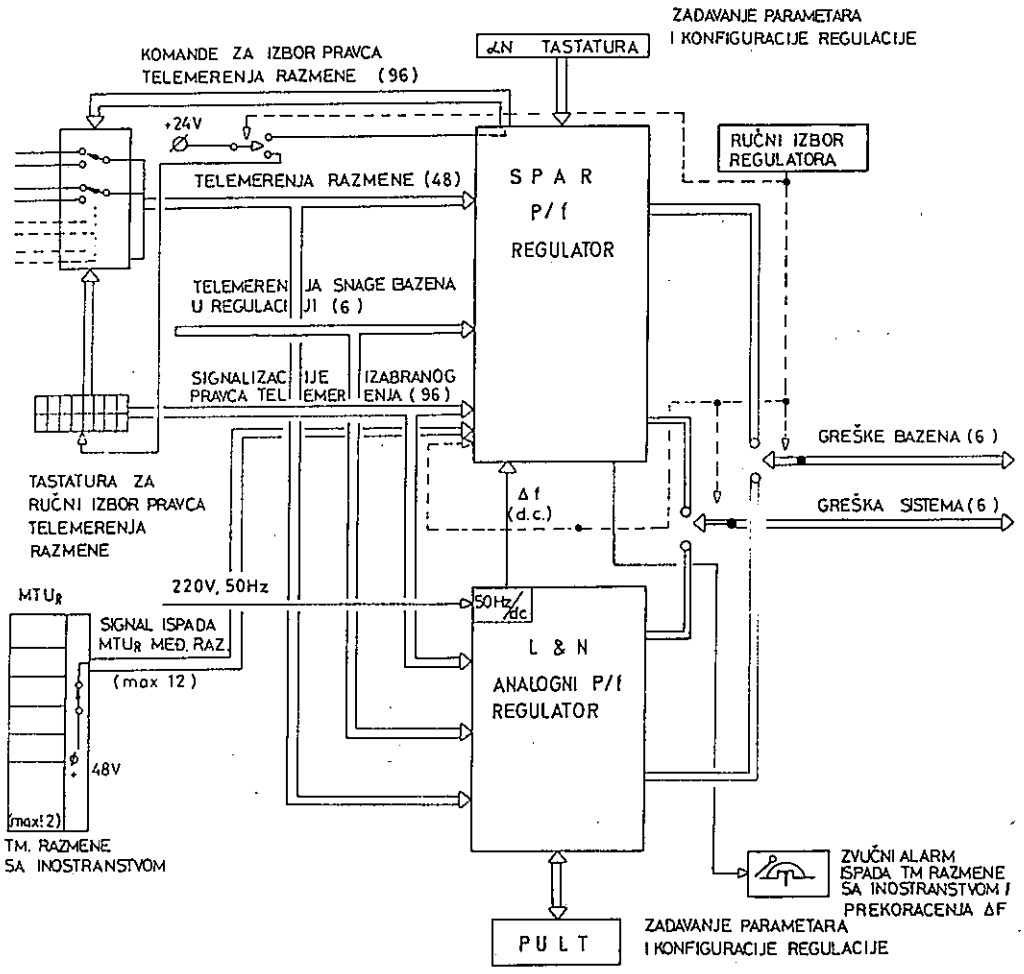
gde su

B - regulaciona konstanta sistema (MW/Hz)

ΔF - odstupanje frekvencije $F-F_o$ (Hz)

ΔP_r - greška razmene $\sum P_{raz} - P_{o\ raz}$ (MW)

i to za tri različita režima regulacije: (a) regulacija učestanosti, (b) regulacija snage razmene i (c) regulacija učestanosti i snage razmene. Izračunavanje regulacione greške bazena (bazen čine elektroenergetski sistemi jedne ili više elektroprivreda) vrši se za regulacionu varijantu A i B.



sl. 1. POVEZIVANJE SPAR P/f REGULATORA

Regulacioni CRT prikazi i izveštaji

Za kontrolu i upravljanje SPAR regulatora, formirani su sledeći prikazi:

1) Prikaz sa:

- grafičkim prikazima G_S, G_B i f za zadnjih osam minuta,
- vrednostima G_S, G_B (srednja vrednost tri poslednja uzorka ovih veličina; osvežavanje vrednosti na prikazu svakih 10 s (20 s)),
- grafički prikaz radne konfiguracije bazena,
- akumulisane greške razmenjene energije računate od poslednjeg celog sata do aktuelnog trenutka;

2) Tabela sa vodovima razmene uključenim u regulaciju (grupisani po elektroprivredama);

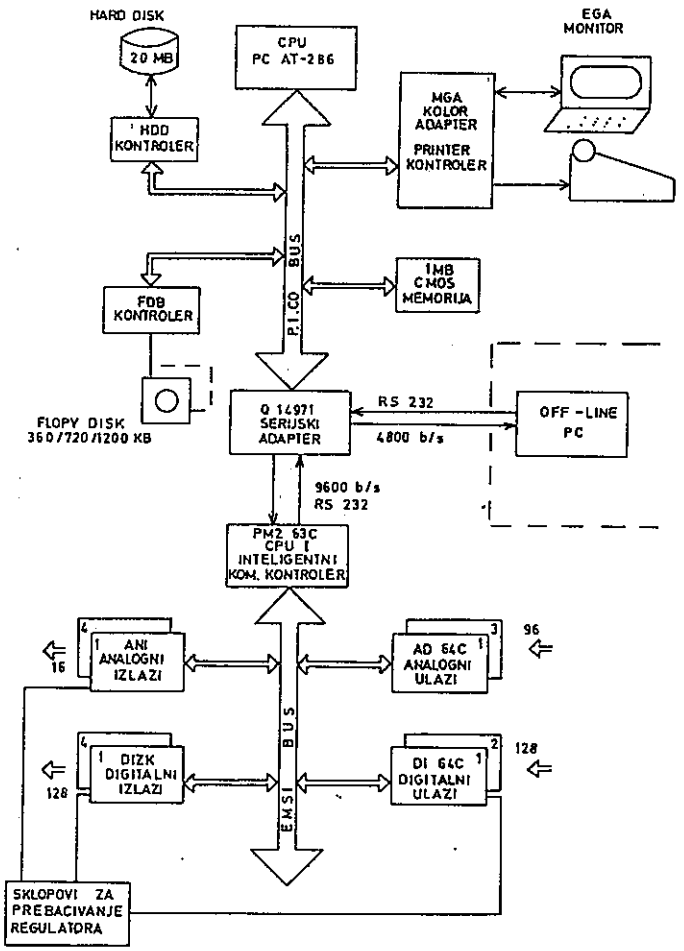
3) Prikazi i tabele neophodni za postavljanje parametara i konfiguracije bazena;

4) Izveštaj o učešću u regulaciji svakog bazena pojedinačno.

4. KONFIGURACIJA I OPIS RADA SISTEMA

4.1. Konfiguracija i rad sistema

SPAR je realizovan pomoću PC i standardne telemetrijske stanice kao procesnog interfejsa. Odabrana konfiguracija je fleksibilnija i robusnija od rešenja sa procesnim modulima koji se vezuju direktno na PC bus. Konfiguracija celog sistema data je na sl. 2.



sl. 2. KONFIGURACIJA SISTEMA SPAR

Upotrebljena je industrijska verzija PC 16 AT bazirana na centralnoj procesorskoj jedinici INTEL 80 286 prema konfiguraciji na sl. 2.

Telemetrijska stanica MIS 92-1000, razvijena u Iskri, ima decentralizovanu multimikroprocesorsku bus arhitekturu sa 8-mo bitskim procesorima i sadrži funkcionalne module naznačene na sl. 2.

Procesni interfejs, uz elementarne operacione i nadzorne funkcije, izvršava sledeće osnovne funkcije:

- prilagodenje i zahvat/izdavanje ulaznih/ulaznih signala telemerenja, signalizacija, regulacionih postavnih (analognih) komandi i digitalnih komandi za izbor pravaca prenosa telemerenja,
- formiranje lokalne baze sa zahvaćenim i primljenim procesnim podacima,
- komuniciranje sa centralnom jedinicom (RS 232 interfejs, 9600 b/s) pomoću telekontrolnog protokola sa geometrijskim zaštitnim kodom,
- prebacivanje telemetrijske predajne mreže sa analognog L&N na SPAR regulator (i obrnuto).

Telemetrijska stanica vrši skaniranje i punjenje lokalne baze podataka sa periodom od 2s nezavisno od centralne stanice. Centralna stanica vrši ciklično pozivanje telemetrijske stanice i prenose se samo telemerenja sa promenama 0,1%.

Pozivni ciklus varira od 0,25 s do približno 2,25 s, zavisno od toga da li se šalju ili ne postavne regulacione komande. Slanje regulacionih komandi vrši se sa periodom 4 s.

Procesni interfejs (a s tim i sistem SPAR) opremljen je za prihvat, odnosno izdavanje 96 telemerenja, 128 signalizacija, 16 analognih vrednosti (postavne komande) i 128 signalizacija. Trenutno je aktivirano oko 60% krajnjeg kapaciteta.

4.2. SCADA softver

Za SCADA funkciju iskorišćena je PC verzija softverskog sistema SDU-SOFT razvijenog u Energoinvest-SDU, koji je realizovan u programskom jeziku C i Micro Asembleru.

SCADA sistem obuhvata sledeće podsisteme:

- podsistem za generisanje i upravljanje bazom,
- podsistem za prikupljanje informacija i njihovu obradu,
- podsistem za komunikaciju "dispečer - sistem",
- podsistem sa aplikativno orijentisanim programima.

Sumarno, ovi podsistemi obavljaju sledeće funkcije:

- slanje i prikupljanje poruka iz telemetrijskog sistema, kao i njihovu obradu. Obraduju se analogni ulazi (merenja), digitalni ulazi (jednostruke signalizacije), digitalni izlazi (komande), i analogni izlazi (postavne komande),
- prikaz slika sa vizuelizacijom mernih i izračunatih veličina (greška YU bazena, totali razmene, snage, naponi),

- komandovanje elementima sistema (analognim izlazima),
- registraciju na štampaču dogadaja iz sistema (alarmi, promene atributa tačaka),
- kontrolisanje prekoračenja granica mernih veličina sa odgovarajućom registracijom na štampaču ekrana,
- izdavanje redovnih i vanrednih izveštaja,
- komuniciranje dispečera sa sistemom (izmene slika na ekranu, komandovanje, izbor izveštaja na zahtev, kvitiranje alarma, itd.),
- arhiviranje podataka (arhivska i post-mortem datoteka),
- registraciju kvarova u telemetrijskom sistemu,
- generisanje baze podataka (modifikaciju, dodavanje i brisanje tačaka iz sistema),
- generisanje slika,
- generisanje izveštaja,
- prenos programa razmene iz off-line računara (PC).

Ovaj sistem radi pod operativnim sistemom MS DOS. Specijalno razvijeni sistemski program SCHEDULER omogućava konkurentni rad više programa. SCHEDULER dodeljuje vremenski interval od 55 ms pojedinim programima koji se aktiviraju na principu "Značajnog dogadaja". SCADA programi koji su ciklično aktivni, rezidentni su u memoriji, dok se interaktivni programi aktiviraju po pozivu.

4.3. AGC softver

AGC softver sastoji se od tri funkcionalna dela:

(1) softver za promenu regulacionih parametara AGC-a,

(2) regulacioni softver,

(3) prikaz regulacije.

AGC softver za promenu regulacionih parametara sadrži sledeće prikaze (maske) za unošenje i ažuriranje podataka od strane dispečera:

- Regulaciona varijanta "A"
  - 24 programa razmene YU
  - bazne snage EP
- Regulaciona varijanta "B"
  - 24 programa razmene po EP
  - vreme starta novog programa razmene
- Regulacioni parametri sistema
  - program frekvence
  - start vreme programa frekvence
  - stop vreme programa frekvence

- regulacione konstante EP
- brzina promene programa razmene

Formiranje konfiguracije bazena

- EP u bazenu
- odgovorni DC u bazenu
- vreme starta nove konfiguracije bazena

Regulacioni softver

AGC regulacioni softver radi sa periodom od 4 s (AGC ciklus) i sadrži sledeće podfunkcije:

- inicijalizacija; podfunkcija osigurava ažuriranje AGC programa,
- provera ispravnosti telemetrijske stanice i veze sa PC stanicom,
- unos podataka iz baze,
- ažuriranje tekućeg programa razmene,
- kompenzacija greške sinhronog vremena za ažuriranje programa frekvence,
- odredivanje greške frekvence (izračunava frekvencu sistema i ažurira grešku frekvence),
- promena konfiguracije regulacionih bazena,
- ramp-programa razmene (pri prelasku sa jednog programa na drugi),
- regulacione konstante bazena (izračunava regulacione konstante regulacionih bazena),
- koeficijent učešća (izračunava učešće regulacionih bazena pri aktivnoj varijanti A),
- odredivanje (izračunavanje) regulacione greške sistema,
- regulaciona greška bazena za varijantu "A" (izračunavanje pri aktivnoj varijanti "A"),
- regulaciona greška regulacionih bazena za varijantu "B" (pri aktivnoj varijanti "B").
- akumulisana greška energije razmene sistema i regulacionih bazena, ako AGC radi u varijanti "B",
- ažuriranje greški sistema/bazena u bazi za grafički prikaz; podfunkcija ažurira greške sistema, frekvence i regulacionih bazena u bazi za grafički prikaz,
- ocena kvaliteta regulacije (satna ocena kvaliteta regulacije bazena pri aktivnoj varijanti "B"),
- slanje regulacionih greški sistema i bazena telemetrijskoj stanici,
- postavljanje regulacionih greški sistema i bazena na nulu,
- AGC limit kontrola (kontrolišu se periodično različite vrednosti sistema prema unapred definisanim limitima),
- AGC stanje (definiše globalno operativno stanje AGC regulacionog softvera).

AGC softver za prikaz regulacije

AGC softver za prikaz regulacije generiše i osvežava sledeće prikaze:

- trenutnu konfiguraciju bazena,
- regulacionu grešku sistema zadnjih 8 minuta,
- grešku frekvence zadnjih 8 minuta,
- regulacionu grešku regulacionih bazena zadnjih 8 minuta,
- srednju regulacionu grešku zadnja 3 uzorka,
- akumulisanu grešku razmene za tekući sat,
- prikaz učešća u regulaciji svakog od bazena.

5. ZAKLJUČAK

S obzirom da je opisani sistem tek pušten u probni pogon, trenutno ne postoje svi podaci za celovitu ocenu njegovih performansi. Međutim, njegove funkcionalne mogućnosti, jednostavan dispečerski orijentisan interfejs sa grafičkim i polugrafičkim prikazima, tačnost i fleksibilnost za promene i proširenja uz robusnu konfiguraciju (modularna, decentralizovana inteligencija, lokalno testiranje, visok integritet podataka), daju izuzetno povoljan odnos cena/performanse na nivou malih sistema. Polazeći od ovoga značajno mesto primene sistema vrlo sličnih instalisanom mogu biti regulatori u dispečerskim centrima elektroprivreda, tako da se za kratko vreme (cca jedna godina), može celokupni sistem za sekundarnu regulaciju formirati pomoću PC kontrolera i postojeće klasične telemetrijske opreme. Sa ovim bi se poboljšala pouzdanost regulacije i omogućio poželjan nadzor i dokumentovanje kvaliteta rada regulacije svake od elektroprivreda, kao i uvođenje kvalitetnijih regulatora (filtriranje telemerenja, grešaka sistema bazena i sl.). Ovako osavremenjen postojeći sistem za sekundarnu regulaciju ostao bi ujedno i kao neophodan visokopouzdani autonomni rezervni sistem, koji bi se aktivirao pri ispadima TSU.

LITERATURA

1) "Idejno rešenje i funkcionalna specifikacija sistema za prikaz i automatsku regulaciju u DC ZJE", JUGEL, decembra 1988. godine

2) Idejni projekat i izvedbena dokumentacija sistema za automatsku sekundarnu regulaciju L&N, JUGEL/L&N

3) "SDU-SOFT", interna dokumentacija Energoinvest - SDU, septembar 1989. godine

4) AGC - Tehničko rešenje, interna dokumentacija Energoinvest - SDU, septembar 1989. godine

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Referat broj 1.03

Branko Mihorko, dipl.el.ing.
Elektroinštitut "Milan Vidmar", Ljubljana

Dr. Ferdinand Gubina, dipl.ing
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana

NADZOR DELOVANJA IN ANALIZA PARAMETROV DIGITALNE SEKUNDARNE REGULACIJE

POVZETEK

V članku je predstavljena možnost avtomatičnega odkrivanja motenj v delovanju sekundarne regulacije, ki temelji na referenčnem modelu. Na osnovi realnih parametrov slovenskega EES je izvedeno večje število simulacij z različnimi parametri sekundarne regulacije in analiziran njihov vpliv na modelu, ki je sestavljen iz algoritma za digitalno avtomatsko regulacijo in algoritma za simulacijo delovanja.

ABSTRACT

A possibility of disturbance detection in the automatic generation control system based on the reference model is discussed. A large number of simulations, based on the real data from the Slovenian power system, was used for automatic generation control system parameters evaluation and their impact on the model is analysed. The model consists of the digital control algorithm and the algorithm for simulation of the power system operation.

1.UVOD

Sekundarna regulacija izravnava v elektroenergetskem sistemu (EES) odstopanja frekvence in dogovorjene izmenjave moči s sosednjimi sistemi. Če so odzivi agregatov na regulacijske impulze ustrezni, regulacija deluje v redu. V nasprotnem primeru pa agregat ne deluje, kot je predvideno.

Tak primer nastane, ko agregat dobi svoj zahtevek pri kompenzaciji regulacijskega odstopanja, vendar ga ne izpolni. Sekundarna regulacija nato zaradi odstopanj frekvence oziroma moči nastavi ostalim agregatom večjo moč in odstopanje se tako odpravi. Odkriti pa je potrebno vrsto motnje, ki je privedla do takšnega obnašanja agregata. V ta namen lahko uporabimo referenčni model, ki je vključen v digitalno regulacijo.

V primeru uporabe referenčnega modela prenesemo zahtevani signal

sekundarne regulacije do agregata in obenem tudi v referenčni model. Zakasnjeni odziv modela se avtomatično primerja z merjenim odzivom agregata, ki ga dobimo v povratni zanki iz EES. Na osnovi odstopanja obeh odzivov se lahko ugotavlja pravilnost odziva tega agregata.

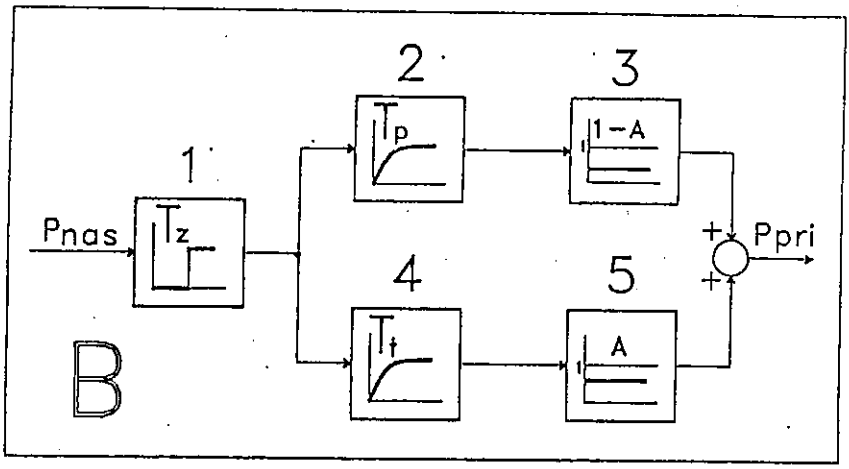
Drugi del, ki ga ponuja koncept modela EES, je analiza parametrov sekundarne regulacije, ki jih lahko izbiramo glede na parametre danega EES. V kolikor so parametri agregatov EES posneti dovolj dobro, je mogoče s simulacijami ugotoviti najugodnejše kombinacije konstant sekundarne regulacije in jih uporabiti v obratovanju.

V ta namen smo sestavili simulacijski model EES, ki ga uporabimo za analizo dinamičnega obnašanja na omrežje priključenih proizvodnih enot in regulacijskega sistema samega. Parametre modela smo dobili iz slovenskega EES.

2. REFERENCNI MODEL ZA KONCEPT NADZORA

Referenčni model za potrebe nadzora delovanja sekundarne regulacije delovne moči in frekvence mora verno predstaviti elemente, ki ga sestavljajo. Sestava elementov je shematsko prikazana na sliki 1.

Sestavljata ga dva dela: zakasnilni člen (element 1) in model agregata (elementi 2 do 5).



Slika 1: Referenčni model

Z zakasnilnim členom modeliramo seštevek prenosnega časa iz RCV (republiškega centra vodenja) do agregata in časa prenosa meritev nazaj. S tem členom zajamemo tako vse predvidene zakasnitve prenosa, lahko pa mu dodamo tudi vse predvidene mrtve čase v posameznem bloku.

Vhodna podatka v zakasnilni člen sta bazna moč in delovno stanje agregata, ki je ali pa ni vključen v sekundarno regulacijo. Nastavljeno moč (P_{nas}) posreduje računalnik iz republiškega centra vodenja (RCV) in jo mora agregat v določenem času doseči. Kasnitev pa obsega predvideni čas prenosa in ostale mrtve čase (T_z).

Model agregata je poenostavljen do mere, ki še zadovoljivo predstavlja njegovo obnašanje. Njegovi parametri obsegajo faktor, s katerim modeliramo vrsto elektrarne (A), in časovni konstanti posameznega generatorja oziroma bloka (T_t), (T_p).

Faktor za modeliranje elektrarne ima lahko naslednje vrednosti:

A = 1 : za termoagregat brez vmesnega pregrevanja
0 < A < 1 : za termoagregat z vmesnim pregrevanjem
A = -2 : za hidroagregat

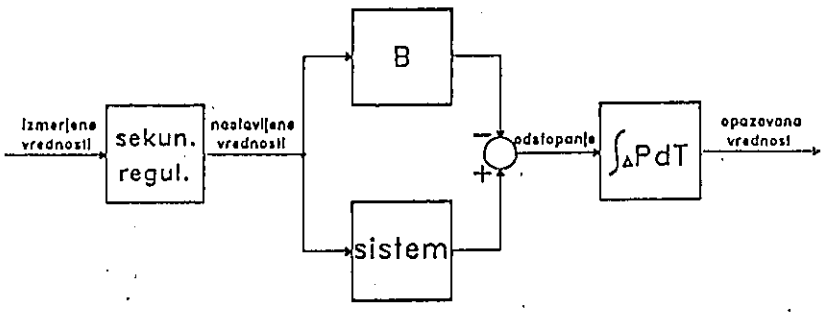
Časovna konstanta generatorja in turbine T_t ima pri termoelektrarni velikostni razred 1 sekunde. Pri modeliranju hidroelektrarne je enaka 0. Časovna konstanta pregrevanja ima pri termoelektrarni velikostni razred okoli 10 sekund. Pri modeliranju hidroelektrarne je enaka 0.5 časovne konstante vodnega udara in običajni vrednosti do 1 sekunde.

3. ODKRIVANJE MOTENJ V DELOVANJU DIGITALNE REGULACIJE FREKVENCA-MOČ

3.1. Princip odkrivanja

V nekem trenutku se lahko zgodi, da določeni agregat zaradi motnje ne sledi več nastavljeni vrednosti, ali pa ji sledi le delno. Pri tem dobimo odstopanja med nastavljeno vrednostjo, ki jo dobimo iz referenčnega modela, in vrednostjo, ki jo dobimo izmerjeno iz EES. Odstopanja izračunamo tako, da želeno tj. nastavljeno vrednost odštejemo od izmerjene, ki jo dobimo v vsakem intervalu vzorčenja frekvence in moči izmenjav EES. Časovni interval je navadno 5 sekund oziroma 4 sekunde v jugoslovanskem sistemu sekundarne regulacije.

Slika 2 prikazuje ves postopek odkrivanja motenj. Digitalna sekundarna regulacija izračuna za nastavljene vrednosti v prejšnjem intervalu k nove nastavitvene vrednosti v tekočem intervalu k+1. Pri tem upošteva nastavljen režim obratovanja posameznega agregata in odstopanja frekvence oziroma dogovorjene moči izmenjave. Nove vrednosti pošlje istočasno v EES in v referenčni model agregatov (slika 1 element B), ki mora imeti časovne konstante in ostale parametre čim bližje realnim.



Slika 2: Shema odkrivanja motenj

Algoritem izvede tudi integracijo odstopanja (AGC performance monitor). S tem se poskušamo izogniti slučajnim nihanjem oziroma jih primerno zgladimo. Čas integracije je okvirno 3 s in ga lahko spreminjamo. Pri tem ugotavljamo, ali je v posameznem triminutnem intervalu vrednost integrala večja od neke dogovorjene oziroma nastavljene mejne vrednosti. Z veliko verjetnostjo lahko ugotovimo, da je prišlo do motnje na zvezi ali pa v sami elektrarni. Če je ta vrednost prekoračena v treh ali več zaporednih intervalih, dobi operater v centru vodenja signal o nastali motnji oziroma alarm. S to zakasnitvijo in večkratnim preverjanjem preprečimo prehitro ukrepanje operaterja zaradi kratkotrajnih motenj v sistemu.

3.2. Ugotavljanje vrste motnje

Težko je predvideti vse možne motnje, zato si oglejmo, katere lahko odkrijemo. Za odkrivanje motnje uporabimo v zadnjem intervalu izračunano maksimalno vrednost integrala odstopanja, ki mora biti koherentna s predhodnimi. Naslonimo se na vrednost in predznak tega integrala. Pri tem je več možnosti.

1. Vrednost integrala je pozitivna (negativna) in po absolutni vrednosti veliko manjša od nastavljene, t.j. vrednosti a, ki jo nastavi sekundarna regulacija. To pomeni, da agregat ne sledi oziroma zamuja ali prehiteva nastavljene vrednosti. Možno je tudi, da agregat ne doseže predvidene končne vrednosti. Dela na večji (manjši) moči, kot mu jo je postavila sekundarna regulacija.

2. Vrednost integrala je negativna in po absolutni vrednosti približno enaka nastavljeni vrednosti a.

3. Vrednost integrala je pozitivna in po absolutni vrednosti približno enaka nastavljeni vrednosti a.

MOTNJA	$\lvert I \rvert \ll a$	$\lvert I \rvert \approx a$ $I < 0$	$\lvert I \rvert \approx a$ $I > 0$
Napaka na prenosu signala	*	*	*
Sprememba statike	*		
Napaka na turbin. regulatorju	*		
Izpad agregata	*	*	
Izpad sekundarne regulacije	*		*

Tabela 1: Shema za odkrivanje motenj

Na osnovi te sheme in dodatnih podatkov o stanju primarnih energetskih elementov lahko operater odkrije vrsto motnje in jo tudi locira.

Operater lahko ukrepa tako, da agregatu spremeni režim obratovanja ter ga izključi iz sekundarne regulacije, nato pa ga testira. Pri tem preveri, če sledi ročnim komandam ali ne in v skladu z ugotovitvami postopa dalje.

Namesto operaterja lahko poseben program sam testira agregat. V dovoljenih mejah pošilja impulze za dvigovanje ali nižanje moči. Istočasno seveda pazi, da je vsota vseh nastavljenih moči v sistemu konstantna.

Avtomatična identifikacija motnje zaenkrat ni predvidena, ni pa tehnično neuresničljiva. Upoštevanje vseh možnosti namreč predstavlja velik problem pri programiranju, saj je potrebno predvideti kombinacije motenj in možnih ukrepov.

4. ANALIZA KONSTANT SEKUNDARNE REGULACIJE

Konstante sekundarne regulacije navadno privzamemo po vzgledih. Ostane pa vprašanje, kakšne konstante regulacije bi ustrezale glede na parametre EES. Za analizo teh konstant smo izvedli veliko število simulacij. Simulacije smo razdelili na dva različna sklopa:

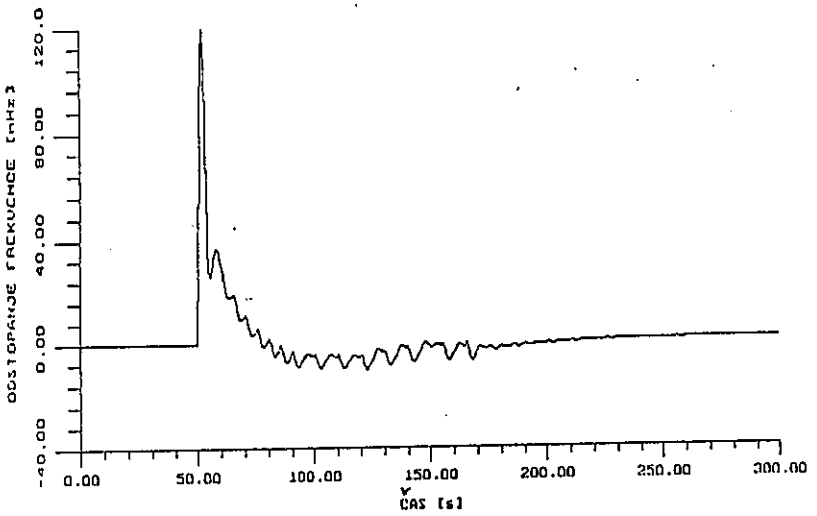
1. Spreminjanje integralske in proporcionalne konstante za:
   - otočno obratovanje slovenskega sistema,
   - interkonekcijsko povezavo na evropski (veliki) sistem.

Povezano delovanje smo naredili v vseh primerih simulacije za periode vzorčenja sekundarne regulacije od 2 do 6 sekund.

2. Perioda vzorčenja sekundarne regulacije je bila v simulacijah zajeta v obsegu od 2 do 10 sekund, pri čemer je bila integralska konstanta postavljena na vrednost 0,05 in proporcionalna konstanta na 0,8.

Motnja v delovanju digitalne sekundarne regulacije je predstavljena tako, da je v 50. sekundi pri vsaki simulaciji skočno zmanjšana obremenitev za 50 MW. Simulacija je v vseh primerih trajala 300 s.

Na sliki 3 izstopa, da imamo dve vrsti prenihavanj. Prvih 40 sekund po nastopu motnje je v sistemu premajhna možnost hitrega zmanjševanja moči. Zato deluje vseh 40 sekund gradientna omejitev sistema in vsi generatorji, ki sodelujejo v regulaciji, z nastavljeno možno hitrostjo zmanjšujejo moč ne glede na faktorje udeležbe v regulaciji. Po 40 sekundah ni več potrebe po hitrem zmanjševanju in generatorji začnejo med seboj izravnavati moči, kot jih zahteva regulacija. Pri tem dobimo spet manjša prenihavanja, ki pa so drugačnega izvora in s tem tudi poteka in odvisna od faktorjev lastne udeležbe in nastavljenih gradientov.



Slika 3: Časovni potek odstopanja frekvence

Vse simulacije in slike so šifrirane po naslednjem principu:

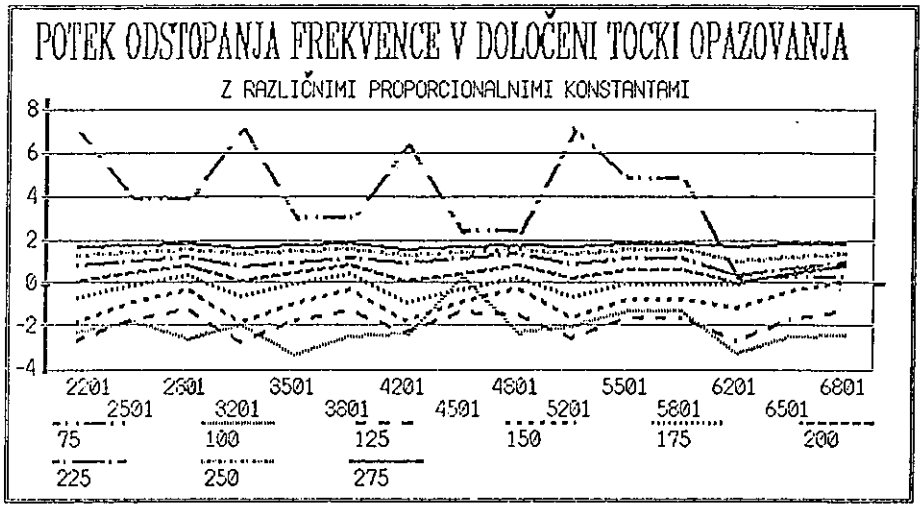
2501 = 2 čas ponovnega vzorčenja sekundarne regulacije je 2 sekundi
5 proporcionalna konstanta je 0,5
01 integralska konstanta je 0,01

4.1. Analiza spreminjanja proporcionalnih konstant

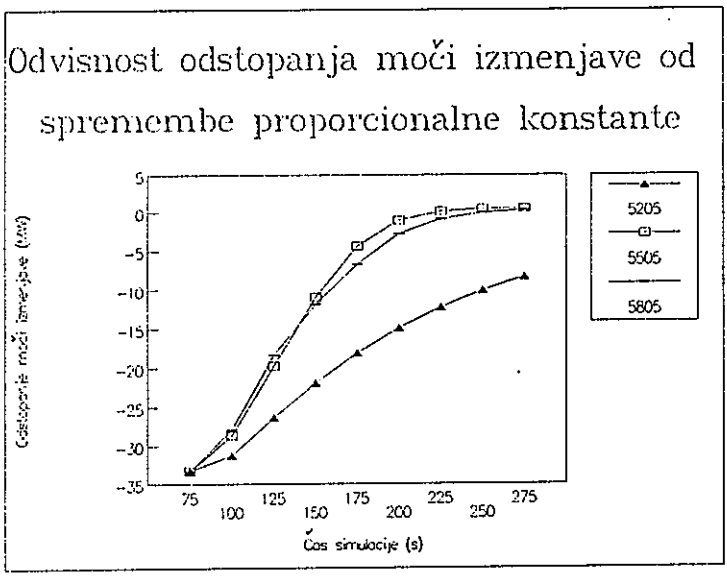
Slika 4 kaže razliko odstopanj v posamezni časovni točki simulacije v odvisnosti od nastavljenih parametrov pri integralski konstanti 0.01, različnih proporcionalnih konstantah in različnih časih ponovnega vzorčenja sekundarne regulacije.

Iz slike je razvidno, da med proporcionalnima konstantama 0,5 in 0,8 ni razlike v hitrosti izravnavanja v 75 sekundi simulacije, medtem ko pri

proporcionalni konstanti 0,2 dobimo v isti časovni točki slabšo izravnavo odstopanja. V 100 sekundi so tudi še razlike v hitrosti izravnavanja, vendar je tu že večji vpliv različnih časov vzorčenja.



Slika 4

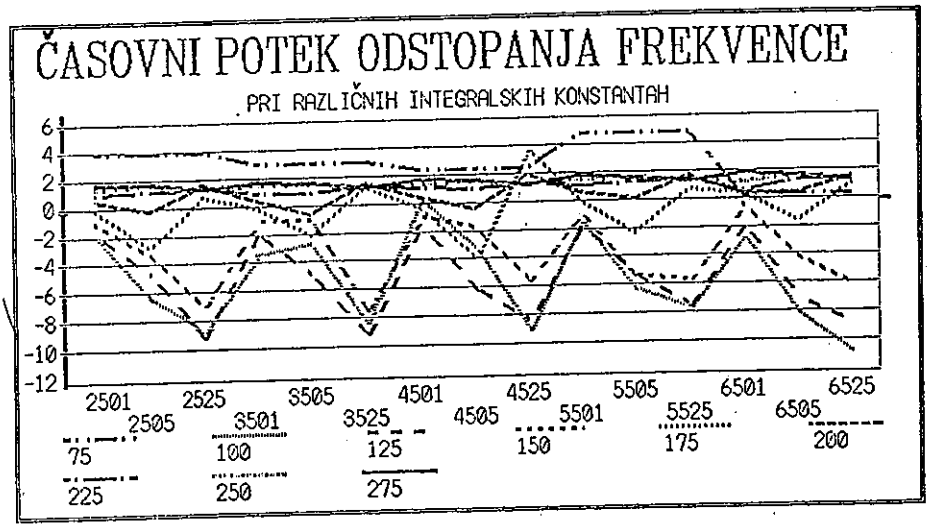


Slika 5

Na sliki 5 je primerjana odvisnost odstopanja moči izmenjave od spremembe proporcionalne konstante in tudi na tej sliki je vidno, da pri proporcionalnih konstantah 0,5 in 0,8 ni velikih razlik, medtem ko je izravnava pri proporcionalni konstanti 0,2 precej počasnejša.

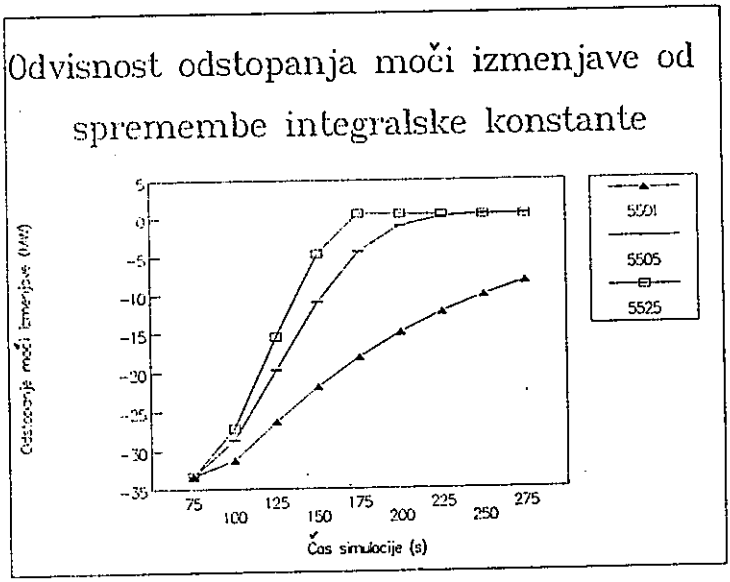
4.2. Analiza spreminjanja integralskih konstant

Naslednji sklop analiz sledi iz primerjave potekov odstopanj pri spreminjanju integralskih konstant. Proporcionalna konstanta se ni spreminjala, vendar pa se je odvisnost opazovala tudi za različne dolžine period vzorčenja.



Slika 6

Na sliki 6 so razvidne večje razlike v simulaciji med 100. in 200. sekundo. Opazi se, z razliko od spreminjanja proporcionalne konstante, da integralska konstanta vpliva na izravnave nekoliko kasneje. Iz simulacij je razvidno tudi, da se dobi prenihaj preko izravnanega stanja večji, čim večja je integralska konstanta. Tako lahko iz te analize sledi, da je ugodnejša manjša integralska konstanta (recimo 0,01), vendar to ni čisto res.

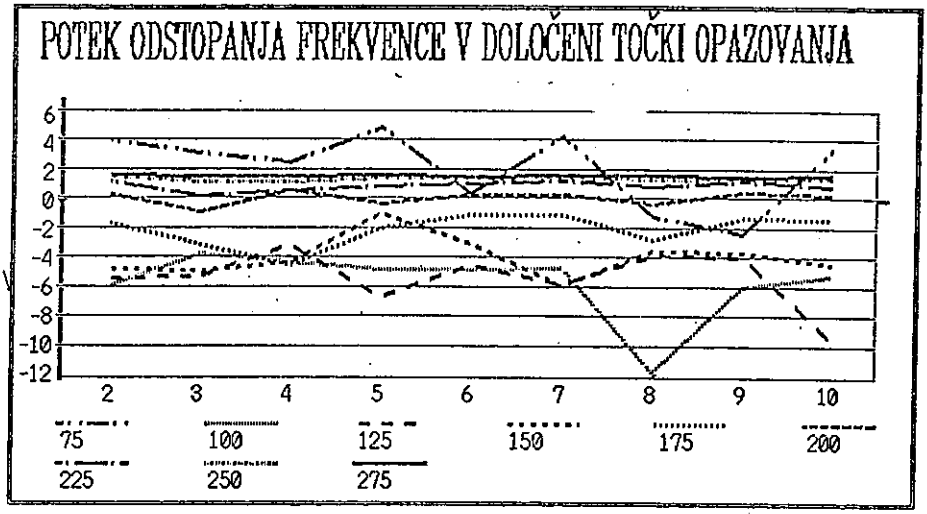


Slika 7

Manjša integralska konstanta ima slabost razvidno iz slike 7. Izravnava odstopanja moči izmenjave je počasnejša kot pri večjih konstantah. Med integralskima konstantama 0,05 in 0,25 pa ni več tako velike razlike.

4.3. Analiza različnih dolžin period vzorčenja sekundarne regulacije

Obravnavane so bile tudi različne periode ponovnih vzorčenj pri konstantnih ostalih parametrih. Integralska konstanta je imela vrednost 0,05 in proporcionalno konstanto 0,8. Kasneje jih nismo spreminjali. Nastavljali smo čase ponovnih vzorčenj od 2 do 10 sekund.



Slika 8

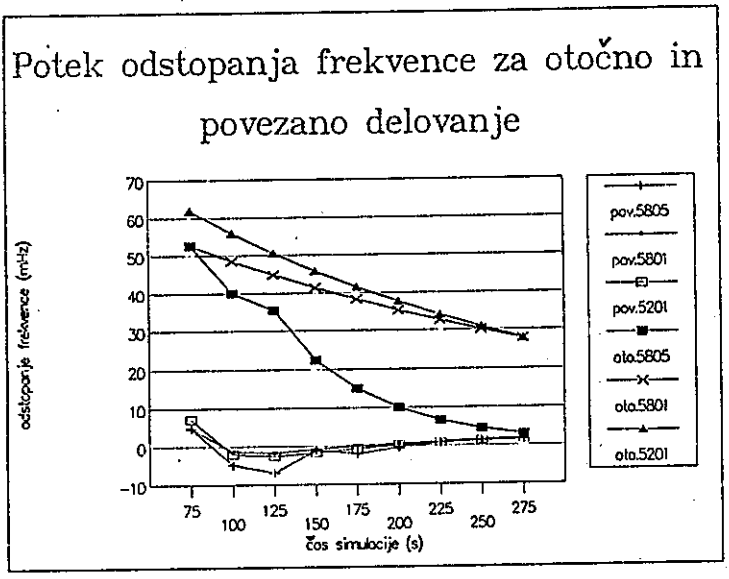
Na sliki 8 je opazno, da nastopi razlika med 75. in 150. sekundo simulacije. Največja odstopanja se pokažejo pri poskusih z nastavitvijo ponavljanj vzorčenj na 8, 9 in 10 sekund. Tako se lahko sklepa, da so ugodni časi od 2 do 7 sekund. Vendar se mora še upoštevati da se amplitude prenihavanj z večanjem ponavljanj ciklov tudi večajo. Razlaga tega je tudi v načinu pisanja programa.

Algoritem vedno izračuna samo takšno spremembo moči, kot jo zmore posamezni agregat spremeniti v določeni časovni periodi glede na nastavljene parametre (gradienti, nazivne vrednosti, omejitve ...). Enkrat v periodi vzorčenja pošlje to spremembo agregatom. Regulatorji sprejmejo novo spremembo moči in agregat z nastavitvijo regulatorja spremeni moč. Zgodi se, da agregat spremeni moč hitreje, kot je to predvidel algoritem in s tem nastane prenihavanje v sistemu, ki je seveda večje, čim večji je čas med dvema vzorčenjema. Preprosteje povedano, digitalna avtomatska regulacija vpliva na regulator agregata trenutno v neki časovni točki.

Seveda pa ta čas ne sme biti manjši od določene meje. Ta meja se sicer z razvojem opreme spreminja, odvisna pa je od možnosti hitrosti zajemanja meritev in prenosa podatkov. Trenutno ja čas periode vzorčenja v Jugoslaviji nastavljen na 4 sekunde, v svetu pa pogosto na 5 sekund.

4.4. Analiza poteka odstopanj frekvence pri povezanem in otočnem delovanju sistema

Zadnja analiza je primerjava časovnih potekov pri povezanem (interkonekcijske povezave) in otočnem delovanju pri istih nastavljenih parametrih. Pri otočnem obratovanju opazimo, da proces regulacije deluje bistveno počasneje in je "konica" pri izpadu bremena približno za 20 mHz večja.



Slika 9

Pri nastavljeni proporcionalni konstanti 0,8 in integralski konstanti 0,05 je regulacija pri otočnem delovanju še zadovoljivo hitra (slika 9). Ti parametri so tako izmed simuliranih najbolj ugodni za otočno in povezano obratovanje.

5. ZAKLJUCEK

Pri sestavljanju simulacijskega algoritma se je pokazala možnost uporabe referenčnega modela za odkrivanje motenj v delovanju digitalne sekundarne avtomatske regulacije. Njegove prednosti so naslednje:

- uporaba je preprosta,
- omogoča enostavno identifikacijo generatorja, ki je v okvari,
- ugotavlja izpade komunikacijskih poti,
- ne upošteva kratkotrajnih nihanj,
- preprečuje nepotrebna ukrepanja,

Večje število simulacij z različnimi parametri za slovenski EES je dalo naslednje rezultate:

1. Za slovenski sistem v povezanem delovanju je najugodnejša integralska konstanta blizu vrednosti 0,05 (+ 0,01). Če hitrost izravnave odstopanj moči izmenjave ni bistvena, pa je ugodnejša nastavitev okoli 0,01.

2. Zaradi amplitud prenihajev so sprejemljive simulacije z nastavljenimi periodami ponovnega vzorčenja sekundarne regulacije od 2 do 5 sekund. Krajši je čas izračunavanja, ugodnejši so časovni poteki. Paziti pa je potrebno na hitrosti prenosov vseh izmerjenih podatkov in seveda na vse mrtve čase, ki se pojavljajo v obratovanju sistema, saj leži tukaj spodnja omejitev period in ne v programih.
3. Če ne spreminjamo parametrov med prehajanjem z otočnega v povezano delovanje in obratno, je najugodnejša nastavitev proporcionalne konstante na 0,8 in integralske konstante na 0,05.

S tem načinom je mogoče preverjati najugodnejše nastavitve konstant sekundarne regulacije za vsak posamezen sistem in jih prilagoditi parametrom konkretnega EES.

LITERATURA

1. Edmund Handschin, Elektrische Energieuebertragungssysteme, Huethig Verlag, Heidelberg, 1987.
2. Anderson, Fouad, Power System Control and Stability, The Iowa State University Press,1980.
3. Atif S. Debs, Modern Power Systems Control and Operation, Georgia Institute of Technology, Kluwer Academic Publishers, 1988.
4. Thomas M. Athay, "Generation scheduling and control", Proceedings of the IEEE, Vol. 75, No. 12, December 1987.
5. D. Matko, Diskretni regulacijski sistemi, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana 1980.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr Marija Jeličić-Plavec,dipl.inž.arh.
Institut "RADE KONČAR", Zagreb

Referat broj 1.04

ANALIZA FUNKCIONALNOSTI REALIZIRANIH NADZORNO-UPRAVLJAČKIH CENTARA S ASPEKTA ČOVJEKA - OPERATORA

SADRŽAJ

U referatu je dan kritički osvrt na funkcioniranje nadzorno-upravljačkih prostorija u dispečerskim centrima, s gledišta ergonomije, u odnosu prostor-čovjek-rad. Da bi se u praksi provjerila ispravnost pristupa rješavanju ove problematike analiziraju se dva dispečerska centra koja su po ergonomskim principima dizajnirana od autora ovoga članka i već su šest odnosno osam godina u eksploataciji. Informacije su prikupljene anketiranjem dispečera, razgovorom s njima i promatranjem odvijanja rada. Zanimljiv je rezultat ove analize koji apsolutno potvrđuje ispravnost u praksi primijenjenih ergonomskih principa dizajniranja radnog mjesta i radnog prostora. Sve što od toga odstupa iz bilo kakvih razloga pokazuje se u praksi kao smetnja pri radu koju treba kompenzirati dodatnim naporom, dakle zamara radnike, izaziva nezadovoljstvo i uslijed toga povećava mogućnost pogreške u radu.

ABSTRACT

The functioning of monitoring and control rooms is critically surveyed from the standpoint of ergonomy in the relation space - man - work. In order to verify in practice the correctness of the approach to solving these problems,two control rooms are analyzed. The control rooms have been designed by the author of this paper under ergonomic principles, and they are in service for six and eight years respectively. The information were gathered by dispatcher survey, interviews with them and by observing their work. The result of this analysis is very interesting, and it absolutely confirms the corectness of ergonomic princi-

ples applied to the design of workplaces and working areas. Any departure for any reason results in practice in disturbances of work that have to be compensated for by additional efforts - hence, such departures cause workers fatigue and dissatisfaction, and consequently increase the possibility of errors in work.

1 UVOD

Odlučih osvrnuti se na problematiku radnog prostora i radnog mjesta operatora u dispečerskom (distributivnom ili nadzorno-upravljačkom) centru da bi osvijetlila probleme područja, za koje još vlada prilično nerazumijevanje i koje je u našoj praksi još malo poznato. To su smetnje čovjeka pri radu koje nastaju od utjecaja radne okoline. Mnogo novaca se često investira u opremu radnih mjesta i prostora, krasnih arhitektonskih ostvarenja, a da i pored toga, uglavnom zbog neznanja, ostaju neriješeni bitni problemi odnosa čovjek-prostor-rad.

Razmatranje ove problematike više u teoretskom smislu može se naći u radovima navedenim u popisu literature na kraju rada. U referatu za CIGRE/1983.god. već sam ukazala na probleme iz tog područja dizajniranja, a u ovom radu analizirat ćemo funkcioniranje upravljačkih (komandnih) prostorija u praksi. Prikazana će biti dva dispečerska centra koja su već nekoliko godina u eksploataciji a projektiranih od autora ovog članka. U praksi će se provjeriti njihovo funkcioniranje i ispravnost pri projektiranju, primijenjenih ergonomskih principa u rješavanju problematike dispečerskih centara te prikazati prednosti i nedostatke rješenja.To su:

1. Distributivni centar Gradske plinare Zagreb (DC GPZ), koji je projektiran 1979/80. godine a u pogonu je od 1982.godine.
2. Dispečerski centar INA-Naftaplin (DC/INA), projektiran 1981./82. godine i u eksploataciji je od 1984.godine.

Rad na projektiranju ovih centara obuhvaćao je: idejni i izvedbeni projekt za DC GPZ te idejni za DC INA, organizaciju opreme u prostorijama, dizajn upravljačkog stola, stalaka za ekrane, sinoptičke ploče i dr. Projektiranje je izvršeno po ergonomskim principima arhitekture i dizajna radnoga mjesta i radnoga prostora.

Postojeće stanje u upravljačkoj prostoriji unutar dispečerskog centra snimano je anketom i razgovorom s operaterima i rukovodiocima, boravkom i promatranjem događaja u upravljačkoj prostoriji i za upravljačkim stolom. Prikupljeni podaci su obuhvaćeni i prezentirani u ovom članku.

Cilj koji se želi postići ovim radom je potsjećanje i upoznavanje što šireg kruga investitora i projektanata na važnost rješavanja radne okoline i radnoga mjesta kao pomagala pri radu, koje mora biti podredeno radnim potrebama i psihofizičkim sposobnostima čovjeka. Materijal dobiven iz kritičke analize postojećeg stanja radne okoline operatora u upravljačkim prostorijama mogao bi i trebao bi poslužiti kao ulazni podatak pri projektiranju budućih dispečerskih centara, jer osnovni princip je uvijek isti.

2 PRIKAZ UPRAVLJAČKE PROSTORIJE U"DISTRIBUTIVNOM CENTRU GRADSKE PLINARE ZAGREB"

Centar je, s gledišta dizajna, projektiran 1979/80.godine u Odjelu za dizajn Instituta "Rade Končar". U pogonu je od 1982.godine. U njemu se nadzire i upravlja automatskim procesom distribucije plina. To je prvi kompjutorizirani dispečerski centar u Jugoslaviji.

2.1 Funkcionalne karakteristike

Promatrati ćemo točku dodira čovjeka s tehnološkim procesom koja se dogada u upravljačkoj prostoriji distributivnog centra. To je radno mjesto operatera, dispečera za upravljačkim stolom, koje je centralni, osnovni i najbitniji dio upravljačke prostorije s gledišta odnosa čovjek-rad. (Od tog radnog mjesta inače započinje proces projektiranja koji je specifičan za svaki slučaj, ovisno od zadanih uvjeta). Na dva identična radna mjesta za upravljačkim stolom operatori nadziru i upravljaju automatskim, kompjuterski vodenim,procesom preko perifernih jedinica računala u upravljačkoj prostoriji: dvije tastature za dva kolor video displaya, dva pisača, sinoptička ploča sa šemom razvodne mreže i signalizacijom, uredaji i instrumenti.

Presjek čovjek-postrojenje dogada se na upravljačkom stolu preko tastature i kolor ekrana. Dva identična radna mjesta prostudirana su, dimenzionirana i postavljena u prostor, tako da čovjek može svojim normalnim sposobnostima bez dodatnog zamaranja vizuelno komunicirati s tastaturom, video displayom, sinoptičkom pločom i instrumentima, a istovremeno leženo dohvatiti sve što mu je potrebno za manipulaciju. Rasvjeta, obloge zidova, boje stropa i poda usklađene su u svrhu lakšeg uočavanja promjena procesa na ekranima i sinoptičkoj ploči, kao i održavanja čovjekovog psihofizičkog stanja u optimumu. Cijeli distributivni centar je klimatiziran, dok je prostor komandne prostorije klimatiziran posebnim uredajem, prilagodenim za boravak ljudi. U cijelom prostoru DC-a postavljen je spušteni strop i dvostruki, elektrostatski vodljiv kompjutorski pod. To omogućava nesmetano vodenje instalacija, jednostavan pristup i naknadne zahvate na instalacijama bez gradevinskih radova. Veoma je važna elektrostatska vodljivost dvostrukoga poda i potrebna je pažljiva, stručna izvedba te pravilno održavanje poda, da bi se vodljivost sačuvala. (Postavljanje tepiha na kompjuterski pod ne dolazi u obzir)

Izvadak iz procesa rada na dizajniranju upravljačkog stola i radnog prostora ovdje opisanog distributivnog centra Gradske plinare Zagreb, prikazan je na slikama u literaturi navedenoj na kraju teksta-CIGRE 1983.godine (4., 28/29). Primjenjujući obavezno metodologiju dizajniranja napravljena je analiza dosega i vidnih polja operatora na bazi prostudiranih tokova rada. Za provjeru rješenja organizacije opreme prostora i oblikovanog radnog stola, napravljen je radni model, na kojemu je rješenje prodiskutirano s investitorom. Sve je realizirano prema izvedbenom dizajn projektu pod nadzorom dizajnera.

Izlomljeno tlocrtno rješenje komandnog stola u upravljačkoj prostoriji proizlazi iz ergonomske analize optimalnog vidnog polja oba operatera, kojim treba obuhvatiti ekrane i tastature kao primarne elemente komuniciranja, te sinoptičku shemu i instrumente ugradene u pregradnu stijenu uz sinoptičku ploču, kao sekundarne elemente komuniciranja.Pregradna stijena s ugradenom sinoptičkom pločom je zato izlomljena pod povoljnim kutem za promatranje ugradenih instrumenata s radnog mjesta operatera.Mogućnost čitanja znakova na odabranom tipu monitora odreduje udaljenost ekrana od oka operatera a dobiva se proračunom. Ekrani su postavljeni na posebno dizajnirane stalke s definiranim nagibom, pogodnim za motrenje ekrana.

Na radnom stolu je tastatura glavni element s kojim operater manipulira i ona se nalazi u primarnom dohvatu ruku, koje moraju biti u optimalnom fiziološkom položaju, što opet definira visinu radne plohe. Ostali uredaji rasporedeni su prema funkciji i učestalosti rada operatera unutar maksimalnog dohvata ruku na radnoj plohi.

2.2 Oblikovne karakteristike

Upravljačka prostorija je veličine osrednje uredske prostorije, cca 6/8,50 m, svjetle visine 2,8 m. Na bijelom kompjutorskom podu dominira trokraki upravljački stol 173/292 cm sa slobodnostojećim kolor ekranima na stalcima i tamnom sinoptičkom pločom. Ostale površine u prostoru čine bijeli, spušteni strop, svijetla hrastova obloga zidova i ostakljena vanjska stijena zatamnjenim staklom i smedim zastorima. Prostor oplemenjuju cvjetna korita i pregradni mobilni paravani.

2.3 Rezultati ankete i kritički osvrt

2.3.1 Opći dojam o prostoriji koja je u neprekidnom radnom pogonu od 24 satá dnevno, nakon osam godina eksploatacije je solidan, pregledan, ugodan, smiren, uredan, organiziran. Radno mjesto je funkcionalno i dobro dimenzionirano.

2.3.2 Upravljački stol je neoštećen. Radna površina je dovoljna i za rad s papirom iako ne bi smetalo da je veća. Videodisplay ima dobar nagib i postavu. Čitljivost i kvaliteta ekrana su dobri, nema blještanja ni drugih smetnji pri radu. Operatori se ne tuže na poseban zamor očiju.

2.3.3 Radne fotelje su novo nabavljene, na kotačima, mogu se regulirati visina i nagibi naslo na i plohe sjedenja. Naslon je visoki s dodatnim osloncem za glavu. Proizvodač fotelje je "Stol"-Kamnik, tip fotelje "Master". Operatori su sa stolcem zadovoljni.

2.3.4. Sinoptička ploča je pregledna, korisna iako nije neophodna. Ona dodaje ukupnom dojmu ozbiljniji, znanstveniji karakter. Tamne je, antracit boje u mat izvedbi kakvu je zahtijevao investitor. To nije prikladna boja površine u koju se stalno gleda, jer, prema znanstvenim postulatima medicine rada takva površina trebala bi biti svjetlo zelenkaste boje, kakva najmanje umara oči. No operatori se ne tuže na probleme s očima, a ploča u tom prostoru djeluje atraktivno.

2.3.5 Kompjutorski - dvostruki pod izvanredno funkcionira, dobro se održava i u prostoru nema nikakvog elektrostatskog naboja.

2.3.6 Rasvjeta je izvedena na klasičan način prema preporukama dizajnera prostora, ali nije uvučena u strop. Pošto se može regulirati raznim kombinacijama uključivanja, ona ne pravi probleme refleksije na ekranima, ali potez rasvjete iza leda operatera mora uvijek biti isključen upravo radi tog refleksa. Uglavnom dispečeri nemaju prigovora na rasvjetu. Smeta ih, međutim, mogućnost pogleda (noću) u prostoriju kroz vanjsku ostakljenu stijenu.

2.3.7 Klimatizacija. Subjektivno, radnici nisu zadovoljni s klimatizacijom, naročito noću. Osjećaju "propuh" hlagne noge, željeli bi zatvorenu fotelju kao školjku da zaštite bubrege i križa od hladenja! Nešto s klimom nije u redu. Takoder ih smeta konstantno zujanje klimatizera.

2.3.8 Ormari za pohranu papirnate dokumentacije bilo bi poželjno da su smješteni u samoj upravljačkoj prostoriji, smatraju operateri.

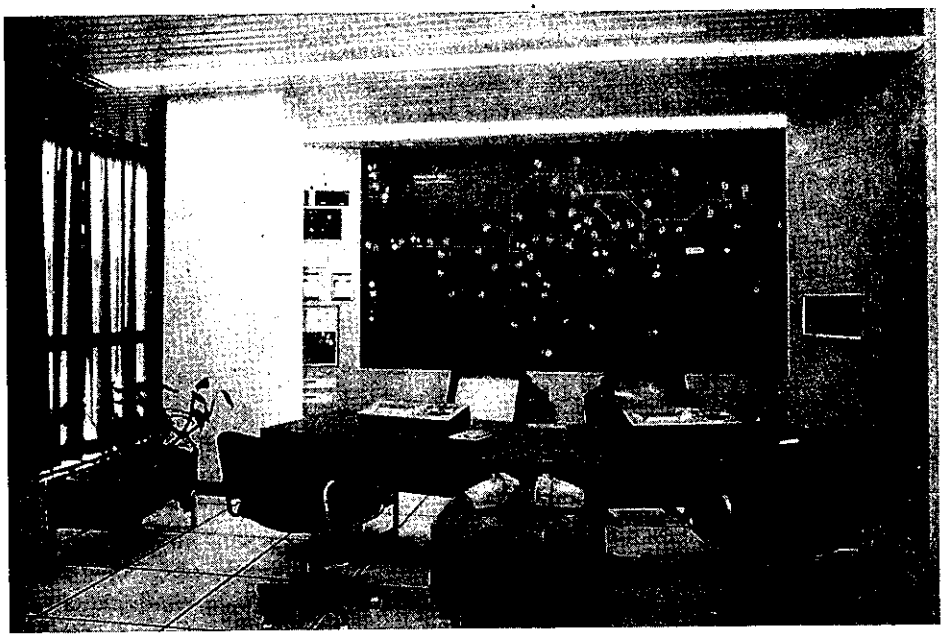
2.3.9 Direktnom ulazu u upravljačku prostoriju centra dispečeri imaju ozbiljan prigovor. Iz upravljačke prostorije ulazi se kod rukovodioca i sistem inženjera, pa se posjetioci obično prvo "zalete" dispečerima po informaciju. To rješenje je bilo svjestan kompromis pri projektiranju kompleksa prostorija DC-a u raspoloživom prostoru. Odvajanje ulaznog prostora iza leđa operatora transparentnom ostakljenom pregradom izazvalo bi refleks od rasvjetnih tijela na ekranima. To je ocijenjeno nepovoljnijim nedostatkom od prolaza posjetilaca, dok bi netransparentna pregrada vizuelno smanjila već i onako mali (ali dovoljan!) prostor. Tako je u dogovoru s investitotom prostor ostao otvoren i prohodan. Vjerojatno ipak nismo bili u pravu?

2.3.10. Nedostatak odgovarajuće prostorije za odmor koja bi bila vezana za upravljačku prostoriju je slijedeći značajniji prigovor korisnika. Mogućnost kratkog predaha, kuhanja kave, obroka-obzirom na smjenski rad (rad noću i praznicima)je neophodno. Sada dispečeri odlaze ispred centra na hodnik gdje imaju stol i stolice.Danas se može konstatirati da u vrijeme projektiranja nije bilo dovoljno svijesti o nužnosti postojanja takve prostorije uz ovakvu vrstu pogona iako bi to zbog ograničenog raspoloživog prostora bilo teško izvedivo.

2.4 Sažetak nedostataka

- klimatizacija: propuh, neprestani šum
- ulaz posjetilaca direktno u upravljačku prostoriju
- nema prostorije za odmor
- nedostatak ormara za pohranu dokumentacije u samom upravljačkom prostoru.

Evidentno je da nedostaci nisu funkcionalnog karaktera, već je u pitanju komfor zaposlenih. Može se zaključiti da je s aspekta uvjeta radnog mjesta i prostora projekt uspio, a održavanje pogona u tom pogledu definiranih parametara je na primjerenoj visini što rezultira manjim zamaranjem i zadovoljstvom radnika.



Slika 1. Fotografija nadzorno-upravljačke prostorije DC-a Gradske plinare Zagreb

3. PRIKAZ UPRAVLJAČKE PROSTORIJE U"DISPEČERSKOM CENTRU INA-NAFTAPLIN"

Centar je projektiran, s osnove dizajna prostora i radnog mjesta 1981/82.godine u Odjelu za dizajn Instituta "Rade končar". U pogonu se nalazi od 1984.godine. U njemu se nadzire i upravlja transportom i distribucijom plina u plinskoj mreži Hrvatske. Na dva jednaka radna mjesta dežurni dispečeri komuniciraju s tehnološkim procesom plinskih postrojenja putem hardverske konfiguracije u upravljačkoj prostoriji koja se sastoji od: dvije tastature, tri kolor ekrana koje istovremeno promatraju oba operatera, dva pisača, sinoptičke ploče s signalizacijom, displaya selektivnog poziva i telefonskog posrednika.Svi elementi opreme ergonomski su dimenzionirani, oblikovani i locirani u prostoru prema općim načelima za ovu vrstu radnog procesa i posebnim zahtjevima u konkretnom slučaju. Projektno rješenje je provjereno radnim modelom upravljačkog prostora i opreme te prezentirano investitoru.Odredeni su zahtjevi za projekt rasvjete te usklađene boje i materijali opreme prostorije DC-a s opremom već useljenog objekta. Sve prostorije dispečerskog centra nalaze se u podrumskom prostoru bez vizuelnog kontakta s vanjskim svijetom.

3.1 Rasvjeta i upravljački stol

Na upravljačkom stolu ispred svakog operatora nalazi se slobodnostojeća tastatura pomoću koje on preko ekrana komunicira s računalom. Iza tastature (na kosoj površini radi lakšeg pregleda) ali još uvijek u području normalnog dohvata nalaze se uz svako radno mjesto display selektivnog poziva i telefonski posrednik. Zahtijevala se je slobodna radna površina za povremeno ručno bilježenje evidencija. Stoga se je površina za pisanje spojila za oba operatora u srednji produžetak stola, što je ujedno omogućilo da se izvede dobra nivelacija rasvjete za dvije sasvim različite vrste rada koje zahtijevaju različitu jačinu rasvjete.

Niži nivo rasvjete (300-400 luxa) potreban je u području ekrana kako bi se povećalo ras poznavanje teksta, jer jača i ambijentalna rasvjeta izaziva refleksije na ekranu i unamjuje kontrast simbola. Viši nivo rasvjete potreban je za rad s papirnatom dokumentacijom. U tom smislu, u idejnom projektu dispečerskog centra, dani su precizni zahtjevi za izradu projekta rasvjete koji na žalost ipak nisu uvažavani (slika 2.).Da bi se izbjegla refleksija na ekranima predvidena je poludifuzna rasvjeta koja se postiže uvlačenjem armatura u strop i njihovim prekrivanjem rešetkama u ravnini stropa. Za potpuno eliminiranje refleksije trebalo je postaviti "štit" - sjenilo na potezu rasvjete iza ekrana, ili skositi površinu stropa prema zidu, te postaviti sjenilo na potezu rasvjete ispred operatora za zaštitu od direktnog bljeska (sl. 2.).

3.2 Oblikovno funkcionalne karakteristike

Veličina upravljačke prostorije je za potrebnu veličinu stola s ekranima koji se u njoj nalaze, relativno premala(6,10x6,20 m do sinoptičke ploče). Na svijetlom kompjuterskom podu, nalazi se trokraki zaobljeni, drveni upravljački stol i ovalni stalak za fiksnu postavu 3 ekrana, čije forme proizlaze iz funkcijske analize dosega i vidnoga polja . Sinoptička ploča je svijetle površine, a ovješeni strop bijele boje. Stijena prema ulaznom prostoru je ostakljena i prekrivena bijelim zastorom-lamelama.Dvije površine zida kompletno su obložene tamnim (!) drvom, iako je u idejnom projektu predvidena svijetla drvena obloga. Kompletna kombinacija boja i detalji drvenih obloga, stola i opreme u izvedbi su preuzeti iz projekta

opreme zgrade u cjelini. Ta solucija nije bila dobra jer su zahtjevi na opremu upravljačke prostorije specifični i drugačiji. Obloga zidova je morala biti svijetla.

3.3 Rezultati ankete (razgovora) i kritički osvrt

3.3.1 Opći dojam o prostoriji je iznenađujuće loš: nered, hrpe papira, teka, fascikala,stol je pretrpan, oštećen, oguljen, raskliman, neugodna i mračna atmosfera koja pritišće;operatori su nervozni i nezadovoljni. Podrumska prostorija bez vizuelnog kontakta s vanjskim svijetom psihički izaziva nesigurnost i nezadovoljstvo ljudi.

Što se je dogodilo? Projekt dispečerskog centra raden je na istim principima i s istim znanjem kao DC-Gradske plinare Zagreb, koji, medutim, vrlo dobro funkcionira s aspekta čovjeka-korisnika. Anketirala sam dispečere i opširno razgovarala o svemu što ih smeta, sjedila sam na radnome stolcu za upravljačkim stolom i promatrala što se zbiva.

3.3.2 Stol je funkcionalno i pregledno dimenzioniran što omogućava nesmetan pogled na sve upravljačko-nadzorne elemente.

Dosezi na upravljačkom stolu, medutim, nisu najpovoljniji. Previše su udaljena tipkala, koja se često koriste, jer se nalaze na maksimalnom dohvatu ruke. Prema ergonomskoj analizi u projektu taj problem nije postojao. Zašto je sada udaljenost veća? Zato što su naknadno ugradeni telefonski posrednici većih dimenzija i drugačijeg rasporeda nego što su bili u projektnom zadatku definirani. Stol se je zbog toga čak naknadno morao adaptirati. Projektom su predvidene jednake telefonske garniture za svakog operatora, ali u stvarnosti one ipak po funkciji nisu jednake pa jedan dispečer mora čak dolaziti na drugo radno mjesto za uspostavljanje odredenih veza. Na stolu se nalaze i 2 telefonska aparata koji su u početku služili kao provizorij pa su tako iz navike ostali do danas iako nisu neophodni. Zbog naprijed navedenog za upravljačkim stolom nastaju ponekad smiješno-nespretne radne situacije kada operater treba istovremeno obuhvatiti tri udaljene točke na stolu što uzrokuje neprirodne pokrete ruku i položaj tijela.

Mnogo papira, teka, fascikala i evidencija velikog formata leži okolo u neredu. Zašto? Iz razloga što ima mnogo više pisanja i papirnate dokumentacije nego je bilo projektom predvideno. Stoga nema dovoljno ormara i površina za odlaganje papirnate dokumentacije pa je i stol s njome zatrpan. Zbog toga, pak, na stolu nema dovoljno površina za pisanje što ljuti operatora. Iz istog razloga stol nema pretince za pohranjivanje dokumentacije. Dva mala pretinca koja su bila predvidena za odlaganje teke i olovke, sada su polomljena jer "smetaju za noge", a stol je raskliman i oštećen. Očito je da neadekvatni uvjeti rada iritiraju operatore, čine ih nervoznim i uzrokuju njihove "neprimjerene" reakcije i nezadovoljstvo.

Tri ekrana koji se istovremeno promatraju s oba radna mjesta su dobro smještena, pregledna, lako su čitljivi znakovi ali samo ako su isključena dva reda rasvjete iznad i iza radnog stola. Tada je, medutim, atmosfera u prostoriji mračna i neprikladna za pisanje. To je praktički trajno stanje, jer kad je sva rasvjeta uključena komunikacija s ekranima je nemoguća radi refleksije.

3.3.3 Radni stolac na kotačima prema mišljenju dispečera nije prikladan. Neudoban je za dugo sjedenje, nema naslon za glavu i nije dovoljno adaptibilan. Ne valja!

3.3.4 Sinoptička ploča je velika svijetla ugodna površina s preglednom grafičkom šemom plinske mreže i svjetlosnom signalizacijom. Jedina ublažava tmuran i "težak" prostor. Operatori na nju nemaju prigovora.

3.3.5 Kompjutorski pod dobro služi svrsi iako je ponešto oštećen. Elektrostatskog naboja u prostorijama DC-a nema.

3.3.6 Rasvjeta je najveći problem u ovoj upravljačkoj prostoriji i najveći uzrok nevoljama korisnika koji su izrazito nezadovoljni i ogorčeni. Pišu u mračnom dijelu prostorije i dodatno naprežu vid. Izvedena rasvjeta je potpuno promašena i nema nikakve veze s analizom rasvjete i preporukama. Za projektiranje rasvjete koja je bila dana sa strane dizajnera prostora u idejnom projektu (Slika 2.).

3.3.7 Klimatizacija izaziva osjećaj hladenja i propuha. Kao i u DC GPZ dispečeri bi željeli zatvorene stolice radi zaštite križa i bubrega, konstantno zujanje klimatizera smeta ljudima koji stalno borave u prostoriji.

3.3.8 Ormara i površina za odlaganje i arhiviranje papirnate dokumentacije ima pre malo u prostoriji. Postoji mogućnost postave dodatnih ormara i polica na zidu iza leda operatora.

3.3.9 Zatvoreni podrumski prostor bez direktnog vizuelnog kontakta s vanjskim svijetom dispečeri osjećaju kao veliki nedostatak. Oni bi željeli makar preko kamere i ekrana imati vezu i sa svijetom i pogled na otvoreni prostor. To je poznati psihološki efekt nelagode i nesigurnosti ljudi koji borave u objektima bez prozora.Pogledati u nebo i konstatirati kakvo je vrijeme iskonska je potreba čovjeka kao djelića prirode. Upravo zbog tog zatvorenog prostora trebala je atmosfera u upravljačkoj prostoriji biti svjetla, sa žućkastom drvenom oblogom zidova i dnevno bijelom rasvjetom. Stoga smatram greškom što sam kao projektant prihvatila kompromis i pristala na postavu tamne obloge zidova samo zato jer je ona takva u cijelom objektu.

3.4 Ukupni nedostaci i smetnje u nadzorno-upravljačkoj prostoriji DC-INA Naftaplin

- previše udaljena mjesta dohvata na komandnom stolu za čestu upotrebu
- nisu dobro izvedene kombinacije veza u telefonskom posredniku
- još ima mnogo ručne papirnate dokumentacije, stoga je
- pre malo ormara i polica za odlaganje dokumentacije
- apsolutno loša rasvjeta
- radna fotelja neudobna i nefunkcionalna
- klimatizacija zuji i stvara propuh
- zatvoreni podrumski prostor uz tamnu oblogu zidova stvara nelagodu, pritisak i nezadovoljstvo radnika.

3.5 Razlozi za tolike nedostatke u upravljačkoj prostoriji

- neprecizni ulazni podaci za dimenzije ugradenih uredaja u komandni stol
- netočni ulazni podaci za predvideni način rada
- neprihvaćanje uputa za izvedbu rasvjete
- loše odabrana radna fotelja od investitora
- kompromis dizajnera s investitorom za izvedbu tamne obloge zidova.

4. ZAKLJUČAK

Razvojem tehnologije nastaju nova radna mjesta kompjutorski vodenog nadziranja i upravljanja tehnološkim procesima. Takva radna mjesta imaju specifične uvjete rada,opremu s ekranima, pa na tim radnim mjestima nastaju i nove, do sada nepoznate smetnje čovjeku pri radu.

Ergonomski prostudiranim i oblikovanim radnim mjestima i radnom okolinom otklanjaju se svi nedostaci. Stoga sam se u ovom radu odlučila za analizu uspješnosti izvedbe dvaju centara s takvim radnim mjestima, u namjeri da rezultati rada budu korisni projektantima i investitorima budućih sličnih projekata. Unatoč jednakog dizajnerskog pristupa u projektiranju, analizirani primjeri pokazuju izrazito različite rezultate s gledišta čovjek-stroj. Osnovne pretpostavke za realizaciju dobrih dispečerskih centara su:

- što preciznija izrada projektnog zadatka
- poštivanje dizajnerskog projekta kroz izvedbu i korištenje
- dobra suradnja dizajnera sa članovima tima
- obavezna stručna ergonomska analiza detalja i cjeline svakog dispečerskog centra posebno, iz koje proizlazi oblik stola, postava ekrana i organizacija prostora. Rješenja se ne mogu kopirati!
- rasvjeti treba posvetiti posebnu pažnju jer ona ima kod radnih mjesta s ekranima izrazito važnu ulogu
- osposobljavanje kadra za rad u DC-u unaprijed.

4.1 Ostala zapažanja:

4.1.1 Prostorija za odmor, vezana uz upravljačku prostoriju je svakako neophodna i trebala bi biti opremljena ugradenom mini kuhinjom..

4.1.2 Klimatizacija s tehnološkog aspekta nije neophodna u upravljačkoj prostoriji.

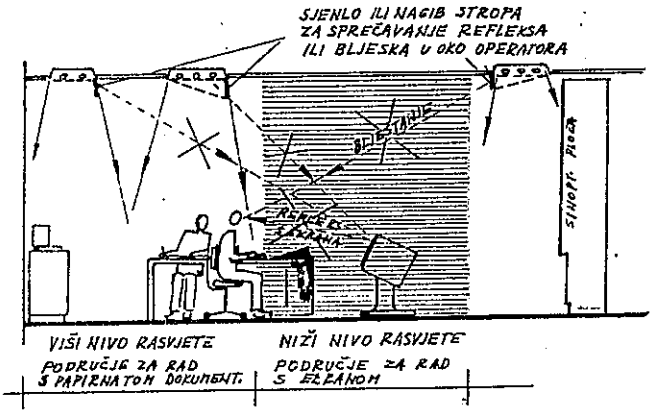
4.1.3 Papirnate dokumentacije i dodatnog ručnog bilježenja će svakako u DC-ima ostati više nego što se pretpostavljalo. Potrebno je stoga predvidjeti veće površine stola za pisanje, površine za odlaganje i pohranjivanje dokumentacije.

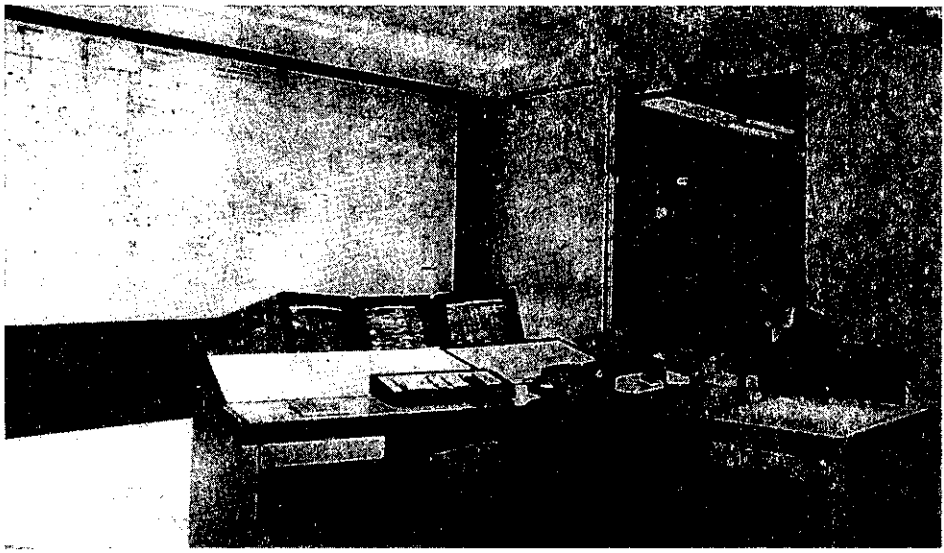
4.1.4. Tepihe ne stavljati na kompjuterski pod jer pod ima važnu osobinu odvodenja elektrostatskog naboja (ako je propisno postavljen). Tepihom se elektrostatska vodljivost poda anulira.

4.1.5 Sinoptička ploča je sporedna "pozadina", pomoćni ali ipak koristan prikaz ukupne situacije sistema. Ona svojom veličinom dominira i diktira veličinu prostora, što nema svrhe osim da ostavlja impozantan dojam na posjetioce. Ona može biti manja i bliže postavljena.

4.1.6 Veličina nadzorno-upravljačke prostorije mora biti takva da je omogućeno normalno odvijanje rada. Monumentalne dimenzije nemaju funkcionalnog opravdanja, služe za impresioniranje posjetilaca i image firme.

4.1.7 Utjecaj kvalitete prostorije na korisnike. U ugodnoj radnoj prostoriji, funkcionalnoj i ispravno koncipiranoj, ljudi su smireni i zadovoljni. U radnoj prostoriji u kojoj ima mnogo smetnji, radnici su napeti, nervozni, nezadovoljni, "agresivni" prema okolini koja na njih djeluje negativno. Mnogo svoje energije troše na svladavanje smetnji iz okoline. Veća je vjerojatnost da će takav umoran, nervozan i nezadovoljan čovjek pogriješiti pri radu nego što će se pogreška dogoditi smirenom i zadovoljnom dispečeru.





Slika 2. Analiza rasvjete i fotografija upravljačke prostorije DC INA Naftaplin

5. LITERATURA

1. Cakir A., Hart D.J., Stewart T.F.M.: Bildschirmarbeitsplätze,Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1980,
2. Haseke H.:"Der ergonomische PC-Arbeitsplatz",Časopis AIT-architektur Innenarchitektur technhicher Ausbau 1988, No 10, Str. 148-150.
3. Jeličić-Plavec M.:"Dizajn radne okoline u nadzorno-upravljačkim centrima",Časopis "Končar-Stručne informacije br. 4, 1981, str. 53-58.
4. Jeličić-Plavec M.:"Dizajn nadzorno upravljačkih prostora", Zbornik radova CIGRE, grupa 32, Opatija 1983.
5. Jeličić-Plavec M.:"Analiza oblikovanja radnog mjesta za obradu informacija",Zbornik radova Skup o konstruiranju, Zagreb, 1984.
6. Krueger H.,Müller-Limmroth W:"Arbeiten mit dem Bildschirm-aber richtig",Bayerisches Staats ministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 1981.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr. Nikica Vuletić, dipl. ing.
PODUZEĆE "RADE KONČAR-INŽENJERING", Zagreb

Referat broj 1.05

OPREMA INFORMACIJSKIH SUSTAVA - POGONSKA ISKUSTAVA ODRŽAVANJA

SADRŽAJ:

U članku se iznose iskustva dobivena višegodišnjim praćenjem rada opreme procesnih informacijskih sustava.
Statistički su obrađeni podaci o kvarovima na mini i mikroračunarskoj opremi za pojedine tipične objekte.
Obavljena je analiza predviđenih metoda održavanja te neke specifičnosti njene konkretne primjene na održavanje opreme na terenu, organizaciju službe održavanja kao i njenu kadrovsku i tehničku opremljenost.

A long period experience of monitoring of proces informatic systems in operation is given in this article.
For some typical plants computer equipment fault statistics is presented.
Analysis of suggested maintenance methods has been done and its influence on field maintenance application, field service organisation and its manpower and technical resources.

1. UVOD

Problematika održavanja računarskih sustava jedan od značajnih aspekata njihove primjene posebno u profesionalne svrhe.

Korektnim projektom, a potom izvedbom informacijskog sustava moguće je ostvariti njegovu funkcionalnost. Složenost i narav upotrebljene opreme zahtjevaju međutim i nakon ostvarenja pune funkcionalnosti sustava, daljnju neprekidnu brigu o opremi kako bi postignuta funkcionalnost bila održana kroz razumno dugo vremensko razdoblje.

Aspekt pouzdanosti informatičkog sustava prisutan je kod samog projektiranja gdje je kod rješavanja projektnog zadatka obvezatno ugrađeno i

razmatranje pouzdanosti predložene konfiguracije. Krajnja konfiguracija je u znatnoj mjeri i rezultat razmatranja posljedica koje bi imao ispad cjelokupnog sustava ili pojedinih njegovih djelova. Ujedno se već u početnim fazama izgradnje sustava razraduje cjelovita strategija održavanja opreme vodeći računa kako o kadrovima tako i o izvorima servisnog materijala.

Poduzeće "Rade Končar-Inženjering" značajan je proizvođač informatičkih sustava s širokom primjenom u nizu privrednih djelatnosti. Informacijski sustav kao krajnji proizvod sastavljen je iz niza međusobno zavisnih cjelina. Sve ove cjeline (računarski hardware i software, oprema sistema veza, oprema napajanja el. energijom) funkcionalno su objedinjene i gotovo ravnopravno sudjeluju u ostvarenju ispravnog rada sustava. Iz toga razloga nužno je bilo objediniti i službu održavanja. Korištenje naime postojećih službi, a misli se u prvom redu na servis isporučioca računarskih jedinica, dovelo bi do bitnog smanjenja efikasnosti servisiranja. Razlog tomu je što znatan broj kvarova nije u prvom trenutku moguće pobliže locirati pa bi, ukoliko ne bi postojala jedinstvena služba održavanja, dolazilo do mogućih nesporazuma i kašnjenja s početkom intervencije, a zbog pogrešne procjene nadležnosti servisne službe.

Praktički od samoga uključenja u informatičku djelatnost formirana je i služba održavanja koja je poprimala različite organizacione forme, ali su zahtjevi bili u pravilu u okviru slijedećih djelatnosti:

-u fazi projektiranja kontroliraju se projektna rješenja da bi se osigurala kvaliteta opreme i rješenja s aspekta zahtjeva na pouzdanost kao i uniformnost te kompatibilnost opreme u cilju smanjenja potreba za količinom uskladištenih rezervnih djelova.

-u fazi prihvaćanja računarske opreme kontrolira se korektnost isporučenih količina, zatim testira ispravnost pojedinih jedinica konfiguracije kao i onog djela rezervnog materijala za koji je to moguće obaviti.

-slijedeća faza u pravilu je integracija sustava kod proizvođača u kojoj servisna služba nadzire opremu te ovisno o trajanju ove faze provodi, u za to predviđenim terminima, redovito održavanje opreme.

-po isporuci sustava dolazi do definitivnog puštanja opreme u pogon nakon čega počima garancijski period gdje servisna služba Prodavaoca vodi punu brigu kako o preventivnom tako i o korektivnom održavanju sustava.

-istekom garancije Kupac odlučuje u kojoj će mjeri brigu oko daljnjeg održavanja opreme preuzeti sam odnosno prepustiti servisnoj službi za koju smatra da to može stručno obaviti.

-u fazi redovite eksploatacije sustava vodi se pored redovitog i korektivnog održavanja i briga o tehnički opravdanim poboljšanjima opreme kao i nadopunama rezervnog servisnog materijala ovisno o iskustvima u praksi.

2. STRATEGIJA ODRŽAVANJA

Održavanje računarskog sustava složen je proces na koji utiče čitav niz činilaca djelom tehničke a djelom ekonomske prirode. Korisnik mora donijeti niz odluka koje možemo svrstati u najmanje pet grupa:

1. Planiranje kadrova

Osnovni pristup je što je moguće točnija procjena vremenskog angažmana servisnog osoblja na zadanom volumenu opreme. Djelom su to poslovi za koje je unaprijed moguće utvrditi potrebno vrijeme (redovito održavanje) dok je za ostale potrebno izvršiti procjenu na temelju MTBF.

2. Školovanje

Specijalistička znanja postižu se dijelom kod proizvođača računarske opreme,

a dijelom kroz samostalan rad na opremi uz uvjet da je osigurana potrebna dokumentacija i sva potrebna pomagala opće i usko specjalističke namjene.

3. Instrumenti, alati i pribor
Radi se dijelom o instrumentima i alatima opće namjene, a dijelom o posebnim pomagalima striktno namjenjenim održavanju pojedinih jedinica. Pored toga nužno je osigurati diagnostičke programe, potpunu tehničku dokumentaciju i njenu dopunu i ispravke

4. Logistika
Omogućava nam da razradimo koncepciju podrške instaliranoj opremi količinama i vrstom rezervnih djelova koji će dati zahtjevanu razinu podrške uz optimalne ekonomske efekte. Pri tome nam je osnovni zahtjev raspoloživost sustava koja je tim više značajna jer se radi o primjeni na upravljanje kontinuiranim procesima (pr. proizvodnja i distribucija elektroenergije).

5. Podrška
Potpunu autonomnost servisne službe nije moguće postići, te je važno osigurati dodatnu podršku, u našem slučaju proizvođača računarskih jedinica. Time se osigurava redovita dobava rezervnih djelova, popravak onih jedinica koji se obavlja samo tvornički, korektan dotok informacija o eventualnim poboljšanjima bilo opreme bilo programa i sl.

Ekonomski kriteriji cijene dobave i održavanja opreme uspoređuju se s efektima mogućih ispada sustava u eksploataciji i praktički se dolazi do slijedećih zaključaka:
-Gotovo u pravilu sustav se izvodi u dvostrukoj konfiguraciji s vodećim i pratećim računalom (računalima).
-U pojedinim segmentima udvojenog sustava unosi se daljnja redundancija u vidu višestrukih kritičnih jedinica (disk jedinica, disketa, terminalskih priključaka, ispisnih i video terminala, komunikacijskih jedinica). To omogućava da uz jednostavne zahvate ili čak bez njih računalo radi i obavlja svoju osnovnu funkciju sve do definirane minimalne konfiguracije prekoračenjem koje se funkcionalnost gubi.
-Geografska udaljenost pojedinih segmenata sustava uvjetuje i posebne kriterije distribucije rezervnog materijala na hijerarhijskom principu. Osnovni kompleti koji omogućuju glavninu korektivnih zahvata na razini zamjene modula distribuirani su po pojedinim lokacijama gdje je oprema instalirana. Istovremeno se centralno održava značajnije skladište materijala potrebnog kako za popravak prikupljenih neispravnih modula/jedinica na razini zamjene komponenti tako i za dopunu terenskih kompleta sa djelovima koji po svojoj kritičnosti i zastupljenosti u konfiguracijama mogu postojati samo na ovoj razini skladišta.
-Osoblje tehnički osposobljeno za zahvate na opremi također je dvostruko raspoređeno tj lokacijski i specijalistički. Dio osposobljenog osoblja lociran je uz samu opremu i u pravilu samostalno može locirati kvar i otkloniti ga ili privremeno eliminirati njegove poslijedice. Središnja pak servisna služba osposobljena je za složene terenske zahvate, naknadne popravke jedinica do razine komponenti, zahvate preventivnog održavanja kao i druge djelatnosti koje su nužne za funkcioniranje servisne službe. Specjalistička pak podjela osoblja očituje se u tome što je dio osoblja osposobljen za sve rutinske radnje dok drugi dio obavlja kritične popravke u uvjetima kada se na osnovi definiranih dijagnostičkih procedura kvar ne može locirati.

Govoreći o dislociranju osoblja kao i rezervnog/potrošnog materijala stvar je koncepcije konkretnog realiziranog modela eksploatacije sustava, vlasništvo materijala kao i pripadnost servisnog osoblja pojedinih

hijerarhijskih razina. U većini kod nas ostvarenih organizacijskih modela dislocirana je oprema podržana kompletima rezervnog materijala u vlasništvu kupca, a ujedno se njegovo osoblje kroz specijalističko obrazovanje osposobljava za primarno dijagnosticiranje kvara i dio korektivnih zahvata. Također se kao prihvatljiva pokazala praksa da se tehničkom osoblju korisnika prepusti briga o održavanju mikroprocesorskih daljinskih stanica dok Končar kao proizvođač osigurava strojni popravak zamjenjenih modula.
Razlozi u prilog ovog rješenja su:
-visok stupanj modularnosti i ugrađenih dijagnostičkih indikacija
-veliki broj istovrsnih uređaja omogućava niske troškove posjedovanja vlastitog rezervnog materijala
-visoka interakcija informatičke opreme s primarnom opremom postrojenja

3. ISKUSTVA ODRŽAVANJA SUSTAVA U VIŠEGODIŠNJOJ EKSPLOATACIJI

Informatički sustav uspostavlja se kao unikatni proizvod u toku duljeg vremenskog razdoblja gdje se mogu uočiti faze projektiranja, dobave računala, prihvata i objedinjavanja opreme te implementacije programske podrške kod proizvođača, a zatim montaža kod krajnjeg korisnika. Nakon toga slijedi period stavljanja u pogon te garancijski period. U svim ovim fazama punu odgovornost za sustav snosi proizvođač, a prestankom garancije briga o računarskom sustavu prepušta se vlasniku koji dalje traži najpovoljniji način održavanja cjelokupnog sustava u eksploataciji.

Oprema u ovako uspostavljenom sustavu postigla je traženu funkcionalnost te bi praktički, uz odgovarajuće napore na održavanju, mogla tu funkciju obavljati za sve vrijeme dok primarni dio procesne opreme obavlja svoju funkciju u odgovarajućim granicama udovoljavajući tehničkim i ekonomskim kriterijima.

Za razliku od primarne opreme postrojenja (pr. generatori u HE, transformatori u prijenosnim postrojenjima i sl.) koja ima dug eksploatacioni period informatička oprema podvrgnuta je bitno drugačijim zakonitostima. U vrijeme odabira opreme kao i najviše nekoliko godina iza toga oprema je tehnološki u vrhunskoj svjetskoj klasi. Ujedno se u ovom razdoblju broj kvarova postupno smanjuje i napokon stabilizira ušavši u najpovoljniji dio krivulje kvarova. Cilj je korektnim pristupom održavanju opreme kao i osiguravanjem što boljih uvjeta okoline zadržati ovaj trend minimalnog broja kvarova. Kako se radi o kombinaciji elektroničkih i elektromehaničkih komponenti realno, prije ili kasnije, nastupa razdoblje u kojem kvarovi postaju sve učestaliji. Istovremeno pak tehnološki razvitak dovodi do pojave novih generacija koje staru opremu potiskuju i po mogućnostima i po cijeni. Porastom generacijskog jaza među opremom postupno se gubi i smisao zahtjeva na kompatibilnost tako da stara oprema u jednom trenutku postaje praktički izolirana u pogledu bilo kakvih mogućnosti poboljšanja i zamjene dotrajalih cjelina. Jasno je da ovo ne narušava funkcionalnost našeg promatranog sustava koja je postignuta u okvirima njegovih mogućnosti u vrijeme nastanka, ali je također jasno da rezervni i potrošni materijal kao i ugradnja novih opcija postaju sve ekskluzivniji, a time posljedično i sve skuplji. Razlozi tome su kako u cijeni čuvanja djelova koji se više ne proizvode kao i u opravdanoj politici proizvođača da stimulira kupovanje nove opreme naspram održavanja stare. Sve ovo dovodi do toga da realna cijena održavanja postaje nesrazmjerna vrijednosti održavane opreme pa time zamjena cjelokupne informatičke opreme ili pojedinih njenih djelova postaje nužnost.

Tablica I. Pregled kretanja osnovne cijene jednog karakterističnog skupa rezervnih djelova:

	part.no.	03/82	05/84	09/85	12/88
ventilator	12-11714	140	145	159	160
filter RL02	12-13097	48	50	61	73
logika VT100	54-13009-03	1272	1312	1525	1525
glava pisača	70-09883	318	328	392	536
ukupno USD:		1778	1835	2137	2294

Iz brojki se vidi blagi porast koji je realno objašnjiv iznosom kamate na zalihe materijala. Međutim ono što tabela izravno ne pokazuje je da cijena logičke pločice video terminala 1982. god. uspoređena sa cijenom samog terminala pretstavlja polovicu njegove tadašnje dobavne cijene dok se danas za protuvrijednost ove iste pločice može kupiti dva suvremena videoterminala neusporedivo boljih svojstava!! Ovakvih primjera je čitav niz i pretežno su drastičniji od navedenog.

Prethodni primjer ujedno pokazuje koliko je važno pravilno procijeniti količine rezervnih djelova koji će biti korišteni u nekom razdoblju. U tome nam pomažu podaci o očekivanom broju kvarova pojedinih djelova izračunati iz pripadnih MTBF podataka. Isti su, iako znanstveno utemeljeni, ipak predviđanja koja u većoj ili manjoj mjeri mogu biti točna. Razumljivo je da su predviđanja to bliže stvarno dobivenim rezultatima što je veći broj obuhvaćenih jedinica. Važno je stoga na temelju proračuna predviđene potrebe redovito korigirati praktičnim rezultatima s terena. Iz tog razloga uvedene su metode praćenja rada opreme, evidentiranja kvarova i svih parametara povezanih uz njihovo otklanjanje. Mjere se vremena stvarne raspoloživosti sustava, vremena potrebna za otklanjanje kvara, a u cilju poboljšanja istih. Pri tome se stvarni porast efikasnosti održavanja u većoj mjeri postiže organizacionim zahvatima, a u manjoj mjeri povećanjem efikasnosti osoblja. Ujedno se kao bitan faktor prati produktivnost servisne djelatnosti kroz praćenje svih troškovnih kategorija službe.

Kao primjer praćenja servisne aktivnosti mogu poslužiti neki rezultati dobiveni na informatičkom sustavu ZEOH-a. Sustav je u pogonu niz godina, a okosnicu su mu grupe računala raspoređene u Republičkom DC-u u Zagrebu te u regionalnim centrima daljinskog upravljanja u Osijeku, Rijeci, Splitu i Zagrebu. Međusobno povezana 24 računala uključena su u prijenosni elektroenergetski sustav preko gotovo stotinu mikroprocesorskih daljinskih stanica.

Tablica II. Pregled broja kvarova na računalima u sustavu ZEOH-a

godina	86		87				88				89				90	
kvartal	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
centr. jedinice		1		2		2	1	1	1	1	1					
komunikacijske	2		1	1	1		1	2	6			1	1	2	1	1
v. terminali		1	2	1		2	1	5	3	1	2	2	2	2	4	2
pisači	1		4	1	2	2	6	4	2	3	3	6	3	2	1	2
diskovi		1		2			5	2	3	3			1	1	2	
diskete	2		2	3	1	1		1	1	2				1	2	1
magn. trake					1		1	1		4	2			1	1	1
napajanje				1	1	1		1					4	2	2	
podsistem				1	2			1	2	1		3				
ostalo							1	2		1						
ukupno	5	3	9	12	8	8	16	20	18	16	8	12	11	11	13	7
udio elektromeh.	1	1	5	3	1	3	8	4	4	8	2		4	3		

Na osnovu broja instaliranih jedinica, broja kvarova i ukupnog vremena u radu može se izračunati MTBF za pojedine funkcionalne cjeline i dobiva se:

Tablica III. MTBF za pojedine funkcionalne cjeline

jedinica	broj	ukupno sati u pogonu	broj kvarova	MTBF
osnovni dio	22	35 040	22	35*10E3
komunikacijska	62	35 040	20	108*10E3
video term.	24	35 040	30	28*10E3
pisači	36	35 040	42	30*10E3
diskovi	20	35 040	20	35*10E3
diskete	22	35 040	17	45*10E3
magnet. trake	8	1 770	12	1180
podsistem	22	35 040	10	77*10E3

Podaci su bitno bolji od očekivanih:
-radi se o uzorku u kome su obuhvaćena računala u stabilnom radu
-oprema nije izložena stalnim isključivanjima/uključivanjima jer radi kontinuirano 24h.
-električka, klimatska okolina i čistoća zraka su korektni
-preventivno održavanje obavlja se 4 puta godišnje
-unešene su bitne korekcije hardvera koje su rasteretile kritične jedinice (smanjen broj memorijskih pločica korištenjem memorija većeg kapaciteta , instalirani "winchester" diskovi umjesto standardnih)
-manji dio kvarova, koji nisu bili trajne naravi, nije zabilježen

Iako sustav u pravilu funkcionira i kada je neko od pojedinačnih računala u kvaru ipak je korektno sagledati izdvojeno one kvarove koji su doveli do ispada pojedinih računala. Radi se dakle o kvarovima na jedinicama unutar kritičnog minimuma za osiguranje funkcionalnosti.

Na grupi od 22 promatrana računala takvih je kvarova bilo ukupno 48 u razdoblju od 35 000 h pa iz toga proizilazi vrijednost MTBF-a od 16 000 h.

Ujedno je zabilježeno da od gornjeg broja kvarova samo 2 puta je došlo do takvih okolnosti gdje je izostala funkcionalnost sustava na razini jednog CDU-a.

Podaci za mikroračunarske daljinske stanice dobiveni su na temelju podataka o prometu modula koji se dostavljaju sa pojedinih objekata SDV-a SRH-a na popravak u servis.

Tablica IV. Ukupni broj neispravnih modula na DAS-ovima

	I 1987	I 1988	I 1989	I
NAPAJANJE	I 12	I 14	I 11	I
CPU & MEM	I 24	I 33	I 31	I
UL/IZL	I 31	I 40	I 26	I
KOMUNIK.	I 34	I 37	I 32	I
SVEGA	I 101	I 124	I 100	I

Kako se radi o modulima podjednakog stupnja složenosti to rezultat otprilike prati i zastupljenost pojedinih modula u konfiguracijama.

4. ZAKLJUČAK

Možemo ustvrditi da se jedan na tehničkim uredajima zasnovan sustav ponaša u potpunosti u okvirima poznatih zakonitosti i da se veća otstupanja od predvidenog ponašanja ne treba očekivati. U okviru tih zakonitosti potrebno je odrediti i najpovoljniji omjer ulaganja u održavanje sustava i povratka ovih sredstava u vidu održanja funkcionalnosti sustava. Cilj ovog članka bio je sadašnjim i kao i potencijalnim korisnicima sustava pomoći oko donošenja nekih odluka iz domene planiranja održavanja, ali nema pretenziju ponuditi gotova rješenja jer ona trebaju proizići iz svake pojedine situacije.

5. LITERATURA

"Održavanje opreme SDV-EES Hrvatske" - studija (1985.) Elektroprojekt
"Self Maintenance Handbook" (1987.) Digital
"A&SG PRICE LIST" (1982.,1984.,1985.) Digital
"Hardware spare kits and spare parts price list" (1989.) Digital

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – ĆIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dubravko Balasko, dipl.inz.
Stjepan Pavlek, dipl.inz.
"ELEKTRA" KRIZ

Referat broj 1.06

SREDNJENAPONSKA MREZA DISTRIBUCIJE "ELEKTRE" KRIZ NADZOR STANJA MREZE U PRIPADNOM CENTRU VODENJA

SADRZAJ

Referat obrađuje elektroenergetsku mrezu "Elektre" Kriz kao i njene specificnosti iz kojih su proizasle potrebe za nadzorom nad srednjenaponskim (SN) dijelom mreze. Pod SN mrezom podrazumijeva se dio energetskog sistema "Elektre" Kriz koji obuhvaca 10 kV vodove i TS 10/0,4 kV. Definiranjem podataka koji su potrebni za efikasno nadziranje stanja SN mreze, a nisu prisutni u postojecem sistemu daljinskog vođenja elektroenergetskog sistema naponskog nivoa 35 kV TS 35/10 kV, proizasli su zahtjevi za funkcijama koje mora imati programski sistem za nadzor stanja SN dijela mreze. Uz kratak opis funkcija programskog sistema dato je rjesenje sistema sa opisom nadzornog centra pripadnog područja i njegovom tehnickom izvedbom.

1. UVOD

Postupnom elektrifikacijom sadasnjeg podrucja "Elektre" Kriz zbog karaktera potrosaca i njihovih lokacija nastajale su radijalne mreze koje su kasnijom organizacijom rada i poslovanja prerasle u srednjenaponske mreze pripadnog podrucja pojedinog pogona. Kako "Elektra" Kriz sa svojih pet pogona Daruvar , Kriz , Kutina , Lipik i Nova Gradiska pokriva veliko geografsko podrucje povrsine 5047 km² ruralnog podrucja na kojem je 36,2 % od ukupne potrosnje el.energije u kucanstvu, odnosno 58 % potrosnje na niskom naponu.

Prilagodavajuci se potrosacima elektroenergetska mreza zadrzala je karakteristiku mreze radijalnog tipa ali s mogucnoscu dvostranog napajanja na 35 kV dijelu i djelomicno na 10(20) kV dijelu. Mreza je izvedena pretezno zracnim vodovima. Vodovi srednjenaponske mreze 10(20) kV su relativno dugi, od toga najduljI 24,208 km , a prosjecna duljina vodova izmedu dvije TS 10/0,4 kV je 1,6 km s puno otcjepa od kojih je najduzi 12,720 km. Ovakva konfiguracija srednjenaponske mreze onemogucava dvostrano napajanje velikog dijela potrosaca i time bitno smanjuje pouzdanost njihove opskrbe u slucaju kvara na izvoru. U normalnim energetskim prilikama izvori srednjenaponske mreze (TS 35/10 kV) nisu povezani u paralelu,a vodovi se ne nalaze u petlji.

Da bi bilo sto manje prekida isporuke el. energije potrebno je imati sto bolji uvid u rad i odrzavanje, te sto efikasnije vodenje srednjenaponske mreze. U tabeli I prikazani su podaci o broju trafostanica 35/10 kV i 10/0,4 kV sa instaliranim snagama, te duljina vodova 35 kV i 10(20) kV po pojedinim pogonima, a na slici br.1 dat je geografski prikaz ukupne mreze i trafostanica.

2. DEFINIRANJE PODATAKA POTREBNIH ZA EFIKASAN NADZOR SN MREZE

Procesni informacijski sistem "Elektre" Kriz, koji je vecim dijelom realiziran, vec je bio opisivan u literaturi (3), (4), (5) i (6).

Uz dosadasnje informacija o procesnom dijelu informacionog sistema "Elektre" Kriz moze se dodati da je fizicka realizacija izgradenosti sistema oko 70 %. To znaci da je kompletno realizirana mreza veza I i II faza, opremljen dispecerski centar (DC) sa racunarskom opremom, programskim sistemom i upravljackim mjestima za krajnju konfiguraciju sistema, opremljeno 15 objekata od 27 u krajnjoj fazi, sa daljinskim stanicama. Svih 15 objekata je ispitano i pusteno u rad, s tim sto je 14 daljinskih stanica ugradeno u TS 35/10 kV i posada povucena sa objekata, a jedna je u TS 110/35 kV u kojoj se nadgleda 35 kV dio postrojenja.

Dosadasnjom eksploatacijom SDV-a proizasle su potrebe za prosirenjem funkcija sadasnjeg DC na nadzor nad srednjenaponskom mrezom i njenog sto efikasnijeg vodenja. Na ovom dijelu elektroenergetskog sistema koji je i najveci po obimu postojale su velike poteskoce u njegovom vodenju zbog konfiguracije, rasprostranjenosti i nemogucnosti uvida u trenutno stanje srednjenaponske mreze. Sistem daljinskog vodenja (SDV) sa pripadnim programskim paketom omogucava upravljanje i nadgledanje u realnom vremenu postrojenja u kojima su ugradene daljinske stanice bez mogucnosti uvida u stanje kompletnog EES-a, "Elektre" Kriz kao topoloske cjeline. Na srednjenponskom dijelu postoji uvid samo u 10 kV izlaze - izvore 10 kV mreze. Zbog velicine srednjenaponske mreze (1125 TS 10/0,4 kV i 1655 km dalekovoda 10 kV) i njene specificnosti, odredili smo podatke koje je potrebno pratiti da bi informacija o sistemu bila potpuna.

2.1. Izbor podataka i funkcija

Programski sistem za nadzor i upravljanje distributivnom SN mrezom je aplikacija postojeceg programskog sistema za rad u realnom vremenu i mora podrzavati dosadasnje standardne prikaze aparata, znacenja boja, kao i ostalih sistemskih funkcija i velicina.

Tehnicka baza podataka u procesnom sistemu jedinstvena je za cijeli EES sto omogucava laganu dodatnu obradu informacija dobivenih iz sistema i njihovo sortiranje. Prilikom sifriranja elemenata SN mreze potrebno je odrediti jedinstveno rjesenje sifriranja za cijelu "Elektru" Kriz kako bi se iz same sifre moglo odrediti koji je to elemenat SN mreze, kojem pogonu, postrojenju i vodnom polju pripada.

Sve akcija na sistemu kao i do sada, biljeze se u listu dogadaja sa pridruzenim vremenom i sifrom terminala odakle je akcija ucinjena.

2.1.1.Podaci o vodu

- upisivanje stanja uzemljenja i kvara voda, sekcija ili odsjecka (Sekcija je dio voda između dva odsjecka. Odsjecak je dio voda koji se odvaja od glavnog (pojnog) i nema mogucnost napajanja s druge strane),
- odredivanje smjera toka energije kod dvosmjerno napajanih vodova (vod sa dva izvora),
- signalizacija voda u petlji ili paraleli,
- podjela na zracne i kabelske vodove
- određivanje prioriteta voda.

2.1.2.Podaci o aparatu

- upisivanje stanja rastavljaca i strujnih mostova (kabelskih glava) na vodovima,
- upis stalne granice aparata.

2.1.3.Podaci o SN podstanici

- upis stanja podstanice (ukljucena/iskljucena/uzemljena),
- prikaz jednopolne sheme vecih SN podstanice,
- upis potrošnje (snage) SN podstanice,
- upis prioriteta SN podstanice,
- naziv SN podstanice.

3. NADZORNI CENTAR PRIPADNOG PODRUCJA

"Elektra" Kriz podijeljena je na pet pogona Daruvar, Kriz, Kutina, Lipik, Nova Gradiska koji odrzavaju i vode SN mrezu svaki na svom podrucju, a sve zajedno pokriva djelatnost zajednickih sluzbi kojima pripada DC sa SDV-om, tj. u Zajednickim sluzbama vrsi se nadzor i upravljanje nad 35 kV mrezom i TS 35/10 kV. DC u Krizu za potrebe pogona vrsi ukapcanje 10 kV vodova u TS 35/10 kV, tj. ukopca. izvore SN mreze na zahtjev osoblja iz pogona. Osim izvora na SN mrezi iz DC u Krizu se nadziru rastavljaci na 10 kV magistralnim vodovima koji dijele 10 kV vod između dvije TS 35/10 kV na dva dijela. Ti vodovi su rezerva u slucaju ispada 35 kV voda, odnosno kad nema mogucnosti napajanja TS 35/10 kV sa 35 kV naponom. Sve ostalo na SN mrezi vodi pogon kojem pripada SN mreza. Uvođenjem SDV-a i povlacenjem uklopnicara iz TS 35/10 kV u pogonima su formirane stalne pogonske sluzbe.

Stvaranjem neprekidnog dežurstva u sjedistima pogona, normalno je bilo da ona vrse nadzor i vodi SN mrezu. Zbog toga se formiraju nadzorni centri za nadzor nad SN mrezom pripadnog podrucja.

Nadzorni centar pripadnog podrucja koji se nalazi u stalnoj pogonskoj sluzbi pojedinog pogona vezan je na DC u Krizu i putem tehnicke baze podataka ima uvid u cijeli EES "Elektre" Kriz.

Nadležnosti pojedinog nadzornog centra pripadnog područja u vođenju SN mreže su:

- nadziranje dijelova SN mreže koji pripada dotičnom pogonu,
- vođenje (vršenje ručnog upisa) na dijelu SN mreže koji pripada dotičnom pogonu,
- prikaz liste događaja SN mreže koja pripada dotičnom pogonu,
- ispis listi događaja na zahtjev (kopija ekrana),
- ispis obrađenih izvještaja za pripadno područje,
- prikaz svih shema SN mreže pripadnog područja i pravo na uvid svih ostalih shema EES-a na zahtjev.

Vođenje i nadzor dijela SN mreže koja ne pripada pogonu i njenom nadzornom centru pripadnog područja nije moguć. Potrebnu koordinaciju između pogona može se obaviti samo preko DC u Krizu, tj. nadređenog centra.

Nadležnosti DC u Krizu su:

- nadzor, vođenje i upravljanje 35 kV mrežom, TS 35/10 kV i rastavljačima na magistralnim 10 kV vodovima,
- nadzor SDV-a,
- uvid u cijelu SN mrezu,
- nadzor i vođenje SN mreže u slučaju ispada pojedinog nadzornog centra pripadnog područja,
- sakupljanje, kontrola valjanosti, obrada i izdavanje izvještaja za cijeli EES "Elektre" Kriz,
- arhiviranje informacija iz cijelog EES-a "Elektre" Kriz.

Daljinskim upravljanjem trafostanicama sada su kompletno pokriveni pogon Kriz i Kutina. To je bio razlog da odatle krenemo i s nadzorom nad SN mrezom. Za pogon Kriz podaci o SN mrezi su prikupljeni, slike nacrtane i mreza se nadgleda, a SN mreza pogona Kutina je u fazi prikupljanja podataka. Slike su organizirane tako da prikazuju podrucje pojedinog pogona. Na slikama je prikazano od 5 do 20 TS 10/0,4 kV ovisno o mrezi i tipu trafostanice (prolazna ili koja je na kraju odcjepa).

Slika br.3 prikazuje izgled i organizaciju jednog ekranskog prikaza.

4. KRATAK OPIS FUNKCIJA PROGRAMSKOG SISTEMA SN MREZE

Da bi se zadovoljili trazeni zahtjevi za efikasno nadziranje distributivne mreze potrebno je bilo prosiriti postojece funkcije programskog sistema realnog vremena.

U programskom paketu za vodenje SN mreze model distributivne mreze podijeljen je u dva dijela. Visokonaponski (podstanice 35/10 kV) i srednjenaponski (podstanice 10 kV) dok se topologije racunaju zasebno na razne nacine.

U visokonaponskom dijelu informacije se dobivaju iz procesa i rucnim upisom, a srednjenaponski dio dobiva informacije iz visokonaponskog dijela i rucnim upisom.

U radu sa sistemom uz dosadasnje funkcije dobivene su i nove.

4.1. Funkcija "PRIKAZIVANJE NA EKRANU"

Distributivna mreza prikazuje se kao niz objekata cija je dinamicka struktura odredena na temelju analize mreze. Ekranski prikazi novog prosirenog programskog sistema mogu sadrzavati sve elemente kao u prethodnom programskom sistemu realnog vremena bez ikakvih promjena. Uz dosadasnje prikaze dobivamo i nove.

4.1.1. Blok shema podstanice

Blok shema podstanice ili podstanice izvora koja daje pregled kako su se vodovi (transformatori) ucvorili u podstanici i podatak o medusobnoj spojenosti sabirnica.

4.1.2. SN podstanica

SN podstanica na kojoj boja elementa jednopolne sheme ovisi o naponskom stanju, simbol aparata i boja pozadine mijenja se ovisno o uklopnom stanju i granicama, a veza podstanice na vod mijenja oblik i boju ovisno o stanju veze (UK/ISK/UZEMLJEN) i granici.

4.1.3. SN vod

SN vod kojem boja voda ovisi o naponu, strujnom stanju i statusu "VOD U KVARU". Na njemu se prikazuje smjer toka energije ovisno kako je spojen na izvor ili vise izvora. Pored voda ispisuje se i najvisi prioritet podstanice koju on napaja.

4.1.4. Linijski ili zracni rastavljac, strujni most, kabelska glava

To su aparati koji rastavljaju dva SN voda, kojima boja ovisi o naponaskom stanju, a oblik o ukopnom stanju i granicama.

4.1.5. Blok shema slike

Blok shema slike prikazuje kako su medusobno ucvoreni vodovi koji ulaze u sliku preko virtualnih sabirnica koje prezentiraju skupine podstanica. Uz virtualne sabirnice prikazuje se da li postoji izvor u skupini podstanica i najvisi prioritet u skupini podstanica.

4.1.6. Organizacija slika

Prikazi SN mreze povezani su u stablo slika (biranje VISEG i NIZEG nivoa). Prikazi osnovnog nivoa povezani su preko vodova koji povezuju osnovne nivoe na raznim slikama. Uz sifru podstanice prikazuje se broj aktivnih dozvola za rad na objektu, a prikaz aparata mijenja boju pozadine ako se nalazi van stalne granice.

4.2. Funkcija "NALOZI OPERATERA"

4.2.1. Izbor slike

Uz dosadasnje nacine izbora slika prikazi mreze mogu se pozvati na ekran izborom viseg ili nizeg nivoa sifrom podstanice i izborom sa voda koji se nalazi na vise slika.

4.2.2. Rucni upis

Rucnim upisom na SN mrezi upisujemo: uklopno stanje aparata, mjerenje, upis / brisanje uzemljenja cvora ili kraja voda, vezu SN podstanice i voda, stalnih granica, upis / brisanje statusa (VOD U KVARU), prioritet SN podstanica, broj aktivnih dozvola.

Ukoliko nije dozvoljen rucni upis na slici na kojoj je dekodiran objekat, ispisuje se poruka "EKRAN NIJE PRIVELIGIRAN".

4.2.3. Privilegije

U sistemu postoje dvije privilegije:

a) Privilegija rucnog upisa SN podataka.
   Ukoliko je mreza podijeljena na podrucja, a slike pripadaju odredenom podrucju moguce je svakom podrucju pridruziti jedno upravljacko mjesto.
b) Privilegija upravljackog mjesta za upis stalnih granica.
   Stalne granice moguce je upisati samo na privilegiranom upravljackom mjestu.

4.3. Funkcija "LISTE"

Sve akcija na SN mrezi upisuju se u listu dogadaja, a elementi koji su u stanju kvara u listu kvara.

4.4. Funkcija "PLANIRANJE PARAMETRA SISTEMA"

Funkcija planiranja prosirena je sa:

a) Izbor grupe mjerenja kojom se odabire zeljena grupa mjerenja (proljece / ljeto / jesen / zima) za rucni upis mjerenja na SN podstanicama.
b) Nadleznost za funkciju upisa stalnih granica kojom se postavlja ili ponistava nadleznost za funkciju parcijalna modifikacija baze.

4.5. Funkcija "TOPOLOSKI IZVJESTAJI"

Kao ulazni podaci za analizu mreze su topologija i status elemenata mreze koje pohranjujemo na zahtjev. Svako stanje mreze pohranjujemo u odvojene datoteke i analizu vrsimo na zadnjoj ili na nekoj od prethodnih stanja mreze s tim da je svako stanje mreze vezano za jednu potencijalnu konfiguraciju mreze. Analiza mreze ne vrsi se automatski vec se moze izvesti u bilo kojem trenutku (na zahtjev). Rezultat analize je niz izvjestaja koji se mogu prikazati na ekranu ili pohraniti u datoteke.

Iz izvjestaja dobijemo niz podataka kao sto su:

- medusobna povezanost dijela mreze u pojedine podmreze i njihov sadrzaj,
- nacin na koji su te podmreze medusobno povezane,
- da li su podmreze povezane na izvor (koji i na koliko njih),
- popis izvora po podstanicama sa sumom snaga podstanica koje vod napaja,
- popis podstanica i vodova po podmrezama i jos niz korisnih podataka o samoj mrezi.

U izvjestajima uz pojedine elemente mreze ispisuju se oznake statusa ukoliko se elementi mreze nalaze u neuobicajenom stanju.

Svaki element distributivne mreze ima jedinstvenu identifikaciju (sifru) po kojoj je poznat sistemu. Sifra se koristi na prikazima i komunikacionom retku kod izbora objekta, kod biranja slika preko sifre slike ili objekata, u listama i topoloskim izvjestajima, izvjestajima pripreme podataka i integracije modela za identifikaciju objekta.

5. TEHNICKO RJESENJE NADZORNOG CENTRA PRIPADNOG PODRUCJA

U DC u Krizu opremljena su dva upravljacka mjesta sa semigrafickim stanicama. Od toga jedno upravljacko mjesto je sa 2 ekrana, a drugo sa jednim.

Uvidjelo se da semigraficke stanice mogu sluziti jedino kao upravljacka mjesta i nemogu se koristiti za druge potrebe, pa bi bile veci dio vremena neiskoristene. Zbog toga se islo na opremanje nadzornih centara pripadnog podrucja sa suvremenom opremom tj. sa PC koji pomocu programskog paketa za emulaciju predstavlja semigraficku stanicu.

Ono vrijeme kada PC radi u modu semigraficke stanice PC je upravljacko mjesto za nadgledanje SN mreze i predstavlja udaljeni terminal za procesno racunalo PDP 11/24.

Sto dobivamo sa PC:

- za priblizno istu cijenu puno vece mogucnosti,
- mogucnost koristenja PC za dodatne obrade i obrade izvjestaja u vremenu kada nije u modu rada semigraficke stanice za potrebe pogona,
- veliki izbor korisnickih alata za dodatne obrade,
- mogucnost prikljucka na lokalnu racunarsku mrezu,
- mogucnost prikljucka vise korisnika (5 asinhronih serijskih prikljucaka) kada nije u modu semigraficke stanice,
- rasterecenje DC-a sa obradama lokalnog karaktera.

Sto gubimo sa PC-om:

- ekran je manjih dimenzija pa je prikaz slika manje pregledan,
- nije predviden za neprekidni rad 24 sata dnevno.

Svi nadzorni centri pripadnog podrucja biti ce opremljeni istom opremom. U krajnjoj fazi SDV "Elektre" Kriz bice opremljen sa 2 upravljacka mjesta u DC Kriz i 5 nadzornih centara po lokacijama pojedinih pogona Kriz, Kutina, Daruvar, Lipik, N.Gradiska.

Slika br.2 predstavlja pregled upravljackih mjesta po lokacijama, a slika br.4 blok shema povezivanja DC sa nadzornim centrom pripadnog podrucja.

Nadzorni centar pripadnog podrucja osim sto ima funkciju nadgledanja i vodenja dijelova SN mreze, sto smo rijesili sa dodjeljivanjima nadleznosti, treba naglasiti jos jednom da je on dislociran u odnosu na centar daljinskog vodenja. Sva oprema, racunala i podsistem nalaze se u DC Kriz, a pojedini nadzorni centri pripadnog podrucja spojeni su komunikacijskim putevima na multipleksor racunala PDP 11/24 isto kao i upravljacka mjesta u DC.

Pojedino upravljacko mjesto nadzornog centra sastoji se od:

a) Personalno racunalo koje sadrzi:
   - CPU 32-bitni procesor 16 MHz,
   - operativnu memoriju 1 MB,
   - disketnu jedinicu 5"25" kapaciteta 1,2 MB,
   - hard disk 62 MB,
   - 14" kolor monitor,
   - OVC graficke kartice 640x48,16 boja od 256 mogucih (VGA i EGA 640x350/16 kompatibilnost),
   - matematicki koprocesor 80 387/20 MHz,
   - tastatura s YU setom 101/102 tipki,
   - paralelni prikljucak ,
   - 5 asinhronih serijskih prikljucaka ,
   - mis .

b) Pisac s serijskim izlazom.

5.1. RJESENJE KOMUNIKACIJA ZA NADZORNE CENTRE SN MREZE

Zbog velikog podrucja i geografski rasutih konglomeracija potrosnje koje opsluzuju pogoni Daruvar, Kriz, Kutina, Lipik i N.Gradiska i zbog izrazitih problema jedinstvenih komunikacija na ovom podrucju "Elektra" Kriz je sagradila sistem komunikacija koji opsluzuje sve njezine djelatnosti. Osnovica komunikacije bazirana je na vise kanalnim radio-relejnim vezama koje povezuju sve pogone sa centrom u Krizu. Tim putem rjesen je i prijenos podataka za povezivanje nadzornih centara (NC) Daruvar, Kutina, Lipik i N.Gradiska na racunala centra daljinskog vodenja (CDV) u Krizu. Nadzorni centar Kriz je u neposrednoj blizini CDV-a. Kratki opis rjesenja komunikacijskog sistema i problematike prijenosa podataka klasicnim kanalom za prijenos podataka obradeni su referatom R.4.06 - Cavtat 1988.god (6).

Svaki nadzorni centar vezan je neprekidno pripadnim dupleksnim kanalom za prijenos podataka na racunala centra daljinskog vođenja (CDV). Za ove potrebe koriste se ukupno 4 kanala u vise-kanalnom radio-relejnom sistemu za lokacije Daruvar, Kutina, Lipik, N.Gradiska i jedna telefonska parica za lokaciju Kriz. Brzina prijenosa podataka je 2400 b/s i koriste se modemi V.26, a za lokaciju Kriz modemi u osnovnom opsegu.

6. ZAKLJUCAK

Nadzor nad SN mrezom pomocu racunala i dislociranim terminalima na lokacijama odakle se nadzire pripadni dio SN mreze uvodi se iz razloga boljeg uvida u trenutno stanje SN mreze i zbog mogucnosti obrada prikupljenih informacija o SN mrezi. Jasno je da ovakav nacin omogucuje vecu efikasnost vođenja postrojenja i bolju organizaciju rada ekipa na odrzavanju.

Kod kreiranja sistema bitno je odrediti optimalan broj podataka o SN mrezi koji se unose u racunala kako nebi nevazni podaci opterecivali rad racunala, narusavali konzistentnost jedinstvene baze podataka i stvarali prema operateru losu funkcionalnost sistema.

Pravilnim izborom opreme za nadzorne centre mora se omoguciti osim nadziranja SN mreze i obrada prikupljenih podataka. Pri izboru osoba koje ce raditi u nadzornim centrima pripadnog podrucja treba voditi racuna da to budu mladi radnici koji su radili na SN mrezi i dobro je poznaju, uz uvjet da lako prihvacaju rad na racunalima.

7. LITERATURA

(1.) Projekt Informacijski sistem "Elektre" Kriz - Dispecerski centar LH 4912

(2.) Dokumentacija programskog paketa

(3.) Referat br.4.05 "Informacijski sustav "Elektre" Kriz- Domitrovic, Svarc, Brankovic, Kontic - Cavtat 1980. god.

(4.) Referat br.1.01 "Neki problemi kod određivanja kriterija za uvođenje sistema daljinskog upravljanja u elektrodistributivnoj organizaciji" - Grujic, Pavlek - Cavtat 1984.god.

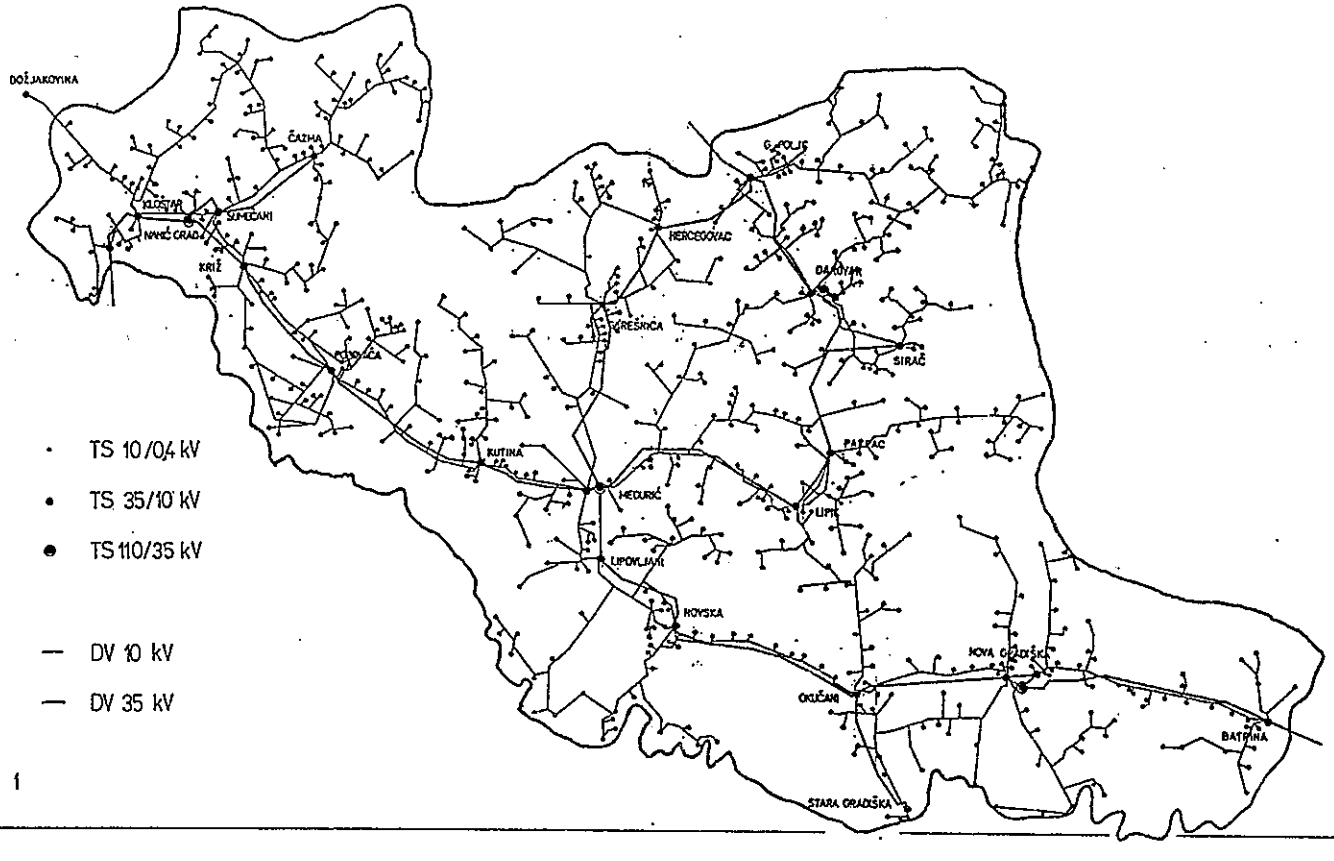
(5.) Referat br.1.14 "Realizacija informacionog sustava "Elektre" Kriz - Domitrovic, Kitanic, Svarc, Kozar, Dragicevic - Cavtat 1988.god.

(6.) Referat br.4.06 "Realizacija mreze veze "Elektre" Kriz sa posebnim osvrtom na rjesenje radio-veze za prijenos podataka u sistemu daljinskog vođenja" - Pavlek - Cavrat 1988.god.

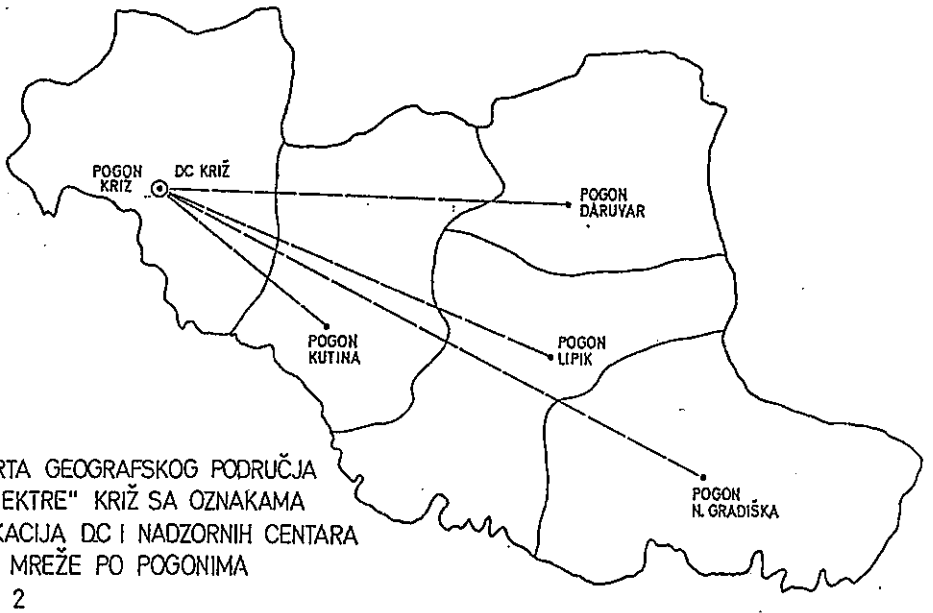
TABELA I.

POGON	TS 10/0,4 kV		VODOVI 10 kV		TS 35/10 kV		VODOVI 35 kV	
	KOM.	INS.SNAGA (MVA)	ZRACNI (km)	KABEL. (km)	KOM.	INS.SNAGA (MVA)	ZRACNI (km)	KABEL. (km)
DARUVAR	239	40,005	301,120	25,631	4	45,000	62,391	5,655
KRIZ	263	32,135	404,563	20,673	6	54,500	71,678	-
KUTINA	201	33,900	295,076	16,006	5	30,100	56,149	1,420
LIPIK	215	30,959	351,020	22,742	3	28,000	56,100	-
N.GRADISKA	207	34,010	303,223	33,472	5	35,400	61,074	2,880
UKUPNO	1125	171,009	1655	118,524	23	193,000	307,392	9,955

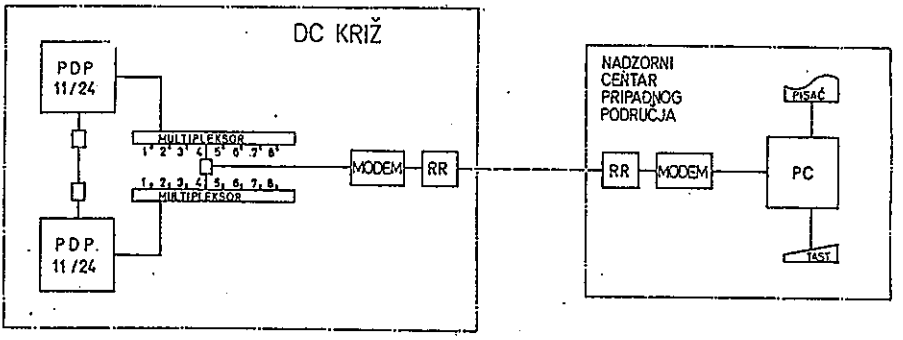
KARTA ELEKTRIFICIRANOSTI PODRUČJA ELEKTRE KRIŽ 1990. god.



Sl. 1



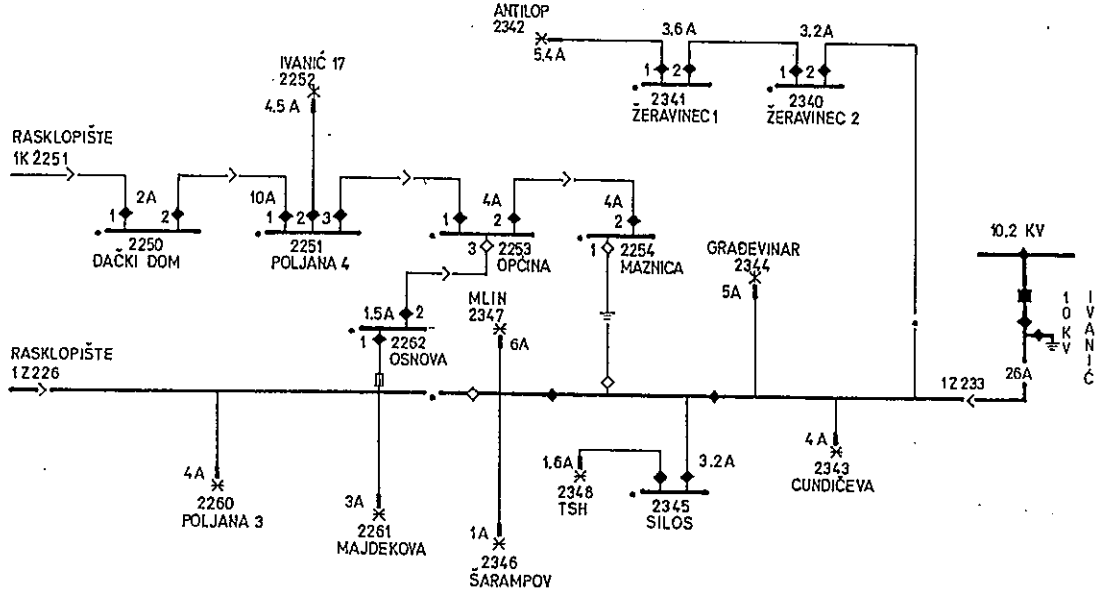
KARTA GEOGRAFSKOG PODRUČJA
„ELEKTRE" KRIŽ SA OZNAKAMA
LOKACIJA DC I NADZORNIH CENTARA
SN MREŽE PO POGONIMA
Sl. 2



BLOK SHEMA POVEZIVANJA DC
SA NADZORNIM CENTROM PRIPADNOG PODRUČJA

Sl. 4

SNKLIV TS 35/10 KLOŠTAR, 10 kV IVANIĆ - RASKLOPIŠTE



Sl. 3

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Krstulja Boris, dipl. ing.
"Elektroprimorje", Rijeka

Referat broj 1.07

DISPEČERSKI CENTAR "ELEKTROPRIMORJE" RIJEKA
– 10 GODINA RADA –

SAŽETAK

Rad opisuje regionalni distributivni dispečerski centar Elektroprimorja Rijeka koji je realiziran na bazi jednostrukog računarski vođenog sistema daljinskog upravljanja. Pored osnovnog sistema na bazi SCADA-e ukratko su opisani i ostali sistemi neophodni za rad centra (MTK, sistem komunikacija, tehnički informacijski sistem). Prikazana su desetogodišnja iskustva na korištenju sistema, ponašanje u radu i fazna zamjena opreme i programa. Naročiti naglasak je dan prikazu iskustava komunikacije čovjek - sistem sakupljenih od strane operativnih dispečera. Navedeni su osnovni problemi koji su se pojavili kod realizacije, tokom eksploatacije i problemi daljnjeg razvoja sistema.

SUMMARY

This report describes the regional dispatching center of Elektroprimorje Rijeka based on single computer system architecture for distribution network managing. Together with an established SCADA, Load Management and Communication facilities are described. After ten years of operation some fundamental experiences are presented, especially on man - machine interface with hardware and software development.

1. PODACI O MREZI

Distributivna mreža u kompetenciji Elektroprimorja Rijeka pokriva područje primorsko - goranske regije (Rijeka, Opatija, Gorski kotar i Crikvenica) te otoka Krk, Cres, Lošinj i Rab. Visokonaponska mreža se napaja iz 9 trafostanica 110/35 kV, 2 trafostanice 110/10(20) kV, 2 HE u 35 kV mreži i jedne vlastite HE u 20 kV mreži. U mreži su još i 3 industrijske TE (ukupne instalirane snage od 52 MVA), pumpne stanice jugoslavenskog naftovoda, dvije rafinerije nafte, dva velika brodogradilišta, koksara, lučki transport te ostali vrlo značajni industrijski i turistički objekti i postrojenja.

Struktura ukupne potrošnje prikazana je na slici 1. Ostali osnovni podaci o 35 kV i 10 kV mreži te opći podaci prikazani su u tabeli I.

1.1 Organizacija dispečerske službe

Dispečerska služba u poduzeću je organizirana na jednom centru za nadzor 35 kV mreže i transformatora 110/X kV te sedam centara za nadzor 10 kV i 0,4 kV mreže. U dispečerskom centru u Rijeci smještene su služba za 35 kV mrežu i služba za 10 kV za grad Rijeku, a služba za 0,4 kV i informacije potrošačima je odvojeno locirana. Služba radi 24 sata dnevno u smjeni sa po pet dispečera VS stručne spreme. Obje službe koriste zajednički računarski sistem.

2. IZGRADNJA INFORMACIJSKOG SISTEMA

Po ukidanju posada u svim distributivnim TS 35/10 kV, početkom sedamdesetih godina, uveden je skroman sistem daljinske grupne dojave alarma sa po jednim do dva signala po svakoj TS. Taj sistem je zadržan i danas kao rezervni sistem. Zbog naglog rasta potrošnje el. energije i opterećenja mreže te značaja potrošača na našem području, postojeći sistem dojave nije pružao garanciju sigurne i kvalitetne opskrbe potrošača. Zbog toga je 1978.g. donesena odluka o gradnji računarski vođenog sistema daljinskog upravljanja. Istovremeno je izrađena tipizacija signala, komandi i mjerenja koji će se voditi daljinski iz centra.

Dispečerski centar je pušten u pogon u proljeće 1980.g. U centru i u trafostanicama ugrađena je oprema "Rade Končara" bazirana na daljinskim stanicama DS-801, računalu PDP 11/34, procesnom sistemu PROZA D/A i operacionom sistemu ALRX 11. Vrlo skroman sistem je, u samom početku, zadovoljavao osnovne funkcije (on-line) no vrlo brzim usvajanjem sistema pojavili su se problemi naročito na ažuriranju baze podataka, dodavanju novih postrojenja u sistem i radu na razvoju sistema (off-line). Naravno, rast zahtjeva na sistemu nakon stjecanja iskustva, brz napredak na nivou opreme i programa nužno je prisiljavao i promjene ne samo tipizacije informacija iz postrojenja već i uvođenje novih tipova daljinskih stanica pa tako i nove opreme u samom centru.

Osnovne etape izgradnje informacijskog sistema u zadnjih deset godina i sadašnje stanje prikazane su u tabeli II.

2.1 Prilagođenje postrojenja

Odabrana koncepcija prilagođenja postrojenja zahtijevala je:

- *upravljanje svim prekidačima 35 i 10 kV postrojenja, upravljanje svim sabirničkim rastavljačima kod dvostrukog sistema sabirnica na 35 kV i 20 kV, a na 10 kV samo u trafo poljima,*
- *signalizaciju stanja svih aparata pojedinačno,*
- *signalizaciju svih prorada žaštita pojedinačno,*
- *signalizaciju rada lokalnih automata te opću signalizaciju,*
- *signalizaciju pomoćnih postrojenja,*
- *mjerenje struja, napona sabirnica istosmjernih i izmjeničnih, radnih i jalovih snaga, kosinusa fi i frekvencije.*

Pri rekonstrukcijama postrojenja striktno se vodilo računa o primjeni tipizacije da se izbjegne različitost prikazivanja postrojenja u sistemu. Takav pristup je vrijedio kod prvih rekonstrukcija postrojenja no već kod prvih izgradnji novih, koja su se odmah uključivala u sistem, moralo se djelomično odstupati od tipizacije. Prvi razlozi za to bili su zbog promjene uređaja lokalne automatike, zaštite i pomoćnih postrojenja zatim zbog uvažavanja stečenih iskustava pri rekonstrukcijama, a na kraju zbog zahtjeva nove tipizacije objekata 110/X kV.

U počecima prilagođenja postrojenja prilazilo se rekonstrukciji primarno "zbog daljinskog upravljanja", no vrlo brzo je to postao sekundarni razlog. Zahvati u prilagođenju postrojenja iskorišteni su i za nužne izmjene energetske opreme, izmjene zaštitnih uređaja, izmjene pogona upravljanja (el. motorni pogon umjesto komprimiranog zraka), izmjene pomoćnih strujnih krugova zaštite, signalizacije, upravljanja i mjerenja, izmjene aku-baterija i ispravljača i dr. tako da je rekonstrukcija zahvatila praktično svo postrojenje. Takvi zahvati tražili su značajno veća financijska sredstva od prvobitno planiranih tako da su prilagođenja postrojenja postala najvećom kočnicom izgradnje sistema. S druge strane oprema u centru je brzo zastarijevala, zahtjevi i potrebe za povećanjem funkcionalnosti sistema su rasli, pa je sistem postao stalno promjenljiv.

3. PODACI O SISTEMU

Danas sistem već pokriva oko 60% transporta snage poduzeća na 35 kV nivou i oko 50% na 10 kV nivou. U sistemu su na daljinskom vođenju: 2 X TS 110/10(20) kV, 3 X TS 110/35 kV, 11 X 35/10 kV i jedna rasklopnica 35 kV.

Zadnje tri godine ugrađuju se stanice tipa DS-803 T i DS-803 LF sa lokalnim KRD pisačem. U tabeli III prikazan je trenutačan ukupan broj elemenata baze podataka i njihova struktura. Sve informacije prikazuju se u centru na oko 50 ekranskih prikaza.

Informacijska oprema u centru konfigurirana je prema slici 2. Osnov sistema je procesno računalo PDP 11/84 sa 1 MB centralne memorije i aritmetikom pomičnog zareza uz dodatnih 8 kB (cache) memorije što značajno ubrzava aplikacije specijalno u off-line radu. Operacioni sistem je RSX 11-M, a

programski sistem je PROZA D/R proizvođača "Rade Končar". Ostali podaci o opremi vidljivi su na tabeli II. Posebna karakteristika sistema je da su funkcije HOST (glavnog) i FEP (komunikacionog) sjedinjene u jednom računalu što značajno pojednostavljuje konfiguraciju, a u potpunosti zadovoljava brzinu rada i funkcionalnost sistema. Druga posebnost je povezivanje lokalnih signala i upravljanja na komunikacioni podsistem sa opreme koja je vitalna u samom centru. Na lokalnom nivou spojeni su signali ispravnosti rada pisača, signalizacija zastoja rada računala koja je internim ožičenjem spojena na trubu, signali iz MTK centrale, signalizacija rada sistema za bezprekidno napajanje i ostale pomoćne opreme, signali rada luxomata za paljenje javne i tunelske rasvjete, komande na sistemski sat i trubu te upravljanje MTK centralom radi korekcije rada. Procesno računalo povezano je sa VAX 11/780 i sa PC 386 SX za rad sa tehničkim informacionim sistemom i za razvoj aplikacija na lokalnoj dispečerskoj bazi podataka.

4. OSTALE FUNKCIJE

4.1 Sistem MTK

Sistem MTK je u radu već deset godina no, kao i drugdje, nije stavljen u svoju pravu funkciju. MTK centrala proizvođača BBC-Iskra smještena je u dispečerskom centru i povezana na četiri predajnika koji pokrivaju područje grada Rijeke i Crikvenice.

Funkcije koje se ostvaruju pomoću MTK sistema su: prebacivanje tarife, te paljenje javne i tunelske rasvjete sa centralnog mjesta. Zadnjih godinu i po dana prišlo se ambicioznije pravom iskorištenju sistema te se na početku izvršila zamjena telegrama i svih prijemnika modernijim i perspektivnijim tipom, ugradilo kontrolne prijemnike u mreži sa povratnim javljanjem preko procesnog sistema i povezalo centralu sa procesnim računalom da se vođenje MTK sistema automatski uklopi u dispečerski nadzor. Nadalje, počelo se sa realizacijom nadzora trenutačne vršne snage poduzeća, priprema za upravljanje termotrošilima u kućanstvima te se u najskorijoj budućnosti očekuje i prava realizacija upravljanja vršnim opterećenjem poduzeća.

4.2 Sistem veza

Računalo je sa procesom povezano preko DS-8 komunikacionog podsistema koji je na UNIBUS sabirnice spojen paralelno preko bus-konvertora. Daljinske stanice su na komunikacioni podsistem vezane preko komunikacionih jedinica, skretnica i modema na sistem veza koji je, što se tiče medija prijenosa, dvojak. Unutar grada daljinske stanice su povezane pomoću vlastitih telefonskih kabela položenih uz energetske, u petlji, i rade preko modema dvolike struje. Dvije komunikacione jedinice su spojene na telefonske kabele i pokrivaju trenutačno sedam daljinskih stanica na brzini od 600 Bd.

Što se tiče pouzdanosti rada ove veze su se pokazale kao izuzetno sigurne jer u zadnjih pet-šest godina nije bilo kvarova ni prekida veza čak i

u uvjetima proboja susjednih energetskih kabela. Jedina opasnost im prijeti od građevinske operative (kopača).

Ostalih pet komunikacionih jedinica vezano je preko radio mreže na 0,7 m području sa deset daljinskih stanica također na brzinama rada od 600 Bd. Radio mreža je kompleksna i sastoji se od šest repetitora, tri jednostruka linka i jednog dvostrukog linka. Koristi se sedam pari frekvencija, a dugoročno će radio mreža pokrivati preko trideset energetskih objekata. Najudaljeniji objekt biti će vezan radio mrežom na udaljenosti preko 200 km od računala. Ovakvu kompleksnost sistema zahtijevala je izuzetno teška konfiguracija terena i razmještaj objekata na kopnu, uz postojanje objekata na otocima. Na slici 3. prikazana je ostvarena i planirana konfiguracija radio mreže 0,7 m području.

4.3 DISCUS - Tehnički informacijski sistem

Početkom ove godine napravljen je kostur TIS-a nazvan DISCUS (Distribution Information System with CompUter Support). Osnov baze podataka predstavljaju: POSTROJENJE, VOD i TRANSFORMATOR (IZVOR). Do danas je u bazu podataka upisana cijelokupna 35 kV mreža poduzeća i 10 kV mreža područja Rijeke te velikim dijelom i 10 kV mreže ostalih područja. Sistem baze podataka za sada je predviđen za 110, 35 i 10 kV mrežu ali sa mogućnošću nastavka na 0,4 kV mreži. U bazi podataka se nalaze sva postrojenja (sabirnice i polja), transformatori i vodovi (dionice i čvorovi) sa dimenzijom HISTORIJE (promjena elemenata) i TOPOLOGIJE mreže. Baza podataka je proširena sa DOGAĐAJIMA i MJERENJIMA na svim elementima mreže. Baza je izrađena na ORACLE relacionoj bazi, računalu VAX 3600 i terminalima VT 220, a izrađeni su svi pomoćni programi za unos, kontrolu, ažuriranje i pretraživanje podataka, na klasama zaštićenih korisnika, preko sistema menija.

Pored svega postignutog ovaj projekt nalazi se još u fazi razvoja koji ide dalje prema okruženju tehničke baze podataka: automatski proračuni i analize mreže, planiranje mreže, automatsko povezivanje s bazom podataka procesnog sistema i podataka o potrošačima, kartografija uz pomoć računala, ekspertni sistemi i dr.

5. RAD SISTEMA

Promjene konfiguracije opreme u proteklih deset godina bazirane su na rezultatima stalnog praćenja rada sistema od njegovog početka te na vlastitim iskustvima i iskustvima i preporukama proizvođača.

Praćenjem opterećenja procesora i sistema u cijelini, pomoću posebnog programa izrađenog kod proizvođača, došlo se do zanimljivih rezultata naročito što se tiče opterećenja komunikacijskog podsistema i frekvencije obrada pristiglih vrijednosti u centru.

Na slici 4. prikazani su rezultati povremenih mjerenja rada sistema u najopterećenijem 8 satnom periodu (29.000 sekundi u redovno radno vrijeme), izraženi preko prosječne frekvencije pojave informacija u sekundi. Pronađen

je minimalni dan (nedelja) kada nije bilo praktično nikakvih kvarova ni "ekscesnih" situacija u postrojenju osim redovnih cikličkih informacija. Uočeno je da se praktički sav rad sistema svodi na obradu cca 30 mjerenja u sekundi. Pronađen je maksimalni dan (utorak) kada je u sistemu vršena revizija zaštite i svih prekidača jednog 35/10 kV postrojenja, a istovremeno i cijelovito funkcionalno ispitivanje jednog novo izgrađenog postrojenja. Zapaža se da je broj prosječno obrađenih mjerenja u sekundi pao svega za 3% dok je broj obrađenih signala narastao sa "nule" na prosječnih 1,1 u sekundi.

Ista pojava, velikog broja obrada signala u sekundi, primjećena je i u danu kada je dolazilo do čestih prekida komunikacije sa dvije stanice (zbog loših radio veza) pa je sistem bio stalno opterećen listanjem baze podataka iz objekata. Takvo opterećenje sistema nije normalno uočljivo sa operaterskog mjesta jer ne proizvodi alarme (osim trajnog alarma prekida komunikacije). Srednji dan je ujedno i <u>prosječni</u> radni dan. Svi ostali praćeni dani nalaze se između dva navedena ekstremna dana.

Vrijeme osvježavanja spontanih signala izmjereno je između 1 i 3 sek., a mjerenja od 5 do 15 sek. Uz upotrebu sistemskih funkcija distribucije točnog vremena na daljinske stanice, lokalnu obradu pragova mjerenja u daljinskim stanicama i upotrebu daljinskog KRD ispisa u centru, povećanje brzine osvježavanja spontanih signala gubi na značenju. Dvostepene komande se izvršavaju u vremenu od 1 do 2 sek. jer ne ovise o skaniranju objekta. Brzina iscrtavanja slike, od poziva do komplentnog prikaza, iznosi oko 2 do 3 sek. što ovisi o broju dinamičnih elemenata na slici i trenutačnog opterećenja računala.

Praćenje ispada i gašenja sistema kao i njihovih uzroka uvedeno je krajem 1980.g. i vodi se i dalje u posebnoj knjizi. Rezultati tog praćenja prikazani su u tabeli IV gdje su proračunate i odgovarajuće vrijednosti raspoloživosti računala i procesnog sistema. Veliki broj sati gašenja računala zbog radova na opremi u 1984, 1985. i 1988. g. posljedica su promjene konfiguracije sistema, a 1986. i 1990. zbog kvarova na klasičnoj diskovnoj memoriji. U ostalim godinama ti sati su posljedica normalnog održavanja i manjih kvarova u sistemu. Velik broj sati gašenja procesnog sistema zbog rada na programima do 1985.g. posljedica su male radne memorije i ograničenog operativnog i programskog sistema. Nakon 1985.g. takvi prekidi su uglavnom posljedica novih generiranja sistema i intenzivnijeg uvođenja novih postrojenja u sistem.

Mora se naglasiti da je svega u <u>tri</u> slučaja prekid rada sistema bio u trenucima značajnih događaja u nadgledanoj mreži, i to za vrijeme rada na programima, što je riješeno prekidom rada na programima i startanjem sistema u roku od 5 min.

U promatranom periodu zabilježeno je ukupno 35 dužih zastoja sistema zbog <u>problema ili kvarova</u> na opremi i to:

- 14 puta na izvlačivim diskovima (RK05 i RL01),
- 10 puta na napajanju, ventilatorima, UNIBUS sabirnicama,
- 6 puta na memoriji, procesoru i ostalim jedinicama centralnog dijela,
- 5 puta na perifernoj opremi: pisači, video kontroler, kom. podsistem.

Ukupno gledajući raspoloživost procesnog sistema je u deset godina iznosila prosječno 98,64% vremena, a raspoloživost računala 99,66% vremena što smatramo visokom vrijednosti koja je usporediva i sa sistemima sa dvostrukom konfiguracijom računala. Takva statistika mora biti osnov za donošenje odluka o daljnjem razvoju sistema naročito u svjetlu činjenice da uvođenje nove tehnologije traje otprilike koliko i njezino zastarjevanje.

6. OPERATIVNA ISKUSTVA

Mjerilo uspješnosti procesnog sistema je kvaliteta komunikacije čovjek - sistem, tj. stupanj "zadovoljstva" dispečera s sistemom. Taj krajnji cilj nije lako postići bez potpunog učešća korisnika sistema u projektiranju baze podataka (tekstovi signala i događaja), slika (sheme i organizacija podataka na ekranskim prikazima) i optimalnog rukovanja s tastaturom.

Naša iskustva pokazuju da je, u proteklih deset godina, koncepcija komunikacije čovjek - sistem mijenjana, više ili manje, tri puta. Uzroci su i u "sazrijevanju" operatera i projektanta ali i u programskim mogućnostima.

Osnovni faktori koji utiječu na funkcionalnost i efikasnost komunikacije čovjek - sistem su:

- *izgled slike (koliko, što i kako će se prikazivati),*
- *preglednost slike (gustoća, oblik, vidljivost-nevidljivost simbola),*
- *upotreba boja (broj, dinamičnost, značenje, pozadina, front),*
- *upotreba tastature (broj tipaka za dohvat, logičnan redosljed).*

Neka naša iskustva pokazuju da:

- *slike treba organizirati po hijerarhiji (npr. shema konzumnog područja, shema objekta VN, shema objekta SN),*
- *prikazivati po funkcionalnim cijelinama (npr. trafo polje primarno i sekundarno na jednoj slici),*
- *što manje opisnih (pomoćnih) tekstova na slici,*
- *koristiti automatsko prikazivanje slike po pojavi alarma,*
- *prikazivati sve informacije uz pripadna polja,*
- *trajne signale zaštite prikazivati po pojavi,*
- *broj boja ograničiti na 3 do 5 sa unificiranim značenjem i bez upotrebe raznih boja pozadine.*

Uz ponuđene razne mehanizme dohvata slike naši dispečeri upotrebljavaju samo dohvat šifrom slike jer omogućava najbrži dohvat i skakanje sa slike na sliku (šifra ima 4 znaka). Općenito, rad sa tastaturom mora biti kratak, jasan i jednostavan, što se često zaboravlja pa postaje "sam sebi svrha".

Planirani radovi predstavljaju 90 do 95% svih akcija dispečera pa se sistem uglavnom tome podređuje, no preostali postoci nose svu težinu i specifičnost dispečerskog posla, na njima se komunikacija čovjek - sistem testira i pokazuje svoju efikasnost.

Naročiti problemi u radu centra nastaju kod većih nevremena ili havarijskih situacija kod kojih dolazi do većeg broja ispada vodova i konzuma. U takvim slučajevima nije dovoljno ni udvostručenje posade u centru. Ovakvi događaji pokazali su nužnost formiranja "informacijskog pulta" sa zadatkom prihvaćanja telefonskih poziva domaćinstava, industrijskih i ostalih velepotrošača na 10 i 35 kV nivou, informiranja nadležnih službi (centra za obavještavanje, inspektorata, viših rukovodioca, vlastitih radnika i dr.), obavještavanja lokalnih novinskih kuća, radio i TV programa. Takav informacijski pult značajno bi rasteretio operativne dispečere i omogućio im da se koncentriraju na osnovnu funkciju.

Problem obuke novih dispečera, testiranje novih programskih rješenja te testiranje sistema u cijelini pokušavali smo riješiti od početka izgradnje sistema. Djelomično zadovoljavajuće rješenje smo realizirali 1980. g. pomoću jedne daljinske stanice koja na nivou ožičene logike u potpunosti simulira karakteristično 35 kV postrojenje (tipski signali po poljima, komande i blokade upravljanja te prikaz mjerenja). Taj simulator koristimo i za vrijeme demonstracija rada sistema, a pokazao se i vrlo koristan za modularno ispitivanje opreme daljinske stanice ili uređaja veza.

Problem nedostatka stručnih kadrova na poslovima održavanja, projektiranja i razvoja procesnog sistema još uvijek je kod nas nerješen zbog specifične uske specijalizacije sa visokim zahtjevima, neatraktivnosti distribucije kao grane, a čak i slabog razumjevanja unutar poduzeća.

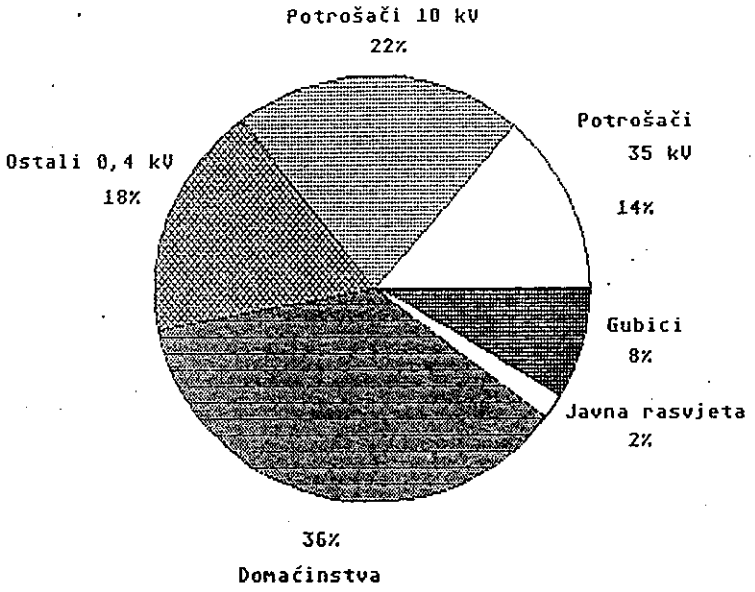
7. ZAKLJUČAK

Novčano valorizirati dugogodišnji rad dispečerskog centra je vrlo teško i nepotrebno. Desetgodišnja iskustva u eksploataciji našeg centra pokazala su da su bitno poboljšane mogućnosti i kvaliteta korištenja distributivne mreže. Uvađenjem procesnog sistema ostvarili smo nužne preduvjete i omogućili suvremeno optimalno vođenje mreže. Istovremeno smo i otvorili vidike daljnjim neslućenim mogućnostima upotrebe tih sistema.

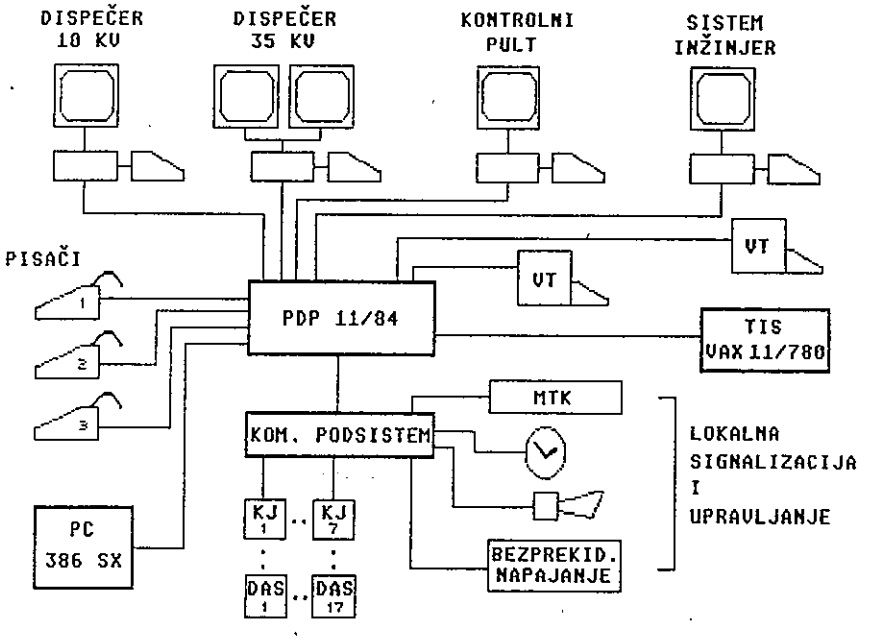
Pritisnuti stalnom promjenom relativno skupe i složene tehnologije, kako u informacionoj tako i u energetskoj domeni, odlučili smo se na politiku "malih koraka" u izgradnji sistema što su dosadašnja iskustva i praćenje rada sistema opravdala.

8. PITANJA ZA DISKUSIJU

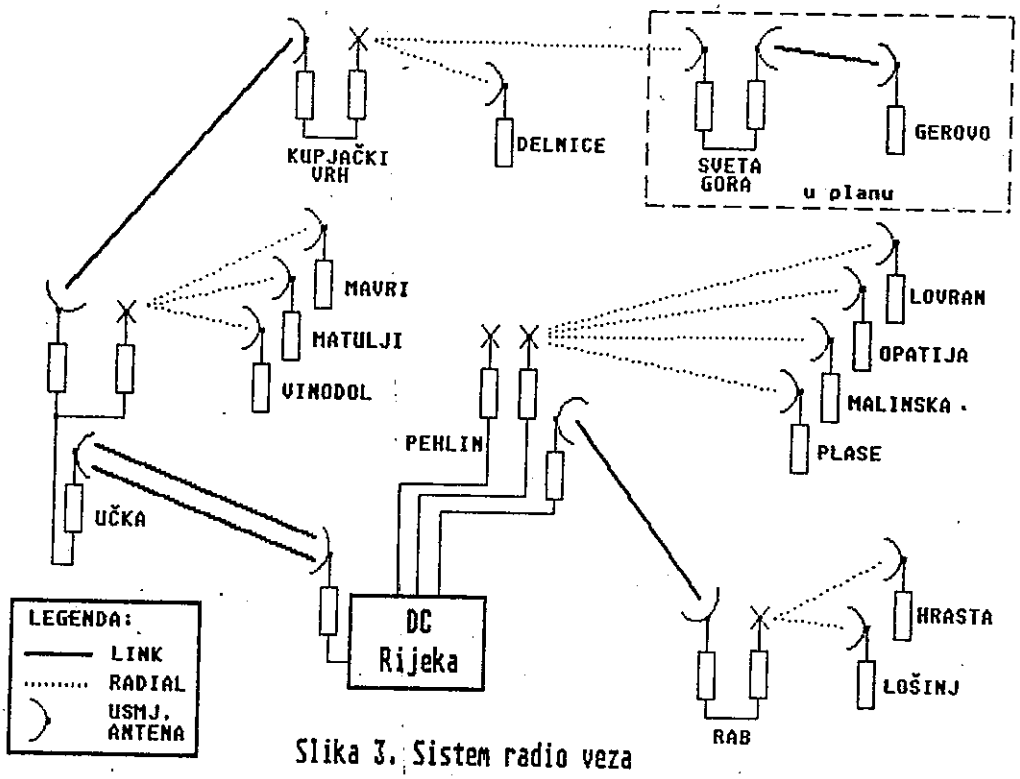
1. *Kakva su iskustva na drugim sistemima u smislu praćenja rada <u>dvostrukih</u> konfiguracija opreme u centru (raspoloživost sistema i brzina odziva).*



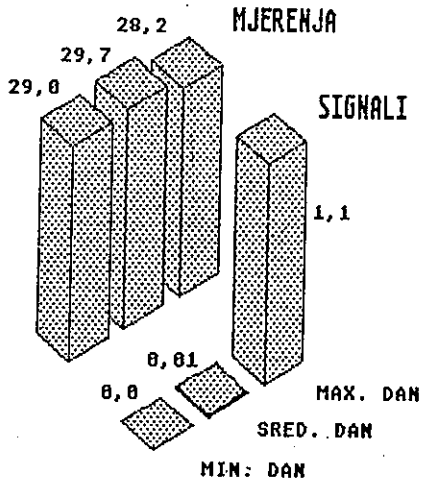
Slika 1. Struktura potrošnje



Slika 2. Konfiguracija opreme u centru



Slika 3. Sistem radio veza



Slika 4. Frekvencija pojave informacija u sekundi

TABELA I. PODACI O MREŽI

35 kV MREŽA	
KABELSKA	128,5 km
ZRAČNA	355,5 km
TRAFOSTANICA	44
TRANSFORMATORA	93
EVP-a	8

10 (20) kV MREŽA	
KABELSKA	564 km
ZRAČNA	1256 km
TRAFOSTANICA	1760
TRANSFORMATORA	2505

OPĆI PODACI			
POVRŠINA	4.260 KM^2	POTROŠAČA	156.000
STANOVNIKA	320.000	VRŠNA SNAGA	200 MVA
EL. NASELJA	652	POTROŠNJA	1.150 GWh

TABELA II. ETAPE IZGRADNJE INFORMACIONOG SISTEMA

	1980	1984/1985	1988	1990
PROCESOR	PDP 11/34	PDP 11/34	PDP 11/84	PDP 11/84
MEMORIJA RADNA	128 kB (core)	256 kB	1MB + 8kB (cache)	1MB + 8kB (cache)
MEMORIJA DISKOVNA	2 X 2,5 MB (RK 05)	2 X 5 MB (RL 01)	138 MB + 2 X 5 MB	138 MB + 5 MB
OPERACIONI SISTEM	ALRX 11	RSX 11/M	RSX 11/M	RSX 11/M
PROGRAMSKI SISTEM	PROZA D/A	PROZA D/R	PROZA D/R	PROZA D/R
PISAČI	2 X LA 36	2 X LA 36 + LA 120	2 X LA 36 + LA 120	2 X LA 36 + LA 120
MONITORI B/W	—	VT 52	2 X VT 52	VT 220+VT 320
MONITORI COLOR	2 X BARCO	2 X BARCO + CMT 515	2 X BARCO + 3 X CMT 515	2 X BARCO + 3 X CMT 515
KONTROLERI COLOR	2 X SRA 212	3 X INFOGRAF	4 X INFOGRAF	4 X INFOGRAF
TASTATURA	2 X SRA	3 X DIGITRON	4 X DIGITRON	4 X DIGITRON
KOMUN. JED.	2	4	7	7
DALJ. STAN.	4	8	11	17

TABELA III. BROJ ELEMENATA BAZE PODATAKA

SIGNALA	
JEDNOSTRUKIH	2300
DVOSTRUKIH	1390
LOKALNIH	30
SLOŽENIH	170
UKUPNO:	3890

MJERENJA	
ANALOGNIH	400
DIGITALNIH	10
IMPULSNIH	20
IZRAČUNATIH	20
UKUPNO:	450

KOMANDI	
DVOSTRUKIH	570

TABELA IV. RAD I RASPOLOŽIVOST PROCESNOG SISTEMA

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	I-VI 1990
RAD SISTEMA (h)	8641	8642	8656	8480	8519	8669	8720	8716	8739	4339
RAD NA PROGRAMIMA (h)	110	106	81	240	191	32	35	41	13	19
RAD NA OPREMI (h)	9	12	23	64	50	59	5	27	8	22
UKUPNO SATI:	8760	8760	8760	8784	8760	8760	8760	8784	8760	4380
RASPOLOŽIVOST RAČUNALA (%)	99,90	99,86	99,74	99,27	99,43	99,33	99,94	99,69	99,91	99,50
RASPOLOŽIVOST SISTEMA (%)	98,64	98,65	98,81	96,54	97,25	98,96	99,54	99,23	99,76	99,06

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6
VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr. Juraj Šimunić,dipl.ing.
Tehnički fakultet Rijeka

Referat broj 1.08

DINAMIKA PROCESNIH INFORMACIJA EEP-a PRIKAZANA KAO SLUČAJNA VELIČINA NA OSNOVU EKSPERIMENTALNOG ISTRAŽIVANJA

SADRŽAJ

Za više elektroenergetskih postrojenja (EEP) provedena su istraživanja dinamike procesnih informacija upravljanja i signalizacije na osnovu kronoloških zapisa događaja sa vremenskom rezolucijom 10 ms. Istraživanja su provedena pojedinačno za karakteristične komponente EEP-a po naponskim nivoima 110 kV, 220 kV i 380 kV, a vremenski intervali promatranja uzeti su 5 s, 1 min i 1 dan Rezultati istraživanja obrađeni su i prikazani kao slučajne veličine po komponentama postrojenja i za navedene vremenske intervale.

ABSTRACT

Research has been carried on dynamics of process data of control and signalization for a number of electric power plants. Data have been chronologically recorded with time resolution 10 ms. Research has been done for characteristic electric power plants respectively, with voltage levels 110 kV, 220 kV and 380 kV. Time observation intervals have been 5 seconds, 1 minute and 1 day. The results of the study have been analyzed and shown as random valves, according to components of plants and the mentioned time intervals.

1 UVOD

Izvori informacija u jednom elektroenergetskom postrojenju (EEP-u) su pojedine komponente tog postrojenja (dalekovodno polje, trafo polje, sabirnice, pomoćna postrojenja ...). Ako istražimo i utvrdimo dinamiku procesnih informacija po karakterističnim komponentama postrojenja, tada se ostvaruju mogućnosti

definiranja dinamike procesnih informacija na nivou bilo kojeg postrojenja odgovarajućom sintezom komponentnih informacijskih događaja.

U prvom dijelu ovog rada je ukratko opisan skup procesnih informacija EEP-a kao skup komponentnih informacijskih događaja i definirane su pripadne vjerojatnosti. Detaljan opis skupa procesnih informacijskih događaja za EEP-a dat je u Lit.5. U drugom dijelu rada daje se detaljan prikaz statističkih podataka o učestalosti pojave informacija u procesu, na temelju eksperimentalnih istraživanja triju EEP-a različitih veličina i različitih karakteristika s obzirom na ulogu u EES-u i svom geografskom položaju.

2 SKUP PROCESNIH INFORMACIJSKIH DOGAĐAJA NA RAZINI EEP-a

Skup procesnih informacijskih događaja EEP-a može se prikazati kao skup komponentnih informacijskih događaja na slijedeći način:

$$S_{nr} = \left\{ \begin{array}{cccc} x_{10} & x_{20} & \cdots\cdots & x_{n0} \\ x_{11} & x_{21} & \cdots\cdots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \cdots\cdots & x_{n2} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ x_{1r} & x_{2r} & \cdots\cdots & x_{nr} \end{array} \right\} \qquad (1)$$

n - broj komponenti
r - broj događaja po komponenti

Vrijednost x_{10} u izrazu (1) predstavlja npr. događaj pojavljivanja nula informacija na komponenti 1 a pojedini stupci predstavljaju skup svih informacijskih događaja jedne komponente. Sada se mogu definirati složeni događaji na razini postrojenja, koje ćemo označiti sa w, i koji predstavljaju presjek pojedinih komponentnih događaja (Lit.5), tj. vrijedi:

$$w = x_{1a} \cap x_{2b} \cap \cdots\cdots \cap x_{nl} \qquad (2)$$

$a,b,\ldots,l \in 0,1,2,\ldots r$
r - broj događaja po komponenti

Složeni događaj na razini postrojenja predstavlja prema tome događanje jednog informacijskog događaja na komponenti 1, i jednog informacijskog događaja na komponenti 2,..... i jednog informacijskog događaja na komponenti n. Prikazani složeni događaji na razini postrojenja predstavljaju u stvari cilj u definiranju dinamike informacijskih tokova i o njima će se u nastavku nešto više navesti.

Kako su informacijski komponentni događaji slučajne veličine to svakom pojedinom komponentnom događaju x_{ij} pripada i određena vjerojatnost p_{ij}. Prema tome može se sada definirati i skup vjerojatnosti za komponentne događa-

je prema izrazu (3),

$$P_{nr} = \begin{Bmatrix} p_{10} & p_{20} \cdots\cdots & p_{no} \\ p_{11} & p_{21} \cdots\cdots & p_{n1} \\ p_{12} & p_{22} \cdots\cdots & p_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{1r} & p_{2r} \cdots\cdots & p_{nr} \end{Bmatrix} \qquad (3)$$

a n i r imaju isto značenje kao i u izrazu (1). Na temelju definiranih komponentnih vjerojatnosti p_{ij} koje treba **exprerimentalno** utvrditi mogu se izračunati vjerojatnosti složenog događaja w, uz predpostavku nezavisnosti međukomponentnih događaja, prema slijedećem izrazu

$$P(w) = \prod_{i}^{n} p_{ij} \geq 0 \qquad (4)$$

$$0 \leq j \leq r$$

Očito je prema izrazu (1) i (2) da složenih informacijskih događaja na razini postrojenja ima mnogo i neki se od njih kvantitativno ponavljaju. Način određivanja tih složenih događaja w detaljno je opisan u Lit.5 i neće se u ovom radu dalje razrađivati. Ali je potrebno na ovom mjestu ponoviti da se složeni događaji na razini postrojenja mogu definirati na temelju komponentnih informacijskih događaja x_{ij} kojima su pridružene odgovarajuće vjerojatnosti p_{ij} . Upravo je nastavak ovog rada posvećen eksperimentalnom utvrđivanju statističkih parametara koji su potrebni za određivanje komponentnih vjerojatnosti p_{ij}.

3 PRIKAZ EKSPERIMENTALNOG ISTRAŽIVANJA

3.1 Priprema podataka za obradu

U sklopu provedenih istraživanja obuhvaćena su tri prenosna EEP-a:

- TS Melina 380/220/110 kV (u nastavku TS1)
- TS Lički Osik 110/35 kV bez DV polja 35 kV (TS2)
- TS Pazin 110/35 kV sa DV poljima 35 kV (TS3)

Za navedena tri postrojenja prikupljeni su jednogodišnji podaci (1988.g) kronoloških registratora događaja sa vremenskom rezolucijom registriranih podataka od 10 ms. Kako su podaci registrirani u postrojenjima na papirnim listama a ne na nekom magnetskom mediju, trebalo je za daljnju obradu unijeti sve podatke ručno na računalo. Unešeni podaci formirani su u odgovarajuće datoteke kako bi bili spremni za statističku obradu. Unos i obrada podataka provedeni su na računalu MICRO VAX 360 i personalnom računalu Olivetti PCM 24.

3.2 Kratki opis obrade podataka

Kronološki registratori događaja (kod novijih stanica integrirani u DAS-u) bilježe slijedeće procesne informacije:

- signalizacije događaja (zaštita)
- signalizacije sklapanja (uklopna stanja)

a informacije o upravljanju nisu registrirane već se one mogu dobiti samo preko analize signalizacija sklapanja što je u ovom radu i učinjeno tamo gdje je to bilo moguće.

Prema tome za navedene informacije o signalizacijama promatrana je njihova učestalost pojavljivanja u vremenskim intervalima τ od 5 sek, 1 min i 1 dan. To znači da je za τ = 5 sek uzet uzorak od 6 324 480 petsekundnih intervala u godini i promatran je broj pojavljivanja informacija u svakom intervalu i to za svaku komponentu postrojenja posebno i za cijelo postrojenje u cjelini. Na temelju registriranog broja pojavljivanja informacija u pojedinim vremenskim intervalima utvrđivala se je distribucija frekvencije i relativne frekvencije informacijskih događaja. Isti postupak učinjen je i za τ = 1 min gdje je uzet uzorak od 527 040 minuta i za τ = 1 dan sa uzorkom od 366 dana. Rezultati provedenih istraživanja prikazani su uz pomoć odgovarajućih tabela i dijagrama u slijedećem pogavlju.

3.3 Prikaz rezultata istraživanja

U tablici 1. dan je opći prikaz informacijskih obilježja izabranih transformatorskih stanica. Posebno je naveden broj signalizacija i upravljanja po svakom postrojenju i označen je sa n_s. To je u stvari statički skup informacija po postrojenju, tj. broj svih onih informacija zaštitnih uređaja, sklopnih aparata i pomoćnih pogona koje se u određenom trenutku mogu aktivirati u pogonu.

Tablica I

Postrojenje		Broj polja 380/220/110/35	Broj informacija						Omjer n_d/n_s
			n_s			n_d			
			S	U		S	U		
TS1		7/10/12	1011	278	1175	6954	1492	8446	7,2
TS2		8/2	135	16	148	1139	290	1429	9,6
TS3	bez DV 35kV	7/2	75	14	89	783	115	898	10,1
	sa DV 35kV	7/14	159	36	195	1497	531	2028	10,4

S - signalizacija
U - upravljanje
DV - dalekovod

n_s - ukupni broj statičkih informacija
n_d - ukupan broj dinamičkih informacija za jednu godinu

Pri tome je potrebno još naglasiti da se u TS1 (trafostanica Melina), registriraju informacije upravljanja i signalizacije za prekidače i rastavljače, za razliku od ostalih dvaju postrojenja u kojima se za sada registriraju informacije samo za prekidače. Zato je i u tablici I. i prikazan smanjeni broj informacija o upravljanju i signalizaciji za TS L.Osik (TS2) i TS Pazin (TS3).

U desnom dijelu tablice I prikazan je kvantitativno i dinamički skup in-

formacija (označen sa n_d) tj. broj svih informacija koje su se pojavile u promatranoj godini. Mora se ovdje naglasiti da su informacije o upravljanju definirane posredno na temelju signalizacija sklapanja jer se upravljački nalozi na žalost ne registriraju direktno.

Zadnji stupac tablice I prikazuje omjer svih informacija koje su se pojavile u jednoj godini po postrojenju (n_d) i osnovnog statičkog skupa informacija (n_s). Vidimo da je taj omjer za postrojenja istog naponskog nivoa približno jednak dok je za postrojenje 380 kV (TS1) nešto smanjen. Sigurno je da navedeni parametar treba provjeriti ispitivanjima većeg broja postrojenja a pomoću njega može se planirati godišnji priliv procesnih informacija po postrojenju i opteretivost cijelog procesnog informacijsko-upravljačkog sistema.

Sa podacima u Tablici II željelo se prikazati koliko se aktivnih dnevnih, minutnih ili 5 sekundnih vremenskih intervala (vremenski interval u kojem se pojavila barem jedna informacija) pojavilo u jednoj godini po postrojenju i po izabranim karakterističnim komponentama postrojenja.Pri tome se nije vodilo

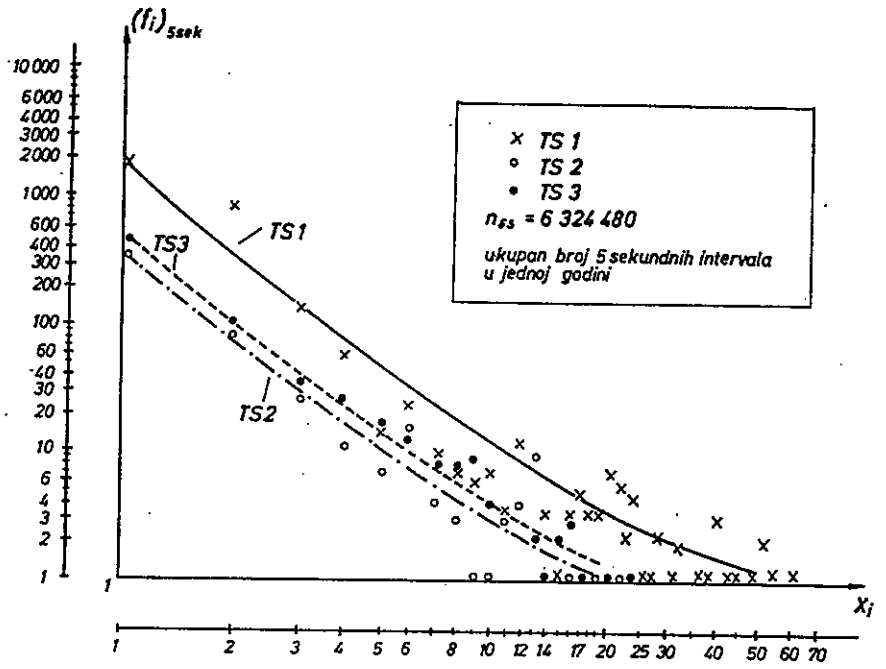
Tablica II

Objekt		Broj aktivnih vremenskih perioda u jednoj godini			$(f_r)5$ sek
		1 dan	1 min	5 sek	
TS1		233	1968	3025	0,000478
TS2		102	420	551	0,000087
TS3		137	510	699	0,000110
DVP - 380 kV		18	84	115	0,000018
DVP - 220 kV		15	65	84	0,000013
DVP - 110 kV		29	72	104	0,000016
TR - 380/220 kV		50	86	98	0,000015
TR - 110/35 kV		25	82	119	0,000019
Pomoćno postroj.	TS1	170	521	1073	0,000169
	TS2	48	79	117	0,000018
	TS3	38	71	79	0,000012
Ukupni broj vremenskih perioda u 1 god.		366	527040	6324480	

računa koliko se informacija pojavilo u vremenskom intervalu τ, već se samo promatralo dali se pojavila jedna ili više informacija ili se nije pojavila niti jedna informacija. Za komponente postrojenja prikazani podaci predstavljaju prosječne vrijednosti aktivnih vremenskih perioda τ za više istovrsnih komponenti. Tako je promatrano 11 dalekovodnih polja 110 kV, 6 dalekovodnih polja 220 kV, 2 dalekovodna polja 380 kV, 4 transformatora 380/220/110 kV i 4 transformatora 110/35 kV. U zadnjem redu tablice II prikazan je ukupan broj izabranih vremenskih intervala u jednoj godini a zadnji stupac prikazuje relativne

frekvencije fr za 5-sekundne intervale, tj. odnos aktivnih perioda i ukupnog broja 5-sekundnih vremenskih intervala. Kako nam je u promatranom istraživanju broj vremenskih intervala τ (broj uzoraka) velik to nam relativne frekvencije predstavljaju vjerojatnosti pojavljivanja procesnih informacija za pojedine komponente postrojenja ili postrojenja u cjelini. Vidi se da su te vjerojatnosti za 5-sekundne intervale male i kreću se između 0,00001 i 0,0005. Navedene vrijednosti predstavljaju vjerojatnosti pojavljivanja bilo kojeg broja informacija u promatranim vremenskim intervalima, a na sl. 1 i 2 prikazana je učestalost pojavljivanja procesnih informacija pojedinačno za pojedina informacijska obilježja.

Na sl.1 prikazana je distribucija frekvencije pojavljivanja određenog broja procesnih informacija u 5-sekundnim vremenskim intervalima za promatrane tri transformatorske stanice kao cjeline. Kako su frekvencije f_i pojavljivanja određenog broja informacija vrlo rijetke pojave a i zbog preglednosti,

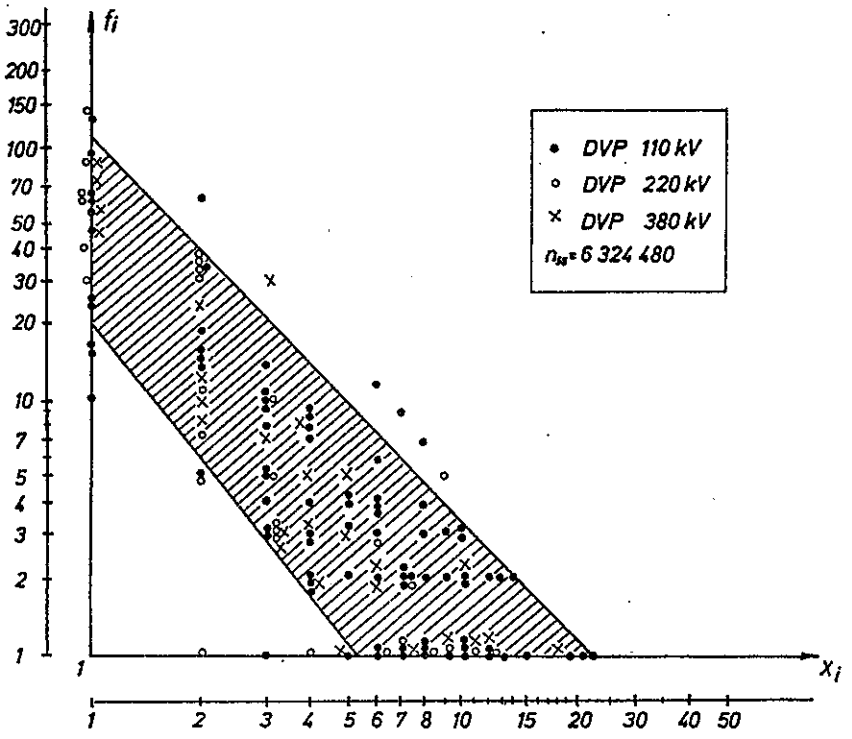


Sl 1

prikazana je navedena distribucija frekvencija pomoću logaritamskog koordinatnog sustava. Vrijednosti x_i (os apscisa) predstavlja broj informacija koji se pojavio u vremenskom intervalu od 5 sekundi a vrijednost f_i (os ordinata)predstavlja broj 5-sekundnih intervala τ u jednoj godini u kojima se pojavilo upravo x_i informacija. Npr. 1 informacija se pojavila u TS1 (Melina) u 1874 5-sekundnih vremenskih intervala, 3 informacije pojavile su se u TS2 (L.Osik) u 25 ptesekundnih intervala itd. Dijeljenjem vrijednosti f_i sa ukupnim brojem 5-sekundnih intervala (n_{5s} = 6 324 480) mogu se dobiti relativne frekvencije, odnosno vjerojatnosti, za pojedina infromacijska obilježja x_i. Tako je vjerojatnost pojavljivanja 1 informacije za TS1 jednaka približno 0,0003 a vjero-

jatnost pojavljivanja 3 informacije za TS2 jednaka približno 0,00006 itd.Ostale karakteristične veličine mogu se očitati sa same slike.

Sl.2 prikazuje također distribuciju frekvencija informacijskih obilježja x_i ali ne za postrojenje u cjelini već za komponente postrojenja pojedinačno, i to za dalekovodna polja 110 kV (11), 220 kV (6) i 380 kV (2). Broj u zagradama označava broj promatranih dalekovodnih polja. Za svako dalekovodno polje označena je odgovarajuća distribucija frekvencije pojavljivanja određenog broja



Sl 2

procesnih informacija u vremenskim intervalima od 5 sekundi. Promatrana je jedna godina tj. uzet je uzorak od 6 324 480 petsekundnih intervala. Vrijednosti f_i i x_i imaju isto značenje kao i na sl.1 samo se ovdje radi o komponentnim događajima za DV polja 110 kV, 220 kV i 380 kV. Sa slike se vidi da se npr. 4 informacije na dalekovodnom polju 110 kV mogu pojaviti u 2 do 10 petsekundnih intervala u godini, a na dalekovodnom polju 380 kV od 2 do 8 petsekundna intervala u godini itd. U 90% slučajeva će se vrijednost f_i za odgovarajući x_i nalaziti u iscrtanom dijelu ravnine. Dijeljenjem vrijednosti f_i sa n_{5s} mogu se dobiti vjerojatnosti pojavljivanja određenog broja procesnih informacija u 5-sekundnim intervalima za pojedine komponente postrojenja a to su u stvari vjerojatnosti p_{ij} iz izraza (3). Ako se želi uzeti u obzir i informacije upravljanja potrebno je navedene vrijednosti za f_i na sl.2 povećati za cca 10-15%. Na kraju se još mora naglasiti da se i vrijednosti f_i za transformatorska polja gotovo

u cjelosti uklapaju u isertani dio ravnine na sl.2.

3.4 Informacije o mjerenjima

Analiza dinamike informacija o mjerenjima nije provedena na temelju osobnih eksperimenata već su rezultati u tablici III prikazani prema Lit.3 u kojoj su objavljeni podaci na temelju ispitivanja EES-a u jednom dijelu USA. Pri ispitivanju su obuhvaćena cca 400 mjerenja i tražena je učestalost promjene mjerenja u 5, 10 i 30 - sekundnim intervalima. Ovdje su naročito važni 5-se-

Tablica III

		f_r - relativna frekvencija aktivnih vrem.perioda							
		τ= 5 sek				τ=30 sek			
		MW	MVAr	A	kV	MW	MVAr	A	kV
MRTVA ZONA	1%	0,805	0,672	0,584	0,508	0,869	0,726	0,631	0,549
	2%	0,567	0,356	0,297	0,212	0,703	0,442	0,368	0,263
	3%	0,376	0,215	0,140	0,044	0,513	0,293	0,191	0,060
	5%	0,212	0,095	0,058	0,013	0,322	0,144	0,088	0,019
	10%	0,076	0,029	0,022	-	0,126	0,048	0,037	-

kundni intervali jer se te vrijednosti mogu usporediti sa rezultatima prikazanim na sl.1. i 2 i u tablicama I i II.

U tablici III su prikazane relativne frekvencije pojavljivanja karakterističnih mjernih veličina za različita podešenja mrtvih zona mjerenja. Uočljivo je da su najfrekventnije promjene mjerenja radne snage i da se broj aktivnih 5-sekundnih intervala kreće od 1% do 80%. Usporedbom sa podacima u tablici II to su za cca 10^3 veće vjerojatnosti pojavljivanja informacija o mjerenjima u odnosu na informacije signalizacija i upravljanja. Prema tome iako informacije o mjerenjima predstavljaju samo 2-5% informacijskog opsega ipak će one biti dominantne u dinamici procesnih informacijskih tokova. Dinamika informacija o signalizaciji i upravljanju predstavlja u neku ruku vršno opterećenje procesnih informacijskih tokova.

4. ZAKLJUČAK

Radi mogućnosti planiranja i proračunavanja procesnih informacijskih tokova potrebno je dinamiku procesnih informacija proučavati na razini pojedinih komponenti postrojenja. Na temelju prikazanih rezultata u ovom radu može se zaključiti da je pojavljivanje informacija o upravljanju i signalizaciji vrlo rijetka pojava. Pri samom istraživanju uočeno je da treba podići kvalitetu kronološke registracije procesnih informacija s obzirom na izbor, sistem šifriranja, selektiranje i medij direktnog pohranjivanja informacija u samim postrojenjima. I na kraju provedena istraživanja obuhvatila su relativno skroman broj

postrojenja. Posebnu pažnju pri tome treba posvetiti i ispitivanju zavisnosti medukomponentnih informacijskih događaja i informacijskih događaja između pojedinih postrojenja.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakva se pažnja posvećuje izboru, sistemu šifriranja, selektiranju i pohranjivanju procesnih informacija. Dali postoje stručni timovi koji vode stalnu brigu o tome?

LITERATURA

1. Ž.PAUŠE: "Vjerojatnost, informacija, stohastički procesi", - Školska knjiga Zagreb 1978.
2. Ž.PAUŠE: "Uvod u teoriju informacije" - Školska knjiga Zagreb 1989.g.
3. D.J.GAUSHELL i drugi: Analysis of analog data dynamics for supervisory control and data acquisition systems IEEE,Vol.PAS-102,No.2, February 1983g.
4. J.ŠIMUNIĆ: "Prostor vjerojatnosti skupa procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja" - Energija br.4, - - Zagreb 1990.g.
6. N.BARANOVIĆ i drugi: "Minimizacija količine podataka i broja obrada sistema daljinskog vođenja u realnom vremenu" - Ref.35.07-CIGRE, XVIII Savjetovanje, Budva 1987g.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr. Branka Rakić-Nikolić, dipl.ing.
Miloš Čojanović, dipl.mat.
Dragan Đorđević, dipl.ing.

ENERGOINVEST - SDU, Sarajevo

Referat broj 1.09

SAVREMENI NADZORNO-UPRAVLJAČKI SISTEMI ZA PRIMJENU U ELEKTROENERGETICI

SADRŽAJ

U ovom radu opisana je koncepcija i osnovne karakteristike ENERGOINVEST-ove game savremenih, fleksibilnih, distribuiranih, modularnih nadzorno-upravljačkih sistema za primjenu u elektroenergetici. Osnovna ideja pri izradi ovakve koncepcije bila je primjenljivost u širokom dijapazonu potreba i mogućnosti potencijalnih korisnika, uz mogućnost jednostavnog "rasta" i "prekrajanja" sistema.

Kostur koncepcije predstavljaju sistem za upravljanje distribuiranom bazom podataka u realnom vremenu i jedinstveno operatorsko radno mjesto, PC-bazirana grafička radna stanica. Akviziciju podataka, automatske funkcije sistema, te specijalne aplikativne funkcije, obavljaju komponente odabrane u skladu sa kapacitetom i zahtjevima sistema, a baziraju se na 8, 16 ili 32-bitnoj računarskoj arhitekturi.

ABSTRACT

In this paper we describe the concept and the basic characteristics of ENERGOINVEST's contemporary familiy of flexible, distributed, modular SCADA systems for electric power applications. The basic idea behind this concept was applicability in a wide range of needs and abilities of the potential users, with easy system growth and redesign possibilities.

The backbone of the product line is a custom design real-time distributed database management system and a unique operator's workplace: a PC-based graphisc workstation. Data acquisition, automatic system functions and application-specific functions are performed by components selected according to the object

system requirements and capacity, based on 8, 16, or 32-bit computer architecture.

1. UVOD

Osamdesete godine će u istoriji računarstva ostati zabilježene, izmedu ostalog, i po dramatičnom porastu proizvodnje (prodaje) računara, uglavnom zahvaljujući isto tako dramatičnom padu cijena hardvera. Napredak računarske tehnologije također je omogućio širu primjenu računarske grafike po pristupačnim cijenama. Personalni računari i grafičke stanice preplavili su sve oblasti primjene računara, uključujući i upravljanje procesima, zaoštravajući naglo pitanje raspoloživosti i jednostavnosti upotrebe odgovarajućeg softvera. U istom periodu zabilježen je značajan napredak u razvoju računarskih komunikacija i mreža, a prisutni su, naročito posljednjih godina, vidni napori vodećih svjetskih proizvodača računarske opreme na području standardizacije sistemskog softvera i softverskih alata (POSIX, X-WINDOWS, MOTIF, TCP/IP, itd.).

Ovakav razvoj računarske tehnologije uticao je i na izmjene na tržištu sistema za daljinski nadzor i upravljanje procesima (SCADA), uključujući elektroenergetiku. Sa jedne strane, došlo je do širenja tog tržišta, obzirom da se pojavio znatan broj "malih" korisnika koji su sada u mogućnosti da investiraju u nabavku takvih (skromnijih) sistema. Samim tim, došlo je i do diversifikacije tržišta. Naime, traže se mali, specijalizovani, veoma aplikativno obojeni sistemi koji obavljaju određene zadatke (napr. nadzor potrošnje energije, AGC, itd.), pri čemu je daljinski nadzor i upravljanje isključivo u funkciji obavljanja tih zadataka. Tako je i skup i način prezentiranja informacija korisniku u tim sistemima bitno drugačiji nego u klasičnim SCADA sistemima, i veoma zavisi od objektnog sistema.

Sa druge strane, došlo je do usložnjavanja tržišta. Tradicionalni korisnici SCADA sistema, naročito u elektroenergetici, stekavši veliko iskustvo kroz korištenje nekoliko prethodnih generacija takvih sistema, postavljaju sve složenije zahtjeve pred sisteme nove generacije, kako u smislu performansi, tako i u smislu kvalitetnog interfejsa prema čovjeku. Traži se da se sistemi, a ne (samo) korisnici, dinamički prilagodavaju promjenama u nadziranom procesu i sami donose, ili sugerišu donošenje, najboljih odluka u svakoj situaciji. Dalje se zahtijeva da takvi sistemi, neminovno složeni za projektovanje i implementaciju, budu jednostavni za učenje i upotrebu, što podrazumijeva primjenu najsavremenijih saznanja u oblasti interakcije čovjeka i računara.

Imajući u vidu prije svega zahtjeve tržišta i oslanjajući se na napredak računarske tehnologije, u ENERGOINVEST-u je koncipirana i djelimično razvijena gama savremenih, fleksibilnih, distribuiranih, modularnih sistema za daljinski nadzor i upravljanje u elektroenergetici, kao i u drugim oblastima. Koristeći komponente iz ove familije proizvoda moguće je konfigurisati male, srednje i veće sisteme, kako u smislu kapaciteta i performansi, tako i u smislu cijene. Kostur koncepcije predstavljaju sistem za upravljanje distribuiranom bazom podataka u realnom vremenu (DBMS) i jedinstveno operatorsko radno mjesto, PC-bazirana grafička radna stanica (workstation, WS). Sistem za upravljanje bazom

podataka obezbjeduje jedinstvene mehanizme za distribuciju i pristup podacima, bez obzira na tip računara i operacioni sistem pojedinih čvorova, te sadržaj baze podataka za konkretnu aplikaciju. Grafička radna stanica obezbjeduje savremen, univerzalan interfejs i potrebne mehanizme za aktiviranje i upotrebu korisničkih funkcija za sve aplikacije. Funkcije interfejsa prema korisniku, tj. one koje se aktiviraju isključivo na njegov zahtjev, odvijaju se na radnoj stanici, a spregnute su sa centralnom bazom podataka na glavnom upravljačkom računaru (HOST, SERVER) putem sistema za upravljanje bazom podataka koji podržava distribuirani rad. Na taj način je postignuta mogućnost realizacije složenijih funkcija za obradu i prikaz podataka, koje se mogu izvršavati na više radnih mjesta, bez ugrožavanja performansi sistema. Pri tome je procesor glavnog upravljačkog računara dalje rasterećen, te je moguće i njemu delegirati dodatne funkcije (napr. automatske i poluautomatske upravljačke funkcije na bazi analize stanja u procesu, kompleksnije arhiviranje i statistika, itd.).

Glavni upravljački računar bira se u skladu sa zahtjevima i kapacitetom svakog sistema, a može biti (za sada) IBM PC ili kompatibilan računar, DEC LSI 11/73 ili DEC rtVAX. Dugoročni planovi predvidaju isključivanje DEC LSI 11/73 i mogućnost upotrebe bilo kog računara, po želji korisnika, koji podržava standardne softverske alate. Ovo posljednje je i u svjetskim okvirima još uvijek tek budućnost, mada, čini se, izvjesna.

2. SISTEM ZA UPRAVLJANJE DISTRIBUIRANOM BAZOM PODATAKA

Ne postoji precizna i potpuna definicija distribuiranih sistema, pa ćemo zato dati opisnu definiciju. Distribuirani sistem je bilo koji sistem u kome ima više čvorova fizički povezano preko komunikacijske mreže, tako da krajnji korisnik na svakom čvoru može pristupiti resursima na bilo kom drugom čvoru. Čvor u ovom kontekstu označava računar koji se sastoji od CPU-a, primarne memorije, sekundarne memorije (disk, traka), i periferala (printeri, terminali). Postoji nekoliko klasičnih konfiguracija distribuiranih sistema:

a) zvjezdasta
b) prstenasta
c) hijerarhijska
d) mrežna
e) hibridna (kombinacija konfiguracija pod a,b,c,d).

U jednom ovakvom sistemu pojavljuje se više procesora. Prema tome da li su procesori istog ili različitog tipa, moguće je distribuirane sisteme podijeliti na:

a) homogene
b) heterogene.

Distribuirani sistem obezbjeduje slijedeće zahtjeve:

a) komunikaciju izmedu procesora
b) globalnu kontrolu i alokaciju nad resursima
c) globalnu komunikaciju i sinhronizaciju izmedu procesa

d) pristup datotekama na drugom čvoru
e) detekciju grešaka
f) oporavak nakon greške
g) zaštitu resursa i podataka od neautorizovanih korisnika.

Kod centraliziranih baza (višekorisničkih ili jednokorisničkih) podaci su smješteni na jednom ili više diskova, ali se kontrola i procesiranje nad njima odvija na jednom procesoru. Kod distribuiranih baza podaci se nalaze na više sistema, a komunikacijska veza između čvorova omogućava da podaci na jednom sistemu postanu vidljivi drugom sistemu. Prilikom projektovanja distribuirane baze nameću se dva bitna problema:

a) dijeljenje baze (kako će baza biti podijeljena na distribuirane komponente),
b) redundancija (dupliciranje podataka, odnosno čuvanje podataka na više različitih mjesta, bilo zbog eventualnog pada glavnog sistema ili zbog nekih specifičnih zahtjeva objektnog sistema).

Ovi problemi se mogu svesti na četiri slučaja:

a) potpuna (čista) segmentacija
b) segmentacija sa izvjesnim ponavljanjem
c) potpuno ponavljanje podataka
d) distribucija određena funkcijama.

Distribucija podataka se vrši prema tome kakvi su zahtjevi pojedinih čvorova, tj. koje su funkcije implementirane na tom čvoru.

S obzirom na činjenicu da glavni upravljački računar (SERVER) i grafičke radne stanice (CLIENT-i) u gami sistema koju opisujemo u ovom radu mogu biti mašine sa različitim procesorima, i da su grafičke radne stanice (u prvoj varijanti) povezane zvjezdasto sa SERVER-om, možemo zaključiti da se radi o zvjezdastom i heterogenom distribuiranom sistemu.

Kriterij po kojem se vrši distribucija u sistemu je jednostavan, a određen je funkcijama koje izvršavaju radne stanice (CLIENT-i), s tim što je za osnovni skup podataka (nukleus baze) svakako prisutna segmentacija sa izvjesnim ponavljanjem. Grupa podataka koji se relativno rijetko mijenjaju direktno su dostupni svakom čvoru. Grupa podataka koji se vrlo često mijenjaju prikupljaju se na glavnom upravljačkom računaru, a zatim selektivno razašilju odgovarajućim radnim stanicama.

3. GRAFIČKA RADNA STANICA

Operatoru je neophodno da ima što bolji uvid u cjelokupni sistem, da bi mogao da pravovremeno reaguje u kritičnim trenucima, tj. da spriječi havariju sistema. U sistemima starije generacije daljinski prikupljeni podaci su u centru prikazivani na sinoptičkim pločama i terminalima, povezanim serijskim linijama na glavni (server, host) računar. Brzina prikaza dijelova sistema (odziv) bila je mala iz sljedećih razloga:

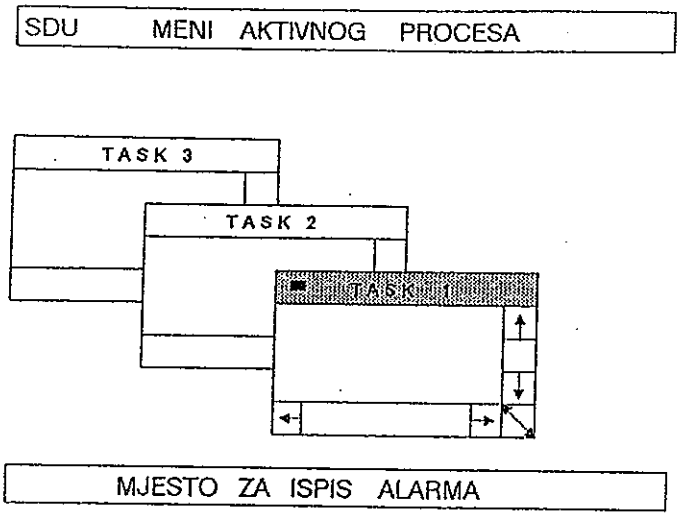
- brzina komunikacije preko serijske linije je ograničena na 9600, ili u krajnjem slučaju na 19200 Bd, što je stvaralo usko grlo prilikom prenosa složene slike sačinjene od većeg broja grafičkih elemenata,
- program za prikaz slika sistema odvijao se na glavnom računaru, tako da je dobijao mali dio procesorskog vremena,
- prosječan (semi)grafički terminal nema u sebi ugradene funkcije koje bi ubrzale prikaz slika, već je za crtanje svakog elementa u pravilu potrebno izdati više komandi.

Padom cijena hardvera došlo je i do pada cijena personalnih računara, pa su se one praktično izjednačile sa cijenama grafičkih terminala, što je dovelo do ideje da se terminal zamijeni kompletnim računarom, tzv. grafičkom radnom stanicom (WORKSTATION, kraće WS). Ovakvi "terminali" raspolažu znatnom sopstvenom procesnom moći i memorijom, što je dovelo do distribuiranja velikog dijela funkcija sistema sa glavnog računara na radnu stanicu.

Razvoj hardvera je pratio i razvoj softvera. Omogućeno je da se na grafičkoj stanici izvršava više procesa odjednom (multitasking). To je dovelo do potrebe da svaki proces ima svoj ekran tj. "prozor" u terminologiji računarske grafike. Pošto bi uvodenje novih ekrana poskupilo stanicu, a i pošto čovjek u jednom trenutku može posmatrati samo jedan ekran, došlo se do ideje o virtuelnom ekranu. Postojeći ekran se dijeli u prozore koji pripadaju različitim procesima. Prelazak sa jednog prozora (procesa) na drugi gotovo je trenutan, pošto su svi procesi u memoriji. Da bi se ovo moglo sprovesti stvoren je novi dio operativnog sistema koji se naziva WINDOW MANAGER (WM), ili DISPLAY MANAGER, tj. menadžer prozora. Njegov zadatak je da omogući interakciju konkurentnim aplikacijama arbitriranjem pri dodjeli resursa (ekran, tastatura, "miš" itd.). To znači dodjelu nedjeljivih resursa (ulazni uredaji, napr. tastatura) jednom od procesa i preslikavanje izmedu virtuelnog resursa i realnog resursa (izmedu prozora i fizičkog ekrana). Postoje dvije vrste prozora: sa i bez preklapanja. Kod preklapanja prozori se mogu pozicionirati jedan preko drugog kao papiri na stolu (Apple Macintosh, Sun Open Window, News). U slučaju prozora bez preklapanja (tiled windows), oni se slažu jedan pored drugog kao pločice na podu (Microsoft Windows 1.0). Prozori bez preklapanja su jednostavniji za implementaciju, ali prozori sa preklapanjem su moćniji i postaju danas standard.

Sistemi koje opisujemo u ovom radu koriste PC kao operatorsko radno mjesto, tj. grafičku radnu stanicu. Relevatni programi, kao i dio podataka, smještaju se lokalno, čime se generalno uvećava brzina odziva na operatorove zahtijeve. Menadžer prozora (WM) omogućuje operatoru praćenje više dijelova procesa istovremeno i vodi računa o dodjeli ekrana, tastature i miša pojedinim procesima. Baziran je na prozorima koji se praklapaju i ima korisnički interfejs nalik na Apple Macintosh (slika 1). Podjela ekrana se inicijalno vrši na tri fiksna dijela:

1. gorrji red na kojem se nalazi tzv. pull-down meni (tj. meni koji se "otvara" prema dole pri aktiviranju i automatski zatvara nakon toga) trenutno aktivnog prozora, vrijeme i meni za stalne funkcije sistema koje se mogu pozvati u bilo kojem trenutku; one kao svoje zaglavlje imaju oznaku "SDU", ispod koje



Slika 1. SDU GRAFIČKA STANICA: KORISNIČKI INTERFEJS

su navedene sve korisničke funkcije u datom sistemu; u menijima se pored svake funkcije prikazuje skraćenica kojom operator može pozvati funkciju sa tastature bez upotrebe "miša", što omogućuje iskusnom operatoru veoma brzo aktiviranje željene funkcije, dok je početnicima olakšano učenje, pošto su sve funkcije prikazane u meniju; ovakav tip menija primjenjuje se na sve HMI funkcije, tj. korisnički interfejs je unificiran u cijelom sistemu, što doprinosi konzistentnosti i jednostavnosti upotrebe;

2. srednji dio, na kom se nalaze trenutno aktivni prozori (u svakom je aktivna po jedna korisnička funkcija);

3. posljednji red, na kom se ispisuju alarmne i ostale poruke operatoru.

Komunikacioni softver omogućuje da se podaci koji se nalaze na glavnom upravljačkom računaru prenesu promptno, u slučaju takve potrebe, na grafičku stanicu, i obrnuto.

Lokalni dio sistema za upravljanje bazom podataka vodi računa o zahtjevima za podacima svih funkcija aktivnih na grafičkoj stanici, po potrebi preslikava dio glavne baze i održava lokalni dio koji se koristi samo na grafičkoj stanici (datoteke slika, izvještaja itd., dok ne postanu globalne). Prema potrebama funkcija koje su trenutno aktivne, lokalna baza podataka se mijenja, tj. obezbjeđuje sve elemente glavne baze koji su potrebni datoj funkciji. Glavni upravljački računa "zna" koje promjene treba slati odredenoj radnoj stanici, u zavisnosti od oblasti nadgledanja prijavljenog operatora i trenutno aktivnih funkcija.

Jasno je da ovako koncipirana radna stanica u mnogome olakšava razvoj novih aplikacija i prilagodenje ranije razvijenih, tako što obezbjeduje niz gotovih i polugotovih elemenata, razvijenih upravo za aplikacije iz oblasti upravljanja elektroenergetskim (ili drugim) sistemima (meniji, dijalog sa korisnikom, izbor funkcija i objekata, simboli i njihovi atributi, grafički editori i povezivači, mehanizmi za rad sa prozorima, itd.). Sa druge strane, pošto se razvoj same grafičke stanice bazira na standardnim softverskim alatima (UNIX, X-WINDOWS, C), moguć je jednostavan prelaz (prenosivost) na moćnije komercijalno raspoložive grafičke stanice u budućnosti (SUN, VAXSTATION, APOLLO, MACINTOSH, itd.).

O samim aplikacijama razvijenim u ENERGOINVEST-SDU za upravljanje u oblasti elektroenergetike neće biti govora u ovom radu, budući da su one predmet brojnih drugih publikovanih radova.

4. RAČUNARSKE KONFIGURACIJE

Računarske konfiguracije se mogu formirati prema potrebama i mogućnostima korisnika, na veoma fleksibilan način. Operatorsko radno mjesto, tj. PC-bazirana grafička radna stanica, je uvijek prisutni, univerzalni element. Može ih biti jedna ili više, i na njima se izvršava skup korisničkih, aplikativno obojenih funkcija. Glavni upravljački računar zajedno sa grafičkim stanicama čini zvjezdasti, heterogeni, distribuirani sistem. Na njemu je smještena centralna baza podataka, izvršavaju se automatske funkcije sistema (primarna obrada, dojava događaja, arhiviranje, itd.) i, opcionalno (PC SCADA), komunikacije sa daljinskim stanicama i akvizicija podataka. Ako se zahtjeva mali sistem (registrator događaja, sistem za nadzor potrošnje energije, SCADA sistem malog kapaciteta, itd.), glavni upravljački računar je IBM PC ili kompatibilan.

U slučaju sistema srednjeg kapaciteta i performansi (nadzor i upravljanje manjim distributivnim ili prenosnim mrežama), glavni upravljački računar je (za sada još uvijek) DEC LSI 11/73, a komunikacije sa daljinskim stanicama i akviziciju podataka vrše inteligentni komunikacioni procesori (8-bitni PUSI-11, razvijen u ENERGOINVEST-u), kojih može biti jedan ili više. Svaki komunikacioni procesor nadzire do dvije komunikacione mreže. Razni komunikacioni procesori, iako sa glavnim upravljačkim računarom komuniciraju koristeći jedinstven, virtuelni protokol, mogu izvršavati različite protokole sa daljinskim stanicama, što omogućuje brzo i jednostavno dodavanje stanica drugog tipa u postojeći sistem.

Srednji sistem može da "preraste" u veći zamjenom DEC LSI sa rtVAX (tj. instaliranjem 32-bitne SCADA-e), dodavanjem novih daljinskih stanica i novih funkcija. Pri tome se zadržavaju i stare daljinske stanice, i njihovi komunikacioni procesori. Što je najznačajnije, zadržava se i kompletan korisnički interfejs, uz eventualno dodavanje novih funkcija, te su za korisnike ovakav "rast" i proširenje sistema potpuno bezbolni, a za investitore povoljni. Naravno, postoji i mogućnost konfigurisanja većeg sistema, ili hijerarhije većih sistema, u startu (veće distribucije, itd.), no i na njih je primjenljiva ista

filozofija "rasta".

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisana je koncepcija ENERGOINVEST-ove game fleksibilnih, distribuiranih, modularnih sistema za upravljanje u elektroenergetici. Cilj rada je bio da se pokaže kako se promišljenom standardizacijom sistemskih alata i komponenti na nižem nivou može zadovoljiti veoma širok dijapazon potreba i mogućnosti potencijalnih korisnika, a da se pri tome uvažavaju njihovi raznovrsni zahtjevi u pogledu raspoloživih aplikacija. Sporedna, ali ne manje važna prednost izložene koncepcije jeste mogućnost postupne izgradnje i proširenja sistema.

Zamišljena koncepcija je u većoj mjeri do sada i realizovana. Kada se ona finalizira, preostaje dalji rad na prihvatanju svjetskih standarda, koji su sada u fazi donošenja (prije svega POSIX operacioni sistem i njegova proširenja za realno vrijeme), i njihovoj primjeni, sa ciljem da se u budućnosti ostvari što veća nezavisnost od "gvožda" i što veća prenosivost razvijenih aplikacija.

6. LITERATURA

1. E. Johnson, K. Reichard, "X WINDOW Applications Programming", Tech Publications, 1989.
2. M. Sloman, J. Kramer, "Distributed Systems and Computer Networks"
3. B. Liebowitz, J. Carson, "Multiple Processor Systems for Real-time Applications"
4. G. Bernard, A. Duda, Y. Haddad, G. Harrus, "Primitives for Distributed Computing in a Heterogenous Local Area Network Environment", IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 15, No. 12, December 1989.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Josip Stepinac, dipl.ing.
RZ ZEOH, Zagreb
Joško Rosina, dipl.ing.
Tomaž Štebe, dipl. ing.
IB Elektroprojekt, Ljubljana
Dubravka Janjac, dipl.ing.
Elektroprivreda BiH, Sarajevo

Referat broj 1.10

PRISTUP IZRADI WORK STATEMENT-A PODSISTEMA DCN U OKVIRU TSU

SADRŽAJ

Opis posla (Work Statement - WS) mora što preciznije definirati sustav koji će se isporučiti, tražene usluge i odgovornost isporučitelja i kupca.

Autori žele naglasiti značaj principa da za opis posla primarni budu zahtjevi kupca a ne mogućnosti isporučitelja. Prijedlog sadržaja opisa posla rađen je po dosadašnjoj podjeli gdje je DCN bio samostalan podsistem no predloženi postupak moguće je koristiti i u drugim konstelacijama podsistema u TSU.

ABSTRACT

The Work Statement must comprehensively and consistently define the System to be produced, the Services to be performed and the technical responsibilities of the parties involved.

The authors want to emphasize the importance of Purcheser's requirements that should be primarily incorporated into Work Statement and not only Suplier's posibilities. As it was previously proposed DCN (Data Communication Network) should follow separate delivery also separate Work Statement - including proposed contents and working groups - is discussed. Stated procedures can be used also for any other system or equipement.

1. UVOD

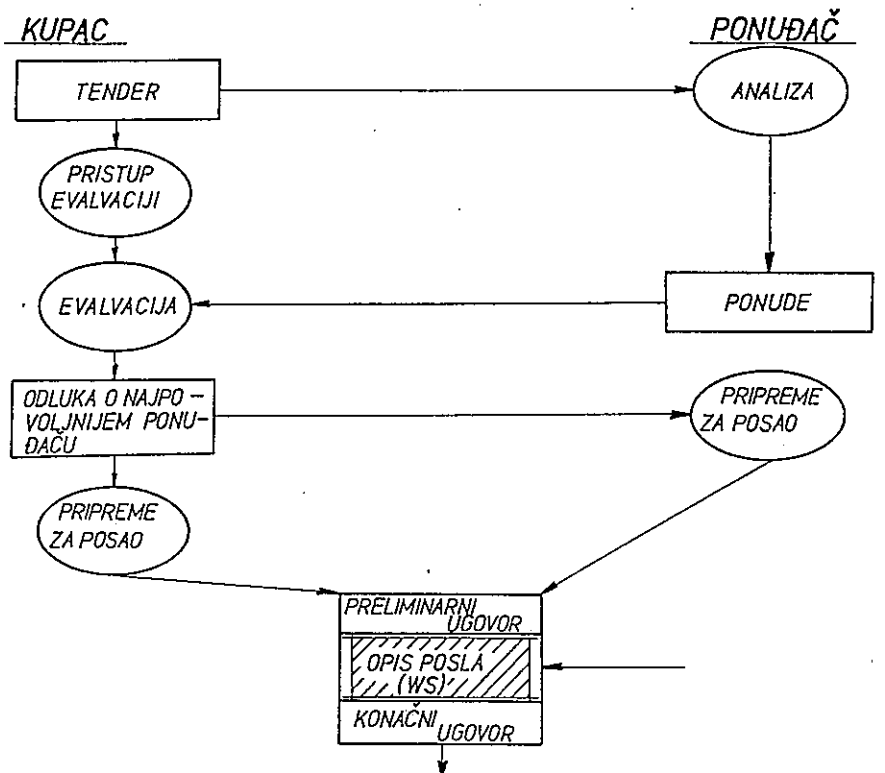
Krajem 1988. godine JUGEL je raspisao licitaciju za tendere glavnih podsistema projekta TSU (izuzetak je tender TCS).

Tijekom prve polovice 1989. godine obavljena je evalvacija ponuda prikupljenih prema raspisanim tenderima. Na tender DCN ponude je poslalo 6 ponuđača za koje je obavljen postupak evalvacije prema usvojenoj metodologiji. S obzirom na zahtjeve u tenderu DCN, odgovori pojedinih ponuđača su se i bitno međusobno razlikovali ovisno o osnovnoj HW/SW podlozi koju su predvidjeli za realizaciju mreže i ovisno o tome da li su nudili i koji od ostalih podsistema (OPS/RTS).

Iz pregleda i evalvacije ponuda te iz kontakata s pojedinim ponuđačima (pismeno ili usmeno) bilo je vidljivo da je DCN vrlo zahtjevan podsistem i da je potrebno voditi posebno računa o postupku pregovora s ponuđačima o svim detaljima posla a da bi se dobio DCN što bliži onome što je zahtijevano u tenderu. Tako je nastao i ovaj članak kao pokušaj da se projicira način pripreme i sadržaj opisa posla (Work Statement - WS).

2. SVRHA OPISA POSLA

Opis posla je dokument koji potpisuju ugovorne strane u poslu a tiče se svih detalja posla koje treba obaviti te je kao takav u cjelini obvezujući i sastavni dio ugovora između isporučitelja (sustava ili opreme) i kupca.



Slika 1. Mjesto WS-a u postupku ugovaranja posla

Samim svojim položajem u fazama projekta opis posla je jedan od ključnih dokumenata za uspješno obavljanje posla.

Po svojoj strukturi takav dokument slijedi dokumente iz kojih proistječe tj. tender i ponudu a po funkciji za daljnje faze posla preuzima ulogu osnovnog dokumenta od kojeg proizlaze svi detaljniji dokumenti tj:

- funkcionalne specifikacije
- izvedbeni/glavni projekti,
- tvornička dokumentacija,
- QA/QC dokumentacija,
- atestna dokumentacija,
- dokumentacija za testiranje,
- dokumenti za preuzimanje,
- itd.

WS se izrađuje na osnovi usuglašavanja stavova između ponuđača i kupca. Vodeću ulogu u pripremi opisa posla mora imati kupac, jer:

- financira projekt,
- specificira zahtjeve,
- eksploatira sustav i
- održava sustav.

Da bi bio optimalan i svrsishodan opis posla treba imati slijedeće osobine:

- minimalni broj dokumenata,
- u pojedinom dokumentu mora objedinjavati funkcionalne cjeline,
- mora imati što je moguće manje ponavljanja i pozivanja na drugu dokumentaciju,
- zahtjeve DCN koncipira preuzimanjem dijela Tendera (knjiga 3 dio II, a prije svega Tehničke specifikacije) kojem se dodaju specifičnosti ponuđača (ne obrnuto),
- obuhvaća što više zahtjeva, koji izlaze iz "okoline" a utječu na DCN (AE, TCS, RTU, CDU/PCU, RTS, procesni podaci).

3. POTREBNE AKTIVNOSTI ZA IZRADU OPISA POSLA

Prije početka pisanja Work Statementa, potrebno je pripremiti dokument o proceduri pisanja, koji će ujedno biti plan podjele i rasporeda posla radi kontrole aktivnosti na izradi Work Statementa.

Tu moramo posebno naglasiti, da se u Workstatement lakše "ulazi" sa već dobro pripremljenim osnovama (među koje moramo svakako ubrojiti i dosadašnje odgovore ponuđača).

Aktivnosti na izradi opisa posla obuhvaćaju slijedeće korake:

1. Definiranje procedure izrade Work Statementa tj. utvrđivanje radnih dijelova, dodjeljivanje posla i plan izvršenja,
2. Skupljanje i sortiranje svih podloga (dokumenata),
3. Brisanje iz dokumenata (ponuda i tendera) dijelova koji nisu relevanti,
4. Uređivanje dokumenata da se prikažu izuzeća, razjašnjenja, opcije i alternative,

5. Dopunjavanje teksta informacijama prerađenim prema Tenderu i dodavanje dobrih stvari iz osnovne ponude i usporedbom sa drugim ponudama,

6. Razmatranje materijala i korekcije u cilju postizanja sporazuma JUGEL-a i ponuđača.

Predlažemo, da za WS DCN materijale počne pripremati investitor sa domaćim konzultantom, a ne da se čeka stranog konzultanta. Izrađene materijale bi po potrebi pregledao strani konzultant.

Do početka rada na izradi opisa posla treba obaviti slijedeće aktivnosti:

- izraditi jednostavnu, sveobuhvatnu bazu procesnih podataka, da bi se moglo definirati tok svakog podatka (koji, odakle, kamo, kada). Podaci, koji su dati kao Dodaci u Tenderu DCN, su dovoljni samo za davanje ponude, pa to treba razraditi za svaki podatak posebno,
- pregledati do sada izrađene podloge za definiranje povezivanja DCN odnosno ICD sa TCS. Ovo bi se također moglo pripremiti kao dio jedinstvene baze podataka sa definiranim karakteristikama pojedinih prijenosnih puteva,
- pregledati dostupne materijale izrađenih Work Statementa za slične sustave upravljanja. Ovdje bi glavnu ulogu morao odigrati strani konzultant i koordinacija JUGEL-a radi povezivanja sa drugim elektroprivredama. Od izuzetne koristi bi bili razgovori stručnjaka, koji će biti angažirani na izradi opisa posla sa stručnjacima drugih elektroprivreda, koje već imaju iskustva na takvom poslu u tom području,
- pregledati do sada izrađene podloge za definiranje istovrsne opreme podsistema RTU sa opremom DCN odnosno ICD. To su prije svega modemi, koji moraju biti kompatibilni i sa TCS,
- pregledati do sada utvrđene/definirane protokole predviđene ponudama RTU onih ponuđača, koji su "evidentirani" za mogući izbor,
- pregledati odnosno obaviti dopunsku koordinaciju u pogledu dodatnih poruka između DC EP i ACC, oko kojih su možda bili do sada izrađeni neki materijali na podsistemu RTS (bilo DC EP ili ACC),
- analizirati testne procedure, za slučaj kada se uključuju i podsistemi RTS i RTU, sa definiranjem glavnih zahtjeva, koje moraju poštivati svi podsistemi,
- pripremiti uvođenje i sprovođenje QA/QC procedure i to ne samo za podsistem DCN, nego za cijeli TSU,
- odrediti stručno osoblje za pojedine faze odvijanja posla po pojedinim EP i JUGEL,
- pripremiti podloge za samu instalaciju opreme ICD (ne smijemo zaboraviti, da se DCN, tj. ICD-i instaliraju na 30 lokacija) sa prijedlogom angažmana ljudi na svim lokacijama.

Predlažemo, da se tako konkretno pristupi:

- izradi tzv. crossreference liste zahtjeva i njihove realizacije kroz ponude, na osnovi TOC i TQ svih dosadašnjih ponuđača, dopunjenih sa dodatnim odgovorima (u pismenoj formi),
- "pročišćavanju" Tenderske dokumentacije, da bi bila upotrebljiva za WS,
- pripremi svih materijala koje je dao ponuđač a korisni su za investitora (= brane njegov interes),
- analizi/pregledu svih odstupanja kroz navedenu crossreference listu koje investitor nikako

ne želi prihvatiti (može se pripremiti i lista prihvatljivijih, manje prihvatljivih odstupanja i alternativnih rješenja),

- proučavanju ponude u smislu evidentiranja njenih dijelova koji se mogu uvesti direktno u WS (katkad i sagledavanje u usporedbi sa drugim ponudama ne bi štetilo).

4. SADRŽAJ OPISA POSLA

Sadržaj opisa posla mora biti brižljivo pripremljen, kako bi zadovoljio sve navedene karakteristike, koje spominjemo u glavi 2.
Zbog toga predlažemo izradu opisa posla u tri knjige i to:

- Knjiga 1: Opći i komercijalni dio,
- Knjiga 2: Tehnički dio,
- Knjiga 3: Planovi, školovanje i održavanje.

Sadržaji pojedinih knjiga bili bi:

Knjiga 1:

a) uvod (kratak opis posla i "vodič" kroz dokumentaciju),

b) komercijalni uvjeti ugovaranja (preuzeto iz Tendera, sa "pozitivnim" dopunama),

c) cjenik opreme i usluga (usuglašeno sa listom opreme i usluga iz tehničkog dijela),

d) plan plaćanja opreme i usluga (na osnovi prijedloga komercijalnih stručnjaka sa povoljnijom varijantom plaćanja).

Knjiga 2:

a) uvod (prema knjizi 1),

b) funkcionalni zahtjevi sa uvodom (u suštini poglavlje 1 i 2 iz T.S. DCN, ažurirano na današnje stanje, sa opisom opreme, drugih isporučitelja - RTU, TCS i RTS, a koja se veže na DCN),

c) zahtjevi za hardware (u suštini poglavlje iz T.S. DCN suglasno sa HW konfiguracijom isporučitelja i definiranim svim vezama/interface-ima osobito prema TCS, RTU i RTS),

d) zahtjevi za software (u suštini poglavlje 4 iz T.S. DCN - uzevši u obzir osobine RTU i RTS),

e) performanse i eksploatacijski zahtjevi (poglavlje 5 iz T.S. DCN),

f) zahtjevi za proširenja (poglavlje 6 iz T.S. DCN),

g) lista opreme (usuglašeno sa ažuriranim brojem i vrstom opreme za održavanje i rezervnih dijelova - ako neki detalji nisu jasni, predlažemo, da se navede kompliciranija/skuplja izvedba ili veći broj nekih dijelova, koje isporučitelj treba dobaviti. Ovdje je korisna suradnja komercijalnih stručnjaka),

h) implementacija (prema poglavlju 7 T.S. DCN, uzevši u obzir, da je školovanje i održavanje obrađeno i u knjizi 1, a usuglašeno sa drugim podsistemima u okviru TSU sa jasno istaknutom granicom odgovornosti isporučitelj/investitor),

i) lista usluga (rekapitulacija svih usluga, koje daje isporučitelj, kroz implementaciju, školovanje i za održavanje),

j) dodatak A: Identifikacija procesnih podataka (identifikacija svakog procesnog podatka kojeg prenosi DCN sa identificiranim polazištem i odredištem kao i svim drugim uvjetima što bi trebala dati tzv. PBP RTCS).
Napominjemo, da bi se stručnjaci, koji poznaju zahvat procesnih podataka u objektima, morali angažirati u pripremi PBP RTCS, da bi zaista bili evidentirani svi procesni podaci. O tome ovisi opseg radova pa zbog toga i rokovi isporučitelja,

k) dodatak B: Karakteristike prijenosnih kanala (djelomično po Tenderu DCN sa dodatnim podacima koje "daje" TCS),

l) dodatak C: Identifikacija komunikacijskih interface-a (identifikacija svakog komunikacijskog interface-a za sve linkove - djelomično podaci trebaju biti obuhvaćeni u PBP RTCS. Ovo treba raditi u suradnji sa stručnjacima za TCS),

m) dodatak D: Identifikacija i karakteristike postojeće opreme (taj dio slijedi opis u Tenderu DCN kao i Additional Notes No. 1, što znači oprema RTS PCU i RTU),

n) dodatak E: Karakteristike protokola/rada RTU (uz dobru suradnju sa stručnjacima RTU pripreme se detaljni opisi protokola kao i način rada - osobito za slučajeve prebacivanja kanala s radnog na rezervni),

o) dodatak F: Tlocrti prostorija sa razmještajem opreme (predlažu se tlocrti prostorija sa lokacijom opreme ICD kao i razmještaj druge /postojeće/ opreme sa njenim karakteristikama, napajanje, TK razdjelnici, itd. Daje se i opis klimatskih uvjeta i mogućih izvora EMI - energetsko postrojenje, itd.).

Knjiga 3:

a) uvod (prema Knjizi 1),

b) plan realizacije projekta DCN (sa definiranim rokovima uključivanja drugih dijelova TSU),

c) plan rukovođenja projektom sa identificiranim suradnicima isporučitelja (opis strukture tima i način komuniciranja sa investitorom),

d) plan rukovođenja projektom sa identificiranim suradnicima investitora (uključujući domaćeg i stranog konzultanta sa njihovim ulogama),

e) plan Qa/QC službe odnosno procedura kod isporučitelja i kupca,

f) plan školovanja osoblja investitora za sve profile potrebnih kadrova,

g) opremanje centara održavanja.

5. KADROVI

Računajući na iskustva stečena u fazi evalvacije predlažemo slijedeću organizaciju timova za izradu/pripremu Work Statementa:

Komercijalni tim:

- grupa za ekonomska pitanja,
- grupa za pravna pitanja.

Tehnički tim:

- grupa za HW DCN (potrebno uključiti i stručnjake TCS i RTS):

* čista računalska oprema
* komunikacijske jedinice
* oprema za povezivanje na TCS

- grupa za SW DCN (potrebno uključiti i stručnjake RTS i RTU):

* operacijski i osnovni SW
* SW za akviziciju podataka
* komunikacijski SW
* baze podataka

- grupa za O/M (predlažemo, da se uključe i stručnjaci predvideni za rad na drugim podsistemima RTU, TCS i RTS zbog jedinstvenog sagledavanja te vrlo bitne problematike, a grupa mora biti dobro ekipirana ako se želi uspjeh projekta),

- grupa za QA i

- grupa za procesne podatke.

Opseg radova za ove navedene grupe bi bio u grubom slijedeći (prema prijedlogu sadržaja Work Statementa iz glave 4):

Komercijalni tim:

1a, 1b, 1c, 1d, 2g, 2i, 3c;

Tehnički tim:

* sve grupe zajedno:

2a, 2b, 2e, 2f, 2g, 2i, 3a, 3b, 3c, 3d;

* grupa HW DCN:

2c, 2f, 2g, 2k, 2l, 2m, 2o;

* grupa SW DCN:

2d, 2f, 2m, 2n;

* grupa O/M:

1c, 2f, 2g, 2h, 2i, 3b, 3c, 3d, 3f, 3g;

* grupa za QA:

3e;

* grupa za procesne podatke:

2j.

Izbor kadrova (prije svega) treba napraviti od:

1. Raspoloživog kadra JUGEL-a i njegovih članica, a koji je sudjelovao u evalvaciji,
2. Ekipe domaćeg konzultanta,
3. Ekipe stranog konzultanta.

6. POVEZIVANJE S DRUGIM AKTIVNOSTIMA I PODSISTEMIMA

U Tenderu DCN (poglavlje 1) je navedeno, da će investitor proslijediti podatke za definiranje protokola postojećih RTU. Takav protokol će biti upotrijebljen i za povezivanje sa određenim udaljenim ACC. Svakako je potrebno, da se taj segment točno definira kako bi mogao postati prava podloga za opis posla.

Zahtjevi za telekomunikacijsku opremu, koja će se koristiti i za potrebe TSU (prije svega za linkove B, D, D* i E) definirani su na osnovi zahtjeva DCN u tenderskoj dokumentaciji TCS. Ova dokumentacija je u fazi izrade, pa možemo očekivati, da će odgovarajuće podloge biti dovršene do početka izrade Work Statementa za podsistem DCN. Na ovom području očekujemo više problema, jer smo se do sada mogli uvjeriti, da ponuđači podsistema DCN ne daju u cjelini prihvatljiva rješenja za povezivanje opreme ICD na digitalni TCS ili čak ne shvaćaju problematiku. Na žalost ta problematika postaje još složenija zbog neeuropskih ponuđača, koji bi eventualno mogli biti predloženi za Work Statement. Zbog toga je potrebno što prije početi sa pripremom tih podloga.

U daljnjem tekstu Tendera DCN nailazimo u poglavlju 7 na zahtjeve za koordinacijom pojedinih oblasti između podsistema DATS-a, koje će trebati točnije definirati u opisu posla, a te oblasti su:

- plan projekta,
- projektiranje opreme,
- izrada opreme,
- povezivanje podsistema,
- testiranje,
- školovanje,
- dokumentacija,
- radni planovi,
- planovi instalacija i startanja,
- dokumentacija za primopredaju.

Vidimo, da zbog "položaja" podsistema DCN, na koji se vežu RTU, TCS i RTS, treba pribaviti neke od podloga od navedenih podsistema. To smo već naveli, a smatramo, da i zbog toga ekipa DCN mora surađivati kod formiranja Work Statementa za podsisteme, koji utječu na DCN. Svakako je tu potrebna izuzetno dobra koordinacija, da ne dođe do nepredviđenog kašnjenja. Jasno treba ukazati na to, što primarno definira podsistem DCN, a što drugi podsistemi.

7. ZAKLJUČAK

Predloženi sadržaj Work Statementa je potrebno kritički pregledati i dopuniti.

TSU se gradi već dulji niz godina. Prošle godine obavljena je evalvacija ponuda za tendere 1 do 6, koja je međutim poništena za tendere 1 do 5 i na zahtjev Međunarodne banke prišlo se izradi novog tendera koji objedinjuje RTS, DCN i OPS funkcije. I dalje se funkcije DCN tretiraju kao dio RTS a ne kao dio komunikacija što je inače svjetska praksa. No bez obzira na to problematika DCN-a mora biti tretirana kroz opis posla na ovakav ili sličan način.

Na temelju danog sadržaja opisa posla mogu se početi odvijati neke od aktivnosti za koje se smatra, da su ostvarive ili/i potrebne za daljnji rad bez obzira na tretman DCN-a. Zbog toga se moraju predvidjeti i konkretni nositelji aktivnosti koji bi dalje trebali usmjeravati rad.

Predviđene kadrove treba rasteretiti drugih aktivnosti i predvidjeti njihovo nagrađivanje i zbog vjerojatne dislokacije samog posla oko Work Statementa. Iako ovaj problem nema isti tretman kao podloge za posao, bez takvog pristupa će se posao teško odvijati.

Također smatramo, da je vrlo važno, da investitor diktira davanje svojih podloga, a ne da u svemu tempo diktira isporučitelj.

8. PITANJA ZA DISKUSIJU

1. Koji su nedostaci ako sadržaj opisa posla primarno diktira ponuđač?
2. Kakav je odnos stranog konzultanta ako je iz iste tehnološke regije kao i isporučitelj?
3. Kakav položaj DCN u opisu posla može dati kvalitetniji rezultat:

   samostalan ili integriran s drugim podsistemima uzevši u obzir specifičnosti DCN-a?

9. LITERATURA

1. TENDER DCN knjige 1-4
2. Materijali stranih konzultanata ECC i SE pisani za JUGEL
3. Materijali domaćih konzultanata IBE, EEE pisani za JUGEL
4. Funkcionalne specifikacije SDV ZEOH

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Tomaž Perne,ing.
Stanislav Miklavčič,dipl.ing.
Iskra Kibernetika,Podjetje Stevci Kranj

Referat broj 1.11

OBDELAVA PODATKOV POTROSNIKOV, KI IMAJO POSEBEN VPLIV NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM

VSEBINA

Referat opisuje postopek in programski paket za obračun električne energije pri uporabnikih, ki imajo poseben vpliv na obratovanje elektroenergetskega sistema in ki se lahko prilagajajo zahtevam sistema racionalne rabe električne energije. Za vse te vrste porabnikov velja poseben režim dobave in obračuna električne energije. Tak sistem obračuna električne energije na kratko imenujemo prilagojeni odjem.

Na pobudo Elektrogospodarstva Slovenije (EGS) smo v Iskri Kibernetiki Podjetje Stevci izdelali programski paket, ki tak način obračunavanja električne energije poenostavlja, obenem pa se vklaplja v že obstoječi programski paket za merjenje in obdelavo podatkov ISKRAMATIC SEP2.

A method and a software for electric energy billing at premises of medium and large consumers, which can immediately reduce their load on request, are described in the paper. Such consumers have speciel treatment in electric power supplying and charging the costs. The system of billing the electric energy at premises of such consumers is called "adjusted power supply".

On initiative of Slovenia electric-economics, a software for a simple billing of electric energy according to "adjusted power supply" has been developed in Meters factory, a division of Iskra Kibernetika. In the same time, the software is compatible with existing software of the ISKRAMATIC SEP2 system for electric energy measurement, registration and data processing.

1 UVOD

Z vpeljavo novega sistema za merjenje in obdelavo podatkov o pretoku električne energije ISKRAMATIC SEP2, se je že pokazala potreba in možnost po širitvi tega sistema. Ker sistem nudi hitre in točne podatke z merilnih mest v omrežju elektroenergetskega sistema, je možno z njim hitro in pregledno nadzorovati potrošnjo in kritične situacije, ki se eventuelno pojavijo v omrežju. Obenem pa nas vse večje pomanjkanje energetskih virov in s tem povezane cene električne energije sili k racionalni potrošnji le-te. Zato moramo poznati vse dejavnike, ki vplivajo na sistem trošenja in vse možnosti racionalnega izkoristka.

Zato pri uporabnikih, ki imajo poseben vpliv na delovanje elektroenergetskega sistema in ki se zaradi karakteristik svoje proizvodnje in potrošnje električne energije lahko prilagajajo zahtevam sistema racionalne rabe električne energije, velja poseben režim dobave in obračuna električne energije, ki ga na kratko imenujemo prilagojeni odjem. Tako ti uporabniki prispevajo k smotrnejšemu koriščenju elektroenergetskih naprav in nenazadnje tudi k znižanju stroškov, saj se to upošteva pri ceni za dobavljeno električno energijo in sicer pri ugotavljanju višine obračunske moči.

Da pa bi uporabnik lahko v vsakem trenutku prilagodil svoj odjem možnostim dobave, mora imeti organizirano energetsko dežurno službo in in imeti ustrezne merilne naprave za objektivno ugotavljanje in registriranje moči. Sistem obračuna pri uporabnikih s prilagojenim odjemom se tako zelo poenostavi, pri tem pa nam je omogočen stalen in nazoren pregled nad dnevno in mesečno potrošnjo.

2 PRINCIP OBRACUNA PRILAGOJENEGA ODJEMA

Koristnike in načine prilagojenega odjema predpisuje Tarifni sistem za prodajo električne energije iz elektroenergetskega sistema Slovenije (Uradni list SRS, št. 7/85)- v nadaljnjem besedilu Tarifni sistem, in sicer so te posebne zahteve opisane v členih od 19 do 28.

Uporabnik ima poseben vpliv na obratovanje elektroenergetskega sistema, če se lahko s svojim odjemom električne energije prilagaja možnostim dobave.

Mesečna obračunska moč pri uporabnikih, ki izpolnjujejo pogoje prilagojenega odjema se ugotavlja tako, da se upošteva povprečje treh največjih 15 minutnih obremenitev elektroenergetskega sistema. Cas večjih dnevnih obremenitev elektroenergetskega sistema je v delovnikih v višji obračunski sezoni največ 6 ur dnevno in v nižji sezoni največ 4 ure dnevno. Programski paket za izračun moči pri uporabnikih s prilagojenim odjemom, je pisan za zahteve, ki jih predpisuje 22. člen Tarifnega sistema. Zaenkrat je takšnih potrošnikov, ki se lahko prilagajajo po tem členu, v Sloveniji največ, zato je vpeljava takšnega

sistema smiselna. Torej je potrebno za korekten izračun obračunske moči vpeljati še dodatno definiranje parametrov, ki so specifični za izračun prilagojenega odjema.

2.1 Definicija dodatnih tarifnih časov

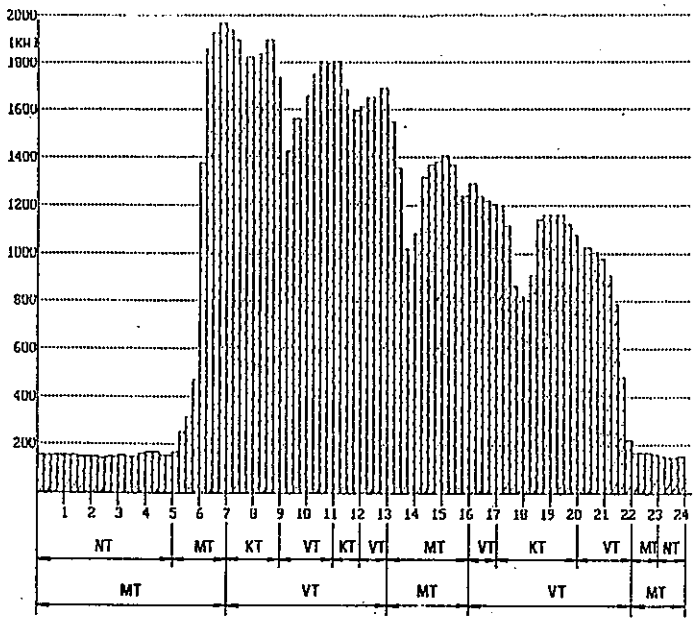
Med že trenutno obstoječa dva tarifna časa večje tarife (VT) in manjše tarife (MT) vpeljemo še definicijo dveh dodatnih tarifnih časov. Za čas, v katerem bo dobavitelj pri obračunu mesečne obračunske moči upošteval povprečje treh največjih 15-minutnih obremenitev, je potrebno definirati tarifo večjih (višjih) dnevnih obremenitev (KT) elektroenergetskega sistema. Ure vršnih dnevnih obremenitev (KT) elektroenergetskega sistema se določijo v letnih pogodbah o dobavi in odjemu električne energije na osnovi planiranih diagramov obremenitev v letnih elektroenergetskih bilancah. To je osnova za nadaljnji izračun vršne moči.

Poleg tega pa definiramo še čas, ki velja v manj obremenjenem delu dneva, to je znotraj nižje tarife v nočnem času, torej nočno tarifo (NT).

Ostanejo torej še komplementi znotraj teh tarif in so:

-preostali čas v večji tarifi
-preostali čas v manjši tarifi

Razpored tarif pri uporabnikih s prilagojenim odjemom preko celega dneva izgleda kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1

2.2 Vrste prilagajanja možnostim dobave električne energije

Poleg že opisanega postopka izračuna vršne moči pri porabnikih s prilagojenim odjemom, pa obstaja še možnost izračuna indeksov, na podlagi katerih pa lahko kasneje še znižamo plačilo vršne moči. Vendar pa je pogoj za vse naprej naštete načine prilagajanja izpolnjene zahteve v 23. členu Tarifnega sistema, ki predpisuje minimalno prilagajanje na sistem s 3 MW moči v času koničnih obremenitev (KT).

Imamo možnost izračuna naslednjih indeksov:

2.1.1 Indeks pripravljenosti za kratkotrajno znižanje moči

$$\frac{\text{takojšnje znižanje moči na poziv v MW}}{\text{letna najvišja pogodbena moč KT v MW}} * 100 = \text{indeks priprav.}$$

Na podlagi števila indeksnih točk se nato izračunava % znižanja obračunske konice.

2.1.2 Indeks pripravljenosti prilagajanja s podfrekvenčno zaščito

Osnova za prilagajanje s podfrekvenčno zaščito so naslednje stopnje:

I. stopnja: 49,2 Hz
II. stopnja: 48,8 Hz

$$\frac{\text{I. stopnja podfr. zaščite v MW} * 0,6}{\text{letna najvišja pogodbena moč KT v MW}} * 100 = \text{indeks priprav.}$$

$$\frac{\text{II. stopnja podfr. zaščite v MW}}{\text{letna najvišja pogodbena moč KT v MW}} * 100 = \text{indeks priprav.}$$

Na podlagi števila indeksnih točk se nato izračunava % znižanja obračunske konice.

2.1.3 Izračun zniżanje pri pripravljenosti prilagajanja možnostim proizvodnje

$$\frac{\text{vsota zniž. v MW} * \text{trajanje zniž. v urah}}{8760 \text{ ur} * \text{letna najvišja pogodbena moč KT v MW}} * 100 = \% \text{ zniž.}$$

2.1.4 Izračun zniżanja pri boljšem koriščenju angažirane moči

Pri boljšem koriščenju angažirane moči od 600 ur mesečno se upošteva za vsakih polnih 5 ur boljšega koriščenja moči 0,7% zniżanje obračunske moči, vendar skupno največ do 16%.

Seveda pa se mora uporabnik prilagojenega odjema prilagajati na te zahteve, kajti v nasprotnem primeru izgubi bonifikacije, ki mu pripadajo ob vpeljavi prilagojenega odjema. V letnih pogodbah o dobavi in odjemu električne energije pa se določajo tudi tolerance in obseg posameznega prilagojenega odjema.

2.3 Definicija dodatnih pogojev prilagojenega odjema

Potrebna je še definicija dovoljenih presežkov moči, doseženih v času zunaj koničnih obremenitev (KT). Trenutno veljavni dogovori o dovoljenih presežkih so sledeči:

- v preostalem času večje tarife (VT) je dovoljen 15 % presežek nad obračunsko konico v času KT.
- v preostalem času manjše tarife (MT) je dovoljen 30 % presežek obračunske konice v času KT.
- v nočni tarifi (NT) pa je dovoljen 40 % presežek obračunske konice, ki smo jo dosegli v času KT.

3 VKLJUCEVANJE PRILAGOJENEGA ODJEMA V SISTEM ISKRAMATIC SEP2

Za vse tiste potrošnike, ki že uporabljajo sistem za merjenje in obdelavo podatkov ISKRAMATIC SEP2, je povsem enostavno vključiti še obračun moči s prilagojenim odjemom. Vsi ključni parametri so bili že vnešeni pri osnovni instalaciji sistema.

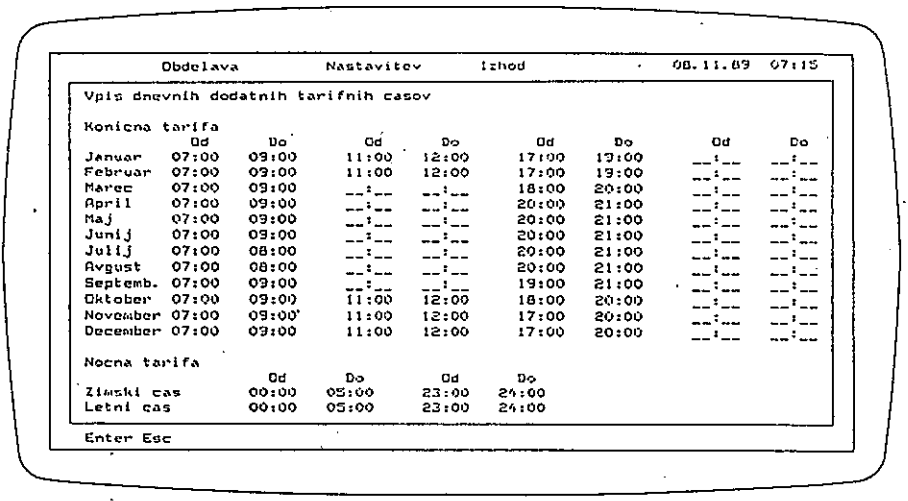
3.1 Dodatni vnosi parametrov

Ob postavitvi sistema za uporabnike prilagojenega odjema je torej potrebno vnesti samo še:

3.1.1 Definicija dodatnih tarif in sicer:

- dnevna veljavnost konične tarife (KT) in nočne tarife (NT)
- tedenska veljavnost konične tarife (KT)
- letna veljavnost prilagojenega odjema (prazniki,remonti)

Vpis dodatnih tarifnih časov je potreben za vsak mesec posebej tako kot to predvideva pogodba o odjemu in koriščenju električne energije. Program omogoča vpis štirih časovnih period konične tarife za vsak mesec posebej in vpis nočne tarife definiran za čas zimske in letne sezone. Definiramo tudi dneve, za katere velja čas konične tarife. Za 30 dni v letu (ali mesecu) lahko tudi dodatno nastavimo veljavnost prilagojenega odjema, kar je še posebno pomembno ob večjih zastojih ali ob otežkočeni dobavi električne energije. Primer vpisa dodatnih tarifnih časov je sledeč:



Obdelava Nastavitev Izhod 08.11.89 07:15

Vpis dnevnih dodatnih tarifnih casov

Konicna tarifa

	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do
Januar	07:00	09:00	11:00	12:00	17:00	19:00	__:__	__:__
Februar	07:00	09:00	11:00	12:00	17:00	19:00	__:__	__:__
Marec	07:00	09:00	__:__	__:__	18:00	20:00	__:__	__:__
April	07:00	09:00	__:__	__:__	20:00	21:00	__:__	__:__
Maj	07:00	09:00	__:__	__:__	20:00	21:00	__:__	__:__
Junij	07:00	09:00	__:__	__:__	20:00	21:00	__:__	__:__
Julij	07:00	08:00	__:__	__:__	20:00	21:00	__:__	__:__
Avgust	07:00	08:00	__:__	__:__	20:00	21:00	__:__	__:__
Septemb.	07:00	09:00	__:__	__:__	19:00	21:00	__:__	__:__
Oktober	07:00	09:00	11:00	12:00	18:00	20:00	__:__	__:__
November	07:00	09:00	11:00	12:00	17:00	20:00	__:__	__:__
December	07:00	09:00	11:00	12:00	17:00	20:00	__:__	__:__

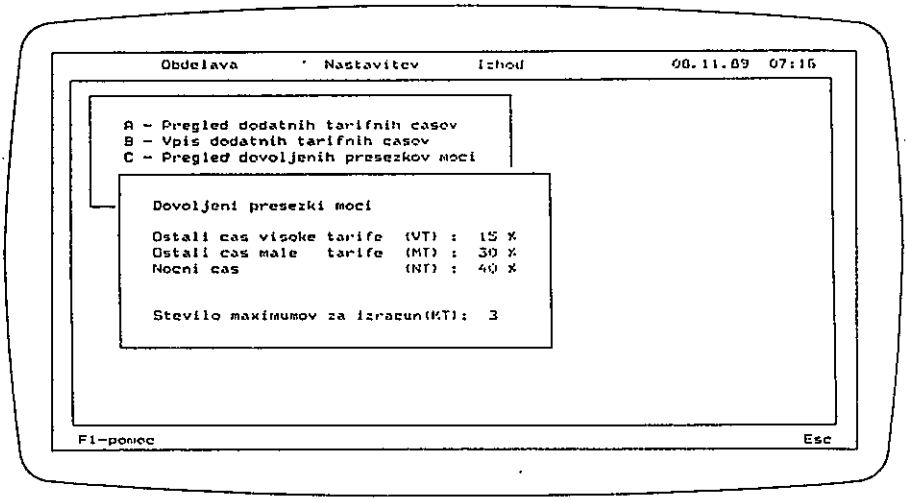
Nocna tarifa

	Od	Do	Od	Do
Zimski cas	00:00	05:00	23:00	24:00
Letni cas	00:00	05:00	23:00	24:00

Enter Esc

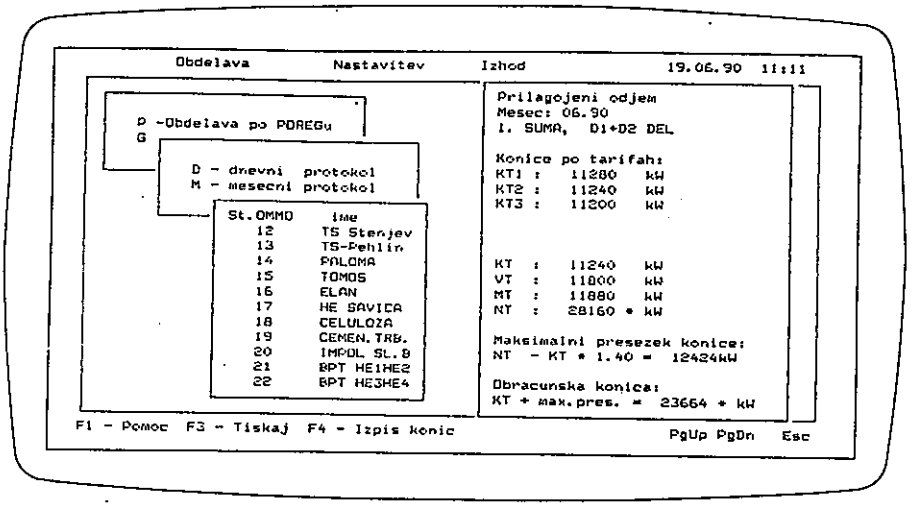
3.1.2 Stopnja dovoljenih presežkov moči

Stopnjo dovoljenih presežkov moči v ostalih tarifnih časih (VT,MT,NT), ter število maksimumov v času KT, ki vplivajo na izračun obračunske konice. Ker so z letno pogodbo določeni tudi dovoljeni presežki moči v časih izven konične obremenitve elektroenergetskega sistema, je potrebno vnesti tudi vrednosti do katerih je veljavna obračunska konica v času konične tarife. Ob prekoračitvi dovoljenega odstotka moči v času izven končne obremenitve (KT), pa se k obračunski moči prišteje še presežek, ki je bil dosežen v tem času. Potreben je tudi vnos števila maksimumov, ki tvorijo izračun povprečne vrednosti obremenitve v času konične tarife. Izgled vpisnega okna za prekoračitvene vrednosti in število računanih maksimumov je sledeč:



3.2 Izračun obračunske moči

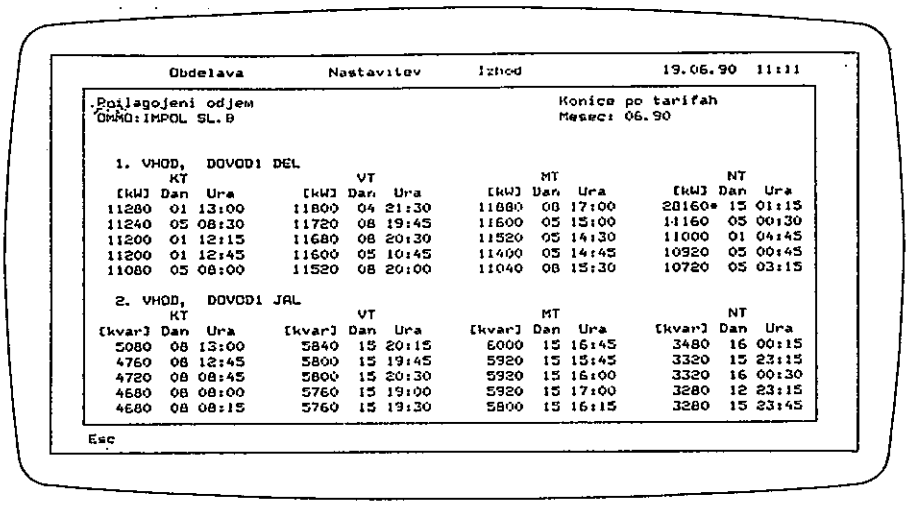
Po vseh potrebnih nastavitvah lahko pričnemo s samim izračunom obračunske konice. Na izbiro imamo dnevno in mesečno protokoliranje. Za sam izračun obračunske konice je vsekakor potrebna izbira mesečnega protokoliranja. Izberemo eno od 150 možnih postaj in definiramo mesec (datum) obdelave podatkov. Prikaže se naslednji izpis:



Izpiše se definirano število (1-5) doseženih konic v času KT. Povprečje teh konic nam da končno vrednost v času KT. Ispišejo se še največje dosežene vrednosti v času VT,MT in NT. Potreben je še izračun eventuelnega presežka moci preko dovoljene meje (VT=15%,MT=30%,NT=40%) v posameznih tarifah izven konične tarife. Ce v kateri od naštetih tarif dosežena moč preseže vrednost moči doseženo v času KT, povečana za dovoljeni limit, to upoštevamo kot presežek konice. Za končni izračun se upošteva samo maksimalni presežek. Obračunsko konico torej izračunamo tako, da h končni vrednosti moči v KT prištejemo še eventuelni maksimalni presežek. Iz protokola se opazi koliko je obračunska konica za uporabnike prilagojenega odjema (23664 kW) nižja od konice(28160 kW), ki je bila dosežena v času NT, ki bi veljala pri običajnem obračunu moči.

Za boljši pregled nad doseženimi konicami v posameznih tarifah nam služi protokol v katerem je za vsako tarifo izpisanih 5 maksimalnih doseženih konic. Pregled je možen za vse vhode in obe sumi.

Prav tako programski paket omogoča protokoliranje za vse postaje, ki so bile v programskem paketu Iskramatic SEP2, definirane v posamezne grupe postaj. Vsi protokoli se hitro dokumentirajo s pomočjo tiskalnika in arhivirajo na magnetne medije. Grafični in ostali protokoli pa so nam dostopni v osnovnem programskem paketu SEP2.



Obdelava Nastavitev Izhod 19.06.90 11:11

Prilagojeni odjem
OMMO:IMPOL SL.9

Konice po tarifah
Mesec: 06.90

1. VHOD, DOVOD1 DEL

KT [kW]	Dan	Ura	VT [kW]	Dan	Ura	MT [kW]	Dan	Ura	NT [kW]	Dan	Ura
11280	01	13:00	11800	04	21:30	11880	08	17:00	28160*	15	01:15
11240	05	08:30	11720	08	19:45	11600	05	15:00	11160	05	00:30
11200	01	12:15	11680	08	20:30	11520	05	14:30	11000	01	04:45
11200	01	12:45	11600	05	10:45	11400	05	14:45	10920	05	00:45
11080	05	08:00	11520	08	20:00	11040	08	15:30	10720	05	03:15

2. VHOD, DOVOD1 JAL

KT [kvar]	Dan	Ura	VT [kvar]	Dan	Ura	MT [kvar]	Dan	Ura	NT [kvar]	Dan	Ura
5080	08	13:00	5840	15	20:15	6000	15	16:45	3480	16	00:15
4760	08	12:45	5800	15	19:45	5920	15	15:45	3320	15	23:15
4720	08	08:45	5800	15	20:30	5920	15	16:00	3320	16	00:30
4680	08	08:00	5760	15	19:00	5920	15	17:00	3280	12	23:15
4680	08	08:15	5760	15	19:30	5800	15	16:15	3280	15	23:45

Esc

Kot se vidi iz nakljućnih protokolov so prihranki pri obraćunavanju konićne moći po sistemu prilagojenega odjema lahko kar občutni in pri tem ne zahteva vecjih dodatnih investicij.Sistem je zelo prilagodljiv in ga je možno hitro prirediti za svoje potrebe ali ga dopolnjevati.

LITERATURA :

/1/ Tarifni sistem za prodajo električne energije iz elektroenergetskega sistema Slovenije, Uradni list SRS, št.7/85, str.11-14

/2/ Dogovor o enotnem izvajanju Tarifnega sistema za prodajo električne energije iz elektroenergetskega sistema Slovenije, Uradni list SRS, št.7/85

/3/ T.Perne, S.Miklavčić, S.Lenarčič: Obraćun električne energije pri porabnikih, ki imajo poseben vpliv na obratovanje elektroenergetskega sistema s sistemom ISKRAMATIC SEP2,XII.Savetovanje o prenosu električne energije u SFR Jugoslaviji,1990.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Veljko Cvjetković dipl. ing.

Referat broj 1.12

Rade Končar - Inženjering,
Inženjering za informacijske sisteme
i daljinsko upravljanje

KONCEPTI I KORIŠTENJE X WINDOW SISTEMA U RAZVIJANJU GRAFIČKOG KORISNIČKOG SUČELJA

SADRŽAJ:

Računarske mreže uvjetovale su potrebu neovisnosti aplikacija o operacionim sistemima. Iz toga je proizašla osnova arhitekture X Window sistema a to je klijent-server model.

Pravila komunikacije dana su X protokolom a generiranje događaja je koncept na kojem se zasniva sučelje prema korisniku.

U programskoj realizaciji korisničkog sučelja koriste se posebni objekti "widget"-i sa odgovarajućim procedurama kao točke interakcije korisnika i aplikacije. Opisivanjem atributa i akcija objekata korisničkog sučelja te njihovim instanciranjem moguće je ostvariti odvajanje forme (to jest korisničkog sučelja) od same funkcije aplikacije.

Development of computer networks produced a need for independence of applications from operating systems. The result of such need is a client-server model which is base architecture of X Window System.

The rules of communication are given by X Protocol and user interface is realized using event generation.

Programmers in the software development of user interface are using widgets and adequate procedures as a points of interactions between users and application. By describing attributes and actions of widgets and doing instances of them it is possible to separate form from function of an application.

1. UVOD

1.1 X Window sistem kao standard

Rastom računarskih mreža pojavila se potreba za otvorenim sistemima ("Open systems") koji dozvoljavaju korištenje istih aplikacija i njihovih korisničkih sučelja na računalima različitih karakteristika povezanih u mrežu.

Cilj stvaranja takvih sistema je maksimalna portabilnost aplikacija. Kako bi se povezale i uskladile aktivnosti na tom području osnovano je više međunarodnih organizacija.

X/Open organizacija osnovana je u Evropi 1984. god. kao nezavisni međunarodni industrijski konzorcijum sa zadatkom da se definira i stvori otvorena okolina za razvoj i upotrebu aplikacija ("CAE - Common Applications Environment") koja je neovisna o fizičkim karakteristikama i operacionom sistemu računala a proizlazi iz službenih i de facto standarda.

IEEE je nekoliko godina razvijala i 1988. god. usvojila prvo standardno sučelje za operacione sisteme POSIX ("Portable Operating System for Computer Environments") kojim je dana mogućnost korištenja istih aplikacija pod raznim operacionim sistemima.

Osnovni dokument X/Open organizacije je "X/Open Portability Guide" u kojem su navedeni tehnološki zahtjevi koje mora zadovoljavati računarski sistem sa programskom podrškom da bi bio u suglasnosti sa "CAE" specifikacijom. Taj dokument je podnesen i prihvaćen od strane IEEE POSIX komiteta.

X Window sistem je dio "CAE" zahtjeva i prema tome ne ovisi o fizičkoj ili mrežnoj konfiguraciji računala ili o konkretnom operacionom sistemu.

1.2. Ciljevi razvoja i upotrebe X Window sistema

X Window sistem počeo se razvijati kao W Window sistem na Sveučilištu Stanford 1982. god. Cilj je bio povezivanje bit-map terminala priključenih na računarsku mrežu Sveučilišta a 1985. god. razvoj je preuzeo MIT pod imenom "Project Athena" sa ciljevima:

- da je sistem operativan na bilo kojim bit-map uređajima
- da su aplikacije neovisne o fizičkoj konfiguraciji računala
- da je sistem transparentan u odnosu na mrežu
- da se više aplikacija može paralelno odvijati na istom ekranu
- da se podržava definiranje i korištenje više načina upotrebe korisničkih sučelja
- da se podržava preklapanje i potpuno prekrivanje prozora
- da aplikacije mogu koristiti odjednom više prozora
- da postoji mogućnost prikaza visoko kvalitetne grafike i teksta
- da postoji mogućnost jednostavnog proširenja sistema

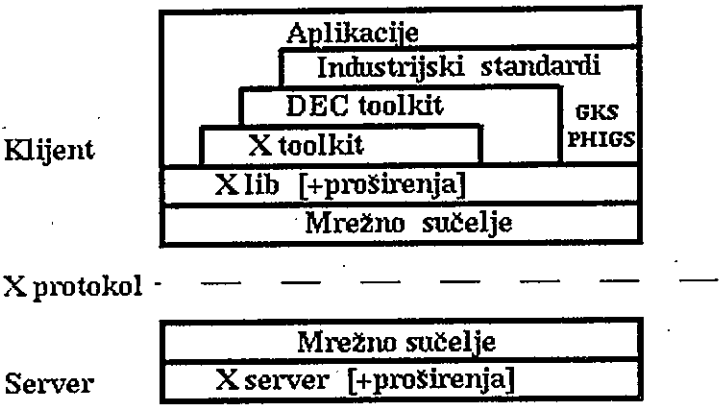
Zbog orijentacije MIT-a na istraživanje, razvoj i edukaciju a kao rezultat potreba za daljnim razvijanjem, financiranjem i marketiranjem tog produkta osnovan je "X Consortium" početkom 1987 god. sa ciljem je da se promovira X kao industrijski standard te predlaže kao ANSI standard.

Jedan primjer korištenja prethodno navedenih zahtjeva je svakako rad organizacije OSF ("Open Software Foundation") koja je osnovana je 1988. god. sa ciljem da se napravi UNIX operacioni sistem "OSF/1" koji je u skladu sa POSIX standardom i koji kao grafičko korisničko sučelje, OSF/Motif, koristi X Window sistem.

2. X ARHITEKTURA

X Window sistem sastoji se od četiri glavne komponente:

1. X Server
2. X Protocol
3. Xlib
4. Xtoolkit (Xt)



Slika 1. X arhitektura

2.1 Osnovni pojmovi u X Window sistemu

Server je program koji daje osnovni mehanizam realizacije prozora, razriješava grafičke zahtjeve aplikacija prema ekranima i prosljeduje ulazne zahtjeve odgovarajućim aplikacijama.

Klijent je aplikacijski program povezan sa serverom jednim od načina međuprocesorske komunikacije (DECnet, TCP/IP, zajedničko memorijsko područje) Preciznije, klijent je svaka staza međuprocesorske komunikacije koja može povezivati program sa serverom. Ako program (aplikacija) koristi više staza međuprocesorske komunikacije tada je serveru predstavljen kao više klijenata.

"Window manager" je klijent (aplikacijski program) kojim je definirana interakcija između korisnika i prozora, izgled prozora, mijenjanje veličine i položaja prozora, oblik ikone prozora, veza između raznih aplikacija i tastature.

"X Protocol" je mrežni protokol preko kojeg komuniciraju klijenti sa serverom. Taj protokol daje mehanizam pomoću kojeg je moguće koristiti razna korisnička sučelja korištenjem različitih "window manager"-a (klijenata). Omogućuje sistemsku neovisnost. Njime se definiraju paketi informacija koji se prenose između servera i aplikacije koja koristi Xlib procedure.

Mrežna transparentnost X-a sastoji se u tome da se ne postavljaju nikakva funkcionalna ograničenja interakcijama između klijenta i servera. Klijent i server ne moraju voditi računa o tome da li se izvršavaju na istom ili različitim računalima. Program se može povezati na bilo koji čvor u mreži ako server kontrolira bit-map terminal ("display") na tom čvoru i ako za to ima dozvolu od servera.

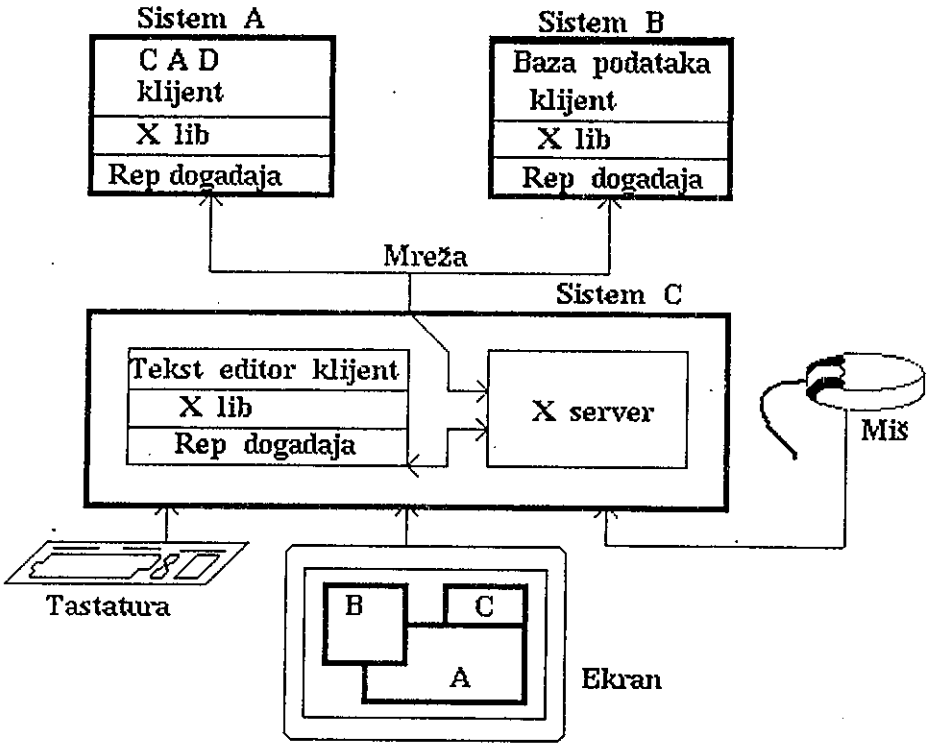
Xlib je skup procedura, napisanih u C programskom jeziku, na najnižem nivou arhitekture koju koriste klijenti, a čine sučelje prema "X Protocol-u".

Xtoolkit sastoji se od dvije komponente:

1. "Intrinsics" - skup procedura za definiranje, manipulaciju i mijenjanje "widget"-a zajedno sa pomoćnim, složenim, procedurama koje u svom pozivu koriste jednostavne funkcije Xlib-a.
2. "Widgets" - razni interaktivni objekti koji služe za prikaz teksta ili grafike. Po određenim pravilima mogu u sebi sadržavati isto takve objekte; mogu mijenjati svoj pojavni oblik. U za to određenim okolnostima inicijaliziraju izvršavanje procedura koje im je pridružila aplikacija.

2.2 Klijent-server model

Odnosi između servera i klijenta su slijedeći:
- server moze posluživati više aplikacija
- aplikacija može koristiti više servera
- aplikacija i server mogu se izvršavati na jednom ili više računala



Slika 2. Klijent - server model

2.3 Komunikacija između servera i klijenata

"X Protocol" definira četiri tipa informacijskih paketa kojima se odvija komunikacija:
- protokolni zahtjev
- protokolni odgovor
- događaj
- greška

Izvršavanjem naredbe iz Xlib-a generira se protokolni zahtjev koji se zatim prenosi serveru. Server šalje protokolni odgovor samo na određene zahtjeve Xlib-a (na primjer zahtjev za crtanjem iz Xlib-a ne generira protokolni odgovor servera).

Kada Xlib dobije odgovor od servera tada se dobiveni podaci iz tog protokolnog odgovora spremaju kao argumenti ili se vraćaju kao povratna vrijednost Xlib naredbe koja je uzrokovala taj protokolni zahtjev.

Server šalje događaj Xlib-u kao informacijski paket nakon manipulacije sa nekim od vanjskih uređaja ("miš", tastatura) ili kao posljedicu prethodnog zahtjeva Xlib-a. Događaji se pojavljuju asinhrono, čuvaju se u repu i mogu se čitati jedan po jedan od strane klijenta odgovarajućim naredbama Xlib-a.

Jedan rep događaja održava se sa strane servera i u njega se smještaju svi događaji koji su se pojavili. On se periodično prazni i šalje klijentima preko mreže te raspoređuje u odgovarajuće repove (svaki klijent ima jedan rep u kojem su njemu interesantni događaji) koje održava Xlib. Dva klijenta mogu dobiti kopije istih događaja ako su to tako selektirali u svojim naredbama Xlib-a.

Greška se tretira slično kao i događaj samo se podaci iz tog informacijskog paketa čitaju jednom od dvije moguće naredbe Xlib-a.

Protokolne zahtjeve Xlib sprema u za to određeno područje memorije kako bi se klijentu omogućilo daljnje izvršavanje programa umjesto čekanja na pristup mreži. To je moguće jer većina Xlib naredbi ne zahtjeva trenutnu akciju servera.

Sadržaj memorije šalje se serveru ako je zadovoljen jedan od tri uvjeta:

- Aplikacija je izdala Xlib naredbu da se čeka neki određeni događaj ali takav događaj trenutno nije u repu događaja.
- Izvršava se Xlib naredba koja zahtjeva neku informaciju od servera sa trenutnim serverovim odgovorom.
- Klijent može posebnim naredbama Xlib-a prazniti sadržaj tog određenog područja memorije u slučajevima kada se ne očekuju neki određeni događaji ili se ne očekuje trenutni odgovor servera.

Rezultat spremanja protokolnih zahtjeva u za to određeno područje memorije je da se greške u programu ne otkrivaju sve dok se to područje ne isprazni i server primi zahtjev koji u sebi nosi grešku. Server trenutno obavještava klijenta da se dogodila greška, no u intervalu od upisivanja pa do pražnjenja, program je vjerojatno izvršio i neke druge naredbe Xlib-a tako da obavijest o greški u ovom slučaju vjerojatno ne odgovara trenutnoj naredbi koja se izvršava u programu.

3. OSNOVNI OBJEKTI X WINDOW SISTEMA

Svi osnovni objekti (tj. njihove strukture) se održavaju i alociraju pod kontrolom servera. Svakom od njih se prilikom kreiranja, zahtjeva koji dolazi od klijenta, pridružuje cijeli broj koji služi kao identifikator u komunikaciji preko mreže i reprezentira zapravo indirektan pointer na tu strukturu podataka. Na taj način je neki konkretni osnovni objekt pristupačan bilo kojem klijentu.

3.1. Prozori i "pixmap"-e

Ekran se sastoji od točaka ("pixel"-a) koje imaju koordinatne adrese a svaka od točaka ima svoju konkretnu vrijednost (neki cijeli broj) koja prezentira boju te točke na ekranu. Grafički izlaz (definiran naredbama crtanja Xlib-a) može se ostvariti samo na objektima tipa "pixmap"-e ili prozora. Svaki ekran posjeduje vlastitu hijerarhiju prozora o kojoj brine server u ime svojih klijenata.

Za razliku od prozora koji definira neku pravokutnu površinu ekrana, "pixmap"-a je definirano područje memorije (na strani servera) u koju su spremljene vrijednosti pixela.

Prezentira li se vrijednost točke ekrana binarnim brojem dobit će se niz od N bitova. "Pixmap"-a se u tom slučaju može definirati kao tro-dimenzionalni niz podataka. X i Y koordinate točke prezentirane su sa dvije dimenzije tog niza a treća dimenzija (Z koordinata) prezentira binarni zapis konkretne vrijednosti. Dubina se definira kao broj bitova po točki ekrana a to je upravo broj N. "Bitmap"-a je "pixmap"-a dubine 1.

Prozor može biti mapiran to jest inicijaliziran za prikaz na ekranu i vidljiv na njemu ako su mapirani svi njegovi preci u hijerarhijskoj strukturi

prozora i ako mu to omogućuje njegova vlastita geometrija i geometrija njegovih predaka. Nemapirani prozor je postojeći prozor (kreiran) ali nevidljiv, ne može se prikazati na ekranu.

Korijenski prozor postoji na svakom ekranu, uvijek je mapiran, ne može se kreirati ili uništiti, prekriva cijelo područje ekrana, ne može se pomaknuti i ne može mu se promijeniti veličina. On je korijen u hijerarhijskoj strukturi svih prozora na ekranu.

Svaki prozor, osim korijenskog, ima jedinstvenog oca i svaki može imati više djece prozora (podprozora) ili ne mora imati niti jedno dijete. Prozori koji imaju zajedničkog oca su međusobno braća (sestre).

Prozor ima lokalni koordinatni sustav sa ishodištem u gornjem lijevom uglu i pozicionira se relativno u odnosu na gornji lijevi ugao svog oca.

Redom slaganja (prekrivanja) prozora definirano je da prozor na vrhu tog reda ne smije biti prekriven niti sa jednim drugim prozorom to jest on je uvijek vidljiv na ekranu. Taj red se može mijenjati raznim naredbama i akcijama. Djeca prozori (podprozori) su uvijek ispred svojih roditelja. Kada se promijeni pozicija prozora u redu slaganja također se promijeni i pozicija djece tog prozora.

Grafički izlaz na prozor server ograničava ako je on usmjeren:
- na preklapajuće podprozore istog hijerarhijskog nivoa (braća i sestre)
- na podprozore
- izvan granica neposrednog prethodnika (oca)

3.2 Grafički kontekst, kursor, font, kolor mapa, vlasništvo i visual

Grafički kontekst je struktura podataka koja opisuje sve atribute grafičkog izlaza. Alocira se u serveru i ne može se dijeliti sa ostalim klijentima. Njime se na primjer zadaje font koji će se koristiti, da li će se crtati punom linijom ili crtkano, po kojem algoritmu će se ispunjavati unutrašnjost poligona, kako će se spajati krajevi linija itd...

Kursor je vidljivi oblik pokaznog znaka na ekranu a sastoji se od dvije male "bitmap"-e i dvije konkretne boje. Oblik se može proizvoljno mijenjati iz aplikacije.

Font je kolekcija malih "bitmap"-a od kojih svaka reprezentira jedan znak, zajedno sa ostalim metričkim informacijama koje opisuju te znakove.

Kolor mapa je niz lokacija u kojima su definirane vrijednosti za razne boje. Pomoću njih se uspostavlja relacija između vrijednosti točaka ekrana i konkretnih RGB intenziteta. Više prozora može imati istu kolor mapu.

Vlasništvo je proizvoljna skupina podataka kojima je klijent definirao ime i format, a pridružena je nekom određenom prozoru. S njim je dana mogućnost da se dijele podaci između klijenata, da se ostvaruje komunikacija sa "Window Manager"-om, da se prenosi tekst iz jednog u drugi prozor.

Visual je struktura podataka koja opisuje tehničke mogućnosti prikaza boja i fizičke karakteristike za konkretni ekran.

4. OSNOVNI KONCEPTI OBRADE DOGAĐAJA KORIŠTENJEM Xlib PROCEDURA

Tri su važna koraka kada se u programu koji koristi Xlib obrađuju događaji:
- selektiranje događaja koje se želi obrađivati za svaki prozor
- mapiranje prozora
- realizacija petlje u kojoj se čitaju događaji iz repa onako kako su se pojavljivali

Paket informacija koje čine događaj implementiran je kao struktura podataka koja u sebi sadrži jednostavnije strukutre (podstrukutre) od kojih svaka definira neki tip događaja.

Za svaki tip događaja definirana je i odgovarajuća maska kojom se taj tip događaja selektira za odgovarajući prozor iz repa događaja koji je pridružen tom klijentu.

Događaji se dijele na:
- one koje je uzrokovao korisnik pritiskom tipke, aktiviranjem tipke na "mišu" ili pomicanjem kursora.
- događaji koji su nastali kao odgovor servera na zahtjev klijenta.
- pseudo-događaje koje generira klijent i šalje serveru kako bi se oni dalje mogli distribuirati ostalim klijentima.

Događaj je moguće poslati Xlib naredbom nekom određenom prozoru ako je dostupan identifikator tog prozora.

4.1. Propagiranje i selektiranje događaja

U strukturi koja definira događaj kao podatak nalazi se i identifikator prozora koji je taj događaj selektirao, on se može a i ne mora podudarati sa identifikatorom prozora u kojem je događaj nastao. Najmanji prozor koji je okruživao kursor u trenutku nastajanja događaja zove se izvorni prozor.

Ako događaj nije selektiran u izvornom prozoru tada se događaj šalje njegovom ocu. To se ponavlja sve dok se u hijerarhiji prozora ne nađe predak izvornog prozora koji je selektirao taj događaj ili dok se ne dođe do korijenskog prozora. Ako ni u korijenu nije selektiran taj događaj onda se on odbacuje. Događaj se prestaje propagirati pronalaženjem prozora koji je taj događaj selektirao.

Drugi način na koji se događaj može odbaciti je eksplicitnom zabranom propagiranja predcima postavljanjem određene maske u strukturu atributa prozora. Inicijalno se svi događaji, za koje je to moguće, propagiraju.

Postoje događaji za koje nije definirana maska, to su oni o čijoj pojavi server obavještava sve klijente.

U slučajevima kada se želi zaobići normalni put propagiranja događaja kako bi se ostvarila točka unosa podataka neovisna o trenutnoj poziciji kursora ili statusu tastature potrebno je izvršiti Xlib naredbu uzimanja ("grabbing") tastature ili kursora. Uzimanje je operacija koju obično izvodi "Window Manager" kako bi cijela tastatura ili pojedine tipke, "miš" ili tipke na "mišu" bile pod ekskluzivnom kontrolom jednog klijenta. Moguće je također i uzimanje servera sa strane jednog klijenta i onemogućavanje procesiranja zahtjeva od svih ostalih klijenata.

Aktivno uzimanje daje klijentu trenutnu kontrolu dok pasivno uzimanje čeka na neki događaj koji će staviti uređaj pod kontrolu klijenta. Osim naredbi Xlib-a za uzimanje pod kontrolu postoje i odgovarajuće naredbe za oslobađanje.

Podaci sa tastature šalju se onom prozoru na kojem je postavljen ulazni fokus. Propagiranje tih događaja nastavlja se svim potomcima tog prozora. Inicijalno je ulazni fokus postavljen na korijenski prozor.

4.2. Događaji generirani akcijom na "mišu"

Svaka akcija sa kursorom generira događaje. Uz uvijet da ima postavljenu odgovarajuću masku klijent automatski uzima kursor nakon informacije da je u nekom od njegovih prozora generiran događaj nastao pritiskom na tipku "miša" pa sve do trenutka dok ne dođe do otpuštanja te tipke, neovisno o daljnjem kretanju kursora po ekranu.

Postavljanjem određene maske omogućuje se aplikaciji da sazna u kojem se prozoru dogodio događaj generiran otpuštanjem tipke na "mišu".
Ulaz kursora u prozor i izlaz iz njega također generira odgovarajuće događaje.

5. DEFINIRANJE OBJEKATA KORISNIČKOG SUČELJA "X toolkit" PROCEDURAMA

5.1. Korištenje "X toolkit" procedura

"X toolkit" daje alat za programiranje na složenijoj i višoj razini od X lib-a te na lagan i jednostavan način omogućuje da se izgradi korisničko sučelje. Prilikom pokretanja "X toolkit" aplikacije izvršavaju se naredbe za inicijalizaciju koje imaju zadatak da konstruiraju bazu podataka za aplikacijske "widget"-e i spreme u nju konkretne vrijednosti iz korisničkih i sistemskih datoteka. Te vrijednosti bit će početni atributi prikazanih "widget"-a. Osim toga inicijaliziraju se ekrani za prikazivanje te postavljaju određene vrijednosti koje daje "Window Manager". Ono što bitno razlikuje X lib od "X toolkit"-a je određen broj naredbi za rad sa "widget"-ima.

5.2. Definiranje "widget"-a

"Widget"-i su prozori sa grafičkim sadržajem preko kojeg se odvija komunikacija između aplikacije i korisnika. Za svaki "widget" definirana je njegova klasa kao omotač koji pokriva sve podatke, određuje granice podataka, i opisuje operacije nad njima, što sve zajedno funkcionalno definira "widget".

Klase su definirane, dokumentirane, dane od proizvođača ("HP Widgets", "DEC Widgets"), objekti iz pojedinih klasa vrlo se jednostavno instanciraju u aplikaciji naredbama "X toolkit"-a.

Iz svake klase može se izvesti podklasa koja nasljeđuje atribute i operacije svoje nadklase a dodaju joj se i novi atributi grafičke pojavnosti sa operacijama koje omogućuju nove funkcije. Iz podklase se može na isti način izvesti nova podklasa.

Klase su uređene po hijerarhijskoj strukturi koja se zove drvo klasa. Klasa koja nema niti jednog predka (korijen) zove se jezgra ("Core"). Svaka klasa osim jezgre je podklasa neke druge klase. Programeru je dana mogućnost da po određenim pravilima stvara svoje klase kao podklase već postojećih klasa.

"Widget" može sadržavati i/ili kontrolirati druge "widget"-e po određenim pravilima. "Widget" se realizira, postaje vidljiv kao prozor sa grafičkim sadržajem, instanciranjem iz aplikacije jednog objekta sa konkretnim atributima iz svoje klase.

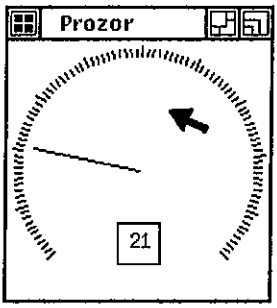
Drvo instanciranja je hijerarhija realiziranih "widget"-a iz neke aplikacije i definira aplikacijsko korisničko sučelje. Drvo instanciranja je neovisno o drvu klasa. Ono definira logičke relacije između "widget"-a i nije nužno da definira geometrijske odnose u terminima hijerarhije prozora.

Opis konkretnog korisničkog sučelja to jest atributa i hijerarhije "widget"-a sa definiranjem njihovih funkcija moguće je ostvariti i korištenjem Digital-ovog jezika UIL ("User Interface Language"). Opis se povezuje sa aplikacijom u trenutku njenog izvršavanja a vrlo lako se mijenja i proširuje u bilo kojem editoru. Promjena opisa ne uvjetuje ponovno prevođenje aplikacije. Time je postignuto odvajanje forme od funkcije. Neovisnost atributa "widget"-a od aplikacije koja ih instancira moguće je postići i "X toolkit" naredbama.

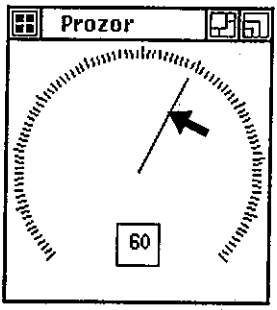
5.3. Primjer upotrebe "widget" a i "X toolkit" procedura

Slijedi primjer programa napisanog u C programskom jeziku sa korištenjem "X toolkit" naredbi za instanciranje i realiziranje "widget"-a.

```
#include <decw$include/Intrinsic.h>

#include <stdio.h>

#include <decw$include/DwtAppl.h>

/* Ukljucivanje nove, nedefinirane, klase u vec postojecu hijerarhiju klasa. */
#include "Dial.h"

/* Deklaracija procedure koja ce se izvrsiti nekom akcijom na "widget"-u*/
/* i deklariranje "widget"-a koji su zapravo pointeri na odredjeno podrucje */
/* memorije u koje ce se upisati konkretna struktura prilikom instanciranja. */
        void select_callback();
        Widget top_level, dial;

        main(argc,argv)
        int argc;  char *argv[];
        {

/* Inicijalizacija "X toolkita" sa davanjem imena aplikaciji i aplikacijskom */
/* korijenskom prozoru uz mogucu obradu komandne linije. Rezultat izvrsavanja*/
/* te naredbe je spremanje identifikatora "widget"-a u varijablu top_level.*/
        top_level = XtInitialize("Prozor","Dialmn",NULL,0,&argc,&argv);

/* Alociranje i inicijalizacija strukture podataka koja reprezentira objekt */
/* iz dial klase "widget"-a. Otac tako instanciranog "widget"-a  u hijerarhiji*/
/* instanciranja je top_level "widget"*/
        dial = XtCreateManagedWidget("dial",XsdialWidgetClass,top_level,NULL,0);

/* Povezivanje "widget"-a dial sa procedurom koja ce se izvrsavati ulaskom */
/* kursora u prozor "widget"-a i pritiskom na tipku "misa". */
/* Procedura vraca trenutnu poziciju kursora u dial "widget"-u. */
        XtAddCallback(dial, XtNselect, select_callback, NULL);

/* Prolazenje kroz hijerarhiju "widget"-a od korijena prema najudaljenijem */
/* sinu i natrag te otvaranje i mapiranje odgovarajucih prozora uz vodjenje */
/* racuna o geometrijskim odnosima. */
        XtRealizeWidget(top_level);

/* Beskonacna petlja u kojoj se prikupljaju dogadjaji te distribuiraju onim */
/* prozorima ("widget"-ima) koji su ih selektirali. */
        XtMainLoop();

        }

        void select_callback(w, client_data, position)
        Widget w; caddr_t client_data; int position;
        {
        Arg wargs[1];

/* Zadavanje trenutne pozicije kursora kao nove pozicije kazaljke dial */
/* "widget"-a. */
        XtSetArg(wargs[0], XtNposition, position);
        XtSetValues(w, wargs, 1);
        }
```



Slika 3. Dial "widget" u kojem se nalazi kursor pod kontrolom "miša"



Slika 4. Dial "widget" nakon što je korisnik pritisnuo tipku na "mišu"

6. ZAKLJUČAK

X Window sistem daje velike mogućnosti rada u mrežnom okruženju, omogućuje neovisnost aplikacija o trenutnoj fizičkoj konfiguraciji, ostvaruje neovisnost grafičkog korisničkog sučelja od aplikacije, nudi gotove biblioteke klasa objekata za komunikaciju sa korisnikom.

Primjedbe bi se mogle postaviti zbog nepostojećih standarda za "Window Manager"-e, slabe podrške sa pratećim alatima (editori "pixmap"-a, editori "widget"-a), velike složenosti a malog broja kvalitetnih priručnika i dokumenata iz kojih bi se moglo upoznavati X Window sistem te zbog nepostojanja dobrih programa za praćenje događanja grešaka prilikom testiranja aplikacija.

7. LITERATURA

1. Xlib Programming Manual Volume One, Xlib Reference Manual Volume Two
   Adrian Nye
   O'Reilly & Associates, Inc. 632 Petaluma Avenue, Sebastopol, CA 94572, USA
   ISBN 0-937175-26-9
2. X Window Systems Programming and Applications with Xt
   D.A.Young
   Prentice Hall, Engewood Cliffs, New Jersey 07632, USA, ISBN 0-13-972167-3
3. X Window System C library and Protocol Ref.
   R.W.Scheifler, J.Gettys, R.Newman
   Digital Press, 12 Crosby Drive, Bedford, MA 01730, USA, ISBN 1-55558-012-2

DEC priručnici:

1. VMS DECwindows Xlib Routines Reference Manual, AA-MG26A-TE, AA-MG27A-TE
2. Xt Intrinsics, VMS DECwindows Toolkit Routines Ref. Man., AA-MK88-TE
3. Dwt Widgets, VMS DECwindows Toolkit Routines Ref. Man., AA-MK88-TE
4. VMS DECwindows User Interface Language Ref. Man., AA-MG22A-TE
5. VMS DECwindows Guide to Applications Programming, AA-MG21A-TE
6. VMS DECwindows Guide to Xlib Programming MIT C Binding, AA-MG24A-TE
7. Programming with DECwindows, Student Guide, EY-A925E-SG.0001
8. XUI Style Guide, AA-MG-20A-TE
   Digital Equipment Corporation, Corporate User Publications - Spit Brook,
   ZK01-3/J35 110 Spit Brook Road,Nashua, NH 03062-9987, USA

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Petković mr. Imre
Javno preduzeće za distribuciju električne
energije "ELEKTROVOJVODINA" Novi Sad
Elektrodistribucija "SUBOTICA"
Subotica

Referat broj 1.13

KORISNIČKA ORIJENTISANOST PROGRAMSKOG SISTEMA PROZA ll D/R

SADRŽAJ

U radu su u kratkim crtama izložene aktivnosti koje realizuje programski sistem PROZA ll D/R. Opisane su i osnovne odlike savremenog dijaloga izmedju korisnika i aplikacije i na osnovu toga se analizira korisnička orijentisanost programskog sistema PROZA ll D/R.

The report briefly presents the activities which are realized in the (software) system PROZA ll D/R. The basic attributes of today dialog between user and application are described, and the user-fiendly attribute of application PROZA ll D/R is analyzed, and qualitatively marked.

1. UVOD

PROZA ll D/R u širem smislu označava računarski sistem (RS) za nadzor i upravljanje procesima u realnom vremenu. On kao takav realizuje sledeće aktivnosti /FILI 84, PANC 84, DEBE 85/:

- prikupljanje trenutnih vrednosti u nadgledanom postrojenju,
- registrovanje svih promena tog postrojenja,
- analiza dogadjaja (promena) upravljanog postrojenja,
- spremanje podataka o dogadjajima (promenama) postrojenja u bazu podataka,
- prikaz dogadjaja (promena) operateru,
- upravljanje procesnim elementima (o kojima se prikupljaju trenutne vrednosti u nadgledanom postrojenju),
- prikupljanje trenutnih vrednosti o pojedinim delovima konfiguracije (hardvera) RS koji realizuje nadzor i upravljanje,

- registrovanje promena u funkcionisanju delova hardverske konfiguracije RS,
- analiza nastalih promena u funkcionisanju delova konfiguracije,
- spremanje podataka o promenama u funkcionisanju delova hardvera RS,
- prikaz promena u radu delova konfiguracije RS operateru,
- upravljanje elementima konfiguracije RS,
- realizacija skupa funkcija planiranja,
- realizacija skupa funkcija izveštavanja,
- manipulacije sa bazom podataka,
- razvoj novih aplikacija,
- integracija novih aplikacija sa postojećim softverom.

U užem smislu PROZA ll D/R predstavlja programski sistem koji je realizovan pomoću sledeće tri osnovne programske celine, a te celine izvršavaju funkcije kao što sledi (FILI 84):

- funkcije koje se realizuju u realnom vremenu (RV),
- funkcije koje se realizuju u proširenom realnom vremenu (PRV),
- korisničke aplikacije (KA).

Funkcije RV obuhvataju sledeće aktivnosti (FILI 84):

- prikupljanje, obrada i prikaz informacija o procesu koji se nadgleda,
- prikupljanje, obrada i prikaz informacija o (računarskom) sistemu koji realizuje nadzor i upravljanje,
- upravljanje procesom,
- upravljanje sistemom nadgledanja,
- razmena podataka sa drugim sistemima nadgledanja.

PRV realizuje sledeće tri velike oblasti (FILI 84):

- planiranje: promena parametara sistema (napr. dodavanje novog objekta za nadgledanje što znači i promene u odgovarajućim bazama podataka),
- izveštaji: prikupljanje i obrada podataka kao i njihovo prezentiranje u zadatim vremenskim razmacima ili na zahtev operatera,
- obrada podataka u PRV i sve obrade koje zbog složenosti traju duže od zadatog vremena osvežavanja.

PROZA ll D/R kao programski sistem omogućuje razvoj i korišćenje programa od strane kupca na istoj opremi na kojoj se izvode programi RV i PRV. Ograničenja koja se pri tome javljaju imaju svrhu osiguranja integriteta i brzine RV i PRV programskih modula. Uključenje mogućnosti KA u sistem PROZA ll D/R podrazumeva i eventualnu potrebnu dodatnu opremu (proširenje operativne memorije, disk kapaciteta i dodatne periferne jedinice) /FILI 84/.

2. KORISNIČKA ORIJENTISANOST NEKOG PROGRAMSKOG PAKETA

U uvodnom delu su u kratkim crtama opisane gunkcije ili aktivnosti koje obavlja PROZA ll D/R. Da bi se mogao analizirati kvalitet dijaloga koji je realizovan u njoj, red je da se kaže nešto o stepenu korisničke orijentisanosti koji se danas sa pravom očekuje od svakog interaktivnog (on line) programskog sistema.

Danas se pored opšte prihvaćene metodologije razvoja informacionih sistema (IS), koja u sebi sadrži ili podrazumeva savremenu metodologiju projektovanja baza podataka /MOGI 89/ sve više poklanja pažnja i strategiji razvoja IS. Opravdanost potrebe strategije razvoja IS se može objasniti sa objektivnim problemima u razvoju IS, kao i sa našim subjektivnim slabostima

/MAMU 89/. Tu se pod pojmom informacionog sistema (IS) podrazumevaju kako poslovni informacioni sistemi (PIS), tako i upravljački informacioni sistemi (UIS). Nedovoljna spremnost sredine da stvarno podrži razvoj i korišćenje IS se delimično ispoljava i zbog toga, što se korisnik teško snalazi prilikom korišćenja realizovanih aplikacija IS (razlog za to je neadekvatan način komunikacije - u obliku dijaloga- izmedju korisnika i računara). Drugim rečima nema dovoljno aplikacija koji bi sa svojom jednostavnošću korišćenja, komunikativnošću, razumljivošću u dijalozima primamili korisnika da ih primeni (tzv. "user friendly" ili korisnički orijentisane aplikacije). Tu se naravno prvenstveno misli na one korisnike (kojih je i danas dosta mnogo, a u budućnosti će ih biti sve više), koji nisu profesionalno i stručno opredeljeni za neposredan rad u informatici i računarskoj tehnici. Upravo su to imali u vidu stručnjaci koji su ukazali na potrebu i mogući način projektovanja takvog dijalogaizmedju čoveka (korisnika) i računara .. (korisničke aplikacije), koji bi bio prihvatljiv odnosno prilagodjen čoveku, korisniku aplikacija (YOUR 72, MART 73, POPO 86/.

Realizovane on line aplikacije sadrže dijalog za povezivanje dva veoma različita subjekta: čoveka sa jedne i računarskog sistema sa druge strane. Da te aplikacije nemaju dijalog za interakciju izmedju pomenuta dva subjekta, one ne bi imale atribut "on line", nego "batch". "User friendly" aplikacija kao pojam označava IS (ili samo jedan njegov deo - informacioni podsistem ili aplikaciju) kod kojeg je sprega čovek-računar jednostavna i prihvatljiva za korisnika. To znači da korisniku ne treba posebna obuka da bi mogao primeniti tu aplikaciju za rešavanje svojih zadataka. "User friendly" osobina nadalje označava i to, da čovek jednostavno može koristiti takvu aplikaciju, da je ona dosta komunikativna, da koristi koncizne, jasne i razumljive poruke u toku dijaloga tako da korisnik ne mora pretraživati u projektnoj dokumentaciji da bi mogao obaviti svoj posao sa aplikacijom. Jednostavnost korišćenja nekog programskog paketa ili IS je osobina, koja se u praksi vrednuje na osnvou subjektivne procene. Ono što opredeljuje korisnika u oceni da li je lako ili teško koristiti neki programski paket (aplikaciju, ili čak računar za odredjenu grupu korisnika) je način na koji korišćeni programski sistem vodi razgovor (dijalog) sa korisnikom. Primena neke aplikacije za nekog(neke) korisnika(e) može biti laka i jednostavna, dok za drugog(druge) teška i komplikovana. Razloga za to ima više kako objektivnih, tako i subjektivnih. Taj drugi korisnik bi odmah imao ideju kako da uprosti, tj. poboljša dijalog izmedju čoveka i računara. Znači sve što je jednostavno, može biti još jednostavnije. U tom smislu "user friendly" aplikaciju treba posmatrati kao cilj kojem stalno treba težiti. Idealna "user friendly" aplikacija bi bila ona kod koje bi pristup rešavanju problema sprege čoveka sa računarskim sistemom bio realizovan na bazi primene lingvističkih metoda (kao kad govori čovek sa čovekom). Tehnološki nivo razvoja hardvera specijalnih računarskih sistema to omogućuje, a postoje i gotovi softveri za dijalog, koji su u svetu poznati kao realizacija za MMI (Man-Machine Interface), medjutim one su aplikacije za sebe, i ne mogu se primeniti za olakšavanje konverzacije izmedju korisnika i računara (bilo koje druge korisničke aplikacije). "Sasvim je izvesno, da bez obzira na savešrnost programskog sistema, `komercijalni`računar praktično ne može biti tako osmišljen da bude dovoljno `inteligentan ` za lingvističku spregu. Osnovni razlog je u tome da potrebna količina sekvencijalno izvršenih logičkih operacija, koje je potrebno programirati da se omogući da računar sledi varijacije čoveka u rečniku i strukturi ideja, treba da bude tolika da se dijaloški programski sistem zbog ekstremnog obima i složenosti, sa komercijalno raspoloživim potencijalima računarske tehnike, ne bi mogao ni realizovati." /POPO 86/. Na polju razvoja takvih softverskih paketa kojima nije jedini cilj realizacija dijaloga sa korisnikom, nego pored glavne aktivnosti obezbedjuju lakoću korišćenja paketa zahvaljujući postojećem sistemu dijaloga , ekspertni sistemi (ES)

su najbliži toj koncepciji da omogućuju lingvističku vezu izmedju korisnika i mašine u jednoj budućoj fazi razvoja. Danas su još medjutim ES u početnoj fazi razvoja, tako da idealna"user friendly" aplikacija ostaje kao vodilja naših težnji. Inače u našoj sredini (Institut Jožef Štefan i Visoka škola za organizaciju rada - Kranj) već postoje znanja i programska oprema za razvoj savremenih ES (to su tzv.kore ekspertnih sistema, koje sadrže mehanizme zaključivanja i korisničkog posrednika, dok je baza znanja prazna) /RAJK 89/. Na više fakulteta se razvijaju sopstveni paketi odnosno ES koji su sada u fazi testiranja i doterivanja.

Na osnovu prethodnog uopštenog opisa mogu se konkretizovati sledeće osobine korisničko orijentisanog programskog paketa.

1. Sve moguće funkcije koje treba obaviti u vezi sa dotičnim programskim paketom (sve funkcije IS koji se automatizuje pomoću njega) treba da se nalaze u njegovom sistemu menija. Od najtrivijalnijih unosa podataka, konfiguracije samog programskog sistema, opisa upravljanog sistem , potrebe hardverske konfiguracije za nesmetano funkcionisanje izradjenog softverskog paketa, kroz glavne funkcije koje realizuje programski sistem , i izveštaja koje on stvara periodično ili na zahtev o izvršenim aktivnostima i registrovanim dogadjajima pa sve do za korisnika manje bitnih "housekeeping" poslova ako oni u tom softveru postoje. Znači sve što se može saopštiti i što se može tražiti od sistema, treba da se nalazi u menijima tog paketa sa mogućnošću izbora. Ne znači to da će svako moći pokrenuti svaku aktivnost bez obzira da li je nadležan za to ili ne ! Zato postoje softverske (lozinke šifre) i/ili hardverske (ključ) brave, da se njihovom primenom to reguliše i to sa alternativom da korisnik po svom nahodjenju, po potrebi sam menja svoju lozinku.

2. Podaci treba da se samo jedanput unose u programski sistem. Za olakšanje samog unosa potrebno je standardizovati mape odnosno formulare za unos i tako omogućiti efikasniji rad na tom delu posla.

3. Kod manipulisanja sa podacima treba omogućiti pomoću liste izbora /PETK 90/ da korisnik bira izmedju postojećih podataka, a ne da kuca ponovo jednom već obuhvaćen podatak jer je to pored gubljenja vremena i potencijalni izvor greške.

4. Izveštaji treba da se definišu i standardizuju da bi se korisnik lakše snašao prilikom njihovih analiza i vrednovanja.

5. Kvalitet poruka, koje programski sistem šalje korisniku (operateru) je jako bitan faktor, prema tome treba mu posvetiti posebnu pažnju. Sa jedne strane (sintaksni kriterijumi) dobre poruke treba da su:

- koncizne (jezgrovite)
- gramatički pravilne
- konzistentne (neprotivurečne), i
- razumljive.

a, sa druge strane (semantički kriterijumi), poruka je dobra, ako pored prethodno navedenih osobina, ona je još i

- relevantna (odgovarajuća)
- potpuna (navedene su sve specifičnosti)
- pravovremena, i
- korisna.

6. Programski paket treba da bude tolerantan prema korisniku, tj. da dopušta da on pravi greške, a istovremeno da mu omogućuje, da načinjene greške brzo i lako ispravi. Pri tome, u porukama mora biti informacija koje aktivnosti je sproveo računar.

7. Korisno je da za vreme rada sa sistemom bude pri ruci mogućnost da se korisnik informiše podrobnije o trenutno aktivnoj funkciji (dogadjaju). Ugledniје aplikacije realizovane na

IBM PC računarima predvidjaju taster (obično je to taster F1) za on line help informacije. Tako, pritiskom na predvidjeni taster (F1) korisnik dobije opširnije informacije o trenutnoj aktivnosti koju izvršava sistem.

8. Za obezbedjenje od neovlašćenog pristupa treba da se koriste logičke i fizičke brave. Te brave omogućuju ovlašćenim korisnicima nesmetan rad (pošto ih oni znaju "otključati"), a neovlašćenim korisnicima nedaju mogućnost korišćenaj aplikacije, kojom je podržan dijalog. Zaštita se može predvideti:

- na nivou programskog sistema i /ili
- na nivou funkcije (aktivnosti).

9. Za bolju ilustraciju postojećeg stanja i rešavanja nekih specifičnih problema (u procesnom upravljanju naročito dolazi do izražaja) preporučljivo je primeniti računarsku grafiku.

3. KVALITATIVNA OCENA KORISNIČKE ORIJENTISANOSTI PROGRAMSKOG SISTEMA PROZA 11 D/R

Kvalitativnu ocenu o stepenu korisničke orijentisanosti nekog programskog paketa moguće je formirati na osnovu utisaka koje se stiču tokom korišćenja, i to na osnovu procene

- jednostavnosti primene,
- komunikativnosti,
- kvaliteta proruka i
- kvaliteta pomoći koju softver pruža korisniku (operateru) u situacijama kada je to najpotrebnije.

Pošto su u prethodnom poglavlju definisane potrebne karakteristike korisničko orijentisanog programskog paketa, PROZA 11 D/R će biti ocenjena na osnvou gore navedenih devet osobina. Meni sistem u PROZI je predvidjen samo za aktivnosti dispečera, i na osnovu prve osobine u drugom poglavlju treba reši da PROZA nije integrisan paket, jer funkcije koje se realizuju u životnog ciklusu, moraju seposebno startovati (upis slika, modifikacija slika, prevodjenje slika, upis podataka u off-line (mrtvu) bazu, modifikacija off-line baze, prevodjenje off-line bazeu on-line bazu). U PROZI postoje standardizovani formulari (mape) za unos podataka, medjutim postoji duplirani unos podataka (modifikacije na on-line bazi treba da se posebno sprovode i na off-line bazi). Ne postoji lista izbora za manipulisanje sa obuhvaćenim podacima, ali zato su izveštaji dobro razradjeni i standardizovani, tako da se korisnik lako može snalaziti prilikom pregleda podataka u njima. Kvalitet poruka je slabiji od onog koji se danas očekuje od korisničko orijentisane aplikacije, naročito što se tiče razumljivosti, relevantnosti i potpunosti informacija u tim porukama. PROZA ne sadrži mehanizam za potvrdjivanje ukucanih podataka, medjutim ispravka ulaznih podataka se relativno lako izvršava. Ne postoji razradjen on-line help, a obezbedjenje od neovlašćenog pristupa besprekorno funkcioniše na nivou softverske zaštite (lozinke), istina samo na nivou dispečerskih aktivnosti. Takodje postoji izvrsna (polugrafička ili semigrafička) ilustracija nadgledanog (upravljanog) postrojenja sa svim procesnim elementima .

Rezimirajući napred izloženo treba istaći da je najveći nedostatak u PROZA sistemu dezintegrisanost sistema tj. da sistem menija obuhvata samo aktivnosti dispečera a ne i ostale funkcije životnog ciklusa (aktivnosti projektanta odnosno sistem inženjera). Dupliranje unosa podataka u off-line i on-line bazu podataka u znatnoj meri smanjuje efikasnost modifikacije baze podataka. Imajući u visu godinu lansiranja programskog paketa PROZA 11 D/R, kao i tadašnji nivo potreba za stepenom korisničke orijentisanosti neke aplikacije može se reći da je PROZA 11 D/R bila solidno realizovan programski paket sa tačke gledišta korisničke orijenti-

sanosti kada se pojavio, medjutim današnji zahtevi su veći, prefinjeniji i traže još veću efikasnost u toku rada i veću udovnost za korisnika.

4. ZAKLJUČAK

U radu su navedene osnovne funkcije koje izvršava programski sistem PROZA 11 D/R. Izložene su i karakteristike savremenog sistema dijaloga, koji je namenjen za komunikaciju izmedju realizovane aplikacije i njenog korisnika. Na osnovu odlika savremenog sistema dijaloga je analizirana korisnička orijentisanost programskog sistema PROZA 11 D/R, i data je kvalitativna ocena postojećeg dijaloga u njoj. Svaka procena stepena korisničke orijentisanosti nekog programskog sistema je u prvom redu subjektivna, pa samim tim i relativna i predstavlja funkciju vremena i prohteva procenjivača. Kroz tu prizmu treba posmatrati i ovu kvalitativnu ocenu postojećeg sistema dijaloga u programskom paketu PROZA 11 D/R.

5. LITERATURA

1. /DEBE 85/ DebeljuhV., Mastelić M., Šantek. V. : "Kominikacija čovjek-sistem modela distributivne mreže", EJ0320, Rade Končar-INEM, Zagreb, ožujak 1985.
2. /FILI 84/ Filipović N.: "Opis sistema PROZA D/R", EJ0037, Rade Končar-INM, Zagreb, decembar 1984. g.
3. /MAMU 89/ Mamužić I.: "Problemi, strategija i metodologija razvoja savremenih IS i drugih primena sredstava informacionih tehnologija", Zbornik seminara "informationo-upravljački sistemi `89", Dubrovnik, 1989.
4. /MART 73/ Martin J. : "design of Man-Computer Dialogues", Prentice Hall, Inc.Engel.Cliffs, N.J., 1973.
5. /MOGI 89/ Mogin P.: "Metodologija projektovanja baza podataka", Zbornik seminara "Informaciono-upravljački sistemi, `89", Dubrovnik , 1989.
6. /PANC 84/ Panciriv I.: "Priručnik za komunikaciju operatera sa sistemom", EJ0245, Rade Končar -INEM, Zagreb, decembar 1984.
7. /PETK 90/ Petković I. :"`User-friendly` aplikacije", Naučna konferencija INDUSTRIJSKI SISTEMI -IS `90, Novi Sad, 21.-23. juna 1990.
8. /POPO 86/ Popović M.:"Jedno rešenje dijaloga u sistemu za automatsko projektovanje logičkih struktura baza podataka", magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1986.
9. /RAJK 89/ Rajković V. : "Smerovi razvoja i upotrebe ekspertnih sistema", Zbornik seminara "Informaciono-upravljački sistemi `89", Dubrovnik , 1989.
10. /YOUR 72/ Yourdon E.: "Design of ON-LINE Computer Systems", Prentice Hall, Inc. Engel. Cliffs, N.J., 1972.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr Snježana Maslić, dipl.mat.
Ljiljana Begić, dipl.el.ing.
Predrag Ostojić, dipl.el.ing.
Dragan Đorđević, dipl.el.ing.
Mr Branka Rakić-Nikolić, dipl.el.ing.

ENERGOINVEST - DP SDU

Referat broj 1.14

PC BAZIRANI SISTEMI

SADRŽAJ

U ovom radu izlažu se osnovni elementi dizajna i implemantacije PC baziranih sistema korištenih za daljinski nadzor i upravljanje elektroenergetskim objektima (SCADA), pregled mogućnosti njihove specijalne namjene kao što je lokalni nadzor (hronološka registracija događaja primjenljiva u industrijskim postrojenjima i elektroenergetskim objektima) i nadzor potrošnje energije te njihova upotreba u vidu grafičkih stanica.

Opisana je uloga PC sistema u distribuiranim računarskim konfiguracijama podobnim za real-time upravljanje, što je ne samo trend u svijetu, nego i nužnost koja se nameće zbog potrebe fizičke distribucije funkcija, kvalitetnijeg odziva i veće ukupne kompjutacione moći sistema. Rezultat ovakvih sistema je visok stepen efikasnosti u akviziciji i obradi podataka, te kvalitetnijem podsistemu za interakciju čovjek-mašina, gdje PC ima ulogu grafičke stanice.

ABSTRACT

This paper presents the basic design and implementation elements of PC systems used for remote control (SCADA) in electric power systems. A global overview is given of different possibilities where PC systems can be used, such as local control (chronological event registration which can be applied in various industrial and electric power objects) and load management, as well as graphics workstations.

The role of PC systems in distributed computer configurations for real-time control is also described. A physical distribution of various functions, high degree of efficiency in data acquisition and processing, as well as better overal system response can be achieved. In systems where PC is used as a graphics workstation, a friendly, high quality HMI subsystem can be implemented.

1. UVOD

PC bazirani SCADA sistemi proizašli su kao nužnost koju su nametnuli sve veći zahtjevi za uvodenjem manjih, fleksibilnih SCADA sistema, primjenjivih za nadzor i upravljanje različitim procesima, a specijalno za nadzor i upravljanje elektro-energetskim objektima.

Ovi sistemi se većim dijelom mogu svrstati u oblast investicionih projekata, dakle u oblast u kojoj su izražene restrikcije. Medutim, zbog navedenih zahtjeva proizašao je niz PC baziranih rješenja namjenjenih za zadovoljavanje različitih potreba i utemeljen na "Energoinvest"-ovom (SDU) dugogodišnjem iskustvu u računarskom nadgledanju i upravljanju elektroenergetskih objekata.

Imajući sve ovo u vidu DP SDU je u svoj razvojni program, izmedu ostalog, uključio razvoj sistema baziranih na korištenju komercijalne i/ili industrijske PC opreme, posebno softverskih i hardverskih opcija koje su na raspolaganju, a koje ih čine atraktivnim za lokalni i daljinski nadzor i upravljanje. Za sada su u realizaciji sljedeći sistemi:

- sistem za registraciju dogadaja
- mali/srednji SCADA sistemi
- sistem za nadzor potrošnje energije
- PC bazirana grafička radna stanica
- distribuirana baza podataka za rad u realnom vremenu

a u planu je realizacija sljedećeg:

- umrežene PC konfiguracije.

2. GLOBALNA KONCEPCIJA PC SCADA SISTEMA

Aplikativni programski paket SDU-SOFT, verzija za PC, projektovan kao modularan i fleksibilan sistem, već je implementiran na nekoliko različitih objekata (posebno opcije za hronološku registraciju dogadaja i nadzor potrošnje energije).

2.1. Softverska organizacija

Softverski SCADA paket SDU-SOFT, verzija za PC, sastoji se od sljedećih podsistema:

- baza podataka i sistem za upravljanje bazom podataka

- komunikacija i primarna obrada
- HMI (Human Machine Interface) podsistem.

Baza podataka projektovana i implementirana za rad u realnom vremenu podrazumijeva posjedovanje skupa osobina neophodnih za brz odziv sistema, te jednostavan i uniforman rad sa podacima. Osnovne osobine baze PC baziranog SCADA sistema su:

- univerzalna koncepcija baze za različite tipove telemetrije
- jednostavno unošenje podataka
- jednostavna i brza generacija sa dijagnostikom
- brz i siguran pristup svim podacima u bazi
- visoka sigurnost i konzistentnost podataka (koncept zaključavanja i otključavanja baze)
- efikasan sistem za upravljanje bazom podataka
- mogućnost administriranja baze podataka (jednostavna vizuelna inspekcija baze, on-line modifikacija svih podataka)
- mogućnost on-line podešavanja stepena slobode programa za administriranje podataka (slobodno definisanje maski).

Baza podataka za PC SCADA sistem posjeduje veoma značajnu osobinu uniformnosti za različite tipove telemetrije. Ovo znači da baza jednom projektovana, ima istu koncepciju i strukturu za različite tipove telemetrije, što omogućava fleksibilnost u upotrebi telemetrijskih podataka.

Posebnu fleksibilnost u radu sa bazom održava činjenica što je u toku rada sistema moguće u svakom trenutku izvršiti vizuelnu inspekciju sadržaja bilo kojeg sloga u memorijskom dijelu baze podataka ili izvršiti njegovu modifikaciju. Ovo se postiže pomoću interaktivnog programa, čija je ovo specijalna namjena.

Program za administriranje baze podataka omogućava definisanje maski za bilo koji od objekata u sistemu. Na ovaj način može se podešavati stepen slobode ovog programa.

Zaključavanje i otključavnaje sistema je projektovano tako da se sprečava bilo koja mogućnost pojave "deadlock"-a, a zaključavanje se vrši nad malim grupama podataka, tako da se smanjuje vjerovatnoća čestog čekanja dva ili više programa na jednu te istu grupu podataka. Ovo takode, pozitivno utiče i na cjelokupnu brzinu, odnosno odziv sistema.

Primarna obrada podataka je organizovana kao jedinstven program za nadzor i praćenje, odnosno prikupljanje i detaljnu obradu podataka, te detekciju alarma i različitih dogadaja i njihovu dojavu.

Primarna obrada obavlja sljedeće zadatke:

- inicijalizaciju sistema
- automatsko periodično skaniranje svih stanica iz date konfiguracije, a s ciljem registrovanja promjena
- prikupljanje i obrada podataka
- sve potrebne konverzije
- registrovanje i dojava svih uočenih alarma.

Tipovi podataka koje podržava SCADA sistem su: jednostruke i dvostruke signalizacije, analogna i BCD mjerenja, akumulatori, jednostruke i dvostruke komande, analogni izlazi, te virtuelne tačke.

Navedeni softverski paket posjeduje osobinu uniformnosti što ga čini posebno fleksibilnim u smislu podržavanja različitih tipova telemetrijskih stanica. Naime, softverski paket se ne mijenja uvođenjem novog tipa telemetrijske stanice, izuzev komunikacionog dijela softvera. Ovo znači da su prilikom izmjena u konfiguraciji sistema (drugi tip telemetrije) potrebne minimalne izmjene, koje dispečer uopšte ne uočava, nego jednom naučeni način korištenja sistema u potpunosti nastavlja primjenjivati.

HMI podsistem je projektovan i implementiran tako da dispečeru omogući "prijateljski" dijalog sa računarom i jednostavno korištenje sistema.

U sistemu postoji jedno operatorsko mjesto. S ovog mjesta moguće je zatražiti putem neke od HMI funkcija:

- fino podešavanje sistema promjenom atributa mreže, stanice ili date tačke
- prikaz bilo koje slike na ekranu sa periodičnim osvježavanjem
- štampanje izvještaja
- crtanje slike upotrebom grafičkog editora za jednolinijske dijagrame i tabele
- listanje i kvitiranje događaja u sistemu
- prikaz uspješnosti komunikacije.

Navedeni sistem predstavlja standardni skup funkcija primjenljivih na većinu objektnih sistema. Međutim, određeni skup objektnih sistema posjeduje i neke specifičnosti za koje je potrebna odgovarajuća softverska podrška. Tako su razvijene opcije na prethodno izloženi sistem:

- hronološka registracija događaja primjenjiva u industrijskim postrojenjima i elektroenergetskim objektima
- kontrola i upravljanje potrošnjom energije
- AGC.

Kako opet za svaki od navedenih sistema može biti specifičnih zahtjeva to se svaki takav zahtjev posebno rješava.

Skup zahtjeva na sistem pokriva odgovarajuće softversko rješenje koje opet zahtijeva odgovarajuću hardversku organizaciju.

2.2. Hardverska organizacija

U ovom poglavlju dati su minimalni zahtjevi kao i ograničenje na hardver.

- PC računar:
  - . XT verzija - za manje sisteme gdje se ne zahtjeva naročito brzina
  - . AT verzija - za standardne konfiguracije

Važno je napomenuti sljedeće činjenice:

- upotrebom verzije sa procesorom 80386 umjesto 80286 ne postižu se značajnija poboljšanja performansi sistema.
- korištenjem procesora sa brzim "clockom" i memorijom kao i matematičkog koprocesora odziv sistema se značajno ubrzava.

- memorija - najmanje 640 kB
- disk - najmanje 20 MB
- flopi-disk - preporučuje se 1.2. MB
- EGA grafički kontroler i monitor
- štampač - EPSON kompatibilan
- 1 do 4 serijska izlaza - RS 232C

Sve pobrojane komponente trebaju biti u "heavy-duty" izvedbi, odnosno predvidene za neprekidan rad.

2.3. Primjer jednog PC baziranog sistema

Posebna pažnja posvećuje se testiranju sistema u uslovima konkretnog okruženja. Kao primjer navodimo registrator dogadaja koji je instalisan u TS 400/110/35/10 kV Višegrad i pušten u pogon 26. X 1989. godine. Uredaj je testiran na elektromagnetne smetnje:

- uključenje/isključenje sabirničkog rastavljača 110 kV
- uključenje/isključenje sabirničkog rastavljača 400 kV
- uključenje mrežnog napona na ispravljač
- antena radio stanice omotana oko signalnih kablova u/oko uredaja.

Testiranja su prošla bez smetnji.

Uredaj je u radu neprekidno 24 sata na dan od momenta puštanja do danas (jun 1990.). U toku ovog perioda registrovan je kvar na dva modula digitalnih ulaza.

3. ZAKLJUČAK

PC bazirani sistemi doživljavaju svoju ekspanziju. Upotrebljivi su na različitim mjestima sa različitim namjenama. Ovo se posebno odnosi na elektroenergetske objekte. Zbog svojih mogućnosti i kvaliteta ovi sistemi mogu efikasno zamijeniti veće računarske konfiguracije, pa čak se pokazati i boljim od njih. Naročito su pogodni za manje sisteme. Ovo je potrebno usvojiti, i odbaciti svaku predrasudu u odnosu na PC sistem kao jednostavan, fleksibilan i efikasan sistem za nadzor i upravlajnje u elektroenergetskim objektima.

Mogućnost PC baziranih sistema pored standardnih funkcija (SCADA i njene varijante) su višestruke. Ovo se prvenstveno odnosi na PC grafičku radnu stanicu, distribuirane sisteme, te mogućnost formiranja umreženih PC konfiguracija. Značajan elemenat sistema koje će ENERGOINVEST - SDU isporučivati u budućnosti je PC bazirana grafička radna stanica, kao operatorsko radno mjesto u svim konfiguracijama SCADA sistema (malim, srednjim, većim). SDU PC bazirana grafička stanica je detaljnije opisana u posebnom radu.

L I T E R A T U R A

1. TEHNIČKI PRIRUČNIK - PC SCADA, Energoinvest - SDU
2. KORISNIČKI PRIRUČNIK - PC SCADA, Energoinvest - SDU
3. TEHNIČKI OPIS - SDU-SOFT PC SCADA, Energoinvest - SDU
4. PROGRAMERS GUIDE FOR IBM PC, Norton

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

GRUPA I - CENTRI VOĐENJA

Izvjestilac: Dušan Simić, dipl.ing.

IZVEŠTAJ STRUČNOG IZVESTIOCA

Grupa 1 - Centri vođenja obuhvata tematiku koncepata razvoja sistema upravljanja, funkcije, izgradnju, eksploataciju i održavanje, problematiku kadrova i ekonomske efekte. Međutim u prispelim redovima problematika kadrova kao i ekonomski efekti nisu posebno obrađivani tako da se referati mogu podeliti u tri podgrupe: koncepti, funkcije i eksploatacija i održavanje.

1. Koncepti razvoja sistema vođenja

Problematiku ove podgrupe obrađuju četiri referata (1.01., 1.09., 1,12. i 1.14.)

Referat R 1.01 naglašava potrebu integracije Load Management-a sa postojećim dispečerskim centrima upravljanja, definiše osnovne faktore integracije i daje moguće vidove.

Referati R 1.09 i R 1.14. grupe autora iz Energoinvesta, daju prikaz odziva ovog preduzeća na promene nastale u trendu razvoja sistema vođenja. Dok referat 1.09. daje konceptione osnove distribuiranih sistema sa primenom "standarda" u radu R 1.14 prikazano je rešenje bazirano na opisanim konceptionim osnovama.

Referat R 1.12. obrađuje primenu jednog od "standardnih" alata u novom konceptu sistema vođenja - X Window. Očigledno je da se razvoj sistema vođenja u celom svetu kreće ka distribuiranim sistemima uz maksimalno korišćenje standardnih "alata" kako u hardveru tako i u softveru i bilo bi interesantno odgovoriti na sledeća pitanja.

1. Mogućnost uklapanja novih koncepata u postojeće sisteme vođenja.
2. U kojim se domenima hardvera i softvera novog koncepta očekuju ili su sagledani najveći problemi.

3. Dobre i loše karakteristike X Window u specifičnoj aplikaciji tj. u sistemima vođenja.
4. Da li se pored sadašnjeg trenda razvoja sagledava i neki drugi mogući trend kako u konfiguracijama tako i u razvoju aplikacionog softvera.
5. Koliko je integracija Load Management-a ostvariva u našim današnjim uslovima.

2. Funkcije sistema vođenja

Tematiku funkcije sistema vođenja obrađuju 6 referata i to:

R 1.02 grupe autora iz Energoinvesta i DC ZJE, daje opis, funkcije, konfiguraciju i način rada novog sistema koji omogućuje ostvarivanje elementarnih funkcija u DC ZJE i to nadzor 400 kV mreže i regulaciju snaga razmene i učestanosti.

R 1.03 daje rezultate analize uticaja parametara sekundarne regulacije na razvijenom referentnom modelu sa digitalnom simulacijom regulacije. Analiza je urađena na bazi realnih parametara EES-a Slovenije. Dat je opis referentnog modela kao i način otkrivanja poremećaja u delovanju regulacije.

R 1.04 daje kritični osvrt na jedan od vitalnih delova sistema vođenja - sprega čovek - mašina - uslovi rada. Analiza funkcionalnosti bazirana je na iskustvima iz dva postojeća dispečerska centra i to sa gledišta ergonomije u okruženju prostor - čovek - rad.

R 1.06 grupe autora iz "Elektre" Križ obrađuje srednjenaponsku (SN) mrežu sa stanovišta njene uključenosti u postojeći sistem upravljanja ukupnom elektroenergetskom mrežom "Elektre" Križ te potrebe i mogućnosti formiranja dodatnih centara za nadzor SN mreže pojedinih (pripadnih) područja. Analizirani su i definisani potrebni podaci kao i odgovarajuće funkcije. Dato je rešenje sistema u celini sa opisom funkcija programskog sistema i tehničkog rešenja nadzornog centra pripadnog područja SN mreže.

R 1.08 se bavi analizom rezultata dobijenih istraživanjem dinamike procesnog zapisa informacija na osnovu hronološkog događaja sa vremenskom rezolucijom 10 ms. Analiza obuhvata elemente EES-a: 110 kV, 220 kV i 400 kV dok su vremenski intervali 5 s, 1 min i 1 dan.

R 1.11 daje opis razvijenog programskog paketa za obračun električne energije velikih potrošača koji imaju uticaj na rad elektroenergetskog sistema. Programski paket izrađen je za potrebe Elektrogospodarstva Slovenije.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakva su iskustva u dosadašnjem radu sistema nadzora i regulacije u DC ZJE i koje su mogućnosti i da li se namerava uvođenje sličnih sistema u elektroprivredama republika?
2. Koja je mogućnost korišćenja rezultata analize digitalne sekundarne regulacije u izgradnji Projekta TSU;
3. Koliko su i kako koristili rezultate ergonomskih analiza u praksi i projektovanju radne okoline i radnog mesta operatora?
4. Koji je optimalni broj podataka i funkcija potreban za vođenja srednjenaponske mreže i gde ih locirati da bi se dobila maksimalna efikasnost vođenja postrojenja?

5. Kakva se pažnja posvećuje izboru, sistemu šifrovanja i čuvanju procesnih informacija kod nas, kakva su iskustva iz svetske prakse i kako organizovati rad na ovom poslu?
6. Koji i kakvi se efekti mogu postići promenom tarifnih stavova za velike potrošače i kakva je mogućnost razvijenog paketa za obračun energije da prati promena tarifnih stavova.

3. Eksploatacija i održavanje

Tematiku realizacije eksploatacije i održavanja centra vođenja kao i iskustva na tim poslovima obrađuju 4 referata i to:

R 1.05 sadrži niz podataka dobijenih višegodišnjim praćenjem rada opreme procesnih informacionih sistema sa odgovarajućim statističkim obradama i analizom.

R 1.07 opisuje regionalni distributivni dispečerski centar Elektroprimorja Rijeka sa svim sistemima neophodnim za njegov rad. Sumirana su desetogodišnja iskustva na korišćenju sistema, ponašanje u radu i fazna zamena opreme i programa, i posebnim naglaskom na komunikaciju čovek - sistem, sa odgovarajućom statističkom obradom i analizom.

Navedeni su i osnovni problemi koji su se javljali prilikom realizacije i tokom eksploatacije kao i problemi daljeg razvoja sistema.

R 1.10 obrađuje jedan od značajnog koraka u realizaciji TSU i to u okviru osetljivog segmenta - komunikacije. Na bazi postojećeg iskustva i uz sagledavanje konkretnih mogućnosti pojedinih ponuđača daju se konkretni predlozi za realizaciju ovog koraka uz približavanje mogućnosti proizvođača EMS zahtevima jugoslovenskog TSU-a.

U R 1.13 data je analiza i ocena korisničke orijentisanosti programskog sistema PROZA 11 D/R. Ovo je urađeno na bazi iskustva u eksploataciji ovog sistema.

Ocena je data na osnovu procene:
- jednostavnosti primene
- komunikativnosti
- kvaliteta poruka
- kvaliteta pomoći (podrške) korisniku.

Pitanja za diskusiju:
1. Koje su mogućnosti primene logistike u definisanju strategije održavanja opreme informacionih sistema?
2. Koje su mogućnosti i potreba za promenom odnosa učešća službi održavanja proizvođača - isporučioca i korisnika opreme?
3. Pored pitanja koje postavlja autor referata R 1.07 stoji i pitanje - da li je neophodno u havarijskim situacijama formiranje "informacijskog pulta" sa zadatkom prihvaćanja telefonskih poziva domaćinstava i industrijskih i ostalih potrošača, informisanja nadležnih službi i dr?
4. U kojoj se meri uspelo naći i otkloniti, pri analizi pristupa Work Statement-u nedostatci uočeni u ranijoj licitacionoj dokumentaciji?

5. Da li je bilo kontakata i konsultacija sa isporučiocem u vezi otklanjanja nekih nedostataka u programskom sistemu PROZA 11 D/R? Koje su mogućnosti i da li je u praksi korisnik sam vršio izmene tj. uklanjao uočene nedostatke? Dobro je čuti i komentar isporučioca šta je urađeno na poboljšanju sistema u odnosu na isporučenu verziju.

GRUPA II.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Zorko Cvetković, dipl.ing.
Jugoslavenski komitet CIGRE, Zagreb
Nikola Lastrić, dipl.ing.
"Elektroprenos" Zagreb

Referat broj 2.00

LOKALNA AUTOMATIKA U TEHNIČKOM SISTEMU UPRAVLJANJA (TSU)

SADRŽAJ

Optimalno vodjenje EES-a zahtjeva decentralizaciju funkcija u čemu naročitu ulogu igra lokalna automatizacija postrojenja. Opisuju se mogućnosti lokalne automatizacije, njezini ekonomski i socijalni aspekti te njen utjecaj na planiranje razvoja kao i na vodjenje EES-a. Dan je osvrt na trend razvoja hardwera i softwera kao i na trend cijene koštanja automatike.

Ključne riječi:
lokalna automatika, zaštita, decentralizacije funkcija, priprema postrojenja, daljinska stanica, TSU.

Optimal network control system is based on the requirements for decentralised functions. In this context the local automation has very specific role. Possibilities for distributed local controls are described as well as their impact on power system supervisory control functions and system planning.

A review of hardware and software development trends are presented as well as trends of cost.

1 UVOD

Situaciju današnjeg stanja projekta TSU, a pogotovo njegovu perpektivu iznijet će vjerojatno pozivni referat Jugela. Najnovija saznanja u tom smislu su se čula upravo u vrijeme pisanja ovog referata i to na Savjetovanju MIPRO-

-EP u Opatiji u maju ove godine.

Opći zaključak tog savjetovanja se može svesti na tri točke:

- usprkos uloženom trudu i značajnom angažmanu pojedinaca i radnih grupa projekat stagnira opterećen nizom organizacijskih, financijskih, elektropolitičkih i ostalih pratećih problema uključujući i nerealno zamišljeni odnos investitora i domaće industrije. Projektu u formi kakvoj je zamišljen prijeti i prekid ugovora o financiranju od strane Medjunarodne banke.
- postoje ipak optimistički tokovi vezani za budući razvoj koji se baziraju na novoj koncepciji etapnog razvoja koja u principu polazi od iste osnovne koncepcije, ali sistemom korak po korak uz poslovniju organizaciju vodjenja projekta i sistema odlučivanja
- naročitu pažnju treba posvetiti pripremi postrojenja za rad u TSU, jer ta akcija predstavlja usko grlo realizacije cijelog projekta naročito s obzirom na njenu vremensku i financijsku dimenziju. Do danas tom elementu u ukupnom projektu nije posvećena odgovarajuća pažnja.

Već je bilo rečeno u (1) da štete proizašle iz zakašnjenja u realizaciji ovog projekta mogu biti bar djelomično ublažene, ako se vrijeme koje je dobiveno iskoristi za poboljšanje prijašnje koncepcije bilo zbog stečenog iskustva bilo zbog daljeg razvoja te problematike u svijetu. Naglašeno je tom prilikom da buduća koncepcija vodjenju EES iz koje bi trebala proizaći i koncepcija TSU, još uvijek nije jednoznačno dogovorena, da postoji težnja prevelikoj centralizaciji funkcija višim hijerarhijskim nivoima i da je projekt više prilagodjen za rad u normalnom pogonu, a manje za rad u poremećenim stanjima.

Ovaj referat kao uvodni referat grupe 2 se upravo zbog tog razloga bavi lokalnom automatikom postrojenja kao značajnom karikom u realizaciji kompletnog TSU.

Interesantno je napomenuti da referat EdF-a o budućem razvoju vodjenja francuskog EES-a iznesen na MIPRO-EP stavlja naglasak baš na automatizaciju postrojenja kao elementa decentralizacije vodjenja i na korištenje ekspert sistema u dispečerskim centrima radi lakšeg vodjenja EES-a u poremećenim situacijama. I taj prelaz nosi sa sobom značajne zahvate u postrojenjima naročito u ožičenju. Nema razloga da mi u daljnjem toku rada na projektu TSU ne podjemo istim putem tim više, jer smo i kroz vlastito iskustvo došli do istih zaključaka kao i stručnjaci EdF-a.

Sažeto rečeno u našem budućem radu trebala bi nam biti osnovna misao vodilja:

"U vodjenju EES-a treba centralizirati sve funkcije koje moraju biti centralizirane a decentralizirati sve one koje se mogu decentralizirati".

Naravno ovakav decentralizirani sistem traži daleko bolju koordinaciju akcija iz centara.

2 LOKALNA AUTOMATIKA POSTROJENJA

U Elektroprivredi je uvijek i od samog početka svako postrojenje imalo bar osnovnu lokalnu automatiku. To se svodilo na:

- relejnu zaštitu

- brojila električne energije
- automatsku regulaciju napona na transformatorima
- blokade radi sprečavanja krivih sklapanja
- automatsko ponovno uklapanje
- podfrekventno rasterećenje
- sinhronizacija

Taj nivo "automatike" nažalost ni danas nije značajnije izmjenjen i moderniziran.

Uvodjenjem TSU u transformatorske stanice, čime se uvelo u postrojenje modernu mikroprocesorsku i računarsku opremu, a postepeno isključilo posadu (uklopničare) iz tih postrojenja, modernizacija lokalne automatike i njeno proširenje na mnoge akcije u postrojenju je neodgodiva nužda.

Daljinske stanice (DAS) i uredjaji kronološke registracije dogadjaja (KRD) osnova su sadašnjeg TSU.

Ovim uredjajima omogućava se snimanje stanja i dogadjaja u postrojenju i daljinska komanda rasklopnim aparatima.

Već je tim načinom moguće u velikoj mjeri ovladati nadzorom i upravljanjem postrojenjem, pa i stvoriti preduslove za rad postrojenja bez posade.

Naravno da briga i nadzor nad postrojenjem i dalje mora postojati, ali se to sada prenosi na operatore u centrima daljinskog upravljanja (CDU).

Povećanjem broja postrojenja koja se nadziru i upravljaju iz jednog CDU dovodi postepeno do granica izdržljivosti računala ali i čovjeka - operatora. Po našem iskustvu nebi trebalo preći broj od 20-25 postrojenja na nadzoru i upravljanju po jednom CDU.

Taj bi se broj, ali i kvaliteta rada, u CDU mogao nešto povećati, kada bi se broj informacija i interakcija u upravljanju smanjio. Zato se opravdano nastoji proširiti područje lokalne automatike u postrojenjima, boljim korištenjem i djelomičnim proširenjem postojećih RTU za lokalno automatsko upravljanje, regulaciju i obradu podataka u samom postrojenju.

Koje mogućnosti dolaze u obzir?

Ovdje ćemo u kratko opisati samo neke mogućnosti koje je moguće realizirati bez većih investicija.

2.1 Kronološka registracija dogadjaja (KRD):

Uredjaji kronološke registracije dogadjaja trebali bi imati mogućnosti izbornog poziva iz CDU za odredjene, tražene, dijelove dogadjaja sa dešifriranjem ispisa na samom KRD i tekstualnim (alfa numeričkim) ispisom na pisačima i ekranima u CDU.

Na taj način dobile bi se hitne, ali samo izabrane i potrebne informacije u momentu kvarova bez mukotrpnog pretraživanja beskrajnih lista KRD u cijelovitom daljinskom prenosu.

2.2 Post mortem zapis (osciloperturbografi)

Pod ovim naslovom mislimo na zapis o mjerenjima (napon, struja, snage) u

momentima ispada ili naponskih udara sa zapisom prije, za vrijeme i neposredno nakon dogadjaja i to u odgovarajućim vremenskim razmacima (mili sekunde) i daljinski prenos takovog zapisa u CDU (DC). Ta tehnologija je već poznata, ali naše daljinske stanice (RTU) nisu konstruirane za takovu obradu. Prema našim saznanjima nijedna RTU u Jugoslaviji nema takovu obradu, iako postoje na tržištu takvi neovisni lokalni uredjaji bazirani na mikroprocesorima.

2.3 Automatska regulacija napona i paralelno sklapanje transformatora

U transformatorskim stanicama bez posade svako paralelno priključenje transformatora iziskuje prethodno uskladjenje regulacionih stupnjeva na oba transformatora.

To se može izvesti daljinskom regulacijom, ali je nužno (obično matričnim uredjajem) prenijeti u CDU više od 50 informacija po transformatoru, što jako opterećuje računalo i čovjeka (operatora), i zahtjeva veće investicije za prilagodjenje postrojenja za SDV u tom dijelu. Lokalno je moguće ove predradnje zajedno sa automatskom regulacijom napona svakog i svih transformatora izvesti ili proširenjem RTU za tu potrebu, ili ugradnjom posebnog mikroprocesorskog uredjaja.

Time bi se sav nadzor i upravljanje regulacijom iz CDU moglo izbjeći, jer bi operator jednostavnom komandom za uključenje transformatora u paralelni rad dao impuls, a lokalna automatika prihvatila nalog - blokirala uklop - uskladila regulacione sklopke oba transformatora - deblokirala komandu i uključila transformator. Ova logika naravno vrijedi i za upuštanje u rad generatora, kompenzacionih uredjaja i pomoćnih pogona.

2.4 Relejna zaštita i podešenje

Već danas se razne vrste i tipovi relejne zaštite izvode sa elektroničkom i mikroprocesorskom tehnologijom, a praktički se napušta elektromehanička tehnika.

To otvara mogućnosti za integraciju relejne zaštite u daljinsko upravljanje sa nadzorom, podešenjem, blokiranjem ili promjenom udešenja releja - sve u daljinskom nadzoru i impulsnom upravljanju. Ovakova relejna zaštita je danas jeftinija, mnogo točnija i lakše kontrolirana i upravljiva.

Kombinacija relejne zaštite i mjernih veličina daje integralnu cjelinu za siguran rad, a što je još važnije omogućuje automatska upozorenja o mogućim ispadima ili smetnjama u postrojenjima. Time se omogućuje dispečeru (operatoru) pravodobno reagiranje na pred-alarmantna stanja.

2.5 Mjerenja - obračun energije

U trafostanicama bez posade danas je nužno, radi obračuna potrošnje električne energije, poslati u postrojenje u odredjeno vrijeme na prelazu obračunskog perioda odgovarajuću osobu radi uzimanja podataka sa mjernih uredjaja.

Moderniziranjem mjernih uredjaja i adaptacijom za daljinski prenos ta o-

čitanja bi se mogla automatski prenositi u CDU i u odgovarajućem obliku odmah ispisati na pisačima kao važeće fakture za obračun električne energije. Glavno računalo ili posebni PC moglo bi obraditi više računa sa raznih obračunskih mjesta u jedinstvene obračune za poduzeća Distribucije i direktne potrošače i po potrebi izraditi odgovarajuće energetske i financijske izvještaje za nabavu i prodaju električne energije.

2.6 Sekvenciono upravljanje

Pod ovim izrazom podrazumijeva se slijedno automatsko upravljanje rasklopnih aparata po unaprijed utvrdjenom scenariju za razne manevre u postrojenju. Primjerice to je:

- Prebacivanje svih polja sa jednog na drugi sistem sabirnica,
- Uklop ili isklop jednog polja sa pravilnom sekvencom sklapanja svakog aparata u polju,
- Paralelno ukapčanje transformatora, generatora, kondenzatorskih baterija i sl.,
- Isključenje ili uključenje dalekovoda na obe strane (u dvije trafostanice),
- Upuštanje generatora i sinhronog kompenzatora

i to sve sa samo jednim impulsnim nalogom iz CDU za svaku od ovih grupa upravljanja. Neke od ovih grupa upravljanja mogle bi se čak i automatski izvoditi prema podacima iz postrojenja odgovarajućih mjerenja.i po unaprijed zadanim uslovima.

Sve opisane a i druge mogućnosti mogle bi toliko automatizirati rad u trafostanicama (ali i nekim elektranama) da bi se znatno smanjio utjecaj čovjeka na rad postrojenja i izbjegle rutinske (često dosadne) operacije uklopničara u TS ili operatora (dispečera) u CDU (DC), a time i izbjeglo krive manevre i akcije kao greške čovjeka.

3 EKONOMSKI I SOCIJALNI RAZLOZI UVODJENJA LOKALNE AUTOMATIKE

Uvodjenje lokalne automatike zahtijeva u početku nove investicije, koje ne mogu odmah dati odgovarajuće ekonomski pozitivne rezultate (profit). Valoriziranje tih investicija dolazi u vremenskom pomaku ovisno o prihvaćanju te nove tehnologije kroz organizaciju rada i prestruktuiranje radnih mjesta i produktivno zapošljavanje.

Novim rasporedom rada i radnika na kvalitetnije i stručnije poslove, svaka nova tehnologija koja se stručno izabere i koristi, vrlo brzo donosi rezultate u kvalitetnijoj opskrbi potrošača električnom energijom.

Lokalnom automatikom može se postići znatno veća sigurnost sistema (EES), smanjiti broj i vrijeme trajanja ispada, kvarova i prekida u mreži, smanjiti tehničke i komercijalne gubitke i sve uz manje troškove i veću dobit. Nešto više o tome bit će dano u poglavlju 5 i 6.

Što se tiče socijalnih uslova tu postoje još opravdaniji razlozi. Sa jedne strane postrojenja su često locirana na mjestima gdje je skoro nemoguće naći

kvalitetnu posadu. Sa druge strane u postrojenjima gdje su stalne posade (4-6 uklopničara po objektu) te posade su nedovoljno zaposlene i neaktivne u većem dijelu radnog vremena. To dovodi do pada koncentracije i postepenog stručnog i intelektualnog nazadovanja tih ljudi.

Kad dodje (a to je vrlo rijetko i nenajavljeno) do kvarova, ispada ili hitnih intervencija, tada se od tih ljudi traže vrlo brze reakcije i donošenje odluka za koje čak nisu ni kompetentni. Brze reakcije u nepripremljenom stanju izazivaju strah pa čak i šokove a to konačno rezultira i krivim potezima.

Prema našim saznanjima broj kvarova i smetnji u postrojenjima bez posade je oko 40% manji nego u objektima sa posadama.

Lokalnom automatikom u znatnoj mjeri se mogu riješiti te poteškoće bez šokova i emocija čovjeka. Posade postrojenja treba zaposliti na stručnijim poslovima nadzora i održavanja te intervencijama u postrojenjima prema nalozima i uputstvima iz centara daljinskog upravljanja.

Time bi se postigla puna zaposlenost ljudi, veća odgovornost u radu, veća sigurnost postrojenja i prilagodljivost tokovima energije, te veća efikasnost cijelog EES uz bolje ekonomske rezultate i veće dostojanstvo radnika.

Za uvodjenje lokalne automatike u ekonomskom i socijalnom pogledu upravo je sada optimalno vrijeme.

Prvo zato što cjelokupni društveni sistem vodi ka tržišnoj orjentaciji i profitabilnim sistemima, a drugo što je ovo vrijeme velikih smjena generacija.

Ratne i prve poslijeratne generacije koje su radile na tzv. prvoj elektrifikaciji i dovele Elektroprivredu do sadašnjeg stanja visoke tehnologije, dale su veliki doprinos razvoju EES, ali sada više nisu u snazi i ambicijama da naprave veći tehnološki skok u budućnost, radi skorog odlaska u zasluženu mirovinu.

Radi toga će doći do velikih promjena u prosječnoj starosti radnika i stručnjaka, ali i u tehnološkim znanjima i mogućnostima ostvarenja tih znanja i to sve u nekoliko slijedećih godina.

Sve to bi trebalo iskoristiti za nagliji skok u novu tehnologiju i nove organizacione oblike rada.

4 TREND U RAZVOJU OPREME (HARDWARE) I PROGRAMA (SOFTWARE)

U području elektroničkih uredjaja za lokalnu automatiku, koriste se tipizirani elektronički moduli kao "eurocard" koji imaju mogućnosti primjene u mnogim različitim funkcijama. Ovisno o specifičnoj upotrebi ti se moduli slažu i programiraju za odredjene radnje automatskog primanja i obrade informacija za unaprijed zadane funkcije.

Takovi tipizirani uredjaji danas se izradjuju za:

- pojedinačne funkcije
- integralne funkcije

Uredjaji za pojedinačne funkcije već danas su brojni, s time da se vrlo lako mogu koristiti za lokalni rad i obradu, ali i za daljinski prijenos i upravljanje.

Poznati su već u primjeni elektronički uredjaji za:

- relejnu zaštitu,
- regulaciju (raznih uredjaja),
- mjerenja i obračune,
- nadzor i preventivnu kontrolu,
- automatsko upravljanje sklopovnih uredjaja (akubaterije, kompresori, rasklopni aparati po poljima u postrojenju, kompenzaciona postrojenja i sl.),
- automatsko prekapčanje veza preko skretnica,
- kronološke zapise i obradu,
- razne druge namjene.

U najnovije vrijeme rade se i integralni uredjaji koji ujedinjuju dvije ili više pojedinačnih funkcija ovisno o želji i potrebama naručioca.

Primjer tome su i integralni uredjaji firme ABB, pod skupnim nazivom "Piramida", ali i drugi proizvodjači rade na takovim integriranim sklopovima.

U Elektroprivredi se sa razvojem daljinskih stanica otvaraju velike mogućnosti za dogradnju lokalne automatike u osnovne funkcije TSU.

Za primjer navodimo da su to mogućnosti za:

- proširenje TSU pojedinačnim lokalnim obradama (automatski),
- uvodjenje izoliranih i paralelnih sistema,
- disperziju uredjaja za zahvat informacija u dijelovima velikih postrojenja i povezivanje u lokalnu mrežu,
- lokalno automatsko upravljanje dijelovima postrojenja sa informacijama o učinjenim radnjama na KRD i u centar daljinskog upravljanja.

U području razvoja programa (SW) nastoji se maksimalno koristiti nova oprema i uredjaji što omogućuje korisnicima veliki izbor informacija i obradu tih informacija za saznanje o radu postrojenja, njegovom optimalnom korištenju i pravodobnom usmjeravanju rada.

Korisnički programi daju velike mogućnosti raznih obrada što se do danas radilo "pješke" i u analizama sa nekompletnim ili čak nesigurnim podacima.

Novi ekspertni sistemi sa integracijom pojedinačnih ili grupnih informacija omogućavaju dragocjene podatke i uputstva za rad na:

- predvidjanju dogadjaja,
- planiranju vodjenja sistema,
- izbjegavanju poremećenih stanja,
- optimizaciji korištenja mreže,
- planiranju voznog reda,
- planiranju održavanja,
- obradi podataka svih vrsta,
- planiranju dogradnje i izgradnje mreže i postrojenja,
- obračunu utroška el. energije,
- proračunu tokova snaga kratkog spoja, udešenja relejne zaštite itd.

Sve ovdje nabrojeno, a i više od toga, je već danas rješeno i dostupno, ali je u elektroprivredi vrlo malo korišteno.

Nadamo se da ćemo imati uskoro prilike vidjeti primjenu takove tehnologije i kod nas, jer je to i za nas bliska budućnost bez obzira na manjak investicija i otpore uvodjenju moderne tehnologije u našim organizacijama.

5 UTJECAJ NA PLANIRANJE I VODJENJE EES

Automacija odnosno daljinsko upravljanje nemaju samo značajan utjecaj na operativno planiranje i vodjenje sistema u realnom vremenu već i na planiranju razvoja sistema. Pokušat ćemo dati samo neke osnovne poglede na tu problematiku.

5.1 Utjecaj na planiranje

Planiranje razvoja EES-a bazira se na ekonomskim kriterijima i standardima sigurnosti. Pri tome se koriste determistički i probabilistički pristupi kao LOLP, n-1 odnosno n-2 pravilo i slično. Uz definiranje odredjene topologije sistema takodjer se sve više uzimaju u obzir struktura postrojenja i performance ugradjene opreme. Naravno samo planiranje uzima u obzir cijeli niz ograničenja. To su prvenstveno tehničko-tehnološka organičenja kao napr.

- granice kratkog spoja,
- termička ograničenja,
- stabilnost,
- naponske prilike

Uz ova ograničenja pojavljuju se medjutim sve više i ograničenja drugog tipa kao napr.

- nepoznavanje rasta konzuma,
- financijska ograničenja,
- ekološka ograničenja

Posljedice ovog tipa ograničenja očituju se prvenstveno u kašnjenju planiranja izgradnje sistema, a time i na smanjenju sigurnosti, pa i na smanjenju ekonomičnosti rada.

Utjecaj automatike i daljinskog vodjenja može i treba ovu situaciju ublažiti i omogućiti rad sistema do njegovih tehnoloških granica, a da pri tom sigurnost rada sistema ostaje u prihvatljivim okvirima.

Uzmimo samo neke mogućnosti koje nam se time pružaju:

- prebacivanje tereta napr. sa jednog transformatora na drugi u slučaju defekta,
- momentano iskapčanje odredjenih hidrogeneratora,
- sprečavanje kaskadnih ispada,
- smanjivanje proizvodnje u slučaju ispada prijenosnih kapaciteta,
- podfrekventno rasterećenje, ali i ukapčanje vršnih jedinica,
- kontrola napona i ukapčanja kompenzacionih uredjaja.

Sve ovo je naročito interesantno u zemljama sa značajnijim udjelom hidroenergije i sa dugim prijenosnim vodovima kao što je to slučaj u našoj zemlji.

Činjenica je medjutim da planeri sistema, iako poznaju ove mogućnosti, rijetko ih uzimaju u obzir, već ih radije koriste kao dodatnu sigurnost rada budućeg sistema.

5.2 Utjecaj na vodjenje EES

Kao što je u uvodu rečeno za TSU tako i mnogi sistemi vodjenja koji danas

rade u svijetu više odgovaraju za rad u normalnom pogonu, a manje za rad u poremećenim situacijama. Preveliki broj informacija u tom momentu zagušuju računarske sisteme i preopterećuje operatore što su posljedice prevelike centralizacije.

Prvi problem tj. zagušenje sistema rješava se danas hijerarhijskom arhitekturom računara. Drugi problem tj. preopterećenje operatora koji vodi krivoj diagnostici rješava se uvodjenjem ekspert programa koji omogućuju da operator u slučaju velikih poremećaja u EES-u dobije ograničen broj bitnih informacija eventualno sa diagnozom i uputstvom za djelovanje.

Upravo kod najtežih poremećaja pa i kod uspostavljanja normalnog stanja lokalna automatika može odigrati značajnu ulogu. U pravilu postrojenje treba biti autonomno koliko je to moguće, ali je nužna dobra koordinacija lokalnih i centraliziranih funkcija. Smatra se da će baš koordinacija lokalnih funkcija biti najveći izazov u razvoju budućih sistema vodjenja. Njen osnovni zadatak je da dade mogućnost dispečeru da na bazi procjene situacije za slijedeći dan ili čak u real time-u preudesi lokalnu automatiku postrojenja da bi kod eventualnih poremećaja djelovala optimalno.(2)

Danas se napr. nadzor EES vodi iz dispečerskog centra koji je u stalnom saobraćaju sa operatorima CDU i uklopničarima pojedinih TS i svih elektrana. Taj saobraćaj je dosta primitivan jer se ostvaruje uglavnom sa telefonom, što traje dugo i reakcije nisu pravodobne. U već poremećenom pogonu sada se uspostavlja normalno pogonsko stanje "korak po korak" što traje previše dugo u odnosu na mogućnosti lokalne automatike u sprezi sa daljinskim nadzorom i upravljanjem iz CDU odnosno RDC.

Lokalna automatika može bolje i brže zamijeniti akcije uklopničara i operaterima ili dispečerima dati prave i pravodobne informacije za izbjegavanje poremećenih stanja odnosno omogućiti brže i kompletnije akcije za eliminaciju već nastalih poremećenih pogonskih stanja.

Svakako to vrijedi kako je rečeno samo u koordiniranoj sprezi lokalna automatika - CDU - dispečer. Takova koordinacija u sistemu rasterećuje dispečere i operatore od rutinskih naloga i postupaka i omogućuje im vrijeme za bolji nadzor i kontrolu vodjenja EES tj. za funkcije višeg nivoa.

Ipak treba naglasiti da samo uvodjenje tehnike ne rješava bolji rad sistema, već je nužno u primjeni moderne tehnologije paralelno (ili još prije) promijeniti i organizaciju rada decentralizacijom nadležnosti nadzora i upravljanja EES i unaprijed odredjenom koordinacijom tih nadležnosti.

Ovom prilikom treba naročito podvući činjenicu koja se često u praksi zanemaruje. Eksploatacija sistema je nedjeljiva od održavanja postrojenja i njegovih elemenata. Tako je napr. centar trećeg nivoa za upravljanje prijenosnom mrežom (CDU) ujedno i centar iz kojeg se koordiniraju akcije održavanja bilo interventnog bilo preventivnog. Iz ovog slijede dvije poduke. Štetno je planirati neki sistem vodjenja zanemarujući funkciju održavanja tj. štetno je uvadjati nove sisteme vodjenja, a organizaciju održavanja ostavljati istom kakva je bila prije uvodjenja nove tehnologije.

Ne treba naime zaboraviti da će iz postrojenja stizati u centre trećeg nivoa niz podataka važnih za održavanje kao napr. broj operacija nekog aparata, diagnostika defekta na aparatima na poziv iz centra i sl.

6 TREND CIJENE KOŠTANJA AUTOMATIKE

Danas ne bi bilo moguće ustvrditi cijenu koštanja lokalne automatike u postrojenju, jer je ta cjelokupna tehnologija u stalnom razvoju.

Medjutim sama cijena ni ne daje pravu sliku ukupnog poboljšanja i indirektnih ušteda na polju eksploatacije i održavanju postrojenja.

Brzi razvoj elektronike i padanje cijena elemenata i uredjaja uz istovremeno multipliciranje mogućnosti funkcija takovih uredjaja već je i danas uočljivo. U budućnosti će se taj trend samo nastaviti radi većeg izbora, serijske proizvodnje, bržeg razvoja i primjene.

Istina je da zamjena klasičnog sistema sa modernim koji bazira na mikroprocerorima u samo jednom postrojenju traži gotovo duplu cijenu zbog činjenice da uz cca istu cijenu hardwera dolazi praktički identična cijena softwera. Ovako grubu tvrdnju treba medjutim korigirati vjerojatno smanjenim poslom inženjeringa, a naročito višestrukom upotrebom softwera u velikom broju identičnih postrojenja.

6.1 Troškovi inženjeringa

Moderni sistem može biti kompletno testiran u fabrici na simulatoru. Na gradilištu treba samo povezati aparate i izvršiti konačnu probu.

Nakon testiranja u fabrici dokumentacija odgovara stvarnom stanju i nakon prelaznog perioda uhodavanja broj čovjek-sati za inženjering se smanjuje u usporedbi sa klasičnim stanjem. U svakom slučaju za budući razvoj softwer će sve više predstavljati težište kompletne informatičke opreme i biti pokretač promjena u metodama rada. Na taj način cijena softwera će biti indikator uspjeha u svladavanju nove tehnologije.

6.2 Troškovi softwera

Dva faktora odlučuju o cijeni softwera i to podaci koje treba pripraviti i aplikacioni programi koje treba napisati i ispitati.

Podaci uključuju način funkcioniranja opreme, razna udešenja i detaljne opise pojedinih aplikacija (jednopolnu shemu postrojenja, medjusobne blokade aparata, poruke na štampaču i sl.). To su podaci specifični za svaku aplikaciju i trošak da ih se priredi i ubaci u bazu podataka računara tereti svaku realizaciju poput troška hardwera. To je medjutim samo dio troška softwera, jer drugi dio softwera se ponavlja i praktički je isti za sva postrojenja što znatno utječe na sniženje njegove cijene.

To medjutim traži od korisnika da što detaljnije specificira razne mogućnosti sa funkcionalnog stanovišta koje proizvodjač u pravilu ne poznaje dovoljno. Jasno da profit korisnika raste proporcionalno sa brojem postrojenja u kojima se koristi identičan softwer.

6.3 Ostalo

I ovom prilikom treba naglasiti da u svakoj realizaciji treba dobro razraditi pripremu postrojenja, školovanje kadrova, dinamiku realizacije i odgovarajuću organizaciju službe eksploatacije i održavanja.

Svaka nekompetentna odluka, nepravodobno uvadjanje moderne tehnologije i primjerne organizacije rada mogu dovesti do višestruko većih troškova i štete od cijene uredjaja.

Možda treba istači da prema iskustvima UNIPEDE jedan dinar pametno uložen u automatiku može uštediti 10 dinara investicija u primarna postrojenja.

7 ZAKLJUČAK

Kao sažetak ovog uvodnog referata grupe 2 može se navesti slijedeće:

- lokalna automatika kao i sistem vodjenja u cjelini mogu korisno poslužiti kod rješavanja raznih ograničenja kako u fazi planiranja razvoja, tako i u fazi operativnog planiranja odnosno vodjenje EES-a u real time-u,
- treba decentralizirati sve funkcije koje se mogu, ali treba centralizirati one koje moraju biti centralizirane (napr. ekonomski dispečing, procjena sigurnosti). Nužna je dobra koordinacija centraliziranih funkcija u sistemu vodjenja EES,
- postoji potreba kao i velike mogućnosti moderne opreme za daljnjom lokalnom automatizacijom postrojenja,
- pametno uložen dinar u automatizaciju može uštediti deset dinara uloženih u primarna postrojenja,
- priprema postrojenja, školovanje kadrova i prilagodjenje organizacije eksploatacije i održavanja sastavni su dio svake realizacije i ne smiju se zanemariti,
- uvodjenje ekspert sistema unaprijedit će rad operatera u vodjenju EES-a u poremećenim situacijama i uspostavi normalnog pogona u ćemu će značajnu ulogu imati lokalna automatizacija.

Pitanja za diskusiju

- da li su navodi u referatu općenito prihvatljivi?
- ima li domaćih iskustava u realizaciji lokalne automatike?
- da li se može reći da jugoslavenska elektroprivreda pametno pristupa realizaciji sistema vodjenja uključujući lokalnu automatiku postrojenja?
- ako ne, što bi bilo najnužnije napraviti da se situacija poboljša?

LITERATURA

(1)	CVETKOVIĆ LASTRIĆ	Iskustva u realizaciji sistema daljinskog vodjenja MIPRO-EP 90 OPATIJA	1990.
(2)	WAHA BARRET	Future automation in transmission Network Unipede Athens Congress	1988.
(3)		PYRAMID Dokumentacija ABB	1989.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Radmilo Antić, dipl.ing. ELEKTROISTOK, Beograd
Zdravko Dabić, dipl.ing. ELEKTROISTOK, Beograd
Svetozar Radovanović,dipl.tehn. KOSOVOPROJEKT, Beograd

Referat broj 2.01

NEKA TEHNIČKA PITANJA VEZANA ZA PRIPREMU TS 400(220)/110 kV ZA DALJINSKO UPRAVLJANJE

S A D R Ž A J

Referat obradjuje tehnička pitanja o kojima se odlučivalo pri izdavanju projektnih zadataka za projektovanje prilagodjenja TS 400 (220)/110 kV za daljinsko upravljanje u elektroenergetskom sistemu Srbije.

Referat daje odgovore na sledeća pitanja: kojim rastavljačima daljinski komandovati, u koje tačke staviti uredjaje za kontrolu uključenja prekidača, da li je potrebno postaviti preklopku za izuzemanje nekih polja ili nekih delova postrojenja iz režima daljinskog upravljanja i kako to realizovati, i druga pitanja, na bazi pouzdanosti i učestanosti potrebe za ovim funkcijama, rizika od pogrešnih informacija, potrebnim rekonstrukcijama i drugim tehnoekonomskim argumentima.

A B S T R A C T

The paper deals with activities and technical questions about project tasks for adaptation tronsformer's substation 400(220)/110 kV for remote control in electric power system of Serbia.

The paper gives the arswers of the following guestions: which isolator must be remote control, in which points put synchro-check, is it necessary to put control swicher for except some zone or some parts transformer's substation from remote control, and how to realise that, and another questions, on the base of reliability and frequency of needs for these functions, risks of wrong informations, necessary reconstructions and another techno-economical arguments.

U V O D

U elektroprivredi Srbije pristupilo se pripremi postojećih trafostanica 400/220 kV, 400/110kV i 220/110kV za daljinsko upravljanje. Neke od ovih trafostanica stare su čak i trideset godina dok su najmladje u pogonu oko pet godina i gradjene su po tehničkim propisima i preporukama koje su tada važile. Zbog ograničenja vezanih za uvoz ugradjena je uglavnom domaća oprema sa svim nedostacima koji su se u eksploataciji pokazali. U okviru pripreme postrojenja za daljinsko upravljanje cilj je da se izvrši delimična rekonstrukcija opreme i uredjaja radi povećanja pouzdanosti pogona.

Pri odredjivanju koncepcije pripreme postrojenja za daljinsko upravljanje korišćena su eksploataciona iskustva u ponašanju opreme i uredjaja, iskustva stečena na pripremi trafostanica 110/X kV i sledeće podloge:

- Tehničke preporuke za prilagodjavanje elektroenergetskih objekata tehničkom sistemu upravljanja, JUGEL, GSE 63/86,

- Idejni projekt TSU-zahvat informacija iz postrojenja za potrebe DC ZEP,

- Tehničko uputstvo za projektovanje i izvodjenje sistema za signalizaciju - - TU-ZA-01 i TU-ZA-06 ELEKTROISTOK-a,

- Idejni projekat za pripremu TS 110/35 kV za daljinsko upravljanje,

- Analiza tipskih rešenja budućih TS 400/110 kV i

- Tehničke preporuke ZEP-a i Tehnička uputstva ELEKTROISTOK-a.

Primena rešenja iz novih tehničkih uputstava i preporuka obavezna je za nova postrojenja a za stara važi samo u slučaju većih rekonstrukcija dela postrojenja ili celog naponskog nivoa. U ovom smislu primenjena su i gore navedena dokumenta.

Kod izrade projektnih zadataka za konkretna postrojenja javile su se mnoge dileme od kojih neke analiziramo u ovom referatu.

Komandovanje rastavljačima

U principu potreba za komandovanjem rastavljačima je veoma retka i za transformatorska i za dalekovodna polja i javlja se kod trajnih kvarova na vazdušnim vodovima, kod delovanja neke od osnovnih zaštita transformatora i kod kvarova na sabirnicama. Kod prolaznih kvarova na vodovima kao i kod ispada transformatora od rezervnih zaštita nema potrebe da se komanduje rastavljačima. Kod trajnih kvarova na dalekovodu svakako mora rukovalac da uključi noževe

za uzemljenje zbog obezbedjenja radova na uklanjanju kvara i pri tom će komandovati rastavljačima.

Kod unutrašnjih kvarova na transformatorima obavezno je prisustvo čoveka ili ekipe za utvrdjivanje vrste i prirode kvara. Pri kvarovima na sabirnicama opet je obavezno prisustvo čoveka zbog utvrdjivanja da li je kvar na zajedničkim delovima oba sistema sabirnica.

Kod planiranih radova radi obezbedjenja radnog mesta svakako je potrebno prisustvo rukovaoca.

Promena konfiguracije mreže je smislen čin koji se sprovodi posle detaljne analize i u principu zahteva više manipulacija pa je za korektno njeno sprovodjenje neophodan rukovalac u postrojenju.

Imajući u vidu da i kod najsigurnijih rastavljača postoji mogućnost da noževi dobro ne zatvore /otvore, tj. da se uklopno stanje lažno prenese u dispečerski centar, daljinsko komanovanje bi moglo da izazove teške posledice.

Zbog svega ovoga a i zbog uštede i uprošćavanja sistema daljinskog komanddovanja odlučeno je:

- da se rastavljačima 110 kV ne komanduje bez obžira da li imaju ili nemaju ugradjene motorne pogone, izuzev ako dispečerska služba u specijalnim slučajevima to zahteva,

- da se rastavljačima 400 kV i 220 kV daljinski komanduje izuzev u nekoliko novijih postrojenja gde je već završena priprema za daljinsko upravljanje ili je uradjena projektna dokumentacija a daljinsko komandovanje ovim rastavljačima nije predvidjeno.

Odluku da se daljinski komanduje rastvljačima 400 kV i 220 kV doneli smo najviše zbog toga što to zahteva Tehnička preporuka za prilagodjavanje elektroenergetskih objekata tehničkom sistemu upravljanja, JUGEL, GSE 63/86, a ne zbog stvarne potrebe kao što je to napred objašnjeno.

Ugradnja preklopki lokalno/daljinski

Za sve trafostanice predvidjena je ugradnja preklopki lokalno/daljinsko komandovanje po naponskim nivoima. Za većinu trafostanica, za koje nisu završeni projekti pripreme za daljinsko upravljanje, pored ovih preklopki predvidjene su i preklopke po poljima za izuzimanje iz režima daljinskog upravljanja. Ovakvo rešenje je usvojeno stoga što želimo da postrojenja praktično stalno budu u režimu daljinskog komandovanja a pri radovima u pojedinim poljima samo bi se ta polja izuzimala iz režima daljinske komande. Prebacivanjem preklopke u po-

lju na lokalno komandovanje softverski se eliminiše slanje daljinske signalizacije iz tog polja što je neophodno jer se time izbegava slanje mnoštva signala u dispečerski centar (iz više polja što se remontuju jednovremeno u sistemu koji nadgleda taj centar) nepotrebnih za vodjenje sistema.

Preklopke po naponskim nivoima su predvidjene za slučaj otkaza sistema daljinskog upravljanja (kvar krajnje stanice, prenosnog puta ili računara u centru daljinskog vodjenja). Položaj ovih preklopki po naponskim nivoima ne eleminiše daljinsku signalizaciju i lokalnu hronološku registraciju dogadjaja. Medjutim, u režimu daljinskog upravljanja nije u funkciji lokalna svetlosna i zvučna signalizacija ali je predvidjena posebna preklopka kojom se omogućuje svetlosna i zvučna signalizacija u lokalu.

Kontrola uključenja prekidača

Tehničkom preporukom Jugel-a GSE 63/86 nije obradjena kontrola sinhronizma pri uključenju prekidača. Postoje tačke u mreži gde se uključivanjem prekidača sastavljaju delovi sistema (generatorske jedinice), podsistemi, medjurepublički ili medjudržavni sistemi u kojima je neophodna kontrola sinhronizma. Sada postoje uredjaji za ručnu kontrolu sinhronizma čija se funkcija ne može iskoristiti pri daljinskoj komandi. Zbog toga je razvijen uredjaj za kontrolu sinhronizma - KUP (Sinchro Check). Ovi uredjaji su predvidjeni samo u gore definisanim tačkama mreže.Postojeći uredjaji za ručnu kontrolu sinhronizma ostaju u funkciji i u slučaju kvara KUP-a moćiće da se koriste. U dalekovodnim poljima gde je predvidjena ugradnja KUP biće demontirani postojeći uredjaji za kontrolu napona i/ili sinhronizaciju uz uredjaj za APU. U slučaju kvara KUP i njegovog premošćenja moraće se ukinuti trofazno ponovno uključenje. Uredjaj raspolaže signalima "kvar" i "kontrola uključenja prekidača" koji se prenose u centar.

Kontrola isključnih krugova

Kontrola isključnih krugova je veoma bitna za pouzdanost rada postrojenja i to za najkritičnija stanja, tj. pri kvaru. Ova kontrola je stalna i omogućava dojavu greške u trenutku njenog nastanka za razliku od najvećeg broja zaštitnih i automatskih uredjaja čija se greška manifestuje tek onda kada ne proradi pri kvaru koga treba da isključi. Zbog toga je odlučeno da se kontrola isključnih krugova ugradi u svim poljima za oba isključna kruga.

U postrojenjima gde je već završena priprema za daljinsko upravljanje ili je završeno samo kompletno projektovanje pripreme za daljinsko komandovanje u sadašnjoj fazi ne predvidja se ugradnja uredjaja za kontrolu isključnih krugova.

Primena uredjaja za kontrolu isključnih krugova uz distantne zaštite L8 i uredjaja za ponovno uključenje CW6 je složena. Razradjena je posebna šema koja omogućuje ispravnu kontrolu isključnih krugova i sa uredjajima L8+CW6.

Merenje

U odnosu na Tehničku preporuku Jugel-a za prilagodjenje elektroenergetskih objekata tehničkom sistemu upravljanja GSE 63/86 po pitanju obračunskog merenja aktivne i reaktivne energije i merenja frekvencije odučeno je:

- da se u DC EPS prenose sva obračunska merenja aktivne i reaktivne energije bez obzira na naponski nivo iz svih objekata elektroprivrede Srbije,

- da se meri i prenosi u DC EPS frekvencija na svim vodovima 400 i 220 kV preko kojih se obavlja razmena sa inostranstvom, u HE DJERDAP 1, HE+RHE BAJINA BAŠTA, HE BISTRICA, TENT A, TENT B, TE DRMNO, TS NIŠ 2, TE KOSOVO A i TE KOSOVO B, tj. na mestima gde se mogu obrazovati podsistemi elektroenergetskog sistema Srbije u slučajevima većih poremećaja.

Projektovanje

Kod pripreme za daljinsko upravljanje TS 110/X kV stečena su dragocena iskustva koja se koriste za pripremu TS 400/X kV i 220/110 kV naročito pri projektovanju, montaži i ispitivanju.

U početku pri projektovanju TS 110/X kV za daljinsko komandovanje išlo se na uklapanje u postojeće stanje korišćenjem postojećih razvijenih i montažnih šema. To se pokazalo neracionalnim iz više razloga:

- velike su izmene u šemama u odnosu na postojeće stanje ne samo one koje su uzrokovane uvodjenjem daljinske komande nego i zbog znatnih zahvata u signalizaciji, sopstvenoj potrošnji, zaštiti, merenju itd.

- mnoga postrojenja su veoma stara pa su i njihove šeme bile u pojedinim delovima netačne što je nametalo potrebu snimanja postojećih stanja. Ovo se pokazalo kao izuzetno zametan, mukotrpan i skup posao, posebno kada se ima u vidu da se snimanje postojećih stanja može izvesti približno korektno samo uz isključenje delova postrojenja iz pogona.

- montaža prema ovako napravljenim šemama je komplikovana, dugo traje i uzrokuje nedopustivo veliki broj grešaka.

- ispitivanje je bilo veoma teško i dugotrajno jer su se tek tada uočavale mnoge greške nastale pri projektovanju i montaži što je uzrokovalo velike izmene u šemama i ožičenju na samom objektu a to se bez stalnog prisustva projektanta ne može korektno sprovesti.

- zbog montaže i ispitivanja bila su potrebna dugotrajna isključenja delova postrojenja iz pogona što je ponekad bio velik problem iz energetskih razloga.

Poučeni ovim iskustvom kroz pripremu za daljinsko komandovanje prvih nekoliko TS 110/35 kV kasnije smo odlučili da se razvijene i montažne šeme prave kao za nova postrojenja ne uvažavajući postojeće šeme i ožičenja. Sa postojećom primarnom i sekundarnom opremom (eventualno zamenjenom zbog dotrajalosti ili nekih drugih razloga) i novom opremom potrebnom za daljinsko upravljanje projektant je pravio sasvim nove razvijene i montažne šeme kao da se radi o novom postrojenju. Pri montaži skidaju se sve postojeće sekundarne veze, naravno sukcesivno jedno po jedno polje, koriste se kablovi izmedju aparata, komandnih ormara i komandne zgrade osim u slučaju da se moraju menjati zbog zastarelosti, i vrši povezivanje po novim šemama. Ovakav način rada usvojen je i kod pripreme za daljinsko komandovanje postrojenjima 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV jer su projektovanje razvijenih i montažnih šema, montaža i ispitivanje znatno jednostavniji , kvalitetniji, kraće traju pa stoga i jeftiniji.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

VESNA NOVAKOVIĆ, dipl.ing.
LJUBICA DENIĆ, dipl.ing.
MILUTIN PETKOVIĆ, dipl.ing.
- EPS - Elektroistok -

Referat broj 2.02

ISPITIVANJE SISTEMA DALJINSKOG VODJENJA ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA PRI PUŠTANJU U RAD

SADRŽAJ:

U radu će biti dat prikaz provere teleinformacionog sistema pri uvodjenju elektroenergetskih objekata u sistem daljinskog vodjenja. Opisuje se postupak ispitivanja prenosnih puteva (VF veza, kablovskih veza) i parcijalna i završna ispitivanja opreme u centru i na objektima.

ABSTRACT:

In this paper the way of checking telecontrol system before implementation of substations into remote control system will be given. It will be described functional checking of communication links and partial and final checking of eguipment in telecontrol centers and substations.

1. UVOD

Teleinformacioni sistem (TIS) za daljinsko vodjenje elektroenergetskih objekata "Elektroistok"-a obuhvata četiri mrežna regionalna centra i četiri matične stanice iz kojih će se upravljati sa 137 transformatorskih stanica. Do sada su puštena u rad tri mrežna regionalna centra i tri matične stanice i oko 50% daljinskih stanica. Pri uvodjenju svake nove transformatorske stanice u sistem daljinskog vodjenja obavlja se funkcionalno ispitivanje sistema posle pregleda ugradjene opreme i izvršenih radova.

Funkcionalno ispitivanje obuhvata parcijalna ispitivanja po završtku pojedinih faza obavljenih radova na prilagodjenju postrojenja i povezivanju teleinformacione opreme i završna ispitivanja pri puštanju objekta u rad u režimu daljinskog vodjenja.

Parcijalna ispitivanja odnose se na veze primarne i sekundarne opreme u postrojenju sa relejnim ormanima, veze relejnih ormana sa krajnjom stanicom TIS-a, veze i funkcije hardvera u centru, zatim podešenost telekomunikacionog podsistema za propisan kvalitet prenosa informacija, funkcije povezane krajnje stanice ispitivanjem u lokalu i zajedno sa prenosnim putem (zaključno sa modemom u centru). Završno ispitivanje obuhvata ispitivanje funkcija integrisanog sistema - obradu pojedinačnih informacija na relaciji centar - relejni orman - primarna oprema.

Funkcionalno ispitivanje je već uhodan posao i obavlja se veoma efikasno. Parcijalna ispitivanja veza opreme obavljaju se istovremeno sa montažnim radovima, a funkcionalna ispitivanja telekomunikacionog podsistema obavljaju se nezavisno, tako da pri puštanju nove stanice završno ispitivanje traje u proseku dva dana. Puštanje novog centra u rad predstavlja složeniji posao i često je vezano za puštanje većeg broja daljinski upravljanih stanica, pa i angažovanje ekipe za puštanje na terenu traje duže - prosečno 2-3 dana za centar i 1-2 dana po stanici. Pri tom treba imati u vidu da radni dan na terenu obično traje 12 do 13 časova.

2. PARCIJALNA ISPITIVANJA

Parcijalna ispitivanja koja "Elektroistok" obavlja na svojim objektima zasnivaju se na pretpostavci da je oprema koja se ugradjuje fabrički ispitana kod proizvodjača i provera ugradjenih uredjaja se obavlja jedino u slučaju potrebe.

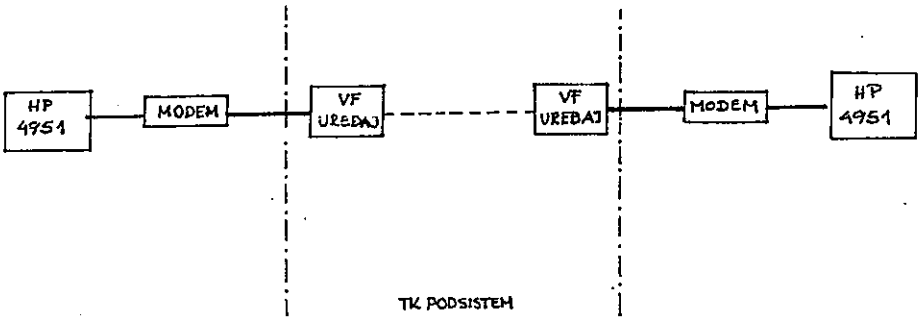
2.1.- Ispitivanje telekomunikacionog podsistema

Ispitivanje telekomunikacionog podsistema obuhvata proveru i umeravanje prenosnih puteva po kojima se vrši prenos podataka. Najzastupljeniji prenosni putevi u Elektroistoku su VF veze po vodovima visokog napona i kablovske veze (zakupljene PTT parice ili sopstveni kablovi). Potrebno vreme za pripremu i umeravanje telekomunikacionog podsistema, ukoliko nema kvarova na uredjajima, je 2 - 3 dana.

Prilikom provere i umeravanja VF veze vrši se ispitivanje kontinualnog i diskretnog kanala veze. Umeravanje kontinualnog kanala vrši se generatorom i meračem nivoa i tada se proveravaju i umeravaju na vrednosti propisane Tehničkim uslovima za VF veze sledeće veličine:

- VF izlazni nivoi signala
- Preslušani signali iz predajnika u sopstveni prijemnik na VF strani
- Brum na jedinici za napajanje 24 V i 30 V (38 V)
- Prijemni VF signali
- Slabljenje VF linije
- Moduo impedanse VF linije
- Varijacija ekvivalenta veze: - za govorni kanal
  - za TM kanal
- Izlazni NF nivoi
- Odnos signal/šum u TM podkanalu
- Odnos signal/šum celog kanala

Radi odredjivanja kvaliteta kanala za prenos podataka meri se broj pogrešno prenetih impulsa. Ovo merenje se obavlja tako što se merni instrument Protocol Analyzer 4951 poveže u centru umesto računara na modem, a na drugoj strani se na VF uredjaj veže modem i merni instrument (sl.1.1).Iz instrumenta se šalje povorka 511 bita i na drugoj strani meri broj



SL.1.1.

pogrešno primljenih bita. Kanal za prenos podatka smatra se kvalitetnim ako prilikom merenja na 100 000 prenetih impulsa nema više od 5 pogrešno prenetih, tj. ako je verovatnoća pogrešno prenetih impulsa jednaka ili bolja od 5*10**(-5)

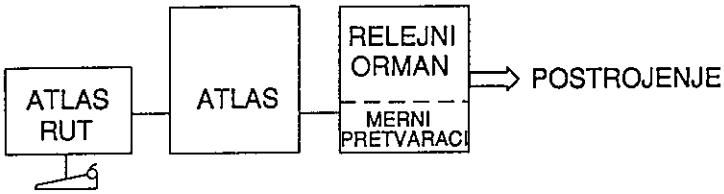
Merna lista koju je prilikom prijema i umeravanja VF veze potrebno poduniti i predati isporučiocu sistema (Institut "M. Pupin") data je u prilogu 1.

Prilikom ispitivanja kablovskih veza vrše se sledeća merenja:

- Preslušavanje između parica
- Merenje impedanse kabla
- Merenje otpora izolacije
- Merenje broja pogrešno prenetih bita.

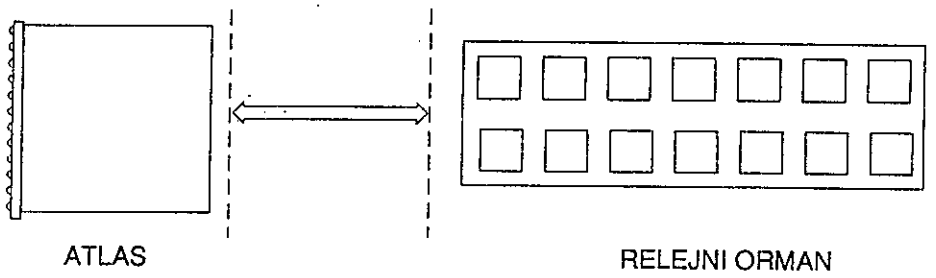
2.2. Veze postrojenje - krajnja stanica i funkcije krajnje stanice

Prilagodjenje postrojenja za daljinsko vodjenje obavlja "Elektroistok"-ov Pogon "Izgradnja". Po završenom povezivanju primarne opreme, preko sekundarne do relejnih ormana dobija se zapisnik od izvodjača o izvedenom stanju. Na taj način izvodjač radova garantuje ispravnost ovih veza. Na osnovu tog izvedenog stanja pravi se projekat povezivanja relejnih ormana sa krajnjom stanicom. Isti izvodjač obavlja i ovo povezivanje i daje zapisnik o izvedenom vezivanju prema projektu. Po dobijanju ovih zapisnika isporučilac krajnje stanice obavlja ostale poslove instalacije i puštanja u rad krajnje stanice na lokaciji upravljanog objekta. Po završenoj montaži, za krajnju stanicu ("ATLAS", proizvodjač Institut "M.Pupin") se povezuje uredjaj "ATLAS-RUT" (sl. 2.1a) koji simulira centar upravljanja. Pomoću njega se



SL. 2.1a

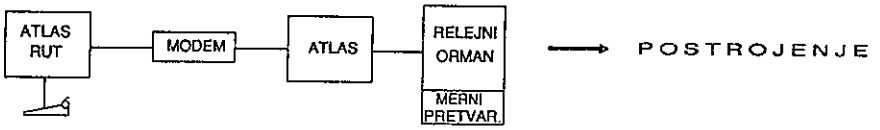
vrši kompletno ispitivanje funkcija krajnje stanice i veza sa relejnim ormanima i mernim pretvaračima. Krajnja stanica je kod proizvodjača ispitana parcijalno (elektronski moduli, delovi ožičenja i sl.) a posle montaže vrši se ispitivanje funkcionisanja uredjaja u celini. Veze modula za prenos signalizacija sa relejnim ormanima ispituju se vrlo brzo i jednostavno pomoću konektora sa LED diodama za testiranje (sl. 2.1b).



SL. 2.1b

Komunikacioni deo uredjaja ATLAS ispituje se prema šemi na sl. 2.1.c. Ova je deo ispitivanja se ponekad izostavlja jer je obuhvaćen sledećim ispitivanjem (odeljak. 2.3), medjutim, ukoliko postoje uslovi, bolje je obaviti ga u ovoj fazi.

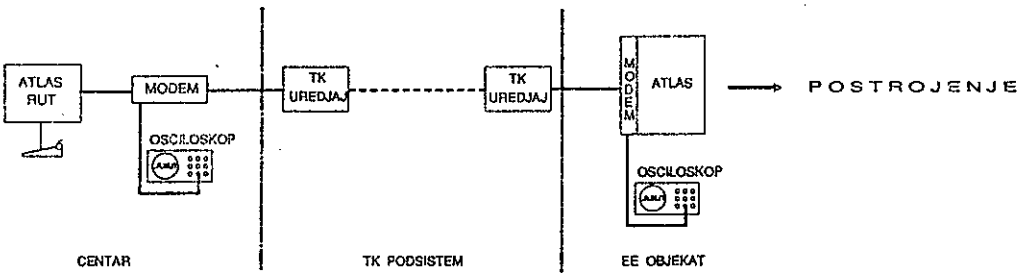
Ekipe za održavanje teleinformacione opreme u Pogonima "Elektroistok"-a sarađuju na ispitivanju nekoliko prvih "ATLAS"-a na svojoj teritoriji, a ostale montiraju i ispituju samostalno.



SL. 2.1.c

2.3. Ispitivanje komunikacije izmedju centra i krajnje stanice i podešavanje modema

Ovo ispitivanje se obavlja tako što se uredjaj "ATLAS-RUT" poveže umesto računara u centru (sl. 2.3.) Prema tome, ono treba u odnosu na prethodna da obuhvati i modem u centru



SL. 2.3

daljinskog vodjenja i funkciju komunikacije "ATLAS"-a sa centrom uključujući i telekomunikacioni podsistem. Prilikom ovog ispitivanja vrše se i potrebna podešavanja modema u centru i u ATLAS-u prema postojećim tehničkim uslovima (podešavanje nivoa, simetriranje impulsa).

2.4. Ispitivanje hardvera u centru daljinskog vodjenja

Montažu i puštanje u rad hardvera računarskog sistema u centru daljinskog vodjenja obavlja isporučilac sistema. "Elektroistok" prima opremu pri čemu se proveravaju osnovne funkcije računarskog sistema - komunikacija sa periferijama, preuzimanje vodjenja sistema od strane rezervnog računara pri ispadu glavnog, rad periferijskih uredjaja i sl. Računari se zatim ostavljaju u radu nekoliko dana sa test programima.

3. ZAVRŠNA ISPITIVANJA

Po završetku parcijalnih ispitivanja i otklanjanju eventualnih nedostataka pristupa se puštanju u rad sistema daljinskog vodjenja koje je praćeno završnim ispitivanjima. U centar se donose diskovi sa generisanim softverom (svi programi i baze podataka za deo sistema koji se pušta). Završna ispitivanja su delimično redundantna parcijalnim jer obuhvataju integrisani sistem od računara u centru do primarne opreme u elektroenergetskom postrojenju. Ona pre svega predstavljaju ispitivanje funkcija generisanog softvera i tačnosti baza podataka o signalima koji se prenose i obradjuju ovim sistemom. Dešava se, medjutim, da ova ispitivanja otkriju i neke propuste koje je trebalo da otkriju ranija parcijalna ispitivanja.

Završna ispitivanja obavljaju dve ekipe. Ekipa na objektu upravljanja sastoji se od dva energetičara. Jedan od njih radi na opremi (generisanje signala na objektu radi provere njihove obrade u centru i praćenje funkcija koje se iz centra prosledjuju do objekta). Drugi član ekipe je prisutan radi operativnosti - on održava, telefonsku vezu sa centrom i vodi evidenciju o ispitanim funkcijama.

U centru ekipa se sastoji od jednog inženjera koji se bavi softverom ovog sistema, inženjera koji je u pogonu zadužen za softver i jednog inženjera energetičara iz eksploatacije koji prima sistem.

U toku ispitivanja koristi se i programerski terminal koji nije sastavni deo opreme za upravljanje. Pomoću njega se vrši nadzor rada programa u realnom vremenu i obavljaju ispravke nedostataka softvera uočenih tokom ispitivanja.

Završna ispitivanja počinju proverom komunikacije centra daljinskih stanica. Ovim se obuhvata komutator prenosnih puteva i računara (uredjaja koji komutira veze izmedju radnog i

rezervnog računara i radnog i rezervnog prenosnog puta) i komunikacioni softver. Proverava se obrada internih informacija o radu komunikacije sa krajnjim stanicama i stanju računarske opreme (indikacija rada aktivnog i rezervnog računara, ispada iz rada štampača, komande isključenja krajnjih stanica iz komunikacije). Zatim sledi ispitivanje prenosa i obrade informacija sa pojedinih krajnjih stanica. Tokom ispitivanja obrade informacija sa prve krajnje stanice obavlja se provera svih funkcija računarske opreme u centru i otklanjaju eventualni nedostaci. Ispitivanja sledećih krajnjih stanica traju kraće jer se svode na ispitivanje implementiranja informacija sa objekata.

Za završna ispitivanja koriste se spiskovi signala sa potrebnim podacima za ispitivanje u kojima se beleže rezultati ispitivanja (prilog 2: primer spiska po kome se ispituju indikacije). Ovi spiskovi se prilažu uz izveštaj o izvršenom funkcionalnom ispitivanju i ostaju kao dokumentacija izvedenog stanja u centru.

3.1. Ispitivanje indikacija

Indikacije se ispituju tako što se na relejnom ormanu zatvaraju kontakti releja (prema spisku). U centru se prati njihovo prikazivanje na jednopolnim šemama na ekranima, tekstovi koji se pojavljuju na listi nepotvrdjenih alarma i na štampaču spontanih događaja. Za dvostruke indikacije šalju se kombinacije signala za stanje "uključeno", "isključeno", a takodje, i nesaglasno stanje koje mora u centru na poseban način da se prikaže. Takodje se proverava i prikaz trenutnog realnog stanja u postrojenju. Signal koji je ispravno prenesen i obradjen na opisani način obeležava se "+" u spisku.

3.2. Ispitivanje alarma

Alarmi se ispituju prema spisku implementiranih alarma zatvaranjem kontakata odgovarajućih releja. Prati se registrovanje nastanka alarma na listi nepotvrdjenih alarma i na štampaču spontanih događaja. Prestanak alarma se prati na listi potvrdjenih alarma i na štampaču.

3.3. Ispitivanje komandi

Komande se ispituju po spisku implementiranih komandi dok je komandni napon u postrojenju isključen. Prosledjivanje komandi prati se na releju koji treba da primi komandu od krajnje stanice. Neke komande se proveravaju sve do aparata ukoliko to pogonski uslovi dozvoljavaju. Teži se uvek ispitivanju što većeg broja komandi na ovaj način i one se posebno obeležavaju. Komande koje nisu na ovakav način ispitane biće sa posebnom pažnjom izvršavane prvi put kada se ukaže potreba. Prethodna parcijalna ispitivanja minimiziraju mogućnost pogrešnog prosledjivanja komande do primarne opreme.

3.4. Ispitivanje analognih merenja

Analogna merenja se ispituju po spisku implementiranih merenja tako što se na ulaz mernog pretvarača dovodi signal iz strujnog, odnosno naponskog generatora u vrednosti 0, polovina max. opsega i maksimalni opseg merene veličine koji treba da da reduktor. Prikaz (obrada) ovih merenja se kontroliše u centru. Takodje se vrši upoređenje sa trenutnom vrednošću izmerenom lokalnim instrumentima (ukoliko su dovoljno tačni).

3.5. Ispitivanje impulsnih merenja (merenja energije)

Merenja energije ispituju se davanjem odredjenog broja impulsa na ulaz ATLAS-a za impulsna merenja i aktiviranjem obrade tih merenja u centru (automatska obrada se inače obavlja u 15-minutnim intervalima). Prema poznatoj konstanti brojila u postrojenju proveravaju se vrednost prikazanih merenja u tabelama na ekranu.

Pošto su ispitane sve informacije sa prve krajnje stanice, ispituju se i funkcije softvera kao što su štampanje izveštaja, štampanje kopija ekranskih prikaza i sl. koje nisu obuhvaćene tokom ispitivanja informacija sa krajnje stanice.

3.6. Otklanjanje nedostataka

Prilikom završenih ispitivanja dolazi do otkrivanja nedostataka u sistemu koji se ne odnosi uvek na deo sistema koji se prvi put ispituje. Najčešći nedostaci koji se otkrivaju u ovoj fazi su:

- nedostaci hardvera u centru (otkazi nekih delova opreme u početnom periodu, najčešće u toku ispitivanja, greške u povezivanju nekih periferija).
- problemi u kontaktima i u ATLAS-ima i na opremi u centru
- pogrešni parametri u bazama podataka
- greške u vezivanju prilikom prilagodjenja i povezivanja ATLAS-a (najčešće ukrštanje žica dvostrukih indikacija ili polova mernih signala ili čak pomerene veze za jedno mesto na celoj regleti),
- izostavljanje nekog signala pri prilagodjenju postrojenja.

Nedostaci u vezivanju opreme i kontaktima se po pravilu otklanjaju u toku ispitivanja, po mogućnosti paralelno sa narednim ispitivanjima. Ukoliko nedostaci ne mogu biti otklonjeni do završetka ispitivanja (kvar delova hardvera ili neki obimniji radovi u postrojenju koji zahtevaju angažovanje drugih ekipa) nedostaci ulaze u zapisnik o izvršenom funkcionalnom ispitivanju. Ukoliko nedostaci ne utiču bitno na funkcije sistema, sistem se ostavlja u probnom radu. U zapisniku se daju rok i izvršioci otklanjanja svih nedostataka. Preporučuje se zadržavanje posade na objektima koji su pušteni u režim daljinskog upravljanja još najmanje sedam dana.

Otkrivanje nedostataka koji se ne mogu otkloniti u toku ispitivanja, a bitno utiču na rad sistema daljinskog upravljanja, odlaže puštanje u rad centra ili daljinskog vodjenja pojedinih objekata. Pri tom dalje funkcionalno ispitivanje može biti prekinuto do otklanjanja nedostatka ili nastavljeno, ukoliko je moguće.

4. ZAKLJUČAK

Funkcionalno ispitivanje pri puštanju u rad sistema daljinskog vodjenja objekata "Elektroistok"-a obavlja se u više faza. Parcijalna ispitivanja garantuju u velikoj meri funkcionalnu ispravnost pojedinih delova sistema i omogućuju da se na najbrži način uoče i otklone nedostaci u sistemu. Završno ispitivanje omogućuje takodje brzo otkrivanje nedostataka onih delova sistema koji nisu bili prethodno ispitani. Ovo skraćuje trajanje završnih ispitivanja što predstavlja veoma značajan pogonski zahtev. Takodje, obuhvatanjem celine sistema ovo ispitivanje otkriva i neke propuste iz prethodnih ispitivanja. Ovo sve omogućuje visok stepen pouzdanosti u pogledu izvedenog stanja sistema daljinskog vodjenja.

M E R N A L I S T A
O MERENJU VF VEZE NA RELACIJI

_____, KANALA _____

OBJEKAT: _____ TIP UREDJAJA: _____

1. VF IZLAZNI NIVOI :

	na 75 Oma	na koak. kablu
PILOT (dB)	10	
GOVOR (dB)	20	
POZIV (dB)	10	
TM (dB)	10	

2. PRESLUSANI SIGNALI IZ PREDAJNIKA U SOPSTVENI PRIJEMNIK

PILOT (dB)	
GOVOR (dB)	
POZIV (dB)	
TM (dB)	

3. MERENJE BRUMA NA JEDINICI ZA NAPAJANJE: 24 V (< 2mV)

30 V (38V) (< 300mV)

4. MERENJE PRIJEMNIH VF SIGNALA

PILOT (dB)	
GOVOR (dB)	
POZIV (dB)	
TM (dB)	

5. MERENJE POGONSKOG SLABLJENJA VF LINIJE

f (kHz)	
a (dB)	

6. MERENJE MODULA IMPEDANSE VF LINIJE

f (kHz)	
Z (Oma)	

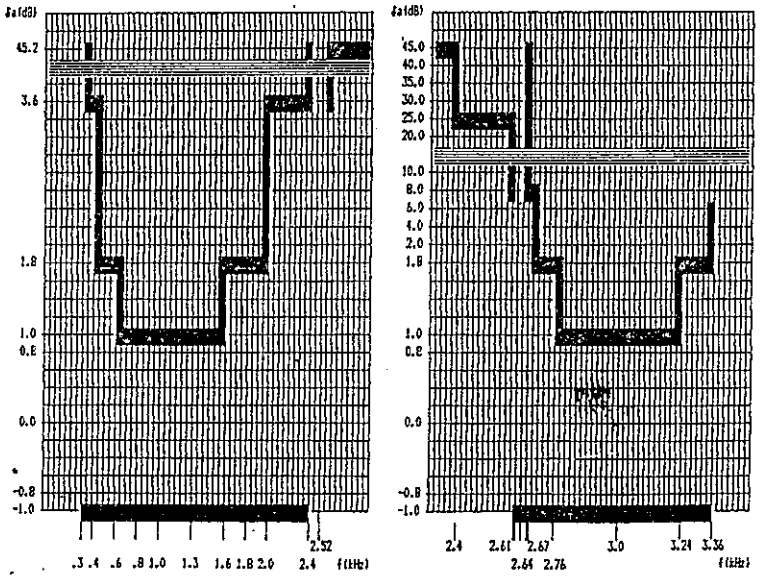
7. MERENJE VARIJACIJE EKVIVALENTA VEZE

ZA GOVOR

f (kHz)	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,3	1,6	2	2,2	2,4
a (dB)										

ZA TM KANAL

f (kHz)	2,64	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,36
a (dB)									



9. IZLAZNI NF NIVOI

GOVOR 2 Z (dB)	(-7)
GOVOR 4 Z (dB)	(-3,5)
TM (dB)	(-14)

8. MERENJE ODNOSA SIGNAL/SUM : - U TM PODKANALU
- VF LINIJE

MERENJA IZVRSILI: _____

_____

_____

DATUM:

UČESTANOST GREŠKE

Broj merenja	Datum merenja	Čas i minut početka	Brzina prenosa (bit/s)	Kanal (T_n, T_g, T_{s1} ili T_{s2})	Povorka	Broj prenetih impulsa	Broj pogrešnih impulsa	Učestanost pogrešnih impulsa	Zantev	Dužina bloka	Broj prenetih blokova	Broj pogrešnih blokova	Učestanost pogrešnih blokova
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				
									$<5\cdot10^{-5}$				

PRILOG 2

FUNKCIONALNO ISPITIVANJE - INDIKACIJE

22.03.1990.

1

EE postrojenje : TS 110/35 KV VELIKI KRIVELJ

broj sig.	nap. nivo	po-lje	naziv signala	MIN	OKS relej	ATLAS ulaz	I	II	III
I0001	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 PREKIDAC SNAGE UKLJUCEN	1	05d01	1PL1/I-002	+		
I0002	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 PREKIDAC SNAGE ISKLJUCEN	1	05d02	1PL1/II-002	+		
I0003	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 SABIRNICKI RASTAVLJAC UKLJUCEN	1	05d03	1PL1/I-003	+		
I0004	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 SABIRNICKI RASTAVLJAC ISKLJUCEN	1	05d04	1PL1/II-003	+		
I0005	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 IZLAZNI RASTAVLJAC UKLJUCEN	1	05d05	1PL1/I-004	+		
I0006	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 IZLAZNI RASTAVLJAC ISKLJUCEN	1	05d06	1PL1/II-004	+		
I0007	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 NOZEVI ZA UZEMLJENJE UKLJUCENI	1	05d07	1PL1/I-005	+		
I0008	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 NOZEVI ZA UZEMLJENJE ISKLJUCENI	1	05d08	1PL1/II-005	+		
I0009	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 DALEKOVOD POD NAPONOM	1	05d09	1PL1/I-007	+		
I0010	110	05	TS V. KRIVELJ DV 1150 BOR 2 DALEKOVOD BEZ NAPONA	1	05d10	1PL1/II-007	+		
I0011	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 PREKIDAC SNAGE UKLJUCEN	1	05d13	1PL1/I-008	+		
I0012	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 PREKIDAC SNAGE ISKLJUCEN	1	05d14	1PL1/II-008	+		
I0013	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 SABIRNICKI RASTAVLJAC UKLJUCEN	1	05d15	1PL1/I-009	+		
I0014	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 SABIRNICKI RASTAVLJAC ISKLJUCEN	1	05d16	1PL1/II-009	+		
I0015	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 IZLAZNI RASTAVLJAC UKLJUCEN	1	05d17	1PL1/I-010	+		
I0016	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 IZLAZNI RASTAVLJAC ISKLJUCEN	1	05d18	1PL1/II-010	+		
I0017	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 NOZEVI ZA UZEMLJENJE UKLJUCENI	1	05d19	1PL1/I-012	+		
I0018	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 NOZEVI ZA UZEMLJENJE ISKLJUCENI	1	05d20	1PL1/II-012	+		
I0019	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 DALEKOVOD POD NAPONOM	1	05d21	1PL1/I-013	+		
I0020	110	06	TS V. KRIVELJ DV 1166 DJERDAP 2 DALEKOVOD BEZ NAPONA	1	05d22	1PL1/II-013	+		
I0021	110	00	TS V. KRIVELJ SABIRNICE 110 KV PODUZNI RASTAVLJAC UKLJUCEN	1	07d01	1PL1/I-014	+		
I0022	110	00	TS V. KRIVELJ SABIRNICE 110 KV PODUZNI RASTAVLJAC ISKLJUCEN	1	07d02	1PL1/II-014	+		
I0023	110	00	TS V. KRIVELJ SABIRNICE 110 KV SEKCIJA I POD NAPONOM	1	07d03	1PL1/I-015	+		
I0024	110	00	TS V. KRIVELJ SABIRNICE 110 KV SEKCIJA I BEZ NAPONA	1	07d04	1PL1/II-015	+		

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Nijaz Mislimovski,dipl.ing.
Savo Vučković,ing.
Poduzeće RADE KONČAR - INŽENJERING d.d.o., ZAGREB

Referat broj 2.03

OPTIMIZACIJA VRŠNE POTROŠNJE

SADRŽAJ

Funkcija optimizacije vršne potrošnje ima za cilj ograničenje vršne potrošnje energije velikih potrošača. U cilju rješavanja problema, razvijen je poseban programski paket, a iskorišteni su i ostali resursi SCADA sistema.

Na osnovu zadanog algoritma program uzima vrijednosti mjerenja iz baze podataka te izračunava ukupnu i prosječnu potrošnju u prethodnom vremenskom periodu, izračunava trend potrošnje, prognozira potrošnju na kraju perioda, uspoređuje je s ostvarenom vršnom potrošnjom, izračunava snagu redukcije i upravlja potrošnjom.

Peak load optimizing function intends to limit the energy consumption of big consumers. For this purpose, Rade Končar has developed special software which is addition to existing SCADA system and which uses already available resources of SCADA system.

Program for peak load monitoring samples the data from database and calculates total and average consumption in previous time interval, calculates the cunsumption trend, forecasts the consumption at the end of the period, compares it with the realised consumption, calculates load reduction and controls the load.

1. UVOD

Analiza stanja eksploatacije industrijskih energetskih postrojenja pokazuje da je kroz kvalitetnije vođenje i planiranje procesa proizvodnje, distribucije i potrošnje energije moguće znatno smanjenje troškova za

proizvodnju, potrošnju odnosno preuzimanje energije. Također, analiza pokazuje da operativno osoblje ima vrlo ograničene mogućnosti za efikasno vođenje i promišljeno planiranje rada postrojenja.

U namjeri prevladavanja navedenih ograničenja, pristupilo se gradnji sistema vođenja i optimizacije tehnološkog procesa proizvodnje i distribucije električne energije Zavoda Crvena Zastava - Kragujevac sa slijedećim osnovnim ciljevima:

- zadovoljenje potreba potrošača za električnom energijom,
- podizanje nivoa sigurnosti pogona,
- bolje planiranje pogona,
- smanjenje troškova.

SCADA sistem u osnovi ima za cilj rješavanje prva tri navedena problema dok je za smanjenje troškova nabavke i distribucije električne energije realizirana funkcija optimizacije vršne potrošnje.

2. POJMOVI

U opisu programa za optimizaciju vršne potrošnje korišteni su slijedeći pojmovi:

- vremenski periodi
- trenutna snaga razmjene
- trenutana prosječna snaga
- trend prosječne snage
- predvidena prosječna snaga na kraju perioda
- zadani maksimum
- ostvareni maksimum
- optimizacijski maksimum
- snaga redukcije
- instalirana snaga potrošača
- grupe potrošača
- broj upotrebe potrošača
- raspoloživost potrošača
- ukupna raspoloživost potrošača
- sinhro impuls
- ključ podatka

2.1 Vremenski periodi

Osnovni vremenski period (t) je interval od 30 sekundi između dva uzastopna očitanja mjerenja snage razmjene (dva na 110kV i dva na 35kV strani) iz baze podataka od strane programa za optimizaciju.

Vrijeme između dva otkucaja maksiprinta pretstavlja vrijeme između dva sinhronizacijska impulsa i iznosi 15 minuta.

Maksimalno vrijeme od isključenja potrošača do njegovog ponovnog uključenja nazivamo vrijeme upotrebe. Minimalno vrijeme od uključenja potrošača do ponovne raspoloživosti za optimizaciju nazivamo vrijeme oporavka.

Obračunski vremenski period je jedan mjesec koji se sastoji od umnoška broja dana u mjesecu s 24 sata i 4 15-minutna intervala u satu.

2.2 Trenutna snaga razmjene (Ptsr)

Trenutna snaga razmjene se izračunava sumiranjem mjerenja snage u točkama razmjene ovisno o predznaku (prima - daje) (vidi sl. 4).

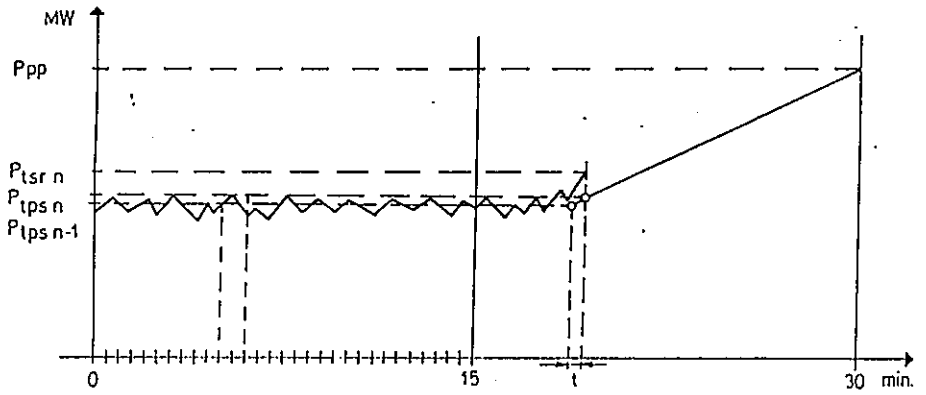
2.3 Trenutna prosječna snaga (Ptps)

Trenutna prosječna snaga je prosjek zadnjih 30 vrijednosti trenutne snage razmjene, odnosno prosječna snaga zadnjih 15 minuta. Ona se izračunava i osvježava svakih 30 sekundi kao i trenutna snaga razmjene:

$$P_{tps} = \frac{\sum_{i=1}^{30} P_{tsr}}{30} \qquad (1)$$

2.4 Trend prosječne snage

Trend prosječne snage predstavlja koeficijent nagiba pravca povučenog kroz točke dviju uzastopnih prosječnih snaga i računa se svakih 30 sekundi.



Sl. 1 Predvidena prosječna snaga

2.5 Predvidena prosječna snaga na kraju perioda (Ppp)

Vrijednost predvidene prosječne snage je točka na pravcu trenda u trenutku isteka tekućeg 15 minutnog vremenskog perioda (slijedeći sinhronizacijski impuls).

$$P_{pp} = (P_{tps_n} - P_{tps_{n-1}})(30 - n) \qquad (2)$$

gdje je "n" broj proteklih osnovnih vremenskih perioda u tekućem 15-min. periodu.

2.6 Zadani maksimum

Zadani maksimum je vrijednost koju unosi operativno osoblje za svaki mjesec unapred na osnovu analize prethodnih vremenskih perioda (prethodni mjesec, prethodna godina) te procjene vršne potrošnje u slijedećem mjesecu (godinu). Program optimizacije uzima ovu vrijednost kao gornju granicu vršne potrošnje koju mora održati (vidi sl. 3).

2.7 Ostvareni maksimum

Ostvareni maksimum predstavlja najveći iznos prosječne 15 min. snage (između dva otkucaja sinhronizacijskog impulsa) zabilježen u datom mjesecu a ostvaren uz pomoć programa za optimizaciju vršne potrošnje.

2.8 Optimizacijski maksimum (Popt)

Optimizacijski maksimum je iznos po kojem program vrši optimizaciju. Na početku mjeseca, kao optimizacijski maksimum se koristi zadani maksimum. Ukoliko program za optimizaciju ne uspije održati zadani maksimum te iznos ostvarenog maksimuma prede iznos zadanog maksimuma, tada ostvareni postaje optimizacijski maksimum za dati mjesec.

2.9 Snaga redukcije (Pr)

Na bazi odnosa predvidene prosječne snage na kraju perioda, optimizacijskog maksimuma i preostalog vremena do kraja 15 minutnog perioda, izračunava se snaga redukcije:

$$Pr = k(Ppp - Popt)\frac{30}{30-n} \qquad (3)$$

Snaga redukcije predstavlja minimalnu snagu potrošača koju je potrebno isključiti da prosječna snaga na kraju perioda ne bi premašila optimizacijski maksimum. Snaga redukcije se uvećava za faktor kašnjenja kod isključenja i faktor realnog tereta koji se utvrđuje iskustveno.

2.10 Instalirana snaga potrošača

Instalirana snage potrošača služi za određivanje skupa potrošača za isključenje. Ona u potpunosti ne odgovara trenutnoj snazi potrošača te predstavlja pretpostavljeni iznos a u računu redukcije se korigira za faktor realnog tereta (pregled potrošača dat je na sl. 5).

2.11 Grupe potrošača

Potrošači su podijeljeni u tri grupe. Kriterij razdiobe po grupama je veličina umnoška instalirane snage i vremena upotrebljivosti u jednom ciklusu isključenja. Prva grupa za isključenje je grupa s najmanjim umnoškom.

2.12 Broj upotrebe potrošača

Pojedine potrošače moguće je upotrebiti više puta u toku dana. Vrijeme između dvije upotrebe je definirano i nazivamo ga vremenom oporavka.

2.13 Raspoloživost potrošača

Raspoloživost potrošača u optimizaciji određuje operativno osoblje dispečerskog centra na osnovu stanja tehnološkog procesa (zabrana tehnologa). Unosi se na ekranskom prikazu potrošača interaktivnim unosom dozvole odnosno zabrane.

2.14 Ukupna raspoloživost potrošača

Ukupna raspoloživost potrošača, poredi navedene raspoloživosti, sastoji se i od stanja potrošača (uključen/isključen), statusa podatka (osvježenost i ispravnost podatka), perioda oporavka i broja upotreba potrošača.

2.15 Sinhro impuls

Sinhro impuls predstavlja vanjski signal koji sinhronizira rad programa za optimizaciju sa otkucajima maksiprinta. Na taj način je osigurana istovremenost u praćenju vršne potrošnje.

2.16 Ključ podatka

Svaki element baze podataka se identificira sa svojim ključem pa to važi i za sve podatke u programu optimizacije.

3. OPIS PROGRAMA

Program za optimizaciju vršne potrošnje je aplikacijski program u programskom sistemu PROZA-II D/R, a sastoji se od interpretera i algoritma za optimizaciju. Interpreter je programski paket pomoću kojeg se realiziraju specifični aplikacijski paketi dodatnih obrada i analitičkih sekvenci. Algoritam za optimizaciju definira način rada programa za optimizaciju vršne potrošnje realiziranog u SCADA sistemu ZCZ - Kragujevac.

3.1 Interpreter

Programski sistem PROZA-II D/R (SCADA) je u osnovi koncipiran da vrši prikupljanje, obradu i prezentaciju procesnih podataka te da operativnom osoblju na osnovu dobivenih informacija omogući donošenje odluka i upravljanje procesom. U toku eksplatacije SCADA sistema uočena je potreba za automatizacijom pojedinih sekvenci obrada i upravljanja. Realizacija takvih zahtjeva nije bila moguća bez izrade posebnog programskog paketa. Ovaj programski paket je pisan u obliku interpretera kako bi se omogućila jednostavna izrada i dogradnja aplikacijskih algoritama bez modifikacije baznog programskog sistema (PROZA-II D/R). Interpreter vrši povezivanje aplikacijskog algoritma sa bazom podataka i postojećim

programima SCADA-e te omogućava obavljanje vremenskih, aritmetičkih i logičkih funkcija potrebnih za rad algoritma.

3.2 Algoritam za optimizaciju

Algoritam za optimizaciju se sastoji od deklarativnog i izvršnog dijela. Deklarativni dio sadrži definicije vremenskih sekvenci, opis grupa potrošača sa svim njihovim podacima (ključ, instalirana snaga, raspoloživost itd.) te svih ostalih potrebnih ključeva za vezu sa postojećom on-line bazom podataka. Izvršni dio algoritma za optimizaciju opisuje svaku pojedinu automatsku sekvencu i to:

- opća inicijalizacija,
- vanjska sinhronizacija,
- lokalna sinhronizacija,
- nadzor prosjeka i trenda,
- praćenje vremena upotrebe,
- praćenje vremena oporavka,
- inicijalizacija na početku novog dana,
- inicijalizacija na početku novog mjeseca.

Sekvenca opće inicijalizacije se pokreće samo u toku starta računarskog sistema, odnosno programskog sistema (programa za optimizaciju) ili preuzimanja pratećeg računala. Tada se vrši inicijalizacija onih podataka koji nastaju tokom normalnog rada programa (trenutna prosječna snaga, predviđena prosječna snaga i sl.).

Vanjska sinhronizacija se pokreće na pojavu sinhro impulsa i tada se inicira novi 15-minutni ciklus: resetira se brojač uzoraka, uspoređuje trenutna prosječna snaga s ostvarenim maksimumom, po potrebi ga osvježava, te odgađa aktiviranje sekvence za lokalnu sinhronizaciju za daljnjih 15-minuta. Lokalna sinhronizacija se aktivira samo u slučaju da izostane sinhro impuls unutar 15 minuta i u tom slučaju obavlja isto što i sekvenca vanjske sinhronizacije.

Sekvenca za nadzor prosjeka i trenda je glavna sekvenca u algoritmu optimizacije i aktivira se svakih 30 sekundi. Tada se vrši očitanje i sumiranje mjerenja snage na točkama razmjene. Skupa sa prethodnim očitanjima računa se trenutna prosječna snaga te se na bazi dva uzastopna prosjeka računa trend i izračunava predviđena prosječna snaga na kraju 15-min. perioda. Ukoliko predviđena prosječna snaga premaši optimizacijski maksimum, računa se snaga redukcije, traže se raspoloživi potrošači i daje se nalog za njihovo isključenje. Nakon toga se aktiviraju i sekvence za praćenje vremena upotrebe i vremena oporavka.

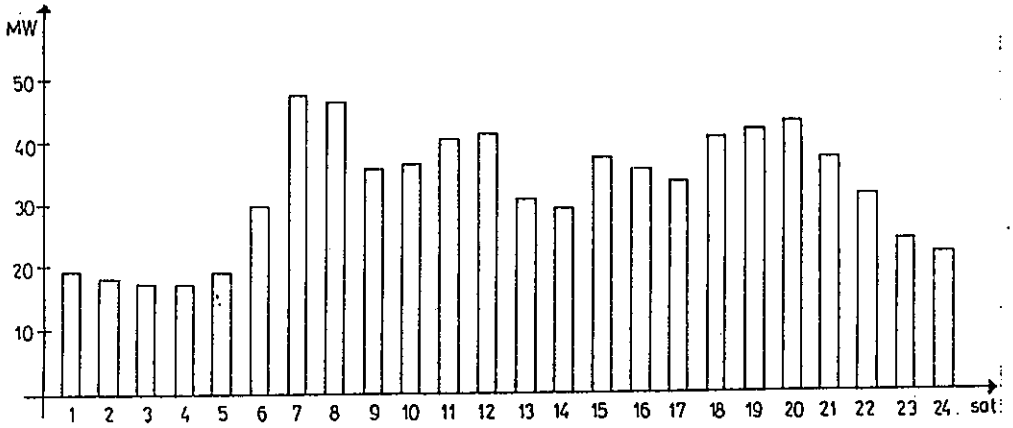
Sekvenca za inicijalizaciju na početku novog dana proglašava sve potrošače ponovno raspoloživim s obzirom da je vremenski ciklus rada s potrošačima zaokružen unutar jednog dana. Sekvenca za inicijalizaciju na početku novog mjeseca postavlja ostvareni maksimum na nulu, a optimizacijski na zadani za tekući mjesec.

4. PRAĆENJE I ARHIVIRANJE REZULTATA

U cilju boljeg vođenja i planiranja pogona i parametara optimizacije, instalirane su funkcije praćenja procesa potrošnje, rada algoritma kao i funkcije arhiviranja podataka i rezultata (vršna snaga, ostvareni maksimum) iz prethodnih vremenskih perioda.

Praćenje je realizirano kroz korištenje postojećih mehanizama komunikacije čovjek-sistem (tabele potrošača, slika za praćenje vršne potrošnje, prikaz razmjene - vidi sl. 3-5).

Funkcije arhiviranja su od velikog značaja za analizu prethodnog rada i dobivanje podloga za planiranje pogona u budućem periodu. U tom smislu kreirani su izvještaji dnevnih, mjesečnih i godišnjih maksimuma razmjene u tabelarnom obliku kao i povijesni bar-chart u kojem je vidljiva razmjena u prethodnih 24 sata (vidi sl. 2).

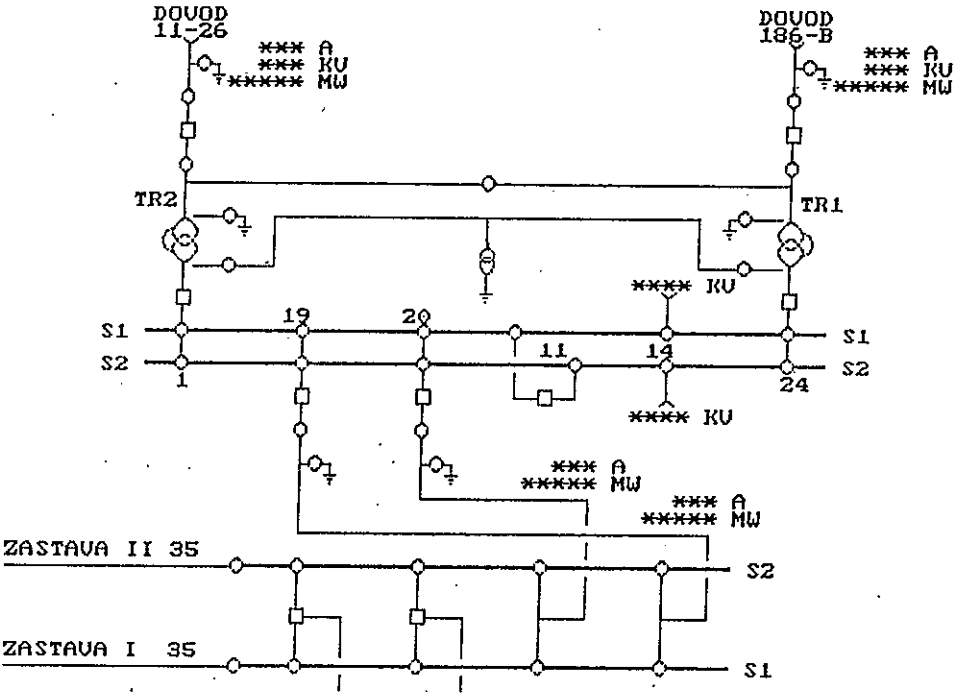


Sl. 2 Barchart prikaz opterećenja

		ZADANI MAKSIMUM (MW)	OSTVARENI MAKSIMUM (MW)
1	JANUAR	*****	*****
2	FEBRUAR	*****	*****
3	MART	*****	*****
4	APRIL	*****	*****
5	MAJ	*****	*****
6	JUNI	*****	*****
7	JULI	*****	*****
8	AUGUST	*****	*****
9	SEPTEMBAR	*****	*****
10	OKTOBAR	*****	*****
11	NOVEMBAR	*****	*****
12	DECEMBAR	*****	*****

TRENUTNA PROSEČNA SNAGA	*****
PREDVIDENA PROSEČNA SNAGA NA KRAJU PERIODA	*****

Sl. 3 Prikaz maksimuma snage



Sl. 4 Prikaz razmjene

GRUPA	N A Z I V	INSTALIRANA SNAGA (KW)	VREME UPOTREBE (MIN)	RASPO-LOŽIVOST	TRENUTNO STANJE
	PUNKT APAR.16,17,42,43,44,45 46,47,48,52	1180	2X10	-	X
	PUNKT APAR.18,19,20,21,22,23 24	980	2X10	-	X
	T S 2 0 6				
	PUNKT APAR.36,37,38,39,40	780	2X10	-	X
	PUNKT APAR.1,2,41,49,50,51	760	2X10	-	X
	PUNKT APAR.3,4,5,6,7,8	820	2X10	-	X
	PUNKT APAR.9,10,11,12,13	745	2X10	-	X
	PUNKT APAR.14,15,28,29,30	770	2X10	-	X
	PUNKT APAR.31,32,33,34,35	760	2X10	-	X
	T S 2 0 4				
	POTROŠAČ 1,5,6,7,8,10,11,12	1440	2X10	-	X
	POTROŠAČ 4,13,14,21	860	2X10	-	X
	POTROŠAČ 2,3,16,32	800	2X15	-	X
	POTROŠAČ 17,18,	880	2X15	-	X
	POTROŠAČ 15,20	480	2X10	-	X
	ANEX II FAZE (SVETLO)	35	2X20		

Sl. 5 Potrošači

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vladimir Srzentić,dipl.ing.
Juroslav Zaninović,dipl.ing.
Stipan Vučak,dipl.ing.
Elektroprivreda Dalmacije, Split

Referat broj 2.04

SISTEM NADREĐENOG VOĐENJA HE "ĐALE" DALJINSKI TRETIRANJE KAO JEDNOAGREGATNO POSTROJENJE, U FUNKCIJI REGULACIJE NIVOA AKUMULACIJE HE "ĐALE" I AKUMULACIJE HE "ZAKUČAC"

SADRŽAJ

U članku je opisan sistem upravljanja agregatima i evakuacionim organima hidroelektrane "Đale" u svrhu regulacije nivao gornje i donje vode elektrane pomoću posebnog uređaja za automatsko nadređeno vođenje cjelokupnog tehnološkog procesa.

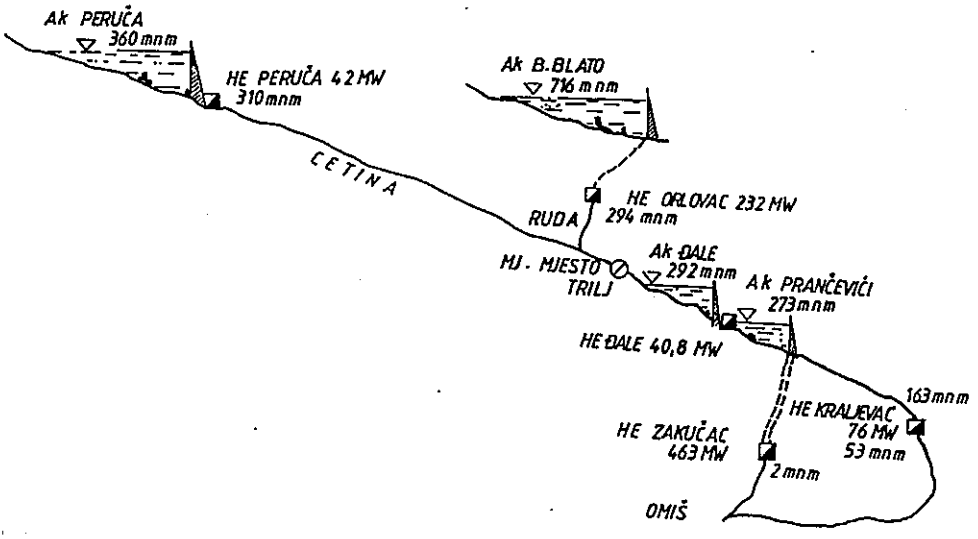
Opisani sistem temelji se na algoritmu vođenja, koji je u obliku odgovarajućeg programa rezidentno sješten u memoriji mikroprocesorskog uređaja za nadredeno vodenje. Na taj način je elektrana predstavljena višem hijerarhijskom nivou upravljanja kao jednoagregatno postrojenje.

In the article, the generating unit and evacuation organs control system of the HPP "Đale", has been described , in regard to level regulation of the power plant's upper and lower water, by means of special equipment for automatic superior control of the entire technological process.

The described system is based on a control algorithm which is placed resident in the memory of microprocessing superior control unit, in the form of a adequate program. In that way, the power-plant has been represented to the higher hierarchical control level, as a monogenerating power - plant.

1. UVOD

Rijeka Cetina sa svojim slivnim područjem od oko 3400 km2 i prosječnim godišnjim oborinama od 1400 mm odavno je interesantna za hidroenergetsku eksploataciju. Do danas je ostvarena izgradnja HE "Kraljevac", HE "Peruća", HE "Zakučac" HE "Orlovac" i HE "Đale". Hidroelektrane na slivu Cetine prikazane su na slici 1.



Slika 1.

2. OSNOVNI PODACI O OBJEKTU

HE "Đale" je protočna hidroelektrana pribranskog tipa. Brana sa strojarnicom smještena je tako da pregrađuje prirodni kanjon rijeke Cetine na profilu Beksetina mlinca, 44,4 km uzvodno od ušća u more. Elektrana iskorištava energetski potencijal na padu između Sinjskog polja i jezera Prančevići, koje služi kao bazen za dnevno izravnanje HE "Zakučac". Za proizvodnju energije koristi radne vode HE "Orlovac" i HE "Peruća", kao i vode prirodnih dotoka Cetine i Rude nizvodno od brane Peruća, odnosno strojarnice HE "Orlovac". Hidroelektrana je projektirana s dva agregata svaki po 24 MVA, koji su preko blok transformatora 24 MVA spojeni na rasklopno postrojenje 110 kV, dok kao evakuacioni organi služe dva temeljna ispusta i jedno preljevno polje.

Predviđena prosječna proizvodnja elektrane iznosi 157,5 GWh.

Ukupna instalirana protoka kroz agregate iznosi 2 x 110 = 220 m^3/s a ukupna protoka evakuacionih organa iznosi 1000 m^3/s.

Maksimalna visina brane iznosi 39,60 m. Najveći uspor je do kote 292,0 mnm pri čemu se u jezeru okumulira ukupno oko 3.700.000 m^3 vode od čega 2.950.000 m^3 korisne vode.

Rasklopno postrojenje 110 kV je tropolno izolirane metalom oklopljene SF6 izvedbe, smješteno u produžetku strojarnice s izlazom na krov elektrane.

Hidroelektrana je vezana sa mrežom 110 kV preko jednog dalekovoda 110kV na TS Konjsko, dok je predvidena mogućnost priključka još jednog dalekovoda.

3. MJESTO I NAČIN UPRAVLJANJA OBJEKTOM

Hijerarhija upravljanja objektom s obzirom na mjesto upravljanja organizirana je sa dvije razine:

1. Lokalno na elektrani i to sa slijedećih mjesta:
   - uz pojedine pomoćne pogone agregata, kao što su drenaža, rashladni sistem, kompresosrski sistem, inicijalno podmazivanje i uz rasklopno postrojenje i hidromehaničku opremu
   - sa komandnih ormara lokalnog upravljanja, agregatom, hidromehaničkom opremom, postrojenjem i nadređenim vođenjem elektrane
   - sa komandnog pulta u komandnoj prostoriji
2. Daljinski iz centra upravljanja

Omogućenje upravljanja sa više razine ostvaruje se pomoću preklopke na nižoj razini upravljanja. Mjesto upravljanja jednoznačno je odredeno položajem preklopke, tako da je onemogućeno upravljanje sa dva mjesta.

Obzirom na način upravljanja, upravljanje je izvedeno kao:

1. Ručno
2. Automatsko

Komandni pult, kao rezervno mjesto daljinskog upravljanja, je lokalni nivo upravljanja na kojem ne možemo govoriti o ručnom odnosno automatskom načinu, pa odgovarajuća preklopka na tom nivou preuzima značaj:

- pojedinačno
- grupno (preko nadredenog elektranskog automata)

Mjesto i način upravljanja HE "Đale" uprošćeno je prikazano tablicom I te slikama 2. i 3.

Tablica I.

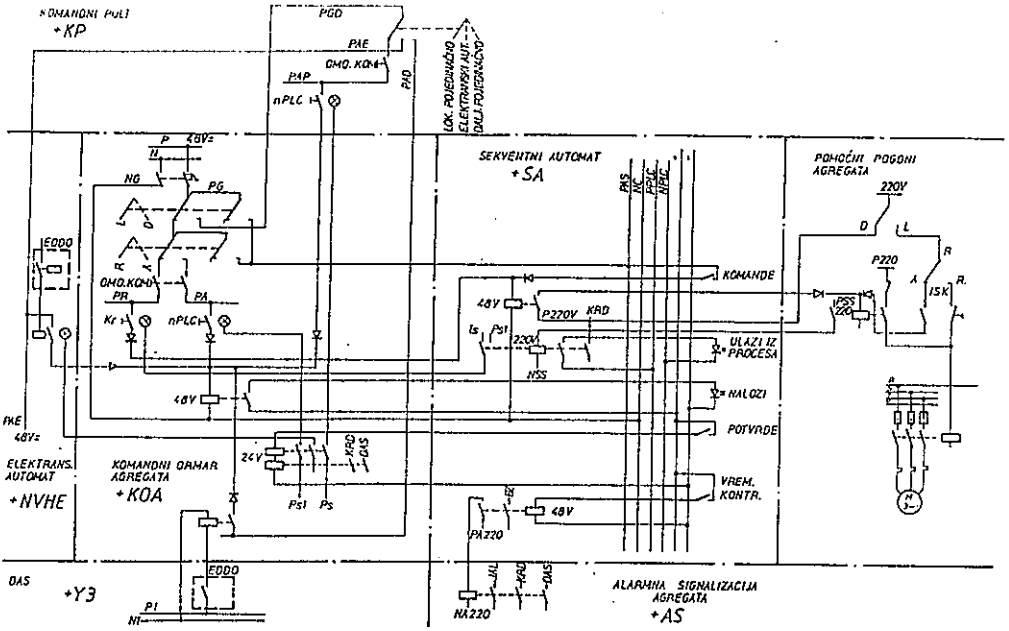
MJESTO I NAČIN UPRAVLJ.	RDC	CDU/KS	HE "ĐALE" KP	NVHE	KO	LPU
DALJINSKI	X2)	X				
LOKALNO			X	X	X	X
GRUPNO	X2)	X	X	X		
POJEDINAČ.		X1)	X		X	
AUTOMATSKI		X	X	X	X	X
RUČNO					X	X

LEGENDA:

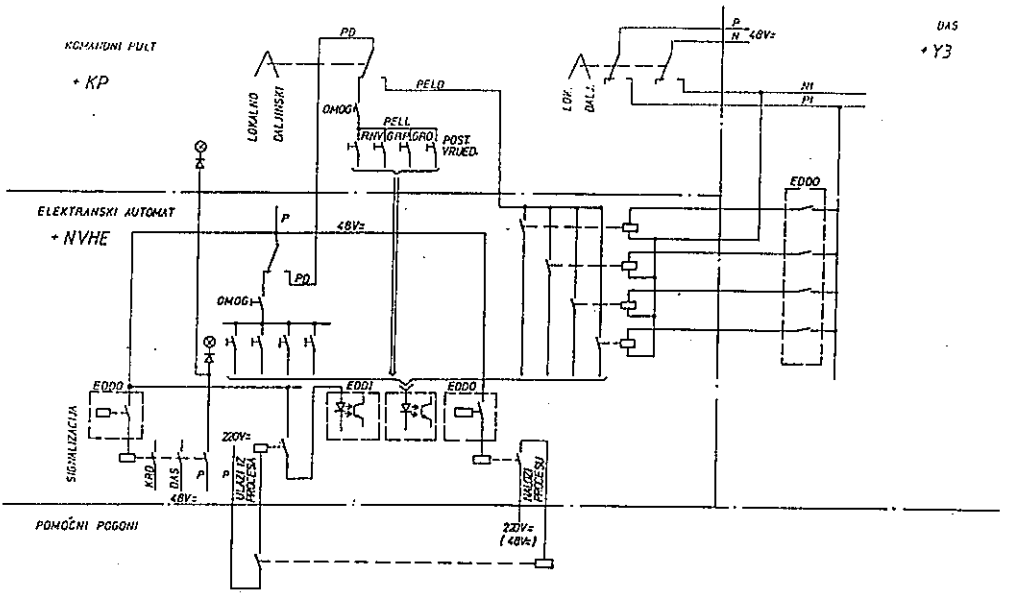
CDU - Centar dalj.uprav.(Vrboran)
KS - Komanda sliva
KP - Komandni pult
NVHE - Ormar nadredenog vođenja hidroelektrane (FKZA stanica)
KO - Komandni ormar funkcionalne grupe (npr. agregata)
LPU - Lokalna ploča upravljanja neposredno uz pomoćne pogone

1) Ostavljeno kao mogućnost a prema dogovoru se neće upravljati zbog principa jednoagregatnosti.

2) Nalozi iz RDC-a prema KS i informacije iz KS prema RDC-u idu po principu distribuirane hijerarhije. To znači da RDC tretira KS kao jednoagregatno postrojenje.



Slika 2. Principjelna shema upravljanja agregatom



Slika 3. Principjelna shema upravljanja elektranom

4. AUTOMATSKO VOĐENJE ELEKTRANE

4.1. Općenito

Automatsko vođenje elektrane podrazumijeva regulaciju nivoa vode, grupnu regulaciju radne snage, grupnu regulaciju jalove snage i nadziranje struje statora po agregatu.

Ovaj rad prvenstveno opisuje regulaciju nivoa vode, jer se regulacija nivao vode razlikuje od dosadašnjih zahtjeva i rješenja na postojećim elektranama. Ostale funkcije automata za vođenje elektrane samo su kratko opisane.

U uvodnom dijelu potrebno je istaknuti nekoliko posebnosti. Donja voda HE "ĐALE" (jezero Prančevići) je gornja voda HE "Zakučac". HE "Zakučac" je zadnja najznačajnija elektrana na slivu Cetine, iz čega proizlazi da rad HE "Đale" ne smije ometati rad HE "Zakučac". Ukupna instalirana protoka kroz agregate i jedne i druge elektrane je jednaka i iznosi 220 m3/s.

Iz gore spomenutog slijedi zaključak da su akumulacija HE "Đale" i jezero Pranečvići jedinstvena akumulacija HE "Zakučac".

Stepenicu HE "Đale" potrebno je koristiti tako da je u pogonu pri što većim padovima te da se spriječe štetne poslijedice nadolaska većeg vodnog vala, tj. da se sa što manje vode privede veća količina energije.

Da se osigura optimalni rad HE "Đale" unutar granica postavljenih predhodnim zahtjevom i potrebama voznog reda lanca Cetine, na elektrani je instaliran mikroprocesorski uređaj za nadređeno vođenje hidroelektrane (NVHE) tip FKZA-1 proizvodnje "R.Končar".

Ovaj uređaj omogućava da viša hijerarhijska razina upravljanja tretira elektranu kao jednoagregatno postrojenje.

4.2. Regulacija nivoa vode

Regulacija nivoa vode izvodi se primarno pomoću dva agregata, zatim jednim preljevom i na kraju s dva temeljna ispusta.

Očito je da će se regulacija protoke kroz agregate protezati maksimalno do ukupnog protoka kroz oba agregata (ako su pogonski spremni) a sve preko toga uz pomoć zatvarača. Ako su agregati neispravni tada će se cjelokupna regulacija provoditi samo zatvaračima.

Osnovni zahtjevi regulacije vode kroz agregate, znači i radne snage elektrane, su slijedeći:

- održavanje donjeg nivoa, tj. da se ne ometa ili ne umanjuje proizvodnja u HE "Zakučac"
- održavanje gornjeg nivoa, tj da se koristi voda sa što većim padom

Ova dva zahtjeva rezultiraju tima da će se za slučaj veće potrošnje vode u HE "Zakučcu" od količine dotoka u bazen HE "Đale" doći najprije do pražnjenja bazena HE "Đale", a potom i bazena Prančevići. U obrnutom slučaju, kad HE "Zakučac" ne radi ili je njena potrošnja manja od dotoka u bazenu HE "Đale", najprije će doći do punjenja bazena Prančevići a potom i bazena HE "Đale".

Da bi uredaj NVHE mogao obavljati svoju funkciju potrebno je izvršiti uključenje u regulaciju po nivou te zadati ostale parametre, a to su nivo gornje vode, nivo donje vode i vrijeme postizanja željene vrijednosti.

Ako neki od objekata upravljanja (agregati, preljev i temeljni ispusti) nije raspoloživ treba ga isključiti iz regulacije nivoa, prebacivanjem njegove preklopke na "lokalno". Uključenje u regulaciju podrazumijeva samo "davanje na upotrebu" uređaja NVHE.

Start/stop automatika pojedinih agregata riješena je posebnim programobilnim logičnim uređajem.

Ako su agregati i zatvarači uključeni u regulaciju i ako su zadani gornji i donji nivo vode, uređaj NVHE preuzima funkciju izdavanja naloga za start /stop i terećenje agregata i raspodjelu tereta među agregatima ili pozicioniranje zatvaraća.

4.2.1. Održavanje nivoa donje vode

Nivo donje vode (jezero Prančevići) zadaje se nešto iznad optimalne raradne kote jezera Prančevići sa stanovišta max. proizvodnje HE "Zakučac" + HE "Đale". To je osnovni kriterij koji se uzima u obzir.

Donja voda ne smije pasti ispod zadane. Ako donja voda počme padati uređaj starta agregate, tereti ih, ako zatreba do nazivne protoke (2x110 m^3/s).To znači da kroz elektranu propušta onoliko vode koliko se nizvodno od nje troši. Dogodi li se nakon toga da nivo gornje vode padne ispod minimalne gornje vode zaustavljaju se agregati i otvaraju se temeljni ispusti do eventualnog pražnjenja bazena Đale, ako je mala dotoka u bazen Đale, a potrebno je da Zakučac i dalje proizvodi.

Zadavanje donjeg nivoa nešto iznad minimalne kote jezera Prančevići ne treba zabrinjavati, jer punu protoku Zakučca može nadopuniti puna protoka Đala i u tom smislu nema potrebe akumulirati vodu u jezeru Prančevići ako je nivo gornje vode bazena Đale ispod zadane (maksimalne).

4.2.2. Održavanje nivoa gornje vode

Nivo gornje vode zadaje se nešto ispod maksimalne (292,50 mnm) kote bazena Đale.

Ako je zadovoljen kriterij donje vode uređaj NVHE prelazi automatski u mod regulacije gornje vode. Nakon uključenja agregata u regulaciju nivoa starta se rampa postavne vrijednosti nivoa s filtriranom vrijednošću nivoa kao početnom i postavnom vrijednošću unesenom od operatora kao krajnjom. Mjerna vrijednost se očitava ciklički, s unaprijed definiranim vremenom uzimanja uzoraka. Razlika između mjerne i postavne vrijednosti uvodi se u PID regulator . Izlaz iz PID regulatora predstavlja referencu aktivne snage za agregate u elektrani. Ta se snaga rasporeduje na agregate u regulaciji, uzimajući u obzir snagu agregata koji nije u regulaciji. Preko digitalnih izlaznih modula ta se referenca u BCD - kodu upisuje turbinskim regulatorima. Funkcija nadziranja nivoa stalno je aktivna. Dolaskom nivoa na zadanu granicu provjeravaju se uvjeti za uključenje agregata u regulaciju i ako su ispunjeni ponavlja se opisani postupak regulacije.

U slučaju da agregati ne mogu održati zadani gornji nivo, u regulaciju se najprije uključuje preljevna klapna, a ako zatreba i temeljni ispusti.

Da bi evakuacioni organ mogao biti u regulaciji nivoa potrebno je da njegova preklopka upravljanja bude u položaju "daljinski".

Pošto je ova funkcija zaštitna, postavna vrijednost treba biti nešto viša nego postavne vrijednosti nivoa za regulaciju agregatima. Proces regulacije sličan je kao i regulacija agregatima. Izlaz iz regulatora predstavlja željenu vrijednost protoka kroz zatvarače, koji služi za izračunavanje postavne vrijednosti položaja zatvarača. Za ovo izračunavanje koriste se konsupcione krivulje evakuacionih organa a koje se u tabličnom obliku koriste u programu za svaki evakuacioni organ pojedinačno ili njihovu kombinaciju,uvažavajući da su granice voda za preljev i temeljne ispuste različiti. Pritom se uzima u obzir i usporna krivulja bazena Prančevići. Nalog za dizanje ili spuštanje izdaje se preko odgovarajućih međureleja. Ako u međuvremenu dođe do pada donjeg nivoa ispod zadane vrijednosti uređaj prelazi u mod regulacije donje vode.

4.3. Nadzor nailaska vodnog vala

Nekoliko kilometara (6-7 km) uzvodno od brane HE "Đale", nedaleko mosta u Trilju, mjeri se protoka Cetine. Točka u kojoj se mjeri protoka je početak bazena Đale.

U svrhu poboljšanja kvalitete regulacije u regulator nivoa uvodi se informacija o protoci na uzvodnom profilu "Trilj", koja se uzima u obzir kod izračunavanja postavne vrijednosti.

Vodni val koji je u granicama maksimalnog protoka raspoloživih agregata (110 m^3/s za jedan, odnosno 220 m^3/s ako su oba agregata raspoloživa), agregati mogu preraditi bez prelijevanja radeći u regulaciji nivoa.

U slučaju da se pojavi vodni val veći od maksimalnog protoka raspoloživih agregata, jedini način rada je da agregati rade maksimalnom snagom,bez obzira da li su u regulaciji nivoa ili radne snage i da li je signal razlike stvarne i zadane veličine takav da je potrebno smanjivati radne snagu (smanjivati protoku kroz agregate). Ako naide vodni val za vrijeme mirovanja agregata, a veći je od maksimalnog protoka agregata, daje se nalog za njihov start (uz predpostavku da je start moguć) i terećenje do maksimalne snage.

Nakon pada dotoke ispod 220 m^3/s agregati nastavljaju rad u regulaciji nivoa ili regulaciji radne sange, sa zadnjom upisanom postavnom vrijednošću.

4.4. HE "Đale" - kao jednoagregatno postrojenje

Koncepcija daljinskog upravljanja podrazumijeva dva načina upravljanja:

- upravljanje elektranom kao jednog postrojenja (grupno)
- upravljanje agregatima pojedinačno

Pojedinačno upravljanje agregatima je ostavljeno kao mogućnost, ali se za sada ne koristi.

Na tretiranje elektrane iz CDU-a kao jednoagregatnog postrojenja zaključuje se iz teksta, ali smatramo da je to potrebno s još nekoliko detalja nadopuniti i pojasniti:

- nijedan agregat nije na mreži, a nivo je dostigao gornju graničnu vrijednost, uređaj NVHE testira da li je bar jedan agregat raspoloživ za start (prisutni signali "agregat upravljan preko NVHE" i "start nije blokiran") daje se nalog za start, te uključuje agregat u regulaciju nivoa. Start drugog agregata uslijedit će nakon što postavna vrijednost snage pređe nazivnu vrijednost snage jednog agregata.
- Ako je samo jedan agregat radio u regulaciji nivoa ili radne snage, a pri tome nije bilo potrebe da se starta drugi agregat, ispadom agregata koji je bio u radu (pojava signala "prekidač isključen" te nestanak signala "start nije blokiran") starta se drugi agregat ukoliko su za to ispunjeni uvjeti. Drugi agregat se uključuje u regulaciju u kojoj je bio agregat isključen djelovanjem zaštita.

LITERATURA:

1. J. Zaninović, A. Tičić: "Projekti za građenje HE Đale : upravljanje, zaštita, signalizacija i mjerenje",EPD OOUR Projektni biro - Split 1988.god.

2. Ž. Logarić,: "Tehnički opis sistema nedređenog vođenja elektrane, FKZA - 1, u HE Đale", RK - Zagreb 1988.god.

3. N. Bašković, H. Birimiša: "HE Đale - energetska valorizacija dvaju pregradnih profila". EPD RZ Zajedničke službe - Split 1980.god.

4. A. Protokar: "Studija - stepen automatizacije agregata i hidroelektrana zavisno od njihove veličine i uloge u EES Jugoslavije", IBE - Ljubljana 1984.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mirko FILIPOVIĆ,dipl.ing.
Dragan PAMUČAR, dipl.ing.
Hidroelektrana "DJERDAP", Kladovo

Referat broj 2.05

UVODJENJE TSU U HE "DJERDAP I"
- PRIKAZ USVOJENIH REŠENJA -

S A D R Ž A J

U članku su prikazana usvojena rešenja za uvodjenje Tehničkog sistema upravljanja (TSU) u HE "DJERDAP I". Rešenja se odnóse na formiranje i prenos informacija o uklopnim stanjima sklopnih aparata, merenjima električnih i neelektričnih veličina, grupnoj regulaciji aktivne i reaktivne snage, opomenskim i alarmnim signalima što je sve skupa neophodno za daljinski nadzor i upravljanje.

The accepted solutions for introducing Energy Management System (EMS) in Hydroelectric Power Plant "Djerdap I" are presented into the article. The solutions refer to the formation and transmission of the information about indication of switching devices, the electric and monelectric measurements, joint active and reactive power control, identifying and alarm signals which are necessary for remote supervision and control.

1. U V O D

Hidroelektrana "Djerdap I" obuhvaćena je prvom fazom uvodjenja Tehničkog sistema upravljanja u EES EPS-a. U tom smislu pored opštih, definisani su i posebni zahtevi koji se odnose na opremu i zahvate neophodne za ostvarivanje daljinskog nadzora upravljanja iz nadredjenog centra vodjenja (DC EPS).

Sve informacije koje se u okviru TSU-a razmenjuju izmedju elektrane i nadležnog centra upravljanja, svrstane su u četiri skupa:

- skup uklopnih stanja aparata
- skup merenja električnih i neelektričnih veličina,
- skup komandnih impulsa i postavnih vrednosti,
- skup grupnih/pojedinačnih alarma i signala

2. UKLOPNA STANJA APARATA

Uklopna stanja koja se prenose za potrebe TSU-a grupisana su u pet grupa čime je definisan način zahvata i prosledjivanja signala.

2.1. Generatorski prekidači i prekidači u RP 400 kV

Slobodni pomoćni kontakti prekidača iskorišćeni su za prosledjivanje dva signala u orman galvanskog razdvajanja (OGR): prvi se formira kao redna veza radnih kontakata prekidača svake faze dok se drugi formira kao redna veza mirnih kontakata prekidača svake faze i signalizira isključenost prekidača. Ovi signali pobudjuju odgovarajuća relea sa po tri kontakta, smeštena u OGR. Jedan kontakt se vodi na izlazne redne stezaljke za potrebe TSU-a dok su ostala dva rezervna.

2.2. Generatorski rastavljači i rastavljači u RP 400 kV

Uklopna stanja generatorskih rastavljača i rastavljača u RP signaliziraju se na istovetan način kao i kod prekidača.

2.3. Stanje dalekovoda (pod naponom/bez napona)

Signalizacija ovih stanja dalekovoda trenutno ne postoji. Za formiranje ovog signala, uzima se napon 100 V, 50 Hz sa sekundara naponskih transformatora koji pobudjuje relea u relejnoj kućici datog dalekovoda. Sa ovih relea šalju se u OGR dva signala. Prvi se formira kao redna veza radnih kontakata relea po svim fazama i signalizira da je dalekovod pod naponom dok se drugi formira kao redna veza mirnih kontakata istih relea i signalizira da je dalekovod bez napona.
Relea u ormanu galvanskog razdvajanja su sa po tri kontakta od kojih se jedan vodi na izlazne redne stezaljke za potrebe TSU-a a druga dva su rezervna.

2.4. Preklopka u relejnoj kućici
(lokalno/daljinski)

Ova preklopka sada ne postoji i biće naknadno ugradjena. Njena funkcija je da omogući isključivanje čitavog polja u postrojenju 400 kV i rad na tom polju a da u isto vreme ostatak postrojenja nesmetano radi. U položaju "lokalno" prekidač se može uključiti samo sa lica mesta tasterom (crtkano na sl.3.). Mirni i radni kontakti preklopke pobudjuju relea u OGR i signaliziraju dva moguća položaja preklopke. Relea u OGR su sa po tri kontakta od kojih se jedan koristi za TSU, drugi za signalizaciju na komandnoj tabli u Centralnoj komandi a treći je rezervni.

2.5. Preklopka u Centralnoj komandi
(lokalno/daljinski)

Ova preklopka će takodje, naknadno biti ugradjena. Predvidjena je za izbor mesta komandovanja odgovarajućim elementima: lokalno iz elektrane ili daljinski iz TSU-a. Analogno prethodnom slučaju, sa kontakata preklopke slaće se dva signala u OGR za signalizaciju položaja preklopke. Releji u OGR su sa po tri kontakta od kojih se jedan koristi za prosledjivanje na izlazne redne stezaljke za TSU a druga dva su slobodna.

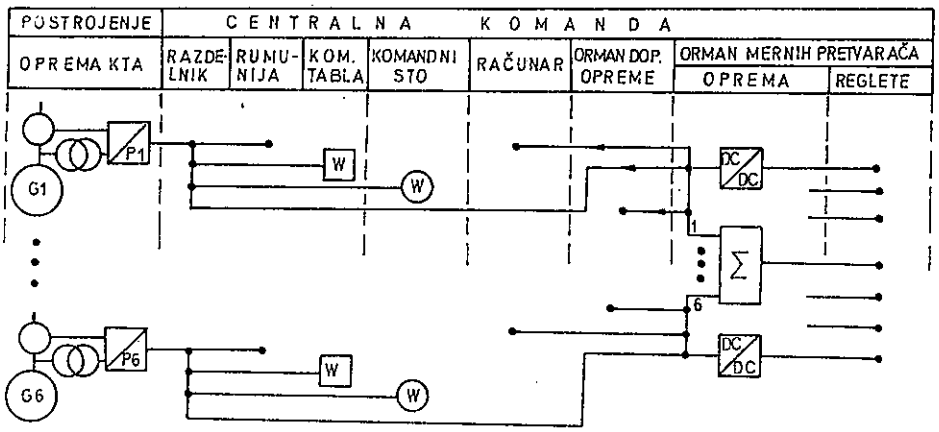
3. MERENJE ELEKTRIČNIH I NEELEKTRIČNIH VELIČINA

3.1. Merenje električnih veličina

Sva merenja koja se u okviru TSU-a prenose iz elektrane kao krajnje stanice (RTU) u centar upravljanja (DC EPS) grupisana su u šest grupa.

3.1.1. Merenja aktivne snage generatora i sumarne aktivne snage elektrane

Postojeće stanje je takvo da se sa mernih pretvarača koji se nalaze na komandnoj tabli agregata signal vodi na razdelnik u Centralnoj komandi odakle se šalje na: registrujući uredjaj na komandnoj tabli, pokazni instrument na komandnom pultu, na rumunsku stranu (za njihove potrebe merenja) i u računar. Pošto je razdelnik pun i ne postoji mogućnost da se sa njega uzme dodatni signal, signal koji trenutno ide u računar odvešće se na orman mernih pretvarača (OMP) gde će se preko razdelnika odvesti na: računar, orman dopunske opreme za TSU (za potrebe sračunavanja protoka kroz turbinu), DC/DC pretvarač u OMP sa koga se vodi na reglete za TSU i na sumator u OMP u koji će se odvesti signali sa mernih pretvarača svih generatora i čiji će se izlaz voditi na reglete za TSU.



Sl.1. Princip prenosa merenja P i ΣP

U slučaju merenja aktivne snage generatora i sumarne aktivne snage elektrane, imamo najviše uredjaja priključenih u kolo mernog pretvarača. Proverom je ustanovljeno da je ukupan otpor priključenih uredjaja i veza 1050 Ω što je manje od 1500 Ω deklarisanih od proizvodjača (Iskra - Iskramek 113/3).

3.1.2. Merenje reaktivne snage i sumarne reaktivne snage

Analogno merenju aktivne snage, za merenje reaktivne snage sa mernog pretvarača signal se vodi na razdelnik sa koga se šalje na: registrujući uredjaj u Centralnoj komandi, pokazni instrument na komandnom pultu i OMP odakle se dalje preko razdelnika vodi na računar, DC/DC pretvarač u OMP sa koga se signal vodi na reglete za TSU i na sumator u OMP u koji će se dovesti signali sa mernih pretvarača svih generatora i čiji će se izlaz voditi na reglete za TSU.

3.1.3. Merenje napona, aktivne i reaktivne snage dalekovoda

Izlaz iz mernog pretvarača vodi se na razdelnik odakle jedan kontakt ide na odgovarajući merni instrument na komandnoj tabli a drugi na OMP gde se preko razdelnika vodi na računar i DC/DC pretvarač u OMP sa koga se signal vodi na reglete za TSU.

3.1.4. Merenje napona i frekvence na sabrnicama

Ovo merenje je potpuno analogno prethodnom.

3.1.5. Merenje aktivne i reaktivne energije generatora

Sa impulsnih brojila vodi se impuls na postojeću opremu za merenje na tabli brojila u Centralnoj komandi. Paralelno se odatle uzima impuls koji se vodi

na impulsno rele smešteno u ormanu dopunske opreme za TSU, čiji se jedan kontakt uvodi u OMP na regletu za TSU a drugi se vodi na pomoćno rele u ormanu relea za računar a njegov kontakt se vodi u računar.

3.1.6. Merenje aktivne i reaktivne energije dalekovoda i sumarne energije na pragu elektrane

Impuls sa brojila na relejnoj kućici u RP 400 kV, vodi se, kao u prethodnom slučaju, na opremu za merenje energije smeštenu na tabli brojila. Odatle se, paralelno, uzima impuls za impulsno rele u ormanu dopunske opreme za TSU sa kojega se jedan kontakt vodi za TSU a drugi pobudjuje rele u ormanu relea za računar.

3.2. Merenje hidrauličkih mernih veličina

Za ostvarivanje TSU-a neophodno je u centar vodjenja proslediti i rezultate merenja i izračunavanja osnovnih hidrauličkih veličina: nivoa gornje vode, nivoa donje vode, protoka kroz turbine i preliva preko dvostrukih kukastih zatvarača na prelivnim poljima.

3.2.1. Nivo gornje vode

Predvidjeno je da se merenje nivoa gornje vode vrši pneumatskom indirektnom nultom metodom. Pneumatski merač nivoa čine: merna vaga sa mehanizmom za uravnoteženje sa analognim (0-10 mA) i digitalnim izlazom (BCD kod), instalacija za vazduh koja koristi razvod niskog pritiska elektrane preko pomoćnog rezervoara, kao i plastične PVC cevi za vodjenje vazduha i mernog pritiska.

3.2.2. Nivo donje vode

Merenje nivoa donje vode vrši se na istovetan način kao i merenje nivoa gornje vode.

3.2.3. Nivo vode iza izlaznih rešetki

Predvidjeni sistem čine, zapravo, dva sistema za merenje nivoa vode iza obe ulazne rešetke. Time se dobija prava slika začepljenja na ulaznim rešetkama a uz to, naravno, povećava i tačnost ulaznih podataka za kasnije obrade.

Predvidjena oprema je istovetna kao i u prethodna dva slučaja.

3.2.4. Izračunavanje ukupnog protoka vode kroz agregate na jugoslovenskoj strani

Podaci potrebni za računanje protoka vode kroz turbine zavise od načina rada generatora. U slučaju da generator radi u praznom hodu, protok se računa iz poznate funkcionalne zavisnosti od pada odnosno, u mikropresorsku jedinicu

predvidjenu za izračunavanje protoka i preliva, uvode se podaci o nivou gornje i donje vode kao i nivou iza ulaznih rešetki.

Uzimanje fiksnog otvora usmernog aparata u praznom hodu unose se izvesne greške u računu jer:

- otvor usmernog aparata se menja od 0% do otvora praznog hoda pri pokretanju turbine
- za različite visine gornje vode različiti su otvori usmernog aparata za prazni hod.

Ipak, fiksni otvor usmernog aparata za prazni hod se može uzeti kao dovoljno tačan jer je upliv navedenih faktora neznatan.

U režimu rada generatora na mreži, protok se izračunava na osnovu gornje i donje vode, nivoa iza rešetaka i aktivne snage generatora. Sve ove veličine uvode u mikroprocesorsku jedinicu gde se iz poznatih eksploatacionih karakteristika turbine izračunava protok za datu snagu odnosno rezultate hidrauličkih merenja.

3.2.5. Merenje položaja zatvarača na prelivnim poljima

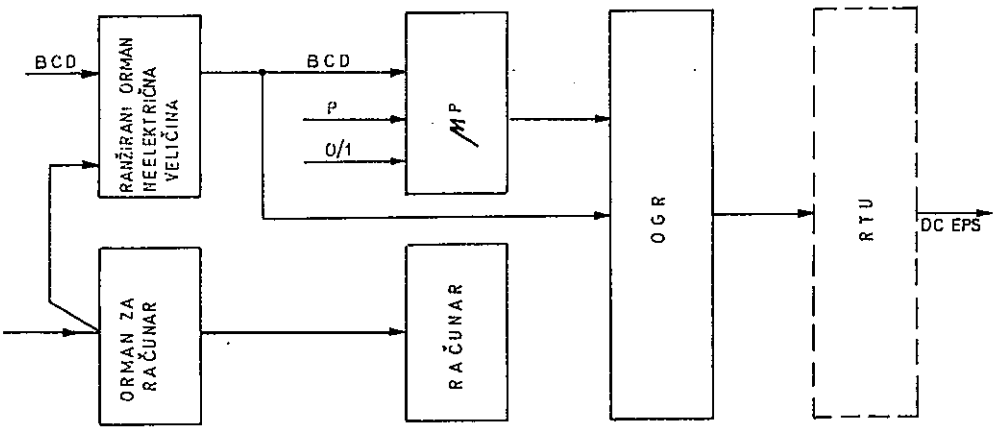
U glavama servomotora za podizanje, odnosno spuštanje dvostrukih kukastih zatvarača, nalaze se doboši na koje se namotava sajla. Ovo je iskorišćeno za potrebe TSU-a na taj način što su na doboše pričvršćeni pretvarači ugla. To podrazumeva izradu i dogradjivanje odgovarajućeg kućišta i potrebnih zaptivki. Doboš u glavi servomotora gornje sekcije zatvarača obrne se 9,22 puta za puni hod zatvarača a doboš donje sekcije 18,3 puta. Ovo obezbedjuje dobru realizaciju odnosno visoku tačnost merenja.

3.2.6. Izračunavanje preliva preko prelivnih polja

Izračunavanje preliva vrši se na osnovu modela uz poznat položaj zatvarača i visinu gornje vode. Ovo računanje takodje obavlja ranije spomenuta mikroprocesorska jedinica.

3.2.7. Centralna jedinica merenja hidrauličkih veličina (mikroprocesor za hidraulička merenja)

Ova jedinica vrši prihvat svih pobrojanih hidrauličkih merenja, merenja aktivne snage kao i logičkog signala koji definiše da li generator radi u praznom hodu. Takodje, ona vrši izračunavanja pada, protoka kroz turbine, preliva kao i izdavanje rezultata u digitalnom obliku za potrebe TSU-a i potrebe elektrane.



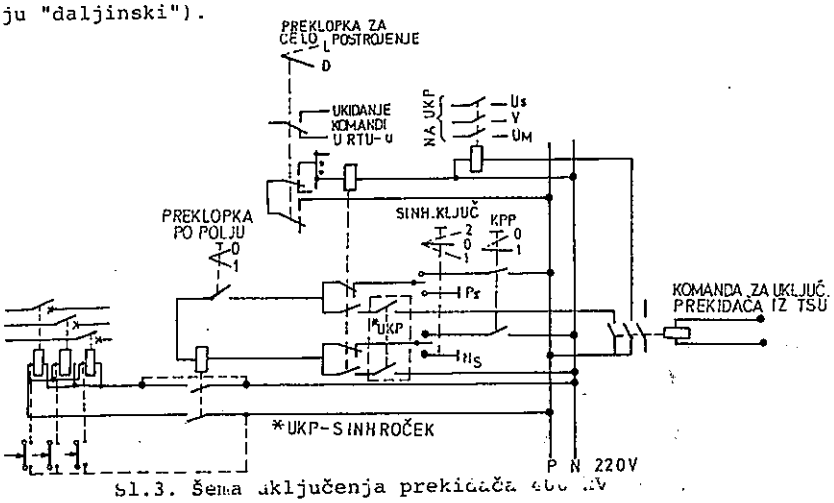
Sl.2. Principijelna blok šema toka informacija o neelektričnim merenjima

4. SKUP KOMANDNIH IMPULSA I POSTAVNIH VREDNOSTI

4.1. Komande za upravljanje sklopnom opremom u RP 400 kV

4.1.1. Komande za upravljanje prekidačima 400 kV

Komanda za uključenje prekidača se prema sadašnjem stanju može dati komandno-potvrdnim prekidačem iz Centralne komande uz uslov da je sinhronizacioni ključ iz nultog prebačen u položaj "ručno" ili pak impulsom iz uredjaja za paralelno sprezanje kad se za to ispune uslovi uz prethodno prebačen sinhronizacioni ključ u položaj "automatski". Da bi se omogućilo komandovanje iz TSU-a, ranije spomenuta preklopka lokalno/daljinski u Centralnoj komandi mora biti u položaju "daljinski" (naravno, i preklopke u relejnim kućicama moraju biti u položaju "daljinski").



Sl.3. Šema uključenja prekidača 400 kV

4.1.2. Komande za upravljanje rastavljačima 400 kV

Prijem komandi iz TSU-a za komandovanje rastavljačima 400 kV moguć je ukoliko su, kao i u prethodnom slučaju, preklopke u položaju "daljinski" što je slično prethodnoj šemi (naravno, bez opreme za sinhronizaciju).

4.2. Komande za promenu aktivne i reaktivne snage

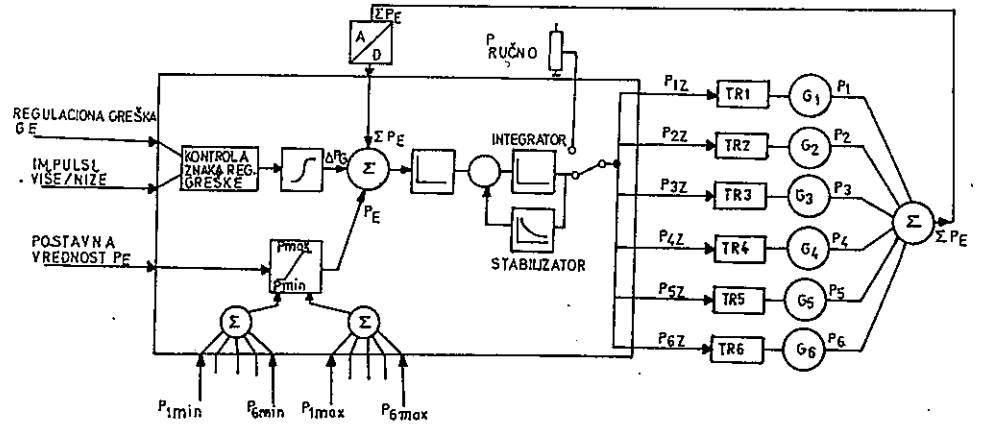
U pogledu regulacije aktivne i reaktivne snage HE "Djerdap I" je, poput drugih hidroelektrana u sastavu EPS-a tretiran jednoagregatno. To znači da su u elektrani neophodni grupni regulatori aktivne odnosno reaktivne snage koji će upravljačke impulse distribuirati po mašinama na način koji je prethodno definisan.

4.2.1. Upravljanje aktivnom snagom

Da bi se u okviru TSU-a vršila regulacija aktivne snage, mora se omogućiti prijem sledećih informacija iz Dispečerskog centra: impulsa više/niže, regulacione greške i postavke vrednosti elektrane.

Naravno, podrazumeva se da sistem turbinske regulacije po svim parametrima i karakteristikama ispunjava uslove za učestvovanje u AGC što je u slučaju HE "Djerdap I" ispunjeno. Agregati su uključeni u sistem sekundarne regulacije frekvence i snage. Turbinski regulatori (elektromehanički, po načinu stabilizacije tahometrijski sa prolaznim statizmom, tipa EGRK-LMZ-SSSR), obezbedjuju stabilnu automatsku regulaciju hidroagregata u režimima pojedinačne regulacije: prazan hod, ostrvski rad i rad na mreži kao i ručno upravljanje agregatom pomoću mehanizma za ograničenje otvaranja usmernog aparata.

Budući da u elektrani ne postoji grupni regulator aktivne snage, lokalni interfejs, na koga sa RTU-a elektrane stižu impulsi iz Dispečerskog centra, treba da obezbedi i funkcije grupnog regulatora. Deo lokalnog interfejsa koji se odnosi na grupni regulator ima lokalnu stabilizaciju nezavisnu od stabilizacionih krugova pojedinačnih regulatora.



Sl.4. Principijelna šema zadavanja aktivne snage preko grup.regulatora

4.2.2. Upravljanje reaktivnom snagom

Regulacija naponskih prilika u mreži predstavlja, zapravo, upravljanje proizvodnjom i tokovima reaktivnih snaga u sistemu. Za elektranu, s obzirom da ova regulacija nije centralizovana, to znači održavanje dovoljno visokog napona na sabirnicama podešavanjem pobude generatora.

U HE "Djerdap I" ugradjeni su multivarijabilni regulatori pobude (ΔU, U', Δf, f') i po svojim karakteristikama odgovaraju svim zahtevima (održavaju konstantan nivo napona na sabirnicama uz odredjenu statiku, obezbedjuju povećanje granica dinamičke i statičke stabilnosti sistema.

Da bi se omogućilo upravljanje reaktivnom snagom iz Dispečerskog centra potrebno je impulse stigle u RTU elektrane (impulsi više/niže saglasni po znaku sa regulacionom greškom elektrane i postavna vrednost) proslediti preko grupnog regulatora na pojedinačne regulatore po mašinama. Premda grupni regulator postoji na elektrani ipak se mora izuzeti jer nikada nije radio i može se smatrati neupotrebljivim. Ostaju jedino veze do regulatora kao upotrebljivi deo lokalnog interfejsa.

5. PRIPREMA SIGNALA I ALARMA

5.1. Signali formirani u RP 400 kV

U centar upravljanja šalju se signali formirani kao grupni i kao pojedinačni, koji daju informaciju o delovanju zaštita odnosno raspoloživosti pojedinih delova postrojenja.
Na tablama pomoćnih relea u Centralnoj komandi ovi signali su već dovedeni za računar pa je potrebno samo sa slobodnog kontakta odvesti signal u OGR za pobudjivanje relea koje prosledjuje signal za TSU.

5.2. Signali formirani u elektrani

Analogno prethodnom slučaju, signali iz elektrane pristigli na tablu pomoćnih relea u centralnoj komandi, grupišu se tu i vode kao zbirni u OGR gde pobudjuju relea preko čijih kontakata se prosledjuju za TSU. Formiraju se četiri zbirna signala: Unutrašnji kvar, Zaštita-isključenje, Opomena I i Opomena II kako za generator tako i za turbinu i blok-transformator na taj način da pruže informaciju o težini kvara odnosno smetnje pa time i informaciju o raspoloživosti agregata i blokova.

6. Z A K L J U Č A K

Usvojena rešenja za uvodjenje TSU u HE "Djerdap I" naznačena su samo u osnovnim crtama. Svaka od navedenih tačaka mogla bi se podrobnije i sa drugih aspekata sagledati, da ne govorimo kad je reč o upravljanju reaktivnom snagom.

U radu nije spominjen problem distribucije tačnog vremena jer na nivou EPS-a nije usvojena koncepcija.

Treba napomenuti i to da koncepcija TSU-a ne predvidja pokretanje i zaustavljanje agregata iz nadredjenog centra.

L I T E R A T U R A

1. Idejni projekt - Priprema hidroelektrana za uključenje u Tehnički sistem upravljanja ZEP-a - knjiga I: HE "Djerdap I" - ENERGOPROJEKT - Beograd,1990.

2. Tehnička preporuka za prilagodjavanje elektroenergetskih objekata Tehničkom sistemu upravljanja - JUGEL - Beograd, 1986.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Živko Šupak, ing.
"Elektroprenos" Opatija

Referat broj 2.06

NOVI PRISTUP OBRADI SIGNALA IZ TIPSKE TRAFOSTANICE 11o/35/1o kV

SADRŽAJ

U referatu je postavljen problem tretiranja signala koji su prema koncepciji tipske trafostanice 11o/35/1o kV, predvidjeni da udju u SDV. Zbog obima signala postoje realne i praksom dokazane pogonske situacije kod kojih se javlja lažno alarmiranje ili stanje kvara koje se tretira kao normalno pogonsko stanje. Ove probleme najviše osjeća operater koji na osnovu prispjelih informacija preduzima akcije stabiliziranja poremećaja u radu EES-a.

Cilj referata je da dade rješenje koje omogućava praćenje rada EES-a na osnovu ekranskih prikaza. Svako prilagodjenje signala kontrolira se prema standardnom pristupu i ukoliko je potrebno vrše se promjene u ožičenju.

Na taj način smanjuje se broj informacija koje stižu u centar i povećava se njihov kvalitet. Posebnom pažnjom obradjeni su kriteriji za formiranje informacije kao i standardni pristup za obradu signala. Standardizacija u obradi i zahvatima omogućila je širenje kruga stručnih ljudi koji se bave prilagodjenjima postrojenja.

SUMMARY

This report is dealing with the problem of treating that are - according to conception of a typical power station 11o/35/1o kV - supposed to be included in telecomand system. Due to the range of signals there are real and practically prooved "motive" situations when a false alarmi-

ng or "out of order" - situation is being signalized to be treated as osdinary situation. Especially the operator can feal these problems: on basis of obtained information he will take actions for stabilizing disturbances in work of elecric network.

The purpose of the report is to find out a solution enabling to follow the work of power station on basis of screen reviews. Any adjustment of signals is controlled according to standard approach and rewiring is made if nesessary.

As a result we have a reduced number of information coming to the center and their improoved quality at the same time.

With a special care both the criteria eor forming an information and standard approach to handling of signals are treated. Standardization in treatment enables spreading of range of professional skilled people dealing with adjustment of facilities.

1. UVOD

Od puštanja u rad sistema daljinskog upravljanja prisutni su problemi formiranja informacije o postrojenju. U ranijim razdobljima bile su aktualne varijante prenošenja signala i to: u rasponu od prenošenja svih signala do svega nekoliko grupnih. Broj i način formiranja informacija takodjer se mjenjao.

Količina i bit informacije moraju u prvom redu zadovoljiti direktne korisnike SDV-a (dispečere, operatere), a potom i indirektne korisnike (održavanje, razvoj i obračun). Nastojanje da se zadovolje svi korisnici rezultiralo je i gomilom podataka, koja se mjenjala od objekta do objekta, zavisno od trenutnih pravila i upliva pojedinaca. Treba napomenuti da je informacioni sistem bio pun nepotrebnih informacija koje su devalvirale prave vrijednosti sistema.

Puštanjem u rad prvog tipskog objekta na području Elektroprivrede Rijeka (TS 110/35 kV Delnice) dobili smo posljednju važeću varijantu izbora i količine signala na osnovu koje se formira informacija o postrojenju. Varijanta odgovara granskom standardu GSE 63/86.

2. UTJECAJ KVALITETE INFORMACIJE NA VODJENJE POSTROJENJA

Način grupiranja signala, odnosno formiranje informacije donekle je zadovoljavao normalno naponsko uključeno stanje. Problemi su se javljali kod manevra, isključenog stanja aparata i poremećaja u EES-u.

Ukratko, operateri su imali lažnu sliku o postrojenju pa se dogadjalo slijedeće:

- normalno isključeno polje prikazivano je sa signalom kvara
- automatske radnje u postrojenju izazivale su alarme
- normalno uključeno polje u odredjenom režimu rada prikazivano je kao kvar
- energetski transformatori isključeni, proradom diferencijalne zaštite, prikazivani su kao normalno isključeni.

Pored nedostataka vezanih za sigurnost postrojenja, kod poremećaja u EES-u lančano su se javljali svi signali ovisni o stabilnosti izmjeničnih napona što je rezultiralo zagušenjem informatičkog sistema. Zbog navedenog, operateri nisu mogli sa sigurnošću nadzirati i upravljati postrojenjima, te su bili pod stalnom presijom moguće greške. Opravdano su se žalili da su informacije nejasne, nepouzdane, a analiza stanja na osnovu istih prekomplicirana.

Formiranje informacije o postrojenju je kompleksan problem koji zahtjeva poznavanje i uključivanje podataka iz domena vodjenja sistema, zaštite, lokalne automatike, tehnološkog procesa, zaštite na radu, zaštite objekta i organizacije rada. Prije odredjivanja cjelovitosti informacije moraju biti poznati interesi korisnika bilo direktnih ili indirektnih, a prije svega nivo nadležnosti nad postrojenjem. Najčešće se odredjuje globalni pogled na odredjeni tip postrojenja sa težnjom ka standardizaciji informacije.

Podaci na ekranskom prikazu, synoptici, listama i lokalnoj signalizaciji moraju biti zaokruženi u jednu cjelinu i ne smije se o njima odlučivati parcijalno.
Izostavljanje jednog signala (podatka) iz informacije najčešće stvara prazninu koja ruši kvalitet informacije i ima direktan utjecaj na sigurnost postrojenja.
Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno usvojili smo kriterije za formiranje informacija.

3. KRITERIJI ZA FORMIRANJE INFORMACIJE O POSTROJENJU

3.1. Prikaz na ekranu i lista dogadjaja moraju dati kvalitetnu informaciju za siguran nadzor i upravljanje.

3.2. Prikaz na ekranu mora biti jednostavan, bez trenutno nepotrebnih podataka. Alarmi i dojave koji su na slici uz vodna i trafo polja prikazuju se samo kada su aktivni i to :
- dojave žuto
- upozorenja žuto
- isključenja ljubičasto
- kvar crveno

3.3. Podaci za nadzor i upravljanje moraju biti odvojeni od podataka za analizu.

3.4. Kratkotrajne prolazne pojave koje nisu bitne ne smiju ometati operatera niti puniti informacioni sistem.

3.5. Bitni alarmi koji su po logici signalizacije kratkotrajni (unutrašnji kvar transformatora) moraju inicirati trajni alarm koji se poništava posebnim postupkom.

3.6. U toku manevra energetskim aparatima ne smiju se javljati alarmi koji su posljedica samog manevra.

3.7. Alarm ne smije biti prisutan kao posljedica uklopnog stanja aparata ili odredjenog režima rada uredjaja.

3.8. Automatske radnje u postrojenju ne smiju izazivati alarm.

4. UTJECAJ SIGNALA NA KVALITETU INFORMACIJE

Signal potpuno ili djelomično formira informaciju. Najlakše ga je promatrati kao digitalnu vrijednost i tako bi vjerojatno bilo kad bi u postrojenjima na izvoru signala imali senzore koji ovise isključivo o promjeni medija koji nadziru.

U lanac informacije vezani su pomoćni releji, koji zavise od pomoćnih napona i odabrane logike za prepoznavanje promjene nadziranog medija.

Formiranje informacije počinje na izvoru signala i završava na ekranskom prikazu. Na tom putu signal prolazi kroz nivoe koje je moguće definirati na slijedeći način:

"A" - nivo izvora signala (senzor)

"B" - nivo medjureleja

"C" - nivo galvanskog odvajanja

"D" - nivo baze podataka

Lanac informacije je postavljen od nivoa "A" do "D". Nivo "B" medjureleji nije uvijek zastupljen, ali se može dogoditi i da ima više relèja u nizu.

Na svakom nivou signal promatramo kroz prizmu:

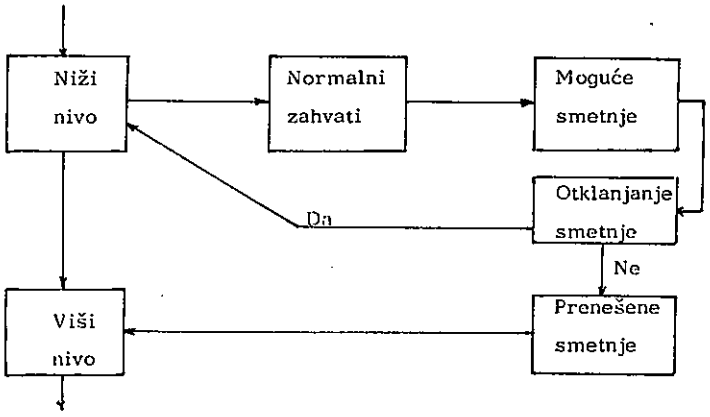
1- normalni zahvati

2- moguće smetnje

3- način otklanjanja smetnje

4.1. Pristup signalu na svakom nivou

Svaki nivo ima svojih specifičnosti u vidu normalnih zahvata i smetnji, a samim tim i načina otklanjanja smetnji. Smetnju je zbog lakšeg otklanjanja moguće prenijeti u viši nivo i tu otkloniti (vidi sliku br.1).



Slika br.1

4.2. Standardni pristup signalu po nivoima

Izvor signala

"A1"- normalni zahvati - senzori za registraciju promjene

"A2"- moguće smetnje - ovisnost o pomoćnom naponu

- ovisnost o tehnološkom procesu

"A3"- otklanjanje smetnje- promjena tipa senzora

- promjena logike signaliziranja

- postavljanje uvjeta pobude

Medjureleji

"B1"- normalni zahvati - postavljanje logike prenosa

- grupiranje u primarnom krugu

"B2"-moguće smetnje - ovisnost o pomoćnom naponu

"B3"-otklanjanje smetnje - zatezanje

- promjena logike prenosa

- postavljanje uvjeta pobude

Galvansko odvajanje

"C1" - normalni zahvati - formiranje informacije (grupiranje)

- formiranje informacije od jednog signala

"C2" - moguće smetnje - ovisnost o pomoćnom naponu

- loše formirana informacija

"C3"- otklanjanje smetnje- izdvajanje iz grupiranja

- formirati novu informaciju

Baza podataka

"D1" - normalni zahvati - formiranje informacije prema mogućnostima programskog sistema

"D2"- moguće smetnje - loša informacija

"D3"- otklanjanje smetnje- promjena u bazi

- promjena na slici

- dopuna novim podatkom

- vraćanje na nivo "A1"

Svi signali u postrojenju podležu provjeri po nivoima. Ukoliko ipak nismo zadovoljni informacijom na nivou "D3" vraćamo se na nivo "A1". Tako revidiramo čitav postupak.

Standardizirani pristup obradi signala omogućio nam je:

- uočavanje nedostataka u fazi revizije projektne dokumentacije
- standardiziranje zahvata kod otklanjanja smetnji
- stvaranje proširene baze podataka koja se koristi kod analizakvarova.

5. PROMJENE NA SIGNALIZACIJI TIPSKOG OBJEKTA

Provjerom signala kroz standardni pristup po nivoima, došli smo do jednog broja signala, koje prema tipu smetnje možemo svrstati u četiri (4) grupe i rješavamo ih na slijedeći način:

5.1. Signali koji ne trebaju inicirati zvučni alarm, odnosno signali koji se isključuju iz grupiranja, te njihove promjene ulaze samo u KRD listu.

- distantna zaštita faza R, S i T - pobuda
- distantna taštita 2 stupanj prorada
- APU uredjaj prorada
- APU uredjaj blokada
- regulator napona blokada

5.2. Signali čije kratkotrajne promjene nisu bitne, odnosno signali čija se pobuda zateže. Vremenski rele ugradjuje se u primarni strujni krug signala na nivou medjureleja i podešava se na 6 sekundi.

- vlastita potrošnja 22o V 5o Hz - nestanak
- ispravljači kvar
- hladjenje kvar

5.3. Signali koji pored vremenskog zatezanja imaju i uvjet pobude

- nestanak mjernog napona za brojila uvjetuje se za:
  a) trafo polja položajem prekidača zavisno od smještaja mjernih transformatora
  b) vodna polja razmjene energije prorada signala uvjetovana je prisustvom napona na vodu.

5.4. Signal koji se poništava posebnim postupkom.

- grupni signal - unutrašnji kvar transformatora aktivira blokadu uključivanja istog. Blokada se signalizira lokalno i daljinski. Deblokada je moguća samo na lokalnom tablou. Osnovni motiv ugradnje blokade bio je da operater u masi signala ne previdi grupni signal kvara.

5.5. Sve izmjene po točkama 5.1 - 5.4 izvedene su na nivou lokalnog ožičenja. Obzirom da se radi o nedostacima koji se ponavljaju iz postrojenja u postrojenje, ove promjene možemo smatrati standardnima.

Bit svega je da su promjene u okvirima zadanih kriterija za formiranje informacije (točka br.3).

6. REZULTATI PROMJENA

- sistem je bolje prilagodjen potrebama operatera što je rezultiralo većom sigurnošću rada.
- operater nakon prihvata alarma ima potpuni uvid u stanje postrojenja i za to mu: je dovoljan ekranski prikaz postrojenja
- alarm na slici prisutan je samo kao posljedica kvara, ali ne i uklopnog stanja aparata.

- operater je oslobodjen dijagnostike (analize .kvara)
- manja i srednja postrojenja prikazuju se na jednoj skici tako da nije potrebno listanje.
- lista dogadjaja operateru zamjenjue pogonski dnevnik.
- lista alarma ja pomoćna lista za prihvat alarma.
- lista kvarova služi za primopredaju smjene i evidenciju
- lista KRD-a koristi se isključivo za analize dogadjaja
- broj signala koje sistem prikuplja znatno je reduciran.

Naime kad promatramo tipsko postrojenje 110 kV sa dva (2) vodna polja i dva (2) energetska transformatora u trenutku neuspješnog jednopolnog ponovnog uklopa na jednom vodu (IP-APU), broj reduciranih podataka možemo vidjeti na slijedećoj tabeli:

Tabela I

	Prije	reducirano	Sada
Lista dogadjaja	18	11	7
Lista KRD	48	24	24
Σ sig. pren. u centar	66	35	31

Navedene brojčane vrijednosti variraju zavisno od poremećaja na mreži, ali je sigurno da je količina podataka koji se prenose u CDU smanjena za približno 50%. Uzimajući u obzir činjenicu da poremećaj u mreži utječe na više postrojenja možemo zaključiti da je informacioni sistem znatno rasterećen. Posebno treba napomenuti da KRD lista i dalje ima sve podatke potrebne za analizu kvara. Zbog dislociranosti postrojenja ta činjenica svakim danom dobiva na važnosti.

7. OBRADA INFORMACIJA U BUDUĆNOSTI

Analize dogadjaja u EES-u opravdale su svoju svrhu. Na osnovu istih poboljšanja su se ogledala u domenu intervencija, kontrole rada opreme, edukcije operatera, organizacije rada i sl. Liste postaju dokumenti na osnovu kojih se izvode važni zahvati. Bitan nedostatak je još uvijek teško snalažen je u listama, pa shodno tome analizu može izvršiti samo mali broj stručnih ljudi, a ponekad je potreban čitav tim. U daljnjem radu nastojati ćemo podatke na listama informatički obraditi i ponuditi korisnicima mogućnost brze selekcije podataka, a samim tim i lakšu analizu. Obrada bi se vršila izvan realnog vremena i u prvoj fazi razvoja imala bi istu organizaciju programa kao kod ručne obrade.

U drugoj fazi razvoja obrade predvidjamo stvaranje programa koji će na bazi logičkog modela postrojenja moći komparirati dobivene podatke i na taj način ukazati na moguće kvarove. Osnov za daljnju obradu podataka bila bi proširena baza podataka, koja bi se formirala o svakom signalu po ključu - standardnog pristupa obradi signala (točka 4.2).

8. ZAKLJUČAK

Svi navedeni problemi vezani za signalizaciju, kao i načini riješavanja bilo su potencirani iz čisto praktičnih razloga nadzora i upravljanja postrojenjima.

Proučavajući sadašnje i buduće sisteme za prikupljanje podataka došli smo do saznanja da će zahvati na nivou lokalne automatike i izvora signala uvijek biti aktualni.

Naš cilj bio je da zahvatima na nivou lokalne automatike razdvojimo direktne od indirektnih, odnosno korisne od nekorisnih informacija za dati momenat.

Dalji cilj bio je da se stvori standardni sistem prilaza obradi signala, kako bi se olakšao rad stručnim suradnicima koji rade na prilagodjenjima i obradi podataka.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Miklavčič Stanislav, dipl. ing.
Kozole Milan, dipl. ing.
Iskra Kibernetika Kranj
Podjetje Stevci

Referat broj 2.07

SPREMLJANJE ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA IN OBDELAVA PODATKOV S SISTEMOM ISKRAMARTIC - SEP2

POVZETEK

Zmanjševanje stroškov električne energije na enoto proizvoda je bistveno za vsako proizvodnjo, katere cilj je ustvariti dobiček. Ti stroški pa se lahko znižajo le, če ima uporabnik pravočasne in točne podatke o lastni porabi električne energije. V ta namen so se na tržišču pojavili sistemi za spremljanje, nadzor in obračun električne energije.

V članku je opisan sistem ISKRAMATIC SEP2 za merjenje, registriranje in obdelavo podatkov ter obračun električne energije pri velikih in srednje velikih porabnikih. Sistem je sestavljen iz merilnih mest v omrežju, kjer se meri pretok električne energije in centra za nadzor in obdelavo podatkov. Podatki se obdelajo in prikažejo lokalno na merilnem mestu, hkrati pa se pošljejo po javnem telefonskem omrežju ali kakšnem drugem komunikacijskem kanalu v center za nadzor za nadaljno obdelavo.

ABSTRACT

Reduction of electric energy costs per unit of product is essential for any production whose goal is to make a profit. The costs can be reduced only if the consumer has prompt and accurate information about his electric power demand. To meet these requirements systems for monitoring, control and billing of electric energy have appeared on the market.

The ISKRAMATIC SEP2 system for measurement, registration, data processing and billing electric energy at premises of large and medium consumers is described in the paper. The system consists of measuring locations in a grid where flow of electric energy is measured and of a data processing and monitoring center. The data are both processed and displayed locally and send via a public telephone network or some other communication channel to a center for further data processing and monitoring.

1 UVOD

Sistem ISKRAMATIC - SEP2 obsega kompletno merjenje električne energije, zbiranje podatkov o pretoku energije, prenos podatkov po komunikacijskih kanalih in obdelavo podatkov na centralnem mestu.

Sistem je sestavljen iz merilnih mest in iz centra za obdelavo podatkov. Merilno mesto je sestavljeno iz registratorja podatkov POREG 4 ali POREG 4P, na katerega lahko priključimo 4 ali 8 števcev električne energije z dajalnikom impulzov. Lokacija merilnega mesta je pri lokaciji števcev električne energije, npr. v tarnsformatorski postaji. Merilno mesto je preko modema povezano s centrom za obdelavo podatkov. Center za obdelavo podatkov predstavlja IBM XT/AT kompatibilni računalnik.

Sistem je namenjen za instalacijo v visokonapetostnem omrežju, kjer lahko obdeluje podatke s 150 merilnih mest, vendar pa je velikost sistema lahko tudi večja, če to dopušča spominski prostor na centralnem računalniku.

2 MERILNO MESTO

Merilno mesto je skupek naprav, ki so sposobne meriti električno energijo, koncentrirati podatke, jih shranjevati in jih na poziv posredovati preko komunikacijskih kanalov na centralno mesto. Osnovna naprava na merilnem mestu je podatkovni registrator POREG 4, na katerega lahko priključimo 4 števce električne energije, ali pa POREG 4P, na katerega pa lahko priključimo 8 števcev električne energije. Registrator zajema impulze z vseh števcev, jih shranjuje v polprevodniški spomin in na poziv posreduje podatke preko komunikacijskih medijev. Poleg teh osnovnih funkcij vrši tudi funkcije lokalne obdelave ter mnoge pomožne funkcije.

2.1 Karakteristike registratorja POREG 4

- možnost sprejemanja impulzov iz 4 ali 8 števcev električne energije,
- testiranje pravilnosti prejetega impulza z izločanjem impulzov krajših od 30 ms,
- registracija podatkov števcev in shranjevanje do 36 dni za 15-minutno in

30-minutno merilno periodo, oziroma shranjevanje podatkov števcev do 8 dni za 5-minutno merilno periodo,
- vizuelna indikacija impulzov števcev,
- izhodni kontakt za krmiljenje tarif števcev. Tarifni časi se programirajo v registratorju,
- optična signalizacija visoke in nizke tarife,
- izhodni kontakt za impulz merilne periode v trajanju 9 sekund ob koncu vsake periode,
- optična signalizacija impulza merilne periode,
- izhodni kontakt za alarm ob izpadu glavnega napajanja ali ob indikaciji napake v registratorju,
- optična signalizacija alarma

2.2 Funkcije lokalne obdelave

- definiranje karakteristik posameznih vhodov kot: sekundarne konstante, primarne konstante,
- definiranje dveh sum,
- definiranje tarifnih časov,
- vnos in pregled vrednosti pretoka sekundarne energije ločeno za vse vhode in obe sumi, tako v višji kot nižji tarifi,
- pregled mesečnih maximalnih vrednosti za posamezne vhode in sume, ločeno za višjo in nižjo tarifo, z naznako časa, kdaj je nastopila in to za zadnjih dvanajst mesecev,
- vnos in prikaz tekočega časa, datuma in kode registratorja,
- pregled statusnih in informacijskih podatkov,
- autotest registratorja,

2.3 Prenos podatkov in vrste protokolov

Podatkovni registrator komunicira z zunanjim svetom preko komunikacijskih kanalov.

Primarni komunikacijski kanal registratorja je modemska povezava na javno telefonsko omrežje. To omogoča dnevni prenos podatkov na centralno mesto, obenem pa ni potrebno vzpostavljati posebne komunikacijske strukture.

Sekundarni komunikacijski kanal je optična povezava med registratorjem in odjemno napravo PONA4 ali prenosnim računalnikom. Preko naprave PONA4 ali prenosnega računalnika se podatki prenesejo na centralno mesto. Kanal je potreben v primeru, da je komunikacija po osnovnem kanalu motena ali sploh ni mogoča.

Oba kanala sta enakovredna v smislu, da se preko njiju prenašajo povsem enake informacije. V centru za obdelavo vse protokole, ne glede na to, kako so bili

zbrani, obdelamo na povsem enakovreden način. Prednost primarnega kanala je predvsem v tem, da omogoča avtomatizirano in za uporabnika enostavnejše zbiranje podatkov.

Prenos informacij poteka v obliki podatkovnih blokov. Ti bloki so enotne oblike, ne glede na to, ali je informacija ukaz, tekst, status ali merilni rezultat. Oblika blokov je sledeča :

- sinhronizacijski znaki
- začetek bloka
- adresa ponora podatkov
- adresa izvora podatkov
- dolžina podatkov
- podatki
- zaščitna koda

POREG 4 lahko na ukaz posreduje sledeče protokole :

- protokol o impulzih za zadnjih 36 dni, za 15 minutno merilno perido,
- protokol o maximalnih vrednostih po mesecih za zadnjih 12 mesecev
- protokol o času in datumu
- protokol o definiranih vrednostih (sek. in pri. konstante, def. sum)
- protokol o tarifnih časih
- protokol o statusnih podatkih

Poleg tega lahko sprejme podatke o :

- času in datumu
- definiranih vrednostih
- tarifnih časih

3 CENTER ZA NADZOR IN OBDELAVO PODATKOV

V sistem ISKRAMATIC - SEP2 je vključen tudi center za nadzor in obdelavo podatkov. Center za nadzor in obdelavo predstavlja IBM XT/AT kompatibilni računalnik, ki je preko modema povezan na javno telefonsko omrežje. V sistem je lahko vključenih tudi več centrov za nadzor in obdelavo podatkov.

Za nemoteno delo s sistemom skrbi programski paket IM_SEP2. Programski paket je napisan v obliki menujev, tako da od uporabnika ne zahteva poznavanja računalništva. Programski paket je razdeljen na tri dele :
- komunikacija z merilnim mestom
- izračun in izpis protokolov
- nastavitev parametrov sistema

3.1 Komunikacija z merilnim mestom

Računalnik komunicira z merilnim mestom preko vgrajenega modema po javnem telefonskem omrežju. Programski paket omogoča ročno ali avtomatsko klicanje merilnih mest. Pri ročnem klicanju se vzpostavi zveza z izbranim merilnim mestom in z njim izmenjamo določene protokole. Pri avtomatskem klicanju pa računalnik kliče vnaprej izbrana merilna mesta in z njimi izmenjava določene protokole. Avtomatsko zbiranje podatkov lahko sprožimo preko tastature, lahko pa določimo uro, ko želimo, da se zbiranje podatkov prične. Določimo pa lahko tudi periodo zbiranja podatkov, ki pove čez koliko časa naj se zbiranje podatkov ponovi. Hkrati pa se vodi tudi statistika avtomatskega klicanja podatkov, katera omogoča kasnejši pregled uspešnosti komunikacije. Tako ima uporabnik možnost, da povsem avtomatizira zbiranje podatkov. Lahko pa se zgodi, da komunikacija z merilnim mestom po javni telefonski mreži ni možna. V tem primeru moramo obiskati merilno mesto, kjer s prenosnim računalnikom ali z napravo PONA4 zberemo podatke, nato pa te podatke prenesemo v centralni računalnik. Če pa imamo na merilnem mestu podatkovni registrirnik z vgrajeno 'spominsko kartico' (memory card), pa odnesemo spominsko kartico do centralnega računalnika, kjer z nje preberemo željene podatke. Po končani komunikaciji lahko pregledamo število impulzov za posamezno merilo mesto. Če za nek vhod ne moremo dobiti podatkov o potrošeni energiji, oziroma če smatramo, da nek podatek ni pravilno vpisan, lahko ta podatek vnesemo preko tastature. Vendar se pri izračunu ročno vnešen podatek ne obravnava enakovredno z drugimi podatki, ki so prišli v računalnik po drugi komunikacijski poti. Pri rezultatu, izračunanim z ročno vnešenim podatkom, se izpiše zvezdica.

3.2 Izračun in izpis protokolov

Ta del programskega paketa omogoča obdelavo, izračun in izpis merilnih rezultatov na ekran in na printer. V programskem paketu lahko izbiramo med več vrstami obdelav :

- obdelava za posamezno merilno mesto
  Tu se obdelajo in izračunajo merilni rezultati za vse priključene števce električne energije na določenem merilnem mestu, ter za dve definirani sumarni meritvi na nivoju merilnega mesta.

- obdelava za grupo merilnih mest, ki po nekih kriterijih spadajo skupaj
  Pri tej obdelavi se obdelajo in izračunajo merilni rezultati za določeno grupo merilnih mest, ki je sestavljena iz vsot ali razlik posameznih vhodov na različnih merilnih mestih.

Glede časovne periode obdelave pa ločimo :

- dnevni protokol, v katerem so obdelajo merilni rezultati za določen dan,

- mesečni protokol, v katerem se obdelajo merilni rezultati za določen mesec,
- protokol s poljubno nastavljivo časovno periodo, v katerem je časovna perioda poljubno nastavljiva.

Vsak izračunan protokol vsebuje podatke o kumulativni potrošnji energije po tarifah, vrednost in čas nastopa maximalne in minimalne doseženi moči. Pri dnevnem protokolu lahko opazujemo tudi doseženo moč ali potrošeno energijo v časovnih periodah, ki so enake ali večje merilni periodi. Pri mesečnem protokolu pa lahko opazujemo potrošeno energijo ali povprečno doseženo moč po dnevih, velikost in čas nastopa maximalne in minimalne dosežene moči za vsak dan v mesecu po tarifah. Vse izračunane protokole lahko prikažemo tudi grafično. Izbiramo lahko med stolpičastimi in linijskim grafom. Zaradi boljše preglednosti pa lahko na en diagram narišemo tudi več grafov.

3.3 Nastavitev parametrov sistema

V tem delu programskega paketa definiramo parametre, ki so potrebni za delovanje sistema. Za vsako merilno mesto moramo določiti telefonsko številko, zaščitno kodo, vrsto komunikacije, dolžino merilne periode(1,3,5,15,30 ali 60 minut), primarne in sekundarne konstante, tarifne čase, ...

4 ZAKLJUČEK

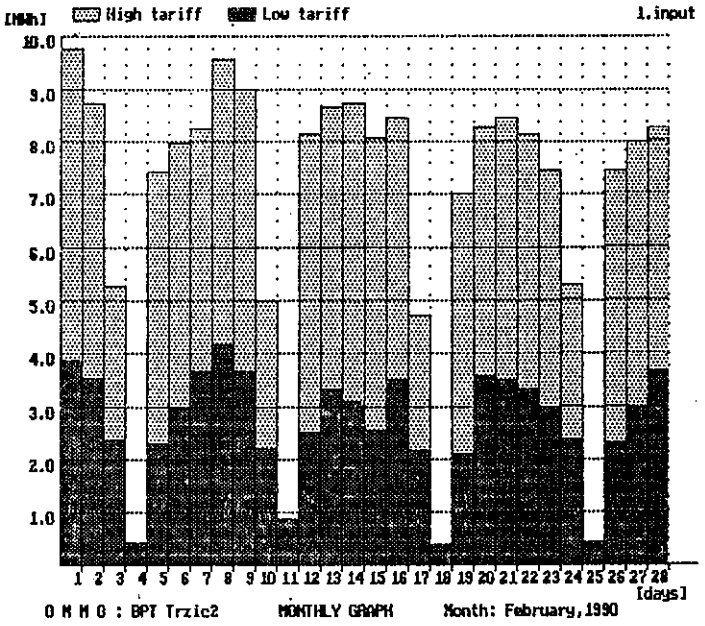
V sistem ISKRAMATIC - SEP2 so vgrajene funkcije, za katere smatramo, da jih porebuje vsak uporabnik. Vendar pa je sistem zasnovan tako, da ga enostavno širimo in vgrajujemo funkcije, katere definira uporabnik in niso vključene v osnovi paket. Prav tako sistem podpira tudi druge aplikacije, ki potrebujejo podatke, katere lahko zagotovi sistem SEP2.

LITERATURA

/1/ S. Miklavčič, M. Kozole, T. Perne : Vrednotenje merilnih rezultatov električne energije, njihov prenos in oblikovanje protokolov za spremljanje in obračun ter statistično obdelavo električne energije. VII. Stručno savetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat 1988, str. 79-87.

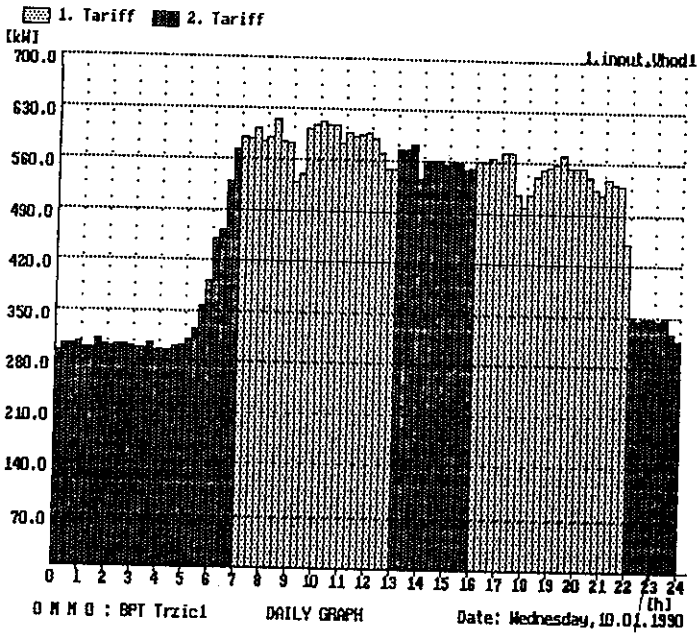
/2/ Navodilo za uporabo programskega paketa ISKARAMATIC -SEP2

```
Registered energy
Month : 02.90
OMMO : BPT Trzic2 , 1. input

Total consumption

   HT :       95683.200   kWh
   LT :       62637.600   kWh
-----------------------------
HT+LT :      158320.800   kWh

Maximum Per/Step 15/15 min

HT :      542.400   kW   03.02.90  at 12:45
LT :      532.800   kW   03.02.90  at 13:45

Minimum Per/Step 15/15 min

HT :        9.600   kW   03.02.90  at 16:45
LT :        0.000   kW   19.02.90  at 01:30
```



Mesečni protokol

```
Registered energy
Date : 10.01.90
OMMO : BPT Trzic1 , 1. input : Vhod 1

Total consumption

   HT :        6770.312   kWh
   LT :        4721.062   kWh
-----------------------------
HT+LT :       11491.375   kWh

Maximum Per/Step 15/15 min

HT :      614.250   kW   at 08:30
LT :      584.500   kW   at 13:45

Minimum Per/Step 15/15 min

HT :      449.750   kW   at 22:00
LT :      294.000   kW   at 00:15
```



Dnevni protokol

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Ribnikar Vinko, dipl.ing.
Iskra Kibernetika, Kranj

Referat broj 2.08

MOŽNOSTI UPRAVLJANJA V SISTEMU DALJINSKEGA OMREŽNEGA TONFREKVENČNEGA KRMILJENJA Z NOVIMI MTK SPREJEMNIKI

VSEBINA

Pomemben del sistema daljinskega omrežnega tonfrekvenčnega krmiljenja predstavljajo omrežni tonfrekvenčni sprejemniki. Ta trditev se pokaže za pravilno predvsem takrat, ko želimo sistem ne samo uporabljati, ampak ga tudi racionalno in učinkovito izrabljati. Tedaj pridejo do veljave zmožnosti prilagoditve konstrukcije in funkcij sprejemnika različnim, tudi specifičnim uporabam na raznih mestih. Te zmožnosti so se zelo povečale v novih omrežnih tonfrekvenčnih sprejemnikih z uporabo novih tehnologij, procesorske tehnike in novih integriranih elementov.

V referatu so predstavljene specifične uporabe in nove funkcije omrežnih tonfrekvenčnih sprejemnikov, ki do sedaj niso bile izvedljive, oziroma so se kazale kot predrage opcije. Predvsem so obdelane dodatne funkcije, ki dopolnjujejo osnovno funkcijo sprejemnika, ter na ta način poenostavljajo in razširjajo uporabo omrežnega krmilnega sistema. Vse to je podprto s primeri rešitev v novih tipih omrežnih tonfrekvenčnih sprejemnikov, ki jih proizvaja Iskra Kibernetika, Kranj.

A ripple control receiver is an essential part of a distant ripple control system. This statement becomes really true when the system is going to exploit efficiently and not just used. The advantage of new generation of ripple control receivers is possibility to adapt them to different design and function requirements in order to meet different tasks on different control

locations. This is enabled by employing of new technologies, mycroproccesor technique and a new generation of integrated circuits in the receivers.

Some special applications and new functions of ripple control receivers, which were not possible or were too expensive by the previous receivers, are given in the paper. Additional functions exécuted by the receivers, which simplify and enlarge application area of the ripple control system are emphasized. All functions are illustrated by examples of technical solutions employed in ripple control receivers made by Iskra Kibernetika, Kranj.

1 UVOD

Daljinsko omrežno tonfrekvenčno krmiljenje (MTK) je najbolj razširjen način daljinskega kontroliranja in upravljanja porabnikov pri malih potrošnikih. Zaradi svoje razdrobljenosti predstavljajo le ti specifičnega, toda v celoti gledano dokaj velikega porabnika. Trenutno le MTK sistem omogoča dokaj zanesljiv in takojšen neposreden dostop do vseh teh porabnikov, ne da bi bilo potrebno za to dodatno vlagati v izgradnjo informacijskih prenosnih poti. Ko je sistem enkrat postavljen, pa ga je mogoče uporabiti tudi za razne druge splošne in specialne krmilne funkcije, ki razširjajo uporabo sistema na različna področja in za razne namene.

Signal v sistemu predstavljajo impulzi tonske frekvence (startni impulz in določeno število podatkovnih impulzov) združeni v časovni impulzni telegram (ČIT). Kombinacije podatkovnih impulzov tvorijo sporočila. Ti se na centralnem mestu, kjer je nameščen oddajnik, preko prilagoditvenih elementov superponirajo na visoko napetost omrežja. Od tu se potem razširjajo po prenosnem elektroenergetskem omrežju do omrežnih tonfrekvenčnih sprejemnikov (TS), ki so nameščeni na nizkonapetostni strani. Sprejemniki, na osnovi teh sporočil in v odvisnosti od svojih prej določenih ukazov, preko izhodnih izvršnih elementov krmilijo direktno ali indirektno najrazličnejše porabnike energije in druge naprave, ki jih želimo daljinsko kontrolirati in upravljati. Na ta način je mogoče s centralnega mesta krmiliti več desttisoč sprejemnikov, oziroma preko njih upravljati in krmiliti veliko število različnih porabnikov in naprav.

S svojimi zmožnostmi predstavlja sprejemnik bistven elemet za racionalno in učinkovito izrabo omrežnega krmilnega sistema. Z novimi sprejemniki, ki so zasnovani na novih tehnologijah in uporabi enočipnih mikroračunalnikov, so se odprle razne dodatne možnosti uporabe sprejemnika na različnih mestih in za razne namene. Tu se predvsem misli na miniaturizacijo in pa na dodatne funkcije, ki dopolnjujejo ali celo v nekaterih primerih zamenjujejo osnovne naloge sprejemnika, to je odzivanje na tonfrekvenčne signale v omrežju. Z dodatnimi funkcijami so se na ta način delno odpravile slabosti MTK sistema kot enosmernega komunikacijskega sistema.

2 MOŽNOSTI KRMILJENJA Z MTK SISTEMOM

Daljinsko omrežno tonfrekvenčno krmiljenje je namenjeno predvsem za upravljanje porabnikov pri malih potrošnikih (gospodinjstvo, obrt, kmetijstvo, trgovina, ustanove in uradi, itd.), ki so zelo razdrobljeni, toda v celoti gledano predstavljajo dokaj veliko obremenitev. Ti se med seboj tudi zelo razlikujejo in vsak od njih zahteva specifične načine krmiljenja in upravljanja. Na ta način skušamo enakomerno porazdeliti porabo v nekem časovnem obdobju (npr. v teku dneva) ter vplivati na zmanjšanje maksimalne obremenitve energetskega vira.

Razen široke potrošnje pa je sistem daljinskega krmiljenja mogoče uporabiti tudi na drugih področjih (industrija, distribucija in registracija električne energije, plina in vode, zdravstvo, promet, javne službe, itd) za razna splošna in specialna krmiljenja porabnikov in naprav.

KRMILJENJE PORABNIKOV	SPLOŠNE KRMILNE FUNKCIJE	SPECIALNE KRMILNE FUNKCIJE
termoakumulacijske peči,	krmiljenje tarife,	alarm,
akumulacijski bojlerji,	krmiljenje kumulat.	poziv,
klima naprave,	števcev,	preklop energetskih
hladilne naprave,	sinhronizacija kazal.	naprav,
peči za direktno gretje,	maksimuma,	vključevanje
peči za central. gretje,	cestna razsvetljava,	kondenzator. baterij,
toplotne črpalke,	ulična razsvetljava,	alarm,
vodne črpalke,	osvetlitev izložb,	meritve,
ventilatorji,	reklamni napisi,	prometna signalizacija,
industrijski stroji,	tunelska razsvetljava,	itd.
hišni porabniki,	itd.	
kompresorji,		
pretočni bojlerji,		
itd.		

3 ZAHTEVE, KI JIH MORAJO IZPOLNJEVATI NOVI SPREJEMNIKI

3.1 Prilagodljivost sprejemnika za različne uporabe

Z novimi tehnologijami v proizvodnji (predvsem SMD) ter združevanjem funkcij v posameznih integriranih vezjih, so se občutno zmanjšale dimenzije plošč tiskanih vezij, na katerih je elektronika sprejemnika. Zaradi tega je mogoče sprejemnik zelo hitro prilagoditi vsaki novi konkretni zahtevi, tako po velikosti kot številu izhodnih stikal, ki krmilijo porabnike. Obstajajo že sprejemniki, ki jih je mogoče vgraditi direktno v razne krmiljene naprave, kjer to prej zaradi svoje velikosti ni bilo mogoče. Na ta način se privarčuje na prostoru v razdelilnih omaricah, ki se lahko sedaj izkoristi za montažo

drugih naprav. Posebno je to interesantno tam, kjer do sedaj sprejemnika zaradi prostora ali neprimernih instalacij sploh ni bilo mogoče vgraditi ali koristno uporabiti. Največ pa se pridobi z vgradnjo sprejemnika direktno v porabnike v primeru uporabe dinamične tarife, ker se lahko na ta način izognemo velikim stroškom za izgradnjo posebnih instalacij za krmiljenje močnostnih porabnikov. Sprejemnik je sedaj že možno vgraditi direktno v ali pod števec električne energije, v tarifne naprave, v močnostne porabnike (termoakumulacijske peči, bojlerje, itd.), v kandelabre za javno razsvetljavo, itd.

Tudi v Iskri gremo v korak s temi trendi. V našem proizvodnem programu obstajajo razne variante sprejemnikov, ki so namenjeni različnim uporabam. Tako imamo poleg standardnega sprejemnika TS5 za samostojno montažo, ki predstavlja konstrukcijsko in funkcijsko najbogatejšo izvedbo, še druge variante. To so : - sprejemnik TS31 kot nadomestilo za klasično stikalno uro,
- sprejemnik TS6 za vgradnjo v kandelabre,
- sprejemnik TS7 za vgradnjo v števec električne energije,
- sprejemnik za vgradnjo v močnostnega porabnika,
- sprejemnik za priključitev direktno v vtičnico,
- sprejemnik za dogradnjo pod števec električne energije.

Te variante se razlikujejo po zunanjih merah, po vrstah in stopnjah zaščite ohišij, po številu izhodnih stikal, po moči teh stikal, po izvedbi izhodnih priključkov, po številu različnih funkcij, itd. Toda to so le variante, ki so trenutno realizirane, jih je pa mogoče zaradi svoje zasnove hitro prilagoditi novim zahtevam.

3.2 Povečana življenska doba in zanesljivost sprejema

Omrežni tonfrekvenčni sprejemnik je v eksploataciji stalno priključen na nizkonapetostno omrežje, iz katerega se napaja in dobiva koristen tonfrekvenčni signal. Zato predstavlja vhodni del skupaj s filterskim delom najkritičnejši del sprejemnika, saj sta neprestano podvržena različnim motnjam in udarom. Zaradi tega se na vhodnem delu posveča največ pozornosti zaščiti pred prenapetostim ter raznim elektromagnetnim motnjam, kar po eni strani zahtevajo novi predpisi, po drugi strani pa tudi omogočajo novi zaščitni elementi ter testne naprave, ki simulirajo te situacije. Velik napredek je viden tudi v filterskem delu, kjer se povečuje selektivnost ter časovna in temperaturna stabilnost vhodnih pasovnih filtrov. Veča se zanesljivost sprejema tudi pri malih signalih in v omrežjih z veliko motenj. Dimenzije filterskega dela se manjšajo in največkrat je to le ena kompaktna enota, s čimer se povečuje zanesljivost delovanja. Do pred kratkim so bile največ v uporabi hibridni filtri, ki pa so jih skoraj že v celoti izrinili integrirani switch - capacitor (SC) filtri v univeralnih izvedbah. Ti pokrivajo celotno tonfrekvenčno področje in ki jih je zelo enostavno prilagajat posameznim frekvencam.

Toda razvoj gre še naprej v smeri digitalnih filtrov, ki so že izvedljivi za to aplikacijo, vendar pa cena trenutno presega praktično uporabo. Toda s tem se pridobi na univerzalnosti, saj se karakteristika filtra in komparatorja določa s programom in jo je možno sproti prilagajat zahtevam. Na ta način odpade vsako poseganje v sprejemnik, ko je ta enkrat izdelan.

Tudi v novih Iskrinih sprejemnikih se je temu delu posvetila velika pozornost. Kot filter se v vseh sprejemnikih uporablja integrirani SC filter, ki je univerzalne izvedbe in kateremu se centralna frekvenca nastavlja z digitalno kodo. Na ta način je možno zelo hitro s posegom v sprejemniku prilagoditi centralno frekvenco filtra novim zahtevam. Filterska karakteristika je v celoti določena s tehnologijo in se od zunaj ne more spreminjat. V integriranem vezju je poleg filtra vključen tudi komparatorski del, ki analogne signale pretvarja v digitalno obliko za nadaljno obdelavo v dekoderskem delu. Tudi komparatorski del ima nekatere novosti in sicer zaznava višino signala ter v odvisnosti od tega popravlja dolžine analognih impulzov na digitalnem izhodu. Na ta način ne prihaja do takih razlik med dolžinami impulzov pri velik ali majhnih signalih.

3.3 Univerzalnost pri določanju uporabniškega programa sprejemnika

Pri obvladovanju velikega števila zelo različnih porabnikov in drugih naprav, je potrebno le te še teritorialno in številčno porazdeliti , tako da je omogočen dostop tako do posameznih porabnikov kot tudi skupin porabnikov. Na ta način pa zelo hitro raste število različnih uporabniških programov sprejemnika, ki reagirajo na različna sporočila od oddajnika oziroma centrale. To je še posebno problematično, če sistem deluje na visokem napetostnem nivoju, kjer pokriva zelo veliko področje in s tem tudi veliko porabnikov.

Sprejemnik mora zato omogočati enostavno določanje,univerzalno izbiranje in spreminjanje teh uporabniških programov oziroma ukazov, tudi na terenu. število ukazov v enem uporabniškem programu mora biti zadostno, tako da lahko v sprejemniku vsako izhodno stikalo krmilimo neodvisno (selektivno) in odvisno (grupno). Vsak ukaz lahko povežemo na katerokoli izhodno stikalo ali kombinacijo stikal.Izbira podatkovnih impulzov mora biti prosta, tako da lahko vsako impulzno mesto v telegramu definiramo kot impulz adrese (aktivno impulzno mesto Ø, aktivno impulzno mesto 1 ali nepomembno impulzno mesto X) ali izvršni impulz. Sprejemnik tudi ni več vezan na en tip telegrama, saj se ta določa prav tako v uporabniškem programu. Ti telegrami so lahko tipa RZ s pauzami med podatkovnimi impulzi kot tipa NRZ brez pauz med podatkovnimi impulzi. Omejitev je edino v številu podatkovnih impulzov, ki je ponavadi omejeno na maksimalno 5Ø.

V vseh novejših tipih sprejemnikov se uporabniški program definira v zunanjih spominskih vezjih, bodisi da je to PROM, EPROM ali EEPROM. Medtem ko je pri PROM in EPROM spominu le tega treba vpisati zunaj sprejemnika, pa se pri EEPROMu uporabniški program vpisuje in spreminja v samem sprejemniku preko posebnih konektorjev. Kljub temu vse te variante omogočajo dokaj enostavno in naknadno definiranje uporabniških programov, bodisi v tovarni, pri samem uporabniku ali celo na terenu. Na ta način tudi odpadejo variante sprejemnika, saj se vse funkcije definirajo naknadno v spominskem modulu.

V vseh naših novih sprejemnikih se uporabniški program definira s PROM spominskim vezjem, ki se vpiše naknadno in s tem definira program. PROM je v posebnem ohišju, s čimer je olajšano rokovanje in vstavljanje v posebej pripravljeno podnožje. V najbogatejši izvedbi glede funkcij, sprejemniku TS5, je

možno izbirati v PROMu do 16 različnih med seboj neodvisnih ukazov s kakršno koli kombinacijo podatkovnih impulzov, pri katerem lahko vsak vpliva na katerokoli izhodno stikalo ali kombinacijo stikal. V ostalih tipih imamo še vedno prisotno univerzalnost s tem, da je število ukazov omejeno na maksimalno 8.

3.4 Racionalno oddajanje in sprejemanje sporočil

V sprejemniku je mogoče izbirati različne časovne funkcije, ki lahko v veliki meri racionalizirajo oddajo telegramov in vplivajo na enakomernejšo obremenjevanje in razbremenjevanje energetske vira in prenosnega sistema. Tako lahko z enim samim sporočilom sprožimo več funkcij, ki pa si sledijo v nekem časovnem zaporedju. S tega stališča sta pomembni predvsem časovna funkcija zakasnitve in prostega teka.

Zakasnitve omogočajo, da uporabnike razdelimo po različnih zakasnitvah, s čimer lahko z enim sporočilom dosežemo enak učinek kot z večimi sporočili. Na ta način pridemo do enakomernejšega vključevanja in izključevanja porabnikov. Časovna funkcija prostega teka lahko nadomešča periodične krmilne funkcije s tem, da sporočilo pride samo enkrat, nato pa sprejemnik samodejno periodično preklaplja. Časi preklopov so lahko različni (v TS5 je možno izprogramirati do 4 različne periode), prav tako se ti lahko razlikujejo od sporočila do sporočila. Časovne funkcije lahko prožimo neodvisno na vsakem stikalu, poleg tega pa lahko posameznim časovnim funkcijam priredimo tudi prioritete, kar nam še olajša krmiljenje, saj nam ni treba skrbeti, katera funkcija ima prednost pred drugo. Na ta način lahko na enem izhodnem stikalu prožimo razne periodične časovne funkcije z različnimi časi (krmiljenje tarife, sinhronizacija kazalnika maksimuma, itd). Poleg teh dveh časovnih funkcij obstaja tudi impulzna časovna funkcija, ki se lahko izrabi za merjenja in testiranja pred reagiranjem na razne situacije v energetskem sistemu in okolici.

3.5 Preprečevanje vklopnih sunkov po ponovni vzpostavitvi omrežja

Do sedaj so ob izpadih omrežja porabniki ostajali v nespremenjenem vključenem ali izključenem stanju. Vsi vključeni porabniki so zato ob ponovnem zagonu predstavljali velike obremenitve, zaradi katerega ti poizskusi niso bili vedno uspešni. Pri tem so bili posamezni elementi omrežja izpostavljeni velikim trenutnim obremenitvam, zaradi česar so ti odpovedovali ali pa je to vplivalo na njihovo krajšo življensko dobo.

Novi sprejemniki ta problem lahko v celoti odpravijo. Ker imajo veliko rezervo v energiji (uporaba CMOS elemntov, izhodna stikala z majhno porabo, velike kapacitivnosti kondenzatorjev itd), lahko še določen čas po izpadu napajalne napetosti izklopijo porabnike (do 2,5 sekunde). Čas izpada se v sprejemniku kontrolira in le če je ta daljši od izprogramiranega, se to tudi izvrši, drugače sprejemnik te prekinitve premošča brez prekinitev. Poleg tega da so sedaj bremena izklopljena in s tem razbremenjeno omrežje ob zagonu, pa se v sprejemniku lahko stanja ob izpadu napajanja tudi registrirajo in zapišejo v EEPROM spominske enote, ki služijo za pomnenje začasnih podatkov. Na ta način je možno potem bremena po neki zakasnitvi zopet povrniti v prejšno

stanje, pri čimer z oddajniške strani ni potrebno nobeno reagiranje.

3.6 Možnost neodvisnega delovanja sprejemnika od daljinskega signala

V sprejemniku je možno izprogramirati razne časovne funkcije, ki ne reagirajo samo na sporočila iz centra, ampak se lahko začno neodvisno izvajati takoj po priključitvi sprejemnika na napajalno napetost. Te časovne funkcije lahko izbiramo neodvisno za posamezna stikala. Na vsakem stikalu lahko začetne časovne funkcije kombiniramo s časovnimi funkcijami, ki jih startajo ukazi. Na ta način je možno sprejemnik uporabiti kot običajno stikalno uro, kot napravo za krmiljenje kazalnika maksimuma, itd. Preko daljinske komande pa lahko vršimo sinhronizacijo internih časovnih funkcij s časom centralne ure.

3.7 Povečanje prepustnosti prenosnega sistema za sporočila

Kadar delamo z majhnim številom ukazov, nas ne zanima toliko, kako hitro eden za drugim lahko pošiljamo časovne impulne telegrame v omrežje . Toda v velikih sistemih, kjer imamo veliko različnih ukazov in kadar želimo hitro reagiranje na določene spremembe v obremenitvi energetskega sistema, pa je kritičen čas v katerem lahko pošljemo en ali več telegramov.

Normalno sprejemnik spremlja telegram od začetka do konca in opazuje podatkovne impulze. Toda na ta način lahko naslednje sporočilo oddamo šele, ko je prejšni telegram končan. Če pa želimo hitro posredovanje, pa je potrebno na nek način ustaviti kontrolo v sprejemniku. Zato se v sprejemniku lahko izprogramirajo določeni impulzi, ki pomenijo za njega reset, tako da se po sprejemu le tega, vrne v izhodiščni položaj in je takoj pripravljen na sprejem naslednjega sporočila. Resetne impulze pošiljamo iz centralnega mesta, bodisi po zadnjem podatkovnem impulzu v telegramu, s čimer krajšamo čas oddajanja oziroma delovanja oddajniškega sistema, ali pa v nujnem primeru ustavimo oddajanje manj pomembnega telegrama, da bi lahko emitirali neko zelo pomembeno sporočilo.

V sprejemnikih Iskre je možno zakodirati več vrst resetnih impulzov, odvisno od zahtev, bodisi da je to impulz, ki se nahaja na točno določenem mestu v telegramu, bodisi da se ta impulz nahaja kjerkoli v telegramu, vendar pa se razlikuje po dolžini od ostalih.

3.8 Prevzemanje funkcij upravljanja ob izpadu signala

V primeru kakršnekoli daljše prekinitve sprejemanja signala (izpad oddajniškega sistema, prekinitev v omrežju ali nedelovanja vhodnega filterskega dela sprejemnika) izhodna stikala sprejemnika ostajajo v položaju, v katerega so šli ob zadnjem sprejetem sporočilu. Takrat so porabniki odrezani od sistema upravljanja, kar lahko povzroči vrsto nevšečnosti, tako za uporabnika kot za distribucijo.

V novih sprejemnikih pa je ta problem odpravljen, saj so v takih primerih sposobni po določenem programu sami upravljati porabnike. Sprejemnik stalno

kontrolira čase od zadnjega sprejema določenega sporočila in v primeru da ta čas preteče, reagira na vnaprej določen način. S tem lahko preklapljamo bremena v prioritetno stanje (npr. izklopno stanje), startamo določene časovne funkcije (npr. preklop tarife) ali celo simuliramo krmilne funkcije.

V sprejemniku TS5 in izvedbah iz njega je mogoče kontrolirati tako čase med prihodi startne sekvence, kot tudi čase med prihodi do štirih različnih ukazov. Ob vsakem preteku enega od časov je mogoče na določen način vplivati na izhodna stikala.

3.9 Enostavno rokovanje

Za uporabnika je pomembno, da je rokovanje s sprejemnikom čim enostavnejše. To po eni strani omogoča modularnost, zaradi česar je sprejemnik možno enostavno prilagajat konkretnim zahtevam, po drugi strani pa množica kontrolnih funkcij, ki opozarjajo uporabnika na različna pravilna ali nepravilna stanja v omrežju ali sprejemniku. Važen faktor za uporabnika je tudi čim enostavnejše določanje uporabniškega programa.

Na vse to se je skušalo gledati tudi v novih tipih Iskrinih sprejemnikov, posebno pa še pri tistih, ki imajo veliko dodatne opreme in dodatnih funkcij. Tako je možno priplagajati število izhodnih stikal, ne da bi bilo potrebno posegati v elektroniko sprejemnika. Dodane so kontrolne funkcije kot so autotest, razne LED indikacije za stanja v omrežju in sprejemniku, možnost kontroliranja sprejemnika na omrežju, itd. Na ta način se lahko na različne načine kontrolira stanje sprejemnika, samo delovanje in pa tudi eventuelne napake. Za določanje uporabniških programov so narejeni posebni programski paketi, s katerimi se enostavno s pomočjo menijev izbirajo uporabniške funkcije in vpisujejo v spominske elemente. Seveda pa je zato potrebna neka standardna oprema, ki pa je v večini primerov že na razpolago.

4 ZAKLJUČEK

Iz vsega tega se vidi, da tudi na področju daljinskega omrežnega krmilnega sistema razvoj gre naprej, posebno še na področju omrežnih tonfrekvenčnih sprejemnikov. To je opazno predvsem tam, kjer so uvideli prednosti, ki jih ponuja ta sistem. Ker se želi sistem čimbolj izrabiti, prihaja vedno do novih uporab in s tem tudi do različnih izvedb sprejemnikov ter zahtev za novimi dodatnimi funkcijami. Toda sistem ni tako enostavno optimalno izkoristiti brez poprejšne temeljite analize porabnikov v omrežju in izdelanega sistema naslavljanja ter računalniško vodenega oddajnega sistema. Sprejemnik je le eden toda dosti pomemben element v sistemu, ki pa je odvisen od zmožnosti oddajniškega sistema in pa sposobnosti ljudi, da znajo v celoti izkoristiti možnosti, ki jih ponuja.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

DR BOŽIDAR LEVI DIPL INŽ
INSTITUT "MIHAJLO PUPIN"
11050 BEOGRAD

Referat broj 2.09

INDUSTRIJSKI RAČUNAR TIMKO U ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA

SADRŽAJ

Industrijski računari nalaze sve širu primenu u upravljanju različitim procesima, uključujući i elektroenergetske objekte. U Institutu "M. Pupin" u Beogradu razvijen je i proizvodi se TIMKO, univerzalni industrijski računar najnovije generacije koga karakterišu savremena koncepcija, inherentna pouzdanost i velika fleksibilnost u primeni.

INDUSTRIAL COMPUTER TIMKO IN ELECTRIC POWER PROCESS

Abstract: Industrial computers are in wide use for various automatic process control, including electric power systems. In Institute "Mihajlo Pupin", Belgrade, it has been designed and now is manufacturing TIMKO, the new generation general purpose industrial computer. The advanced concept, inherent reliability and great flexibility in use are TIMKO basic performances.

UVOD

Razvoj informacionih tehnologija ima neposrednog uticaja na sve oblasti ljudske delatnosti, posebno u domenu upravljanja tehničkim sistemima. Elektroenergetika kao kompleksna tehnička disciplina od posebnog značaja sa strogim eksploatacionim zahtevima svakako da predstavlja jednu od najatraktivnijih oblasti primene za računarsku opremu na svim upravljačkim nivoima. Pri tome najniži hijerarhijsku nivo, sam elektroenergetski objekat, je posebno izazovan s obzirom na složene funkcionalne zahteve, nepovoljno okruženje, traženu eksploatacionu raspoloživost i potrebu za niskim investicionim i eksploatacionim troškovima.

Pojava na tržištu velikog broja industrijskih računara i prateće opreme visokih performansi, sa izrazitim trendom daljeg razvoja i poboljšanja, karakterišu današnji trenutak. Time su stvoreni uslovi za uvodjenje računara u sve elemente elektroenergetskih objekata i podizanje kvaliteta upravljanja. Inherentna procesna snaga, velika fleksibilnost u primeni, pouzdanost u radu, standardizacija, a iznad svega sve povoljniji odnos performansa/cena, donose višestruke koristi. Do skora nezamisliva zamena klasične upravljačke i zaštitne opreme postaje realnost uz uvek prisutni kvalitativni pomak napred.

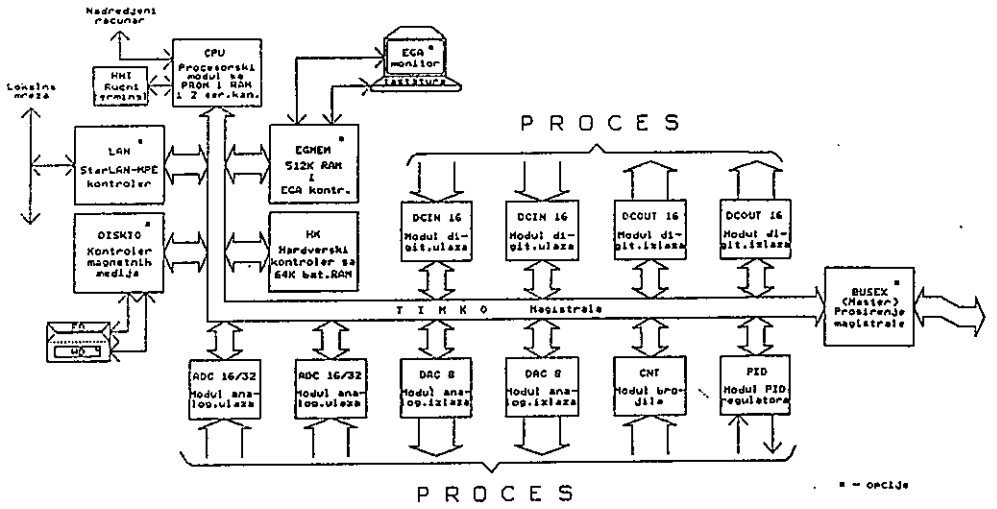
Sledeći ovakav trend, a u svetlu višegodišnjeg uspešnog rada i iskustva u razvoju i proizvodnji računarske opreme TIM, u Institutu "Mihajlo Pupin" u Beogradu razvijen je savremeni univerzalni industrijski računar TIMKO (TIM_Kontroler), uredjaj visokih tehničkih i eksploatacionih performansi, koji nalazi široku primenu u upravljanju različitim tehničkim procesima /1/. TIMKO predstavlja PC/XT kompatibilni računar opremljen raznovrsnim interface-om prema procesu i snažnim resursima za obradu akviziranih podataka i njihovo arhiviranja. Grafička podrška u boji i raspoloživi softver obezbedjuju komforan dijalog sa korisnikom ("man-machine interface"). Mogućnost uključenja u lokalnu računarsku mrežu /2, 3/, kao i postojeći serijski i paralelni priključci obezbedjuju medjusobno i povezivanje sa drugim računarima i opremom. Najzad, posebnu pogodnost predstavlja mogućnost priključenja TIMKO procesnog interface-a na druge PC kompatibilne računare (XT, AT, 386 i najnovije 486), čime je ostvarena potpuna otvorenost za nove računarske konfiguracije.

Tehnička izvodljivost različitih računarskih konfiguracija, posebno lokalno distribuiranih /4/ (uključujući i redundantne), podiže raspoloživost sistema - ključni uslov za primenu u elektroenergetici. Visoka tačnost i brzina akvizicije podataka (12 i 14-bitna AD konverzija), primena matematičkog koprocesora, raznovrsni softver uz sistemsku podršku za rad u realnom vremenu ("real-time" operativni sistemi /5/), kao i ostale karakteristike čine

INDUSTRIJKSI RAČUNAR TIMKO VEOMA POGODNIM ZA RAZLIČITE PRIMENE I U ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA.

KONFIGURACIJA RAČUNARA TIMKO

MODULARNA STRUKTURA INDUSTRIJSKOG RAČUNARA TIMKO STVARA USLOVE ZA OPTIMALNO KONFIGURISANJE RAČUNARA PREMA STVARNIM POTREBAMA ZA SVAKU POJEDINAČNU PRIMENU. BLOK-ŠEMA RAČUNARA TIMKO PRIKAZANA JE NA SL.1.



Blok-sema industrijskog racunara TIMKO

Sl. 1.

RASPOLOŽIVI HARDVERSKI RESURSI OBRAZUJU DVA OSNOVNA FUNKCIONALNA DELA RAČUNARA:

- PROCESORSKI (CENTRALNI) DEO (PROCESOR, MEMORIJA, PARALELNI I SERIJSKI KONTROLERI I DRUGA HARDVERSKA PODRŠKA...) REALIZOVAN NA MODULIMA CPU, HK, EGMEM, DISKIO I LAN,
- DEO ZA SPREGU SA PROCESOM (AD KONVERTORI, DA KONVERTORI, MULTIPLEKSERI

DIGITALNIH I ANALOGNIH SIGNALA IZ PROCESA...) REALIZOVAN NA SPREŽNIM MODULIMA DCIN 16, DCOUT 16, ADC 16/32, DAC 8, CNT, PID, HPADC, HSADC, KBD ITD...

KONFIGURISANJE INDUSTRIJSKOG RAČUNARA TIMKO MOGUĆE JE OD "SKROMNOG" MIKRORAČUNARA SA MINIMALNOM OPERATIVNOM MEMORIJOM, DO PC/XT KOMPATIBILNOG RAČUNARA SA SPOLJNOM MAGNETNOM MEMORIJOM RAZLIČITOG TIPA (DISKETE, W-DISKOVI...), MONOHROMATSKIM I KOLOR MONITOROM UZ PODRŽANU GRAFIKU, ŠTAMPAČIMA I DRUGOM PERIFERNOM RAČUNARSKOM OPREMOM, DO SNAŽNIH DISTRIBUIRANIH MREŽA U KOJE JE MOGUĆE UVESTI I DRUGE TIPOVE RAČUNARA.

DEO ZA SPREGU SA PROCESOM (PROCESNI INTERFACE) OBEZBEDJUJE AKVIZICIJU DIGITALNIH, NUMERIČKIH I ANALOGNIH SIGNALA IZ PROCESA I IZDAVANJE FORMIRANIH IZLAZNIH DIGITALNIH, NUMERIČKIH I ANALOGNIH SIGNALA U PROCES. KAO PRETEŽNI DEO OVAJ HARDVER JE JEDNOSTAVNIJI, ALI JE "ROBUSNE" IZRADE, NEOSETLJIV NA SPOLJNE UTICAJE, POUZDAN U EKSPLOATACIJI I NIŽE CENE. VIŠESTRUKO POVEĆANJE KAPACITETA POJEDINAČNIH TIMKO RAČUNARA MOGUĆE JE PROŠIRENJEM MAGISTRALE NA VEĆI BROJ DODATNIH KRLETKI (REKOVA) U KOJE SE SMEŠTAJU POTREBNI MODULI PROCESNOG INTERFACE-A. OVO PROŠIRENJE SE OSTVARUJE POSREDSTVOM MASTER/SLAVE PARA MODULA BUSEX - MASTER MODUL U KRLETKI PROCESORSKOG DELA RAČUNARA, SLAVE MODUL U KRLETKI DELA ZA SPREGU SA PROCESOM.
NA OVAJ NAČIN JE MOGUĆA I POTPUNA SUPSTITUCIJA PROCESORSKOG DELA, UVODJENJEM PC KOMPATIBILNOG RAČUNARA SA BUSEX MASTER MODULOM ZA PROŠIRENJE NJEGOVE MAGISTRALE NA TIMKO SPREŽNE KRLETKE.

NAVEDENI HARDVER PREDODREDJUJE, ALI NIKAKO NE ODREDJUJE SVE FUNKCIONALNE MOGUĆNOSTI RAČUNARA TIMKO. U TOM SMISLU DOMINANTAN JE UTICAJ PROGRAMSKE NADGRADNJE KOJA DEFINIŠE REŽIM I NAČIN RADA U ODREDJENOJ APLIKACIJI. ZAVISNO OD SAME KONFIGURACIJE RAČUNARA TIMKO PROGRAM SE SMEŠTA NA POSTOJEĆI NEDESTRUKTIVNI MEMORIJSKI MEDIJUM (KAO FIRMVER UREDJAJA U ROM MEMORIJU ILI NA ODGOVARAJUĆI MAGNETNI MEDIJUM), ČIME SE OBEZBEDJUJE SIGURAN RAD U RAZLIČITIM AMBIJENTNIM USLOVIMA.

PROGRAMSKA PODRŠKA

PROGRAMSKA PODRŠKA TIMKO-A OBUHVATA:

- REZIDENTNE PROGRAME ZA RAD ("REAL-TIME" OPERATIVNI SISTEM, BIBLIOTEČNE PODPROGRAME, KOMUNIKACIONI PROGRAM, PROGRAME ZA AKVIZICIJU I IZDAVANJE PODATAKA IZ/ZA PROCES ...), KOJI STVARAJU USLOVE ZA IMPLEMENTACIJU KORISNIČKIH PROGRAMA,

- KORISNIČKE UPRAVLJAČKE PROGRAME RAZVIJENE ZA KONKRETNU APLIKACIJU KOJI

POVEZUJU ULAZNE I IZLAZNE PODATKE I ODREDJUJU ALGORITME NJIHOVE OBRADE, ODNOSNO OMOGUĆUJU AUTONOMNI RAD I AUTOMATSKO UPRAVLJANJE PROCESOM.

INDUSTRIJSKI RAČUNAR TIMKO JE ORIJENTISAN KA KORISNIKU ŠTO PODRAZUMEVA DA JE OPREMLJEN POSEBNIM ALATOM KOJI OMOGUĆUJE RAZVOJ KORISNIČKIH PROGRAMA BEZ POTREBE DA SAM KORISNIK RASPOLAŽE VEĆIM PROGRAMERSKIM ZNANJEM [6]. KROZ KOMFORAN DIJALOG SA KORISNIKOM OMOGUĆENO JE POSTUPNO DEFINISANJE SVAKOG KORAKA U OKVIRU POTREBNIH ALGORITAMA UPRAVLJANJA, NA NAČIN KOJI JE KRAJNJE PRISTUPAČAN KORISNIKU-PROJEKTANTU KOJI DOBRO POZNAJE PROCES, ALI NAJČEŠĆE NIJE FAMILIJARAN SA RAČUNARSKOM OPREMOM I PROGRAMIRANJEM. ZA TU SVRHU NA RASPOLAGANJU SU RELEJNO/FUNKCIONALNE ŠEME ("LADDER DIAGRAM"-I), KORISNIČKI ORIJENTISANI JEZIK ZA GENERISANJE, MODIFIKACIJE I ISPITIVANJE ŽELJENIH ALGORITAMA UPRAVLJANJA. OVAKAV NAČIN PRUŽA MOGUĆNOST VIZUELNOG SAGLEDAVANJA I PROVERE SVAKOG UPRAVLJAČKOG KORAKA. RELEJNE ŠEME OBUHVATAJU UOBIČAJENE BINARNE ULAZNO/IZLAZNE ELEMENTE (RADNI/MIRNI KONTAKTI, POBUDNE ŠPULNE RELEA, INTERNE BINARNE PROMENLJIVE...) I OSNOVNE FUNKCIONALNE BLOKOVE (MONOSTABILNE, BROJAČE, TAJMERE, VIŠEKORAČNE DOBOŠE/ PROGRAMATORE...). ZA OBRADE ANALOGNIH I NUMERIČKIH PODATAKA NA RASPOLAGANJU SU OSNOVNI OPERACIONI BLOKOVI (TRANSFER PODATAKA, KOMPARIRANJE, ARITMETIČKO/LOGIČKI...). TAKODJE, RELEJNE ŠEME PODRŽAVAJU I RAD U LOKALNOJ RAČUNARSKOJ MREŽI, ŠTO PODRAZUMEVA MOGUĆNOST IMPLEMENTACIJE ULAZNO/IZLAZNIH PODATAKA IZ SUSEDNIH TIMKO RAČUNARA. ZA NETIPIČNE I POJEDINAČNE PRIMENE UVEDEN JE POSEBAN "KORISNIČKI BLOK" KOJI U RELEJNOJ ŠEMI PREDSTAVLJA ODGOVARAJUĆI KORISNIČKI PROGRAM, ČIME SE OMOGUĆUJE POVEZIVANJE TAKVOG PROGRAMA SA DRUGIM ELEMENTIMA U ŠEMI. PROGRAM OPISAN KORISNIČKIM BLOKOM PIŠE SE ZA KONKRETNU APLIKACIJU UOBIČAJENIM PROGRAMERSKIM SREDSTVIMA/JEZICIMA.

INTERAKTIVNI POSTUPAK FORMIRANJA KORISNIČKIH PROGRAMA NE PREDSTAVLJA JEDINI KORAK U PRIPREMI RAČUNARA TIMKO ZA RAD. LOGIČKA PROVERA FORMIRANOG KORISNIČKOG PROGRAMA JE OD IZUZETNOG ZNAČAJA. ZA TU NAMENU NA RASPOLAGANJU SU SIMULACIONI I ON-LINE ISPITNI PROGRAMI KOJI STVARAJU USLOVE OKRUŽENJA, POSTUPNO IZVRŠENJE KORISNIČKOG PROGRAMA I VIZUELNU INDIKACIJU REZULTATA OBRADA, SVE BEZ OPASNOSTI OD IKAKVIH REPERKUSIJA NA PROCES.

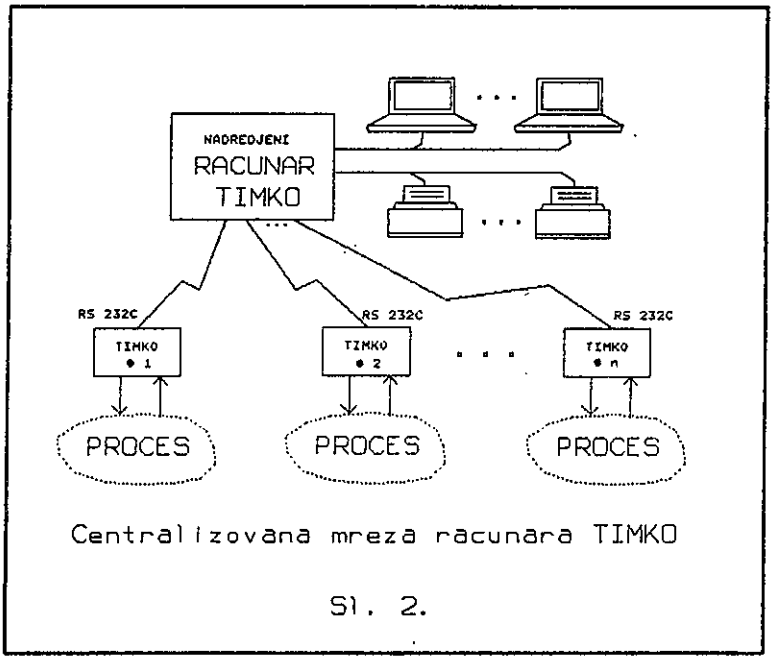
RAZMENA PODATAKA

TIMKO OBEZBEDJUJE AUTONOMNO OBAVLJANJE DEFINISANOG KORISNIČKOG UPRAVLJAČKOG PROGRAMA NAD SKUPOM ULAZNO/IZLAZNIH PODATAKA KOJI SU NJIME OBUHVAĆENI. U VEĆIM ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA MOŽE SE KORISTITI VEĆI BROJ RAČUNARA ZA INTEGRISANO UPRAVLJANJE PROCESOM, A ČESTO I ZA POTREBE UVODJENJA ODREDJENE REDUNDANSE U SISTEM. U TOM SLUČAJU POTREBNO JE OBEZBEDITI RAZMENU PODATAKA MEDJU RAČUNARIMA, ODNOSNO RAČUNARI TIMKO SE VEZUJU U PRENOSNE MREŽE KROZ KOJE

OSTVARUJU MEDJUSOBNU PRIMOPREDAJU SVIH POTREBNIH PODATAKA.

PRENOSNE MREŽE SE REALIZUJU KAO:

- CENTRALIZOVANE MREŽE OKO NADREDJENOG RAČUNARA KOJI UPRAVLJA KOMUNIKACIJOM U MREŽI, PREDSTAVLJENO NA SL.2,
- LOKALNE RAČUNARSKE MREŽE SA RAVNOPRAVNIM UČESNICIMA U KOMUNIKACIJI, PREDSTAVLJENO NA SL.3.

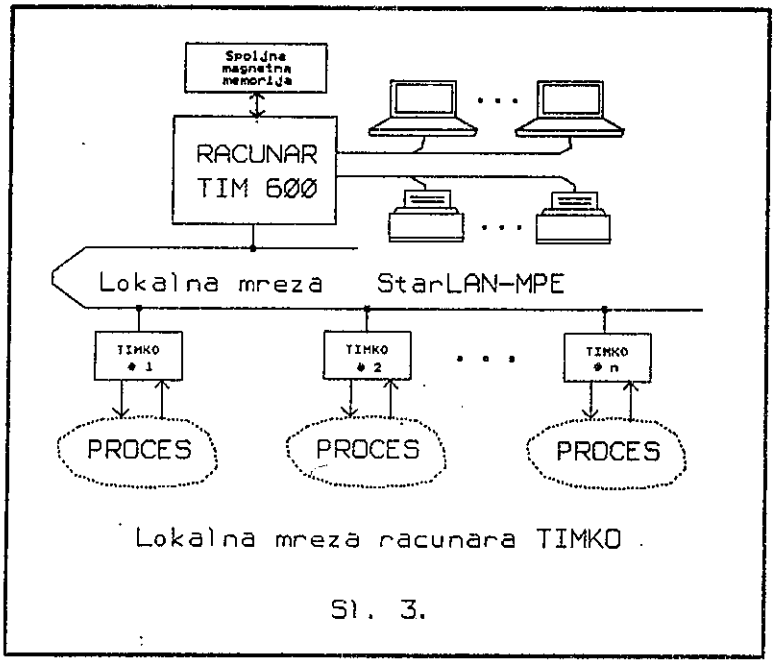


Centralizovana mreza racunara TIMKO

Sl. 2.

KOMUNIKACIJA U CENTRALIZOVANOJ PRENOSNOJ MREŽI JE ZASNOVANA NA ASINHRONOM PRENOSU PODATAKA UZ KORIŠĆENJE MODIFIKOVANOG HDLC PROTOKOLA. SAMA KONFIGURACIJA MREŽE MOŽE BITI ZVEZDASTA (RADIJALNA) ILI GRANASTA ("PARTY-LINE").

LOKALNE RAČUNARSKE MREŽE - LRM (LAN - LOCAL AREA NETWORK) NALAZE SVE ŠIRU PRIMENU. SAM SISTEM RAČUNARA MOŽE BITI ORGANIZOVAN HIJERARHIJSKI, TAKO ŠTO JE SVAKI HIJERARHIJSKI NIVO ZASTUPLJEN JEDNOM LRM (PRI ČEMU NE MORA BITI SAMO JEDAN TIP LRM), DOK SE POSREDSTVOM ODGOVARAJUĆE SPREŽNE OPREME (MOSTOVA I "GATEWAY" UREDJAJA) OBEZBEDJUJE HORIZONTALNO I VERTIKALNO POVEZIVANJE VIŠE LRM-A.



Lokalna mreza racunara TIMKO

Sl. 3.

TIMKO PODRŽAVA STARLAN-MPE LOKALNU MREŽU /7/. OVA LRM JE CSMA/CD TIPA, SA BRZINOM PRENOSA 1MB/S UZ MOGUĆNOST UKLJUČENJA U MREŽU DO 8 UČESNIKA (OPCIJSKI DO 16). KROZ LRM JE OBEZBEDJEN PRENOS ULAZNO/IZLAZNIH I INTERNIH PODATAKA SVAKOG OD RAČUNARA TIMKO UČESNIKA U MREŽI.

POVEZIVANJEM U LOKALNU MREŽU MOGUĆE JE OBEZBEDITI I UDVAJANJE, ILI PAK VIŠESTRUKU MULTIPLIKACIJU RAČUNARSKIH RESURSA ZA KRITIČNE FUNKCIJE, PRI ČEMU BI JEDAN ILI VIŠE RAČUNARA TIMKO PREDSTAVLJALO VRUĆU REZERVU TRENUTNO AKTIVNOM RAČUNARU. KROZ RAZMENU PODATAKA U LRM, PARALELNO OSIGURANU I POPREČNIM SERIJSKIM VEZAMA, MOGUĆE JE OSTVARITI ON-LINE PROVERU SVIH REZULTATA, UTVRDJIVANJE STATUSA POJEDINAČNIH RAČUNARA, ELIMINACIJU EVENTUALNIH GREŠAKA I AUTOMATSKI OPORAVAK.

ZAKLJUČAK

INDUSTRIJSKI RAČUNAR TIMKO JE RAZVIJEN I PROJEKTOVAN ZA PRIMENU U RAZLIČITIM TEHNOLOŠKIM PROCESIMA. MOGUĆNOST PROGRAMIRANJA TIMKO-A ZA RAZLIČITE PROCESE PODRAZUMEVA IMPLEMENTACIJU ŽELJENIH KORISNIČKIH PROGRAMA GENERISANIH

POSREDSTVOM RELEJNO/FUNKCIONALNIH ŠEMA I PRATEĆIH HARDVERSKO/SOFTVERSKIH ALATA. MEĐUTIM, S OBZIROM DA TIMKO PREDSTAVLJA INDUSTRIJSKU VERZIJU PC/XT MAŠINE SA SNAŽNIM PROCESORSKIM RESURSIMA I SISTEMOM ZA SPREGU SA PROCESOM, KAO I SISTEMSKOM PROGRAMSKOM PODRŠKOM ZA MULTIPROGRAMSKI RAD U REALNOM VREMENU UZ MOGUĆNOST PRIMENE RAZVIJENIH I VERIFIKOVANIH PROGRAMSKIH PAKETA RAZLIČITE NAMENE (GRAFIKA I DR...), MOGUĆE JE KORIŠĆENJE RAČUNARA TIMKO I NA DRUGAČIJI NAČIN. U SLOŽENIM ELEKTROENERGETSKIM PROCESIMA GDE OBRADA PODATAKA I ALGORITMI UPRAVLJANJA NE MOGU BITI OPISANI RELEJNO/FUNKCIONALNIM ŠEMAMA, PROGRAMIRANJE RAČUNARA TIMKO JE MOGUĆE STANDARDNIM PROGRAMERSKIM ALATIMA. OVAKAV PRISTUP ZAHTEVA, ISTINA, I ODGOVARAJUĆI NIVO ZNANJA KORISNIKA U IZRADI PROGRAMSKE PODRŠKE, MEĐUTIM TO DANAS NE PREDSTAVLJA NIKAKVU RETKOST.
NAJZAD SAVREMENA KONCEPCIJA I TEHNOLOGIJA IZRADE RAČUNARA TIMKO, POSTOJEĆI HARDVERSKI I PROGRAMSKI RESURSI I ALATI, KAO I OTVORENOST UREĐAJA ZA DALJU DOGRADNJU, UKAZUJU DA POSTOJE SVI PREDUSLOVI ZA NJEGOVU ŠIROKU PRIMENU U UPRAVLJANJU RAZLIČITIM PROCESIMA, IZMEĐU OSTALIH I U ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA.

LITERATURA

/1/ *B. Levi: "TIMKO savremeni programabilni kontroler opšte namene", Primenjena nauka, br. 17, april 1989., str. 25 - 27.*

/2/ *C. D. Tsao: "A Local Area Network Architecture Overview", IEEE Communication Magazine, Vol. 22, No 8, August 1984., pp. 7 - 11.*

/3/ *N. Linge: "Emerging Local Area Network Technologies", Microprocessors and Microsystems, Vol. 10, No 1, January/ february 1986., pp 17 - 24.*

/4/ *B. H. Liebowitz, J. H. Carson: "Multiple Processor Systems for Real-Time Applications", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J. 1985.*

/5/ *G. Funck: "Component-based Operating System Work in Real Time", Hunter & Ready, Special Report on Microcomputer Operating Systems, 1987.*

/6/ *B. Levi, M. Ćirić: "Struktura, funkcionalnost i osnovni parametri savremenih programabilnih automata", Prošireni sastanak Radne grupe JUGEL-a za termoelektrane, Beograd, 21. mart 1989.*

/7/ *N. Mokhoff: "Tranceiver Does Away with Central Hub in StarLAN", Electronic Design, June 25, 1987., pp. 57 - 60.*

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Milorad Rančić,dipl.ing.
Elektronska industrija – Niš

Referat broj 2.10

ELEKTRONSKI REGULATOR ANGAŽOVANE SNAGE NA NAPONU 0,4 KV

SADRŽAJ

U radu je opisan postupak za aktivno upravljanje potrošnjom odnosno vršnom snagom u domaćinstvima, baziran na principima delovanja jednog novog elektronskog uredjaja – proizvod Elektronske industrije iz Niša, čije je tehničko rešenje tako koncipirano da upravljajući vršnom snagom u domaćinstvima uvažava komfor korisnika dok isporučiocima električne energije istovremeno pruža mogućnosti elastične i brze akcije u upravljanju opterećenjem elektroenergetskog sistema, uvek primerene trenutnoj situaciji u sistemu.

CONTENTS

This work deals with the procedure of consumption, I.E. maximum loads power active control at households, and it is based on the performance principles of a new electronic device made by Electronic Industry – Niš. The technical solution is conceived in such a way that, controlling the maximum loads power at households, the device provides comfort to users. At the same time, electric power suppliers have the possibility of flexible and quick actions in electroenergetic system load control, which can be always applied according to the current system situation.

1 UVOD

Porast životnog standarda, bez sumnje, dovodi do povećane potrošnje električne energije u jednoj urbanoj sredini. Porast potrošnje u domaćinstvima poslednjih godina posebno dolazi do izražaja, što svakako ima značajan uticaj u planiranju izgradnje novih elektroenergetskih kapaciteta, kako proizvodnih tako i prenosnih. Dinamika izgradnje elektroenergetskih postrojenja, odnosno dinamika investiranja njihovog proširenja, direktno utiče na cenu svakog isporučenog kilovatčasa. Poznato je naime da se ovakve investicije veoma sporo vraćaju (potrebno je više od 10 godina eksploatacije).

S druge strane, stihijska potrošnja, odnosno nekontrolisano angažovanje snage u domaćinstvima značajno izaziva varijacije u opterećenju elektroenergetskog sistema i stvara već dobre poznate "špiceve" u dnevnom dijagramu. Takvo korišćenje energije remeti srazmeru izmedju proizvodnje i potrošnje električne energije, te zahteva angažovanje dodatnih kapaciteta kako bi se obezbedila potrebna energetska sposobnost sistema. To u krajnjoj liniji takodje dovodi do povećanja cene električne energije.

Ako se ovome doda i nedostatak energije, sa čim je suočen dobar deo sveta, onda je sasvim razumljivo veliko interesovanje stručnjaka za problem upravljanja vršnom snagom u domaćinstvima, posmatran kroz sva tri navedena aspekta. U tu svrhu predlaže se niz metoda za pasivno i aktivno upravljanje vršnom snagom u domaćinstvima. Neke od njih su već u upotrebi, eksperimentalno ili komercijalno, svejedno već daju pozitivne rezultate. Naime, još pedesetih godina razvijaju se tarifni sistemi orijentisani ka podsticanju izravnavanja dnevnog dijagrama i usporavanju dinamike izgradnje novih kapaciteta. Francuska je prva zemlja koja je još 1957. godine primenila metodu "Obrazovanja cena za električnu energiju zasnovanu na principima marginalnih troškova". Krajem šezdesetih i početkom sedamdesetih godina vrše se modifikacije tarifnih sistema sa ciljem da se stvore uslovi za isporuku električne energije prema ugovorenoj ili angažovanoj snazi kao dominantnim činiocima pri formiranju tarifnih stavova (Švedska 1967. i V.Britanija 1978.godine). Danas ovakve ili slične tarifne sisteme pored navedenih zemalja imaju još: Belgija, Holandija, Španija, Finska i Jugoslavija, a van našeg kontinenta i Severna Amerika. Kao uredjaji za praktičnu realizaciju tarifnih stavova prema ugovorenoj snazi poslednjih godina se, sve više i sve češće, izmedju ostalog, predlažu "LIMITATORI" za koje se kod nas odomaćio izraz OGRANIČIVAČI SNAGE.

2 KOMENTAR VAŽEĆIH TARIFNIH SISTEMA U JUGOSLAVIJI

Tarifnim sistemom za prodaju električne energije u Srbiji definisani su odnosi i uslovi isporuke električne energije i snage potrošača: Visine tarifnih stavova zavisne su od nivoa cene električne energije, odnosno od ukupnih troškova koji uključuju troškove proizvodnje, prenosa i distribucije, a odredjene su tako da stimulišu potrošače na racionalno korišćenje elektroenergetskih kapaciteta.

Tarifni sistem je dosta fleksibilan i gotovo da nema ograničenja u pogledu praktičnih načina za realizaciju tarifnih stavova: dozvoljene su i pasivne i aktivne metode. Od pasivnih metoda za upravljanje vršnom snagom tarifni sistem predvidja:

a) Dvotarifno dnevno i dvotarifno sezonsko merenje aktivne energije;

b) Doprinos za angažovanu snagu utvrdjenu na jedan od sledećih načina:

- merenjem pomoću uredjaja za merenje snage,
- proračunom, na osnovu utrošene aktivne električne energije,
- pomoću uredjaja za ograničavanje snage (struje).

Od aktivnih metoda predvidjeno je daljinsko upravljanje MTK-sistemom.

2.1. Pasivne metode

a) Dvotarifno merenje je poznata metoda kojoj se na bazi dosadašnjih iskustava ne može osporiti delotvornost, medjutim, vrlo često, sama za sebe, nije dovoljna u obuzdavanju stihijske potrošnje pogotovo u grejnoj sezoni. Potrebne su dodatne metode.

b) Doprinos za angažovanu snagu bi mogao biti dodatna metoda orijentisana na podsticanju izravnavanja dnevnog dijagrama ali stoji pitanje kako precizno utvrditi nivo obračunske snage kod potrošača. Tarifni sistem kao jednu od mogućnosti predvidja merenje snage uz pomoć specijalnih uredjaja za merenje snage koji su danas još uvek veoma skupi i koriste se gotovo isključivo u industriji, ili za veće potrošače koji angažuju snagu veću od 14 KW sa monofaznom ili 42 KW sa trofaznom instalacijom. Oni bi prema tarifnom sistemu i mogli naći ekonomsku opravdanost za ugradnju ovakvih uredjaja, ali se postavlja pitanje: Šta je sa ostalim potrošačima?

Odgovor na ovo pitanje bi se mogao potražiti u sledećem predlogu: Utvrdjivanje obračunske snage proračunom na osnovu utrošene aktivne energije po višoj dnevnoj tarifi i prosečnog časovnog iskorišćenja od 100 časova mesečno, što danas i jeste u upotrebi. Istini za volju ovo je veoma jeftina metoda ali istovremeno i veoma neprecizna i u odnosu na utvrdjivanje nivoa obračunske snage i u odnosu na doprinos za angažovanu snagu koji prema tarifnom sistemu mora biti 25% od cene aktivne energije. S druge strane ovde su u povlašćenom položaju potrošači koji poseduju snažne uredjaje i koriste ih u vreme niže dnevne tarife jer se potrošnja po ovoj tarifi ne uzima u obračun. Srećom ovo je metoda prelaznog perioda koji će trajati do kraja 1992.godine kada prema tarifnom sistemu svi potrošači u SR Srbiji koji troše više od 150 KWh mesečno po višoj dnevnoj tarifi, moraju imati uredjaje za merenje odnosno ograničavanje snage.

Kada se kaže "OGRANIČIVAČI SNAGE" ovde se misli na strujne ograničivače: topljive i automatske osigurače koji bi u trofaznoj instalaciji predstavljali set od 3, jednaka po nazivnoj struji, osigurača, vezana u svakoj fazi ponaosob.

Primena ovakvih strujnih ograničavača je prihvaćena u nekim našim Republikama (Slovenija i Hrvatska), a koriste ih i neke zemlje zapada (Francuska, Švedska, Finska). U BiH se doprinos za snagu plaća prema brojilu a u Makedoniji prema tarifnim jedinicama čiji broj odgovara preuzetoj aktivnoj energiji.

Moglo bi se reći da su ograničavači struje ekonomično i efikasno rešenje jer su prisutni atributi koji govore u prilog tome: Relativno niska cena osigurača i motivisanost potrošača da ugrade osigurače manjih nazivnih struja. Medjutim aplikacijom u trofaznim instalacijama javljaju se veliki problemi, preciznije rečeno, ako se traži iole pristojna preciznost gotovo su neupotrebljivi. Naime, snaga koju trofazna instalacija konzumira iz mreže mora se posmatrati kao integralna celina. Ukoliko se fazni napon aproksimativno uzme kao konstantan parametar i $\cos\varphi = 1$ tada je snaga trofazne instalacije jednaka prostom zbiru snaga pojedinih faza. Aproksimacije nisu grube jer u pravilno dimenzionisanim mrežama napon i jeste konstantan, a opterećenje jednog domaćinstva je pretežno termogeno. Set od 3 osigurača ne poseduje mogućnost sabiranja snage pojedinih faza, odakle i proističu svi problemi. Zahvaljujući tome jedan od problema je postojanje realne mogućnosti da potrošač bude oštećen, što se može zaključiti iz sledeće analize:

Pod pretpostavkom da je jedno domaćinstvo "ugovorilo" snagu koja odgovara nazivnoj struji osigurača od 20 A, prema tarifnom sistemu obračunska snaga trofazne instalacije iznosi $20 \cdot 0{,}66 = 13{,}20$ KW, koju potrošač i plaća. Kako je vrlo verovatna mogućnost da u datom trenutku bude opterećen samo jedan fazni vod, strujom većom od 20 A, dok su druga dva potpuno neopterećena, doći će do isključenja svih uredjaja priključenih na taj fazni vod pri snazi 3 puta manjoj od "ugovorene".

Drugi problem je posledica nepostojanja mogućnosti finije regulacije snage. U čemu se on ogleda?

Prema trošilima u domaćinstvima treba očekivati da najveći broj potrošača "ugovori" snagu koja odgovara nazivnim strujama osigurača 16A i 20A za trofazne, odnosno 16, 20 i 25A za monofazne instalacije. Kako od ukupnog broja potrošača na teritoriji uže Srbije (1,8 miliona) približno polovina (900 hiljada) ima trofazne instalacije, i uz pretpostavku da će se svi potrošači, trofazni i monofazni, opredeliti za ograničivače nazivne struje 16A ispada da se kroz ove ograničivače može "propustiti" snaga od 12.600 MW odnosno snaga od oko 15.000 MW ako se uzme u obzir da osigurač (topljivi ili automatski) može trajno da podnese struju za oko 20% veću od nazivne. Kako maksimalno jednovremeno opterećenje celog konzuma uže Srbije iznosi oko 3.300 MW ispada da se samo kroz ograničivače struje u domaćinstvima može "propustiti" oko četiri puta veća snaga. Pritom smo zanemarili veliku temperaturnu nestabilnost osigurača koja pri niskim temperaturama ove cifre značajno uvećava zahvaljujući boljem hladjenju.

2.2 Aktivne metode

Kao što je već rečeno za aktivno upravljanje vršnom snagom u domaćinstvima tarifni sistem predvidja MTK-sistem. Ovaj sistem je dosta skup, ali i pored visoke cene pokazuje efikasnost i ekonomsku opravdanost za svoju egzistenciju. Treba istaći da svaka investicija uložena u ovakve i slične vidove racionalizacije počinje odmah da se vraća sa kratkim periodom konačne otplate (1 ÷ 2 god.). Dosadašnja iskustva pokazuju da se MTK sistemom mogu postići uštede u snazi sistema i do 15%.

Medjutim, MTK-sistem pruža punu efikasnost i ekonomsku opravdanost samo ako se koristi za upravljanje opterećenjem (TA peći, bojleri). To znači da treba odvojiti strujne krugove, što, ponekad zavisno od situacije u instalaciji, nije nimalo jednostavno. S druge strane primena MTK-sistema na ovaj način predstavlja za potrošača odredjeni gubitak komfora, mada ga potrošač dobrovoljno prihvata zbog ekonomske stimulacije. Na kraju, ako se uzme u obzir činjenica da upravljanje MTK-sistemom ne može biti primenjeno na glavnim faznim vodovima već samo na nekim strujnim krugovima, to znači da u instalaciji uvek ima i neupravljanih strujnih krugova koji se mogu dodatno angažovati i snažnijim trošilima i na taj način izbegnuti upravljanje na bazi kojeg se i koristi benificirana tarifa. To bi mogla biti svojevrsna zloupotreba MTK-sistema koja bi elektroenergetskom sistemu mogla doneti neupravljana opterećenja i dodatne nepovoljnosti za dnevni dijagram. Ovo je moglo bi se reći, nepopravljiv nedostatak MTK-sistema.

3. OPIS DELOVANJA UREDJAJA (RAS) U EKSPLOATACIJI

Osnovna zamisao na kojoj se bazira tehnička koncepcija regulatora angažovane snage (RAS) uključuje pet relevantna zahteva:

a) Obezbediti upravljanje vršnom snagom po principu prekidanja glavnih faznih vodova isključivši pritom svaku mogućnost nedozvoljenog korišćenja;

b) Snagu trofaznog sistema tretirati kao integralnu celinu;

c) Obezbediti finu regulaciju snage;

d) Obezbediti mogućnost daljinskog upravljanja;

e) Obezbediti potrebnu zaštitu korisnika i instalacije kao i potrebnu signalizaciju.

a) Uredjaj se u eksploataciji montira na glavnim faznim vodovima iza glavnih osigurača. Bliža lokacija mu je glavna ili pomoćna razvodna tabla. Na ovaj način eliminisani su neupravljani strujni krugovi i mogućnost njihovog nedozvoljenog korišćenja.

b) Zahvaljujući strujnim davačima koji informacije o veličini struja u faznim vodovima pretvaraju u jednosmerne napone i elektronskim kolima koji ove napone aritmetički sabiraju, dobija se na kraju informacija o veličini snage "protekle" kroz sva tri fazna voda simetrično ili asimetrično opterećena. Na ovaj način egzaktno je zagarantovan "protok" "ugovorene" snage.

c) Podešavanje snage je kontinualno. Opseg podešavanja je 1 + 42 KW zahvaljujući familiji tipova uredjaja. Rezolucija podešavanja je 0,5 KW sa greškom $\pm 2\%$. Temperaturna zavisnost je zanemarljiva. Prostor za podešavanje je plombiran.

d) Daljinsko upravljanje ostvareno je kompatibilnošću sa MTK-prijemnikom. Ostvarene su dve opcije:

- Redukcija već podešene snage za 10 + 80% upravljano nulom.
- Blokiranje funkcije ograničavanja - upravljano fazom.

Zahvlajujući ovim dvema opcijama isporučilac električne energije aktivno i elastično učestvuje u upravljanju vršnom snagom u domaćinstvima redukujući je u kriznim stanjima elektro-

energetskog sistema, odnosno dozvoljavajući neograničeno trošenje kad energije ima dovoljno. Pritom komfor korisnika nije bitno narušen, čak ni u trenucima redukcije, zahvaljujući činjenici da korisnik sam odredjuje prioritet svojim trošilima.

e) Za zaštitu korisnika od strujnog udara uredjaj ima ugradjenu diferencijalnu zaštitu fabrički podešenu na struje odvoda 30 mA, 300 mA i 500 mA. Vreme delovanja je 5 mS. Ispravnost ovog sistema se može testirati jednostavnim pritiskom na "TEST-TASTER".

Za zaštitu instalacije od prevelikih struja i havarijskog dejstva kratkih spojeva uredjaj ima ugradjenu prekostrujnu zaštitu sa odloženim dejstvom prepuštajući prioritet delovanja topljivim osiguračima.

Što se signalizacije tiče uredjaj ima zvučnu i svetlosnu signalizaciju u cilju upozorenja o prekoračenju. Vreme trajanja ove signalizacije jednako je vremenskom intervalu predvidjenom za korigovanje nivoa angažovane snage u cilju sprečavanja isključenja. Ukoliko do isključenja ipak dodje ponovno uključenje ostvaruje se jednostavnim pritiskom na "RESET-TASTER". Dejstvo reset tastera je impulsno što eliminiše mogućnost njegovog "zaglavljivanja" u cilju zloupotrebe. Stanje "Isključeno" praćeno je posebnom svetlosnom signalizacijom. Takodje posebnom svetlosnom signalizacijom praćene su i opcije redukcije nivoa podešene snage i neograničene potrošnje. Kompletna signalizacija može biti izvedena u prostorije udaljene od mesta montiranja uredjaja.

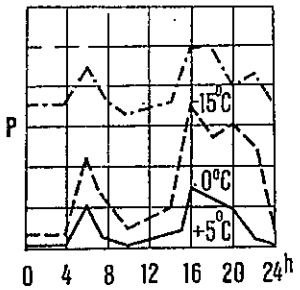
4. ANALIZA DNEVNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA SA I BEZ APLIKACIJE UREDJAJA (RAS)

Na sl.1. prikazani su dnevni dijagrami potreba različitih potrošača za električnom energijom u jednoj urbanoj sredini, prikazano ponaosob. Na sl.2. je krivuljom 1 prikazan zbirni dijagram jednodnevnog opterećenja koji uključuje sve kategorije potrošača kada deluju istovremeno, bez upravljanja.

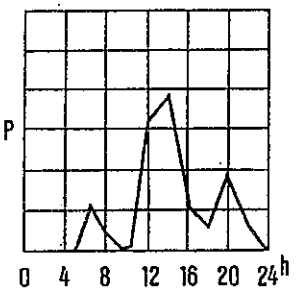
Na sl.1-a mogu se uočiti dva vrha u snazi koju domaćinstva konzumiraju za grejanje prostorija. Prvi je evidentan u časovnom intervalu izmedju 4h i 8h a drugi izmedju 16h i 20h. Naravno dijagrami su pomereni po osi snage zavisno od spoljne temperature. Na sl.1-b se mogu uočiti vrhovi u časovnim intervalima 5h ÷ 6h, 11h ÷ 16h i 18h ÷ 22h na dnevnom dijagramu konzumiranja energije za pripremanje hrane u domaćinstvima.

Na zbirnom dijagramu 1 sl.2 mogu se takodje uočiti tri vrha i to u časovnim intervalima 7h ÷ 10h, 12h ÷ 16h i 18h ÷ 22h.

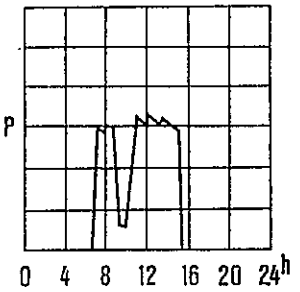
Za analizu bi se mogao uzeti prvi (jutarnji) časovni interval na dijagramu 1 sl.2. jer je njegov vrh i najizraženiji. Očigledno je da se ovaj vrh poklapa sa "jutarnjim vrhovima" na slikama 1-a i 1-b. To znači da je uticaj potrošnje za grejanje i pripremanje hrane na zbirni dnevni dijagram značajan. U poredjenju sa potrošnjom za industrijski pogon, gradski saobraćaj i rasvetu (Sl.1-c, 1-d i 1-e) moglo bi se reći da domaćinstva samo sa potrošnjom za grejanje tu ulaze sa 15 ÷ 30% zavisno od spoljne temperature, uzimajući da se ona kreće u granicama



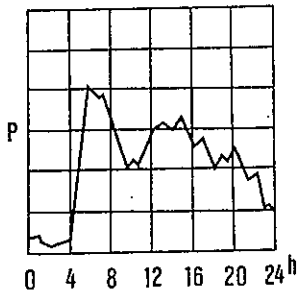
a. Za grejanje prostorija



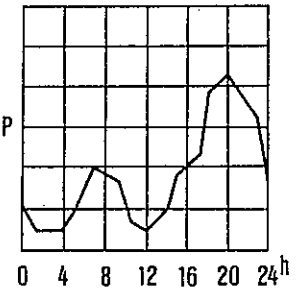
b. Za spremanje hrane



c. Industrijski pogon



d. Gradski saobraćaj



e. Rasveta

Slika 1. Dnevni dijagram potreba električne energije različitih potrošača

$0^{\circ}C$ do $-15^{\circ}C$. Naravno, za analizu je uzet zimski period, jer je upravo on interesantan sa aspekta teme o kojoj je reč.

Uzimajući u obzir snage trošila koje jedno prosečno domaćinstvo danas poseduje, može se aproksimativno uzeti da domaćinstva imaju u proseku instaliranu snagu od 12 KW. Uz pretpostavku da sva domaćinstva ugovore snagu od 8 KW, koja isključuje samo snagu za grejanje i uzimajući u obzir činjenicu da upravo ova snaga učestvuje u opterećenju sistema sa 15 ÷ 30%, nameće se jednostavan zaključak da se na ovaj način može u zimskom periodu postići ušteda u snazi i do 30%. Na bazi ovakve analize, očekivani dijagram dnevnog opterećenja sa aplikacijom regulatora angažovane snage, ne narušavajući pri tom bitno komfor korisnika, mogao bi izgledati kao na slici 2, crtano isprekidano.

Slika 2. Zbirni dnevni dijagram opterećenja elektroenergetskog sistema:

1 – Bez aplikacije RAS;

2 – Očekivani dijagram sa aplikacijom RAS

Mora se priznati da je ovakav pristup pomalo grub, i ne ulazeći u to koliko je sam po sebi ispravan, jer još ne postoje praktične mogućnosti da se to i proveri, i ako se brojke zbog toga uzmu uslovno, može se egzaktno tvrditi da se značajne uštede u snazi ne mogu osporiti.

5. ANALIZA EKONOMSKIH EFEKATA ZA POTROŠAČE

Uštedama u snazi sistema, reklo bi se, zadovoljeni su u prvom redu interesi isporučioca električne energije, ali se ne može zaobići činjenica da se preko niže cene energije ostvarene na ovaj način, to reflektuje i na interese potrošača. Ipak, glavni motiv za potrošača mora biti neposredna stimulacija. Ona je implicitno sadržana u ceni merenog kilovata, i to tako da u odnosu na cenu "tarifnog kilovata" koji se dobija na bazi trenutno važeće metode obračuna doprinosa za snagu, donosi pozitivne ekonomske efekte.

Za primer je uzeta godišnja potrošnja u višoj dnevnoj tarifi jednog prosečnog domaćinstva u SR Srbiji za 1986.godinu. Cene su uzete iz cenovnika za prodaju električne energije na konzumnom području elektrodistribucije - Niš na dan 01.01.1990.godine.

Godišnji doprinos za angažovanu snagu bez merenja predstavljen je u tabeli I.

TABELA I

	KWh	: 100 KW	Din/KW bez merenja	Izdatak za angažovanu snagu u din.
Viša sezona	2448	24,48	31,09	761,08
Niža sezona	1336	13,36	20,73	276,95
UKUPNO:				1.038,03 din.

Aplikacijom regulatora angažovane snage ostvaruje se pravo na cenu merene snage prema tabeli II.

TABELA II

Viša sezona	3,99 din/KW	Prosečna cena = $\frac{3,99 + 2,66}{2}$ = 3.325 din/KW
Niža sezona	2,66 din/KW	

Ekonomski efekti prema visini "ugovorene" snage prikazani su u tabeli III.

TABELA III

Ugovorena snaga u KW	x	12 mes.	x	pros.cena	Izdatak za angažovanu snagu u din.	Ekonomski efekti u din.
6	x	12	x	3.325	329,4	768,63
8	x	12	x	3.325	319,2	718,83
10	x	12	x	3.325	399,0	639,03
12	x	12	x	3.325	486,8	559,23
14	x	12	x	3.325	558,6	479,43
16	x	12	x	3.325	538,4	399,63

Iz tabele III može se uočiti da su ekonomski efekti prisutni i pri "ugovaranju" snage od 16 KW. Naravno veći su kod ugovaranja nižih nivoa snage što i jeste željeni efekat i naravno komplementarno saglasan sa interesima isporučioca električne energije.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prezentiran nov elektronski uredjaj namenjen aktivnom upravljanju vršnom snagom u domaćinstvima.

Na osnovu komentara važećih tarifnih sistema u Jugoslaviji sa posebnim osvrtom na Tarifni sistem za prodaju električne energije SR Srbije može se zaključiti da je Tarifni sistem dobar. Naime ne može se osporiti njegova orijentacija ka podsticanju izravnavanja dnevnog dijagrama opterećenja. Ipak, mora se istaći da je primena tarifnog sistema skopčana sa nizom problema proisteklih iz nesavršenosti trenutno postojećih tehničkih sredstava (uredjaja) primerenih njegovoj doslednoj primeni. Treba istaći da je MTK-sistem do sada dao najbolje rezultate, ali se ne mogu osporiti ni njegovi nedostaci.

Cilj ovog rada je da predstavi uredjaj koji otklanja sve, ili gotovo sve, nedostatke trenutno postojećih tehničkih sredstava namenjenih racionalnoj potrošnji. Na taj način ostvarena je mogućnost dosledne primene tarifnog sistema koji je, bez sumnje, orijentisan ka podsticanju racionalne potrošnje. To ima za cilj racionalno angažovanje raspoloživih elektroenergetskih kapaciteta i usporavanje dinamike izgradnje novih, što u krajnjoj liniji rezultuje nižom cenom električne energije. Ne treba posebno naglašavati koliki je uticaj cene energije na svaku nacionalnu ekonomiju.

7. LITERATURA

1. Združena elektroprivreda - Beograd; Tarifni sistem za prodaju električne energije.
2. Jugoslovenski leksikografski zavod - Zagreb; Tehnička enciklopedija 4.
3. Dr.Ljubomir Gerić,dipl.ing.; Institut za energetiku i elektroniku - Novi Sad; Postupci za aktivno upravljanje potrošnjom električne energije u domaćinstvima.
4. Tomislav Bojković,dipl.ing.; Poslovna zajednica elektrodistribucije Srbije - Beograd; Problematika utvrdjivanja obračunske snage u domaćinstvima.
5. Dušan Cincović,dipl.ing.; Elektrodistribucija - Beograd; Prikaz tarifnih sistema nekih evropskih zemalja.
6. Prof.Dr.Hrvoje Požar,dipl.ing.; Institut za elektroprivredu - Zagreb; Elektroenergetski sistemi.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Milenko B. Djurić, dipl.ing.
Vladimir V. Terzija, dipl.ing.
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Referat broj 2.11

KOMPJUTERSKA ZAŠTITA BLOKA GENERATOR-TRANSFORMATOR REALIZOVANA MIKROPROCESORIMA I CENTRALNIM RAČUNAROM

SADRŽAJ

Značaj zaštite bloka generator-transformator (G-T), kao i pojava najnovije mikroprocesorske tehnologije, nametnuli su razradu šema integrisane zaštite.

Rad obuhvata bitne aspekte problema, prikazuje kompjuterski zaštitni sistem i analizira njegove komponente. Ukazuje na mogućnost povezivanja pojedinačnih softverskih modula u jedinstvenu celinu nadgledanu računarom višeg hijerarhijskog nivoa.

ABSTRACT

A great importance of the generator and step up transformer relay protection, as well as the rapid progress in microprocessor and communication technologies, imposed the research on the field of the Integrated Computer Based Protection.

This paper gives an insight into the problem, represents functional levels and example of integrated system architecture divided into its subsystems. Also, capabilities of the software modules integration have been discussed.

1. UVOD

Sistem relejne zaštite elektroenergetskih objekata ima ulogu da spreči havarije ili da lokalizuje štete na štićenim objektima. Za relejnu zaštitu bitni su havarijski i predhavarijski režimi (koji prete prelaskom u havarijsko stanje). Ima relativno mnogo različitih havarijskih i predhavarijskih režima. Zbog toga je razvijen veliki broj vrsta različitih releja i relejnih zaštitnih sistema. Prva i druga generacija releja (elektromehanički i statički, odnosno elektronski) odlikovale su se velikim brojem različitih tehničkih rešenja koja su se bazirala na malom broju principa delovanja. S obzirom da su uredjaji relejne zaštite automati koji vrše obradu informacija, odnosno veličina od kojih zavisi stanje elementa elektroenergetskog sistema, opravdana je primena mikroprocesora i računara za realizaciju programabilnih kompjuterskih zaštita elemenata lektroenergetskog sistema.

Relejne zaštite bazirane na elektromehaničkim i statičkim relejima verovatno će se još dugo koristiti za realizaciju jednostavnih zaštita. Medjutim, razvoj ovakvih zaštita u smislu povećanja pouzdanosti, samokontrole, fleksibilnosti, adaptibilnosti, osetljivosti i kontrolabilnosti nije moguć bez dodavanja novih vrsta relejnih uredjaja. Taj put je praktično iscrpeo svoje mogućnosti jer neminovno dovodi do glomaznih zaštitnih sistema velike složenosti, koji i u ekonomskom smislu postaju neatraktivni.

Zaštitni sistemi bazirani na mikroprocesorima i računarima imaju dve bitne pozitivne osobine. Oni su fleksibilni, odnosno programski prilagodljivi, kako različitim objektima elektroenergetskog sistema tako i različitim uslovima koji se pojavljuju na nekom objektu. Ova svojstva su dragocena jer omogućavaju razvoj i "dogradnju" zaštitnog sistema bez fizičkog dodavanja novih uredjaja postojećem sistemu zaštite. Dalje, važna osobina zaštitnih sistema baziranih na računarima je lako realizovanje funkcije samokontrole, što bitno povećava pouzdanost zaštitnog sistema.

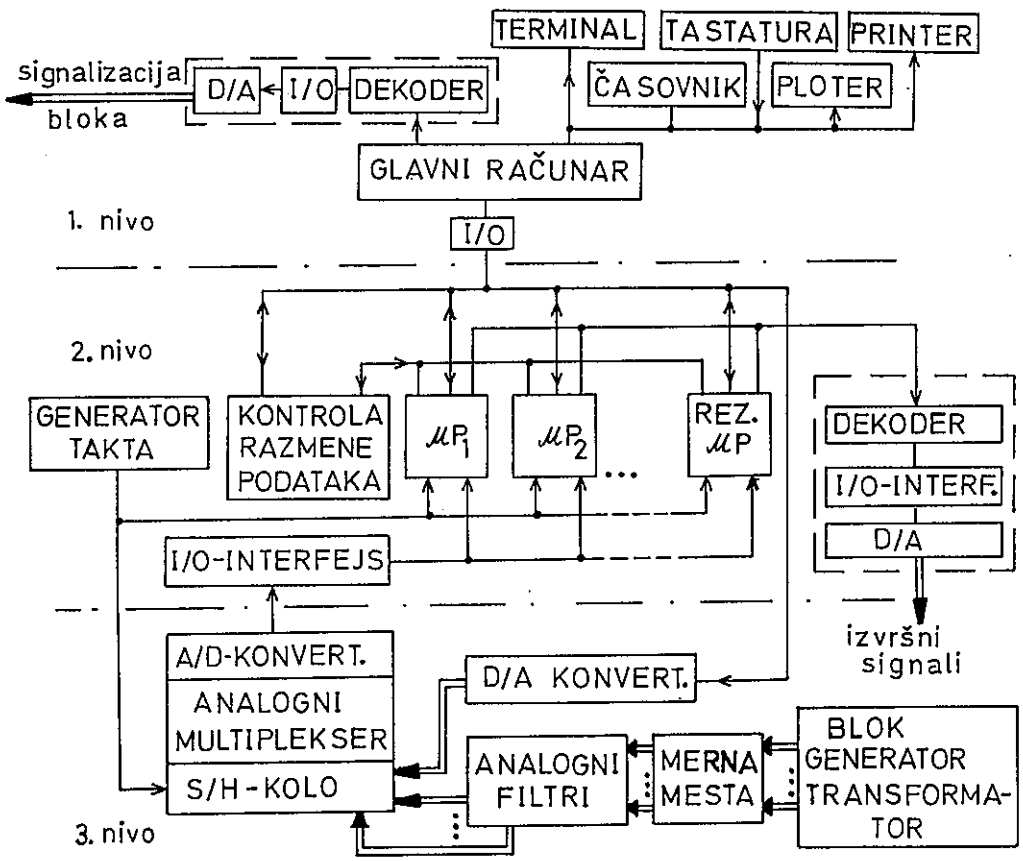
Klasični sistemi relejne zaštite orijentisani su na otklanjanje i lokalizaciju kvarova i opasnih radnih stanja. Medjutim, kvarovi, naročito velikih objekata elektroenergetskog sistema, su posledica postepenog smanjivanja pouzdanosti. Zato je vrlo aktuelna dijagnostika predhavarijskih stanja, koja bi omogućila da se spreči pojava teških havarija i velikih šteta. Da bi se dijagnostika predhavarijskih stanja uspešno realizovala potrebno je pratiti i obradjivati mnogo veći broj veličina štićenog objekta, nego što je to slučaj kod klasične zaštite. Bez korišćenja računara ovaj problem nije moguće uspešno rešiti. Očigledno, neophodno je razvijati nove sisteme za zaštitu objekata elektroenergetskog sistema čija će preventivna funkcija biti znatno veća nego kod postojećih zaštitnih sistema. Taj razvoj zahteva ulaganje kapitala i ljudskog rada pa se postavlja pitanje za koje elemente elektroenergetskog sistema treba prvo početi sa razvojem kompjuterskih zaštitnih sistema. Verovatno je blok generator-transformator najpogodniji objekat za razvoj i primenu zaštitnih sistema baziranih na računarima. Razloga za to ima više. Osnovni su:

- velika cena bloka generator-transformator
- blok generator-transformator je lociran na malom prostoru pa su problemi vezani za prikupljanje informacija relativno mali i
- velika važnost bloka generator-transformator.

2. KOMPJUTERSKI ZAŠTITNI SISTEM BLOKA GENERATOR-TRANSFORMATOR

Ovde je opisana jedna od mogućih struktura zaštitnog sistema bloka generator-transformator koja se bazira na primeni računara. Struktura ovog sistema je hijerarhijska i sadrži tri nivoa od kojih je svaki za sebe poseban podsistem:

1.nivo- podsistem upravljanja i prikazivanja podataka
2.nivo- podsistem zaštite
3.nivo- podsistem veze sa objektom (merenje)



Slika 1. Blok dijagram kompjuterske zaštite bloka G-T

Sistem je prikazan svojim blok dijagramom na Slici 1. U tekstu koji sledi biće detaljnije opisani navedeni podsistemi.

2.1 3.nivo-Podsistem veze sa štićenim objektom

Glavni zadatak ovog podsistema je prilagodjavanje i prenos signala uzetog sa objekta koji se štiti u oblik koji zahteva mikroprocesor. Jasno je da je reč o digitalizovanju analognih veličina. Ovaj zadatak obezbedjuju: merno mesto, analogni filtar, S/H-kolo, analogni multiplekser, A/D-konvertor i I/O-interfejs (ulaz/izlaz veza).

2.1.1 Merna mesta i analogni filtri

Na mernom mestu se analogne ulazne veličine (struje i naponi) prilagodjavaju po svom opsegu blokovima koji slede. Ovaj zadatak obavljaju strujni i naponski transformatori. Postavljanjem niskopropusnog analognog filtra obezbedjuje se veća tačnost daljih proračuna i eliminišu se učestanosti veće od unapred zadate.

2.1.2 S/H-kolo

S/H-kolo (sample & hold circuit) prethodi analognom multiplekseru i A/D-konvertoru i neophodno je u slučaju kada je učestanost procesiranog signala veća od učestanosti konverzije A/D-konvertora. S/H-kolo odabira ulazni signal u taktu takt-generatora, a zatim u skladu sa ritmom rada A/D-konvertora predaje odbirak daljoj obradi (digitalizaciji).

S/H-kola nisu neophodna kada je učestanost procesiranih signala mnogo manja od brzine rada A/D-konvertora.

2.1.3 Analogni multiplekser

U koliko je učestanost ulaznih signala manja od brzine A/D-konvertora, moguće je izbeći A/D-konvertor po svakom signalu. Signali dovodeni na analogni multiplekser, po unapred zadatom redosledu prosledjuju se A/D-konvertoru. Na ovaj način se postižu prilične uštede u investiciji celokupnog sistema. U konkretnom slučaju se može pribeći predloženoj konfiguraciji jer je zadovoljen navedeni uslov o učestanostima.

2.1.4 A/D-konvertor

A/D-konvertor vrši digitalizaciju analognog napona odbirka i dovodi ga u formu koju je mogućno obradjivati u mikroprocesoru. Učestanost odabiranja zavisi od brzine A/D-konvertora i od broja i kvaliteta procesiranih signala. Ako je učestanost ulaznih signala mala, onda se mogu koristiti brzi A/D-konvertori sa multipleksiranim ulazom. U suprotnom, svaki kanal mora da ima svoj A/D-konvertor. U našem slučaju se može pribeći soluciji sa jednim A/D-konvertorom.

Izbor A/D-konvertora zavisi od učestanosti odabiranja, rezolucije i tačnosti rada.

2.1.5 I/O-interfejs

Njime su obezbedjeni povezanost mernog sistema sa mikroprocesorom i asinhroni prenos informacija na magistralu, do centralne procesorske jedinice.

Treba istaći da podsistem veze sa štićenim objektom u normalnom režimu funkcioniše autonomno i nije potrebno upravljanje od strane uredjaja višeg nivoa.

2.2. 2.nivo-Podsistem zaštite

Kao podsistem drugog nivoa neposredno ispunjava funkcije zaštite objekta od oštećenja i nenormalnih režima rada. On izračunava (procenjuje) stanje objekta zaštite, formira izlazne signale koji deluju na isključenje objekta i koji formiranju signal o njegovom novom stanju, registruje i čuva datoteke osnovnih napona i struja pri pojavi nenormalnih režima. Podsistem je višeprocesorski, podrazumeva postojanje rezervnog mikroprocesora, izlaznog bloka i bloka kontrole razmene podataka.

2.2.1 Mikroprocesori

Svaki mikroprocesor sadrži nekoliko programskih realizacija zaštite (što zavisi od složenosti zahteva) čiji su algoritmi zapisani u ROM-u. Broj mikroprocesora zavisi od njihovih karakteristika (najčešće od brzine rada). Informacija o objektu zaštite dolazi u računar preko njegovog interfejsa i magistrale kao veze sa objektom. Svaki mikroprocesor ima pristup samo veličinama koje su mu potrebne. Spisak tih veličina odredjuje se u postupku projektovanja celokupne arhitekture mikroprocesorskog sistema.

U ovom radu se ne ulazi u algoritme kojima se mogu realizovati pojedine zaštitne funkcije. Napominjemo da se jedan broj jednostavnih zaštitnih funkcija može realizovati prostim algoritmima koji se svode na uslove tipa nejednakosti. Složenije zaštitne funkcije je moguće realizovati algoritmima koji simuliraju rad klasičnih zaštitnih releja. Moguć je i razvoj algoritama koji ne oponašaju direktno klasične zaštitne releje bloka G-T. Proces razvoja tih algoritama još uvek je u toku, a oni ne bi bili izvodljivi bez jednog ovakvog kompjuterizovanog sistema. Iz razloga svoje kompleksnosti u literaturi se izlažu u formi Ekspertnog Sistema koji na prefinjeniji način rešava zadati problem.

2.2.2 Rezervni mikroprocesor

Rezevni mikroprocesor može da zameni bilo koji od osnovnih, a po naredjenju glavnog računara (nivo 1.). S obzirom na širok izbor algoritama,

programska podrška je sada u RAM-u. Komunikacija sa okolinom je obezbedjena preko proširenog interfejsa jer se svi signali dovode na ulaz rezervnog mikroprocesora.

2.2.3 Blok kontrole razmene podataka

Kontrola razmene podataka se odnosi na unutar-sistemsku razmenu podataka izmedju samih mikroprocesora i na spoljašnju razmenu informacija. Ovaj blok prosledjuje signale blokiranja i deblokiranja i može se dovesti u direktnu vezu sa ploterom.

2.2.4 Izlazni blok

Izlazni blok vrši dekodiranje podataka koji dolaze sa mikroprocesora 2. nivoa i formira analogne signale koji vrše uticaj na objekt zaštite. Glavni računar ima mogućnost da direktno upravlja izlaznim blokom. Takvo upravljanje omogućava da se blokira (po naredjenju najvišeg nivoa) davanje analognih izlaznih signala, da se obustavi prijem podataka od bilo kog mikroprocesora, ili da se promeni ranije utvrdjeni režim rada izlaznog bloka.

2.3 1.nivo-Podsistem upravljanja i prikazivanja podataka

Kao podsistem sa vrha hijerarhijske lestvice ovaj obezbedjuje upravljanje kompjuterskim sistemom zaštite od strane operatera, kao i pripremu i davanje informacije operateru o delovanju zaštite prilikom pojave oštećenja i nenormalnih režima rada. Na ovom nivou se takodje vrši koordinacija dejstava raznih uredjaja podsistema 1. i 2. nivoa pri probi zaštite, kontrola tehničkog stanja sistema i obezbedjivanje pouzdanosti funkcionisanja pri pojavama otkazivanja aparature, prikupljanje i davanje operateru dijagnostičkih informacija o tehničkom stanju sistema zaštite. Obezbedjuje se i prenošenje svih relevantnih informacija u komandni centar bloka G-T.

Ovaj podsistem obuhvata sva merenja i prikaz tekućih vrednosti raznih promenljivih (naponi, struje, snage, učestanost itd.) bloka. Sve nabrojane veličine numerički se izračunavaju i u pogodnoj formi prikazuju. Prema tome, podsistem prikazivanja podataka zamenjuje sve pokazne instrumente i signalne uredjaje klasičnog sistema signalizacije i merenja bloka.

U sastav 1. nivoa ulaze: glavni računar sa spoljnim uredjajima (časovnik, ploter, printer, terminal itd.), sistemska magistrala (obezbedjuje vezu sa nižim nivoima) i I/O-interfejs ka nižem nivou. Časovnik meri realno vreme i vremena reagovanja zaštitnog sistema.

3. Podešavanje i kontrola rada zaštitnog sistema

S obzirom na relativno veliku složenost zaštitnog sistema. da bi se

obezbedila mogućnost podešavanja pojedinih zaštitnih funkcija i njihova kontrola, neophodno je da zaštitni sistem u glavnom računaru ima uskladištene programe za simulaciju svih mogućih stanja bloka generator-transformator. Digitalni podaci dobijeni radom tih programa pretvaraju se preko D/A konvertora u analogne signale i uvode u S/H kolo. Na taj način mogu se testirati svi blokovi zaštitnog sistema počev od S/H kola i izvršiti podešavanje svih zaštitnih funkcija.

4. Mogućnost povećanja brzine delovanja

Činjenica da je kompjuterska zaštita bloka G-T zasnovana na multiprocesorskom radu pruža mogućnost povećanja brzine delovanja, što je vrlo važno s obzirom na on-line rad (rad paralelan sa realnim procesom).

Analiza utrošenog vremena jednog ciklusa (odabiranje, memorisanje, obrada) može se iskazati jednačinom (1):

$$T_c = T_o + t_m + t_a \qquad (1)$$

gde su:

T_o - period odabiranja
t_m - vreme memorisanja podatka
t_a - vreme analize (obrade) podataka
T_c - ukupno vreme jednog ciklusa

Da bi se uspostavila ravnoteža izmedju uzimanja odbiraka i njihove obrade, treba da je:

$$T_o = t_m + t_a \ , \qquad (2)$$

pa se iz (1) i (2) dobija maksimalna dužina trajanja jednog ciklusa:

$$T_{cMAX} = 2t_m + 2t_a = 2T_o \qquad (3)$$

Skraćivanje trajanja jednog ciklusa (a time i vremena otkrivanja kvara) na račun skraćenja perioda odabiranja T_o nije prihvatljivo, jer u tom slučaju neće biti vremena ili za unošenje podataka u memoriju, ili za njihovu obradu.

Stoga se jedan mikroprocesor može zadužiti samo za rad sa podacima (prihvatanje, adresiranje i uvodjenje u memoriju). U naprednijim arhitekturama to izvršava DMA (Direct Memory Access) jedinica koja na sebe preuzima prenos podataka. Na ovaj način se T_c smanjuje na:

$$T_c = \max \{ t_a + t_m \ ; \ T_o \} \ . \qquad (4)$$

Zadatak ostalih mikroprocesora se sada svodi na preuzimanje podataka iz zajedničke memorije i na njihovu dalju obradu.

Na Slici 2. su prikazana dva mikroprocesora sa pristupom zajedničkoj memoriji. Jedan je zadužen za rad sa podacima, a drugi za njihovu obradu.

Slika 2. Paralelan rad mikroprocesora

Važno je napomenuti da se posebna pažnja u radu višeprocesorskih sistema mora obratiti na rutine prekida (interrupt routines) programa u cilju efikasnijeg i bolje organizovanog rada.

5. Zaključak

U radu je obrazložena potreba da se ulaže u razvoj kompjuterskih zaštitnih sistema. Kao najpogodniji objekat elektroenergetskog sistema za razvoj takvih zaštitnih sistema apostrofiran je blok generator-transformator.

Prikazan je hijerarhijski zaštitni sistem bloka G-T sa više mikroprocesora i jednim glavnim računarom. Navedene su osnovne mogućnosti za povećanje brzine delovanja ovakvih zaštitnih sistema.

6. Literatura:

[1] V.V.Mihailov, E.V.Kirievskii i dr. "Mikroprocessornie gipkie sistemi releinoi zašiti", Energoatomizdat, Moskva, 1988.

[2] P.Bornard, "Power System Protection And Substation Control: Trends, Opportunities And Problems", Electrical Power & Energy Systems, Vol.10, No.2, April 1988.

7. Zahvalnost

Autori se zahvaljuju Republičkoj Zajednici Nauke koja je finansirala izradu ovog rada.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

mag. Janez GORIŠEK, dipl. ing.
Janez ZAKONJŠEK, dipl. ing.
mag. Anton KOSI, dipl. ing.
Bojan JERINA, dipl. ing.
Jože RUPAR, dipl. ing.
Drago KONČNIK, dipl. ing.

ISKRA, Ljubljana

Referat broj 2.12

DISTRIBUIRANI MIKRORAČUNARI U AUTOMATIZACIJI, UPRAVLJANJU I ZAŠTITI TRANSFORMATORSKE STANICE

OPĆENITO

Razvoj mikroprocesorske tehnologije omogućava upotrebu mikroračunara u svim tehniškim sistemima. Njihova primjena nije ograničena samo na realizaciju pojedinih funkcija, nego jih zbog jednostavne komunikacije medju njima samima kako i sa čovjekom nalazimo i u ulozi potpuno zaključenih sistema za zaštitu, upravljanje i automatizaciju pojedinih elektroenergetskih objekata.

U referatu su dati neki osnovi mikroračunarskog sistema za potpuno zadovoljavanje potreba sekundarnog djela transformatorske stanice. U njemu su funkcije automatizacije, upravljanja i zaštite realizovane pomoću distribuiranih mikroračunara, koji zbog strukture primarne opreme u TS i zahtjeva po sigurnosti i raspoloživosti komunicirajo medjusobno preko optičkih komunikacija. Sekundarne funkcije realizirane su u dva nivoja: nivo polja i nivo kompletne TS. Opisani koncept omogućava efektivnu realizaciju svih sekundarnih funkcija, praćenje zbivanja u TS i jednostavno povezivanje sa nadležnim centrima vodenja bez potrebne dodatne opreme.

ABSTRACT

Development of microprocessor technology enables the use of microcomputer in all technical fields. Owing to communication possibilities, effective man - machine interface, acquisition and processing of the same data for protection, monitoring and control, their use is not limited on single function realization, but is extended on complete automation of secondary functions in transformer substation.

The description of the distributed microprocessor system intended for complete automation in transformer substation is presented. Opposite to solutions in conventional technology, in which separate devices for monitoring, protection and control are used, integrated/coordinated microprocessor system is proposed with function division in bay level and substation level. Microcomputers on both levels are linked via fiber optics serial link. Number of effectively realized secondary functions depend on communication speed, voltage level and cost effectiveness. No extra equipment is needed for connection of the substation to the control center.

1.UVOD

Razvoj mikroprocesorske tehnologije donosi velike promjene u automatizaciju svih tehničkih procesa. Sve veća procesna snaga novih generacija 16 i 32 bitnih mikroprocesora, razvoj signalnih procesora , povezivanje mikroračunara u mreže i stalno samoispitivanje programske i mašinske opreme omogućava potpunu automatizaciju različitih procesa, od projektiranja i planiranja proizvodnje do vođenja i regulacije pojedinih njihovih elemenata.

Mikroračunari donose novi pristup i u izvedbu automatizacije, vođenja i zaštite u elektroenergetskom sistemu (EES), jednom od najkomplikovanijih procesa, koji uključuje proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju električne energije. Njegov rad mora u svakom momentu ispunjavati oštre zahtjeve po kvalitetu, sigurnosti i ekonomičnosti. Za zadovoljavanje svih tih parametara potrebni su dobro organizirani, opremljeni i efektivni sistemi automatizacije, zaštite i vođenja EES-a, koji omogućavaju i optimalan rad primarne opreme. Zbog medjusobne zavisnosti proizvodnje i potrošnje električne energije, različite geografske pozicije pojedinih relativno samostalnih jedinica,EES-u se sve više upotrebljava takozvani distribuirani princip automatizacije, zaštite i vođenja, čijeg karakteristika je podjela funkcija i pristojnosti po hijerarhijskom principu. Najniži nivo u tom sistemu sačinjavaju pojedine proizvodne, prenosne i distributivne jedinice, koje su kao krajne stanice vezane u distributivne, regionalne i državne centre vođenja.

2. SEKUNDARNE FUNKCIJE U TRANSFORMATORSKOJ STANICI (TS)

U samom referatu ograničavamo se na opisivanje suvremenog koncepta automatizacije, zaštite i vođenja u transformatorskoj stanici, koja sačinjava zajedno sa pripadajućom mrežom ključni elemenat u prenosu i distribuciji električne energije. Pošto se prilikom projektiranja automatizacije, zaštite i vođenja preporučuje uvažavanje uloge pojedinih jedinica u EES-u može se napomenuti, da je TS sagradjena iz sistema izvoda, sabirnica i pomoćnih elemenata na dva ili više naponska nivoja, koji su medjusobno povezani energetskim transformatorima. Naponski nivo, opseg i izvedba TS ponajviše zavise o ulozi TS u EES-u. Obzirom na funkciju TS u EES-u moguće ih je podjeliti na TS visokih i najvišh napona (400/220/110 kV) i TS visokih i srednjih napona (110/x kV). Raspodjela primarnih elemenata u prostoru zavisi pre svega o upotrebljenoj tehnologiji i njome vezanih troškova. Za TS visokih i najvišh napona je u klasičnim izvedbama karakteristična raspodjela opreme na otvorenom prostoru sa velikim udaljenostima medju pojedinim elementima, dok se za naponski nivo srednjih napona obično upotrebljavaju izvedbe sa ćelijama u zatvorenim prostorijama. Posebno prilikom gradnje visokonaponskih postroja moguće je njihove dimenzije bitno smanjiti upotrebom takozvane GIS tehnologije (upotreba gasa SF6).

Razmatranje pojedinih funkcija automatizacije, zaštite i vođenja u TS pokazalo je, da ih je moguće, bez obzira na upotrebljenu tehnologiju, podjeliti na funkcije nivoa polja i funkcije na nivou stanice. Funkcije na nivou polja neposredno su vezane na pojedine elemente kao što sú dalekovod, transformator, spojno poprečno i uzdužno polje itd., dok funkcije na nivou stanice obuhvataju rad kompletne TS.

Funkcije na nivou polja su:

- zaštita dalekovoda, transformatora...
- automatsko ponovno uključenje
- čitanje statusa rastavljača i prekidača
- mjerenja napona i struje
- evidentiranje dogadjaja i alarma
- uključivanje i isključivanje rastavljača i prekidača
- blokade na nivou polja
- komuniciranje sa čovjekom
- samoispitivanje itd.

Funkcije na nivou TS su:

- upravljanje rastavljača i prekidača
- čitanje podataka o stanju primarne opreme
- čitanje podataka o stanju sekundarne opreme

- komuniciranje sa operaterom
- automatska sekventna preklapanja
- blokade sklopnih elemenata na nivou TS
- podfrekventno rasterećivanje
- regulacija napona i jalove snage
- oscilografija i zapis dogadjaja
- mjerenje trenutnih, prosječnih i maksimalnih vrijednosti
- vođenje iz daljinskog centra vođenja
- zaštita sabirnica
- zaštita od otkazivaja prekidača
- samonadzor i samodiagnosticiranje

Pregled nabrojanih funkcija navodi na zaključak, da je nemoguće napraviti oštru granicu izmedju njih. Moguće je ustanoviti, da je izvodjenje funkcija automatizacije i zaštite vezano prije svega za nivo pojedinih polja (zaštita sabirnica sačinjava obično samostalan sistem), dok je većina funkcija na nivou stanice zavisna od podataka, koji se uzimaju na nivou pojedinih polja.

Upotrebom klasične tehnologije ove su funkcije realizovane odvojenim aparatima, što se posledično odražava u velikom broju aparata i time povezanim troškovima za ožičenje, montažu i održavanje sve opreme. Upotrebom mikroračunarske tehnologije moguće je realizirati sistem, koji je funkcionalno i ekonomski sasvim ravnopravan klasičnim rješenjima ili je od njih čak bolji.

Sistem za zaštitu, automatizaciju i vođenje TS baziran je na upotrebi podjeljenih, modularno sagradjenih i medjusobno komunicirajućih mikroračunara, čiji rad stalno nadzire stanični računar. Sistem omogućava realizaciju koncepta integracije/koordinacije funkcija, za koje je karakteristično, da se podaci obradjuju što bliže odgovarajućoj primarnoj opremi, gde se izvodi i obrada podataka za potrebe zaštite i vođenja, dok se potrebni podaci višim nivoima prenose preko odgovarajućih komunikacionih kanala. Pojam integracije funkcija ne znači fizičko izvodjenje pojedinih funkcija u jednoj samoj aparaturi nego podjelu procesne snage i inteligencije medju pojedine mikroračunare što bliže primarnoj opremi TS. Pojedine funkcije realizovane su u saglasnosti sa zahtjevima bezbednosti, sigurnosti i raspoloživosti rada kompletnog sistema. Isto tako mora biti ispunjen i zahtjev da ispad sistema na višem nivou nikako ne smije ugroziti izvodjenje pojedinih zaštitinih funkcija na nižem nivou. Kompletan sistem u TS predstavlja za odgovarajući centar vođenja običnu krajnu stanicu. Opisani koncept omogućava smanjenje troškova za projektiranje, ožičenje, montažu i održavanje, a zbog stalnog samoispitivanja programske i mašinske opreme moguć je i stalan nadzor nad stanjem primarne i sekundarne opreme.

3. KONFIGURACIJA SISTEMA

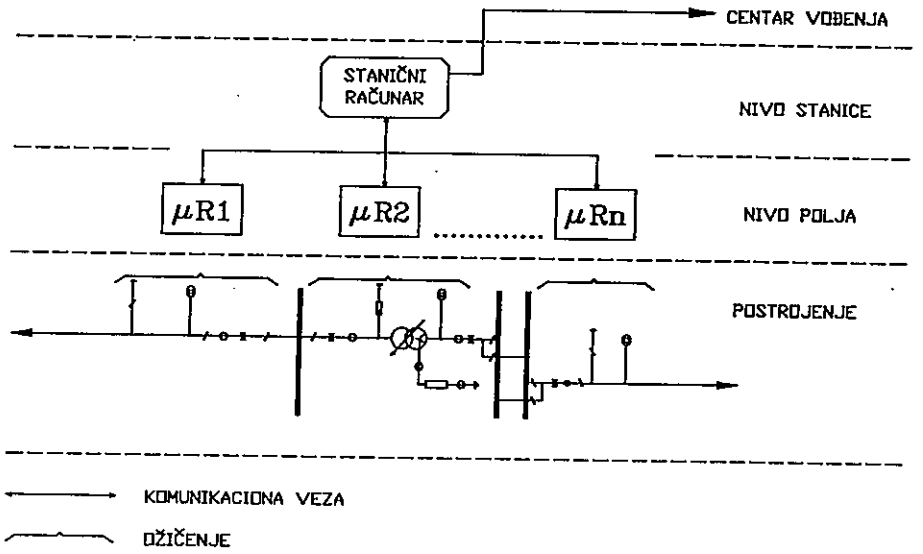
Koncept automatizacije, zaštite i vođenja TS šematski je prikazan na slici 1. Sa nje je vidljivo, da su pojedine funkcije podjeljene hijerarhijski obzirom na konfiguraciju TS. Mikroračunari na nivou polja izvode funkcije sabiranja podataka, zaštite, upravljanja i nadzora primarne opreme u TS, dok je stanični računar prije svega namijenjen prikazu stanja kompletne TS, lokalnog vođenja i pripremi podataka za centar vođenja.

Nivo polja kao prvi nivo nad primarnom opremom skuplja sve podatke, lokalno ih obradjuje i izdaje komande.Zbog postepenog uvodjenja mikroračunara u TS i zbog zahtjeva, da mora novi koncept dozvoljavati automatizaciju TS upotrebom klasične i moderne zaštitne opreme, na nivou polja moguća su različita rješenja, koja su šematski prikazana na slici 2.

-na slici 2a prikazan je postepen moguć prelaz na koncept vođenja sa dislociranim mikroračuarima. Takvo rješenje omogućava upotrebu kako klasičnih tako i mikroprocesorski baziranih zaštita, gdje su pojedine zaštite odvojene od uredjaja za daljinsko vođenje, dok je priključenje zaštita izvedeno preko posebnih diskretnih ulaza uredjaja za daljinsko vođenje. Za mjerenje upotrebljavaju se klasični mjerni pretvarači, s tim da rješenje mora omogućavati i upotrebu mjernih pretvarača sa digitalnim izlazom ili čak pretvarača sa komunikatorom.

- rješenje na slici 2b slično je rješenju na slici 2a sa tom razlikom, da traži priključenje mikroprocesorski baziranih zaštitnih uredjaja, koji komuniciraju preko komunikacionih kanala sa uredjajima za daljinsko vođenje. U tom slučaju otpada potreba za mjernim pretvaračima pošto mogu moderni mikroprocesorski uredjaji za zaštitu pored svoje osnovne funkcije obavljati i funkciju mjerenja, a istovemeno se smanji i broj potrebnih diskretnih ulaza. Takva rješenja najčešće se upotrebljavaju u TS visokih i najviših napona.

- na slici 2c prikazan je koncept, kojeg je moguće naći prijee svega na srednjenaponskom nivou. Funkcije automatike, zaštite i vodenja integrisane su u jednom samom uredjaju, koji je u većini primjera modularno sagradjen i koji upotrebljava više mikroprocesora ili signalni procesor.



slika 1: Integrisani sistem za zaštitu, automatizaciju i vodenje

3.1. NIVO POLJA

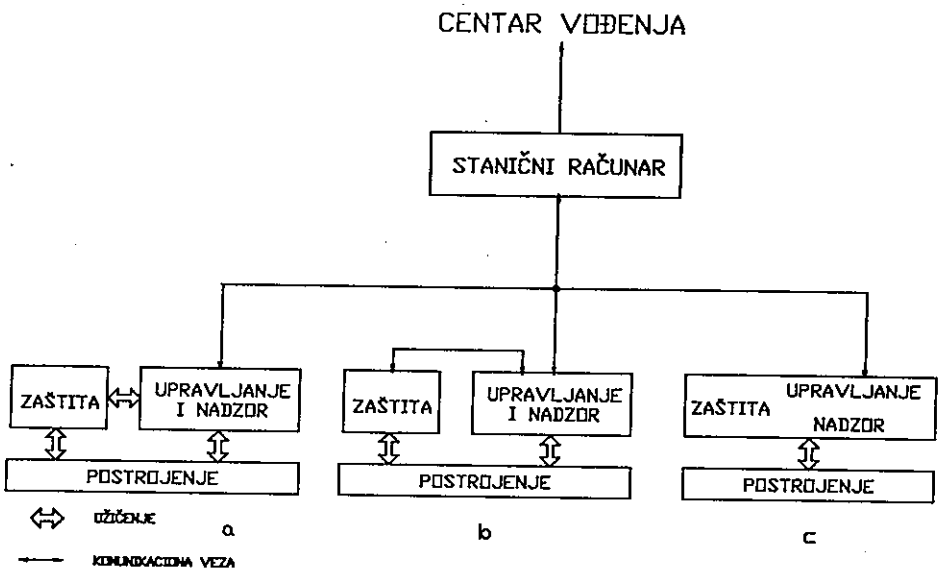
Pošto moraju biti svi uredjaji za automatizaciju, zaštitu i vodenje gradjeni suglasno sa medjunarodnim propisima (npr. otpornost na elektromagnetne smetnje), većina uredjaja na nivou polja konstruisana je modularno. Konfiguraciju takvog uredjaja moguće je podjeliti na sljedeće djelove:

- ulazno-izlazni moduli
- procesorski modul
- modul za komunikaciju

Ulazno izlazni moduli prije svega služe za komuniciranje uredjaja za vodenje sa okolinom. U najjednostavnijoj izvedbi po slici 2a opremljen je odabranim brojem optički odvojenih ulaza, relejskih izlaza i analognih ulaza za priključivanje mjernih pretvarača,a sama izvedba omogućava i priključenje mjernih pretvarača sa digitalnim izlazima. U slučaju integracije svih funkcija u jednom samom uredjaju (slika 2c) konfiguracija ulazno izlaznog modula proširuje se dodatnim ulaznim transformatorima za prilagodjavanje struja i napona instrumentnih (zaštitnih) transformatora statičkim sklopovima mikroračunara i analognim filterima.

Glavni deo mikroračunarskog uredjaja na nivou polja sačinjava centralna procesna jedinica, sastavljena od 16-bitnog procesora, memorijskih elemenata za pohranjivanje programa, podešenja i radnih podataka te posebnih krugova za nadzor rada programske i mašinske opreme.

Modul za komunikaciju namijenjen je komuniciranju sa staničnim računarom, koji je sa modulima na nivou polja vezan preko optičkih kablova na principu linije sa više otcjepa. Pored optičkog komunikacionog izlaza obično je opremljen i dodatnim RS 232 izlazom, na koji je moguće priključiti pored mikroprocesorskih zaštita i osobne računare sa programima za lokalnu obradu i parametriranje uredjaja na nivou polja. Za komunikaciju upotrebljen je asinhroni prenos informacija, koje su u suglasnosti sa suvremenim medjunarodnim standardima, npr.: IEC- 57, DIN-19244,...)



slika 2: Različita rješenja zaštite, nadzora i upravljanja na nivou polja

Slična konfiguraciji mašinske opreme je i modularna programska oprema. Na nivou polja sačinjavaju je programi za mjerenje analognih i digitalnih ulaznih veličina, lokalnu obradu i memorisanje izmjerenih vrijednosti, komuniciranje staničnim računarom i programi za stalno samoispitivanje ispravnosti programske i mašinske opreme. Lokalna obrada zavisi od stupnja integracije funkcija. Kod rješenja za postupni prelaz na vođenje sa distribuiranim mikroračunarima (slika 2a) program lokalne obrade izvodi nadzor nad izmjerenima vrijednostima i ispravnim izvođjenjem komandi (blokade), dok se u slučaju integracije funkcija izvodi i proračun digitalnih algoritama zaštite i automatizacije.

3.2. NIVO TRANSFORMATORSKE STANICE

Funkcije na nivou TS namijenjene su izvodjenju funkcija nadzora i upravljanja, vezanih na rad kompletne TS. Ovaj nivo preuzima nivo lokalnog vođenja, u klasičnim rješenjima izvedenog pomoću sinoptičke ploće, komuniciranje računarima na nivou polja i komuniciranje sa odgovarajućim centrom vođenja.

Mašinsku opremu sačinjava osobni računar, za kojeg se preporučuje industrijska izvedba, sa grafičnim ekranom, pisačem, crtačem, grafičkim interfejsom i dovoljno velikim memorijskim mogućnostima. Konfiguracija osobnog računara potpunjena je ugradjenom komunikacionom pločicom za povezivanje staničnog računara sa računarima na nivou polja i centrom vođenja.

Programska oprema računara na nivou TS jako je opsežna i zahtjevna. Od računara na nivou TS očekuje se obrada analognih i digitalnih vrednosti pojedinih veličina, održavanje dinamičke i statičke baze podataka, izvodjenje funkcija nadzora kao i upravljanja sa zahtjevima po suvremenom komuniciranju izmedju čovjeka i mašine sa unapred pripremljenima poljima pojedinih menija.

Razvoj takve opreme traži mnogo uloženog vremena i sredstava. Pošto posebno za male proizvodaće razvoj takvih sistema ekonomski nije opravdan, na tržištu su se pojavili programi za posebne namjene sa jakom grafičnom potporom i izvodjenjem u realnom vremenu, koji omogučavaju izvodjenje sljedećih funkcija:

- čitanje analognih i digitalnih vrijednosti mjerenih veličina
- memorisanje podataka za različita vremenska razdoblja
- grafičko prikazivanje stanja procesa i unošenje komandi
- nadzor nad mjerenim vrijednostima i obrada alarma
- funkcije upravljanje i regulacije
- protokoliranje
- nadzor i prikaz trendova
- statističku kontrolu procesa
- mogućnost uključivanja specialnih programa kupaca programa

Pošto su ti paketi namijenjeni opštoj upotrebi potrebno je, da ih kupac prilagodi specifičnim potrebama TS. Na osnovu grafičke potpore potrebno je izraditi biblioteku elektroenergetskih simbola, definisati i parametrisati odgovarajuće baze podataka i dodati one specijalne korisničke funkcije , koje su specifične za elektroenergetske objekte i koje nisu deo standardnog programskog paketa. Pošto izvedba komunikacionih protokola nije standardna, praktički svaki proizvodjač upotrebljava svoj protokol. Zbog toga je u većini slučajeva potrebno izraditi protokol za komuniciranje staničnog računara sa centrom vodenja i sa računarima na nivou polja.

4. ZAKLJUČAK

Upotreba mikroračunara u elektroenergetskom sistemu omogućava jedinstveno i ekonomski opravdano izvodjenje svih sekundarnih funkcija u transformatorskoj stanici. Glavne prednosti ove tehnologije, koje utječu na povećanje sigurnosti rada i ekonomsko opravdavaju uvodjenje mikroračunara u automatizaciju, zaštitu i vodenje EES-a, su:

-digitalna obrada podataka zajedno sa primjenom suvremenih metoda procesiranja
-memorisanje
-stalno samoispitivanje mašinske i programske opreme
-mogućnost integracije i koordinacija funkcija
-komunikacija sa višim nivoima
-komunikacija sa čovjekom.

Obzirom na zahtjeve po bezbednosti i sigurnosti rada, pokazao se primjernim princip vodenja sa podjelom funkcija na nivo stanice i nivoe pojedinih polja. Za izvodjenje sekundarnih funkcija preporučuje se upotreba dislociranih mikroračunarskih struktura, medjusobno povezanih sa višeodcjepnom linijom i upotrebom asinhrone serijske komunikacije preko optičkih kablova. Mikroračunari na nivoima polja obavljaju funkcije lokalne automatizacije, mjerenja, zaštite, sakupljanja podataka i distribucije komandi primarnoj opremi. Zadatak računara na nivou TS je daljnja obrada i memorisanje sakupljenih podataka, komunikacija sa centrom vodenja te prikazivanje stanja i nadziranje kompletne transformatorske stanice.

5. LITERATURA

1. CIGRE SC, WG 34-02: Final Report on Computer Based Protection and Digital Techniques in Substations; May 1984

2. G. Cotto: Special Report for Group 34 (Protection); International Conference on Large High Tension Electric Systems; Paris 1986

3. P. Bornard: Power System Protection and Substation Control: Trends, Oppurtunities and Problems; Electrical Power and Energy Systems, Vol. 10, No. 2, April 1988

4. A. G. Phadke: Computer Relaying: Its Impact on Improved Control and Operation of Power Systems; IEEE Computer Applications in Power, October 1988

5. D. Končnik, J. Gorišek, D. Stančič, A. Ogorelec, I. Kukovič: Functional requirements for coordinated/integrated substation 110/20 kV; Digital technology in Power Systems; Symposium CIGRE , Bournemouth 1989

6. J. P. Waha, L. Marzio: Integration of new technology control devices into power system control; Symposium CIGRE, Bournemouth 1989

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

GRUPA 2 - LOKALNO I DALJINSKO UPRAVLJANJE

Stručni izvjestilac: Dr. Zorko Cvetković dipl.ing.

IZVJEŠTAJ STRUČNOG IZVJESTIOCA

1 Priprema postrojenja

U ovoj podgrupi predočena su dva referata:

2.01 autori R.Antić, Z.Dabić i S.Radovanović
"Neka tehnička pitanja vezana za pripremu TS 400 (220)/110 kV za daljinsko upravljanje". Iznose se iskustva i otvaraju neke dileme oko prilagođenja transformatorskih stanica za rad u TSU.

2.02 autori V.Novaković, Lj.Denić i M.Petković
"Ispitivanja sistema daljinskog vođenja EE objekata pri puštanju u rad". Opisuju se iskustva sa ispitivanjem telekomunikacione opreme i opreme za daljinsko upravljanje.

Pitanja za diskusiju:

1.1. Da li upravljati rastavljačima ili ne - dosadašnja iskustva?
1.2. Sa koliko objekata maksimalno se predviđa upravljati iz jednog MRC?
1.3. Koji je maksimalni broj serijski spojenih prijenosnih puteva za prijenos informacija iz objekta u centar i koje su brzine prijenosa?
1.4. S kojim dokumentima se vrši primopredaja objekta za uključenje u TSU?

2 Koncepcija lokalno upravljačkih sistema

U ovoj podgrupi predočena su četiri referata:

2.03 autori N.Mislimovski i S.Vučković
"Optimizacija vršne potrošnje". Opisuje se sistem vođenja i optimizacije tehnološkog procesa proizvodnje i distribucije električne energije Zavoda Crvena Zastava - Kragujevac

2.04 autori V.Srzentić, J.Zaninović i S.Vučak
"Sistem nadređenog vođenja HE Đale daljinski tretirane kao jednoagregatno postrojenje, u funkciji regulacije nivoa akumulacije HE Đale i akumulacije HE Zakučac". Opisuje se sistem upravljanja agregatima i evakuacionim organima HE Đale kao jednoagregatnog postrojenja u svrhu regulacije nivoa gornje i donje vode.

2.05 autori M.Filipović i D.Pamučar
"Uvođenje TSU u HE Đerdap I". Prikazuju se usvojena rješenja za prelaz elektrane na rad u TSU.

2.06 autor Ž.Šupak
"Novi pristup obradi signala iz tipske trafostanice 110/35/10 kV. Postavlja se problem tretiranja signala koji su predviđeni koncepcijom tipske stanice. Daju se prijedlozi za unapređenje sa svrhom realnijeg informiranja operatora.

Pitanja za diskusiju:

2.1 Postoje li konkretna iskustva sa sistemom optimizacije vršne potrošnje?
2.2 U HE Đale se spominje komanda sliva (KS), a ne komanda lanca (KL), koja je hijerarhijska pozicija KS?
2.3 S obzirom na visoki stupanj automatizacije HE Đale (i sličnih HE) koliko je ljudi zaposleno u elektrani?
2.4 Kada će biti izvedeno kompletno prilagođenje HE Đerdap I?
2.5 Koje informacije se danas prenose iz HE Đerdap u nadležne centre?
2.6 Da li se predviđa daljinsko upravljanje nekih elemenata u HE Đerdap I. i kojih?
2.7 Ima li sličnih iskustava onima navedenim u referatu 2.06?
2.8 Da li su iskustva iz referata 2.06 dovela do službene promjene u sistemu obrade signala tipske stanice?

3 Karakteristike uređaja

U ovoj podgrupi predočena su četiri referata:

2.07 autori S.Miklavčič i M.Kozole
"Spremljanje EES in obdelava podatkov s sistemom ISKRAMATIC - SEP 2". Daje se opis aparata za prijenos, registraciju i obradu podataka za obračun električne energije.

2.08 autor V.Ribnikar
"Možnosti upravljenja v sistemu daljnskega omrežnega tonfrekvenčnega krmiljenja z novim MTK sprejemniki". Opisuje se novi tip MTK prijemnika sa povećanim mogućnostima.

2.09 autor Dr B.Levi
"Industrijski računar TIMKO u EE objektima". Opisuje se univerzalni industrijski računar najnovije generacije razvijen u Institutu "M.Pupin".

2.10 autor M.Rančić
"Elektronski regulator angažovane snage na naponu 0,4 kV". Opisuje se uređaj za limitiranje vršne potrošnje.

Pitanja za diskusiju:

3.1 Da li je koji od navedenih uređaja u eksploataciji i kakva su iskustva?
3.2 Da li se podaci uređaja iz referata 2.07 mogu uvesti u real-time računala?
3.3 Ako da, da li se to izvodi u objektima ili u centru?
3.4 Da li MTK prijemnici iz referata 2.08 odgovaraju kriterijima granskog standarda Jugela?

4 Integracija funkcija

U ovoj podgrupi su predočena dva referata:

2.11 autori Dr. M.Đurić i V.Terzija
"Kompjuterska zaštita bloka generator-transformator realizirana mikroprocesorima i centralnim računarom". Obrađuje se kompjuterski zaštitni sistem bloka generator-transformator i analiziraju njegove komponente.

2.12 autori Mr. J.Gorišek i J.Zakonjšek
"Distribuirani mikroračunari u automatizaciji, upravljanju i zaštiti transformatorske stanice". Daju se osnove mikroračunarskog sistema za potpuno zadovoljenje potreba sekundarnog dijela transformatorske stanice.

Pitanja za diskusiju:

4.1 Postoje li konkretne realizacije opisanih rješenja?
4.2 Postoje li razmišljanja o sličnim rješenjima drugih područja?
4.3 Postoji li negdje razrađen plan prelaza sa klasične (elektromehaničke i statičke) zaštite na mikroračunarsku tehniku zaštite?
4.4 Koji je odnos cijena klasične i mikroračunarske zaštite?

GRUPA III.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Ferdinand Gubina
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Ljubljana

Referat broj 3.00

NADZOR ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA KOD POREMEĆAJA I APLIKACIONA PROGRAMSKA OPREMA

SADRŽAJ

Uzroci nezadovoljstva operatera sa performansama sistema za nadzor elektroenergetskog sistema u poremećenim stanjima uprkos obimnoj aplikacionoj opremi su analizirani u radu. Pokazni su problemi redukcije podataka i nadzora u poremećenim stanjima. Analizirani su nedostaci kod alarmiranja i prikaza vitalnih indikacija poremećenih stanja.

ABSTRACT

Source of operators discontent with the monitoring of the power system in the perturbed states is analyzed in connection with the power application software. Data reduction and monitoring problem in the perturbed states is presented. Alarming and indications deficiencies as well as use of display techniques are discussed.

1. UVOD

Moderni sistemi vodjenja elektroenergetskog sistema (EES) uključuju dodatne funkcije za kontrolu u poremećenim stanjima. Pojavljaju se novi programski paketi za rešavanje problema poremećenih stanja. Tako se pored podataka iz normalnog stanja u okviru nadzora pojavljaju dodatni podaci i informacije, a posledica je preopterećenje operatera kod nadzora EES.

Funkciju nadzora obuhvata nadziranje sigurnosti i ekonomičnosti rada EES sa ciljem postizanja blagovremene i tačne informacije o stanju sistema, da bi

se moglo poduzeti odgovarajuće mere.

Mogućnosti operatera za primanje i procesiranje podataka su relativno niske, njegova koncentracija zavisi od kašnjenja odgovora, kojeg traži, a pored toga mu treba vreme za uočavanje novog stanja. Tako treba oko tri minuta /1/, da operater reagira na neočekivan poremećaj, koji prouzrukuje nenormalno stanje EES. To stvara ozbiljne poteškoće u planiranju i radu sistema za nadzor.

Operateru treba što manji skup podataka, koji bi mu dao adekvatan pregled nad stanjem sistema, razvojem smetnje i rangiranim mogućnostima za akciju, a da se on ne gubi u mnoštvu irelevantnih obaveštenja i varijanti. Prezentacija podataka mora se izvesti na takav način, da se informacije ne gube, da su raspoložive na poziv, ali se prikazuju samo najbitnije. Alarmi moraju operatera informirati a ne uznemiravati.

Veoma je zbog toga važno, da se bitne informacije o trenutnom stanju EES što brže izvuku iz mnoštva podataka i odgovarajućih proračuna da bi se mogle predstaviti operateru. Pored toga moraju biti te informacije predstavljene elementarno, jasno i kompletno, što je teško postići. Razvijaju se novi prilazi za obradu velikih skupova podataka pomoću moderno koncipiranih baza podataka, sistema za komunikaciju čovek - mašina, aplikacione programske opreme i ekspertnih sistema. U tom smislu treba razviti efikasan prilaz ka rešenju sledećih problema:

- Dobra definicija stanja EES za potrebe operatera
- Obrada podataka iz EES u prihvatljivom vremenu
- Ekstrakcija vitalnih informacija iz procesa
- Odgovarajuća prezentacija informacija o stanju EES operateru
- Informiranje operatera o potencialnom razvoju smetnje i njezinim posledicama
- Prezentacija pregleda mogućih akcija u prioritetnom redu da bi se sistem doveo u normalno stanje
- Informiranje operatera o posledicama pojedinih akcija na koje mora operater biti pripremljen.

Kao što vidimo, nema jednostavnog rešenja postavljenim zahtevima uprkos mnoštva aplikativne programske opreme za analizu rada EES, koja još ne daje traženih odgovora u željenom smislu.

2. NADZOR EES

2.1. Otkrivanje stanja EES i programska oprema

Informacija o stanju EES bazira se na skupu podataka, koji sastavljaju osnovni podaci o sistemu, merenja i signali stanja elemenata sistema. Ovim podacima se priključuje skup podataka o mogućim posledicama smetnji i mogućim varijantama kontrolnih akcija, kao i njihovim posledicama. Dodatni podaci se stvaraju u poremećenim stanjima na bazi jednostavnih usporedjenja mernih vrednosti ili pomoću aplikacione programske opreme za analizu tekućeg stanja EES i sintezu akcija. Izvor podataka za nadzor EES prikazan je u tabeli 1, gde

su pojedine funkcije vodjenja podeljene na fazu nadzora i fazu akcije.

Tabela 1. Podaci za nadzor i akciju operatera

Proces nadzora	Akcija operatera
1. Bazni podaci o EES (TE, HE, RTP, mreža) - konfiguracija - nominalni parametri - referentne vrednosti	
2. Normalno stanje - Alarmi - Obaveštenja - Analiza tekućeg rada * opterećenje proizv.jedin i prenosnog sistema * performanse regul. snage * razmena snage sa sused. preduzećima * otstupanja u razmeni * otstupanje mernih vred. * praćenje termič. opter. (kabli, vodovi, transf.) * stanje opterećenja i odziv potrošaća * udeo proizvod. jedinice * reaktivna snaga - Hronologija dogadjaja - Nadzor sigurnosti * statički sig. indeksi * indeksi transient stab. * indeksi naponske stab. - Ekonomski param. optimizac - Naponski profil - Podaci iz okoline * stepen zagadj. kod TE * temp. okoline i zaledjen * vremenski podaci * TV progr. i priredbe	* razmena podataka sa sused preduzećima * korekc. otstupanja razm.
3. Krizna stanja - Poremećaji - Lokalna frekven. in df/dt - Naponi čvorova - Podaci o prelaznim pojav. - Rad zaštita	
	- Preklapanje kondenzatora - Redukcija napona - MTK - Start agregata
- Identifikacija kvara - Identifik. elem. u kvaru	
	- Preklopi u mreži * korektivno preklapanje * izolacija poremećaja * sekcioniranje područja * izklop elementa u kvaru
4. Restauracija EES - Radni parametri otoka * frekvenca * naponi * opterećenja	
	- Povezivanje * otoka * sa interkonekcijom - Priključivanje konzumenata

Već pre smetnje, kada sistem udje u nesigurno stanje, koje se ustanavlja programskom opremom, mora operater poduzeti mere za vračanje u normalan režim rada.

Identifikacija stanja EES odmah posle smetnje je od bitne važnosti za uspešno vodjenje procesa. Operater mora naime uočiti posledice smetnje i pripremiti mere za vračanje sistema u normalno stanje. U tom okviru mora:

- locirati smetnju
- upoznati problem i njegove buduće posledice
- oceniti moguće dodatne potencialne dogadjaje
- zaustaviti širenje smetnje
- izolirati poremećeno područje, ako ono može ugroziti EES
- identificirati opremu u kvaru i locirati kvar
- eliminirati element u kvaru
- uočiti vreme, koje mu stoji na raspoloženju

Jasno je, da mora operater imati brz, efikasan i dovoljno detajlan pregled u vidu alarma, indikacija i drugih informacija.

Dok su u normalnom i nesigurnom stanju u centru pažnje podaci o ekonomskom radu i performansama sigurnosti, dolazi u poremećenom stanju u obzir drukčiji skup podataka. Menjaju se i kriterijumi, jer treba u prvom redu zadovoljiti gornje zahteve.

2.2. Proces redukcije informacija za potrebe nadzora

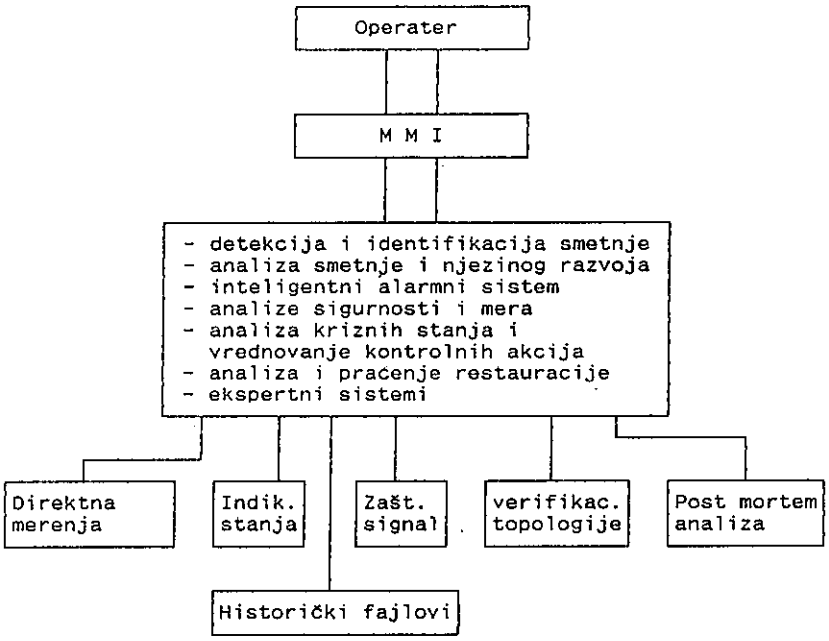
Opseg podataka u savremenom centru vodjenja može da prevazidje više hiljada nadzirenih tačaka (preko 8000). U ovakvom mnoštvu podataka neizbežna je upotreba automatizovanog filtriranja da bi se operater mogao da opskrbi sa apsolutno nužnim informacijama, koje može prihvatiti u razpoložívom vremenu. Kod toga mora biti u mogućnosti, da kontroliše tok podataka i način njihovog prezentiranja na ekranima i drugim sredstvima komunikacije sa procesom.

Proces filtriranja podataka o stanjima i dogadjajima u EES prikazan je na slici 1. Proces se odvija u glavnom automatski uz upotrebu aplikacione programske opreme uključujući interaktivni i optimalni proračun protoka snaga, procene stanja, prognoze opterećenja, statičkih i dinamičkih sigurnosnih analiza, ekspertnih sistema i dostupa do bazičnih i podataka o prošlom radu i stanju EES.

Kao što vidimo je proces filtracije obiman. Bitno se može opseg podataka smanjiti već na nivou inteligentnih krajnih stanica /1/, koje poseduju odredjene funkcije, kao što su:

- komprimiranje informacija u skladu sa prioritetom
- komprimiranja alarma
- redukcija nepotrebnog prenosa podataka podizanjem praga u načinu prenosa vrednosti kod prekoračenja pragova (report-by-exception) u kriznim i restorativnim režimima rada EES
- validiranje podataka pomoću lokalne redundancije ili kombinovanjem indikacija stanja i merenja
- lokalna provera topologije i estimacija stanja

- formiranje detajlnih lista kronologije dogadjaja i merenja za post mortem analize
- analiza vremenskih serija merenja za nadzor dinamičkog ponašanja generatora za potrebe detekcije nestabilnosti
- mogućnost fleksibilnog nastavljanja pragova rada zaštita.



Slika 1: Filtriranje podataka u procesu vodjenju EES

Pored toga se moraju informacije dodatno komprimirati u centru vodjenja i potisnuti sa strane operatera.

2.3. Nadzor u poremećenim stanjima

Alarmi i ostale informacije, koje mora dobiti operater u normalnom stanju, će se dakle bitno razlikovati od onih u poremećenom stanju. Najkomplikovaniji su alarmi, koji posreduju operateru informacije o krizi EES u pogledu integriteta.
U takvom slučaju treba generirati dodatne alarme, koji su rezultat kompleksnih analiza pomoću aplikativne programske opreme, kao što su:

* sigurnosni alarmi
* alarni kriznih stanja
* alarmi naponske stabilnosti
* alarmi kritičnih opterećenja
* alarmi kod raspada sistema na otoke
* alarmi prekoračenja limita kod restauracije EES

* alarmi, koji se baziraju na tekućoj analizi i diagnostici rada sistema zaštita.

Alarmi u poremećenom stanju obično su kompleksnog značaja pa treba sprečiti, da se isti poremećaj signalizira višestruko. Zbog toga treba uvažavati sledeća pravila kod formiranja alarma kod poremećaja:

1. Jedan poremećaj sme da generira minimalan broj alarma (po mogućnosti jedan), koji daje dovoljnu informaciju operateru o stanju u EES
2. Alarmi se moraju generirati kao sintetična kombinacija promena stanja elemenata, merenja i proračuna pomoću aplikacione programske opreme
3. Oddvajanje alarma po sadržaju
   - informacija o poremećaju i
   - alarmi o potrebnoj kontrolnoj akciji
4. Ni jedan alarm se ne smije izgubiti u poplavi signalizacija i alarma
5. Alarme, koji su vezani na normalan rad (alarmi iz AGC, iz optimalnog rada sistema itd.) treba blokirati u slučaju kriznih stanja.

Ti zahtevi su vezani na filozofiju rada s alarmima i na principe kontrole prezentacije podataka operateru.

3. PROCES ALARMIRANJA I DIAGNOZE POREMEĆAJA

3.1. Analiza alarma

Diagnoza poremećaja, alarmiranje i sinteza raspoloživih akcija su ključni problemi, koje mora aplikaciona oprema uskladiti sa potrebama operatera. Kompleksnost i rast EES, kao i nova ograničenja sa strane zaštite okoline povećavaju skup alarma i drugih ključnih informacija. Ove mora operater shvatiti uz svoj relativno nizak kapacitet za procesiranje informacija. Zbog toga nije ni čudno, da je procesiranje podataka o stanju i dogadjajima u EES stalno intenzivno kritikovano sa strane operatera u smislu:

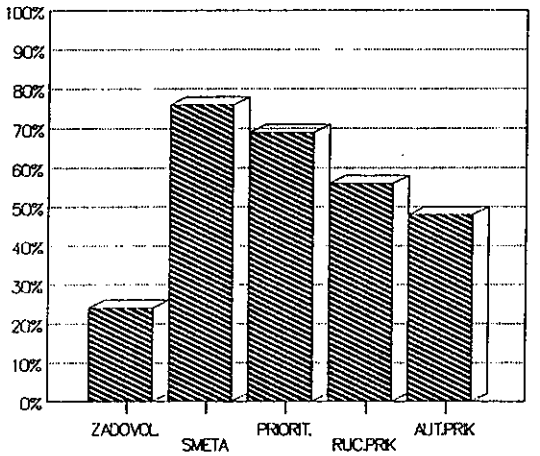
- Alarmi nisu odgovarajući u periodima velike aktivnosti u centru vodjenja,
- Ponekad obuhvataju i informacije, koje nisu relevantne za shvatanje biti perturbacije i njezinih posledica,
- Alarmi ponekad nemaju veze sa stanjem EES, koje se zbog toga ne može prepoznati,
- Velik problem predstavlja preveliko mnoštvo alarma,
- Neki kvar prouzrokuje više alarma, što smeta operateru pogotovo u kriznim stanjima,
- Operater dobija alarme, na koje uopšte ne može da reagira, jer za to ne postoji nikakav način.

Na slici 2 vidimo mišljenje grupe operatera o tim problemima iz ankete /2/.

Proizvodjači imaju različita rešenja za prikazivanje alarma i vitalnih informacija o stanju sistemu u poremećenom stanju. Oni često pokušavaju da ostvare kompletan skup alarma, da se ne bi izgubio ni jedan detajl. Ali glavni cilj alarmiranja i prezentiranja informacija jeste

ŠTA MORA OPERATER ZNATI O POREMEĆAJU SA SISTEMSKOG STANOVIŠTA, U KAKVOM SE STANJU EES NALAZI I ŠTA MORA DA URADI

Zadaci i mere, koje mora operater poduzeti, se bitno razlikuju kod normalnog, kriznog i restorativnog stanja. Zbog toga je svrstanje alarma i drugih vitalnih informacija u *prioritete* i *kategorije* pravi prilaz rešenju tog problema.



Slika 2. Mišljenje operatera o procesiranju podataka

3.2. Indikacije generisane programskom opremom

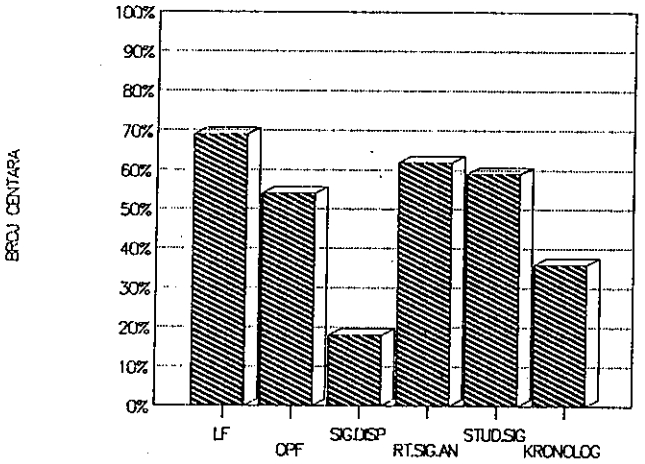
Generisanje alarma u poremećenim stanjima temelji se na indikacijama, koje sastavljaju indikacije stanja elemenata mreže i indikacije stanja EES, koje generiše aplikaciona programska oprema. Za operatera su pogotovo važne indikacije stanja EES, koje obuhvataju npr.

* nivo aktivnosti u EES
* dinamičko bojadisanje mreže
* pregled bitnih odstupanja merenja
* pregled opservabilnosti mreže
* prekoračenja nadzirenih granica
* statički sigurnosni indeksi po snazi i naponu
* sigurnosni stabilnosni indeksi
* dinamički indeksi naponske stabilnosti
* indikacije oscilacija snage na vodovima
* broj dospelih alarma i njihov porast
* ogroženost EES od opterećenja
* opseg mreže, koju je zahvatio poremećaj
* opseg ispale proizvodnje
* indeksi prioritetnih šema restauracije sistema
* ključne indikacije za restoraciju sistema posle raspada

Neke od ovih indikacija imaju kompleksno značenje i morajo biti predstavljene operateru brzo i adekvatno.

Raspoloživa programska oprema je relativno doterana i stoji na raspoloženju u mnogim moderno opremljenim centrima. Nedavna analiza (CDC 1988) pokazala je, da se oprema za identifikaciju i proveru dogadjaja i smetnji ne upotrebljava, kako bi se to očekivalo. Prikaz te analize dat je ns slici 3, gde se vidi učešće opreme za sigurnosne analize i identifikaciju smetnji, kao i angažovanje opreme za sintezu sigurnosnih mera u 39 postojećim centrima vodjenja.

Stanje upotrebe sigurnosne programske opreme reflektira tadašnje probleme u pogledu vremena izračunavanja pojedinih zadataka, kao i do nekle upotrebljivosti izračunatih rezultata sa stanovišta operatera. Brži računari pa i nova rešenja na tom području će povećati taj udeo u centrima vodjenja, pogotovo, ako se nadju i bolji načini prezentiranja stanja EES operateru.



Slika 3. Pregled upotrebe programske opreme za sigurnosne potrebe

Podaci i neki indeksi iz programske opreme su obično u per unit vrednostima, koje operater teško sagleduje, pa ih treba prvo pretvoriti u fizičke vrednosti.

Operaterova percepcija mreže temelji se na jednofaznom diagramu uključujući raspored sabirnica, dok se matematički opis, koji se koristi u aplikacionoj programskoj opremi, dosta razlikuje od toga. Zbog toga se operateri toliko zalažu za postojanje analogne šeme mreže na sinoptičkoj tabli, iako moderne tehnike prikazivanja sa zumiranjem i paniranjem omogućavaju prelazak nadgledanja mreže od detalja do globala. Veličina ekrana ipak ograničuje dobar globalni pregled dogadjaja u velikoj mreži.

Razvija se programska oprema za filtraciju dogadjaja, koja može raditi sa različitim vrstama podataka i to:

. različite starosti
. sa manjim ili velikim odstupanjem od pravih vrednosti
. sa različitim stepenom redundance.

Potrebna su rešenja za kombinaciju, redukciju i priredbu podataka na minimalan skup, koji efikasno identificira dogadjaj ili poremećenje i služi kao polazna

tačka operateru za preduzimanja mera.

Za diagnozu poremećaja potreban je razvoj dodatne aplikativne programske opreme, koja će da koristi pored jednostavnih šema i kronologije dogadjaja i kompleksne modele ili ekspertne sisteme.

3.2. Izvodjenje mera u poremećenom stanju

Na osnovu informacija iz sistema i sintetskih informacija, koja se dobija iz programske opreme za analizu stanja EES stvara se skup mogućih mera. Programska oprema mora da vrednuje pojedine mere u smislu posledica njihovog izvodjenja. Rezultati tih provera treba da budu opet što efikasnije predstavljeni operateru, da bi se mogla izabrati optimalna strategija izvodjenja tih mera /6/.

Taj zadatak programske opreme još nije ni dobro definisan niti ima dobrih rešenja za neka stanja EES. Pre svega vezan je na obimne proračune, što sprečava, da se može praktički upotrebljavati kod operativnog vodjenja u centrima vodjenja. Nove mogučnosti računara će ublažiti taj problem, ali su potrebni i novi algoritmi, pogotovo kod restauracije EES posle raspada.

Kod izvodjenja mera u kriznim stanjima i stanjima restauracije mogu dosta pomoći inteligentne krajne stanice, koje mogu obradjivati podatke lokalno:

* ekstrahirati bitne informacije, koje karakteriziraju poremećaj,
* preneti reducirane informacije u centar vodjenja,
* izvesti jednostavne komande operatera a koje imaju komplikovanu strukturu npr. preklop voda iz jedne na drugu sabirnicu,
* signalizirati izvedbu tražene složene komande
* izvesti potrebne blokade kod izvodjenja pojedinih komandi.

Jasno su na to vezane neke funkcije, koje moraju biti delegirane na pojedinu krajnu stanicu. To vodi do delimične decentralizacije onih funkcija, koje mogu biti bez poteškoća izvedene na nižem nivou vodjenja.

3.3. Prikaz informacija

Alarmi i druge informacije su prikazani zajedno sa elementima EES na displejima, sinoptičkim šemama, printerima, zvučnim signalima i u poslednje vreme pomoću sintetizovanog govora. Računarska tehnologija pomiće težište prikaza podataka od sinoptičkih šema prema displejima uprkos odupiranju operatera tim promenama.

Kompleksnost razvijenih modela EES će da poboljša kvalitet i pouzdanost kod identifikacije poremećaja kao i identifikacije mera, koje bi mogle što brže privesti sistem u normalno stanje.

Prezentacija indikatora stanja i drugih neophodnih informacija uključuje sledeće tehnike:

- grafični prikaz mreže kao celine zajedno sa njezinim elementima, alarmima, dogadjajima, lokacijom smetnji, njezinom širenju itd.
- nadzor operatera nad tokom informacija i njihovom filtrirranju

- kvitiranje alarma je uključeno u komande operatera u okviru potrebne manipulacije u EES
- pamćenje poruka za kasniju analizu
- kategorizacija alarma je potrebna da bi se moglo obaviti svrstanje u prioritete
- predprocesiranje informacija od inteligentnih krajnih stanica do centra vodjenja
- svrstanje vremensko kritičnih poruka u prioritete.

Stvaranje novih neobhodnih informacija u okviru vodjenja EES vodi do upotrebe navedenih prilaza, ali će biti potrebno dosta rada za postizanje zadovoljavajućeg stanja sa stanovišta potreba operatera.

4. ZAKLJUČAK

Nadzor EES spada u kategoriju neartikulisanih problema, koje je teško modelirati, pa je zbog toga relativno teško doneti konceptualno dobro rešenje. Kod artikulisanih problema možemo upotrebiti npr. ekspertne sistema. Kod logički ili matematički artikuliranih problema kao što su tokovi snaga ili sigurnosne analize se upotrebljavaju formalizirane metode koje su kodirane u aplikacionoj programskoj opremi. Zbog toga se poremećena stanja zajedno sa alarmima još ne predstavljaju operaterima na potpuno zadovoljiv način.

Razvoj programske opreme i način prezentiranja alarma i informacija o poremećenim stanjima ostaje zbog toga ključno pitanje efikasnog vodjenja EES.

LITERATURA

1. H.P. Asal, H. Glavitsch, Schaffer G.: "Requirements for future energy management systems", IEEE PICA Conference, CH2747-4, 1989
2. Prince W.R., Wollenberg B.F., Bertagnolli D.B.: "Survey of excessive alarms", IEEE Trans. Power Systems, No 3, 1989
3. Heusner K.W.: "Efective alarming" in IEEE Committee report: "Survey of operation challenges", IEEE Trans. Power Systems, No 1, 1988
4. IEEE task force on instrumentation, P. Kundur: "Power system disturbance monitoring: Utility experiences", IEEE Trans. Power Systems, No 1, 1988
5. Prince W.R., Nielsen E.K., McNair H.D.: "A survey of current operational problems", IEEE Trans. Power Systems, No 4, 1989
6. Zaborsky J., Huang G., Lin S.Y., Liu J.B.: "Restoration of the large electric power systems using a computer generated sequence of target systems", IFAC Symp. Power Systems and Plant Control, Beijing, 1986

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

mr Branka Jelavić, dipl.inž.
mr Mićo Klepo, dipl.inž.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

Referat broj 3.01

PLANIRANJE RADA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Uvod

Planiranje rada elektroenergetskog sistema podrazumjeva pouzdanu i kvalitetnu opskrbu potrošača električnom energijom uz minimum troškova. Aktivnosti i odluke oko zadovoljenja potrošnje možemo podijeliti u operativno vođenje sistema (on-line funkcije), te funkcije planiranja rada i razvoja EES-a (off-line funkcije). Planiranje rada sistema obuhvaća period od slijedećeg dana do godine dana unaprijed, iako neka čvršta podjela između on-line i off-line funkcija ne postoji, već je naprotiv potrebno da sve funkcije čine jedinstvenu cjelinu. Današnji koncept planiranja rada nezamisliv je bez istovremenog postojanja i koordinacije svih funkcija planiranja i analize rada EES-a.

Razvitak primjene računala omogućio je nastajanje niza matematičko-statističkih modela za optimizaciju, simulaciju i analizu rada EES-a. Istovremeno je razvoj modernih informacijskih sistema omogućio sakupljanje i pohranjivanje velikog broja podataka o EES-u, što je nužan preduvjet svih funkcija planiranja i analiza rada sistema.

Funkcije planiranja rada EES-a izvršavaju se kroz tri međusobno povezane vremenske faze:

faza I - dugoročno (godišnje) planiranje rada (po tjednima za godinu dana unaprijed);
faza II - srednjeročno (tjedno) planiranje rada (po danima za tjedan dana unaprijed);
faza III -kratkoročno (dnevno) planiranje rada (po satima za dan unaprijed).

Planiranjem rada EES-a počelo se u Institutu za elektroprivredu intenzivnije baviti početkom osamdesetih godina. Prvi koraci bili su metodološki, no višegodišnje bavljenje problemima godišnjeg i dnevnog planiranja rezultiralo je interaktivnim programskim paketima praktične primjene. Područje tjednog planiranja metodološki je obrađeno, a u toku je razvoj pripadne programske podrške.

1 DUGOROČNO PLANIRANJE RADA EES-a

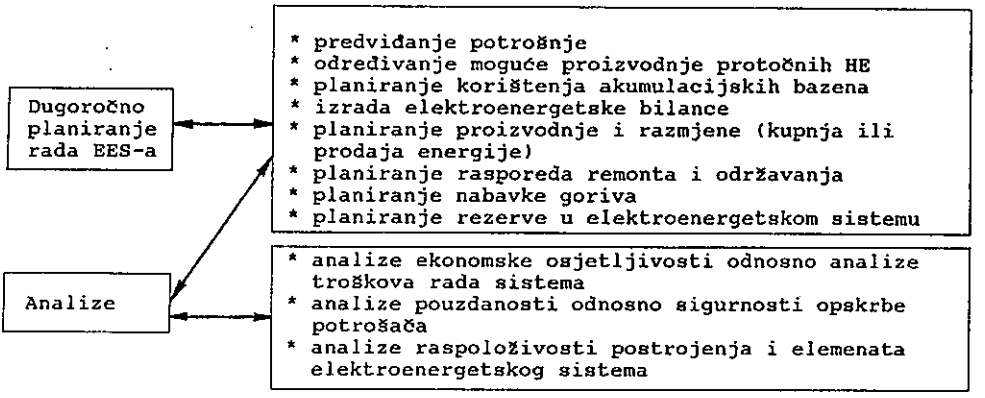
Proces planiranja u eksploataciji elektroenergetskog sistema započima planiranjem godišnje elektroenergetske bilance, tj. dugoročnim planiranjem rada elektroenergetskog sistema.

Za potrebe izvršavanja funkcija planiranja godišnje elektroenergetske bilance u Institutu za elektroprivredu Zagreb metodološki je razrađen problem dugoročnog planiranja eksploatacije po pojedinim funkcijama, a zatim je na temelju toga pod nazivom "GEEB" izgrađen zaokruženi modularni programski sistem (programski paket) za potpuno automatiziranu pripremu i obradu na elektroničkom računalu s elementima koji omogućuju lagano i brzo izvršavanje.

Programski paket za planiranje optimalne godišnje elektroenergetske bilance razvijen je uglavnom da bi se automatizirano izvodile funkcije u procesu dugoročnog planiranja rada. Međutim, tijekom njegova razvoja vodilo se računa i o potrebi da funkcije planiranja istovremeno trebaju biti i funkcije analize elektroenergetskog sistema (sl.1.1). U skladu s tim povećanim zahtjevima programski paket GEEB je proširen i dograđen u metodološkom i software-skom dijelu.

Sistem planiranja godišnje elektroenergetske bilance čine četiri osnovne funkcijske cjeline, i to:

a) predviđanje potreba za električnom energijom za vremenski period do godine dana uključujući utjecajne faktore, predviđanje maksimalnih opterećenja i periodičnih potreba za energijom i njihove varijancije, te predviđanje tjednih ili mjesečnih krivulja trajanja opterećenja;
b) određivanje moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana za potrebe eksploatacije;
c) planiranje rada hidroelektrana s akumulacijskim bazenima, odnosno planiranje korištenja akumulacijskih bazena na tjednoj ili mjesečnoj osnovi;
d) probabilistička simulacija prilika u elektroenergetskom sistemu koja uključuje elektroenergetsko bilanciranje s planiranjem proizvodnje elektrana i razmjene (prodaja ili kupnja) energije, izborom jedinica, planiranjem redoslijeda opterećenja i rezerve u sistemu, planiranjem rasporeda remonta i održavanja, zatim analizama pouzdanosti sistema, sigurnosti napajanja potrošača i vjerojatnosti ostvarenja hidroloških uvjeta, ekonomskim analizama, itd.



Sl. 1.1. Funkcije dugoročnog planiranja i analize rada EES-a

1.1 Predviđanje potrošnje električne energije

Problem dugoročnog predviđanja potreba za električnom energijom za period do godine dana riješen je sektorskom metodom. Osnovni princip te metode je princip podjele ukupnih potreba za električnom energijom u odvojene sektore potrošnje, određene njihovom ukupnom potrebnom energijom i odgovarajućim faktorima koji odražavaju njihove periodične (tjedne, dnevne i

satne) promjene u odnosu na prosječna stanja, određeni broj utjecajnih faktora npr. temperaturni utjecaj, rast potrošnje i opterećenja zbog uključivanja novih potrošača, odnosno rast potrošnje postojećih potrošača, promjene potrošnje električne energije zbog praznika, izvanrednih događaja, itd.

Sintezom po sektorima, jednog po jednog, dobiju se veličine koje predstavljaju ukupne potrebe za električnom energijom, s odgovarajućim krivuljama trajanja opterećenja i maksimalnim opterećenjima.

Način podjele ukupne potrošnje na sektore potrošnje i njihov prikaz moguće je vrlo jednostavno prilagoditi različitim potrebama svakog pojedinog korisnika i svakog pojedinog načina korištenja.

Postavljena struktura omogućava vrlo jednostavno prilagođavanje pojedinačnim potrebama i načinima korištenja, obuhvaćanje rasta potrošnje zbog priključivanja novih potrošača ili rasta potrošnje postojećih, obuhvaćanje periodičnih oscilacija, klimatskih varijacija i promjena potrošnje zbog praznika i izvanrednih događaja, itd.

1.2 Moguća proizvodnja protočnih hidroelektrana

Proračun moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana zasniva se na metodi prioritetnih sati kojom se u osnovi pretpostavlja da je dnevni dotok hidroelektrane sa stanovišta elektroenergetskog sistema najpovoljnije iskoristiti za proizvodnju u satima najvećeg opterećenja. Prema tome za određivanje moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana nužno je poznavati srednje dnevne dotoke, slijed sati po prioritetu, realna ograničenja elektrana (korisni i početni volumeni bazena, instalirani protoci, biološki minimum, snage agregata) i osnovne parametre karakteristika hidroelektrana (krivulje donje vode, krivulje bazena, stupnjeve iskorištenja agregata), itd. Na osnovu tih podataka simulacijskim se postupkom dotok tijekom dana raspoređuje po satima uz zadovoljenje kriterija prioritetnih sati i drugih ograničenja. Iz tako dobivenih dotoka i poznatih karakteristika računaju se dnevne moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana, iz kojih se zatim obradom dobiju moguće proizvodnje za tražene vremenske intervale.

1.3 Korištenje akumulacijskih bazena

U okviru ove programske cjeline računaju se poželjna stanja u akumulacijskim bazenima za narednu godinu. Rezultati proračuna su poželjna stanja u akumulacijskim bazenima, ali i proizvodnja akumulacijskih hidroelektrana, te proizvodnje termoelektrana za različite hidrološke varijante.

Metoda proračuna poželjnih stanja u akumulacijskim bazenima po svom je karakteru simulacijska metoda koja uzima u obzir vjerojatnost pojave prirodnog dotoka na pojedinom vodotoku. Na osnovu potreba konzuma, mogućnosti termoelektrana, stanja u bazenima i energetske vrijednosti prirodnog dotoka računa se potrebno punjenje ili pražnjenje akumulacijskih bazena. Raspodjela punjenja ili pražnjenja na pojedinu akumulaciju provodi se prema utvrđenim kriterijima, odnosno mogućnostima i ograničenjima bazena.

Pored energetskog proračuna provodi se i ekonomski proračun koji se sastoji u vrednovanju (određivanju jedinične cijene) energije iz bazena. To je još jedan dodatni kriterij nužan za eksploataciju odnosno korištenje akumulacijskih bazena.

1.4 Simulacija prilika u EES-u

Metodološku osnovu elektroenergetskog bilanciranja predstavlja probabilistička simulacija i optimizacijski programski algoritam čiji je rezultat plan rada elektroenergetskog sistema kojim se za odabrani period uz traženu pouzdanost postižu minimalni troškovi u sistemu.

Ovom programskom cjelinom obuhvaćeno je elektroenergetsko bilanciranje, tj. simulacija prilika u elektroenergetskom sistemu koja u sebi uključuje bilancu snage i energije, proračun troškova proizvodnje i goriva, te utjecaj hidrologije. Bilanca snage i energije tu zapravo znači raspodjelu opterećenja u krivulji trajanja opterećenja na hidroelektrane i termoelektrane, ukupno i pojedinačno, i to uvažavajući određene kriterije, a naročito u pogledu neizvjesnosti proizvodnje hidroelektrana (vezano za vjerojatnost ostvarenja hidrologije), raspoloživosti termoelektrana, nezadovoljenja potrošnje kao posljedice nedovoljne izgradnje sistema i ostalih utjecajnih faktora, dakle vezano za sigurnost opskrbe potrošača.

1.5 Programski paket godišnje elektroenergetske bilance - GEEB

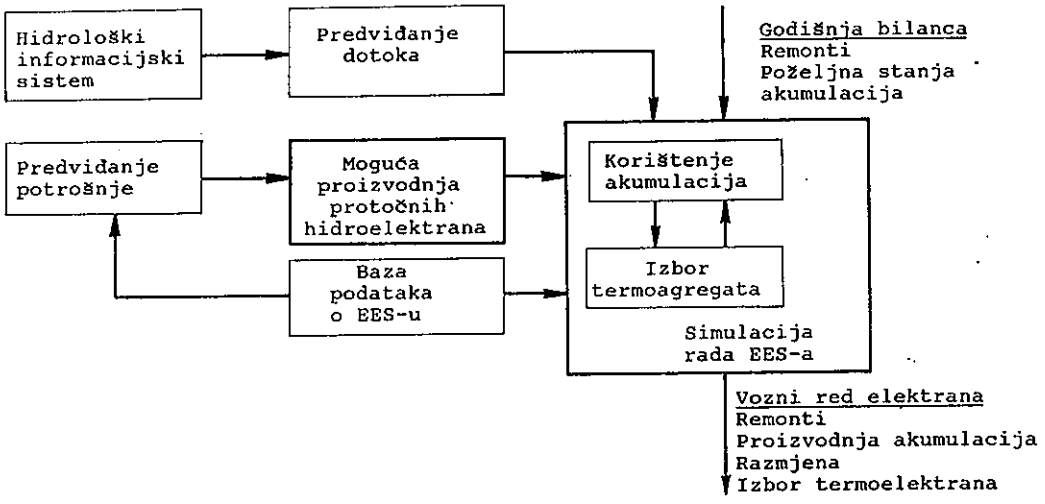
Programski paket godišnje elektroenergetske bilance - GEEB je biblioteka računarskih programa (funkcija) za planiranje eksploatacije elektroenergetskog proizvodnog sistema, povezanih u jedinstveni sistem za upravljanje i izvođenje da bi se unaprijedilo dugoročno planiranje eksploatacije. Taj programski paket uključuje sve elemente koji čine i određuju godišnje planiranje u sistemu eksploatacije elektroenergetskog sistema i uključuje dodatne mogućnosti koje pruža automatizirana i integrirana priprema ulaznih podataka i obrada na elektroničkom računalu. Ujedno, to je sredstvo višestruke namjene u planiranju i analizi eksploatacije elektroenergetskog sistema.

Osnovne prednosti programskog paketa GEEB su njegovo lagano korištenje i mogućnosti višestruke analize. Lagano korištenje postiže se "menu" - orjentiranim interaktivnim dijalogom tijekom izvođenja, te efikasnim unosom, pripremom i kontrolom podataka neovisno o načinu izvođenja. Zadovoljavajuća osjetljivost postiže se mogućnošću da se veći broj funkcija i analiza izvede s jedinstvenom bazom podataka. Struktura GEEB paketa pruža mogućnost za različite konfiguracije izvođenja, tako da su, kada je već jednom glavni program pozvan na izvođenje, svi ostali programi odnosno moduli raspoloživi za izvođenje.

Izlazni podaci i informacije, jednako kao i dijagnostika grešaka u pripremi podataka ili u samoj programskoj obradi, dostatni su i za širu analizu. Izlazni podaci i informacije organiziraju se i pohranjuju u datoteke čiji se sadržaji mogu lagano uključivati u odgovarajuće konačne izvještaje.

2 SREDNJOROČNO PLANIRANJE RADA EES-a

Srednjoročno planiranje je, prema vremenskoj dimenziji planiranje koje obuhvaća tjedan dana unaprijed i predstavlja vezu između godišnjeg planiranja i planiranja za dan unaprijed. Po sadržaju ono uključuje predviđanje potrošnje električne energije, predviđanje dotoka, moguću proizvodnju hidroelektrana, te korištenje akumulacijskih bazena i raspodjelu opterećenja među elektranama s proračunom troškova (sl. 2.1).



Sl. 2.1. Shema srednjoročnog planiranja rada EES-a

Skup funkcija srednjoročnog planiranja isti je, dakle, kao i kod godišnjeg planiranja, ali zbog razlike u trajanju vremenskog perioda srednjoročno planiranje je više operativno. Tjedno predviđanje potrošnje, eventualne korekcije dinamike punjenja i pražnjenja akumulacija, a u vezi s

tim i promjene moguće proizvodnje hidroelektrana, plana remonta i sl. utječu na elektroenergetsku bilancu. Također je potrebno sagledati ostvarenje godišnjeg plana, te po potrebi izvršiti korekcije za preostali dio godine.

2.1 Predviđanje potrošnje električne energije

Problem tjednog predviđanja potrošnje električne energije rješen je u potpunosti, kako u metodološkom tako i u programskom smislu. Modularni programski paket TPGL za tjedno predviđanje potrošnje električne energije u potpunosti je dovršen i testiran u Institutu za elektroprivredu. Problem predviđanja rješen je tako da se uz automatiziran i interaktivan pristup, počevši od pripreme i unosa ulaznih podataka pa sve do formiranja datoteka konzuma, može birati i osnovni pristup predviđanju - sektorski ili regionalni. Priprema i obrada svakog od elemenata predviđanja potrošnje ili utjecaja na potrošnju također su višeslojni, modularni, automatizirani i interaktivni.

2.2 Predviđanje dotoka

Uz predviđanje potrošnje električne energije predviđanje dotoka u hidroelektrane ima bitan utjecaj na planiranje rada EES-a. Značaj predviđanja dotoka prelazi "granice" elektroprivrede: poznavanje dotoka ima veliku važnost u poljoprivredi, opskrbi vodom, obrani od poplava i sl.

Za predviđanje dotoka usvojen je na nivou Zajednice jugoslavenske elektroprivrede SSARR model koji spada u tkz. konceptualne modele. Konceptualni modeli baziraju na jednostavnoj konfiguraciji relativno malog broja komponenata, pri čemu svaka komponenta predstavlja jednostavan prikaz jednog elementa procesa, koji se modelira.

Najznačajniji razlozi izbora SSARR modela bili su: široka mogućnost primjene, umjerena informacijska osnova, te dugogodišnja praktična primjena u svijetu i kod nas.

Model SSARR ima mogućnost simulacije toka u prirodnim rječnim koritima, jezerima i akumulacijama, te hidroloških uvjeta u slivovima uzimajući u obzir meteorološke uvjete, dotoke, zahvate vode, utjecaj nizvodnih objekata na tečenje i na kotu donje vode uzvodnih akumulacija. U modelu se određuju ukupne padavine u slivu, uzima u obzir zadržavanje vode u zemlji zbog infiltracije, gubitak vode zbog evapotranspiracije, a zatim se višak vode dijeli na površinsku, podpovršinsku i dubinsku komponentu. Model simulira tok ovih komponenti kroz zemljište i vrši njihovo slaganje u sumarni oticaj.

SSARR model, odnosno neke njegove verzije kalibrirane su za nekoliko naših slivova no model treba kalibrirati za sve hidroenergetski značajnije slivove. Važan preduslov je formiranje izvještajnih hidrometeoroloških mreža u pojedinim slivovima i širim područjima, te suradnja elektroprivrednih organizacija s ostalim potencijalnim korisnicima, kao što su hidrometeorološki zavodi, vodoprivredne organizacije, službe opće narodne obrane i sl.

2.3 Simulacija prilika u EES-u

Simulacija prilika u EES-u je završna faza tjednog planiranja eksploatacije. Za simulaciju potrebno je predvidjeti potrošnju električne energije i dotoke, a dio ulaznih podataka je rezultat dugoročnog planiranja odnosno godišnje elektroenergetske bilance.

Predviđanje potrošnje električne energije za tjedan unaprijed po danima realizirano je sektorskim ili regionalnim predviđanjem, dok je predviđanje dotoka modelom SSARR (odnosno SAR) moguće za 7-10 dana unaprijed. Ovo ograničenje kod prognoze dotoka ujedno je i ograničenje za srednjoročno planiranje. Simulacijski model, međutim, nije vremenski ograničen, pa je u slučaju razvoja metoda koje će omogućiti prognoziranje dnevnih dotoka za duže periode, moguća njegova primjena.

Poželjna stanja akumulacijskih bazena iz godišnje bilance bitno utječu na tjedno planiranje, pa je potrebna simulacija, a zatim analiza mogućnosti zadovoljenja potrošnje. Rezultati simulacije su dnevna stanja akumulacija, proizvodnje i angažirane snage svake elektrane, regulirani protoci akumulacijskih hidroelektrana, potrebe goriva za termoelektrane, te eventualno potrebna nabava snage i energije. Zahtjevi na simulacijski model

su očito veliki i za sada ne postoji neki opće priznati i testiran model, koji bi u potpunosti odgovorio svim zahtjevima. Rješenje se traži za određeni elektroenergetski sustav u ovisnosti o njegovoj veličini, udjelu hidro odnosno termo proizvodnje u zadovoljenju potrošnje, koncepciji planiranja rada, postojećim tehničkim resursima (oprema, mjerenja, osoblje, organizacija) i sl.

Za sisteme s velikim udjelom termoelektrana tjedno planiranje se svodi na izbor termoagregata koji će sudjelovati u zadovoljenju potrošnje, dok se za sisteme s velikim udjelom hidro proizvodnje tjedno planiranje svodi na optimiranje korištenja akumulacijskih hidroelektrana.

Obzirom da je EES Hrvatske mješovit, sa značajnim udjelom hidro proizvodnje poštivanje tkz. liste prioriteta, (pri čemu je cijena kWh pojedinog agregata mjerodavna za izbor) uz simulaciju određenih prilika u termoelektranama (remont, kvar) zadovoljava sadašnje potrebe sistema.

Problem godišnjeg korištenja akumulacija rješen je u okviru godišnje elektroenergetske bilance. Ovisno o pretpostavljenoj hidrologiji, dobiva se pojas poželjnih stanja za pojedine akumulacije, koji je ulazni podatak za tjedno planiranje.

Pri tjednom planiranju treba odrediti dnevnu potrošnju vode po akumulacijama uz uvjet zadovoljenja potrošnje i minimum troškova za gorivo u termoelektranama. Matematički gledano radi se o pronalaženju minimuma funkcije cilja za što je potrebno primjeniti neku od tehnika optimiranja. Ovdje je odabrano linearno programiranje, jer ono omogućava bilanciranje snage i energije, te detaljan prikaz hidro-sistema, a nema ograničenja u pogledu dimenzija problema.

Osnovna zamjerka linearnom programu je neizbježno lineariziranje svih funkcija, te relativno dugačko vrijeme izvođenja. Za tjedno planiranje linearni prikaz funkcija je dovoljno točan, a vrijeme izvođenja nije presudno obzirom da se radi o duljem vremenskom horizontu planiranja.

Funkcija cilja, koja se minimizira linearnim programom, su troškovi za gorivo u termoelektranama i troškovi nabave energije iz drugih sistema, uz zadovoljenje niza ograničenja, koja su posljedica fizikalne stvarnosti EES-a.

Osnovno ograničenje je nužna jednakost proizvodnje elektrana i eventualne nabave s potrošnjom, te zahtjev za preradom određene količine vode u akumulacijskim hidroelektranama u skladu s godišnjom elektroenergetskom bilancom. Također se uvažavaju ograničenja na snagu elektrana i volumen akumulacije, a prikazana je i međupovezanost akumulacijskih hidroelektrana u slivovima.

Potrošnja, koja se pokriva linearnim programom je predviđena potrošnja električne energije u pojedinom danu umanjena za isporuke termoelektrana izgrađenih za potrebe Hrvatske u drugim republikama, fiksnu razmjenu, proizvodnju termoelektrana - toplana, te proizvodnju protočnih hidroelektrana. Proizvodnja termoelektrana-toplana definirana je jednim djelom potrebama toplinskog konzuma, a proizvodnja protočnih hidroelektrana računa se metodom prioritetnih sati na bazi predviđenih dnevnih dotoka.

Obzirom da se radi o satnom dijagramu opterećenja, njega je za potrebe tjednog planiranja, a i radi brzine proračuna moguće aproksimirati s nekoliko stupaca (npr. 3 ili 5).

Sigurnost napajanja potrošača osigurava se produženjem trajanja maksimalnih opterećenja, te tkz. dopunskom elektranom. Dopunska elektrana predstavlja proizvodnju, koju nije moguće pokriti vlastitim izvorima uz određenu politiku korištenja tih izvora, a koja proizlazi iz godišnje bilance i pogonskih uvjeta. Potrebna proizvodnja dopunske elektrane može se ostvariti intenziviranjem korištenja akumulacija, dodatanom nabavom te u krajnjem slučaju redukcijama.

2.4 Programski paket

Na osnovu ove metodološke razrade funkcija srednjoročnog (tjednog) planiranja upravo je u izradi pripadni programski paket koji bi trebao biti završen tokom 1991.

3 KRATKOROČNO PLANIRANJE RADA EES-a

Kratkoročno planiranje rada je određivanje konkretnih i operativnih satnih planova za dan unaprijed. Za dan unaprijed moguće je s dosta sigurnosti predvidjeti važne utjecajne faktore (vremenske prilike, dotoke,

raspoloživost postrojenja, razmjenu itd.), pa je za predviđene prilike potrebno odrediti vozni red, tj. raspodjelu opterećenja po elektranama uz uvjet minimuma troškova proizvodnje.

Kratkoročno planiranje rada uključuje predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja te dnevnu raspodjelu opterećenja među elektranama EES-a.

3.1 Predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja

Postoje dva osnovna, međusobno povezana, procesa koja određuju dnevni dijagram opterećenja i to:

- prvi koji opisuje potrebe potrošača, i
- drugi koji opisuje utjecaje na stupanj ovih potreba.

Porast opterećenja u duljem vremenskom periodu posljedica je s jedne strane priključka novih potrošača, a s druge strane povećanja potrošnje već postojećih potrošača. Ako se radi o velikom broju potrošača postoji vjerojatnost da će se porast opterećenja raspodjeliti na cijelu godinu, odnosno postoji ista vjerojatnost da će se novi potrošač ili povećanje potrošnje postojećih potrošača pojaviti početkom, sredinom ili krajem godine. Budući da se porast potrošnje električne energije u nizu godina odvija po eksponencijalnom zakonu, može se ta zakonitost primjeniti i unutar jedne godine, ako se radi o većem porastu, a ako se radi o manjem porastu dovoljno je računati da se porast unutar godine odvija po pravcu.

Zbog klimatskih prilika i navika potrošača javljaju se sezonske varijacije opterećenja ovisne o strukturi potrošača u elektroenergetskom sistemu. Potrošnja većine industrijskih potrošača, izuzev industrije na bazi poljoprivrednih proizvoda i slično, neovisna je o sezoni, dok potrošnja za rasvjetu, grijanje i kondicioniranje zraka u znatnoj mjeri ovisi o godišnjem dobu.

Nadalje, postoji ovisnost dnevne potrošnje o radnoj aktivnosti u cikličkom periodu od tjedan dana. U neradnim danima potrebe su u prosjeku manje nego u radne dane, dok se tokom radnog dijela tjedna potrebe postepeno mijenjaju porastom početkom tjedna i smanjenjem krajem petka.

U dnevnom uzorku opterećenja javlja se utjecaj radne aktivnosti tokom dana. Potrebe za električnom energijom tokom dana pokazuju porast u jutarnjim satima i ponovno smanjenje tokom noći.

U proces koji opisuje potrebe potrošača mogu se svrstati izvanredne promjene opterećenja koje je moguće predvidjeti, kao što su promjena opterećenja tokom praznika, radne subote, restrikcije u opskrbi električnom energijom, značajniji televizijski prijenosi i sl.

Klimatski proces, koji je smjesa klimatskih utjecaja temperature, brzine vjetra, oblačnosti i vlažnosti, direktno utječe na ukupne zahtjeve potrošača. Ovi utjecaji su međusobno povezani, ali kako u zahtjevanom opterećenju neki utječu više nego drugi, za svako je područje moguće odrediti dominantne klimatske utjecaje i njihov doseg. Najčešće je utjecaj temperature najizraženiji i dobro obuhvaća i ostale utjecaje.

Prilikom analize klimatskih utjecaja na krivulju opterećenja posebnu kategoriju predstavlja psihološka reakcija ljudi na klimatske uvjete. Ona se očituje u stanovitoj inertnosti potrošača koji žele zadržati ustaljene navike u potrošnji. Tako, na primjer, jednom stečena navika da se grijemo zimi neće se bitno promijeniti niti nakon par dana nešto toplijeg vremena.

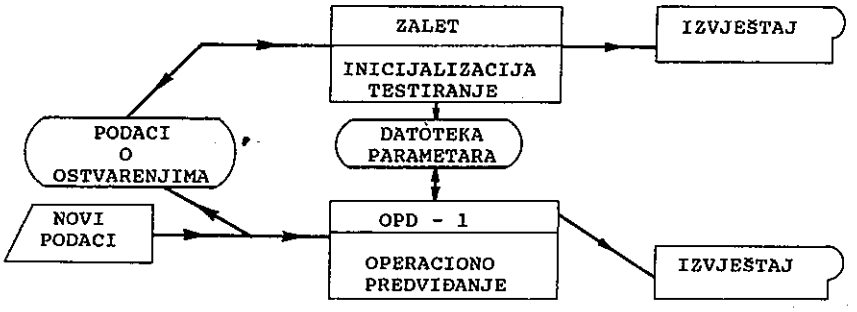
Nadalje, na dnevni dijagram opterećenja kao poseban proces utječu i mnoge nepredvidive, slučajne pojave među kojima najveći utjecaj imaju smanjenja potrošnje uslijed zastoja u proizvodnji većih industrijskih postrojenja.

3.1.1 Programski paket i primjer

U Institutu za elektroprivredu Zagreb je primjenjen adaptivan postupak sa stohastičkim i klimatskim modeliranjem satnih opterećenja i njihovom kombinacijom. Postupak traži vrlo mali broj podataka iz prošlosti za zalijetanje, omogućava automatizam u izvođenju i postiže prosječnu satnu grešku predviđanja između 2 i 3 %.

Na temelju tog postupka razvijen je programski paket s podmodulom za zalijetanje i testiranje dnevnog predviđanja dijagrama opterećenja (ZALET) i podmodulom za operativno izvođenje (OPD-1), sl. 3.1.

Kao rezultat predviđanja se na ekranu terminala i printeru prezentiraju tablično i grafički 24 satna opterećenja idućeg dana sa granicama unutar kojih će se opterećenja sigurno ostvariti.



Sl. 3.1 Organizacija programskog paketa za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja

3.2 Dnevna raspodjela opterećenja među elektranama EES-a

Metode za dnevnu raspodjelu opterećenja među elektranama EES-a predmet su velikog interesa posljednjih nekoliko godina. Većina modela odnosi se na "čiste" termo sisteme, a koriste se metode matematičkog programiranja kao što je dinamičko programiranje ili metoda grana i granica. Dinamičko programiranje se također koristi za rješavanje "čistih" hidro sistema, ali na ovaj način se mogu tretirati samo mali sistemi. Kod mješovitih hidro-termo sistema često se hidro energija koristi samo kod vršnih opterećenja, a vrlo je mali broj radova koji tretiraju mješovite sisteme sa značajnim udjelom hidro proizvodnje.

Za sada ne postoji univerzalni model, koji bi mogao opisati sve karakteristike elektroenergetskih sistema, pa se pojedini modeli najčešće razvijaju za primjenu na određenom sistemu. U nastavku će biti opisana metoda za dnevnu raspodjelu opterećenja razvijena prvenstveno za potrebe EES-a SR Hrvatske.

Metoda za dnevnu raspodjelu opterećenja objedinjuje bilancu snage i energije hidro i termoelektrana u pripremnom dijelu i iterativnu gradijentno matričnu metodu u optimizacijskom dijelu. Kriterij optimuma je minimum troškova goriva u termoelektranama. U optimizacijskom dijelu naglasak je na problemima kod optimiranja rada hidroelektrana i problemima ograničenja rada termoelektrana.

Primjena gradijentne metode u određivanju optimalne raspodjele opterećenja poznata je već duže vremena. Unapređenje u primjeni metode dao je A. Arsenov kada je primijenio matrični oblik metode, u kojem se problem raspodjele opterećenja svodi na rješavanje nelinearnih algebarskih jednadžbi koje se pojednostavnjuje pomoću prva tri člana Taylorovog reda.

Tako razrađen način rješavanja metode uzet je kao osnov za daljnju razradu metode, s ciljem da se obrade ograničenja i problemi koji proizlaze iz realnog rada sistema i na taj način omogući praktična primjena metode.

Tako su obuhvaćeni problemi raspodjele opterećenja u hidroelektranama: veći broj agregata u jednoj hidroelektrani, ograničena mogućnost akumuliranja vode, rad nizvodnih hidroelektrana na istom vodotoku, sa i bez vremenskog zakašnjenja. Kod termoelektrana posebno je obrađen problem ograničenja proizvodnje, koja može biti uvjetovana ograničenim kapacitetom rudnika, ugovornim obvezama ili nekim drugim razlogom, te mogućnost brzine promjene opterećenja. Također se promatra opravdanost uključenja crpno-akumulacijskih hidroelektrana u dnevnu raspodjelu opterećenja.

Kriterij metode dnevnog optimiranja je minimum ukupnih troškova proizvodnje termoelektrana u elektroenergetskom sistemu uz uvažavanje ograničenja u radu pojedinih proizvodnih postrojenja i EES-a kao cjeline.

Osnovni uvjet rada EES-a kao cjeline je da u svakom vremenskom intervalu mora postojati ravnoteža između proizvodnje s jedne strane, te potrošnje i gubitaka u prijenosnoj mreži s druge strane. Istovremeno svako postrojenje, bilo hidroelektrana, termoelektrana ili crpno-akumulacijsko postrojenje, mora u svakom vremenskom intervalu zadovoljiti ograničenja koja proizlaze iz samih karakteristika postrojenja, a odnose se na minimalnu i maksimalnu snagu s kojom postrojenje može raditi.

Kod svake hidroelektrane mora se ograničiti količina vode koja će se iskoristiti u ukupnom vremenskom razdoblju. To ograničenje može proizaći iz

veličine dotoka u pojedinu akumulaciju ili kao planska vrijednost kod većih akumulacija koja je rezultat tjednog ili godišnjeg planiranja rada.

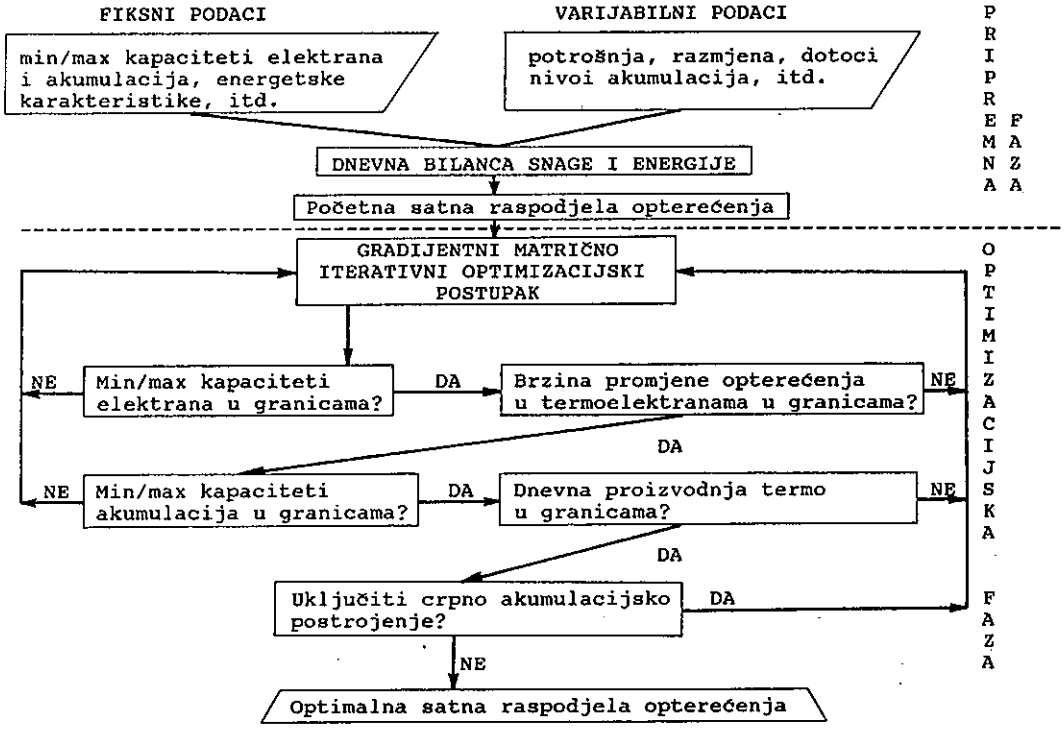
Rad svake hidroelektrane mora se prilagoditi mogućnosti akumulacije s kojom elektrana raspolaže, a što znači da sadržaj vode u akumulaciji mora biti u svakom trenutku između graničnih vrijednosti volumena akumulacije pri čemu volumen vode ovisi o dotoku u akumulaciju i količini vode koja se ispušta iz akumulacije kroz turbine elektrane.

Proizvodnja termoelektrana u ukupnom vremenskom intervalu kao što je prije rečeno može bit ograničena, a tehničke mogućnosti agregata određuju moguću brzinu promjene opterećenja.

Gubici snage određuju se metodom koeficijenata gubitaka. Metoda koeficijenata gubitaka je ustvari transformacija realnog sistema izvora i potrošača u fiktivni sistem, u kome su svi potrošači prikazani kao jedan potrošač, a izvori se prikazuju samo djelatnim snagama. Za transformacije se koristi tzv. metoda transformacije matrica, čija je osnovna koncepcija da snage svih izvora potrošača i gubitaka u sistemu ostaju prije i poslije transformacije jednake. Za proračun gubitaka snage kod optimiranja elektroenergetskog sistema kada ne dolazi do bitnih promjena u strukturi proizvodnje, metoda koeficijenata gubitaka se može smatrati dovoljno točnom, jer kod izračunavanja gubitaka snage pogreška nije veća od 10 %, a gubici čine do 4 % opterećenja.

Okosnica matematičkog modela je formiranje funkcije cilja u optimizacijskom dijelu. Ograničenja u obliku jednadžbi uvode se u funkciju cilja pomoću Lagrangeovih multiplikatora, ograničenja na snagu elektrana pomoću Kuhn-Tuckerovih multiplikatora, a ograničenja na volumen akumulacija pomoću faktora penalizacije.

Funkcija cilja razvija se u Taylorov red, a primjena uvjeta minimuma na prva tri člana reda daje sistem matričnih jednadžbi, čija su rješenja prirasti po svim varijablama (satne snage elektrana i multiplikatori). Prirasti se dodaju početnim vrijednostima varijabli (koje su rezultat bilance snage i energije u pripremnom dijelu) i iterativni postupak se nastavlja dok god apsolutna vrijednost relativnog prirasta ne bude manja ili jednaka od neke unaprijed zadane male vrijednosti. Tok proračuna prikazan je na sl. 3.2.



Sl. 3.2 Blok dijagram programa za vozni red

Bitno u ovom modelu je mogućnost predstavljanja realnih karakteristika sistema, koje su nelinearne. U prvom redu to je mogućnost uključenja gubitaka, dakle mreže, u optimiranje, kao i činjenica da su energetske karakteristike elektrana parabole, a ne pravci kao što se najčešće koristi.

3.2.1 Programski paket i primjer

U Institutu za elektroprivredu Zagreb na osnovu opisanog modela razvijen je programski paket. Paket je korisnički orjentiran, a izvodi se pomoću menija. Izlazne liste kreirane su prema potrebi korisnika, a postoji i grafički prikaz dnevne raspodjele opterećenja. Paket je testiran na elektroenergetskom sistemu SR Hrvatske i instaliran u Republičkom dispečerskom centru Zagreb.

4 ZAKLJUČAK

Područje planiranja rada EES-a dobiva sve značajniju ulogu obzirom na energetsko-ekonomsku situaciju kako kod nas, tako i u svijetu.

Programska razrada srednjoročnog planiranja rada EES-a u Institutu za elektroprivredu omogućit će kreiranje cjelovitog paketa za planiranje rada EES-a, obzirom da je dugoročno i kratkoročno planiranje već realizirano. Rad na ovom području traži daljnja istraživanja naročito na području sigurnosti, remonta i predviđanja dotoka, a sigurno će i praktično korištenje programa ukazati na određene probleme koje će trebati riješiti.

Problem prikupljanja i obrade, odnosno pohranjivanja podataka za potrebe planiranja rada i dalje je prisutan, no u toku je niz aktivnosti, koje bi trebale dovesti do sustavnog i jedinstvenog rješenja problema. Velik doprinos je svakako instalacija relacijske baze podataka ORACLE, no potrebno je intenzivirati radove oko njena korištenja.

Krajnja etapa razvoja predviđa korištenje baze podataka i ekspertnih sistema, koji trebaju omogućiti da se postojeći i budući programi obogate ekspertnim znanjem i kvalitetnim podacima, te tako na za sada najbolji mogući način posluže svakodnevnoj praksi.

LITERATURA

1. G. Granić, B. Jelavić: Metoda za izradu elektroenergetskih bilanci (I dio - osnove metode), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
2. G. Granić, M. Bradarić: Metoda za izradu elektroenergetske bilance (II dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
3. M. Klepo: Metoda za izradu godišnje bilance - predviđanje potrošnje električne energije za potrebe godišnje bilance, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
4. M. Zeljko: Politika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena za godišnja planiranja i planiranja u manjim vremenskim jedinicama za potrebe eksploatacije EES-a (II dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
5. M. Klepo, M. Bradarić, M. Zeljko, D. Tomašić: Metoda za izradu elektroenergetske bilance - Izrada operativnog programa za elektroničko računalo (upute za korištenje operativnog programa), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
7. D. Pešut, M. Bradarić, Z. Bradač: Metoda za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu (I, II i III dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981-1981-1982.
8. B. Bengeri, G. Granić: Izrada programa dnevnog optimiranja EES SRH uz uvažavanje ograničenja u eksploataciji (I faza), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.
9. B. Jelavić, N. Plavec, G. Granić: Izrada programa dnevnog optimiranja EES SRH, (II faza - I i II dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.
10. B. Jelavić, N. Plavec, A. Arsenov, G. Granić: Vozni red elektrana, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
11. B. Jelavić, D. Tomašić: Vozni red - izrada operativnog programa za optimiranje EES-a (upute za rad s programskom podrškom za vozni red), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Slobodan Malešević
Nadija Kosovac
Nermina Krstić
ENERGOINVEST SDU, Sarajevo

Referat broj 3.02

OPTIMALNO KRATKOROČNO PLANIRANJE RADA HIDROELEKTRANA NA SLIVOVIMA RAZLIČITIH KARAKTERISTIKA

SADRŽAJ

U radu je prikazano rješavanje problema optimalnog kratkoročnog planiranja rada hidroelektrana. Opšti model obuhvata jednačine balansa vode, kašnjenja vodenog talasa do susjedne akumulacije, zavisnost proizvodnje od protoka i nivoa, lokalna ograničenja, biološki minimum, prelive i granične uslove. Karakteristike elektrana i slivova na kojima su izgrađene određuju osobine optimizacionog problema. U radu je dat model kratkoročnog planiranja, razmotrene osobine modela i specifičnosti različitih slivova. Opisano je rješavanje problema metodima progresivne optimalnosti, dinamičkim programiranjem i network flow metodom. Dati su rezultati test primjera i razmotrena njihova prihvatljivost za slivove različitih karakteristika.

ABSTRACT

Optimal short-term hydro scheduling is described. The general model includes reservoir balance equations, time-delay between interconnected plants, nonlinear function output power-discharge-head, local constraints, biological minimum, spillways and terminal conditions. Plants characteristics and river configurations determine properties of optimization problem. The short-term planning model is given in the paper, the characteristic of the model and different river basens are considered. The solution of the problem based on progressive optimality algorithm, dynamic programming and network flow method is described. The results a few systems are given, and theirs feasibility for river-basens with different characteristics is described.

1. UVOD

Cilj kratkoročnog planiranja rada hidroelektrana koje pripadaju elektroenergetskom sistemu je optimalno planiranje proizvodnje svih pojedinačnih hidroelektrana i sistema hidroelektrana na različitim slivovima. U kratkoročnom planiranju period planiranja je od jednog do sedam dana.

Problem optimalnog planiranja rada rješavan je različitim metodama, od kojih su najviše korišteni

- princip maksimuma [11]
- linearno programiranje [1,2]
- nelinearno pragramiranje [4,5]
- dinamičko programiranje [6,7]

Zbog teškoća sa ograničenjima na varijable stanja u posljednje vrijeme ne primjenjuje se metod diskretnog principa maksimuma. Linearno programiranje primjenjuje se na linearizovani model sa linearnom ili parcijalno-linearnom funkcijom cilja. Najbolje rezultate daju specijalni algoritmi koji spadaju u klasu network flow tehnika [1]. Medju metodima nelinearnog programiranja najviše su korišteni algoritmi tipa konjugovanog gradijenta [4], redukovanog gradijenta [5] i metoda projektovanog gradijenta. U posljednje vrijeme koristi se metod redukovanog gradijenta na mrežnom modelu sistema [3].

Dinamičko programiranje daje jedan od najprirodnijih načina formulisanja problema optimalnog korištenja akumulacija. Osnovni problem u primjeni dinamičkog programiranja predstavljaju veliki memorijski zahtjevi pa se primjenjuju sukcesivne aproksimacije.

Svaki od navedenih metoda daje dobre rezultate na odredjenoj vrsti hidroenergetskog sistema na slivu, dok ima teškoće sa slivovima drugačijih karakteristika. Dinamičko programiranje je ograničeno na slivove sa nekoliko upravljačkih promjenljivih, linearno pragramiranje daje zadovoljavajuće rezultate na slivovima čije su karakteristike blizu linearnim, dok nelinearno programiranje ima teškoće sa vremenom izvršavanja. Premda su mnoge tehnike matematskog programiranja uspješno primjenjene nije se pojavio nijedan generalni algoritam. Izbor metoda zavisi od karakteristika akumulacionog sistema i od zadanih funkcija i ograničenja.

U ovom redu razmatran je problem kratkoročnog planiranja sa varijacijama nivoa vode, kašnjenjem izmedju povezanih hidroelektrana, biološkim minimumom, prelivima, limitima na promjenljive stanja i upravljačke promjenljive, nelinearnim i diskretnim tehničkim karakteristikama. Kriterij optimizacije je maksimizacija dobiti od hidroproizvodnje.

Metodi koji su primjenjeni za rješavanje problema su:

- Network flow metod
- Dinamičko programiranje
- Progresive Optimality Algorithm

U Odjeljku 2 data je formulacija problema i analiza osobina modela, u Odjeljku 3 ukratko su opisani metodi rješavanja i navedene njihove osobine, u Odjeljku 4 dati su rezultati testiranja na različitim slivovima.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

OZNAKE

- i - indeks hidroelektrane, $i=1,\ldots,I$
- I - ukupan broj hidroelektrana
- j - vremenski interval, $j=1,\ldots,J$
- J - period planiranja (ukupan broj intervala)
- x_i^j - stanje (nivo), akumulacija i, interval j
- y_i^j - prirodni dotok u akumulaciju i, interval j
- q_i^j - protok, hidroelektrana i, interval j
- v_i^j - preliv, hidroelektrana i, interval j
- p_i^j - proizvodnja, hidroelektrana i, interval j
- X_i^0 - početno stanje, akumulacija i
- X_i^J - krajnje stanje, akumulacija i

2.1 Elementi modela

Funkcija cilja

Problem optimalnog upravljanja hidrotermalnim sistemima se vrlo teško može direktno riješiti. Zato se ukupni problem dekomponuje na potprobleme koji se definišu kao posebni optimizacioni problemi. Optimizacija separatnih problema može voditi ka globalnom optimumu što zavisi od primjenjene dekompozicione tehnike. Da bi planiranje rada hidroelektrana dovelo do ukupnog optimuma kriterij minimuma termo troškova za hidro-termo sisteme prevodi se na maksimizaciju dobiti (koristi) od proizvodnje hidroelektrana, pa je funkcija cilja

$$L = \max \left(\sum_{j=1}^{J} c^j \sum_{i=1}^{I} p_i^j \right) \qquad (2.1)$$

c^j su inkrementalni troškovi sistema koji se dobiju rješavanjem problema hidro-termo koordinacije.

Ograničenja

- **balans vode u akumulacijama**

Punjenje-pražnjenje akumulacija opisano je diferentnim jednačinama

$$x_i^{j+1} = x_i^j + y_i^j + z_i^j - q_i^j - v_i^j \quad j=1,\ldots,J; \quad i=1,\ldots,I$$
$$z_i^j = \sum_{k \in I_i} \left(q_k^{j-k_i} + v_k^{j-k_i} \right) \quad j=1,\ldots,J; \quad i=1,\ldots,I \qquad (2.2)$$

gje je

- I_i - skup uzvodnih akumulacija vezanih za akumulaciju i
- k_i - kašnjenje izmedju povezanih akumulacija. Kašnjenje se izražava u multiplima intervala planiranja.

. ograničenja na protoke hidroelektrana

$$\underline{q}_i \le q_i^j \le \bar{q}_i \qquad j=1,\ldots,J; \quad i=1,\ldots,I \qquad (2.3)$$

Gornja granica protoka je konstantna ili je funkcija stanja akumulacije,

$$\bar{q}_i = \bar{q}_i(x_i^j) \qquad i=1,\ldots,I; \quad j=1,\ldots J \qquad (2.4)$$

. preliv

Preliv može biti samo pozitivna vrijednost.

$$v_i^j \ge 0 \qquad i=1,\ldots,I; \quad j=1,\ldots,J \qquad (2.5)$$

. ograničenja na stanja akumulacija

$$\underline{x}_i \le x_i^j \le \bar{x}_i \qquad j=1,\ldots,J; \quad i=1,\ldots,I \qquad (2.6)$$

. zavisnost proizvodnje od protoka i stanja akumulacije

$$p_i = f_i(q_i^j, x_i^j) \qquad i=1,\ldots,I$$

Izlazna snaga hidroelektrane je funkcija protoka i nivoa vode u akumulacijama. Funkcija f_i je nelinearna po protocima i nivoima. Za pumpno-akumulacione hidroelektrane f_i je diskretna funkcija protoka.

. Biološki minimum

$$W_m^j \ge \bar{W}_m \qquad j=1,\ldots,J; \quad m\in M \qquad (2.7)$$

W je ukupni protok, a m je indeks riječnog korita na mjestu na kojem se zadaje biološki minimum.

. Stanja (nivoi) akumulacija na početku perioda optimizacije su poznati, tj.

$$x_i^0 = X_i^0 \qquad i=1,\ldots,I \qquad (2.8)$$

. Stanja akumulacija na kraju perioda optimizacije su

. poznata, tj. $x_i^J = X_i^J$ $\qquad i=1,\ldots,I \qquad (2.9)$

. data funkcijom odstupanja od krajnjih stanja ili funkcijom troškova krajnjih stanja $\Phi_i(x_i^J)$

2.2 Transformacija modela

. Ograničenje na biološki minimum (2.7) prevodi se na ograničenje po protoku. Ukupni protok jednak je sumi turbiniranog protoka iz uzvodne elektrane (uključujući kašnjenje) i prirodnih dotoka

$$W_m^j = q_i^{j-k_i} + y_i^j \qquad i=1,\ldots,I; \quad j=1,\ldots,J; \quad m\in M$$

pa ograničenje na biološki minimum postaje

$$q_i^j \ge W_m^{j+k_j} = \bar{W}_m^{j+k_i} - y_i^j \qquad i=1,\ldots,I; \quad j=1,\ldots,J; \quad m\in M$$

Ovo ograničenje se objedinjuje sa ograničenjem na maksimalni i minimalni protok koje postaje

$$\max_j(\underline{q}_i, Q_m^{j+k_i}) \le q_i^j \le \bar{q}_i \qquad i=1,\ldots,I; \quad j=1,\ldots,J; \quad m\in M$$

Funkcija troškova krajnjih stanja/funkcija odstupanja od krajnjih stanja $\phi_i(x_i^J)$ koja izražava optimalno korištenje akumulacija na dužem vremenskom periodu uključuje se u kriterij optimizacije.

- Zahtjevi ostalih korisnika vode (navodnjavanje) modeluju se kao poznate vrijednosti. To dovodi do promjena u podacima ali ne i do promjena u modelu.
- Specifičnosti pojedinih slivova (više korisnika iste akumulacije, ograničenja brzine promjene nivoa,...) mogu se uvesti u osnovni model, ali se ne mogu rješavati svim opisanim metodama što će biti posebno naglašeno.

2.3 Osobine modela

Model je karakterisan nelinearnom kriterijalnom funkcijom i velikim brojem linearnih jednačina balansa vode u akumulacijama. Preostala ograničenja su ograničenja tipa "jednostavne granice" ili se mogu prevesti na ograničenja na gornju i donju granicu promjenljivih. U modelu postoji i funkcionalno ograničenje (2.4). Osnovne osobine modela su nelinearna funkcija cilja, linearna ograničenja specijalne strukture i velika dimenzionalnost (ukupan broj jednačina dinamike akumulacija je IxJ, broj ograničenja na limite promjenljivih je 3xIxJ, broj funkcionalnih ograničenja je IxJ).

2.4 Opšti model

Model za optimizaciju sliva biće zapisan u kompaktnom obliku

$$\max\left[\sum_{j=1}^{J} F(q^j, x^j)\right] \qquad (2.10)$$

uz ograničenja

$$x^{j+1} = H(x^j, q^j) \qquad j=1,\ldots,J \qquad (2.11)$$

$$x^j \in X^j \qquad j=1,\ldots,J \qquad (2.12)$$

$$q^j \in Q^j \qquad j=1,\ldots,J \qquad (2.13)$$

gdje je

x^j - vektor stanja (nivoa), $x^j=(x_1^j, x_2^j, \ldots, x_I^j)$,

q^j - vektor upravljanja (protoka), $q^j=(q_1^j, q_2^j, \ldots, q_I^j)$,

F - skalarna funkcija vektorskih argumenata $F = c^j \sum_{i=1}^{I} f_i(q_i^j, x_i^j)$

H - vektorska funkcija vektorskih argumenata

X^j - skup ograničenja na nivo

Q^j - skup ograničenja na protok

3. METOD RJEŠAVANJA

Hidroenergetski sistemi na različitim slivovima znatno se razlikuju po svojim karakteristikama, što uslovljava značajne razlike u modelima za kratkoročnu optimizaciju hidroelektrana. Modeli se razlikuju po:

- dimenzijama ("mali" hidroenergetski sistemi do tri elektrane i "veliki" hidroenergetski sistemi sa četiri i više elektrana)
- konfiguraciji sliva
- postojanju (nepostojanju) pumpno-akumulacionih elektrana

. (ne)razmatranju kašnjenja
. varijacijama nivoa vode u akumulacijama u toku perioda planiranja

Neposredna posljedica ovih razlika je potreba za različitim metodama za posebne slivove.

3.1 Network flow metod

Metod je baziran na grafovskoj predstavi problema. Osnovna ograničenja, diferentne jednačine dinamike akumulacija imaju mrežnu strukturu.
Pod pretpostavkom da je funkcija cilja linearna, problem predstavlja linearnu mrežu. Tada optimizacija riječnog sliva predstavlja zadaću linearnog programiranja. Pošto problem ima linearnu strukturu ne koriste se uobičajene metode linearnog programiranja nego efikasniji network flow metodi. Sve simpleksne operacije obavljaju se na grafu (odredjivanje relativnih cijena, ulazak u bazu, izlazak iz baze, pivotiranje).
Parcijalnom linearizacijom funkcije cilja po protocima model se prevodi na linearnu mrežu [10]. Ukupni algoritam je sukcesivna linearizacija funkcije cilja i primjena LP na mrežni model.
Osnovne osobine realizovanog metoda su:

. razmatranje konkurentnog korištenja vode iz iste akumulacije od strane više elektrana
. linearizacija funkcije cilja na segmente promjenjive dužine
. izbor početnih tehničkih karakteristika elektrana za fiksirane nivoe prema predoptimizacionom proračunu
. dodatne iteracije za korekciju promjene nivoa akumulacija startuju od dozvoljenog rješenja sa prethodne iteracije

3.2 Dinamičko programiranje

Jednačine balansa vode u akumulacijama opisuju dinamički sistem za čije rješavanje je pogodan metod dinamičkog programiranja. Problem (2.10)-(2.13) se svodi na sukcesivno rješavanje rekurentne jednačine:

$$I^j(x^j) = \max_{q^j \in Q} [F(x^j, q^j) + I^{j+1}(H(x^j, q^j))] \quad j=1,\ldots,J-1, \qquad (3.1)$$

Krajnje stanje akumulacija u intervalu J je fiksirano ili zadano funkcijom troškova krajnjih stanja akumulacija $\Phi_1(x^J)$. U prvom slučaju za krajnja stanja uvodi se penalna funkcija $\Phi_2(x^J)$.
Primjenjeni metod je detaljno opisan u [9]. Ovdje ce biti navedene samo osnovne osobine realizovanog metoda:

. promjenljiv korak diskretizacije
. promjena ograničenja na promjenljive stanja (sužavanje prostora stanja)
. razmatranje gornje granice protoka kao funkcije nivoa
. razmatranje ograničenja na brzinu promjene stanja akumulacija
. direktna primjena dinamičkog programiranja ili metoda sukcesivnih aproksimacija

3.3 Metod progresivne optimalnosti

Metod progresivne optimalnosti (POA-Progresive Optimality Algorithm) je posljedica Belmanovog principa optimalnosti. Suština metoda je svodjenje problema (2.1) - (2.9) tj. problema (2.10) - (2.13) na niz dvoetapnih problema. Metod su razvili Howson i Sancho [12]. Prevodjenje se obavlja na slijedeći način:

Izračunavanjem q^j iz jednačine $x^{j+1} = H(x^j, q^j)$ i uvrštavanjem u funkciju cilja umjesto originalnog problema dobije se problem

$$\max\left\{\sum_{j=1}^{J} g(x^j, x^{j+1})\right\} \qquad (3.2)$$

uz ograničenja

$$x^{j+1} = H(x^j, q^j) \qquad (3.3)$$

$$x^j \in X^j \qquad (3.4)$$

$$q^j \in Q^j \qquad (3.5)$$

$$x^0 \text{ i } x^j \text{ poznati} \qquad (3.6)$$

Na osnovu pincipa progresivne optimalnosti problem se može rješavati dvoetapno, tj. sukcesivno rješavati problemi

$$G(x^{j-1}, x^{j+1}) = \max_{x^j}\left\{g(x^{j-1}, x^j) + g(x^j, x^{j+1})\right\} \qquad (3.7)$$

uz zadana početne i krajnje vrijednosti x^{j-1} i x^{j+1}.

Potproblemi (3.7) tj. dvoetapni problemi, se rješavaju iterativno gradijantnim metodom. Za poznate vrijednosti x_*^j odredjuje se nova vrijednost $x_{**}^j = x_*^j + \lambda \Delta x^j$, gdje se popravka vrijednosti Δx^j odredjuje u smjeru gradijenta funkcija cilja dvoetapnog problema, a računanje optimalnog koraka λ obavlja se metodom zlatnog presjeka.

Osnovne karakteristike realizovanog metoda su sljedeće:

- Jednačine dinamike akumulacija se uključuju u funkciju cilja izražavanjem protoka preko stanja. Povratak na jednačine dinamike akumulacija se vrši kod izračunavanja protoka koji odgovaraju optimalnom rješenju.
- Granice stanja se modifikuju na svakoj iteraciji.
- Donja i gornja granica protoka se indirektno uključuju u metod pri modifikaciji granica stanja.

3.4. Karakteristike metoda

- Memorijski zahtjevi

  Metod dinamičkog programiranja ima velike memorijske zahtjeve. Network flow metod i metod progresivne optimalnosti potpuno koriste strukturu problema i imaju male memorijske zahtjeve.

  Pouzdanost konvergencije

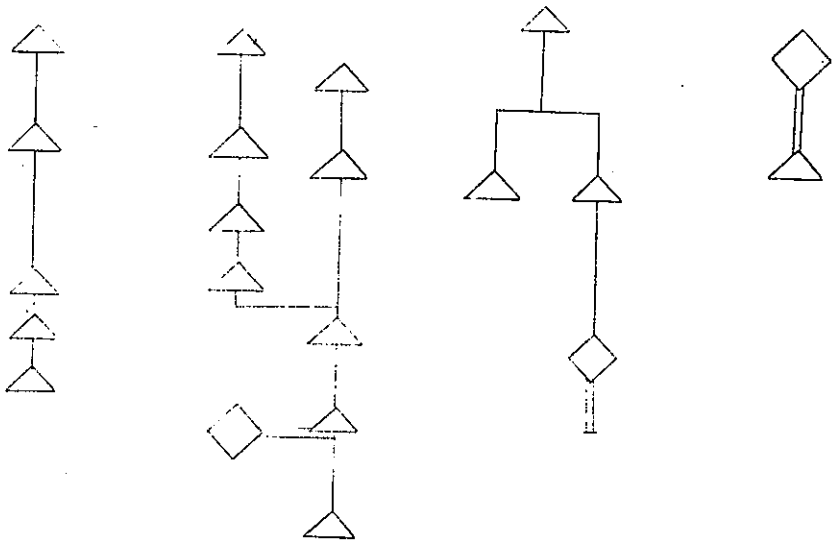
  Svi primjenjeni metodi imaju pouzdanu konvergenciju. Metod progresivne optimalnosti sporo konvergira u blizini optimuma. Takodje sporo konvergira dinamičko programiranje sa sukcesivnim aproksimacijama.

Tačnost

Dinamičkim programiranjem razmatraju se sve nelinearne i nekonveksne karakteristike elektrana. Medjutim, tačnost dinamičkog programiranja je ograničena tačnošću diskretizacije. Pri primjeni network flow metoda linearizuju se proizvodne karakteristike elektrana.

4. REZULTATI

Na slici 1 data su četiri tipična sliva različitih osobina.



sliv 1 sliv 2 sliv 3 sliv 4

Na **slivu 1** postoji pet hidroelektrana različitih karakteristika. Prve dvije hidroelektrane imaju sezonske akumulacije sa malim sedmičnim varijacijama nivoa vode, dok su posljednje tri vršne elektrane sa velikim dnevnim varijacijama vode u akumulacijama. Sva tri metoda za dnevno planiranje imaju vrijeme izvršavanja manje od minute, pri čemu je najveće za dinamičko programiranje (CPU vrijeme varira od 21 do 52 s u zavisnosti od broja tačaka diskretizacije). Poredjenja radi CPU vrijeme za network flow metod je 9 do 20 s, a za POA metod 17 s. Vrijeme izvršavanja za period od sedam dana raste od 26 s (POA) do 6 minuta (DP). Na slivovima sličnih karakteristika mogu se primjeniti sva tri metoda sa uporedivom efikasnošću iako POA daje bolje rezultate za višednevno planiranje.

Na **slivu 2** nalazi se veliki hidroenergetski sistem sa deset hidroelektrana od kojih je jedna pumpno-akumulaciona. Akumulacioni bazeni su različitih korisnih zapremina (od dnevnih do sezonskih akumulacija), a elektrane se znatno razlikuju po instalisanoj snazi. Kod velikih sistema kao što je ovaj network flow metod je jedini direktno primjenljiv. Dinamičko programiranje ima predugo vrijeme izvršavanja. Najbolji rezultati po tačnosti i zadovoljavajućem vremenu izvršavanja postižu se kombinacijom network flow metoda i dinamičkog programiranja.

Na **slivu 3** postoje četiri elektrane od kojih je jedna pumpno-akumulaciona. Karakteristično za sliv je veliko kašnjenje izmedju dvije posljednje elektrane, konkurentsko korištenje zajedničke akumulacije od strane dvije hidroelektrane različitih karakteristika. Iako su dimenzije hidrosistema takve da bi se mogle efikasno primjeniti sve metode, obzirom na postojanje "raskršća" moguće je primjeniti samo network flow metod.

Sliv 4 je tipičan mali sliv sa dvije elektrane od kojih je jedna pumpno-akumulaciona. Za optimizaciju ovog sliva superiorno je dinamičko programiranje. Network flow metod ima teškoće sa tačnošću pri razmatranju karakteristika PAHE.

Sva tri razmatrana metoda i kombinovani metodi koji koriste network flow metod za predoptimizaciju i dinamičko programiranje ili POA za optimizaciju, testirani su na znatnom broju hidroenergetskih sistema različitih dimenzija i karakteristika. Osnovni zaključak koji proizilazi iz rezultata testova je da ne postoji metod koji bi bio najbolji za većinu slivova. U velikim hidrotermalnim elektroenergetskim sistemima najbolje je upotrebljavati različite metode koje se mogu prilagodjavati specifičnostima svakog sliva. Sljedeći bitan zaključak je da je za izbor odgovarajućeg metoda za svaki posebni sliv često potrebno detaljno testiranje.
Testiranje je obavljeno na računaru VAX 11/750 .

5. ZAKLJUČAK

Kratkoročna optimizacija rada kaskada hidroelektrana je važan problem u sklopu planiranja rada hidrotermalnog sistema. Problem je veoma složen zbog nelinearnosti dinamičkog sistema kojim se predstavlja i velikog broja ograničenja na promjenljive sistema.
Rješavanje problema metodom dinamičkog progrmiranja omogućava da se razmatraju svi tipovi elektrana i sve glavne nelinearnosti problema. Pošto se DP lako prilagodjava kompleksnim i specifičnim modelima, ono je vrlo primjenljivo za sisteme sa nekoliko akumulacija. Za hidro sisteme sa tri i više hidroelektrana primjenjuju se sukcesivne aproksimacije čija brzina rješavanja zavisi od početnog rješenja i uopšte su za sisteme sa više od četiri akumulacije slabije od metoda linearnog i nelinearnog programiranja.
Network flow metod može se primjeniti na slivove sa velikim brojem hidroelektrana. Metod ima kratko vrijeme izvršavanja pa je naročito pogodan za optimalno planiranje u velikim hidrotermalnim elektroenergetskim sistemima sa

znatnim brojem slivnih hidroenergetskih sistema. Medjutim, linearni network flow metod ne daje najbolje rezultate za hidroenergetske sisteme čije su karakteristike daleko od linearnih. Metod progresivne optimalnosti je vrlo jednostavan i upotrebljiv za slivove sa nekoliko elektrana.
Za kompleksne slivove sa velikim brojem elektrana i značajnim nelinearnostima najbolji rezultati se postižu kada se koristi brzi linearni metod network flow program za predoptimizaciju i dinamičko programiranje ili algoritam progresivne optimalnosti za optimizaciju sliva. Prema tome, izbor metoda zavisi od karakteristika sistema i zadanih funkcija i ograničenja. Za različite slivove dobro je primjenjivati metode koji su prilagodjeni funkcionalnim zahtjevima i specifičnostima slivova.

6. LITERATURA

[1] F. Wakamori, S. Masui, K. Morita and T. Sugiyama: Layered Network Model Approach to Optimal Daily Hydro Scheduling, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No.9, September 1982.*

[2] R. Anelli, A. Garzillo and M. Innorta: Optimization of a Very Large Hydroelectric System by Network Flow Techniques with Additional Constraints, *1979 Power Industry Computer Application Conference*

[3] Richard E. Rosenthal: A Nonlinear Network Flow Algorithm for Maximization of Benefits in a Hydroelectric Power Systems, *Operations Research, Vol. 29, No.4, July-August 1981*

[4] C.R.Gagnon, J.F.Bolton: Optimal Hydro Scheduling at the Bonneville Power Administration, *IEEE Transactionson Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-997, No.3, May/June 1978*

[5] M.A.Hanscom, L.Lafond, L.Lasdon, and G.Pronovost: Modeling and Resolution of the Term Energy Generation Planning Problem for a Large Hydro-Electric System, *Manag.Sci., Vol.26, No.7, pp.659-688, July 1980*

[6] R.E. Larson and W.G. Keckler: Applications of Dynamic Programming to the Control of Water Resource Systems, *Automatica, Vol.5, Pergamon Press 1969*

[7] A. J. Korsak and R. E. Larson: A dynamic Programming Succesive Approximation Technique with Convergence Proofs, *Automatica, Vol. 6, Pergamon Press*

[8] André Turgeon: Optimal Short-Term Hydro Scheduling from the Principle of Progresive Optimality, *Water Resource Research, Vol.17, No.3, June 1981*

[9] Nadija Kosovac: Kratkorocna optimizacija rada hidroelektrana metodom dinamickog programiranja, *SYMOPIS Brioni 11-14. oktobra 1988.*

[10] Slobodan Malesevic, Nadija Kosovac, Nermina Krstic: Metodi za kratkorocno planiranje rada hidroelektrana, *prezentirano na SYMOPIS-u - Kupari '90.*

[11] P.A.J. Lautala: On Dynamic Optimization of a Hydro Power Plants Chain, *IFAC 7th Triennal World Congress, Helsinki, 1978*

[12] Howson and Sancho: A New Algorithm for the Solution of Multistate Dynamic Programming Problems, *Mathematical Program Vol. 8, 1975*

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Referat broj 3.03

Dr. Arsen Arsenov,dipl.ing.
Atanas Iliev,dipl.ing.
Elektrotehnički fakultet, Skopje

UTICAJ PROMENLJIVOSTI VISINE I HIDRAULIČNE POVEZANOSTI KOD HIDROELEKTRANA NA OPTIMALNU RASPODELU SNAGA U SISTEMU SASTAVLJENOM IZ HIDROELEKTRANA I TERMOELEKTRANA

SADRŽAJ

U radu je dat postupak za odredjivanje optimalne raspodele opterećenja u složenom elektroenergetskom sistemu koja bazira na metodi najbržeg spusta kao i na dekompoziciji elektroenergetskog sistema na hidro i termo podsistem. Novina metode, u odnosu postojećih metoda iz ove oblasti, je u tome što ona na poseban način uključuje u račun promenljivost visine kod hidroelektrana kao i hidrauličku povezanost kod istih preko uvodjenja matrice povezanosti akumulacionih bazena.

Zahvaljujući dekompoziciji, omogućeno je u termo podsistem ući sa pravim energetskim i diferencijalnim karakteristikama kod termoelektrana koji su diskontinuirani, a što nije bilo moguće pri zajedničkom tretmanu oba podsistema.

ABSTRACT

This paper presents a method of finding the optimale schedule of power in cimplex Electric Energy Systems composed from Hidro and Thermal Electric Plants. The method bases on decomposition of the system on two subsystems - thermal and hydro subsystem as well as on using Steepest decent method. One of the best karacteristics of the method is that it includes the variable heads at hydro-stations and takes in mind the hydraulics conections between hydraulic reservoars.

Thanks to the decomposition it makes posible to enter in acount with real energetic and incremental characteristics for the thermal plants which are discontinious. This hower is not posible at common analyses of the both subsystems.

1 U V O D

U |1| je data matrična metoda za odredjivanje optimalne raspodele snaga u elektroenergetskom sistemu sastavljenom iz hidroelektrana i termoelektrana. Ta je metoda dogradjena u |2| uključivanjem u račun pogonsku elastičnost termoelektrana. Dalja dogradnja metode data je u |3| i |4| uključivanjem u račun pumpno-akumulacionih postrojenja. I u osnovnoj metodi kao i u dogradnjama metode, medjutim, osnovna pretpostavka modela bila je konstantna visina kod hidroelektrana, a što je bilo opravdano s obzirom na kratak period planiranja pogotovo kod većih akumulacionih bazena. Pri zajedničkom radu više bazena različite veličine i pri dužem (primer nedeljnom) planiranju rada elektrana potrebno je uvažiti i efekt promenljivosti visine kao i hidrauličnu povezanost hidroelektrana, a što je u osnovi ovog rada. Za tu svrhu funkciju cilja treba posmatrati kao funkcional, a neophodne uslove za ekstrem izraziti Ojlerovom jednačinom. Time se postiže dekompozicija sistema na termo i hidro podsistem. Za rešavanje termo-podsistema koriste se standardne metode koje uvažavaju diskontinuitete kod diferencijalnih karakteristika a za rešavanje hidro-podsistema gradientna metoda najbržeg spusta. Metoda je ilustrirana na konkretan primer elektroenergetskog sistema sastavljen iz tri termoelektrana i pet hidroelektrana.

2 DEFINICIJA FUNKCIJE CILJA

Problem optimalne raspodele opterećenja u elektroenergetskom sistemu sastavljenom iz hidro i termo elektrana, po kriterijumu minimalnih troškova, svodi se na iznalaženje ekstrema sledeće funkcije bez ograničenja |6,7,8| i dr.

$$\Phi = \sum_{t=1}^{T} \{ \sum_{n=1}^{N} K_n(P_{nt})\Delta t_t - \lambda_t [\sum_{n=1}^{N} P_{nt}\Delta t_t + \sum_{m=1}^{M} P_{Hmt}(V_{1t}, V_{2t}, \ldots, V_{Mt})\Delta t_t - P_{Lt}\Delta t_t] \} +$$

$$+ \sum_{m=1}^{M} \mu_m (\sum_{t=1}^{T} Q_{Gmt}\Delta t_t - \Delta V_m) \qquad (1)$$

u koje pojedine oznake imaju sledeće značenje:

$K_n(P_{nt})$ - energetske karakteristike termoelektrane n

N,M - respektivno, ukupni broj termoelektrana odnosno hidroelektrana

μ_t, μ_m - respektivno, Lagrangeovi multiplikatori vezani za bilans snaga odnosno vode kod hidroelektrana

Q_{Gmt} - protok kroz turbine m-te hidroelektrane u vremenskom intervalu t (t=1,T)

ΔV_m - raspoloživ volumen vode za vreme T kod m-te hidroelektrane

V_{mt} - geometriski volumen m-te hidroelektrane (m=1,M) u vremenskom intarvalu t

P_{Hmt} - snaga m-te hidroelektrane u vremenskom intervalu t

P_{Lt} - zadato opterećenje u vremenskom intervalu t čija je širina Δt_t.

Energetske karakteristike hidroelektrana daju zavisnost snage hidroelektrane u funkciji protoka i visine, koje u kondenzovanom obliku mogu da se izraze na sledeći način:

$$P_{Hmt}(Q_{mt},H_{mt}) = \sum_{i=1}^{K}\sum_{j=1}^{L} a_{H_{ij}} H_{mt}^{i-1} Q_{mt}^{j-1} \qquad (2)$$

K,L ≤ 3.

gde su $a_{H_{ij}}$ poznati koeficijenti.

3 OJLEROVI USLOVI ZA EKSTREM

U jednačini (1) nepoznate su energije A_{nt} i njihove derivacije P_{nt} ($P_{nt}=dA_{nt}/dt$), kao i zapremine V_{mt} (m=1,M; t=1,T) i njihove derivacije Q_{mt} ($Q_{mt}=dV_{mt}/dt$). Radi se, dakle, o funkcionalu koji ima ekstrem, onda kada je zadovoljen Ojlerov uslov za ekstrem. Naime,

$$\text{grad } F(x;\dot{x}) = \nabla F(x;\dot{x}) = \left[\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dt}\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right] = \left[F_x - \dot{F}_{\dot{x}}\right] = 0 \qquad (3)$$

gde je veličina $\dot{x}$ prva derivacija veličine x.

S obzirom na (3) i (1) imamo:

$$(\nabla F)_{A_{nt}} = \frac{\partial F}{\partial A_{nt}} = -\frac{d}{dt}\left[\frac{dK_n}{dA_{nt}} - \lambda_t\right] \qquad (4)$$

odnosno

$$-\frac{\partial F}{\partial \dot{A}_{nt}} = \frac{\partial F}{\partial P_{nt}} = -\nabla P_{P_{nt}} = \frac{dK_n}{dP_{nt}} - \lambda_t \qquad (5)$$

n = 1,N; t=1,T.

Na sličan način, u matričnom obliku možemo napisati da je

$$\underset{M}{\left[(\nabla F)_{V_{mt}}\right]^1} = \left[\frac{\partial F}{\partial V_{mt}}\right]^1 = -\lambda_t \underset{M}{[J]^M}\cdot\underset{M}{\left[\frac{P_{Hmt}}{V_{mt}}\right]^1} - \frac{d}{dt}\left(\underset{M}{[J]^M}\cdot\underset{M}{[\mu]^1} - \lambda_t \underset{M}{\left[\frac{\partial P_{Hmt}}{\partial \dot{V}_{mt}}\right]}\right)$$

t = 1,T (6)

odnosno

$$-\int_t^T (\nabla F)_{V_t}\,dt = -\underset{M}{\left[\frac{\partial F}{\partial \dot{V}_{mt}}\right]^1} = -\underset{M}{\left[\frac{\partial F}{\partial \dot{V}_{mt}}\right]^1} = \int_t^T \lambda_t \underset{M}{[J]^M}\cdot\underset{M}{\left[\frac{\partial P_{Hmt}}{\partial \dot{V}_{mt}}\right]^1} dt +$$

$$+\left(\underset{M}{[J]^M}\cdot\underset{M}{[\mu]^1} - \lambda_t \underset{M}{\left[\frac{\partial P_{Hmt}}{\partial \dot{V}_{mt}}\right]^1}\right)\Bigg|_t^T \qquad (7)$$

t = 1,T.

U jednačini (7) |J| je matrica povezanosti akumulacionih bazena čija je dimenzija MxM. Njeni elementi a_{ij} (i,j=1,M) odredjuju se na sledeći način:

$$a_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{ako voda iz j-te hidroelektrane ulazi u bazen i-te HE-e} \\ 1 & \text{za } i=j \\ 0 & \text{ako nepostoji hidraulična spreqa izmedju i-te i j-te HE-e.} \end{cases}$$

U diskretnom obliku jednačina (7) ima sledeći izgled:

$$-\underset{M}{\left[\frac{\partial F}{\partial Q_{mt}}\right]^{1}} = -\underset{M}{[J]^{M}} \cdot \underset{M}{\left[\sum_{t=t}^{T} \lambda_t \cdot \frac{\partial P_{Hmt}}{\partial V_{mt}}\right]^{1}} \Delta t_t + \lambda_t \cdot \underset{M}{\left[\frac{\partial P_{Hmt}}{\partial Q_{mt}}\right]^{1}} - \underset{M}{[C_{mT}]^{1}} \qquad (8)$$

$t = 1,T.$

Na taj način u neophodne uslove za ekstrem uključena je i promenljivost visine i hidraulična sprega izmedju hidroelektrana. Lako je uočiti, iz jednačine (6), da kad nepostoji hidraulička povezanost izmedju hidroelektrana (J=E , E - jedinična matrica) i kada se usvoji pretpostavka o konstantnosti visine ($\partial P_{Hmt}/\partial V_{mt} = 0$), ti uslovi za ekstrem prelaze u već poznate uslove koje imamo u radovima koje baziraju na konstantnu visinu:

$$-\frac{\partial F}{\partial Q_{mt}} = \mu_m - \lambda_t \frac{\partial P_{Hmt}}{\partial Q_{mt}} \qquad m=1,M; \quad t=1,T \qquad (9)$$

4 ODREDJIVANJE OPTIMALNE RASPODELE OPTEREĆENJA IZMEDJU HIDROELEKTRANA I TERMOELEKTRANA

Da bi odredili snage termoelektrana potrebno je ukupno opterećenje P_{Lt} koregirati za iznos snaga hidroelektrana za pretpostavljeni raspored protoka kroz turbina,takav da odgovara ukupnoj raspoloživoj vodi kod pojedinih hidroelektrana. Tako bi problem raspodele snaga kod termoelektrana bio privremeno nezavistan pa ga je moguće rešiti za bilo kakve diferencijalne karakteristike termoelektrana polazeći od uslova (5). Kada su odredjene snage termoelektrana odredjuju se i multiplikatori λ_t. Sada je moguće, za poznate C_{mT} koje se odredjuju iz uslova da je zbir priraštaja protoka u toku perioda optimizacije jednak nuli, odrediti veličine $\partial F/\partial Q_{mt}$ i izvršiti korekciju protoka po metodi najbržeg spusta:

$$Q_{mt}^{i+1} = Q_{mt}^{i} + \beta \cdot \nabla F_{Q_{mt}}^{i} \qquad (10)$$

m=1,M; t=1,T; i=0,1,2,... redni broj iteracije.

U jednačini (10) β je koeficijent ubrzanja konvergencije koga treba odredjivati u svakoj iteraciji. Pokazuje se za zgodno da se koeficijent β odredi tako da Tajlorov razvoj ukupnih troškova u okolini početne tačke daje najveće sniženje troškova u sistemu

Koeficijent β, koji je vezan za hidroelektrane, dakle odredjuje se deriviranjem sledećeg razvoja:

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N} K_n\Big(\sum_{m=1}^{M}(Q_{mt}+\beta\cdot \nabla F_{Q_{mt}})\Big) = \sum_{t=1}^{T}\Big\{\sum_{n=1}^{N} K_n\Big(\sum_{m=1}^{M} Q_{mt}\Big) + \beta\cdot \sum_{n=1}^{N} \frac{\partial K_n}{\partial \sum_{m=1}^{M} Q_{mt}} \sum_{m=1}^{M} \nabla F_{Q_{mt}} +$$

$$+ \frac{\beta^2}{2} \sum_{n=1}^{N} \frac{\partial^2 K_n}{\partial\left(\sum_{m=1}^{M} Q_{mt}\right)^2} \Big(\sum_{m=1}^{M} \nabla F_{Q_{mt}}\Big)^2\Big\} \qquad (11)$$

odakle je:

$$\beta = \frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N} \frac{\partial K_n}{\partial \sum_{m=1}^{M} Q_{mt}} \sum_{m=1}^{M} \nabla F_{Q_{mt}}}{\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N} \frac{\partial^2 K_n}{\partial\left(\sum_{m=1}^{M} Q_{mt}\right)^2} \cdot \Big(\sum_{m=1}^{M} \nabla F_{Q_{mt}}\Big)^2} \qquad (12)$$

Jednačina (10), za zadata raspodela snaga kod termoelektrana, koregira se sve dotle dok se ne ispuni uslov:

$$\Big|\sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} \nabla F^2_{Q_{mt}}\Big|^{1/2} = \text{ssrq} \leq \varepsilon \qquad (13)$$

gde je ε unapred zadata mala veličina.

Nakon toga odredjuju se visine i snage hidroelektrane P_{Hmt} pa ponovo odredjuje razlika $P_{Lt} - \sum_{m=1}^{M} P_{Hmt}$. Time je prva iteracija završena. Ponovo se optimira termo podsistem, odredjuju nove $\lambda_t (t=1,T)$ i vraća na hidro podsistem. Postupak se ponavlja sve dok postoji značajno smanjenje ukupnih troškova odnosno do ispunjenja uslova (13).

5 NUMERIČKA REALIZACIJA

Za ilustraciju izložene metode uzet je primer elektroenergetskog sistema koji se sastoji iz tri termoelektrane i pet hidraulički spregnutih hidroelektrana (sl.1).

Energetske karakteristike hidroelektrana imaju oblik dat jednačinom (2) za L=K=3, a energetske karakteristike termoelektrana aproksimirane su polinomom drugog reda. Zavisnost ogledalne površine akumulacionih bazena u funkciji gornje kote aproksimirana je polinomom oblika

$$\omega_m(H_m) = \sum_{i=0}^{n} a_{mi}\cdot H_m^i \qquad (14)$$

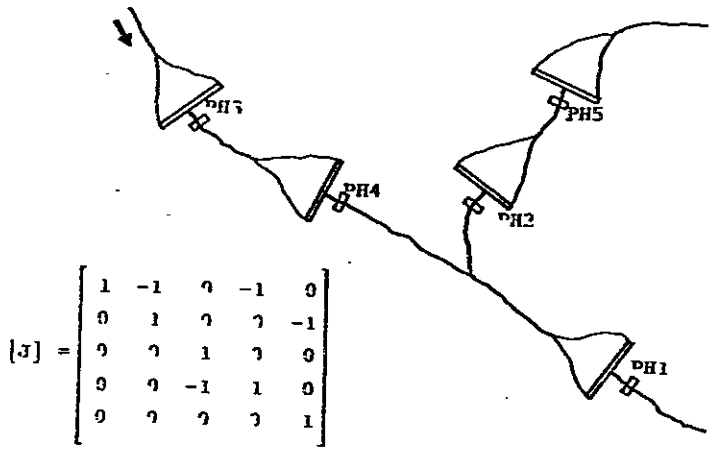
$m = 1,M$

gde su a_{mi} poznati koeficijenti.

Početne visine i raspoložive zapremine vode, za period T, kod pojedinih hidroelektrana date su u tabeli I.

Tabela I.

	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5
$V \cdot 10^6 (m^3)$	4	2,25	2,1	2,2	2,5
$H_m^o (m)$	405	105	100	105	103



$$[J] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sl.1. Hidraulička povezanost izmedju hidroelektrane

Raspoloživi dotoci vode u akumulacijama kod pojedinih hidroelektrana, u toku perioda T, uzeto je da su konstantni i da iznose:

$q_{1dot}=4m^3/s$; $q_{2dot}=0m^3/s$; $q_{3dot}=23m^3/s$; $q_{4dot}=0m^3/s$; $q_{5dot}=4m^3/s$.

Matrica povezanosti J akumulacionih bazena data je na sl.1.

Dobijeni rezultati prikazani su na sl.2, sl.3, sl.4 i sl.5 u prilogu.

Na sl.2 data je optimalna raspodela opterećenja P_{Lt} izmedju hidroelektrana i termoelektrana u MW.

Na sl.3 dat je odgovarajući raspored protoka, a na sl.4 raspored visina.

Na sl.5 prikazan je tok konvergencije iterativnog procesa.

Od dobijenih rezultata vidi se da i u slučaju matematičkog optimuma termoelektrane rade skoro sa konstantnim opterećenjem, a varijacije potrošnje prihvataju hidroelektrane, što je potpuno u skladu sa realnim pogonom sistema.

6 ZAKLUČOK

Izložen je algoritam za brzo odredjivanje optimalne raspodele opterećenja izmedju termoelektrana i hidraulički spregnutih hidroelektrana. Uzeto je u obzir promenljivost visine, oblik akumulacionih bazena kod hidroelektrana kao i raspored dotoka u toku dana. Zahvaljujući jednostavnosti algoritma i kratkom vremenu potrebnog za iznalaženje optimalne raspodele isti je pogodan za operativno vodjenje elektroenergetskog sistema u realnom vremenu.

7 LITERATURA

|1| A.Arsenov: Matrična metoda za odredjivanje optimalne raspodele snage u elektroenergetskom sistemu sastavljenom iz hidroelektrana i termoelektrana, Energija br.1-2, Zagreb, 1980.

|2| A.Arsenov: Utjecaj pogonskih ograničenja na optimalnu raspodelu snaga u složenom elektroenergetskom sistemu, Energija br.4, Zagreb, 1985.

|3| Jelavić B., G.Granić, A.Arsenov: Dogradnja metode za raspodelu opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja, VI stručno savjetovanje o upravljanju i informatici u Elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat,1986.

|4| Jelavić B, G.Granić: Mogući načini primeni gradijentne metode u odredjivanju raspodele opterećenja, Energija, br.5, 1985 g., Zagreb, Listopad.

|5| A.Arsenov, A.Iliev, I.Icevski: An Algorythm for fast Determination of Optimal Schedule of Power in Electric Power Systems Composed of Hydro, Thermal and Pump Storage Plants. Manila International Symposyum on the Development and Management of Energy Resources, Manila, 1989.

|6| L.Chao, Y.Rui: Comparison of Decomposition and coordination Methods in Hydrothermal Optimal Scheduling, IFAC, 1986.

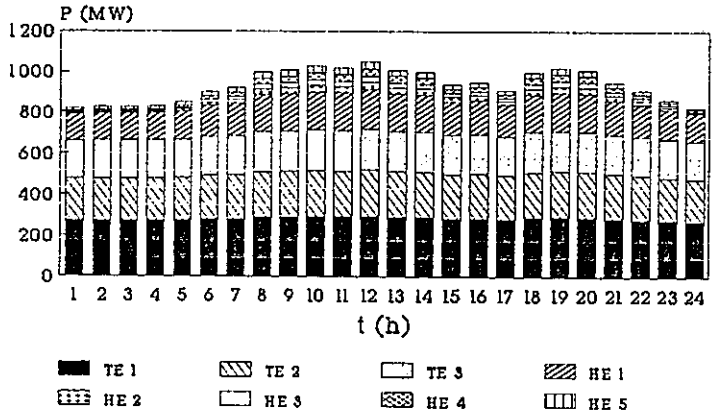
|7| Glimn A.F.; Kirchmayer L.K.: Economic Operation of Variable head Hydroelectric Plants, TRANS. AIEE/III(PAS)77 (1958) 1070-1079.

|8| J-S Yang and Nchen; Short Term Hydrothermal Coordination Using Multi-Pass Dynamic Programming IEEE Transaction on Power systems, August 1989 1050-1056.

|9| H.Habibollahzadeh, G.X.Luo, and A. Semlyen; Hydrothermal optimal Power Flow Based on a Combined Linear and Nonlinear Programming Methodology, IEEE Transactions on Power Systems, May 1989g. (530-537).

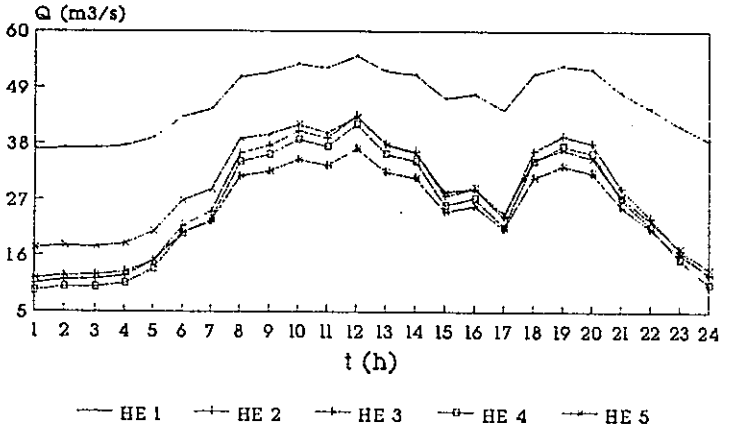
|10| Klaus Theilsiefje: Ein Beitrag zur Theorie der wirtschaftlichen Ausnutzung groBer Speicherseen zur Energieerzeugung, ETZ-A, Bd.82.H.17, 14.8.1961, Erlangen.

optimalna raspodela opterecenja
u mesovitom HE-TE sistemu



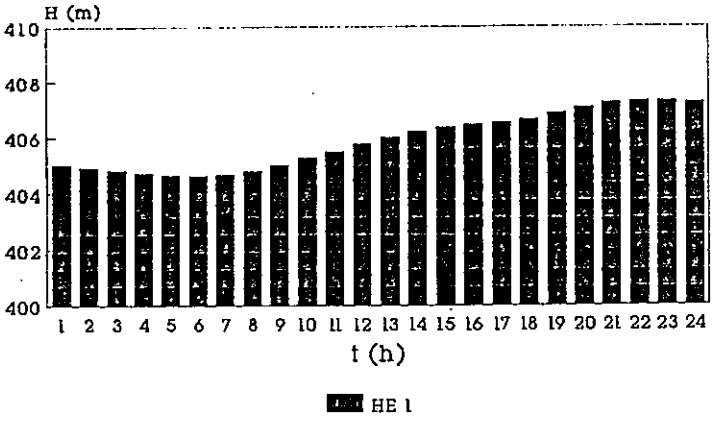
sl. 2

optimalna raspodela protoka kod
hidraulicki spregnutih HE-a

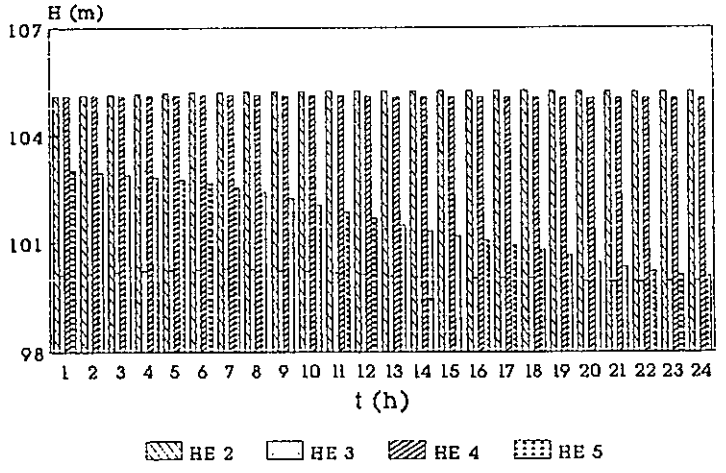


sl. 3

optimalna promena visina kod hidraulicki spregnutih HE-a

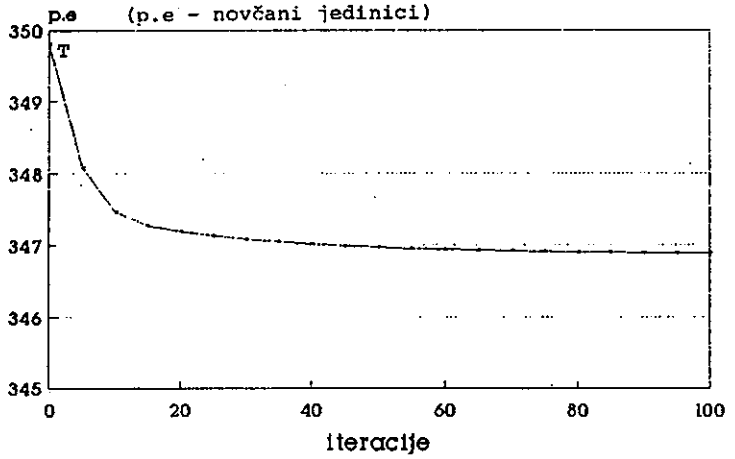


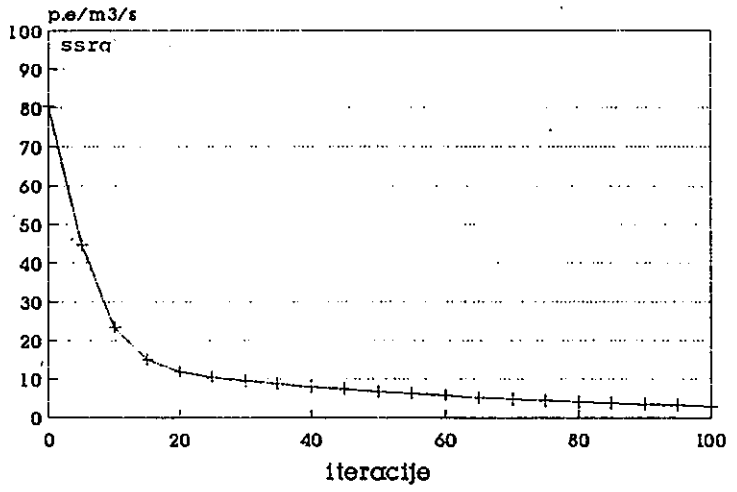
sl. 4



sl. 4-1

promena troskova i odstupanja u funkciji broja iteracija





sl. 5.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr Slobodan Ružić, dipl.ing.
EPS Beograd
Vojvode Stepe 412/a
11000 Beograd

Dr Nikola Rajaković, dipl.ing.
Elektrotehnički fakultet
Bulevar Revolucije 73
11000 Beograd

Referat broj 3.04

IMPLEMENTACIJA PROGRAMSKOG PAKETA ZA ANGAŽOVANJE TERMOAGREGATA U EES NA PERSONALNOM RAČUNARU

SADRŽAJ

U radu su opisane metode za planiranje optimalnog angažovanja termoagregata. Prikazani su rezultati primene programskog paketa EXUCPS i razmotrena je mogućnost njegove implementacije na personalnom računaru PC-AT. U radu su analizirana ograničenja u pogledu potrebne operativne memorije i brzine izvršavanja. Zatim su ocenjene mogućnosti primene standardnih PC-AT računara pri planiranju rada EES.

ABSTRACT

This paper presents the optimization methods for solving the unit commitment problem. The results obtained by package EXUCPS are presented. The possibility for implementation of this package on PC-AT environment has been investigated. The CPU time and memory constraints have been considered and PC usage for operation planning purposes are elaborated.

UVOD

Problem optimalnog angažovanja termoagregata je jedan od najviše razmatranih problema iz domena planiranja rada EES-a. To je svakako posledica, kako aktuelnosti, tako i naučne kompleksnosti ove problematike. Naime, uočeno je da postojanje samo dva agregata omogućava više načina da se zadovolje zahtevi potrošača. Činjenica da različiti radni režimi dovode do različitih troškova, nametala je potrebu da se pronađe optimalna raspodela opterećenja po agregatima. Uvođenjem vremenske dimenzije problem se od statičkog transformiše u dinamički optimizacioni zadatak. Prema tome, problem angažovanja termoagregata je zadatak da se odredi optimalna dinamika uključivanja i isključivanja, kao i nivo opterećenja svakog termoagregata tokom posmatranog perioda planiranja. U matematičkom smislu, to je višedimenzioni zadatak nalaženja minimuma nelinearne funkcije sa ograničenjima, u kome figurišu i kontinualne i celobrojne varijable. O kompleksnosti problema svedoči i činjenica da do sada, uprkos znatnim istraživačkim naporima, nije razvijen metod koji bi teorijski garantovao pronalaženje optimalnog rešenja.

1. METODE ZA REŠAVANJE PROBLEMA ANGAŽOVANJA TERMOAGREGATA

1.1 Metod dinamičkog programiranja

U prošlosti je problem optimalnog angažovanja termoagregata najčešće tretiran metodom dinamičkog programiranja. Primena ovog metoda za rešavanje problema angažovanja termoagregata teorijski je obrazložena u / L.1 /, dok su u / L.2 /, / L.3 / i / L.4 / opisani interesantni algoritmi bazirani na primeni dinamičkog programiranja. Suština postupka je u sistematskom pretraživanju prostora stanja, koje je definisano brojem različitih kombinacija agregata koji su u pogonu. Sistematsko pretraživanje podrazumeva rešavanje problema ekonomskog dispečinga za svaku dopustivu kombinaciju agregata koji su u pogonu, u svakom satu perioda planiranja. Ako je N broj agregata u sistemu, tada je broj mogućih kombinacija 2^N, ali znatan broj ovih kombinacija nije dopustiv jer ne može zadovoljiti zahteve konzuma za snagom i rezervom. Međutim, broj dopustivih stanja za koja treba rešiti problem ekonomskog dispečinga i dalje je enormno visok, tako da primena ovog postupka na periodu od nedelju dana ne bi bila moguća bez dodatnih aproksimacija, čak ni za veoma male sisteme od desetak termoagregata. Zbog toga se na osnovu karakteristika troškova goriva i troškova startovanja, formira lista agregata po redosledu ekonomičnosti. Zatim se uvodi pretpostavka da (k+1)-vi agregat sa ove liste, može biti u pogonu jedino ako su u pogonu svih k prethodnih agregata. Tako se prostor stanja drastično redukuje sa 2^N na (N+1)-u kombinaciju, među kojima i dalje postoje kombinacije koje nisu dopustive. Ovim se vreme izvršavanja svodi u prihvatljive okvire ali se u postupak unosi znatna doza heuristike. Međutim, u procesu optimizacije potrebno je uvažiti ograničenja na minimalno trajanje uključenog i isključenog stanja, kao i činjenicu da su troškovi startovanja zavisni od vremena provedenog van pogona. Da bi se ovi zahtevi zadovoljili kroz egzaktan optimizacioni postupak, bilo bi neophodno proširiti prostor stanja sa 2^N na M^N kombinacija. Pri tome M predstavlja sumu minimalnog trajanja uključenog stanja i veće vrednosti između vremena hlađenja kotla i minimalnog trajanja isključenog stanja agregata. Pošto je vremenska konstanta hlađenja kotla obično prilično velika, to se karakteristične vrednosti za M kreću između 30 i 40. Redukcija prostora stanja koja se vrši formiranjem liste agregata po redosledu ekonomičnosti, u ovom slučaju ne svodi broj potrebnih proračuna ekonomskog dispečinga u prihvatljive okvire. Zbog toga se dužina trajanja uključenog, odnosno isključenog stanja agregata ne uvodi u model, nego se o ovoj veličini vodi računa aproksimacijom metoda optimizacije. Naime, ako se primeni "kretanje unapred" u dinamičkom programiranju, moguće je za proizvoljni sat t, na osnovu optimalne trajektorije do tog sata, odrediti koliko dugo posmatrani agregat nije menjao stanje. Na osnovu toga se odlučuje da li je promena stanja agregata u satu t dopustiva ili ne. Naravno, ovakva procedura, u opštem slučaju, ne obezbeđuje pronalaženje optimalnog rešenja.

1.2 Metod Lagranževe relaksacije

Lagranžev relaksacioni metod je pristup prema kome su trenutno usmereni najveći istraživački napori i od koga se, na polju planiranja angažovanja termoagregata pa i kompletne kratkoročne hidro-termo koordinacije, najviše očekuje. Suština postupka (videti / L.5 /, / L.6 /, / L.7 / i / L.8 /) leži u eliminisanju svih poveznih (sistemskih) ograničenja, odnosno u relaksaciji optimizacionog zadatka. Pridružujući svim poveznim ograničenjima, odgovarajuće Lagranževe multiplikatore i njihovim uvođenjem u kriterijumsku funkciju, formira se Lagranževa funkcija. Kao povezna mogu se definisati sva ona ograničenja kojima se istovremeno izražavaju tehnički zahtevi za više od jednog agregata (ograničenja na nivou sistema kao celine ili na nivou grupe termoagregata). To su u standardnom pristupu, jednačine balansa snaga i zahtevi za brzom obrtnom rezervom u sistemu, a u proširenoj formulaciji problema, koja je predmet ovog rada, to su i zahtevi za regulacionom rezervom, ograničenja na prenosnu moć dalekovoda i ograničenja na raspoloživu količinu goriva grupe agregata. Za bilo koje konstantne vrednosti Lagranževih multiplikatora formiranu Lagranževu funkciju moguće je dekomponovati na onoliki broj nezavisnih potproblema koliko agregata ima u sistemu. Tako se dobija karakteristična dvonivoska procedura u kojoj se na prvom nivou ("nivo λ koordinacije") vrši inicijalizacija i korekcija vrednosti Lagranževih

multiplikatora, dok se na drugom nivou nezavisno rešavaju formirani potproblemi. Korekcija vrednosti Lagraževih multiplikatora na prvom nivou vrši se na osnovu stepena narušenosti odgovarajućih poveznih ograničenja. Optimizacioni pristupi rešavanju problema angažovanja termoagregata, koji se baziraju na dekompoziciji primenom Lagranževe relaksacije su veoma brojni. Jedan od prvih veoma uspešnih algoritama za rešavanje ovog problema prezentiran je u / L.9 /. Funkcija troškova goriva predstavljena je linearnom zavisnošću od snage termoagregata, kao i brza obrtna rezerva koju agregat obezbeđuje sistemu. Nakon dekompozicije problema na nezavisne potprobleme do punog izražaja dolaze efekti linearizacije, jer se mogući radni režim termoagregata svodi na samo tri radne tačke: isključeno stanje, rad na tehničkom minimumu i rad sa nominalnim opterećenjem. U postupku su kao sistemska (povezna) ograničenja razmatrani jednačina balansa snaga i zahtev za obezbeđenjem dovoljnog iznosa brze obrtne rezerve. U / L.10 / su, u odnosu na / L.9 /, uvedene dve bitne izmene u postavci problema: funkcija troškova goriva predstavljena je kvadratnom umesto linearnom zavisnošću, a uvođenjem maksimalne petominutne rezerve, brza obrtna rezerva je nužno prikazana deo po deo linearnom zavisnošću. Ove izmene su izazvale i izvesne metodološke korekcije, ali su odlične performanse razvijenog programskog paketa u potpunosti zadržane. Pokušaji da se egzaktno, optimizacionim postupkom u model uključe i ograničenja na brzinu promene snage agregata, prezentirani su u / L.11 / i / L.12 /. U oba rada snaga termoagregata je diskretizovana i tretirana kao komponenta vektora promenljivih stanja pri rešavanju dualnih potproblema. Međutim, višestruko povećanje prostora stanja dovelo je do bitnog narušavanja performansi programskih paketa. Naime, u / L.12 / je vreme izvršavanja programa povećano za red veličine, dok je u / L.11 / gde je diskretizacija vršena sa znatno krupnijim korakom, povećano "samo" 2-3 puta. Međutim, ukrupnjavanje koraka diskretizacije zakonito vodi ka povećanju odstupanja između rešenja primalnog i dualnog problema ("duality gap"), što se najčešće koristi kao kriterijum zaustavljanja iterativnog postupka. . Tako se u / L.11 / postižu vrednosti reda 7.5%, a u / L.12 / reda 1%, dok se u literaturi standardno koriste vrednosti od 0.5%. Interesantan tronivoski algoritam izložen je u / L.13 /. U prvoj fazi prezentiranog postupka vrši se standardna maksimizacija dualne funkcije, primenom subgradijentne tehnike. Nakon određivanja maksimuma dualne funkcije sa željenom tačnošću, proverava se da li je sa dobijenom strukturom agregata u pogonu, moguće zadovoljiti ograničenja na balans snage i zahteve za rezervom. Ako dopustivo rešenje nije moguće, tada se u drugoj fazi određuje rešenje blisko dualnom optimumu, ali koje omogućava zadovoljavanje sistemskih ograničenja. Konačno, u trećoj fazi se, za poznatu strukturu agregata u pogonu, rešava problem ekonomskog dispečinga, za svaki sat perioda planiranja. U / L.14 / je izuzetna fleksibilnost metoda Lagranževe relaksacije iskorištena za uključivanje u model ograničenja na raspoloživu količinu goriva jednog agregata. Iterativni postupak rešavanja primalnog i dualnog problema kreiran je u tri dela, pri čemu se u svakom delu vrši korekcija samo jednog tipa Lagranževih multiplikatora. U / L.15 / su analizirani različiti pristupi rešavanju optimizacionih potproblema nakon dekompozicije osnovnog problema primenom Lagranževe relaksacije. Primenjen je jedan heuristički pristup, tehnika grananja i ograničavanja i dinamičko programiranje. Pokazano je da dinamičko programiranje ima znatne prednosti: u odnosu na heuristički pristup u pogledu tačnosti, a u odnosu na tehniku grananja i ograničavanja u pogledu brzine (oko 8 puta brži postupak). U ovom radu je izvršena jedna interesantna aproksimacija kako bi se prostor stanja u dinamičkom programiranju maksimalno redukovao. Naime, uvedena je konvencija da do uključenja agregata ne može doći ako opterećenje u sistemu opada i obrnuto, agregat ne može biti isključen ako opterećenje u sistemu raste. Posmatrano sa stanovišta fizike procesa, ovo je sasvim razumna pretpostavka, koja u najvećem broju slučajeva neće dovesti do odstupanja od optimalnog rešenja, ali su, sasvim sigurno, mogući i obrnuti slučajevi. Konačno u / L.16 /, standardna formulacija problema je proširena ograničenjem na raspoloživu količinu goriva, a u optimizacionom postupku, pored termoagregata, tretirane su i pumpno akumulacione hidroelektrane.

1.3 Bendersov dekompozicioni metod

Primenom Bendersovog metoda problem se dekomponuje na dva optimizaciona zadatka od kojih jedan tretira samo celobrojne varijable, a drugi sa dobijenim vrednostima celobrojnih promenljivih rešava problem ekonomskog dispečinga, odnosno tretira samo kontinualne varijable. Da bi se primenio ovaj postupak, problem treba linearizovati i predstaviti u sledećem obliku:

$$f = \vec{a}_x^T \vec{x} + \vec{a}_y^T \vec{y} \qquad (1.1)$$

uz ograničenja:

$$A_x \vec{x} + A_y \vec{y} = \vec{b} \qquad (1.2)$$

gde su:

- f - kriterijumska funkcija koju treba minimizirati,
- $\vec{x}$ - vektor celobrojnih promenljivih,
- $\vec{y}$ - vektor kontinualnih promenljivih,
- $\vec{b}$ - vektor slobodnih članova u modelovanim ograničenjima,
- $\vec{a}_x^T$, $\vec{a}_y^T$ - transponovani vektori koeficijenata,
- A_x , A_y - matrice koeficijenata.

Ako se kao početno rešenje usvoji vektor dopustivih vrednosti celobrojnih promenljivih $\vec{x}^o$, tada se kontinualni potproblem svodi na minimizaciju:

$$f_y = \vec{a}_y^T \vec{y} \qquad (1.3)$$

uz ograničenja:

$$A_y \vec{y} \geq \vec{b} - A_x \vec{x}^o \qquad (1.4)$$

Očigledno, rešenje kontinualnog potproblema u drugoj fazi zavisi od vrednosti celobrojnih promenljivih dobijenih u prvoj fazi. Zbog toga se relacija (1.1), koja izražava zahtev za pronalaženjem globalnog optimuma, može transformisati u:

$$f = \vec{a}_x^T \vec{x} + \sigma(\vec{x}) \qquad (1.5)$$

pri čemu funkcija $\sigma(\vec{x})$ sadrži informacije o posledicama usvajanja vektora $\vec{x}$ kao rešenja celobrojnog problema na vrednost kriterijuma kontinualnog potproblema. Suština optimizacionog postupka baziranog na primeni Bendersove dekompozicije, svodi se na kreiranje funkcije $\sigma(\vec{x})$ sa potrebnom tačnošću. To se postiže naizmeničnim rešavanjem celobrojnog problema i kontinualnog potproblema, pri čemu se na kraju svake iteracije vrši korekcija $\sigma(\vec{x})$ i uvođenje novog ograničenja u celobrojni problem.

Matematičke osnove Bendersovog metoda razrađene su u / L.17 /, dok je primer primene ovog metoda za rešavanje problema angažovanja termoagregata dat u / L.18 /. U ovom radu je izvršena i uporedna analiza mogućnosti Lagranževog relaksacionog i Bendersovog dekompozicionog metoda za rešavanje problema kratkoročne hidro-termo koordinacije. Ukoliko bi se Bendersov metod unapredio tako da se eliminiše obavezna linearizacija problema, on bi mogao postati konkurentan pristup u rešavanju optimizacionih zadataka u elektro energetici.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

U programskom paketu EXUCPS, koji je predmet neposrednog razmatranja u ovom radu, formulisan je proširen problem angažovanja agregata. Kao kriterijumska funkcija koriste se ukupni troškovi tokom posmatranog perioda planiranja, koji su predstavljeni sumom troškova goriva, troškova startovanja, tekućeg održavanja i zaustavljanja. Troškovi goriva su predstavljeni kvadratnom funkcijom snage agregata, troškovi startovanja su eksponencijalno zavisni od vremena provedenog van pogona, troškovi tekućeg održavanja linearno zavise od odate snage, dok su troškovi zaustavljanja predstavljeni konstantom.

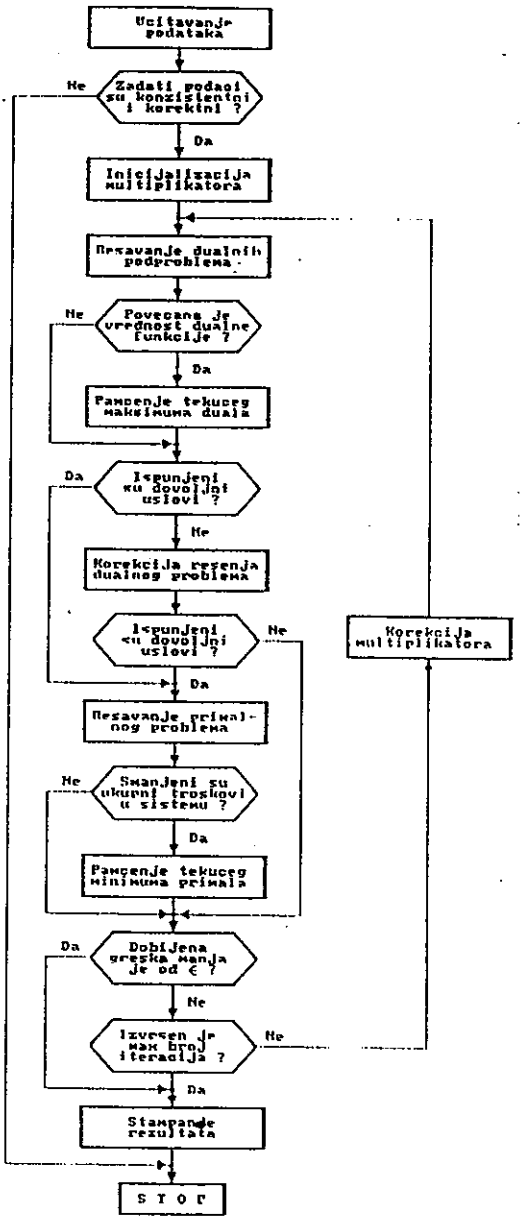
Modelovana su četiri tipa termoagregata. Bazni agregati moraju biti u pogonu i ne mogu menjati opterećenje tokom celog optimizacionog perioda. Drugi tip termoagregata ("must run units") takođe ne može biti isključen, ali može varirati opterećenje u skladu sa ograničenjem na dozvoljenu brzinu promene. Najopštiji tip su varijabilni agregati, koji mogu biti uključivani i isključivani u skladu sa svim lokalnim ograničenjima uključujući i ograničenje

na dozvoljenu brzinu promene opterećenja. Konačno, vršni termoagregati su poseban slučaj varijabilnih, jer ne podležu ograničenju na brzinu promene opterećenja (drugim rečima, za manje od sat vremena mogu postići puno opterećenje ili sa punog opterećenja biti isključeni).

Standardna formulacija problema u kojoj se kao sistemska ograničenja pojavljuju jednačine balansa snaga i zahtevi za brzom obrtnom rezervom, proširena je uvođenjem dodatnih sistemskih ograničenja. To su zahtevi za obezbeđenjem potrebnog iznosa regulacione rezerve grupe agregata, ograničenja na prenosnu moć dalekovoda i ograničenja na raspoloživu količinu goriva grupe agregata. Modelovana su i lokalna ograničenja na nazivnu snagu i tehnički minimum, ograničenja izazvana definisanim krivama startovanja i zaustavljanja agregata, minimalna trajanja uključenog, odnosno isključenog stanja, kao i eventualno zadata stanja uključenosti i/ili zadata opterećenja agregata. Osim pomenutih lokalnih ograničenja u algoritam je uključeno i ograničenje na brzinu promene snage agregata.

Razvijeni algoritam za rešavanje problema, baziran je na korišćenju Lagranževog relaksacionog metoda, dinamičkog programiranja i metode mogućih pravaca. Lagranžev relaksacioni pristup iskorišćen je za formiranje dualnog problema i dekompoziciju na nezavisne potprobleme. Dualni potproblemi se rešavaju dinamičkim programiranjem ("hodom unazad"), a primalni problem primenom metode mogućih pravaca. Korekcija vrednosti multiplikatora vrši se modifikovanom subgradijentnom tehnikom.

Dijagram toka programa EXUCPS prikazan je na slici 1, a detaljni opisi matematičkog modela i metoda rešavanja dati su u / L.19 / i / L.20 /.



Slika 1. DIJAGRAM TOKA PROGRAMA E X U C P S

3. NUMERIČKI REZULTATI

Programski paket EXUCPS je testiran na primeru hipotetičkog EES-a, koji se sastoji od 100 termoagregata, na periodu od 48 časova. Opis test sistema, sa zahtevima konzuma i svim relevantnim tehničkim karakteristikama, dat je u / L.19 /. Svi prezentirani primeri obrađeni su na računarima VAX 11/750 i PC-AT bez matematičkog koprocesora. Uobičajen kriterijum zaustavljanja, "duality gap" manji od 0.5%, znatno je zaoštren i postavljen na 0.1%. Dopunski kriterijum zaustavljanja, broj izvršenih iteracija, postavljen je na 10.

3.1 Test primeri i prikaz rezultata

Za prezentiranje numeričkih rezultata odabrano je deset karakterističnih test primera koji ilustruju najvažnije osobine razvijenog programskog paketa, odnosno koji omogućavaju ocenu efikasnosti razvijene metodologije za planiranje rada. Odabrani primeri su numerisani brojevima od 1 do 10, a u odgovarajućim tabelama su prikazane vrednosti rešenja dualnog problema, Φ, primalnog problema, F, kao i relativnog odstupanja najboljih postignutih vrednosti primalnog i dualnog problema, ε, u svakoj iteraciji, N.

1. Svih 100 termoagregata tretirani su kao vršni, odnosno nije razmatrano ograničenje na brzinu promene snage agregata. U domenu sistemskih ograničenja razmatran je standardan problem, odnosno tretirane su jednačine balansa snaga i ograničenja na brzu obrtnu rezervu u sistemu.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9156625	9241594	0.92	2	9172404	9219432	0.51
3	9177692	9199094	0.23	4	9179569	/	0.21
5	9180412	/	0.20	6	9180921	/	0.198
7	9181243	9190281	0.098				

2. Prvih 20 termoagregata su definisani kao obavezno uključeni narednih 60 kao varijabilni, a zadnjih 20 kao vršni. Ostala ograničenja su definisana kao u prethodnom primeru.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9189754	9255605	0.71	2	9204055	9227871	0.26
3	9207083	9216277	0.099				

3. Primer 2 je izmenjen tako što je agregat 30 umesto kao varijabilni, definisan kao bazni.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9190274	9262232	0.77	2	9204617	9243292	0.42
3	9208027	9226595	0.20	4	9208932	9223607	0.16
5	9209659	9217562	0.086				

4. Svih 100 termoagregata definisani su kao varijabilni. Tretirana su ista sistemska ograničenja kao u prethodnim primerima. Time je problem sveden na rešavanje klasičnog zadatka angažovanja agregata, ali uz uvažavanje ograničenja na brzinu promene snage termoagregata.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9191053	9250241	0.64	2	9204216	9230975	0.29
3	9207360	9216356	0.098				

5. Zadatak je formiran tako što je prethodni primer proširen uvođenjem sistemskih ograničenja na regulacionu rezervu grupe agregata. Prvih deset termoagregata su definisani kao regulacioni, a minimalni iznosi regulacione rezerve zadati su kao ± 1% od opterećenja konzuma u posmatranom intervalu.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9182584	9250892	0.74	2	9203064	9232697	0.32
3	9207258	9216769	0.103	4	9208381	/	0.091

6. Primer 5 je korigovan tako što je željeni regulacioni opseg proširen na ± 3% od opterećenja konzuma u posmatranom intervalu.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9181868	9264062	0.89	2	9202199	9244737	0.46
3	9208895	9223303	0.16	4	9211360	/	0.13
5	9212607	/	0.12	6	9213286	/	0.109
7	9213745	/	0.104	8	9214071	/	0.10
9	9214248	/	0.098				

7. Zahtevani regulacioni opseg je zaoštren i postavljen na ± 5% od opterećenja konzuma u posmatranom intervalu. Ostala ograničenja su ista kao u prethodna dva primera.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9203493	9295256	0.99	2	9217552	/	0.84
3	9225280	9267333	0.45	4	9228885	/	0.41
5	9230621	9250024	0.21	6	9231739	9243251	0.12
7	9232348	/	0.12	8	9232695	/	0.11
9	9232951	9239246	0.07				

8. Uočen je dalekovod koji je u prethodnom primeru bio opterećen sa maksimalno 1244 (MW). Zadatak je proširen postavljanjem ograničenja na prenosnu moć uočenog dalekovoda na 1100 (MW).

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9203493	/	100	2	9218805	/	100
3	9226331	/	100	4	9229770	/	100
5	9231330	9248793	0.19	6	9232688	9248387	0.17
7	9233422	9245458	0.13	8	9233967	/	0.12
9	9234298	/	0.12	10	9234610	9244277	0.10

9. Ponovljen je zadatak iz primera 7, ali sa uvođenjem sistemskog ograničenja na raspoloživu količinu goriva grupe agregata. Naime, agregatima 11 do 14, koji su u pomenutom primeru utrošili 14965 (r.j.) goriva, ograničena je količina goriva na 14000 (r.j.).

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9203493	9302042	1.06	2	9220311	/	0.88
3	9226395	/	0.81	4	9231195	9268258	0.40
5	9233220	9258424	0.27	6	9234650	9254695	0.22
7	9235495	9253086	0.19	8	9236055	9250665	0.16
9	9236435	9247878	0.12	10	9236690	/	0.12

10. Konačno, poslednji zadatak je formiran uvođenjem svih modelovanih ograničenja i njihovim jednovremenim tretiranjem. Praktično, ograničenja na prenosnu moć dalekovoda i na raspoloživu količinu goriva grupe agregata, koja su pojedinačno uvođena u primerima 8 i 9, sada su istovremeno dodata zahtevima postavljenim u primeru 7.

N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)	N	Φ (r.j.)	F (r.j.)	ε (%)
1	9203493	/	100	2	9221553	/	100
3	9227667	/	100	4	9232034	/	100
5	9234037	9255828	0.24	6	9235295	/	0.22
7	9236141	5254597	0.20	8	9236920	9254552	0.19
9	9237321	/	0.19	10	9237777	/	0.18

3.2 Analiza rezultata i aspekti primene na PC-AT računaru

Lako je uočljivo da se u veoma malom broju iteracija, postiže tačnost rešenja koja prevazilazi zahteve iz savremene literature, uprkos znatnom proširivanju standardnog problema angažovanja agregata. Drugim rečima, samo u zadnja dva primera nije ostvareno relativno odstupanje vrednosti rešenja dualnog i primalnog problema od 0.1%, unutar propisanih 10 iteracija. No i vrednosti 0.12% i 0.18% koje su dobijene u ovim primerima, još uvek su znatno bolje od, u svetskoj literaturi opšte prihvaćene vrednosti kriterijuma zaustavljanja od 0.5%. Dobijeni rezultati u blagu sumnju dovode ovaj široko prihvaćen kriterijum. Naime, pokazuje se da se zaoštravanjem kriterijuma zaustavljenja sa 0.5% na 0.1% postižu procentualno mala, ali nikako i zanemariva, smanjenja kriterijumske funkcije, koja idu i do 0.3%. U Tabeli 11, za svaki od 10 prethodno obrađenih primera, dat je broj iteracija koje su bile potrebne da se postigne standardan kriterijum zaustavljanja od 0.5%, N(0.5), broj dodatnih iteracija i procentualno smanjenje troškova, ΔN(0.5-0.2) i ΔF(0.5-0.2), ukoliko se kriterijum zaustavljanja postavi na 0.2% i konačno broj dodatnih iteracija i procentualno smanjenje troškova, ΔN(0.2-0.1) i ΔF(0.2-0.1), ukoliko se kriterijum zaustavljanja sa 0.2% zaoštri na 0.1%.

Tabela 11

Primer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N(0.5)	3	2	2	2	2	2	3	5	4	5
ΔN(0.5-0.2)	2	1	2	1	1	1	3	0	3	3
ΔF(0.5-0.2)	0	0.13	0.21	0.16	0.17	0.23	0.26	0	0.16	0.02
ΔN(0.2-0.1)	2	0	1	0	1	6	3	5	3	2
ΔF(0.2-0.1)	0.09	0	0.07	0	0	0	0.04	0.05	0.06	0

Rezultati sumirani u gornjoj tabeli pokazuju da zaoštravanje kriterijuma zaustavljanja na 0.2% ima puno opravdanje jer se u gotovo svim primerima ostvaruje znatno smanjenje troškova (0.26% može se oceniti kao znatno ako se ima u vidu da bi uštede od samo 1% donele izuzetne ekonomske efekte i potpuno opravdale proceduru planiranja). Dodatno smanjenje dozvoljene vrednosti odstupanja rešenja dualnog i primalnog problema na 0.1%, u 50% ispitivanih slučajeva ne daje nikakve efekte, a i tamo gde se pojavljuju ne prelaza 0.1%. S' druge strane broj dodatnih iteracija (a time i CPU vreme), koji je cena oštrije zadatog kriterijuma zaustavljanja, u prvom slučaju ostaje u prihvatljivim granicama, dok u drugom slučaju uglavnom nije u skladu sa postignutim efektima. Zato se može preporučiti usvajanje maksimalno dopustivog odstupanja izmedu vrednosti rešenja primalnog i dualnog problema od 0.2%, kao kriterijuma zaustavljanja optimizacionog postupka. Međutim, tek bi analiza osetljivosti optimalnog rešenja na tačnost ulaznih podataka, mogla dati naučno zasnovanu vrednost ovog kriterijuma. Ukoliko bi ova osetljivost bila izražena, a tačnost ulaznih podataka nedovoljna, moglo bi se desiti da zaključak bude obrnut, odnosno da standardnu vrednost od 0.5% treba povećati, a ne smanjiti.

U Tabeli 12 data su vremena izvršavanja svih prethodno opisanih primera i to na računaru VAX 11/750 i na PC-AT računaru bez matematičkog koprocesora.

Tabela 12 Vreme izvršavanja programskog paketa EXUCPS

Primer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VAX CPU (min)	10.5	4	6.5	5.3	7	14.5	14.5	17.4	17	17.5
PC CPU (min)	68	24.4	41.8	34	45	94	97	112	110	119

U primerima koji su testirani i na PC-AT računaru sa matematičkim koprocesorom uočeno je smanjenje vremena izvršavanja od reda 30% u odnosu na PC-AT bez matematičkog koprocesora.

U Tabeli 13 prikazana je zavisnost potrebne operativne memorije od broja agregata i dužine vremenskog perioda.

Tabela 13 Memorijski zahtevi programskog paketa EXUCPS

Period (h)	24	24	24	24	48	48	48	48	168	168
Broj agregata	10	50	100	200	10	50	100	200	10	50
Memorija (KB)	148	175	209	295	164	213	291	412	245	422

Formiranje izvršne verzije programa, za period od 168 časova i 100 termoagregata, na PC računaru sa 640 KB operativne memorije, nije bilo moguće. Na osnovu gornjih rezultata, kao i na osnovu strukture COMMON bloka programskog paketa EXUCPS, zavisnost prikazana u Tabeli 12, može se izraziti i približnom analitičkom relacijom:

$$M = 130 + N*T/40 + N/10 + T/2 \quad (KB) \qquad (3.1)$$

4. ZAKLJUČCI

Odstupanje između vrednosti rešenja primalnog i dualnog problema, ε, u suštini predstavlja maksimalno moguće odstupanje dobijenog od optimalnog rešenja. Ako se ima u vidu da se ε može predstaviti kao zbir :

- odstupanja dobijenog dualnog rešenja od maksimuma dualne funkcije,
- odstupanja maksimuma dualne funkcije od minimuma primalne funkcije i
- odstupanja dobijenog primalnog rešenja od minimuma primalne funkcije,

kao i da je samo zadnja od ove tri komponente stvarna mera suboptimalnosti dobijenog rešenja, opravdano je zaključiti da su postignuta rešenja veoma bliska optimalnim. Pri tome prezentirani rezultati ilustruju zakonitu tendenciju povećavanja troškova u sistemu sa povećavanjem složenosti problema, odnosno sa uvođenjem novih i/ili sa zaoštravanjem postojećih ograničenja.

Utrošena CPU vremena i za najsloženije obrađene primere ozbiljno konkurišu najboljim rezultatima publikovanim u literaturi (videti / L.9 / do / L.16 /). Imajući u vidu znatna proširenja matematičkog modela i veoma niske performanse računara na kojima je programski paket EXUCPS testiran, može se zaključiti da su postignute performanse u skladu sa najboljim svetskim dostignućima iz ove oblasti, a ne retko i ispred njih. Upravo zbog postignutih performansi, nedvosmisleno se može zaključiti da je program za planiranje angažovanja termoagregata, pa i kratkoročno planiranje rada u celini, moguće instalisati i koristiti na personalnom računaru. Ovaj zaključak je direktno suprotan stavovima navedenim u / L.12 /, što je posledica razlika u ostvarenim performansama, odnosno pre svega razlika u načinu tretiranja ograničenja na brzinu promene snage termoagregata. Naime, prosečno CPU vreme po jednoj iteraciji, za 100 termoagregata i 48 časova, bilo je 10 minuta, ali za PC-AT sa 286 procesorom, 12 MHz i bez matematičkog koprocesora. Ako bi se koristio PC sa 386 procesorom, više od 20 MHz i matematičkim koprocesorom, što i u

našim okvirima predstavlja sasvim standardnu konfiguraciju, ovo vreme bilo bi više nego prepolovljeno. Ako se ima u vidu da bi za zadovoljenje kriterijuma zaustavljanja od 0.2%, čak i za najsloženije probleme, bilo dovoljno 4-6 iteracija, to znači da bi problem angažovanja agregata za nedelju dana unapred, mogao biti rešen za 1-2 sata. Zahtevi za operativnom memorijom bili bi reda 650 KB, što predstavlja sasvim umeren zahtev i za standardne konfiguracije PC računara. Ovo se naravno odnosi na sistem od 100 termoagregata, dok bi za svaki manji sistem vreme izvršavanja opadalo linearno sa brojem agregata (isto je i sa dužinom perioda planiranja), dok bi memorijski zahtevi opadali u skladu sa relacijom (3.1).

5. LITERATURA

/ L.1 / A.J.Wood, B.F.Wollenberg: POWER GENERATION OPERATION AND CONTROL, New York, John Wiley and Sons, NY, 1984.

/ L.2 / F.N.Lee: SHORT-TERM THERMAL UNIT COMMITMENT - A NEW METHOD, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.2, May 1988.

/ L.3 / W.L.Snyder, H.D.Powell, J.C.Rayburn: DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH TO UNIT COMMITMENT, IEEE Trans.on Power Systems,Vol. 2 PWRS-2, May 1987

/ L.4 / C.K.Pang, G.B.Sheble, F.Albuyeh: EVALUATION OF DYNAMIC PROGRAMMING METHODS AND MULTIPLE AREA REPRESENTATION FOR THERMAL UNIT COMMITMENTS, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, March 1981, pp. 1212-1218.

/ L.5 / L.S.Lasdon: OPTIMIZATION FOR LARGE SCALE SYSTEMS, New York, NY, MacMillan, 1970.

/ L.6 / G.Cohen: OPTIMIZATION BY DECOMPOSITION AND COORDINATION - A UNIFIED APPROACH, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. AC-23, April 1978.

/ L.7 / A.I.Cohen, V.R.Sherkat: OPTIMIZATION - BASED METHODS FOR OPERATIONS SCHEDULING, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.75, No.12, December 1987, pp 1574-1591.

/ L.8 / S.Virmani, E.C.Adrian, K.Imhof, S.Mukherjee: IMPLEMENTATION OF A LAGRANGIAN RELAXATION BASED UNIT COMMITMENT PROBLEM, IEEE Paper, No.89 WM 205-6 PWRS.

/ L.9 / A.Merlin, P.Sandrin: A NEW METHOD FOR UNIT COMMITMENT AT ELECRICITE DE FRANCE, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.5, May 1983, pp 1283-1225.

/ L.10 / M.Rakić, S.Ružić: ODREDIVANJE OPTIMALNOG REDOSLEDA UKLJUČENJA I NIVOA ANGAŽOVANJA TERMOAGREGATA U SLOŽENOM SISTEMU METODOM DEKOMPOZICIJE, Zbornik radova SYM-OP-IS '85, Herceg Novi, Oktobar 1985., str.369-376.

/ L.11 / M.Rakić, S.Ružić: PLANIRANJE REDOSLEDA UKLJUČIVANJA I NIVOA OPTEREĆENJA TERMOAGREGATA UZ UVAŽAVANJE OGRANIČENJA NA MAKSIMALNU BRZINU PROMENE SNAGE TERMOAGREGATA, Zbornik radova SYM-OP-IS '86, Herceg Novi, oktobar 1986, str.431-440.

/ L.12 / J.F.Bard: SHORT-TERM SCHEDULING OF THERMAL-ELECTRIC GENERATORS USING LAGRANGIAN RELAXATION, Operations research, Vol. 36, No.5, September-October 1988., pp. 756-766.

/ L.13 / F.Zhuang, F.D.Galiana: TOWARDS A MORE RIGOROUS AND PRACTICAL UNIT COMMITMENT BY LAGRANGIAN RELAXATION, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.2, May 1988.

/ L.14 / A.I.Cohen, S.H.Wan: A METHOD FOR SOLVING THE FUEL CONSTRAINED UNIT COMMITMENT PROBLEM, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, No.3, August 1987.

/ L.15 / P.P.J. van den Bosch, G.Honderd: A SOLUTION OF THE UNIT COMMITMENT PROBLEM VIA DECOMPOSITION AND DYNAMIC PROGRAMMING, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No.7, July 1985.

/ L.16 / K.Aoki, M.Itoh, T.Satoh, K.Nara, M.Kanezashi: OPTIMAL LONG-TERM UNIT COMMITMENT IN LARGE SCALE SYSTEMS INCLUDING FUEL CONSTRAINED THERMAL AND PUMPED STORAGE HYDRO, IEEE Paper, No.89 WM 128-0 PWRS.

/ L.17 / J.F.Benders: PARTITIONING PROCEDURE FOR SOLVING MIXED - VARIABLES PROGRAMMING PROBLEMS, Numer. Math. vol.4, 1962.

/ L.18 / H.Habibollahzadeh, J.A.Bubenko: APLICATION OF DECOMPOSITION TECHNIQUES TO SHORT-TERM OPERATION PLANNING OF HYDROTHERMAL POWER SYSTEM, IEEE Trans.on Power Systems,Vol. PWRS-1, Feb. 86., pp. 41-47

/ L.19 / S.Ružić: PLANIRANJE ANGAŽOVANJA TERMOAGREGATA I PUMPNO AKUMULACIONIH HIDROELEKTRANA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd 1990.

/ L.20 / S.Ružić, N.Rajaković: A NEW APPROACH FOR SOLVING EXTENDED UNIT COMMITMENT PROBLEM, IEEE Paper, No.90 WM 033-1 PWRS

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vladislav Vučetić, Slobodan Malešević
ENERGOINVEST SDU Sarajevo
Zlata Tica
ENERGOINVEST IRIS Sarajevo

Referat broj 3.05

EKONOMSKI DISPEČING METODOM DANTZIG-WOLFE DEKOMPOZICIJE I GENERALISANJE GORNJE GRANICE

SADRŽAJ

U radu je opisan program ekonomskog dispečinga elektroenergetskog sistema za rad u realnom vremenu. Model ekonomskog dispečinga uzima u obzir uslov balansa aktivne snage, gubitke, ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu, limite na tokove po vodovima, ograničenja na brzinu promjene proizvodnje generatora, limite na proizvodnju generatora. Funkcija cilja je nelinearna. Za rješavanje problema ekonomskog dispečinga primjenjen je metod Dantzig-Wolfe-ove dekompozicije, novi način tretiranja potproblema i metod generalisane gornje granice, što rezultuje bržim izvršavanjem programa i mogućnošću primjene u realnom vremenu.

ABSTRACT

The Real-time economic dispatch is described in this paper. Economic dispatch model includes: active power balance, losses, sppining and regulation reserve constraints, power flow constraints, ramp-rate constraints, power generation limits. The objective function is nonlinear. The new metod based on Dantzig-Wolfe decomposition, analitical subproblems solution and generalized upper bound method is applied for the problem solution. It results in faster program execution and it's ability to work in real-time conditions.

1. UVOD

Problem optimalnog rasporeda proizvodnje aktivne snage na proizvodne jedinice je široko proučavan. Modeli ekonomskog dispečinga su se usložnjavali nastojeći da obuhvate što veći broj ograničenja koja izražavaju uslove kvaliteta i sigurnosti rada sistema. Kompletniji modeli imaju teškoće sa obezbjeđivanjem brzine izvršavanja koja je potrebna za korištenje ekonomskog dispečinga u realnom vremenu.

Za rješavanje problema ekonomskog dispečinga primjenjivale su se različite optimizacione metode. Konvencionalni λ dispečing [1] se efikasno primjenjuje na problem u kome proizvodnje generatora zadovoljavaju balansnu jednačinu i maksimalni i minimalni limit proizvodnje. Za rješavanje složenijih modela problema, koji uzimaju u obzir ostala sistemska i mrežna ograničenja predlagane su različite metode linearnog i nelinearnog programiranja. Metode nelinearnog programiranja koje variraju u opštosti i načinu tretiranja pojedinih ograničenja nastoje da savladaju osnovnu slabost NP metoda - brzinu konvergencije [2,3]. Iako su u primjeni postignuti značajni teoretski i praktični rezultati programi ekonomskog dispečinga bazirani na metodama nelinearnog programiranja uglavnom se koriste kao studijski programi, a ne za rad u realnom vremenu.

Linearizacija modela omogućava primjenu metoda linearnog programiranja koje su za rješavanje problema real-time ekonomskog dispečinga vrlo pouzdane,pri čemu su se najviše primjenjivale metode primalnog i dualnog simpleksa [4,5,6] i primalne dekompozicije [7]. Ekonomski dispečing sa Dantzig-Wolfe-ovim dekompozicionim principom pokazao se konkurentnim direktnim LP metodama, naročito za probleme većih dimenzija. Metod ima manje memorijske zahtjeve jer implicitno uzima u obzir rijetku strukturu problema. Njegov osnovni nedostatak, kao i većine dekompoziciono-koordinacionih metoda je spora konvergencija u blizini optimalnog rješenja [8].

U ovom radu prikazan je novi algoritam baziran na ideji primalne dekompozicije. Master problem uključuje zajednička ograničenja po svim generatorima: balans aktive snage, ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu i tokove po vodovima. Potproblemi sadrže lokalna ograničenja na pojedinačne proizvodne jedinice. Struktura problema dozvoljava analitičko određivanje svih mogućih rješenja potproblema (svih vršnih tačaka linearnog skupa ograničenja) i formulaciju potpunog master problema u metodu Dantzig-Wolfe-ove dekompozicije. Dobiveni problem je zadaća linearnog programiranja specijalne strukture, za čije rješavanje je primjenjen vrlo efikasan metod generalisane gornje granice. Primjenjeni metod ima dvije prednosti u odnosu na uobičajenu primjenu DW dekompozicije: prevladava se problem sa sporom konvergencijom u blizini optimuma, i omogućava se primjena metoda generalisane gornje granice.

U odjeljku 2 formulisan je nelinearni model, opisan metod linearizacije i dat linearni model. U odjeljku 3 kratko je opisan metod Dantzing-Wolfe-ove dekompozicije, način rješavanja potproblema i metod generalisane gornje granice. U odjeljku 4 dati su rezultati test primjera i kratki zaključci.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

Oznake:

- n – broj generatora u sistemu
- i – indeks generatora, $i=1,\ldots,n$
- f_i – kriva troškova generatora i
- P_i – proizvodnja aktivne snage generatora i
- $\underline{P}_i$, $\bar{P}_i$ – donja i gornja granica proizvodnje generatora i, respektivno
- PP – ukupna potrošnja aktivne snage u sistemu
- PG – gubici u mreži
- m – broj vodova u modelu
- T_k – tok aktivne snage u vodu $k=1,\ldots,m$
- $\underline{T}_k$, $\bar{T}_k$ – donja i gornja granica toka u vodu k
- RO, RR – ukupna zahtjevana obrtna i regulaciona rezerva u sistemu
- ro_i, rr_i – maksimalna obrtna i regulaciona rezerva na generatoru

2.1. Nelinearni model

Funkcija cilja

Troškovi proizvodnje su konveksne funkcije aktivne snage. Kriterij optimizacije su ukupni troškovi proizvodnje.

$$J = \sum_{i=1}^{n} f_i(P_i) \qquad (1)$$

Ograničenja

- balans snage

$$\sum_{i=1}^{n} P_i = PP + PG(P_i) \qquad (2)$$

Gubici PG su nelinearna funkcija aktivne snage implicitno definisana jednačinama tokova snaga.

- obrtna i regulaciona rezerva

$$\sum_{i\in\Phi} \min(\bar{P}_i - P_i , or_i) \geq OR \qquad (3)$$

$$\sum_{i\in R} \min(\bar{P}_i - P_i , rr_i) \geq RR \qquad (4)$$

Obrtna i regulaciona rezerva su veće od zadane vrijednosti. Iznos rezerve na svakom generatoru je ograničen zbog njihovih tehničkih karakteristika.

• ograničenja na tokove aktivne snage u mreži

$$\underline{T}_k \le T_k \le \bar{T}_k \quad , \qquad k=1,\ldots,K \qquad (5)$$

Tokovi su nelinearna funkcija proizvodnje, posredno definisana jednačinama tokova snaga.

• limiti na aktivnu snagu generatora

$$\underline{P}_i \le P_i \le \bar{P}_i \qquad i=1,\ldots,n \qquad (6)$$

• limiti na promjenu proizvodnje

Brzina promjene proizvodnje generatora je ograničena zbog njihovih tehničkih karakteristika.

$$\delta\underline{p}_i \le \frac{P_i - P_i^{*}}{\tau} \le \delta\bar{p}_i \qquad i=1,\ldots,n \qquad (7)$$

$\delta\underline{p}_i$ i $\delta\bar{p}_i$ su zadane vrijednosti,

τ je vremenski interval između dva uzastopna izvršavanja ED.

2.2. Osobine modela

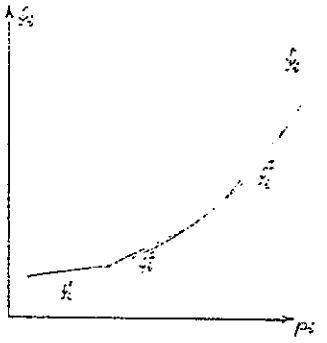
Postavljeni model predstavlja opštu zadaću ekonomskog dispečinga, koja uzima u obzir većinu bitnih ograničenja na rad elektroenergetskog sistema. Ukupni problem (1)-(7) predstavlja zadaću nelinearnog programiranja. Pošto su troškovi proizvodnje jednog generatora nezavisni od proizvodnje drugih generatora, funkcija cilja je separabilna. Troškovi proizvodnje generatora obično se dobro aproksimiraju polinomom drugog reda. Skup ograničenja je nelinearan. U jednačinu balansa snage ulaze gubici, koji su zavisni od rasporeda proizvodnje definisani jednačinama tokova snaga. Ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu su konkavne funkcije. Tokovi po vodovima su nelinearne funkcije proizvodnji. Ostala ograničenja su linearna, pa dozvoljenu oblast modela čini konveksan skup.. Kako je i funkcija cilja konveksna to je model (1)-(7) konveksan problem matematskog programiranja.

2.3. Linearni model

Iskustva u primjeni algoritma nelinearnog programiranja u rješavanju zadaće ekonomskog dispečinga pokazuju da ovi metodi nisu pogodni za primjenu u realnom vremenu. Linearizacijom modela, problem se svodi na zadaću linearnog programiranja. Da bi problem postao linearan treba prevladati sljedeće nelinearnosti: nelinearnost funkcije cilja, nelinearnost tokova u vodovima i nelinearnost ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu.

Linearizacija funkcije cilja

Parcijalnu linearizaciju funkcije cilja, ilustruje slika 1.



Računanje $\min \sum f_i(P_i)$ je identično računanju

$$\min \sum f_i \qquad (8)$$

uz ograničenja

$$\left.\begin{aligned} f_i &\geq f_i^1(P_i) \\ &\vdots \\ f_i &\geq f_i^I(P_i) \end{aligned}\right\} \quad i=1,\ldots,n \qquad (9)$$

Gdje su $f_i = f_i^s(P_i)$ $s=1,\ldots,I$ jednačine pravca.

Dokaz ove tvrdnje je dat u [11].

Linearizacija gubitaka i tokova po vodovima

Gubici se linearizuju u okolini poznate radne tačke P_i^*, $i=1,\ldots,n$. Dobije se

$$PG(P_i) = PG(P_i^*) + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i (P_i - P_i^*) \qquad (10)$$

gdje se $\alpha_i = \partial PG / \partial P_i$; $i=1,\ldots,n$ računaju iz jednačine tokova snaga. Tokovi po vodovima se izračunavaju koristeći generalizovane koeficijente osjetljivosti tokova od proizvodnji γ_i^k.

$$T_k = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i^k P_i \qquad k=1,\ldots,K \qquad (11)$$

Postupak linearizacije dat je u [9,12].

linearizacija ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu

Ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu mogu se linearizovati uvođenjem dodatnih promjenljivih u_i i v_i , $i=1,\ldots,n$ koje fizikalno predstavljaju iznose obrtne i regulacione rezerve koja ne može biti iskorištena. Relacije (3) i (4) se mogu napisati kao:

$$\sum_{i \in \Phi} (\bar{P}_i - P_i - u_i) \geq RO \qquad (12a)$$

$$\bar{P}_i - P_i - u_i \leq ro_i \qquad (12b)$$

$$\sum_{i \in R} (\bar{P}_i - P_i - v_i) \geq RR \qquad (13a)$$

$$\bar{P}_i - P_i - v_i \leq rr_i \qquad (13b)$$

Ograničenja (6) i (7) mogu biti napisana kao jedno ograničenje tipa jednostavne granice.

3. METOD RJEŠAVANJA

Nelinearni model (1)-(7) prevodi se na linearnu zadaću ekonomskog dispečinga, odnosno na sljedeći linearizovani model:

$$\min \sum f_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} (1 - \alpha_i) P_i = \sum_{i=1}^{n} (1 - \alpha_i) P_i^*$$

$$\sum_{i \in \Phi} (\bar{P}_i - P_i - u_i) \geq RO$$

$$\sum_{i \in R} (\bar{P}_i - P_i - v_i) \geq RR$$

$$\underline{T}_k \leq \sum_{i=1}^{n} \gamma_i^k P_i \leq \bar{T}_k \qquad k=1,\ldots,K$$

$$\underline{P}_i \leq P_i \leq \bar{P}_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$\left.\begin{array}{l} f_i \geq f_i^1(P_i) \\ \quad \cdot \\ \quad \cdot \\ \quad \cdot \\ f_i \geq f_i^I(P_i) \end{array}\right\} \qquad i=1,\ldots,n$$

$$\bar{P}_i - P_i - u_i \leq ro_i \qquad i=1,\ldots,n$$

$$\bar{P}_i - P_i - u_i \leq rr_i \qquad i=1,\ldots,n$$

Linearizovani model ima blok ugaonu strukturu:

$$\min \left\{ c_1 X_1 + c_2 X_2 + \ldots + c_n X_n \right\} \tag{14}$$

uz ograničenja

$$A_1 X_1 + A_2 X_2 + \ldots + A_n X_n + D\,Y = b_0 \tag{15}$$

$$\left.\begin{array}{lll} B_1 X_1 & & = b_1 \\ & B_2 X_2 & = b_2 \\ & & \cdot \\ & & \cdot \\ & & B_n X_n = b_n \end{array}\right\} \tag{16}$$

Komponente vektora X_i su f_i, P_i, u_i, v_i (i slobodne promjenljive), a Y je vektor čije su komponente tokovi u vodovima. B_i, i=1,...,n su matrice lokalnih ograničenja po generatorima (granice proizvodnje, ograničenja nastala linearizacijom funkcije cilja, i ograničenja na maksimalnu obrtnu i regulacionu rezervu). Relacija (15) sadrži sistemske zahtjeve: balans snage, obrtnu i regulacionu rezervu i ograničenja na tokove u vodovima.

Problem ima specijalnu strukturu na koju se može primjeniti metod Dantzig-Wolfe-ove dekompozicije. Metod će biti ukratko opisan.

Skupovi koji predstavljaju ograničenja (16) mogu se predstaviti kao konveksna kombinacija njihovih krajnjih tačaka X_i^j

$$X_i = \sum_j X_i^j \lambda_i^j \text{ , uz } \sum_j \lambda_i^j = 1 \qquad \lambda_i^j \geq 0 \quad i=1,\ldots,n \tag{17}$$

Optimizacioni problem prelazi u ekvivalentni problem:

$$\min_{\lambda_i} \left\{ \sum_{i=1}^{n} g_i \lambda_i \right\} \tag{18}$$

uz:

$$\sum_{i=1}^{n} P_i \lambda_i = b_0 \tag{19}$$

$$\sum_j \lambda_i^j = 1 \qquad i=1,\ldots,n \tag{20}$$

$$\lambda_i^j \geq 0 \qquad j=1,2,\ldots. \; ; \; i=1,\ldots,n \tag{21}$$

Vektori g_i i P_i, i=1,...,n su dobijeni uvrštavanjem uslova (17) u originalni problem.

Metod se sastoji u koordiniranom rješavanju master problema i potproblema kojima se generišu kolone p_i.

Metod se pokazao konkurentan drugim metodama linearnog programiranja, naročito za velike elektroenergetske sisteme. Prednost metoda je što se ne rješava veliki linearni problem (14)-(16) nego problem znatno manjih dimenzija (18)-(21). Slabost metoda je spora konvergencija u blizini optimuma koja proizilazi iz sukcesivnog rješavanja master problema i svih potproblema. Ovakva primjena metoda na model ekonomskog dispečinga data je u [5,8,10]. Slabost metoda se izbjegava tako da se unaprijed riješe svi potproblemi. Skupovi definisani ograničenjima $B_i X_i = b_i$, i=1,...,n imaju takvu strukturu da je moguće analitički dobiti sve krajnje tačke X_i^j ,i=1,...,n koje ga definišu. Rješavanje potproblema je opisano u [11]. Dobiveni puni master problem oblika (18)-(21) eliminiše potrebu za stalnim rješavanjem potproblema i dovoljno ga je samo jednom riješiti. To u potpunosti otklanja osnovnu slabost metoda Dantzing-Wolfe-ove dekompozicije i znatno skraćuje vrijeme izvršavanja.

Sljedeće poboljšanje rezultat je strukture punog master problema, koji ima samo nakoliko zajedničkih ograničenja tipa $\sum p_i \lambda_i = b_o$, i n ograničenja tipa $\sum \lambda_i^j = 1$. Umjesto standardnih metoda linearnog programiranja za koje bazna matrica ima dimenzije jednake ukupnom broju ograničenja (19) i (20) primjenjen je metod generalisane gornje granice [13] u koje se sve simpleksne operacije obavljaju sa redukovanom baznom matricom koja odgovara ograničenjima (19).

4. REZULTATI

Metod je testiran na većem broju različitih sistema. Radi poređenja sa drugim metodima rješavanja korišteni su test primjeri navedeni u [10]. Poseban interes je posvećen poređenju metoda na istom modelu sa uobičajenom primjenom metoda Dantzig-Wolfe-ove dekompozicije. Vrijeme izvršavanja pri korištenju novog metoda rješavanja je od 3.2 do 8 puta kraće, što zavisi od dimenzija sistema, broja segmenata linearizacije i opštih karakteristika modela.

5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan model ekonomskog dispečinga koji uključuje ograničenja na obrtnu i regulacionu rezervu, balans snage, ograničenja na tokove po vodovima i limite na proizvodnju generatora. Razvijen je novi metod zasnovan na Dantzig-Wolfe- ovoj dekompoziciji i metodu generalisane gornje granice. Program ima osobine koje mu omogućavaju primjenu za upravljanje elektroenergetskim sistemom u realnom vremenu.

6. LITERATURA

[1]. L.K.Kirchmayer: Economic Operation of Power System
John Wiley & Sons,Inc.,1958

[2]. F.D.Galiana, A.P.Vojdani: A Comparison of the Clasical and Modified Cordination Equations in Economic Dispatch
IEEE PES Winter Meeting New York 1979.

[3]. R.C.Burchett, H.H.Happ, K.A.Wirgan: Large Scale Optimal Power Flow
IEEE Trans. on Power App Systems, Vol.PAS-101, No 10, 1982.

[4]. C.M.Shen, M.A.Langhton: Power System Load Scheduling With Security Constraints Using Dual Linear Programming
PROC.IEEE. Vol 117,No 11 November 1970. pp 2117-2127

[5]. J.G.Waight, A.Bose, G.B.Sheble: Generation Dispatch with Reserve Margin Constraints Using Linear Programming
IEEE PES Winter Meeting, NEW YORK

[6]. S.M.Chan, E.Yip: A SOlution of the Trasmission Limited Dispatch Problem by Sparse Linear Programming
IEEE Trans. on Power App. Systems Vol.PAS-98, No 3 1979. pp.1044-1053.

[7]. M.J.H.Sterling, M.R.Irving: Constrained Dispatch of Active Power by Linear Decomposition
PROC.IEEE, Vol. 124, No 3, March 1977, pp. 247-251.

[8]. R.Romano, V.H.Quintana, R.Lopez, V.Valdez: Constranied Economic Dispatch of Multi-area Systems Using the Dantzig-Wolfe Decomposition Principle
IEEE PES Summer Meeting Minneapolis, July 1980, pp. 80 SM 608-0.

[9]. N.Y.Ng: Generalized Generation Distribution factors for Power System Security Evalutions
IEEE Trans. on Power App. Systems Vol.PAS-100, 1981.

[10]. V.Vučetić, Z.Tica, S.Maleševič: Ekonomski dispečing elektroenergetskog sistena u realnom vremenu
ETAN XXVIII Jugoslovenska konferencija SPLIT juni 1984.

[11]. V.Vučetić: Model ekonomskog dispečinga elektroenergetskog sistema u realnom vremenu
Magistarski rad, Sarajevo juni 1984.

[12]. V.Vučetić, Z.Tica, S.Maleševič: Analiza osjetljivosti modela ED na promjene radne tačke sistema
XVII Savjetovanje elektroenergeticara Jugoslavije, Struga maj 1985.

[13]. L.S.Lasdon: Optimization Theory for Large Systems
MacMillan Publisching Co., 1970

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr. Branimir Kralj, dipl.ing.
"Elektroprivreda Srbije", Beograd

Referat broj 3.06

UTICAJ NEDETERMINISTIČKOG KARAKTERA POLAZNIH INFORMACIJA NA REZULTATE OPTIMIZACIJE RADA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

SADRŽAJ

Temu referata predstavlja analiza nekoliko glavnih aspekata uticaja nedeterminističkog karaktera polaznih informacija na rezultate optimizacije kratkoročnih režima rada EES.

Poznavanje tačnosti energetskih karakteristika elemenata EES i uzroka njihovog odstupanja je neophodan uslov za korektno planiranje i postizanje optimalnih efekata u radu EES. Neuvažavanje uticaja slučajnih faktora u procesu optimizacije režima ima kao posledicu povećanje troškova rada EES. S obzirom da troškovi goriva predstavljaju dominantnu komponentu u ukupnim troškovima rada EES, posebna pažnja je posvećena problemu uticaja kvaliteta polaznih informacija na rezultate optimizacije rada termoelektrana.

Na osnovu raspoložive literature, u referatu su prikazani neki rezultati analize uticaja slučajnih karakteristika parametara režima na ulazno-izlazne karakteristike kotlova i turboagregata i navedeni efekti primene metode planskih karakteristika u optimizaciji rada EES.

This paper deals with several main aspects of the influence of the undeterministic input information on the results of the short-term power system optimization.

The accuracy of power system components characteristics and the sources of their random deviations should be known in order to correctly perform planning procedure and achieve optimal effects in power system operation. Neglecting the random factors in the optimization process leads to the increased system operation costs. In view of the fact that fuel costs represent dominant component of the total operating costs, special attention in this paper is devoted to the problem of the impact of the information quality on the results of the thermal units operation optimization.

Based on the available literature, some results of the analysis of the random system operation parameters influence on the input-output boiler and turbine characteristics are presented, as well as the effects of the method of planned characteristics application in power system optimization.

1. UVOD

Primena matematičkih modela za optimizaciju rada elektroenergetskog sistema (EES), zasnovanih na pretpostavci o determinističkoj prirodi problema kratkoročnog planiranja, odgovara idealizovanim uslovima, u kojima su polazne informacije potpuno tačne, a elementi EES u stanju da potpuno tačno realizuju plan rada. U realnim uslovima većina informacija potrebnih za planiranje rada EES je nedeterminističkog tipa. Poznavanje tačnosti energetskih karakteristika elemenata EES, njihovih realnih radnih mogućnosti i dopustive greške polaznih informacija predstavlja neophodan uslov za korektnu optimizaciju rada EES. I pored značajnog uticaja koji nedeterministički karakter većine polaznih informacija ima na rezultate kratkoročnog planiranja, do sada, koliko je autoru referata poznato, u Jugoslaviji nije bilo fundamentalnih istraživanja posvećenih tom problemu.

Problematici uticaja nedeterminističkog karaktera polaznih informacija posvećen je niz radova u zapadnoj [1-3] i sovjetskoj [4-15] literaturi. Posebno značajni rezultati dobijeni su tokom istraživanja sprovedenih u poslednje dve decenije u Talinskom politehničkom institutu (TPI). Neki od najvažnijih rezultata istraživanja TPI [10, 12, 14] citirani su u ovom referatu.

Uticaj netačnosti polazne informacije na efektivnost optimizacije rada EES može se oceniti na osnovu:

(a) povećanja potrošnje goriva termoagregata,

(b) odstupanja stvarnih vrednosti parametara režima od optimalnih vrednosti i

(c) odstupanja optimalnog režima rada, odredjenog na osnovu netačne polazne informacije, od idealnog optimalnog režima rada.

Rezultati pomenutih istraživanja pokazuju da posebno značajan uticaj na povećanje potrošnje goriva imaju slučajna odstupanja karakteristika diferencijalne potrošnje toplote termoagregata i odstupanja realnih opterećenja agregata od optimalne vrednosti.

Posmatrani rad sastoji se od sedam odeljaka. U drugom odeljku data je klasifikacija polaznih informacija i razmotrene osobine pojedinih klasa informacija. Neki rezultati analize mogućnosti elemenata EES za realizaciju optimalnog plana izloženi su u trećem odeljku. Ocena uticaja slučajnih faktora na karakteristike termoagregata i rezultate optimizacije rada EES data je u četvrtom odeljku, na osnovu podataka iz raspoložive literature. U petom odeljku prikazani su neki rezultati primene metode planskih karakteristika, kao jednog od načina kojim se problemi nepotpune tačnosti ulaznih podataka umanjuju. Na kraju rada dati su zaključak i spisak literature.

2. KLASIFIKACIJA I OSOBINE POLAZNIH INFORMACIJA

Klasifikaciju informacija, nezavisno od toga na šta se odnose (sistem, elemente sistema, proces, događaj), možemo izvršiti definišući sledeće četiri klase:

1. determinističke informacije,
2. probabilističke informacije,
3. neodredene informacije - proste neodredene informacije,
   - neodredene probabilističke informacije,
4. rasplinute informacije - proste rasplinute informacije,
   - rasplinute probabilističke informacije.

Determinističke informacije jednoznačno su odredene, u vidu konkretnih vrednosti ili funkcionalnih zavisnosti.

Probabilističke informacije odredene su odgovarajućim karakteristikama verovatnoće pojave pojedinih događaja, kao što su na primer matematičko očekivanje, disperzija, koeficijent asimetrije ili funkcije gustine raspodele.

Kod prostih neodredenih informacija poznate su samo zone ili skupovi mogućih vrednosti, dok konkretne vrednosti ostaju neodredene u okviru ukazanih zona.

Kod neodređenih probabilističkih informacija, karakteristike raspodele verovatnoće nisu zadane jednoznačno, već u vidu zona neodređenosti.

Rasplinute (fuzzy) informacije nemaju jasno određene vrednosti (proste rasplinute informacije) odnosno karakteristike raspodele verovatnoće (rasplinute probabilističke informacije). Verbalno odredivanje vrednosti informacija ovog tipa vrši se pomoću atributa "približno", "znatno veće", "nešto manje", itd. Matematički opis rasplinutih informacija zasniva se na definiciji rasplinutog skupa $A = (\mu_A(x), X)$, $x \in X$, gde je X običan skup kojem pripada skup A, a $\mu_A(x)$ funkcija pripadnosti $(0 \leq \mu_A(x) \leq 1)$ koja pokazuje stepen pripadnosti vrednosti x skupu A.

U datoj hijerarhijskoj shemi rasplinute probabilističke informacije su najopštija klasa, a upravljanje konkretnim sistemom koji je njima opisan najsloženije. Drugu krajnost predstavljaju determinističke informacije.

Optimalno upravljanje radom EES (pod pojmom upravljanje podrazumevamo u okviru ovog rada i planiranje) određuje se na bazi kompleksnog skupa polaznih informacija, koje po svom karakteru mogu biti apriorne (smatraju se unapred poznatim ili se vrši njihova prognoza) i aposteriorne (dobijene su na osnovu praćenja rada EES). U skladu sa prirodom problema ove informacije mogu se podeliti u sledeće grupe.

APRIORNE INFORMACIJE

a. Topološke karakteristike EES

b. Tehničke karakteristike - termoelektrana
- hidroelektrana
- elemenata prenosne mreže

c. Prognoza - karakteristika potrošnje električne energije
- hidrometeoroloških podataka

APOSTERIORNE INFORMACIJE

d. Real-time podaci o parametrima režima rada EES, dobijeni posredstvom teleinformacionog sistema

e. Statistički podaci o - proizvodnji električne energije
- potrošnji električne energije
- ostvarenim režimima rada prenosne mreže
- pogonskim događajima na elementima EES

f. Statistički hidrometeorološki podaci

Prema prethodno definisanoj klasifikaciji, topološke karakteristike EES i statističke podatke možemo uslovno svrstati u klasu determinističkih informacija, pretpostavljajući da je izvršena njihova kontrola i verifikacija. Podaci dobijeni na osnovu prognostičkih modela spadaju u klasu neodređenih probabilističkih informacija ili u klasu rasplinutih probabilističkih informacija. Tehničke karakteristike elemenata EES, zavisno od konkretne veličine, mogu se svrstati u klase determinističkih, probabilističkih i neodređenih informacija. Real-time podaci (telemerenja, signalizacija i alarmi) po svojim osobinama mogu da pripadaju klasama determinističkih, prostih neodređenih ili prostih rasplinutih informacija.

Polazne informacije se smatraju potpunim, ukoliko su apsolutno tačno i u determinističkoj formi poznati funkcija cilja, ograničenja, vrednosti parametara stanja i ukoliko se optimalne vrednosti upravljačkih parametara realizuju tačno. U suprotnom slučaju polazne informacije smatraju se nepotpunim.

3. MOGUĆNOST REALIZACIJE OPTIMALNOG PLANA RADA EES

U procesu optimalnog upravljanja mogu se identifikovati sledeće četiri osnovne grupe aktivnosti:

- akvizicija - prikupljanje i priprema polaznih informacija,
- optimizacija - određivanje optimalnog upravljanja,
- realizacija - izvođenje akcija definisanih optimalnim upravljanjem.
- metaupravljanje - analiza, kontrola i koordinacija procesa upravljanja.

Svaka od ovih grupa aktivnosti podložna je pojavi grešake. U momentu izrade optimalnog plana rada EES nisu raspoložive dovoljno tačne polazne informacije o mnogim parametrima. Takođe, optimalni planovi rada se obično ne realizuju tačno, već sa značajnim odstupanjima. Stoga se u stvarnosti optimizacija rada EES izvodi u uslovima nepotpune informacije.

Nepostojanje tačne determinističke informacije o nekim parametrima i slučajna odstupanja u realizaciji optimalnih planova snižavaju efektivnost optimizacije i dovode do smanjenja ekonomičnosti rada EES. Da bi se gubitak usled nepotpunosti informacija sveo na minimum, neophodno je da se polazne informacije o netačno poznatim parametrima predstave u probabilističkoj, neodređenoj ili rasplinutoj formi i da se primene metode optimizacije rada EES u uslovima nepotpune informacije.

Tačnost nepotpune informacije zavisi od vremenske distance momenta planiranja od početka planskog perioda i po pravilu se povećava sa njegovim smanjivanjem. Stoga je, da bi se u potpunosti iskoristila sva raspoloživa informacija, neophodno organizovati proces optimizacije rada EES u obliku višeetapnog procesa odlučivanja.

Pojam upravljivosti (kontrolabilnosti) često se definiše u determinističkom smislu: objekat se naziva upravljivim ukoliko se iz bilo kog polaznog stanja može dovesti u tačno zadano determinističko stanje. U realnim uslovima u kojima se odvija rad velikih, složenih sistema, čiji je tipičan primer elektroenergetski sistem, ovakakav koncept upravljivosti se pokazuje kao pojednostavljen, jer nedovoljno uvažava inherentnu neodređenost parametara i stanja sistema.

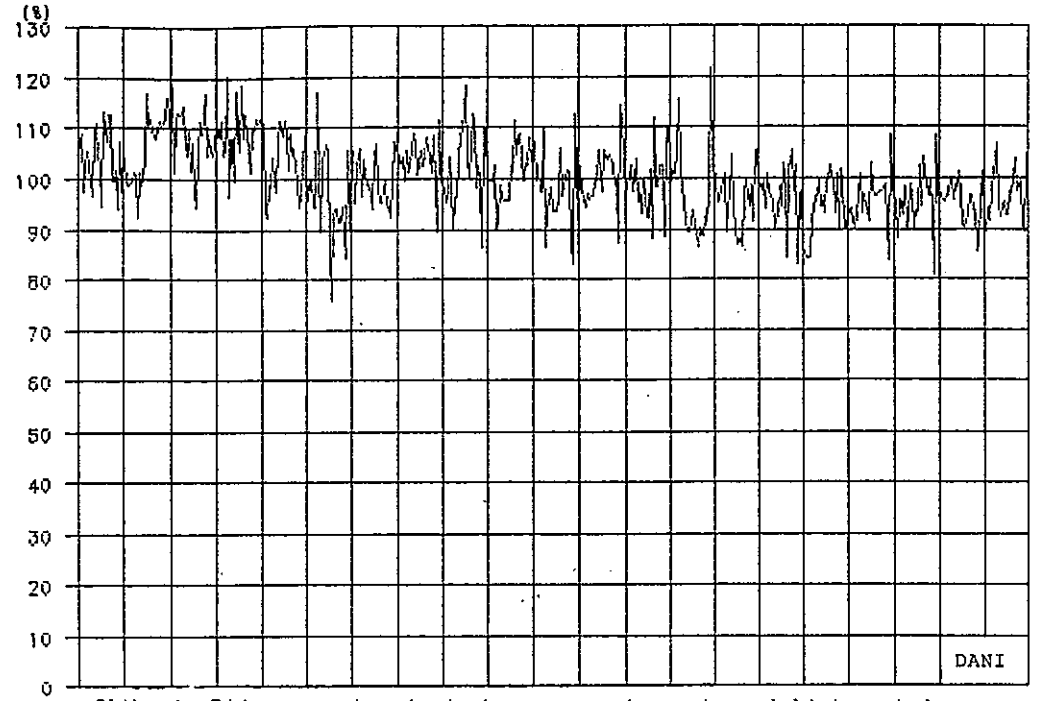
Praktično svi parametri režima EES odstupaju od svojih prognoziranih ili planiranih (eventualno optimalnih) vrednosti. Odstupanja parametara postoje na svim nivoima hijerarhije upravljanja EES. Njihovo poreklo je različito: delovanje sistema automatske regulacije učestanosti i snage, korigovanje planova rada, pojava grešake pri deagregaciji planova rada EES u slučaju prostorne dekompozicije, šum u sistemu upravljanja i drugo. Odstupanja parametara režima predstavljaju složene slučajne procese, u kojima se izražava uticaj slučajnih faktora na režim EES.

Sposobnost elemenata EES da realizuju različite radne režime, definisane optimalnim upravljanjem, predstavlja važan činilac pri određivanju potrebne tačnosti modela i efekata njegove primene. Već na osnovu jednostavne analize hronoloških dijagrama opterećenja termoagregata, čiji je primer prikazan na slici 1, odnosno termosistema (slika 2), vidi se da u njihovom radu dolazi do značajnih fluktuacija, uslovljenih spoljašnjim i unutrašnjim faktorima.

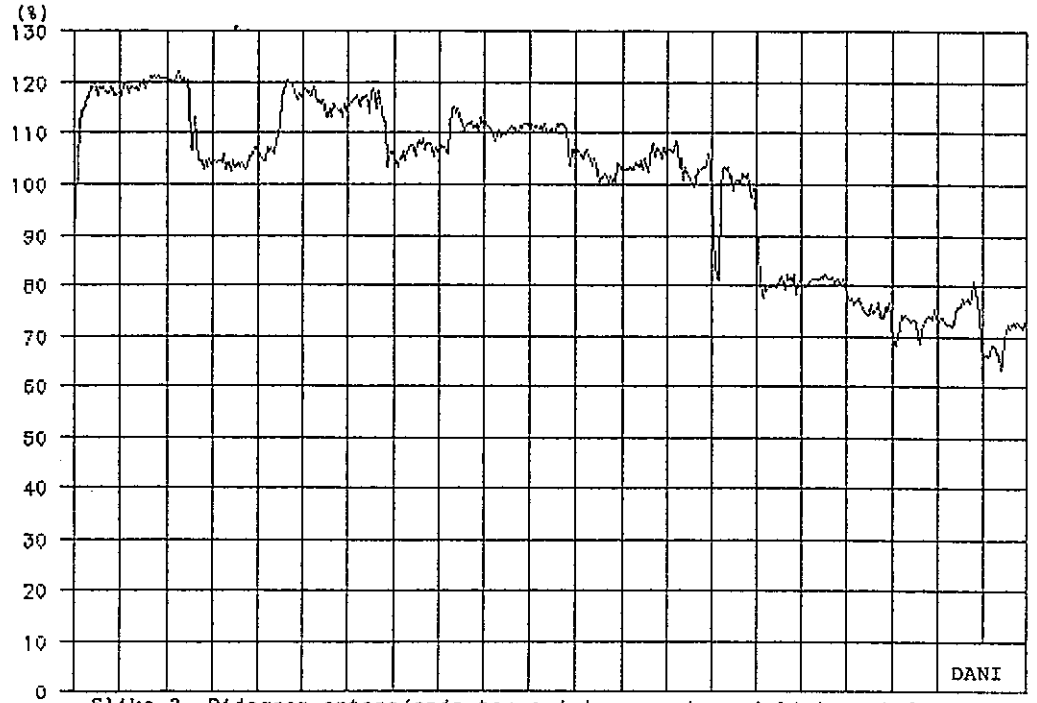
Slika 1. ilustruje postojanje neplaniranih promena snage u radu jednog starijeg termoagregata. Dnevna srednjekvadratna odstupanja snage tog agregata tokom godine se kreću od 1.9% do 40% njegove prosečne dnevne snage.

Analizom veličine dnevnih srednjekvadratnih odstupanja snage u toku godine, sprovedenom za nekoliko termoagregata u EES EPS, dobijeni su sledeći rezultati: minimalna vrednost ovog pokazatelja kreće se u opsegu od 0.8% do 2.4%, srednja vrednost od 3.5% do 8.8% , a maksimalna vrednost od 21.3% do 40%. prosečne snage konkretnog agregata ili grupe agregata. Imajući u vidu činjenicu da se zbog visokog učešća hidroelektrana u strukturi EES EPS termoagregati prema planu rada po pravilu angažuju u baznom delu dijagrama opterećenja, može se pretpostaviti da je najveći deo odstupanja opterećenja termoagregata prouzrokovan slučajnim faktorima.

Sa slike 2 vidi se da su dnevne varijacije snage termosistema, izražene u relativnim jedinicama, manje nego kod individualnih termoagregata, što je očekivana posledica statističkog poravnanja efekata slučajnih poremećaja.



Slika 1. Dijagram opterećenja termoagregata za tronedeljni period
(vrednosti izražene u procentima srednjeg opterećenja perioda)



Slika 2. Dijagram opterećenja termosistema za tronedeljni period
(vrednosti izražene u procentima srednjeg opterećenja perioda)

4. OCENA UTICAJA NEPOTPUNOSTI POLAZNIH INFORMACIJA NA OPTIMIZACIJU RADA EES

Analiza uticaja nepotpunosti informacija može se vršiti pomoću analitičkih, numeričkih i kombinovanih metoda. Kao osnovna tehnika istraživanja u prvim radovima u posmatrenoj oblasti korišćena je metoda Monte Karlo, koja je omogućavala tačniju ocenu uticaja različitih vrsta grešaka od analitičkih metoda. Najveći broj publikovanih radova posvećen je problemu uticaja nepotpunosti informacija na optimizaciju raspodele aktivnih snaga između termoagregata. Važni rezultati takođe su dobijeni pri istraživanju uticaja nepotpunosti informacija na tačnost optimizacije raspodele reaktivnih snaga i na tačnost optimizacije režima rada unutar termoelektrana. Neophodan korak u okviru ovih istraživanja bila je razrada metodike statističke analize polaznih podataka i odstupanja realizovanih od planiranih režima rada EES.

Rezultati ovih istraživanja pokazuju da netačnost polazne informacije u opštem slučaju značajno utiče na ekonomičnost režima rada EES. Posebno značajan uticaj na povećanje potrošnje goriva imaju karakteristike diferencijalne potrošnje toplote termoagregata i odstupanja aktivnih opterećenja elektrana od optimalne vrednosti. Pritom veličina povećanja potrošnje goriva zavisi od mnogih faktora i može da se u konkretnim EES menja u širokim granicama. Numerički pokazatelji, dati u sledećoj tabeli, preuzeti su iz [12].

opseg greške karakteristika diferencijalne potrošnje toplote	opseg povećanja potrošnje goriva u elektroenergetskom sistemu
5%	0.05 - 0.15%
10%	0.15 - 0.3%
20%	0.20 - 1.2%

Prema starijim podacima, greška karakteristike diferencijalne potrošnje termoelektrana od 5-20% izaziva povećanje potrošnje goriva u EES u granicama 0.05-1.4%, pri čemu opterećenja termoelektrana mogu da odstupaju od optimalnih vrednosti 5-70% [4]. U nekim slučajevima srednje povećanje potrošnje goriva može dostići više od 2% [5].

Sličan uticaj na povećanje potrošnje goriva pokazuju odstupanja opterećenja elektrana od optimalnih vrednosti, tj. netačnost realizacije optimalnog plana rada.

4.1. Analiza uticaja slučajnih faktora na karakteristike termoelektrana

Optimizacija režima rada termoelektrana se usled delovanja različitih slučajnih faktora izvodi u uslovima nepotpune polazne informacije. Kako su stvarne ulazno-izlazne karakteristike termoagregata u momentu planiranja nepoznate, pri optimizaciji režima je svrsishodno koristiti njihove planske karakteristike. Radi proračuna planskih karakteristika neophodno je prethodno sprovesti statističku analizu parametara režima i utvrđivanje njihovih zakona raspodele.

Kao uprošćena metoda za proračun planskih karakteristika termoagregata može se primeniti razvoj baznih karakteristika u Tejlorov red u okolini matematičkih očekivanja parametara režima, posle čega se u dva koraka vrši njihova modifikacija u cilju uračunavanja slučajnih faktora. U prvom koraku određuju se uslovne planske karakteristike, pri čemu se uzima u obzir samo slučajni karakter parametara stanja. U drugom koraku, uzimajući u obzir i slučajni karakter izlaznih parametara, izračunavaju se planske karakteristike.

Analizom uticaja slučajnih odstupanja parametara stanja i opterećenja kotlova i termoagregata na njihove karakteristike, koja je izložena u [10] dobijeni su rezultati koji će biti citirani u nastavku izlaganja u ovom odeljku.

4.1.1. Uticaj slučajnih faktora na karakteristike kotlova

Osnovni parametri stanja kotlova su koeficijent viška vazduha u dimnim gasovima, temperatura izlaznih gasova, temperatura rashladne vode, vlažnost goriva i eventualan dodatak tečnog goriva. Karakteristike verovatnoće parametara stanja kotlova zavise nelinearno od opterećenja kotlova.

Analizom odstupanja uslovnih planskih karakteristika potrošnje kotlova od odgovarajućih normativnih karakteristika potrošnje pri različitim vrednostima karakteristika verovatnoće parametara stanja, utvrđeno je da matematičko očekivanje i srednje kvadratno odstupanje parametara stanja utiču na planske karakteristike potrošnje znatno više (u granicama 60-75%) od koeficijenata asimetrije i ekscesa. Koeficijent viška vazduha u dimnim gasovima i temperatura izlaznih gasova su parametri stanja koji najviše utiču na uslovne planske karakteristike potrošnje kotlova - njihovo učešće iznosi 70-80%.

Uslovne planske karakteristike diferencijalne potrošnje kotlova, koje se određuju na bazi pomenutih zavisnosti, razlikuju se od odgovarajućih normativnih karakteristike diferencijalne potrošnje u granicama 8-35%.

Analizom uticaja slučajnih faktora na uslovne planske karakteristike potrošnje i uslovne planske karakteristike diferencijalne potrošnje kotlova dobijeni su sledeći rezultati.

Slučajna odstupanja parametara stanja kotlova izazivaju odstupanja uslovne planske karakteristike potrošnje za 0.6-6.8% i odstupanja uslovne planske karakteristike diferencijalne potrošnje za 8-35%. Ekonomski efekat uzimanja u obzir slučajnog karaktera parametara stanja iznosi 0.2-2.1%

Slučajna odstupanja opterećenja kotlova uslovljavaju odstupanja planske karakteristike potrošnje u granicama 1.1-4.3% i odstupanja planske karakteristike diferencijalne potrošnje u granicama 1.8-8.3%. Ekonomski efekat uzimanja u obzir slučajnog karaktera opterećenja kotlova iznosi 0.15-1.5%.

Ukupna ušteda goriva na osnovu uzimanja u obzir slučajnog karaktera parametara stanja i opterećenja kotlova iznosi 0.35-3.6%.

4.1.2. Uticaj slučajnih faktora na karakteristike turboagregata

Parametri stanja turboagregata imaju jako izražen slučajan karakter. Zanemarivanje odstupanja parametara stanja od normativnih vrednosti izaziva dosta velike promene karakteristike diferencijalne potrošnje (do 30%). Stoga je neophodno izvršiti korekciju karakteristika turboagregata u zavisnosti od odstupanja parametara stanja, pri čemu je svrsishodno koristiti empirijske funkcije korekcije. Kako korekcione funkcije sadrže parametre stanja, koji nelinearno zavise od opterećenja turboagregata, pre proračuna planske karakteristike potrebno je te funkcije predstaviti u vidu polinoma. Korekcija karakteristika turboagregata svodi se na korekciju minimalnih, ekonomičnih i maksimalnih opterećenja i potrošnje toplote u praznom hodu.

Rezultati analize [10] ukazuju da je uticaj parametara stanja na uslovne planske karakteristike potrošnje nešto izraženiji od uticaja opterećenja turboagregata na planske karakteristike potrošnje.

Slučajna odstupanja parametara stanja turboagregata izazivaju odstupanja uslovne planske karakteristike potrošnje za 0.4-3.1% i odstupanja uslovne planske karakteristike diferencijalnog potrošnje za 0.6-14.5%. Ekonomski efekat uzimanja u obzir slučajnog karaktera parametara stanja iznosi 0.08-0.8%

Slučajna odstupanja opterećenja turboagregata uslovljavaju odstupanja planske karakteristike potrošnje u granicama 0.1-2.8% i odstupanja planske karakteristike diferencijalne potrošnje u granicama 0.3-4.8%. Ekonomski efekat uzimanja obzir slučajnog karaktera opterećenja turboagregata iznosi 0.1-0.6%.

Ukupna ušteda goriva usled uzimanja u obzir slučajnog karaktera parametara režima turboagregata nešto je manja nego kod kotlova i nalazi se u granicama 0.18-1.4%.

Sumarni ekonomski efekat uzimanja u obzir svih navedenih slučajnih faktora u radu kotla i turboagregata iznosi 0.53-5.0%. Međutim, na osnovu pretpostavke da je optimizacija režima termoelektrana realno moguća samo u toku 20-40% ukupnog vremena rada, autor citiranog rada procenjuje da srednji ekonomski efekat iznosi 0.5-0.9%.

5. METODA PLANSKIH KARAKTERISTIKA

Metoda planskih karakteristika [8,9,14,15] predstavlja efikasnu tehniku za minimizaciju smanjenja efektivnosti optimizacije rada EES usled nepotpunosti ulaznih informacija. Prema toj metodi, rešenje optimizacionog zadatka dobija se u dva koraka. U prvom koraku određuje se deterministički ekvivalent originalnog problema optimizacije u uslovima nepotpunosti ulaznih informacija, pri čemu se karakteristike elemenata EES zamenjuju sa takozvanim planskim karakteristikama. U drugom koraku ekvivalentni deterministički zadatak rešava se pomoću već raspoloživih postupaka za optimizaciju rada EES.

Pri optimizaciji rada EES u probabilističkim uslovima, planske karakteristike predstavljaju zavisnost izmedu matematičkih očekivanja funkcija i matematičkih očekivanja njihovih argumenata pri zadanim karakteristikama verovatnoće slučajnih odstupanja argumenata i drugih slučajnih faktora koji utiču na vrednosti funkcija.

U uslovima neodredenosti ulaznih informacija, optimizacija rada EES može se vršiti samo u minimaksnom smislu. U tom slučaju deterministički ekvivalent polaznog zadatka sadrži minimaksne planske karakteristike, koje predstavljaju zavisnosti izmedu matematičkih očekivanja i planskih vrednosti parametara stanja i upravljanja, pri zadanoj maksimizirajućoj strategiji neodredenih faktora.

Radi proračuna minimaksno-optimalnog režima rada EES metodom planskih karakteristika neophodno je odrediti minimaksne planske karakteristike diferencijalne potrošnje goriva termoelektrana i diferencijalnih gubitaka u mrežama. Korišćenje takvih karakteristika, umesto baznih determinističkih karakteristika, omogućava pronalaženje optimalnog režima putem minimizacije maksimalnog mogućeg smanjenja ekonomičnosti rada EES usled nepotpunog poznavanja stvarnih karakteristika.

Za proračun planskih karakteristika diferencijalne potrošnje termoagregata razvijeno je nekoliko metoda različite tačnosti i složenosti:

- direktna metoda,
- metoda sukcesivnog proračuna individualnih planskih karakteristika sa uračunavanjem zone neodredenosti ekvivalentnih karakteristika EES,
- metoda sukcesivnog proračuna individualnih planskih karakteristika bez uračunavanja promene karakteristike diferencijalne potrošnje EES,
- metoda srednjih karakteristika diferencijalne potrošnje.

Navedene metode primenljive su takode za proračun minimaksnih planskih karakteristika diferencijalne potrošnje EES, planskih karakteristika hidroelektrána, kao i za proračun planskih karakteristika gubitaka u mreži.

Optimizacija režima na osnovu srednjih karakteristika diferencijalne potrošnje obezbeduje minimum prosečnih troškova goriva uz uslov da neodredeni faktori imaju ravnomeran zakon raspodele.

U slučajevima kada ne postoji dovoljno pouzdana informacija o karakteristikama verovatnoće odstupanja snaga termoelektrana, neophodno je zadati zone mogućih odstupanja snaga, na osnovu kojih se pomoću minimaksnog kriterijuma određuju minimaksne planske karakteristika diferencijalne potrošnje. U slučaju kada odstupanja snage imaju normalnu raspodelu, minimaksna i srednja planska karakteristika diferencijalne potrošnje su identične.

U okviru istraživanja, prikazanog u [14], na osnovu podataka o karakteristikama realnih EES izvršene su analize:

- efektivnosti kriterijuma minimaksnih gubitaka i kriterijuma minimuma srednjih troškova,
- tačnosti metoda proračuna planskih karakteristika u uslovima neodredenosti,
- osetljivosti minimaksnih planskih karakteristika diferencijalne potrošnje na netačnost polazne informacije.

Neki od dobijenih rezultata biće citirani u nastavku ovog odeljka.

Karakteristike diferencijalne potrošnje goriva termoelektrana i EES imaju zone neodredenosti širine 10-40%. U tim uslovima deterministička optimizacija rada može voditi ka povećanju potrošnje goriva u granicama 1-6%.

Optimizacija rada EES prema kriterijumu minimaksnih gubitaka omogućava smanjenje maksimalne vrednosti i širine zone neodredenosti povećanja potrošnje goriva 3-5 puta. Približno toliko puta se smanjuje srednja vrednost povećanja potrošnje goriva.

Optimizacija rada EES prema kriterijumu srednjih troškova omogućava takode smanjenje maksimalne vrednosti povećanja potrošnje goriva, ali pritom maksimalna, a takode i srednja vrednost povećanja potrošnje goriva može biti 1.3~1.5 puta veća no pri primeni kriterijuma minimaksnih gubitaka. Osobito velike razlike izmedu rezultata optimizacije prema minimaksnom kriterijumu i kriterijumu minimuma srednjih troškova javljaju se kada granične karakteristike diferencijalne potrošnje imaju male uglove nagiba ili kada su navedene karakteristike konstantne odnosno deo-po-deo konstantne funkcije.

Minimaksne planske karakteristike diferencijalne potrošnje su u opštem slučaju neprekidne i strogo rastuće funkcije, koje se često mogu aproksimirati pravom linijom ili sa nekoliko odsečaka prave. Pritom planske karakteristike diferencijalne potrošnje objekata imaju značajne pozitivne uglove nagiba čak i u slučaju konstantnih polaznih karakteristika. Minimaksna planska karakteristika diferencijalne potrošnje objekta zavisi pre svega od graničnih vrednosti i širine zone neodredenosti njegovih baznih karakteristika diferencijalne potrošnje. Forma i zone neodredenosti drugih objekata EES malo utiču na oblik planske karakteristike diferencijalne potrošnje datog objekta.

Prema autorima citiranog rada, kao planske karakteristike termoelektrana treba primenjivati srednje karakteristike zona neodredenosti polaznih karakteristika.

6. ZAKLJUČAK

Osnovni uzroci zbog kojih se u realnosti optimalni režimi rada EES razlikuju od optimalnih kratkoročnih planova rada su:

- nedeterministički karakter ulaznih podataka,
- uticaj spoljašnjih slučajnih faktora na rad EES,
- ograničena mogućnost objekata EES da potpuno tačno realizuju plan,
- uprošćenja u formulaciji matematičkih modela, i
- nepotpuna tačnost korišćenih optimizacionih metoda.

Pri izboru postupka za rešavanje posmatrane klase zadataka treba uskladiti nivo tačnosti matematičkog modela sa tačnošću parametara objekta i drugih ulaznih podataka. U slučaju postojanja velike netačnosti podataka znatna detaljizacija modela daje prividan efekat. Dodatni faktor za odredivanje stepena saglasnosti modela EES i realnog sistema je praktična namena modela, koji treba da zadovolji zahteve za jednostavnošću korišćenja i brzinom rešavanja problema.

Praktično svi parametri režima EES odstupaju od svojih prognoziranih ili planskih (optimalnih) vrednosti. Odstupanja parametra postoje na svim nivoima hijerarhije upravljanja EES. Njihovo poreklo je različito: korigovanje planova rada, delovanje sistema automatske regulacije učestanosti i snage, šum u sistemu upravljanja i drugo. Odstupanja parametara režima predstavljaju složene slučajne procese, u kojima se izražava uticaj slučajnih faktora na radni režim EES. Analiza svojstava ovih procesa, istraživanje osobina polaznih informacija i ocena uticaja njihove netačnosti na rezultate optimizacije, predstavljaju uslov za korektno planiranje rada EES.

Metoda planskih karakteristika predstavlja efikasnu tehniku za minimizaciju smanjenja efektivnosti optimizacije usled nepotpunosti ulaznih informacija. Dodatna prednost ove metode je mogućnost direktne primene postojećih metoda i programa za optimizaciju rada EES.

Sposobnost elemenata EES da realizuju optimalni plan rada predstavlja značajan činilac pri odredivanju potrebne tačnosti modela i utvrdivanju efekata njegove primene. Tom faktoru trebalo bi da u budućim istraživanjima u oblasti optimizacije rada jugoslovenskog EES bude posvećena odgovarajuća pažnja.

7. LITERATURA

1. Hamoud G., Billinton R.,
Parameter uncertainty in generating capacity reliability evaluation,
Electrical Power and Energy Systems, Vol. 5, No. 3, July 1982.

2. Schulte R.P., Le K.D., Vierra R.H., Nagel G.D., Jenkins R.T.,
Problems associated with unit commitment in uncertainty,
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 8, August 1985.

3. Borison A., Mueller H.,
Forecasting fuel requirements uncertainty,
IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 3, August 1988.

4. Крутикова, Маралин, Синьков,
Электрические станции, No.2, 1960.

5. Глейзер Д.М., Юлдашев Х.,
О влиянии погрешности характеристик электрических станций на оптимизацию суточного режима ОЭС,
Известия АН УзССР, Серия технических наук, No. 1, 1976.

6. Беляев Л.С.,
Решение слохных оптимизационных задач в условиях неопределенности,
Новосибирск, Наука, 1978.

7. Идельчик В.И.,
Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем,
Москва, Энергоатомиздат, 1988.

8. Валдма М.Х.,
Одноэтапные задачи оптимизации режима энергетической системы в условиях неполной информации,
АН СССР, Москва, 1977.

9. Валдма М.Х.,
Принципы многоэтапной оптимизации режимов энергетических систем в условиях неполной информации,
АН СССР, Москва, 1979.

10. Вийлуп Л.К.,
Учет и экономический анализ влияния случайных факторов на вход-выход характеристики энергоагрегатов ТЭС,
Труды Таллинского политехнического института, No. 529, 1982.

11. Валдма М.Х.,
Исходные полохения оптимизации режимов энергетических систем в условиях неполной информации,
Труды Таллинского политехнического института, No. 549, 1983.

12. Валдма М.Х., Лийк О.Н.,
Оптимизация режима энергетической системы с учетом неопределенности характеристик относительныхы приростов тепловых электростанций,
Труды Таллинского политехнического института, No. 580, 1984.

13. Ванамёльдер К.У.,
Некаторые результаты исследования влияния различных факторов на перерасход топлива в энергетической системе,
Труды Таллинского политехнического института, No. 580, 1984.

14. Лийк О.Н.,
О результатах анализа методов минимаксной оптимизации режимов энергетических систем,
Труды Таллинского политехнического института, No. 610, 1985.

15. Liik O.,
About efficiency of power system state minimax optimization
Symposium on Electrical Power Engineering, Helsinki, 1989.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Doc.dr. N.Mijušković, dipl.ing.
RO DO JUGEL-a u osnivanju
Balkanska 13, Beograd

Referat broj 3.07

KONCEPCIJA PROGRAMA ZA ANALIZU SIGURNOSTI ZA JUGOSLOVENSKI TSU

SADRŽAJ

U radu su navedene bitne karakteristike programa za analizu sigurnosti (Contingency Analysis) koje bi trebalo uzeti u obzir pri realizaciji ovog programa u jugoslovenskom tehničkom sistemu upravljanja, sa stanovišta funkcionalnih zahteva i razvoja algoritama kakvi su se koristili u realizovanim EMS (Energy Management System), ili će se koristiti u budućim EMS kao rezultat intenzivnih istraživanja u ovoj oblasti poslednjih godina. Posebno je obrađen razvoj algoritama za procenu sigurnosti sa stanovišta aktivnih i reaktivnih snaga i naponskih prilika, jer se ovi problemi tretiraju nezavisno, kako sa stanovišta indeksa sigurnosti kojima se utvrđuje nivo ugroženosti elektroenergetskog sistema, tako i sa stanovišta razvoja algoritama za proračune indeksa sigurnosti.

1 U V O D

Značaj programa za statičku analizu sigurnosti sve se više potvrđuje u realizovanim EMS u svetu. Naime, ova funkcija je, pored statičke estimacije stanja, jedna od najčešće korišćenih u dispečerskim centrima sa savremenim računarskim sistemima primenjenim za upravljanje elektroenergetskim sistemima (EES). (Lit. 1.). Efekti analize sigurnosti na investiciona ulaganja posebno su obrađeni u proračunima ekonomske opravdanosti izgradnje dispečerskih centara u okviru studije izvodljivosti (Lit. 2.), tako da se u ovom radu neće analizirati taj aspekt primene programa za statičku analizu sigurnosti.

S obzirom da se program za statičku analizu sigurnosti u literaturi na engleskom jeziku obično označava terminom Steady-State Contingency Analysis, u radu će se koristiti skraćenica SSCA za oznaku ovog programa.

U studijama za planiranje EES, uobičajeni postupak je da se SSCA koristi za testiranje svih slučajnih ispada sekvencijalno, da bi se ocenile performanse sistema i njegova pouzdanost - odnosno sigurnost i adekvatnost. Ove se analize sastoje u simuliranju ispada jedne ili više generatorskih jedinica i prenosnih objekata EES da bi se ispitao njihov efekat na napone čvorova i tokove snaga vodova. Međutim, testiranje koje obuhvata sve moguće ispade velikog EES po pravilu je dugotrajan proces. S druge strane primene SSCA na podskup slučajnih ispada izabranih samo na osnovu iskustva i intuicije može biti neadekvatno usled mogućeg izostavljanja nekih kritičnih slučajeva. Osim toga, u realnom vremenu, s obzirom da se menjaju uslovi rada EES, mogu se promeniti i ispadi koji izazivaju nesiguran rad EES. Dakle, izbor slučajnih ispada koje treba analizirati programom za SSCA mora se zasnivati na trenutnim uslovima rada EES, i ne može se zasnivati samo na fiksnoj listi kritičnih ispada definisanoj u procesu planiranja, jer oni ispadi koji bi se u uslovima planiranja mogli smatrati jednostrukim, u uslovima rada u realnom vremenu mogu biti dvostruki pa i trostruki, ukoliko su neki od objekata EES već izvan pogona. Kao posledica toga neophodno je razviti metode za automatski izbor onih slučajnih ispada koji zaista ugrožavaju sigurnost rada EES.

2 METOD RANGIRANJA U PRORAČUNIMA INDEKSA SIGURNOSTI

Prvi pristup u cilju automatske selekcije ispada opisan je u (Lit. 3.) gde autori razvijaju metodologiju za rangiranje ispada vodova EES zasnovanu na izračunavanju normalizovanog gradijenta indeksa sigurnosti. Autori su pokazali da se upotrebom Tellegenove teoreme može izračunati gradijent (osetljivost prvog reda) indeksa sigurnosti na promene admitansi vodova, koji se zatim može upotrebiti za rangiranje ispada od najvažnijih sa najvećom pozitivnom promenom indeksa sigurnosti do najmanje značajnih sa najvećom negativnom promenom indeksa sigurnosti. Međutim, ovaj pristup se pokazao nepouzdanim pri testiranju na realnim EES. Uočeno je da se u primeni ove metodologije u delu indeksa sigurnosti za aktivne snage mogu dobiti značajne greške u proceni težine ispada i to ne samo kao progrešan alarm (tj. klasifikacija nevažnih ispada visoko na listi), već što je znatno opasnije, značajni ispadi su klasifikovani kao nevažni (Lit. 4.). Glavni razlog za ovo nepredvidljivo ponašanje metode je u tome što indeks sigurnosti nije monotona funkcija susceptanse vodova.

Jedan od načina da se prevaziđe netačnost gradijentne metode je da se funkcija indeksa sigurnosti razvija u Taylor-ov red koji uključuje sve članove višeg reda. (Lit. 4., 5.). Međutim, očigledan razlog za nepredviđeno ponašanje metode je da aproksimacije funkcije indeksa sigurnosti važe samo u okolini "radne tačke" i da prema tome čak i kada se uključe članovi drugog reda ne važe kada su promene suscepanse velike, kao što je slučaj u simulaciji ispada vodova.

Indeks sigurnosti za aktivne snage obično se definiše prema izrazu (1):

$$Ia = \sum_{\ell=1}^{NL} (Wl/2n)\cdot(|Pl| / \bar{P}l)^{2n} \qquad (1)$$

gde je:

Pl - tok aktivne snage u grani l
$\bar{P}l$ - prenosni kapacitet grane l
Wl - realni, nenegativni težinski koeficijent
NL - broj grana obuhvaćenih analizom
n - eksponent (najčešće n=1)

Promena u indeksu sigurnosti može se izračunati na osnovu sledećeg izraza (2) (Lit. 4.):

$$DIa = (dIa/dBl)\cdot(-Bl) + (1/2)\cdot(d^2 Ia/dB^2l)\cdot(-Bl)^2 \qquad (2)$$

gde je:

Bl- susceptansa grane l

Ako se uvažavaju samo efekti prvog reda, tada se koristi samo prvi deo jednačine (2), a ako se žele obuhvatiti i efekti drugog reda tada se mora obuhvatiti i drugi član jednačine (2). U tom slučaju je potrebno izvršiti NL napred-nazad rešenja sistema jednačina, čime postupak više nije tako atraktivan sa stanovišta brzine proračuna, kao kada se uzima u obzir samo prvi član. Pritom u mnogim slučajevima tačnost proračuna nije zagarantovana jer Ia nije funkcija drugog reda od Bl.

3 INDIREKTNE METODE

3.1. METOD IZDAVANJA (SCRENING)

S obzirom da se u primeni indeksa sigurnosti za aktivne snage implicitno koristi DC model za proračune tokova snaga, u (Lit. 5.) je upotrebljen ovaj model za izračunavanje indeksa sigurnosti, ali ne direktno za izračunavanje promene indeksa sigurnosti u funkciji promena admitansi grana već indirektno, za izračunavanje indeksa sigurnosti posle ispada svake od grana na osnovu tokova snaga u preostalim granama. Ovaj pristup zahteva više računarskog vremena, ako ga upoređujemo sa pristupom koji izračunava gradijent indeksa sigurnosti, ali je znatno tačniji od njega, jer se efekat "maskiranja" (pogrešnog utvrđivanja težine posledica ispada) za aktivne snage znatno smanjuje. U pogledu vremena trajanja proračuna indirektne metode su uporedive sa direktnim metodama koje obuhvataju članove drugog reda, ako se koristi lema o modifikaciji invertovanih matrica.

Tokovi aktivnih snaga u granama mreže nakon promene u suscentansi dBl grane l dati su sledećim izrazima:

$$P_k^l = P_k + d\cdot(M_k^T(B)^{-1}Ml)\cdot B_k t_l \qquad k\neq l \qquad (3)$$

$$P_k^l = (Pl - DBl \cdot t_l) \cdot (1 - d \cdot (M_l^T (B)^{-1} Ml) \qquad k=l$$

gde je:

P_k^l - novi tok snage u grani k nakon promene susceptanse u grani l

B - matrica susceptansi

$d = (D(Bl)^{-1} + M_l^T (B)^{-1} Ml)^{-1}$

Ml - nulti vektor, izuzev za elemente m i n koji su jednaki 1 i -1 respektivno

t_l - promena faznog ugla u grani l

Najveći broj računskih operacija i izračunavanju jednačina (3) potreban je za član $(M_l^T B^{-1} Ml)$. Da bi se on efikasno izračunao matrica B se ne mora eksplicitno invertovati, već se koristi faktorizacija da bi se izračunali odgovarajući elementi matrice B. Matrica susceptansi čvorova B faktorizuje se u oblik $LD L^T$ gde je L donja trijangularna matrica sa jedinicom na dijagonali, a D je dijagonalna matrica. Elementi izraza $(M_l^T B^{-1} Ml)$ zavise samo od toplogije mreže i admitansi grana i menjaju se samo onda kada nastaju trajne promene u konfiguraciji mreže. Zbog toga se oni ne moraju izračunavati svaki put kada se koristi algoritam za selekciju ispada. Oni se, u stvari, izračunavaju jedanput, a menjaju se i ponovo izračunavaju samo pri stalnim promenama u mreži. Ovo se efikasno ostvaruje postupcima za parcijalnu refaktorizaciju matrica (Lit. 7.).

Pri ovim praračunima ne zahteva se eksplicitno matrica B, koja je vrlo retka matrica i zahteva relativno mali prostor za memorisanje, već samo njenih retkih faktora, za razliku od proračuna koji se zasnivaju na metodi distributivnih faktora ili eksplicitne inverzije matrice susceptansi čvorova.

Osnovni nedostatak ovog postupka je što se izračunavaju efekti i onih ispada posle kojih tokovi snaga uopšte ne ugrožavaju termičke granice prenosnih elemenata.

3.2. METOD OGRANIČAVANJA (BOUNDING)

Analiza posledica usled ispada može se tretirati i kao proces filtriranja (Lit. 8.), gde se najteži slučajevi identifikuju i ostavljaju za detaljnije analize, a lakši eliminišu. Vreme trajanja proračuna za prve filtere je znatno ispod nivoa potrebnog za DC proračune tokova snaga. Proces filtriranja se zasniva na proračunu graničnih vrednosti tokova snaga pri ispadima. Sve dok se granične vrednosti nalaze u okviru termičkih ograničenja grana tokovi snage se smatraju sigurnim, a ako su izvan tih granica smatraju se tokovi snaga nesigurnim ili neizvesnim, što se utvrđuje višim nivoom filtriranja.

tokovi snaga u mreži mogu se odrediti na osnovu izraza (4):

$$P_k^l = Pk + Skl \cdot Pl \qquad (4)$$

gde je:

Skl - distributivni faktor promene snage grana (k) u slučaju ispada grane (l)

Apslolutna vrednost distributivnog faktora promene snage grane, određenog izrazom (5), je manja ili jednaka jedan.

$$Skl = (Bk/Bl)\cdot(M_1^T B^{-1} Ml)d \qquad (5)$$

Tokovi snaga nakon ispada mogu se proceniti izračunavanjem granica za Skl u sledećem obliku:

$$\min S_{kl}^f < Skl < \max S_{kl}^f \qquad (6)$$

gde je:

$$-1 < \min S_{kl}^f < \max S_{kl}^f < 1$$

Vrsta ograničenja označena je sa f, gde je f=1 označava najkonzervativnije ograničenje koje se najbrže izračunava. Najviši nivo za f označava DC proračun tokova snaga. Detalji proračuna ovih filtera mogu se naći u (Lit. 8.).

3.3. METOD EFIKASNOG OGRANIČAVANJA

Metoda ograničavanja bez intenzivne primene postupka za rad na retkim matricama i retkim vektorima (Lit. 9.) nije uporediva, po brzini trajanja proračuna, sa metodom za rangiranje. Međutim, efikasnost metode se postiže rešavanjem samo malog dela mreže, umesto cele mreže, za najveći broj ispada. Mada je rešenje podskupa mreže samo aproksimacija tačnog rešenja, rezultati se mogu iskoristiti da se zaključi da li tokovi snaga u granama izvan podskupa mreže koji je obrađen probijaju ograničenja grana (Lit. 10.). Nasuprot metodama za rangiranje koje obrađuju i nevažne ispade, ovaj metod eliminiše iz potpune obrade nevažne ispade koji ne ugrožavaju granice opterećenja grana mreže.

Algoritam obrađuje svaki ispad grana pomoću niza postepeno sve većih delova mreže koji ulaze u podskup koji se eksplicitno rešava, tako da svako dobijeno rešenje predstavlja izvestan filter. Većina ispada se eliminiše kao bezopasna već posle samo jednog ili dva rešenja mrežnog podskupa. Preostali ispadi se zatim analiziraju pomoću DC modela za tokove snaga.

Za ispad grane sa čvorovima k, m mreža se razdvaja na tri podskupa: N1, N2 i N3. Podskup N1 sadrži, kao minimum čvorove k i m, a proširuje se topološkim pretraživanjem za najbliži put u okolini ispada. Podskup N2 sadrži granične čvorove između skupova N1 i N3. Podskup N3 sadrži grane mreže koje po pravilu ne bi trebalo da budu ugrožene sa stanovišta preopterećenja, ili je tih grana vrlo malo.

Algebarska suma svih promena tokova snaga na graničnim čvorovima jednaka je nuli, jer su mrežni podskupovi N2 i N3 pasivni. Može se strogo matematički pokazati, a jasno je i iz fizičke interpretacije da, u okviru pretpostavke za linearni model, maksimalna promena toka snage u nekoj grani podskupa N3 ne može biti veća od promene toka snage koja ulazi u taj podskup ili ga napušta. Zbog toga je neophodno izračunavati samo tokove snaga za grane ugrožene graničnim tokovima.

Broj ugroženih grana u podskupu N3 u mnogome zavisi od veličine N1: ukoliko je veći obim N1, manji je broj ugroženih grana u N3. Ukoliko se pokaže da je broj ugroženih grana u N3 veliki, N1 se može povećati koncentričnim proširenjem da bi se broj smanjio, jer je onda proračun za N1 tačniji. Međutim, u najvećem broju slučajeva to nije potrebno učiniti.

3.3.1. OPIS ALGORITMA

Za svaki ispad algoritam automatski odabira granične čvorove da bi formirao relativno mali mrežni podskup N1 koji obuhvata sve topološke promene izazvane ispadom. Izbor čvorova se vrši tako da se većina ugroženih grana (blizu ispada) nalazi u N1.

Algoritam se sastoji iz sledećih konceptualnih koraka:

1. Formiranje odgovarajućih podskupova N1, N2 i N3
2. Proračun elemenata inverzne matrice B' (Lit. 11.) potrebnih za izračunavanje kompenzacionih injektiranja
3. Proračun kompenzacionih injektiranja na osnovu koraka 2 i tokova snaga pre ispada
4. Rešavanja podskupa mreže N1 i provera na proboj termičkih granica u okviru N1
5. Proračun maksimalne promene ugla na graničnim čvorovima N1
   $d\overset{M}{t} = \max|t_k - t_m|$
   za sve čvorove k i m na graničnoj mreži N2.
6. Određuje se, na osnovu binarnog pretraživanja, skup ugroženih grana u N3.
7. a) Ako je skup ovih grana prazan - kraj postupka
   b) Ako je skup ugroženih grana relativno mali, tokovi snaga se izračunavaju proširenjem podskupa N1
   c) Ako je skup ugroženih grana veliki proširuje se podskup N1 i nastavlja se proces tačkom 5.

4 INDEKS SIGURNOSTI ZA NAPONE I REAKTIVNE SNAGE

Naponsko-reaktivni indeks sigurnosti Ivr može se definisati sledećim izrazom (7) (Lit. 12.):

$$Ivr = \sum_{\mathcal{B}} Wv(Vi - \bar{V}i)/\bar{V}i + \sum_{\Gamma} Wq(Qi - \bar{Q}i)/\bar{Q}i \qquad (7)$$

gde je:

Vi - modul napona u čvoru i
$\bar{V}i$ - granična vrednost napona u čvoru i
Wi - težinski faktor (za napone)
Qi - injektirana reaktivna snaga u čvoru i
$\bar{Q}i$ - granična vrednost reaktivne snage u čvoru i
Wg - težinski faktor (za reaktivnu snagu)
$\mathcal{B}$ - skup čvorova u kome modul napona probija ili maksimalne ili minimalne vrednosti

Γ - skup čvorova u kome su reaktivne snage ili iznad maksimalnih definisanih vrednosti ili ispod minimalnih definisanih vrednosti

Težinski faktori Wv i Wq se određuju na osnovu iskustva u primeni indeksa sigurnosti na određeni EES. Vrlo često se za ove veličine smatra da su jednake jedan. One bi trebalo da odražavaju relativan značaj koji pojedine granične vrednosti imaju između sebe.

4.1. INDIREKTNI DEKUPLOVANI METOD

Glavni razlog za selekciju ispada u analizi sigurnosti u realnom vremenu je da se minimiziraju zahtevi u pogledu vremena rada računara. Međutim, pritom se mora voditi računa da selekcioni postupak bude dovoljno tačan. za neke EES bi moglo biti dovoljno da se koristi selekcija ispada samo na osnovu DC modela, koji predstavlja prvu polovinu interacije brzog dekupolovanog postupka za proračun tokova snaga, pod uslovom da je a priori poznato da je taj EES bez ozbiljnih naponskih problema u svom radu. S obzirom da je to retko, ovaj metod predviđa upotrebu cele prve iteracije (1P-1Q).

Kada se izvrši selekcija i rangiranje ispada na osnovu indeksa sigurnosti, najteži slučajevi se dalje analiziraju znatno preciznije pomoću AC proračuna tokova snaga. Međutim, u mnogim slučajevima se čak vrlo tačni rezultati dobijaju samo prvom iteracijom.

S obzirom da efekti lokalnih promena parametara EES imaju tendenciju da budu lokalni; promene u mnogim elementima vektora rešenja su zanemarljiva, tako da se u iterativnom procesu rešavanja može primeniti tehnika rada sa aproksimativnim retkim vektorima (Lit. 13.), što značajno ubrzava proračune tokova snage.

4.2. DIREKTNA METODA RANGIRANJA

Većina postojećih metoda, za rangiranje naponske sigurnosti, realizovanih u savremenim dispečerskim centrima, koristi indirektni metod (ili metod izdvajanja - screening), u kome se, kao što je opisano, prvo izračunaju naponi nakon ispada pomoću prve iteracije potpunog AC modela (1P-1Q), a indeks izračunava na osnovu aproksimativnih vrednosti za napone posle ispada.

Alternativni pristup je metod direktnog rangiranja u kome se indeks sigurnosti izračunava direktno bez poznavanja vrednosti napona u čvorovima. Ovakav pristup je sličan direktnim metodama za izračunavanje indeksa sigurnosti za tokove aktivnih snaga (Lit. 14.). S obzirom da se pri ispadima grana EES moraju uzimati u obzir i značajne promene gubitaka reaktivnih snaga u mreži (koje se u DC modelima za aktivne snage zanemaruju), kao i promene u kapacitivnim snagama, proračuni promene indeksa sigurnosti za reaktivne snage su znatno složeniji od postupaka primenjenih za indekse sigurnosti za aktivne snage. Osim toga i nelinearnost promena je znatno izraženija tako da su problemi maskiranja još izraženiji, naročito pri velikim opterećenjima sistema.

Osnovna prednost direktnih metoda je brzina proračuna. Za sistem sa 330 čvorova i 410 grana, kakav je jugoslovenski EES, mogu se očekivati sledeća vremena izračunavanja na računaru od 1 MIPS, Tabela 1.

Tabela 1.

Broj čvorova	Broj grana	Trajanje proračuna (sec)	
		1P - 1Q	Direktno
330	410	30.	7.6
662	1017	209.5	41.85

Međutim, problemi koji su još uvek prisutni u metodama sa direktnim rangiranjem su pored problema maksiranja i problemi sa analizom kompleksnih ispada koji obuhvataju ispade više grana u EES, razdvajanje sabirnica i stvaranje novih čvorova u mreži, kao i promena vrste čvora od PQ na PV.

4.3. POTPUN METOD OGRANIČAVANJA

Osnovni nedostatak indirektnih metoda koje koriste prvu iteraciju brzog dekuplovanog postupka (BDP) za AC model mreže je taj da se izračunavaju promene u reaktivnim snagama za celu mrežu, čak i kada ispad značajnije utiče samo na njen manji deo. zbog toga je realizovan postupak koji metod efikasnog ograničavanja, primenjen na tokove aktivnih snaga nakon ispada, proširuje na probleme analize tokova reaktivnih snaga - potpun metod ograničavanja (Lit. 15.).

Najbitnije za metod potpunog ograničavanja je određivanje promene reaktivnih snaga u čvorovima nakon prve polovine prve iteracije BDP (pre nego što su moduli napona u čvorovima promenjeni). U čvorovima koje povezuje ispala grana, promene u reaktivnim snagama odražavaju promene u tokovima reaktivnih snaga kroz tu granu kao i promene usled izmena u topologiji. Na svim ostalim čvorovima promene reaktivnih snaga nastaju samo usled promena u uglovima grana na njih povezanih. Maksimalna moguća promene ugla dt^{M} na granama određena postupkom efikasnog ograničavanja koristi se za procenu efekata promena u reaktivnim snagama na čvorove izvan graničnog skupa.

Vrednosti za napone i reaktivne snage se dobijaju upotrebom retkih LU faktora matrica B' i B". Početne vrednsoti faktora se menjaju on-line parcijalnom faktorizacijom da bi se obuhvatile promene u toplogiji mreže kao što su dodavanje ili eliminisanje čvorova i grana. Jednostavne promene, kao što je ispad jedne grane, obrađuju se kompenzacionom metodom za retke matrice. Na ovaj način ispunjen je vrlo bitan zahtev adaptibilnosti metode na trajne i složene promene u mreži.

Za svaki ciklus analize izračunava se osetljivost na promene u reaktivnim snagama upotrebom početnog stanja mreže. Algoritam automatski izabira, za svaki od ispada, ograničenje da bi se formirala relativno mala mreža N1, koja uključuje sve topološke promene izazvane ispadom.

Nakon izvršenja postupka za ograničavanje primenjenog za aktivne snage koristi se sledeći postupak za ograničavanje primenljiv kod reaktivnih snaga, tako da se dobija postupak potpunog ograničavanja:

1. Izračunavanje promena u reaktivnim snagama za čvorove u mrežnom podskupu N1
2. Određivanje početnog skupa čvorova izvan N1 sa potencijalno velikom promenom u reaktivnim snagama
3. Određivanje skupa krajnjih čvorova grana izvan N1 čije promene gubitaka reaktivnih snaga mogu biti veće od predviđene tolerancije
4. Određivanje skupa zajedničkog za skupove navedene u tačkama 2. i 3. (skup N2). Izračunavanje promena ugla dt i promena reaktivnih snaga za čvorove u zajedničkom skupu
5. Izvršavanje brzog postupka unapred i punog postupka unazad za rešavanje linearnih jednačina u Q - V sistemu
6. Proračun indeksa sigurnosti

Brzina postupka je uporediva sa brzinama za direktno rangiranje, ali je metod znatno fleksibilniji na promene u topologiji i izbegava se problem maskiranja.

5 ZAKLJUČAK

U članku se analiziraju metode za određivanje indeksa sigurnosti za program statičke analize sigurnosti (SSCA) koji će se primeniti u jugoslovenskom TSU. Razvoj algoritama za procenu indeksa sigurnosti posmatran je odvojeno za aktivne snage i naponsko-reaktivne prilike, jer se ovi problemi tretiraju nezavisno i to kako sa stanovišta algoritama tako i sa stanovišta indeksa sigurnosti koji se definišu i koriste za klasifikaciju težine ispada. Naime, indeksi sigurnosti se koriste bez kombinovanja u jedan zajednički indeks.

Razvoj ovih algoritama u poslednjih desetak godina započinje od sasvim jednostavnih postupaka sa značajnim nedostacima, do vrlo složenih postupaka čija je pouzdanost procene sigurnosti EES vrlo velika. Pritom je jedan od bitnih aspekata ovih algoritama brzina proračuna, jer sa porastom veličine EES čija se sigurnost analizira, nelinearno rastu zahtevi u pogledu računskog vremena potrebnog za proračune.

Na osnovu izloženog može se zaključiti da se za jugoslovenski TSU ne mogu preporučiti direktne metode za rangiranje težine ispada u okviru programa za SSCA. Prihvatljivim se mogu smatrati indirektni dekuplovani metod (1P - 1Q), ili metod potpunog ograničenja koji može da bude od posebnog interesa za programe SSCA u elektroprivredama sa značajnim učešćem mreže 110 kV, čiji ispadi ne moraju imati sistemski značaj, ali mogu imati vrlo velike lokalne efekte.

6 LITERATURA

1. T.E. Dy Liacco "The role and implementation of state estimation in an energy management system" International Journal of Electrical Power&Energy Systems, Vol. 12, Number 2, April 1990.

2. N.Mijusković "Karakteristike algoritma programa za analizu sigurnosti jugoslovenskog TSU: minimalni zahtevi", .VII Stručno savetovanje o upravljanju i informatici u EP-YU CAVTAT, Novembar 1988.

3. G.C. Ejebe, B.F. Wollenberg "Automatic Contingency Selection" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-98, No. 1 Jan./Feb. 1979.

4. G. Irisarri, A.M. Sasson, D. Levner "Automatic contingency selaction for on-line security analysis: Real time tests" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-98, No. 5 Sept./Oct. 1979.

5. T.A. Mikolinnas, B.F. Wollenberg "An advanced contingency selection algorithm" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-100, No.2 February 1981.

6. G. Irisarri, A.M. Sasson "An automatic contingency selection method for on-line security analysis" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-100, No. 4 April 1981.

7. S.M.Chan, V. Brandwajn "Partial Matrix Refactorization" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-1, No.1 February 1986.

8. F.D. Galiana "Bound Estimates of the Severity of Line Outages in Power System Contingency Analysis and Ranking" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-103, No. 9. Sept. 1984.

9. W.F. Tinney, V. Brandwajn, S.M. Chan "Sparce Vector Methods" IEEE Transactions on PAS, Vol PAS-104, No. 2. February 1985.

10. V. Brandwajn "Efficient Bounding Method for Linear Contingency Analysis" IEEE Transactions on PAS, Vol. 3, No. 1. February 1988.

11. B. Stott, O. Alsac "Fast Decoupled Load Flow" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-93, No.3. May/June 1974.

12. F.Albuyeh, A. Bose, B. Heath "Reactive Power Considerations in Automatic Contingency Selection" IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-101, No. 1. January 1982.

13. R. Bacher, G.C. Ejebe, W.T. Tinney "Approximate Sparse Vector Techniques for Power Network Solutions" PICA 1989 Conference, Seatle.

14. Y. Chen, A. Bose "Direct Ranking for Voltage Contingency Selection" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, Nol 4. October 1989.

15. V. Brandwajn, M.G. Lauby "Complete Bounding Method for AC Contingency Screening" IEEE Transactions on PWRS, Vol. 4, No. 2. May 1989.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

N.Bajraktarević-Rajnpreht
S.Pašalić
ENERGOINVEST SDU, Sarajevo

Referat broj 3.08

IMPLEMENTACIJA SOFTVERSKOG PAKETA -MODEL- U RDC BIH

SADRŽAJ

U radu su opisane karakteristike softverskog paketa MODEL uslovljene njegovom primjenom u Republičkom Dispečerskom Centru BiH. Opisana je računarska organizacija, algoritamske izmjene i izmjene u načinu aktiviranja, s obzirom na raspoloživi računarski i mjerni sistem.Takođe je dato estimirano stanje nadziranog elektroenergetskog sistema zajedno sa uzorkom mjerenja.

ABSTRACT:

Features of the Software package MODEL , under conditiones of it's application in RDC BiH are described. The software organization, changes in the algorithm as well as triggering modes, regarding available computer and measurement system are explained. The estimated state of the monitored network with corressponding sample of measurements is given.

1. UVOD

U Republičkom Dispečerskom Centru u Sarajevu , je instaliran računarski sistem za nadzor elektroenergetskog sistema - SCADA sistem.Sistem sadrži 11 telemetrijskih stanica (TS) (ne uključujući TS u HE Višegrad). Koristeći monokanalne telemjerne uredjaje mjerenja iz RP Jajce ,HE Grabovica , HE Salakovac, RP Prijedor , RP Gradačac,TE Tuzla G6, PHE Čapljina se prenose u odgovarajuće telemetrijske stanice .Mjerenja injekcija u TE Kakanj 5 unose se ručno.Nadzirani elektroenergetski sistem se sastoji od 36 podstanica i 48 vodova (46 vodova u radu sistema i mogućnost napajanja Aluminijskog kombinata Mostar sa obe strane kao i mogućnost prebacivanja HE Grabovica na Trojnu tačku Jablanica). Kriteriji prema kojima je odlučivano na kojim mjestima će se postaviti telemetrijske stanice su se bazirali na raspolaganju informacijama o proizvodnji, razmjeni, i 400 kv dijelu mreže.

SCADA sistem predstavlja neophodnu osnovu na koju se mogu nadograđivati softverske funkcije pomoću kojih se nadzirani elektroenergetski sistem vodi sigurnije , ekonomičnije i uz bolji kvalitet energije.

Prvi korak u nadogradnji SCADA sistema ovim funkcijama je kreiranje vjerodostojne slike sistema bazirane na podacima uzetim u trenutku posmatranja sistema.Matematskim, statističkim operacijama se ta slika pretišćava . Rezultat toga je procjenjeno stanje sistema iz kojega su eliminisane greške mjerenja odnosno odgovarajući model nadziranog sistema u realnom vremenu. Time je omogućena primjena algoritama za procjenu sigurnosti sistema , ekonomski dispečing ili pak upravljanje naponom i reaktivnom snagom , čime se poboljšava kvalitet isporučene energije.

U radu je opisano instaliranje Softverskog paketa za modeliranje nadziranog elektroenergetskog sistema u realnom vremenu u Republičkom Dispečerskom Centru BiH.U osnovi , ovaj softverski paket se sastoji od programa za ažuriranje topologije u realnom vremenu i programa za estimaciju stanja.Matematski metodi i modeli primjenjeni u ažuriranju topologije nadziranog elektroenergetskog sistema opisani su u [1]., [2]., i [3]. Za određivanje opservabilnosti i estimacije stanja primjenjeni su metodi opisani u [4], [5], i [3]. U radu [3]., dat je takođe i projekat realizacije cjelokupnog softverskog sistema.U ovom radu opisan je realizirani softverski paket za modeliranje elektroenergetskog sistema u realnom vremenu - MODEL -, u uslovima implementacije u RDC BiH. Postojeći računarski kao i mjerni sistem uticali su na modifikaciju ovog softverskog paketa kako bi on bio iskoristiv u uslovima realnog pogona.

U prvom dijelu opisana je računarska organizacija s obzirom na siromašne memorijske resurse ,raspoloživi mjerni sistem i uslov obezbjeđivanja neometanog rada SCADA sistema. Način aktiviranja Softverskog paketa , uslovljen postojećim mjernim sistemom je opisan u drugom dijelu.Nakon toga su opisane algoritamske izmjene programa za određivanje opservabilnosti sistema nastale kao prilagođenje raspoloživom mjernom sistemu.Na kraju je dato estimirano stanje nadzirane mreže zajedno sa mjernim uzorkom uz kritički komentar.

2. RAČUNARSKA ORGANIZACIJA

Korištenje Softverskog paketa MODEL u realnom vremenu, te siromašni računarski resursi, uslovili su modularnu organizaciju paketa i korištenje podijeljenih regiona radne memorije.

2.1 Softverski moduli

U ovom dijelu su opisani softverski moduli pomoću kojih se izvršavaju funkcije softverskog paketa MODEL u realnom vremenu u RDC BiH.

INIT softverski modul formira vektor interkonekcije cijelog nadziranog sistema bazirajući se na najčešćem uklopnom stanju.

EL softverski modul vodi izvršavanje softverskog paketa u realnom vremenu.

SNAP softverski modul iz SCADA baze podataka - RMSREZ, učitava podatke o uklopnom stanju prekidača, prepakira ih , upoređuje sa prethodnim uklopnim stanjem , signalizira promjene i upisuje u radnu bazu podataka tekuće stanje. Kreira indikator koji ukazuje na stanice u kojima je došlo do promjene uklopnog stanja.

KONBIV modul ažurira vektor povezanosti podstanica s obzirom na promjenjeno uklopno stanje . Takođe formira indikator koji ukazuje na to da li je promjena uklopnog stanja uzrokovala promjenu konfiguracije mreže.

AZUR , uključuje izmjenjene vektore interkonekcije podstanice u vektor interkonekcije cjelokupne mreže, ažurirajući tako vektor interkonekcije mreže. Nakon toga se informacije o povezanosti kondenziraju u novoformirane električne čvorove i , njima omeđene povezne vodove nadzirane elektroenergetske mreže.Uspostavlja se redosljed tekućih čvorova koji je blizu optimalnom.Ažurno stanje povezanosti se ogleda kroz matricu incidencije sistema. Za programe : estimacija stanja, dispečerski tokovi snaga, se formira matrica admitansi.

GRAF-Funkcija ovog softverskog modula je iscrtavanje globalne sheme mreže.Na ovoj shemi su pokazani trenutno postojeći električni čvorovi, uključeni povezni vodovi. Takođe je naznačeno postojanje proizvodnje i potrošnje u pojedinim čvorovima.

REG-Funkcija ovog softverskog modula je proračun svih potrebnih veličina, na osnovu kojih se iscrtavaju pseudo-jednopolne sheme oblasti kao i samo iscrtavanje pseudo-jednopolnih shema. Na tim shemama je pokazana tekuća topologija određene oblasti sa svim trenutno uključenim potrošačima i generatorima.

EST-softverski modul povezuje formiranu sliku sa estimiranim i mjerenim vrijednostima.Na pseudo-jednopolnoj shemi regije dispečer ima mogućnosti da vidi sve raspoložive električne veličine, mjerene i estimirane , te aktuelne smjerove energije .

UZORAK-modul uzima cjelobrojne vrijednosti mjerenja iz SCADA baze, podataka, konvertuje ih u realne i pridružuje ih tekućoj topologiji mreže.

OBSERV - modul vrši analizu topološke opservabilnosti EES-a.po aktivnoj i reaktivnoj snazi.Ukoliko sistem nije opservabilan odredjuje se máksimalno

opservabilni dio sistema i vrši estimacija stanja za taj dio sistema . U tom slučaju neophodno je ponovno kreiranje redosljeda procesiranja relevantnog skupa mjerenja .

ESTIM - modul formira Jakobijanovu i Gain matricu te vrši faktorizaciju Gain matrice.Zatim se računa desna strana linearizovanog sistema jednačina estimatora stanja i na kraju, određuje vektor stanja korištenjem Armijo kriterija konvergencije.

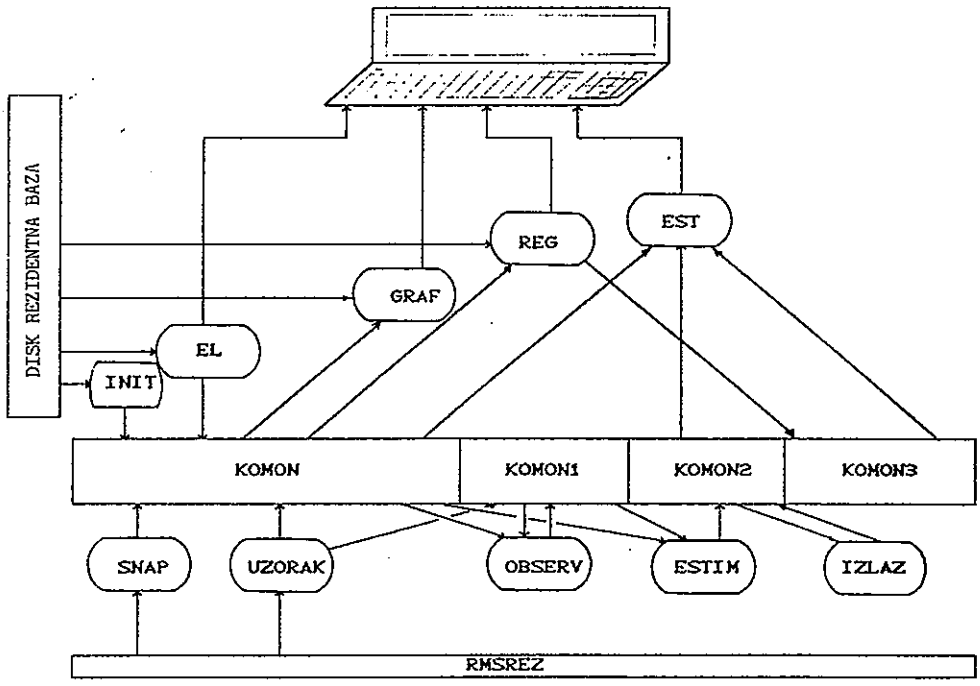
IZLAZ računa čvorne injekcije , tokove snaga i gubitke snage po vodovima.

2.2 Korištenje memorijskih resursa

Opisani softverski moduli rade na podacima iz disk-rezidentnog, kao i memorijski rezidentnog dijela baze podataka.

Memorijski rezidentni dio baze je izdijeljen na nekoliko dijelova , memorijskih zona. Ova podjela je napravljena da bi se aktiviranjem pojedinih programskih modula zauzeo što manji prostor radne memorije.

Za Softverski paket MODEL formirane su 4 memorijske zone sa imenima: KOMON-8kw, KOMON1-4kw, KOMON2-4kw, KOMON3-4kw.On se takode koristi podacima iz RMSREZ memorijski rezidentne SCADA baze podataka.Povezanost formiranih memorijskih regiona i programskih modula pokazana je na slici 2.1



Sl. 2.1. Povezanost memorijskih regiona i programskih modula

3. AKTIVIRANJE SOFTVERSKIH MODULA

Uslovi korištenja Softverskog paketa MODEL u realnom vremenu nameću potrebu aktiviranja pojedinih softverskih modula sljedećim skupom događaja:

- događaji iz procesa
- događaji uzrokovani operatorom
- periodični događaji
- događaja koji se softverski kreiraju

Međutim, nedostatak podataka, doveo je do izmjena u standardnom načinu aktiviranja ovakvih paketa.

3.1 Događaji iz procesa

Aktiviranje odgovarajućih modula softverskog paketa usljed promjene statusa rasklopnog elementa , u ovom slučaju nije moguće. Naime, telemetrisani su samo prekidači . Za punu informaciju o trenutnoj topologiji sistema neophodno je imati i uklopna stanja rastavljača. Zbog toga je svaki puta kada dođe do promjene,potrebno angažovanje dispečera na upotpunjavanju skupa podataka. To eliminiše ovakav način aktiviranja kao nepraktičan. Startanje odgovarajućih funkcija Softverskog paketa promjenom statusa mjerenja odnosno velikom promjenom vrijednosti mjerenja, je takođe onemogućeno ako je u međuvremenu došlo do promjene uklopnog stanja. Ako nije, izvršava se opservabilnost , odnosno estimacija stanja.

3.2 Događaji uzrokovani operatorom

Operator vrši inicijalizaciju rada Paketa u slučajevima kada se izvrši ručna promjena parametara sistema, kod ručne promjene uklopnog stanja ili skupa mjerenja.

3.3 Periodični događaji

Ovaj softverski paket podržava aktiviranje odgovarajućih funkcija periodično. Vremenska perioda je 15 minuta (programabilna).U tom slučaju , međutim se ispituje da li je došlo do promjene uklopnog stanja u međuvremenu. Ako je to slučaj, ne vrši se observabilnost/estimacija stanja

Aktiviranje modula nakon isteka vremena čekanja , se ne koristi zbog toga što , potvrdu završavanja neke rasklopne/uklopne operacije daje u ovom slučaju sam operator.

Generalna provjera stanja sistema u realnom vremenu vrši se u definiranim vremenskim periodima.

3.4 Događaji koji se kreiraju softverski

Postoje određene softverske funkcije koje se aktiviraju zavisno od prethodno dobivenih rezultata.Tako npr. ako je promjena uklopnog stanja dovela do promjene konfiguracije mreže, tada se aktivira funkcija kojom se ažurira

konfiguracija mreže. Ako to nije slučaj, ta funkcija se preskače. Takođe , observabilnost sistema se određuje samo ako je u odnosu na prethodno stanje došlo do promjene statusa mjerenja odnosno prekidača.

4. ALGORITAMSKE IZMJENE VEZANE ZA ANALIZU OPSERVABILNOSTI

Razmještaj telemetrijskih stanica u EES-u BiH vršio se na osnovu slijedećih kriterija:

- telemetrijske stanice se instališu u proizvodnim čvorovima (TS u čvorovima TE Gacko,RP Trebinje,RP Jablanica,TE Tuzla,RP Tuzla,TE Ugljevik,RP Kakanj,HE Višegrad),
- telemetrijske stanice se instališu u čvorovima gdje je moguće praćenje razmjene sa EES susjednih republika (TS u čvorovima RP Banja Luka ,RP Mostar RP Sarajevo 20, RP Trebinje , TE Ugljevik),

Iako ovaj razmještaj nije napravljen optimalno sa stanovišta opservabilnosti ,nadzirani sistem je ipak najčešće opservabilan. Međutim, usljed neadekvatnog održavanja telemetrijskih stanica i gubitka kritičnih mjerenja , događaju se i duži periodi neopservabilnosti sistema. Algoritam [4], za određivanje opservabilnosti nadziranog elektroenergetskog sistema je ograničavao aktiviranje estimacije stanja samo za slučajeve kada je sistem opservabilan u cjelosti. Proširenjem algoritma je omogućeno izvršavanje estimacije stanja i u slučaju da je opservabilan samo dio cijeloga nadziranog sistema. Tada se estimacija vrši za najveći opservabilni dio sistema. Proširenje je napravljeno na bazi algoritma opisanog u [6]. Izmjene prethodno korištenog algoritma s obzirom na raspoloživi mjerni sistem sastoji se u slijedećem:

1. **Kreiranje maksimalne šume punog ranga**
   - ulaz - šuma punog ranga dobijena kao izlaz algoritma [5]
   - funkcija - kreiranje maksimalne šume punog ranga sa novim pridruživanjem injekcionih mjerenja van šume granama šume
   - izlaz - maksimalna šuma punog ranga.

2. **Određivanje maksimalno opservabilnog dijela mreže**
   - ulaz - maksimalna šuma punog ranga
   - funkcija - procesiranje injekcionih mjerenja koja nisu u potpunosti sadržana u šumi , odstranjivanje voda kome je pridruženo to injekcione mjerenje iz šume , pronalaženje ostalih vodova iz fundamentalnog skupa kritičnih vodova za taj vod
   - izlaz - injekciona mjerenja su u potpunosti sadržana u šumi , dobijen je maksimalni observabilni dio sistema.

5. REZULTATI

Tabela 1 sadrži vrijednosti mjerenja i rezultate estimacije stanja za jedan uzorak.Od ukupnog skupa od 174 relevantna mjerenja za estimator stanja na raspolaganju je bilo 128 mjerenja.

Tabela 1. Mjerenja i rezultati estimacije za 27.02.'90 u 09:23

Cvor	Napon u kV		Injekcije u MW		Injekcije u MVAr	
	Mjeren	Estimiran	Mjerena	Estimirana	Mjerena	Estimirana
1. SISK	*	207.82	*	-73.41	*	-91.60
2. MRAC	*	224.61	*	-56.24	*	8.53
3. ERNS	*	399.09	*	145.74	*	-69.96
4. SPLI	*	228.43	*	-127.38	*	14.14
5. KONJ	*	400.03	*	-346.10	*	8.50
6. TIT4	*	397.32	*	199.47	*	-101.01
7. TIT2	*	218.49	*	-6.31	*	-72.00
8. PIVA	*	225.46	*	98.28	*	-58.92
9. DJAK	*	222.66	*	-58.51	*	-33.73
10. BLUK	410.21	406.64	-122.08	-121.36	-13.5	-15.93
11. TZG6	*	230.63	157.68	154.77	45.36	48.90
12. CAPL	*	229.88	*	-166.85	*	5.43
13. S2OT	231.14	230.40	*	-13.64	*	35.63
14. SA20	404.46	401.18	-63.14	-63.15	-31.57	-31.65
15. UGLJ	414.18	401.67	191.34	199.09	-5.66	-10.65
16. GRAD	*	222.53	*	-60.88	*	-73.82
17. ZENI	*	229.10	*	-65.11	*	-43.60
18. JAJC	*	221.68	*	-42.25	*	-62.80
19. GRAB	*	230.86	35.72	29.13	4.70	3.84
20. GACK	404.46	405.38	*	-5.39	*	104.64
21. ALUM	*	229.71	-176.00	-167.39	-50.00	-56.13
22. SALA	*	230.18	33.49	32.48	*	-16.74
23. TRTJ	*	230.57	*	32.34	*	-3.04
24. PRIJ	*	221.16	*	-37.60	*	20.80
25. KAK5	*	230.79	200.00	196.14	34.39	32.48
26. SA10	412.02	402.22	*	-27.11	*	-11.14
27. TETZ	232.96	229.21	249.47	80.36	32.43	-7.46
28. TRE4	400.00	402.50	*	43.38	*	10.94
29. TRE2	220.00	230.87	148.68	86.48	32.67	16.08
30. MOS4	393.12	400.51	*	186.49	*	-92.56
31. TST4	392.69	401.66	*	-4.66	*	-96.26
32. JABL	232.96	230.59	128.74	117.85	14.13	13.21
33. TST2	232.41	229.77	-57.60	-65.77	*	-33.37
34. MOS3	*	230.23	*	-44.84	*	20.37
35. MOS2	232.96	230.15	-16.20	-16.26	-25.20	-24.71
36. KAK2	223.85	230.84	*	-8.90	-4.32	-5.55

Vod		MW na početku		MW na kraju		MVAr na početku		MVAr na kraju	
od	do	Mjerena	Estimir.	Mjerena	Estimir.	Mjerena	Estimir.	Mjerena	Estimir
BLUK	TST4	-122.	-121.	122.08	121.79	8.72	15.93	-100.2	-88.23
JAJC	JABL	*	-99.	92.16	101.24	*	-34.12	28.80	29.80
PRIJ	KAK2	*	-112.	115.20	115.20	*	-25.27	5.76	7.01
ZENI	KAK5	*	-36.	*	36.79	*	-39.04	*	36.75
ZENI	TST2	*	-28.	18.00	28.49	*	-4.56	-10.80	-5.08
KAK2	JABL	31.68	28.	-31.68	-28.41	*	-10.94	*	2.68
KAK2	SALA	46.08	41.	*	-40.72	-14.40	-13.28	*	-0.44
JABL	GRAB	*	-29.	*	29.13	*	-5.77	*	3.84
JABL	TRTJ	66.24	74.	*	-74.05	*	-13.49	*	12.54
SALA	MOS3	*	73.	*	-72.99	*	-16.29	*	13.62
MOS3	TRE2	*	-68.	64.80	68.72	*	4.42	-12.96	-13.96
MOS3	TRE2	*	-67.	69.12	68.40	*	4.34	-17.28	-13.25
MOS3	MOS2	*	179.	-144.00	-179.34	*	-10.81	10.80	10.20
MOS3	MOS2	*	90.	-169.20	-90.38	*	-4.98	*	4.68
MOS2	CAPL	*	83	*	-83.42	*	-11.16	*	2.71
MOS2	CAPL	*	83	*	-83.42	*	-11.16	*	2.71
MOS4	MOS2	*	105.	*	-105.53	26.16	30.78	*	-28.83
MOS4	MOS2	*	105.	*	-105.53	34.88	30.78	*	-28.83
MOS4	SA10	-174.	-195.	218.00	195.80	-26.16	-26.56	-26.16	-17.61
MOS4	GACK	-174.	-178.	183.12	178.62	*	-83.97	52.32	52.28
SA10	TST4	-252.	-202.	165.08	202.43	-34.88	-27.28	*	-89.43
MOS3	TRTJ	*	-105.	66.24	106.40	*	13.76	-14.40	-15.58
GACK	TRE4	-191.	-184.	177.82	184.47	52.32	53.36	-83.68	-83.55
TRE4	TRE2	*	57.	*	-57.66	*	21.27	*	-20.06
TETZ	TST2	*	-20.	*	20.10	-51.84	-47.90	50.04	47.18
TETZ	TST2	*	-20	*	20.10	-51.84	-47.90	32.04	47.18
TZG6	TST2	157	154	-165.06	-154.53	45.36	48.90	-52.02	-48.50
TST4	TST2	*	7.323	*	-7.321	*	29.28	*	28.99
TST4	TST2	21.76	7.323	*	-7.321	29.92	29.28	*	28.99
GRAD	TETZ	*	-75.29	71.28	75.99	*	-66.53	62.64	64.06
SA10	SA20	*	-20.93	20.92	20.95	*	33.75	-41.84	-50.15
SA20	S20T	*	-84.10	97.75	84.11	*	18.49	51.75	-16.11
MOS2	ALUM	167.	167.	-176.00	-167.39	55.80	55.23	-50.00	-56.14
KAK2	TST2	-34.56	-34.95	34.56	34.69	5.76	6.84	-10.80	-16.18
TST4	UGLJ	-368.	-343.	330.75	344.44	26.16	22.82	-37.76	-34.99
JAJC	MRAC	57.36	57.36	*	-56.24	-28.68	-28.68	*	8.53
PRIJ	SISK	74.88	74.88	*	-73.41	46.08	46.08	*	-51.60
MOS4	KONJ	348.	348.	*	-346.10	-43.60	-43.58	*	8.50
MOS2	SPLI	129.	129.	*	-127.30	-14.40	-14.83	*	-51.60
TETZ	DJAK	40.32	44.53	*	-44.13	34.56	24.27	*	-34.82
TRE4	TIT4	-198.	-298	*	199.47	73.22	73.22	*	-109.01
TRE2	TIT2	6.48	7.01	*	-6.31	60.48	62.67	*	-72.00
S20T	PIVA	-97.75	-97.75	*	98.28	51.75	51.75	*	-58.92
GRAD	DJAK	*	14.40	*	-14.38	-10.80	-7.28	*	1.08
UGLJ	ERNS	-141.	-145.	*	145.74	18.88	24.33	*	-69.96
KAK5	KAK2	*	159.	-155.52	-159.05	*	-4.27	5.76	4.80

Tačnost rezultata estimatora stanja zavisi od mogućih grešaka u ulaznim parametrima mreže i grešaka u skupu mjerenja kao i od stepena utjecaja tih grešaka na rezultate.Osnovni faktor koji odredjuje stepen togutjecaja je uslovljenost linearizovanog sistema jednačina estimatora stanja. Slaba uslovljenost može biti izazvana sljedećim razlozima:

1.- nepovoljnim sastavom i razmještajem mjerenja odnosno telemetrijskih stanica u sistemu,

2.- nezadovoljavajućom tačnošću mjerenja,

3.- odredjenim odnosima parametara mreže,

4.- bliskosti režima rada EES-a granici statičke stabilnosti.

U slabo usloviјenim dijelovima sistema , uticaj grešaka je značajan. U dijelovima sistema sa zadovoljavajućom usloviјenošću, utjecaj ovakvih grešaka se eliminiše.

U slučaju RDC BiH, konverzija vrijednosti mjerenja te pojava pogrešnih mjerenja iz raznih drugih razloga , utiču na nezadovoljavajuću tačnost mjerenja.

Istovremeno, postojeći raspored telemetrijskih stanica nadziranog dijela elektroenergetskog sistema, je nepovoljan sa stanovišta primjene estimacije stanja. Naime, ne prenose se informacije iz čvora sa najvećom incidencijom, 220 kV RP Mostar 3 i 220 kV čvora RP Zenica .

ZAKLJUČAK

Računarski i mjerni sistem u RDC BiH omogućavaju primjenu softverskog paketa MODEL. Time se postiže uvid u integralno stanje nadzirane mreže, eliminišu se greške mjerenja i procjene se vrijednosti mjerenja gdje trenutno ili stalno nedostaju. Pouzdanost paketa bi se , međutim mnogo povećala , ako bi se mjerni sistem upotpunio i ako bi se poboljšala tačnost mjerenja.

LITERATURA:

[1] N.Bajraktarević-Rajnpreht,B.Peruničić,' Struktura Podataka za Ažuriranje Topologije Mreže', Informatika '84, Sarajevo.

[2] B.Peruničić,N.Rajnpreht,Z.Durić,'On - line Power Network Topology Update',Eight PSCC,Helsinki,1984.

[3] N.Bajraktarević,N.Ćerimović,D.Pikula,E.Šoljanin,'Softverski Paket za Modeliranje Elektroenergetskog Sistema u Realnom Vremenu',VII Stručno savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije,Cavtat,1988,s.351-360.

[4] H.Peljto,N.Ćerimović,N.Kosovac,' Estimator Stanja EES-a',V Stručno savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije,Cavtat,1984.

[5] N.Ćerimović,H.Peljto,' Odredjivanje topološke observabilnosti mreže u realnom vremenu ',Informatika, Sarajevo,1984.

[6] K.A.Clements,G.R.Krumpholz,P.W.Dawis,' Power System State Estimation with Measurement Deficiency : An Algorithm that Determines the Maximal Observable Subnetwork',IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems,Vol.PAS-101,N0.9.,September 1982.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr Dragan Popović, dipl.ing
Institut "Nikola Tesla", Beograd
Mr Svetislav Bulatović, dipl.ing.
Dispečerska služba ZJE, Beograd

Referat broj 3.09

NEKI METODOLOŠKI I PRAKTIČNI ASPEKTI ANALIZA SIGURNOSTI RADA EES JUGOSLAVIJE

KRATAK SADRŽAJ

U radu se izlažu najznačajniji rezultati analiza statičke sigurnosti rada EES Jugoslavije, za karakteristične režime i poremećaje 1988. i 1990. godine. Dobijeni rezultati su omogućili da se izvrši dovoljno dobra procena posledica tretiranih poremećaja, kao i sagledavanje efekata niza mogućih dispečerskih akcija, ako su one bile neophodne. Ujedno, izvršene analize omogućile su utvrđivanje i takvih poremećaja, čiji tok i karakteristike zahtevaju simulacije dinamičkih procesa EES, u cilju kompletnijeg i pouzdanijeg sagledavanja njihovih posledica. Time je pokrenuto pitanje selektivnog, dakle i racionalnog uključivanja simulacija dinamičkih procesa u studijske analize sigurnosti EES Jugoslavije.

SOME METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ACPECTS IN YUGOSLAV POWER SYSTEM SECURITY ANALYSES

The paper presents the most significant results of the security analysis of the power system of Yugoslavia for characteristic states and disturbances during 1988 and 1990. The results enabled a sufficiently accurate estimate of the consequences of the faults under consideration, as well as the effects of possible dispatch activities, if they were necessary. At the same time, the analyses performed enabled the determination of such disturbances whose characteristics and nature require the simulation of power system dynamic processes in order to gain a fuller insight into their consequences. This enables the selective and, therefore, rational introduction of dynamic process simulations in the study-mode security analysis of the yugoslav power system.

1. UVOD

Imajući u vidu je danas problem obezbeđenja potrebnog nivoa sigurnog rada EES dobio prioritet i u najrazvijenijim zemljama sveta čdakle, i bez navođenja

dosadašnje pogonske prakse EES Jugoslavije), autorima priloga iz ove oblasti time je olakšano pisanje uvodnih delova, omogućujući im da odmah krenu sa osnovnim sadržajem i ciljem rada. U njemu se najpre, uz kraću rekapitulaciju korišćene metodologije, izlažu najznačajniji rezultati Studije [1], urađene za potrebe Zajednice jugoslovenske elektroprivrede, u kojoj su se, po prvi put, problemi sigurnosti rada EES Jugoslavije nalazili u funkciji operativnog planiranja pogona.

Razvijena metodologija, odnosno računarski program STATIC, primenjena je u analizama statičke sigurnosti rada EES Jugoslavije, za karakteristične režime i poremećaje 1988. i 1990.godine. Široko odabrana lista raznovrsnih poremećaja, različitih po vrsti i težini, omogućila je da se sagledaju moguće njihove posledice, uz konstataciju, da se za njihov najveći broj, odnosno za poremećaje koji se javljaju sa većim procentom verovatnoće, u režimima bez većih tranzita snaga u EES Jugoslavije, dobijaju ili sigurna postdinamička stanja, ili takva stanja, koja se, uz raspoložive dispečerske akcije, mogu transformisati u sigurna. Dalje, rad na Studiji [1], između ostalog, otvorio je veoma važan segment analiza sigurnosti - korektivno upravljanje, odnosno razmatranje efekata uvođenja odgovarajućih dispečerskih akcija, ako su one bile neophodne (bilo automatski, po unapred utvrđenim kriterijumima i algoritmima, bilo interaktivno), pitanje kojem u budućem radu treba posvetiti posebnu pažnju. Takođe, posebna pažnja u Studiji [1] je bila koncentrisana na pitanjima selektivnog a time i racionalnog uključivanja tretiranja dinamičkih procesa u studijske analize sigurnosti EES Jugoslavije, u cilju dobijanja tačnijih i pouzdanijih ocena o posledicama poremećaja, čiji tok i karakter to zahteva. Na kraju rada, cilj izloženih zaključaka je da ukaže na dalje pravce rada na problematici sigurnosti EES Jugoslavije.

2. LISTA UPOTREBLJENIH OZNAKA

N – ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih čvorova EES;

NG – ukupan broj, odnosno skup generatorskih čvorova;

NSR – ukupan broj, odnosno skup generatora koji učestvuju u sekundarnoj regulaciji učetanosti i snaga razmene;

M – broj, odnosno skup podsistema (bazena) u zajedničkom paralelnom radu;

$\Delta f = f - f_n$ – odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti interkonekcije f od početne (nominalne) vrednosti f_n (Hz);

k_{pi} – konstanta primarne regulacije učestanosti "i"-tog generatora (-MW/Hz);

P_{goi} – aktivna snaga "i"-tog generatora u polaznom ustaljenome stanju (MW);

s_{vi} – nagib statičke karakteristike napon-reaktivna snaga "i"-tog generatora (r.j.);

Q_{goi}, V_{oi} – reaktivna snaga i napon na krajevima "i"-tog generatora u polaznom ustaljenom stanju (MVAr, odnosno kV);

P_i, Q_i – injektirana aktivna i reaktivna snaga u čvoru "i" (MW, odnosno MVAr);

P_{Li}, Q_{Li} – aktivna i reaktivna snaga potrošača u čvoru "i" (MW, odnosno MVAr);

B_{ij} - susceptansa elementa "i-j";

k,l - iteracioni indeksi;

P_{Rj}, P_{RPj} - stvarni, odnosno programirani total snaga razmene "j"-tog bazena (MW);

B_j - konstanta sekundarne regulacije "j"-tog bazena (MW/Hz);

ΔRGS_j - regulaciona greška "j"-tog bazena (MW);

DEB_j - veličina debalansa "j"-tog bazena (MW);

k^j_{si} - koeficijent participacije "i"-tog generatora u sekundarnoj regulaciji "j"-tog podsistema

3. KRAĆI PRIKAZ METODOLOGIJE ZA ANALIZU STATIČKE SIGURNOSTI

Primenjena metodologija, čiju materijalizaciju čini prototipni računarski program STATIC razvijena je u Institutu "Nikola Tesla". Istraživanja na planu analiza sigurnosti EES započeta su u Studiji [2] urađenoj za potrebe ZEP-a, Beograd. Fundament razvijene metodologije baziran je na radovima [3-6], uz dalja poboljšanja različitog tipa (počev od poboljšanja odgovarajućih matematičkih modela, algoritama i dr., pa sve do poboljšanja same tehnike rešavanja formiranih modela), što je izloženo u nizu radova [7-13].

Razvijena metodologija, bazirana je na sukcesivnom određivanju naponskih prilika i tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima EES (stanje nakon dejstva primarne regulacije napona i učestanosti, stanje nakon dejstva odgovarajućih dispečerskih akcija, ako su one bile neophodne, kao i stanje nakon dejstva automatske regulacije učestanosti i snaga razmene, uz prethodnu proveru, odnosno obezbeđenje uslova za njen nesmetani rad. Potebne veličine za prva dva navedena stanja dobijaju se iterativnim rešavanjem sledeća dva raspregnuta sistema jednačina (prvi reda N, a drugi, u slučaju prisustva statičkih karakteristika napon-reaktivna snaga kod svih generatora, takođe, reda N)

$$\begin{bmatrix} \Delta P/V \\ \hline \Delta P_N/V_N \end{bmatrix}^k = \begin{bmatrix} H' & F' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \hline \Delta(\Delta f) \end{bmatrix}^{k+1} \qquad (1)$$

$$\Delta Q/V^l = L' V^{l+1} \qquad (2)$$

Matrice koeficijenata H', F' i L' imaju konstantne vrednosti za nepromenjeno stanje grafa EES, odnosno

$$\begin{aligned} H'_{ii} &= V_n B_{ii} \quad i,j\in(1,N-1) & H'_{ij} &= V_n B_{ij} \quad i\in(1,N) \ , \ j\in(1,N-1) \\ F'_i &= -k_{pi}/V_n \quad i = 1,NG & F'_i &= 0 \quad i\in(NG+1,N) \\ L'_{ii} &= Q_{goi}/(s_{vi} V_{oi}^2) + B_{ii}; i\in(1,NG) & L'_{ii} &= B_{ii} \quad i\in(NG+1) \\ L'_{ij} &= B_{ij} \quad i,j\in(1,N) \end{aligned} \qquad (3)$$

Sa V_n je označena nominalna vrednost napona, a objašnjenja za ostale navedene veličine nalaze se u listi upotrebljenih oznaka.

Vektori debalansa $\Delta P/V$ i $\Delta Q/V$ imaju sledeće koordinate

$$\Delta P_i/V_i = (P_{goi} + k_{pi}\Delta f - P_i)/V_i$$
$$\Delta P_i/V_i = (P_{Li} - P_i)/V_i \qquad i\in(NG+1,N) \qquad (4)$$

$$\Delta Q_i/V_i = [Q_{goi}+Q_{goi}(V_{ci}-V_i)/(s_{vi}V_{oi})-Q_i]/V_i; \qquad i\in(1,NG)$$
$$\Delta Q_i/V_i = (Q_{Li} - Q_i)/V_i \qquad i\in(NG+1,N) \qquad (5)$$

Sistemi (1) i (2) aktuelni su i za stanje EES nakon dejstva automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene. Tada vektor debalansa $\Delta P/V$ sadrži koordinate koje se odnose na regulacione elektrane:

$$\Delta P_i/V_i = (P_{goi} + k_{pi}\Delta f + k_{zi}^{j}DEB_j - P_i)/V_i \qquad i\in NSR \qquad (6)$$

a potrebne veličine debalansa, odnosno regulacionih grešaka bazena određuju se raspregnuto, tokom iterativnog rešavanja sistema (1) i (2), posredstvom relacije

$$\Delta RGS_j = P_{Rj} - P_{Rpj} + B_j\Delta f \qquad j\in(1,M) \qquad (7)$$

Dakle, osnovne varijable modela su uglovi δ modula napona svih čvorova, sem referentnog, koji se proizvoljno bira (N - oznaka za referentni čvor), svi moduli napona i odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti Δf.

4. KRAĆI PRIKAZ I KOMENTAR REZULTATA ANALIZE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE ZA 1988. I 1990. GODINU

4.1. Kraći prikaz rezultata

Za 1988. godinu, u skladu sa [14], odnosno [15], izvršen je izbor sledećih karakterističnih režima: maksimalno opterećenje (treća sreda) u aprilu mesecu, minimalno opterećenje (nedelja iza treće srede) u aprilu mesecu, minimalno opterećenje u julu mesecu i maksimalno opterećenje u decembru mesecu.

Za analize 1990. godine, tretirani su julski minimalni i maksimlani i decembarski maksimalni režimi, na bazi aktualizovanih podataka [1].

Obzirom na veoma veliki obim informacija koje analize sigurnosti mogu da daju, postavljalo se pitanje kako izabrati dovoljno racionalanali jasan način njihove prezentacije. U tom cilju, kao jedna od takvih mogućnosti, formirane su odgovarajuće tabele, date u prilozima Studije [1], a ilustracije radi daju se sledeće Tabele I i II koje daju samo kraći izvod iz dobijenih rezultata za 1988. godinu. Upotrebljene oznake u njima imaju sledeće značenje:

NN - nije bilo moguće da se uspostavi stanje EES nakon tretiranog poremećaja, a da su praktično isključeni numerički razlozi;

N - uspostavljeno stanje u kome je došlo do prekoračenja naponskih i/ili strujnih ograničenja, odnosno reč je o nesigurnom stanju EES;

NL - stanje, čija nesigurnost ima pretežno lokalni karakter;

S - uspostavljeno sigurno stanje EES, odnosno stanje bez narušenih naponskih i strujnih ograničenja;

NP - oznaka za narušeno naponsko ograničenje;

NS - oznaka za narušeno strujno (termičko) ograničenje;

Smisao uvedene rubrike "Neophodnost dispečerske akcije" je da označi (kad je odgovor afirmativni) potrebu preduzimanja odgovarajućih dispečerskih akcija. Dakle, uz neophodnu dijagnozu posledica tretiranih poremećaja, daje se i mogućnost preduzimanja niza raspoloživih akcija i proučavanja njihovih

Tabela I

IZVOD IZ REZULTATA ANALIZE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE ZA MAKSIMALNO OPTEREĆENJE U DECEMBRU MESECU 1988. GODINE

Red. broj	POREMEĆAJ	Ocena stanja nakon poremećaja	Broj i vrsta narušenih ograničenja	Neophodnost dispečerske akcije	N A P O M E N A
			ISPAD SABIRNICA		
1.	RP Krško	N	1 NP	DA	Postoji mogućnost naponskog sloma
2.	RP Đerdap	N	5 NP; 1 SP	DA	Postoji mogućnost kaskadnog razvoja poremećaja
3.	RP Obrenovac A i B	NN		DA	Raspad EES
4.	RP Obrenovac B	NN		DA	Raspad EES
5.	RP TE Tuzla	NL		DA	Prekid napajanja TS Gradačac i Đakovo
6.	RP Bajina Bašta	N	6 NP; 1 SP	DA	
			ISPAD ELEKTRANA		
10.	NE Krško	S		DA	Uz adekvatne dipsečerske akcije
			ISPAD DALEKOVODA 400 kV		
13.	Mladost-Ernestinovo	N	2 SP	DA	Potrebno je rasteretiti preopterećene dalekov.
14.	Krško-Maribor	S			
16.	Ugljevik-Ernestinovo	S			
19.	Đerdap-Bor	N	5 NP; 2 SP	DA	Postoji mogućnost naponskog sloma
20.	Mostar-Konjsko	NL	1 SP	DA	
			ISPAD DALEKOVODA 220 kV		
24.	Piva-Sarajevo	S			
25.	Kosovo A-Kosovo B	NN		DA	Postoji mogućnost naponskog sloma
26.	Konjsko-Brinje-Mraclin	S			
29.	Tuzla-Zenica	S			
30.	B.Bašta-Požega	N	1 NP;2 SP	DA	
			ISPAD INTERKONEKTIVNIH DALEKOVODA		
35.	Veza sa UCPTE-om	S		DA	

Tabela II

KARAKTERISTIKE UOČENIH NESIGURNIH STANJA IZ TABELE I

Red. br.	Ispad elementa	Narušena naponska i/ili strujna ograničenja u stanju nakon dejstva primarne regulacija	Analizirane dispečerske akcije	Mogući efekti učinjenih dispečerskih akcija	Napomena
		ISPAD ŠABINICA			
1.	RP Krško	Kritični naponi: Zagreb 343 kV	Povećanje proizvodnje za oko 500 MW na raspoloživim elektranama prvenstveno u Hrvatskoj, Sloveniji i BiH uz obezbeđenje maksimalne proizvodnje reaktivne snage	Ako se neophodna korekcija ne izvrši adekvatno, stanje EES postaje još kritičnije čna pr. naponi u Zagrebu i Ernestinovu su 392 i 375 kV)	Postoji realna opasnost od naponskog sloma u zapadnom delu EES Jugoslavije
2.	RP Derdap	Kritični naponi: Bor 370 kV Niš 375 kV Kraljevo 195 kV Kruševac 195 kV Leskovac 196 kV Strujno preopter. DV 220 kV: Obrenovac-Beograd3 (9%)	Povećanje generacije za oko 700 MW na elektranama u Srbiji i Crnoj Gori	Učinjene dispečerske akcije, uzkompenzaciju nastalog debalansa prema UCPTE ne poboljšavaju prethodno stanje, koje je već bilo kritično	Postoji mogućnost naponskog sloma i daljeg kaskadnog razvoja poremećaja
3	RP TE Tuzla	Nema pojave kritičnih napona i preopterećenja elemenata ali dolazi do prekida napajanja TS Gradačac i Đakovo		Povoljni efekti	Potrebno je ponovno formiranje sabirnica u RP TE Tuzla što se može uspešno obaviti
4.	RP B.Bašta	Kritični naponi: Sistrica 191 kV Vardište 191 kV U.Požega 190 kV Kraljevo 181 kV Kruševac 189 kV S.Mitrov.189 kV Strujno preopter. DV 220 kV: Pljevlja - U.Požega (28%)	Povećanje za 650 MW na raspoloživim elektranama, prvenstveno u Srbiji, u cilju kompenzacije nastalog debalansa	Nepovoljni efekti, jer se dobija još kritičniji režim	Postoji mogućnost naponskog sloma i kaskadnog razvoja poremećaja
		ISPAD ELEKTRANA			
7.	NE Krško	Nema	Povećanje ukupne generisane snage za oko 500 MW, u cilju eliminacije debalansa prema UCPTE	Zavisno od elektrana koje kompenzuju nastali debalans	Generalno, moguća stanja nakon dejstva dispečerskih akcija su lošija u odnosu na stanje nakon dejstva primarne regulac.
		ISPAD DALEKOVODA 400 kV			
10	Mladost - Ernestin.	Strujna preopt. DV 220 kV: Piva-Sarajevo (11%) RP B.Bašta - Požega (9%)	Rasterećivanje, najpre RHE i HE B.Bašta, u cilju eliminacije preopterećenja	Povoljni	Normalan rad sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene
12.	Derdap - Bor	Kritični naponi Bor 366 kV Niš 373 kV Kraljevo 194 kV Kruševac 194 kV Leskovac 194 kV Strujno preopt. DV 220 kV: RP B.Bašta - Vardište (1%) Vardište - U.Požega (1%)	Rasterećivanje, najpre RHE i HE B.Bašta, u cilju eliminacije nastalih poremećaja	Povoljni, ako u međuvremenu ne dođe do naponskog sloma	
13.	Mostar - Konjsko	Strujna preopt. DV 220 kV: Zakučac - Mostar (4%)	Rasterećenje HE Zakučac	Povoljni	
		ISPAD DALEKOVODA 220 kV			
15.	B.Bašta - U.Požega	Kritični naponi Kraljevo 196 kV Strujno preopt. RP B.Bašta - Vardište (1%) Vardište - U.Požega (1%)	Rasterećenje HE ili RHE B.Bašta	Povoljni	

efekata za dobijena nesigurna stanja EES. U prvom redu, to se odnosi na tretirane slučajeve ispada velikih generatora (kao i značajnih potrošača), kada je neophodno izvršiti korekciju voznih redova angažovanih izvora u raspoloživom opsegu, imajući u vidu da navedene potrebne korekcije po pravilu prevazilaze mogućnosti sistema automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene. Takođe, u pomenute dispečerske akcije spadaju izmene voznih redova pojedinih izvora, u cilju eliminacije uočenih preopterećenja po ispadu značajnih dalekovoda, kao i izmene naponskih referenci angažovanih izvora, u cilju postizanja povoljnijih naponsko-reaktivnih prilika, i dr. Uvedena rubrika "Napomena" u Tabeli I i I ima za cilj da u najkraćim crtama objasni procenjeni karakter nastalih postdinamičkih stanja, s tim da je u Tabeli II, za uočena nesigurna stanja iz Tabele I, to učinjeno sa nešto više detalja.

Rubrika "Napomena" u Tabeli II ima za cilj da ukaže na mogući dalji, nepovoljni razvoj poremećaja, ako nisu adekvatno izvršene potrebne dispečerske akcije, ili pak ako njihov domet nije bio dovoljan. To se posebno odnosi na ona postdinamička stanja EES, u kojima se uočava veći broj napona čije su vrednosti ispod propisanih granica, što može da prethodi pojavi naponskog sloma u odgovarajućim delovima EES, sa mogućim posledicama za EES u celini.

4.2. Analiza i komentar rezultata

Kod interpretiranja dobijenih rezultata analiza sigurnosti potrebno je dati sledeće napomene i objašnjenja:

- Postavlja se pitanje verovatnoće nastanka poremećaja pod rednim brojem 3 i 4 u Tabeli I (ispadi sabirnica, odnosno raspadi čvorišta) čije se posledice ocenjuju sa uvedenom oznakom NN, obzirom da se praktično radi o simultanom ispadu 13, odnosno 7 elemenata EES. Dakle, radilo bi se o uvođenju kriterijuma sigurnosti (n-13), odnosno (n-7). Pri tome, potrebno je napomenuti, da se u studijama planiranja razvoja EES, po kojima se oni i grade, ne susreće strožiji kriterijum sigurnosti od kriterijuma (n-2).

- Za sve ostale poremećaje, sem prethodno pomenutih, mogla su da se uspostave postdinamička stanja. Takve rezultate treba staviti u kontekst naših teorijskih i praktičnih saznanja da u jugoslovenskom EES, za sadašnji nivo izgrađenosti, po pravilu, nije ugrožena statička i tranzijentna stabilnost (odnosno konvencionalna stabilnost) [16].

- Takođe, može se konstatovati da za niz poremećaja, koji dovode do narušavanja sigurnosti (na pr. poremećaji pod rednim brojem 5, 13, 20 i 30 u Tabeli I), karakter uspostavljenih postdinamičkih stanja je takav, da omogućuje pravovremeno preduzimanje adekvatnih dispečerskih akcija, u cilju prevazilaženja uočenih prekoračenja.

Za izvršene analize za 1990.godinu, gledajući u celini, dobijeni rezultati za razmatrane režime i poremećaje govore da EES Jugoslavije ima zadovoljavajući nivo sigurnosti rada. Uočena nesigurna stanja imaju pretežno lokalni karakter, i što je takođe važno da se istakne, u najvećem broju slučajeva, efekti preduzetih dispečerskih akcija bili su povoljni. Razloge za, u osnovi dobre rezultate za 1990. godinu, i razlike u odnosu na rezultate iz 1988. godine, treba najpre potražiti u činjenici da se u 1990. godini nisu tretirali izuzetno teški (i malo verovatni) poremećaji tipa raspada velikih čvorišta, čije posledice su kvalitativno i kvantitativno elaborirane u

analizama za 1988. godinu. Takođe, u analizama za 1990. godinu, u skladu sa usvojenim podlogama, nisu razmatrani slučajevi razmene sa susednim EES, a nisu ni tretirani slučajevi većih tranzita snaga u oba smera u EES Jugoslavije. Stoga, potpunija, a time i realnija slika o sigurnosti rada EES Jugoslavije dobila bi se utvrđivanjem graničnih režima, odnosno graničnih snaga tranzita u oba smera, za usvojeni realni kriterijum sigurnosti, kako je to bilo zamišljeno predloženim Aneksom Studije [1], koji se, za sada, nije realizovao.

5. RAZMATRANJE UKLJUČIVANJA TRETIRANJA DINAMIČKIH PROCESA U STUDIJSKE ANALIZE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE

Pitanje selektivnog i racionalnog uključivanja tretiranja dinamike u analize sigurnosti EES, već duže vreme je prisutno u Institutu "N.Tesla". Takva aktivnost je rezultirala radovima [17, 18 i 19], koji su se prvenstveno bavili metodološkim, modelskim, algoritamskim i numeričkim aspektima formiranja jedinstvenog prilaza studijskim analizama sigurnosti EES.

Analize dinamike, po sadašnjem sagledavanju, trebalo bi da se obavljaju u sledećim slučajevima (sam redosled ne znači i davanje takvog prioriteta):

a) u slučajevima kada ne dolazi do uspostavljanja postdinamičkih stanja EES, primenom nekonvencionalnih modela tokova sanga, a da za to uzrok nisu numerički razlozi (slučajevi označeni sa NN u Tabeli I, a koji su po pravilu vezani za veoma teške poremećaje - raspadi najznačajnijih čvorišta EES Jugoslavije).

b) U slučajevima kada dolazi do izolovanog rada EES Jugoslavije (po raskidu veze sa interkonekcijom UCPTE), kao i u slučajevima kada dolazi do dejstva automatskog frekventnog rasterećenja potrošača (AFRP), odnosno do dejstva pod (ili nad) frekventne zaštite generatora, zavisno od vrste nastalog debalansa.

c) U slučajevima, koja su u analizama statičke sigurnosti ocenjena kao potencijalno opasna sa aspekta daljeg kaskadnog razvoja poremećaja.

d) Za sve slučajeve u kojima je ispadu pojedinih elemenata EES (ili više njih) prethodio težak ili najteži (tropolni kratki spoj) kvar.

e) U slučajevima pri kojima je tokom analiza statičke sigurnosti dolazilo do značajnijeg narušavanja ograničenja po reaktivnoj snazi (struji rotora) generatora.

f) Za sve slučajeve gde su analize statičke sigurnosti konstatovale srazmerno niske napone u ostvarenim postdinamičkim stanjima.

Argumentacija za prethodno navedeni predlog uključivanja dinamike u analize sigurnosti EES nalazi se u sledećem (uz upotrebu istih oznaka a) - f)):

a) Potrebna je detaljnija analiza toka i kritičnosti prelaznog elektromehaničkog procesa, nastalog nakon poremećaja, koja obuhvata analizu dinamike kratkog, srednjeg i dugog trajanja. Time bi se dobila pouzdanija i tačnija ocena mogućih posledica tretiranih poremećaja, a takođe, mogu da se tačnije sagledaju efekti niza mera i postupaka (na pr. sistemske zaštite, protivhavarijske automatike i dr.) za sprečavanje ili ublažavanje teških, odnosno najtežih posledica.

b) Analize statičke sigurnosti (računarski program STATIC) omogućuju dovoljno tačnu procenu uslova pri kome može da dođe do prekida veze sa

UCPTE-om (sa Italijom i Austrijom) i da EES Jugoslavije (zajedno sa ili bez grčkog EES) ostane u izolovanom radu (na pr. u slučaju velikog uvoza iz UCPTE, kada dolazi do ispada najvećih generatora, odnosno u slučajevima velikih izvoza, pri ispadu velikih potrošačkih centara).

Takode, analize statičke sigurnosti omogućuju da se izvrši indikacija dejstva sistema AFRP i dovoljno dobra procena efekata toga dejstva [10,13], do čega dolazi kod nastanka izolovanog rada EES Jugoslavije pri pojavi većih debalansa snage. Medutim, imajući u vidu da statički prilaz, iako dobro "vidi" samu veličinu rotacione rezerve i njen prostorni raspored, dinamiku njenog aktiviranja tretira preko ekvivalentnih parametara, što znači da bi za tačniju i pouzdaniju ocenu toka i karaktera procesa bila poželjna simulacija elektromehaničkih prelaznih procesa.

c) Slučajevi praćeni kaskadnim razvojem poremećaja spadaju u najkritičnije sa aspekta sigurnosti EES. S toga, sasvim je jasno da oni zaslužuju i strožiji tretman, ne samo zbog preciznije i pouzdanije ocene samog toka procesa i mogućih posledica, već u cilju tačnijeg utvrdivanja delovanja sistemske zaštite i automatike, i po potrebi, u cilju eventualne formulacije i koncipiranja novih sistemskih zaštita i sredstava protivhavarijske automatike.

d) Za najteže kvarove, ako se oni uvrste u listu poremećaja, potrebna je analiza kritičnosti dinamičkih prelaznih procesa, jer prethodno data konstatacija o tome da EES Jugoslavije nije kritičan sa aspekta tzv. konvencionalne stabilnosti, odnosila se na tzv. "normalne" kvarove, odnosno kvarove koji se javljaju sa najvećom verovatnoćom (na pr. na naponskom nivou 400 kV to su jednopolni kratki spojevi).

e) i f) Ovi slučajevi su spojeni, jer im je zajednički imenitelj potencijalna opasnost od naponske nestabilnosti, čije proučavanje zahteva strožiji tretman (na pr. [20]), koji bi se ugradio u metodologiju studijskih analiza sigurnosti (statičke i dinamičke) EES Jugoslavije.

Na taj način, realizacijom računarskog programa za analizu sigurnosti, detaljnije objašnjenom i obrazloženom u [17, 18 i 19], sa dopunom segmenta vezanog za analizu naponske stabilnosti, dobilo bi se veoma efikasno sredstvo za potpuniji i pouzdaniji uvid u sigurnost rada EES Jugoslavije, u fazi operativnog planiranja pogona. Pri tome, najveći broj odgovora davale bi i dalje analize statičke sigurnosti, a za prethodno navedene slučajeve pod a) - f) bio bi poželjan i potreban seriozniji tretman, uključivanjem simulacija dinamičkih procesa različitih vrsta i trajanja.

6. ZAKLJUČCI

Razvijena je metodologija i odgovarajući prototipni računarski program (STATIC) za studijske analize statičke sigurnosti EES, baziranih na odredivanju tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima. Njena praktična primena za karakteristične radne režime i poremećaje u EES Jugoslavije do 1990. godine, omogućila je konstataciju da se za najveći broj poremećaja, odnosno za poremećaje koji se javljaju sa većim procentom verovatnoće u režimima bez većih tranzita snage, dobijaju ili sigurna postdinamička stanja, ili takva stanja, koja se, uz raspoložive dispečerske akcije, mogu da transformišu u sigurna. Dalja praktična primena predložene metodologije, uz tretiranje većih tranzita snaga u EES Jugoslavije, u oba

smera, sigurno je da bi doprinela daljem unapredivanju rešavanja problematike sigurnosti u nas. Ujedno, time bi se omogućilo da se sagledaju sve one neophodne dopune i poboljšanja prilaza studijskim analizama sigurnosti, za sada prisutnog u podsistemu za operativno planiranje pogona tehničkog sistema upravljanja u jugoslovenskoj elektroprivredi, koji se nalazi pred realizacijom.

7. LITERATURA

[1] "Analiza sigurnosti rada EES Jugoslavije za karakteristične radne režime i poremećaje do 1990.godine", Studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd,1989.

[2] "Studija statičke sigurnosti EES ZEP-a; I deo: Razvoj i primena metodologije za studijske analize statičke sigurnosti", Studija Instituta "N.Tesla", Beograd 1987

[3] Okamura M et al. "A New Power Model and Solution Method Including Load and Generator Characteristics and Effects of System Control Devices", IEEE Trans., Vol.PAS-94, No 3, May-June 1975, pp.1042-1049

[4] Čalović M.S, Strezoski V.C, "Calculation of Steady-State Load-Flows Incorporating Systems Control Effects and Consumer Self-Regulation Characteristics", Int.Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol 2, No 2, April 1981, pp.65-74

[5] Lukašov E.S, Koljužnij A.H, Lizalek N.N "Dugotrajni prelazni procesi u elektroenergeskim sistemima" (knjiga na ruskom) Izd. "Nauka", Novsibirsk, 1985.

[6] Stott B, Alsac O, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans., Vol.PAS-93, No 3, May-June 1974, pp.859-867

[7] Popović D.P "Brzi raspregnuti postupak za analizu statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema", XXXI jugoslovenksa konferencija za ETAN, Bled, 1987.

[8] Popović D.P "Jedan prilaz studijskim analizama statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema", V jugoslovensko savetovanje - Vođenje i automatizacija elektroenergetskih sistema, Ljubljana, 1987.

[9] Popović D.P, "Prilozi metodici studijskih analiza statčke sigurnosti elektroenergetskih sistema", časopis "Energija", br. 3, 1988.

[10] Popović .P, "Uključivanje efekata automatskog frekventnog rasterećenja potrošača u studije statičke sigurnosti elektroenergeskih sistema", XXXII jugoslovenska konferencija za ETAN, Sarajevo, 1988.

[11] Popović D.P, "An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems", Int.Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol.10, No 2, April 1988., pp.110-116

[12] Popović D.P, "An Efficient Methodology for Study-Mode Security Assessment of Power Systems for Large Disturbances", IFAC Symposium Power Systems, Brussels, 5-8 September, 1988, paper 7.4

[13] Popović D.P, "Automatsko frekventno rasterećenje potrošača u studijama statičke sigurnosti elektroenergeskih sistema", časopis "Elektroprivreda",br.5-6, 1988.

[14] "Preliminarna analiza tokova snaga i naponskih prilika u prenosnoj mreži jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u 1988.godini", ZJE, Dispečerska služba, Beograd, april 1988.

[15] "Analiza o mogućnostima izvršenja elektroenergetskog bilansa jugoslovenske elektroprivrede u 1988.godini", ZJE, Dispečerska služba, Beograd, juni 1988.

[16] "Studija statičke i dinamičke stabilnosti u mreži 220 i 400 kV Jugoslavije za 1985 i oko 1990. godine", Studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd 1985.

[17] Popović D.P "Jedan prilaz metodologiji za studijske analize statičke i dinamičke sigurnosti elektroenergetskog sistema Jugoslavije", VII stručno savetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat 1988., referat 2.10

[18] Popović D.P "Jedan prilaz jedinstvenoj metodologiji za studijske analize sigurnosti elektroenergetskih sistema", časopis "Automatika", br.5-6, 1988.

[19] Popović D.P "An Efficient Unified Methodology for Steady-State and Dynamic Security Assessment of Power Systems", Electric Power System Research, Vol. 17,No 3, 1989. pp.179-187

[20] Tasić D., Popović D.P "Jedna metoda za analizu naponske stabilnosti elektroenergetskih sistema", časopis "Elektroprivreda" br.7-8, 1989

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vladimir C. Strezoski,
Dragan S. Popović,
Dušan M. Purtić,
Institut za energetiku i elektroniku, Fakultet tehničkih nauka - Novi Sad.

Referat broj 3.10

METODOLOGIJA ZA ON-LINE ANALIZU STATIČKE SIGURNOSTI INTERKONEKTIVNIH ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA SA STRUKTURNIM POREMEĆAJIMA

SADRŽAJ

Ovaj je rad motivisan željom da se u jugoslovenskoj elektroenergetskoj praksi što pre ustanovi savremena metodologija za on-line (i off-line) analizu statičke sigurnosti. Polazeći od strukture jugoslovenskog elektroenergetskog sistema kao dela evropske interkonekcije, koji je i sam sačinjen od više podsistema, u radu je obradjen problem analize statičke sigurnosti u složenim sistemima sa hijerarhijski organizovanim upravljanjem aktivnim snagama i učestanošću, u proizvoljnom broju nivoa. Obradjeni su efekti poremećaja koji takve sisteme vode u jedan od sledeća tri (kvazi)stacionarna režima: (1) režim nakon završetka primarne, a pre početka dejstva sekundarne regulacije, (2) režim nakon završetka dejstva sekundarne regulacije, u varijanti kada ima i (3) u varijanti kada nema dovoljno regulacione rezerve za pokrivanje poremećaja. Pored usavršavanja modela za proračun tokova snaga, težište rada je stavljeno na proceduru za praktično rešavanje problema. Ta je procedura svedena na originalni Brzi raspregnuti postupak (Stott-ov algoritam), primenjen u svojoj najjednostavnijoj varijanti za izolovani sistem sa jednim balansnim čvorom. Stacionarni efekti opisanog upravljanja obuhvaćeni su odgovarajućim prilagodjenjima upravljačkih veličina uvedenim u samu iterativnu proceduru za rešenje problema.

ABSTRACT - This paper is motivated with the intention to introduce modern methods for off-line and on-line steady-state security analysis into Yugoslav practice. This problem is considered here as the problem of the multi-level complex system, with hierarchically organized control of system frequency and tie-line exchanges. The consideration of three steady-states that follow the appearance of a disturbance is proposed in order to quantify disturbance consequences to system behavior. These are: (1) the steady state after the primary control response; (2) the steady state after the secondary control response, when sufficient regulating reserve, needed to cover the power mismatch, is available, and (3) when it is not available. The paper presents an advanced model for the calculation of power flows in such situations and proposes the computer solution procedure based on the fast decoupled algorithm. Steady-state effects of the controls are encompassed by adjustments of control variables, during the execution of the iterative solution procedure.

1. UVOD

Kontinualna izgradnja prenosnih mreža sve viših naponskih nivoa, medjusobno povezivanje i generalna hijerarhijska organizacija elektroprivrede čine strukturu upravljanja savremenim elektroenergetskim sistema *(interkonekcija)* vrlo složenom. Ta struktura je posebno okarakterisana organizacijom sistema za automatsku regulaciju učestanosti i snage rezmene *(regulacije učestanosti i razmene)*, koja se realizuje dejstvom elektrana koje učestvuju u primarnoj i sekundarnoj regulaciji *(primarne i sekundarne elektrane)*. Ona se zasniva na pojmu *osnovnog sistema* ("area"), u kojem je u potpunosti zaokružen osnovni nivo regulacije učestanosti i razmene. Naime, utvrdjena aktivna snaga razmene svakog osnovnog sistema održava se na specificiranoj vrednosti dejstvom pomenute regulacije, rasporedjene decentralizovano na sopstvene primarne elektrane i centralizovano, u *centru upravljanja* svakog osnovnog sistema, na sekundarne elektrane. Ako se u interkonekciji izdvoji jedan podskup osnovnih sistema sa kontrolisanom snagom razmene sa preostalim delom interkonekcije, tada je reč o *basenu* ("power pool"). Ta se struktura (basena) na isti način može generalisati do interkonekcije sa hijerarhijski organizovanom regulacijom učestanosti i razmene u proizvoljnom broju nivoa. Matematički modeli takvih sistema u stacionarnim režimima - *modeli tokova snaga*, su osnovni problem ovog rada.

Najatraktivniji domen primene modela tokova snaga je u analizi statičke sigurnosti u realnom vremenu |1|. Ta analiza se sastoji u obradi potencijalnih stacionarnih režima u kojima se može naći interkonekcija nakon bilo kog *poremećaja* tekućeg - *referentnog režima*. Ovaj je režim izmedju ostalog odredjen i stacionarnom ravnotežom potrošnje (sa gubicima) i proizvodnje aktivne snage svakog osnovnog sistema, uz njegovu specificiranu razmenu, na zadatoj jedinstvenoj učestanosti interkonekcije. Veličine u tom režimu imaju *referentne vrednosti*, za razliku od vrednosti u pomenutim potencijalnim režimima. Razlika potencijalne od referentne vrednosti definiše se *odstupanjem* odgovarajuće veličine. Od svih poremećaja (u proizvodnji, potrošnji, topologiji i parametrima) ovde će posebna pažnja biti posvećena onim koji za posledicu imaju poremećaj bilansa aktivnih snaga, praćen i dejstvom primarne/ /sekundarne regulacije u interkonekciji. Ako je posledica poremećaja takav debalans aktivnih snaga koji prevazilazi ukupnu sekundarnu regulacionu rezervu osnovnog sistema u kojem se desio, taj se poremećaj definiše kao *kritičan* (sa aspekta koji se obradjuje u ovom radu).

Regulacija reaktivnih snaga i naponskih prilika nije predmet ovog rada, pa neće biti eksplicitno naglašavana.

Značajan doprinos ovoj materiji, mada u off-line modu (operativno planiranje pogona), dat je u studijama sigurnosti elektroenergetskih sistema ZEP-a |2| i JUGEL-a |3|. U tim studijama primenjeni su modeli i algoritmi predloženi u referenci |4|. Iako je metodologija razvijena za off-line primenu, vredno je istaći visok nivo modela složenih elektroenergetskih sistema i njihovo potpuno rasprezanje, ne samo na klasične (Pθ) i (QV) delove, već i s obzirom na efekte vezane za učestanost i aktivnu snagu razmene u interkonekcijama.

Kroz opis stacionarnih efekata regulacije učestanosti i razmene, u drugom delu ovog rada biće definisana tri (kvazi)stacionarna režima - *karakteristični režimi: prvi, drugi i treći*, kao i dve *karakteristične veličine: odstupanje učestanosti, i globalni debalans*.

U trećem delu prikazani su usavršeni modeli interkonekcije. Obradjen je i specijalni slučaj izolovanog elektroenergetskog sistema. Negde na tom nivou se zaustavljaju nestandardni modeli opisani u referencama |5,6|. U najboljem slučaju u tim modelima se globalno iskazuje veza osnovnog sistema sa preostalim delom interkonekcije, ili se taj deo ekvivalentira |7,8|. Na kraju trećeg dela rada problem je generalizovan u obliku modela interkonekcije sa hijerarhijski organizovanim upravljanjem sa bilo kojim brojem nivoa.

U četvrtom delu rada prikazana je procedura (algoritam) za primenu razvijenih modela u on-line procesu. Tu leži još jedan suštinski doprinos koji se u ovom radu naglašava.

Na kraju rada izvedeni su zaključci i data je lista korišćene literature. U Prilogu su date formule čije bi izvodjenje opterećivalo osnovni tekst rada.

2. REGULACIJA UČESTANOSTI I RAZMENE, KARAKTERISTIČNI REŽIMI I KARAKETRISTIČNE VELIČINE

U ovom delu, kroz opis stacionarnih efekata regulacije učestanosti i razmene, biće definisana tri karakteristična režima i dve karakteristične veličine, potrebni za modelovanje interkonekcije |9|.

Prvi režim: Nakon poremećaja u jednom ili više osnovnih sistema, koji pripadaju istom ili različitim basenima, interkonekcija se iz referentnog režima, dejstvom isključivo primarnih elektrana, vodi u novi kvazi-stacionarni režim - *prvi režim*. Njega, izmedju ostalog, karakteriše *odstupanje učestanosti - prva karakteristična veličina*: $\Delta F=F-F_o$, odstupanja razmene svakog od osnovnih sistema i basena: $\Delta P_R=P_R-P_{Ro}$, kao i odstupanja aktivnih snaga gubitaka svih osnovnih sistema. U toku uspostavljanja ovog režima, za svaki se osnovni sistem (pa i basen) formira *regulaciona greška*: $RG=\Delta P_R+B\Delta F$, gde je B *regulaciona konstanta* osnovnog sistema |10|. Ta greška predstavlja procenu debalansa aktivnih snaga odgovarajućeg osnovnog sistema (basena), koji treba da bude pokriven dejstvom sekundarnih elektrana. Ako je regulaciona konstanta osnovnog sistema (basena) izabrana tako da je B=-K (K je koeficijent samoregulacije osnovnog sistema (basena), kojeg čine suma koeficijenata primarne regulacije svih njegovih elektrana i suma koeficijenata samoregulacije po učestanosti svih njegovih potrošača), za regulaciju tog osnovnog sistema (basena) se kaže da je saglasna *principu neintervencije*, tj. *osnovnom principu pogona basena* |10|.

Drugi režim: Nakon procene veličina pomeređaja u svim osnovnim sistemima, sledi relokacija regulacione snage sa svih primarnih na sve sekundarne elektrane osnovnih sistema sa nenultim regulacionim greškama. Ako nijedan poremećaj nije kritičan, u interkonekciji se uspostavlja nov stacionarni režim - *drugi režim*, sa referentnom učestanošću, $\Delta F=0$, kao i referentnim razmenama svih osnovnih sistema (basena) $\Delta P_R=0$. Sumarno dejstvo sekundarnih elektrana osnovnog sistema (basena), realizovano za pokrivanje debalansa aktivnih snaga i odstupanja gubitaka izazvanih poremećajom, ili samo za odstupanja gubitaka ako poremećaja nema, naziva se *globalnim debalansom* osnovnog sistema (basena) - *druga karakteristična veličina*. Ova veličina, u užem smislu nego ovde, i pridružena samo osnovnom sistemu, uvedena je u referenci |5| i nazvana "globalna insuficijencija" ("global insufficiency").

Treći režim: Ako se drugi režim ne može uspostaviti zato što je poremećaj bar u jednom osnovnom sistemu kritičan, u interkonekciji se uspostavlja stacionarni režim - *treći režim*, sa učestanošću i razmenama svih osnovnih sistema (basena) različitim od referentnih, $\Delta F\neq 0$, $\Delta P_R\neq 0$. Globalni debalansi osnovnih sistema sa zastupljenim principom neintervencije, u kojima poremećaji nisu kritični, jednaki su sumarnim efektima sopstvenih poremećaja i odstupanja gubitaka; u osnovnim sistemima sa kritičnim poremećajima, globalni debalansi su jednaki veličinama celokupnih iscrpljenih sekundarnih regulacionih rezervi. Deficiti aktivnih snaga u njima se pokrivaju dejstvom samo primarnih elektrana svih osnovnih sistema kod kojih je zastupljen princip neintervencije (B=-K), ali i dejstvom sekundarnih elektrana osnovnih sistema kod kojih taj princip nije zastupljen (B≠-K). Ako se u toku uspostavljanja ovog režima, u osnovnim sistemima sa kritičnim poremećajima promovišu nove sekundarne elektrane, ili na nivou basena (ili višem) izvrši preraspodela referentnih razmena osnovnih sistema radi pokrivanja delova debalansa koji ne mogu biti pokriveni postojećim sekundarnim elektranama, stacionarni režim u koji prelazi interkonekcija je tipa drugog režima, sa odgovarajućim novim sekundarnim elektranama i novim referentnim snagama razmene.

3. USAVRŠENI MATEMATIČKI MODELI ZA PRORAČUN TOKOVA SNAGA

U ovom delu biće prvo izveden model basena u izolovanom pogonu, da bi taj model bio redukovan na model osnovnog sistema i generalizovan u model ma kako složene interkonekcije.

Stacionarni režimi interkonekcije se opisuju jednačinama za bilans snaga svih njenih čvorova - *model mreže*, i jednačinama kojima se definiše razmena njenih podsistema - *model razmene*. Na Slici 1 prikazan je opšti primer bilansa snaga čvora i nakon poremećaja u interkonekciji. Snage primarne (G_i'), sekunarne elektrane (G_i'') i potrošača (L_i) čine njegove injektirane snage. Na desnoj strani je prikazana veza čvora i sa ostalim čvorovima interkonekcije preko grana kojima injektirane snage "otiču" u mrežu. Fazor napona čvora i označen je sa $E_i (=V_i \exp \theta_i)$. Sa P'_{Goi}, P''_{Goi} ($P'_{Goi}+P''_{Goi}=P_{Goi}$) i P_{Loi} obeleženi su respektivno referentne aktivne snage primarne i sekundarne elektrane i potrošača, sa integrisanim eventualnim poremećajom u njima. Sa Q'_{Gi}, Q''_{Gi} ($Q'_{Gi}+Q''_{Gi}=Q_{Gi}$) i Q_{Loi} označene su respektivno reaktivne snage generatora i referentna snaga potrošača, sa integrisanim eventualnim poremećajom u njima. Globalni debalans osnovnog sistema kojem pripada čvor i označen je sa GD_i. Sa k_{pi} i k_{si} označeni su koeficijenti participacije elektrana, respektivno u primarnoj i sekundarnoj regulaciji |6|. Sa ΔV_i označeno je odstupanje modula napona. Koeficijenti samoregulacije aktivne i reaktivne snage potrošnje po naponu i učestanosti ("osetljivosti snaga prvog reda"), u referentnom režimu, označeni su respektivno sa p_{Vi}, p_{Fi}, q_{Vi} i q_{Fi} |6|. Sa $P_i(.)$ i $Q_i(.)$ označene su aktivna i reaktivna snaga koje granama otiču u mrežu. One su standardne funkcije skupa komponenti stanja interkonekcije $X_S=\{(\theta_i, V_i)$, i uzima indekse svih čvorova interkonekcije$\}$. U njima su, kroz vrednosti elemenata matrice admitansi Y_{BUS} |10|, integrisani eventualni topološki poremećaji. Saglasno tome, opšti model bilansa snaga u čvoru i glasi:

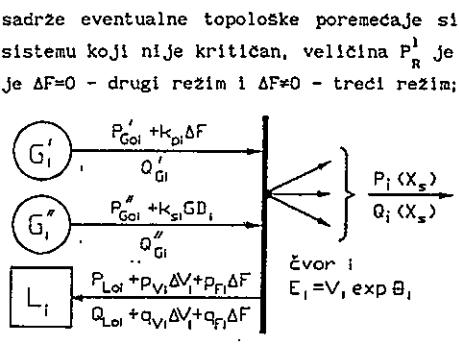
$$\left(P_{Goi} + k_{pi}\Delta F + k_{si} GD_i\right) - \left(P_{Loi} + p_{Vi}\Delta V_i + p_{Fi}\Delta F\right) = P_i(X_S), \tag{1}$$

$$\left(Q_{Gi}\right) - \left(Q_{Loi} + q_{Vi}\Delta V_i + q_{Fi}\Delta F\right) = Q_i(X_S). \tag{2}$$

Opšti model bilansa aktivnih snaga razmene osnovnog sistema i glasi:

$$P_R^1 = R^1(X_S). \tag{3}$$

Sa $R^1(.)$ označena je funkcija kojom se preko komponenti stanja izražava suma aktivnih snaga koje se kroz granične čvorove odaju iz osnovnog sistema i |11| (i ove funkcije u sebi sadrže eventualne topološke poremećaje sistema). U slučaju poremećaja u i-tom osnovnom sistemu koji nije kritičan, veličina P_R^1 je jednaka ($P_{Ro}^1 - B\cdot\Delta F$) u obe varijante: za slučaj da je $\Delta F=0$ - drugi režim i $\Delta F\neq 0$ - treći režim; (u prvom režimu razmena se ne kontroliše).



Slika 1 - Bilans snaga čvora i.

Da bi se pojednostavilo izlaganje u vezi sa problemom tretmana fizičkih ograničenja na proizvodnje sekundarnih elektrana, smatraće se da su njihovi koeficijenti participacije u sekundarnoj regulaciji (k_s) izabrani tako da sve one, u okviru istog osnovnog sistema, podjednako iscrpljuju svoje rezervne snage; suma tih rezervnih snaga označena je sa GD_H (naravno, nije problem tretirati svaku drugu varijantu).

Neka se razmatra basen koji se sastoji od N čvorova rasporedjenih u L osnovnih sistema. Neka je prvi čvor referentni, tj. θ_1 je unapred specificirana varijabla. Svaki osnovni sistem je opisan sa zadatom referentnom razmenom P_{Ro}^1, i=1,2,3...,L. Pošto je u pitanju basen u izolovanom pogonu, suma snaga razmene svih osnovnih sistema u bilo kom režimu jednaka je

nuli. Tako, za opis razmene svih osnovnih sistema basena dovoljno je opisati razmenu samo za (L-1) od njih. Modeli basena, osim u slučaju prvog režima, sastoje se kako od modela mreže (MM) tako i od modela razmene (MR). Vektor nepoznatih veličina modela označen je sa X. Ti modeli su dati u Tabeli I. Sa GD_i, u modelima za drugi i treći režim, označen je globalni debalans osnovnog sistema kojem pripada čvor i. Ako je to i-ti osnovni sistem, tada je: $GD_i = GD^i$; u slučaju da je u tom osnovnom sistemu poremećaj kritičan, tada je: $GD^i = GD^i_M$; $i=1,2,\ldots,N$; $i=1,2,\ldots,L$.

Tabela I - Modeli tokova snaga basena.

	PRVI REŽIM
MM	$(P_{Goi}+k_{pi}\Delta F)-$ $-(P_{Loi}+p_{Vi}\Delta V_i+p_{Fi}\Delta F)=P_i(X_S)$, $(Q_{Gi}\quad)-$ $-(Q_{Loi}+q_{Vi}\Delta V_i+q_{Fi}\Delta F)=Q_i(X_S)$, $i=1,2,\ldots,N$, (2N JEDNAČINA).
MR	/
X	$\Delta F, V_i;\ \theta_i, V_i,\ i=2,3,\ldots,N$; (2N NEPOZNATIH VELIČINA).
	DRUGI REŽIM
MM	$(P_{Goi}+k_{si}GD_i)-$ $-(P_{Loi}+p_{Vi}\Delta V_i)=P_i(X_S)$, $(Q_{Gi}\quad)-$ $-(Q_{Loi}+q_{Vi}\Delta V_i)=Q_i(X_S)$, $i=1,2,\ldots,N$, (2N JEDNAČINA).
MR	$P^1_{Ro}=R^1(X_S)$, $i=2,3,\ldots,L$, ((L-1) JEDNAČINA).
X	$GD^1, V_i;\ \theta_i, V_i\ i=2,3,\ldots,N$; $GD^2, GD^3,\ldots, GD^L$; ((2N+L-1) NEPOZNATIH VELIČINA).
	TREĆI REŽIM
MM	$(P_{Goi}+k_{pi}\Delta F+k_{si}GD_i)-$ $-(P_{Loi}+p_{Vi}\Delta V_i+p_{Fi}\Delta F)=P_i(X_S)$, $(Q_{Gi}\quad)-$ $-(Q_{Loi}+q_{Vi}\Delta V_i+q_{Fi}\Delta F)=Q_i(X_S)$, $i=1,2,\ldots,N$, (2N JEDNAČINA).
MR	$P^1_{Ro}+B^1\Delta F=R^1(X_S)$, $i=2,3,\ldots,L$, ((L-1) JEDNAČINA).
X	$\Delta F, V_i;\ \theta_i, V_i\ i=2,3,\ldots,N$; $GD^2, GD^3,\ldots, GD^L$; ((2N+L-1) NEPOZNATIH VELIČINA).

Model prvog režima: Razmenu osnovnih sistema u ovom režimu rada basena diktiraju isključivo poremećaji i sumarna dejstva svih primarnih elektrana, bez obzira na referentne nivoe razmene. Tako, razmena je izvan kontrole, pa u ovim modelima nema dela koji se odnosi na razmenu (aktivna snaga razmene se može posebno sračunati korišćenjem relacija (3) nakon rešenja modela mreže). U skupu nepoznatih veličina pojavljuje se odstupanje učestanosti ΔF; globalni debalansi svih osnovnih sistema su poznati i jednaki nuli. Ovaj model sastoji se od 2N jednačina modela mreže sa 2N nepoznatih veličina.

Model drugog režima: U ovom je režimu zapažena referentna učestanost kao i referentna razmena svakog osnovnog sistema (zadovoljene jednačine modela razmene). Upravo to implicira odgovarajuće nepoznate veličine globalnih debalansa svih osnovnih sistema: oni su jednaki sumi eventualnih poremećaja i odstupanja gubitaka u odgovarajućim osnovnim sistemima, uz zapaženu referentnu razmenu. Pošto je u pitanju basen u izolovanom pogonu, model razmene svih L njegovih osnovnih sistema je odredjen jednačinama za bilans razmene samo (L-1) od njih. U ovim modelima izostavljen je opis razmene prvog. Tako, model basena sastoji se od [(2N) jednačina modela mreže i (L-1) jednačine modela razmene] sa isto toliko nepoznatih veličina: [2N+(L-1)].

Model trećeg režima: Model koji odgovara ovom režimu (Tabela I) je opisan za varijantu kada su poremećaji u basenu takvi da je samo onaj u prvom osnovnom sistemu kritičan. Tada je GD_i jednako celokupnoj poznatoj regulacionoj rezervi GD^1_M, za svaki čvor i koji pripada prvom osnovnom sistemu. I u ovom slučaju su razmene svih osnovnih sistema poremećene u odnosu na referentne, ali, za razliku od prvog režima, one su ipak kontrolisane sekundarnim regulacijama svih osnovnih sistema, osim prvog. Naime, u tim sistemima, sekundarne elektrane deluju do svodjenja sopstvenih regulacionih grešaka na nulu: $\Delta P^1_R + B^1\Delta F = 0$, odnosno, $P^1_R = P^1_{Ro} - B^1\Delta F$, $i=2,3,\ldots,L$ (leve strane jednačina modela ramene). Odstupanje referentne razmene ($-B^1\Delta F$), za osnovni sistem i sa zastupljenim principom neintervencije ($B^1=-K^1$), posledica je delovanja isključivo njegovih primarnih elektrana, samoregulacije potrošača (i frekventnog rasterećenja mreže); delovanje sekundarnih elektrana je utrošeno na pokrivanje sopstvenog poremećaja. Tim

odstupanjem razmene i-tog osnovnog sistema participira se u pokrivanju deficita aktivne snage prvog osnovnog sistema. U osnovnim sistemima u kojima nije sproveden princip neintervencije ($B^1 \neq -K^1$), sumarna dejstva sekundarnih elektrana, tj. njihovi globalni debalansi su različiti od sopstvenih debalansa aktivnih snaga srazmerno medjusobnim nesaglasnostima parametara B^1 i K^1. Ovim se razlikama takodje participira (pozitivno ili negativno) u pokrivanju pomenutog deficita prvog osnovnog sistema.

Saglasno izloženoj materiji, u slučaju kritičnog poremećaja u jednom osnovnom sistemu (prvom), taj sistem gubi svoj osnovni atribut, tj. prestaje da ima zaokružen osnovni nivo regulacije aktivne snage razmene i učestanosti.

U slučaju kritičnih poremećaja u više osnovnih sistema, formalnom integracijom svih tavih sistema u jedan (prvi) osnovni sistem, problem se svodi na napred obradjenu situaciju.

Model osnovnog sistema (elektroenergetskog sistema) u izolovanom pogonu: Modeli prikazani u Tabeli I se vrlo jednostavno mogu primeniti (redukovati) na model jedinstvenog osnovnog sistema u izolovanom pogonu. To se čini stavljanjem jedinice za broj osnovnih sistema (L=1). Time se očigledno potiskuju modeli razmene iz odgovarajućih modela tokova snaga.

Model interkonekcije sa više basena: Ovaj model predstavlja generalizaciju modela basena u izolovanom pogonu. Naime, ako se na način kako je to prikazano u Tabeli I (osim za prvi režim) opiše i razmena prvog osnovnog sistema izabranog basena interkonekcije, koja je izostavljena za slučaj modela jedinstvenog basena u izolovanom pogonu, u potpunosti je zaokružen opis razmene celog izabranog basena sa preostalim delom interkonekcije: ona je jednaka sumi razmena svih njegovih osnovnih sistema. Formirajući ovakve modele za svaki basen razmatrane interkonekcije, osim za jedan koji se modeluje na identičan način kako je to prikazano u Tabeli I (sa izostavljenim opisom razmene na nivou basena, odnosno sa izostavljenim opisom razmene jednog (prvog) njegovog osnovnog sistema), dobija se model razmatrane interkonekcije za drugi ili treći režim. On se sastoji od (2N+L-1) jednačine sa isto toliko nepoznatih veličina, pri čemu je sada N broj svih čvorova, a L broj svih osnovnih sistema svih basena - cele interkonekcije. U modelu za prvi režim se i dalje ne sadrži model razmene.

Generalizacija ovih modela za slučaj interkonekcije sa hijerarhijski organizovanom regulacijom učestanosti i razmene sa po želji izabranim brojem nivoa je očigledna.

Napred opisani tretman složenih interkonekcija izveden je samo u svrhu verifikacije generalnosti predloženih modela. U praksi, modelovanje sistema iznad nivoa osnovnog sistema ili basena, postaje besmisleno s obzirom na dimenzionalnost problema. U tim se situacijama pribegava postupku ekvivalentiranja delova interkonekcija koji nisu od neposrednog interesa. Taj problem nije predmet ovog rada, a detaljno je obradjen u referenci |12|.

4. PROCEDURA ZA PRORAČUN MODELA

Jedan od doprinosa na koje se pretenduje u ovom radu sastoji se upravo u proceduri za proračun predloženih usavršenih modela ma kako složene interkonekcije. Ta je procedura svedena na originalni Brzi raspregnuti (Stott) postupak |13|, i to primenjen na klasičnom - - najjednostavnijem modelu osnovnog sistema u izolovanom pogonu, sa jednim balansnim čvorom. Prilikom osmišljavanja procedure praćena je sledeća ideja: Britton |11| je pokazao da se model basena (sa više osnovnih sistema) može spregnutim postupkom (Newton-Raphson) rešiti u istom broju iteracija (sa istom tačnošću) kao što bi se rešio model istog sistema (basena), ali tretiranog kao sistem bez kontrolisane razmene, sve bazirano na klasičnim modelima tokova snaga. Pritom se "plaća cena" usložnjavanjem modela (pridodate jednačine kojima se opisuju razmane u sistemu), kao i povećanjem vremena potrebnog za zaokruženje jedne iteracije.

U ovom radu realizovana je sledeća ideja: model ma kako složene interkonekcije (Tabela I), primenom Brzog raspregnutog postupka se rešava u najviše istom broju iteracija kao što bi se rešio klasični model istog sistema (interkonekcije), ali tretiranog kao sistem bez kontrolisane razmene (potisnute jednačine razmene), i to na potpuno klasičan način - sa jednim balansnim čvorom. Pritom, za razliku od realizacije prethodne ideje, model koji se rešava ne samo da se ne usložnjava, već se znatno pojednostavljuje, kao što se nešto smanjuje i vreme za zaokruženje jedne iteracije. Ova je ideja realizovana na bazi sledeća dva fakta:

Fakt 1. - Delovanje primarne regulacije (i odstupanje učestanosti), delovanje sekundarne regulacije (globalni debalansi) i odstupanja razmena u ma kako složenoj interkonekciji nakon poremećaja, vrlo se brzo i vrlo tačno mogu proceniti samo na osnovu veličine i pripadnosti poremećaja osnovnim sistemima. Greške koje se pritom čine su jednake grešakama u proceni odstupanja promene gubitaka nakom poremećaja, a ove su relativno male.

Fakt 2. - Na osnovu ovako (vrlo dobro) procenjenih odstupanja injektiranih snaga interkonekcije nakon poremećaja, vrlo je dobro predodredjena preraspodela aktivnih snaga u njoj; u klasičnim modelima ta se preraspodela "neprirodno" predodredjuje injektiranjem samo u jednom - balansnom čvoru.

Na osnovu napred izloženog, za obradu modela prikazanih u Tabeli I (sva tri režima) predlaže se sledeći

A L G O R I T A M

(1) Ustanovljavanje referentnog režima (stanja) razmatrane iterkonekcije - X_{S_0}.

(2) Ustanovljavanje poremećaja, generalno, u svim čvorovima interkonekcije - ΔP_i, u obliku promene injektiranja aktivnih snaga (eksplicitno razmatranje ostalih poremećaja u ovom radu je potisnuto u drugi plan); integracija poremećaja po osnovnim sistemima, odnosno za celu interkonekciju, respektivno:

$$\Delta P^I = \sum_{i \in \alpha^I} \Delta P_i, \quad I=1,2,3,\ldots,L; \qquad \Delta P = \sum_{i=1}^{N} \Delta P_i;$$

(α^I je skup čvorova I-tog osnovnog sistema).

(3) Izbor režima koji se želi obradjivati - prvi, drugi ili treći, odnosno para sukcesivnih režima - prvi i drugi, ili prvi i treći (treći režim se nameće samo u slučaju da je $|\Delta P^I| > GD^I_H$).

(4) Usvajanje početne aproksimacije veličina odstupanja učestanosti interkonekcije (ΔF) i globalnih delabansa svih osnovnih sistema (GD^I, $I=1,2,\ldots,L$) saglasno Tabeli II.

(5) Izračunavanje levih strana relacija modela mreže (Tabela I), na osnovu usvojenih aproksimacija za odstupanje učestanosti i globalnih debalasa. (Ovde se i problem samoregulacije potrošača po naponu potiskuje u drugi plan, tj. $p_{vi}=q_{vi}=0$, $i=1,2,3,\ldots,N.$). Neka su tako dobijene injektirane snage u svih N čvorova sistema obeležene sa P_i i Q_i, $i=1,2,3,\ldots,N$.

(6) Izbor jedanog čvora kao referentnog s obzirom na uglove i balansnog s obzirom na aktivne snage. Neće se ništa izgubiti na opštosti ako je taj čvor takav da je injektirana aktivna snaga u njemu jednaka nuli nezavisno od režima ("prolazni čvor"). Neka taj čvor pripada prvom osnovnom sistemu i neka je indeksiran sa jedinicom (znači θ_1 je prespecificirana - poznata veličina i rešenje modela mora da sadrži $P_1=0$).

(7) Primenom Brzog raspregnutog postupka rešiti na klasičan način sistem od (2N-1) jednačine $P_i=P_i(X_S)$, $i=2,3,\ldots,N$; $Q_i=Q_i(X_S)$, $i=1,2,3,\ldots,N$; po nepoznatim veličinama sažetim u skupu $X=\{V_1,\theta_2,V_2,\theta_3,V_3,\ldots,\theta_N,V_N\}$, sa kriterijumom tačnosti ε, pa ustanoviti vektor stanja dobijenog režima - X_S; (Problem egzistencije čvorova tipa (PV)

|10|, bar jednog takvog čvora, potisnut je ovde u drugi plan).

(8) Na osnovu dobijenog vektora stanja X_S izračunati injektiranu aktivnu snagu u balansnom čvoru: $P_1 = P_1(X_S)$, i sledeće debalanse snaga razmena u svim osnovnim sistemima osim prvog: $\Delta P_R^l = P_{Ro}^l - B^l \Delta F - R^l(X_S)$.

(9) Za ustanovljeni kriterijum c sa kojim se završava Brzi raspregnuti postupak u koraku (7), izvršiti sledeće testove: $|P_1| \le c$; $|\Delta P_R^l| \le c$, $l=2,3,\ldots,L$. Ako bar jedan od ovih L testova nije zadovoljen, izvršiti korekcije prikazane u Tabeli III za obradjivani režim i preći na korak (5); Ako su svih L testova zadovoljeni, preći na korak (10).

(10) Proračun svih relevantnih veličina obradjivanog režima; KRAJ.

Tabela II - Početne aproksimacije karakterističnih veličina sva tri režima interkonekcije.

PRVI REŽIM	DRUGI REŽIM	TREĆI REŽIM
$\Delta F = -\Delta P / \sum_{l=1}^{L} K^l$	$\Delta F = 0$ *	$\Delta F = -(\Delta P^1 + GD_M^1)/(K^1 - \sum_{l=2}^{L} B^l)$
$GD^l = 0$*, $l=1,2,3,\ldots,L$	$GD^l = -\Delta P_l^l$, $l=1,2,3,\ldots,L$	$GD^1 = GD_M^1$*, $GD^l = -\Delta P^l + (B^l + K^l)\Delta F$, $l = 2,3,\ldots,L$

(* - *veličine koje se ne menjaju u toku iterativnog procesa*)

Tabela III - Korekcije početnih aproksimacja karakterističnih veličina.

PRVI REŽIM	DRUGI REŽIM	TREĆI REŽIM
$\Delta P (=) \Delta P - P_1$ $\Delta F = -\Delta P / \sum_{l=1}^{L} K^l$	ΔF se ne koriguje	$\Delta P^1 (=) \Delta P^1 - P_1$ $\Delta F = (-\Delta P^1 + GD_M^1)/(K^1 - \sum_{l=2}^{L} B^l)$
GD^l se ne koriguje $l=1,2,3,\ldots,L$	$GD^1 (=) GD^1 + P_1$ $GD^l (=) GD^l - \Delta P_R^l$, $l = 2,3,\ldots,L$	GD^1 se ne koriguje $GD^l (=) GD^l - \Delta P_R^l - B^l \Delta F$, $l = 2,3,\ldots,L$

Na osnovu opisa Algoritma očigledno je da se praktično celokupno vreme i memorija računara za njegovo sprovodjenje troše u koraku (7) - sprovodjenje Brzog raspregnutog postupka na klasičnom modelu razmatrane interkonekcije bez uvaženog opisa regulacije učestanosti i razmene u njoj. Tretman ove kontrole je obezbedjen usvajanjem početnih aproksiamacija karakterističnih veličina u koraku (4) - Tabela II, kao i korekcijama - -"prilagodjenjima" ("adjustments") izvedenim u koraku (9) - Tabela III. Da postupak konvergira očigledno je iz napred navedenih fakata 1 i 2.

Konačno, celokupni postupak prikazan koracima od (7) do (9) može se završiti u okviru obrade koraka (7), tako što testove iz koraka (8) i prilagodjenja opisana u koraku (9) - - Tabela III, treba ugraditi u sam iterativni Brzi raspregnuti postupak (korak (7)), u (Pθ) delu, i to jednu do dve iteracije pre definitivne konvergencije, odnosno nakon konvergencije postupka saglasno manje strogom kriterijumu c_1 od izabranog c, ($c_1 > c$).

Napred navedene karakteristike opisane procedure su verifikovane na aktuelnom elektroenergetskom sistemu istočne Jugoslavije, podeljenom na tri osnovna sistema |9|, kao i na elektroenergetskom sistemu Jugoslavije (1980) |3|, podeljenom na šest osnovnih sistema. Naime, Brzi raspregnuti postupak primenjen na klasičnim modelima oba sistema sa poremećajima, kada se celokupni debalans locira u jednom - balansnom čvoru, konvergira u tri do četiri iteracije polazeći od referentnog stanja, praktično za svaki poremećaj. Aktiviranjem prilagodjenja opisnih u Tabeli III, jednu ili dve iteracije pre definitivne konvergencije, napred opisani algoritam konvergira u istom broju iteracija za svaki poremećaj.

5. ZAKLJUČAK

Cilj rada je bio da se unapredi rešenje problema tokova snaga u svrhu on-line (i off-line) analize statičke sigurnosti složenih interkonekcija, kakav je jugoslovenski

elektroenergetski sistem. Problem tokova snaga je razmotren sa njegova dva osnovna aspekta: (1) model za proračun tokova snaga i (2) sam proračun modela. Osnovu rada čine moderni modeli, znatno obuhvatniji od klasičnih, rešeni fundamentalnim - osnovnim Brzim raspregnutim postupkom, primenjenim na način koji odgovara klasičnim - najjednostavnijim modelima za proračun tokova snaga elektroenergetskih sistema u izolovanom pogonu. U tom smislu ističu se sledeći momenti:

- o Samo tri (kvazi)stacionarna režima (stanja) su anticipirana radi prikaza ponašanja interkonektivnih sistema nakon poremećaja;
- o Dve karakteristične fizičke veličine - odstupanje učestanosti i globalni debalans - - uvedene su radi korektne interpretacije regulacije aktivnih snaga i učestanosti ma kako složenih sistema; pritom je u potpunosti eliminisan nerealan koncept balansnog čvora.
- o Stacionarni efekti samoregulacije potrošača i frekventnog rasterećenja mreže su vrlo jednostavno inkorporirani u predloženim modelima;
- o Princip neintervencije - osnovni princip pogona elektroenergetskog basena je baza razmatranih modela;
- o Matematički model basena se vrlo jednostanvo redukuje na problem osnovnog sistema u izolovanom pogonu, kao što se jednostavno i generalizuje u model interkonekcije sa po želji usvojenom hijerarhijskom strukturom regulacije učestanosti i razmene.
- o Predloženi modeli su potpuno kompatibilni sa najsavremenijim modelima ekvivalenata.
- o Procedura za proračun modela je svedena na osnovni Brzi raspregnuti postupak u njegovoj najjednostavnijoj primeni.
- o Programiranje predloženog algoritma je praktično svedeno na programiranje klasičnog osnovnog Brzog raspregnutog postupka.
- o Svi drugi efekti (naponsko-reaktivna regulaciona kontura itd.), iako potisnuti iz direktnih obrada, na očigledan način su obuhvaćeni predloženim modelima.

Saglasno napred izloženom, čini se da su uslovi u jugoslovenskoj elektroenergetskoj praksi potpuno sazreli da se unapredi stav o problemu proračuna tokova snaga u kontekstu on-line (i off-line) analize statičke sigurnosti.

6. LITERATURA

1. A.S.Debs, *Modern Power Systems Contol and Operation,* KLUWER ACADEMIC PUBLICHERS, Boston, MA, USA, 1988.
2. D.P.Popović i dr., *Studija statičke sigurnosti EES ZEP-a,* Inst. "NIKOLA TESLA", Beograd, 1987.
3. D.P.Popović i dr., *Analiza sigurnosti rada elektroenergetskog sistema Jugoslavije za karakteristične radne režime i poremećaje do 1990. godine,* Inst."NIKOLA TESLA", Beograd 1989.
4. D.P.Popovic, An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems, *Int. J. of Electrical Power and Energy Systems,* Vol. 10, No.2, April 1988., pp. 110-116.
5. M.Okamura et al., A New Power Flow Model and Solution Method Including Load and Generator Characteristics and Effects of Systems Control Devices, *IEEE Trans. on PAS,* Vol. PAS-94, No. 3, May/June 1975., pp. 1042-1050.
6. V.C.Strezoski, M.S.Ćalović, Steady-State Security Analysis Assuming Large Generation/Load Disturbances, *9th World Congress IFAC 84,* Budapest, Hungary, July 1984., paper 01.1/A-2.
7. F.C.Aschmoneit, J.F.Verstege, An External System Equivalent for On-Line Steady-State Generator Outage Simulation, *IEEE Trans. on PAS,* Vol. PAS-98, No. 3, May-June 1979., pp. 770-779.
8. V.Levi, M.Ćalović, V.Strezoski, Parameter Estimation of an Active PQ Equivalent of the External Power Network, *10th World Congress IFAC 87,* Muenchen, W.Germany, July 1987., paper 1.1-1/4.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vladimir C. Strezoski,
Viktor A. Levi,
Dragan P. Popović,

Referat broj 3.11

Institut za energetiku i elektroniku, Fakultet tehničkih nauka - Novi Sad,
Elektrotehnički institut "NIKOLA TESLA", Beograd.

PRIMENA STATIČKIH EKVIVALENATA ZA ANALIZU SIGURNOSTI JUGOSLOVENSKOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA U OKVIRU ZAPADNOEVROPSKE INTERKONEKCIJE

SADRŽAJ

Ovaj rad je motivisan težnjom da se funkcija analize statičke sigurnosti u jugoslovenskoj elektroenergetskoj praksi podigne na viši metodološki nivo. Glavni akcent je stavljen na modele statičkih ekvivalenata za off-line i on-line primenu. Favorizovanjem WARD-ovog u odnosu na DIMO-ov REI koncept, u radu je elaboriran model Aktivnog P-Q ekvivalenta kao sintetičkog modela ekvivalenata iz domena prvog koncepta. Opisane su mogućnosti njegove primene u jugoslovenskoj praksi, kao i njegova verifikacija prilikom zamene mreže UCPTE u svrhu (off-line) analize statičke sigurnosti jugoslovenskog elektroenergetskog sistema.

ABSTRACT - This paper is motivated by the authors' intention for raising the level of methodologies for steady-state security assessment within Yugoslav power pool. The emphasis is placed on the procedure for equivalencing of external networks. The both basic models, WARD and DIMO (REI) equivalents, are discussed. On the base of the first concept, the model of the Active P-Q equivalent is proposed as a very convenient solution for the Yugoslav electric power practice. This model is applied on the UCPTE network in the process of off-line steady-state security assessment within Yugoslav power pool.

1. UVOD

Pripadnost jugoslovenskog elektroenergetskog basena zapadnoevropskoj interkonekciji (UCPTE), čiji su i pogon i obrada zasnovani na savremenim principima, nameću obavezu sličnog prilaza našem sistemu. Osnovu analize statičke sigurnosti interkonekcija čine modeli za proračun tokova snaga i naponskih stanja (modeli tokova snaga) sa inkorporiranim modelima statičkih ekvivalenata. Ovi ekvivalenti su osnovni problem koji se obradjuje u ovom radu. Složenost tih modela je posledica složenosti strukture savremenih interkonekcija. Ta je struktura zasnovana na organizaciji automatske regulacije učestanosti i snage razmene (*regu-*

lacije učestanosti i razmene) u njima, koja se realizuje dejstvom elektrana koje učestvuju u primarnoj i sekundarnoj regulaciji *(primarne i sekundarne elektrane)*. Osnovni nivo te strukture koincidira sa pojmom *osnovnog sistema* ("area") |1|. Ako se uoči skup *graničnih čvorova interkonekcije*, tada svaki od osnovnih sistema preko tih čvorova, saglasno utvrdjenim principima, razmenjuje električnu energiju sa preostalim delom interkonekcije |1|.

Modeli ekvivalenata napred opisane interkonekcije zasnivaće se na anticipaciji tri (kvazi)stacionarna - *karakteristična* - režima, u kojima se može naći interkonekcija nakon bilo kakvog poremećaja (u topologiji i parametrima, u aktivnim i reaktivnim snagama) referentnog režima |1|: (1) Prvi režim je kvazi-stacionarni režim koji se uspostavlja nakon završetka dejstva primarne regulacije; (2) Drugi režim je (kvazi)stacionarni režim koji se uspostavlja nakon završetka dejstva sekundarne regulacije, sa učestanošću na referentnoj vrednosti ($\Delta F=0$), kada u svakom osnovnom sistemu u kojem se desio poremećaj ima dovoljno sekundarne regulacione rezerve za pokrivanje sopstvenog poremećaja; (3) Treći režim je kvazi-stacionarni režim koji se uspostavlja samo ako se ne može uspostaviti drugi režim, tj. ako sekundarna regulaciona rezerva bar u jednom osnovnom sistemu nije dovoljna za pokrivanje sopstvenog poremećaja; učestanost u ovom režimu odstupa od referentne ($\Delta F\neq 0$).

Modeli interkonekcije koji obuhvataju ova tri karakteristična režima, kao i postupci za njihovo rešavanje, u potpunosti su obradjeni u referenci |1|. Ovde je reč o inkorporiranju ekvivalenata u te modele. Modeli ekvivalenata, kada je u pitanju analiza statičke sigurnosti, treba da poseduju sledećih pet osnovnih karakteristika:

(1) da budu dovoljno malih dimenzija, ali da sadrže dovoljno informacija o sistemu koji je njima zamenjen,

(2) da su potpuno saglasni sa standardnim modelima tokova snaga, tj. da se baziraju na jednačinama i varijablama istog tipa,

(3) da dovoljno korektno prikazuju odziv sistema koji je njima zamenjen prilikom poremećaja topološke prirode,

(4) da dovoljno korektno prikazuju odziv prilikom poremećaja u reaktivnim snagama,

(5) da dovoljno korektno prikazuju odziv prilikom poremećaja koji dovode razmatranu interkonekciju u bilo koji od tri napred opisana karakteristična režima.

U drugom delu ovog rada razmatrana su dva osnovna modela: (1) WARD-ov i (2) DIMO-ov REI (Radial Equivalent Independent) ekvivalent. Favorizovanjem WARD-ovog modela, u trećem delu rada prikazani su unapredjeni WARD-ovi ekvivalenti sa posebnim akcentom na Aktivni P-Q ekvivalent. Mogućnosti aplikacije ovog modela ekvivalenta radi zamene mreže UCPTE prema jugoslovenskom basenu obradjene su u četvrtom delu rada. U petom delu data su zaključna razmatranja i perspektive daljeg razvoja ove materije u Jugoslaviji. U šestom delu je data korišćena literatura. Na kraju, u Prilogu, opisana je jedna već realizovana primena ovog ekvivalenta.

2. OSNOVNI MODELI EKVIVALENATA

Osnovu modela ekvivalenata čine dva klasična koncepta: (1) WARD-ov model objavljen četrdesetih godina |2|; (2) DIMO-ov REI ekvivalent objavljen šezdesetih godina |3,4|.

Na Slici 1a prikazana je interkonekcija koju čine *sistem od interesa* (SI) i *spoljni sistem* (SS). Jedine elektroenergetske veze ta dva sistema su preko *poveznih grana* (PG). Čvorovi tih grana koji pripadaju sistemu od interesa (k,l,m) proglašeni su graničnim čvorovima (GS). Kriterijumi za opisanu podelu interkonekcije mogu biti različiti. Ako je u pitanju analiza statičke sigurnosti, tada se pod sistemom od interesa podrazumeva osnovni sistem ili basen (ili neka viša hijerarhijska struktura |1|), koji se modeluje u potpunosti

radi proračuna režima interkonekcije nastalih nakon poremećaja isključivo u tom delu, sa iskazanim interesom posebno o stanju tog dela interkonekcije. Preostali deo interkonekcije definiše se kao spoljni sistem. On se zamenjuje - ekvivalentira aproksimativnim modelom.

Model WARD-ovog ekvivalenta: Bez pretenzija da se obrade svi aspekti WARD-ovog koncepta ekvivalentiranja, ovde će njegova suština biti izložena kroz, u literaturi favorizovanu varijantu, tzv. "WARD-ov injekcioni model" (Slika 1b), čije se izvodjenje sastoji od sledeća dva koraka |5|:

(1) Redukcija - "svodjenje" celokupne topologije spoljnog sistema na granične čvorove, odnosno generisanje ekvivalentnih grana;

(2) Redukcija - svodjenje injektiranih kompleksnih snaga u čvorove spoljnog sistema na granične čvorove, odnosno generisanje ekvivalentnih injektiranih snaga.

Tehnika izvodjenja prvog koraka se sastoji u Gauss-ovoj redukciji "retke" matrice admitansi (Y_{BUS}) spoljnog sistema. Na osnovu tako dobijene ekvivalentne topologije, kao i poznatih fazora napona svih čvorova (pa i graničnih) sistema od interesa u referentnom režimu, nije teško proračunati ekvivalentne injektirane snage WARD-ovog ekvivalenta (drugi korak). Za ovakav, osnovni WARD-ov ekvivalent potrebno je konstatovati sledeće:

(1) Za njegovo izvodjenje potrebno je poznavati topološku strukturu i parametre spoljnog sistema, kao i referentni režim sistema od interesa (uključeni granični čvorovi). Upravo ova njegova jednostavnost čini ga vrlo atraktivnim za primenu;

(2) Kod ekvivalentnih grana i injektiranih snaga u potpunosti je zapažena priroda parametara grana i injektiranih snaga spoljnog sistema, čime se ne unose nikakve dodatne numeričke teškoće (npr. relativno veliki odnosi R/X |6|) u odnosu na one vezane za rešavanje potpunog modela spoljnog sistema;

(3) S obzirom na fiksirana ekvivalentna injektiranja, domen primene ovog ekvivalenta u analizi statičke sigurnosti je ograničen na poremećaje u sistemu od interesa koji ne izazivaju značajne promene režima graničnih čvorova.

DIMO-ov REI ekvivalent: Bez obzira na dubok smisao ovog modela ekvivalenta |4|, on će ovde biti razmotren samo sa aspekta njegove primene u analizi statičke sigurnosti. U njegovoj osnovnoj - suštinskoj varijanti on se zasniva na jednom fiktivnom REI čvoru u kojem su integrisane sve injektirane snage u čvorove spoljnog sistema. Taj je čvor povezan za sve granične čvorove preko zvezde ekvivalentnih admitansi. Za ovakav osnovni DIMO-ov ekvivalent potrebno je konstatovati sledeće:

(1) Za njegovo izvodjenje, pored poznavanja topološke strukture i parametara, potrebno je poznavati i referentni režim spoljnog sistema (!!!). Upravo se zbog ovog zahteva, ponekad, DIMO-ov model potiskuje WARD-ovim ekvivalentom.

(2) Kod ekvivalentnih admitansi DIMO-ovog ekvivalenta, za razliku od WARD-ovog, nije zapažena priroda parametara grana spoljnog sistema, čime se često unose dodatne numeričke teškoće (npr. relativno veliki odnosi R/X i promena njihove prirode |6|) u odnosu na one vezane za potpun model spoljnog sistema.

(3) S obzirom na fiksirane injektirane snage fiktivnog REI čvora, domen primene ovog ekvivalenta u analizi statičke sigurnosti je sličan sa domenom primene WARD-ovog modela.

(4) Koliko god je lako izvršiti (eventualne) potrebne korekcije injektiranja u REI čvoru, uslovljene odgovarajućim promenama injektiranja u čvorove spoljnog sistema, toliko je teško to uraditi sa parametrima ekvivalentiranih grana u koje je "ugradjen" referentni režim.

Osnovni nedostaci ovog modela, vezani za analizu poremećaja u bilansima aktivnih i reaktivnih snaga, nisu otklonjeni. U slučaju WARD-ovog ekvivalenta, teorija i praksa u svetu

govore o relativno uspešnom otklanjanju tih nedostataka. Upravo zbog toga autori ovog rada favorizuju WARD-ov koncept ekvivalentiranja.

3. UNAPREDJENI MODELI WARD-OVOG EKVIVALENTA

Nedostaci vezani za fiksirana ekvivalentna injektiranja u granične čvorove inicirali su nadgradnju osnovnog WARD-ovog ekvivalenta usmerenu ka "aktiviranju" njegove reakcije na planu aktivnih i reaktivnih snaga. Hronološki, WARD-ov ekvivalent je proširen modifikacijama u vezi sa reaktivnim snagama: "Prošireni WARD-ov ekvivalent" (PWE)|7| i "Generalizovani WARD-ov ekvivalent" |8|. Dok je ovaj drugi model s pravom potiskivan zbog njegove nesaglasnosti sa standardnim modelima za proračun tokova snaga, dotle model PWE praktično zadovoljava potrebe analize statičke sigurnosti kada su u pitanju poremećaji u naponsko-reaktivnim prilikama. Njegova ilustracija data je na Slici 1c. On se sastoji od fiktivnih čvorova (k',l',m') povezanih fiktivnim granama za granične čvorove (k,l,m). Ti čvorovi sa priključenim generatorima (G'_k,G'_l,G'_m) su tipa (P,V). U njima su moduli napona fiksirani na vrednosti napona korespondentnih graničnih čvorova u referentnom režimu (V^o_k,V^o_l,V^o_m). Injektirane aktivne snage u njima su uvek nula. Očigledna je krucijalna osobina ove modifikacije WARD-ovog modela ekvivalenta: za pad naponskih prilika u sistemu od interesa, iz ekvivalenta u njega "dolazi" reaktivna snaga, i obrnuto. Veličina i distribucija te snage na granične čvorove odredjena je izborom admitansi fiktivnih grana. Algoritam za proračun vrednosti tih admitansi se sastoji u Gauss-ovoj redukciji modifikovane matrice admitansi spoljnog sistema |7|. Pored podataka potrebnih za izvodjenje osnovnog WARD-ovog modela akvivalenta, za izvodjenje modela PWE potrebno je poznavati još samo lokacije čvorova tipa (P,V) u topološkoj strukturi spoljnog sistema. Njegov definitivni nedostatak leži u njegovoj pasivnosti s obzirom na poremećaje aktivnih snaga. Taj nedostatak se ogleda u tome da se njime teško mogu obradjivati prvi i treći od karakterističnih režima opisanih u Uvodu, tj. režimi sa učestanošću različitom od referentne ($\Delta F \neq 0$).

Dalji razvoj unapredjenih WARD-ovih modela ekvivalenata bio je usmeren ka eliminaciji i poslednjeg, napred navedenog nedostatka vezanog za debalanse aktivnih snaga. Jedna varijanta razrešenja tog problema predložena je od strane Aschmoneit-a i Verstege-a u referenci |9| (Slika 1d). Taj ekvivalent (AWE) sastoji se od generatora direktno priključenih u granične čvorove (G''_k, G''_l, G''_m), sa uvek nultom injektiranom reaktivnom snagom, ali sa aktivnom snagom srazmernom odstupanju učestanosti (ΔF) interkonekcije čiji su delovi njime zamenjeni. Ovaj je model namenjen proračunu isključivo režima tipa prvog od tri opisana karakteristična režima u Uvodu ovog rada. To su kvazi-stacionarni režimi koji se uspostavljaju nakon završetka dejstva primarne, a pre početka dejstva sekundarne regulacije. Frekventne karakteristike fiktivnih generatora (k''_k,k''_l,k''_m) predstavljaju "svedene" frekventne karakteristike svih primarnih elektrana spoljnog sistema na granične čvorove. Tehnika njihovog izvodjenja je u potpunosti sadržana u prvom - (PΘ) delu Stott-ovog brzog raspregnutog postupka za proračun tokova snaga. Očigledno je da je pored zahteva za osnovni WARD-ov model, za izvodjenje ovog modela potrebno poznavati frekventne karakteristike primarne regulacije elektrana spoljnog sistema.

Saglasno izloženim razmatranjima, opisane ekvivalente prate sledeća dva nedostatka:

(1) Nemogućnost obrade režima tipa trećeg od tri opisana režima u Uvodu ovog rada. Taj režim se odnosi na nedostatak sekundarne regulacione rezerve za pokrivanje sopstvenog poremećaja u sistemu od interesa. Ovo naročito dolazi do izražaja ako u nekim od osnovnih sistema razmatrane interkonekcije nije zastupljen osnovni princip pogona basena - princip neintervencije |1|.

(2) U referenci |9| nije izvršena integracija, tj. "uklapanje" modela PWE i AWE. Tamo su, pored osnovnih fiktivnih generatora aktivnih snaga (G''_k, G''_l, G''_m), priključenih direktno u granične čvorove (k,l,m), u fiktivne čvorove PWE (k',l',m') priključeni posebni fiktivni generatori reaktivnih snaga (G'_k, G'_l, G'_m).

Aktivni P-Q ekvivalent

Aktivni P-Q ekvivalent (APQE) |10| (slika 1e) predstavlja model u kojem su razrešena i napred opisana dva nedostatka unapredjenih WARD-ovih modela ekvivalenata. Prvi nedostatak razrešen je uvažavanjem i dejstava sekundarne regulacije u spoljnom sistemu i to za varijantu kada, u opštem slučaju, nije zastupljen osnovni princip neintervencije u regulaciji osnovnih sistema razmatrane interkonekcije |1|. Pored toga, dejstva fiktivnih generatora PWE i onih AWE integrisana su u jedinstvene generatore (G_k, G_l, G_m) priključene u fiktivnim čvorovima PWE (k',l',m'), sa odgovarajućim frekventnim karakteristikama (k_k, k_l, k_m). Tako, u ove čvorove (fiktivne čvorove modela PWE) integrisana je reakcija spoljnog sistema i po aktivnim i po reaktivnim snagama. Detaljno izvodjenje ovog ekvivalenta prikazano je u referenci |10|. U svrhu tog izvodjenja, pored zahteva potrebnih za izvodjenje osnovnog WARD-ovog modela, PWE i AWE, potrebno je poznavati regulacione konstante (B) i koeficijente samoregulacije (K) svih osnovnih sistema koji čine spoljni sistem |1|. Za proračun frekventnih karakteristika ekvivalentnih generatora (k_k, k_l, k_m) korišćen je vrlo jednostavan postupak koji se zasniva na Gauss-ovoj redukciji modifikovane matrice admitansi spoljnog sistema |10|. Opštost APQE je očigledna na osnovu mogućnosti da se on redukuje na bilo koji od unapredjenih modela WARD-ovih modela ekvivalenata:

(1) Ustanovljavanjem nultih vrednosti admitansi fiktivnih grana prikazanih na Slici 1e, APQE se svodi na osnovni WARD-ov ekvivalent prikazan na Slici 1b;

(2) Ustanovljavanjem nultih vrednosti frekventnih karakteristika ekvivalentnih generatora ($k_k=k_l=k_m=0$), APQE se svodi na PWE prikazan na Slici 1c;

(3) Ustanovljavanjem "vrlo velikih" vrednosti admitansi fiktivnih grana, tj. "integrisanjem" fiktivnih (k',l',m') u granične čvorove (k,l,m), i postavljanjem reaktivnih snaga (Q_k, Q_l, Q_m) na nulu, APQE se svodi na oblik AWE prikazan na Slici 1d.

Sa ovako odredjenim karakteristikama ekvivalentnih generatora APQE, suštinske osobine ovog ekvivalenta su sledeće:

(1) Sumarna aktivna i reaktivna snaga fiktivnih generatora je jednaka sumarnoj inkrementalnoj aktivnoj i reaktivnoj snazi svih regulacionih elektrana spoljnog sistema svedenih na granične čvorove, u svakom režimu razmatrane interkonekcije.

(2) Distribucija te snage na granične čvorove izvršena je saglasno "električnoj blizini" pomenutih izvora aktivnih i reaktivnih snaga pojedinim graničnim čvorovima.

Saglasno izloženoj materiji, model APQE ima svih pet osnovnih karakteristika (odredjenih u Uvodu), koje treba da poseduje model ekvivalenta da bi bio primeren potrebama analize statičke sigurnosti. Treća, četvrta i peta od njih su očigledne. Što se tiče prve karakteristike (zahtev za malim dimenzijama modela ekvivalenta), njeno ispunjenje sledi direktno iz činjenice da je dimenzija modela jednaka broju graničnih čvorova.

Što se tiče druge od navedenih pet karakteristika (saglasnost modela ekvivalenta sa savremenim modelima tokova snaga), dovoljno je pomenuti modele (i postupke) prezentirane u referencama |1| i |11|. U tim referencama su obradjeni modeli ma kako složenih interkonekcija sa uvaženom regulacijom učestanosti i razmene.

4. IDENTIFIKACIJA AKTIVNOG P-Q EKVIVALENTA UCPTE PREMA JUGOSLOVENSKOM BASENU

Interkonekciju UCPTE čini skup nacionalnih elektroenergetskih basena, trenutno bez jedinstvenog upravljačkog centra, tj. centra sa ingerencijama višeg nivoa od ingerencija upravljačkih centara basena iz njenog sastava. Svaki od tih basena je sačinjen od više (npr. Zapadna Nemačka), ili samo od jednog osnovnog sistema (npr. Francuska). Nivo razmene informacija izmedju tih basena je relativno skroman. On još uvek nije na nivou potrebnom u svrhu direktne primene modela ekvivalenata u analizi statičke sigurnosti. Taj potrebni nivo bi se sastojao od razmene sintetizovanih informacija o:

- Topološkoj strukturi svakog basena, tj. o mrežama WARD-ovog ekvivalenta;
- Strukturi regulacije napona i reaktivnih snaga u sopstvenim čvorovima tipa (P,V), tj. o fiktivnim granama PWE;
- Strukturi i veličini primarne i sekundarne regulacione rezerve, tj. frekventne karakteristike ekvivalentnih generatora APQE.

Dakle, mreži UCPTE se ne može dati napred opisani status "potpuno poznate" mreže, za koju je moguće direktno postaviti ekvivalent prema jugoslovenskom basenu u svrhu analize njegove statičke sigurnosti. Zbog toga, istraživanja u okviru ove problematike znatno je sigurnije zasnivati na konceptu jugoslovenskog upravljačkog centra - JUGEL, sa skromnijim mogućnostima:

(1) Stalna raspoloživost podataka o aktuelnim osnovnim mrežama samo onih basena sa kojima je jugoslovenski basen elektroenergetski direktno povezan;
(2) Stalna raspoloživost aktuelnih podataka o relevantnim "jakim" čvorištima sa kontrolisanim modulima napona u istim mrežama;
(3) Stalna raspoloživost aktuelnih stanja graničnih čvorova sa UCPTE (fazori napona i bilansi kompleksnih snaga tipa uvoz-izvoz).

U ovakvoj varijanti, mreži UCPTE bi se mogao dati status "delimično poznate" mreže, pa na odgovarajući način prići problemu njenog ekvivalentiranja.

Konačno, tretman mreže UCPTE (spoljnog sistema) kao "potpuno nepoznate mreže" nameće potrebu za rešavanjem problema identifikacije parametara modela ekvivalenata potpuno nepoznatog spoljnog sistema samo na osnovu podataka koji su raspoloživi. Ti podaci su tzv. *interni podaci* o režimima u jugoslovenskom basenu, skupljeni nakon poremećaja (spontanih ili svrsishodno izazvanih) u njemu. Ova problematika nije nepoznata u svetskoj teoriji i praksi, ali su uočeni veliki problemi vezani za identifikaciju potpuno nepoznatih mreža, odnosno njihovih ekvivalenata, samo na osnovu internih podataka. Iz tog razloga, uz činjenicu da mreža UCPTE nije potpuno nedostupna jugoslovenskom elektroenergetskom sistemu, ovakav se njen status ne obradjuje u ovom radu. Ovaj je problem mnogo detaljnije elaboriran u referenci |12|. Tamo se daje i pregled odgovarajuće svetske i domaće literature.

Bez obzira što se u evropskoj stručnoj javnosti nagoveštavaju mogućnosti razmene sintetizovanih informacija izmedju upravljačkih centara elektroenergetskih basena |13|, autori ovog rada se opredeljuju za kompromis izmedju navedene dve ekstremne situacije, a to je davanje mreži UCPTE statusa delimično poznate mreže. U tom smislu formulišu se dve prepostavke i jedna činjenica:

Prva pretpostavka: Može se smatrati da osnovne mreže basena UCPTE sa kojima je jugoslovenski basen direktno povezan (Italija i Austrija) nisu potpuno nepoznate. Može se očekivati da će uvodjenjem jugoslovenskog upravljačkog centra nivo poznavanja tih mreža porasti. Poznavanje njihovih osnovnih topoloških struktura znači i poznavanje relevantnih jakih čvorišta u kojima se izvorima reaktive snage održavaju "čvrste" naponske prilike. Saglasno sa tim može

se pretpostaviti: topološka struktura i tačke čvrstog napona u basenima koji neposredno okružuju jugoslovenski basen su "dovoljno" poznate.

Druga pretpostavka: Može se sa sigurnošću tvrditi da se u "elektroenergetski - električno dovoljno udaljenim" delovima interkonekcije UCPTE "ne osećaju" poremećaji naponskih prilika (bilansa reaktivnih snaga) u jugoslovenskom basenu. Na takve poremećaje aktiviraju se uglavnom izvori reaktivne snage u čvorištima u kojima se održavaju čvrsti naponi u jugoslovenkom basenu, kao i takvi izvori iz njegove neposredne "elektroenergetske okoline". Za udaljenije delove mreže UCPTE, ti poremećaji postaju sve beznačajniji. Saglasno sa tim može se pretpostaviti: u čvorovima na dovoljnoj električnoj udaljenosti od jugoslovenskog basena mogu se fiksirati (unapred specificirati) fazori napona i razmene reaktivnih snaga sa ostatkom mreže UCPTE, nezavisno od poremećaja naponsko-reaktivnih prilika, a pogotovu onih topološke prirode, u jugoslovenskom basenu. Neka su ti čvorovi granični čvorovi basena Italije i Austrije sa ostatkom UCPTE. (Tek iskustvo treba da pokaže da li je ovako odredjena zona preširoka, ili je možda treba proširiti.)

Činjenica: Bez obzira u kom delu UCPTE se nalazi primarna elektrana (sa frekventnom karakteristikom različitom od nule), ona će se aktivirati nakon poremećaja aktivnih snaga u jugoslovenskom basenu, koji dovodi celu interkonekciju u režim sa učestanošću različitom od referentne. Njena inkrementalna aktivna snaga, umanjena za "usputne" gubitke, "stići će" do jugoslovenskog basena preko njegovih graničnih čvorova.

Saglasno prvoj i drugoj pretpostavci, celokupna interkonekcija UCPTE, vidjena iz jugoslovenskog basena, može se modelovati uvažavajući samo osnovne mreže basena iz njegove neposredne okoline (Italija i Austrija) do njihovih graničnih čvorova sa preostalim delom UCPTE. (Nepoznate) reaktivne snage razmene u tim čvorištima su konstantne, nezavisne od topoloških i poremećaja u naponsko-reaktivnim prilikama u jugoslovenskom basenu, te se mogu smatrati fiksiranim injektiranjima u te čvorove. Sa tim se značajno redukuje (pojednostavljuje) model cele mreže UCPTE.

Ako se uzme u obzir izloženi postupak za izvodjenje modela PWE, raspolažući sa napred opisanim tretmanom interkonekcije UCPTE vidjene iz jugoslovenskog basena, nije teško ustanoviti korektan model PWE. On se dobija obradom relativno male i relativno poznate mreže (Italija i Austrija), a sastoji se od WARD-ovih ekvivalentnih grana i fiktivnih grana PWE. Time je rešen problem najvećeg dela postavljanja modela APQE za zamenu mreže UCPTE prema jugoslovenskom basenu. Ostaju da se obrade samo frekventne karakteristike ekvivalentnih generatora ovog ekvivalenta.

Saglasno sa napred formulisanom činjenicom, proceduru identifikacije frekventnih karakteristika generatora modela APQE nije moguće izbeći osim, naravno, ako se poznaju topološka struktura i frekventne karakteristike generatora celokupne interkonekcije UCPTE. U referencama |14,15| pokazano je i dokazano da je za ovu proceduru potrebno raspolagati sa inkrementalnim aktivnim snagama razmene u graničnim čvorovima jugoslovenskog basena nakon najviše dva poremećaja aktivnih snaga u njemu, sa učestanošću interkonekcije različitom od referentne. To praktično znači da za odredjivanje tih karakteristika treba ustanoviti promenu razmena aktivnih snaga na graničnim čvorovima, nakon kvantitativno ustanovljenog poremećaja aktivne snage u jugoslovenskom basenu, pre početka delovanja sekundarne regulacije. Najveći potreban (dovoljan) broj ovih "merenja" je dva. Ova je činjenica verifikovana u toku obrade studije |12|, što je ukratko prikazano u Prilogu.

Predložena kompromisna procedura odredjivanja modela APQE mreže UCPTE, za potrebe analize statičke sigurnosti jugoslovenskog basena, sa ovim je završena. Naravno, nju nije teško prestruktuirati (skrenuti) u pravcu adekvatnom drugačijem razvoju informacionog sistema interkonekcije UCPTE (pa i jugoslovenskog) od onog koji je napred opisan. Svakako,

osnovnu pretpostavku za ustanovljavanje bilo kakve procedure čini koncept jugoslovenskog elektroenergetskog informacionog sistema. U studiji |12| obradjene su i dve alternativne - - pojednostavljene varijante ovde obradjenog APQE.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PERSPEKTIVE RAZVOJA MODELA EKVIVALENATA

U ovom su radu analitički obradjeni raspoloživi modeli ekvivalenata potrebni za analizu statičke sigurnosti interkonektivnih elektroenergetskih sistema. Poseban akcent je stavljen na mogućnost primene ekvivalenata u tekućim i perspektivnim prilikama jugoslovenskog elektroenergetskog sistema - basena u okviru evropske interkonekcije UCPTE. Od dva osnovna modela, WARD-ovg i DIMO-ovg (REI) ekvivalenta, prvi je favorizovan u odnosu na drugi. Iz njega je izveden model Aktivnog P-Q ekvivalenta.

Razmatrajući perspektivne (i tekuće) prilike jugoslovenskog basena, predložena je kompromisna procedura za izvodjenje parametara Aktivnog P-Q ekvivalenta interkonekcije UCPTE prema njemu. Taj kompromis se zasniva na pretpostavci o poznavanju dela osnovne mreže UCPTE koji je neposredno vezan za jugoslovenski basen. Time se izbegava složena procedura identifikacije topologije i parametara Aktivnog P-Q ekvivalenta UCPTE tretirane kao potpuno nepoznate mreže. Ono što ipak ostaje za identifikaciju su frekventne karakteristike ekvivalentnih generatora. U tu svrhu predložen je jedan vrlo jednostavan postupak. Za njegovo izvodjenje dovoljno je raspolagati sa inkrementalnim aktivnim snagama u graničnim čvorovima jugoslovenskog basena (sada tri, a u bliskoj budućnosti četiri čvora) nakon najviše dva spontana ili svrsishodno izazvana poremećaja aktivnih snaga u njemu, sa učestanošću interkonekcije različitom od referentne (pre početka delovanja sekundarne regulacije).

Na kraju, autorima ovog rada čini se da je ovim tekstom otvoren i trasiran put razvoja i aplikacije savremenih modela statičkih ekvivalenata u funkcijama upravljanja (i drugim) jugoslovenskog elektroenergetskog basena. Naravno, predstoji značajan rad potreban za sagledavanje svih praktičnih aspekata vezanih za ovakve aplikacije. Neki od njih su naznačeni u radu.

6. LITERATURA

1. V.C.Strezoski, D.S.Popović, D.M.Purtić, Metodologija za on-line analizu statičke sigurnosti interkonektivnih elektroenergetskih sistema, *VIII STRUČNO SAVETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE*, Cavtat, 1990.
2. J.B.Ward, Equivalent Circuit for Power-Flow, *AIEE Trans. on PAS*, Vol. 68, 1949., pp. 373-382.
3. P.Dimo, *Analiza nodala a sistemelor electroenergetice*, Bucuresti, Editura Academei RSR, 1968.
4. P.Dimo, *Modele REI si indicatori de stare. Sisteme Energetice*, Editura Academie RSR, 1979.
5. S.Deckmann, A.Pizzolante, A.Monticelli, B.Stott, O.Alsac, Studies on Power System Load Flow Equivalencing, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 99, 1980., pp. 2301-2310.
6. F.F.Wu, Theoretical Study of the Convergence of the Fast Decoupled Load Flow, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 96, 1977., pp. 273-280.
7. A.Monticelli, S.Deckmann, A.Garcia, B.Stott: Real-Time External Equivalent for Static Security Analysis, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 98, 1979., pp. 498-508.
8. R.A.M. van Amerongen, H.P. van Meeteren, A Generalised Ward Equivalent for Security Analysis, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 101, 1982., pp. 1519-1526.
9. F.C.Aschmoneit, J.F.Verstege, An External System Equivalent for On-Line Steady-State

Generator Outages Simulation, *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 98, 1979., pp. 770-779.

10. V.Strezoski, Jedan aktivni ekvivalent za analizu statičke sigurnosti povezanih elektroenergetskih sistema, *Elektroprivreda*, 1985., br. 11-12, str. 427-437.
11. D.P.Popović, An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems, *Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 10, No.2, April 1988., pp. 110-116.
12. D.Popović, Z.Tonković, V.Strezoski, V.Levi, *Analiza sigurnosti rada elektroenergetskog sistema Jugoslavije za karakteristične radne režime i poremećaje do 1990. godine*, studija za JUGEL, Inst. "NIKOLA TESLA", Beograd, 1989.
13. D.Denzel, F.R.Graf, J.F.Verstege, Identification of External Network Equivalents from Estimated Internal System States, *Proc. of the 6th PSCC*, 1978., Darmstadt, W. Germany, pp. 752-759.
14. V.Levi, M.Ćalović, V.Strezoski, Analiza statičke sigurnosti primenom estimiranih ekvivalenata elektroenergetskih sistema, *Elektrotehnički vjesnik*, 1988., br. 1, str. 41-48.
15. V.Levi, M.Ćalović, V.Strezoski, Parameter Estimation of an Active PQ Equivalent of the External Power Network, *10th World Congress IFAC 87*, Muenchen, W.Germany, 27-31. July 1987., Paper No. 1.1-1/4.
16. D.P.Popović i dr., *Tehnički aspekti paralelnog rada elektroenergetskih sistema Albanije, Grčke i Jugoslavije*, Inst., "NIKOLA TESLA", Beograd, 1989.

7. PRILOG - Primena Aktivnog P-Q ekvivalenta

Aktivni P-Q ekvivalent (APQE), u nešto pojednostavljenoj varijanti, primenjen je u off-line analizi statičke sigurnosti aktuelnog elektroenergetskog sistema Jugoslavije, prezentirane u studiji |12|. U njoj je ceo jugoslovenski basen tretiran kao sistem od interesa dok je mreža zapadnoevropske interkonekcije UCPTE (i Grčka) tretirana spoljnim sistemom koji je zamenjen modelom APQE. Dimenzija modela ekvivalenta iznosila je četiri s obzirom na četiri granična čvora saglasno sledećim elektroenergetskim vezama: (1) Italija 400 kV (I400), (2) Italija 220 kV (I220), (3) Austrija 220 kV (A220) i (4) Grčka 400 kV (G400). Elektroenergetske veze sa Albanijom i istočnoevropskim basenima, s obzirom na drugačiju prirodu u odnosu na vezu sa UCPTE, bile su obradjene na odgovarajući način mimo modela ekvivalenta.

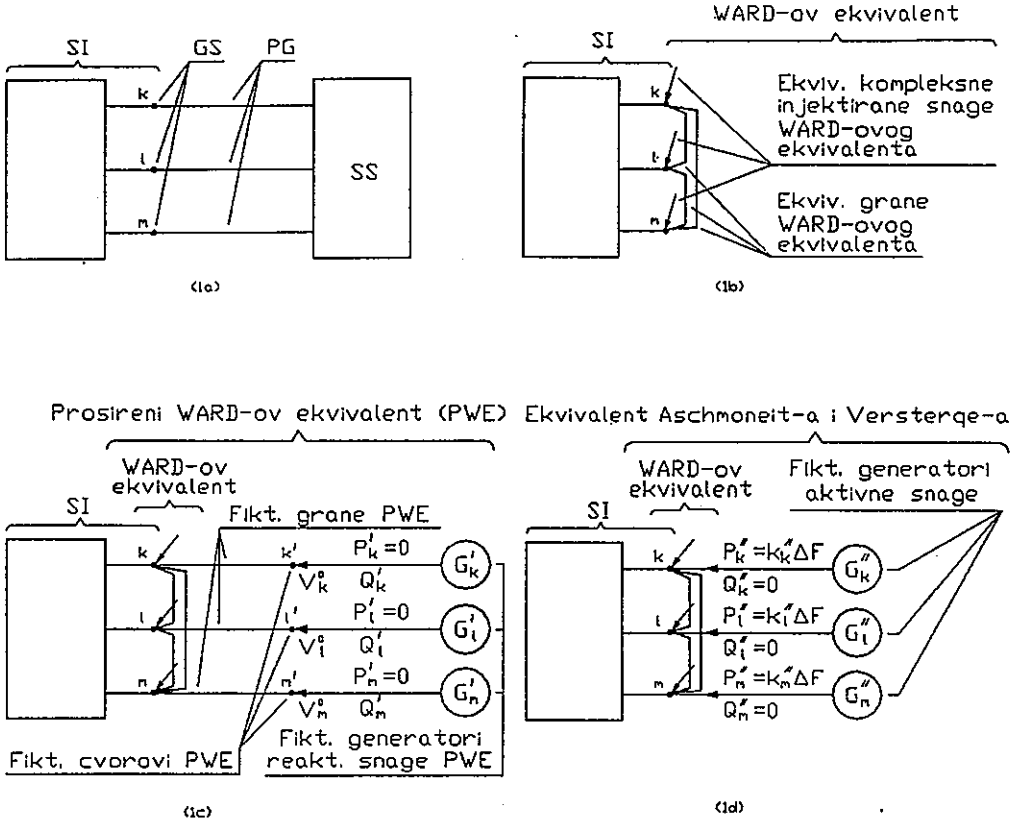
Iz interne dokumentacije Dispečerske službe ZJE na raspolaganju su bili dijagrami odstupanja aktivnih snaga razmene na dalekovodima prema Italiji i Austriji, kao i vremenski tokovi odstupanja učestanosti nakon niza registrovanih poremećaja u jugoslovenskom basenu, u periodu 1986.-1989.godine. Iz odnosa odstupanja aktivne snage razmene i odstupanja učestanosti (nakon delovanja primarne regulacije) izračunate su frekventne karakteristike ekvivalentnih generatora priključenih u tri granična čvora: I400, I220 i A220. Frekventna karakteristika u vezi sa četvrtim graničnim čvorom, prema Grčkoj (G400), izvedena je na osnovu materijala prikazanog u studiji |16|. Te karakteristike za 1988. i 1990. godinu prikazane su u Tabeli P.I.

Tabela P.I. - Frekventne karakteristike ekvivalentnih generatora APQE mreže UCPTE (i Grčke).

GR.ČVOR / GODINA	I400	I220	A220	G400
1988.	-9302	-2774	-4243	-1360
1990.	-9604	-2864	-4381	-1400

(Za 1990. godinu reč je o proceni; sve vrednosti su u MW/Hz).

Tretman odziva ekvivalenta s obzirom na reaktivne snage opisan je u referenci |12|. U toj referenci je u potpunosti potvrdjena svrsishodnost modela APQE za potrebe analize statičke sigurnosti jugoslovenskog basena u paralelnom radu sa njegovim elektroenergetskim okružjem.



Slika 1: a - Podela interkonekcije; b - Osnovni WARD-ov ekvivalent; c - Prošireni WARD-ov ekvivalent (PWE); d - Ekvivalent Aschmoneit-a i Verstege-a (AWE); e - Aktivni P-Q ekvivalent (APQE).

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Dragomir Arsov, dipl.ing.
Elektrotehnički fakultet, Skopje

Referat broj 3.12

NEKI ASPEKTI PROBLEMATIKE OCENJIVANJA STANJA ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

SADRŽAJ

Proanalizirani su načini i prateće teškoće rešavanja problema u pojedinim oblastima problematike ocenjivanja stanja elektroenergetskih mreža. Posebno je ukazano na značaj merne konfiguracije. Predložen je jedan oblik razdvajanja merne jednačine.

ASPECTS OF POWER NETWORK STATE ESTIMATION PROBLEMS

ABSTRACT: Ways and difficulties of the treatment of some particular problems in several areas of static state estimation in electric power networks are analysed. The significance of the meter configuration problem is discussed. One form of decomposition of the measurement equation problem is suggested.

1 UVOD

Ocenjivanje stanja (OS) elektroenergetskih mreža odnosi se na on-line odredjivanje naponskih veličina u čvorovima i njihovih faznih uglova u realnom vremenu, pri čemu se računar koristi kao monitorno sredstvo. Stanje mreže je skup čvornih fazorskih napona. Sve ostale električne veličine važne za funkciju nadgledavanja odredjuju se na osnovu poznatog stanja mreže.

2 MERNA JEDNAČINA

Neka mala i velika slova označavaju saobrazno stvarne i slučajne veličine. Ako za mrežu sa N čvorova označimo promenljive stanja n=2N-1 dimenzionalnim vektorom x (referentni ugao obično ima vrednost 0° i nije element stanja), a raspoložive merne podatke m-dimenzionalnim vektorom slučajnih promenljivih Z, gde je m>n, merna vektorska jednačina izražava mrežne i druge jednačine

$$Z = h(x) + W \tag{1}$$

gde je h nelinearna vektor funkcija od x koja pretstavlja stvarne merne veličine z, W je slučajni vektor mernih greška. OS je postupak dobivanja ocene $\hat{X}$ stvarnih promenljivih x.

Predložen je veći broj prilaza rešavanja problema OS, |1,2,3|. Metoda statistički odmerenih najmanjih kvadrata (SONK) je najrasprostranjena prema raspoloživoj literaturi, a odlikuje se jednostavnošću i time da dobiveni rezultati imaju dobra matematička svojstva.

3 OCENJIVANJE STANJA PO METODI SONK

Neka su merne greške normalno raspodeljene slučajne promenljive - očekivana vrednost 0, kovarijansna matrica R : W∿N(O,R). Rešavanje problema OS po metodi SONK svodi se na minimizaciju skalarne funkcije.

$$J(X) = [Z-h(X)]' R^{-1} [Z-h(X)]. \tag{2}$$

Jednačina

$$\partial J(X)/\partial X|_{X=\hat{X}} = O' \tag{3}$$

gde ^ označava ocenu slučajne promenljive, može se rešiti Njutonovom iterativnom metodom. Ako se zameni u (2) i (3) linearizirani oblik funkcije h(X),

$$h(X) \doteq h(x_o) + H(x_o)\cdot(X-x_o) \tag{4}$$

u tački x_o u blizini tačne vrednosti x, gde je H jakobijeva matrica funkcije h, dobija se;

$$[H'(x_o)R^{-1}H(x_o)](\hat{X}-x_o) = H'(x_o)R^{-1}[Z-h(x_o)]. \tag{5}$$

Nova utačnjena početna vrednost je $x_o \leftarrow \hat{X}$, a postiže se konvergencija kada izmedju dve uzastopne vrednosti skalarne funkcije J nema znatnije razlike u procentualnom smislu.

Zamenom

$$Z-h = H\cdot(x-x_o) + W \tag{6}$$

u (5) dobija se

$$\hat{X} = x + (H'R^{-1}H)^{-1}H'R^{-1}W. \tag{7}$$

Pokazuje se da je,

$$E(\hat{X})=x, \quad C_{\hat{X}} = (H'R^{-1}H)^{-1}, \quad E(Z)=z, \quad C_Z=R \tag{8}$$

gde je $E(\cdot)$ operator očekivanja, a C. kovarijansa.

Pretpostavljajući da rešenje postoji i linearizaciju (4), matematičkim proučavanjem dolazi se do zaključka da rešenje ima sledeće osobine: jednoznačno je i daje jednoznačnu minimalnu vrednost funkcije J, nepomaknuto je, sve komponente $\hat{X}_i$ imaju minimalnu varijansu u klasi svih mogućih nepomaknutih ocena. Poslednje dve osobine obezbedjuju optimalnost rešenja u statističkom smislu. Dalje,

$$\hat{Z} = h(\hat{X}), \quad E(\hat{Z}) \doteq h(x_o)+H(x_o)\cdot(x-x_o), \quad C_{\hat{Z}} \doteq H(x_o)C_{\hat{X}}H'(x_o). \tag{9}$$

Matrica

$$A = H'R^{-1}H$$

se često u literaturi naziva informaciona matrica. U njoj su ugradjeni podaci o topologiji mreže i mernog sistema, parametri elemenata mreže i mernog sistema i drugi značajni podaci. Kod rešavanja (5) glavno računsko i memorijsko opterećenje je inverzija matrice A. Efekat inverzije uračunava se poredjanim razlaganjem u retke matrične faktore memorisane u pakovanom vektoru. Predloženi su brojni postupci uprošćivanja matrice A kao što su npr. (P-θ) (Q-U) razdvajanje [6], modifikacija elemenata i strukture matrice a korišćene su i transformacije. Vrlo je važna numerička stabilnost iterativnog procesa. U ovoj oblasti pretstoji težak zadatak odredjivanja prednosti i nedostataka pojedinih načina uprošćivanja (5) kao i njihova primenljivost na konkretnu mrežu, pogon i merni sistem.

U literaturi spominje se metoda najmanjih kvadrata sa ograničenjima u vidu jednačina $g(x)=0$, [7]. U ovom slučaju minimizaciona funkcija je lagranžova funkcija

$$L = J(X) +\lambda'g(X).$$

4 MERNA KONFIGURACIJA

Kod projektovanja ocenjivača stanja potrebno je odabrati odgovarajuću kolekciju mernih podataka. Problem odredjivanja merne konfiguracije je složen i zahteva posebno proučavanje. Ocenjivanje stanja metodom SONK zasnovano je na prekobrojnim (redudantnim, $m>n$) mernim podacima. Treba imati u vidu da u konkretnom sistemu već postoji odredjena merna konfiguracija od koje treba poći.

Važne su sledeće činjenice: nije neophodno daljinski meriti u svakom čvoru; promenljiva stanja ocenjuje se samo ako je prisutna u mernoj jednačini; po potrebi ocenjuje se stanje dela mreže; relacije faznih uglova dva različita dela mreža mogu se odrediti samo ako odgovarajuće merne jednačine sadrže bar jednu zajedničku promenljivu stanja; ekonomski je opravdano da bude što veći broj mernih tačaka u pojedinim mernim punktovima; na pouzdanost i tačnost ocenjivanja pored veličine stepena prekobrojnosti m/n značajan uticaj

ima i njegova struktura i raspredeljenost po čvorovima mreže; potrebno je da informaciona matrica ima dobra matematička i druga svojstva.

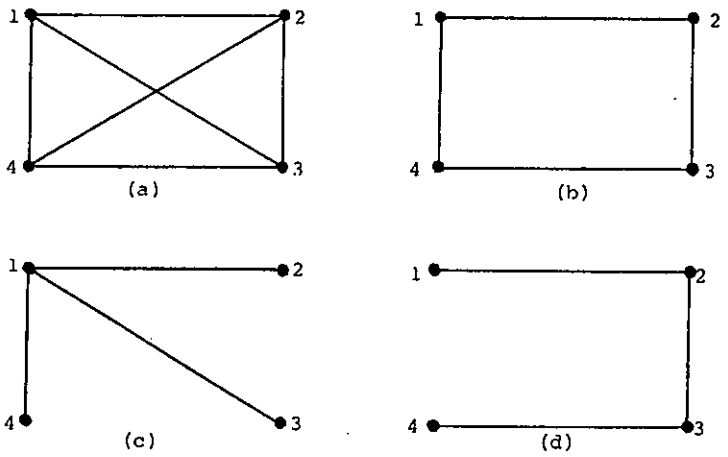
Kao najrasprostranjeni telemerni podaci smatraju se tokovi aktivnih P_{ij} i reaktivnih Q_{ij} snaga, injekcirane aktivne P_i i reaktivne Q_i snage i veličine čvornih napona U_i,

$$P_{ij} = P_{ij}(\theta_i, U_i, \theta_j, U_j), \quad Q_{ij} = Q_{ij}(\theta_i, U_i, \theta_j, U_j) \tag{12}$$

$$P_i = \sum_j P_{ij}, \quad Q_i = \sum_j Q_{ij} \tag{13}$$

$$U_i = U_i(U_i) \tag{14}$$

Na sl.1. prikazana je mreža sa 4 čvora.



Slika 1. Mreža sa četiri čvora ($\theta_2=0^\circ$): (a) zatvorena, (b) prstenasta, (c) zrakasta, (d) radijalna

Primeri mernih konfiguracija (b): 1° $|U_1, (P_{12},Q_{12}), (P_{14},Q_{14})|_1$, $|(P_{23},Q_{23})|_2$ - stanje mreže odredljivo; 2° $|U_1,(P_{12},Q_{12}),(P_{14},Q_{14})|_1$ - osim $(\theta_3 U_3)$ sve promenljive stanja mogu se odrediti; 3° $|U_1,(P_{12},Q_{12})|_1$, $|U_3,P_{34}|_3$, $|U_4,Q_{43}|_4$ - merne jednačine čvorova 1 i 3,4 nisu medjusobno spregnute; stanje dela 1,2 odredljivo, a ako se npr. postavi θ_3 ili $\theta_4=0^\circ$ stanje dela 3,4 može se oceniti sa stepenom redudanse 4/3; 4° $|P_{12},P_{14}|_1$, $|U_3,P_{32}|_3$ - mernom jednačinom obuhvaćene su sve promenljive stanja, medjutim može se odrediti samo U_5 sa stepenom redudanse 1.

Matematička analiza alternativnih mernih konfiguracija zasnovana je na proučavanje svojstva informacione matrice A i njene inverzije C_x. Teorijska dostignuća u ovoj oblasti nisu potpuna i dovoljno precizna.

5 UOPŠTENO OCENJIVANJE STANJA

Uopštena merna jednačina ima oblik,

$$Z = h(x,s,p)+W+L \qquad (15)$$

gde je s vektor stvarnog sastava (topologije) sistema, p vektor stvarnih vrednosti parametara, L vektor loših mernih podataka. Odgovarajućim matematičkim modelima odredjuju se ocene strukture S i parametara P. U praksi parametri odredjuju se na osnovu projektne dokumentacije, analiza i merenja.

Zavisno od automatizacije sistema i matematičkog modeliranja vektor x u opštem slučaju sadrži osim naponskih veličina i uglova i druge promenljive veličine.

Merni podaci Z dobivaju se u realnom vremenu. Oni spadaju u najtačnije podatke u ukupnom vremenu, dok parametri elemenata mreže i kovarijansna matrica su približne vrednosti koje se obično pretpostavljaju da su vremenski nezavisne veličine. Dužina vodova uzima se iz projekata, aktivni otpor zavisi od strujnog opterećenja i ambijentnih uslova. Merni podaci su vrednosti koje se mere mernim instrumentima, a u mernoj jednačini pretstavljaju se vrednostima veličina koje su "mere". Uredjaji u rasklopnim postrojenjima imaju sopstvenu potrošnju koja se uglavnom ne uračunava u mernoj jednačini.

Obično se pretpostavlja da je $W \sim N(0,R)$. U realnosti javljaju se znatna otstupanja od ovog ideala. Ako je $E(W)=b\neq 0$ postupak je sledeći: b je poznato – dodati funkciji h odgovarajuću konstantu; b je nepoznato – tretirati b kao poseban slučajan vektor, obuhvatiti ga vektorom x, ili povećati na odgovarajući način vrednost elemenata matrice R.

Loši podaci definisani su kao neuobičajeno velike merne greške prouzrokovane observacijama za vreme prelaznih pojava, ispadima u merno-komunikacionom sistemu i sl. Ocenjivanje greška u sastavu mreže je komplikovano i neizvesno. Sastav mreže odredjuje se posebnim algoritmima u sklopu OS koji koriste podatke o uklopnom stanju rasklopnih uredjaja [4,9].

Statističke metode otkrivanja (detekcija i identifikacija) loših podataka često koriste analizu vektora mernih ostatka,

$$D = Z-h(\hat{X}) = MW \qquad (16)$$

$$M = I-HC_{\hat{X}}H'R^{-1} \qquad (17)$$

gde je I jedinična matrica, M matrica osetljivosti ostataka u odnosu na merne greške [5]. Da bi se obezbedilo realnije medjusobno uporedjenje elemenata D, oni se najčešće normalizuju odgovarajućim standardnim devijacijama ili nekim njihovim aproksimacijama. Za otkrivanje loših podataka predložen je u literaturi veći broj postupka. Neki od njih koriste matematičke osobine matrice M, drugu topološku analizu [8]. Problem otkrivanja loših podataka je ne samo teorijske nego i praktične prirode. Potrebno je loše podatke otkriti brzo i jednostavno. Postignuti rezultati na ovom području su relativno skromni.

Mreža je observabilna ako je broj i sastav telemernih podataka adekvatan za odredjivanje vektora stanja; potreban uslov $m>n$, dovoljan uslov $\det A\neq 0$.

Observabilnost dela mreže postiže se pod odredjenim okolnostima odbacivanjem sprežnih podataka odnosno uvodjenjem pseudomernih podataka. Algoritmi provere observabilnosti mogu biti numerički, topološki i kombinovani. Mreža je npr. observabilna ako postoji prekrivno stablo takvo da se u svakoj njegovoj grani meri aktivni i reaktivni tok i u jednom njegovom čvoru veličina napona; odredjivanje stanja je neposredno u zatvorenom obliku.

6 DIMENZIONALNO RAZLAGANJE MERNE JEDNAČINE

Ako se razloži vektor mernih podataka na dva dela, na n-dimenzionalni subvektor Z_1 i Z_2 sa dimenzijom m-n,

$$H'R^{-1}H = \left[\begin{array}{c|c} H_1' & H_2' \end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c|c} R_1^{-1} & \\ \hline & R_2^{-1} \end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c} H_1 \\ \hline H_2 \end{array}\right] = A_1 + A_2 \tag{18}$$

Ako se primeni matrični identitet

$$(M_1+M_2M_3)^{-1} = M_1^{-1} - M_1^{-1}M_2(I+M_3M_1^{-1}M_2)^{-1}M_3M_1^{-1} \tag{19}$$

na kovarijansnu matricu

$$C_{\hat{X}} = (C_1^{-1} + H_2'R_2^{-1}H_2)^{-1} , \tag{20}$$

posle zamene u (5), razlaganja i sredjivanja dobiva se sledeći algoritam,

$$\hat{X}_1 = x_o+H_1^{-1}(Z_1-h_1) \tag{21}$$

$$C_1 = H_1^{-1}R_1(H_1')^{-1} \tag{22}$$

$$K = C_1H_2'(R_2+H_2C_1H_2')^{-1} \tag{23}$$

$$\hat{X} = (I_1-KH_2)\hat{X}_1+K(Z_2-h_2+H_2x_o) \tag{24}$$

$$C_{\hat{X}} = (I_1-KH_2)\cdot C_1 \tag{25}$$

u kome neka od opravdanih pojednostavnjenja su očevidna. Primena dimenzionalnog razlaganja na pojedine probleme u sklopu uopštenog OS nije dovoljno proučena.

7 ZAKLJUČAK

Ocenjivanje stanja je jedna od prvih funkcija u automatizovanom dispečerskom upravljanju. Ova problematika proučavana je više od dvadeset godina. Postignuti su značajni rezultati na teorijskom planu i u praktičnoj realizaciji. Prikazan je pregled nekih od problema za čije uspešno rešavanje neophodni su dalji napori.

8 LITERATURA

[1] Schweppe, F., et al., "Power system static state estimation", IEEE PAS-89, pp.120-135, Jan.1970.

[2] Stagg, G., et.al., "Techniques for the real-time monitoring of power systems operations", IEEE PAS-89, pp.545-555, Apr.1970.

[3] Debs, A., et.al., "A dynamic estimator for tracking the state of a power system", IEEE PAS-89, pp.1670-1678, Sep./Oct.1970.

[4] Dy Liacco, T., et.al., "Network status analysis for real-time systems", PICA-8, pp.356-362, June 1973.

[5] Handschin, E., et.al.,"Bad data analysis for power system state estimation", IEEE PAS-94, pp.329-337 Mar./Apr.1975.

[6] Horisberger,H.,et al., "A fast decoupled static state estimator for electric power systems" IEEE PAS-95, pp.208-215, Jan./Feb.1976.

[7] Aschmoneit, E.,et al., "Static estimation with equality constraints", PICA-10, pp.427-430, May 1977.

[8] Gamm, A., "Obnaruženie nedostatočno dostavernih danih pri ocenivanii sostojanija EES s pomošću topologičeskova analiza", Električestvo, ss.1-8, No.4, 1978.

[9] Liseev, M., et al., "Avtomatičeskoe formirovanie matematičeskih modelij elektroenergetičeskih sistem po danim telemetrii", Izv. AN SSSR, Energetika i transport, ss. 27-33, No.6, 1983.

[10] Monticelli, A., et al., "Observability analysis for orthogonal transformation based state estimation", IEEE PWRS-1, pp.201-206, Feb.1986.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr Ivan Škokljev
Elektrotehnički fakultet Beograd

Referat broj 3.13

PROGRAM ZA KOREKTIVNO PREKIDANJE

SADRŽAJ

U radu je prikazan programski paket za dobijanje približnog i brzog proračuna ustaljenih tokova snaga i naponskih stanja za jednu elementarnu promenu konfiguracije mreže (uključenje/isključenje voda ili transformatora). Naznačen je postupak za korišćenje ovog paketa u okviru koncepta takozvane (n-1)-sigurnosti, što je jedna od namena ovog paketa.

1. (n-1)-SIGURNOST

Za jedno radno stanje [1] elektroenergetskog sistema kaže se da je sigurno, ukoliko nijedan poremećaj iz unapred definisanog skupa iznenadnih događaja ne izaziva nastupanje havarijskog stanja, inače je nesigurno. Praktično, ova koncepcija se realizuje tako što se radna stanja diskretizuju sa intervalom diskretizacije 2 do 5 minuta, a onda u tom intervalu proverava da li neki poremećaj (iznenadni događaj, ispad) ugrožava sistem. Pritom se primenjuju programi za simulaciju ispada grana, koji veoma brzo izvedu sve ispade u mreži i izračunaju njihove efekte na radna ograničenja. Ovaj princip je poznat i kao (n-1)-sigurnost, a prenet je u eksploataciju elektroenergetskih sistema iz planiranja.

Cilj sigurnog vođenja pogona elektroenergetskog sistema je da se ovaj održi u normalnom stanju, odnosno da se zaštiti od rizika preopterećenja

opreme, nenormalnog napona, promene učestanosti, nestabilnosti sistema, gubitka opterećenja, gubitka generatora i, naročito, od konačnog, katastrofalnog raspada elektroenergetskog sistema.

Kriterijum (n-1)-sigurnosti formulisan kao kriterijum optimalnog preventivnog upravljanja predstavlja zadatak pronalaženja takve konfiguracije u kojoj nijedna grana neće biti preopterećena posle bilo kog jednostrukog ispada iz serije, odnosno, ako do preopterećenja neke druge grane ipak dođe, treba odgovarajućim upravljanjem smanjiti to opterećenje, ne preopteretivši pritom druge grane, uz očuvanje vrednosti modula napona u datim granicama. Ovo se može izraziti kao

$$\begin{aligned} &\min P_L && , \quad L = 1,\ldots,n \\ &| P_l | \le P_{lmax} && , \quad l = 1,\ldots,n \\ &V_{imin} \le V_i \le V_{imax} && , \quad i = 1,\ldots,c \end{aligned} \qquad (1)$$

Ovde je P-aktivna snaga u grani, V-moduo napona čvora, L,l-brojači grana, n-broj grana, i- brojač čvorova, c-ukupan broj čvorova u mreži.

Da bi se ostvario ovaj cilj, savremeni računski centar iz kojeg se upravlja elektroenergetskim sistemom treba da poseduje programe koji pomažu operateru u odlučivanju kod upravljanja sistemom. U literaturi se često savetuje da se i postojeći programi mogu dobro iskoristiti, ukoliko se u njih ugrade neka dodatna, nova iskustva ili "ekspertna" znanja.

Savremena koncepcija havarijskog upravljanja oslanja se na algoritme koji u realnom vremenu omogućavaju proračun efekata

- korektivnog prekidanja
- preraspodele generisanja
- isključivanja potrošača.

Ovaj rad se bavi aspektom upravljanja putem korektivnog prekidanja. Programski paket je nastao nadogradnjom postojećeg paketa za proračun tokova snaga po metodi Tinney-Hart [2,3]. Matematički model, kao i sam program, omogućavaju lako naknadno obuhvatanje drugih dveju akcija havarijskog upravljanja, preraspodele generisanja i isključivanja potrošača.

2. KOREKTIVNO PREKIDANJE

Odavno je primećeno da isključenje ili uključenje grane (vod, transformator) izaziva promenu "prirodne raspodele" tokova snaga u mreži elektroenergetskog sistema. Od tri navedene akcije havarijskog upravljanja ova je i najekonomičnija, pošto ne zahteva relokaciju proizvodnih resursa, odnosno isključivanje potrošača. Problem modelovanja korektivnog prekidanja, međutim, nalazi se u diskretnoj prirodi same upravljačke akcije (uključeno/isključeno), u nelinearnom modelu (tzv. proračun tokova snaga), kao i u nemogućnosti da se uspostavi neka od funkcija mreže (transmitansa

struje, na pr.) koja bi jednostavno i u direktnom postupku (u jednoj iteraciji) omogućavala informaciju o efektu komutacije u mreži.

U linearnim kolima, teorema kompenzacije (Tevenenova teorema) omogućava ovakvu informaciju.

U problematici nelinearnih kola, kojoj pripada i proračun pogona mreže elektroenergetskog sistema u ustaljenom stanju, u postupku simulacije isključenja grane primenjuje se jedna vrsta kvazi-linearne kompenzacije, prilagođena modelu proračuna tokova snaga.

Model korišćen u ovom radu, zasniva se na upotrebi koeficijenata osetljivosti iz proračuna osnovne (bazne, polazne) konfiguracije mreže. Važno je, pritom, da algoritam za simulaciju komutacije bude relativno brz, da bi se kandidovao za primenu u realnom vremenu.

Već prvi radovi iz korektivnog prekidanja [4,5,6] nagoveštavaju heurističku prirodu problema dolaženja do rešenja raspodele tokova koji ostaju u svojim granicama, tako što se primenjuje "gađanje" rešenja. Heuristika koja se u ovom radu koristi, shvaćena je pre svega kao mogućnost da se ograniči pretraživanje, ili po definiciji Newell-a i Simon-a [7], kao heurističko pretraživanje, odnosno, "...generisanje potencijalnih rešenja i njihovo testiranje".

Potencijalna rešenja koja generiše proračun tokova snaga su ona u kojima se konfiguracija mreže razlikuje od prethodne samo za jednu elementarnu promenu (jedna grana). U osnovi algoritma je jedna "cut-and-try" procedura koja je ograničena sa nekoliko heurističkih pravila. Matematički aparat samog proračuna je relativno dobro poznat. Umesto standardnog proračuna, koristi se ubrzani proračun tokova snaga zasnovan na metodi Tinney-Hart [2] i metodi Mamandur-Berg [8] za simulaciju ispada grane postupkom kvazi-linearne kompenzacije, koji je u ovom slučaju prilagođen postojećem paketu za proračun tokova snaga.

Metoda Mamandur-Berg omogućava direktno korišćenje koeficijenata osetljivosti (jakobijana) proračuna tokova snaga za osnovnu konfiguraciju mreže (bazno stanje). Tako se program ubrzava, pošto se omogućava korišćenje već izračunatih izraza. Algoritam za isključenje grane po metodi Mamandur-Berg [8] dopunjen je postupkom za uključenje grane [9], što model čini kompletnim.

3. MATEMATIČKI MODEL

Treba razlikovati dva modela, model proračuna tokova snaga i model za elementarnu promenu konfiguracije (elementarnu akciju prekidanja, EAP).

3.1. MODEL PRORAČUNA TOKOVA SNAGA

Proračun tokova snaga Tinney-Hart rešava se iterativnim postupkom Newton-Raphson, koji je u skraćenoj formi glasi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{\nu} \\ \Delta Q^{\nu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^{\nu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta^{\nu} \\ \Delta V^{\nu} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

ili

$$F(X^{\nu}) = J^{\nu}\Delta X^{\nu} \quad , \text{ gde je } X^{\nu} = \begin{bmatrix} \theta^{\nu} \\ V^{\nu} \end{bmatrix} \qquad \Delta X^{\nu} = \begin{bmatrix} \Delta\theta^{\nu} \\ \Delta V^{\nu} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Ovde je ν broj iteracije, $F(\cdot)$ vektor priraštaja zavisno promenljivih veličina (aktivne i reaktivne snage), J je jakobijan, X je vektor nezavisno promenljivih (uglova, napona), ΔX je vektor priraštaja nezavisno promenljivih.

Bazni proračun tokova snaga je potpuni proračun tokova snaga za neku konfiguraciju, iz koje se simulacijom isključivanja/uključivanja (po približnoj metodi) jedne, bilo koje grane, ide u novu konfiguraciju.

Uređeni par (n,c) označava konfiguraciju mreže od n grana i c čvorova.

3.2. MODEL EAP

Pošto je bazni (n,c)- proračun tokova snaga konvergirao, u program za EAP se prenosi inverzni jakobijan, odnosno, matrica osetljivosti S. Aproksimacija koja se u ovom koraku uvodi, odnosi se na matricu S: smatra se da koeficijenti osetljivosti ne menjaju mnogo u (n-1,c) odnosno, (n+1,c) stanju, posle komutacije, tako da se može uzeti vrednost matrice S pre komutacije, iz stanja (n,c):

$$S = \left(J^{\nu+1}\right)^{1} \approx \left(J^{\nu}\right)^{1} \qquad (4)$$

Za jednu EAP potrebno je najviše četiri kolone iz S. LU faktorizacija prethodi ekstrakciji kolona iz S. Treba naglasiti da se iz jednog baznog stanja može ići na oduzimanje jedne ili na dodavanje jedne grane, ali, da bi se sukcesivno odstranile dve grane po ovoj metodi, treba izvesti dva proračuna tokova snaga i dve LU faktorizacije. Šematski je to prikazano relacijom prelazaka iz stanja u stanje, od kojih svako treba da bude (n-1)-sigurno,

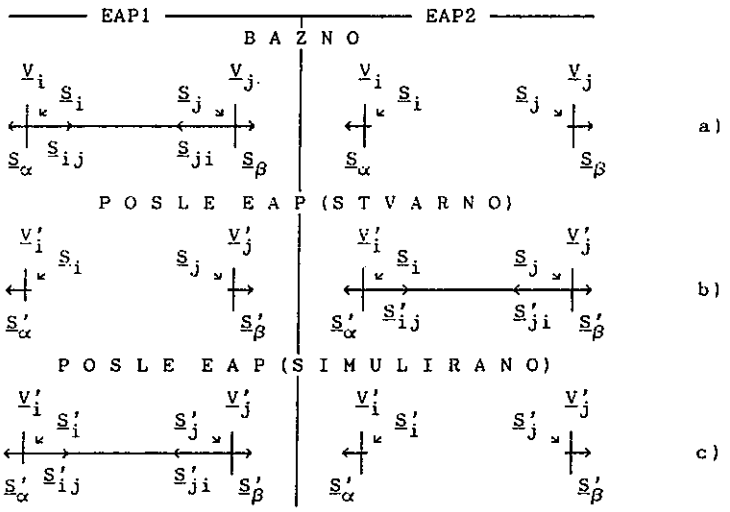
odnosno, gde svako stanje poseduje svoje rešenje proračuna tokova snaga, uz zadovoljenje datih ograničenja tipa nejednakosti. Relacija prelazaka glasi, po predloženoj metodi, ovako

$$(n,c) \rightarrow \text{bazni proračun} \begin{cases} (n-1,c) \rightarrow \text{bazni proračun} \begin{cases} (n-2,c) \\ \quad \ldots\text{itd.} \\ (n,c) \end{cases} \\ (n+1,c) \rightarrow \text{bazni proračun} \begin{cases} (n,c) \\ \quad \ldots\text{itd.} \\ (n+2,c) \end{cases} \end{cases} \qquad (5)$$

Ne ulazeći detaljnije u model za EAP [8,9], važno je istaći da se problem simulacije jedne EAP svodi na problem izračunavanja korekcija injektiranja kompleksne snage $\Delta\underline{S}_i$ i $\Delta\underline{S}_j$, prema jednakostima

$$\Delta\underline{S}_i = \underline{S}_i' - \underline{S}_i = \Delta P_i - j\Delta Q_i$$
$$\Delta\underline{S}_j = \underline{S}_j' - \underline{S}_j = \Delta P_j - j\Delta Q_j \qquad (6)$$

u krajnjim čvorovima i,j grane koja se isključuje/uključuje. Postupak simulacije za dve osnovne elementarne akcije prekidanja, EAP1 i EAP2, prikazan je na sl.1.



Sl.1 Postupak simulacije dve osnovne EAP po metodi kompenzacije snagama

Osnovna ideja postupka simuliranog isključenja/uključenja je u tome da se ne ponavlja ceo potpuni proračun tokova snaga (sl.1.a) već da se, koristeći koeficijente osetljivosti iz baznog proračuna, izračuna efekat (sl.1.c) elementarne promene u konfiguraciji.

Potrebno je, pre svega, izračunati vektor snaga kompenzacije, koji se

razlikuje za tip komutacije. Izrazi su dati sledećim jednačinama:

EAP1

$$\Delta S_{ij} = (KG)^{-1} S_{ij} \qquad (7)$$

EAP2

$$\Delta S_{ij} = \underbrace{(I + K_{ij} G_{ij})^{1} S_{ij}}_{S'_{ij}} \qquad (8)$$

Ovde je $\Delta S_{ij} = [\Delta P_i \Delta Q_i \Delta P_j \Delta Q_j]^t$ vektor snaga kompenzacije (injektiranja) u čvorovima i i j grane u elementarnoj akciji prekidanja, $S_{ij} = [P_{ij} Q_{ij} P_{ji} Q_{ji}]^t$ je vektor snaga izračunat iz baznih vrednosti kompleksnih napona čvorova, K, G, K_{ij}, G_{ij} su matrice osetljivosti karakteristične za metodu, S'_{ij} je estimirana snaga po uključenju grane, I je jedinični vektor.

Koeficijenti za matrice osetljivosti se dobijaju iz jednog algoritma koji je u sklopu LU faktorizacije jakobijana baznog stanja. Oni se formiraju prema izrazima

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\delta P_\alpha}{\delta \theta} & \frac{\delta P_\alpha}{\delta V} \\ \frac{\delta Q_\alpha}{\delta \theta} & \frac{\delta Q_\alpha}{\delta V} \\ \frac{\delta P_\beta}{\delta \theta} & \frac{\delta P_\beta}{\delta V} \\ \frac{\delta Q_\beta}{\delta \theta} & \frac{\delta Q_\beta}{\delta V} \end{bmatrix} \qquad (9)$$

$$G = \begin{bmatrix} \frac{\delta \theta}{\delta P_i} & \frac{\delta \theta}{\delta Q_i} & \frac{\delta \theta}{\delta P_j} & \frac{\delta \theta}{\delta Q_j} \\ \frac{\delta V}{\delta P_i} & \frac{\delta V}{\delta Q_i} & \frac{\delta V}{\delta P_j} & \frac{\delta V}{\delta Q_j} \end{bmatrix} \qquad (10)$$

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\delta P_{ij}}{\delta \theta i} & \frac{\delta P_{ij}}{\delta V i} & \frac{\delta P_{ij}}{\delta \theta j} & \frac{\delta P_{ij}}{\delta V j} \\ \frac{\delta Q_{ij}}{\delta \theta i} & \frac{\delta Q_{ij}}{\delta V i} & \frac{\delta Q_{ij}}{\delta \theta j} & \frac{\delta Q_{ij}}{\delta V j} \\ \frac{\delta P_{ji}}{\delta \theta i} & \frac{\delta P_{ji}}{\delta V i} & \frac{\delta P_{ji}}{\delta \theta j} & \frac{\delta P_{ji}}{\delta V j} \\ \frac{\delta Q_{ji}}{\delta \theta i} & \frac{\delta Q_{ji}}{\delta V i} & \frac{\delta Q_{ji}}{\delta \theta j} & \frac{\delta Q_{ji}}{\delta V j} \end{bmatrix} \qquad (11)$$

$$G_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\delta \theta_i}{\delta Pi} & \frac{\delta \theta_i}{\delta Qi} & \frac{\delta \theta_i}{\delta Pj} & \frac{\delta \theta_i}{\delta Qj} \\ \frac{\delta V_j}{\delta Pi} & \frac{\delta V_j}{\delta Qi} & \frac{\delta V_j}{\delta Pj} & \frac{\delta V_j}{\delta Qj} \\ \frac{\delta \theta_j}{\delta Pi} & \frac{\delta \theta_j}{\delta Qi} & \frac{\delta \theta_j}{\delta Pj} & \frac{\delta \theta_j}{\delta Qj} \\ \frac{\delta V_j}{\delta Pi} & \frac{\delta V_j}{\delta Qi} & \frac{\delta V_j}{\delta Pj} & \frac{\delta V_j}{\delta Qj} \end{bmatrix} \qquad (12)$$

U ovim izrazima, i i j su čvorovi grane pod EAP, P i Q su aktivna i reaktivna snaga, respektivno, V i θ su moduo napona i ugao, respektivno, α i β su oznake preseka oko čvorova i i j, bez grane ij.

U zavisnosti od izabrane EAP, korekcije se izračunavaju po jednačinama (7), odnosno (8).Ako se korektivno prekidanje posmatra kao jedan dodatni korak na već konvergirani proračun tokova snaga, onda je formulacija slična iterativnoj šemi proračuna tokova snaga. U poslednjem koraku, dobijaju se korekcije napona i uglova, prema jednačini

$$\Delta X = G \, \Delta S_{ij} \qquad (13)$$

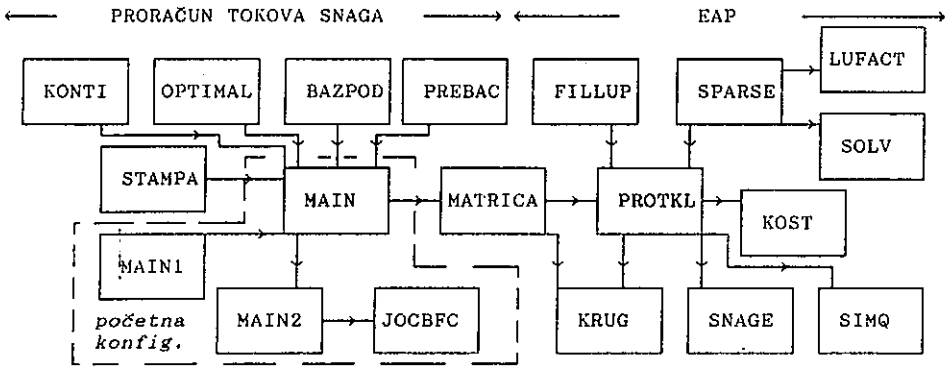
Konačno, naponi i uglovi se koriguju tako da odražavaju efekat jedne EAP u (n-1,c) odnosno (n+1,c)-mreži.

$$\underset{\sim}{X}^{\nu+1} = \underset{\sim}{X}^{\nu} + \Delta\underset{\sim}{X} \qquad (14)$$

4. REALIZACIJA PROGRAMSKOG PAKETA ZA KOREKTIVNO PREKIDANJE

Program je pisan u fortranu. Čitav paket sadrži oko 4000 linija. CPU-vreme zavisi od veličine mreže koja se obraduje. Prosečno vreme obrade jedne mreže paketom PROTKL koji izračunava efekat jedne EAP iznosi 1/8 do 1/10 CPU-vremena obrade iste mreže paketom MAIN. Tačnost rezultata iznosi 5-10% (relativne jedinice u %) i merena je računajući tako da su rezultati iz MAIN oni tačni. Programski paket je nastao nadogradnjom postojećeg profesionalnog programa MAIN za proračun tokova snaga po metodi Tinney-Hart [2] (područje odvojeno crtkastom linijom na sl.2). Početna konfiguracija programskog paketa MAIN (program PROTKL nije postojao, to je nov program) iznosila je oko 1500 linija fortranskog koda izvornog programa. Program PREBAC omogućava da se jedna EAP obavi pomoću MAIN, tako da su uvek moguća poredenja odgovarajućih podataka (snage, naponi, uglovi) iz dva programa.

Programi su radeni u tehnici retkih matrica, što je dosledno sprovedeno u svim programima.



Sl.2. Konfiguracija programa za korektivno prekidanje

Na sl.2 je prikazana konfiguracija programa za korektivno prekidanje. Ovde su MAIN i PROTKL glavni programi, ostalo su potprogrami. Njihove funkcije će biti samo ukratko navedene.

OPTIMAL - program za optimalnu numeraciju čvorova prenumeracijom originalnih podataka po tzv. šemi 1 [2].

MAIN - proračun tokova snaga i naponskih stanja po metodi Tinney-Hart [2], prilagoden za interaktivni rad na računaru VAX-785. Njegove funkcije su:

* učitavanje ulaznih podataka
* kontrola ispravnosti ulaznih podataka
* koordinacija potprograma (protokol)
* formiranje izlaznih datoteka
* test na kriterijum zaustavljanja.

MAIN1 - potprogram sa dve funkcije:

* učitavanje ograničenja iz interaktivnog rada
* štampanje rezultata (opcija) i prenošenje podataka u program za analizu sigurnosti.

JOCBFC - potprogram za formiranje elemenata jakobijana. Funkcije ovog potprograma su:

* obrada "kod čvora" - izračunavanje elemenata jakobijana
* "pakovanje" izračunatih elemenata.

MAIN2 - potprogram za rešavanje sistema linearizovanih jednačina Gauss-ovom eliminacijom na gornji trougao i zamenom unazad. Njegove funkcije su:

* "pakovanje" izračunate vrste jakobijana, koja je proširena za kolonu greške injektiranja (power mismatches)
* transformacija koordinata
* izračunavanje lokacije popuna za program za analizu statičke sigurnosti.

STAMPA - potprogram za kontrolu ulaznih podataka.

MATRICA - potprogram za formiranje jakobijana bazne mreže, u cilju pripreme mreže za novu EAP. Njegove funkcije su:

* formiranje podataka o jakobijanu priprema za LU faktorizaciju
* crtanje jakobijana bazne mreže (opcija).

BAZPOD - potprogram koji ažurira mrežu da bi se u MAIN moglo da izvrši prelazak sa konfiguracije na konfiguraciju, tipa relacije (5).

PREBAC - manipulaciju ulaznim podacima za program MAIN. Omogućava da se dobije proračun tokova snaga za bilo koju promenu topologije, koju on izvrši.

KONTI - potprogram za kontrolu prekoračenja graničnih vrednosti promenljivih (snage, naponi).

FILLUP - potprogram koji unosi jakobijan bazne mreže i podatke o popunama. Ovaj program je neophodna priprema podataka o mreži, pred LU-faktorizaciju.

LUFACT - potprogram koji jakobijan formiran u potprogramu FILLUP rastavlja na LU-proizvod.

SOLV - potprogram za izračunavanje kolona matrice osetljivosti, odnosno, inverznog jakobijana. Ovde se izračunavaju elementi G.

SPARSE - potprogram za koordinaciju potprograma LUFACT i SOLV, kojim se "prikupi" odgovarajući, potreban broj kolona za simulaciju EAP. On obavlja i funkciju

* provere tačnosti ekstrakcije (opcija).

KOST - potprogram za izračunavanje vrsta osetljivosti, odnosno, vrsta matrice

K. Ovaj potprogram ima sličnu strukturu kao JOCBFC.
SNAGE - potprogram za izračunavanje tokova snaga posle EAP. Ovaj potprogram je slične strukture kao i MAIN1. Ima i opciju:

* prikazivanje izlaznih rezultata.

KRUG - potprogram koji uvažava lokalnost i pretražuje efekte EAP. Njegova opcija je i poredenje rezultata tačne i brze metode, za jednu EAP.

5. ZAKLJUČAK

Programski paket za dobijanje približnog i brzog proračuna ustaljenih tokova snaga i naponskih stanja za jednu elementarnu promenu konfiguracije mreže zasnovan je na baznom proračunu tokova snaga po metodi Tinney-Hart i prenošenju koeficijenata osetljivosti u metodu za simulaciju ispada Mamandur-Berg. Ova metoda je nadopunjena ubacivanjem grane.

Osnovna namena paketa je za korišćenje u (n-1)-sigurnosti [10] iako paket može da ima i drugu primenu (analiza gubitaka u mreži, analiza naponskih prilika, efekti promene konfiguracije na snagu kratkog spoja i sl.). Paket obraduje bilo kakvu mrežu modelovanu kao za proračun tokova snaga, koristi tehniku retkih matrica i ima opciju optimalne prenumeracije zadate mreže.

Ograničenje u upotrebi ovog paketa je posledica koncepcije metode koja se primenjuje u eksploataciji, a ideja joj potiče iz planiranja: mreža treba da apriori bude (n-1)-sigurna, odnosno, da bude planirana tako da u jednom opsegu "normalnih" režima opterećenja bude (n-1)-sigurna, da bi program mogao da se primeni u bilo kom režimu opterećenja. To pre svega znači da u planiranju mreže treba ići na povećanje broja grana u preseku oko svakog čvora mreže, odnosno, mreža treba da bude sa što više petlji. Treba izbegavati formiranje preseka koji sadrže samo jednu granu (radijalne grane), odnosno, ako takve grane već postoje, treba samo izbeći pokušaj njihovog izbacivanja, pošto je po definiciji koja implicitno sadrži i uslov potpune integrisanosti elektroenergetskog sistema, takav režim već nesiguran.

6. LITERATURA

[1] T.E.Dy Liacco, "Security functions in power system control centers", IFAC Symp. on Computer Applications in Power Systems, pp. 1-19, Aug. 1979..

[2] W.F.Tinney, C.E.Hart, "Power Flow Solution by Newton's Method", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-86, pp.1449-1460, Nov.1967.

[3] I.Škokljev,M.Ćalović, "An Efficient Computer Program for The Simulation of Line and Transformer Outages in Power Networks", ETAN, Proc. of the 5th International Symp.on Network Theory, Sarajevo, pp.201-206, Sept.1984.

[4] K.W.Edwin, R.Eichler, "Corrective Switching-a Tool for Preventive Network Operation", CIGRÉ-IFAC Symp. 39-83, Florence 1983, 206-04.

[5] H.Kronig, H.Glavitsch, "A Systematic Approach to Corrective Switching in Power Networks", ibid., 206-02.

[6] H.J.Koglin, M.F. de Medeiros, "Further Developments in Corrective Switching", ibid., 206-03.

[7] A.Barr, E.A.Feingenbaum, "The Handbook of Artificial Intelligence" Addison-Wesley Publishing Co., 1981.

[8] K.R.C.Mamandur, G.J.Berg, "Efficient Simulation of Line and Transformer Outages in Power Systems",IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, No.10, pp.3733-3741. Oct.1982.

[9] I.Škokljev, "Uključenje jedne grane u mrežu po metodi kompenzacije snagama", XIX Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije CIGRE, Bled, 7-12 maj 1989,32-02.

[10] I.Škokljev, "A Sensitivity Based Network Switching Model Utilizing AC Load Flow Local Screening for Security",10th PSCC, Graz, Austria, Aug. 1990.

ZAHVALNOST

Zahvaljujem se prof. Milanu Ćaloviću i prof. Hansu Glavitschu, kao i ing. Emiliji Turković na podršci i pomoći u toku izrade ovoga rada. Republička Zajednica Nauke Srbije bila je sponzor na ovom istraživanju.

ABSTRACT

The paper presents a computer program for fast and approximate evaluation of power flow equations especially designed to reflect effects of single outages on network flows and voltages. The program is used for security analysis, but it could easily adopt some other functions, such as network power loss minimization, voltage control and short circuit current control. It utilizes sparse matrix technique and accepts the real network regardless of its size.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Mr Ninel Čukalevski, dipl.ing.
Institut "Mihajlo Pupin", RJ Automatika
Volgina 15, Beograd

Referat broj 3.14

SISTEM VODJENJA EES U NESTACIONARNIM HAVARIJSKIM REŽIMIMA - OSNOVNI ZAHTEVI

SADRŽAJ

U ovom radu je analiziran problem upravljanja savremenim elektroenergetskim sistemom (EES) u havarijskim režimima. Postojeći sistemi vodjenja EES, namenjeni upravljanju u stacionarnim ili sporo-promenljivim režimima, ne mogu da obezbede realizaciju funkcija protiv-havarijskog upravljanja sa odgovarajućim performansama, odnosno ne mogu da spreče kaskadni razvoj poremećaja u EES i njegov eventualni slom. U radu se identifikuju i analiziraju nedostaci konvencionalnih sistema vodjenja EES na polju upravljanja u havarijskim režimima. Definišu se vremenski intervali koji imaju bitán uticaj na izbor strategije upravljanja EES-om u havarijskim režimima, koja se takodje opisuje u radu. Za svaki od osnovnih elemenata predloženog sistema vodjenja EES u havarijskim režimima, koji treba da implementira navedenu upravljačku strategiju, formulišu se bazični zahtevi u pogledu funkcija, strukture i performansi. Na kraju se ukratko razmatraju pitanja praktične implementacije predloženog sistema vodjenja EES u nestacionarnim havarijskim režimima.

ABSTRACT

In this paper problem of modern power system emergency control is analyzed. Existing control systems, designed for stationary conditions, can`t provide for efficient emergency control, and can`t suppress cascading development of disturbance. In this paper shortfalls of existing control systems are identified and analyzed. Relevant time intervals are defined, as well as new emergency control strategy. For each basic control strategy element functional and performance requirements are also defined together with some implementation isuess.

1. UVOD

Ukupni razvoj elektroenergetskog sistema menja pojedina strukturna i dinamička svojstva sistema, koja bitno utiču na sigurnost i pouzdanost rada, što dovodi do toga da se elektroenergetski sistem kao objekat upravljanja postupno menja, pa stoga postojeća sredstva

i procedure upravljanja, uključujući dispečere, sve slabije odgovaraju realnim situacijama u sistemu, sa svim posledicama koje iz toga proističu. U cilju ilustracije navedimo samo neke ekonomske posledice, npr. raspad EES na teritoriji New Yorka 1977. godine je bio praćen troškovima od reda 350 miliona USD, dok je raspad EES Švedske, decembra 1983. godine bio praćen troškovima od reda 50 miliona USD.

Postojeći lokalni zaštitni sistemi deluju brzo sa ciljem eliminacije opasnosti od oštećenja elementa koga štite. Medjutim, njhovo delovanje je potpuno nekoordinirano sa ostalim automatskim i zaštitnim uredjajima u sistemu, što može izazvati pogoršanje uslova u sistemu, odnosno može doprineti daljoj propagaciji poremećaja.

Sa druge strane, postojeći centralizovani sistemi dispečerskog upravljanja (EMS tipa) su ograničeni uglavnom na nadzor i analizu statičke sigurnosti, tako da u havarijskim, posebno nestacionarnim režimima, ne mogu zadovoljiti informacione i upravljačke zahteve dispečera EES.

Veliki troškovi povezani sa sistemskim poremećajima i havarijskim režimima u EES, kao i postojanje savremene tehnološke i informacione osnove potrebne za implementaciju složenih upravljačkih strategija znatno su stimulisala teorijska i primenjena istraživanja koja se vrše na području upravljanja sistemom u havarijskim radnim režimima.

Tako je u [1] opisan usavršeni sistem automatskog frekventnog rasterećenja (AFR) koji ima mogućnosti "adaptivnog" (ali u radu ne opisanog) daljinskog podešavanja vrednosti reagovanja kao i blokiranja rada. U radovima [2, 3] je formulisana potreba za razvojem strategije upravljanja EES-om u havarijskim režimima koja bi bila bolja od postojećih, kao i neki od globalnih zahteva i pristupa (adaptivno podešavanje zaštite), medjutim u njima odsustvuju konkretna rešenja.

Konačno, u radovima [4, 5] su prikazani mogući pristupi usavršavanja postojećih EMS sistema, a putem poboljšanja truputa računarskih sistema, bolje obrade i prezentacije alarma, kao i primenom boljih metoda optimizacije i obrade informacija.

U ovom radu je, na bazi [6, 7], učinjen pokušaj da se identifikuju nedostaci postojećih sistema upravljanja u havarijskim režimima, da se formuliše upravljačka strategija usaglašena sa vremenskim intervalom na kome se odvijaju dominantne dinamičke pojave kao i da se formulišu osnovni funkcionalni zatevi i rešenja pojedinih podsistema predložene upravljačke strategije.

2. HAVARIJSKI RADNI REŽIMI EES

Savremeni EES većinu vremena provodi u normalnom radnom režimu, pri čemu je radne režime moguće klasifikovati u svetlu njihove sposobnosti da zadovolje specificirana ograničenja. Medjutim, zavisno od početnog režima, vrste i intenziteta poremećaja, kao i od inherentnih strukturnih i dinamičkih osobina sistema, može se iz normalnog stanja doći, ili u stanje sa krizom dinamike (stabilnosti), ili u stanje sa krizom statike (opstanka). U okviru krize dinamike, sistem je suočen sa problemima tranzijentne stabilnosti, odnosno početni događaj dovodi do velike perturbacije varijabli režima, što dovodi do gubitka sinhronizma mašina u pogonu. U blažem slučaju, kriza dinamike može izazvati gubitak pojedinih jedinica u sistemu prevodeći tako sistem u krizu statike.

Osim dinamičkih problema, poremećaj može prouzrokovati i krizu statike, u kojoj ne postoji globalni balans izmedju mogućnosti proizvodnje, potrošnje i prenosa. Ova vrsta krize je praćena narušenjem pogonskih ograničenja, pri čemu su obično naponi, opterećenja elemenata

sistema i učestanost izvan tolerantnih granica. Neadekvatno upravljanje u režimu sa krizom opstanka dovodi do prelaska sistema u režim sa krizom intergiteta (gubitka elemenata sistema, a posebno interkonektivnih vodova), obično kao posledica dogadjaja sa kaskadnim razvojem.

Havarijski režim EES nije stacioniran nego se odigrava kroz sekvencu diskretnih dogadjaja, koja započinje inicijalnim dogadjajem. Havarijska situacija je praćena primarnim posledicama (preopterećenje, pad učestanosti i sl.) koje sa svoje strane mogu provocirati sekundarne, tercijarne i ostale posledice. U cilju identifikacije havarijskog režima mogu se koristiti (merljive) primarne konsekvence poremećaja, dok je u cilju prevencije kaskadnog razvoja poremećaja nužno generisati i implementirati korektivnu akciju pre pojave sekundarnih (sekventnih) posledica.

Prilikom razvoja upravljačke strategije namenjene suzbijanju kaskadnog razvoja poremećaja treba voditi računa i o sledećim karakteristikama havarijskih režima:

- odvijaju se povećanom brzinom, pa retko spadaju u kategoriju stacionarnih režima (što nameće ograničenja na klase primenjenih modela)
- zbog velikih varijacija varijabli, intenzivno se manifestuju nelinearni fenomeni
- zbog povećane brzine odvijanja, tj. pojave velikog broja promena, generiše se veliki broj novih informacija što izaziva "informacionu poplavu" u centru upravljanja.

Na bazi sprovedene vremenske dekompozicije celokupnog prelaznog procesa koji prati pojavu poremećaja u sistemu, dominantnog mehanizma razvoja poremećaja i analize realnih incidenata, može se zaključiti da se osnovni vremenski interval od interesa za razvoj koordinirane upravljačke strategije namenjene havarijskim režimima kakav je EES Jugoslavije, nalazi u intervalu od 1-30 sekundi (od nastupa poremećaja), odnosno nalazi se u domenu elektromehaničkog prelaznog procesa [8]. Na tom vremenskom intervalu deluju i osnovni zaštitni i automatski uredjaji u sistemu (distantna zaštita, zaštita od preopterećenja, AFR, turbinska regulacija, itd). Takodje, na ovome intervalu se manifestuju značajni efekti: zaštita vodova od preopterećenja u drugom stepenu (posle 20 s.), zaštite od preopterećenja rotora proizvodnih jedinica (posle oko 30 s.), kao i regulatora napona na transformatorima koji imaju mogućnost regulacije pod opterećenjem (posle oko 30 s.).

Konačno, moguće je rekapitulirati osnovne ciljeve upravljanja EES-om u havarijskim režimima. Opšti cilj upravljanja je da se minimizira vreme koje sistem provodi u havarijskom režimu. U tom cilju, bitno je sprečiti kaskadni razvoj poremećaja, odnosno pojavu krize integriteta i njen razvoj do potpunog sloma. U sistemima čija sigurnost značajno zavisi od režima interkonektivnih vodova, očuvanje poveznih vodova predstavlja neposredni, konkretni cilj upravljanja EES-om u havarijskim režimima.

3. NEDOSTACI POSTOJEĆIH SISTEMA UPRAVLJANJA EES U HAVARIJSKIM REŽIMIMA

Elektroenergetski sistem je regularno izložen dejstvu različitih kvarova i otkaza elemenata sistema. Da bi sa EES zaštitio od posledica poremećaja postavljeni su brojni zaštitni uredjaji, koji deluju lokalno, imaju veliku brzinu odziva (u okviru sekundi) i obično nemaju razmenu podataka sa drugim zaštitnim ili upravljačkim uredjajima. S obzirom na svoje karakteristike postojeći zaštitni uredjaji nisu u stanju da se suprotstave kaskadnom širenju kompleksnih poremećaja u sistemu, i često deluju potpuno nekoordinirano i nepotrebno sa aspekta sistemskih konsekvenci.

Problem generisanja upravljačke akcije na vremenskom intervalu brze dinamike (do nekoliko sekundi posle pojave poremećaja) je poslednjih godina rešavan kroz integraciju pojedinih zaštitnih uredjaja u celoviti sistem sa ciljem održavanja stabilnosti paralelnog rada. U tom cilju se u proizvodnim čvorovima vrši rasterećenje proizvodnje (u delu sistema koji je suficitaran), dok se u deficitarnim delovima sistema sprovodi rasterećenje potrošnje. Ovakav upravljački koncept se realizuje, pretežno lokalnom automatikom tzv. "balansirajućeg dejstva".

Osim uredjaja namenjenih zaštiti pojedinih elemenata EES od posledica kvara postoje uredjaji, tzv. "sistemska zaštita", koji imaju osnovni zadatak da ograniče sistemske posledice specifičnog kvara.

U procedure upravljanja koje se realizuju njihovom primenom danas spadaju pre svega:
- rasterećenje potrošnje u uslovima snižene učestanosti,
- rasterećenje potrošnje zbog neprihvatljivih tokova snaga i napona,
- kontrolisano otvaranje interkonektivnih vodova.

Isključenje potrošača dejstvom podfrekventnih releja je jedna od najšire primenjivanih metoda uspostavljanja ravnoteže snaga u sistemu. Osnovni nedostaci primene AFR su:
- nedostatak osetljivosti u zaštiti manjih delova velikih interkonektivnih sistema, pošto ne štite sistem od preopterećenja vodova ili niskih napona uzrokovanih gubitkom proizvodnih ili prenosnih kapaciteta.
- teškoće u usaglašavanju veličine rasterećenja sa veličinom izgubljene proizvodnje.

Osim toga primena rasterećenja potrošnje baziranog na brzini promene učestanosti, ima suštinski nedostatak da ne obezbedjuje različite iznose rasterećenja, u različitim situacijama u sistemu, koje prati ista brzina promene učestanosti. Konačno, rasterećenje bazirano na učestanosti (ili njenim izvodima) se može realizovati tek posle razdvajanja upravljanog sistema od interkonekcije i pada učestanosti, tj. kada je do kaskadnog razvoja poremećaja i krize intgriteta već došlo.

Postojeći centralizovani sistem dispečerskog upravljanj (EMS tipa) takodje imaju ozbiljne nedostake na polju upravljanja EES-om u abnormalnim, a pre svega havarijskim, radnim režimima. Postojeći EMS sistemi su namenjeni upravljanju EES-om u stacionarnim ili sporo-promenljivim radnim režimima. Navedeno je posledica izabranih karakteristika informaciono-upravljačke opreme u celom lancu, od telemetrijske stanice (RTU) do centralnog računara i interfejsa čovek-mašina (MMI). Odnosno, karakteristike mernih pretvarača, ni po opsegu ni po brzini odziva ne odgovaraju zahtevima upravljanja u havarijskim nestacionarnim režimima. Isto se može navesti, kako za karakteristike telekomunikacionih prenosnih puteva, gde su korišćene brzine prenosa nedovoljne, tako i za karakteristike podsistema akvizicije podataka, kod kojih se prikupljanje podataka vrši obično na cikličnoj bazi sa tipičnim intervalom skaniranja 2-10 sec koji nije namenjen nestacionarnim režimima.

Savremeni EMS sistemi predstavljaju u osnovi čoveko-mašinske sisteme kod kojih računar prikuplja iz EES informacije koje su potrebne za nadzor sistema a aplikativna programska podrška pomaže operatoru u procesu donošenja odluke, dok se konačne odluke donose i implementiraju (korišćenjem računara) od strane čoveka-operatora. Imajući u vidu karakteristike havarijskih režima, kao i karakteristike raspoložive aplikativne programske podrške jasno je da su postojeći EMS sistemi ograničeni na upravljanje u stacionarnim, normalnim (i malo poremećenim) radnim režimima. Postojeća programska podrška, posebno ona optimizaciona (sa funkcijama korektivnog upravljanja, reangažovanja izvora u uslovima ograničenja i sl), nema još performanse zahtevane za primenu u havarijskim režimima EES.

Kao rezultat odvijanja procesa u EES sa povećanom brzinom i pojave velikog broja promena

nadziranih veličina dolazi do usporavanja u radu računara, tj. do značajnog pogoršanja performansi sistema, dok u slučaju nedovoljnog truputa računara, može doći i do potpune blokade računarskog sistema (npr. Švedska 1983.). Na bazi navedenog je jasno da savremeni EMS sistemi imaju neadekvatne sposobnosti obrade i prikaza podataka (alarma posebno) u havarijskim režimima [9] koji se mogu karakterisati pojavom po više stotina alarma u sekundi, tokom prvih nekoliko minuta od pojave krupnog poremećaja (raspada) u EES. Problem obrade i prikaza svih alarma se može delimično relaksirati izborom računara sa odgovarajućim truputom, medjutim problem upotrebe tih podataka od strane dispečera je mnogo složeniji, i izazvan je prirodnim ograničenjima u aktivnostima čoveka-operatora. Vreme potrebno operatoru da anticipira nenormalne uslove u sistemu i da se odluči za akciju, tj. vreme njegove reakcije, može zahtevati i do tri minuta, posebno ako je poremećaj za operatora nov [5]. Receptivnost operatora, tj. maksimalna količina informacije koja se može zapaziti, je takodje ograničena i iznosi oko 100 bit/s. Navedeno ima za posledicu da je tokom havarijskih režima dispečer "zatrpan" podacima različitog informacionog sadržaja, tako da on nije sposoban da poruke iz sistema adekvatno interpretira i preduzme odgovarajuću upravljačku akciju.

Konačno, savremeni EMS sistemi ne raspolažu odgovarajućim matematičkim modelima i algoritmima, odnosno upravljačkim strategijama, pogotovo automatskim, namenjenim havarijskim režimima, što značajno ograničava njihovu funkcionalnost u takvim režimima.

Na bazi svega prethodno navedenog može se zaključiti da ni lokalna relejna zaštita, ni postojeća sistemska zaštita, ni postojeći EMS sistemi nemaju odgovarajuću funkcionalnost u havarijskim režimima, odnosno obično nisu u stanju da spreče kaskadni razvoj poremećaja u sistemu. Shodno tome, postoji izražena potreba za razvojem nove generacije EMS sistema, koja će imati zadovoljavajuću funkcionalnost i u havarijskim režimima. Navedena nova generacija sistema mora obuhvatiti unapredjenja u celom lancu od RTU-a do centralnog računara.

Tehnološke mogućnosti za razvoj predložene nove generacije upravljačkih sistema u dobrom obimu već postoje, ili su u razvoju. Na području telemetrijskih stanica, progres je u toku i podrazumeva integraciju funkcija zaštite, lokalne automatike, nadzora i daljinskog upravljanja objektom. Na polju mernih pretvarača, opreme i procedura za lokalnu detekciju poremećaja može se npr. koristiti savremena oprema za detekciju i registraciju poremećaja u objektima EES, čiji je kritički prikaz dat u [7]. U centru upravljanja bolja obrada i prikaz podataka se danas u sve većem obimu omogućavaju primenom otvorenih distribuiranih arhitektura (korišćenjem radnih stanica, lokalnih mreža, tehnologije servera i dr.), potpune grafike kao i obrade alarma primenom tehnologije ekspertnih sistema [4, 5, 10].

U nastavku ovoga rada će se formulisati osnovni zahtevi za novu generaciju EMS sistema, odnosno za novu strategiju upravljanja EES-om u havarijskim režimima, i daće se njeno konceptualno rešenje sa opisom sastavnih elemenata.

4. STRATEGIJA UPRAVLJANJA EES U HAVARIJSKIM REŽIMIMA

4.1. Strategija upravljanja - Osnovni zahtevi

Sistematična postavka i rešenje problema upravljanja EES-om u havarijskim režimima, nezavisno od tipa dinamike kojom se upravlja, mora sadržati sledeće osnovne elemente:

- identifikaciju poremećaja,
- analizu kritičnosti poremećaja,
- sintezu upravljačke akcije,

- implementaciju upravljačke akcije,

koji se nalaze u okviru jedinstvene upravljačke strategije.

U okviru specificiranog vremenskog intervala (1-30 s.) od interesa, identifikacija i gruba analiza kritičnosti poremećaja se moraju izvršiti za vreme od 5-10 s., dok se sinteza upravljačke akcije i njena implementacija moraju izvršiti u intervalu od 10-30 sekundi posle pojave poremećaja.

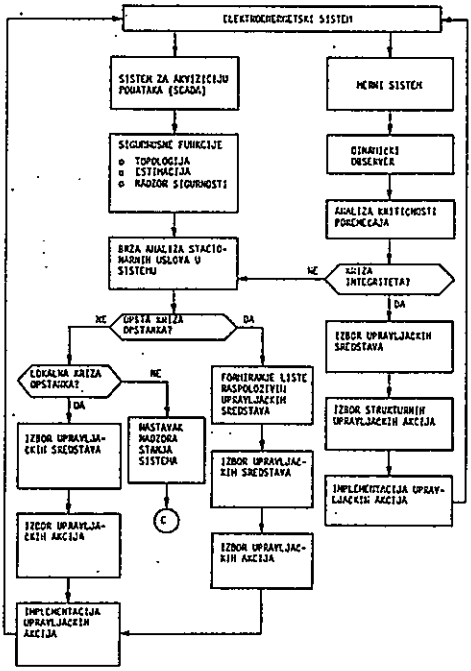
Globalno gledano, predložena strategija upravljanja EES u havarijskim režimima koji su okarakterisani krizom opstanka, je namenjena hijerarhijski organizovanim sistemima i mora omogućiti efikasnu koordinaciju lokalnih i centralnih resursa, pri čemu bi se osnovne odluke donosile centralizovano a upravljačke akcije bi se implementirale lokalno.

Imajući u vidu da je glavni uzrok kaskadnog razvoja poremećaja debalans aktivne i/ili reaktivne snage koji izaziva preopterećenje poveznih vodova, konkretni, neposredni cilj upravljanja je da se izvrši kratkotrajno rasterećenje potrošnje u sistemu, a sa ciljem eliminacije debalansa snage.

Predloženi sistem mora imati u pogledu funkcija i performansi sledeća značajna svojstva:

- Pošto se predvidja upravljačka akcija sa dejstvom na potrošnju, predloženi sistem upravljanja treba da deluje samo u uslovima vrlo kritičnih poremećaja koji ugrožavaju integritet EES. Stoga, predloženi sistem mora imati mogućnost segregacije izmedju nekritičnih i kritičnih poremećaja.
- U skladu sa postavkom problema, imajući u vidu karakteristike EES u havarijskim režimima, predloženi sistem brzog rasterećenja potrošnje mora delovati u vremenu manjem od 30 sekundi od pojave poremećaja.
- Predlaže se da se od potrošača iskoriste prvo, i u maksimalnom obimu, veliki industrijski potrošači koji imaju odgovarajuće tehničke mogućnosti.
- Imajući u vidu karakter procesa, predloženi sistem upravljanja mora imati mogućnost automatskog (kao osnovnog) i poluautomatskog (uz učešće dispečera) delovanja.

Osnovni elementi celine predložene upravljačke strategije se prikazani na slici 1.



U delu "Detekcija i estimacija veličine poremećaja" se primenom dinamičkog observera niskog reda, a na bazi merenja samo učestanosti i aktivne snage razmene, u vremenu od 5-10 s. (zavisno od vrednosti pojačanja observera), vrši otkrivanje pojave i ocena tipa i veličine poremećaja. Kao poremećej se tretira debalans aktivnih snaga u sistemu. Navedeni debalans izmedju snaga priozvodnje i potrošnje predstavlja onu značajnu sintetičku informaciju koja ima dominantnu ulogu u ostalim delovima upravljačke strategije.

U bloku "Analiza kritičnosti poremećaja" se na bazi veličine identifikovanog poremećaja i drugih značajnih informacija vrši analiza, kako postojećih uslova u sistemu, tako i anticipiranih koji će se pojaviti kao posledica odziva sistema na postojeće uslove u njemu. U slučaju da je estimirana vrednost debalansa snage u sistemu (ΔP_e) veća od specificirane, vrši se brza aproksimativna analiza uslova u sistemu. Zaključak o kritičnosti se donosi na bazi sračunavanja indeksa kritičnosti, koji vodi računa o trenutno raspoloživoj sumarnoj rezervi u propusnoj moći koja postoji na poveznim vodovima prema susedima. Veličina indeksa kritičnosti ukazuje na pretnju krize integriteta. U slučaju da je ΔP_e manje od specificirane vrednosti, radi se najverovatnije o ispadu prenosnog elementa, pa se dalja analiza vrši na klasičan način u bloku "Brza analiza kvazi-stacionarnih uslova u sistemu".

U delu "Sinteza upravljačke akcije" se na bazi prethodnih odluka o stepenu kritičnosti poremećaja sprovodi sinteza upravljačke akcije, odnosno vrši se izbor raspoloživih upravljačkih sredstava i izbor tipa i veličine upravljačke akcije. Predvidjeno je korišćenje svih raspoloživih upravljačkih sredstava u sistemu, ali se u slučaju kritičnih poremećaja favorizuje primena centralizovanog strukturnog upravljanja sa dejstvom na potrošnju/proizvodnju. U slučaju potrebe za rasterećenjem potrošnje EES, sinteza upravljačke akcije, odnosno alokacija zahtevanog rasterećenja na pojedine potrošače se vrši optimizacionom procedurom koja minimizira troškove koje rasterećenje izaziva kod potrošača.

Značajno je uočiti da predložena upravljačka strategija primenom predložene logike omogućava da se dobije i dopunsko vreme, potrebno za prikupljanje i obradu dopunskih informacija i za angažovanje sporijih upravljačkih sredstava.

4.2. Strategija upravljanja - Predložena rešenja za podsisteme

4.2.1. Identifikacija poremećaja

U cilju detekcije i estimacije poremećaja u sistemu predložena je primena dinamičkog observera. Za decentralizovani model sistema, linearizovan oko izabranog referentnog stanja, izražen preko modela l-područja i pridruženog modela poveznih vodova, opisan je relacijama:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= A_i x_i(t) + a_{ti}\,\Delta p_{ei}(t) + B_i u_i(t) + g_i z_i(t);\ x_i(t_0)=0 \\ \Delta \dot{p}_{ei} &= \alpha_{1i} \sum_{j=1}^{l} e_{ij}\,[\, m_{ij}^T x_i(t) - m_{ji}^T x_j(t)\,];\ \Delta p_{ei}(t)=0 \\ y_i(t) &= C_i^T x_i(t);\quad i=1,2,\ldots,l \end{aligned} \qquad (1)$$

U jednačinama (1) x_i, u_i, z_i i y_i su n_i, m_i, l i r_i - dimenzionalni vektori stanja, upravljanja, poremećaja i izlaza i-tog područja (individualnog EES) respektivno, dok Δp_{ei} predstavlja varijaciju ukupne snage razmene i-tog područja.

Problem ocene poremećaja z_i se svodi na problem estimacije jednog (n_i+1)-og stanja u proširenom vektoru stanja. Navedeni problem se može rešiti primenom standardne teorije

observera, koja daje observer oblika:

$$\dot{x}_{ie} = (A_i - H_i C_i^T)\, x_{ie} + H_i y_i + g_i z_{ie} + \alpha_{ti}\, \Delta p_{ie}$$

$$\dot{z}_{ie} = -h_i C_i^T x_{ie} + h_i y_i \; ; \quad i = 1, 2, \ldots, l \qquad (2)$$

gde je vektor pojačanja $\bar{H}_i$ dekomponovan kao $\bar{H}_i = [H_i \; h_i]^T$. Za potrebe praktične primene projektovan je, primenom procedure spektralne dekompozicije, dinamički observer niskog reda, čija je struktura zajedno sa rezultatima stimulacije prikazana u [6, 11].

4.2.2. Analiza kritičnosti poremećaja

Predložena procedura analize kritičnosti poremećaja u prvom koraku, na bazi veličine estimiranog debalansa, vrši razgraničenje izmedju ispada prenosnih i ispada proizvodnih jedinica. U drugom koraku, za slučaj ispada proizvodne jedinice, se vrši razgraničenje izmedju "manjih" poremećaja (koji se mogu razrešiti postojećom regulacionom i/ili havarijskom rotirajućom rezervom) i onih "većih" za koje navedene rezerve nisu dovoljne.

Konačna provera kritičnosti poremećaja se vrši poredjenjem sa raspoloživom rezervom u propusnoj moći koja postoji na poveznim vodovima. U tom smislu se prvo definiše raspoloživa rezerva propusne moći na poveznim vodovima, kao

$$\sum_k^{\Gamma} \Delta P_{ij}^{\Gamma} = \sum_k (P_{ij}^{max} - P_{ij}^{o}) \qquad k = 1, 2, \ldots L \qquad (3)$$

gde su L, P_{ij}^{max} i P_{ij}^{o} - broj spojnih vodova, maksimalno dozvoljeni tok snage po vodu i tok snage po vodu pre poremećaja, respektivno. Odgovarajući indeks kritičnosti se definiše kao

$$IK = \sum_k \Delta P_{ij}^{\Gamma} - \alpha \Delta P_e \qquad (4)$$

gde α predstavlja deo debalansa koji se u početnom periodu pokriva iz interkonekcije, odredjen odnosom koeficijenta samoregulacije po učestanosti ostatka interkonekcije i sumarnog koeficijenta samoregulacije po učestanosti celog sistema.

Ukoliko je vrednost indeksa $IK \leq 0$, to znači da je postojeća rezerva u propusnoj moći manja od porasta snage po spojnim vodovima i da može doći do pojave krize integriteta. U takvom slučaju se odmah prelazi na alokaciju zahtevanog rasterećenja na potrošače.

4.2.3. Alokacija rasterećenja na potrošače

Funkcionisanje potrošača u uslovima kratkotrajnog rasterećenja je skopčano sa troškovima, stoga upravo troškovi treba da budu osnova za procenu ekonomskih posledica sprovodjenja rasterećenja potrošača.

Prema svojoj prirodi, troškovi koji prate prekid napajanja potrošača spadaju u sledeće grupe: direktni, osnovni, indirektni i dopunski [12]. Za potrebe upravljanja u havarijskim režimima relevantne su dve kategorije potrošača i to one koje se opisuju modelom dopunskih troškova, i one koje se opisuju modelom troškova šteta, odnosno

$$I_i = (a_i + b_i P_{isk,i})\, P_{isk,i}\, T_{isk,i} \qquad (5)$$

Jedinstveni model troškova je dat relacijama:

$$I_i = \begin{cases} I_i^K, \text{ za } \forall i \; i \; P_{sis} \leq \sum_{i=1}^{l} P_{gr,i} \\ I_i^N, \text{ za } \forall i \;\; i \sum_{i=1}^{l} \leq P_{gr,i} \leq \sum_{i=1}^{m} P_{gr,i} \end{cases} \qquad (6)$$

gde su:

$$I_i^K = \begin{cases} I_{dop,i} & i \in (1, \ldots, l) \\ 0 & i \in (l+1, \ldots, m) \end{cases} \qquad (7)$$

$$I_i^N = \begin{cases} I_{dop,i} & i \in (1, \ldots, l) \\ I_{štet,i} & i \in (l+1, \ldots, m) \end{cases} \qquad (8)$$

$K = \{ k/1, \ldots, l \}$ skup potrošača koji tokom rasterećenja rade u režimu "dopunskih troškova"

$N = \{ n/l+1, \ldots, m \}$ skup potrošača koji tokom rasterećenja rade u režimu "šteta"

Zadatak alokacije koja treba da minimizira ukupne troškove koji prate rasterećenje, u prisustvu ograničenja, odnosno:

$$\sum_{i=1}^{m} I_i = \min , \quad i \in \{ K \cup N \}$$

$$\sum_{i=1}^{m} P_{isk,i} = P_{sis} , \; P_{isk,i}^{*} \leq P_{gr,i} \qquad (9)$$

se rešava primenom metode Lagranževih multiplikatora, odnosno:

$$P_{isk,i}^{*} = \frac{\bar{\lambda}^{*} - a_i}{2\, b_i} , \quad \bar{\lambda}^{*} = \frac{P_{sis} + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{a_i}{2b_i}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{2b_i}\right)} \qquad (10)$$

Ostali relevantni detalji i rezultati numeričkih simulacija se mogu naći u [13, 14]. Takodje, ostala pitanja implementacije su inicijalno obradjena u [15] .

5. ZAKLJUČCI

U radu je jasno postavljen problem upravljanja savremenim EES u havarijskim, nestacionarnim režimima. Identifikovani su nedostaci postojećih sistema upravljanja, i to kako lokalnih (relejna zaštita) tako i onih centralizovanih (sistemi dispečerskog upravljanja). Na osnovu prethodne analize relevantnih vremenskih intervala definiše se opšta upravljačka strategija, odnosno koncepcija sistema vodjenja EES u havarijskim režimima novoga tipa. Za osnovne mikro-elemente predložene strategije su formulisani zahtevi u pogledu funkcija i performansi, kao i način njihove realizacije, čija je izvodljivost demonstrirana u prethodnim radovima, a dalji razvoj u toku.

6. LITERATURA

1. V.Narayan, H.Hager, G.Schaffer, W.Tenschert, "Network Decoupling Load Shedding and Automatic Network Restoration Due to Disturbances", CIGRE, 1984, Paris, Poper 34-03.
2. H.Glawitch, G.Schaffer, H.Ungrad, "Guidelines and Means for Power System Opreation During Emergancies", CIGRE, 1988, Paris, Poper 39-11.
3. L.Cederblad, T.Cegrell, "A New Approach to Security Control of Power Systems-Local Protection Coordinated With System-Wide Operation", IFAC Symposium Power Systems, Modelling and Control Applications, Brussels, 5-8 September 1988.
4. A.Monticelli, M.V.F.Pererira, "A New Generation of Energy Management Systems", Power System Computation Conference, Lisboa, 1987.
5. H.P.Asal, H.Glawitch, G.Schaffer, "Requirements fur Future Energy Management Systems", Power Industry Computing Conference, PICA 1989.
6. N.Čukalevski, J.Medanić, M.Čalović, "Power Mismatch Detection and Estimation for Emergency Control", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, No 1. February 1987, pp. 78-84.
7. N.Čukalevski, "Upravljanje elektroenergetskim sistemima u havarijskim režimima - Postojeće stanje i pravci budućeg razvoja", VII Stručno Savetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat, 8-11 novembar, 1988.
8. N.Čukalevski, "Upravljanje EES ZEP u havarijskim režimima sa ciljem sprečavanja kaskadnog razvoja poremećaja. Deo I: Identifikacija poremećaja". Studija radjena za ZEP Beograd, juni 1988. (97 str.).
9. W.Prince, B.Wollenberg, D.Bertagnolli, "Survey on Excessive Alarms", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.4, No 3, August 1989., pp. 950-956.
10. D.Barrie, D.S.Hill, A.Yuen, "Computer Configuration for Onterio Hydro`s New Energy Management System, IEEE Tras. on Power Systems, Vol. 4, No 3, August 1989. pp. 927-934.
11. N.Čukalevski, "Upravljanje elektroenergetskim sistemom u havarijskim radnim režimima primenom dinamičkih observera". VI Stručno Savetovanje o upravljanju i informatici u eletroprivredi Jugoslavije, Cavtat, 4-7 novembar, 1986.
12. V.I.Edelman, "Ekonomika nadležnosti elektrosnabženija", Obzornaja informacija, "Energetika i elektrifikacija", serija: Ekonomika energetiki, Moskva 1980.
13. N.Čukalevski, "Upravljanje elektroenergetskim sistemom u havarijskim režimima primenom optimalne alokacij rasterećenja potrošnje", XIX Savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Bled, 8-13 maj 1989.
14. N.Čukalevski, "Optimalna alokacija rasterećenja potrošnje sa ciljem eliminacije havarijskih uslova u elektroenergetskom sistemu", VI Jugoslovenski simpozijum o vodjenju i automatizaciji EES, Ljubljana, Oktobar 1989, (VAES-89).
15. N.Čukalevski, "Upravljanje elektroenergetskim sistemima u havarijskim režimima primenom dinamičkih observera", Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Decembar 1989.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr Risto Ačkovski, dipl. inž
Elektrotehnički fakultet-Skopje

Referat broj 3.15

MODELI OPERATIVNOG VOĐENJA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA U USLOVIMA NEDOVOLJNIH PROIZVODNO-PRENOSNIH KAPACITETA SISTEMA

S A D R Ž A J

U radu je prikazan jedan od postojećih modela za operativno vođenje elektroenergetskih sistema u uslovima nedovoljnih proizvodno-prenosnih kapaciteta sistema. Opisani su i neki novi modeli koji se takođe mogu primenjivati u tu svrhu. Pomoću prikazanih modela se vrši eliminacija preopterećenja, do kojeg dolazi u sistemu usled različitih vrsta kvarova i ispada, uz istovremenu minimizaciju ili potpunu elimininaciju deficita snage i energije kod potrošača.Prikazani modeli baziraju na primeni tehnike linearnog programiranja i veoma su pogodni za arlikaciju na procesnom računaru, kao modeli operativnog vođenja sistema.

An existing model, suitable for power system control under emergency conditions is presented in this paper. Some new models, assigned to the same purpose are presented here too. By means of the presented models it is possible to releave the overload in the system, caused by the outages in it, and to minimize or completely eliminate the deficiency in power and energy at the customers. All the models discussed in the paper are based on the application of the linear programming technique and are very convenient for power system operation and control under emergency conditions.

1. UVOD

Kada u elektroenergetskom sistemu (EES), usled kvarova dođe do ispada jednog ili više njegovih elemenata (vodova, transformatora ili generatorskih jedinica), istovremeno dolazi i do smanjenja proizvodno-prenosnih kapaciteta EES. Tada se napušta ekonomski dispečing, kao model operativnog vođenja EES u normalnom pogonskom stanju, i u novonastaloj situaciji treba primenjivati model koji će omogućiti minimizaciju štete kod potrošača do kojih dolazi zbog redukcije snage i energije.

2. REŠAVANJE TOKOVA SNAGA U PRENOSNOJ MREŽI

Kao što je poznato, egzaktno rešavanje problema tokova snaga u jednom EES svodi se na rešavanje jednog sistema nelinearnih algebarskih jednačina. Njega je moguće rešiti različitim iterativnim postupcima, specijalno namenjenih za tu svrhu [5], [6]. Iterativno rešavanje problema je, sa svoje strane, povezano sa velikim potrebama kompjuterskog vremena i sa problemima oko konvergencije samog procesa rešavanja. S druge strane, tačnost ulaznih podataka (parametri sistema, a osobito tačnost kojom su poznate snage potrošača) limitiraju tačnost krajnjih rezultata proračuna. To doprinosi da je ponekad racionalnije primenjivati približne, uprošćene modele.

Nelinearni karakter modela, zajedno sa navedenim teškoćama oko njegovog rešavanja, su osnovni problem kada je potrebno proračune tokova snaga vršiti u što je moguće kraćem vremenskom roku. To je osobito potencirano tada, kada je rešavanje problema povezano sa nekom optimizacionom procedurom režima rada sistema. Zato se u ovakvim prilikama, veoma često, primenjuje DC model mreže (model jednosmerne struje) [7], koji na neki način pretstavlja linearnu aproksimaciju odnosa u mreži i koji omogućava da se problem tokova snaga rešava direktnim postupcima, bez iteracija. U [3] je pokazano da kada se radi o dobro opterećenim visokonaponskim prenosnim mrežama, kakav je slučaj kada sistem radi u graničnim režimima rada, DC model daje sasvim zadovoljavajuće procene stanja u sistemu.

U [7] se pokazuje da je pomoću DC modela moguće dobiti aproksimativne vrednosti za uglove Θ, napona čvorova u sistemu:

$$\Theta = (-B)^{-1} \cdot PI = X \cdot PI \quad , \tag{1}$$

a zatim, na osnovu njih, i približne vrednosti tokova snaga. Snaga kroz granu k(p-q) koja povezuje čvorove "p" i "q" će u opštem slučaju biti:

$$PGR_k = (\Theta_p - \Theta_q)/XG_k \quad ; \quad k = 1,M \tag{2}$$

Matricu reaktansi mreže X dobijamo inverzijom matrice (-B):

$$X = (-B)^{-1} \quad , \tag{3}$$

dok se elementi matrice B izračunavaju (uz zanemarivanje rednih aktivnih otpornosti grana mreže) na osnovu izraza (4) i (5):

$$-B_{ii} = \sum_{k\omega i} 1/XG_k \quad ; \quad i = 1,M \tag{4}$$

$$-B_{ij} = -1/XG_l \quad ; \quad i = 1,N \quad ; \quad j = 1,N \ (j \neq i) \quad . \tag{5}$$

U jednačini (4), sa kωi je označeno da se sumiranje treba vršiti po svim granama "k" koje su direktno vezane za čvor "i". U jednačini (5), XG_l pretstavlja reaktansu grane l(i-j), direktno vezane između čvorova "i" i "j". Ukoliko u mreži ne postoji takva grana, onda će odgovarajući element biti $B_{ij}=0$.

U relacijama (2), snage kroz grane mreže su izražene kao funkcija injektiranih snaga u čvorovima mreže PI, pri čemu je:

$$PI = PG - PP \quad ; \quad i = 1,N \quad . \tag{6}$$

Mnogo bi pogodnije bilo, kada bi se snage u granama mreže PGR izrazile kao funkcija snaga izvora PG. U [3] se pokazuje da je na bazi primene DC modela moguće uspostaviti sledeću relaciju:

$$PGR = H \cdot PG \quad , \tag{7}$$

pri čemu se elementi matrice H mogu izračunati na sledeći način:

$$S_l = \sum_{i=1}^{N} \frac{\alpha_i \cdot (X_{im} - X_{in})}{XG_l} \quad ,$$

$$H_{lj} = \frac{X_{jm} - X_{jn}}{XG_l} - S_l \quad ; \quad j = 1,N \quad , \tag{8}$$

$$l = 1,M \quad .$$

U relacijama (8) postoje takozvani koeficijenti učešća potrošača u sumarnom opterećenju, koji su definisani relacijama (9) i (10):

$$\alpha_i = PP_i/PSP \tag{9}$$

gde je

$$PSP = \sum_{i=1}^{N} PP_i \tag{10}$$

Matrica H, definisana izrazima (7) i (8) ima dimenziju [MxN]. Vrste ove matrice se odnose na grane, a kolone na čvorove mreže. Matrica kolona snaga izvora PG ima dimenziju [Nx1]. Pošto generacije snaga nema u svim čvorovima mreže, već u samo nekoliko njih (ukupno NG), matrica PG će, po pravilu, imati veliki broj nultih elemenata. Zato je pogodno izvršiti redukciju matrica PG i H. Redukciju matrice PG je moguće izvršiti ispuštanjem svih onih vrsta koje odgovaraju čvorovima u kojima nema generacije snage, dok je redukciju matrice H moguće izvršiti ispuštanjem svih kolona koje odgovaraju tim istim čvorovima mreže. Nakon izvršene redukcije, matrica PG će biti dimenzija [NGx1], dok će matrica H biti dimenzija [MxNG].

3. MODEL L. L. GARVERA

Kapacitet proizvodnog dela sistema se može definisati kao maksimalna snaga koja se može isporučiti mreži, kada su sve raspoložive generatorske jedi-

nice u pogonu. Prema tome, kapacitet proizvodnog dela sistema biće suma maksimalnih snaga svih, u datoj situaciji raspoloživih, generatorskih jedinica sistema. Medutim, propusna moć mreže se ne može izračunati na isti taj način, t.j.prostim sumiranjem prenosnih kapaciteta svih postojećih vodova i transformatora. Ona se može definisati kao najveća snaga koja se u postojećim uslovima može isporučiti potrošačima.

U [1] je predložen veoma efikasan postupak za rešavanje ovog problema. U njemu se pomenuti problem svodi na standardni zadatak linearnog programiranja (LP). Linearnim programiranjem se određuje takav dispečing generisanih snaga, kojim se postiže da ukupna snaga koju izvori plasiraju u mreži bude maksimalna. Pritom, prenosni sistem prenosi tu snagu do potrošače, bez preopterećenja bilo kojeg njegovog elementa.

Rešenje ovog problema se prema izvornoj terminologiji u [1] naziva "Load Supplying Capability" (LSC), što se na našem jeziku može prevesti kao mogućnost isporuke snage. Za njega postoje i drugi termini, kao na primer termin "Power Supply Capability" (PSC), koji se sreće u [2] i t.d. U daljem delu teksta, mogućnost isporuke snage biće označavana njenom skraćenicom LSC.

Zadatak linearnog programiranja, kojim se rešava postavljeni problem u [1], se formuliše kao maksimizaciju ukupne proizvodnje izvora pri čemu treba uvažavati ograničenja koja nameće mreža zbog svoje ograničene propusne sposobnosti, kao i ograničenja koja nameću sami izvori, zbog njihovih ograničenih proizvodnih kapaciteta. Prema tome, rešavanje ovog optimizacionog problema se svodi na sledeći zadatak linearnog programiranja:

$$\max LSC = \sum_{i=1}^{NG} PG_i \quad , \tag{11}$$

pri linearnim ograničenjima:

$$PGD \leq PG \leq PGG \quad , \tag{12}$$

$$|H \cdot PG| \leq PT \quad . \tag{13}$$

Matrična relacija (13) se može razdvojiti na dve matrične relacije:

$$H \cdot PG \leq PT \quad , \tag{14}$$

$$-H \cdot PG \leq PT \quad . \tag{15}$$

Uzimajući da su gubici snage u sistemu jednaki nuli, mogućnost proizvodnje biće, istovremeno, jednaka mogućnosti isporuke, t.j.

$$LSC = \sum_{i=1}^{NG} PG_i = \sum_{j=1}^{N} PP_j \quad . \tag{16}$$

Prema iznesenom u [1], ovaj model pretpostavlja konstantne koeficijente učešća svih potrošača (α_j= const. j=1,N) t.j. konstantnu procentualnu zastupljenost svakog potrošača u sumarnom opterećenju sistema. U slučajevima kada je mogućnost isporuke nedovoljna, t.j. kada je:

$$PSP = \sum_{j=1}^{N} PP_j \quad . \tag{17}$$

i kada je neophodna redukcija potrošnje u sistemu, model takode pretpostavlja nepromenjene koeficijente učešća potrošača u ukupnoj potrošnji, a to će dovesti do istog procentualnog iznosa redukcije kod svakog potrošača u sistemu. Pošto su štete zbog prinudnih redukcija kod različitih potrošača različite, poželjno bi bilo, uneti u model još neka dopunska ograničenja koja bi se odnosila na minimalne vrednosti snaga potrošača. Time bi se, na izvestan način, otklonila ovaj nedostatak modela i, istovremeno, bilo bi omogućeno osetljivije potrošače nekako zaštititi od prevelikih redukcija. To je i učinjeno u sledećem modelu [3].

4. PROŠIRENJE MODELA L. L. GARVERA

U proširenom Garver - ovom modelu, pored ograničenja koja uvode izvori i mreža, uvode se još i dodatna ograničenja snaga potrošača:

$$PP \geq PPO \quad , \tag{18}$$

koja se odnose na donje granice snaga u svakom potrošačkom čvoru.

Za rešavanje ovako proširenog problema, ponovo se može primeniti ista tehnika kao i u tački 3, s tom razlikom što će se sada, proračuni izvoditi u nekoliko koraka.

Korak #1. U prvom koraku se vrši proračun snage LSC prema modelu iz tačke 3, bez uvođenja ograničenja (18). Nakon proračuna snage LSC, izračunavaju se i snage potrošača koje odgovaraju datom režimu:

$$PP_i = \alpha_i \, LSC \quad ; \quad i = 1,N \quad , \tag{19}$$

i ukoliko se utvrdi da je kod svakog potrošača zadovoljeno ograničenje (18) u vezi njegove minimalne snage, onda će dobijeno rešenje biti ujedno i rešenje proširenog modela. U protivnom, pristupa se izvođenju sledećeg koraka.

Korak #2. Pošto uslov (18) nije ispunjen, u ovom se koraku vrši test da li uopšte postoji rešenje postavljenog problema. U tu svrhu,formira se matrica HO koja se dobija pomoću novih koeficijenata učešća αO, definisana na sledeći način:

$$PSPO = \sum_{i=1}^{N} PPO_i$$

$$\alpha O_i = PPO_i / PSPO \quad ; \quad i = 1,N \quad . \tag{20}$$

Sa novoformiranom matricom HO, na osnovu postupka iz tačke 3, ponovo se vrši proračun mogućnosti isporuke LSC. Nju ćemo sada označiti sa LSCO. Ukoliko je LSCO < PSPO, to će značiti da postavljeni problem u matematičkom smislu nema rešenja (na primer granice u (18) su previsoko postavljene, ili je mreža u razmatranoj situaciji preslaba i t.d.). Tada će biti neminovno, otkazati se od ograničenja (18) i rešenje dobijeno u ovom koraku prihvatiti i proglasiti ga konačnim. U protivnom, kada je LSCO $\geq$ PSPO, za postavljeni zadatak se može reći da postoje rešenja za koja će biti uvažena sva postojeća ograničenja, i onda se prelazi izvođenju trećeg koraka.

Korak #3. U ovom se koraku najpre usvaja režim rada sistema za nivo sumarnog opterećenja sistema jednak vrednosti PSPO. U tom će režimu snaga svakog potro-

šaća biti jednaka svojoj minimalnoj vrednosti, t.j.

$$PP_i = PPO_i \quad ; \quad i = 1,N \quad , \tag{21}$$

dok ćemo snage izvora u sistemu za ovaj režim izračunati na osnovu njihovih vrednosti PGO', određenih u prethodnom koraku, njihovim odgovarajućim smanjenjem:

$$PGO_i = PGO_i \cdot PSPO/LSCO \quad ; \quad i = 1,NG \quad . \tag{22}$$

Time su, za posmatrani režim rada, u potpunosti definisane snage PGRO kroz grane mreže t.j.

$$PGRO = HO \cdot PGO \quad . \tag{23}$$

Jasno je da će mreža tada biti podopterećena. Mrežu ćemo doopteretiti odgovarajućim povećanjem snaga izvora i potrošača.

Za novi režim rada mreže, sa povećanim nivoom potrošnje, dobiće se novi tokovi snaga. Pošto se radi sa linearizovanim DC modelom mreže (gubici snage u DC modelu su jednaki nuli), stanje u novom režimu ćemo moći tretirati kao superpoziciju dvaju stanja, od kojih se prvo odnosi na nivo potrošnje PSPO, definisano matričnom jednačinom (23), dok je drugo stanje uslovljeno dodatnim povećanjem snaga potrošača.

Treba napomenuti da razmatrani problem nije jednoznačan, i kao takav on nema jednoznačno rešenje. Rešenje koje se dobija, zavisiće od usvojene politike vođenja sistema u razmatranim režimima rada.

Polazeći od sumarnog opterećenja sistema PSPO, logično bi bilo nivo potrošnje sistema postepeno povećavati na taj način što će se pretpostaviti da će se snaga svakog potrošača povećavati srazmerno razlici PP-PPO, t.j.

$$DP_i = k(PP_i - PPO_i) \quad ; \quad i = 1,N \quad . \tag{24}$$

Prema tome, stanje u mreži izazvano dodatnim povećanjem snaga potrošača biće opisano sledećom matričnom relacijom:

$$DPGR = H1 \cdot DPG \quad . \tag{25}$$

Elementi matrice H1 se određuju na osnovu relacija (8), ali sa koeficijentima učešća αi, koji su definisani na sledeći način:

$$\alpha i_i = (PP_i - PPO_i)/(PSP - PSPO) \quad ; \quad i = 1,N \tag{26}$$

Treba napomenuti, pritom, da su dodatne injekcije snaga u generatorskim čvorovima mreže, ograničene:

$$0 \leq DPG_i \leq PGG_i - PGO_i \quad ; \quad i = 1,NG \quad . \tag{27}$$

Pošto faktičko stanje u mreži pretstavlja superpoziciju dvaju prethodno definisanih stanja, tokove snaga u mreži ćemo izračunati na sledeći način:

$$PGR = PGRO + H1 \cdot DPG = PGRO + DPGR \quad . \tag{28}$$

Prema tome, maksimizacija proizvodnje snage u sistemu kod postojanja ograničenja (12), (13) i (18), može se ponovo postaviti kao jedan LP problem:

$$\max \sum_{i=1}^{NG} DPG_i \quad , \tag{29}$$

uz ograničenja:

$$|PGRO + H1 \cdot DPG| \leq PT \quad , \tag{30}$$

$$0 \leq DPG \leq PGG - PGO \quad . \tag{31}$$

Time je omogućeno rešavanje proširenog Garver - ovog modela izvesti istom tehnikom kojom se rešava i osnovni Garver - ov model.

5. MODEL J. M. NAHMANA

U Garver - ovom optimizacionom modelu, prikazanom u tački 3, rešenje LP problema se dobija na bazi primene DC modela, kod kojeg su zanemareni gubici snage u sistemu. Ovako dobijeno rešenje biće prihvatljivo samo ako su gubici ΔP u prenosnoj mreži relativno mali, što pretstavlja veoma čest slučaj. Međutim, kada je stepen opterećenosti mreže u graničnim režimima rada sistema visok, a zbog ispada u mreži i/ili ispada kod izvora je došlo do poremećenja rada sistema, gubici snage mogu biti prilično visoki. U tom slučaju, pravilno bi bilo koristiti model Nahmana [3], koji će biti izložen u ovoj tački.

Ovaj model pretstavlja izvesno poboljšanje Garver - ovog modela, pošto su njime obuhvaćeni i gubici snage ΔP u sistem. Zasniva se na jednostavnoj iterativnoj proceduri u kojoj se kriterijum (11) maksimalne proizvodnje snage zamenjuje kriterijumom (32) maksimalne isporuke snage potrošačima, što svakako, znatno bolje odražava pogonske potrebe u razmatranim režimima rada.

Polazeći od ovako definisanog kriterijuma za optimizaciju, funkcija cilja će u ovom slučaju biti definisana na sledeći način:

$$\max LSC' = \sum_{i=1}^{NG} PG_i - \Delta P \quad , \tag{32}$$

odnosno, obzirom na približnu relaciju (33)

$$\Delta P \approx \frac{1}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi} \sum_{k=1}^{M} RG_k \, PGR^2_k \quad , \tag{33}$$

funkcija cilja (32) dobija sledeći oblik:

$$\max LSC' = \sum_{i=1}^{NG} PG_i - \frac{1}{U_n^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot \sum_{k=1}^{M} RG_k \cdot PGR^2_k \quad . \tag{34}$$

U funkciji cilja (34) se pojavljuju kvadrati snaga kroz grane mreže, pa imajući u vidu relaciju (7), proizilazi da će ovako formulisani problem pretstavljati zadatak kvadratnog programiranja. Iskrsli problem se može prevazići ako se proračunska procedura za dobijanje traženog rešenja podeli u dva koraka, opisan u daljem izlaganju.

Najpre, u prvom koraku, rešavamo LP problem pomoću modela iz tačke 3. Snage kroz grane mreže za taj režim označavamo sa PGRO. Njih dobijamo jednostavno, pomoću izraza (7).

Snage kroz grane PGR za optimalni režim, određene prema kriterijumu (32), razlikovaće se, u izvesnoj meri, od snaga PGRO izračunatih prema kriterijumu (11), što je i sasvim razumljivo, zato što su u zadnjem slučaju zanemareni gubici snage ΔP. Pošto su gubici ΔP ipak srazmerno mali, male će biti i razlike:

$$DPGR_i = PGR_i - PGRO_i \quad ; \quad i = 1,M \quad , \tag{35}$$

između snaga kroz grane mreže, dobijenih prema kriterijumu (32), odnosno (11). U tom slučaju možemo pisati:

$$PGR_i = PGRO_i + DPGR_i \quad ; \quad i = 1,M \quad , \tag{36}$$

ili približno:

$$PGR_i \simeq PGRO_i^2 + 2 \cdot PGRO_i \cdot DPGR_i \quad ; \quad i = 1,M \quad , \tag{37}$$

Prema tome, funkcija cilja (22) odnosno (24) se može napisati i na sledeći način:

$$\max LSC = \sum_{i=1}^{NG} PG_i - \frac{1}{U_n^2 \cdot \cos^2 p} \cdot \sum_{i=1}^{M} RG_i [PGRO^2_i + 2 \cdot PGRO_i \cdot (PGR_i - PGRO_i)], \tag{38}$$

odnosno

$$\max LSC = \sum_{i=1}^{NG} PG_i - \frac{1}{U_n^2 \cdot \cos^2 p} \cdot \sum_{i=1}^{M} RG_i \cdot PGRO_i \cdot PGR_i \quad . \tag{39}$$

Pritom, u funkciji cilja (39) su izostavljeni konstantni članovi sume (38), jer oni ne utiču na rezultat optimizacije.

Ako snage PGR u (39), pomoću (7), izrazimo preko nepoznatih snaga PG, dobićemo:

$$\max LSC = \sum_{i=1}^{NG} PG_i - \frac{1}{U_n^2 \cdot \cos^2 p} \cdot \sum_{i=1}^{M} RG_i \cdot PGRO_i \cdot \sum_{j=1}^{NG} H_{ij} \cdot PG_j \quad . \tag{40}$$

Nakon sređivanja poslednjeg izraza, funkcija cilja (32) će dobiti svoj konačni oblik:

$$\max LSC = \sum_{i=1}^{NG} g_i \cdot PG_i \quad , \tag{41}$$

$$g_i = 1 - \frac{2}{U_n^2 \cdot \cos^2 p} \cdot \sum_{k=1}^{M} RG_k \cdot PGRO_k \cdot H_{ki} \quad ; \quad i = 1,NG \quad . \tag{42}$$

Nakon što su izračunati koeficijenti g_i (i=1,NG) u funkciji cilja (41), prvi korak presmetkovne procedure je završen, i pristupa se drugom koraku.

U drugom koraku, vrši se ponovo rešavanje zadatka lineranog programiranja, ali sada prema kriterijumu (32), odnosno (41). Ograničenja koja u problem uvode mreža i izvori, su i dalje ista.

Pošto je relacija (37) ipak približna, ovako dobijeno rešenje će biti takođe približno, pa u principu, proces proračuna se može nastaviti. U sledećem koraku, gubitke snage ćemo linearizovati oko novodobijenih vrednosti PGR , što znači da kod proračuna koeficijenata g_i, snage PGRO u izrazu (42) treba zameniti novodobijenim vrednostima PGR. Postupak se dalje ponavlja na potpuno isti način kao i u drugom koraku, i ovakva utačnjavanja rešenja se mogu izvoditi dovoljan broj puta, sve dok se ne utvrdi da dalja utačnjavanja praktično ne daju skoro nikakve promene rešenja. Pokazuje se [3] da, po pravilu, potrebe za veći brojem utačnjavanja praktično i nema, t.j. da je za dobijanje rešenja sa prihvatljivom tačnošću, dovoljna čak i samo jedna iteracija.

Ovaj model takođe dozvoljava uvođenje i dodatnih ograničenja tipa (18). U tom slučaju, za rešavanje problema bi se mogla primenjivati ista tehnika kao i u modelu iz tačke 4, s tom razlikom što će tada,funkcija cilja imati obik (41).

5. LOKALNA REDUKCIJA POTROŠNJE

U slučaju kada je nastalo preopterećenje u mreži nemoguće eliminisati preraspodelom generisanih snaga, niti je to moguće uraditi na bilo koji način menjajući konfiguraciju mreže, tada će biti neophodno vršiti redukciju potrošnje u sistemu. To je moguće izvesti na sledeća dva načina:

1. ravnomernom redukcijom kod svih potrošača, što bi značilo isto procentualno smanjenje snage kod svakog potrošača,

2. redukcijom kod samo nekih, unapred specificiranih potrošača.

Prvi način redukcije je već opisan u tački 3. Ovde će biti reči o drugom načinu redukcije potrošnje u sistemu, nazvan "lokalna redukcija potrošnje".

Lokalna redukcija potrošnje je interesantna iz više razloga. Najpre se mora priznati da je, gledano sa tehničkog, pa i sa organizacionog aspekta, izvođenje redukcije potrošnje striktno po načelima prvog principa, praktično neizvodljivo. Sem toga, svi potrošači u sistemu nisu podjednako osetljivi na redukcije i prekide u napajanju, pa je sa stanovišta smanjenja ukupnih šteta u sistemu, izazvane prinudnim redukcijama, u opštem slučaju, povoljnije odstupiti od prvog principa, i neke potrošače reducirati u većoj, a neke u manjoj meri.

Kada vršimo lokalnu redukciju potrošnje, biće dakle potrebno redukciju izvesti po nekim dodatnim načelima, odnosno kriterijumima. U tom smislu, pogodna bi bila sledeća dva kriterijuma:

1. minimizacija ukupne reducirane snage kod potrošača,

2. minimizacija ukupnih šteta kod potrošača, obuhvaćenih lokalnom redukcijom.

U prvom slučaju, kada vršimo minimizaciju ukupne reducirane snage, funkcija cilja će kod ovako postavljenog zadatka biti zbir reduciranih snaga svih specificiranih potrošača. Kada lokalnu redukciju vršimo prema drugom kriterijumu, biće potrebno u funkciju cilja uvesti još i neke dodatne težinske koeficijente, pomoću kojih bi se na neki način obuhvatio i efekat različitih cena neisporučenog kWh kod različitih potrošača.

U delu koji sledi, biće opisan postupak kojim se postiže optimalna lokalna redukcija opterećenja,za slučaj kada se vrši optimizacija prema jednom od navedena dva kriterijuma.

Korišćenjem DC modela, uvode se linearni odnosi (1) i (2) u mreži. Na osnovu odnosa (2), može se uspostaviti direktna veza između snage kroz proizvoljnu granu k(p-q) i injektiranih snaga PI u čvorovima mreže:

$$PGR_k = \frac{\Theta_p - \Theta_q}{XG_k} = \sum_{j=1}^{N} \frac{Z_{pj} - Z_{qj}}{XG_k} \cdot PI_j \quad ; \quad k = 1,M \quad , \tag{43}$$

odnosno

$$PGR_k = \sum_{j=1}^{N} c_{kj} \cdot PI_j \quad ; \quad k = 1,M \quad , \tag{44}$$

gde je:

$$c_{kj} = \frac{Z_{pj} - Z_{qj}}{XG_k} \quad ; \quad j = 1,N \quad ; \quad k = 1,M \quad . \tag{45}$$

Svaka promena injektiranih snaga, izazvaće promene snaga kroz grane mreže. Zbog linearnog karaktera problema, promena injektirane snage:

$$PI' = PI + DP \ , \tag{46}$$

izazvaće promenu snaga kroz grane:

$$PGR' = PGR + DPGR \ , \tag{47}$$

pri čemu je:

$$DPGR_k = \sum_{j=1}^{N} c_{kj} \cdot DP_j \quad ; \quad k = 1,M \ . \tag{48}$$

Obzirom na napred rečeno, od interesa je slučaj kada promene injektiranih snaga vršimo samo u nekim čvorovima mreže. Neka sa ω označimo skup tih čvorova. Tada će se u zbiru (48) pojaviti samo članovi koji odgovaraju čvorovima koji pripadaju skupu ω, odnosno, može se pisati:

$$DPGR_k = \sum_{j\in\omega} c_{kj} \cdot DP_j \quad ; \quad k = 1,M \ . \tag{49}$$

Iz relacije (49) proizilazi da koeficijenti c_{kj} , definisani izrazima (45) imaju svoju fizičku interpretaciju. Naime, koeficijent c_{kj} kazuje nam koliki će biti prirast snage kroz granu "k", koji će se dobiti kada izvršimo jedinični prirast injektirane snage u čvoru "j".

Redukcije DP_j ($j\in\omega$), kod specificiranih protrošača, manifestiraće se u prezentiranom modelu kao dopunske injekcije snage. Prema tome, optimizacioni problem, postavljen na gore iznesenom načinu, može se formulisati kao sledeći zadatak linearnog programiranja:

$$\min \sum_{j\in\omega} DP_j \ , \tag{50}$$

uz ograničenja:

$$\sum_{j\in\omega} c_{kj} \cdot DP_j \geq DPGR_k \quad ; \quad k\in\beta \ , \tag{51}$$

$$0 \leq DP_j \leq PP_j \quad ; \quad j\in\omega \ . \tag{52}$$

U (51) je sa β označen skup grana mreže kod kojih želimo da vršimo rasterećenje, dok je sa $DPGR_k$ označeno traženo rasterećenje grane "k" ($k\in\beta$), odnosno iznos za koji želimo da reduciramo snagu kroz granu "k".

Kada optimizaciju vršimo prema kriterijumu minimizacije štete kod potrošača koji su obuhvaćeni lokalnom redukcijom, funkcija cilja (50) treba da bude zamenjena novom funkcijom:

$$\min \sum_{j\in\omega} k_j \cdot DP_j \ . \tag{53}$$

U funkciji cilja (53) je sa k_j označena cena neisporučenog kWh kod "j"-tog potrošača u sistemu.

Skup β preopterećenih grana, kao i vrednosti $DPGR_k$ ($k\in\omega$) rasterećenja, koje želimo kod njih postići lokalnom redukcijom, dobijaju se na osnovu prethodno izračunatih tokova snaga u mreži za režim maksimalnog opterećenja.

6. LITERATURA

[1] L. Garver, P. Van Horne, K. Virgau, "Load Supplying Capability of Generation-Transmission Networks", IEEE Trans. on PAS , Vol. PAS-98, No.3, 1979.

[2] I. Atiyyah, A. El-Abiad, "The Concept of Power Supply Capacity (PSC) for Application in Reliability Studies" , Proc. of Pittsburgh Modeling & Simulation Conf. 1978 .

[3] R. Aćkovski, "Prilog kon metodite za planiranje na razvojot na EES so primena na simulacijata Monte Karlo", doktorska disertacija, ETF-Skopje, 1989

[4] J. Nahman, R. Aćkovski, "Metoda za procenu graničnih radnih snaga proizvodnih kapaciteta EES" (рад у рукопису).

[5] G. Stagg, A. El-Abiad, "Computer Metthods in Power System Analysis", McGraw-Hill, N. York 1968 .

[6] B. Stott, O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans. on PAS, vol. 93 , pp.859-869 , 1974 .

[7] U. Knight, "Power System Engineering and Mathematics", Pergamon Press Oxford , 1972 .

7. REGISTAR VAŽNIJIH OZNAKA I NJIHIVA ZNAČENJA

N, M, NG - ukupni broj čvorova, grana i generatorskih čvorova u mreži,

A - (masnim slovima) - opšta oznaka za matricu proizvoljnih dimenzija,

A_{ij} - element matrice A koji pripada vrsti "i" i koloni "j",

Θ - matrica kolona faznih uglova napona čvorova mreže,

X - kvadratna matrica reaktansi mreže,

PG - matrica kolona injektiranih snaga u generatorskim čvorovima mreže,

PGG, PGD - matrice kolone gornjih i donjih granica injektiranih snaga PG,

PGR - matrica kolona aktivnih snaga kroz grane mreže,

PP - matrica kolona snaga potrošača u EES,

PT - matrica kolona termičkih granica (snaga) elemenata mreže,

H - matrica veze između snaga kroz grane PGR i generiranih snaga PG,

α - matrica koeficijenata učešća pojedinih potrošača u sumarnom opterećenju sistema PSP,

DP - matrica redukcija snaga potrošača u sistemu,

DPG - matrica dodatnih povećanja snaga izvora u sistemu,

DPGR - matrica dodatnih povećanja snaga kroz grane mreže,

RG, XG - matrice kolone aktivnih i reaktivnih otpornosti rednih grana mreže,

cosP - prosečni faktor snage potrošača u sistemu,

ΔP - gubici aktivne snage u sistemu.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Karmela Stipanović, dipl. inž.
Silva Hazarjan-Marijan, dipl. inž.
Mr Branko Horvat, dipl. inž.
"R. Končar" - Elektrotehnički institut, Zagreb

Mr Željko Logarić, dipl. inž.
"R. Končar" - Inženjering, Zagreb

Referat broj 3.16

OPTIMALNA, SLIJEDNA REGULACIJA AKTIVNIH SNAGA I RAZINA VODE U AKUMULACIJAMA HIDROELEKTRANA U LANCU

SADRŽAJ

U članku se obrazlaže regulacija aktivnih snaga i razina vode u akumulacijama za hidroelektrane (HE) u lancu iz centra sliva. Predlažu se rješenja za "Komandu lanca hidroelektrana na rijeci Dravi i Muri u Varaždinu". Polazi se od toga da će se lanac HE s nivoa Republičkog dispečerskog centra (RDC) tretirati kao jedinstvena elektrana, da će raditi po voznom redu, te da postoji mogućnost da bude uključen i u sekundarnu regulaciju (LFC) i ekonomski dispečing (EDC).

In the article the optimal control of active power and reservoir water levels for hydroelectric power plants' (HEPPs) chain is exposed. A solution is suggested for river basin centre in Varaždin covering the HEPPs on the rivers Drava and Mura. The starting point is the fact that the HEPPs' chain shall be managed as unique plant from the dispatching centre. The chain shall follow the generation schedule. Also, the chain may be operating under load-frequency control and economic dispatch calculation procedures.

1. UVOD

"Komanda lanca hidroelektrana na rijeci Dravi i Muri u Varaždinu (KLV) bit će elektroprivredni upravljački centar", čija će jedna od funkcija biti "daljinski nadzor i upravljanje hidroelektranama tehnološki svezanih na zajedničkom slivu" [1]. Rad lanca HE u realnom vremenu bit će u granicama mogućnosti, podređen potrebama i zahtjevima elektroenergetskog sistema (EES), "vodeći računa o zahtjevima zajedničke eksploatacije hidroelektrana sa Slovenijom i Mađarskom, te zahtjevima vodoprivrede u pogledu plovnosti, oduzimanja vode te zajedničke zaštite od velikih vodnih valova."

"U okviru daljinskog nadzora i upravljanja hidroelektranama, KLV preuzima

i dio planskih i izvršnih funkcija Republičkog dispečerskog centra (RDC) u Zagrebu, omogučujući mu da lanac HE u pogledu proizvodnje električne energije promatra kao jednoagregatni objekt."

Interakcija između sliva i EES ostvarit će se u pogonu preko ekonomskog dispečinga (EDC), programom za ekonomsku regulaciju sliva u KLV.

Lanac HE radit će u tri osnovna režima rada: režimu rada po planu KLV, režimu sekundarne regulacije frekvencija-snaga (LFC) ili prisilnom režimu. U režimu rada po planu KLV lanac će raditi relativno autonomno po usklađenom i utvrđenom voznom redu. U druga dva režima rada u KLV će iz RDC u realnom vremenu dolaziti jedinstveni nalozi za cijeli lanac HE. KLV će naloge raspoređivati po pojedinim HE na optimalan način.

Zahtjevi na regulaciju snaga i razina u centru sliva (CS):

- izvršavanje kratkoročnog plana pogona (voznog reda),
- održavanje razina u akumulacijama,
- prijem signala LFC s nivoa RDC,
- prijem naloga EDC iz RDC,
- prijem naloga u prisilnom režimu rada,
- rad po razinama u slučaju potrebe za nadopunom ili pretpražnjenjem akumulacija,

direktno impliciraju strukturu i karakteristike regulatora.

Predlaže se vremenski diskretan regulator, multivarijabilan s vremenskim kašnjenjima, višekriterijalan, slijedni i adaptivan po varijablama stanja.

2. KARAKTERISTIKE PROCESA PRETVORBE ENERGIJE U LANCU HE I UTJECAJ NA IZBOR REGULATORA

Proces proizvodnje električne energije lanca HE u slivu je složen, prostorno i vremenski distribuiran, hidroenergetski (s hidrauličkim međuzavisnostima), dinamički (integracijsko ponašanje akumulacija, vremensko kašnjenje protoka među HE, oscilatorno ponašanje kanala i akumulacija) proces s memorijom i naknadnim djelovanjem.

Zbog relativno velikih udaljenosti među HE, protočni val nastao promjenom protoka na uzvodnoj HE, koji se giba nizvodno odvodnim derivacijskim kanalom i dionicom korita rijeke, kasni do akumulacije nizvodne HE. Isto tako kasni i protočni val nastao promjenom protoka na promatranoj HE, koji se giba uzvodno dovodnim derivacijskim kanalom do pripadne akumulacije.

U diskretnim sistemima kašnjenja stvaraju nove varijable stanja [2] koje treba uključiti u model procesa.

Znatnija i naglija promjena protoka HE izaziva nestacionarno tečenje i valni ciklus u dovodnom derivacijskom kanalu. Takva dinamika u kanalu uzrokuje periodičko (perioda oscilacija razina i protoka u kanalu) pražnjenje i punjenje akumulacije kao i transportne valove koji se rasprostiru akumulacijom i reflektiraju od krajeva. Te nestacionarnosti su popraćene oscilacijama razine vode na brani, nepovoljnima za regulaciju.

Oscilacije se mogu modelirati i kao takve uključiti u model procesa kojim se projektira regulator ili estimirati u realnom vremenu i oduzeti od mjerenih vrijednosti varijabli stanja (razina). Uvjet je da su parametri modela oscilatora za estimator dobro identificirani.

Proces koji treba regulirati također je i nelinearan.

Nelinearne su ovisnosti:

- gubitaka tlaka u turbinskom dovodu strojarnice o protoku kroz turbinu i dovodnom derivacijskom kanalu o sumarnom protoku strojarnice,
- protoka kroz turbinu o snazi i bruto-padu,
- nivoa donje vode na strojarnici o sumarnom protoku strojarnice,
- nivoa vode na brani o volumenu vode u akumulaciji,
- kašnjenja protoka između uzvodne i nizvodne HE o samom protoku.

Unatoč spomenutim nelinearnostima predlaže se linearni model procesa te linearni regulator, i to iz više razloga.

Dosadašnja iskustva u projektiranju regulacije razine vode agregatima, na HE Čakovec, HE Solkan i HE Dubrava, pokazuju da se i običnim linearnim PID regulatorima, kad bi im se uveo signal o dotoku, može ostvariti uspješna regulacija.

Statička karakteristika donje vode nije, zahvaljujući utjecaju nizvodne stepenice (radi se o praktično kaskadnim HE), izrazito nelinearna. Također, područje mijenjanja donje vode u ovisnosti o protoku mnogo je manje nego što bi bilo kad ne bi postojao utjecaj akumulacije nizvodne HE.

U ekonomičnom području rada zavisnosti protoka HE o snazi vrlo su bliske linearnima.

Također i vrlo usko regulacijsko područje razina vode u akumulaciji ide u prilog linearizaciji zavisnosti razina o volumenu.

Mada su zavisnosti kašnjenja protoka od uzvodne HE do akumulacije nizvodne HE o protoku nelinearne, poželjno je uzeti ih konstantnima, jer se time postiže nepromjenljiva struktura regulatora, a sama greška modela nije toliko značajna da bi se isplatilo instalirati regulator s promjenljivom strukturom.

Budući da regulatori tipa PD, PI i PID dozvoljavaju samo ulaze po jednoj izlaznoj varijabli procesa, odnosno varijabli stanja - razini, a proces u lancu HE sadrži bogatiju memoriju u obliku niza protočnih varijabli stanja distribuiranih prostorno i vremenski među susjednim HE, znatna poboljšanja u regulaciji postižu se uvođenjem regulatora s povratnom vezom po varijablama stanja.

Linearan matematički model procesa u vremenski diskretiziranom obliku, s kašnjenjima u upravljanjima opisan je jednadžbom:

$$x(k+1)=A_0(k)x(k)+B_0(k)u(k)+B_1(k)u(k-1)+ \ldots +B_d(k)u(k-d) \qquad (1)$$

gdje su:
A_0 - matrica prijelaza reda n x n,
B_i - upravljačke matrice reda n x r,
x - vektor stanja reda n,
u - upravljački vektor reda r,
d - najveće kašnjenje u koracima diskretizacije
k - vremenski korak diskretizacije.

Taj se model procesa koristi za projektiranje regulatora.

Predlaže se optimalni (LQ) regulator s povratnom vezom po varijablama stanja dobiven minimizacijom kvadratnog kriterija kvalitete čiji je standardni oblik za vremenski diskretizirane sisteme suma po pojedinim vremenskim intervalima diskretizacije k:

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} \left[x^T(k)Q(k)x(k) + u^T(k)R(k)u(k) \right] \qquad (2)$$

gdje su:
R i Q - simetrične težinske matrice.

Kvadratni kriterij vodi na linearan optimalni zakon upravljanja:

$$u(k) = -L(k)x(k), \qquad (3)$$

koji je, osim toga, za beskonačno vrijeme optimizacije (što praktično znači razmatranje perioda optimizacije, jednakog nekoliko vremenskih konstanti sistema) i konstantne matrice A i B (stacionarnost procesa), konstantan:

$$L(K) = L. \tag{4}$$

LQ-regulator se predlaže iz slijedećih razloga.

Uz ispunjenje poznatih ograničenja na matrice modela procesa i težinske matrice (definitnost, upravljivost i opservabilnost), [3], osigurano je konačno rješenje upravljanja i stabilnost regulacijskog sistema.

Regulacijski sistem je robustan, a ostaje stabilan, uz određena ograničenja, i pri nelinearnostima u povratnoj vezi.

Multivarijabilan, optimalni regulator ostvaruje prethođenje u upravljačkim djelovanjima.

3. REGULATOR

U cilju zadovoljenja zahtjeva na regulator, danih u uvodu, standardni oblik kriterija je proširen:

$$J = \sum_{K=0}^{\infty} \Big\{ \big[x(K)-x^d(K)\big]^T Q \big[x(K)-x^d(K)\big] + u^T(K) R_1 u(K) + \\ + \big[u(K)-u(K-1)\big]^T R_2 \big[u(K)-u(K-1)\big] + \\ + k_Q^2 \Big[\sum_i \varrho_i u_i(K) - p_\Sigma(K)\Big]^2 \Big\} \tag{5}$$

Pojedinačno kriteriji, čijim se zadovoljenjem dobiva regulator traženih svojstava, su:

- minimum fluktuacija upravljačkih zahvata:

$$u^T R_1 u \tag{6}$$

- minimum odstupanja varijabli stanja od zadanih vrijednosti (slijedenje):

$$(x-x^d)^T Q (x-x^d) \tag{7}$$

- minimum promjene upravljačkih varijabli u dva uzastopna koraka diskretizacije (ograničavanje brzine promjene upravljanja):

$$\Delta u^T R_2 \Delta u \tag{8}$$

- minimum odstupanja od zadane ukupne snage lanca:

$$k_0^2 \Big(\sum_i p_i - p_\Sigma\Big)^2 = k_0^2 \Big(\sum_i \varrho_i u_i - p_\Sigma\Big)^2 \tag{9}$$

gdje su:

u - vektor upravljačkih varijabli (protoka),

x - vektor varijabli stanja (razina),

x^d - vektor zadanih varijabli stanja (razina), dan voznim redom,

Δu - vektor promjene upravljačkih varijabli u dva uzastopna koraka diskretizacije, u(K)-u(K-1),

u_i - protok pojedine elektrane,

φ_i - zavisnost protok-snaga pojedine elektrane,

i - indeks elektrane,

p_Σ - planirana sumarna snaga lanca,

k_0 - koeficijent značaja kriterija po snazi za sve HE,

Q, R_1, R_2 - težinske matrice.

Budući da se odnosom matrica Q i R_1 praktično određuje pojačanje regulatora, izbor tih matrica odražava se kako na slijeđenje odnosno stabilizaciju varijabli stanja tako i na intenzitet fluktuacija upravljačkih varijabli pod utjecajem poremećaja. Fluktuacije upravljačkih varijabli mogu biti i takve da upravljanja budu dio vremena na ograničenjima. U tim slučajevima upravljanje više nije optimalno s obzirom na polazni kriterij jer je povratna veza u regulacijskom sistemu nelinearna zbog ograničenja. Zato prilikom izbora matrica Q i R_1 treba voditi računa o karakteru i intenzitetu poremećaja koji se očekuju kako pojačanja ne bi bila takva da upravljanja prečesto budu na donjem ili gornjem ograničenju s tendencijom pada odnosno rasta, respektivno. Pri prevelikim pojačanjima moguće su i oscilacije regulacijskog sistema zbog opisanih nelinearnosti.

Kriterijem (8) i pravilnim izborom težinske matrice R_2 može se postići da brzina mijenjanja upravljačkih varijabli ne prelazi preporučljivu.

Budući da se osim slijeđenja trajektorija varijabli stanja prvenstveno zahtijeva generiranje zadane sumarne snage lanca, uveden je i kriterij (9).

Taj kriterij osigurava preraspodjelu tj. kompenzaciju snage iz preostalih HE ako u nekima prevlada regulacija razina. To je postignuto promjenama (u odnosu na čistu regulaciju razina) u elementima matrice pojačanja (L) koji množe dodatne varijable stanja (kašnjena upravljanja) nastale u sistemu s kašnjenjima.

Oba niza referentnih vrijednosti (trajektorija razina i zadane sumarne snage lanca HE) rezultat su voznog reda (plana pogona) i međusobno su usklađeni dok vrijede pretpostavke plana. Međutim, fluktuacije dotoka u prvu akumulaciju i međudotoka u ostale akumulacije mogu imati trend u odnosu na prognozu koja je bila osnova za planiranje pogona. Isto tako trend mogu imati i zahtjevi LFC. I jedno i drugo izazvat će odstupanja razina od zadanih vrijednosti i tražiti korekciju protoka (snaga) pojedinih HE kako bi se odstupanja otklonila. Istovremeno, traži se da regulator prati i referentne snage. Proizlazi da su navedena dva kriterija (slijeđenje razina i slijeđenje snaga) u praksi često u koliziji. Davanjem većeg značaja trajno jednom ili drugom kriteriju nema smisla jer se na taj način u svim situacijama zapostavlja ili slijeđenje nivoa ili slijeđenje snaga. Jednakim vrednovanjem oba kriterija ne postiže se zadovoljavajući odziv ni po jednom skupu varijabli. Rješenje je u adaptivnom regulatoru. Takav regulator ne reagira na male slučajne poremećaje s pripadnim malim odstupanjima u razinama, već se odstupanja u razinama počinju otklanjati tek kad im iznosi postanu značajni. To je tzv. glatka adaptacija pojačanja optimalnog, vremenski diskretnog regulatora na iznos greške, s adaptivnom povratnom vezom po varijablama stanja [5].

Adaptivnost je uključena u kriterij (7) preko težinske matrice Q [4]:

$$Q\left[x(K)\right] = Q_0 + \mathcal{E} Q_1 x^T(K) Q_2 x(K) \qquad (10)$$

gdje su:
$\mathcal{E}$ - pozitivan konstantni parametar,
Q_0, Q_1 i Q_2 - konstantne nenegativno definitne matrice.

Matrica Q_0 se modulira produktom Q_1 i pozitivnog skalarnog kvadratnog člana u $x(K)$, $x^T(K)Q_2x(K)$ u ovisnosti o stanju sistema. Odnos elemenata matrica R_1 i Q_0 određuje pojačanje regulatora, koje je obično malo za male poremećaje. Ako se matrica Q_1 izabere tako da bude jednaka Q_0 modulacija proporcionalno djeluje na sve komponente matrice Q_0. Matrica Q_2 se izabire tako da pojačanje postaje značajno tek na određenim vrijednostima odstupanja varijabli stanja.

S tako definiranom adaptivnošću, dok su odstupanja razina od zadanih mala, praktično će imati značaja samo kriterij po snagama. S porastom odstupanja dobivat će na značaju i kriterij po razinama. Pri većim odstupanjima potpuno će prevladati kriterij po razinama.

Regulator dobiven prema navedenim kriterijima daje linearan, slijedni zakon upravljanja ($-L(x-x^d)-K\cdot p_\Sigma$) proširen nelinearnim adaptivnim dijelom ($\mathcal{E}\cdot M$):

$$u = -L\cdot(x-x^d) - K\cdot p_\Sigma - \mathcal{E}\cdot M \qquad (11)$$

gdje su:
L - matrica pojačanja,
x - vektor varijabli stanja (razina),
x^d - vektor zadanih vrijednosti varijabli stanja (razina),
K - vektor raspodjele,
p_Σ - zadana sumarna snaga,
M - vektor funkcija adaptacije, $M=f(x-x^d)$,
$\mathcal{E}$ - skalarni koeficijent adaptacije.

Diskretizacijom velikih (u usporedbi s periodom uzorkovanja) vremenskih kašnjenja, stvara se neprihvatljivo velik broj varijabli u proširenom vektoru varijabli stanja te visok red matrice prijelaza i upravljačke matrice. Korištenjem [7] prikladne metode sinteze optimalnog vremenski diskretnog regulatora po kvadratnom kriteriju [6], koja dozvoljava višestruka kašnjenja u upravljačkim varijablama (kašnjenja karakteristična za dani proces) znatno se smanjuje red sistema.

4. SIMULACIJSKI PRIMJERI

Na slici 1 dan je simulacijski primjer rada tri HE po dnevnom voznom redu kad je dotok u prvu HE točno u skladu s pretpostavljenim prilikom planiranja pogona (prvi dio dana, do 15h) i kad dotok u realnom vremenu značajnije odstupi od pretpostavljenoga (drugi dio dana, nakon 15h).

Uzete su tri niskotlačne HE u lancu, jednakih karakteristika s po dva agregata i kontinuiranim prijelazom u snazi s jednog na dva agregata i obratno.

Model vremenski diskretiziranoga, linearnog procesa dan je jednadžbama (1) koje se za primjer tri HE u lancu i uz pretpostavku stacionarnosti procesa mogu napisati u obliku:

$$x_1(K+1) = x_1(K) - \frac{h}{T_{A1}} \cdot u_1(K-d_{11})$$

$$x_2(K+1) = x_2(K) - \frac{h}{T_{A2}} \cdot \left[u_2(K-d_{22}) - \sum_{l=0}^{d_{21}} b_{21} u_1(K-l)\right] \qquad (12)$$

$$x_3(K+1) = x_3(K) - \frac{h}{T_{A3}} \cdot \left[u_3(K-d_{33}) - \sum_{l=0}^{d_{32}} b_{31} u_2(K-l)\right]$$

gdje su:

x_i - varijable stanja (razine),
u_i - upravljačke varijable (protoci),
T_{Ai} - vremenske konstante akumulacija,
h - trajanje vremenskog koraka diskretizacije,
k - vremenski korak diskretizacije,
d_{ii} - kašnjenja protoka pripadne HE (zbog dovodne derivacije),
$d_{i,i-1}$ - kašnjenja protoka uzvodne HE,
b_{il} - koeficijenti distorzije protočnog vala.

U HE su modelirane samo protočne karakteristike (statičke) bez regulatora (grupnih i turbinskih) zahvaljujući sporosti regulacijskog procesa. Pretvorba protok - snaga ostvarena je izlaznom - inverznom protočnom karakteristikom. Dovodni i odvodni derivacijski kanali modelirani su samo kašnjenjima. Nije modelirana dinamika vode u derivacijskim kanalima i akumulacijama (oscilacije razina i protoka). Transport protočnih valova među susjednim HE modeliran je kašnjenjem i aperiodskim članom drugog reda (distorzija).

Opisani model korišten je za simulaciju procesa. Za projektiranje regulatora korišten je pojednostavljeni model s frontalnim nailaskom kašnjenih protoka uzvodne HE (postoji samo po jedan l i $b_{il}=1$ u jednadžbama (12)) te s linearnom i konstantnom zavisnošću snaga - protok ($p_i=\varrho_i u_i$, $\varrho_i=1$).

Regulator je modeliran izrazom (11).

Sve veličine su normirane (per-unit); protoci na instalirani protok HE, snage na maksimalnu snagu HE, razine na im. Protoci imaju ograničenja na miminum zbog nepovoljnog režima rada turbina na malim protocima. Vremenske konstante akumulacija su T_{A1}=100min, T_{A2}=400min i T_{A3}=500min. Kašnjenja dovodnih derivacijskih kanala su τ_1=15min i $\tau_2=\tau_3$=5min. Kašnjenja glavnine protoka među susjednim HE uzeta su jednakima $\tau \approx 1h$.

Uzeto je da dnevni dijagram zahtijevane sumarne snage lanca, p_{szad}, kao rezultat voznog reda (sl. 2) po obliku odgovara dijagramu pretpostavljenog dotoka u prvu HE, $dotok_1$, (sl. 2), međutim dotok kasni približno za 1h što je dosta realna situacija jer je za očekivati da i uzvodno postoji neka HE koja također mora zadovoljiti sličan dnevni dijagram snage. Kašnjenje dotoka u prvu HE, $dotok_1$, kao i kašnjenja protoka među HE, $dotok_2$ i $dotok_3$, u odnosu na zahtijevanu snagu kompenzirana su, međutim, trajektorijama zadanih razina, x_{zad1}, x_{zad2} i x_{zad3}, (sl. 1) koje su također rezultat voznog reda.

Sa slike 2 se vidi da se, u situaciji kad je realizacija poremećaja (dotoka u prvu HE) u skladu s pretpostavkom (prvi dio dana, do 15h) dobivena sumarna snaga lanca, p_s, u potpunosti poklapa sa zahtijevanom, p_{szad}, u svim pripadnim vremenskim intervalima (sl. 2) iako protoci pojedinih HE, u_1, u_2 i u_3, (sl. 2) pa i snage imaju nešto drugačiji dijagram. Takvi protoci pojedinih

HE rezultat su i regulacije razina, x_1, x_2 i x_3, koje zadovoljavajuće slijede zadane trajektorije (sl. 1). Ti se protoci, međutim, međusobno dobro kompenziraju dajući traženu sumarnu snagu što je osnovni zadatak opisane regulacije.

Situacija kad realizacija dotoka u prvu HE odstupi od pretpostavke (drugi dio dana, nakon 15h) dana je primjerom ispada jednog agregata u nekoj uzvodnoj HE jednakih karakteristika i njenim nastavkom rada s jednim agregatom prvo na maksimalnoj i nakon toga na sniženoj snazi, dotok$_1$, (sl. 2). Za opisani lanac tri HE to je značajan poremećaj, pogotovo ako zahtjevi za snagom ostanu nepromijenjeni, p_{szad}, (sl. 2). U tom slučaju postoji tendencija značajnijih varijacija razina, posebno u prvoj HE, x_1, jer ona nema informaciju o dotoku (sl. 1). Međutim, regulacija razina djeluje i trajektorija zadanih razina se ipak slijedi, x_1, x_2 i x_3, (sl. 1). Normalno, pritom su fluktuacije protoka pojedinih HE, u_1, u_2 i u_3, (sl. 2) pa i snaga značajne. Ipak, protoci se međusobno dobro kompenziraju tako da je ostvarena sumarna snaga, p_s, vrlo bliska zahtijevanoj, p_{szad}, i u tom najkritičnijem razdoblju (sl. 2).

5. ZAKLJUČAK

Predložen je regulator za regulaciju aktivnih snaga i nivoa hidroelektrana u lancu. Regulator je vremenski diskretan, multivarijabilan, za procese s vremenskim kašnjenjima. Multikriterijalan je i adaptivan po varijablama stanja u skladu sa zahtjevima procesa. Rad regulatora pokazan je na simulacijskim primjerima.

6. LITERATURA

1. Tehnička dokumentacija za traženje ponuda (Tenderska dokumentacija) za komandu lanca hidroelektrana na rijeci Dravi i Muri u Varaždinu, Elektroprivreda Zagreb, Zagreb 1988.

2. Åström, K. J., Wittenmark, B., Computer Controlled System Theory and Design, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1984.

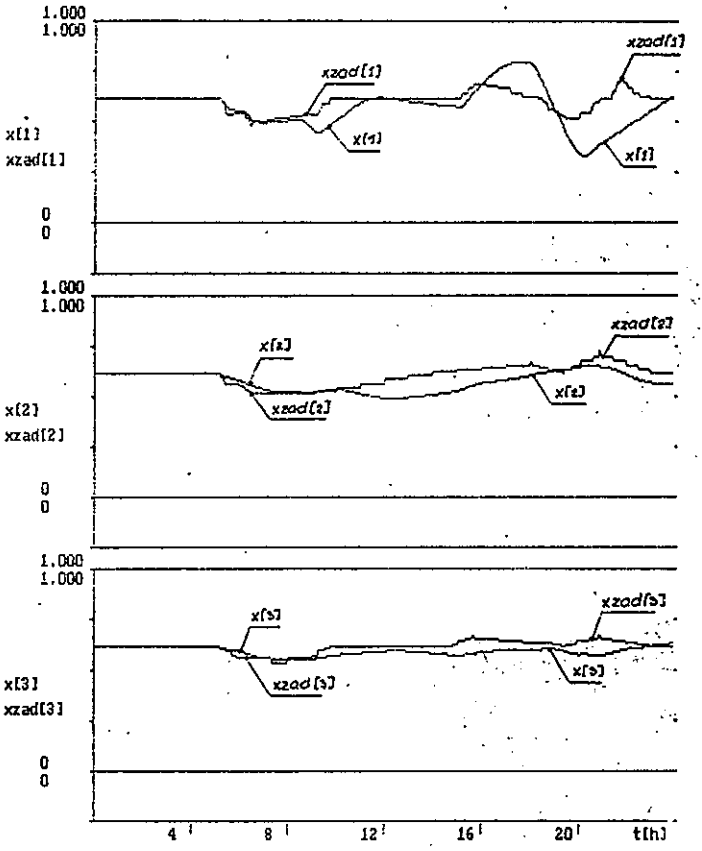
3. Anderson, B. D. O., Moore, J. B., Linear Optimal Control, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1971.

4. Galiana, F. D., Glavitsch, H., State Adaptation in Power System Control, IEEE Power Engineering Society.

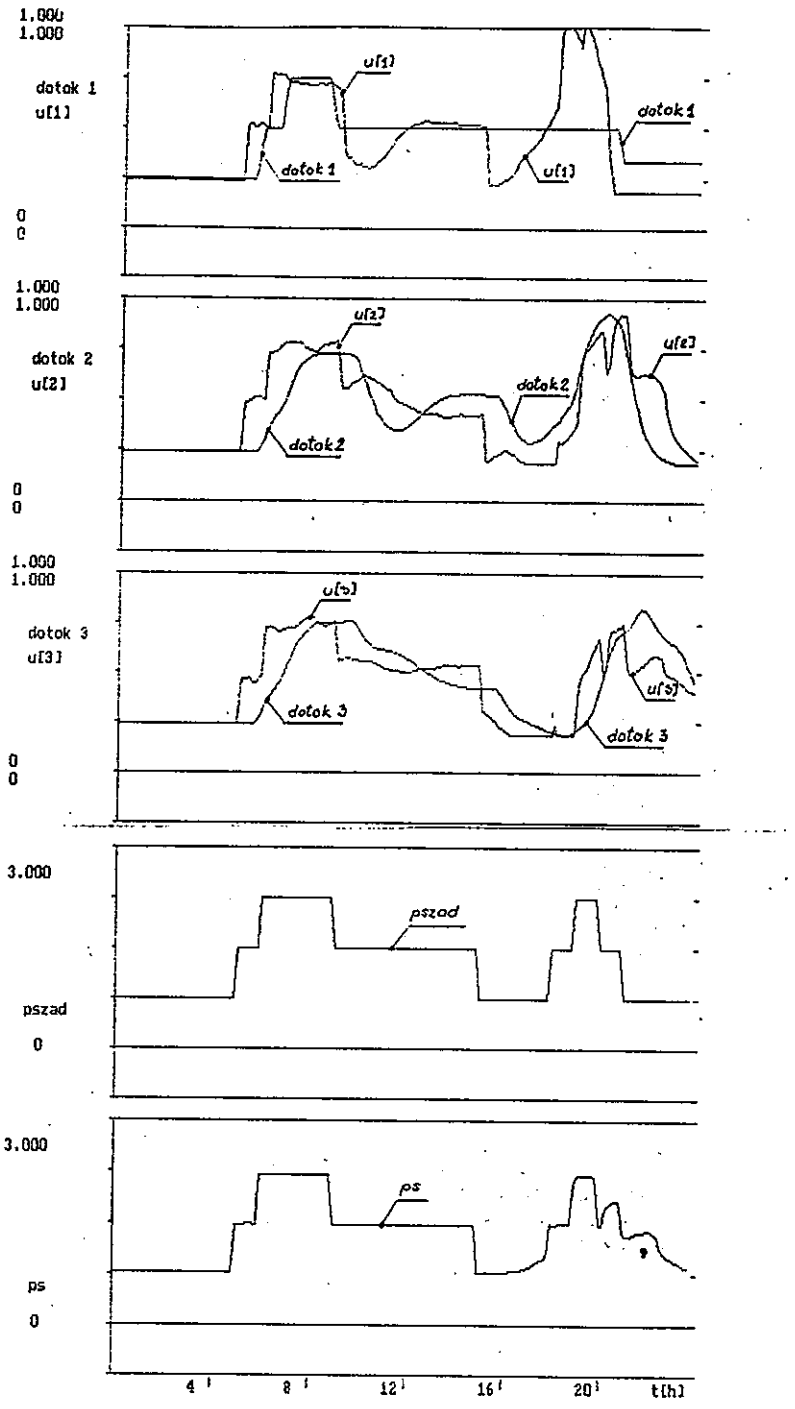
5. Hazarjan, S., Razmatranja o podobnosti primjene optimalnih, slijednih, adaptivnih regulatora na regulaciju lanca hidroelektrana u slivu donje Drave i Mure, E-5352, "RK", Zagreb 1989.

6. Mishra, J., Rajamani, V. S., Optimal Control Synthesis of Time-Delay System via Dynamic Programming, Int. J. Control, 1975, Vol. 22, No. 2, 181-190.

7. Stipanović, K., Analiza mogućnosti prilagodbe sinteze optimalnih pslijednih regulatora na sisteme s kašnjenjima, E-5351, "RK", Zagreb 1989.



Slika 1. Simulacijski primjer regulacije razina vode



Slika 2. Simulacijski primjer regulacije sumarne aktivne snage

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Vlatko Debeljuh
Mariza Mastelić
Vladimira šantek

RADE KONČAR - INŽENJERING
Informacijski sistemi i daljinsko upravljanje

Referat broj 3.17

PROGRAMSKI SISTEM ZA NADZOR, PLANIRANJE I UPRAVLJANJE DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA NA PC

SADRŽAJ

članak opisuje funkcije računarskog sistema za nadzor, planiranje, upravljanj(i dokumentiranje srednjih i velikih distributivnih mreža. Sistem omogućava definiranje modela više raznorodnih mreža (npr. cestovna i elektrodistributivna mreža) uz primjenu kolor full-grafike. Mreže mogu biti organizirane hijerarhijski sa paralelnim prikazivanjem više nivoa. Slike sadrže fiksne i dinamičke elemente te prikazuju trenutno ili pohranjeno stanje mreže. Boje na prikazu mogu ovisiti o topološkoj povezanosti i stanju objekata mreže.
Potencijalna topologija mreže može se unositi preko formulara ili grafičkim editorom uz kontrolu konzistencije.
Posebna pogodnost sistema je automatsko formiranje layout-a mreže iz potencijalne ili radne topologije čime se postiže velika preglednost.
Bitna funkcija sistema je i planiranje pogona i održavanja, te simulacija stanja mreže i formiranje različitih izvještaja.
Sistem je realiziran na personalnom ili VAX računalu i može primati dio podataka iz sistema realnog vremena (on-line) ili raditi nezavisno.

ABSTRACT

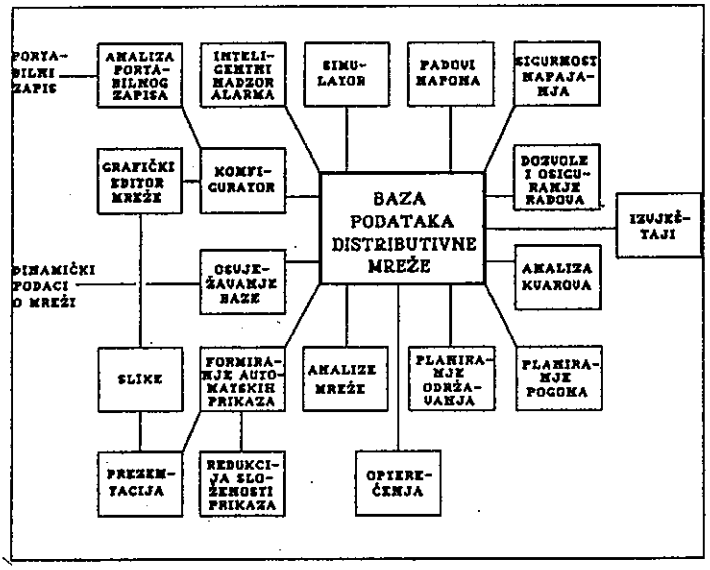
The functions of computer system for controlling, planning, managing and documenting medium and large distributive networks are described in the article. System provides model defining for various networks (road, electrodistributive networks etc.) using colour full-graphics. Networks can be organized hierarchically with parallel multi-level displaying. Displays consist of fixed and dynamic elements and show current or stored network state. Display colouring can be determined by topological connectivity and network objects' states.

Network potential topology can be entered by using forms or graphic editor, with consistency control.
Special system feature is automatic network layout forming, from potential or working topology, by means of which the great visibility is achieved.
Important system feature is network construction and maintenance planning, network state simulation and creating various reports.
System is realized on PC and/or VAX computer, partially gets data from real-time system (on-line) or can operate independently.

1. UVOD

Osnovna namjena PCEDINA sistema je definiranje, modifikacija, prezentacija, vođenje, nadzor, analiza, dokumentiranje, planiranje i održavanje elektrodistributivnih mreža. Sistem je otvoren, te se može jednostavno adaptirati i za druge tipove mreža (plin, voda, toplinske, cestovne mreže).
Sistem je pogodna zamjena za klasični način vođenja mreže i kvalitetna je pomoć kod restoracije mreže, planiranja na duže rokove, otkrivanja kvarova, vođenja dokumentacije i praćenja stanja mreže u vremenu. Mod simulacije uz primjenu različitih analiza i proračuna mreže olakšava donošenje odluka u kritičnim situacijama ili planiranju.
Struktura mreže može se definirati crtanjem koristeći grafički editor mreže, ili prenošenjem podataka o strukturi i parametrima mreže iz drugih sistema ukoliko su ti podaci formatirani na određeni način. Time je ovaj sistem maksimalno otvorenim, te može biti aktivan uz neki drugi već postojeći sistem (npr. uz SCADA sistem).
Primjena više prozora na ekranu (windows) i komunikacija s operaterom preko menija i dijalog boksova čini rad sa sistemom maksimalno jednostavnim. Istovremeno se mogu prikazivati sheme mreže različitog stupnja detaljnosti, različiti dijagrami, ili liste događaja.

2. STRUKTURA SISTEMA



Slika prikazuje strukturu programskog sistema za distributivne mreže s bazom podataka i svim funkcijama koje omogućuju definiranje sistema te kvalitetno i efikasno vođenje složenih elektodistributivnih postrojenja.

3. LOGIČKA STRUKTURA MREŽE

Distributivna mreža se sastoji od visokonaponske (VN), srednjenaponske (SN) i niskonaponske (NN) mreže. Ove tri mreže različitih naponskih nivoa međusobno su topološki povezane.
Visokonaponska mreža se dijeli u naponske nivoe (110 kV, 35 kV). Svaki naponski nivo sadrži više podstanica. Podstanice su grupirane u stanice. Jedna VN stanica može sadržavati jednu ili više podstanica. Ako ih ima više, obično se radi o različitim naponskim nivoima. Podstanice različitog nivoa povezane su transformatorima koji pripadaju stanici, a istovremeno su i grane mrežne visokonaponske topologije.
Vodovi višeg naponskog nivoa (220 KV, 110 KV, 35 KV) odlaze prema drugim VN stanicama, tj. njihovim podstanicama. Vodovi 10 i 20 KV napajaju SN distributivnu mrežu (izvori) i njihov raspored i radni parametri od suštinske su važnosti za nadgledanje, upravljanje i planiranje pogona distributivne srednjenaponske mreže.
Model mreže je topološki povezan po svim nivoima.

3.1 VISOKONAPONSKE STANICE

Potencijalnom topologijom VN stanice definirano je kako su međusobno povezane njene podstanice preko transformatora. Transformator može imati i tercijar što znači da sistem podržava i višepole i korektno vodi njihovu potencijalnu i radnu topologiju.
Struktura VN podstanice definirana je njenom jednopolnom shemom i parametrima pridruženim aparatima i čvorovima. Parametri aparata i čvorova upisuju se preko dijalog boksova . Čvor može biti vanjski priključak, sabirnica ili lokalni čvor, te može imati pridruženo procesno mjerenje napona, snage, struje ili frekvencije. Preko parametara pridruženih čvorovima određuje se struktura podstanice (sekcije, polja). Aparati imaju jednoznačnu identifikaciju, tip (rastavljač, prekidač,..), a također mogu imati pridružen procesni ključ.

Potencijalna topologija definirana je parovima čvorova na aparatima što je dovoljno za topološke analize jednopolne sheme pri formiranju radnih čvorova mreže koji opisuju koji su se vodovi i transformatori međusobno spojili, što ovisi o uklopnim stanjima aparata jednopolne sheme.
čvorovi priključci u podstanici su veza podstanice prema okolini. Priključci na koje su vezani vodovi su i vanjski priključci stanice, dok transformatori spajaju podstanice iste stanice (različite naponske nivoe).

Podstanica je podjeljena u sekcije i spojna polja među sekcijama, a definirane su i strukture vodnih polja, transformatorskih i mjernih polja, spojnih polja sabirnica iste sekcije. Ovako strukturirane informacije omogućavaju niz funkcija i analiza. Npr. moguće je definirati da je cijela sekcija u remontu i sistem može blokirati njeno uključenje i to čak i na pomoćnim sabirnicama koje se bez odvajanja protežu i na drugu sekciju.

3.2 SREDNJENAPONSKE STANICE

Srednjenaponske stanice sastoje se u većini slučajeva od samo jedne podstanice. Međutim, ako u SN mreži postoji više naponskih nivoa (npr. 10 kV i 20 kV), tada srednjenaponska stanica ima više podstanica spojenih transformatorima.

Topološka struktura SN podstanice ista je kao i struktura VN podstanice. Razlika je u podacima koji u sistemu postoje za SN podstanicu kao npr. prioritet, dijagram potrošnje itd.

3.3 OBJEKTI NISKONAPONSKE MREŽE

Niskonaponska mreža započinje na izvodu 10/0.4 u SN podstanici. Moguće je definirati crtežom 0.4 razvod, što kod manjih distribucija može biti vrlo korisno jer je to veći dio mreže. Druga mogućnost je da se izvodu pridruži popis potrošača spojenih na njega sa osnovnim podacima (prioritet, krivulja potrošnje, veza sa podacima iz brojila, adresa,...)

4. BAZA PODATAKA MREŽE

Baza podataka čini centralni dio sistema. Baza podataka svojom strukturom i sadržajem opisuje strukturu distributivne mreže i sve parametre objekata - dinamičke i statičke. Osim ovog "preslikavanja" strukture i parametara mreže u bazu, što čini osnovne elemente modela mreže u računalu, baza podataka preslikava i sam proces nadgledanja, vođenja i planiranja mreže, jer svojom strukturom i mogućnostima čini jezgro svih funkcija ovog sistema.
Osim prenesene strukture mreže baza podataka sadrži i niz struktura koje nastaju topološkim analizama kao npr. odvojene podmreže, radne podmreže, spojne puteve ...

Baza podataka dozvoljava memoriranje više skupina dinamičkih stanja mreže čime je omogućeno arhiviranje stanja mreže, planiranje pogona (priprema budućih stanja), te rad u modu simulacije. Isto tako, brzo formiranje i pamćenje cijelih stanja mreže omogućava da simulator može raditi interaktivno na cijeloj mreži.

Baza podataka omogućava brzu komparaciju potencijalne ili radne strukture mreže, što je osnova za donošenje odluka i brzo ispitivanje različitih alternativa.
Preko jezika upita formiran je veliki broj izvještaja koji opisuju strukturu objekata mreže, njihove parametre i radne podatke.

5. DEFINIRANJE MREŽE

Definiranje mreže je postupak kojim korisnik unosi strukturu i parametre svoje mreže u sistem. Rezultat postupka je baza podataka i niz prikaza mreže.

5.1 KONFIGURATOR MREŽE

Konfigurator mreže je program kojim se definira potencijalna struktura mreže i unose parametri objekata. Konfigurator komunicira s bazom podataka, a može primati podatke iz tri izvora:

- Vlastite komunikacije sa operaterom (meniji i dijalozi).
- Grafičkog editora mreže čime je omogućeno zadavanje mreže crtanjem.
- Iz portabilnog zapisa mreže preko modula za analizu portabilnog zapisa. Time je omogućeno preuzimanje strukture mreže i svih ostalih podataka iz EDINA sistema (programski sistem za distributivne mreže implementiran na PDP računalu) ili bilo kojeg drugog sistema koji pripremi podatke u formatu definiranom portabilnim zapisom, što čini ovaj sistem maksimalno otvorenim.

Bitna svojstva konfiguratora su:

- mreža se može širiti i modificirati inkrementalno za vrijeme normalnog funkcioniranja sistema bez potrebe za integracijom baze podataka.
- odmah se ispituje konzistencija podataka i javljaju se greške.

5.2 GRAFIČKI EDITOR

Grafičkim editorom mreže formiraju se prikazi mreže i to:

- jednopolne sheme podstanica
- mrežne sheme srednjenaponske i visokonaponske mreže
- sheme niskonaponske mreže (0.4 kV)

Grafički editor sa svojim mogućnostima i svojstvima važan je dio ovog sistema jer je grafika ključni elemenat sistema zbog same prirode mreže i načina kako se odvijaju funkcije i prezentiraju rezultati obrada. (Detaljni opis gragičkog editora nalazi se u članku "GRAFIČKI EDITOR DISTRIBUTIVNE MREŽE")

6. OPĆI PRINCIPI KOMUNIKACIJE OPERATERA SA SISTEMOM

Komunikacija operatera sa sistemom ostvarena je preko višebojnih grafičkih ekrana u WINDOWS okruženju. Time je komunikacija standardizirana tako da ne ovisi o modulu koji je koristi ili o funkciji koja je u toku. Kad operater nauči i prihvati takav način komunikacije, jednostavno se snalazi u svim postojećim funkcijama, a bez ikakvog problema može prihvatiti i nove.

6.1 RAD S PROZORIMA

Svaka aplikacija ima svoj prozor koji sadrži naziv aplikacije i meni. Zajednička svojstva svih prozora su:

- mogu se pomicati po ekranu
- može im se mijenjati veličina
- može se maksimizirati na cijeli ekran
- može se minimizirati u ikonu i kasnije ponovo aktivirati
- prikaz u prozoru se može pomicati vertikalno i horizontalno ako je to za njega predvideno
- prikaz u prozoru se može zumirati (povećavati i smanjivati) ako je to predvideno.

Prozor može sadržavati grafičke i tekstualne informacije.

6.2 POTPROZORI

Prozor može rekurzivno sadržavati potprozore. Aplikacijom je definiran način korištenja potprozora i logička povezanost prikaza koje oni sadrže. U ovom paketu na meniju postoji opcija preko koje se upravlja vrstom informacije u potprozoru i kontrolira kada se kreira novi potprozor.

6.3 MENI

Meniji omogućavaju jednostavnu selekciju funkcija, definiranje modova rada, aktiviranje dijalog boksova za upis/modifikaciju različitih parametara.

Osim pomoću miša meniji se mogu selektirati i preko tastature (slovom ili funkcionalnom tipkom).

Različiti oblici kursora (ovisno o modu rada) omogućavaju brzu selekciju objekta na prikazu i aktiviranje neke od pridruženih mu funkcija.

6.4 MIŠ

Miš se u windows okruženju koristi vrlo intenzivno za pomicanje, promjenu veličine te aktivaciju/deaktivaciju prozora. Osim toga, miš omogućava brzu selekciju po prikazu i menijima.

6.5 DIJALOG BOKSOVI

Dijalog boksovi su formulari preko kojih se prikazuju tekstovni, numerički i statusni podaci pojedinačno ili u listi s mogućnošću upisa/modifikacije.

6.6 PORUKE

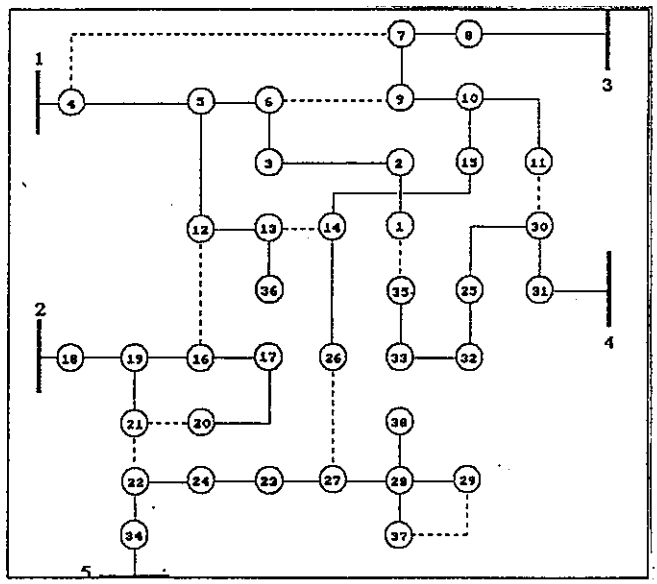
Poruke operateru o statusu funkcije koja se odvija ili upozorenja sistem daje u posebnom prozoru preko kojeg se aktivira nastavak odvijanja funkcije ili se prethodno zatraže detaljnija objašnjenja od sistema.

6.7 POMOĆ

U svakom trenutku može se aktivirati pomoć od sistema. Na kontext-senzitivan način sistem daje opise funkcija i upute operateru.

7. PREZENTACIJA PRIKAZA I SLIKE

Slike nastaju grafičkim editorom i mogu prikazivati neograničeno veliko područje. Preko slika i prikazanih objekata mreže odvija se većina funkcija ovog sistema, jer se na njima uz objekte mreže prezentiraju njihovi parametri i rezultati analiza. Osim toga, preko prikazanih objekata aktiviraju se prozori sa detaljnijim informacijama o njima.

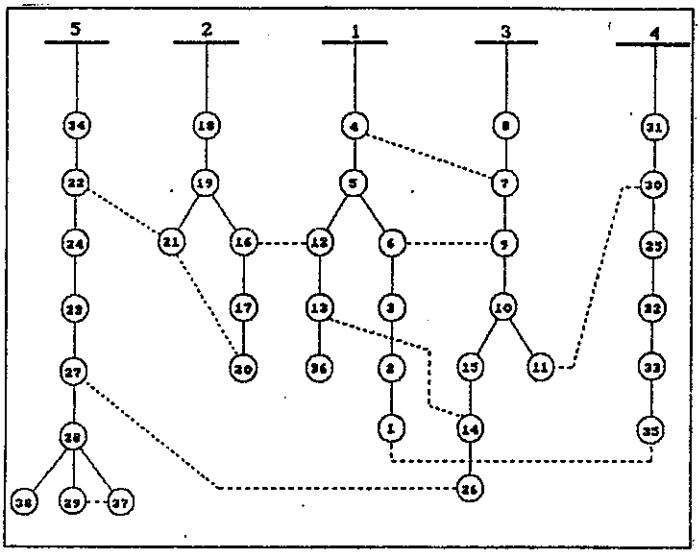


Modul za prezentaciju iz slike i stanja elemenata u bazi podataka formira ekranski prikaz, čime je omogućeno njegovo osvježavanje i aktiviranje analiza i funkcija koje su moguće na prikazanim dijelovima mreže i objektima.

Slika prikazuje slobodni prikaz distributivne mreže koji nastaje crtanjem u grafičkom editoru. To znači da sadržaj prikaza i raspored elemenata određuje korisnik u trenutku definiranja prikaza (za razliku od automatskog prikaza, kojeg sistem sam generira).

8. AUTOMATSKI PRIKAZI

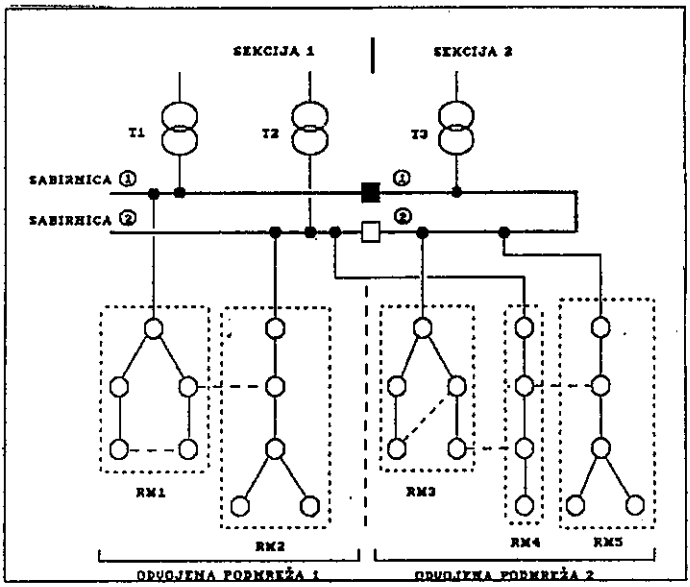
Modul formira prikaz strukture mreže automatski iz baze podataka. Automatski generirani prikazi prikazuju dio mreže na pregledan način. Najčešće se koriste za prikaz radnih podmreža (globalno ili detaljno) i daju kvalitetnu vizuelnu informaciju o strukturi mreže.



Na slici je prikazan automatski prikaz radne strukture distributivne mreže. Prikaz je organiziran u nivoe tako, da su na vrhu izvori, zatim slijede potrošači "udaljeni" jedan vod od izvora na koje se nastavljaju potrošači udaljeni dva voda od izvora itd. Na tako formiranom prikazu jasno se uočavaju radne podmreže kao posebne cjeline i vodovi koji su granice između dvije radne podmreže.

9. ANALIZE MREŽE

Ovaj modul sadrži različite topološke i numeričke analize mreže međusobno korelirane. Rezultati analiza potrebni su ostalim modulima. Topološke analize uključuju traženje odvojenih i radnih podmreža, petlji, višestrukih napajanja, spojnih puteva itd. Na nivou jednopolnih shema također postoje topološke analize potrebne za određivanje mrežne topologije, izoliranje objekata podstanice kod održavanja itd.



10. REDUKCIJA SLOŽENOSTI PRIKAZA

Prikazi srednjenaponske mreže mogu biti vrlo kompleksni (potencijalna topologija). Ovaj modul pronalazi dijelove mreže koji nemaju alternativu napajanja osim preko jedne podstanice. Takve cjeline se ne prikazuju, a matična podstanica dobiva oznaku da je uz nju vezana grupa objekata koji nemaju alternativu napajanja. Njihova sumarna potrošnja pripada matičnoj podstanici na reduciranom prikazu.

11. SIMULATOR

U modu simulacije moguće je modificirati stanje mreže uz asistenciju sistema radi rješenja određenog pogonskog problema ili obuke operatera. Pojedine međufaze stanja mreže mogu se "markirati" da budu zapamćene i više takvih faza može se komparirati ili vraćati na prethodna stanja koja su optimalnija.

Kad se pronađe željeno optimalno i stabilno stanje mreže, sistem na zahtjev operatera komparira stanja i predlaže sekvencu akcija koje dovode mrežu u to stanje. Takva sekvenca može ući u plan održavanja ili pogona ili se odmah koristi, ovisno u namjeni korištenja simulatora.

12. OPTEREĆENJA

Sistem omogućava definiranje više tipova krivulja dnevne potrošnje koje sa podacima o:

- instaliranim snagama podstanica
- distribuciji tipova potrošnje po podstanicama
- stupnju iskorištenja podstanica (zasićenost)
- mjerenju na izvodima
- topologiji mreže

omogućavaju procjenu potrošnje podstanica i opterećenja vodova. Ukoliko postoje sheme podstanica 10/0.4 i podaci po 0.4 KV izvodu, krivulja potrošnje može se pridružiti i tom izvodu.

13. PADOVI NAPONA

Modul izračunava padove napona duž stabala radnih podmreža. Padovi napona na određenom putu prema izvoru mogu se prikazivati i grafički. Prekoračenja napona u bilo kojem smjeru izazivaju promjenu naponskog statusa objekata mreže i cijele radne podmreže, te se mogu brzo pronaći dijelovi mreže sa takvim statusom.

14. SIGURNOST NAPAJANJA

Ovaj modul analizira topologiju mreže, raspored i rezerve na izvorima i predviđene potrošnje podstanica i procjenjuje sigurnost napajanja u smislu mogućnosti restauracije radne podmreže za koju može postojati više alternativa, čime je sigurnost napajanja veća.

15. OSIGURANJE RADOVA

Sistem osim jednopolne sheme podstanica sadrži i podatke o strukturi podstanice (polja, sekcije, sabirnice,..). Izborom objekta na kojem su radovi sistem pronalazi što je sve potrebno isključiti da bi se objekt izolirao, a ako postoje posebni zahtjevi (npr. drugi objekt je preblizu, pa se i on mora izolirati) moguće je takve zahtjeve definirati i pridružiti ih zadanom objektu. Na ekranskim prikazima izolirani objekt je posebno označen, a aparati kojima se u trenutku izvođenja radova ne smije manipulirati mogu također biti markirani stalno ili samo ulaskom u mod modifikacije stanja jednopolne sheme.

16. NADZOR MREŽE

Modul na zahtjev operatera analizira pogonsko stanje mreže u odnosu na granične pogonske uvjete (opterećenja, rezerve, padove napona ...) i detektira kritične dijelove, te tako daje osnovne podatke za preventivno planiranje pogona. Postoji poseban pogonski izvještaj koji daje sve podatke o trenutnom pogonskom stanju mreže koji je bitan kod preuzimanja sistema po smjenama.

17. PLANIRANJE POGONA

Pomoću ovog modula moguće je definirati stanje mreže u nekom budućem trenutku i pohraniti ga skupa sa kratkim opisom razloga modifikacije stanja mreže. U svakom trenutku može se dobiti vremenski pregled i raspored takvih budućih stanja, te njihovu međuzavisnost ako ona postoji. Ulaskom u mod simulacije i definiranjem nekog budućeg vremenskog trenutka moguće je dobiti stanje mreže kakvo će biti u tom trenutku ako se ne dogodi nešto nepredviđeno. Takvo buduće stanje mreže osnova je za definiranje (planiranje) slijedećeg stanja ili redefiniranje već planiranog.

18. PLANIRANJE ODRŽAVANJA

Funkcija je slična funkciji PLANIRANJE POGONA, samo što se uzimaju u obzir definirani periodi za održavanje pojedinih objekata mreže. U modu simulacije dobiva se stanje mreže u zadanom budućem trenutku, preko liste objekata kojima ističe rok za održavanje dolazi se na prikaz radne podmreže i uz asistenciju sistema pronalaze dijelovi mreže koji se moraju isključiti. Pri tome se uzimaju u obzir i prioriteti podstanica, te mogućnost optimalnog održavanja u smislu da održavanje određenog objekta možda povlači i održavanje nekih drugih.

19. ANALIZA KVAROVA

Modul iz promjena struje na izvodima analizira topologiju mreže i poznavajući potrošnju podstanica zaključuje koji bi kvarovi odgovarali nastaloj promjeni u potrošnji te ih prikazuje u posebnom izvještaju tabelarno ili na prikazima mreže.

20. INTELIGENTNI NADZOR ALARMA

Modul za inteligentni nadzor alarma sastoji se od dva podmodula:

- definiranje logičkih i vremenskih odnosa među događajima i stanjima sistema
- nadzor stanja sistema, uzimajući u obzir formalni opis odnosa u procesu.

Kvaliteta rada ovog modula bitno ovisi o dobrom definiranju vremenskih i logičkih odnosa tj. o stupnju poznavanja zakonitosti procesa. Izvještavanje je u formi listi ili u grafičkom obliku.

21. IZVJEŠTAJI

Baza podataka omogućava formiranje i izdavanje različitih izvještaja za različite službe (planiranje održavanja, planiranje pogona, dispečersku službu). Izvještaji služe u dnevnom radu službi ili kao dokumentacija trajnijeg karaktera. Forme izdavanja su različite (tabele, grafički).

22. RESTORACIJA MREŽE

Kod većih poremećaja u mreži javlja se potreba za promjenama u topologiji većih dijelova distributivne mreže. Ovaj modul pomaže dispečeru u restoraciji mreže uzimajući u obzir potrošnje podstanica, prioritete i mogućnost rekonfiguracije mreže.

23. LISTE

Svaka promjena u stanju mreže (akcije operatera, primljeno stanje mreže iz veze sa SCADA sistemom) bilježi se u listama događaja.

ZAKLJUČAK

Programski sistem PC-EDINA omogućava kvalitetno i efikasno vođenje elektodistributivnih postrojenja. Pogodan je kako za velike, tako i za manje distribucije. Bogatstvom funkcija, korištenjem full-grafike i dinamičkom upotrebom boja, kao i mogućnošću automatskih prikaza ovisno o problemu promatranja sistem pomaže operateru u donošenju bitnih odluka za rad.
Sistem je također moguće koristiti za cestovne, plinske i druge mreže, a njegovu funkcionalnost moguće je proširiti topografskim funkcijama.

LITERATURA

1. Studija "DEFINIRANJE I RAZVOJ PROGRAMSKE PODRŠKE PROŠIRENOG REALNOG VREMENA ZA DISPEČERSKE CENTRE VELIKIH DISTRIBUCIJA", Faza 1, Svezak 1. i 2., 1988., Dr. Petar Bodlović RADE KONČAR - Elektrotehnički institut"
2. Dokumentacija Programskog sistema za distributivne mreže EDINA Rade Končar, Inženjering.
3. Electric Power Distribution System Engineering, Turan Gonen, McGraw-Hill
4. Graph Algorithms and NP-Completeness, Kurt Mehlorn, Springer-Verlag
5. Graphs and Networks, Bernard Care, Oxford Applied Mathematics and Computing Science Series
6. Graph Theory, an Algorithmic Approach, Nicos Cristofides, Academic Press
7. Graph Algorithms, Shimon Even, Pitman
8. 10 International Conference on Electricity Distribution CIRED 1989. Brighton, Conference Publications

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Rubin Taleski, dipl. ing.
Dr. Dragoslav Rajičić, dipl. ing.
Dr. Risto Ačkovski, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet - Skopje

Referat broj 3.18

ALGORITAM ZA REKONFIGURACIJU DISTRIBUTIVNIH MREŽA

SADRŽAJ

U radu su izloženi postupak i kriteriumi za promenu uklopnog stanja radijalne distributivne mreže u slučajevima kada se to zahteva zbog kvara, održavanja ili sl.

A method and criterions for distribution network reconfiguration are described in this paper. It can be used in all cases when wetwork should be reconfigured.

1 UVOD

Razvoj potrošnje električne energije uslovljava odgovarajuće promene i izgradnju elektroenergetskog sistema. Pri tome, za duži period vremena, obim investicija u distributivne mreže je približno jednak investicijama u ostale delove elektroenergetskog sistema. Zbog toga se u zadnjim godinama pristupilo proučavanju i razvijanju tehnika rada koje omogućavaju bolje iskorišćavanje investicionih ulaganja kao i poboljšanje kvaliteta električne energije, isporučene potrošačima. Time se mogu izbeći i odložiti neneophodna nova ulaganja u distributivnim mrežama.

Dosadašnja primena kompjuterskih aplikacija u elektroprivrednim i elektrodistributivnim preduzećima se uglavnom svodila na numeričke proračune stanja mreža na osnovu kojih su se zatim donosile odluke za akcije. Primena ovih

aplikacija je, uglavnom, bila na polju planiranja, a mnogo manje na polju vođenja sistema. Pomoć koju su kompjuteri pružali na polju operativnog vođenja sistema je bila ograničena na prikupljanje i analizu podataka stanja u sistemu. Ljudski faktor je u tim situacijama igrao veoma važnu ulogu. Međutim, današnje distributivne mreže (DM) su postale toliko složene da i veoma obučeni i iskusni dispečeri ne mogu, u relativno kratkom roku, doneti odluku koja će u datom momentu biti najefiksnija. Ovo se posebno odnosi na situacije u kojima je, zbog defekata u određenim elementima mreže, potrebno brzo delovati i ponovo uspostaviti napajanje potrošača.

Problem ponovnog napajanja potrošača, koji su zbog određenih uzroka ostali bez napajanja, je veoma česta pojava u distributivnim mrežama. Slični problemi se javljaju i u situacijama kada ja potrebno isključiti određene elemente mreže zbog popravki iil redovnog održavanja opreme. U principu, distributivne mreže, rade kao radijalne. Zbog toga, ispad ili plansko isključenje nekog elementa neminovno dovodi do prekida napajanja svih potrošača koji se napajaju preko tog elementa. Zbog povećanja stepena pouzdanosti mreža, u njima postoji izvestan broj vodova koji su normalno nopterećeni, a mogu se koristiti za promenu konfiguracije mreže. Promena konfiguracije distributivne mreže može se uspešno koristiti i za smanjenje gubitaka snage i energije u mreži.

U ovom radu pažnja će biti posvećena problemu sprečavanja preopterećenja elemenata mreže u slučajevima kada je potrebno promeniti njenu konfiguraciju, zbog kvara ili potrebe održavanja. Uslovi koji nova konfiguracija mora zadovoljiti su sledeći: podstići zadovoljavajuće napajanje svih potrošača, zadržati radijalnu strukturu mreže, održati u dozvoljenim granicama napone u svim tačkama mreže kao i održati opterećenja svih njenih elemenata u dozvoljenim granicama.

Zadnjih godina se problemu rekonfiguracije mreža, a osobito problemu rekonfiguracije distributivnih mreža, posvećuje dosta pažnje. Postoje uglavnom dva pristupa rešavanju ovog problema. Prvi, ili konvencionalni pristup, bazira na numeričkim algoritmima, pri čemu se koriste proceduralni programski jezici (FORTRAN i C). Drugi pristup bazira na korišćenju simboličkih programskih jezika kao što su LISP i PROLOG. Suštinska razlika između ova dva pristupa je u tome što prvi pristup zahteva unapred definisanje procedura i njihovo ugrađivanje u sam program, dok aplikacije bazirane na programskim jezicima veštačke intelegencije, ne sadrže eksplicitne i unapred definisane procedure za rešavanje zadatog problema. Rešenje se donosi na osnovu praktičnih pravila i standardnih procedura, usvojenih od strane iskusnih inženjera i operatora, prethodno smeštenih u takozvane "baze znanja".

Algoritam prezentiran u ovom radu je u osnovi konvencionalan. Međutim, zbog određenih karakteristika, on ima sličnosti sa algoritmima za simboličko rešavanje problema. U suštini, algoritmi za određivanje novog uklopnog stanja mreže bave se rešavanjem problema kombinatoriske prirode. Broj kombinacija koje treba analizirati je u principi veoma veliki. Ugrađivanje određenih praktičnih znanja u sam algoritam može doprineti smanjenju broja varijanti koje se moraju analizirati.

Konfiguracija jedne mreže je definisana stanjem svakog komutacionog uređaja (KU) u njoj. U mreži sa n KU, broj (matematički) mogućih kombinacija

je 2^n. Sam proces određivanja mogućih kombinacija (ili varijanti) i nije tako veliki problem. Međutim, varijanta za koju ćemo se opredeliti mora zadovoljiti određene uslove.

Problem se može formulisati i kao klasičan problem linearnog programiranja. Funcija cilja bi mogla biti definisana tako da se traži rešenje sa najmanjim gubicima u mreži, sa minimalnom redukcijom kod potrošača i do kojeg se dolazi sa najmanjim brojem manipulacija sa KU. Rešenje mora da zadovolji i ograničenja vezana za opterećenja elemenata mreže kao i ograničenja koje se odnose na naponske prilike u mreži. Na kraju, ako je to moguće, promenu konfiguracije mreže treba izvršiti bez prekida u napajanju. Imajući u vidu broj matematički mogućih varijanti, jasno je da analiza svih tih varijanti pretstavlja veliki izazov i za današnje, veoma brze, komjutere.

Jedan od načina da se poboljša efikasnost algoritma jeste da se broj varijanata koje se analiziraju svede na razumnu meru. To se može postići ugradivanjem određenih praktičnih iskustava na osnovu kojih je moguće, unapred odrediti koje varijante ne zadovoljavaju neke od postavljenih uslova. Elimina-cija ovih varijanata, u literaturi poznata kao postupak kresanja binarnog stabla rešenja, u praksi se svodi na pojedinačno zadovoljavanje zadatih ogra-ničenja. S druge strane, simultano uključivanje svih kriterijuma i ograničenja u modelu može dovesti do rešenja koje je matematički ispravno, ali je u datim prilikama, sasvim nepraktično. To je veoma izraženo kod primene kriteriuma za minimum gubitaka u mreži. Naime, u najvećem broju slučajeva, nova konfigura-cija mreže je obično privremenog karaktera. U mrežama gde je stepen automatiza-cije na dosta niskom nivou, za praktično izvođenje rekonfiguracije je najčešće potrebno dosta vremena, i ako rekonfiguraciju treba izvesti dva puta u rela-tivno kratkom roku, insistiranje na varijanti sa najmanjim gubicima u mreži može da bude kontraproduktivno.

2 ALGORITAM

Glavni cilj korišćenja ovog algoritma jeste spisak manipulacija, potrebnih da se izvrši prenapajanje potrošača koji su ostali bez napajanja. Osnovna pretpostavka je da je poznata lokacija kvara. U principu, uzrok rekonfi-guracije i ne mora da bude kvar u mreži. Pritom je potrebno, između ostalog, poznavati i lokacije i statuse svih KU u mreži. Na osnovu prethodnih podataka, algoritam najpre određuje skup svih potrošača koji su ostali (ili će ostati) bez napajanja, a zatim i potrošače čiji se pogon može odmah obnoviti. To su potrošači sa onog dela izvoda u kvaru, koji se ne napaja preko "povređenog" elementa. Sledeća faza je iznalaženje mogućnosti da se obezbedi napajanje i preostalih potrošača, aktiviranjem nekih od rezervnih vodova. Proces se nas-tavlja proverom tehničkih ograničenja (struja vodova i napona sabirnica) u uslovima nove konfiguracije.

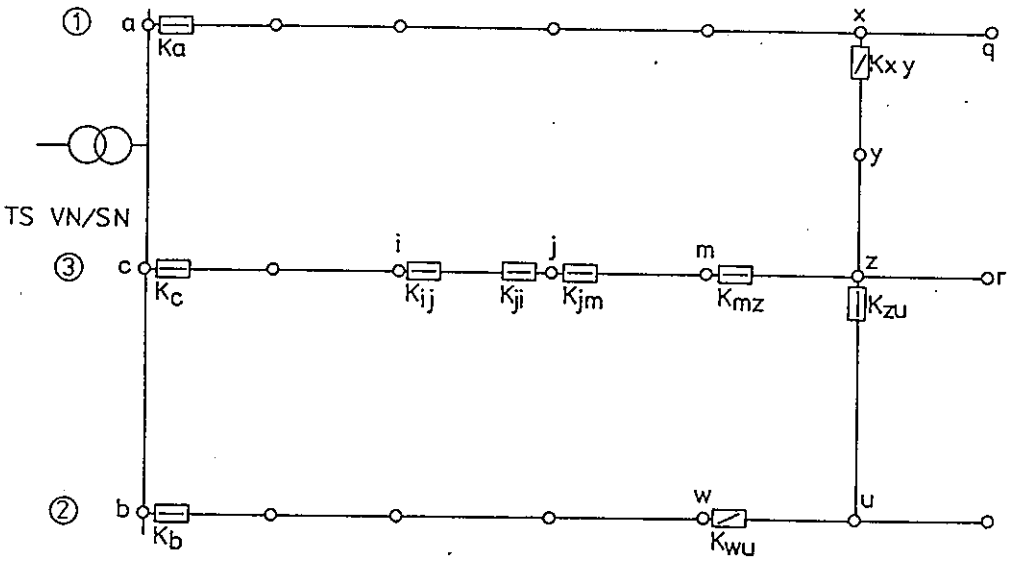
Provera strujnih opterećenja vodova, odnosno transformatora i napona sabirnica zahteva, pre svega, poznavanje konfiguracije mreže, a zatim i pozna-vanje opterećenja potrošača za period u kojem treba da se koristi nova konfi-guracija. Pošto nova konfiguracija nije poznata, određuje se stanje u mreži pre nastupanja uzroka zbog kojeg je potrebno izvršiti rekonfiguraciju. Na os-

novu podataka za ovo stanje u mreži, mogu se (približno) izračunati i prilike u novim uslovima. Ovo je veoma važno zbog toga što najčešće postoji više mogućih novih varijanata (kongiguracija), a tačan proračun napona i struja za svaku varijantu zahtevao bi dosta vremena. Za proračun naponskih prilika u mreži koristi se veoma brza i efikasana metoda za proračun radijalnih distributivnih mreža [1]. Za njene potrebe, razvijen je poseban postupak za brzo i efikasno numerisanje čvorova mreže. Isti postupak je upotrebljen i u ovom algoritmu, što pretstavlja osnovu za brzo i efikasno pretraživanje mreže.

Za konfiguraciju koja zadovoljava postavljena ograničenja, određuje se redosled manipulacija KU za prelazak sa "starog" na "novo" uklopno stanje. Redosled manipulacija se formira na osnovu podataka o tipovima i stanjima KU, kako bi se izbegle neželjene i opasne situacije.

2.1 Određivanje zone potrošača

Postupak za iznalaženje nove konfiguracije mreže biće objašnjen na mreži sa sl. 1. Na toj slici je prikazan samo deo proizvoljno velike radijalne distributivne mreže. Mrežu je moguće napajati višestrano, t.j. preko većeg broja trafostanica VN/SN. Na sl. 1 su prikazani samo oni KU koji će biti karakteristični za objašnjenje postupka. Oznake KU koje ćemo ovde koristiti su takve, da ne bi trebale da unesu zabunu. Oznaka K_{xy} označava KU u vodu između čvorova x i y, na strani čvora x. Stanje KU prikazanih na sl. 1 definiše konfiguraciju mreže pre nastanka kvara. Sa sl. 1 se vidi da su vodovi x - y i u - w otvoreni i da služe kao rezervni. Ostali KU u mreži (i oni koji nisu ucrtani) su zatvoreni. Pretpostavlja se, ali to nije neophodno, da su prekidači postavljeni samo u izvodnim ćelijama TS VN/SN, dok su ostali KU - rastavljači. Za ovu konfiguraciju, a na osnovu predvidanja za stanje u kojem treba da radi mreža u novoj konfiguraciji, vrši se proračun naponskih prilika i strujnih opterećenja.



Slika 1 Primer radijalne SN distributivne mreže

Pretpostavimo da je nastupio kvar na izvodu 3, na vodu između čvorova i i j, i da je zaštita isključila prekidač K_b. Najpre se mora izdvojiti "povređeni" element kako bi se obezbedilo ponovno napajanje onog dela mreže koji pripada izvodu 3, a čije napajanje ne zavisi od stanja voda i - j. Koristeći već pomenutu tehniku pretraživanja mreže, dolazi se do zaključka da tu funciju može da obavi rastavljač K_{ij}. Otvaranjem ovog rastavljača, mreža koja pripada izvodu 3 se deli na dve zone: A i B'. Zona A pretstavlja onaj deo izvoda u kojem je moguće obnoviti pogon odmah posle otvaranja K_{ij}. Ostatak izvoda pripada zoni B'. Treba reći da je granica između zona A i B' jednoznačna, i za datu lokaciju kvara, ona zavisi isključivo od lokacija KU u mreži.

U sledećoj fazi treba pronaći mogućnosti za ponovno napajanje potrošača koji pripadaju zoni B'. Da bi to bilo moguće, mora postojati rezervni vod(ovi) koji povezuje bilo koji čvor koji pripada zoni B' i neki od čvorova mreže, koji je u pogonu posle restauracije pogona u zoni A. U primeru na sl. 1 se vidi da tu funkciju mogu obaviti: u prvoj varijanti, vod x - y, a u drugoj, vod u - w. Međutim, jednostavnim stavljanem u pogom bilo kojeg od ova dva rezervna voda, povređeni element (u slučaju vod i - j) biće ponovo stavljen pod napon. Zbog toga je sada potrebno izdvojiti povređeni element sa strane novog napajanja. Izdvajanje se vrši isključenjem prvog KU, polazeći od povređenog elementa, i kretanjem u suprotnom smeru od smera novog napajanja. U principu, zavisno od grafa mreže, za razne rezervne vodove mogu postojati razni KU koji obavljaju ovu funkciju. (Primer za to bi bio, recimo, slučaj kada treba isključiti čvor z.) U našem slučaju, K_{ji} može obaviti istu funciju za oba rezervna voda.

Otvaranjem K_{ji} deo mreže koji je pripadao zoni B' deli se na dve zone, B i C. Zona C pretstavlja podskup zone B' koju je moguće ponovo staviti pod napon aktiviranjem odgovarajućeg rezervnog voda. Zona B pretstavlja onaj deo zone B' za koju nije moguće obezbediti napajanje niti jednim rezervnim vodom. U datom primeru, zonu B sačinjava samo povređeni vod i u njoj nema potrošača.

Broj mogućih parova zona B i C zavisi od broja rezervnih vodova koji mogu obezbediti ponovno napajanje u delu zone B'. U ovom slučaju, zone B_1 i B_2 se poklapaju, kao što se poklapaju i zone C_1 i C_2. Jednostavno rečeno, zona B' pretstavlja uniju svih mogućih skupova zona B i C.

Definisanjem zone A i skupova zona B i C, definišu se i varijante koje nude rešenja postavljenog problema. Varijanta koja koristi jedan rezervni vod, naziva se osnovna. Međutim, kada nije moguće obezbediti sve potrošače električnom energijom aktiviranjem samo jednog rezervnog voda, potrebno je analizirati i varijante koji pretstavljaju kombinacije osnovnih varijanata.

2.2 Postupak ocenivanja varijanata

Koja se od definisanih osnovnih varijanti može smatrati rešenjem postavljenog problema treba oceniti na osnovu naknadnih analiza koje treba da pokažu da li te varijante zadovoljavaju prethodno navedena tehnička ograničenja. Isto tako, ako je to potrebno, u ovoj fazi se definišu i varijante koje pretstavljaju kombinacije dve ili više osnovnih varijanata.

Provera strujnih i naponskih ograničenja u novoj konfiguraciji, za svaku varijantu, moguće je izvršiti rešavanjem mreže već pomenutim postupkom. Međutim, to bi bilo veoma neracionalno, pa se umesto toga, ovde koriste specifičnosti koji važe samo za radijalne mreže i koje omogućavaju da se prihvatljivom tačnošću procene prilike u mreži koje će nastupiti nakon promene konfiguracije mreže.

Promene u konfiguraciji uslovićе promene u onim izvodima između kojih se vrši preraspodela opterećenja. U ostalim delovima mreže, prilike će biti iste (ili skoro iste). Jedino, ako u zoni B ima potrošača, mogu se očekivati nešto viši naponi u onom delu mreže koji se napaja preko iste napojne TS VN/SN. Međutim, te promene su ili veoma male, ili se mogu kompenzovati delovanjem naponskog regulatora u napojnoj TS. U delu mreže koji pripada zoni A mogu se očekivati samo pozitivne promene (bolje naponske prilike i manja strujna opterećenja).

Najveće promene se očekuju u zoni C i u onim izvodima koji preuzimaju opterećenje zone C.

Ako se u primeru na sl. 1 posmatraju samo osnovne varijante, tada će povećanje strujnih opterećenja nastati samo u vodovima na delu grafa između čvorova a i x u prvoj osnovnoj varijanti, odnosno između čvorova b i w, u drugoj osonvnoj varijanti. Pri određivanju povećanih struja racionalno je zanemariti promene koje su posledica promenjenih naponskih prilika. Ovo zanemarenje unosi izvesne greške u proračun, ali su one, u svakom slučaju, manje od grešaka koje su sadržane u ulaznim podacima. Povećane struje elemenata u izvodima koji prihvataju nova opterećenja se mogu izračunati ako se strujama iz stanja pre promene konfiguracije jednostavno dodaju struje potrošača iz zone C. Ako su tako dobijene struje manje od odgovarajućih trajno dozvoljenih struja, onda su strujna ograničenja zadovoljena.

Međutim saznanje da razmatrani izvod ne može preuzeti celu zonu C neće mnogo koristiti za dalje rešavanje problema. Mnogo je praktičnije pronaći koje maksimalno opterećenje može preuzeti izvod preko rezervnog voda koji definiše osnovnu varijantu. To se postiže nalaženjem najmanje razlike između trajno dozvoljene struje svakog elementa tog izvoda i njegovog novog strujnog opterećenja. Tu razliku označavamo sa I_{ds}. Time se definiše (strujna) sposobnost jednog izvoda da preuzme dopunski teret preko određenog rezervnog voda.

Za proveru naponskih ograničenja se primenjuje sličan postupak. Opet je praktičnije da se ne proverava da li nova opterećenja uslovljavaju pojavu preniskih napona, već da se odredi maksimalno dopunsko strujno opterećenje koje neće dovesti do nedozvoljeno niskih napona u mreži (I_{dn}). I u ovom postupku se koriste određene pretpostavke, a to su: neuvažavanje poprečnih admitansi vodova i male promene struja u granama mreže zbog promena naponskih prilika. Za određivanje I_{dn}, izvoda koji preuzima opterećenje, je potrebno poznavati njegov čvor čiji je napon bio najniži u režimu pre promene konfiguracije. U slučaju prve osnovne varijante, neka to bude čvor q. Ako sa U_q označimo napon u tom čvoru, sa U_{min} minimalno dozvoljeni napon u mreži i sa $\underline{Z}_{a-x}$ ukupnu impedansu na putu između čvorova a i x, onda se dopunsko strujno opterećenje I_{dn} može izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$\underline{I}_{dn} = (\underline{U}_q - \underline{U}_{min})/\underline{Z}_{a-x} \quad . \qquad (1)$$

Nešto komplikovaniji postupak se primenjuje u slučaju kada se čvor sa minimalnim naponom ne napaja preko čvora koji direktno preuzima opterećenje zone C. Međutim, i u ovom slučaju primenom sličnih kriteriuma, dolazi se veoma jednostavno i brzo do vrednosti za I_{dn}.

Sada se može definisati i dopunsko opterećenje (I_d) koje određeni izvod može preuzeti, bez narušavanja strujnih i naponskih ograničenja:

$$I_d = \min (I_{ds}, I_{dn}) \quad . \qquad (2)$$

Ako je I_d manje od I_C (gde je sa I_C označen zbir svih struja potrošača zone C), posmatrani izvod ne može prihvatiti celu zonu C. U tom slučaju, zona C se može odgovarajuće smanjiti pomeranjem granice između zona B i C, sve dok se ne postigne da I_d bude veće od I_C. Pošto se ukupno opterećenje zone C može izraziti strujom koja teče kroz KU što se nalazi na granici između zona B i C, prethodni uslov se može zadovoljiti postavljenjem te granice kod KU na vodu čija je struja manja od I_d. To je prvi takav vod, do kogá se dolazi polazeći od prethodne granice, i krećući se u suprotnom smeru od novog smera napajanja.

Zatim se prelazi na proveru strujnih i naponskih prilika u zoni C nakon promene konfiguracije. Kao i u prethodnom slučaju, i ovde se definišu slične veličine: $I_{ds,C}$ i $I_{dn,C}$. Pritom se koriste sve prethodno pomenute pretpostavke. Uz to, koristi se i činjenica da do promene u strujnim opterećenjima (po intenzitetu i smeru) dolazi samo u vodovima na putu između KU koji definiše granicu između zona B i C, i onog čvora rezervnog voda koji pripada zoni C. Nova strujna opterećenja elemenata u ovom delu mreže računaju se na osnovu prvog Kirhofovog zakona, koristeći stare vrednosti struja potrošača i elemenata. Upoređivanjem tih vrednosti sa trajno dozvoljenim strujama odgovarajućih vodova, dolazi se do vrednosti za $I_{ds,C}$. Dopunsko strujno opterećenje koje u zoni C neće dovesti do nedozvoljeno niskih napona ($I_{dn,C}$) određuje se približnim rešavanjem dela mreže zone C. Pri tome, za proračun napona u određenim čvorovima se koristi korigovani napon u čvoru koji preuzima celokupno opterećenje zone C. U primeru prve osnovne varijante, taj napon u čvoru x bi bio:

$$\underline{U}'_x = \underline{U}_x - \underline{I}'_C \cdot \underline{Z}_{a-x} \quad , \qquad (3)$$

gde je $I'_C = \min (I_C, I_d, I_{ds,C})$.

Konačno, može se definisati granica između zona B i C, za svaku osnovnu varijantu posebno. Ona će biti na vodu u kojem postoji barem jedan KU i čija je struja (u prethodnom stanju) bila manja od $I_{dn,C}$, odnosno I'_C. Da bi jedna osnovna varijanta, omogućavala restauraciju kompletne zone C bez, narušavanja zadatih ograničenja, mora biti zadovoljena relacija:

$$I_C \leq I_{dop} = \min (I_{dn,C}, I'_C) \quad . \qquad (4)$$

2.3 Izbor najpovoljnije varijante

Ako više osnovnih varijanata ispunjava uslov (4), odabire se ona, čije je rezultantno dopunsko opterećenje I_{dop} najveće.

Medutim, ako nijedna osnovna varijanta ne omogućava restauraciju pogona bez redukcije, prelazi se na definisanje varijanata koje su rezultat kombinacije nekih od osnovnih.

U datom primeru, neka konačna granica izmedu zoni B_1 i C_1, za prvu osnovnu varijantu, bude K_{jm}. Za drugu osnovnu varijantu neka to bude K_{mz}. U prvom slučaju, ako se aktivira samo rezervni vod x - y, bez napajanja će ostati potrošači koji su priključeni na čvor j (zona B_1). U drugom slučaju, to će biti potrošači u zoni B_2, t.j. potrošači koji se napajaju iz čvorova m i j. Medutim, aktiviranjem oba rezervna voda, iako bi se moglo postići da oba izvoda (1 i 2) preuzmu dodatno opterećenje, došlo bi do zatvaranja jedne konture u mreži što je suprotno načelu da mreža treba da ima radijalnu strukturu. Matematički rečeno, da bi se izbeglo zatvaranje kontura, u ovakvom ili sličnom slučaju, potrebno je definisati zone C_1 i C_2 tako da njihov presek bude prazan skup. Ovo se postiže time što se za varijantu sa manjom I_{dop} pomeri granica u suprotnom smeru od smera napajanja u novoj konfiguraciji, sve dok se ne obezbedi radijalna struktura mreže. U primeru sa sl. 1, nova granica izmedu zona B_2 i C_2 bio bi vod (odnosno jedan od KU u njemu) izmedu čvorova u i z. Time se postiže i rasterećenje zone C_1 za iznos struje u vodu u - z. Ovim se može vratiti granica izmedu B_1 i C_1 na prvobitnu vrednost (K_{ji}) čime bi se postigla kompletna restauracija potrošača iz zone B. Jasno je da je ovo moguće samo u slučaju kada je $I_{dop,1} + I_{dop,2} \geq I_{i-j}$ i kada to dozvoljavaju priroda kvara i sama topologija mreže. U slučaju defekta u čvoru z, jasno je da će potrošači koji se napajaju preko čvorova z i r, ostati bez napajanja u bilo kojoj varijanti.

Treba napomenuti da u slučaju kada više osnovnih varijanata, ili neka njihova kombinacija, ispunjava prethodno definisane kriteriume, konačan izbor se može izvršiti na osnovu kriterijuma o najmanjim gibicima snage u mreži. Medutim, kako je već bilo rečeno, na ovom se kriterijumu ne insistira i zbog sledećih razloga. Promene u mreži se, najčešće, odnose na njen relativno mali deo. Samim tim, procenat smanjenja gubitaka bi bio veoma mali i vrlo je verovatno da bi takva varijanta (koja bi zadovoljila i ovaj dopunski kriterium) bila moguća sa većim brojem manipulacija KU. Osim toga, pretpostavlja se da je prethodna konfiguracija mreže optimalna u ovom smislu i da će, po otklanjanju uzroka koji su uslovili promenu, mreža biti vraćena u prvobitno (optimalno) stanje.

2.4 Promena konfiguracije

Na kraju ostaje da se odredi način i redosled manipulacija KU za prelazak iz jednog u drugo uklopno stanje. Redosled manipulacija je veoma važan zbog činjenice da pogrešne manipulacije mogu biti uzrok nesrećnih slučajeva i velikih šteta. Sa druge strane, ako je to moguće, promenu uklopnog stanja je poželjno izvesti bez prekida u napajanju potrošača. Ako to nije moguće, onda treba nastojati da broj kratkotrajno isključenih potrošača bude sveden na najmanju moguću meru i, uz to, izbeći sve nepotrebne manipulacije u mreži.

Postupak promene konfiguracije se odvija u tri koraka. U prvom koraku zona B' se odvaja od zone A. Pretpostavlja se da je izvod u pogonu i da u mre-

ži nije moguće kratkotrajno zatvaranje kontura. Ako je KU, koji obavlja funkciju razdvajanja zona A i B' (u primeru to je K_{ij}), sposoban da isključuje pod opterećenjem, tada nisu potrebne dopunske manipulacije za postizanje ovog cilja. U suprotnom, potrebno je iskoristiti najbliži KU između čvorova c i i koji to može učiniti. U primeru to je K_c. Zatim se isključuje K_{ij} i opet se zatvara K_c čime se postiže pogon u zoni A.

U drugom koraku otvaraju se KU koji definišu granice između parova zona B i C.

Konačno, u trećem koraku se uključuju KU u rezervnim vodovima. I u ovom koraku, kada odgovarajući KU nisu predviđeni za komutaciju pod opterećenjem, potrebno je isključiti izvod koji na sebe prima opterećenje odgovarajuće zone C. Redosled manipulacija, kojima se vrši prebacivanje opterećenja na susedne izvode, za svaku od osnovnih varijanti, je sledeći: najpre se isključuje izvodni prekidač u TS VN/SN, zatim se uključuju KU u rezervnom vodu i na kraju se zatvara prethodno isključeni izvodni prekidač. Ako u prihvaćenoj varijanti izvod koji preuzima opterećenje zone C to čini preko dva rezervna voda (što je u principu moguće), izvodni prekidač u izvodu koji preuzima zonu C se uključuje tek nakon što se izvrše zatvaranja KU u oba voda. Ovim se nešto produžuje vreme bez napajanja privremeno isključenih potrošača, ali se time izbegavaju dve komutacije sa prekidačem.

U primeru na sl. 1, za isključenje voda i-j, spisak manipulacija je:

- isključiti prekidač K_c; (izbeći otvaranje K_{ij} pod opterećenjem);
- isključiti rastavljač K_{ij} (razdvajanje zona A i B');
- uključiti prekidač K_c (pogon zone A je ponovo uspostavljen);
- isključiti rastavljač K_{j1} (razdvajanje zona B_1 i C_1);
- isključiti rastavljač K_{zu} (izbeći zatvaranje konture između C_1 i C_2);
- isključiti prekidač K_a (izvod 1 ostaje kratkotrajno bez napajanja);
- uključiti rastavljač K_{xy} (aktiviranje rezervnog voda bez opterećenja);
- uključiti prekidač K_a (restauracija pogona u zoni C_1 i izvodu 1);
- isključiti prekidač K_b (izvod 2 ostaje kratkotrajno bez napajanja);
- uključiti rastavljač K_{wu} (aktiviranje rezervnog voda bez opterećenja);
- uključiti prekidač K_b (restauracija pogona u zoni C_2 i izvodu 2).

3 APLIKACIJA

Na osnovu algoritma izloženog u ovom radu, izrađena je softverska aplikacija u FORTRAN-u. Program je razvijan i testiran na IBM PC/AT kompatibilnom računaru koji radi na taktu od 10 MHz i ima ugrađen matematički koprocesor.

Vreme potrebno za analizu mreže i mogućih varijanata je veoma kratko i isto zavisi linearno od broja grana u mreži i broja mogućih varijanti. Program je testiran na realnoj mreži. Mreža koja je korišćena za testiranje programa pretstavlja SN distributivnu mrežu grada Strumice, koja se sastoji od 162 voda i 128 trafostanica SN/NN. Mreža se napaja preko dve trafostanice 110/10 kV/kV. Ukupno vreme potrebno programu da nađe rešenje problema iznosi oko 5,5 s. U taj iznos je uključeno i vreme potrebno za čitanje podataka o prethodnom stanju mreže, kao i vreme potrebno za proračun napona čvorova i struja elemenata mreže, u tom režimu, koje iznosi oko 5 s.

Komercijalna verzija programa je u probnom radu u "Elektro Strumici". Osim za osnovnu namenu, program se koristi i za ažuriranje baze podataka, čime se omogućava, da prilikom svakog poziva programa, stanje u bazi odgovara faktičkom stanju u mreži.

4 ZAKLJUČAK

U ovom radu je prezentiran algoritam za odredivanje novog uklopnog stanja u radijalnim distributivnim mrežama, kada je potrebno promeniti konfiguraciju mreže zbog defekata, održavanja i sl.

Osnovni kriterijum za odredivanje novog uklopnog stanja mreže je najmanji mogući stepen redukcije kod potrošača, pri čemu su zadovoljena sva tehnička ograničenja koji uslovljavaju normalno funkcionisanje mreže, kao i potreba da se promena konfiguracije mreže izvrši sa najmanjim mogućim brojem manipulacija.

Programski paket, razvijen na osnovu izloženog algoritma, omogućava donošenje odluka za promenu konfiguracije bez dopunske intervencije od strane korisnika. I pored toga što je isti implementiran u jeziku proceduralnog tipa, zbog ostalih karakteristika, program se približava aplikacijama iz oblasti veštačke intelegencije.

Rešenje koje program nudi ima sledeće osobine: broj potrošača koji ostaje bez napajanja je sveden na minimum; vreme potrebno za prelazak sa jednog na drugo uklopno stanje je skraćeno; izbegavaju se nedozvoljene manipulacije KU i izbegavaju se situacije u kojima, zbog pogrešne procene prilika, može doći do nedozvoljeno visokog opterećenja vodova, što bi uzrokovalo ispade većih delova mreže.

Primena ovog programa, i programa sličnih njemu, u tehnološkom procesu rada distributivnih mreža je veoma atraktivna. Angažiranjem beznačajnih materijalnih sredstava obezbeduje se prelazak na kvalitetniji i ekonomičniji način rada. Njegova primena bi još više došla do izražaja u onim sistemima u kojima se primenjuju sistemi za praćenje i vodenje distributivnih mreža. U tim situacijama, program bi mogao da posluži kao pomoćno sredstvo prilikom donošenja odluka.

5 LITERATURA:

[1] D. Rajičić, R. Ačkovski, "Radial Network Node Voltage Calculation". Presented at The Third IASTED International Conference on High Technology in the Power Industry, Power High Tech'88, March 1-4, 1988, Phoenix AZ, USA.

[2] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, G. X. Luo, "A Compensation-Based Method Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks". IEEE Trans. on PWRS, Vol. 3, No. 2, May 1988.

[3] C. C. Liu, S. J. Lee, S. S. Venkata, "An Expert System Operational Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems". IEEE Trans. on PWRS, Vol. 3, No. 2, May 1988.

[4] A. L. Morelato, A. Monticelli, "Heuristic Search Approach to Distribution System Restoration". IEEE Trans. on PWRD, Vol. 4, No. 4, October 1989.

[5] D. Rajičić, R. Taleski, R. Ačkovski, "Efikasna postapka za opredeluvanje na najpovolna nova vklopna sostojba na radijalna distributivna mreža". Sovetuvanje: "Revitalizacija i novi tehnologii vo stopanstvoto na SR Makedonija", MANU, Noemvri 1989, Skopje.

[6] S. Fužtar, M. Kezunović, "Primjena ekspertnih sistema u elektroenergetici". Elektroprivreda br. 1-2, 1990.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Stipe Fuštar
Fakultet elektrotehnike, strojarstva
i brodogradnje – Split

Referat broj 3.19

EKSPERTNI SUSTAV ZA ODREĐIVANJE RASPOREDA REMONTA AGREGATA EES-a

Sadržaj

U ovom radu je opisan ekspertni sustav za planiranje rasporeda remonta agregata kao i za praćenje realizacije plana. Znanje u području planiranja remonta je formalno predstavljeno u bazi znanja ekspertnog sustava u koji je integrirana i jedna algoritamska metoda. Ekspertni sustav je napisan u jeziku OPS-83 i realiziran na računalu DEC MicroVAx II. Predloženi ekspertni sustav je testiran na primjerima IEEE RTS sustava..

Abstract

An expert system has been presented for generator maintenance scheduling for yearly planning as well as for monitoring realization of the maintenance schedule. The knowledge in generator maintenance domain has been combined with an algorithmic method to improve efficiency and flexibility of generator maintenance scheduler. The expert system is written in the OPS-83 language and implemented on a DEC MicroVax II machine. The proposed expert system is tested on examples based on IEEE Reliability Test System.

1. Uvod

U stvarnom životu događaju se različiti neočekivani događaji zbog kojih je često neophodno korigirati godišnji plan remonta agregata. Pri tome se, kao i kod godišnjeg planiranja, pojavljuju nepravilno struktuirana ograničenja i situacije koje je vrlo teško, a često i nemoguće uzeti u obzir u tzv. algoritmičkom pristupu. Takve su npr. situacije kod određivanja početka remonta hidro-agregata, problemi sa prenosnom mrežom, problemi interkonekcije, problemi održavanja određenog nivoa sigurnosti opskrbe potrošača itd. Sve

takve i slične situacije i ograničenja predstavljaju u stvari simboličke informacije čijom se obradom mogu izvesti određeni zaključci, odnosno može se riješiti problem. Budući da se radi o određenom manipuliranju simboličkim informacijama, kao način rješavanja problema nameće se tehnika ekspertnih sustava kao jedna novovalna softverska metodologija koja je i razvijena poglavito za analizu simboličkih informacija. Obzirom na činjenicu da su kod planiranja remonta nužni i brojni numerički proračuni, ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a je organiziran tako da se iskoristi metoda opisana u [1]. Metoda je vrlo fleksibilna jer je moguće koristiti nekoliko funkcija cilja kao što su: maksimiziranje sigurnosti opskrbe potrošača, minimiziranje troškova remonta i minimiziranje troškova goriva. Optimiranje navedenih funkcija cilja, uz metodu kumulanata i ograničenje u linearnom obliku, je realizirano u programu OPMAIN [1] koji je napisan u Fortranu. Budući su u programu OPMAIN prisutni brojni numerički proračuni, programiranje metode u školjci ili jeziku za ekspertne sustave ne bi bilo efikasno.

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a je moguće koristiti za godišnja planiranja remonta kao i za praćenje realizacije tekućeg rasporeda remonta odnosno za nužne korekcije plana.

Metodologija ekspertnih sustava je omogućila da se brojna ograničenja i situacije koje se javljaju pri planiranju i u realnom životu uzmu u obzir, što je kod algoritmičkog pristupa bilo praktično nemoguće. Nakon što je specificirano znanje u području određivanja rasporeda remonta agregata u EES-u kroz niz heuristika, a zatim je opisana i struktura ekspertnog sustava. Na kraju je ekspertni sustav testiran na primjeru IEEE RTS sustava za različite scenarije.

2. Baza znanja

Znanje u području određivanja rasporeda remonta agregata u EES-u, je izraženo kroz niz heuristika kao što su: heuristike mreže, heuristike interkonekcije, heuristike proizvodnje, heuristike hidro-agregata, heuristike remonta. Sve navedene heuristike su u nastavku detaljno opisane i eksplicitno prezentirane.

2.1. Heuristike mreže

Ukoliko se u mreži dogodi ispad jednog ili više dalekovoda neophodno je provjeriti utjecaj takvog događaja na sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom. Očigledno je da ispad svakog dalekovoda ne utječe u jednakoj mjeri na sigurnost opskrbe potrošača. Budući da se kao kriterij sigurnosti opskrbe kod planiranja remonta agregata uzima određena vrijednost LOLP-a, EUE-a ili pak rezerve, u analizu se uzimaju poglavito dalekovodi koji su neposredno spojeni ili sa EES-om u interkonekciji ili sa nekim od agregata. Naime njihovim ispadom se, vrlo vjerojatno, smanjuje mogućnost prenosa snage iz susjednih sustava odnosno iz elektrana EES-a, što može imati za posljedicu i

smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača. Pri tome treba imati na umu da se parametri sigurnosti određuju na temelju proračuna u kojem je tjedan osnovni vremenski period. Na temelju rečenog, samo ispadi relativno dužeg trajanja, ili pak remont nekog od dalekovoda može imati utjecaj na sigurnost opsrkbe potrošača u EES-u, sa stajališta planiranja odnosno korekcije rasporeda remonta agregata.

a) Ukoliko se dogodi ispad dalekovoda koji su direktno povezani sa elektranama EES-a ili sa susjednim EES-om i ukoliko je ispad takve prirode da je sigurnost opskrbe potrošaača u EES-u pala ispod određene veličine, tada je neophodno razmotriti korekciju tekućeg rasporeda remonta agregata.

2.2. Heuristike interkonekcije

Svaki elektroenergetski sustav je u pravilu povezan sa nekoliko susjednih sustava. Međusobne razmjene snage i energije su redovna pojava, a regulirane su specijalnim ugovorima. Pri tome su mogući različiti neočekivani scenariji. Npr. ugovoreni iznos opskrbe snagom i energijom iz susjednog EES-a može da izostane ili da bude znatno reduciran iz niza razloga. Jedan od njih je naveden u odjelku o heuristikama mreže a odnosi se na mogući ispad magistralnih poveznih dalekovoda. Slijedeći mogući razlozi su npr. loša hidrološka situacija, poteškoće u okskrbi gorivom, nepredviđeno povećanje potrošnje (npr. zbog velike hladnoće), ispadi agregata, neplanirano produženo trajanje remonta agregata itd.

S druge pak strane u slučaju da je u vlastitom EES-u došlo do situacije gdje se sigurnost opskrbe potrošača u EES-u spustila ispod kritične vrijednosti usprkos korekciji rasporeda remonta agregata, potrebno je poduzeti daljnje korake. Prvi korak je, u slučaju da se snaga i energija isporučuje drugim sustavima, reducirati ili pak smanjiti na nulu iznos snage i energije koja se isporučuje. Kao slijedeći korak, postoji mogućnost da se u skladu sa ugovorima ili dogovorom, od susjednih sustava osigura određeni iznos snage i energije.

Ukoliko je slučaj htio da se usprkos svim poduzetim mjerama, sigurnost opskrbe potrošača nije bitno popravila te je još uvijek ispod kritične vrijednosti, kao slijedeći korak je ponekad moguće zahtijevati remont tzv. specijalnih potrošača čiji je status reguliran posebnim ugovorima. Ukoliko ni te mjere nisu dale rezultata tada je neophodno da EES radi sa smanjenom sigurnosti opskrbe potrošača. Pri tome najčešće dolazi do nepopularnih redukcija. Pri tome se plan redukcija donosi na temelju prioriteta svih grupa potrošača.

a) Ukoliko izostane opskrba ugovorena opskrba snagom i energijom iz susjednog sustava iz bilo kojeg razloga i nivo sigurnosti rada padne ispod određene vrijednosti, tada je nephodno korigirati tekući raspored remonta agregata u elektranama EES-a.

b) Ukoliko je, usprkos korekciji rasporeda remonta agregata vrijednost sigurnosti opskrbe potrošača i dalje ispod određene vrijednosti, neophodno je poduzeti daljnje akcije.

i) Ukoliko se snaga i energija isporučuje susjednim sustavima, tada se mora reducirati iznos snage i energije koji se isporučuje. (Iznos za koji se reducira snaga i energija određuje planer. U ovoj fazi razvoja ekspertnog sustava isporuka se smanjuje na nulu).

ii) Ukoliko prethodne mjere nisu dale rezultata slijedeća mogućnost je povećati opskrbu iz susjednih sustava za određeni iznos (u ovoj fazi razvoja ekspertnog sustava dobava se fiksira na vrijednost prenosnih mogućnosti dalekovoda).

c) U slučaju da usprkos poduzetim mjerama dolazi do neisporuke snage i energije potrošačima (redukcije) tada je potrebno ispitati mogućnost remonta specijalnih potrošača.

d) Ukoliko nijedna od prethodnih mjera nije postigla cilj (određena sigurnost opskrbe potrošača) EES mora da radi sa smanjenom sigurnosti opskrbe uz sve posljedice.

2.3. Heuristike proizvodnje

Heuristike proizvodnje uzimaju u obzir niz događaja koji se javljaju u elektroenergetskoj praksi s aspekta proizvodnje svakog agregata. Tako npr. neočekivani ispad bilo koejg agregata može imati za posljedicu smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača, te je zbog toga neophodno razmotriti korekciju rasporeda remonta svih agregata koji do tada nisu bili u redovnom remontu u promatranoj godini. Niz situacija koje se u stvarnom životu mogu dogoditi su opisane eksplicitno:

a) Ukoliko je došlo do ispada jednog od agregata i pri tome je agregat ozbiljno oštećen ponekad je neophodno da se s redovnim godišnjim remontom započme odmah iako početak remonta nije bio planiran u tom periodu. U tom slučaju je potrebno korigirati raspored remonta svih agregata koji do tog perioda nisu započeli redovni remont.

b) U slučaju kada iz bilo kojeg razloga sigurnost opskrbe potrošača, u tekućem periodu, padne ispod dozvoljene vrijednosti, za agregate za koje je početak remonta planiran u tom periodu postavlja se zahtjev da odgode početak remonta. Pri tome je također neophodno korigirati raspored remonta svih agregata za koje redovni remont do tog perioda nije započeo. Odgađanje početka remonta agregata se odvija u skladu sa listom prioriteta koja se bazira na tehničkom stanju agregata.

c) Ukoliko je za jedan od agregata postavljen zahtjev da odgodi, početak redovnog remonta, a agregat se nalazi u lošem tehničkom stanju, u tom slučaju agregat mora da odmah započme redovni remont kako bi se spriječile još veće potencijalne štete.

d) Kada je jedan od agregata u ispadu i svega nekoliko tjedana pred početak redovnog remonta, tada je neophodno razmotriti početak redovnog remonta u promatranom (tekućem) periodu.

2.4. Heuristike hidroagregata

Prozvodnja hidroagregata zavisi o protoku vode i volumenu akumulacije. Osnova je svih planiranja pogona hidroelektrana da se maksimalno iskoriste raspoložive vodne snage jer se time postižu najniži ukupni troškovi EES-a. Stoga se, u pravilu remont hidroagregata izvodi u periodima malih voda. U godišnjim planovima rada, raspored remonta agregata se planira u periodima gdje se očekuje najmanja moguća proizvodnja hidroagregata Drugim riječima remont agregata se planira u periodima koji imaju najveće šanse da budu optimalni sa stajališta maksimalnog iskorištenja vode. U stvarnom životu protoci vode u većoj ili manjoj mjeri variraju te je vrlo često neophodno korigirati godišnji plan remonta hidroagregata. Kada je tekući period u intervalu u kojem se analizira mogućnost početka remonta promatranog hidroagregata, potrebno je pratiti vrijednosti pripadnog protoka, predviđenog protoka u bližoj budućnosti i trenutni volumen akumulacije. Pri tome treba imati na umu da su sve hidroelektrane međusobno različite. Prema tome i način razmišljanja odnosno linija rezoniranja je neophodno da bude specifična za svaku hidroelektranu. U nastavku je ilustriran primjer moguće linije rezoniranja za jednu tipičnu hidroelektranu sa akumulacijom.

a) U slučaju da je tekući period jedan od perioda iz intervala gdje se predviđa početak remonta promatranog hidroagregata, i da su u tom periodu prirodni protok, predviđeni protok i volumen akumulacije relativno niski (manji od određene karakteristične vrijednosti), tada je potrebno da agregat započme remont što je prije moguće. Pri tome je neophodno korigirati plan remonta svih agregata koji do tog perioda nisu započeli remont.

b) Ukoliko je tekući period iz promatranog intervala, i prirodni protok i predviđeni protok su relativno niski, ali je volumen akumulacije iznad određene karakteristične vrijednosti, tada se početak remonta mora odgoditi.

c) Ako je tekući period unutar intervala od interesa, i ako je ili prirodni protok ili predviđeni protok iznad određene karakteristične vrijednosti, početak remonta promatranog hidroagregata je potrebno odgoditi.

d) U slučaju kada je hidroagregat u dobrom tehničkom stanju interval u kojem je moguć početak redovnog remonta se može povećati.

e) U slučaju kada je hidro agregat u lošem tehničkom stanju, neophodno je odmah zapčeti redovni remont. Korekcija rasporeda remonta se mora napraviti svaki put nakon donošenja takve odluke.

f) Ukoliko je tekući period posljednji period iz intervala u kojem je moguć početak remonta, tada je neophodno da promatrani hidro agregat započme remont što je prije moguće.

g) Ukoliko je za promatrani hidro agregat planirano da vrlo skoro otpočne

redovni remont, a u EES-u nedostaje vršne snage, i ako je agregat u dobrom tehničkom stanju i ako je u mogućnosti da proizvede potrebnu vršnu snagu, tada je neophodno da se početak remonta odgodi.

Za sve karakteristične vrijednosti za hidro agregate je odgovoran planer (korisnik). Potrebno je još jednom napomenuti da su sve karakteristične vrijednosti specifične za svaku hidroelektranu.

2.5. Heuristike remonta

Pri realizaciji određenog rasporeda remonta agregata u EES-u, događaju se različiti neočekivani događaji, što ima za posljedicu potrebu za korigiranjem tekućeg plana. Pod heuristikama remonta podrazumijevaju se dva događaja koja se mogu javiti u stvarnom životu pri realizaciji remonta nekog agregata. To su produženo trajanje redovnog remonta i prijevremeni završetak redovnog remonta nekog agregata.

a) Ponekad je neophodno produžiti remont nekog agregata jer svi planirani radovi nisu završeni. Takva situacija se javlja npr. u slučaju problema sa nabavkom rezervnih dijelova, problema sa opremom ili pak neadekvatno ekipirane posade za obavljanje remonta odnosno nedovoljnog broja radnika, itd. Produženo trajanje remonta ima za posljedicu promjenu sigurnosti opskrbe potrošača u tom periodu te je potrebno korigirati tekući raspored remonta agregata u EES-u.
b) U slučaju da se redovni remont nekog agregata završi ranije nego što je očekivano, također je neophodno korigirati tekući plan remonta.

2.6. Heuristike pouzdanosti

Pri planiranju rasporeda remonta agregata EES-a, ponekad se dolazi do situacije da sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava postavljene kriterije usprkos obavljenoj korekciji tekućeg plana remonta. U tom slučaju vrši se korekcija ukupnog broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu u svim periodima gdje sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava. Potrebno je napomenuti da ukupni broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu predstavlja ograničenje i da se na taj način u stvari modificiraju ulazni podaci za slijedeću korekciju tekućeg plana remonta agregata.

a) U svim periodima gdje sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava postavljene kriterije, ukupni broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu se korigira na način da se ukupni broj agregata u remontu prema zadnjoj verziji plana, u svim periodima od interesa, umanji za jedan. Cilj je dakle smanjiti za jedan, tj. ograničiti ukupni broj agregata u remontu u periodima od interesa jer se na taj način povećava (za jedan) broj agregata u pogonu, odnosno sigurnost opskrbe potrošača.
b) Ukoliko u periodu gdje sigurnost opskrbe potrošača ne zadovoljava i ako prema zadnjoj verziji rasporeda remonta agregata nijedan agregat nije u remontu, tada se predlažu rješenja b) iz odjelka 2.2.

c) Iako sigurnost opskrbe porošača ne zadovoljava postavljene vrijednosti u nekom periodu, ponekad je nemoguće umanjiti ukupni broj agregata koji mogu biti istovremeno u remontu. To se dodaða u slučaju kada je remont svih agregata, koji su prema zadnjoj verziji plana određeni da budu u remontu: Naime redovni remont svakog agregata u EES-u se u pravilu odvija kontinuirano te nikakav kraći ili duži prekid radova na remontu nije moguć.

2.7. Heuristike minimalnog odstupanja od tekućeg plana

Uvijek kada je potrebno korigirati tekući raspored remonta agregata EES-a čini se oportuno odrediti takav raspored remonta koji će najmanje odstupati od tekućeg. Potrebno je, dakle, odrediti raspored remonta sa minimalnim odstupanjem od tekućeg plana, uz uvažavanje jednog od utvrđenih kriterija. To se izvodi na način da se interval u kojem je dozvoljen početak remonta svakog agregata modificira.

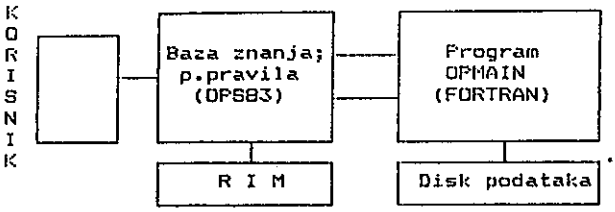
a) Za korekciju tekućeg plana remonta agregata u EES-u, određuje se novi interval u kojem je moguć početak remonta agregata. Navedeni interval se određuje za svaki agregat čiji remont još nije započeo. Širina intervala pri korigiranju plana remonta se uzima 5 perioda (tjedana) što je znatno manje od uobičajene vrijednosti za godišnja planiranja gdje navedeni interval najčešće iznosi 12 i više perioda (tjedana). Širina intervala (5) je odabrana na temelju zahtjeva da korigirani plan remonta agregata ne odstupa suviše od tekućeg plana. Pri tome navedeni interval može da varira i da bude različit za različite agregate. Najraniji mogući početak remonta nekog agregata se postavi na vrijednost koja je dva perioda ranije od rednog broja perioda u kojem je planiran početak remonta (iz tekućeg plana). Ukoliko je najraniji period u kojem je moguć početak remonta nekog agregata, ranije od tekućeg perioda, tada se vrijednost najranijeg perioda postavlja na vrijednost tekućeg perioda. Najkasniji dozvoljeni početak remonta se dobije postavljanjem na vrijednost koja je dva perioda kasnije od perioda u kojem je u zadnjoj verziji plana određen remont promatranog agregata.

b) Za agregate čiji redovni remont je već započeo, vrijednosti najranijeg i najkasnijeg dozvoljenog početka remonta se fiksiraju na vrijednost perioda u kojem je remont stvarno i počeo. Matematičkim riječnikom kazano, u korekciji tekućeg plana početak remonta takvog agregata se ne uzima kao nepoznanica.

3. Struktura ekspertnog sustava

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u EES-u je organiziran na način da je znanje u području planiranja remonta programirano u školjci za ekspertne sutave OPS-83, dok su svi numerički proračuni programirani u Fortranu i sadržani su u programu OPMAIN. Organizaciona

struktura ekspertnog sustava se može vidjeliti na slici 1.



Slika 1. Struktura ekspertnog sustava

Preciznije rečeno ekspertni sustav je organiziran na način da je program OPMAIN potprogram OPS-83 programa. Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a je instaliran na računalu MicroVAX II.

Što se tiče baze podataka, korištena je relaciona baza podataka RIM, zbog jednostavnog pristupa podacima. Specijalni interfejs za kumunikaciju između relacione baze podataka i ekspertnog sustava je programiran u Fortranu. Običan zapis podataka (data file) je upotrebljen za podatke koji se ne mijenjaju često i praktično su konstantni. Takvi su podaci npr. instalirane snage agregata. Poseban problem predstavljalo je riješiti transfer podataka između potprograma OPMAIN (Fortran) i OPS-83 programa. U tu svrhu razvijeni su specijalni potprogrami za transfer podataka pri ulazu i izlazu iz potprograma OPMAIN.

Ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata je napisan u školjci za ekspertne sustave OPS-83. Školjka OPS-83 je izabrana zbog činjenice da omogućava komuniciranje sa programima napisanim u Fortranu, što je posebna pogodnost za primjenu u elektroenergetici a također i za određivanje rasporeda remonta agregata. Pored toga OPS-83 ima efikasan mehanizam zaključivanja, debager i omogućava vrlo brzo pretraživanje baze pravila.

Znanje u području određivanja rasporeda remonta je detaljno opisano u odjeljku 2. Baza znanja je organizirana putem produkcijskih ili proizvodnih pravila. Sve navedene heuristike su definirane kao niz produkcijskih pravila. Produkcijska pravila su grupirana unutar nekoliko tzv. zadataka u skladu sa pripadnim heuristikama. Tako npr. zadatak mreža grupira heuristike mreže odnosno odgovarajuća produkcijska pravila itd. Ekspertni sustav za orešivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a ima ukupno 65 produkcijskih pravila napisanih u jeziku OPS-83.

4. Testiranje ekspertnog sustava na IEEE RTS-u

Ekspertni sustava za određivanje rasporeda remonta agregata EES-a je testiran na primjeru IEEE TRS-a. Svi potrebni podaci i ograničenja su identična kao za primjer 2 iz [1]. Dodan je samo zahtjev da u svakom periodu ukupni broj agregata u remontu ne smije da bude veći od 4. Pri tome je pretpostavljeno da je IEEE u interkonekciji sa drugim EES-om. Razmjena snage i

energije između sustava u interkonekciji je u svim periodima nula. Mogućnost dodatne nabave snage i energije postoji i ograničena je prenosnim mogućnostima dalekovoda koja iznosi 150 MW. Budući da se interkonekcija uvažava preko tzv. ekvivalentnog agregata za ovaj primjer je uzeto da raspoloživost tog ekvivalentnog agregata iznosi 0,85. Test primjer je riješen koristeći kriterij kriterij ujednačavanja LOLP-a. Testiranje je provedeno za dvije moguće situacije (scenarija).

4.1. Scenarij 1

Po ovom scenariju zadatak je odrediti godišnji raspored remonta agregata po kriteriju ujednačavanja LOLP-a. Raspored remonta dan u tabelama 1. Može se primijetiti da je problem uspješno riješen i da su sva postavljena ograničenja zadovoljena. Problem ima 210 ograničenja i 384 nepoznanice. Za riješiti problem bilo je 105 sekunda mjereno štopericom. Navedena vremena uključuju i vrijeme potrebno za računanje pokazatelja EES-a kao što su LOLP, EUE i troškovi goriva.

4.2. Scenarij 2

Ovaj scenarij se također odnosi na godišnje planiranje remonta za kriterij minimiziranja LOLP-a. Postavljen je zahtjev da LOLP ni u jednom periodu ne smije da prekorači vrijednost 1,0 sata. Uvidom u rezultate prve iteracije koji su dani u tabeli 1 može se vidjeti da je takav zahtijevani LOLP prekoračen u periodima 14, 50 i 51.

Ekspertni sustav je uspješno riješio problem. Rezultati su prikazani u tabeli 2. Ekspertni sustav je za period 14 postavio ograničenje u skladu sa danim heuristikama. Naime ekspertni sustav je umanjio ukupni broj agregata u remontu za dva (2x1) u odnosu na broj(4) agregata u remontu prema planu u prvoj iteraciji iz tabele 1. Slijedi da u periodu 14 ukupni broj agregata u remontu ne smije biti veći od 2 (4-1-1). Naime, uz ograničenje od ukupno tri dozvoljena agregata u remontu, nije zadovoljeno postavljeno ograničenje LOLP<1,0, pa je postupak nastavljen na način da je broj dozvoljenih agregata za istovremeni remont u periodu 14 po drugi put umanjen za jedan. Tada se konačno dobilo rješenje koje zadovoljava postavljeno ograničenje. Takvo rješenje za periode 50 i 51 se nije moglo predložiti jer u navedenim periodima nijedan agregat nije u remontu. Ekspertni sustav je u tim periodima predložio dobavu iz EES-a s kojim je promatrani EES u interkonekciji. Pri tome snaga dobave u periodu 50 iznosi 100 MW u periodu 51 iznosi 150 MW. Naime, dobava od 100 MW u periodu 51 nije popravila LOLP u dovoljnoj mjeri da bi postavljeni zahtjev (LOLP>1.0 sata) bio zadovoljen, pa je bilo nužno snagu dobave povećati na iznos ukupnih prenosnih mogućnosti dalekovoda koji povezuje dva sustava u interkonekciji. Ovdje je važno napomenuti da se čitav prethodno navedeni postupak zahvaljujući ekspertnom sustavu odvijao automatski. Vrijeme trajanja čitavog postupka na računalu mikroVAX, mjereno štopericom iznosi cca 190 sekundi. Većina vremena je utrošena na računanje karakterističnih pokazatelja.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prezentiran ekspertni sustav za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava. Znanje i iskustva u području planiranja remonta je prikupljeno, formalizirano i izraženo putem heurističkih pravila. Jedna algoritamska metoda je integrirana u ekspertni sustav zbog numeričkih proračuna i djelomično zbog pretraživanja dopustivosti rješenja. Testiranja su pokazala da predloženi ekspertni sustav može da bude efikasno sredstvo za planiranje odnosno reviziju plana remonta agregata.

LITERATURA

[1] S. Fuštar: "Razvoj heurističke metode za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama", Energija br. 1, 1990. pp. 3 - 18

[2] S. Fuštar, J. Hsieh: " A Knowledge-Based Method for Revision of Yearly Generator Maintenance Schedule", Proceedings of the First Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Stockholm - Helsinki, Kolovoz 22-26, 1988. pp. 9.23-9.29

Tabela 1. Raspored remonta za scenarij 1.(kriterij LOLP-a) scenarij 2.(kriterij LOLP-a)

Tjedan	V.opterećenja	U remontu	LOLP sat/tj	U remontu	LOLP sat/tjed.
1	2457		0,11925		0,11925
2	2565		0,31431		0,31431
3	2502		0,18352		0,18352
4	2377	50(22)	0,09016	50(22)	0,09016
5	2508	50(22),50(23)	0,45717	50(22),50(23)	0,45717
6	2397	197(4),50(23)	0,55440	197(4),50(23)	0,55440
7	2371	197(4)	0,29932	197(4),20(24)	0,35049
8	2297	197(4),76(14)	0,31115	197(4),76(14),20(24)	0,36420
9	2109	197(4),100(11),76(14)	0,12190	197(4),100(11),76(14),20(25)	0,14702
10	2100	400(1),100(11),76(14)	0,18211	400(1),100(11),76(14),20(25)	0,22408
11	2038	400(1),197(6),100(11),76(15)	0,62395	400(1),197(6),100(11),76(15)	0,62395
12	2072	400(1),197(6),76(15),20(24)	0,40072	400(1),197(6),76(15)	0,33115
13	2006	400(1),197(6),76(15),20(24)	0,19992	400(1),197(6),76(15)	0,16056
14	2138	400(1),197(6),155(8),20(15)	1,32770	400(1),197(6)	0,28880
15	2055	400(1),155(7),155(8),20(15)	0,49979	400(1),155(7),155(8)	0,41686
16	2280	155(7),155(8)	0,33151	155(7),155(8)	0,33151
17	2149	155(7),155(8),12(28)	0,11303	155(7),155(8)	0,09954
18	2385	155(7),12(28)	0,32621	155(7),155(8)	0,91378
19	2480	12(29)	0,19928	12(28)	0,19928
20	2508	12(29)	0,25562	12(28)	0,25562
21	2440	20(26)	0,14619	20(26),12(29)	0,16420
22	2311	20(26)	0,03608	20(26),12(29)	0,04263
23	2565		0,36808		0,36808
24	2528		0,27254		0,27254
25	2554		0,33629		0,33629
26	2454	155(9)	0,50486	155(9)	0,50486
27	2152	155(9)	0,02554	155(9)	0,02554
28	2326	155(9)	0,17293	155(9)	0,17293
29	2263	155(9),76(17)	0,23799	155(9),76(17)	0,23799
30	2508	76(17)	0,43320	76(17)	0,43320
31	2507	350(3),76(17),50(19),20(27)	0,11347	350(3),76(17),50(19),20(27)	0,11347
32	2212	350(3),50(19),20(27)	0,24707	350(3),50(19),20(27)	0,24707
33	2280	350(3),50(21)	0,38820	350(3),50(21)	0,38820
34	2078	350(3),76(16),50(21)	0,11484	350(3),76(16),50(21)	0,11484
35	2069	400(2),350(3),76(16)	0,65950	400(2),350(3),76(16)	0,65950
36	2009	400(2),100(12),76(16)	0,05897	400(2),100(12),76(16)	0,05897
37	2223	400(2),100(12)	0,29183	400(2),100(12)	0,29183
38	1981	400(2),100(12),50(18),50(20)	0,05732	400(2),100(12),50(18),50(20)	0,05732
39	2063	400(2),197(5),50(18),50(20)	0,39652	400(2),197(5),50(18),50(20)	0,39652
40	2063	400(2),197(5),155(10)	0,62094	400(2),197(5),155(10)	0,62094
41	2116	197(5),155(10),100(13)	0,26449	197(5),155(10),100(13)	0,26449
42	2120	197(5),155(10),100(13)	0,27114	197(5),155(10),100(13)	0,27114
43	2280	155(10),100(13),12(30)	0,23593	155(10),100(13),12(30)	0,23593
44	2522	12(30)	0,22126	12(30)	0,22126
45	2522	12(31)	0,24421	12(31)	0,24421
46	2591	12(31)	0,42382	12(31)	0,42382
47	2679	12(32)	0,78947	12(32)	0,78947
48	2537	12(32)	0,27549	12(32)	0,27549
49	2685		0,75468		0,75468
50	2765		1,24360		0,72308
51	2850		2,02190		0,97001
52	2713		0,90778		0,90778

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Mladen Kezunović, dipl. ing.
Texas A&M University, S.A.D. (*)

Referat broj 3.20

EKSPERTNI SISTEMI ZA ANALIZU KVAROVA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

SADRŽAJ

U ovom referatu su diskutovani razni pristupi u realizaciji funkcije analize kvara u EES-u korištenjem ekspertnih sistema. Prvo je dat pregled različitih koraka koji se sreću kod funkcije analize kvarova. Zatim su opisana pojedinačna rješenja koja su realizovana tako da obuhvataju samo neke od pomenutih koraka. Na kraju su predstavljene sistemske realizacije funkcije analize kvara u kojima su sadržani svi koraci vezani za obradu signala, dijagnosticiranje kvara, lokaciju kvara i restauraciju mreže. Na kraju referata je data iscrpna literatura.

ABSTRACT

Different approaches to the expert system implementation of the fault analysis function are discussed in this paper. First, several steps found in the fault analysis function are outlined. Next, single device solutions incorporating only some of the mentionad steps are described. Finally, system solutions covering all of the fault analysis functions such as data processing, fault diagnosis, fault location, and system restauration are also presented. An extensive bibliography is given at the end.

(*) Dr. Kezunović se nalazi na usavršavanju na Texas A&M University u S.A.D.

1. UVOD

Iako je nivo pouzdanosti rada elektroenergetskih sistema danas dosta visok, ipak još uvijek dolazi do kvarova u sistemu što prouzrokuje isključenje dijelova ili čitavog sistema. Jedan od glavnih problema u slučaju kvara je da se što prije odredi gdje je nastupio kvar, te da se isključi minimalni dio sistema čiji rad je onemogućen zbog kvara.

Jedini pouzdan način koji se danas koristi za izolovanje kvarnog dijela sistema je upotreba uredjaja relejne zaštite. Medjutim, ovi sistemi su izvedeni tako da se veoma često njihovim djelovanjem automatski isključuje dio sistema u okolini kvara. Ovo znači da se isključuje veći dio sistema nego što je minimalno potrebno za izolaciju dijela koji je u kvaru. Ovome još treba dodati činjenicu da u slučaju prorade zaštita operator ne zna gdje je tačno kvar, jer uredjaji relejne zaštite ne daju ovu informaciju u eksplicitnom obliku.

Da bi se omogućio efikasan način prepoznavanja i lokacije kvara u EES-u, danas postoji čitav niz uredjaja i sistema koji se koriste samo za ovu svrhu. Medjutim, ni jedno od ovih rješenja ne obavlja ovu funkciju automatski, te se još uvijek veći dio procesiranja podataka i donošenja zaključaka svodi na operatora. Ovakvo rješenja nije zadovoljavajuće jer u momentu kvara operator nije u mogućnosti da dovoljno brzo i pouzdano ostvari svoj zadatak jer se konačni zaključci traže u intervalu od nekoliko desetina sekundi do nekoliko minuta. Ovaj vremenski interval je uslovljen potrebom da se na kvar reaguje što prije i to bilo restauracijom "zdravih" dijelova sistema i/ili izdavanjem naloga odgovarajućem osoblju da izadje na lice mjesta i otkloni kvar.

Najnoviji pristup u rješavanju ovog problema je korištenje ekspertnih sistema. Ovi sistemi su predvidjeni da služe kao pomoć operatoru u obavljanju njegove funkcije donošenja konačnog suda u analizi kvara. Medjutim, neka od rješenja ukazuju na mogućnost da se ova funkcija potpuno automatizuje.

Ovaj rad se bavi diskusijom pojedinih rješenja ekspertnih sistema koja se danas predlažu za realizaciju funkcije analize kvara(1,2). Rad daje kratak pregled pojedinih pristupa koji su do danas diskutovani u literaturi (3,4). Na osnovu karakteristika pojedinih rješenja prvo je ukazano na glavne korake koji se sreću kod analize kvara, Zatim je istaknut nivo složenosti mogućih pristupa za rješenje ovog problema korištenjem ekspertnih sistema. Na kraju je data iscrpna literatura koja tretira ovu problematiku.

2. ANALIZA KVARA

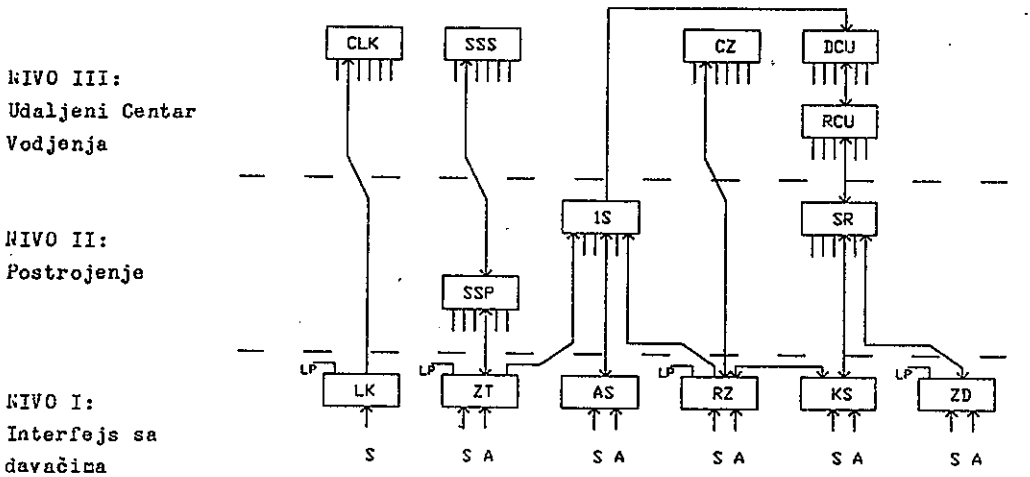
Proces analize kvara je veoma složen i sastoji se od nekoliko koraka. Ovi koraci su sumirani u Tabeli I.

Kao što se vidi, pomenuti koraci se bitno razlikuju u smislu funkcije koju izvršavaju i zaključaka do kojih mogu da dovedu. Veoma je važno da se uoči da ekspertni sistemi mogu da se razlikuju po broju koraka koje obuhvataju. Tako mogu da se realizuju da obuhvate samo neke od koraka, a mogu da se realizuju i kao sistemsko rješenje koje obuhvata sve korake.

Realizacija pomenutih rješenja je direktno vezana za vrstu opreme koja se koristi za svrhu analize kvara. Funkcionalni blok dijagram postojeće opreme i

Tabela I. Koraci u analizi kvara

KORAK	FUNKCIJA	ZAKLJUČAK
Obrada signala	- Analiza alarma - Analiza signalizacija - Analiza analog. sign.	- Eliminacija redundantnih alarma i signalizacija - Detekcija kvara
Dijagnosticiranje kvara	- Pravljenje korelacija izmedju pojedinih sig. i mjerenja (analog.)	- Utvrdjivanje vrste kvara - Identifikacija dijela sist. koji je u kvaru
Lokacija kvara	- Detaljna mjerenja potrebna za preciznu lokaciju kvara	- Precizna lokacija kvara sa identifikacijom komponente u kvaru
Restauracija mreže	- Vraćanje u pogon dijel. mreže koji su nepotrebno isključeni	- Tačno utvrdjivanje koji dio sistema je u kvaru i treba da bude van pogona



Slika 1. Postojeća oprema za analizu kvara

NAPOMENA:

S-signalizacije (jedn. i dvos.)
A-analogn. velič.
LP-lokalni prikaz
LK-lokator kvara
ZT-zapis. tranz.
AS-akviz. stan.
RZ- relej. zašt.
KS- krajnje stan. teleinf. sist.
ZD zapis. dogadj.
SSP-sabir. stan. u postrojenju
IS -Integr. sist.
SR -stanični računar
CLK-centar za lokaciju kvara
SSS-sabirna stan. u postrojenju
DCU-dispečerski centar upravljanja
CZ -centar za zaštitu (mjeraši)
RC -regionalni centar upravljanja

njena medjusobna povezanost su dati na Slici 1. Treba uočiti da ovakva sveobuhvatna rješenja najčešće nisu dostupna u elektroprivredama već su obično instalisani samo neki od podsistema prikazanih na Slici 1. Razlog za ovakav pristup je želja da se za što manje sredstava instalira oprema koja će biti "dovoljno dobra" za obavljanje funkcije analize kvara.

U daljem tekstu su diskutovani mogući pristupi korištenja pomenute opreme za realizaciju ekspertnih sistema za analizu kvara.

3. POJEDINAČNA RJEŠENJA

U ovom poglavlju su diskutovane realizacije ekspertnih sistema koje koriste opremu vezanu za jednu od niza funkcija prikupljanja podataka, zaštite i upravljanja. Prema tome, ova rješenja su različita od sistemskin rješenja koja obuhvataju sve funkcije koje se izvršavaju u postrojenju i/ili u centrima za dispečersko upravljanje.

3.1. Dijagnosticiranje kvara pojedinačnih aparata

Najčešće spominjano rješenje ekspertnog sistema za dijagnosticiranje kvara elektroenergetskih aparata je vezano za transformatore snage (5,6,7). Ovi sistemi analiziraju neelektrične veličine kao što su sastav gasa, vruća tačka, i oslobadjanje gasova u izolacionom ulju da bi odredili stanje u kome se transformator nalazi. Slični sistemi za analizu gasa koji koriste detektore za parcijalna pražnjenja i kretanje čestica u izolacionom gasu se koriste za dijagnosticiranje stanja SF6 izolovanih postrojenja (8).

Od drugih energetskih aparata razmatrani su električne mašine, visokonaponski prekidači i istosmjerni pretvarači. Za svaki od ovih aparata razvijeni su ekspertni sistemi za dijagnosticiranje radnog stanja (9,1o,11,12).

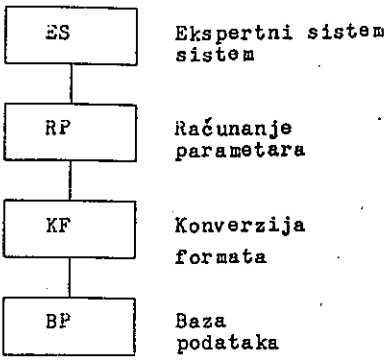
Sva pomenuta rješenja su izvedena na posebnom računaru i ne koriste posebnu opremu koja je prikazana na Slici 1. Jedino se koriste standardni davači mjernih veličina koji su razvijeni za akviziciju potrebnih veličina.

3.2. Analiza zapisa tranzijenata

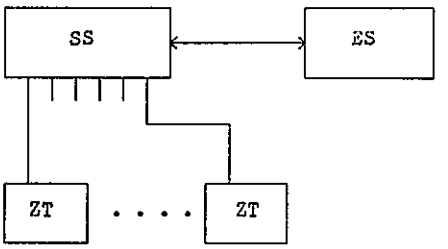
Zapisivači tranzijenata se koriste u elektroenergetskim sistemima za analizu radnih režima sistema. Najnovija rješenja ovih uredjaja su izvedena u digitalnoj tehnici. Nekoliko ovakvih uredjaja lociranih u raznim postrojenjima se najčešće spajaju komunikacionim vezama za centralnu stanicu. Ova stanica služi za arhiviranje zapisa a ujedno služi i za grafički prikaz i analizu zapisa. Ova oprema je prikazana na Slici 1.

Pošto je analiza zapisa ustvari dijagnostički proces, korištenje ekspertnih sistema za realizaciju ove funkcije je izuzetno pogodno. Do danas je diskutovano nekoliko problema vezanih za ovu tematiku (13,14) , a u toku je i realizacija praktičnih rješenja (1).

Kod realizacije ovih sistema treba uočiti da je potrebno obaviti nekoliko koraka u obradi podataka da bi se stvorila odgovarajuća baza podataka za ekspertni sistem. Funkcionalna blok shema ovih obrada je prikazana na Slici 2. Kod realizacije prototipa ovih rješenja preporučuje se da se koristi tzv. "pridru-



Slika 2. Funkcionalna blok shema toka obrada podataka



NAPOMENA:

ZT-Zapisivač tranzijenata
SS-Sabirna stanica
ES-Ekspertni sistem

Slika 3. Način spajanja "pridružen" rješenja ekspert. sistema

ženi" pristup gdje se osnovnom rješenju sistema za zapis tranzijenata "pridružuje" nezavisni računar na kome je realizovan ekspertni sistem. Jedina veza izmedju ova dva rješenja je komunikaciona veza koja služi za prenos baze podataka od zapisivača tranzijenata ka računaru ekspertnog sistema. Prikaz ovog rješenja je dat na Slici 3.

3.3. Lokatori greške

Funkcija lokacije greške u elektroenergetskom sistemu može da se realizuje na više načina. Različiti načini realizacije su vezani za pristup u izboru uredjaja koji se koriste u ivedbi ove funkcije, te za način obrade signala iz EES-a.

Realizacija ove funkcije u digitalnoj tehnologiji može biti ostvarena korištenjem lokatora greške, distantnih releja, ili zapisivača tranzijenata. Svaki od ovih uredjaja uzima uzorke signala struje i napona, što je potrebno za računanje lokacije kvara. Dalje obrade vezane za izračunavanje lokacije kvara se mogu izvesti u posebnom uredjaju izvedenom samo za ovu svrhu (Lokator greške), ili u uredjajima koji vrše neku drugu funkciju kao što je relejna zaštita (Distantni relej) i prikupljanje podataka (Zapisivač tranzijenata). U svakom slučaju je potrebna realizacija digitalnog algoritma koji bi služio za izračunavanje lokacije kvara.

Što se tiče digitalnih algoritama za lokaciju greške, te načina obrade ulaznih signala, postoji čitav niz varijanti u realizaciji. U Tabeli II su sumirane razne varijante realizacije. Pošto se izbor realizacije svodi na optimizaciju primjene u odnosu na dati sistem, odgovarajući izbor algoritma traži ekspertizu u ovoj oblasti. Ova činjenica je dala povoda da se realizuje ekspertni sistem koji omogućava automatski izbor datog algoritma i načina njegove realizacije (15).

Tabela II. Načini realizacije digitalnih algoritama za lokaciju greške

KARAKTERISTIKA RJEŠENJA	MOGUĆI PRISTUPI
Pretpostavka o modelu signala	- 5o Hz (osnovni harmonik) - putujući talasi
Mjerenje struja i napona (uzimanje uzoraka)	- na oba kraja voda - samo na jednom kraju voda
Predstavljanje algoritama	- u vremenskom domenu - u frekventnom domenu
Uzimanje uzoraka (na dva kraja voda)	- sinhronizovano - nije sinhronozovano
Iterativnost algoritma	- iterativan - nije iterativan
Uredjaji za prikupljanje podataka	- mikroprocesorski lokator kvara - mikroprocesorski distantni releji - mikroprocesorski zapisivači tranzijenat.

4. SISTEMSKA RJEŠENJA

Ova grupa rješenja se razlikuje od pojedinačnih izvedbi po tome što se koriste za izvršenje čitavog niza funkcija vezanih za dio EES-a (postrojenje) ili čitav sistem. Zbog sveobuhvatnosti svojih funkcija, ova rješenja traže potpunu informaciju o sistemu koji nadgledaju. U tu svrhu ovi sistemi formiraju kompletniju bazu podataka od pojedinačnih rješenja, koja prikupljaju samo odredjenu vrstu podataka.

4.1. Nadgledanje rada i upravljanje postrojenjima

U većini velikih visokonaponskih postrojenja postoji lokalni upravljački centar u kome se 24 sata nalazi posada. Upravljanje ovim postrojenjima je složeno i zahtijeva ekspertizu koja se najčešće stiče dugogodišnjim radom u ovim postrojenjima. Kao rezultat stečenih znanja najčešće se formira dokumentacija koja služi kao priručnik za posadu. Medjutim, ovi priručnici su brojni i glomazni, pa se u kriznim situacijama kvarova u postrojenjima i/ili sistemu pojavljuje potreba da se odluke o upravljanju donose brže nego što je to moguće uz koristenje priručnika. Ovo se posebno odnosi na mladu i neiskusnu posadu.

U poslednje vrijeme je razvijeno nekoliko rješenja ekspertnih sistema koji služe za automatsku obradu informacija iz priručnika. Ovakav pristup značajno ubrzava donošenje upravljačkih odluka jer u ovom slučaju operator ima veoma efikasno pomoćno sredstvo.

Tipičan primjer rješenja ekspertnog sistema za postrojenja je sistem za

pomoć operatorima u upravljanju velikim 5oo KV prenosnim postrojenjem, kao i ekspertni sistem za upravljanje 138 KV postrojenjem u elektrani (16,17). Ovi sistemi daju upute operatorima za sklapanja postrojenja u normalnim režimima, kao i upute za restorativna sklapanja u slučajevima kvara. Ovi sistemi ujedno vrše dijagnosticiranje i lokaciju kvara.

Osim pomenutin kompletnih ekspertnih sistema za upravljanje postrojenjima, razvijeni su i ekspertni sistemi koji pomažu operatoru kod obavljanja samo nekih funkcija. Tako je razvijen sistem koji samo pomaže kod nadgledanja sklapanja (18). Jedno drugo rješenje je razvijeno za nadgledanje i dijagnosticiranje kvara na primarnoj opremi postrojenja (19). Takodje je razvijen i posebni sistem za dijagnosticiranje lokacije kvara u postrojenju (2o).

Konačno, treba uočiti da su sva pomenuta rješenja ekspertnog sistema za postrojenje realizovana koristeći posebni računar za ovu svrhu. U nekim najnovijim prijedlozima se zamišlja Integrisani sistem za zaštitu i upravljanje kao konfiguracija na kojoj bi bio realizovan ekspertni sistem za dijagnosticiranje kvara.(21). Ova ideja je posebno interesantna zbog jedinstvene baze podataka Integrisanih sistema koja sadrži gotovo sve veličine iz postrojenja, te se time nameće mogućnost sasvim novog pristupa u realizaciji ekspertnih sistema za postrojenja.

4.2. Centri vodjenja

Ekspertni sistemi za analizu kvara u EES-u se mogu izvesti na više načina u Dispečerskim centrima (22). Sto se tiče izvedbi, najčešće su jedna od slijedeće dvije varijante: 1. Ekspertni sistem izveden kao direktna nadogradnja na centralnu stanicu SCADA sistema; 2. Ekspertni sistem izveden potpuno odvojeno, na posebnom računaru pri čemu je omogućena komunikaciona veza za pristup SCADA bazi podataka. Po funkcijama, ekspertni sistemi za Dispečerske centre se dijele na one koji obavljaju analizu alarma, dijagnosticiranje kvara i restauraciju mreže. U svakom slučaju, ekspertni sistemi u centrima vodjenja koriste bazu podataka koja se odnosi na cijeli EES.

Treba napomenuti da je dijagnosticiranje kvara u centrima vodjenja najčešće razvijana primjena od svih primjena koje se pominju u ovom radu. Zbog toga postoji i najveći broj publikovanih referenci iz ove oblasti, a i spektar rješenja je najrazličitiji.

Neke karakteristike jednog broja ovih rješenja su date u Tabeli III. Iz pregleda se vidi koliko rješenja ekspertnih sistema za istu funkciju mogu biti veoma različita. Značajne razlike se ogledaju u korištenju raznovrsnog hardvera, softvera, načina prezentacije znanja, zaključivanja, organizacije baze podataka i niza manje bitnih detalja.

5. ZAKLJUČCI

Pregled različitih realizacija ekspertnih sistema za analizu kvara ukazuje na veliku šarolikost mogućih rješenja.

Kao prvo, nailazi se na sisteme u kojima je realizovan samo mali broj mogućih funkcija kao što je analiza alarma, ili lokacija kvara.Sa druge strane

TABELA III. Neke karakteristike ekspertnih sistema za dijagnosticiranje kvara u čitavom EES-u

REF.	HARDVER	SOFTVER	PREZ. ZNANJA	MEHANIZAM ZAKLJUČ.	DRUGE KARAKT.
(22)	IBM PS/2	Comm. Lisp	Pravila, poruke	-	Faktori sigurnosti
(23)	DEC VS3500	Comm. Lisp	Objekti, pravila	-	Softech SADT Tool
(24)	32-bit PC	PROLOG	Pravila	Dvosmjerno rezon.	Faktori sig.
(25)	NEC PC	PROLOG	uzročno-poslj. mreža	Propagiranje markera	palelno procesiranje
(26)	-	OPS 83	Pravila	ulančavanje unaprijed	-

postoje rješenja koja obuhvataju sve funkcije analize kvara.

Slijedeća razlika je u izvedbi opreme. Tako se može koristiti oprema koja odgovara samo jednoj funkciji, kao što su zapisivači dogadjaja i lokatori greške. Takodje se može koristiti oprema koja upravlja čitavim EES-om, ili dijelom sistema, kao što su SCADA sistemi ili Integrisani sistemi.

Konačno, razlike se uočavaju u samim karakteristikama rješenja. Glavne razlike su u korištenom hardveru, softveru, bazi znanja, mehanizmu zaključivanja.

Na karaju treba napomenuti da je do danas razvijen čitav niz prototipova ekspertnih sistema za analizu kvara. Neki od sistema su već ušli i u svakodnevnu eksploataciju. U skoroj budućnosti se može očekivati brojna primjena ovih sistema.

PITANJA ZA DISKUSIJU

1. Koja od pojedinačnih/kombinacija funkcija analize kvara su najpovoljnije/najpotrebnije za realizaciju u EES-u u Jugoslaviji.
2. Koji pristup u realizaciji ekspertnih sistema za analizu kvara treba razmatrati kao moguću primjenu u Sistemu daljinskog vodjenja EES-a u Jugoslaviji.

ZAHVALA

Autor se zahvaljuje Texas A&M univerzitetu u S.A.D. za obezbjedjenje uslova i sredstava za bavljenje problematikom primjene ekspertnih sistema u analizi kvara u EES-u.

REFERENCE

1. H. Kezunovic, et. al."Expert System Applications to Protection, Substation Control and Related Monitoring Functions" Electric Power Systems Research Journal (in press).
2. C.C. Liu, T. Dillon "State-of-the-Art of Expert System Applications to Power Systems" Intl. Journal Electric Power&Energy Systems (in press).
3. CIGRE SC38 "An International Survey of the Present Status and the Perspective of Expert Systems on Power System Analysis and Techniques" WG38.02,Task Force No.7 Report, Electra, No. 123, March 1989, pp. 72-93.
4. Z.Z. Zhang, et.al. "Expert Systems in Electric Power Systems - A Bibliographical Survey" IEEE PES Winter Meeting, paper No. 89WM212-2 PWRS, Feb.1990.
5. E.N. Dialynas,et.al. "An Expert System Methodology for Determining the Characteristics of Power System Component Failures" Electric Power Systems Research Journal, Vol 14, 1988, pp 71-82.
6. H.E. Dijk "Exformer, An Expert System for Transformer Fault Diagnosis"Proc. of the PSCC, Portugal, 1987, pp715-721.
7. K.A. Barrett "Dissolved Gas-in-Oil Analysis: An Expert System" Proc. of the 42nd Conf. for Prot. Relay Engrs., College Station, Texas, April 1989.
8. G. Tangen "A Knowledge Based Diagnostic System for Gas Insulated Substations" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp 200-205.
9. A. Korteinemi "An Expert System Fault Diagnostics of Rotating Machines"Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp115-120.
10. A.J. Gonzalez,et.al. "On-Line Diagnosis of Turbine-Generators Using Artifical Intelligence" IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol EC-1, No. 2, June 1986, pp. 68-74.
11. Yao Zhu Guo,et.al. "An Diagnostic Expert System for High Voltage Breaker Faults" Proc. of the IFAC Symp. Power Systems and Power Plant Control, Korea, August 1989, pp 689-692.
12. K.S. Swamp, H.S. Chandrasekharaiah "FDES: Fault Diagnosis Expert Systems for HVDC Systems" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp 294-302.
13. H.M. Sendula, et. al. "Automated Interpretation of Digital Fault Recorder Data" Proc. of the Fault and Disturbance Conf., New Orleans, Sept. 1989.
14. R.P. Heller, B.M. Aucoin "Expert System Data Requirements for Analysis of Faults and Disturbances" Proc. of the Fault and Disturbance Conf., New Orleans, September 1989.
15. A.A. Girgis, M.B. Johns "A Hybrid Expert System for Faulted Section Identification, Fault Type Classification and Selection of Fault Algorithms" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989, pp 978-985.
16. S. Ito, et.al. "Application of Expert System to 500 KV Substation Operation Guide System" Proc. of the 1st ESAPS, Stocholm-Helsinki, August 1988.
17. I. Dabbaghchi, R.J. Gursky "Decision Support System for Substation Operation" PICA, Seattle, May 1990, pp 140-147.
18. M. Stalder, et. al. "A Rule-Based System for Substation Monitoring: The Switching Operations" Proc. of the 1st ESAPS,Stocholm-Helsinki,August 1989.

ESAPS: Symposium on Expert System Applications to Power Systems

19. T. Ueda, et. al. "Application of Expert System for Diagnosis of Substation Equipment" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, August 1989.
20. Qi-Hong Sun, et. al. "A Real-Time Expert System for Substation Fault Diagnosis" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, August 1989.
21. B. Jeyasurya, et.al. "Fault Diagnosis Using Substation Computer" PICA, Seattle, May 1990, pp 289-295.
22. P. Heine, et. al. " A Knowledge Based System for Fault Diagnosis for Medium Voltage Distribution Networks" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp 232-237.
23. P. Fanquembergue, L. Perrot "An Expert System for the Fault Analysis of Electric Power Systems" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, pp 264-268.
24. Young Moon Park "An Expert System for Fault Diagnosis in a Power System" Proc. of the IFAC Symp. on Power Systems and Power Plant Control, Korea, August 1989, pp 697-701.
25. Y. Sekine, et.al. "Fault Section Estimation Using Cause-Effect Network" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp 276-282.
26. P. Kadar "A Complex Method for Failure Analysis" Proc. of the 2nd ESAPS, Seattle, July 1989, pp 283-289.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Dr. Zoran Morvaj, dipl. ing.
Tahir Kapetanović, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu,
, Zagreb

Referat broj 3.21

EKSPERTNI SUSTAV ZA NADZOR SIGURNOSTI ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

SADRZAJ

U poremećenim situacijama pri upravljanju u elektroenergetskom sistemu (EES) dispečer je izložen pritisku i stresu jer mora donijeti ispravne odluke o potrebnim upravljačkim akcijama za povratak EES u normalno pogonsko stanje, u najkraćem mogućem vremenu. Pri tome se količina informacija koje je potrebno analizirati povećava s ozbiljnošću poremećaja. Zbog toga se javlja potreba za uvođenjem novih metoda upravljanja i nadzora sigurnosti u EES, kako zbog rasterećenja dispečerskog osoblja, tako i zbog povećanja sigurnosti pogona EES.

Ovaj rad prikazuje razvoj ekspertnog sistema (ES) za nadzor sigurnosti EES, od opisa razvijene nove metodologije u upravljanju u EES, do konkretnog realiziranog prototipa ES, sa test primjerom na osnovi EES "Zapad" kojim se upravlja iz Republičkog dispečerskog centra Republike Hrvatske.

ABSTRACT

During abnormal situations in control of the electric power system (EPS) dispatcher is exposed to stress and strain because he has to make optimal decisions about control actions in the shortest possible time. At the same time, the amount of information that have to be analyzed increases rapidly with severity of disturbance. Such a situation raised a need for introduction of new methods in control and security monitoring of the EPS, with goals to relieve dispatchers from processing of large amount of data and to increase the security of EPS operation.

This paper presents an expert system (ES) for security monitoring of the EPS, describing the new methodology developed and concrete ES prototype with test example based on EPS "Zapad" which is controlled from the Control Center of Republic Croatia.

1. UVOD

Cilj je ES nadzor sigurnosti rada EES u realnom vremenu, rano otkrivanje situacija koje pogoduju nastanku poremećaja, a u slučaju

poremećaja, brzo dijagnosticiranje mjesta i vrste poremećaja, te mogućih posljedica.

Taj cilj treba se ostvariti kontinuiranim praćenjem i interpretiranjem svih relevantnih i raspoloživih informacija o EES i njegovoj okolini, čije su vrijednosti transformirane neizrazitom funkcijom pripadnosti μ_A na interval M = 0,1 ,

$$Y \xrightarrow{\mu} M \quad \Longrightarrow \quad \mu_A(Y) \in [0,1] . \qquad (1)$$

$\mu_A(Y)$ je vektor sigurnosnog stanja i predstavlja ulaz za ekspertni sustav.

Ako se vrijednosti pojedinih elemenata $\mu_A(Y)$ približavaju jedinici, to znači da se odgovarajuće veličine približavaju graničnim iznosima i da nivo sigurnosti pada i obratno, što su vrijednosti elemenata $\mu_A(Y)$ bliže nuli, odgovarajuće su veličine bliže nominalnim iznosima, a nivo sigurnosti raste ka maksimalnom.

Detaljan prikaz metodologije može se naći u radovima [1] i [2] gdje je problem sigurnosnog upravljanja opisan, definiran i formalno izražen. Koncipiran je postupak sigurnosnog upravljanja koji bi trebao prevladati nedostatke klasičnih metoda i ispuniti niz drugih uvjeta. Razvijen je ES koji realizira postavljenu koncepciju i koji se opisuje u nastavku.

2. RAZVOJ EKSPERTNOG SUSTAVA ZA NADZOR SIGURNOSTI EES

Na bazi razvijene metodologije izraden je ekspertni sustav SECMON za nadzor sigurnosti rada EES Republike Hrvatske.

Ekspertni sustav obraduje vektor sigurnosnog stanja $\mu_A(Y)$, interpretira raspoložive informacije i donosi dijagnozu, zadovoljavajući pri tom slijedeće uvjete:

Tablica I

1. Opći uvjeti
   - pomoć operateru u donošenju odluka
   - integriranost u upravljački informacioni sistem
   - rad u realnom vremenu

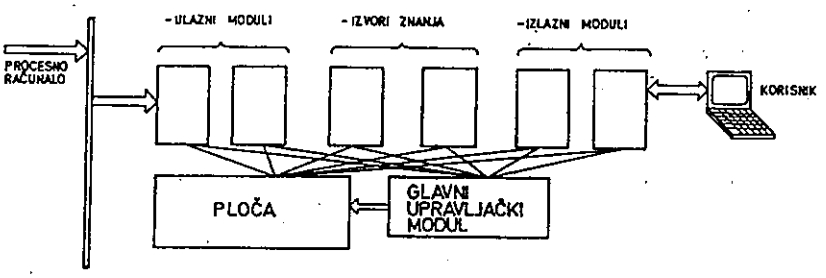
2. Kompletnost podataka - uzimanje u obzir svih podataka relevantnih za sigurnost rada EES:
   - parametri i konfiguracija mreže
   - pogonska ograničenjea komponenata
   - opći uvjeti rada
   - vremenske prilke
   - podaci o kratkoročnom planiranju pogona
   - podaci o odnosima sa susjednim sistemima
   - podaci iz UIS
   - memoriranje ulaznih podataka jedan sat unatrag

3. Kompletnost znanja - identificiranje i korištenje potrebnih znanja za nadzor sigurnosti rada EES:
   - o modelu sistema
   - o pogonskim i strukturnim karakterisitkama
   - o relativnoj važnosti pojedinih elemenata
   - o češćim oblicima razvoja poremećaja
   - o klasifikaciji pogonskih stanja
   - o načinu ocjene ulaznih podataka

4. Uvjeti na komunikaciju s dispečerom
   - prikazivanje relevantnih i sadržajnih informacija
   - mogućnost dostupa sirovim podacima
   - izbjegavanje kognitivne preopterećenosti
   - rasporedenost poruka po osjetilnim organima

Uzevši u obzir navedene uvjete, jasno je da će baza znanja biti obimna i da trajanje obrade mora biti ograničeno zbog zahtjeva za rad u realnom

vremenu. Stoga je ekspertni sustav graden arhitekturom ploče za koju je karakteristično postojanje više funkcionalnih modula i izvora znanja, te ploče preko koje pojedini moduli međusobno razmjenjuju podatke. Njihov rad sinhronizira glavni upravljački modul (slika 1.). Time je postignuta funkcionalna dekompozicija baze znanja - svaki modul je nadležan za određene zadatke ili rješavanje jednog dijela problema - pa je prostor pretraživanja bitno smanjen jer se nikad ne pretražuje cijela baza znanja, već samo odgovarajući modul.



Slika 1. Opći prikaz odabrane arhitekture ekspertnog sustava

2.1. Izgradnja baze znanja

Baza znanja predstavlja ključni dio svakog ekspertnog sustava i određuje njegovu efikasnost u rješavanju problema. Sadrži podatke, činjenice i pravila čiji je opseg određen zadatkom i uvjetima koje ES mora ispunjavati. Ti uvjeti za ekspertni sustav SECMON navedeni su u Tablici 1. i oni određuju potreban opseg baze znanja i ulaznih podataka.

2.1.1. Formiranje baze podataka

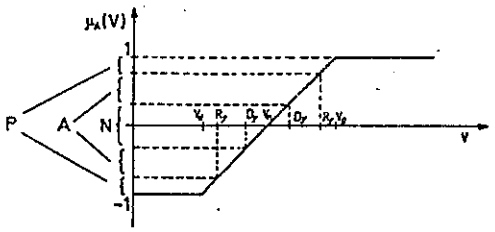
Baza podataka formira se na osnovi relevantnih veličina iz nekoliko izvora:
1. rezultati obrada u upravljačkom informacionom sustavu
2. podaci izvedeni dodatnim obradama
3. podaci iz drugih informacijskih sistema.

Mjerilo relevantnosti pojedinih veličina jest njihov značaj za ocjenu sigurnosti EES. Po tom principu odabrane veličine, tvore vektor stanja Y. (detaljniji prikaz veličina koje čine vektor stanja dan je u poglavlju 6.).

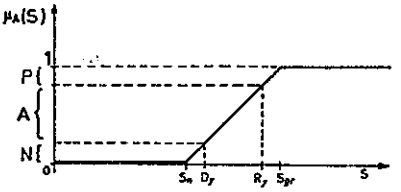
Zbog velikog broja podataka nužno ih je klasificirati da bi se olakšala kasnija upotreba. Zato je primjenjen spomenuti princip funkcionalno - fizičke hijerarhije, po kome su elementi EES grupirani u funkcionalne cjeline uz oznake fizičke (geografske) pripadnosti i međupovezanosti. Odabrani podaci tvore vektor stanja Y koji je potrebno transformirati prema (1), da bi ukazivao na sigurnosno stanje sistema.

Općenito, transformacija će se provoditi na dva načina obzirom da li su pojedine veličine ograničene s obje strane nominalne vrijednosti - dolje i gore, ili samo s jedne - ili dolje ili gore. Za veličine ograničene s obje strane, transformacija se provodi tako da se nominalna vrijednost izabere kao ishodišna točka pojasa koji pripada normalnom stanju, a donja i gornja vrijednost označavaju prijelaz u poremećeno stanje (slika 2.). Kod donje granice μ poprima vrijednost -1, a kod gornje +1. Oblik μ funkcije kao i granične vrijednosti za ocjenu pripadnosti neizrazitim podskupovima N, A, P, određuju se empirijski, a utočnjavaju eksperimentalno.

Za veličine ograničene samo s jedne strane, transformacija se provodi tako da nominalna vrijednost predstavlja ishodište pripadnosti normalnom podskupu, a granična vrijednost označava prijelaz u poremećajni podskup (slika 3.). Ostalo je isto kao i u prethodnom slučaju.



Slika 2. Modeliranje veličina ograničenih s obje strane



Slika 3. Modeliranje veličina ograničenih s jedne strane

Ovim se transformacijama postiže uniformno preslikavanja različitih veličina na interval [0,1], gdje vrijednost 0 uvijek označava pripadnost normalnom podskupu i zadovoljavajući nivo sigurnosti, a vrijednost 1 pripadnost poremećenom podskupu uz potpuno narušenu sigurnost. Varijacije vrijednosti između 0 i 1 ukazuju na povećanje, odnosno smanjenje nivoa sigurnosti, tj. ukazuju na smjer i iznos promjene nivoa sigurnosti. Zato $\mu_A(Y)$ nazivamo vektor sigurnosnog stanja. Detaljniji opis formiranja vektora sigurnosnog stanja dat je u 3 .

U stvarnosti, kao i u provedenoj simulaciji, $\mu_A(Y)$ se formira na procesnom (SCADA) računalu u formatu koji zahtijeva ekspertni sustav i šalje mu se na obradu.

2.1.2. Kreiranje baze znanja

Da bi mogao uspješno dijagnosticirati sigurnosno stanje EES, ekspertni sustav, kao i čovjek, mora raspolagati znanjima o:

- modelu sistema,
- pogonu i pogonskim stanjima,
- općim pogonskim karakterisitkama EES,
- prethodnim stanjima.

Ta se znanja općenito mogu razvrstati na:

- podatke,
- činjenice,
- pravila i
- heurisitiku.

Podaci su jednostavne numeričke veličine koje kazuju trenutni iznos neke varijable ili parametra.

Činjenice iskazuju egzaktno utvrdive odnose među objektima, npr. "TS Tumbri i NE Krško povezuje dvostruki vod na 400 kV razini".

Pravila izriču generalizirane zaključke, akcije ili odnose koji vrijede ako su ispunjeni specificirani uvjeti. Pravila su oblik struktura znanja koje daju "živost" bazi znanja i bitno je razlikuju od baze podataka. Birajući primjenjiva pravila u određenoj situaciji, postupak rasuđivanja otkriva nova saznanja koja nisu bila izražena eksplicitno, i na taj način dolazi do rješenja problema.

Heuristika predstavlja sve one spoznaje bazirane na iskustvu i intuiciji, koje pomažu u rješavanju problema, ali nisu direktno dokazive, pa čak niti ne garantiraju rješenje. Heuristika najčešće daje strategiju rješavanja problema koja se praksom pokazala kao najprikladnija. Primjer heuristike je: "U slučaju poremećaja, lociraj prvo mjesto, pa vrstu, poremećaja."

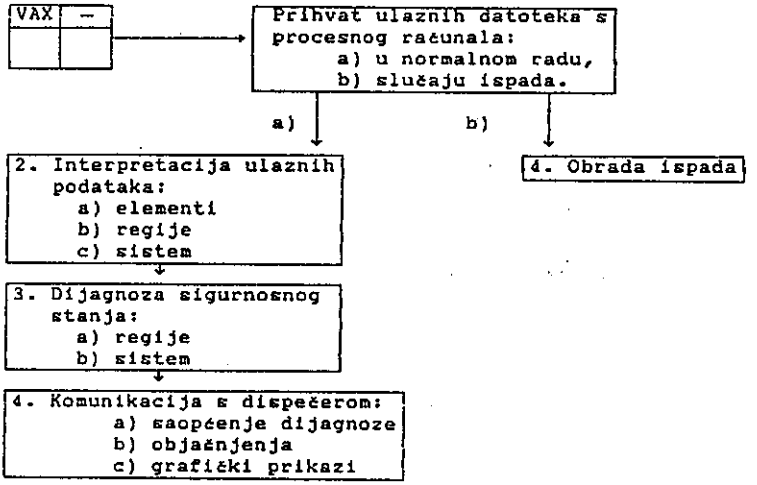
Sva ova znanja treba na odgovarajući način obraditi. To podrazumjeva da prvo treba identificirati i prikupiti potrebna znanja, predstaviti ih na način prikladan za upotrebu u ES, i strukturirati po određenom principu radi što efikasnije primjene.

Proučavanjem anatomije većih i manjih raspada sistema koji su se desili kod nas i vani, te nedostacima postojećih postupaka za ocjenu sigurnosti, došlo se do toga koja su znanja potrebna. Zatim su u tom svjetlu provedene

simulacije i proučavane pogonske karakterisitke EES Republike Hrvatske sa ciljem da se potrebna znanja prikupe.

Radi efikasnosti rješavanja problema baza znanja mora biti odgovarajuće strukturirana. Jedan vid strukturiranja određen je odabranom organizacijom ES, a to je arhitektura ploče. To znači da je provedena funkcionalna dekompozicija problema i formirana zasebna baza znannja za svaki modul ili korak u rješavanju problema.

Ako se dosljedno uvažava princip funkcionalne dekompozicije problema, tada struktura baze znanja mora proslijediti iz niza aktivnosti koje treba provesti da bi se došlo do dijagnoze sigurnosnog stanja EES. Taj slijed aktivnosti prikazuje slijedeći dijagram:



Slika 4. Blok dijagram postupka ocjene sigurnosti EES

2.1.2.1. Modul za interpretaciju

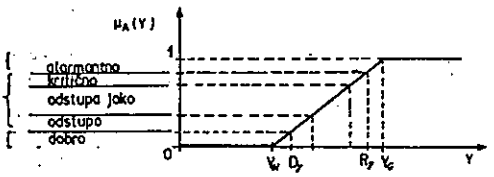
Interpretacija znači tumačenje podataka u skladu s određenim pravilima i zakonitostima da bi im se odredio promatrani aspekt značenja. U tom je smislu zadatak interpretacijskog modula da tumači vektor sigurnosnog stanja s ciljem ocjenjivanja nivoa sigurnosti elemenata EES.

Drugi je zadatak ovog modula da provede prvu redukciju obima ulaznih podataka. To znači da se svi podaci koji već po prvoj ocjeni zadovoljavaju nivo sigurnosti ili na drugi način nisu relevantni za daljnji postupak, zadržavaju memorirani i ne propuštaju na viši nivo obrade.

Ulaz za interpretaciju je vektor sigurnosnog stanja $\mu_A(Y)$, čiji je dio koji se odnosi na elemente EES sadržan u jednoj datoteci, a dio koji se odnosi na regije i sistem u cjelini u drugoj. Ova podjela predstavlja dosljedno provođenje principa funkcionalno -fizičke dekompozicije.

Postupak interpretacije bazira se na neizrazitoj logici jer svaki pojedini član $\mu_A(y_i)$ izriče stupanj istinitosti tvrdnje da pripadna veličina ima zadovoljavajući nivo sigurnosti. Neizrazita logika je ona gdje se istinitost suda izražava realnim brojem iz intervala $[0,1]$. Za vrijednost $\mu_A(y_i)=0$ ta je tvrdnja potpuno istinita, a za $\mu_A(y_i)=1$ neistinita. Svi prijelazi između 0 i 1 označavaju stupanj istinitosti koji se opisuje uređenim skupom lingvističkih kvantora.

Ovdje dolazi do izražaja još jedna prednost μ transformacije. Ošituje se u mogućnosti da se interval $[0,1]$ podijeli na proizvoljan broj nivoa - ocjenskih razreda, kojim se pridjeljuju lingvistički kvantori koji tvore uređeni skup (slika 5.).



Slika 5. Ocjenski razredi sigurnosnog stanja

Jezični (simbolički) opisi umjesto brojaka direktno kazuju kakvo je trenutno stanje svake pojedine veličine. Na taj se način dobiva kvalitativna ocjena koja je bliža čovjeku nego broj, a oslobađa potrebe za uspoređivanjem brojčane vrijednosti sa zadanim granicama. Time se dispečer rasterećuje rutinskog dijela dužnosti, a ujedno je izbjegnuta mogućnost pogrešne ocjene. Po ovom općem obrascu provodi se ocjena svih elemenata $\mu_A(Y)$. Rezultat interpretacije sadržan je u vektoru simptoma.

Karakteristike postupka interpretacije su slijedeće:

- robusnost i strukturna stabilnost - male promjene u vektoru stanja Y ne izazivaju promjene u vektoru simptoma S,
- apsorpcija neizvjesnosti - zbog agregiranja rezultata interpretacije i prikazivanja sumarnih ocjena, otklonjene su neizvjesnosti koje redovito prate ulazne podatke u pogledu točnosti, raspoloživosti i kompletnosti.

2.1.2.2. Modul za dijagnozu

Dijagnoza je postupak ustanovljavanja sigurnosnog stanja sistema na osnovi simptoma utvrđenih interpretacijom ulaznih podataka. Dijagnostički je modul najvažniji i najsloženiji dio cijelog ES. U njemu se isprepliću svi ulazni podaci, činjenice i karakteristična znanja o EES. Na osnovi svih raspoloživih informacija treba se formirati konačna dijagnoza sigurnosnog stanja EES.

Da bi taj zadatak bio urađen što pouzdanije i efikasnije, to znači što točnije i brže, posebnu pažnju treba posvetiti strukturiranju problemskog prostora i razradi strategije dijagnosticiranja. Kod oba problema važnu ulogu imaju heuristička saznanja o pogonskim karakteristikama EES primjenom kojih se smanjuje broj mogućih kombinacija koje treba ispitati u traženju konačne dijagnoze.

Prvi je korak grupiranje simptoma po funkcionalno-fizičkoj hijerarhiji, obzirom na opće i pogonske aspekte sigurnosti rada EES na koje mogu utjecati.

Grupiranje se provodi na dva osnovna funkcionalno-fizička nivoa. Na prvom nivou će se promatrati opći uvjeti sigurnog ostvarivanja funkcija:

1. održavanja ravnoteže proizvodnje i potrošnje energije,
2. prijenosa energije, na fizičkoj razini:
   a) sistema u cjelini,
   b) regija pojedinačno.

Na drugom nivou promatraju se pogonski uvjeti sigurnog ostvarivanja funkcija:

1. proizvodnje ili dobave,
2. održavanja naponskih prilika,

na fizičkoj razini komponenata sistema.

S praktičke točke gledišta dijagnoza se razlikuje od interpretacije utoliko što ima za cilj prepoznati postojanje poremećaja, a ako postoji, tada i vrstu i težinu, na osnovi vektora simptoma. Znači da se ne radi o pojedinačnim brojevima, već o heterogenom skupu simptoma S,kojem treba odrediti stupanj pripadnosti, tj. istinitost tvrdnje $S \in A$, gdje A predstavlja skup prijelaznih stanja od normalnog ka poremećenom. Teoretski, razlika je u tome što kod interpretacije, primjenom neizrazite logike manipuliramo pojedačnim numeričkim vrijednostima, a kod dijagnoze cijelim skupovima heterogenog sastava (numeričke i simboličke vrijednosti). Takav se postupak naziva aproksimativno rasuđivanje i bazira se na općem pravilu

kompozitnog zaključivanja:

AKO; X je A ⟶ Y je B ,
TADA: X je A' ⟶ Y je B',

gdje su A i A', te B i B' slični neizraziti podskupovi.

Taj postupak predstavlja bazu za višerazinsko rasuđivanje koje je realizirano u ovom radu.

2.1.2.3. Modul za obradu ispada

Ispadi su posebni pogonski događaji kod kojih se mijenja konfiguracija mreže i struktura elemenata u pogonu. Za nadzor sigurnosti su posebno značajni jer mogu dovesti do naglih promjena, a mogu nagovještavati i velike poremećaje. Zato je njihovoj obradi posvećena posebna pažnja, pa se već kod detekcije ispada u UIS formira posebna datoteka koja se šalje direktno u ES, gdje se prekidaju redovne obrade i aktivira se ovaj modul za obradu ispada.

Težina ispada ocjenjuje se prema razrađenoj proceduri, a nakon toga se dijagnosticira nivo sigurnosti EES u svjetlu nastalog i ocjenjenog ispada, te dijagnoze na osnovi prethodnog vektora simptoma S.

2.1.2.4. Modul za komunikaciju s dispečerom

Za efikasnu primjenu rezultata dijagnoze, sučelje prema korisniku je od presudne važnosti. Praksa je pokazala (kvar u NE Otok tri milje) da nepregledno, nejasno i konfuzno prikazivanje pogonskih podataka može imati nesagledive posljedice. Stoga se tom pitanju ovdje posvetila potrebna pažnja.

Kod planiranja prikaza na zaslonu poštovani su slijedeći opći kriteriji:

- grupiranje informacija u nizove zaslona po funkcionalno - fizičkoj hijerarhiji,
- konzistentnost upotrebe boja, tekstova, oblika i zvuka,
- kompatibilnost s načinom označavanja i nazivima u upravljačkom informacionom sustavu,
- uvažavanje navoda iz točke 2.1.2.

Da bi se jasno istaklo o čemu govore predočene informacije, razrađene su tri grupe zaslona:

1. za interpretaciju,
2. za dijagnozu,
3. za obradu ispada.

Unutar prve dvije grupe slijedena je hijerarhijska struktura po kojoj prvi zaslon u grupi sadrži informacije o glavnim funkcijama za cijeli sistem, a slijedeći zasloni o funkcijama na nivou regija i o elementima samim. Po završetku jednog ciklusa obrade, dijagnoza o pripadnom stanju sistema se pamti na posebnom zaslonu sve do završetka slijedećeg ciklusa.

Kod zaslona za obradu ispada odmah se javlja da se u sistemu desio ispad, na što upozorava i zvučni signal, a po završetku obrade ispada javlja se koji je element ispao, ocjena težine time izazvanog poremećaja i obrazloženje.

Kod zaslona koji prikazuju rezultate interpretacije, opis veličine i njena ocjena su odjeljeni različitom bojom podloge. Ispisuju se samo one ocjene koje odstupaju od normale. To znači da se niti veličina niti ocjena ne pišu na zaslonu ako je nivo sigurnosti zadovoljavajući. Na taj se način smanjuje broj podataka na zaslonu i olakšava korisniku da brzo zapazi sve promjene.

Išlo se i korak dalje, pa se svaka ocjena piše drugačijom bojom, počevši od žute, zelene i crvene do trepćuće crvene, prateći težinu odstupanja od normale.

Prvi zaslon uvijek daje opći pregled rezultata te faze rada. Gornja linija na zaslonu sadrži meni pomoću kojeg operator može po volji odabrati jedan od zaslona s niže razine. Ispod menija je naslov koji kazuje što tekući zaslon prikazuje. Donja linija na zaslonu je status linija. Ona prikazuje poruke o trenutnim aktivnostima ES.

Korisniku se nude tri vrste informacija:

1. simboličke - lingvistički kvantori ili opisne dijagnoze,
2. numeričke - brojčani iznosi pojedinih veličina,

3. grafičke - grafički prikaz aktualnog sistema po regijama i u cjelini.

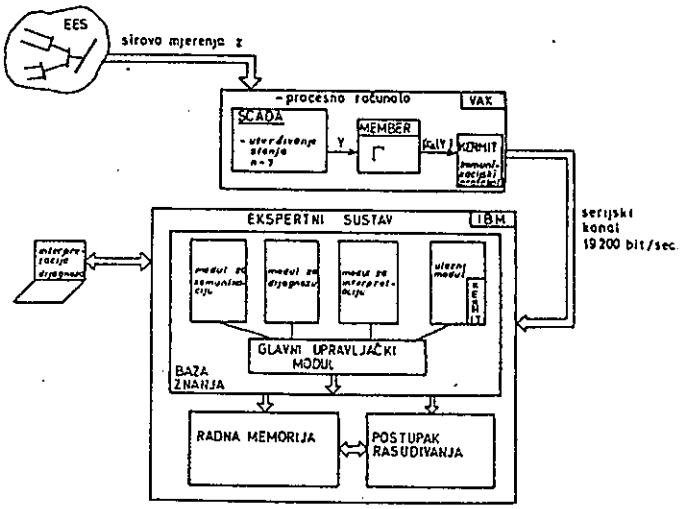
Za sve informacije je važno naglasiti da su potpuno dinamičke. To znači da se sva svojstva, ocjene i grafički prikazi stalno osvježavaju na svim zaslonima odmah po registriranoj promjeni.

3. PRIKAZ STRUKTURE KOMPLETNOG EKSPERTNOG SUSTAVA

U prethodnom su tekstu navedene i opisane pojedine aktivnosti i komponenete ES, pa se sada može opisati postupak u cjelini. Slika 6. prikazuje aktivnosti ES detaljnije.

Sirova mjerenja dolaze iz EES i obraduju se u upravljačkom informacionom sustavu. Relevantni rezultati obrade tvore vektor stanja Y koji se podvrgava daljnjoj transformaciji funkcijom članstva μ, u vektor sigurnosnog stanja $\mu_A(Y)$. Tako obradeni podaci se grupiraju i formatiraju da budu kompatibilni s ES, u programu MEMBER, a zatim se šalju serijskim kanalom po Kermit komunikacijskom protokolu na računalo IBM gdje je instaliran ES.

Osnovni dijelovi ES su baza znanja, radna memorija i postupak rasudivanja. ES je organiziran u arhitekturi ploče. To znači da je baza znanja podjeljena na više modula od kojih svaki obavlja odredenu funkciju. Svi ulazno-izlazni rezultati bilježe se na ploču (radnu memoriju), a rad koordinira i nadzire glavni upravljački modul. ES je razvijen i napisan u Prologu.



Slika 6. Strukturni prikaz kompletnog postupka

Izlazni rezultati ES su vektor simptoma i dijagnoza sigurnosnog stanja. Prikazuju se korisniku na zaslonu u interaktivnom načinu rada, što omogućava dispečeru da postavlja pitanja i traži dodatne podatke, ili objašnjenja postavljenih dijagnoza.

4. TEST PRIMJER

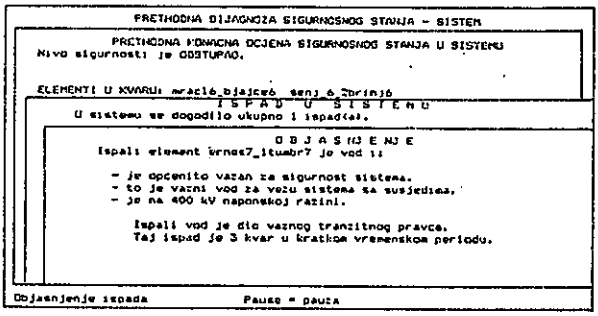
Da bi se ispitala funkcionalnost ES, odlučeno je da se kao test primjer pripremi jedan stvarni raspad koji se desio u području sistema SRH. Izabran je raspad od 1.08. 1986. godine koji je dosta pomno analiziran u dostupnoj literaturi [4, 5, 6]. Raspad se zbio u ljetno doba za koje je

karakteristično niže opterećenje, ali dosta neraspoloživih elemenata uslijed remonta, pa kao posljedica toga veliki prijenosi snaga s istoka na zapad zemlje.

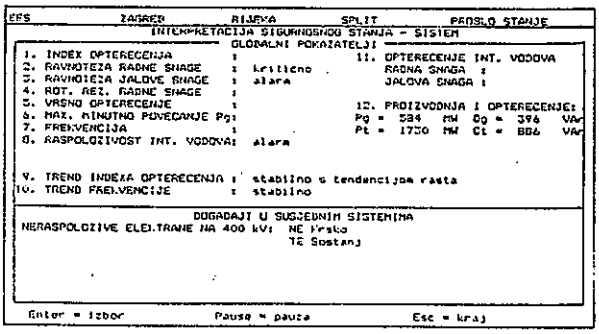
Na temelju navedenih analiza tog raspada odabrano je 10 karakterisitičnih momenata tijekom razvoja poremećaja za koje se nastojalo rekonstruirati stanje mreže, karakterizirano naponima i snagama čvorova, te tokovima snaga i prijenosnim odnosima transformatora.

Na slikama 7. do 9. prikazani su primjeri pojedinih izlaznih rezultata ES na ekranu računala u obliku u kojem se saopćavaju dispečeru. Ovdje se mogu istaknuti neke značajke postupka. Osim ocjene stanja za svaki skup ulaznih podataka prati se promjena sigurnosnog stanja između dva intervala. Ocjena promjene formira se na osnovi praćenja signifikantnih promjena vrijednosti simptoma. Kao signifikantne vrijednosti simptoma ovdje su određene ocjene "kritično" i "alarmantno". Dakle ako je ukupan broj simptoma s ocjenom "alarmantno" i "kritično" jednak između dva intervala, tada je nivo sigurnosti nepromijenjen, ako je veći, onda je pogoršan, a ako je manji, onda je poboljšan. Radi veće preciznosti, prati se i broj promjena, pa primjerice, ako se za preko 50% veličina ustanovi signifikantna promjena, onda se stanje ocjenjuje kao naglo pogoršanje ili pogoršanje.

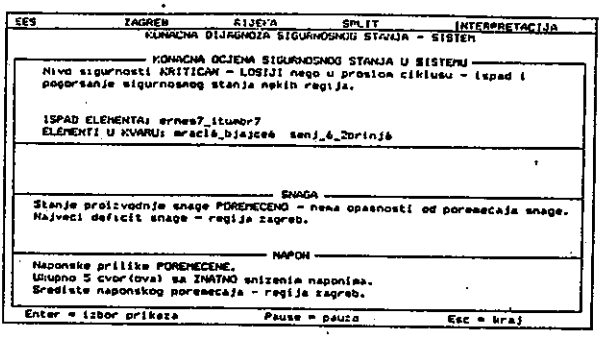
Nadalje, na zaslonu se razčlanjuje da li je narušen nivo sigurnosti zbog teškoća s naponima ili snagama. Na ovom se nivou promatra kod kojih su simptoma zabilježene signifikantne promjene, uzimaju se u obzir ostali prisutni simptomi, pa se poremećaj klasificira kao naponski ili poremećaj snage.



Slika 7. Prikaz rezultata obrade ispada na ekranu računala



Slika 8. Prikaz interpretacije sigurnosnog vektora na nivou sistema



Slika 9. Prikaz dijagnoze sigurnosnog stanja na nivou sistema

Valja naglasiti fleksibilnu i modularnu gradu ES koja omogućava lako unošenje bilo kakvih izmjena - od puke promjene naziva veličina koje se prate, do promjene granica i izgleda funkcija za ocjenske razrede, modificiranja dijagnoza, pa čak dodavanja novih i izbacivanja starih dijagnoza.

Time pitanje kompletnosti baze znanja ovog prototipnog ekspertnog sustava gubi na značaju, jer je to zbog navedenih karakteristika grade ES, samo pitanje kvantitete, a ne kvalitete.

Jedno područje u kojem je svakako potrebna daljnja razrada jest sučelje prema korisniku. Zbog ograničenja primijenjenog računala (veličina zaslona, rezolucija, memorija i brzina) i programske podrške (nemogućnost miješanja grafičkih i nueričkih prikaza na jednom zaslonu), sučelje prema korisniku (iako su poštivani osnovni principi) nije u skladu sa današnjim mogućnostima i standardima.

Drugo područje daljnje razrade jest funkcionalna dogradnja ES. Zadatak je ovog ES nadzor i dijagnoza sigurnosnog stanja EES, na osnovi čega dispečer donosi upravljačke odluke. ES bi se mogao nadograditi modulom za prijedlog upravljačkih odluka, koji bi na osnovi postavljene dijagnoze i raspoloživih upravljačkih akcija sugerirao što poduzeti u danoj situaciji.

Brzina rada ekspertnog sustava je također zadovoljavajuća. Obrada jednog skupa ulaznih podataka traje u prosjeku oko dvije minute. Ako se uzme u obzir da svaki skup podataka zauzima 18 kB memorije, a sam program (ES) oko 1.2 MB, da je za test primjer izabran realan sistem sa svim obilježjima, te da je izvršno računalo IBM AT, to je onda u stvari vrlo velika brzina. Naime, na bilo kojem, danas lako dostupnom suvremenijem računalu, a da se ne govori o specijaliziranim računalima tzv. pete generacije, vrijeme obrade bilo bi znatno kraće.

5. ZAKLJUČAK

Uzevši u obzir sve navedeno u prethodnom poglavlju (realan test primjer složenog EES na skromnom računalu) može se zaključiti da razvijeni prototip ES verificira postavljeni formalni model sigurnosnog upravljanja, a sam ES uspješno rješava svoj dio zadatka - nadzor i dijagnozu - prema postavljenom konceptu upravljačkog postupka. Za daljnje poboljšanje performansi ES neophodan bi bio određeni period eksperimentalnog rada s direktnim priključkom na upravljački infrmacioni sistem konkretnog elektroenergetskog sistema. To je potrebno zbog kompletiranja baze znanja i prilagođavanja korisničkog sučelja potrebasma dispečera.Ovim je radom razvijena i razrađena dovoljno široka baza, i riješeni su svi osnovni problemi da bi se moglo pristupiti tom koraku.

6. DODATAK - OPIS ULAZNIH PODATAKA EKSPERTNOG SISTEMA "SECMON"

Skup svih ulaznih podataka u svakom intervalu rada SECMON-a formira se na osnovi slijedećih izvora:

1. rezultata postojećih postupaka UIS-a
2. rezultata dodatnih obrada
3. podataka iz drugih informacionih sistema

Prva grupa obuhvaća:

- parametre sistema,
- topologiju i rezultate estimacije stanja,
- analizu slučaja,
- dnevni predviđeni dijagram opterećenja,
- predviđenu dnevnu razmjenu spojnim vodovima
- raspoloživost elemenata (kvarovi i održavanje).

Druga grupa obuhvaća:

- odnos između ukupnog, stvarnog i predviđenog opterećenja (indeks opterećenja),
- rotirajuću rezervu,
- raspoloživost spojnih vodova,
- maksimalni kapacitet povećanja proizvodnje u kratkom vremenskom periodu,
- slobodni kapacitet spojnih vodova,
- odnos između stvarnog i prosječnog vršnog opterećenja,
- ukupnu potrošnju i proizvodnju radne i jalove snage,
- odnos ukupne potrošnje i proizvodnje u sistemu,
- trend frekvencije, modula i kuteva napona i indeksa opterećenja,
- najopterećenije vodove,
- generatore s najvećom proizvodnjom,
- listu najvažnijih elemenata sistema (statički i dinamički).

Treća grupa obuhvaća:

- temperaturu, brzinu vjetra i padaline,
- važne događaje u susjednim sistemima,
- ostale važne informacije.

7. LITERATURA

[1] Z. Morvaj: "Ekspertni sustav za nadzor rada elektroenergetskog sistema",
doktorska disertacija, Zagreb, 1990.

[2] Z. Morvaj: "Nadzor sigurnosti rada elektroenergetskog sistema",
predano za objavljivanje

[3] Z. Morvaj, T. Kapetanović: "Application of Fuzzy Logic in a Development of an Expert System for Security Monitoring of Electric Power System",
AMSE Fuzzy Systems & Signals međunarodni simpozij, Cetinje, 3-5. rujan 1990.

[4] ... "Analiza raspada sistema 01.08.1986.",
Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.

[5] ... "Analiza raspada sistema 01.08.1986.",
Elektrogospodarstvo Slovenije, Ljubljana, 1986.

[6] ... "Analiza raspada sistema 01.08.1986.",
Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1986.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Boštjan Derganc, dipl.ing.
Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana

Referat broj 3.22

PREVERJANJE IN PREVZEMNO PREIZKUŠANJE KOMPLEKSNIH PROGRAMSKIH SISTEMOV

POVZETEK - V svetu so razvili sistemski inženirski pristop pod nazivom preverjanje in prevzemno testiranje programske opreme (software verification and validation, V&V), s katerim je mogoče na osnovi rigorozne metodologije preverjati in ocenjevati pravilnost in kvaliteto programskih produktov skozi njihov celoten življenski cikel. V članku v osnovnih obrisih predstavljamo ta pristop v celoti, njegove cilje, aktivnosti, metode, tehnike in orodja. Podajamo načine vključevanja V&V v procese razvoja in delovanja programske opreme ter pojasnjujemo njegova razmerja do drugih inženirskih funkcij (kodiranje, testiranje) in tehno-managerskih funkcij (zagotovitev kvalitete, upravljanje s konfiguracijo) celotnega procesa programskega inženirstva. Dodajamo tudi kratek pregled stanja standardizacije tega področja. Na koncu članek daje nekatera izhodišča in predloge, kako uporabiti V&V pristop pri projektu TSV.

ABSTRACT - Software Verification and Validation (SV&V) is a systems engineering process employing rigorous methodology for evaluating the correctness and quality of the software product through the software life cycle. The paper gives an overview of the SV&V concepts, benefits, tasks, techniques and tools, describes the relationship of SV&V to other software engineering functions such as coding, testing, quality assurance and configuration management and presents the present state of SV&V standardization. Some suggestions how to apply the SV&V approach to the Yugoslav EMS modernization project are given.

1. UVOD

Povsod po svetu je poleg zelo hitre rasti povpraševanja po programski opremi opaziti tudi hitro rast zahtev glede velikosti in kompleksnosti dobavljene programske opreme. Čedaje večji je tudi delež takoimenovane kritične programske opreme, katere odpoved lahko ogrozi človeška življenja ali povzroči velike materialne izgube (na primer v prometu, zdravstvu, bančništvu, pri krmiljenju procesov v industriji, ...). Pomen zanesljivosti in kvalitete

programske opreme raste, hkrati pa postaja doseganje zahtevane kvalitete programske opreme j ob teh trendih čedalje bolj težavna naloga. Čedalje teže je programske sisteme "dovolj" temeljito stestirati in preveriti, da res pravilno in v celoti izpolnjujejo svoje naloge. Tuje izkušnje pri razvijanju tovrstnih programov kažejo, da za preverjanje zahtevane kakovosti programske opreme tradicionalni pristopi ne zadoščajo več. Ni več dovolj le ena vrsta testiranja, le pregledi (reviews), le "sprehodi" skozi dokumentacijo in kodo (walkthroughs) ali le inšpekcije (inspections).

Kot odgovor na te nove izive so zato razvili pristop, znan pod nazivom preverjanje in prevzemno preizkušanje programske opreme (software verification and validation, software V&V).

Uveljavljene domače terminologije za področje programskega inženirstva še nimamo. V članku uporabljeni izrazi so izvedeni iz angleških, zato jih za boljše razumevanje ponekod spremljajo njihovi angleški originali v oklepaju. Predlogi boljših domačih terminov so seveda vedno dobrodošli.

1. OSNOVNI POJMI

Preverjanje in prevzemno preizkušanje programske opreme (software verification and validation, software V&V) je sistemski inženirski proces, ki z rigorozno metodologijo vrednoti pravilnost in kvaliteto programske opreme (PO) skozi njen celoten življenski cikel./7/

PREVERJANJE (VERIFIKACIJA) programske opreme obsega tisti del celotnega V&V procesa, ki poteka med posameznimi fazami razvoja programske opreme. Verifikacija PO je tako po /8/ proces, s katerim se določa, ali proizvodi dane faze razvoja programske opreme izpolnjujejo zahteve, postavljene v prejšnjih fazah.

PREVZEMNO PREIZKUŠANJE (VALIDACIJA) programske opreme pa predstavlja drugi del V&V procesa, s katerim se na koncu razvoja preveri programsko opremo, ali izpolnjuje vse programske zahteve./8/

Šele skupna uporaba verifikacije in validacije programske opreme daje največje pozitivne učinke, zato se termin "verifikacija in validacija" (kratko "V&V") najpogosteje obravnava kot enovit integriran termin.

2. RAZVOJ V&V PROGRAMSKE OPREME KOT ENE OD FUNKCIJ PROGRAMSKEGA INŽENIRSTVA

Koncepti V&V so se pojavili v sedemdesetih letih s povečano uporabo programske opreme v vojaških in vesoljskih sistemih ter v sistemih jedrskih elektrarn. Pri razvoju velikih, kompleksnih programskih sistemov so opazili, da je odpravljanje napak v programski opremi tem dražje, čim pozneje v njenem življenskem so bile odkrite. Obenem so ugotovili, da željene kvalitete v programsko opremo ne morejo vgraditi s še tako intenzivnim testiranjem, ampak da so zanjo odločilne tudi aktivnosti vseh zgodnejših faz razvoja programske opreme. Testiranje programske opreme so zato raztegnili s testiranja kode na "testiranje" (verificiranje) programskih specifikacij (načrtov programske opreme), specifikacij zahtev in celo same konceptne dokumentacije. Spoznali so, da je s takojšnjim preverjanjem, vrednotenjem in izboljševanjem vmesnih rezultatov (dokumentacije, podatkov, kode) vsake faze razvoja programske opreme mogoče učinkovito sproti odpravljati napake ter izboljševati kvaliteto in zanesljivost programske opreme. Ker vnašanje sprememb v programsko opremo v fazi obratovanja in vzdrževanja PO pomeni ponovitev vseh ali le neke podmnožice faz iz obdobja razvoja PO, so isti V&V pristop pričeli uporabljati tudi za to fazo življenskega cikla PO.

Uporaba V&V pa je prinesla še druge ugodne učinke: zmanjšanje tveganja, stroškov in prekoračitev rokov pri projektih, boljši vpogled vodstva v stanje razvoja PO, jasnejše kriterije glede sprejemljivosti PO, možnost hitre ocenitve predlaganih sprememb in njihovih posledic, itd.

Število programskih projektov, pri katerih so naročniki paralelno k običajnemu procesu razvoja programske opreme zahtevali dodatno še proces verificiranja in validacije te opreme, je neprestano naraščalo in še raste.

Obenem z zgornjim procesom je tekel tudi intenziven proces razvijanja, izpopolnjevanja in uveljavljanja v praksi vedno novih metodologij, tehnik in orodij za analiziranje, vrednotenje, prevérjanje in testiranje vseh pojavnih oblik programske opreme. V dveh desetletjih si je V&V področje ustvarilo obsežen "arzenal" tehnik in orodij, primernih za vse faze razvoja PO in za najrazličnejše vrste programskih produktov.

Vlada in industrija v ZDA sta pričeli razvijati V&V standarde in priporočila kot oporo pri specificiranju svojih zahtev glede V&V pri naročilih programske opreme in zato da bi laže spremljali učinke V&V aktivnosti.

Tako se je verificiranje in validacija programske opreme v okviru programskega inženirstva postopoma uveljavilo kot samostojna inženirska disciplina. Ta seveda ni nadomestila drugih s kvaliteto PO povezanih disciplin kot so na primer testiranje, zagotavljanje kvalitete PO in upravljanje s konfiguracijo PO. V&V predstavlja komplement tem dejavnostim, saj njenega deleža h kvaliteti PO ne more namesto nje prispevati nobena od omenjenih disciplin. Za razliko od njih je namreč V&V edina metodologija, ki poleg metodologije samih razvijalcev programske opreme programski proizvod obravnava do podrobnosti, a obenem s stališča dobavljenega sistema kot celote.

3. MESTO IN VLOGA V&V PRI RAZVOJU IN UPORABI PROGRAMSKE OPREME

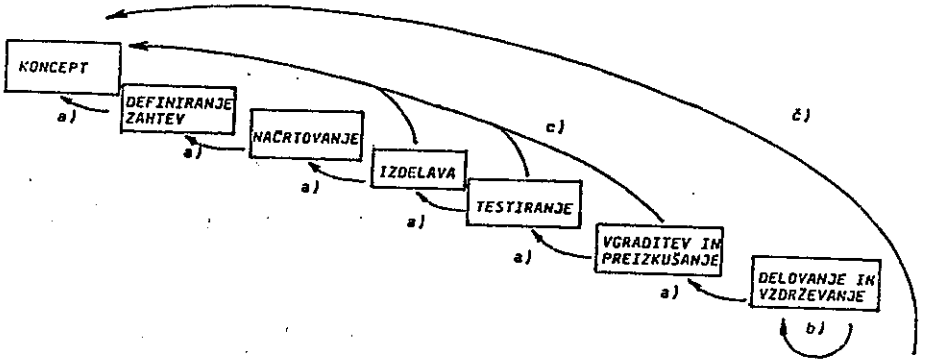
3.1 Različne vloge V&V v življenskem ciklu programske opreme

Verificiranje in validacija programske opreme potekata paralelno z razvojem programske opreme. Vsaka faza življenskega cikla programske opreme je zaključena, potem ko so bile uspešno končane vse V&V naloge (aktivnosti) te faze in je bila s tem potrjena ustreznost produktov minule razvojne faze programske opreme. Izvajanje V&V je najbolj učinkovito, če poteka že od faze koncepta PO naprej, možna pa je tudi vključitev V&V v kateri od poznejših faz razvoja ali celo šele v fazi delovanja in vzdrževanja PO.

Razvoj programske opreme je iterativen proces, prav tako je iterativen tudi potek izvajanja nalog V&V. Enako kot moramo pri vnašanju sprememb v programski proizvod, ki povratno vplivajo na pretekle faze njegovega razvoja, v ustreznem obsegu ponoviti vse pretekle faze razvoja, ki jih sprememba zadeva, moramo v takem primeru ponovno izvesti določene V&V naloge preteklih faz ali pa izvesti nekatere nove, če narava vnešenih sprememb to zahteva. Obseg in kompleksnost vnešenih sprememb določata, kakšna naj bo podrobnost izvajanja nalog v novi iteraciji V&V. Ponovna iteracija V&V nalog je potrebna tudi, kadar v V&V inputih ali outputih (glej sliko 2) odkrijemo napake.

Najznačilnejši primer takega iterativnega poteka razvoja PO in paralelnega iterativnega izvajanja V&V nastopi v primeru vnašanja sprememb v fazi delovanja in vzdrževanja PO, ko je potrebno v ustreznem obsegu ponoviti vse razvojne faze PO obenem z vsemi pripadajočimi V&V nalogami.

Različne vloge V&V so za primer tradicionalnega modela življenskega cikla programske opreme ("waterfall model") prikazane na sliki 1.



Slika 1: Vloge V&V v življenskem ciklu programske opreme:
a) retroaktivno delovanje V&V (verifikacija) na koncu vsake faze razvoja PO,
b) verifikacija PO v primeru vnašanja sprememb v PO v fazi delovanja PO,
c) preverjanje morebitnih odstopanj od osnovnega koncepta (validacija PO),
č) iterativna ponovitev celotnega procesa V&V v primeru nove verzije PO.

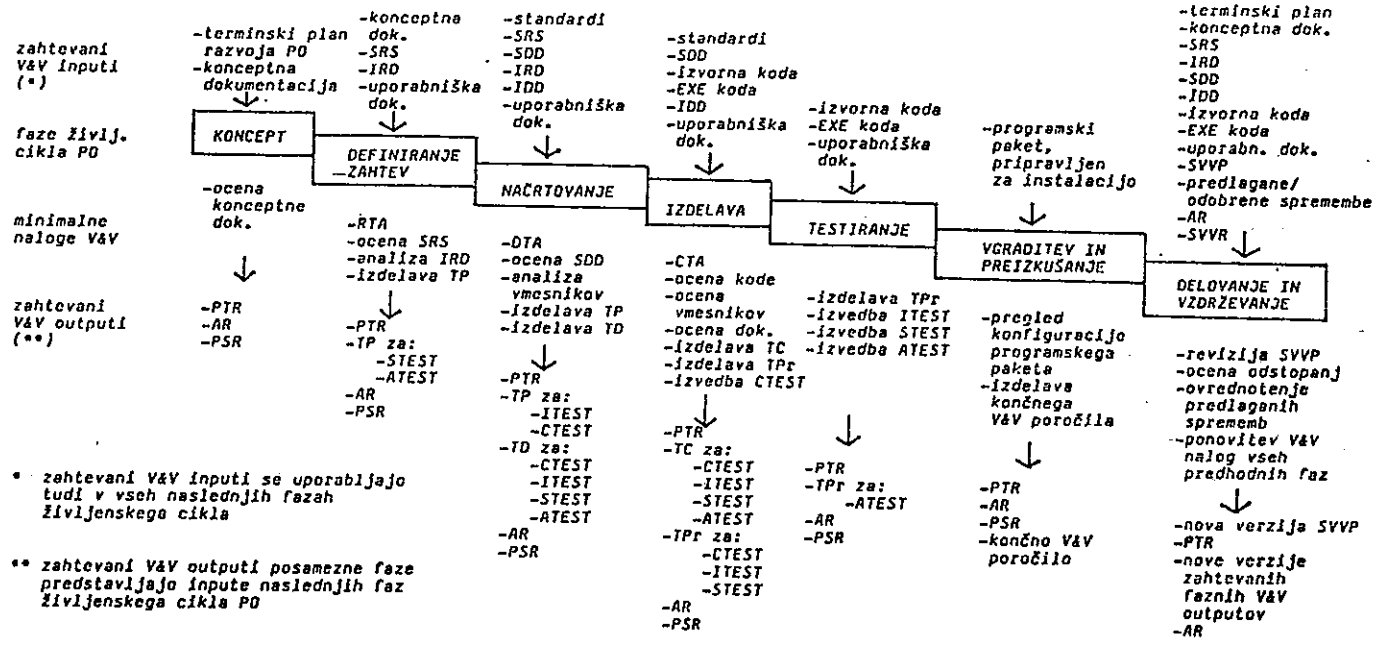
3.2 Aktivnosti V&V skozi življenski cikel programske opreme

Izvajanje V&V v vsakem primeru a), b) c) ali č) zgoraj obsega izvajanje določenega nabora V&V nalog (aktivnosti). Da lahko steče, vsaka od teh nalog potrebuje določene vhodne podatke (V&V inputs), kot rezultate pa daje določene izhodne podatke (V&V outputs). Kot vhodni podatki lahko nastopajo programska dokumentacij, programska koda in/ali dejanski vhodni podatki programa. Vhodni podatki neke V&V naloge so lahko rezultat predhodnih faz razvoja PO ali predhodnih, že izvedenih V&V nalog. Slika 2 za ilustracijo prikazuje minimalni nabor tehničnih V&V nalog, njihovih inputov in outputov, kot jih za kritično programsko opremo predpisuje ANSI/IEEE Std. 1012-1986 /9/.

Tehnične aktivnosti, ki so prikazane na sliki 2, lahko grobo razvrstimo na:

- *ocenjevanje, analiziranje in potrjevanje različnih vrst programske dokumentacije (konceptne dokumentacije, specifikacij zahtev in načrtov programske opreme ter njenih vmesnikov, uporabniške dokumentacije, ...);*
- *spremljanje pravilnosti preslikav (traceability analysis) sistemskih zahtev preko programskih zahtev in načrtov programske opreme v programsko kodo,*
- *testiranje programske opreme, ki vključuje izdelavo planov testiranja; designa testov, postopkov testiranja ter testnih primerov in izvajanje testov, vse to za vse štiri ravni testiranja, to se pravi za testiranje komponent, za integracijsko ter sistemsko testiranje in za prevzemno testiranje programskega proizvoda;*
- *izdelavo poročil (poročil o V&V nalogah, izvedenih v posamezni fazi, poročil o odkritih odstopanjih, faznih zbirnih poročil ter končnega V&V poročila).*

Poleg teh "minimalnih" V&V nalog obstaja še dolga vrsta drugih, ki jih v skladu s potrebami lahko vključimo v V&V proces. Naštejmo le nekaj poglavitnih: analiza algoritmov, analiza poteka izvajanja programov (control flow analysis), analiza pretoka podatkov (data flow analysis), analiza baz podatkov,



* zahtevani V&V inputi se uporabljajo tudi v vseh naslednjih fazah življenskega cikla

** zahtevani V&V outputi posamezne faze predstavljajo inpute naslednjih faz življenskega cikla PO

PTR - (Phase Task Report) poročilo o V&V nalogah v tej fazi
AR - (Anomaly Report) poročilo o odstopanjih
PSR - (Phase Summary Report) fazno zbirno poročilo
SRS - (Software Requirements Specification) spec. zahtev
SDD - (Software Design Description) načrt programske opreme
IRD - (Interface Requirements Doc.) dok. zahtev vmesnikov
IDD - (Interface Design Documentation) načrti vmesnikov
SVVP - (Software V&V Plan) plan V&V programske opreme
SVVR - (Software V&V Report) poročilo o V&V programske opreme
RTA - (Requirements Traceability Analysis) analiza pravilnosti preslikave sistemskih zahtev v programske

DTA - (Design Traceability Analysis) analiza pravilnosti preslikave programskih zahtev v načrt programa
CTA - (Code Traceability Analysis) analiza pravilnosti preslikave načrta programa v programsko kodo
TP - (Test Plan) plan testiranja
TD - (Test Design) design testiranja
TPr - (Test Procedures) postopki testiranja
TC - (Test Cases) testni primeri
CTEST - (Component Testing) testiranje komponent
ITEST - (Integration Testing) integracijsko testiranje
STEST - (System Testing) testiranje sistema
ATEST - (Acceptance Testing) prevzemno testiranje

Slika 2: Pregled minimalnega nabora V&V nalog in njihovih inputov ter outputov po IEEE Std. 1012-1986.

modeliranje in simulacija, "sprehodi" skozi dokumentacijo in kodo (walkthroughs) ter različni pregledi (audits) in inšpekcije (inspections). Nabor V&V nalog za nek konkreten projekt oblikujemo tako, da omenjenemu "minimalnemu" naboru naloge dodajamo ali odvzemamo.

Skozi celoten življenski cikel PO seveda poteka tudi vodenje (management) izvajanja V&V procesa. Zaradi boljše preglednosti ta vidik V&V na sliki 2 ni prikazan. Osnovne poslovodne aktivnosti procesa V&V so naslednje:

- *planiranje in nadziranje izvajanja V&V procesa,*
- *organiziranje V&V aktivnosti (definiranje rokov, obsega in nosilcev V&V nalog, definiranje resursov potrebnih za izvajanje teh nalog, definiranje odnosov z drugimi pri razvoju PO udeleženimi partnerji, ...)*
- *izdelava, spremljanje in potrjevanje z V&V povezane poslovodne dokumentacije (plana V&V, poročil o izvedenih V&V nalogah, faznih zbirnih poročil in poročil o odstopanjih).*

3.3 Tehnike in orodja za izvajanje V&V

Pri izvajanju V&V se uporabljajo tehnike treh vrst:
- *statične analize,*
- *dinamične analize in*
- *formalne analize.*

Prve odkrivajo napake z analiziranjem oblike in strukture programskih proizvodov, druge pa s študiranjem odzivov programa na izbran nabor vhodnih podatkov, pri čemer program dejansko izvajamo ali njegovo izvajanje samo simuliramo (avtomatsko ali "peš"). Formalne analize obsegajo uporabo strogih matematičnih tehnik za analiziranje pravilnosti, učinkovitosti in numeričnih lastnosti algoritmov (točnosti, stabilnosti, konvergence). Statične in dinamične analize izvajamo ročno ("peš") ali avtomatsko, če imamo programski proizvod v obliki, ki omogoča neposredno računalniško obdelavo, in če imamo na volju ustrezna programska orodja. Izvajanje formalnih analiz poteka za sedaj v glavnem "peš".

Iz obširnega nabora tehnik in pripadajočih orodij, kjer obstajajo, jih navedimo samo nekaj:
- *analiza kritičnosti (criticality analysis),*
- *analiza algoritmov,*
- *generiranje in obdelava trditev (assertion generation and processing, orodja: dynamic assertion processors),*
- *spremljanje zahtev (requirements tracing, orodja: relacijske podatkovne baze),*
- *testiranje in regresijsko testiranje (orodja: generatorji testnih podatkov, programi za spremljanje izvajanja programov (execution and performance monitors), programi za analiziranje poteka programov, pretokov podatkov, podatkovnih baz, programi za analiziranje temeljitosti testiranja (test coverage analyzers), programi za primerjanje (comparators)),*
- *pregledovanje kode (orodja: programi za pregledovanje kode (code auditors, standards checkers, portability analyzers)), itd.*

Pri vsakem projektu je za učinkovito izvajanje V&V procesa potrebno izbrati zanj najprimernejši nabor tehnik in orodij, kar zna biti težavna naloga. Ameriški National Bureau of Standards je izdal priporočila, ki olajšujejo to izbiro. /1,2/

3.4 Nosilci aktivnosti V&V programske opreme

Razvijanje programske opreme predstavlja kompleksno nalogo, pri kateri tipično

sodeluje več delovnih skupin: skupina, ki razvija programski proizvod, skupina za zagotovitev kvalitete (QA group), skupina za inženiring celotnega sistema (systems-engineering group), skupina za upravljanje s konfiguracijo PO (configuration management group), skupina za upravljanje s podatki (data-management group), skupina za izvajanje V&V ter skupina predstavnikov naročnika oziroma uporabnika PO. Čeprav so naloge teh skupin med seboj komplementarne, se ne prekrivajo, pa so med seboj soodvisne in morajo potekati v tesni medsebojni koordinaciji. Pri tem so delitev odgovornosti in nalog glede V&V ter organizacijske povezave med naštetimi skupinami za vsak projekt specifični.

Skupina za izvajanje V&V mora v vsaki fazi razvoja PO preverjati, ali proizvod ima zahtevane kvalitativne atribute kot so pravilnost, celovitost in skladnost in ali v vsaki fazi izpolnjuje zahteve prejšnje faze. Potrditi pa mora tudi, da programska oprema izpolnjuje sistemske zahteve in cilje. Aktivnosti V&V skupine niso osredotočene samo na sam programski proizvod, ampak ves čas obravnavajo tudi vse vidike sodelovanja programa s sistemom (strojno opremo, uporabniki, drugo programsko opremo), v katerega je vgrajen, in z morebitnimi drugimi zunanjimi sistemi.

Ocenjevanje dokumentov in testiranje, ki ju izvaja V&V skupina, je ločeno od teh istih aktivnosti drugih skupin.

Za razliko od skupine za zagotovitev kvalitete, ki preverja, ali razvojni proces in sam programski proizvod zadovoljujeta predpisane standarde in postopke, V&V skupina izvaja poglobljene analize PO, tako da na primer s ponovno izpeljavo preveri pravilnost uporabljenih algoritmov, izračunava ali s simuliranjem določa čase računanja in s tem ustreznost doseženih odzivnih časov programa in na osnovi dejanskih diagramov poteka identificira manjkajoče ali napačne zahteve.

Običajno poteka testiranje, ki ga izvaja V&V skupina, povsem ločeno od testiranja v okviru skupine, ki programski proizvod razvija. Včasih pa V&V skupina sicer uporabi isti plan testiranja in njegove rezultate, vendar ga dopolni z dodatnimi lastnimi testi. Naravnanost V&V skupine ni samo destruktivna, kar je značilnost testiranja (Edini cilj je najti napake!), ampak je tudi konstruktivna, saj lahko predlaga bolj optimalne pristope in rešitve.

Glede na to komu V&V skupina poroča, obstajajo štirje načini organiziranja dejavnosti V&V:
- *neodvisni V&V*
- *V&V vključen v skupino za inženiring celotnega sistema,*
- *V&V vključen v skupino za QA,*
- *V&V vključen v skupino predstavnikov uporabnika.*

Neodvisni V&V (IV&V, independent V&V) predstavlja običajen pristop, kjer je V&V skupina povsem neodvisna od skupine, ki PO razvija. Od nje po formalnih postopkih sprejema verzije programske kode in dokumentacije. V&V poročila in poročila o odstopanjih pošilja tako uporabniku kot tudi razvojni skupini. S skupinama za inženiring celotnega sistema in za QA ne sodeluje. Prednosti tega pristopa so podrobna analiza in testiranje sistemskih zahtev, neodvisna ocena delovanja programske opreme ter zgodnje odkrivanje kritičnih programskih in sistemskih napak. Slabosti pristopa so višji stroški ter povečano število partnerjev, ki pri razvoju PO komunicirajo med seboj.

V primeru ko je V&V vključen v skupino za inženiring celotnega sistema, nastopa V&V kot neodvisna skupina za testiranje, ki je dejansko orgnizacijski del skupine za inženiring ali pa tej le poroča. Prednosti tega pristopa so minimalni stroški, ni potrebno dodatno spoznavanje sistema pa tudi število parnerjev, ki pri ravoju PO komunicirajo med seboj, ostane nespremenjeno. Slaba stran pri tem je izguba objektivne inženirske analize.

Če V&V deluje kot del QA skupine, so njene naloge usmerjene bolj v nadzor in pregledovanje PO v obliki pregledov, inspekcij in "sprehodov" skozi dokumentacijo ali kodo, ne izvaja pa sistemskih analiz in testiranja. Tak način izvajanja V&V je spet cenejši, prav odsotnost nepristranske sistemske analize in testiranja pa je njegova največja slabost.

Kadar V&V skupina nastopa kot del skupine predstavnikov uporabnika izvaja predvsem "uporabniške" naloge kot so: sodelovanje pri formalnih pregledih, prisostvovanje testom, ocenjevanje uporabniške dokumentacije, pomoč pri upravljanju s konfiguracijo programskih proizvodov, ki so v razvoju, pomoč pri prevzemnem testiranju, itd. Prednost take organizacije je močnejši, na ustrezni sistemski analizi temelječ uporabniški vpliv na razvoj programskega proizvoda. Slabosti pa so naslednje:
- V&V ne obsega podrobne analize in testiranja inkrementalnih verzij PO, ki jih V&V skupina v tem primeru ne dobi (Dobi le pogodbeno dogovorjene komponente konfiguracije PO kot končne proizvode posamezni faz razvoja PO.);
- ni več mogoče neprekinjeno sprotno odkrivanje napak in takojšnje obveščanje razvijalcev PO o njih, saj si dobave formalnih programskih proizvodov sledijo v daljših časovnih intervalih.

4. IZVAJANJE V&V PROGRAMSKE OPREME V PRAKSI

Ne obstaja enoten, za vse projekte veljaven V&V pristop. Projekti se med seboj zelo razlikujejo po velikosti, kompleksnosti, naravi same aplikacije, ceni, zahtevanih rokih izdelave, itd., zato so obseg in vrste V&V aktivnosti, njihova organizacijska izpeljava, uporaba tehnik in orodij za vsak projekt specifični.

Kriteriji, na osnovi katerih se pri nekem konkretnem projektu odločajo za ustrezen V&V pristop, so naslednji:
- kritičnost programske opreme,
- visoka stopnja tveganja pri razvoju PO zaradi njene tehnične kompleksnosti ali zelo verjetnih prekoračitev stroškov in/ali rokov,
- relativna pomembnost programske opreme za izvajanje uporabnikove dejavnosti,
- obseg in kritičnost potrebnega vzdrževanja PO,
- posebne zahteve glede varnosti, zavarovanja podatkov ali primernosti PO za vzdrževanje (maintainability).

Za vso kritično programsko opremo se priporoča /4,7/ izvajanje V&V najmanj v minimalnem obsegu, kot ga določa ANSI/IEEE Std. 1012-1986 /9/, za nekritično programsko opremo pa v obsegu, ki ga za posamezen projekt narekujejo njegovi razpoložljivi resursi (stroški, zahtevani roki dobave, kadri, ...) ter zgoraj našteti kriteriji.

Izvajanje V&V je precej drago, saj znašajo stroški zanj tipično od 10 % (pri velikih programih, t.j. programih z več kot 64k dobavljenih vrstic izvorne kode (delivered source instructions, DSI)) do 30% (pri majhnih programih (< 32k DSI)) vseh razvojnih stroškov. Raziskave /7/ kažejo, da lahko pri velikih programskih projektih prihranki že samo zaradi zgodnjega odkrivanja napak med razvojem povsem pokrijejo stroške za IV&V, za primere ko IV&V poteka od samega začetka teh projektov. Za projekte, kjer so IV&V uporabili šele v poznejših fazah razvoja, te kompenzacije stroškov V&V s prihranki ni bilo.
Vidimo, da je izvajanje V&V tem bolj učinkovito, čim prej se vključi v razvoj PO in čim večji je projekt, v okviru katerega poteka.

Boehm /10/ nadalje ugotavlja, da tudi pri razvoju programske opreme velja Paretova porazdelitev: 80% stroškov zaradi ponovnega dela tipično nastane kot posledica 20% problemov. To pomeni, da V&V aktivnosti ne smejo porazdeliti svojih prizadevanj enakomerno med enostavne in resne probleme, ki spremljajo projekt, ampak se morajo osredotočiti na odkrivanje in odstranjevanje ravno teh 20% visoko rizičnih problemov.

Uporaba V&V ni omejena samo na projekte, kjer poteka razvoj PO na osnovi tradicionalnega ("waterfall") modela, ampak pride v poštev tudi pri projekti, ki temeljijo na spiralnem modelu, na hitri izdelavi prototipov (rapid prototyping) ali na modelu evolutivnega razvoja.

5. STANDARDIZACIJA NA PODROČJU V&V

Ameriške vladne in nevladne agencije od Ministrstva za obrambo do Združenja ameriške jedrske industrije so razvile vrsto standardov in priporočil za izvajanje V&V programske opreme najrazličnejših vrst. Ti dokumenti so našteti v /4/.

Večino zahtev teh dokumentov v sebi združuje ANSI/IEEE Std. 1012-1986 Standard for Software Verification and Validation Plans, /9/. Ta standard podaja enotne in minimalne zahteve glede oblike in vsebine Plana V&V programske opreme, predpisuje minimalne naloge, inpute in outpute V&V procesa za kritično programsko opremo, priporoča minimalne naloge, inpute in outpute za nekritično PO, priporoča možne dodatne V&V naloge ter usmerja vodenje, administracijo in dokumentiranje V&V procesa. Zaradi vsestranskosti svojih V&V zahtev, prilagodljivosti različnim aplikativnim področjem in modelom razvoja PO ter zaradi uveljavljenosti metodologij, na katerih sloni, predstavlja ta standard dobro osnovo za uvedbo verificiranja in validacije programske opreme pri veliki večini projektov.

6. PREVERJANJE IN PREVZEMNO PREIZKUŠAJE PROGRAMSKE OPREME PRI PROJEKTU TSV

Pri projektu modernizacije tehničnega sistema vodenja EES (kratko TSV) bo prvi vrh investitorjeve dejavnosti predstavljala faza izdelave Work Statementa, drugi vrh pa bosta po zahtevnosti in obsegu del predstavljala preverjanje in prevzemno preizkušanje posameznih podsistemov TSV. Izredno težaven in zamuden del posla bosta pri tem obsegala preverjanje in prevzemno preizkušanje velikih, kompleksnih aplikativnih programov.

Glede tega je za primer podsistema realnega časa (RTS) z njegovo tehnično in tendersko dokumentacijo predvideno, da bodo predstavniki investitorja izvajali naslednje aktivnosti:

- *med razvojem PO bodo pregledovali in odobravali dokumentacijo strojne in programske opreme ter v okviru programa AQ/QC v tovarni nadzirali izdelavo in testiranje PO ,*
- *med testiranjem in vgrajevanjem podsistemov bodo pregledali in odobrili postopke za prevzemno testiranje podsistemov v tovarni in na objektu ter izvedbeno projektno dokumentacijo in prisostvovali prvemu delu prevzemnega testa v tovarni,*
- *aktivno bodo 4 dni testirali RTS med drugim delom prevzemnega testa v tovarni (med takoimenovanim "100 urnim neprekinjenim obratovanjem RTS-a"),*
- *aktivno bodo 90 dni testirali RTS med prevzemnim testom in še nadaljnih 90 dni med testom razpoložljivosti sistema.*

Smatramo, da je predvideni pristop k verifikaciji in validaciji RTS-a in ostalih podsistemov TSV primeren za "standardne" programe, ki so bili že instalirani drugod in jih bo brez bistvenih sprememb mogoče uporabiti tudi pri nas.

Za velike kompleksne "nestandardne" programe, ki bodo razviti posebej za podsisteme našega TSV, omenjeni V&V pristop ne bo zagotavljal, da bomo res dobili funkcionalno, učinkovito, zanesljivo in glede stroškov vzdrževanja ustrezno programsko opremo.

Predlagamo, da se za vsakega od omenjenih "nestandardnih" programov njegova verifikacija in validacija izvedeta v skladu s standardom /9/, upoštevajoč

razpoložljive resurse in kriterije iz poglavja 4 zgoraj. Za vsak program naj se izvede analiza njegove kritičnosti, določi naj se cilje V&V, izdela naj se plan za dosego teh ciljev ter izbere za izvedbo tega plana primeren nabor tehnik in orodij. Le s tako zaostrenim V&V pristopom bo mogoče doseči zahtevano kvaliteto tudi tega dela programske opreme ter obvladati tveganja, stroške in roke, ki so povezani z njenim razvojem.

7. ZAKLJUČKI

Preverjanje in prevzemno preizkušanje (kratko V&V) programske opreme je ena od disciplin programskega inženirstva, ki omogoča izdelavo kvalitetne in zanesljive programske opreme tudi takrat, ko gre za velike in kompleksne programe.

Pri projektu TSV ne bo težav z nabavo standardnih, dobro preizkušenih programov, ne bo pa se mogoče izogniti problemom s stroški, roki, kvaliteto in zanesljivostjo pri unikatnih, posebej za naše potrebe razvitih programih.

Eno od pomagal pri razreševanju teh problemov bo tudi ustrezen V&V pristop, ki bo spremljal celoten razvoj kritičnih programov, sproti odkrival in odpravljal napake, dvigoval kvaliteto vseh vmesnih proizvodov razvoja ter na koncu pripomogel, da bomo s še sprejemljivimi stroški prišli do našim zahtevam ustrezne programske opreme.

8. VPRAŠANJA ZA DISKUSIJO

1. Kako pri velikem, kompleksnem "nestandardnem" programu kot sta na primer programa Production Costing in Hydro-Thermal Coordination sploh postaviti kriterije sprejemljivosti takega programa, in če bi te kriterije že imeli, kako preveriti, ali jim program ustreza?
2. Kakšna je razlika med V&V pristopom predvidenim v tenderski dokumentaciji in pristopom, ki ga predlaga članek?

LITERATURA

1. P.B. Powell,ed., Software Validation, Verification and Testing, Technique and Tool Reference Guide, NBS Special Publication 500-93, sep.1982.
2. P.B. Powell,ed., Planning for Software Validation, Verification and Testing, NBS Special Publication 500-98, nov.1982.
3. D.R.Wallace, R.U. Fuji, Verification and Validation: Techniques to Assure Reliability, IEEE Software, may 1989.
4. D.R.Wallace, R.U. Fuji, Software Verification and Validation: An Overview, IEEE Software, may 1989.
5. A.F. Ackerman, L.S. Buchwald, F.H. Lewski, Software Inspections: An Effective Verification Process, IEEE Software, may 1989.
6. J. R. Dunham, V & V in the Next Decade, IEEE Software, may 1989.
7. T. Daughtrey, R.U. Fuji, D.R. Wallace, IEEE Software Verification and Validation Seminar Notes, Munchen, july 1989.
8. ANSI/IEEE Std. 729-1983, IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology.
9. ANSI/IEEE Std. 1012-1986, IEEE Standard for Software Verification and Validation Plans.
10. B.W. Boehm, Improving Software Productivity, IEEE Computer, sep. 1987.

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEĐUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE – CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

mr. Ninoslav Slavek, dipl.ing.
ELEKTROPROJEKT, ZAGREB
Proleterskih brigada 37

Referat broj 3.23

OSIGURANJE KVALITETE SOFTVERSKOG PRODUKTA U PROJEKTIRANJU INFORMATIČKIH SUSTAVA

SAŽETAK

Osiguranje kvalitete softverskog produkta pretpostavlja sistematičke aktivnosti koje dokazuju uporabivost softverskog produkta.

Aktivnosti se provode tijekom svih faza životnog ciklusa softvera, a u skladu s programom i planom osiguranja kvalitete kojeg sačinjavaju osnovni elementi:

- Uspostavljanje, implementacija i kontrola zahtjeva na softverski produk
- Uspostavljanje i impletacija postupaka i procedura za evaluaciju kvalitete produkta, dokumentacije, procesa i aktivnosti razvoja
- Uspostavljanje, implementacija i provodjenje standardnih postupaka i procedura razvoja

SUMMARY

Software quality assurance is the systematic activities providing evidence of the fitness for use of the total software product.

This activities are providing through the software life cycle phases in accordance with the Guide and Plans of software quality assurance with elements:

- The establishment, implementation, and control of requirements for the software product
- The establishment and implementation of standard practice and procedures to evaluate the quality of the software product, associated documentation, processes and activities od development
- The establishment, implementation and enforcement of standard practice and procedures of development

UVOD

Mjere i postupci osiguranja kvalitete trebaju se provoditi sistematski i planski, te sačinjavati jedinstveni koncept osiguranja kvalitete u projektiranju informatičkih sustava.

Koncept se realizira kroz program osiguranja kvalitete i planove osiguranja za konkretni informatički projekt; on sažima sve aktivnosti koje mogu imati utjecaj na kvalitetu i sigurnost; a integriran je u cjelokupni poslovni i proizvodni proces.

Osiguranje kvalitete bitni je aspekt dobrog rukovodjenja koje doprinosi ostvarivanju kvalitete kroz: analizu postavljenih zahtjeva, utvrdjivanje opsega i glavnih ciljeva, analize obavljenih zadataka, i utvrdjivanje osobne odgovornosti za obavljanje pridodijeljenih zadataka.

Donošenjem, provedbom i primjenom programa i plana osiguranja kvalitete, osigurava se da su svi primijenjeni kriteriji, zakoni, propisi, pravilnici i standardi pravilno korišteni u svrhu postizanja kvalitete i pouzdanosti izvedenih radova.

U literaturi postoje različite definicije osiguranja kvalitete; u ovom referatu koristi se definicija prema kojoj je osiguranje kvalitete: sistematičke aktivnosti koje dokazuju uporabivost ukupnog softverskog produkta.

1. METODOLOGIJA

Projektiranje informatičkih sustava pretpostavlja logičko i fizičko projektiranje, pri čemu logičko projektiranje uključuje one faze projektiranja koje su nezavisne od opreme i drugih resursa pomoću kojih se realizira informatički sustav, dok fizičko projektiranje znači realizaciju logičkog projekta na postojećoj računarskoj opremi pomoću zadanih resursa.

Informatički sustav u suštini je model odgorarajućeg dinamičkog realnog sustava, tj. ulazni podaci / informacije mijenjaju stanje baze podataka preko programa za ažuriranje, a iz nje se na temelju programa za izvještavanja, na izlazu generiraju izlazne informacije.

Logičko projektiranje je proces modeliranja realnog sustava, odnosno definiranja jedinstvenog modela podataka i modela procesa, te projektiranja baze podataka, bez obzira na pojedine konkretne obrade podataka i konkretnu računarsku opremu.

Različiti podmodeli sustava daju konkretnu interpretaciju podataka, dok je opći jedinstveni model definiran na višoj razini apstrakcije i s apstraktnom interpretacijom podataka.

Kako je realni sustav općenito skup entiteta i njihovih medjusobnih veza, tako je i informatički model sustava skup entiteta, njihovih atributa i veza entiteta i njihovih atributa, pri čemu je interpretacija entiteta, atributa i veza u domeni projektanta modela.

Opći metodološki pristup modeliranju informatičkog sustava prolazi fazama:

- analize zahtjeva - koja definira zahtjeve za informacijama na osnovu realnog sustava
- uspostavljanja globalnog modela - koji daje opis strukture modela podataka i definicije entiteta, atributa i veza
- projektiranja konceptualne sheme - koja daje logičku shemu entiteta i veza modela
- projektiranja korisničkih modela - na temelju transformacije globalnog modela

Metodološki pristup projektiranja konkretnog informatičkog sustava uključuje:

- model podataka, procesa i resursa
- procedure i pravila za implementaciju odabranog modela (dokumentaciju, način upravljanja / vodjenja projekta i konfiguracije, redoslijed aktivnosti i sl.)
- sredstva za realizaciju pomoću kojih će se omogućiti projektantima i korisnicima:
  - formiranje baze podataka
  - razvoj vlastitih - korisničkih aplikacija
  - dobivanje različitih izvještaja

te razlučuje faze: analiziranja zahtjeva
logičkog projektiranja
fizičkog projektiranja

Dokumentacija pokriva šire aktivnosti konkretnog projekta, uključivši organizaciju (upravljanje, vodjenje projektnih aktivnosti odgovornosti, kontrole produkta i sl.) i planiranje (plan upravljanja / vodjenja, osiguranja kvalitete, testiranja i t.d.), te pokriva sve faze životnog ciklusa softvera.

Korištenje pravila, procedura, kriterija i standarda pridonosi povećanju kvalitete softverskog produkta, ali može imati i negativne učinke i drastično usporavati razvoj, stoga se provedba osiguranja kvalitete treba temeljiti na odabiru strategije rješavanja konkretnog problema i standardizaciji postupaka, procedura i kriterija unutar odabrane strategije.

2. SVRHA

Svrha programa i planova osiguranja kvalitete je osiguranje izgradnje kvalitetnog (odnosno produkta dobre kakvoće projekta) što uključuje:

- razvoj metode koja će optimirati skup karakteristika softvera

- adaptaciju okoliša razvoja softvera u kojem se te karakteristike mogu djelotvorno optimirati
- nadgledanje i praćenje napretka razvoja

U smislu osiguranja kvalitete, uspostavljaju se opće procedure za upravljanje / vodjenje (managing) procesa razvoja softvera koje se temelje na tri osnovna elementa:

- pravilima planiranja i kontrole
- općem modelu razvoja
- općim pravilima o pregledima/izvještajima softverskog produkta

3. PLANIRANJE I KONTROLA

Osnovna pravila planiranja i kontrole softvera se odnose na:

1. Plan projekta u svrhu uspostavljanja procedura, organizacije i planova za:
   - rasčlanjivanje po aktivnostima
   - vremenskom rasporedu i kontrolnim točkama
   - alokaciju osoblja po aktivnostima
   - nadziranju napretka i ažuriranja prema zahtjevima za promjenama
2. Kontrolu projekta za indentifikaciju i eliminaciju rizika od:
   - prekoračenja vremena i finacijskih sredstava
   - neuspjeha zadovoljenja zahtjeva prema specifikaciji zahtjeva
   - neuspjeha zadovoljenja zahtjeva za kvalitetom
3. Kontrolu aktivnosti projektiranja u:
   - uspostavljanju procedura za prihvat validiranih produkata različitih aktivnosti
   - uspostavljanju sustavnih kontrola u dobro definiranom produktu

4. UPRAVLJANJE / VODJENJE PROJEKTNIM AKTIVNOSTIMA

U planiranju projektnih aktivnosti koristi se metodologija rasčlanjivanja radova koja se primjenjuje na cjelokupni plan i na detaljne planove projekta.

Cjelokupni plan projekta pokriva sve aktivnosti razvojnog ciklusa a definiran je točkama:

- Odgovornosti za planiranje
- Planske procedure definirane "korak po korak"
- Prikaz glavnih projektnih planskih dokumenata
  - pridodijeljenih poslova
  - plana aktivnosti
  - redoslijeda aktivnosti

Model procesa kontrole projekta uključuje:

1. Odgovornost za kontrolu projektnih aktivnosti
2. Kontrolne procedure definirane "korak po korak"
3. Prikaz glavnih kontrolnih dokumenata
   - izvještaj o stanju radova
   - stanja pojedinačnih aktivnosti

Model kontrole produkta uključuje:

1. Odgovornost za kontrolu produkta
2. Kontrolne procedure definirane "korak po korak"
3. Strukturu osnovne dokumentacije za kontrolu produkta
   - popis dokumentacije
   - dokumentacija konfiguracije
   - popis dokumentacije izmjena
   - format zahtjeva za izmjenama
   - format prijedloga za izmjene

5. PRAĆENJE ŽIVOTNOG CIKLUSA SOFTVERA

Opći model razvoja softvera temeljen je na konceptu "životnog ciklusa softvera" koji definira početak i kraj razvoja sustava:

- inicijalizacija i konceptualizacija
- analiza zahtjeva
- dizajniranje
- implementacija
- testiranje
- uvodjenje i kontrola
- uporaba i održavanje
- povlačenje iz uporabe

Radi jednostavnosti, faze se razmatraju sekvencijalno, iako pojedine faze zadiru i u prethodne ili nasljedne faze.

Management kvalitete produkta mora svakoj fazi pridodijeliti istu težinu radi značaja finalnog produkta svake pojedine faze; ako je management prihvatio ovakav stav u smislu ispunjenja specifičnih ciljeva svake pojedine faze, postiže se odredjena kvaliteta u smislu da ni jedna faza nije posebno izdvojena, ne poprima posebni tretman i ne uzrokuje mogući rizik u ukupnom procesu razvoja.

U fazi inicijalizacije i konceptualizacije, po dogovoru o potrebi razvoja softverskog sustava s investitorom, razmatraju se mogućnosti izvedivosti i identificiraju moguće karakteristike budućeg sustava, te financijske reperkusije; koraci su:

- inicijalne analize zahtjeva na sustav
- studija mogućnosti izvedbe

Faza analize zahtjeva daje detaljnija načela daljnjeg razvoja sustava i uključuje korake:

- Definicije zahtjeva na:
  - sustav
  - podsustave
  - softver
  - programske cjeline
  - izvedbu
  - komponente računarskog sustava
- Specifikacije sustava
- Rješenje sustava

Faza dizajniranja softverskog sustava je proces kojim se definira arhitektura softvera, komponenata, modula, test pristupa i podataka u svrhu zadovoljenja postavljenih zahtjeva, koraci su:

- Dizajniranje sustava
- Razvoj podrške

U fazi implementacije se na temelju dokumentacije dizajna kreira i "debagira" softverski produkt. Ova faza uključuje korake:

- Programiranje - kodiranje
- Opise radova
- Planiranje uvodjenja
- Planiranje konverzije

U fazi testiranje se evaluiraju komponente softverskog sustava, koraci su:

- jedinično testiranje
- testiranje komponenata
- testiranje integracije komponenata
- testiranje sustava
- testiranje integracije

U fazi uvodjenja i kontrole softverski produkt se integrira u svoj operativni okoliš i testira kako bi se osiguralo da produkt zadovoljava postavljene zahtjeve, koraci su:

- konverzija i fazno uvodjenje
- pročišćavanje i ugadjanje
- evaluiranje sustava
- prihvati i validacija/verifikacija

Faza uporabe i održavanja je dio životnog ciklusa softvera tijekom kojeg se upotrebljava softverski produkt, nadzire u svrhu zadovoljenja performanci i modificira ako je potrebno radi korekcije uočenih grešaka ili kao odgovor na zahtjeve za promjenama.

PLAN PROJEKTNE DOKUMENTACIJE

Aktivnosti u procesu razvoja iskazuju se dokumentima, od kojih je svaki potrebno verificirati/validirati i integrirati ga u cjelokupnu projektnu dokumentaciju. Osnovna podjela dokumentacije je:

- Dokumentacija sustava
- Dokumentacija softvera
- Korisnička dokumentacija

U nastavku je prikazana dokumentacija konkretnog projekta: Informacijske baze opreme i dijelova NEK, na kojem autor upravo radi. Standardizacija sadržaja dokumentacije je prema ANSI/IEEE standardima za nuklearne elektrane (IEEE Recomended Practice for Application of IEEE Std 828 to Nuclear Power Generating Stations).

1. PLAN MANAGEMENTA PROJEKTA
   (Plan se izradjuje prema: IEEE-1058 Std for Software Project Management Plans)
2. PLAN MANAGEMENTA KONFIGURACIJOM SOFTVERA
   (Prema standardu IEEE-828 Std for Software Configuration Management)
3. PLAN OSIGURANJA KVALITETE
   (Prema standardu IEEE-730 Std for Software Quality Assurance Plans)
4. PLAN DOKUMENTACIJE ZA TESTIRANJE
   (Prema standardu IEEE-829 Std for Software Test Documentation)
5. ZAHTJEVI NA SOFTVERSKI SUSTAV
   (Prema standardu IEEE-830 Guide for Software Requirement specifications)
6. DIZAJNIRANJE SUSTAVA
   (Prema standardu IEEE-1016 Recommended Practice for Software Design Descriptions)
7. PLAN VERIFIKACIJE I VALIDACIJE
   (Prema standardu IEEE-1012 Standard for Software Verification and Validation Plans)
8. PRIRUČNIK OSIGURANJA KVALITETE
   (Prema standardu IEEE-983 Guide for Software Quality Assurance Planning)

ZAKLJUČAK

Osiguranje kvalitete u projektiranju informatičkih sustava pretpostavljaju sistematičke aktivnosti tijekom razvojnog ciklusa koje dokazuju uporabivost cjelokupnog softverskog produkta.

Slijed aktivnosti dokumentiran je programom i planom osiguranja kvalitete kojima se odredjuju sve aktivnosti (postupci, procedure, standardi i metode) koje imaju utjecaj na kvalitetu kao bitnom aspektu dobrog rukovodjenja.

POPIS LITERATURE

1. IEEE - Recommended Practice for Application of IEEE Std 828 to Nuclear Power Generating Stations

2. G.G. Schulmeyer: J.I. McManus — Handbook of Software Quality Assurance

3. J.Martin: IBM — Principles of data base management

4. N.Slavek: EPZ — Upravljanje projektom informatičkog sustava

5. N.Slavek: EPZ — Program osiguranja kvalitete softvera u EPZ-u

6. R.S. Pressman: McGraw-Hill — Software Engineering

7. W.L. Bryan: S.G. Siegel Elsevier — Software Product Assurance

JUGOSLAVENSKI KOMITET MEDUNARODNE KONFERENCIJE ZA VELIKE ELEKTRIČNE MREŽE - CIGRÉ
Z A G R E B, Berislavićeva 6

VIII. STRUČNO SAVJETOVANJE O UPRAVLJANJU I INFORMATICI U ELEKTROPRIVREDI JUGOSLAVIJE
C A V T A T, 6. do 9. novembar, 1990.

Grupa III - PROGRAMSKA OPREMA - APLIKACIJE

Izvještaj stručnog izvjestioca

Izvjestilac: prof. dr. Ferdinand Gubina

IZVJEŠTAJ STRUČNOG IZVESTIOCA

Programska oprema za vođenje elektroenergetskog sistema zaokuplja sve više istraživača, jer se brojni problemi vođenja kompleksnog sistema mogu efikasno rešavati sve više pomoću specialnih algoritama.Opširna paleta referata obuhvata pet tema, koje su već postale ili postaju značajne za vođenje EES. To su optimalno planiranje rada, sigurnost, vođenje, ekspertni sistemi i sistemi osiguranja kvaliteta programske opreme.One istovremeno odražavaju trenutno stanje preokupacije naših istraživača u tom domenu.

A. Optimalno planiranje rada EES

Ekonomski dispečing, koji je bio jedno vreme potisnut problemima sigurnosti rada EES i ograničenjima očuvanja okoline,ostaje jedno od ključnih pitanja iskorištenja postojećih resursa u uslovima promena karakteristika opterećenja. U referatu br. 3.01 obrađuje se ta tematika sa stanovišta dugogodišnjeg rada na razvoju programskih paketa za kratkoročno planiranje rada EES.Pokušaj analize primene različitih metoda za optimizaciju kratkoročnog plana rada HE na slivovima dat je u radu br. 3.02.Za hidroelektrane sa promenljivim padom analizira se u referatu br. 3.03 mogućnost primene Eulerovih uslova za brzi proračun optimalnog rada hidrotermičkog sistema. Dantzig - Wolfova dekompozicija primenjena je na rešavanju problema optimalne raspodele opterećenja na agregate u radu br. 3.05.

Referat br. 3.04 obrađuje implementaciju relaksacione Lagrangeove metode na problem optimalnog angažovanja termoagregata.Problematika

netačnosti karakteristika agregata (npr. krive potrošnje goriva u zavisnosti od stanja kotla) i stohastičkog ponašanja parametara obrađuje rad br. 3.06, koji ne daje na to pitanje praktične odgovore, pa će biti potrebno taj problem još analizirati s praktičnog aspekta proračuna optimalnih strategija rada agregata.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakva su dosadašnja iskustva u primeni kompleksnih paketa za optimiranje rada hidrotermičkih sistema kod nas ?
2. Da li daju gradijentni postupci dovoljnu garanciju za dobijanje zadovoljavajuće suboptimalne strategije rada ?
3. Kako i od kojih metoda zavisi izbor metoda (network flow, gradienti, dinamičko programiranje idr.) za proračun optimalnog rada EES sa slivovima ?
4. Priprema kontinualnih Eulerovih uslova na diskretiziran model za izračun optimalne raspodjele opterećenja je zanimljiva ideja. Koliko se ubrzava proračun optimalnog rada sa ovim prilazom u poređenju sa drugim metodama ?
5. Kako utiče uključenje ograničenja dozvoljenog gradienta agregata i zahtevane rezerve snage kod proračuna njihovog optimalnog angažovanja ?
6. Kakvo povećanje tačnosti i kakvo skraćenje proračuna optimalnog opterećenja agregata može se postići metodom Dantzig- Wolfeove dekompozicije u usporedbi sa drugim metodama ?
7. Koji stepen netačnosti i stohastičnih variacija u parametrima i krivama, koje se koriste za optimiranje rada EES, može osetno poremetiti optimalni plan vožnje i do koje mere ?

B. Sigurnost rada EES

Istraživanja na području sigurnosti su još uvek u vidu traženja najpogodnijeg postupka za otkrivanje za sistem opisanih poremećaja. Referat br. 3.07 analizira više metoda za određivanje indeksa sigurnosti u sklopu statičke sigurnosti rada EES, koje bi mogle zadovoljiti potrebe jugoslavenskog povezanog EES. Referat br. 3.09 analizira sa svojom razvijenom metodologijom statičku sigurnost jugoslavenskog EES za dve godine. Sigurnost sistema uz uvažavanje dejstva sekundarne regulacije razmatra ref. br. 3.10 za tri kvazistacionirana stanja.

Problematikom ocenjivanja stanja bave se referati br. 3.08 i br. 3.12. U prvom se prikazuje paket programa, koji služi pripremi podataka i ocenjivanju stanja, a drugi razlaže uopštene probleme ocenjivanja stanja.

Referat br. 3.11 se bavi problematikom ekvivalentiranja, gdje se upotrebljava prošireni Wardov ekvivalent, kao i pripremom podataka.

1. U svetu se upotpunjuju algoritmi za određivanje indeksa sigurnosti, ali se algoritmi relativno malo primenjuju. Da li ima kod nas iskustava sa obimnijim proračunima ili čak sa upotrebom u dispečarkom centru ?
2. Koji paketi su razvijeni za analizu dinamičkih pojava u okviru sigurnosnih analiza u našoj zemlji ?
3. Do koje mere se uključenjem dejstva sekundarne regulacije i analizom kvazistacioniranih stanja može odložiti potreba po dinamičkim analizama sigurnosti ?
4. Da li imamo već primenjen program za ocenjivanje stanja u nekom našem dispečerskom centru i kakova su iskustva s njim?
5. U svetu se sve više dolazi do zaključka, da treba izvesti tekuću razmenu podataka između susednih centara, koji mogu poboljšati i proračune tokova snaga bez ekvivalenata. U kakvim slučajevima će ekvivalenti biti ipak neophodni ?

C. Problemi vođenja mreže

Kod vođenja mreže pojavljuju se u poslednje vreme pored analiza mogućih akcija operatera u stacionarnim stanjima i sinteza korekcionih akcija s ciljem poboljšanja radnih karakteristika EES. Program za korektivno prekidanje razmatra referat br. 3.13. Vrlo interesantno pitanje vođenja EES u nestacioniranim stanjima razmatra se u referatu br 3.14. Rad br. 3.15 bavi se modelom operativnog vođenja, kada se zbog smetnje u sistemu smanje njegovi proizvodno prenosni kapaciteti.

Regulacija aktivnih snaga i razine vode hidroelektrana u lancu razmatrana je u radu br. 3.16, gdje se uočava kolizija traženja regulacije po nivou i regulacije protoka elektrane.

U radu br. 3.17 opisan je sistem za nadzor i vođenje distributivnih mreža. Problem rekonfiguracije distributivnih mreža obrađuje referat br. 3.18.

Pitanja za diskusiju:

1. U kojoj je meri program korektivnog prekidanja pogodan za upotrebu u jugoslavenskom povezanom ESS obzirom na njegovu postojeću i predviđenu konfiguraciju ?
2. Da li je model vođenja ESS u uslovima nedovoljnih proizvodno - prenosnih kapaciteta primenjen na nekom praktičnom sistemu (modelu) i kakvi su rezultati ?
3. Vođenje EES u nestacioniranim stanjima traži velik napor od dispečera. Do koje mere je moguće predvideti automatizaciju ovog procesa ?
4. Koje potrebe traže uvođenje regulacije hidroelektrana po nivou, kad se istovremeno traži korekcija protoka (snage) što dovodi do kolizije kriterijuma i nepotrebno suzavanje

optimizacionog prostora?

5. Da li ima pogonskih iskustava sa paketom programa za nadzor i vođenje distributivnih mreža kod nas?
6. Da li ima smisla uzeti u obzir i ocenu gubitaka i smanjenja broja primera, napona van dozvoljenih granica u srednjenaponskoj mreži, kada se traži nova konfiguracija mreže posle smetnje?

D. Ekspertni sistemi

Interesantan prilaz rešavanju problematike, koja obuhvata u svojim modelima pored determinističkih veza i velik deo heurističkih odnosa, predstavljaju ekspertni sistemi. Iz te oblasti ima tri rada. Primena ekspertnih sistema kod određivanja rasporeda remonata agregata prikazuje se u referatu br. 3.19. Osvrt na strukturu analize kvarova dat je u radu br. 3.20. Koncept ekspertnog sistema za analizu sigurnosti, koja je detaljnije predstavljena u drugoj temi, prikazan je u radu br. 3.21.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakva poboljšanja donosi upotreba tehnike ekspertnih sistema u određivanju planova remonata?
2. Kako rešavati problematiku eventualnih inherentnih antagonizama kod kombinacije matematičkih modela i heurističkih pravila utemeljenih na znanju eksperata?
3. Koliko mogu ekspertni sistemi zbog svoje relativne sporosti konkurirati npr. metodama za analizu sigurnosti?
4. Za identifikaciju kvarova su ekspertni sistemi dobili već ulaz u industrijsku primenu. Da li postoje mogućnosti, da se te sisteme upotrebi i za restauraciju EES posle raspada?

E. Osiguranje kvaliteta programske opreme

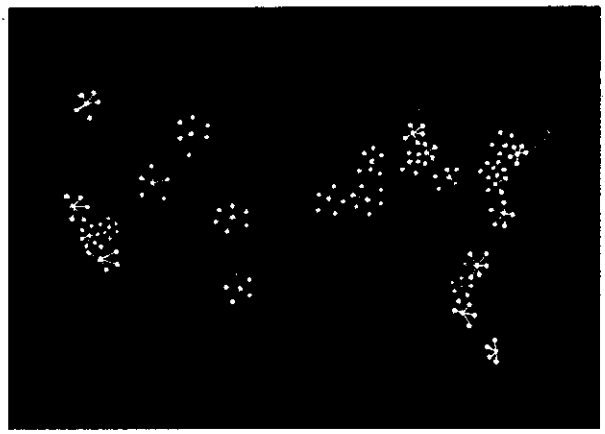
Testiranje programske opreme je vrlo obiman posao, koji ne garantuje otklanjanja svih grešaka. Zbog toga su sistemi osiguranja kvaliteta od koncipiranja do stavljanja u pogon neophodni. Referati br. 3.22 i 3.23 bave se tom problematikom i ukazuju na problem kadrova, koji moraju izvoditi taj složeni zadatak.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li je bio do sada na bilo kojem paketu programske opreme izveden sistematski proces osiguranja i kontrole kvaliteta od koncipiranja do testiranja u centru vođenja?
2. Kako se u našim sistemima vođenja izvodi kompleksan proces osiguranja kvaliteta informatičkih sustava?
3. Do koje mere je sistem osiguranja kvaliteta informacijskih sustava predložen u TSU pogodan za sve centre vođenja?

Systems Control Joins ABB

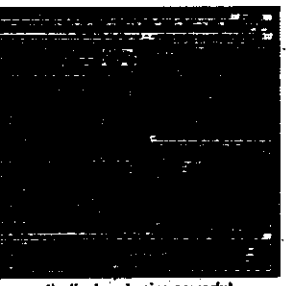
Systems Control is now part of ABB. This union makes ABB the world's largest supplier of EMS/SCADA systems—an installed base of more than 850 systems.



throughout the world—with both vendors and utilities. In fact, more countries control power with our human-engineered, scheduling software than any other.

Open System Architecture Handles The Future

Our adherence to standards such as OSI, POSIX, X-Windows, SQL, and WSCC permits future growth that is not vendor-restrained. ABB Systems Control's open architecture allows you to adapt to changes in the utility marketplace such as deregulation, environmental requirements, and open transmission access. And, our DEC-based system makes it easy to network with other computer systems.



ompactly displayed using powerful and windowing techniques.

Most Advanced Power Systems Application Software

Our record as a software application innovator includes the development of state estimation, optimal power flow and unit commitment applications. We also offer advanced AGC, closed-loop voltage control and relational database applications. Our software has a proven track record

Growth Through Commitment To R&D

Our commitment to the electrotechnical market is reinforced through substantial R&D investment. ABB Systems Control has completed more EPRI and DOE research projects than the rest of the EMS industry combined. Our efforts have resulted in the successful implementation of the VAX cluster system. We are also integrating utility functions such as load management, plant performance and substation automation.

This commitment will provide future growth for all of us in the electrical power industry.

We pioneered the use of 3-D graphics for EMS applications.

For a copy of our new capabilities brochure, which details ABB Systems Control's innovative EMS/SCADA systems, please contact us: ABB Systems Control, a division of ABB Power Automation, Inc., 2550 Walsh Ave, Santa Clara, California, 95051-1315; Phone 408/987-6062, FAX 408/987-6066.

ABB
ASEA BROWN BOVERI

MCS
Joint Venture of
ABB & YU companies
Simina 21/III
11000 Beograd
Yugoslavia

World's Largest Installed Base of EMS/SCADA Systems

DEC is a registered trademark of Digital Equipment Corporation.