

SMJERNICE ZA IZVEDBU I TIPIZACIJU TRANSFORMATORA 110/X I 35/X kV PRIKLADNIH ZA PRIJELAZ NA NAPON 20kV

SAŽETAK

Za potrebe prijelaza na direktnu transformaciju 110/X kV predlažu se dva tipa sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora 110/35(20)kV i 110/10(20)kV. Time se postiže bolje iskorištenje postojećih regulacijskih transformatora 110/35kV i značajne uštede prilikom prijelaza na napon 20kV.

Ključne riječi: regulacijski transformator, prespajanje, spoj namota

LINES OF DIRECTION FOR CONSTRUCTION AND TYPIZATION OF TRANSFORMERS 110/X kV AND 35/X kV SUITABLY FOR PASSING TO THE VOLTAGE OF 20kV

ABSTRACT

For need on the passing on direct transformation 110/X kV are proposed two types of secondary reconnecting regulating transformers 110/35(20)kV and 110/10(20)kV. In this way it can be reached the better use of existing regulation transformers 110/35kV and significant savings on the passing to the voltage of 20kV.

Key words: regulation transformer, reconnecting, winding connection

1. UVOD

Prilikom prijelaza s 10kV napona na 20kV u tronaponskom distributivnom sustavu 110/35(30)/10kV vrlo veliku stavku u ukupnim troškovima nedvojbeno predstavlja nabava novih te zamjena ili prerada postojećih transformatora 110/35kV i 35(30)/10kV neospojive izvedbe. Prerada transformatora za drugi sekundarni napon je u pravilu vrlo skup zahvat i sada se izvodi jedino u tvornici ili traforadionici, što znatno otežava brzi prijelaz na napon 20kV.

odvoženje većih transformatora koji se nalaze u pogonu na preradu u tvornicu ili obradonici je organizacijski vrlo složeno i skupo te zahtijeva velik angažman rukovodnog i pogonskog osoblja. Taj se zahvat odvija u slijedećim osnovnim sekvencijama:

- planiranje zahvata i sredstava,
- uvrštenje u plan investicija,
- dobivanje odobrenja od **Direkcije**,
- osiguranje zamjenskog transformatora odgovarajućih karakteristika,
- demontaža postojećeg transformatora i njegova zamjena pričuvnim,
- odvoženje transformatora na preradu,
- povratak prerađenog transformatora,
- demontaža zamjenskog transformatora i montaža prerađenog transformatora te
- odvoženje zamjenskog transformatora.

Takav zahvat je posebno neugodan u jednotransformatorskim TS 35(30)/10kV, jer uz sve to iziskuje najmanje dva unaprijed najavljena cjelodnevna prekida pogona te opsežna prekopčanja u 10kV mreži zbog osiguranja kontinuiranog napajanja osjetljivih potrošača iz drugih TS 35(30)/10kV tijekom izvođenja radova na zamjeni transformatora.

Znatne teškoće prilikom prijelaza s 10kV napona na 20kV ili pri interpolaciji transformacije 110/10kV mogu nastati i neodgovarajućim izborom grupe spoja regulacijskih transformatora koji će napajati 20kV mrežu ili 10kV mrežu u sustavu direktne transformacije.

Treba napomenuti da problem fazne neusklađenosti napona proizlazi iz ranije usvojenih odluka **HEP-a** o prijelazu na direktnu transformaciju 110/20kV i 110/10kV, kojima se preferiraju sekundarno prespojivi regulacijski transformatori 110/10(20)/10kV u spoju YN,yn0,d koji se već dvadesetak godina isporučuju za domaće tržište.

U tim se odlukama također polazi od danas sve manje realne pretpostavke da će se prijelaz na direktnu transformaciju odvijati pretežno interpolacijom novih TS 110/X kV ili preradom postojećih TS 110kV na izlazni napon 20kV. U tim se smjernicama u prijelaznom periodu do gašenja 35kV mreže nije predviđala u većem opsegu interpolacija novih TS 35/10(20)kV i prerada postojećih TS 35kV na izlazni napon 20kV, što je nerijetko vrlo racionalno dugoročno rješenje.

Takav odviše optimističan i s nekih aspekata nedovoljno cjelovito sagledan pristup prijelazu na 20kV je vrlo skup, neracionalan i, što je najbitnije, posve je neprimjeren današnjim uvjetima poslovanja s izuzetno skromnim mogućnostima investiranja. Stoga je potrebno u **HEP-u** zacrtanu dugoročnu strategiju prijelaza na napon 20kV razrađenu u 70-im godinama neodložno revidirati i poći u susret tom naponu drugim putem. Nova dugoročna strategija prijelaza na direktnu transformaciju treba biti tako postavljena da se:

- uz minimalne zahvate i troškove potpuno iskoristiti postojeći fond regulacijskih transformatora 110kV i transformatora 35/10kV do kraja tehnički opravdane životne dobi,
- smanji broj različitih izvedbi regulacijskih transformatora 110kV uz istovremeno povećanje mogućnosti njihove primjene tijekom i nakon prijelaza na direktnu transformaciju te
- reducira potreban broj transformatora 110kV i 35kV u pričuvi.

2. POSTOJEĆE IZVEDBE REGULACIJSKIH TRANSFORMATORA 110kV

Danas u 110kV mreži **HEP-a** postoji veliko šarenilo regulacijskih transformatora obzirom na različite izlazne napone (10.5kV, 21kV, 31.5kV, 36.75kV) i grupu spoja (yn0 i d5). Tome u značajnoj mjeri doprinose i vječite nedoumice u vezi izvedbe i namjene tercijarnog 10kV namota u spojenog u trokut. On se može izvesti:

- kao stabilizacijski namot za kompenzaciju amperzavoja nulte komponente struje pri jednofaznim kvarovima i nesimetričnom (*jednofaznom*) teretu,
- sa priključcima i ugrađenom serijskom prigušnicom za povećanje napona kratkog spoja tako da se, uz osnovnu funkciju kompenzacije amperzavoja nulte komponente struje, po potrebi može trajno teretiti trećinom nazivne snage transformatora ili
- izostaviti ako je sekundarni namot spojen u trokut, jer tada dodatni namot za kompenzaciju amperzavoja nulte komponente struje nije potreban.

Te tri varijante izvođenja odnosno neizvođenja tercijara bitno povećavaju ili točnije rečeno utrostručuju broj mogućih izvedbi regulacijskih transformatora 110kV u pogonu i u pričuvi. Broj različitih izvedbi regulacijskih transformatora 110kV danas je neprihvatljivo visok zbog:

- aktualnih sekundarnih izlaznih napona (10.5, 21, 31.5 i 36.75 kV),
- mogućeg spoja sekundarnog namota (yn0 ili d5) te
- izvedbe tercijara (stabilizacijski namot ili namot za terećenje).

Tablica I. - Pregled postojećih izvedbi regulacijskih transformatora 110kV

Tip	Nazivni naponi	Spoj namota	Izvedba tercijara
1	110±10x1.5% /31.5 /10.5kV	YN,yn0,d5	za terećenje
2	110±10x1.5% /31.5 /(10.5)kV	YN,yn0,(d)	stabilizacijski namot
3	110±10x1.5% /36.75 /10.5kV	YN,yn0,d5	za terećenje
4	110±10x1.5% /36.75 /(10.5)kV	YN,yn0,(d)	stabilizacijski namot
5	110±10x1.5% /10.5 /(10.5)kV	YN,yn0,(d)	stabilizacijski namot
6	110±10x1.5% /10.5kV	YN,d5	-
7	110±10x1.5% /21 /10.5kV	YN,yn0,d5	za terećenje
8	110±10x1.5% /21 /(10.5)kV	YN,yn0,(d)	stabilizacijski namot
9	110±10x1.5% /21kV	YN,d5	-
10	110±10x1.5% /10.5(21) /10.5kV	YN,yn0,d5	za terećenje
11	110±10x1.5% /10.5(21) /(10.5)kV	YN,yn0,(d)	stabilizacijski namot
12	110±10x1.5% /10.5(21)kV	YN,d5	-

Ti se transformatori izvode za potreba HEP-a u slijedećim standardiziranim nazivnim snagama:

20MVA, 40MVA i 63MVA.

Takvo šarenilo mogućih izvedbi nedovoljno tipiziranih regulacijskih transformatora obzirom na izlazne napone, mogućnost prespajanja 10/20kV, spoj namota i izvedbu tercijara:

- otežava njihovu nabavu i proizvodnju po prihvatljivijim cijenama,
- zahtijeva da se tijekom prijelaza pojedinih područja na napon 20kV prespaja ili tvornički prerađuje (*premata*) velik broj transformatora neprespojive izvedbe 35kV namota te
- zahtijeva da se drži u pričuvi nepotrebno velik broj jedinica različitih izvedbi i nazivnih snaga.

Stoga se nameće neodgodiv zahtjev da se na temelju odgovarajući tehničkih i gospodarskih kriterija reducira broj izvedbi regulacijskih transformatora za potrebe HEP-a uz istovremeno povećanje mogućeg raspona njihove primjene u predstojećem prijelazu na direktnu transformaciju 110/20kV i/ili 110/10kV.

3. IZBOR FAZNOG POMAKA VEKTORA SEKUNDARNOG NAPONA U TS 110/X kV

Postojeće 10kV mreže u klasičnom tronaponskom sustavu distribucije 110/35(30)/10kV te mreže koje se napajaju iz tercijara regulacijskih transformatora 110kV imaju fazni pomak vektora napona u odnosu na vektore napona 35(30)kV i 110kV od 150° (*grupa 5*).

Zbog toga 10kV mreža napajana iz direktne transformacije 110/10kV (*grupa 0*) ne može raditi paralelno s ostalom 10kV mrežom (*grupa 5*), što čini velike poteškoće u vođenju pogona. Prilikom svake promjene uklopnog stanja u tim mrežama na mjestima susreta dvaju fazno zakrenutih sustava napona 10kV mora se prethodno isključiti napon s jedne strane da bi se u beznaponskoj pauzi moglo obaviti prekopčanje dijela mreže ili cijele mreže s jedne pojne točke na drugu.

Takav način izvođenja pogonskih manipulacija u beznaponskom stanju danas je sve manje prihvatljiv za sve veći broj osjetljivih potrošača koji ne podnose nikakav diskontinuitet napajanja. Želi li se postići prekopčanje dijelova fazno nekompatibilnih mreža 10kV bez isključenja napona - tako da to potrošači ne osjete - potrebno je ugraditi međutransformaciju 10/10kV ili 20/10kV sa zakretom

liža od 150° , što nije prikladno niti jeftino, jer iziskuje relativno skup specijalni transformator koji se ne proizvodi serijski.

Stoga je logično da sve mreže nakon prijelaza na direktnu transformaciju također zadrže fazni pomak od 150° u odnosu na 110kV odnosno 35(30)kV mrežu. Takvo rješenje ima značajne prednosti u odnosu na kod nas uobičajenu direktnu transformaciju 110/20kV ili 110/10kV u spoju namota YN,yn0,d5 ili YN,yn0,(d), koja nema faznog pomaka vektora sekundarnog napona (*grupa 0*).

Već dvadesetak godina uobičajeno je u **HEP-u** da se zbog perspektivnog uzemljenja mreža 10kV i 20kV preko zvjezdišnog otpornika nedovoljno kritički preferira u TS 110/X kV regulacijske transformatore koji imaju sekundarni namot u zvijezda-spoju s izvedenim zvjezdištem. Takvim se rješenjem doduše može lakše i jeftinije otporno uzemljiti mreža 10(20) kV, ali je ono s druge strane neracionalno obzirom na mogućnost daljnjeg korištenja do kraja tehničke životne dobi većeg broja skupih regulacijskih transformatora 110/35kV prilikom prijelaza na napon 20kV.

Ti se transformatori, uz postojeću koncepciju prijelaza na 20kV napon, mogu koristiti u sustavu direktne transformacije uz uvjet da im se 35kV namot zamijeni 20kV ili 10(20)kV namotom također u spoju yn0, što je vrlo velik i skup zahvat izvediv samo u tvornici.

4. REGULACIJSKI TRANSFORMATORI 110/35kV SEKUNDARNO SU PRESPOJIVI NA 20kV NAPON

Još je uvijek uvriježeno mišljenje da postojeći regulacijski transformatori 110/35/10kV izvedeni u spoju YN,yn0,d5 ili YN,yn0,(d) nisu pogodni za prijelaz na direktnu transformaciju 110/20kV bez zamjene 35kV namota 20kV namotom u spoju yn0. Takav radikalni zahvat u aktivni dio transformatora je dakako vrlo skup. Stoga se radi visokih troškova zamjene ili skupe prerade regulacijskih transformatora 110kV nerijetko odustaje od donošenja odluke o prijelazu 10kV mreže na napon 20kV u doglednom vremenu.

Takvo je mišljenje srećom posve neutemeljeno, jer se na postojećim regulacijskim transformatorima 110/35/10kV čiji je 35kV namot spojen u zvijezdu (*yn0*) on može na licu mjesta ili u tvornici, bez zahvata u osnovnu konstrukciju transformatora, relativno lako i brzo prespojiti u trokut (*d5*). Time se na najjednostavniji mogući način uz relativno mali trošak dobiva sekundarni nazivni napon

$$\frac{36,75\text{kV}}{\sqrt{3}} = 21,218\text{kV}$$

čiji su vektori fazno zakrenuti za 150° prema vektorima 110kV napona. Taj je napon samo oko 1% viši od standardiziranog izlaznog napona 21kV. To beznačajno odstupanje na više u pogonu ne smeta, jer se izlazni napon transformatora održava u željenim granicama, ovisno o opterećenju, automatskim regulatorom napona.

Nedvojbeno je da je prespajanje 35kV namota neusporedivo jeftinije od prematanja, pogotovo ako se uzme u obzir da bi dio postojećih regulacijskih transformatora proizvođač mogao prespojiti na mjestu ugradnje i tako izbjeći relativno skup transport do tvornice i natrag. Stoga bi pravi strateški kriterij predstavljala odluka da se postojeći regulacijski transformatori 110/35kV prilikom prijelaza na napon 20kV po potrebi na licu mjesta ili u tvornici sekundarno prespajaju s napona 35kV (*yn0*) na napon 20kV (*d5*). Prespajanjem 35kV namota na 20kV postiže se i fazna usklađenost izlaznog napona 20kV s postojećom mrežom 10kV (*grupa 5*). Time se dobiva:

- znatno manja razlika faznih napona među polovima sklopnog aparata na rastavnom mjestu 10kV i 20kV mreže te
- mogućnost povezivanja mreža 10kV i 20kV transformacijom 20/10kV grupe 0 koja se može relativno jeftino izvesti prespajanjem transformatora 35/10kV u spoju YN,d5.

Takvim se pristupom dobiva daleko više nego dosad uobičajenim kriterijem da 20kV namot bude u spoju yn0 s izvedenim zvjezdištem za potrebe otpornog uzemljenja mreže, jer on omogućuje daleko bolje i potpunije korištenje velikog broja regulacijskih transformatora 110/35kV uz minimalne troškove prilikom prijelaza na direktnu transformaciju. Pođe li se tim putem dolazi se do vrlo privlačnih tehničkih rješenja izvedbe novih i planske rekonstrukcije postojećih regulacijskih transformatora 110kV. Pri tome se, što je posebno značajno, može prikladnom tipizacijom smanjiti

broj različitih izvedbi regulacijskih transformatora 110kV i izbjeći troškove njihove naknadne prerade za izlazni napon 20kV.

Prilikom prespajanja 35kV namota regulacijskog transformatora na napon 20kV potrebno je:

- postojeće sekundarne priključke zamijeniti jačima u stupnju izolacije LI125AC50 (24Si50/125), jer se nazivna izlazna struja namota prespajanjem s 35kV (yn0) na 20kV (d5) poveća za $\sqrt{3}$ puta te
- demontirati priključak 35kV zvjezdišta koji zbog spoja sekundarnog namota u trokut više nije potreban te zabrtviti njegov otvor na poklopcu.

Ta mogućnost relativno jednostavne prespojivosti sekundarnog namota 35kV (yn0) u 20kV (d5) je vrlo privlačna i korisna jer omogućuje da se prije prijelaza na direktnu transformaciju 110/20kV prema zacrtanoj dinamici prijelaza velik broj regulacijskih transformatora 110/35kV, koji su još u tehnički dobrom stanju, na licu mjesta ili u tvornici vrlo jednostavno prespoji za napon 20kV.

Tim prespajanjem sekundarnog namota 35kV u namot 20kV uz odgovarajuću doradu priključaka te po potrebi revitalizaciju starijih jedinica omogućena je vrlo ekonomična pretvorba velikog broja regulacijskih transformatora 110/35kV u transformatore 110/20kV te njihovo potpuno iskorištenje do kraja tehničke životne dobi u sustavu direktne transformacije.

5. SEKUNDARNO PRESPOJIVI REGULACIJSKI TRANSFORMATORI 110/35(20)/10kV

Da se u buduće novi regulacijski transformatori 110/35kV zbog prespajanja na napon 20kV ne bi trebali vraćati u tvornicu, bilo bi korisno da se kao tipsko rješenje HEP-a usvoji mogućnost prespajanja sekundarnog namota 35kV (yn0) na 20kV (d5) ili obratno na mjestu ugradnje pomoću prikladnih mostova smještenih ispod poklopcu kotla pored priključaka.

Ta promjena konstrukcije priključaka sekundarnog namota 35kV prespojivog zvijezda/trokut (y/d) je nedvojbeno neusporedivo jeftinija od troškova naknadnog prespajanja nerijetko skopčanog s vraćanjem transformatora u tvornicu, pa se stoga isplati uraditi odmah na svim novim jedinicama.

Sekundarni namot i priključci svih novih sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora 110/35(20)kV dimenzionirali bi se za:

- napon 35kV - LI170AC70 (36Si70/170) te
- nazivnu izlaznu struju uz napon 21,218kV.

U tom smislu trebalo bi u HEP-u što prije izraditi Tehničke uvjete za sekundarno prespojive regulacijske transformatore 110/35(20)kV. Time bi se vrlo mnogo dobilo na upotrebljivosti transformatora te bitno pojednostavnio, ubrzao i pojeftinio prijelaz na direktnu transformaciju 110/20kV uz beznačajno povećanje cijene transformatora. Tako izvedeni regulacijski transformatori bili bi po potrebi vrlo brzo sekundarno prespojivi na licu mjesta s napona 35kV na napon 20kV ili obratno.

To rješenje valjalo bi također, gdje god je moguće, primijeniti prilikom popravaka i/ili revitalizacije postojećih regulacijskih transformatora 110/35kV. Pri tome treba ugovorom utanačiti u kojem spoju sekundarnog napona se transformator nakon popravka i prerade priključaka te završnih ispitivanja isporučuje korisniku.

Promjena spoja namota i priključaka sekundarnog namota regulacijskih transformatora predstavlja relativno jednostavan i jeftin zahvat koji ne bi smio odviše povećati cijenu popravka ili revitalizacije transformatora. Njime bi se izbjeglo nepotrebno naknadno vraćanje transformatora u tvornicu samo zbog prespajanja sekundarnog namota s 35kV na 20kV, koje sada - zbog njegove fiksne izvedbe u zvijezda spoju i nekih konstrukcijskih rješenja transformatora - nažalost nije uvijek izvedivo na mjestu ugradnje transformatora.

Svi sekundarno prespojivi regulacijski transformatori 110/35(20)/10kV trebali bi biti izvedeni s tercijarom za terećenje koji prilikom prijelaza na napon 20kV može u većini slučajeva vrlo učinkovito zamijeniti postojeću transformaciju 35/10kV koja se nerijetko nalazi u sastavu TS 110/35kV. Time se tijekom prijelaza na direktnu transformaciju iz istog regulacijskog transformatora napaja dio mreže koji je prebačen na napon 20kV te preostali dio mreže koji još neko vrijeme ili trajno ostaje u pogonu na naponu 10kV. Pri tome su vektori oba sustava izlaznih napona zakrenuti za 150°, što je presudno za jednostavno i ekonomično ostvarenje međutransformacije 20/10kV i besprekidno vođenje pogona u prijelaznom periodu.

Takvom izvedbom s prespojivim sekundarnim namotom 35(20)kV (*yn0/d5*) dobiva se univerzalni regulacijski transformator 110kV s tercijarom za terećenje. On je podjednako primjenljiv za napajanje:

- mreža 35kV,
- mreža 10kV (*tercijar*) te
- mreža 20kV.

prije, tijekom i nakon prijelaza na direktnu transformaciju 110/20kV.

Korištenjem tercijara u prijelaznom periodu ili trajno, koje zapravo predstavlja direktnu transformaciju 110/10kV, može se osloboditi veći broj transformatora 35/10kV za druge potrebe ili realizaciju međutransformacije 20/10kV.

6. SEKUNDARNO PRESPOJIVI REGULACIJSKI TRANSFORMATORI 110/X kV

Usvoji li se zbog navedenih razloga za direktnu transformaciju 110/10kV i 110/20kV kao tipizirano rješenje izlazni namot spojen u trokut (*d5*), na regulacijskom transformatoru nije potrebno izvoditi tercijar, jer sekundarni namot u *d5*-spoju omogućuje kompenzaciju nulte komponente struje pri jednofaznim kvarovima i jednofaznim teretima.

Izostavljanjem tercijara bitno bi se pojednostavnila konstrukcija regulacijskih transformatora 110/X kV te smanjile njihove dimenzije, težina, cijena i broj izvedbi. Interpolacijom direktne transformacije 110/20kV bez tercijara za terećenje za napajanje preostalog dijela 10kV mreže koja još neko vrijeme ostaje na naponu 10kV stoje na raspolaganju slijedeće mogućnosti:

- napajanje iz drugog transformatora 110/10(20)kV čiji sekundarni namot tijekom prijelaznog razdoblja ostaje u spoju 10kV,
- napajanje iz postojećih TS 35/10kV te
- napajanje preko međutransformacije 20/10kV.

Daljnje smanjenje broja tipova regulacijskih transformatora 110/X kV za direktnu transformaciju može se postići ako bi se dogovorno za potrebe HEP-a u idućih desetak ili možda dvadesetak godina proizvodili samo sekundarno prespojivi transformatori 110/10,5(21)kV u spoju YN,d5. To znači da bi tijekom tog perioda u HEP-u mogla biti tipizirana samo dva osnovna tipa sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora slijedećih napona, grupe spoja i nazivnih snaga:

Tablica II. - Sekundarno prespojivi regulacijski transformatori 110kV

Tip	Nazivni naponi	Spoj namota	Nazivna snaga
TRX1	110±10x1.5% /36.75(21,218) /10.5kV	YN,yn0,d5	20, 40 i 63MVA
TRX2	110±10x1.5% /10.5(21)kV	YN,d5	10, 20, 40 i 63MVA

S ta dva tipa sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora mogu se pokriti sve sadašnje i buduće potrebe koje nameće neminovan prijelaz na direktnu transformaciju. Tercijar za terećenje uz uobičajenu 1/3 nazivne snage transformatora izvodio bi se, kao što je ranije obrazloženo, samo kod prvog tipa transformatora (*TRX1*) i koristio bi se po potrebi gdje to dopuštaju prilike u lokalnoj i/ili industrijskoj mreži 10kV.

Drugi tip (*TRX2*) sekundarno prespojivih transformatora 10.5(21)kV konstrukcijski je zbog dvodjelnog sekundarnog namota nešto složeniji i skuplji, ali mu je zato značajna prednost što je prema potrebi jednostavno prespojiv na licu mjesta. Time je mu je bitno povećana širina primjene uz istovremeno smanjenje potrebnog broja transformatora u pričuvi.

Cijena dvonamotnog regulacijskog transformatora 110/X kV prespojive izvedbe sekundarnog namota može se potpuno kompenzirati pa vjerojatno i nešto sniziti u odnosu na postojeće tronamotne izvedbe na račun:

- uklanjanja tercijara te
- smanjenja broja mogućih izvedbi transformatora s tri (*dvije fiksne i jedna prespojiva*) na jednu prespojivu izvedbu, čime se dobiva mogućnost svestrane primjene i racionalnije proizvodnje.

U izvedbi TRX2 predlaže se također manja jedinica nazivne snage 10MVA za ugradnju u pojednostavnjene jednotransformatorske TS 110/X kV koje u novije vrijeme zbog racionalnosti uspješno koriste mnoge elektroprivrede u svijetu umjesto TS 35(30)/X kV. Kod te jedinice možda bi se zbog postizanja povoljnije cijene mogao primijeniti smanjeni opseg regulacije primarnog napona u opsegu $110kV \pm 8 \times 1.5\%$ ili u rasponu napona od 98 do 122kV, jer ti transformatori nikada neće raditi paralelno s nekom većom jedinicom.

Tek nakon prijelaza većeg dijela distribucijskih i industrijskih mreža na napon 20kV moglo bi se u **HEP-u** prijeći na nabavu neprespojivih dvonamotnih regulacijskih transformatora 110/20kV kojima bi se postepeno zamjenjivale prespojive jedinice. One bi se nakon zamjene prebacivale u one mreže kojima tek predstoji prijelaz na 20kV ili dugoročno ostaju na 10kV naponu.

Regulacijski transformatori 110/30kV nabavljali bi se i dalje prema potrebi. Izvodili bi se u spoju YN,yn0,(d) s tercijarom kao stabilizacijskim namotom. Postojeći i eventualno novo proizvedeni regulacijski transformatori tog tipa bi se prilikom prijelaza na direktnu transformaciju tvornički prerađivali u tipiziranu dvonamotnu sekundarno prespojivu izvedbu 110/10(20)kV u spoju YN,d5 kako bi se obnovljeni mogli i dalje koristiti za potrebe direktne transformacije 110/X kV do kraja životne dobi.

7. PRIMJENA I PRILAGODBA TARIFNIH STAVOVA

Sukladno postojećoj praksi sekundarno prespojivi tronamotni regulacijski transformatori 110/35(20)/10kV i dalje bi se nabavljali u sklopu investicija **Prijenosa**. Da bi se stimulirao prijelaz na direktnu transformaciju 110/20kV i 110/10kV korištenjem tercijara trebalo bi što prije uvesti jedinstveni tarifni stav 10-35kV po kojem će **Prijenos Distribuciji** prodavati električnu energiju i snagu neovisno o tome iz kojeg namota (*sekundar ili tercijar*) i uz koji napon (35kV, 20kV ili 10kV) se one kupuju na izlazu iz transformatora.

Predlaže se da to bude tarifni stav za 35kV, jer nema nikakve tehničke niti ekonomske osnove da se prespajanjem sekundarnog namota regulacijskog transformatora s napona 35kV na napon 20kV ili korištenjem tercijara mijenja tarifa po kojoj **Prijenos** prodaje **Distribuciji** na izlazu iz transformatora električnu energiju i snagu. To je jedinstvena transformacija čiji fiksni i varijabilni troškovi - uz jednaki dijagram opterećenja konzuma - nisu ovisni o sekundarnom izlaznom naponu transformatora niti o tome da li se uz sekundarni namot koristi i tercijar.

Po važećim tarifnim stavovima ne razlikuje se kupnja energije snage na izlazu transformatora od njezine prodaje potrošačima na 35kV, 20kV ili 10kV naponu, gdje je logično da zbog distribucijskih troškova cijene rastu što je niži napon isporuke energije i snage potrošačima. Pitanje jedinstvenog tarifnog stava za preuzetu električnu energiju i snagu na izlazu iz regulacijskog transformatora 110kV (*sekundar i tercijar*) svakako treba odgovarajuće riješiti prije nego dođe do stvarnih kupoprodajnih odnosa između **Prijenosa** i **Distribucije**.

Regulacijski transformatori 110/10(20)kV nabavljali bi se kao i do sada u sklopu investicija **Distribucije** pa bi se električna energija i snaga preuzimala i kupovala od **Prijenosa** na ulazu u transformator po tarifnom stavu za 110kV. Stoga taj tarifni stav ne treba mijenjati.

8. TRANSFORMATORI 35/X kV I REALIZACIJA MEĐUTRANSFORMACIJE 20/10kV

U cilju bržeg i ekonomičnijeg prijelaza na napon 20kV valjalo bi u postojeće i nove TS 35/10kV, gdje god je opravdano, ugrađivati primarno prespojive transformatore 35/10(20)kV u spoju D,yn5 pogodnom za uzemljenje zvjezdista 10(20)kV mreže preko otpornika. Takav pristup je daleko prikladniji i realniji nego desetljećima očekivati izgradnju nove TS 110/X kV ili pozamašnu, organizacijski složenu i vrlo skupu rekonstrukciju ili zamjenu srednjenaponskog postrojenja postojećih TS 110/35(30)/10kV za napon 20kV. Očito je daleko bolje i realnije početi u susret naponu 20kV u više manjih i jeftinijih koraka.

U prijelaznom periodu potrebno je ugraditi na prikladnim mjestima mreže međutransformacije 20/10kV zbog rezerve napajanja i njegove neprekinutosti tijekom pogonskih manipulacija. Zbog ubrzanja prijelaza na napon 20kV i smanjenja troškova treba transformatore 20/10kV prvenstveno izvesti prespajanjem ili prematanjem postojećih transformatora 35(30)/10kV, a ne nabavkom novih jedinica specijalne izvedbe koje se izrađuju komadno.

Za potrebe međutransformacije 20/10kV mogu idealno poslužiti transformatori 35/10kV nazivne snage 2.5MVA do 8MVA u spoju namota YN,d5 nepodesnom za izravno uzemljenje zvjezdišta 10kV mreže preko otpornika. Tih transformatora, koji su se počeli proizvoditi 70-ih godina, nakon što se pročulo da će se prići otpornom uzemljivanju mreža 35(30)kV, danas ima u većini DP-ova.

Prespajanjem njihovog 35kV namota iz zvijezde u trokut dobiva se na najjeftiniji mogući način transformator prijenosnog omjera $21.218 \pm 2 \times 2.5\%$ /10.5kV u spoju D,d0. Tako prespojen transformator prikladan je za povezivanje 10kV i 20kV mreža jednakog faznog pomaka vektora napona (*grupa 0 - grupa 0 ili grupa 5 - grupa 5*).

U slučaju povezivanja mreža 10kV i 20kV koje imaju međusobni pomak vektora napona od 150° (*grupa 5*) neophodno je za međutransformaciju nabaviti novi transformator 20/10kV u spoju D,y_n5 ili u nekom slobodnom transformatoru 35(30)/10kV iste grupe spoja 35(30)kV namot zamijeniti odgovarajućim 20kV namotom. To je zbog radikalnog zahvata u aktivni dio transformatora, dakako, daleko skuplje rješenje od znatno jednostavnijeg i neusporedivo jeftinijeg prespajanja primarnog namota iz zvijezde (35kV) u trokut (20kV). Taj zahvat može se relativno lako izvesti za lijepa i suha vremena i u TS bez skupog odvoženja transformatora u traforadionicu ili tvornicu.

Takvim pristupom omogućuje se uz relativno male troškove prespajanja primarnog namota potpuno iskorištenje većeg broja transformatora 35/10kV izvedenih u spoju YN,d5. U prijelaznom periodu oni se u spoju D,d0 uz prijenosni omjer $21.218 \pm 2 \times 2.5\%$ /10.5kV mogu koristiti za potrebe međutransformacije 20/10kV, što nedvojbeno doprinosi znatno bržem i racionalnijem prijelazu na napon 20kV.

9. IZVEDBA UZEMLJENJA ZVJEZDIŠTA 10kV I 20kV MREŽA

Usvajanjem direktne transformacije 110/X kV u spoju YN,d5 više nije moguće uobičajeno izravno uzemljenje zvjezdišta X kV mreže preko otpornika. Stoga bi kao tipizirano rješenje za uzemljenje X kV mreže trebalo u buduće svim TS 110/X kV predvidjeti oblikovanje umjetnog zvjezdišta. Ono se može realizirati na jedan od slijedećih načina:

- prvenstveno preko transformatora vlastite potrošnje u spoju ZN,y_n5 s izvedenim zvjezdištem X kV namota ili alternativno
- preko zasebne trofazne prigušnice za pridobivanje umjetnog zvjezdišta u ZN spoju.

Na umjetno oblikovano zvjezdište priključuje se na uobičajen način preko sklopnog aparata otpornik za uzemljenje X kV mreže odgovarajuće nazivne struje - najčešće 150A i 300A.

Da bi se moglo oblikovati umjetno zvjezdište trebalo bi u tipiziranoj TS 110/35/10(20)kV modificirati usvojenu jednopolnu shemu 10(20)kV postrojenja tako da svaka sekcija sabirnica ima transformator vlastite potrošnje u spoju ZN,y_n5. Time bi se postigao kontinuitet uzemljenja 10(20)kV mreže u slučaju radova ili kvara na jednom od polja transformatora vlastite potrošnje čiji VN namot ujedno služi za pridobivanje umjetnog zvjezdišta.

U TS 35/10kV i TS 35/20kV u kojima se zbog zadržavanja postojećeg faznog pomaka sekundarnog napona od 150° (*grupa 5*) preferira primjena transformatora u spoju D,y_n5 zvjezdište je uvijek dostupno pa se po potrebi može izravno uzemljiti na uobičajen način preko zvjezdišnog otpornika odgovarajuće nazivne struje.

Ukoliko se u nekoj TS 35/10kV nalazi transformator u spoju YN,d5 nepodesnom za uzemljenje zvjezdišta valjalo bi ga prije prijelaza na napon 20kV zamijeniti transformatorom u spoju D,y_n5 i zatim ga primarno prespojiti na 20kV te ga dalje koristiti za međutransformaciju 20/10kV u spoju D,d0.

10. ZAKLJUČAK

Ukazano je na mogućnost jednostavne prespojivosti namota 35kV (y) u namot 20kV (d5) kod regulacijskih transformatora 110/35kV i transformatora 35/10kV. Taj relativno jednostavan zahvat moguće je izvesti uz određene uvjete i na mjestu ugradnje transformatora bez njegova odvoženja u tvornicu ili traforadionicu skopčanog s velikim troškovima.

Predloženom primjenom dva tipa sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora 110/35(20)/10kV i 110/10(20)kV značajno bi se smanjio broj izvedbi, postigla unificirana proizvodnja i niža cijena te mogao reducirati broj transformatora u pričuvi. Tim putem postiglo bi se prilikom prijelaza na napon 20kV:

- potpuno iskorištenje postojećih regulacijskih transformatora 110/35kV u spoju YN,yn0,d5 ili YN,yn0,(d) te transformatora 35/10kV u spoju YN,d5 do kraja tehnički opravdane životne dobi uz relativno male troškove prespajanja 35kV namota za napon 20kV na licu mjesta ili u tvornici,
- jednostavno prespajanje na mjestu ugradnje sekundarnog namota svih novih regulacijskih transformatora s 35kV na 20kV ili s 10kV na 20kV napon,
- jednake fazne pomake vektora napona postojeće 10kV mreže i dijela mreže koje je prešla na 20kV napon ili se napaja iz direktne transformacije 110/10kV u spoju Yn,d5 te
- relativno jeftino povezivanje 10kV i 20kV mreže preko međutransformacije 20/10kV u spoju D,d0 čime se dobiva mogućnost pogonskih manipulacija bez prethodnog isključenja napona.

Zbog navedenih razloga moguće je značajno ubrzati prijelaz na napon 20kV uz bitno niže troškove u odnosu na postojeću dugoročnu strategiju prijelaza zacrtanu u **HEP-u** prije dvadesetak godina, koja je investicijski odviše zahtjevna i stoga sve manje primjerena današnjim uvjetima poslovanja **HEP-a**.

Stoga aspekta trebalo bi kritički preispitati postojeće odluke i idejna rješenja o prijelazu na direktnu transformaciju u okviru pojedinih DP-ova te, gdje god je moguće i opravdano, odustati od daljnje realizacije transformacija 110/20kV ili 110/10kV u spoju YN,yn0,d bez zakreta vektora izlaznih napona (*grupa 0*) koji nisu fazno kompatibilni s vektorima napona u postojećim 10kV mrežama (*grupa 5*). U tom smislu valjalo bi preraditi već gotove projekte TS 110/X kV u pogledu izbora regulacijskog transformatora i načina otpornog uzemljenja zvjezdišta 10kV i 20kV mreža.

U tom duhu trebalo bi što prije izraditi **Tehničke uvjete** za nabavu novih sekundarno prespojivih regulacijskih transformatora 110kV te prema tim kriterijima usmjeriti popravke i revitalizaciju postojećih regulacijskih transformatora kako bi se u narednom periodu uz relativno male troškove dobilo što više prespojivih jedinica prikladnih za prijelaz na napon 20kV.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakva su dosadašnja iskustva u primjeni direktne transformacije 110/10kV i 110/20kV u spoju YN,yn0,d koja se interpolira u postojeći tronaponski sustav 110/35(30)/10kV čiji su vektori 10kV napona fazno pomaknuti za 150° prema vektorima izlaznog napona direktne transformacije?
2. Koji regulacijski transformatori 110/35kV i uz koje uvjete bi se mogli sekundarno prespajati s 35kV (yn0) na 20kV (d5) na mjestu ugradnje ili skladištenja?
3. Zbog kojih se razloga tercijar regulacijskih transformatora danas u **HEP-u** vrlo rijetko koristi za napajanje 10kV distributivnih i industrijskih mreža?
4. Kakva su dosadašnja iskustva korištenja transformatora vlastite potrošnje u ZN,yn5 spoju u funkciji oblikovanja umjetnog zvjezdišta?

