

PRIMJENA ZAŠTITNIH ISKRIŠTA SA STRUJNIM OGRANIČENJEM U CILJU POBOLJŠANJA POGONSKE SIGURNOSTI SREDNENAPONSKIH NADZEMNIH VODOVA

SAŽETAK

Nadzemni vodovi s izoliranim vodičima u srednjenaponskim distributivnim mrežama postaju sve popularniji budući da predstavljaju jedan ekonomičan način povećanja pouzdanosti. Neki od najčešćih razloga pogonskih ispada u neizoliranim mrežama kao što su pad drveta, međusobni dodir vodiča i kontakt malih životinja mogu se izbjeći. Međutim, preskoci na izolatorima uslijed atmosferskih prenapona mogu uzrokovati topljenje vodiča što ovisi o struji greške u mreži i vremena potrebnog za automatsku eliminaciju greške, budući da luk koji slijedi prateću struju mreže, ne može putovati duž voda kao kod vodova sa golim vodičima.

Jedno od mogućih rješenja ovome je korištenje zaštitnih iskrišta sa strujnim ograničenjem tik do izolatora kao bypass za struju atmosferskog pražnjenja. Zbog elementa koji ograničava struju, amplituda prateće struje mreže se održava niskom tako da se luk sam gasi sa slijedećim prolazom sinusoide napona kroz prirodnu nulu. Sada nije potrebno automatsko ponovno ukapčanje mreže.

Da bi se postigla najbolja korist od zaštitnih iskrišta važno je razumjeti različite mehanizme nastanka pratećih struja za trajanja direktnih udara munje i induciranih prenapona. Nadalje oblik stupova, uzemljenje poprečnih konzola itd. imaju također utjecaja na ponašanje ovog mehanizma. U ovom članku dat je kratak pregled čimbenika o kojima treba voditi računa kod korištenja zaštitnih iskrišta sa strujnim ograničenjem. Objašnjava se zašto je područjima gdje je vjerojatnost direktnih udara vrlo visoka i gdje je otpor uzemljenja poprečnih nosača visok potrebno postaviti više zaštitnih iskrišta nego u područjima gdje se pojavljuju preskoci uslijed induciranih prenapona. Nadalje, objašnjen je utjecaj otpora uzemljenja na veličinu područja koje je zahvaćeno direktnim atmosferskim pražnjenjima.

Ključne riječi

Nadzemni vodovi s izoliranim vodičima, srednjenaponske mreže, pouzdanost, ekonomičnost, preskok na izolatoru, atmosferska pražnjenja, iskrišta sa strujnim ograničenjem, prateća struja mreže, direktni udari groma, inducirani prenaponi, oblik stupa, otpor uzemljenja.

THE APPLICATION OF CURRENT LIMITED ARCING HORNS TO PROVIDE INCREASED RELIABILITY OF INSULATED OVERHEAD LINES IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEMS

SUMMARY

Insulated overhead lines in medium voltage distribution systems are becoming more and more popular as they present an economic way to provide increased reliability. Some of the main causes of power outages in bare conductor systems like falling trees, conductor clashing and small animals can be eliminated. However flashovers of insulators due to lightning activities may cause melting of the conductor depending on the fault current of the distribution system and clearing time of the auto recloser because the arc of the power follow on current does not travel along the line as with bare conductors.

One possible solution to this is to use current limited arcing horns close to the insulators as a bypass for the lightning discharge current. Due to the current limiting element the amplitude of the power follow on current is kept low so that the arc self-extinguishes with the next zero-crossing of the power frequency voltage. No auto recloser operation is needed.

In order to reach the highest benefit from those arcing horns it is important to understand the different mechanisms during direct lightning strikes and induced overvoltages both initiating power follow on currents. Further the design of poles, the earthing of crossarms and so on have an impact on the behaviour as well. In this paper we give a brief overview on what has to be considered when arcing horns with current limiting elements are to be used. We explain why in areas where direct lightning strikes are very likely to happen and the grounding resistance of the cross arm tends to be high more arcing horns have to be placed than in areas where we only observe flashovers due to induced overvoltages. Further the influence of the grounding resistance on the size of the affected area during direct strikes is explained.

Key words

Insulated overhead lines, medium voltage distribution systems, reliability, economy, flashover of insulator, lightning discharge, current limited arcing horns, power follow on current, direct lightning strikes, induced overvoltages, design of poles, grounding resistance.

1. UVOD

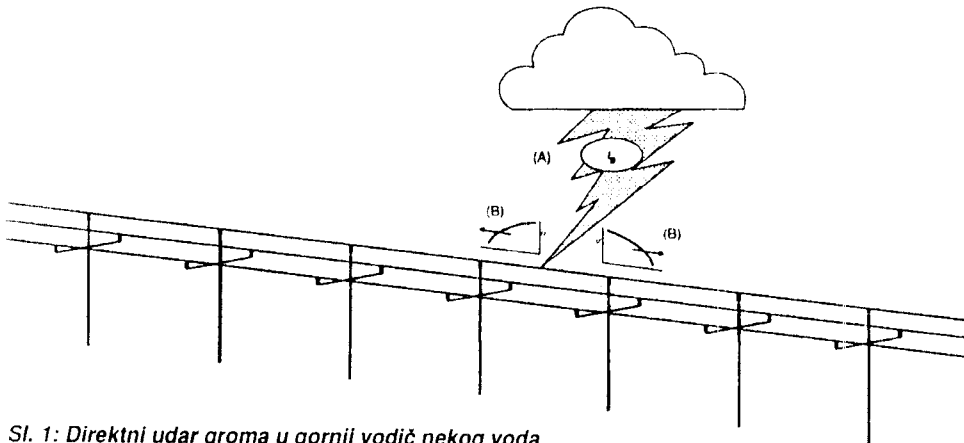
Prenaponi koje susrećemo u sredjenaponskim distributivnim mrežama po svom nastanku mogu biti različitog porijekla: od sklopnih prenapona pa do direktnog ili indirektnog udara groma u dalekovode ili postrojenja. Radi oblika i brzine širenja vala, te njegove amplitude, atmosferski prenaponi dovode do maksimalnih naprezanja unutarne i vanjske izolacije i zato predstavljaju osnovu koordinacije izolacije, a ujedno presudno utječu na funkcionalnost i pouzdanost distributivnih mreža.

Zato daljnjim razvojem i usavršavanjem mreža dolazi do napretka i u njihovom šticeanju od prenapona. Tako smo početkom ovog desetljeća bili svjedoci naglog uvođenja metaloksidnih odvodnika prenapona i njihovih rezultata u dijelu prenaponske zaštite i koordinacije izolacije. Uvođenje novih konceptijskih rješenja nadzemnih vodova uz korištenje izoliranih vodiča u cilju još veće pogonske sigurnosti, traži odgovarajuću prenaponsku zaštitu uzimajući u obzir sva do sada stečena iskustva na tom području.

Razmotriti ćemo ovdje nekoliko izvedbi sredjenaponskih nadzemnih vodova, s obzirom na ponašanje prilikom nastanka atmosferskih prenapona. Cilj je pokazati mogućnosti i načine rada iskrišta sa strujnim ograničenjem za nekoliko osnovnih konfiguracija nadzemnih vodova, u svrhu poboljšanja pogonske sigurnosti. Zaštitno uže za šticeanje od direktnog udara u fazne vodiče neće ovdje biti razmatrano, budući da se ovakvi slučajevi rijetko primjenjuju. Osim toga, njihov način rada moći će se lako izvesti iz datih primjera rasporeda vodiča.

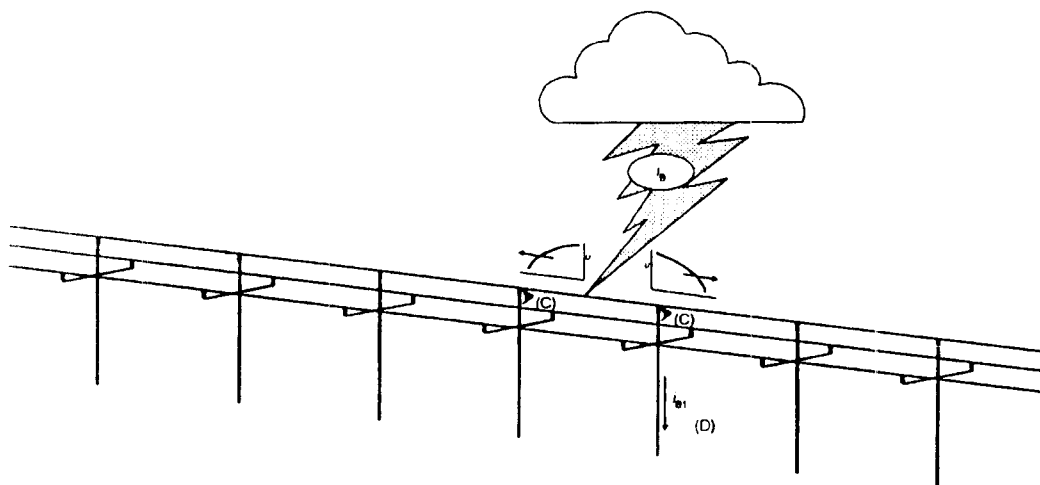
2. DIREKTNI UDAR GROMA U JEDAN OD VODIČA NADZEMNOG VODA

Kod direktnog udara (A) u vod nastaju 2 prenaponska vala (B) u pogodnom vodiču, a koji se šire u dva suprotna smjera (Sl.1). Ako dođe do udara u samo jedan vodič tada će se u nepogođenim vodičima također generirati prenaponski valovi putem kapacitivne i induktivne veze. Ove amplitude su u usporedbi sa amplitudom direktnog prenapona, znatno niže. U sljedećim razmatranjima biti će obrađivan samo ovaj slučaj, budući da se istovremeni direktni udar u dva ili više vodiča može iz toga lako izvesti.



Sl. 1: Direktni udar groma u gornji vodič nekog voda

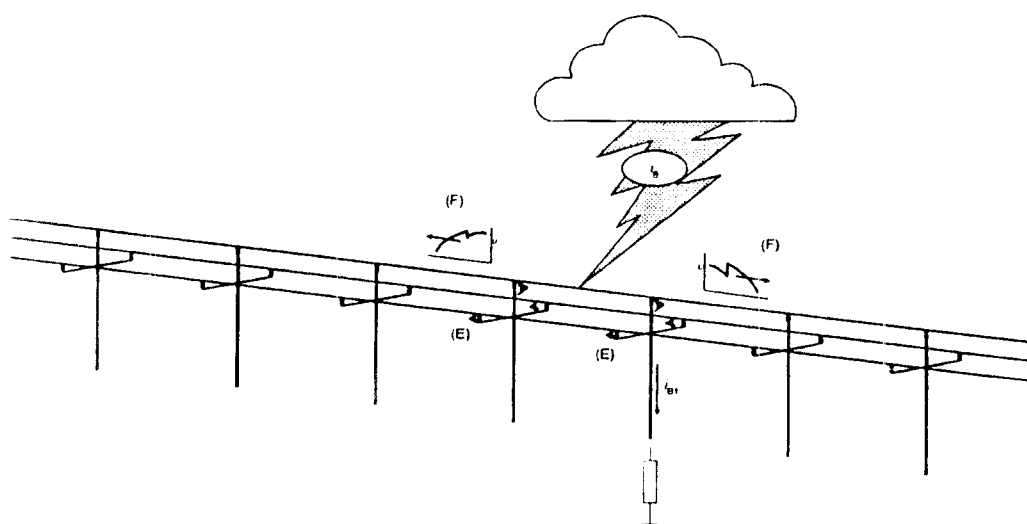
Na izolatore direktno pogođenog vodiča, lijevo i desno od mjesta udara, nailaze prenaponski valovi, koji ovisno o visini struje groma dovode do preskoka (C) (Sl. 2). Preskok će nastati tamo gdje električna čvrstoća izolatora leži ispod električne čvrstoće zračnog razmaka između vodiča. Ukoliko su stupovi uzemljeni, teče dio struje groma u zemlju (D). Potencijal glave stupa će radi ograničene vrijednosti udarnog otpora uzemljenja stupa, znatno porasti. Što je veća odvodna struja i što je veći udarni otpor uzemljenja stupa, to će biti veći i porast ovog potencijala.



Sl. 2: Preskoci na izolatorima lijevo i desno od mjesta udara groma u vod

Budući da je ovo povećanje potencijala na vrhu stupa gotovo uvijek iznad izolacijske čvrstoće izolatora, dolazi do tzv. povratnog preskoka prema oba, do sada samo indirektno pogođena vodiča (E) (Sl. 3). Amplituda prenaponskog vala se i dalje smanjuje, budući se struja groma sada raspoređuje na više vodiča.

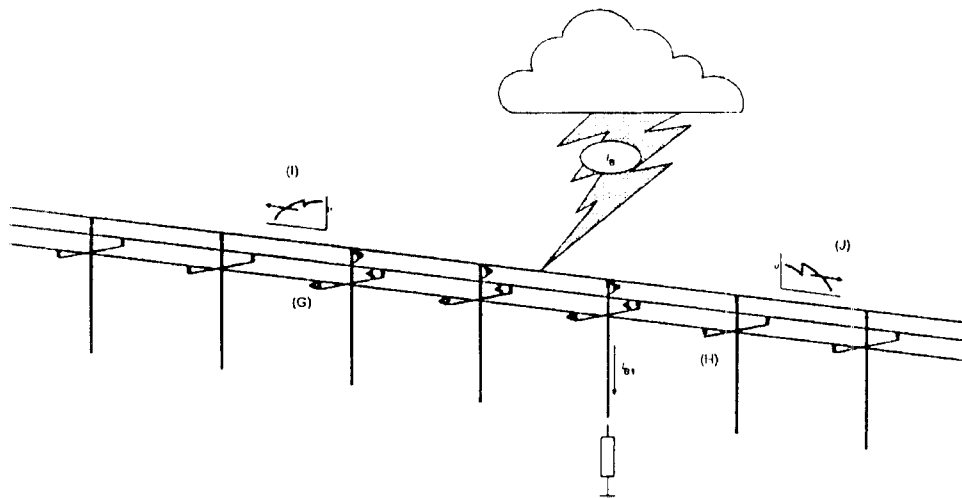
U slučaju kada je vod sagrađen na drvenim stupovima koji imaju visoku dielektričku čvrstoću, amplitude prenaponskih valova će biti relativno visoke, jer neće postojati mogućnost odvoda struje u zemlju, već preostaje jedino razdioba struje groma na više vodiča.



Sl. 3: Povratni preskoci na izolatorima i pripadajući putujući prenaponski valovi

Povećanje potencijala određuju amplitude putujućih prenaponskih valova (F), koji ovisno o visini mogu dovesti do preskoka na slijedećim stupovima. Koliko će daljnjih stupova biti pogođeno preskocima na izolatorima ovisi o više faktora.

Jedan od njih je amplituda struje groma na mjestu udara, te vrijednost udarnog otpora uzemljenja stupova koji odvede prema zemlji. S druge strane, vrsta stupova utječe na širenje prenaponskih valova. Pogode li prenaponski valovi na dobro uzemljene stupove, uslijediti će odvođenje ukupne struje groma na nekolicini susjednih stupova (2-5 stupova). Što god je otpor uzemljenja stupova veći, toliko će više stupova uz istu amplitudu struje groma biti zahvaćeno preskocima (G-X) (Sl. 4 i 5). Područje koje je pogodeno gromom širi se vodom i dalje, ako seupogodеноm području nalaze samo neuzemljeni drveni stupovi. Doduše, može doći do već opisanih preskoka između faznih vodiča, čime se reducira amplituda prenaponskog vala, ali ipak ne dolazi do odvođenja struje groma prema zemlji.

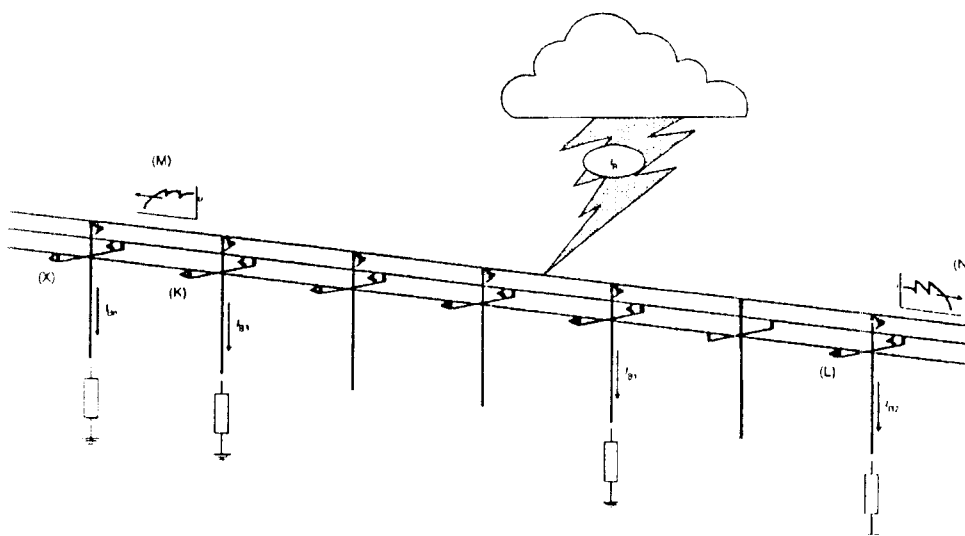


Sl. 4: Povratni preskoci na susjednim stupovima i pripadajući putujući prenaponski valovi

Područje zahvaćeno preskocima na jednom vodu proteže se stoga sve dok:

- amplituda struje odvoda na rubnim dijelovima područja nije pala toliko da povećanje potencijala stupa ostane ispod naponske čvrstoće svih nadolazećih izolatora
- ili
- amplituda prenaponskih valova, iz razloga razdiobe struje groma na više vodiča, ostane ispod naponske čvrstoće svih nadolazećih izolatora.

Na kraju voda, se sva struja groma koja nije odvedena, putem odvodnika prenapona odvodi u zemlju, do visine preostalog napona odvodnika.

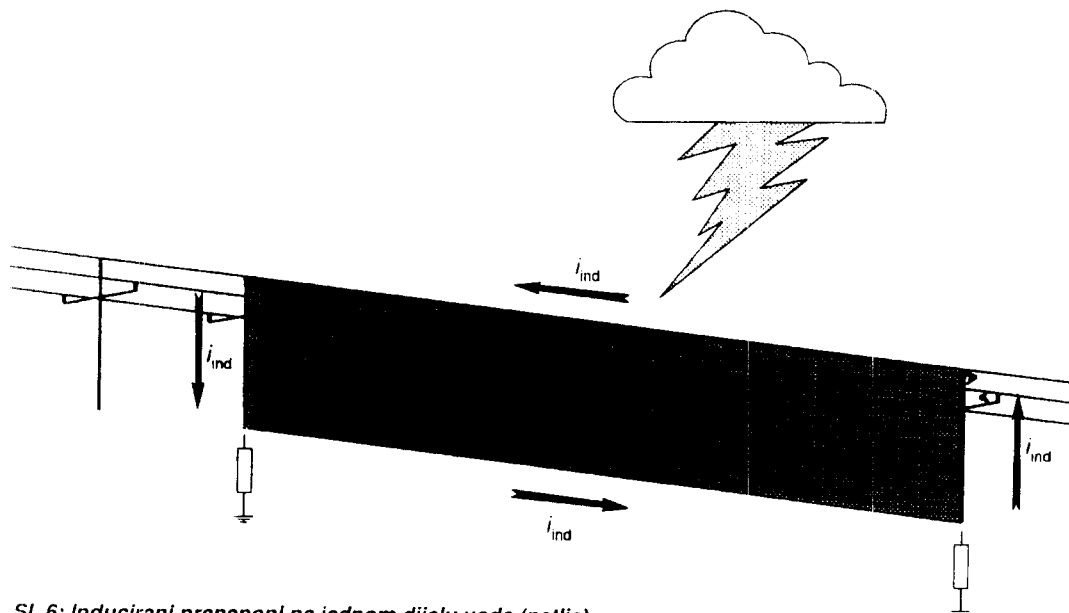


Sl. 5: Različito širenje putujućih prenaponskih valova

3. INDUCIRANI PRENAPONI UDAROM U BLIZINI VODA

Za razliku od direktnih udara groma, amplitude induciranih prenapona na svim vodičima gotovo su jednako visoke (Sl. 6). Nadalje, amplitude su sveukupno gledano manje, jer prenaponi nastaju samo putem kapacitivnih i induktivnih veza. One stoga opadaju sa udaljenošću između mjesta udara i voda (uz pretpostavku jednakih parametara struje groma). Također su i strmine prenaponskih valova za udaljene vodove u pravilu manje nego kod direktnih udara.

Budući da su prenaponi u svim vodičima gotovo jednako visoki, vrlo je mala vjerojatnost nastanka preskoka na izolatorima kod ne uzemljenih drvenih stupova i drvenih poprečnih konzola kao nosača izolatora. Kod drvenih stupova, ali sa metalnom poprečnom konzolom kao nosačem izolatora, vjerojatnost nastanka preskoka na izolatorima nešto je veća, budući da je izolaciona udaljenost između vodiča sada reducirana na samo preskočni razmak između samih izolatora. Kod uzemljenih poprečnih metalnih konzola, vjerojatnost nastanka preskoka je visoka do vrlo visoka, ovisno o visini struje gorma i udaljenosti udara groma od voda.



Sl. 6: Inducirani prenaponi na jednom dijelu voda (petlja)

Uslijed manje strmine induciranih atmosferskih prenapona i malih međusobnih razlika u električnoj čvrstoći izolatora, preskok ne mora nužno uslijediti na mjestu na kojem prenaponski val dolazi do prvog izolatora. Posve je mogući slučaj, da preskok uslijedi na jednom od slijedećih stupova, jer tamo npr. jedan od izolatora posjeduje niži preskočni napon.

Povratni preskoci na izolatorima, uzrokovani porastom potencijala uslijed odvodne struje, su kod induciranih atmosferskih prenapona vrlo rijetki. Dođe li ipak do preskoka na jednom od izolatora, preostali vodiči će reducirati prenapon induciran strujom odvoda (Lenzovo pravilo). Nadalje, potencijal poprečne konzole će porast i time rasteretiti izolacijsku stazu drugih izolatora na istom stupu.

4. PRATEĆE STRUJE MREŽE

Preskoci izolatora dovode do jednopolnog dozemnog spoja ili do višepolnih kratkih spojeva na vodu. Prateće struje nazivne frekvencije mreže, koje u tom slučaju teku, moraju se u pravilu ugasiiti djelovanjem APU-a. Samo kod drvenih stupova sa poprečnim drvenim konzolama postoji mogućnost da se prateće struje iz razloga dugačke staze električnog luka po drvenoj površini stupa, ugase same od sebe. Kod metalnih konzola ili konzola koje sadrže metal (npr. betonske) ovo u pravilu nije slučaj. Bez iskapčanja dotičnog dijela mreže električni luk se ne bi ugasio, a dozemni ili kratki spoj bi i dalje ostao. Dođe li pri tome do stacionarnog električnog luka, mogu nastati oštećenja izolatora ili se u nožištu električnog luka mogu istopiti vodiči.

5. UTJECAJ IZVEDBE VODA NA PONAŠANJE KOD DIREKTNIH I INDUCIRANIH ATMOSFERSKIH PRENAPONA

5.1 Pretežno neuzemljeni drveni stupovi

Odvođenje struje groma prema zemlji kod direktnih udara u vod s pretežno neuzemljenim drvenim stupovima, uslijedit će (ukoliko ne nastupe preskoci preko čitavog stupa prema zemlji), samo na uzemljenim stupovima i na krajevima preko odvodnika prenapona. To znači, da posljedicama udara groma može biti pogodeno razmjerno široko područje voda. To je osobito slučaj kada povećanje potencijala glave stupa iz razloga visokih struja groma ili visokog udarnog otpora uzemljenja, postane tako visoko da putujući prenaponski valovi dovode na slijedećim, uzemljenim stupovima također do preskoka izolatora. Sa rastućom udaljenošću od mjesta udara smanjuje se ipak vjerojatnost za preskoke, budući da dolazi do prigušenja amplitude prenapona, uslijed gubitka uzrokovanih koronom.

Na neuzemljenim drvenim stupovima javljaju se preskoci u blizini mjesta udara, koji struju groma distribuiraju i na ostale vodiče u vodu. Promijeni li se u daljnjem prolazu vodom oblik ili amplituda prenaponskog vala iz razloga različitih jakih gušenja, utjecaja sprega ili gubitaka uslijed korone, može doći do preskoka i na daljnjim neuzemljenim stupovima.

Ako je i poprečna konzola drvena, tada je preskočni razmak u usporedbi sa metalnom konzolom znatno veći i zbog toga su preskoci nešto manje vjerojatni. Ipak, dolazi još uvijek često do kliznih preskoka između faza duž poprečne konzole. Zbog dužeg puta električnog luka dolazi do njegovog bržeg gašenja, zbog čega kod neuzemljenih drvenih stupova sa poprečnim drvenim konzolama usprkos kliznom preskoku ne dolazi do pojave prateće struje mreže. Ukoliko je poprečna konzola metalna, od početka se nalazi gotovo na potencijalu zemlje, tako da se preskok i povratni preskok pojavljuju kako je već opisano.

Kod prenapona uzrokovanih direktnim udarom u dionicu voda sa pretežno neuzemljenim stupovima, vjerojatnost preskoka na fazne vodiče je relativno niska.

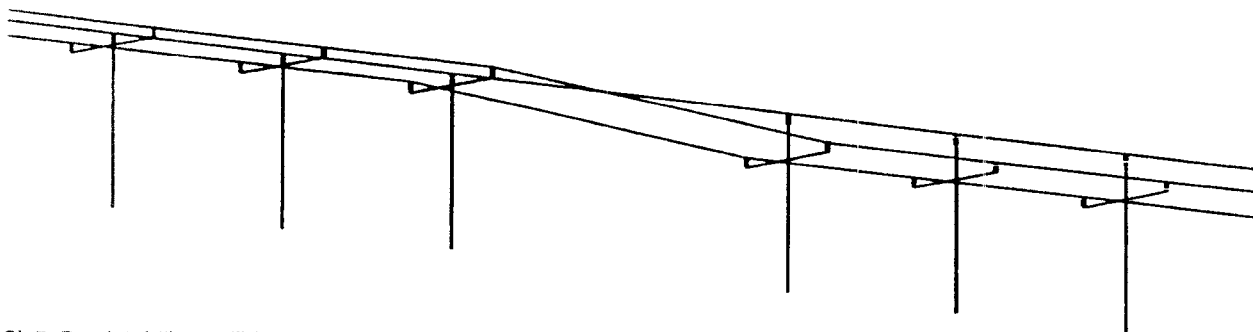
Kod induciranih prenapona u dionici voda sa pretežno neuzemljenim drvenim stupovima dolazi do odvođenja struje također samo na uzemljenim stupovima i odvodnicima na kraju voda. Budući da se inducirani prenaponi veoma malo razlikuju između faza i da su im amplitude također manje, vrlo je mala vjerojatnost preskoka osobito kod stupova sa poprečnim drvenim konzolama.

5.2 Pretežno dobro uzemljeni drveni, betonski ili čelično-rešetkasti stupovi

U dionici voda sa pretežno uzemljenim ili što više, dobro uzemljenim stupovima, u blizini dolazi do odvođenja struje groma prema zemlji u jednom prostorno ograničenom području, budući da u blizini za odvođenje struje na raspolaganju stoji više stupova. Stoga nastaje jedno usko ograničeno područje zahvaćeno preskocima na izolatorima. Kod indirektnih atmosferskih prenapona još je manje prostorno širenje područja zahvaćenog preskocima na izolatorima, budući da su i amplitude struje odvoda manje.

5.3 Raspored vodiča na glavi stupa

Kod delta rasporeda vodiča na glavi stupa (sl. 7), u pravilu grom pogađa gornji (najviši) vodič. Prema elektrogeometrijskom modelu proizlazi da je vjerojatnost udara groma u ostala dva vodiča izbjegnuta ukoliko je zaštitni kut ispod 40° , a visina stupa ne prelazi 15 m. Prekoračuje li stvarna geometrija navedene vrijednosti, tada je i manje zaštitno djelovanje za ostale vodiče.



Sl. 7: Paralelni ("gama") i trokutni ("delta") raspored vodiča na stupu

Inducirani atmosferski prenaponi su veći u gornjem vodiču u odnosu na one koji je induciraju u donjim vodičima. Pod pretpostavkom da svi izolatori na jednom stupu posjeduju jednak preskočni napon prema zemlji, veća je vjerojatnost da nastane preskok na izolatoru gornjeg vodiča. Ovo je u pravilu slučaj samo kod uzemljenih stupova. Kod neuzemljenog drvenog stupa sa metalnim konzolama, kod kojeg gornja konzola nije povezana sa donjom konzolom, može nastati preskok i na drugim izolatorima unatoč manjem naponu. Drugačije negoli kod paralelno raspoređenih vodiča, u ovom se slučaju može očekivati kratki spoj između faznih vodiča iz razloga različito visokih prenapona.

6. IZBJEGAVANJE PRATEĆE STRUJE IZ MREŽE U SVRHU POBOLJŠANJA POGONSKE SIGURNOSTI

6.1 Nadzemni vodovi s neizoliranim vodičima

Kao što je već prethodno spomenuto, prateće struje iz mreže gase se kratkim iskapčanjima mreže i uz pomoć prekidača (APU). Doduše, prekidač je tako dimenzioniran da ne dolazi do njegovog oštećenja kod prekidanja struja kratkog spoja, ali ipak treba dosta utrošiti na održavanje kako bi vitalnost prekidača zadržali kroz duže vrijeme. Izbjegavanjem prateće struje iz mreže moguće je reducirati broj kratkih iskapčanja i pri tome sačuvati prekidač. Troškovi održavanja prekidača se smanjuju, produžuje se životni vijek i povećava pogonska sigurnost.

6.2 Nadzemni vodovi s izoliranim vodičima

Ukoliko kratka iskapčanja u mreži ne promatramo kao ometajuće ili toleriramo zahtjeve za održavanjem prekidača, možemo se kod neizoliranih vodova odreći zaštitnih uređaja koji ograničavaju prateću struju iz mreže. Drugačije je kod korištenja izoliranih vodiča. Ovdje jednom stvoreni električni luk između faznih vodiča uzrokovan pratećom strujom iz mreže ne putuje vodom kao kod neizoliranih vodiča, već ostaje stacioniran. Ako se u ovom slučaju prateća stuja ne iskapča dovoljno brzo ili na jednom određenom mjestu dolazi češće do preskoka, tada može doći do taljenja vodiča u nožištu električnog luka i njegovog padanja na zemlju. U svakom slučaju, dolazi do oštećenja izolacije vodiča i prodiranja vlage u vodič što ima za posljedicu nastajanje korozije i raspadanje aluminija na aluminijski hidrat. Obje stvari utječu time na pouzdanost sustava i vijek trajanja vodiča i predstavljaju neposrednu opasnost za ljude i životinje. Kako bi vodovi sa izoliranim vodičima mogli jamčiti jednu visoku pogonsku pouzdanost, potrebno je prateće struje iz mreže ili potpuno izbjeći, vrlo brzo isključiti ili "preseliti" na nekritične dijelove kao što su iskrišta.

6.3 Zaštitno uže kao zaštita od direktnih udara

Dodatno zaštitno uže može doduše spriječiti direktni udar u vodiče. Iz razloga porasta potencijala glave stupa dolazi ipak u pravilu do povratnih preskoka na izolatorima, pa stoga ne možemo izbjeći gorenje električnog luka koji je podržavan naponom mrežne frekvencije.

Kod induciranih atmosferskih prenapona zaštitno uže može prigušiti amplitudu prenapona i već prema visini neprigušenog prenapona spriječiti preskok na izolatoru. Prigušenje je kod bliskog udara svakako premalo da bi se na ovaj način moglo pouzdano izbjeći prateće struje iz mreže.

6.4 Odvodnici prenapona bez iskrišta kao zaštita nadzemnih vodova

Dok zaštitno uže sprečava direktne udare groma u fazne vodiče, odvodnici bez iskrišta ograničavaju prenapon na gotovo sigurnu razinu. Ukoliko bi svi izolatori bili opremljeni odvodnicima prenapona, a preostali naponi odvodnika ispravno odabrani, preskoci na izolatorima i prateće struje iz mreže mogli bi se vrlo pouzdano suzbiti. Prednost jednog tako zaštićenog voda je u tome što se struja groma prema zemlji odvodi kroz više odvodnika. Nedostatak je u tome što odvodnici za cijelo vrijeme rada moraju biti izloženi maksimalnom pogonskom naponu mreže. Zbog toga su oni razmjerno skupi iako bi se istovremeno mogli odabrati odvodnici sa nižom nazivnom strujom. Uzemljenje odvodnika, još više poskupljuje cjelokupnu instalaciju odvodnika prenapona.

6.5 Iskrišta sa strujno ograničavajućim elementima

Jeftinije rješenje za suzbijanje prateće struje iz mreže predstavljaju zaštitna iskrišta sa elementima koji ograničavaju protok prateće struje mreže. Zadaća zaštitnog iskrišta je da u normalnom pogonu drži izolirano odvodnik prenapona od napona mreže. Budući da iskrište ipak ne može samo gasiti prateću struju, potreban je zato još jedan element - linijski odvodnik prenapona.

Njegova zadaća je da prateću struju ograniči, tako da se električni luk prateće struje gasi sam od sebe bez iskapčanja mreže. Gašenje luka pri tome slijedi unutar polovine periode mreže i to već prije prolaza napona kroz prirodnu nulu, tako da ostane dovoljno vremena za uspostavljanje naponske čvrstoće između elektroda iskrišta. Kako za vrijeme odvođenja prenapona narinuti napon na izolatoru ne bi prouzročio njegov preskok, otpornik mora posjedovati dovoljno niski preostali napon. Oba uvjeta su pouzdano ispunjena u konstrukciji zaštitne naprave prikazane crtežom u Prilogu 9.4.

Usljed pojava koje uzrokuju atmosferski prenapon i na vodovima potrebno je kod primjene iskrišta sa strujnim ograničenjem obratiti pažnju da se preskoci pojavljuju samo na mjestima predviđenim u tu svrhu. Da bi postigli pouzdanu zaštitu voda odnosno njegove dionice, potrebno je unutar ugroženog područja opremiti zaštitnim iskrištima sve stupove kod kojih se može pojaviti preskok čiju vrijednost ne treba zanemariti. Ako iz ekonomskih razloga nije moguće opremiti svaki stup, potrebna je tada procjena preskočnog rizika za nezaštićene stupove.

Također kod instalacije zaštitnih iskrišta možemo se odreći pojedinih uzemljenja, a da ne poremetimo funkciju samih zaštitnih naprava. Ipak treba pripaziti da se sva iskrišta na jednom stupu međusobno niskoomski povežu, te da se poveća područje koje treba štiti.

7. ODABIR MJESTA UGRADNJE

7.1 Područja sa visokim izokerauničkim nivoom i velikom vjerojatnošću direktnog udara u vod

Dugačke trase preko čiste, ravne površine sa malo drveća ili šuma u blizini trase.

Trase preko čiste, brežuljkaste površine, pri čemu trase prolaze uglavnom po obroncima brežuljaka ili visokim ogoljenim brdima.

Trase u dolini sa visokim izokerauničkim nivoom.

Svaki stup unutar takvog područja potrebno je u potpunosti opremiti sa zaštitnim iskrištem. Kako bismo omogućili odvođenje struje groma u zemlju, treba sve stupove uzemljiti. Već prema postignutom udarnom otporu uzemljenja, potrebno je zaštititi i rubne dijelove područja. Samo kod vrlo niskih otpora uzemljenja moguće se eventualno odreći zaštite rubnih područja.

Ukoliko neko područje posjeduje visoke specifične otpore uzemljenja tla, ulaganja u uzemljivač ne bi davala zadovoljavajući rezultat u smislu relativno niskog otpora uzemljenja stupa. U tom slučaju potrebno je sve izolatore na stupovima zaštititi sa zaštitnim iskrištima, kako bi se mogli kontrolirati povratni preskoci. Kod toga ne igra nikakvu ulogu dali je poprečna konzola od drveta ili metala. Samo na rubnim dijelovima područja moguće je kod drvenih stupova sa poprečnim konzolama od drveta, odustati od postavljanja zaštitnog iskrišta.

7.2 Područja sa visokim izokerauničkim nivoom i malom vjerojatnošću direktnog udara u vod

Dugačke trase preko ravnih površina, sa šumom, drvećima ili objektima u blizini trase.

Trase preko brežuljkastih terena, pri čemu trasa prolazi pretežno kroz ulegnuća ili doline ili je dobro zaštićena šumom.

Trase u dolini sa visokim izokerauničkim brojem, ali sa visokim stablima ili objektima u blizini.

Kod induciranih prenapona broj zaštitnih iskrišta koje treba instalirati u velikoj mjeri ovisi o konfiguraciji voda odnosno stupa. Stoga možemo ovdje prikazati samo nekoliko primjera. Općenito uzevši, potrebni je zaštititi barem svaki drugi do peti stup.

Ukoliko su uzemljeni svi stupovi u području koje treba zaštititi ili u najmanju ruku imaju čeličnu armaturu u sebi, trebalo bi svaki drugi do treći stup potpuno opremiti sa zaštitnim iskrištima. Ako su stupovi pretežno neuzemljeni sa "gama" oblikom glave te drvenim poprečnim konzolama, dovoljna je zaštita svakog četvrtog do petog stupa. Kod toga nije potrebno da svaki zaštićeni stup ima izvedeno svoje uzemljenje. Preporuča se ipak da svaki drugi zaštićeni stup ima izvedeno uzemljenje. Ukoliko ovo nije moguće, potrebno je više stupova opremiti sa zaštitnim iskrištima npr. svaki treći ili četvrti stup. Kod "delta" oblika glave stupa ili metalnih konzola, trebalo bi postavljati zaštitna iskrišta slično kao i kod uzemljenih stupova. Ovdje je također potrebno uzemljiti svaki drugi do treći zaštićeni stup.

Tako opremljena područja sa zaštitnim iskrištima potrebno je završiti sa dobro uzemljenim stupovima koje u svakom slučaju treba opremiti sa zaštitnim iskrištima. Samo kod vrlo velikih induciranih prenapona, koji se pojavljuju kod ekstremno bliskih udara sa visokom strminom i amplitudom struje, potrebno je eventualno ugraditi zaštitna iskrišta i na idućem stupu od kraja rubnog područja.

7.3 Područja sa srednje visokim izokerauničkim nivoom ali visokom vjerojatnošću direktnog udara u vod sa trokutastim ("delta") rasporedom vodiča

Kratke trase preko čiste, ravne površine sa malo drveća ili šume u blizini trase.

Trase preko čiste, brežuljkaste površine pri čemu prolaze obroncima brežuljaka ili visokim ogoljelim brdima.

Trase u dolini sa visokim izokerauničkim brojem.

Ukoliko se gornji vodič koristi kao zaštita za donje vodiče koji se nalaze ispod njega, moraju se ispuniti svi uvjeti koji su nužni za elektrogeometrijski model zaštitnog užeta. Udarni otpor uzemljenja mora biti dovoljno nizak, da povećanje potencijala glave stupa kod proticanja određene struje grome, ostane ispod električne čvrstoće izolatora. Nadalje, svaki stup treba uzemljiti i opremiti sa zaštitnim iskrištima.

Rubni krajevi štice področja ne moraju biti opremljeni sa zaštitnim iskrištima, budući da povećanje potencijala kod svih stupova unutar štice področja mora biti ispod vrijednosti električne čvrstoće izolatora kako bi se izbjegli povratni preskoci.

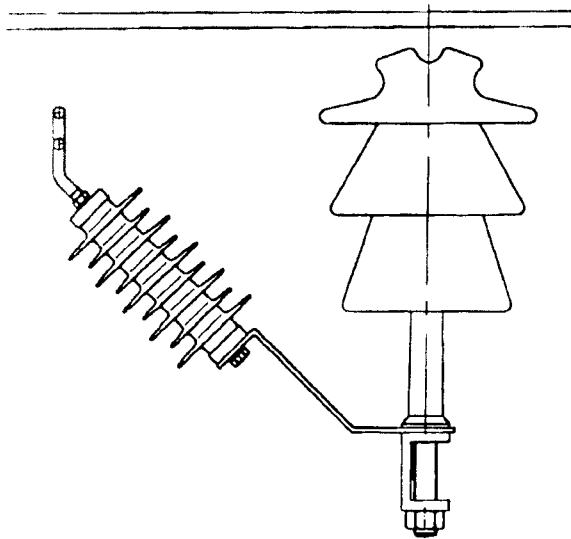
8. ZAKLJUČAK

Za ispravnu prenaponsku zaštitu u nadzemnim vodovima s izoliranim vodičima potrebno je u fazi projektiranja obraditi sve elemente koji su navedeni u ovom referatu, te na osnovu stvarnih podataka sa terena izvršiti odabir mjesta ugradnje zaštitnih iskrišta sa strujnim ograničenjem.

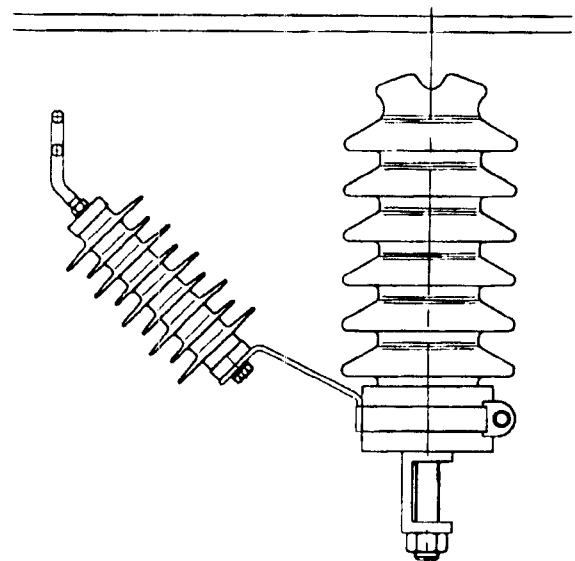
Također je potrebno snimati i pratiti grmljavinsku aktivnost na mjestima potencijalne izgradnje ovakvih vodova.

Za potpuno sagledavanje funkcionalne ispravnosti zaštitnih iskrišta bilo bi nužno na probnim poligonima, zajedno sa izgradnjom vodova ugraditi i ovakovu prenaponsku zaštitu te pratiti pogonska iskustva.

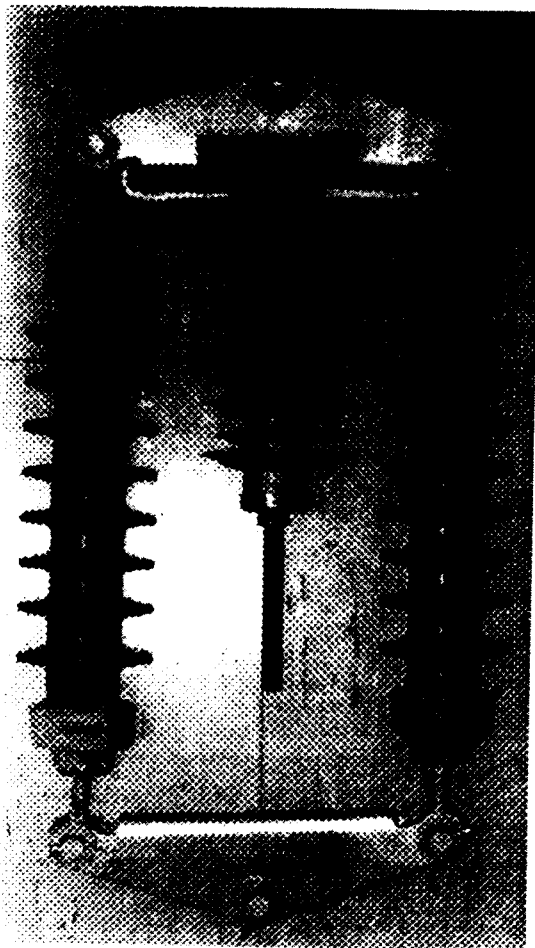
9. PRILOZI



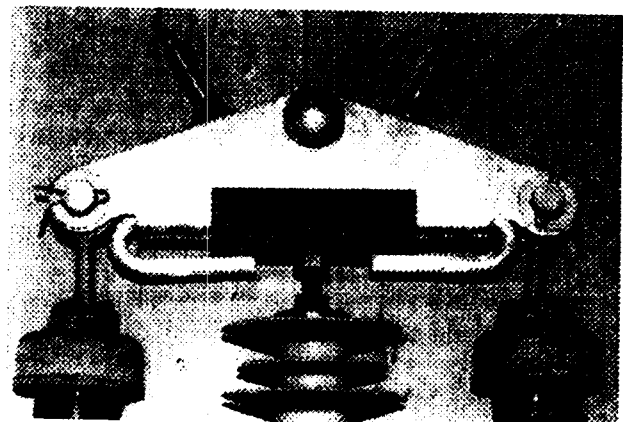
9.1 Ugradnja zaštitnog iskrišta kod VHD izolatora i neizoliranog nadzemnog voda, bez nasuprotne elektrode



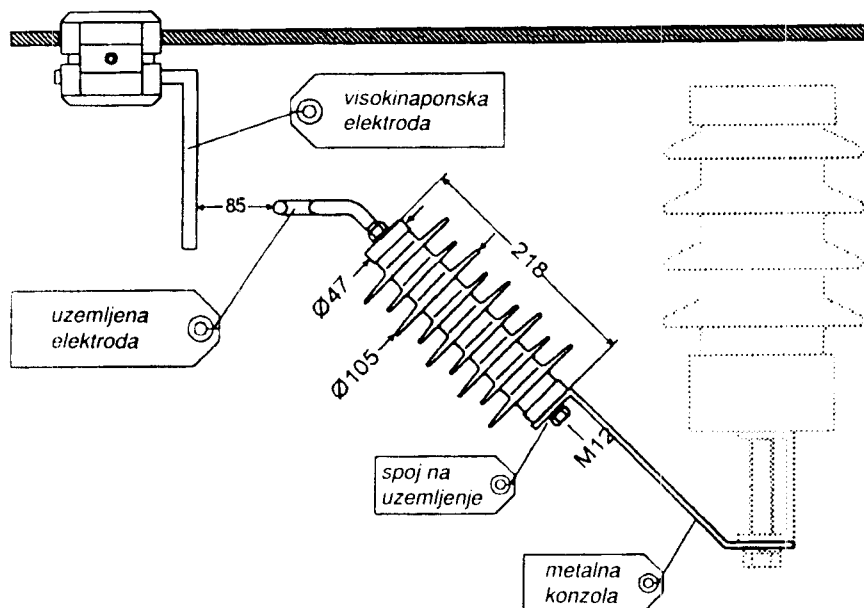
9.2 Ugradnja zaštitnog iskrišta kod izolatora i neizoliranog nadzemnog voda, bez nasuprotne elektrode



9.3 Prijedlog ugradnje zaštitnog iskrišta kod dvostrukog zateznog zavješanja (jednostavna elektroda "jaram-jaram")



9.3.1 Prijedlog montaže kao gore (detaljni pregled)



9.4 Montaža zaštitnog iskrišta CLX na jednom potpornom izolatoru, u kombinaciji sa zračnim iskrištem

- 9.5 Prijedlozi ugradnje zaštitnih iskrišta na tipska rješenja stupova (drveni, betonski, čelično-rešetkasti), rasporeda vodiča ("delta" ili "gama") te zavješnja (linijsko, linijski mehaničko pojačano, kutno mehaničko i elektroničko pojačano, zatezno električno i mehaničko pojačano) - dostavit će se naknadno u obliku tehničkih crteža, skica ili fotografija.

10. LITERATURA

1. M. Padelin: Tehnika visokih napona
2. I. Hrs: Tehnoekonomska opravdanost uvođenja metaloksidnih odvodnika prenapona u distributivne mreže
3. M. Puharić, L. Wagmann: Koordinacija izolacije u distribucijskim mrežama
4. M. Puharić, I. Hrs, V. Šimunović: Prenaponska zaštita niskonaponskih mreža
5. S. Banić, V. Ilijanić: Djelotvornost koordinacijskih iskrišta 220 kV ugrađenih u DV polja postrojenja, Časopis ENERGIJA 1996.
6. N. Mikli, Gary H. Wiseman: Metaloksidni odvodnici prenapona sa kućištem od umjetnih masa, Elektrizitätswirtschaft 1993.
7. E. Mihalek, S. Žutobradić: Uvođenje nadzemnih vodova 24 kV s izoliranim vodičima u distribucijsku mrežu HEP-a, 1996.
8. Bilteni HEP-a broj 17, 21, 58
9. Katalozi i tehničke informacije firme Raychem GmbH, Ottobrunn

Zagreb, ožujak 1998.

