

MODERNIZACIJA SISTEMA RELEJNE ZAŠTITE TRI 35 kV KABLOVSKA IZVODA KOJI POLAZE IZ TS 110/35 kV "NIŠ 3" A ZAVRŠAVAJU SE U TS 35/10 kV "CENTAR 2"

M. Mihailović, ED „Jugoistok“ d.o.o. Niš, Srbija
M. Vučković, ED „Jugoistok“ d.o.o. Niš, Srbija
D. Nikolić, ED „Jugoistok“ d.o.o. Niš, Srbija

UVOD

Distributivna mreža grada Niša se napaja električnom energijom preko šest trafostanica 110/X kV, koje se nalaze na obodu grada. Iz ovih trafostanica se napajaju trafostanice 35/10 kV preko kojih se dalje vrši distribucija električne energije. Svaka trafostanica 35/10 kV treba da ima obezbeđeno dvostrano napajanje bilo iz istog ili iz dva različita izvora. Većina trafostanica 35/10 kV, koje distribuiraju električnu energiju u užu centar grada, povezane su sa izvornom trafostanicom 110/35 kV preko dva 35 kV voda. Pored toga, u većini slučajeva zbog pouzdanosti i sigurnosti u radu postoje međusobne veze između trafostanica 35/10 kV. Ranijih godina napajanje trafostanica 35/10 kV se vršilo preko jednog 35 kV voda, dok je drugi 35 kV vod predstavljao rezervno napajanje. Sa povećanjem opterećenja pomenutih trafostanica neophodno je bilo da se za njihovo napajanje koriste dva 35 kV voda (koji moraju da polaze iz iste izvorne trafostanice 110/35 kV). U zavisnosti od toga da li se trafostanica napaja preko jednog ili dva voda u paralelnom radu postavke sistema relejne zaštite će se razlikovati.

U ovom radu je predstavljeno tehničko rešenje za sistem relejne zaštite i automatike za tri 35 kV kablovska voda koji polaze iz TS 110/35 kV "Niš 3", a završavaju se u TS 35/10 kV "Centar 2". Moguća su različita uklopna stanja ovih kablovskih vodova, pa su zbog toga potrebni različiti režimi rada sistema relejne zaštite. Uobičajeno uklopno stanje je takvo da dva kablovska voda rade u paralelnom radu, dok je treći u praznom hodu i predstavlja rezervno napajanje. Postojeća elektromehanička zaštita ne može da podrži sve varijante mogućih uklopnih stanja kablovskih vodova. Iz tog razloga i na osnovu raspoloživih sredstava planirana je modernizacija sistema relejne zaštite na razmatranim kablovskim vodovima u TS 110/35 kV "Niš 3". Za ovu modernizaciju primeniće se jedan mikroprocesorski relej za diferencijalnu zaštitu transformatora. Ovaj relej ima funkcije osnovnih zaštita 35 kV kablovskih vodova. Pored ovih osnovnih funkcija, ukoliko vodovi rade u paralelnom radu (dva ili tri) zaštita bi vršila paralelisano isključenje tih vodova. U situacijama kada dva voda rade u paralelnom radu biće aktivirana i poprečna diferencijalna zaštita. Ovom modernizacijom bi se postigla bolja pouzdanost sistema relejne zaštite, kao i smanjenje vremena trajanja kvara. Međutim ovom modernizacijom se ne bi postigla veća selektivnost zaštite.

PARALELAN RAD DVA 35 kV VODA U RADIJALNOJ MREŽI

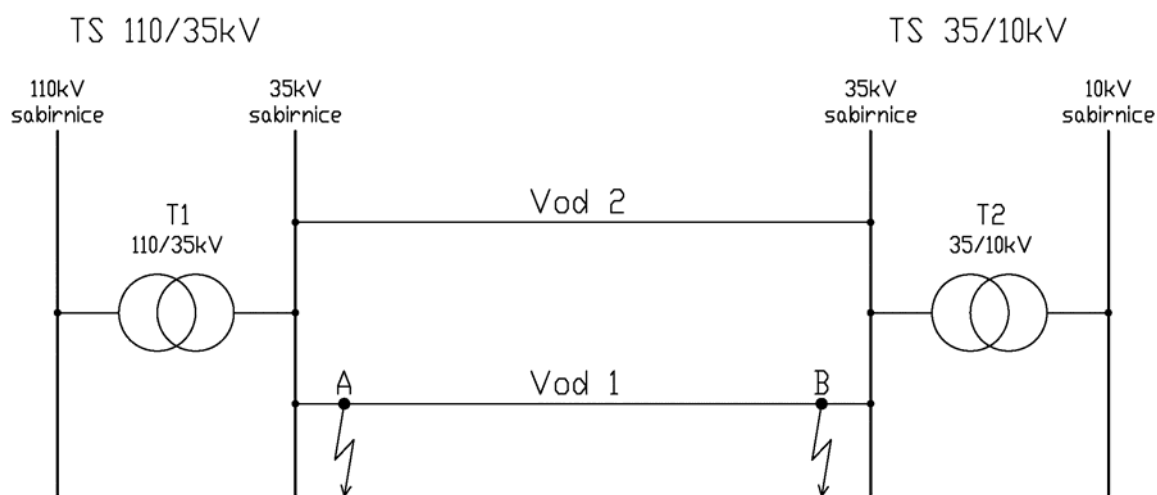
Paralelan rad vodova u radijalnoj mreži predstavlja režim rada u kojem dva ili više vodova polaze sa istih sabirnica napojne trafostanice a završavaju se na istim sabirnicama napajane trafostanice. U zavisnosti od parametara vodova koji su u paralelnom radu zavisice i raspodela opterećenja po tim vodovima. Na području ED

Niš 35 kV vodovi koji rade u paraleli uglavnom su sličnih karakteristika i dužina, tako da je i raspodela opterećenja po vodovima približno jednaka. Bitno je napomenuti da je 35 kV mreža na području PD „Jugoistok“ radijalna i da je neutralna tačka 35 kV mreže uzemljena preko niskoomske impedanse.

Kao što je u predhodnom tekstu navedeno, u ranijim godinama konzum pojedinih trafostanica 35/10 kV je omogućavao da se ove trafostanice iz napojne trafostanice napajaju samo jednim vodom, dok je drugi predstavljao rezervno napajanje. Sa aspekta relejne zaštite ovakva situacija je tipična u pogledu zaštite jednog 35 kV voda. Ovo podrazumeva da svaki od vodova ima nezavistan sistem relejne zaštite (prekostrujna, kratkospojna i zemljospojna zaštita). Tako da bi u slučaju kvara na vodu koji je u pogonu došlo do delovanja “njegove” zaštite koja bi isključila taj vod. Tada bi se razmatrana trafostanica 35/10 kV prenapojila preko rezervnog 35 kV voda, koji je do tada bio u praznom hodu.

Povećanje opterećenja trafostanica 35/10 kV je dovelo do situacije da jedan napojni 35 kV vod ne može sam da ponese opterećenje. Iz tog razloga je izvršeno uključenje u pogon rezervnog voda što podrazumeva paralelan rad vodova. Pri prelasku na paralelan rad vodova u trafostanicama 110/35 kV u početku je zadržan isti princip relejne zaštite kao i u slučaju kada su vodovi radili pojedinačno. Ovakav princip zaštite vodova u paralelnom radu je imao određene nedostatke, a najznačajniji je produženje vremena trajanja kvara u određenim situacijama (pri kvarovima na početku jednog od vodova u paralelnom radu).

Na Slici 1 je prikazana situacija u kojoj iz izvorne trafostanice 110/35 kV polaze dva 35 kV voda istih karakteristika i koji se završavaju na 35 kV sabirnicama trafostanice 35/10 kV. Biće razmatrana dva kvara, pri čemu se jedan nalazi na početku, a drugi na kraju voda 1.



Slika 1. Paralelan rad vodova

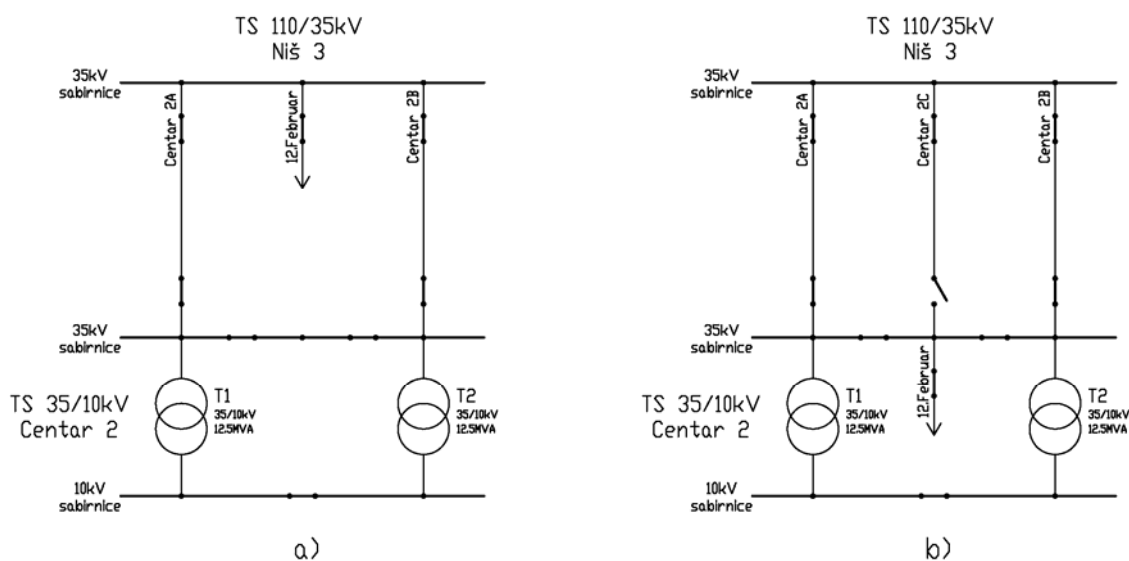
Pri kvaru u tački B struje kvara koje protiču kroz vodove 1 i 2 mogu se posmatrati kao približno iste (struja kvara koja protiče kroz vod 1 je neznatno veća od struje kvara kroz vod 2). Ovo je posledica činjenice da su impedanse kvara vodova 1 i 2, posmatrano sa strane sabirnica 35 kV u trafostanici 110/35 kV, približno jednake. U ovom slučaju su struje koje protiču kroz zaštitne releje vodova 1 i 2 u trafostanici 110/35 kV približno jednake. To će izazvati pobudu zaštitnih releja oba voda u istom trenutku i njihovo isključenje nakon podešenih vremena (koja su uglavnom približno jednaka). Približavanje kvara iz tačke B ka tački A uzrokuje povećanje struje kvara u vodu pogođenim kvarom (u razmatranom slučaju vod 1), dok će se struja kvara u “zdravom” vodu (u razmatranom slučaju vod 2) smanjivati. Pri kvaru u tački A struja kvara kroz vod 1 će biti mnogo veća od struje kvara kroz vod 2, zato što je impedansa kvara voda 1 mnogo manja od impedanse kvara voda 2 (posmatrano sa sabirnica 35 kV u trafostanici 110/35 kV impedansa kvara voda 2 je približno jednaka dvostrukoj impedansi jednog voda). U ovoj situaciji struja kvara kroz zaštitni relej voda 1 u trafostanici 110/35 kV biće mnogo veća od struje koja protiče kroz zaštitni relej voda 2. Vrednost struje kroz zaštitni relej voda 1 će biti dovoljna da ga pobudi, dok će struja kroz zaštitni relej voda 2 biti nedovoljna za njegovu pobudu. Nakon podešenog vremena doći će do isključenja voda 1, usled delovanja njegove zaštite. Nakon isključenja voda 1, kvar će nastaviti da se napaja preko voda 2 na kojem će doći do naglog porasta vrednosti struje kvara. Ova struja kvara će biti dovoljna za pobudu zaštitnog releja na vodu 2 što će posle podešenog vremena izazvati isključenje voda 2 i nestanak kvara. Ukoliko se desi kvar na početku jednog od vodova u paralelnom radu vreme trajanja kvara će biti jednako zbiru vremena delovanja zaštita tih vodova. Drugim rečima vreme trajanja kvara se udvostručuje, što je loša osobina ovakvog principskog rešenja u navedenim situacijama. Produženjem kvara nije moguće ispoštovati princip selektivnosti, što može dovesti do isključenja izvorne trafostanice 110/35 kV. Za prevazilaženje ovog problema predloženo je više rešenja. Na području ED Niš u trafostanicama 110/35 kV usvojeno je tipično

rešenje paralelnog isključenja prekidača oba voda pri kvaru na jednom od vodova u paralelnom radu. Pri delovanju bilo koje zaštite jednog od vodova u paraleli dolazi do isključenja oba voda. Na ovaj način biće izbegnuta situacija sa produženjem vremena trajanja kvara (primer kvara A), koja je obrazložena u tekstu koji je predhodio. Ovim rešenjem nije postignuta selektivnost, jer se u slučaju kvara isključuju i vod pogođen kvarom, kao i "zdrav" vod. Ukoliko bi postojala mogućnost za selektivnim isključenjem voda pod kvarom, drugi vod bi morao da ponese ceokopuno opterećenje. Kako jedan vod ne može da ponese celokupno opterećenje, došlo bi do njegovog isključenja zbog preopterećenja. Principom, koji podrazumeva paralelno isključenje vodova, zadržava se isti stepen selektivnosti zaštita vodova u odnosu na princip nezavisnog delovanja zaštita vodova, a istovremeno se onemogućuje produženje vremena trajanja kvara. Na osnovu iskustva u eksploataciji tokom dužeg niza godina, princip sa paralelnim isključenjem zaštita vodova se pokazao pouzdanim.

OPIS RAZMATRANE SITUACIJE

Trafostanica 110/35 kV "Niš 3" je jedna od najbitnijih trafostanica za snabdevanje električnom energijom konzuma na području ED Niš. Napaja se sa dva 110 kV dalekovoda (DV 187 i DV 188) iz TS 400/220/110 kV "Niš 2". Ova trafostanica se sastoji od dva energetska transformatora snage po 63 MVA, dva sistema sabirnice i petnaest 35 kV izvodnih polja. Iz ove trafostanice se napaja trafostanica 35/10 kV "Centar 2". Trafostanica 35/10 kV "Centar 2" se nalazi u samom centru grada i instalisane je snage od 2x12,5 MVA.

U ranijem periodu (Slika 2a) trafostanica 35/10 kV "Centar 2" se napajala iz trafostanice 110/35 kV "Niš 3" preko dva 35 kV kablovska voda tipa IPZO13-95/35 i dužine 2,8 km. Ova dva kablovska voda su radila u paraleli i primenjen je princip sistema relejne zaštite koji se zasniva na predhodno objašnjenom paralelnom isključenju vodova (delovanje zaštite jednog voda isključuje i drugi vod). Jedan od dva moguća pravca napajanja trafostanice 35/10 kV "12. februar", koja je bitna u ovoj analizi, je takođe iz trafostanice 110/35 kV "Niš 3" preko 35 kV kablovskog voda tipa IPZO13-95/35 i dužine 7,5 km. Trasa ovog kablovskog voda prolazi u blizini trafostanice 35/10 kV "Centar 2". Zbog velike važnosti trafostanice 35/10 kV "Centar 2" sa aspekta napajanja svih bitnijih potrošača u centru grada, sa jedne strane, i lošeg stanja napojnih 35 kV kablovskih vodova koji su dugi niz godina u eksploataciji, sa druge strane, neophodno je bilo obezbediti rezervni napojni 35 kV kablovski vod. Kao rešenje navedenog problema izvršena je rekonstrukcija 35 kV kablovskog voda "Niš 3 - 12 februar", što je prikazano Slici 2b. Rekonstrukcija se ogledala u presecanju pomenutog kablovskog voda i njegovog uvođenja u trafostanicu 35/10 kV "Centar 2" na principu "ulaz-izlaz". Rekonstrukcijom je omogućeno da se trafostanica 35/10 kV „Centar 2“ može napajati preko tri 35 kV kablovska voda. Uobičajeno uklopno stanje je takvo da dva 35 kV kablovska voda koja napajaju trafostanicu 35/10 kV "Centar 2" rade u paralelnom radu, dok je treći u praznom hodu i predstavlja rezervno napajanje ovim kablovskim vodovima. Takođe navedena rekonstrukcija je usloвила i promenu jednog od pravca napajanja u trafostanici 35/10 kV "12. Februar", koji je ranije išao direktno iz trafostanice 110/35 kV "Niš 3", a sada polazi iz trafostanice 35/10 kV "Centar 2".

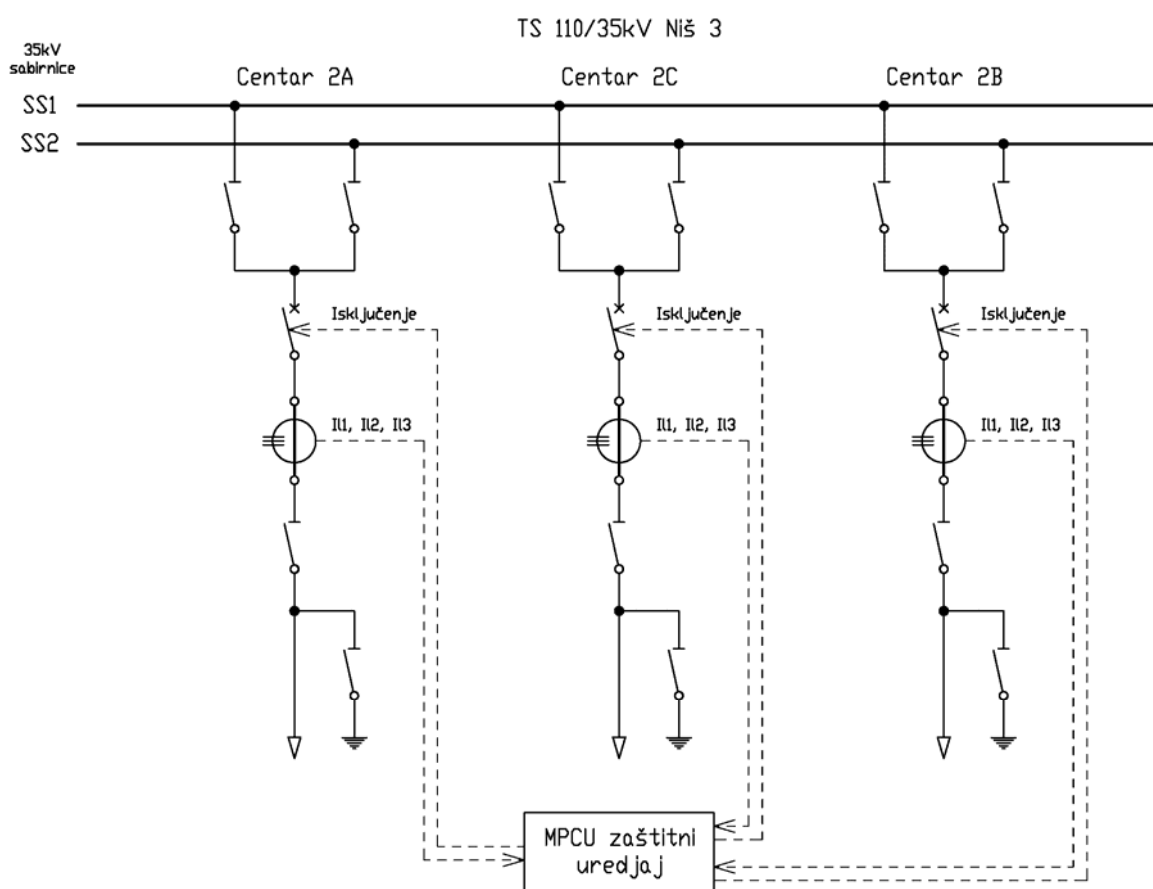


Slika 2. Razmatrana situacija pre i posle rekonstrukcije 35 kV kablovskog voda "Niš 3 – 12. Februar"

PREDLOŽENO TEHNIČKO REŠENJE

Kao što je predhodno navedeno predviđeno je da se napajanje trafostanice 35/10 kV "Centar 2" vrši preko dva 35 kV kablovska voda koja uvek rade u paraleli, dok treći 35 kV kablovski vod predstavlja rezervno napajanje. Ne preporučuje se paralelni rad sva tri 35 kV kablovska voda zbog mogućnosti pojave velikih vrednosti struje kvara. Zbog navedenog moguća su različita uklopna stanja napajanja trafostanice 35/10 kV „Centar 2“, a samim tim i različiti režimi rada zaštite 35 kV kablovskih vodova koji napajaju pomenutu trafostanicu. Postojeća zaštita nije mogla u potpunosti da podrži ovakve radne režime pa je neophodno bilo modernizovati sistem relejne zaštite navedenih kablovskih vodova u trafostanici 110/35 kV "Niš 3". Iz tog razloga i na osnovu raspoloživih sredstava izvršena je modernizacija sistema relejne zaštite na razmatranim kablovskim vodovima u trafostanici 110/35 kV "Niš 3".

Za ovu modernizaciju primenjen je jedan mikroprocesorski relej za zaštitu transformatora. Karakteristično za ovaj mikroprocesorski relej je mogućnost zaštite četvoronamotajnih transformatora. Osobina posedovanja četiri kompleta strujnih ulaza daje mogućnost realizacije zaštite četiri pojedinačna izvodna polja. Ova osobina omogućuje podešavanje releja, tako da se ovim uređajem obezbeđuju funkcije zaštite (prekostrujna, kratkospojna, zemljospojna) tri različita 35 kV izvodna polja u trafostanici 110/35 kV "Niš 3", koja su predmet razmatranja (Slika 3.)



Slika 3. Principijska šema delovanja mikroprocesorskog releja

Ova zaštita će biti u paralelnom radu sa već postojećom starom elektromehaničkom zaštitom, tako da se povećava pouzdanost zaštite 35 kV kablovskih vodova. Treba napomenuti da pored osnovnih funkcija zaštite sva tri 35 kV kablovska voda ovaj mikroprocesorski relej ima će i funkciju paralelnog isključenja u zavisnosti od toga koji od 35 kV kablovskih vodova rade u paralelnom radu. U zavisnosti od toga koji od 35 kV kablovskih vodova rade u paralelnom radu izvršeno je kreiranje različitih režima rada mikroprocesorskog releja. Ti režimi se biraju posredstvom preklopke i oni mogu da budu:

- nazavistan rad vodova - ovaj režim podrazumeva da zaštita svakog voda radi nezavisno i da prilikom kvara na nekom od vodova zaštita deluje na isključenje samo voda koji je pogođen kvarom;
- paralelni rad dva voda - ovaj režim podrazumava da prilikom kvara na jednom od vodova u paralelnom radu zaštita deluje na isključenje vodova u paralelnom radu, dok je zaštita trećeg voda koji nije u paralelnom radu nezavisna i prilikom kvara na trećem vodu ova zaštita deluje samo na prekidač trećeg

voda. Treba napomenuti da postoje tri moguće kombinacije paralelnog rada dva 35 kV kablovska voda (Vod 1 i 2, Vod 1 i 3, Vod 2 i 3 u paralelnom radu).

- paralelan rad tri voda - ovaj režim podrazumava da prilikom kvara na jednom od vodova zaštita deluje na isključenje sva tri voda. Treba napomenuti da ovaj režim nije preporučljiv zbog mogućnosti pojave velikih vrednosti struje kratkog spoja.

Poprečna diferencijalna zaštita

U trafostanici 110/35 kV "Niš 3" energetski transformatori ne rade u paralelnom radu, zbog velikih struja kratkog spoja. Ovi transformatori su dugi niz godina u eksploataciji i njihove radne karakteristike nisu zadovoljavajuće. Vrednosti struje kratkog spoja prilikom kvara na jednom od razmatranih 35 kV vodova u trafostanici 110/35 kV "Niš 3", u zavisnosti od mesta kvara i uklopnog stanja, se kreću u opsegu od 8kA do 8,5kA. Vreme delovanja kratkospojne zaštite razmatranih 35 kV kablovskih vodova u trafostanici 110/35 kV "Niš 3" iznosi 0,5 s. Ovo vreme nije moguće smanjiti da bi se zadovoljio princip selektivnosti. Sa ciljem smanjenja vremena trajanja kvara došlo se na ideju primene poprečne diferencijalne zaštite vodova u paralelnom radu.

Poprečna diferencijalna zaštita se najčešće primenjuje kod zaštite vodova koji rade u paralelnom radu i čiji su parametri približno jednaki. Potreban uslov za rad poprečne diferencijalne zaštite je da vodovi polaze i da se završavaju na zajedničkim sabirnicama. Ako su impedanse vodova, koji rade u paraleli, približno jednake u normalnim radnim režimima ili pri kvarovima izvan posmatranih vodova, struje koje u takvim situacijama teku kroz vodove su približno jednake. Pri kvaru na jednom od paralelnih vodova njihove struje su različite, što se koristi kao kriterijum za delovanje zaštite. Primicanjem kvara kraju jednog od vodova razlika struja u vodovima se smanjuje. Zato poprečna diferencijalna zaštita ima mrtvu zonu. Dužina mrtve zone zavisi od vrste kvara, parametara štice vodova i ostalih elemenata mreže.

Pored navedenih osnovnih zaštita jednog 35 kV voda (prekostrujna, kratkospojna, zemljospojna) primenjeni mikroprocesorski relej ima i funkciju diferencijalne zaštite. Ova funkcija je upotrebljena za poprečnu diferencijalnu zaštitu razmatranih 35 kV kablovskih vodova koji rade u paraleli. U slučaju delovanja ove zaštite dolazi do isključenja oba voda koja rade u paralelnom radu. Poprečna diferencijalna zaštita je aktivna samo u slučaju kada je režimska preklopka u položaju koji označava paralelan rad dva kablovska voda. Aktiviranjem poprečne diferencijalne zaštite pri paralelnom radu dva 35 kV kablovska voda bi se postigla bolja pouzdanost sistema relejne zaštite, kao i smanjenje vremena trajanja kvara. Međutim, potrebno je naglasiti da se ovom funkcijom zaštite ne bi postigla veća selektivnost zaštite. U konkretnom slučaju zadovoljenje principa selektivnost nije potrebno, jer zbog svoje potrošnje trafostanica 35/10 kV "Centar 2" mora da se napaja preko dva 35 kV kablovska voda.

Poprečna diferencijalna zaštita može da deluje pri kratkim spojevima i zemljospojevima. Struja zemljospoja u 35 kV mreži je ograničena na 300 A. Ta vrednost struje je znatno manja od vrednosti struje kratkog spoja, tako da je njen uticaj na elektroenergetske elemente mnogo manji. Vreme delovanja zemljospojne zaštite na 35 kV kablovskim vodovima u trafostanici 110/35 kV "Niš 3" iznosi oko 2 s, i to vreme ne predstavlja problem u pogledu podešavanja selektivnosti zemljospojne zaštite. Proračun krive delovanja poprečne diferencijalne zaštite uzimajući u obzir zemljospojeve i kratke spojeve je dosta složen. Ako se tome doda složenost celokupnog razmatranog problema to će usloviti podešenje poprečne diferencijalne zaštite samo pri kratkim spojevima.

Poprečna diferencijalna zaštita je uslovljena u podešenju primenjenog releja određenom strujom koja protiče kroz vodove u paraleli kako ne bi došlo do njenog nepotrebnog delovanja. Neke od situacija koje bi mogle da izazovu nepotrebno delovanje poprečne diferencijalne zaštite su pri uspostavljanju uklopnog stanja (uključenje i isključenje vodova u paralelnom radu), zatim prilikom nepoklapanja položaja režimske preklopke sa realnim uklopnim stanjem vodova itd. Posledica strujnog uslova delovanja poprečne diferencijalne zaštite je nastanak mrtve zone na početku voda.

Zbog nesavršenosti strujnih mernih transformatora, kao i različitih parametara vodova u paralelnom radu uvodi se mrtva zona delovanja poprečne diferencijalne zaštite na kraju štice vodova.

ZAKLJUČAK

Povećanje opterećenja pojedinih trafostanica 35/10 kV, na konzumu ED Niš, uzrokuje paralelan rad napojnih 35 kV vodova. Ovo kao posledicu ima drugačije sagledavanje rešenja za sistem relejne zaštite 35 kV vodova u izvornim trafostanicama 110/35 kV. U ovom radu je predloženo jedno od mogućih tehničkih rešenja za sistem relejne zaštite i automatike za tri 35 kV kablovska voda koji polaze iz trafostanice 110/35 kV "Niš 3", a završavaju se u trafostanici 35/10 kV "Centar 2". Moguća su različita uklopna stanja kablovskih vodova u paralelnom radu, pa su zbog toga uvedeni različiti režimi rada relejne zaštite. Takođe je primenjena i funkcija poprečne diferencijalne zaštite za dva voda u paralelnom radu. Ovo tehničko rešenje obezbeđuje veću

pouzdanost sistema relejne zaštite kao i smanjenje vremena trajanja kvara u odnosu na klasičan, do sada primenjivan, sistem relejne zaštite.

LITERATURA

1. Đurić M, 2008, "Relejna zaštita", Beopres štampa Beograd
2. Božuta F, 1986, "Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja", Svijetlost Sarajevo
3. Požar H, 1978, "Visokonaponska rasklopna oprema", Tehnička knjiga Zagreb
4. Rajaković N, Tasić D i Savanović G, 2004, "Distributivne i industrijske mreže", Akadska misao Beograd, 151-176
5. Stojanović D, 2008, "Prenos električne energije", Elektronski fakultet u Nišu, 78-86
6. Stojanović D i Korunović L, 2004, zbirka rešenih zadataka "Prenos i distribucija električne energije", SX PRINTCOPY Niš
7. ***, 2009, "Pravila o radu distributivnog sistema", Elektroprivreda Srbije
8. ***, 2004, "TP3 – Izbor i polaganje energetskih kablova u elektrodistributivnim mrežama 1 kV, 10 kV, 20 kV i 35 kV", JP EPS – Direkcija za distribuciju električne energije
9. ***, 2001, "TP4 – Primena zaštite i lokalne automatike u elektrodistributivnim mrežama 10 kV, 20 kV, 35 kV i 110 kV – OPŠTI DEO", JP EPS – Direkcija za distribuciju električne energije
10. ***, 2001, "TP4 – Zaštita elektrodistributivnih vodova 10 kV, 20 kV i 35 kV – 4a1", JP EPS – Direkcija za distribuciju električne energije
11. ***, 2001, "TP4 – Zaštita distributivnih energetskih transformatora u TS 35/10(20) kV i TS 110/X kV – 4b", JP EPS – Direkcija za distribuciju električne energije