

Struje i prenaponi pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja u 10 kV mreži grada Niša

Petar Vukelja¹, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić

¹Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu
Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija
Petar.vukelja@ieent.org

Kratak sadržaj: : U radu su prezentirani rezultati eksperimentalnih istraživanja struja zemljospoja i prenapona koji se javljaju pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja u delu 10 kV izolovane distributivne mreže grada Niša napajane iz četiri TS 35 kV/10 kV. Izvršena je analiza rezultata istraživanja. Sagledani su problemi koji se javljaju u izolovanoj mreži 10 kV. Ukazano je na opravdanost prelaska dela mreže sa izolovanog na uzemljeno zvezdište transformatora 35 kV/10 kV

Ključne reči: struja zemljospoja, prenapon, mreža 10 kV

1. Uvod

U okviru studije [1] izvršena su u jednom delu mreže 10 kV grada Niša istraživanja struja zemljospoja i prenapona koji se javljaju pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja. Mreža 10 kV grada Niša je sa izolovanom neutralnom tačkom (izolovana mreža). U takvoj mreži struje zemljospoja u pojedinim njenim delovima, posebno u onim koje imaju veći broj kablovskih vodova, mogu biti znatne. Takođe u njima mogu biti prisutni i znatni viši harmonici. Velike struje zemljospoja mogu da dovedu do njegovog prerastanja u dvostruki zemljospoj koji bi mogao da termički ugrozi uzemljivače postrojenja i izazove visoke napone dodira u njemu i u samoj niskonaponskoj mreži. Prenaponi koji se javljaju u izolovanim mrežama mogu pri pojavi zemljospoja i pri sklopnim operacijama da budu viši nego kada bi mreže bile uzemljene preko otpornika ili reaktanse i da dovedu do velikih naprezanja izolacije celokupne opreme u njoj. Iz tog razloga su izvršena eksperimentalna istraživanja u karakterističnim delovima mreže 10 kV napajanom iz četiri TS 35 kV/10 kV, da bi se videlo kakvo je stanje sa prenaponima i strujama zemljospoja i sagledala mogućnost prelaska na uzemljavanje zvezdišta 10 kV transformatora 35 kV/10 kV.

2. Eksperimentalna istraživanja struja zemljospoja i prenapona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja

Istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona izvršena su u 10 kV mrežama napajanim iz sledećih TS 35 kV/10 kV

- TS 35 kV/10 kV "Centar 1",
- TS 35 kV/10 kV "Bubanj",
- TS 35 kV/10 kV "Toponica" i
- TS 35 kV/10 kV "Medijana".

Struje zemljospoja merene su pomoću strujnog transformatora 30A/5A, 12 kV. U svakoj od TS 35 kV/10 kV, u odabranoj izvodnoj ćeliji za 10 kV kablovski ili nadzemni vod, jedan od faznih provodnika vezan je preko primara strujnog transformatora 30 A/5 A sa uzemljenjem TS. Uključenjem prekidača 12 kV te ćelije uspostavljan je zemljospoj u mreži 10 kV napajanoj iz te TS. Prekidanje zemljospoja realizovano je isključenjem istog prekidača koje je izvedeno ručno, pritiskom na taster za isključenje prekidača. Informacija o struji zemljospoja uzimana je sa sekundara strujnog transformatora tako što je korišćenjem tranzijent rikordera dobijena vremenska promena struje zemljospoja.

Istraživanja prelaznih faznih napona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja izvedena su primenom kapacitivnih delila napona koja verno prenose pojave sa visokog na niski napon u frekventnom opsegu od nekoliko Hz do 2 MHz, a vremenske promene navedenih napona dobijene su korišćenjem tranzijent rikordera i digitalnih osciloskopa.

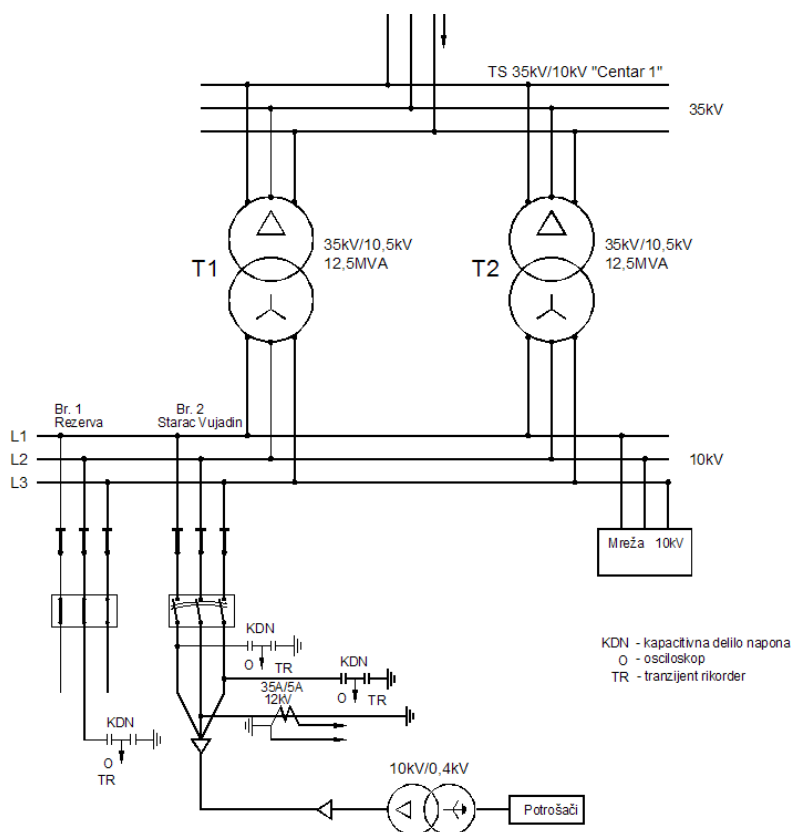
Primeru radi na sl.1 data je šema istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona u mreži 10 kV, napajanoj iz TS 35 kV/10 kV "Centar 1". Uključenjem vakuumskog prekidača u ćeliji broj 2 "Starac Vujadin" uspostavljan je zemljospoj u mreži 10 kV, a njegovim isključenjem prekidano. Na kraju kablovskog voda, napajanoj iz ćelije broj 2 "Starac Vujadin", bio je priključen transformator 10 kV/0,4 kV opterećen potrošačima na 0,4 kV. Napon na sabirnicama je meren u ćeliji br.1 "Rezerva".

U tabeli 1 su dati podaci istraživanja struja zemljospoja i najvećih vrednosti prenapona pri uključenju i isključenju zemljospoja u TS 35 kV/10 kV: "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana". Prenaponi su dati u relativnim jedinicama kao odnos maksimalne vrednosti prenapona i temene vrednosti faznog napona pre uspostavljanja zemljospoja.

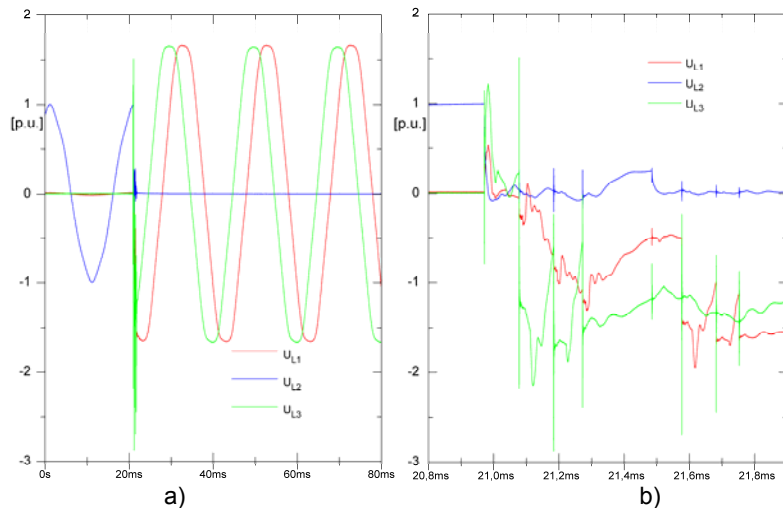
Na slikama 2, 3 i 4 dati su karakteristični snimci prelaznih faznih napona pri uključenju i isključenju zemljospoja u TS 35 kV/ 10kV "Centar 1" i struje zemljospoja. Na slikama 5, 6 i 7 dati su karakteristični snimci prelaznih faznih napona pri uključenju i isključenju zemljospoja u TS 35 kV/10 kV "Toponica" i struje zemljospoja.

Tabela 1. Podaci istraživanja u TS 35 kV/10 kV: "Centar 1", "Bubanj", "Toponica" i "Medijana"

TS 35kV/10kV	Broj izvedenih zemljospojeva	Najviši izmereni prenapon pri uključenju na zemljospoj (r.j.)	Najviši izmereni prenapon pri isključenju zemljospoja (r.j.)	Efektivna vrednost struje zemljospoja utvrđena merenjem (A)
"Centar 1"	8	3,34	1,70	29,7
"Bubanj"	5	1,91	2,01	19,3
"Toponica"	6	1,95	1,96	17,8-18,2
"Medijana"	6	1,91	1,54	34,2-34,8

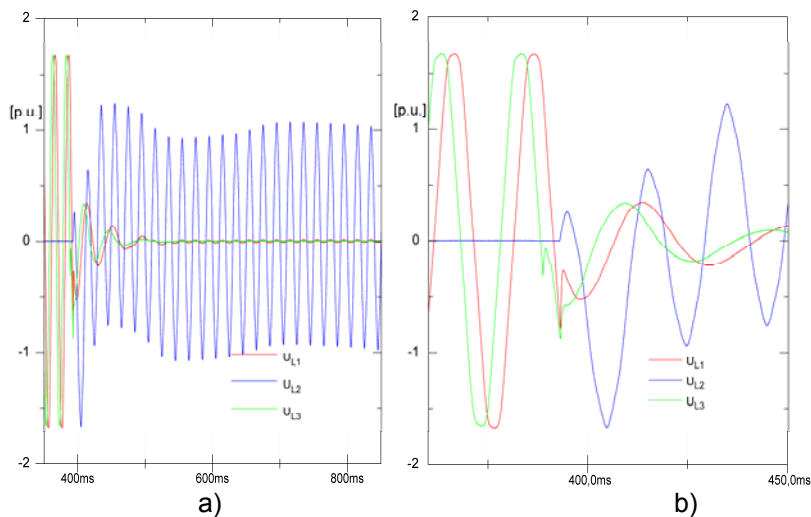


Slika 1. Šema istraživanja struja zemljospoja i prelaznih faznih napona pri uključenju i isključenju zemljospoja u mreži 10 kV, napajanoj iz TS 35 kV/10 kV "Centar 1"



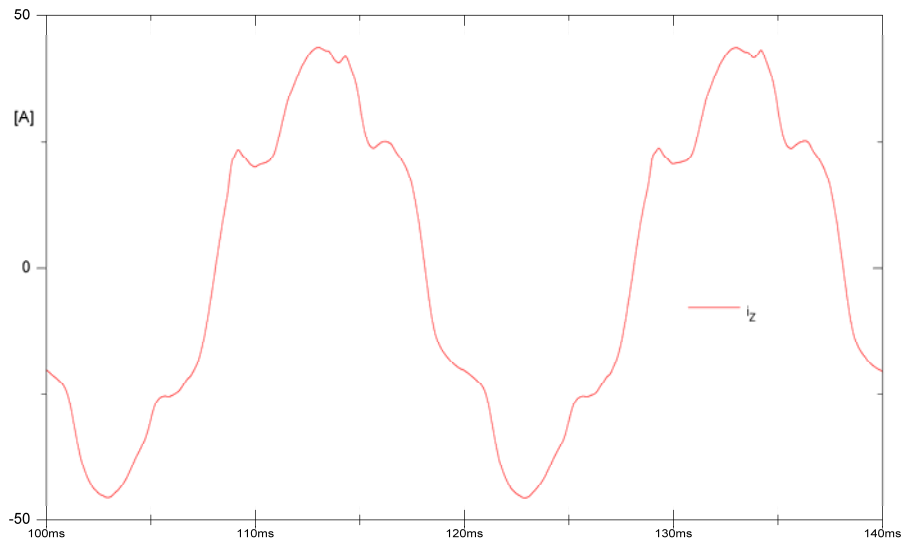
Slika 2.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L2} u TS 35 kV/10 kV „Centar 1“ u ćeliji br.2 „Starac Vujadin“ na ulazu u 10 kV kablovski vod (faza L2 je uzemljena u ćeliji br.2) na čijem kraju je transformator 10 kV/0,4 kV opterećen potrošačima 0,4 kV i napon u_{L2} na sabirnicama 10 kV pri uključenju vakuumnog prekidača 12 kV u ćeliji br.2 (uspostavljanje zemljospoja u fazi L2 u mreži 10 kV)
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}

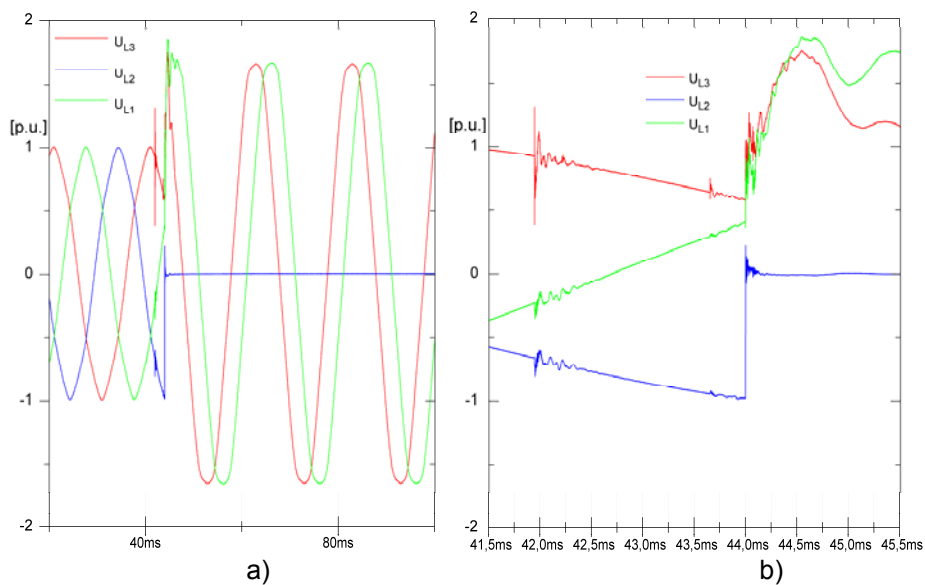


Slika 3.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L2} u TS 35 kV/10 kV „Centar 1“ u ćeliji br.2 „Starac Vujadin“ na ulazu u 10 kV kablovski vod (faza L2 je uzemljena u ćeliji br.2) na čijem kraju je transformator 10 kV/0,4 kV opterećen potrošačima 0,4 kV i napon u_{L2} na sabirnicama 10 kV pri isključenju vakuumnog prekidača 12 kV u ćeliji br.2 (prekidanje zemljospoja u fazi L2 u mreži 10 kV)
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}

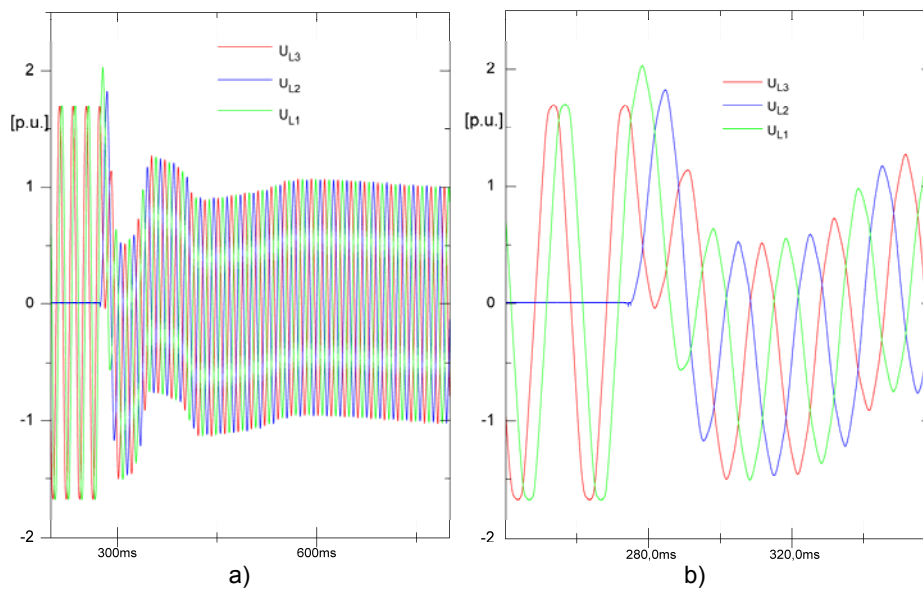


Slika 4. Struja zemljospoja u mreži 10 kV napajanoj iz TS 35 kV/10 kV „Centar 1“



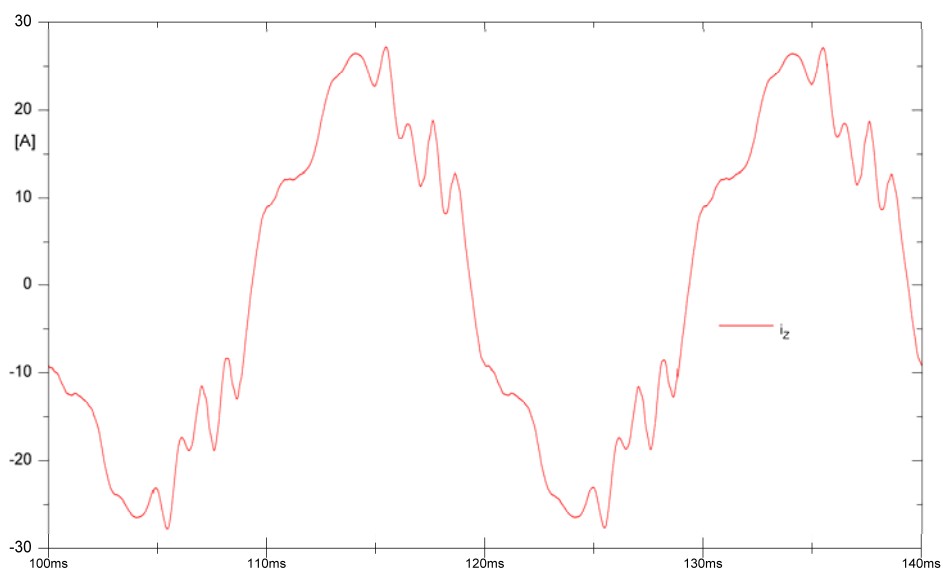
Slika 5.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} , u_{L2} i u_{L3} na sabirnicama 10 kV u TS 35 kV/10 kV „Toponica“ pri uključenju malouljnimn prekidačem 12 kV kablovskog voda na kome je izveden zemljospoj na fazi L2
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}



Slika 6.

- a) Prelazni fazni naponi u_{L1} , u_{L2} i u_{L3} na sabirnicama 10 kV u TS 35 kV/10 kV „Toponica“ pri isključenju malouljnimn prekidačem 12 kV kablovskog voda na kome je izveden zemljospoj na fazi L2
- b) Početni deo prelaznih faznih napona u_{L1} , u_{L2} i u_{L3}



Slika 7. Struja zemljospoja u mreži 10 kV napajanoj iz TS 35 kV/10 kV „Toponica“

3. Analiza rezultata istraživanja struja zemljospoja i prenapona pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja

Uključenja na zemljospoj malouljnim prekidačima nisu dovela do visokih prenapona. Najviši izmereni je 1.95 r.j. Pri uključenjima na zemljospoj vakuumskim prekidačem javljali su se znatno viši prenaponi. Najviši izmereni je 3.34 r.j. Razlog su višestruka prethodna paljenja električnog luka između njegovih kontakta. Ova pojava je svojstvena prekidačima koji mogu da prekidaju visokofrekventnu struju pri njenom prolasku kroz nulu. Posle uključenja na zemljospoj, naponi faza na kojima nije zemljospoj dobijaju međufazni napon i zadržavaju ga sve do isključenja zemljospoja. Prelazak sa faznih na međufazne napone prate prenaponi. Njihovo trajanje je najčešće ispod 2 ms.

Isključenja zemljospoja dovode do uspostavljanja normalnih faznih napona u mreži 10 kV. Napon na fazi na kojoj je bio zemljospoj vraća se od nule na fazni napon, a naponi na druge dve faze sa međufaznih se vraćaju na fazne napone. Ovaj proces prate oscilacije na sva tri fazna napona sa učestanošću nekoliko Hz, ali se to oscilovanje priguši najčešće posle nekoliko stotina ms. Ove oscilacije su istofazne, odnosno pojavljuju se istovremeno u sva tri fazna napona. Usled ovih oscilacija dolazi do pojave prenapona koji posle njihovog prigušenja nestaju. Neposredno posle isključenja zemljospoja na pojedinim fazama dolazi do prenapona nešto iznad vrednosti međufaznog napona i onda počinje oscilovanje sva tri fazna napona. Najviši prenaponi pri tim oscilovanjima su najčešće na njihovom početku i ne prelaze 1.7 r.j. U trenutku isključenja zemljospoja, na fazama na kojima nije bio zemljospoj, u nekim slučajevima dolazi do prenapona. Najviši izmereni prenapon je 2,01 r.j.. Pri isključenju zemljospoja malouljnim prekidačima dolazilo je do ponovnih paljenja električnog luka između njihovih kontakta. Pri tom nije bilo prenapona u mreži 10 kV, ali se ne isključuje mogućnost da su se pojavili na vodu koji je isključen, odnosno na vodu na kome je bio zemljospoj.

Struje zemljospoja u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35 kV/10 kV "Centar 1" i TS 35 kV/10 kV "Mediana" su relativno visoke, a u mrežama 10 kV koje se napajaju iz TS 35 kV/10 kV "Bubanj" i TS 35 kV/10 kV "Toponica" su u granicama dozvoljenih u skladu sa [2]. U strujama zemljospoja u svim napred navedenim mrežama su prisutni viši harmonici. Istaknutiji su peti i sedmi harmonik. Vrednosti harmonijske distorzije struja zemljospoja su u svim posmatranim mrežama su bile u intervalu od 12% do 17%.

Pojedine delovi mreže 10 kV grada Niša u nekim uklopnim stanjima su takve prostranosti da mogu da imaju struje zemljospoja reda 90 A. U takvim uklopnim stanjima mreže pri pojavi zemljospoja, ako dugo traje, može dovesti do pregrevanja plašteva kablova i njihovog oštećenja.

Oprema u mrežama 10 kV je pre ugradnje ispitana naponom industrijske učestanosti 28 kV izuzimajući jednopolno izolovane induktivne naponske transformatore, a pojedina i atmosferskim udarnim naponom 75 kV.

Prenaponi koji su ustanovljeni merenjima znatno su ispod podnosivih napona izolacije u istraživanim 10 kV mrežama pod pretpostavkom da nije došlo do njene značajne degradacije tokom eksploatacije. Oni dielektrički naprežu, ali ne ugrožavaju izolaciju opreme. Mogu biti i nešto viši u istim mrežama posebno ako dođe do intermitirajućeg zemljospoja, ali retko prelaze 3.0 r.j. Moguća je pojava viših prenapona od izmerenih u onim mrežama 10 kV sa velikim strujama zemljospoja kada je odnos trostruke vrednosti trofazne struje kratkog spoja u njoj i vrednosti kapacitivne struje manji od 200.

Prenaponi ustanovljeni pri uključenju vakuumskeg prekidača se mogu pojaviti samo kada prekidač uključuje vod na kome je već zemljospoj. Pojavljuju se prethodna paljenja električnog luka između njegovih kontakata i prenaponi koji mogu biti viši od 3.0 r.j. U izolovanim mrežama 10 kV u eksploataciji pri nastanku stvarnog zemljospoja prenaponi ne zavise od pojava koje se javljaju između kontakata prekidača pri njegovom uključenju. Međutim, prenaponi u istim mrežama mogu bitno da zavise od pojava koje se javljaju između kontakata prekidača pri njegovom isključenju. U istraživanim mrežama to nije bio slučaj jer ponovna paljenja električnog luka između kontakata malouljnih prekidača nisu dovodila do prenapona pri odvajanju od mreže voda sa zemljospojem.

Pojava viših prenapona od izmerenih moguća je u onim mrežama 10 kV sa velikim strujama zemljospoja kada je odnos trostruke vrednosti trofazne struje kratkog spoja u njoj i vrednosti kapacitivne struje manji od 200.

Problemi u izolovanim mrežama će biti manji ako se uzemlje zvezdišta 10 kV transformatora 35 kV/10 kV preko otpornika male otpornosti. Potrebno je to uraditi u mrežama 10 kV u kojima struja je zemljospoja veća od 20 A. Mreže 10 kV sa strujom zemljospoja ispod 20 A mogu da rade sa izolovanim 10 kV zvezdištem transformatora 35 kV/10 kV. I u jednim i drugim mrežama potrebna je zaštita od zemljospoja na svim vodovima. Kada nema zemljospojne zaštite na vodovima u mrežama sa strujom zemljospoja manjom od 20 A (zemljospoj se signalise u vremenu ne dužem od 2 sata) ne preporučuje se automatsko isključenje pa uključenje vodova dok se ne ustanovi na kom vodu je kvar. U tim mrežama neophodna je zaštita od ferorezonanse. Naponski transformatori treba da imaju faktor napona 1,9 i da im greška do nivoa 1,9 puta fazni napon ne pređe onu koja je definisana standardom [3].

4. Zaključci

Sve mreže 10 kV grada Niša rade sa izolovanim zvezdištem 10 kV transformatora 35 kV/10 kV. Za pouzdaniji rad mreže 10 kV potrebno je uraditi sledeće:

- Mreže 10 kV u kojima je struja zemljospoja veća od 20 A potrebno je uzemljiti preko otpornika male impedanse. Preporučuje se primena otpornika sa otpornošću $R = 20\Omega$ sa kojim se kod zemljospoja u

- Mreže sa strujom zemljospoja ispod 20 A mogu da rade sa izolovanim 10 kV zvezdištem transformatora 35 kV/10 kV. Preporučuje se primena zemljospojne zaštite na svim vodovima. Na nadzemnim vodovima se preporučuje primena APU.
- Kada mreža sa strujom zemljospoja ispod 20 A nema na vodovima zemljospojnu zaštitu (zemljospoj se signalise u vremenu ne dužem od 2 sata) ne preporučuje se automatsko isključenje pa uključenje vodova dok se ne ustanovi na kom vodu je kvar.
- Za izolovane mreže neophodna je zaštita od ferorezonanse postavljanjem otpornika otpornosti $R = 20\Omega$ u otvoreni trougao garniture jednopolno izolovanih naponskih transformatora u mernoj ćeliji.

Literatura

- [1] Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd "Istraživanje struja zemljospoja u 10 kV distributivnoj mreži grada Niša", Studija br.310901, , 2009, str. 82
- [2] *Pravilnik o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V*, Službeni list SRJ, br. 61/95
- [3] *Merni transformatori, Deo 2: Induktivni merni transformatori*, SRPS IEC 60044-2, 2009

Abstract: This paper presents the results of experimental studies of ground fault currents and overvoltages that occur in the establishment and interruption of ground faults in an isolated part of the 10 kV distribution network, fed to the city of Nis, from four TS 35 kV/10 kV transformers. An analysis of the results was performed and those problems that occur in an isolated 10 kV network identified. The validity of the transition from a network with isolated to grounded star point 35 kV/10 kV transformers was demonstrated.

Keywords: ground fault current, overvoltage, distribution network 10 kV

**Currents and overvoltages caused by
establishing and interrupting of ground faults in
10 kV network in the city of Nis**