

PRELAZNI NAPONSKI I STRUJNI PROCESI U MREŽI 35 kV SARTID-a PRI POJAVI ZEMLJOSPOJA

Dr Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvic
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: U radu su prezentirani rezultati eksperimentalnih istraživanja naponskih i strujnih pojava u mreži 35 kV Sartid-a pri uspostavljanju i prekidanju zemljospoja. Analiza rezultata istraživanja je pokazala da nije dovoljno pouzdan postojeći način eliminacije zemljospoja. Predložene su mere koje treba preduzeti da bi se smanjila mogućnost pojave havarijskih događaja.

Ključne reči: struja, napon, zemljospoj, mreža

1 UVOD

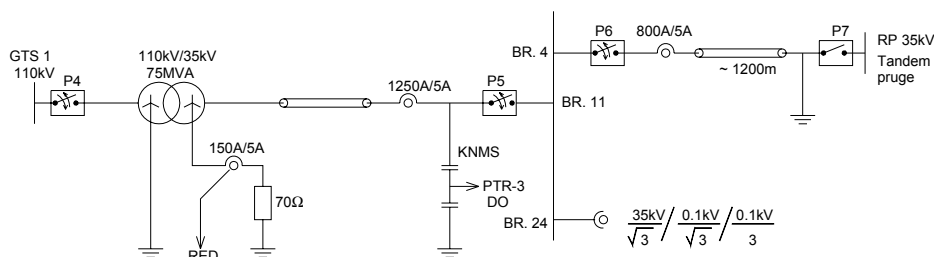
Mreža 35 kV Sartid-a je kablovska. Napaja se iz dve transformatorske stanice GTS1 i GTS2. Uzemljena je preko metalnih otpornika 300 A postavljenih u 35 kV zvezdišta transformatora 110 kV/35 kV i 110 kV/35 kV/6 kV u GTS1 i GRS2. Zemljospoj u ovoj mreži nije retka pojava. Najčešće nastaje probojem izolacije: prolaznih izolatora, strujnih transformatora i kablovskih završnica. Međutim, dešava se da preraste u dvopolni ili trolpolni kratak spoj, pa dolazi do ozbiljnih havarija u mreži. Pri pojavi zemljospoja dolazilo je do oštećenja metalnih otpornika. Zamena oštećene opreme, koju je izazvao zemljospoj, osim kablovskih završnica, ne dovodi do tako velikih zastoja rada pogona u Sartid-u. Međutim, duži zastoji nastaju posle havarijskih događaja. Svaki zastoj, a posebno duži uzrokuje velike materijalne gubitke. U cilju da se utvrde naprezanja opreme, koja uzrokuju naponske i strujne pojave pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja, izvršena su obimna eksperimentalna istraživanja u 35 kV mreži Sartida [1].

2 EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Istraživanja prelaznih faznih napona i struja pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja su izvršena u dva dela mreže 35 kV koja međusobno nisu povezana. Jedan deo mreže je napajan iz GTS1, a drugi iz GTS2. Zemljospoj je izvođen na sledeći način. Na kraju kablovskog voda izvršeno je spajanje jednog od faznih provodnika sa uzemljivačem. Uključenjem prekidača tog kablovskog voda uspostavljan je zemljospoj, a njegovim isključenjem prekidan. Pri tome su snimani prelazni fazni naponi mreže 35 kV i struja kroz metalni otpornik. Prelazni fazni naponi su snimani digitalnim osciloskopima i tranzijent rikorderom koristeći kapacitivne naponske merne sisteme koji verno prenose pojave od mikrosekundnog do sekundnog područja. Struja kroz metalni otpornik je snimana tranzijent rikorderom koristeći strujni transformator u kolu metalnog otpornika.

2.1. Istraživanja pri pojavi zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS1

Šema istraživanja strujnih i naponskih pojava pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja u mreži 35 kV, napajanoj iz GTS1, data je na sl.1.



KNMS - kapacitivni naponski meri sistem
 PTR-3 - tranzijent rikorder
 DO - digitalni osciloskop
 RED - osciloperturbograf

Sl.1 - Šema istraživanja prelaznih faznih napona i struje kroz metalni otpornik pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS1.

Metalni zemljospoj je izvođen na kraju neopterećenog kablovskog voda "GTS1 – Tandem" u ćeliji Tandema. Uključenje na metalni zemljospoj i isključenje zemljospoja je izvođeno prekidačem P6 u ćeliji br.4 u šemi na sl.1. Pri tome su snimani prelazni fazni naponi na 35 kV strani transformatora 110 kV/35 kV ispred prekidača P5 i struja kroz metalni otpornik u zvezdištu 35 kV transformatora.

Uređaj za zaštitu od zemljospoja u 35 kV mreži, napajanoj iz GTS1, je RE-55. Vezan je u sekundarna kola strujnih transformatora u ćeliji br.4 i naponskih transformatora u mernoj ćeliji br.24 sabirnica 35 kV u GTS1. Deluje bez vremenskog zatezanja i pojavom zemljospoja daje nalog za isključenje prekidača P6 (šema na sl.1). Osim ove zaštite na pojavu zemljospoja deluje uređaj za prekostrujnu zaštitu IR-1 vezan u sekundarnom kolu strujnog transformatora u grani metalnog otpornika. Podešen je da reaguje na struju iznad 75 A. Vreme zatezanja, odnosno kašnjenje zaštite je menjano tokom istraživanja. Uređaj za prekostrujnu zaštitu IR-1 pri pojavi zemljospoja daje nalog za isključenje prekidača P5 (šema na sl.1).

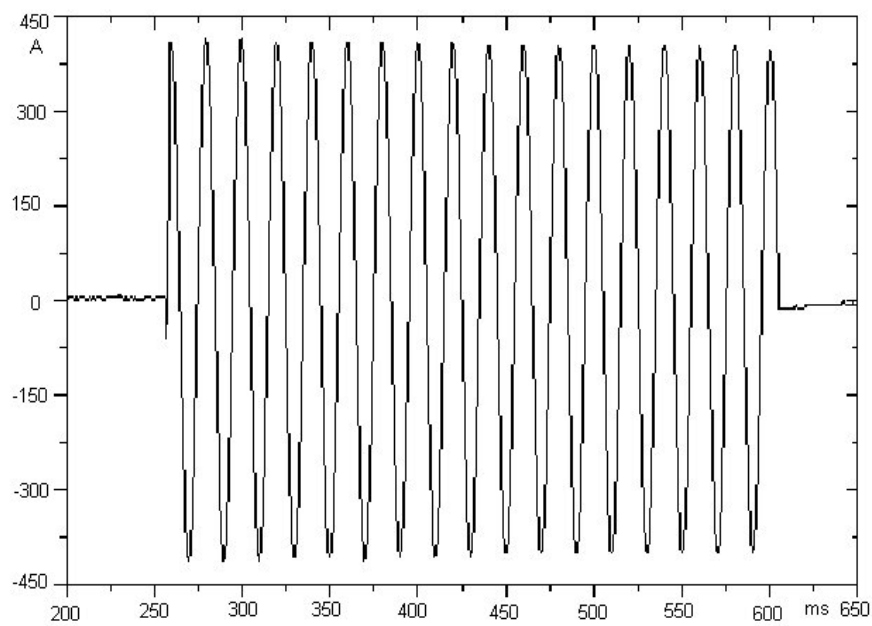
Izvedeno je šest zemljospojeva, tri u fazi R, jedan u fazi S i dva u fazi T.

Prvi zemljospoj je izveden u 11³⁴ u fazi R. Reagovala je prekostrujna zaštita metalnog otpornika i dala nalog za isključenje prekidača P5. Zemljospojna zaštita, iako je trebalo, nije reagovala. Razlog je verovatno neadekvatno vremensko podešenje zaštite IR-1 (trenutno je reagovala, vreme zatezanja je bilo jednako nuli). Zemljospoj je trajao 220 ms; struja kroz metalni otpornik je bila oko 300 A_{eff}.

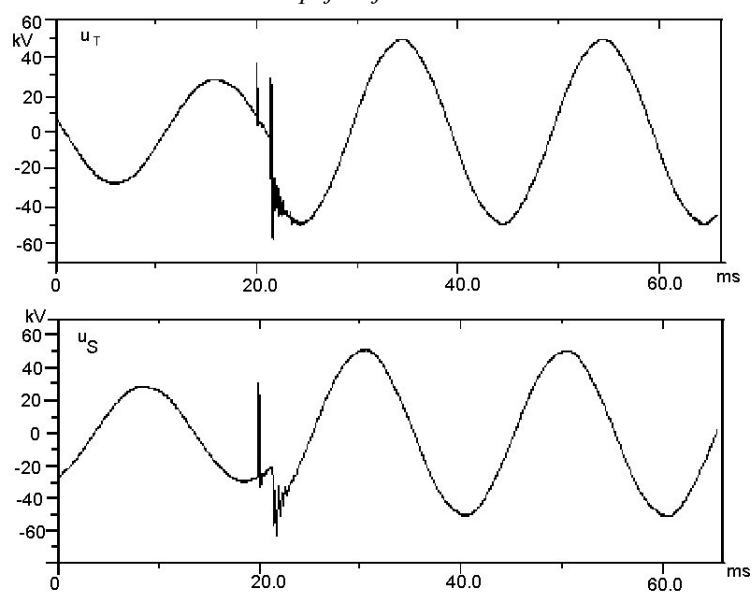
Ostali zemljospojevi su izvođeni pri različitim vremenima kašnjenja prekostrujne zaštite metalnog otpornika od 0,7 s do 1,8 s. Podešavanjem vremena kašnjenja iznad 1,2s nije reagovala prekostrujna zaštita metalnog otpornika već samo zemljospojna zaštita, koja je davala nalog za isključenje prekidača P5.

U tabeli 1 date su pri uspostavljanju zemljospojeva vrednosti faznih prenapona u relativnim jedinicama (p.u.). Prenapon u relativnim jedinicama je odnos njegove maksimalne vrednosti i temene vrednosti faznog napona pre uspostavljanja zemljospoja. Prenaponi nisu visoki; najviši izmereni je 2,20 p.u..

Primeri radi na slikama 2 i 3 dati su struja kroz metalni otpornik i prelazni fazni naponi pri uspostavljanju jednog od izvedenih zemljospojeva.



Slika 2 - Struja kroz metalni otpornik pri zemljospoju u fazi R u mreži 35 kV napajanoj iz GTSI



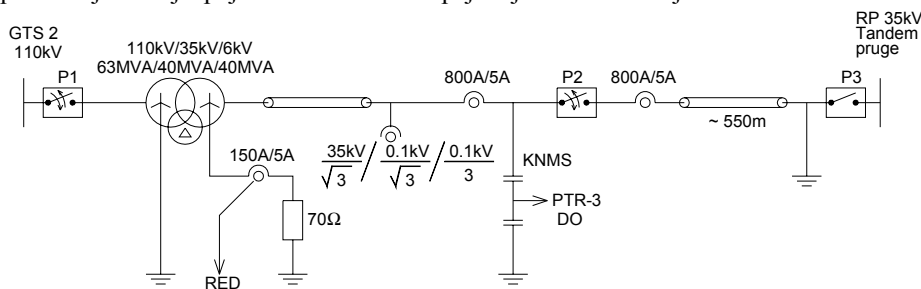
Slika 3 - Prelazni fazni naponi u_T i u_S pri uspostavljanju zemljospoja u fazi R u mreži 35 kV napajanoj iz GTSI

Tabela 1. Fazni prenaponi pri uspostavljanju zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS1

Redni broj	Vreme uključenja prekidača P6 na zemljospoj	Faza u zemljospoj	Fazni prenaponi na 35 kV strani neopterećenog transformatora 110 kV/35 kV		
			u_R (p.u.)	u_S (p.u.)	u_T (p.u.)
1	11^{34}	R	1.00	1.95	1.73
2	11^{55}	R	1.00	2.20	1.73
3	12^{09}	R	1.00	2.20	2.10
4	12^{27}	S	1.73	1.00	1.76
5	12^{45}	T	1.73	1.73	1.00
6	12^{59}	T	1.80	1.73	1.00

2.2. Istraživanja pri pojavi zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2

Šema istraživanja strujnih i naponskih pojava pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2 data je na sl. 4.



KNMS - kapacitivni naponski merni sistem
 PTR-3 - tranzijent rikorder
 DO - digitalni osciloskop
 RED - osciloperturbograf

Sl. 4 - Šema istraživanja prelaznih faznih napona i struja kroz metalni otpornik pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2.

Metalni zemljospoj je izvođen na kraju neopterećenog kablovskog voda "GTS2 – Tandem" u ćeliji Tandema. Uključenje na metalni zemljospoj i isključenje zemljospoja je izvođeno prekidačem P2 u šemi na sl.4. Pri tome su snimani prelazni fazni naponi na 35 kV strani transformatora 110 kV/35 kV/6 kV ispred prekidača P2 i struja kroz metalni otpornik u zvezdištu 35 kV transformatora.

Uređaj za zaštitu od zemljospoja u 35 kV mreži, napajanoj iz GTS2, je RE-55. Vežan je u sekundarnim kolima strujnih i naponskih transformatora transformatorske ćelije 35 kV u GTS2. Deluje bez vremenskog zatezanja i pojavom zemljospoja daje nalog za isključenje prekidača P2. Osim ove zaštite na pojavu zemljospoja deluje i uređaj za prekostrujnu zaštitu IR-1 metalnog otpornika vežan u sekundarnom kolu strujnog transformatora u grani metalnog otpornika. Podešen je da reaguje na struju

iznad 75 A bez vremenskog zatezanja i pri pojavi zemljospoja daje nalog za isključenje prekidača P2.

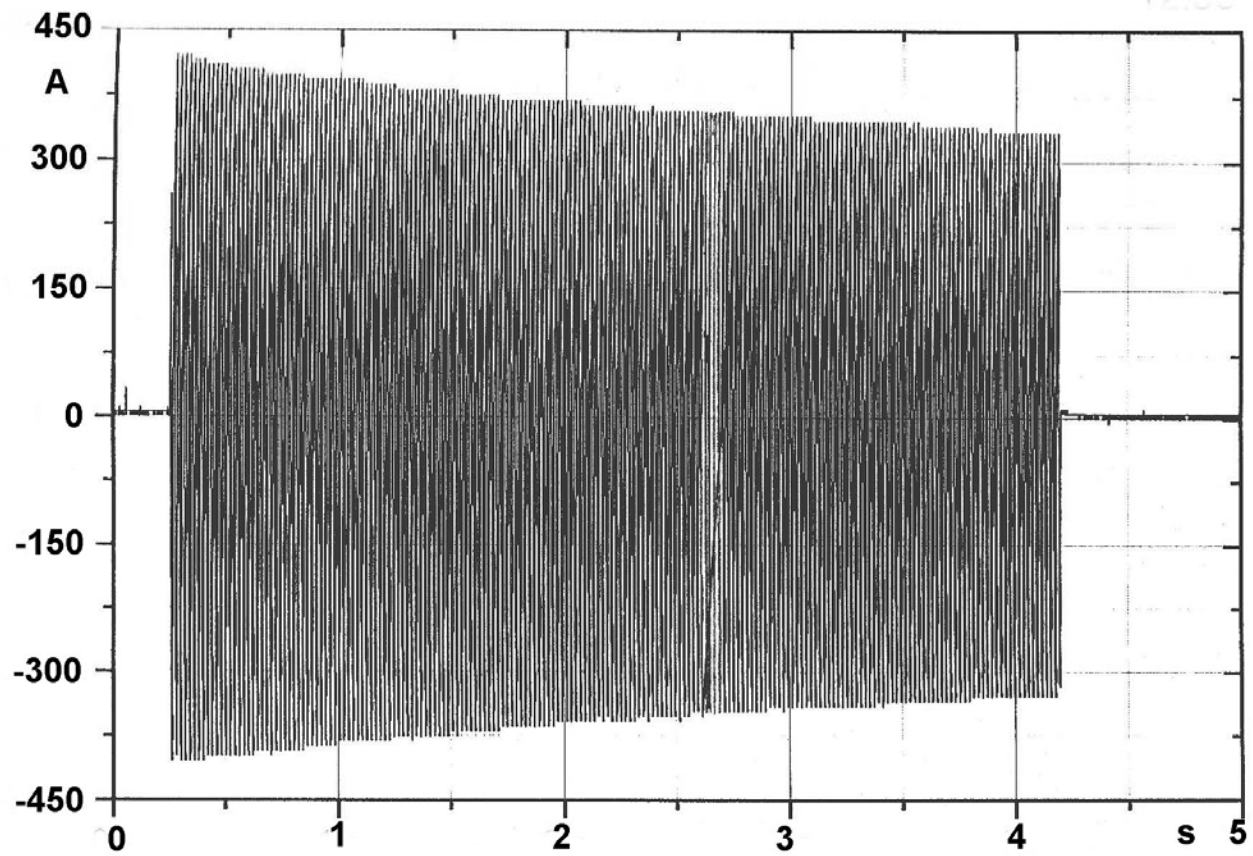
Izvedena su tri zemljospoja, dva u fazi R i jedan u fazi S. Prvo je izvedeno uključenje na zemljospoj u fazi R u 12⁵⁵. Nijedna relejna zaštita nije reagovala i uklopničar u komandnoj sali GTS2 je daljinski isključio prekidač P2. Trajanje zemljospoja je bilo oko 3,8 s. Nekoliko minuta posle toga pregledan je metalni otpornik. Nije bilo oštećenja na njemu. Procenjuje se da je njegova temperatura u toku pregleda bila samo nekoliko stepeni veća od temperature okoline. Sa snimka struje kroz metalni otpornik (sl. 5) se vidi da je u početku bila oko 300 A i polako je smanjivala svoju vrednost tokom trajanja zemljospoja. Posle 3,8 s iznosila je oko 235 A_{eff}. Porastom temperature metalnog otpornika tokom trajanja zemljospoja povećavala se njegova otpornost i time se smanjivala vrednost struje kroz njega.

Drugi zemljospoj je izveden u fazi R u 13⁴². Zemljospojna zaštita nije reagovala. Reagovala je prekostrujna zaštita metalnog otpornika i dala nalog za isključenje prekidača P2. Struja kroz metalni otpornik je bila reda 300 A_{eff}. Zemljospoj je trajao 280 ms.

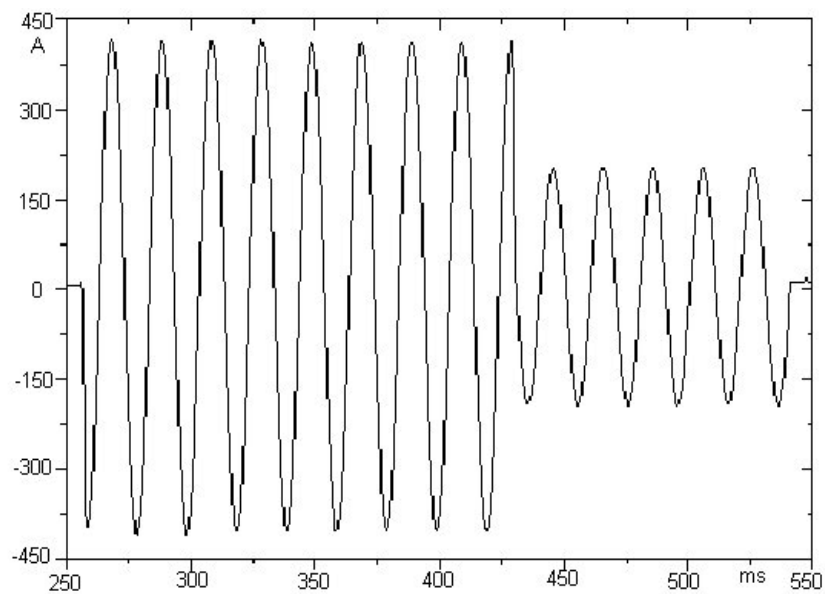
Treći zemljospoj je izveden u fazi S u 13⁵⁷. Oko 180 ms posle uključenja prekidača P2 na zemljospoj u fazi S, nastupa kratak spoj između faza S i R, reaguje zaštita od kratkog spoja i daje nalog za isključenje prekidača P2. Kratak spoj traje oko 110 ms. Do kratkog spoja između faza je došlo zbog malog rastojanja između kabla sa kojim je faza S priključena na uzemljivač i faze R. Nastupio je preskok između faza, neznatno ih ošteti i delimično površinski ošteti stubline prekidača 35 kV u ćeliji Tandema gde je izveden zemljospoj. Struja kroz metalni otpornik pre nastanka kratkog spoja je bila oko 300 A_{eff}, a za vreme trajanja kratkog spoja oko 145 A_{eff}, pošto se gotovo sva struja kratkog spoja zatvarala između faza R i S. Nije bilo prenapona pri pojavi kratkog spoja niti pri njegovom isključenju. Na sl. 6 i 7 dati su struja kroz metalni otpornik za vreme zemljospoja i kratkog spoja i prelazni fazni naponi pri uspostavljanju zemljospoja i kratkog spoja i pri isključenju kratkog spoja. U tabeli 2 date su pri uključenju zemljospojeva vrednosti faznih prenapona u relativnim jedinicama (p.u.). Prenaponi nisu visoki; ne prelaze 2 p.u.. Pri isključenju zemljospojeva nije bilo prenapona.

Tabela 2. Fazni prenaponi pri uspostavljanju zemljospoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2

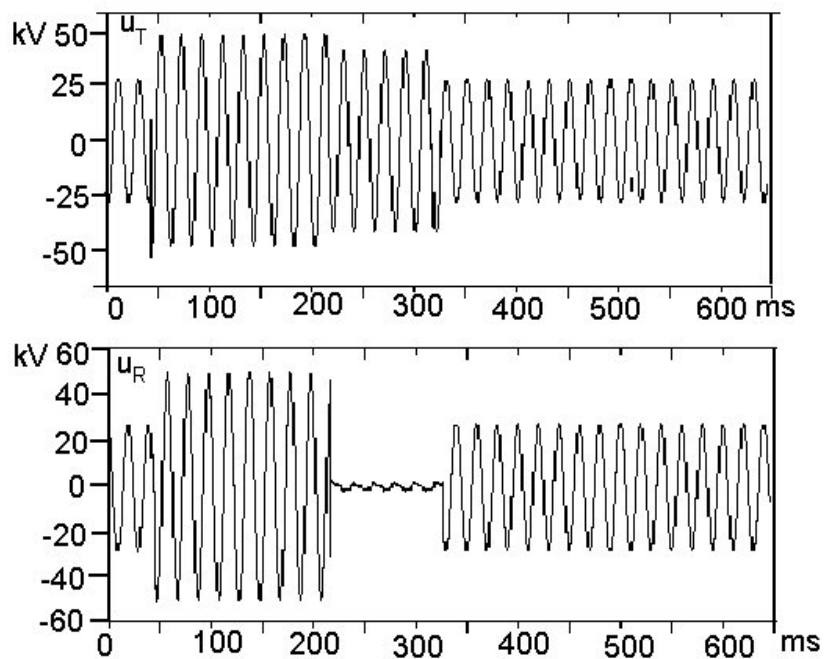
Redni broj	Vreme uključenja prekidača P2 na zemljospoj	Faza u zemljospoju	Fazni prenaponi na 35 kV strani neopterećenog transformatora 110 kV/35 kV/6kV		
			u _R (p.u.)	u _S (p.u.)	u _T (p.u.)
1	12 ⁵⁵	R	1.00	1.73	1.95
2	13 ⁴²	R	1.00	1.73	1.75
3	13 ⁵⁷	S	1.00	1.80	2.00



Slika 5 - Struja kroz metalni otpornik u GTS2 pri pojavi zemljospoja u fazi R koji je trajao 3,8 s.



Slika 6 - Struja kroz metalni otpornik pri pojavi zemljospoja u fazi S, a zatim i kratkog spoja između faza R i S u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2



Slika 7 - Prelazni fazni naponi u_T i u_S pri uspostavljanju zemljospoja u fazi S, pri uspostavljanju kratkog spoja između faza R i S i pri isključenju kratkog spoja u mreži 35 kV napajanoj iz GTS2

3 ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Snimljene naponske i strujne pojave koje nastaju pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja su uobičajenih visina, oblika i trajanja kao i u drugim sličnim mrežama 35 kV uzemljenim preko male impedanse. Napon na fazi na kojoj se uspostavlja zemljospoj naglo pada na nulu, a naponi na ostale dve faze u mreži 35 kV skaču na međufazne napone posle kratkog prelaznog procesa (nekoliko ms). U toku tih prelaznih procesa javljaju se prenaponi, ali ne viši od $2,2 U_f$ (U_f - temena vrednost faznog napona mreže 35 kV pre nastanka zemljospoja). Pri isključenju zemljospoja napon faze koja je bila u zemljospoju dobija fazni napon, a na druge dve faze naponi sa međufaznih padaju na faze napone. Nema prenapona pri prekidanju zemljospoja. Struja kroz metalni otpornik je $300 A_{eff}$ i tu vrednost dostiže odmah po uspostavljanju zemljospoja. Ako zemljospoj traje duže struja postepeno pada zbog povećanja otpornosti metalnog otpornika usled zagrevanja. Nakon 3,8 s njen pad je reda 20%. Sve ovo ukazuje da naprezanja izolacije opreme nisu veća nego u drugim sličnim mrežama. Međutim, ispitivanja izolacije opreme izvršena u Sartid-u [2,3] ukazuju na njenu značajnu degradaciju tako da skok faznih na međufazne napone pri pojavi zemljospoja može da dovede do njenog značajnog naprezanja, pa i do proboja. Na pojavu zemljospoja na nekom od kablovskih vodova treba trenutno da reaguje zemljospojna zaštita i da daje nalog za isključenje prekidača istog voda. Prekostrujna zaštita metalnog odvodnika treba da se pobudi i da reaguje tek posle podešenog vremena zatezanja; ne reaguje ako je zemljospojna zaštita pravilno odradila. U delu mreže, napajane iz GTS1, prekostrujna zaštita nije bila usklađena sa radom zemljospojne zaštite. Njeno vreme kašnjenja nije bilo dobro podešeno. U delu mreže, napajane iz GTS2, zemljospojna zaštite nije ni reagovala na pojavu zemljospoja, a prekostrujna zaštita metalnog otpornika nije reagovala pri jednom od tri izvedena zemljospoja. Pretpostavlja se da zemljospojna zaštita nije dobro usmerena. Isti je signal za pobuđivanje prekostrujne zaštite metalnog otpornika i zemljospojne zaštite. Ovako neregularan rad zaštita može da dovede do većih zastoja, ali i do havarije metalnog otpornika. U mreži napajanoj iz GTS1, zbog neusklađenosti zemljospojne zaštite i prekostrujne zaštite metalnog otpornika, pri pojavi zemljospoja ispada iz pogona kompletna mreža 35 kV, a ne samo vod na kome je zemljospoj. Nereagovanjem zemljospojne zaštite i prekostrujne zaštite metalnog otpornika, metalni otpornik se termički preopterećuje i ako se zemljospoj ne eliminiše u toku 5 sekundi dolazi do njegove havarije. Praktično posle toga svi elementi (slogovi) metalnog otpornika u njegovoj kućici moraju da se zamene, a i veći deo potpornih izolatora slogova.

Prekostrujne zaštite metalnih otpornika nisu dobro rešene. Potrebno je, pored toga što služe kao rezervne zaštite zemljospojnoj zaštiti, da obezbede da se metalni otpornici termički ne preopterećuju. Podešene su da reaguju pri pojavi struje veće od 75 A sa vremenskim kašnjenjem. Metalni otpornik je predviđen da trajno izdrži struju 5 A, 10 minuta struju 20 A i 5 sekundi struju 300 A. Ako kroz metalni otpornik u dužem periodu teku struje veće od 5 A, a manje od 75 A, njegova prekostrujna zaštita neće reagovati, on će se termički preopteretiti i dolazi do havarije.

4 ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata istraživanja pojava u mreži 35 kV pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja može se zaključiti sledeće:

- Uzroke nastajanja zemljospoja i havarijskih događaja koji se pri tom mogu desiti treba tražiti u oslabljenoj izolaciji opreme u mreži 35 kV. Prenaponske i strujne pojave koje nastaju pri uspostavljanju, trajanju i prekidanju zemljospoja su uobičajenih visina, oblika i trajanja kao u drugim sličnom mrežama. Naprezanja, koje one izazivaju, nisu takva da mogu da dovedu do razornih pražnjenja izolacije opreme predviđene za mrežu 35 kV. Neophodno je što pre detektovati opremu sa oslabljenom izolacijom i eliminisati je iz pogona.
- Rad zemljospojnih zaštita i prekostrujnih zaštita metalnih otpornika je nepouzdan. Potrebno je ispitati i uskladiti njihov rad. Signale za pobuđivanje prekostrujne zaštite metalnog otpornika i zemljospojne zaštite u mreži napajanoj iz GTS2 treba razdvojiti.
- Prekostrujne zaštite metalnih otpornika nisu dobro rešene. Potrebno je izvršiti njihovu rekonstrukciju tako da spreče mogućnost termičkog preopterećenja metalnog otpornika. Jedno od rešenja je signalizacija struje metalnog otpornika između 5 A i 20 A i isključenje pojavom struje veće od 20 A sa kašnjenjem reda 1,5-2 s.

LITERATURA

- [1] P. Vukelja i drugi: "Istraživanja i snimanja prenapona i struja zemljospoja u mrežama 35 kV Sartid-a" Elaborat br.310201, Elektrotehnički institut "N.Tesla", Beograd 2001. godine, str.50.
- [2] P. Vukelja, M. Gavrić i drugi: "Ispitivanje razvodnog postrojenja 35 kV "Tandem pruge" u hladnoj valjaonici železare Sartid, Smederevo", Izveštaj br.319714, Elektrotehnički institut "N.Tesla", Beograd 1997.god. str.33.
- [3] J. Mrvić i drugi: "Ispitivanje sabirnica i ćelija u mreži 35 kV Sartid Smederevo", Elektrotehnički institut "N.Tesla", Beograd 2002. godine, str.14.

Abstract: The results of the experimental investigations of voltage and current phenomena on the "Sartid" 35 kV network at earth-fault establishment and interruption are presented. The analysis of investigation results has shown that the existing way of earth-fault clearance is not sufficiently reliable. The measures which should be undertaken in order to reduce the possibility of damage event appearance are suggested.

Keywords: *current, voltage, earth-fault, network*

TRANSIENT VOLTAGE AND CURRENT PROCESSES ON "SARTID" 35 kV NETWORK AT EARTH FAULT APPEARANCE

Dr Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvic