

Analiza mogućnosti nastanka ferorezonanse u izolovanoj 6 kV mreži

Ranko Jasika¹, Katarina Maksić, Jovan Mrvić

¹Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija

ranko.jasika@int.bg.ac.rs, katarina.maksic@int.bg.ac.rs,
jojan.mrvic@int.bg.ac.rs

Kratak sadržaj: Ferorezonansa je složena nelinearna električna pojava koja može izazvati značajna dielektrična i termička naprezanja elektroenergetske opreme, što dovodi do potencijalnih kvarova, oštećenja opreme, prekida u napajanju itd. Trofazne mreže sa izolovanom neutralnom tačkom i jednopolno izolovanim mernim naponskim induktivnim transformatorima podložne su pojavi ferorezonanse, izazvanoj interakcijom nelinearnih induktivnosti transformatora i kapacitivnosti mreže. U radu je analizirana mogućnost pojave ferorezonanse u jednoj realnoj 6 kV mreži sa izolovanom neutralnom tačkom, primenom programskog alata za proračun tranzijentnih procesa EMTP/ATP. Formiran je detaljan model mreže, uvažavajući nelinearnosti mernih naponskih i energetskih transformatora, koji je iskorišćen za analizu različitih konfiguracija, uklopnih stanja, sklopnih operacija i kvarova u mreži koji bi mogli da iniciraju pojavu ferorezonanse. Pokazano je da, u određenim okolnostima, može doći do pojave ferorezonanse i da je njen inicijator najčešće isključenje kvarova. Takođe, analizirana je efikasnost u primeni različitih mera za suzbijanje pojave ferorezonanse. Posmatran je uticaj vrednosti otpornika u otvorenom trouglu mernih naponskih transformatora na brzinu prigušenja oscilatornog procesa, odnosno na suzbijanje pojave ferorezonanse.

Ključne reči: ferorezonansa, EMTP/ATP, naponski transformator, mreža sa izolovanom neutralnom tačkom

1. Uvod

Pojava ferorezonanse karakteristična je za mreže sa izolovanom neutralnom tačkom (izolovane mreže), ali se može sresti i u nekim konfiguracijama mreža sa drugaćijim tretmanom neutralne tačke. Ferorezonansa može da izazove pojavu faznih napona i struja većih od naznačenih u vidu stacionarnih periodičnih oscilacija, koji mogu da dovedu do

proboja izolacije ili češće do termičkog razaranja pojedine elektroenergetske opreme. Oscilacije se zasnivaju na uzajamnom dejstvu dela kapaciteta mreže i nelinearne induktivnosti namotaja energetskog transformatora, ili češće, na uzajamnom dejstvu kapacitivnosti mreže i nelinearne induktivnosti jednopolno izolovanih induktivnih naponskih transformatora. Talasni oblici napona i struja pri ferorezonansi najčešće su veoma izobličeni sa velikim sadržajem harmonika i subharmonika. Ovi talasni oblici su kategorizovani prema njihovoj periodičnosti. Bazirano na eksperimentalnim istraživanjima i numeričkim simulacijama, ferorezonansa je podeljena na sledeće vrste [1]:

- periodični ferorezonantni režimi,
- kvaziperiodični ferorezonantni režimi,
- haotični ferorezonantni režimi.

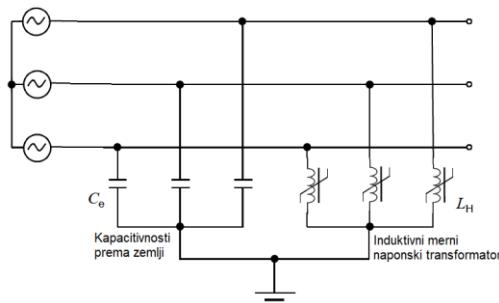
Do uspostavljanja ferorezonanse najčešće dolazi nakon nekog prolaznog poremećaja u mreži (tranzijentni prenapon, privremeni kvar) ili sklopne operacije (otklanjanje kvara, uključenje/isključenje potrošača). Takođe, na pojavu ferorezonanse utiču i brojni drugi faktori kao što su trenutno uklopljeno stanje, konfiguracija mreže, zasićenje gvozdenog jezgra transformatora, kapacitivnosti mreže, trenutak sklopne operacije/kvara, ukupni gubici itd. Prema tome, može se zaključiti da je za konkretnu mrežu veoma složen i težak zadatak predvideti pojavu ferorezonanse. Zbog toga je u ovom radu, za jednu analiziranu 6 kV mrežu, formiran detaljan model u progamskom alatu za proračun tranzijentnih procesa EMTP/ATP, koji omogućava analize različitih scenarija sklopnih operacija, kvarova, ukloplnih stanja kao i varijacije najuticajnijih parametara u cilju sagledavanja mogućnosti pojave ferorezonanse u konkretnoj mreži i efikasnosti primenjenih mera za njenu suzbijanje. Detaljno su modelovani najuticajniji faktori kao što su nelinearnosti krivih magnećenja energetskih i induktivnih mernih transformatora, kapaciteti vodova, sabirnica i ostale opreme.

U prvom poglavlju rada data data je teorijska osnova fenomena koji je predmet analize – ferorezonansa kod jednopolno izolovanih naponskih transformatora u izolovanoj mreži. U drugom poglavlju rada predstavljen je formiranim model mreže i prikazani su rezultati simulacija. Izdvojeni su karakteristični slučajevi pri kojima dolazi do pojave ferorezonanse kao i slučajevi kada se javljaju samoprigušujućih oscilatorni prelazni procesi. U trećem poglavlju rada detaljno su opisane moguće mere za suzbijanje pojave ferorezonanse. Na konkretnom primeru mreže analizirana je efikasnost primene mera baziranih na prigušenju nultog sistema, priključenjem otpornika u otvoreni trougao sekundarnih namotaja seta jednopolno izolovanih induktivnih naponskih transformatora. Na kraju rada pregledno je dat zaključak sprovedenih analiza.

2. Objasnjenje pojave ferorezonanse

Pojam ferorezonansa se odnosi na nelinearne oscilacije koje se mogu javiti u mrežama gde induktivne komponente, sa feromagnetskim jezgrom, zajedno sa kapacitivnostima i izvorom naizmeničnog napona, čine sistem

sposoban za oscilovanje. Primer takvog sistema su trofazne mreže sa jednopolno izolovanim mernim naponskim induktivnim transformatorima gde neutralna mreža nije efikasno uzemljena. Principska šema kola data je na slici 1. Naponski transformatori su u paralelnoj vezi sa kapacitetima nultog redosleda mreže. Različiti tranzijentni procesi uzrokovani kvarovima ili sklopnim operacijama mogu dovesti naponske transformatore u zasićenje i zavisno od relativnog odnosa između kapaciteta mreže i reaktansi magnećenja mogu izazvati ferorezonansu.



Slika 1. Izolovana mreža sa induktivnim naponskim transformatorima kao primer kola u kome su moguće ferorezonantne oscilacije

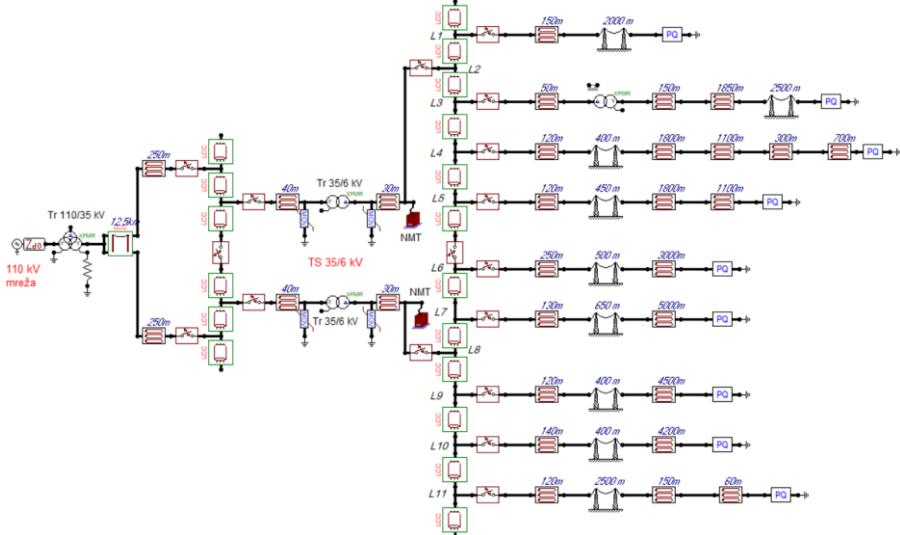
Kao posledica zasićenja jednog naponskog transformatora, kapaciteti prema zemlji druge dve faze dolaze u rednu vezu sa ovim transformatorom posmatrano sa strane izvora i prave sistem sklon oscilovanju. Ovi kapaciteti prema zemlji mogu brzo da promene svoj polaritet preko zasićene induktivnosti, nakon čega dolazi do zasićenja naponskog transformatora u jednoj od druge dve faze. Sam proces ferorezonanse je vrlo složen budući da se energija oscilacija neprestano prenosi između sve tri faze.

Da li će se pojaviti stacionarna ferorezonantna oscilacija zavisi pre svega od veličine kapaciteta prema zemlji, kao i gubitaka u kolu. Ako su kapaciteti relativno veliki, napon neutralne tačke ne može da se "kreće" dovoljno brzo, tako da se oscilatorni proces automatski završava kada naponski transformator ponovo izađe iz zasićenja. S druge strane, ako su kapaciteti prema zemlji relativno mali, napon neutralne tačke se može pomeriti (iz jedne u drugu fazu) pre nego što transformator ponovo izađe iz zasićenja. Jednom kada je ovaj proces stimulisan, oscilacija ostaje stacionarna dok se ne desi promena u konfiguraciji mreže. Oscilacije su najčešće subharmonici frekvencije mreže.

3. Model mreže i rezultati simulacija

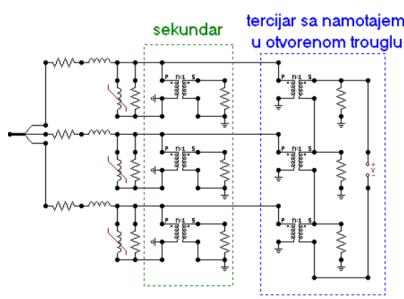
U radu je sprovedena analiza mogućnosti nastanka ferorezonanse u konkretnoj 6 kV mreži koja radi sa izolovanom neutralnom tačkom. Na slici 2 prikazan je formirani model u programskom alatu EMTP/ATP. Mreža se napaja preko dva energetska transformatora prenosnog odnosa 35/6 kV, snage po 12 MVA. Postoji devet 6-kilovoltnih izvoda sa mešovitim vodovima, razdvojenih jednim sekcionim poljem. Mreža je dominantno kablovska pri-

pri čemu su primjenjeni kablovi tipa EpN 78, različitih preseka od 50 mm^2 do 150 mm^2 .

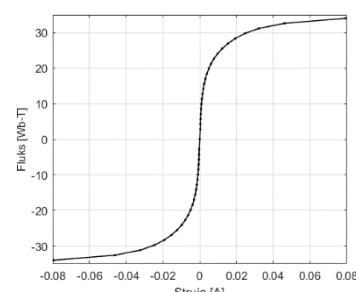


Slika 2. Model mreže formiran u programskom alatu EMTP/ATP

U transformatorskim poljima se nalaze merni induktivni naponski transformatori sa dva sekundara, pri čemu su namotaji drugog sekundara (tercijara) u trouglu. Formirani model mernog transformatora dat je na slici 3, dok je njegova kriva magnećenja data na slici 4.



Slika 3. Model mernog induktivnog naponskog transformatora



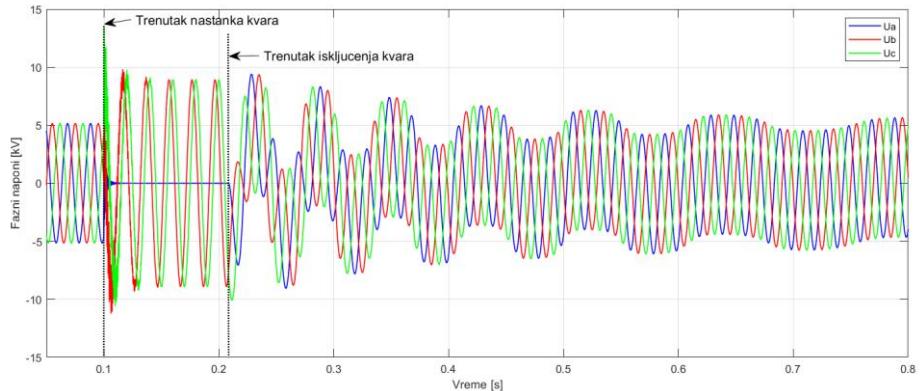
Slika 4. Karakteristika magnećenja naponskog transformatora

Rezultati simulacija su pokazali da kod posmatrane 6 kV mreže otklanjanje zemljospojeva uzrokuje prepone dovoljne da uvedu gvozdeno jezgro naponskih transformatora u zasićenje i da u određenim okolnostima dovode do ferorezonanse. Postoje brojni faktori koji utiču na prirodu prelaznog oscilatornog procesa a samim tim i na mogućnost nastanka ferorezonanse kao što su: mesto kvara, uklopljeno stanje u trenutku kvara (broj izvoda priključenih na sabirnice), opterećenje mreže, trenutak nastanka kvara itd.

Prekid zemljospoja, uspostavljenog na jednoj od faza izolovane mreže sa jednopolno izolovanim induktivnim naponskim transformatorima, dovodi do oscilatornog prenaponskog procesa. Nesimetrični sistem faznih naponova za vreme zemljospoja nastoji da se vrati u simetričan. Naponi prema zemlji zdravih faza, koji su bili međufazni za vreme zemljospoja, oscilatornim procesom se vraćaju na fazne, a napon faze na kojoj je bio zemljospoj dostiže fazni napon. U ovom procesu dolazi do razmene energije između kapacitivnosti mreže i nelinearne induktivnosti naponskih transformatora. Simulacije su pokazale da oscilatorni proces može brzo da se priguši i da sistem faznih naponova može postati simetričan, ali može i da se trajno zadrži (ferorezonansa). Kako se prelazni proseci razlikuju za različite scenarije u daljem tekstu su prikazani rezultati za dva karakteristična slučaj: prvi kojem odgovara situacija kada se oscilatorni proces sam prigušuje i drugi kada dolazi do pojave ferorezonanse (oscilatorni proces se ne prigušuje).

3.1. Samoprigušujući prelazni oscilatorni proces (nema ferorezonanse)

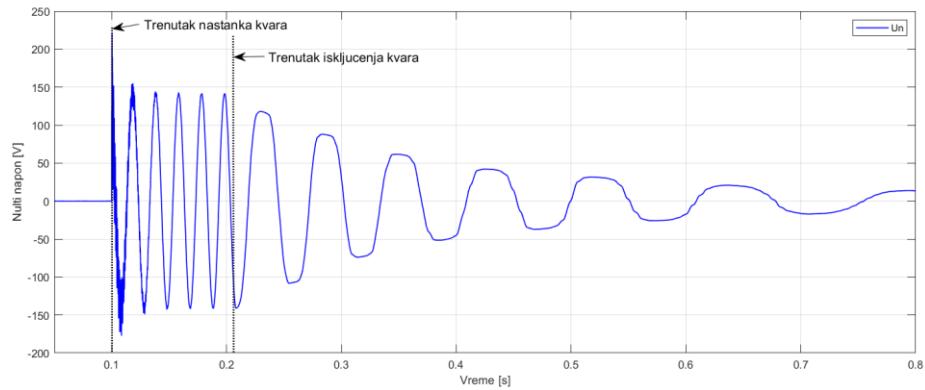
Simuliran je zemljospoj na izvodu L5 (slika 2), u konfiguraciji mreže kada su na 6 kV sabirnice priključeni svi izvodi. Talasni oblik faznih naponova tokom prelaznog procesa prikazan je na slici 5. Označen je trenutak nastanka kvara (0.1 s), nakon koga naponi zdravih faza postaju jednaki linijskim naponima.



Slika 5. Fazni naponi – prigušujući oscilatorni proces

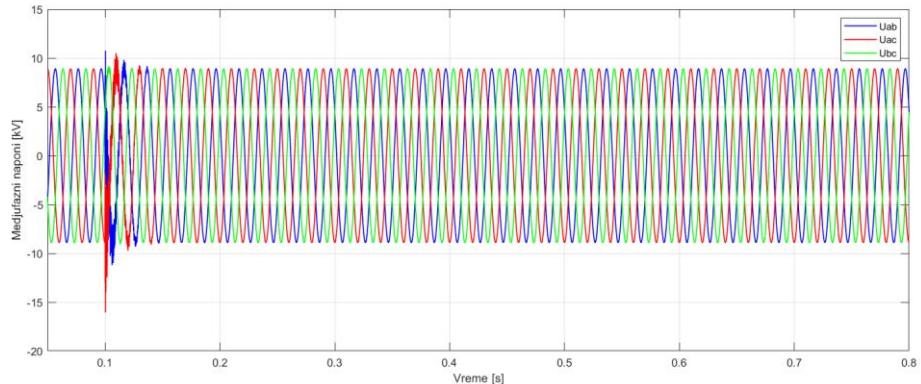
U trenutku 0.2 s dolazi do isključenja kvara što inicira oscilatorni prelazni proces, tokom kojeg nesimetrični sistem faznih naponova, formiran za vreme zemljospoja, nastoji da se vrati u simetričan. U analiziranoj konfiguraciji gubici u formiranom rezonantnom kolu su dovoljno veliki da dolazi do prigušenja oscilatornog procesa i već nakon nekoliko sekundi sistem faznih naponova postaje potpuno simetričan.

Na slici 6 prikazan je nulti napon, meren na otvorenom trouglu induktivnih naponskih transformatora, tokom trajanja prelaznog procesa. Do nastanka zemljospoja je na nultoj vrednosti nakon čega dostiže napon od 100 V. Nakon isključenja kvara prigušenim oscilatornim procesom sa učestanostu od oko 25 Hz opada do nulte vrednosti.



Slika 6. Nulti napon (meren na otvorenom trouglu naponskih transformatora)

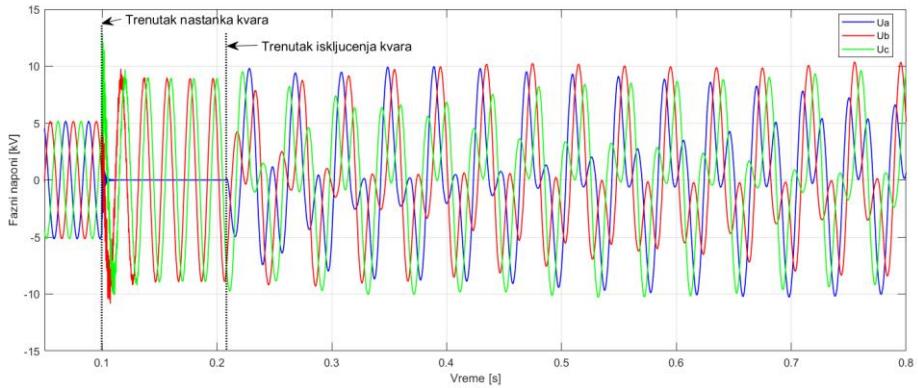
Međufazni naponi, tokom prelaznog procesa izazvanog pojavom zemljospoja i njegovim isključenjem prikazani su na slici 7. Može se uočiti da oscilatorni prelazni proces nema uticaja na međufazni napon, a samim tim nema uticaj ni na rad trofaznih potrošača.



Slika 7. Međufazni naponi tokom prigušujućeg oscilatornog procesa

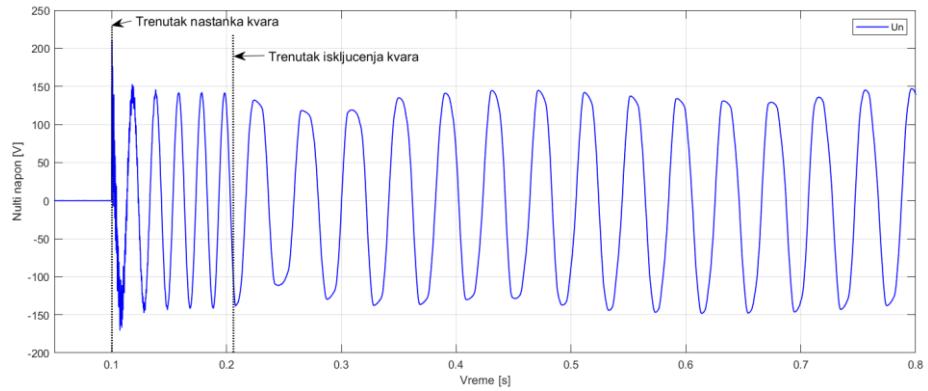
3.2 Neprigušeni oscilatorni proces – ferorezonansa

U ovom slučaju simuliran je zemljospoj na izvodu L4 (slika 2), pri čemu je konfiguracija mreže takva da najduži izvod L5 nije u pogonu, čime je značajno smanjena nulta kapacitivnost mreže. Talasni oblik faznih napona tokom prelaznog procesa prikazan je na slici 8. Nakon isključenja zemljospoja inicira se prelazni proces koji se ne prigušuje, odnosno uspostavlja se ferorezonansa. Dolazi do trajnog povećanja faznih napona, uz velika harmonijska izobličenja. U naponima je, osim osnovnog harmonika, prisutan značajan ideo subharmonika učestanosti 25 Hz, odnosno u pitanju je ferorezonansa drugog subharmonika.



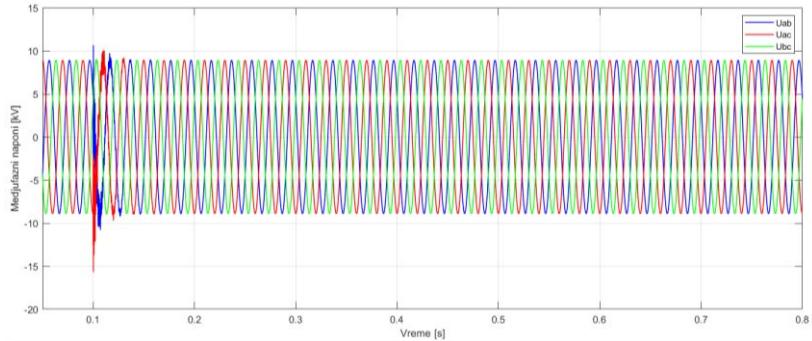
Slika 8. Fazni naponi tokom ferorezonanse

Nulti napon, meren na otvorenom trouglu induktivnih naponskih transformatora, tokom trajanja ferorezonanse prikazan je na slici 9. I nakon isključenja kvara nulti napon zadržava svoju amplitudu (približno jednaku faznom naponu) ali se menja njegova frekvencija sa 50 Hz (tokom trajanja zemljospaja) na 25 Hz nakon uspostavljanja ferorezonanse.



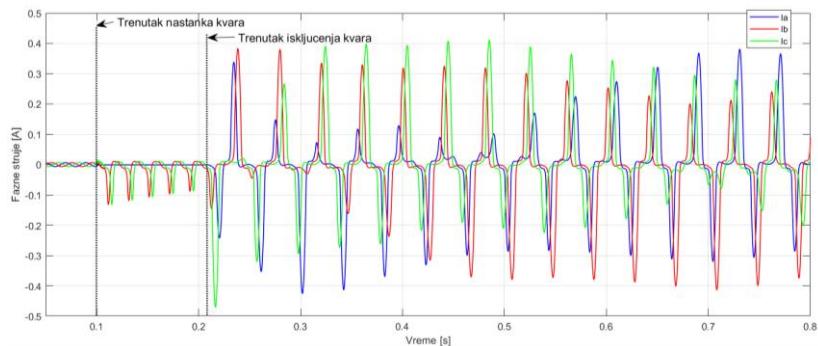
Slika 9. Nulti napon tokom ferorezonanse

Na slici 10 prikazani su međufazni naponi, koji ostaju neizmenjeni tokom trajanja ferorezonanse. To znači da trougao linijskih napona samo osciluje prema zemlji zadržavajući svoje dimenzije (amplitudu i fazni pomeraj). Drugim rečima za vreme ferorezonanse sva tri fazna napona dobijaju identične istofazne komponente napona na koje se superponiraju 50 Hz naponi mreže. Kako je već konstatovano (slika 9), frekvencija tog istofaznog (nultog) napona je 25 Hz.



Slika 10. Međufazni napon tokom ferorezonanse

Prema tome, u analiziranoj 6 kV mreži moguća je pojava ferorezonanse drugog subharmonika, kada trougao linijskih napona osciluje prema zemlji frekvencijom od oko 25 Hz. Pri tome fazni naponi predstavljaju sumu odgovarajućih simetričnih faznih napona mrežne frekvencije mreže i nultog napona dvostruko niže frekvencije i slične amplitude, tako da je vršna vrednost ovakvih ferorezonantnih napona približno dva puta veća od amplitude faznih napona mrežne frekvencije. Osim povišenih napona, tokom ferorezonanse struja mernog naponskog transformatora je znatno veća od nominalne (slika 11), što bi moglo dovesti do njegovog termičkog razaranja, tako da je neophodno primeniti mere za sprečavanje/prigušenje ferorezonanse.



Slika 11. Struje mernog naponskog transformatora

4. Mere za sprečavanje ferorezonanse

U prethodnom poglavlju je pokazano da je moguća pojava ferorezonanse u analiziranoj mreži pri određenim uslovima, zbog čega je neophodno primeniti mere za njeno suzbijanje. Generalno za izbegavanje ferorezonanse i njenih posledica mogu se primeniti dve grupe metoda: pasivne i aktivne. Aktivne metode dozvoljavaju mogućnost pojave ferorezonanse ali je onda brzo prigušuju, dok je cilj pasivnih mera da spreče pojavu (minimizuju

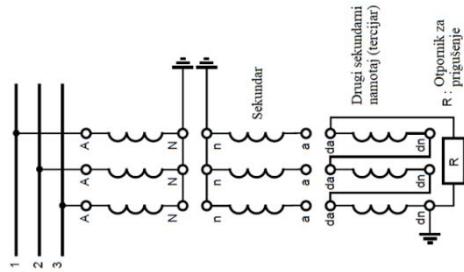
mogućnost nastanka) ferorezonanse, a za to se koriste neka od sledećih rešenja [3, 4]:

- uzemljenje mreže direktno, preko otpornika ili prigušnice,
- smanjenje naznačene indukcije u jezgru jednopolno izolovanih induktivnih naponskih transformatora,
- izbor kapacitivnog naponskog transformatora umesto induktivnog,
- izbor induktivnog naponskog transformatora sa otvorenim jezgrom (sa vazdušnim zazorom),
- povećanje kapacitivnosti mreže.

Pojedine navedene mere su tehnički teško primenjive ili su ekonomski neopravdane, ali bez obzira na to njihovom primenom se ne može garantovati da ne može doći do pojave ferorezonanse u određenim uklopnim stanjima i prelaznim procesima u mreži. Zbog toga je pogodna primena aktivnih metoda čiji cilj nije da se u potpunosti eliminiše mogućnost nastanka ferorezonanse već da se ona efikasno priguši, što se postiže prigušenjem nultog sistema, a za to se primenjuju neka od sledećih rešenja [3, 4]:

- priključenje otpornika u svaki sekundar jednopolno izolovanih induktivnih naponskih transformatora,
- priključenje otpornika u otvoreni trougao sekundarnih namotaja seta od tri jednopolno izolovana induktivna naponska transformatora,
- priključenje otpornika između visokonaponskih provodnika i zemlje,
- priključenje otpornika velike otpornosti u zvezdište transformatora mreže,
- priključenje otpornika u zvezdište seta od tri jednopolno izolovana induktivna naponska transformatora,
- priključenje otpornika u sekundar jednopolno izolovanog induktivnog naponskog transformatora čiji je primar priključen u zvezdište transformatora mreže,
- upotreba vazdušne prigušnice u paraleli sa namotajem visokog napona induktivnog naponskog transformatora.

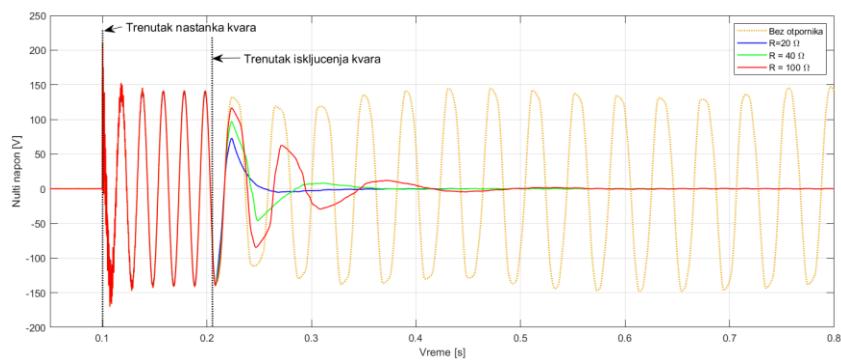
Rešenje sa priključenjem otpornika u otvoreni trougao sekundarnih namotaja seta jednopolno izolovanih induktivnih naponskih transformatora je jedno od najčešće korišćenih jer je veoma jednostavno, ekonomično i pouzdano, zbog čega je u ovom radu analizirana efikasnost njegove primene. Način priključenja otpornika za prigušenje data je na slici 12. Ovo je „aktivna“ mera jer se ferorezonansa prigušuje povećavanjem rezistivnih gubitaka. Prednost rešenja je u tome što su gubici prisutni samo u slučaju nesimetričnih poremećaja, pa zahvaljujući tome nije narušena tačnost mernog transformatora.



Slika 12. Priključenje otpornika za prigušenje ferorezonanse u otvoreni trougao sekundarnih namotaja naponskih transformatora

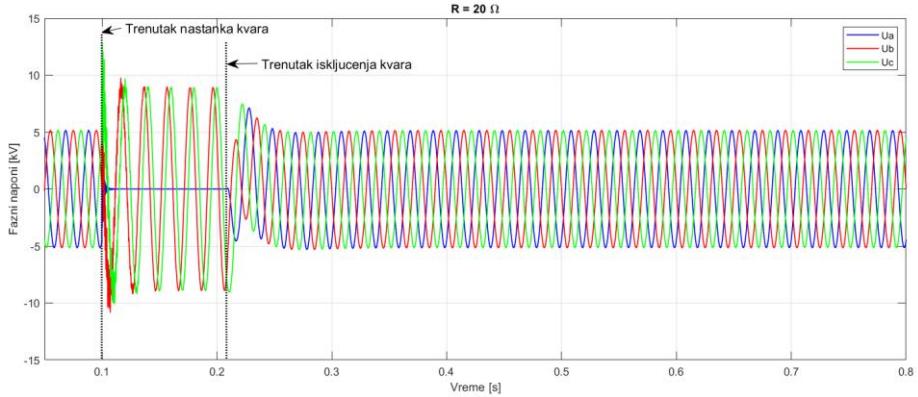
U [2, 3] date su empirijske formule za određivanje vrednosti otpornosti i snage otpornika za prigušenje. Potrebno je da otpornik ima dovoljno nisku vrednost da brzo priguši oscilaciju ali da pri tome ne dovede do termičkog preopterećenja sekundarnog namotaja transformatora u bilo kojoj situaciji. Obimna eksperimentalna istraživanja [4] su pokazala da je za sprečavanje ferorezonanse u 6 kV mreži potrebna vrednost otpornika od 20Ω do 40Ω .

U radu je analiziran uticaj primjenjenog otpornika na brzinu prigušenja ferorezonanse. Ponovljene su prethodne simulacije ali sada sa prisutnim otpornikom u otvorenom trouglu. Na slici 13 prikazani su nulti naponi za tri različite vrednosti otpornika: 20Ω , 40Ω , 100Ω kao i slučaj bez otpornika. Sva tri otpornika su dovela do prigušenja osculatornog procesa, s tim da je kod otpornika od 20Ω prigušenje sprovedeno za oko 40 ms, kod otpornika od 40Ω za 100 ms, dok je kod otpornika od 100Ω proces trajao oko 250 ms.

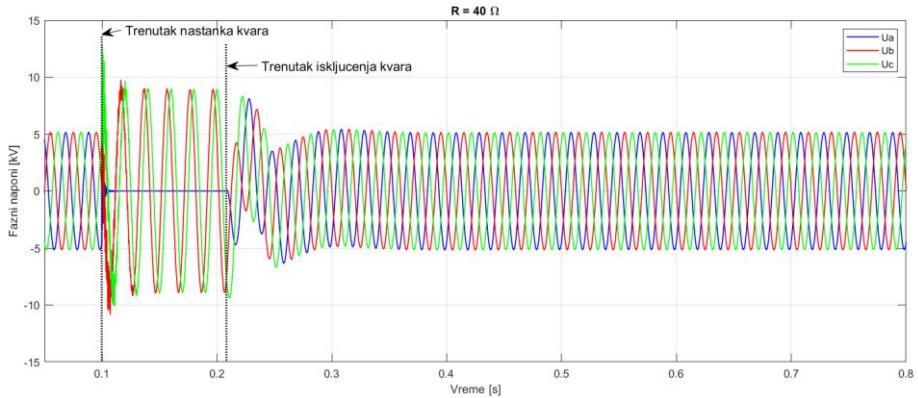


Slika 13. Nulti napon za različite vrednosti otpornika za prigušenje

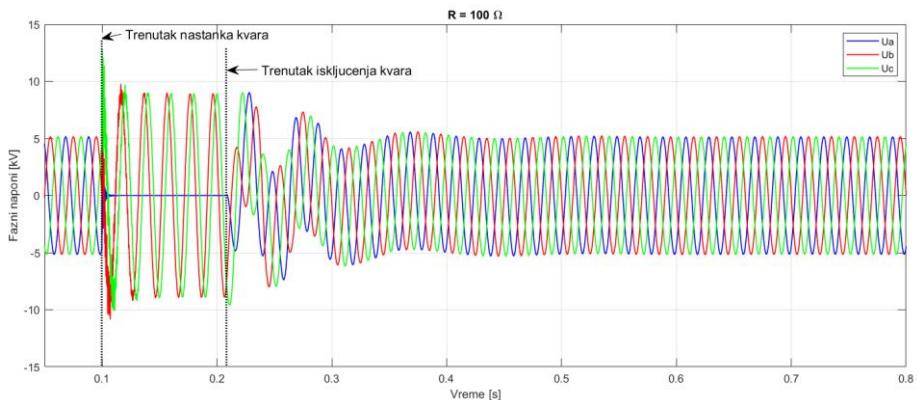
Na slikama 14,15 i 16 prikazani su talasni oblici faznih napona za primenjene tri različite vrednosti otpornika za prigušene ferorezonanse.



Slika 14. Fazni naponi sa primenjenim otpornikom za prigušenje od 20Ω



Slika 15. Fazni naponi sa primenjenim otpornikom za prigušenje od 40Ω



Slika 16. Fazni naponi sa primenjenim otpornikom za prigušenje od 100Ω

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da, za analizirani slučaj, sva tri otpornika suzbijaju pojavu ferorezonase, s tim da je proces prigušenja brži kod otpornika sa manjim vrednostima. Snaga gubitaka na sekundaru transformatora tokom zemljospaja, nakon priključenja otpornika,

iznosi 500 W, 250 W i 100 W, za vrednosti otpora od $20\ \Omega$, $40\ \Omega$, $100\ \Omega$ respektivno. Kako naponski transformator nije termički preopterećen ni u jednom slučaju (granična termička snaga 600 W), pogodan izbor bio bi otpornik od $20\ \Omega$.

5. Zaključak

Ferorezonansa je široko proučavan fenomen, ali još uvek nije dobro shvaćen zbog svog složenog ponašanja. Cilj ovog rada bio je upoznavanje sa problemom pojave ferorezonanse u elektroenergetskim mrežama sa izolovanom neutralnom tačkom, na primeru konkretnе 6 kV mreže.

Rezultati simulacija su pokazali da u određeni okolnostima može doći do pojave ferorezonanse u posmatranoj mreži. Najveći uticaj su imali opterećenje mreže i uklopljenje - odnosno broj izvoda priključenih na 6 kV sabirnice. Do ferorezonanse je dolazilo samo u uslovima slabo opterećene mreže i kada su najduži izvodi van pogona - usled čega je značajno smanjen nulti kapacitet mreže. Na osnovu sprovedenih simulacija može se zaključiti da isključenje zemljospoja, u takvim okolnostima, gotovo uvek dovodi do pojave ferorezonase ukoliko nisu primenjene neke od mera za njeno suzbijanje.

Prilikom uspostavljanja stacionarnih ferorezonantnih oscilacija, u posmatranoj mreži, u faznim naponima je osim osnovnog harmonika uvek bio izražen značajan ideo subharmonika učestanosti 25 Hz, odnosno uvek sejavljala ferorezonansa drugog subharmonika. Rezultati simulacija su pokazali da je vršna vrednost ovakvih ferorezonantnih napona približno dva puta veća od amplitudu faznih napona mrežne frekvencije. Pri tome struja mernog naponskog transformatora su znatno veća od nominalne što bi dovelo do njegovog termičkog razaranja.

Na osnovu analize iz poslednjeg poglavlja rada može se zaključiti da otpornik postavljen u otvoreni trougao sekundarnih namotaja induktivnih naponskih transformatora, brzo prigušuje oscilatorni proces i onemogućava pojavu ferorezonanse. Pokazano je da bi otpornik od $20\ \Omega$ bio dobar izbor.

Literatura

- [1]. CIGRE WG C4.307, "Resonance and Ferroresonance in Power Networks", CIGRE technical brochure No. 569, 2014.
- [2]. *Ferroresonance oscillations in substations with inductive voltage transformers*, IEC TR 61869-102:2014 Instrument transformers, 2014, ISBN 978-2-8322-1308-7.
- [3]. Jovan Mrvić, "Naponski transformatori i ferorezonansa u izolovanim mrežama", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2014.
- [4]. "Eksperimentalan istraživanja prelaznih faznih napona i struja u mrežama 35 kV, 20 kV, 10 kV i 6 kV", Studija broj 310902, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla" Beograd 2009.

- [5]. R. Bräunlich, H. Däumling, M. Hofstetter, U. Prucker, J. Schmid, H. W. Schlierf., R.Minkner "Ferroresonanzschwingungen in Hoch- und Mittelspannungsnetzen, Teil 1: Definitionen und allgemeine Erklärungen" *Bulletin SEV/AES* 2006, Heft 23, pp. 17-22.

Abstract: Ferroresonance is a complex nonlinear electrical phenomenon that can cause significant dielectric and thermal stresses in power equipment, leading to potential faults, equipment damage, power supply interruptions, etc. Three-phase networks with isolated neutral point and single-phase isolated inductive voltage transformers are susceptible to ferroresonance, caused by the interaction of the transformer's nonlinear inductances and zero sequence capacitance of power network. The paper analyzes the possibility of ferroresonance occurrence in a real 6 kV power network, with an isolated neutral point, using the electromagnetic transients program ATP/EMTP. A detailed network model is developed, taking into account the nonlinearity of voltage and power transformers, which is utilized to analyze various configurations, switching operations, and faults in the network that could trigger ferroresonance. It is shown that, under certain circumstances, ferroresonance can occur, with faults clearing being the most common initiators of ferroresonance. The efficiency of different measures to suppress ferroresonance is also analyzed. The impact of the resistance values of voltage transformer's open delta winding dumping resistor on the suppression of ferroresonance occurrence, is considered.

Keywords: ferroresonance, EMTP/ATP, voltage transformer, power network with isolated neutral point

Investigation of Ferroresonance Phenomena in Isolated 6 kV Power Network

Ranko Jasika, Katarina Maksić, Jovan Mrvić

Rad primljen u uredništvo: 22.11.2023. godine.

Rad prihvaćen: 18.12.2023. godine.

