

**ANALIZA PRELAZNIH REŽIMA NA MODELU 20[kV] MREŽE PRILIKOM
AUTOMATSKOG PONOVRNOG UKLJUČENJA****ANALYSIS OF TRANSIENT REGIMES IN A 20kV NETWORK MODEL DURING AUTO-
RECLOSING**Milan Gvozdenović, Stevan Cvetičanin, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U Matlab/Simulink okruženju nepraviljen je model dvostrano napajanoj 20 [kV] vodi na kome je implementirana i testirana prekostrujna zaštita sa automatskim ponovnim uključanjem (APU), a s obzirom na ograničenja koja model ima izvršeno je pravljenje modela 20[kV] izvoda baziranog na realnom izvodu 20[kV] mreže koji se može naći u praksi u okviru elektroenergetskog sistema. Model baziran na realnom izvodu 20[kV] mreže uzima u obzir stvarne karakteristike komponenti i parametre mreže. Na ovako razvijenom modelu vršene su simulacije kratkih spojeva i analizirani su rezultati koji se razlikuju od tipa, mesta i dužine trajanja kratkog spoja. Cilj rada je analiza prelaznih procesa prilikom automatskog ponovnog uključanja (APU).

Glavne reči: Automatsko ponovno uključanje (APU), distributivne mreže, prekostrujna zaštita

Abstract – In the Matlab/Simulink environment, a model of a 20 kV double-fed feeder with implemented and tested overcurrent protection and auto-reclosing (AR) was created. Considering the limitations of the model, a model of a 20 kV feeder based on a real 20 kV network feeder, which can be found in practice within the power system, was created. The model based on the real 20 kV network feeder takes into account the actual characteristics of the components and network parameters. On this developed model, short circuit simulations were performed and the results were analyzed, which vary based on the type, location, and duration of the short circuit. The aim of the work is to analyze the transient processes during automatic reclosing (AR).

Keywords: Auto-reclosing, distribution networks, overcurrent protection

1. UVOD

Distributivne mreže igraju ključnu ulogu u osiguravanju pouzdane isporuke električne energije. Kako bi se osigurala sigurnost distributivnih mreža, ključno je primeniti adekvatne zaštitne mehanizme. Jedan od ključnih aspekata zaštite distributivnih mreža jeste prekostrujna zaštita.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Stevan Cvetičanin

Prekostrujnu zaštitu koristimo za detekciju i ograničenje prekomernih struja koje mogu nastati kao posledica kratkih spojeva ili drugih kritičnih događaja tokom eksploatacije. U ovom radu modelovan je dvostrano napajani vod u Matlab/Simulink okruženju na kome vršimo simulacije kratkih spojeva te upoređujemo njegove s rezultatima dobijenim iz modela baziranog na realnoj distributivnoj mreži takođe razvijene u Matlab/Simulink okruženju. Fokusiramo se na evaluaciju performansi prekostrujne zaštite i automatskog ponovnog uključanja releja te simuliramo kratke spojeve radi procene stabilnosti sistema.

**2. TEORIJSKI OKVIR I OSNOVNE
PRETPOSTAVKE**

Da bi počeli sa izradom modela moramo da krenemo od osnovnih teorijskih razmatranja i pretpostavki koje su nam ključne za rad.

2.1. Konfiguracija mreža srednjeg napona

Potrebno je da razumemo da distributivne mreže prema konfiguraciji mogu da se podele na: radijalne, prstenaste i upetljane, model koji se razmatra u radu prema konfiguraciji pripada radijalnim mrežama [1].

2.2. Kratki spojevi

Metalni kratak spoj je međusobno direktno povezivanje tačaka različitih faza sa ili bez povezivanja sa zemljom odnosno neutralnim provodnikom. Postoje četiri osnovna kratka spoja a to su: jednopolni, dvopolni, dvopolni sa zemljom i tropolni kratak spoj, kao i tropolni sa zemljom koji se ne analizira zasebno jer ima istu prirodu kao i trofazni kratak spoj. Prilikom izrade master rada simulirani su svi tipovi kratkih spojeva, dok je na slici 3 prikazan samo tropolni kratak spoj [2].

2.3. Automatsko ponovno uključanje (APU)

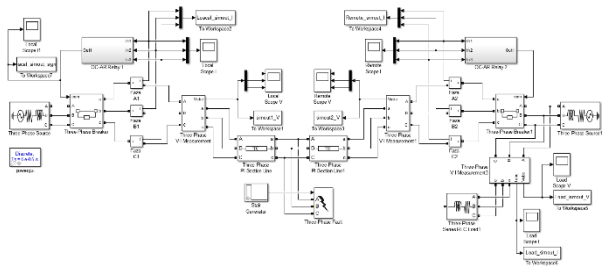
Prilikom nastanka kratkotrajnih prolaznih kvarova dolazi do delovanja zaštite i određeni vod na kome se desio kvar se isključi, nakon isteka prethodno definisanog vremena pauze vod se ponovo automatski uključuje, pošto je električni luk ugašen vod može nastaviti sa normalnim radom. Ovaj ciklus od nastanka kvara, isključenja, pauze i ponovnog uključanja traje veoma kratko (od 0,5s) tako da potrošači u većini slučajeva i ne primete prekid napajanja, takođe od prekidača se zahteva mogućnost za dva ponovna automatska uključanja. Zato je važno da kod modernih postrojenja imamo primenu savremenih prekidača koji imaju mogućnost isključenja i automatskog ponovnog uključanja (APU) [3].

3. RAZVOJ MODELA DVOSTRANO NAPAJANOG VODA

Matlab – SimPowerSystems je računarski program koji nam omogućava simulaciju sa već izgrađenim modelima ali i izradu sopstvenog modela mreže ili sistema koji je moguće analizirati. U Matlab – SimPowerSystems razvijen je model od ponudjenih blokova u koje su uneseni odgovarajući parametri. Na slici 1 je prikazan simulink model elektroenergetske mreže na kome je simulirano APU nakon isključenja voda uzrokovano zadatim kratkim spojem. Prilikom pronalaženja rešenja za način upravljanja prekidačima, podešavanjem prekostrujne zaštite i APU, bilo je potrebno krenuti od uprošćenog modela mreže (slika 1), sa manje elemenata. U ovom slučaju izabran je dvostrano napajan vod sa jednim potrošačkim područjem. Cilj je da manipulacijama na mreži u slučaju kratkog spoja potrošačko područje bude izolovano od kvara i napojeno preko drugog izvora napajanja koje nije zahvaćeno kvarom [4].

3.1. Ograničenja modela dvostrano napajnog voda

Ograničenja prilikom simuliranja APU na ovakvom modelu su brojne. Ograničeni smo sa brojem čvorova na kojima možemo simulirati kratke spojeve na modelu zbog jednostavne konfiguracije modela, ograničeni smo sa brojem ciklusa APU, teže je podesiti parametre rejela, teže je uneti potrebne vrednosti za struju isključenja, vremensko kašnjenje prekidača i podešenje ponovnog uključenja prekidača.



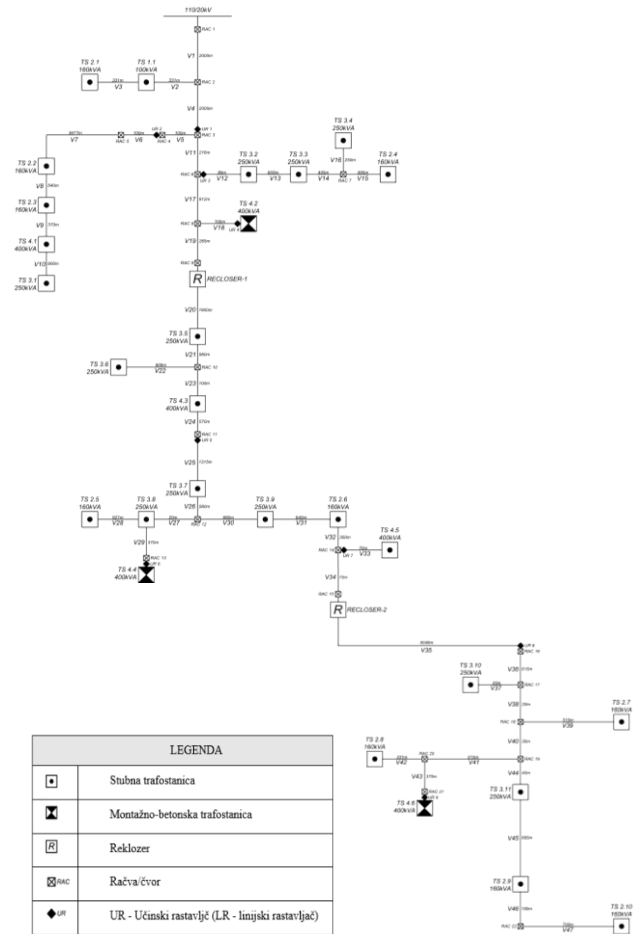
Slika 1. Model dvostrano napajnog voda sa implementiranom prekostrujnom zaštitom i APU

3. RAZVOJ MODELA BAZIRANOG NA REALNOM IZVODU 20[kV] MREŽE

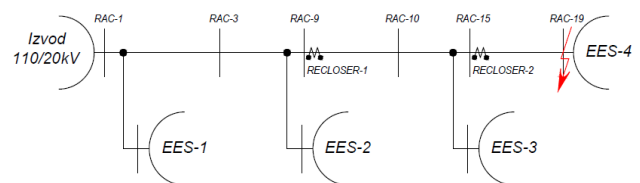
Zbog navedenih ograničenja kod modela dvostrano napajnog 20[kV] voda postoji potreba za razvojem modela baziranog na realnom izvodu 20[kV] distributivne mreže u Matlab/Simulink okruženju, uzimajući u obzir stvarne karakteristike komponenti i parametara mreže. (slika 2). Model mreže koji analiziramo se sastoji iz 22 čvora, 47 vodova, 28 trafostanica sa 28 potrošačka područja i 2 reklozere. APU je podešeno tako da ima radnu sekvencu prema izrazu:

$$0 - 0,5s - C0 - 5s - C0 \quad (1)$$

Gde je O–Isključenje, C–Uključenje, C0–Ponovno uključenje. Druga pauza od 5s je izabrana zbog bolje preglednosti i kvalitetnije analize odziva iako je u praksi vreme podešenja druge pauze podešeno na 20s. Izgled mreže je prikazan na slici 2 dok je zbog jednostavnijeg prikaza modela mreže služimo se uprošćenim modelom prikazanim na slici 3.



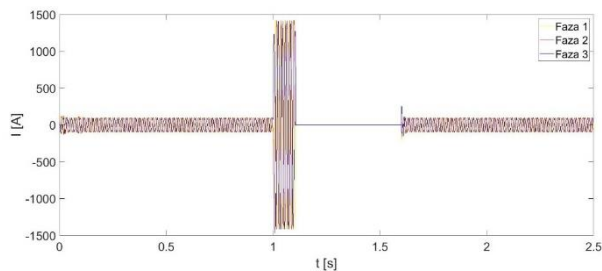
Slika 2. Blok šema 20kV mreže prema kojoj je napravljen Matlab/Simulink model



Slika 3. Uprošćen model voda sa implementiranom prekostrujnom zaštitom i APU

4. ANALIZA APU NAKON TROPOLNOG KRATKOG SPOJA

Prilikom simulacije trolejnog kratkog spoja na čvoru RAC19 prikazanog na slici 3, kvar je simuliran sa početkom u 1s i završetkom u 1,5s dok celokupna simulacija traje 2,5s. Kvar je simuliran na kraju voda što dovodi do reagovanja zaštitom, odnosno najbliža prekostrujna zaštita sa APU će reagovati 0,1s od nastanka kvara posle čega dolazi do isključenja voda zahvaćenog kvarom. Prema izrazu (1) nakon isključenja voda zadata je pauza u trajanju od 0,5s nakon koje se automatski ponovo uključuje vod i obzirom na situaciju da nakon APU ne postoji registrovan kratak spoj, sistem se vraća u normalan režim rada što je prikazano na slici 4, dok su rezultati dati u tabeli 1.



Slika 4. Struja merena u čvoru RAC15 prilikom simulacije topolnog kratkog spoja u čvoru RAC19

Naziv čvora	Režim rada	Vreme [s]	I [KA]		
			L1	L2	L3
RAC15	normalan	0-1	0,099	0,106	0,097
	kr. spoj	1-1,1	14,20	14,20	14,10
	prva pauza	1,1-1,6	0	0	0
	prel. proces	1,6-1,7	0,227	0,115	0,254
	normalan	1,7-2,5	0,097	0,096	0,096
RAC9	normalan	0-1	0,149	0,149	0,148
	kr. spoj	1-1,1	14,10	14,50	14,20
	prva pauza	1,1-1,6	0,062	0,078	0,064
	prel. proces	1,6-1,7	0,200	0,209	0,220
	normalan	1,7-2,5	0,147	0,147	0,148
RAC1	normalan	0-1	0,226	0,235	0,259
	kr. spoj	1-1,1	14,20	14,67	14,27
	prva pauza	1,1-1,6	0,129	0,152	0,134
	prel. proces	1,6-1,7	0,272	0,274	0,294
	normalan	1,7-2,5	0,212	0,210	0,210

Tabela 1. Maksimalne vrednosti struje merene u čvoru RAC15, RAC9 i RAC1 prilikom simulacije topolnog kratkog spoja u čvoru RAC19

Sa slike 4 i iz tabele 5 analizom rezultata dobijene su očekivane vrednosti struja kratkog spoja u odnosu na zadatu situaciju. Grafik sa slike 4 podeljen je u nekoliko vremenskih celina radi lakše analize:

- 0s - 1s – Normalan režim rada
- 1s - 1.1s – Registrujemo trolpolni kratak spoj
- 1.1s - 1.6s – Isključenje dela voda (EES-4)
- 1.6s- 5s – APU i uspostavljanje normalnog režima rada

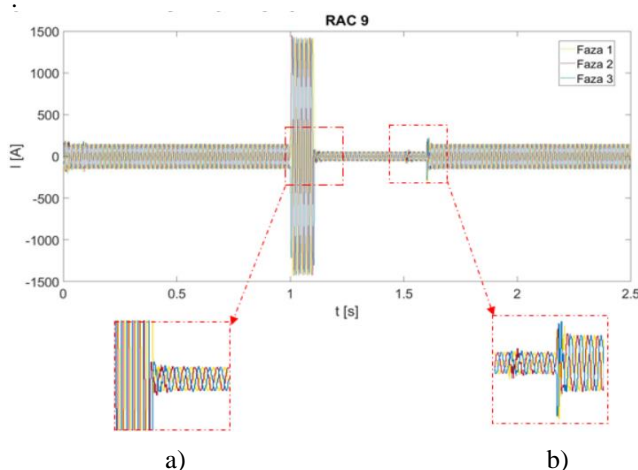
Odabrano vreme trajanja kratkog spoja je takvo da kvar bude otklonjen u prvom ciklusu iako je ostavljena mogućnost za testiranje kratkih spojeva na modelu tako da dobijemo situaciju da kvar bude otklonjen u drugom ciklusu, ali isto tako je ostavljena mogućnost za kreiranje situaciju gde se vrši demonstracija neuspešnog APU, ove situacije su analizirane u master radu.

4. ANALIZA PRELAZNIH PROCESA PRILIKOM APU VODA

Na slici 4 prikazan je karakterističan oblik signala koji se javlja prilikom uključenja voda u elektroenergetskom sistemu. Ovaj signal predstavlja prelazne procese - odnosno, promene koje se događaju dok sistem ne dođe do svog stabilnog stanja nakon perturbacije, kao što je uključenje voda.

Kada se vod uključi, u elektroenergetskom sistemu se javljaju prelazni fenomeni koji su rezultat naglih promena u naponu i struji. To je vidljivo kao oštar vrh na početku grafikona. Nakon tog vrha, signal se stabilizuje u obliku sinusoidalnih talasa koji predstavljaju stabilan rad sistema.

Uzrok ovih prelaznih procesa je reaktansa komponenta sistema kao što su transformatori, prekidači, i kablovi. Oni imaju induktivne i kapacitivne komponente koje se "protive" iznenadnoj promeni struje, što rezultira oscilacijama dok se sistem ne stabilizuje. Prilikom uključenja, energija se naglo oslobađa u sistemu, što uzrokuje oscilacije struje i napona. Dodatni faktori koji mogu doprineti prelaznim procesima uključuju karakteristike izvora napajanja, vrstu opterećenja na mreži, kao i brzinu i način na koji se vod uključuje.



Slika 5. a) prelazni procesi prilikom isključenja voda b) prelazni procesi prilikom APU voda nakon simulacije trolpolnog kratkog spoja u čvoru „RAC19“

Prilikom analize izabran je slučaj gde se simulira trolpolni kratak spoj u čvoru RAC19, a merenje je vršeno u čvoru RAC9, ali treba napomenuti da se ovi prelazni procesi dešavaju nakon uključenja voda bez obzira na tip, mesto i vreme trajanja kratkog spoja nakon kog ponovo uključujemo vod.

3. ZAKLJUČAK

Ovim radom pružamo dublji uvid u važnost prekostrujne zaštite i automatskog ponovnog uključanja u osiguravanju stabilnosti i pouzdanosti snabdevanja električnom energijom distributivnih mreža. Analizirajući rezultate dobijene iz teorijskog i realnog modela distributivne mreže, primetili smo razlike koje ukazuju na ograničenja teorijskog modela.

Ograničenja teorijskog modela proizlaze iz činjenice da smo ograničeni brojem ciklusa automatskog ponovnog uključanja, kao i brojem čvorova na kojima možemo simulirati kratke spojeve. Suprotno tome, realni model distributivne mreže pruža nam realističnije podatke i omogućava nam simulaciju svih vrsta kratkih spojeva na svim čvorovima u sistemu.

Kroz ovu analizu, ističemo važnost korištenja realnih modela distributivnih mreža u istraživanjima i analizama, jer nam oni omogućuju preciznije rezultate i bolje razumevanje ponašanja sistema u stvarnim uslovima rada. Takođe, realni modeli pružaju nam mogućnost simuliranja trajanja kratkog spoja, što je ključno za uspješno automatsko ponovno uključanje u prvom ili drugom ciklusu, kao i prepoznavanje situacija u kojima automatsko ponovno uključanje može biti nespešno.

Stoga, daljnja istraživanja i implementacija prekostrujne zaštite i automatskog ponovnog uključanja trebaju uzeti u obzir ova ograničenja teorijskih modela i preferirati korištenje realnih modela distributivnih mreža kako bi se osigurala optimalna sigurnost i pouzdanost električne mreže.

Na temelju upoređivanja rezultata iz teorijskog i realnog modela distributivne mreže možemo zaključiti o razlici između predviđenih i stvarnih performansi sistema. Ova analiza pruža uvid u važnost preciznosti modeliranja i simulacije pri dizajniranju i analizi distributivnih mreža.

4. LITERATURA

- [1] Vladimir C. Strezoski, "Osnovi elektroenergetike", FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2015.
- [2] Strahil J. Glušavac, "Osnovni principi projektovanja u mrežama srednjeg i niskog napona", FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2014.
- [3] Milenko Đurić, Zoran Stojanović, "Relejna zaštita", KIZ „Centar“, Beograd, 2014.
- [4] <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Kratka biografija:



Milan Gvozdrenović rođen je u Beogradu 25.10.1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Distribuirani elektroenergetski resursi odbranio je 2024.god.

kontakt: milgvo733@gmail.com



Stevan Cvetičanin rođen je u Bačkoj Palanci 04.10.1986. god. Od 2023. radi kao vanredni profesor na Katedri za elektroenergetiku i primenjeno softversko inženjerstvo Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu.

kontakt: stevan.cveticanin@uns.ac.rs