

UTICAJ DISTRIBUIRANIH GENERATORA NA RAD RELEJNE ZAŠTITE U SREDNJE NAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Autor: Dragan Četenović
Fakultet tehničkih nauka, Čačak
Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo, elektroenergetika, školska 2011/2012.
draganceten@gmail.com
Mentor rada: dr Vladica Mijailović, redovni profesor

Rezime—U okviru rada analiziran je uticaj priključenja MHE Leposavić, MHE Kumanica i MHE Kolonija na rad relejne zaštite u postojećoj distributivnoj mreži ED Ivanjica. Dati su predlozi kako se neželjeni efekti priključenja malih elektrana mogu ublažiti ili otkloniti u potpunosti.

Ključne reči – *Distribuirani generator, distributivna mreža, prekostrujna zaštita, zemljospojna zaštita, kratak spoj.*

1 UVOD

U konvencionalnim elektroenergetskim sistemima električna energija se generiše u velikim elektranama, tako da je proizvodnja centralizovana na malom broju lokacija. Međutim, poslednjih godina, veliki broj faktora je doveo do povećanog interesovanja za distribuiranu proizvodnju. Neki od glavnih razloga koji podstiču distribuiranu proizvodnju su redukcija emisije štetnih gasova, pre svega ugljen-dioksida, pokrivanje porasta potrošnje električne energije, povećanje energetske efikasnosti i racionalno korišćenje energije, deregulacija i pojava konkurencije na tržištu, smanjenje gubitaka u prenosu ukoliko je distribuirana proizvodnja lokalizovana blizu potrošačkog područja itd. Na taj način se dolazi do primene velikog broja malih izvora električne energije koji se priključuju na srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu. Ovi izvori se nazivaju distribuiranim.

Priključenje distribuiranih generatora na sistem drastično menja prirodu postojeće radijalno napajane distributivne mreže od pasivne u aktivnu. Priključenje distribuiranih generatora može se odraziti na lokalne tokove snaga, na rad zaštitnih uređaja i na nivo struja kratkog spoja, na stabilnost, regulaciju napona, gubitke u mreži, kvalitet električne energije itd.

Integracija distribuiranih generatora u sistem bez sumnje menja nivo struja kratkog spoja. Sa druge strane, budući da će se doprinos distribuiranih generatora struji kvara odraziti na struje koje mere uređaji relejne zaštite, postojeći sistem zaštite imaće problema u radu, što će dovesti do toga da će neki kvarovi ostati nedetektovani, a u nekim slučajevima doćiće i do problema selektivnosti.

Srbija raspolaže velikim hidro-potencijalom, koji može poslužiti kao osnova za izgradnju velikog broja malih hidroelektrana, u kojima se isključivo koriste trofazni generatori koji mogu biti sinhroni ili asinhroni.

2 PRORAČUN STRUJA KRATKIH SPOJEVA

Analiza kratkih spojeva vrši se radi određivanja vrednosti struja koje iz sistema dolaze na mesto kvara po nastanku kratkog spoja. Poznavanje ponašanja EES-a pri kvarovima je važno radi dimenzionisanja opreme, provere uzemljenja i adekvatnog izbora i podešavanja uređaja relejne zaštite.

Kratki spojevi se mogu podeliti na simetrične i nesimetrične. Trofazni kratak spoj (sa zemljom ili bez) spada u simetrične kvarove, jer se njime ne narušava simetrija između napona i struja u trofaznom sistemu. Kvarovi koji dovode do nesimetrije u sistemu su:

- kratak spoj jedne faze sa zemljom (jednofazni zemljospoj),
- kratak spoj dve faze sa zemljom na istom mestu (dvofazni zemljospoj),
- kratak spoj dve faze (dvofazni kratak spoj).

Klasična i standardna metoda koja se koristi za proračun struja kratkog spoja je metoda simetričnih komponenti.

3 ZAŠTITA SREDNJE NAPONSKIH DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Za zaštitu električnih mreža koriste se sledeće vrste zaštita:

- prekostrujna,
- distantna,
- diferencijalna,
- osigurač.

Za zaštitu srednjenaponskih mreža najčešće se primenjuje prekostrujna zaštita. U mrežama radijalnog tipa se koristi neusmerena prekostrujna zaštita, dok se u petljastim mrežama mora koristiti i usmerena prekostrujna zaštita. Primena distantne zaštite je karakteristična za mreže naponskog nivoa 110 kV i više, dok se diferencijalna zaštita koristi kada se prethodno navedene zaštite ne mogu efikasno i lako primeniti. Osigurači se koriste za zaštitu prevashodno u mrežama naponskog nivoa 0,4 kV, a koriste se i na višim naponskim nivoima, a najviše do 35 kV, zaključno.

Osnovni cilj primene relejne zaštite je najbrže moguće isključenje elementa i/ili dela EES-a sa kvarom uz očuvanje funkcionalnosti ostalog dela sistema. Pri tome, osnovni zahtevi koje uređaji relejne zaštite treba da ispune kako bi se ovaj cilj realizovao su:

- pouzdanost,
- sigurnost,
- osetljivost,
- selektivnost,
- brzina reagovanja.

4 UTICAJ DG-A NA NIVO STRUJA KRATOG SPOJA

Uticao koji će DG imati na struje kratkog spoja u velikoj meri zavisi od sposobnosti DG-a da napaja mesto kvara. Tip generatora koji ima značajan uticaj na nivo struja kratkog spoja je sinhroni generator, koji je najviše zastupljen u malim hidroelektranama.

Kada se kvar dogodi između napojne TS-e i tačke priključenja DG-a, dolazi do galvanskog razdvajanja na mestu kvara, tako da struja koja dolazi sa strane mreže nije ni u kakvoj vezi sa strujom koja dolazi sa strane DG-a i zavisi isključivo od konfiguracije mreže do mesta kvara. Zbog toga se vrednost struje koja dolazi sa strane mreže neće promeniti u odnosu na situaciju kada DG nije bio priključen, za kvar na istom mestu.

Ukoliko se mesto kvara nalazi iza tačke priključenja DG-a dolazi do promene uslova u kojima radi zaštita, što može dovesti do problema u radu. U ovom slučaju, uticaj na struju koja dolazi sa strane mreže nakon priključenja DG-a zavisi od ukupne impedanse voda, snage kratkog spoja napojne mreže, naznačene snage DG-a i mesta priključenja. Maksimalan uticaj DG-a na struju koja dolazi iz mreže je za tačku priključenja za koju ta struja dostiže svoj minimum.

5 UTICAJ DISTRIBUIRANIH GENERATORA NA RAD UREĐAJA RELEJNE ZAŠTITE

Problemi koji se javljaju nakon priključenja DG-a na mrežu su:

- problem selektivnosti,
- skraćanje dosega releja,
- gubitak koordinacije između osigurača i reklosera,
- ostrvski rad.

5.1 Problem selektivnosti (*False, Sympathetic tripping*)

Ovaj problem se javlja kada se kvar dogodi na nekom od izvoda koji se napajaju iz iste TS-e kao i izvod na koji je priključen DG. Tada na mesto kvara dolazi i struja sa strane DG-a, što prvobitno nije bio slučaj. Ta struja može dostići vrednost struje podešenja prekostrujne zaštite na izvodu na koji je priključen DG, zbog čega taj izvod može biti isključen iz pogona iako nije pogođen kvarom.

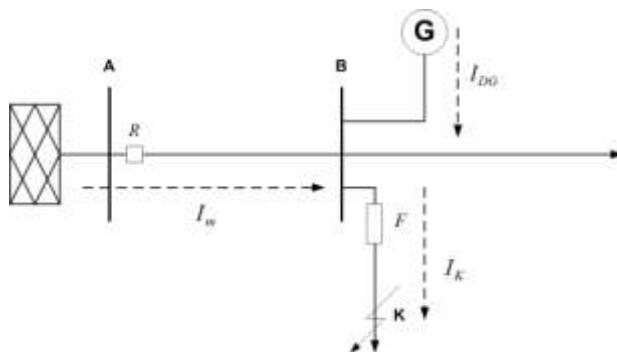
5.2 Skraćanje dosega releja

Doseg prekostrujnog releja određen je minimalnom vrednošću struje kvara koja će uzrokovati njegovo reagovanje. Dakle, u konvencionalnim distributivnim mrežama prekostrujni releji se podešavaju tako da se njima štiti deo radijalno napajane mreže do prvog sledećeg sklopnog elementa koji se pobuđuje odgovarajućim relejem. Nakon priključenja DG-a između napojne TS-e i tačke kojom je određen doseg releja, za isto mesto kvara, impedansa kvara će biti manja nego u slučaju radijalno napajane mreže, što će uzrokovati povećanje struje kvara. Međutim sada, kao što je analizirano u poglavlju 4, struja koja dolazi sa strane mreže i koju vidi relej će imati manju vrednost nego što je to prvobitno bio slučaj. Ukoliko je ta vrednost manja od proradne struje releja, relej neće detektovati kvar.

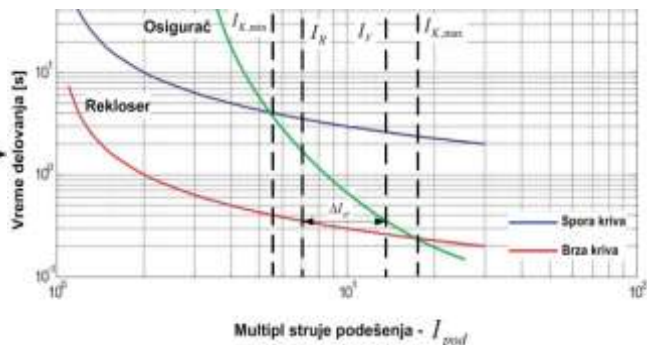
5.3 Gubitak kordinacije između osigurača i reklosera

Posmatrajmo slučaj distributivne mreže sa priključenim DG. Šematski prikaz je dat na slici 1. Za isto mesto kvara, struja kvara će biti veća. Rekloser sada vidi struju koja dolazi sa strane mreže, dok kroz osigurač teče ukupna struja kvara koja je veća za vrednost struje koja dolazi sa strane DG-a. Koordinacija, prikazana na slici 2, će biti izgubljena ukoliko se kvar dogodi na takvom mestu da je struja veća od $I_{k,max}$. S druge strane, ukoliko struja kvara leži u opsegu od $I_{k,min}$ do $I_{k,max}$, koordinacija će se održati ukoliko razlika između struja koju vidi rekloser i osigurač nije veća od određene

granične vrednosti, na slici 2 označene sa ΔI_{gr} . Ukoliko rekloser detektuje struju I_R kroz osigurač ne sme teći struja veća od I_F . U suprotnom, osigurač će reagovati pre reklosera i ukoliko je u pitanju prolazan kvar, on će ga trajno isključiti.



Slika 1. Kvar u distributivnoj mreži na bočnom izvodu koji se štiti osiguračem nakon priključenja distribuiranog generatora



Slika 2. Princip koordinacije između reklosera i osigurača u mreži nakon priključenja distribuiranog generatora

5.4 Ostrvski rad

DG-i uobičajeno rade paralelno sa mrežom. Ostrvski režim rada nastupa kada dođe do prekida napajanja iz mreže iz bilo kog razloga, a DG (ili grupa DG-a) nastavi da napaja deo sistema koji je odvojen od mreže. Do prekida napajanja iz mreže može doći zbog reagovanja uređaja relejne zaštite, što za posledicu ima otvaranje pripadajućeg prekidača, kao i zbog reagovanja osigurača i dugih zaštitnih uređaja. Pojava kvarova u sistemu dovodi do neplaniranog ostrvskog rada. Ostrvski rad ne mora da nastupi samo kao posledica kvara, već do njega može doći i u normalnom pogonu, zbog manipulacija sklopnom opremom u cilju promene topologije mreže. Važeća tehnička regulativa u većini zemalja zabranjuje ostrvski rad.

6 MODELOVANJE DISTRIBUIRANIH GENERATORA

U malim hidroelektranama, čiji se uticaj na rad relejne zaštite analizira u ovom radu, koriste se sinhroni generatori. Standardi propisuju dve vrste proračuna za dva različita slučaja „kvar blizu generatora“ i „kvar udaljen od generatora“.

Izraz kojim je data vremenska zavisnost struje kvara u slučaju trofaznog kratkog spoja na krajevima sinhronog generatora je:

$$i(t) = \sqrt{2}U \left[\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-t/T_d''} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-t/T_d'} + \frac{1}{X_d} \right] \cos \omega t - \frac{\sqrt{2}U}{X_d''} e^{-t/T_d} \quad (1)$$

gde su:

U - napon na krajevima namotaja faze statora pre nastanka kvara,

X_d'' - subtranzijentna reaktansa po d-osi,

X_d' - tranzijentna reaktansa po d-osi,

X_d - sinhrona reaktansa po d-osi,

T_d'' - subtranzijentna vremenska konstanta kratkog spoja po d-osi,

T_d' - tranzijentna vremenska konstanta kratkog spoja po d-osi,

T_d - vremenska konstanta prigušenja jednosmerne komponente struje kvara.

7 SOFTVERSKI PAKET ETAP POWER STATION 4.0.0

ETAP Power Station 4.0.0 je grafički program za tranzijentnu analizu u električnim mrežama koji može da radi u Microsoft Windows 98, NT, 4.0, 2000, Me i XP okruženju. Windows NT, 4.0 i 2000 platforme obezbeđuju najviši nivo performansi za zahtevane aplikacije, kao što su analize u velikim mrežama koje zahtevaju intenzivno proračunavanje, online monitoring i aplikacije za kontrolu.

8.4 Priključenje MHE Leposavić i MHE Kumanica

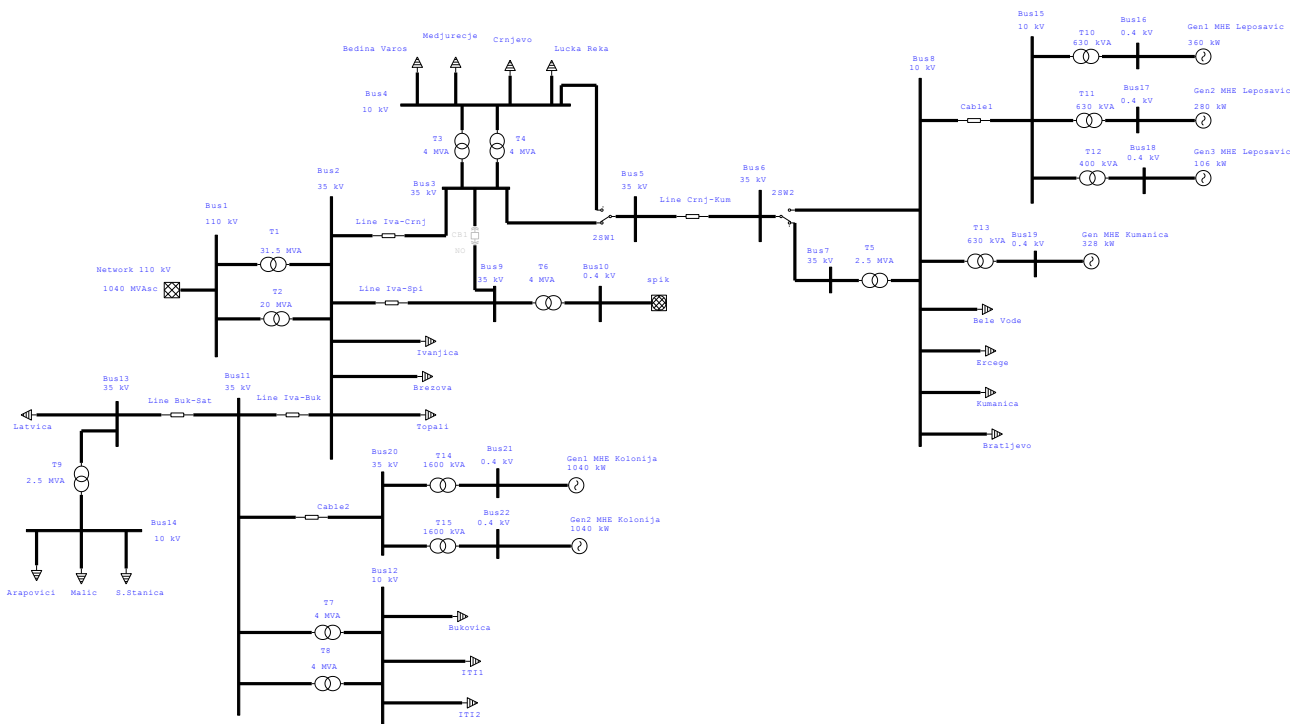
Prema kriterijumu dozvoljene snage, najveća vrednost jedinične snage generatora u MHE Leposavić i MHE Kumanica koja se može priključiti na sabirnice 10 kV u TS Kumanica mora biti manja ili jednaka od 0,649 MVA. Poređenjem dozvoljene jedinične snage generatora koja se sme priključiti na sabirnice 10 kV u TS Kumanica i vrednosti snaga generatora u MHE Leposavić i MHE Kumanica, zaključuje se da mesto priključenja ovih objekata na distributivni sistem mogu biti sabirnice 10 kV u TS Kumanica.

8.5 Priključenje MHE Kolonija

Prema kriterijumu dozvoljene snage, najveća vrednost jedinične snage generatora u MHE Kolonija ukoliko bi tačka priključenja bile sabirnice 10 kV je 1,987 MVA. Poređenjem ove vrednosti sa dozvoljenom jediničnom snagom koja se sme priključiti na sabirnice 10 kV u TS Bukovica zaključuje se da mesto priključenja mogu biti te sabirnice ukoliko bi u budućoj elektrani raspodela snaga između agregata bila prema onoj koja je usvojena u ovom radu. Međutim, ukoliko bi snaga nekog od agregata bila veća od 2 MVA, priključenje takve generatorske jedinice bi dovelo do nedozvoljenih promena napona, zbog čega bi MHE Kolonija morala biti priključena na sabirnice 35 kV u TS Bukovica. U ovom radu biće analizirano priključenje MHE Kolonija na naponski nivo 35 kV.

8.6 Distributivna mreža nakon priključenja malih elektrana

Distributivna mreža nakon priključenja pomenutih MHE modelovana je u softverskom paketu ETAP 4.0.0 i izgled mreže dat je na slici 4.



Slika 4. Distributivna mreža nakon priključenja MHE

8.7 Primer analize sprovedene u softverskom paketu ETAP 4.0.0: Priključenje MHE Kolonija

Simuliran je trofazni kratak spoj u tački priključenja buduće MHE Kolonija što su sabirnice Bus 11 u TS Bukovica. Ukupna struja kvara je ujedno i struja koja dolazi sa strane mreže po vodu Ivanjica – Bukovica. Njena vrednost iznosi 5,094 kA i za tu vrednost je podešena kratkospojna zaštita u izvodu. Rezultati simulacije su prikazani u izveštaju 1.

IZVEŠTAJ 1. TROFAZNI KRATAK SPOJ NA SABIRNICAMA BUS 11 PRE PRIKLJUČENJA MHE KOLONIJA

SHORT-CIRCUIT REPORT

3-Phase fault bus: **Bus11**

Nominal kV = 35.000

Voltage Factor (C) =1.10

Peak Value = 10.993kA (Method C)

Steady State = 4.920 kA rms (Max Value)

Contribution		Voltage (%) & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus11	Total	0.00	1.101	-4.974	4.5	5.094
Bus13	Bus11	0.00	0.000	0.000	999.9	0.000
Bus2	Bus11	21.12	1.101	-4.974	4.5	5.094
Bus12	Bus11	0.00	0.000	0.000	999.9	0.000

9 ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog rada bio je ispitati uticaj distribuiranih generatora na rad uređaja relejne zaštite u postojećoj distributivnoj srednjenaponskoj mreži. Kao primer za analizu uzet je ogranak distributivne mreže ED Ivanjica, na koju se planira priključenje malih hidroelektrana MHE Leposavić, MHE Kumanica i MHE Kolonija. Primarnu zaštitu ove mreže čine kratkospojna, prekostrujna i zemljospojna zaštita, koje su podešene uzimajući u obzir radijalnost postojeće distributivne mreže.

Sprovedena je analiza struja kratkog spoja na osnovu koje je izvršeno novo podešavanje postojećih zaštitnih uređaja tako da se ispune osnovni zahtevi koji se postavljaju pred sistem relejne zaštite, a koji su navedeni u poglavlju 3. Treba naglasiti da je izvršeno samo strujno podešavanje kratkospojne i zemljospojne zaštite u zavisnosti od toga koja se elektrana priključuje na mrežu. Vremensko podešavanje zemljospojne zaštite nije analizirano, kao ni uticaj na rad prekostrujne zaštite, iz razloga što autoru rada nisu poznati podaci o podešenju ovih releja. Analiziran je uticaj distribuiranih generatora pod pretpostavkom da je tip generatora u maloj elektrani sinhroni.

Uticaj na rad zaštite zavisi od tačke priključenja distribuiranog generatora, od njegove naznačene snage i od tipa generatora, odnosno njegove sposobnosti da doprinosi ukupnoj struji kvara, a u slučaju zemljospojne zaštite i od uzemljenja energetskih transformatora preko kojih se vrši priključenje generatora na mrežu. Takođe, priključenje distribuiranih generatora na mrežu zahteva primenu zaštite u postrojenju preko kojeg se vrši priključenje male elektrane, a koja treba da spreči pojavu ostrvskog rada.

Predlog za budući rad je da se izvrši vremensko podešavanje zemljospojne zaštite, kao i podešavanje prekostrujne zaštite, tako da se obezbede svi neophodni kriterijumi koji se zahtevaju da bi svaki kvar u mreži bio otklonjen na efikasan način. Takođe, može se ispitati kako će uticati priključenje malih elektrana na mrežu ukoliko se u sklopu njih nalazi asinhroni generator ili generator koji se na mrežu priključuje preko uređaja energetske elektronike.

LITERATURA

- [1] Ioanna XINGY, "An intelligent Algorithm for Smart Grid Protection Applications," Technische Universiteit Delft, Netherlands, 2011.
- [2] Vladica Mijailović, "Distribuirani izvori energije-Principi rada i eksploatacioni aspekti," Akademska misao, Beograd, 2011.
- [3] Duško Bekut, "Relejna zaštita," Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1999.
- [4] Mohamed Talal Mohamed Elmatana, "The Effect of Distributed Generation on Power System Protection," University of Exeter, 2010.
- [5] Angel Fernandez Sarabia, "Impact of distributed generation on distribution system," the Faculty of Engineering, Science and Medicine, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2011.
- [6] Benoît de Metz-Noblat, Frédéric Dumas, Christophe Poulain, "Calculation of short-circuit currents no.158," Schneider Electric, 2005.
- [7] Nick Jenkins, Ron Allan, Peter Crossley, Daniel Kirschen, Goran Strbac, "Embedded Generation," The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2000.
- [8] Jovan Nahman, Vladica Mijailović, "Razvodna postrojenja," Akademska misao, Elektrotehnički Fakultet, Beograd, 2005.
- [9] beleške sa predavanja Andrije Sarića iz distributivnih i industrijskih mreža – kratki spojevi
- [10] International Standard IEC 60909-0 First edition 2001 – 07. Preuzeto sa <http://www.scribd.com/doc/52612618/iec60909-0-ed1-0-en-d>, 14.11.2012.
- [11] "Tehnička preporuka br.6: Uzemljenje neutralnih tačaka u elektrodistributivnim mrežama 110 kV, 35 kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV," JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije Srbije, Beograd, Vojvode Stepe 412,V izdanje, mart 2004.
- [12] Edward Jeroen Coster, "Distribution Grid Operation Including Distributed Generation: Impact on grid protection and the consequences of fault ride-through behaviour," Technische Universiteit Eindhoven, 2010.
- [13] C.Russell Mason, "The Art & Science of protective relayning"
- [14] Saša Stojković, "Zbirka zadataka iz relejne zaštite," Tehnički fakultet, Čačak, 2003.
- [15] Prekostrujne zaštite MI, Minel Automatika A.D., Beograd.
- [16] "Tehnička preporuka br.4a1:Zaštita elektrodistributivnih vodova 10 kV, 20 kV i 35 kV," JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije Srbije, Beograd, Vojvode Stepe 412,IV izdanje, maj 2001.
- [17] "Tehnička preporuka br.4: 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 Srbije, Beograd, Vojvode Stepe 412, IV izdanje, maj 2001.
- [18] Božana Nišević, Dejana Pantić, "Modelovanje uticaja izgradnje nove hidroelektrane na struje tropskih kratkih spojeva u postojećoj 110 kV mreži," INFOTEH-Jahorina Vol. 10, Ref. F-34, p. 1051-1054, March 2011.
- [19] Hadi Zayandehroodi, Azah Mohamed, Hussain Shareef, Marjan Mohammadjafari, "Distributed Generators and Their Effects on Distribution System Protection Performance," Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2011.