

RAZLIKA STRUJE KRATKOG SPOJA U ZAVISNOSTI OD REŽIMA RADA MIKROMREŽE**DIFFERENCE IN THE SHORT-CIRCUIT CURRENT DEPENDING ON THE OPERATING MODE OF MICROGRID**

Darko Lazarević, Luka Strezoski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su opisane teorijske osnove obnovljivih izvora električne energije, njihovi matematički modeli, kao i teorijske osnove proračuna tokova snaga i kratkih spojeva unutar mikromreže. U radu je izvršena analiza režima jedne realne mikromreže u stanju normalnog pogona kao i u stanju sa kratkim spojem. Proračuni mikromreže vršeni su pomoću softvera koji je razvijen u programskom jeziku Fortran za potrebe ovog rada. Svi rezultati su verifikovani kroz hardware in the loop postavku (Typhoon Hil). Data je detaljna analiza kompletnog režima mikromreže u povezanom i ostrvskom režimu rada sa posebnim osvrtom na razlike struja kvara.

Ključne reči: Obnovljivi izvori energije, Mikromreže, Distributivni generatori, Tokovi snaga, Kratki spojevi

Abstract – In this paper, the theoretical foundations of renewable energy sources, their mathematical models, as well as the theoretical foundations of power flow and short circuits calculations within the microgrid, are presented. In the paper, the analysis of the regime of a real microgrid in normal operation as well as in the state with a short circuit was performed. All calculations are performed using a software developed in the Fortran programming language for the purposes of this paper. All results are verified through a hardware in the loop setup (Typhoon Hill). A detailed analysis of the complete microgrid state in grid-connected and islanded mode of operation is given, with special reference to the differences in fault currents.

Keywords: Renewable Energy sources, Microgrid, Distributed generators, Load-Flow, Short-Circuit

1. UVOD

Potreba čovečanstva za električnom energijom konstantno raste, kako zbog poboljšanog kvaliteta života, tako i zbog samog uvećanja populacije, pa se samim tim pojavljuje problem bilansa električne energije proizvedene u tradicionalnim elektranama velikih snaga.

Priključenjem obnovljivih izvora električne energije, odnosno distribuiranih energetske resursa (DER-ova) tradicionalne (pasivne) distributivne mreže postaju aktivne, tačnije postaju aktivni distributivni sistemi. Osnovni zadatak aktivne distributivne mreže jeste da održi stabilnost i pouzdanost, te da omogući sigurnu integraciju distribuiranih izvora energije u sistem.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Luka Strezoski.

Do sada najzastupljeniji obnovljivi izvor električne energije bile su upravo hidroelektrane, međutim, kako trenutno ne postoji značajan neiskorišteni potencijal, primena sistema za konverziju energije vetra i fotonaponskih sistema je sve više zastupljenija, može se zaključiti da primena ovakvih sistema polako sustiže do sada dominantnu tehnologiju [3].

Proračuni tokova snaga i režima sa kratkim spojem su osnovni proračuni elektroenergetskog sistema na kojima se zasnivaju svi dalji proračuni koji se koriste kako bi se adekvatno i efikasno upravljalo mrežom, kako u normalnom pogonskom stanju tako i u uslovima sa kvarom, a neki od njih su: estaminacija stanja, optimizacija napona i toka reaktivnih snaga, postizanje optimalne konfiguracije, određivanje optimalne koordinacije i podešenja relejne zaštite, itd.

U ovom radu izvršena je analiza rezultata tokova snaga i kratkih spojeva unutar mikromreže sa visokim prisustvom DER-ova, rezultati su dobijeni pomoću softverskog alata koji je razvijen za potrebe master rada. U softverskom alatu implementirane su metode koje su detaljno predstavljene u glavi 3. ovog rada.

Rezultati su prevashodno analizirani, a potom upoređeni sa rezultatima dobijenim korišćenjem hardware in the loop postavke koja detaljno u vremenskom domenu oslikava ponašanje DER-ova kako tokom normalnih radnih režima tako i tokom režima sa kvarom. Poređenjem je pokazano zadovoljavajuće slaganje rezultata za kvazistacionarne režime, dakle, moduli i uglovi napona i struja dobijeni pomoću razvijenog softvera se u granicama tolerancije slažu sa rezultatima dobijenim kroz hardware in the loop postavku.

2. MODELI DER-ova ZA PRORAČUNE

Kao što je već napomenuto, savremeni DER, za razliku od klasične naizmjenične mašine, može da ima u sebi implementirane različite upravljačke strategije, kako za normalne radne režime tako i za režime sa kratkim spojem. Neke od karakterističnih upravljačkih strategija su: kontrola/blokada inverzne i nulte komponente struje; kontrola/blokada inverznih i nultih komponenti napona; u slučaju nesimetričnog režima mogu da održavaju simetrične napone u tačkama priključenja na mrežu, odnosno kao što je već napomenuto, u uslovima sa kratkim spojem, mogu da vrše kontrolu struje kvara koju injektuju u mrežu i da je pri tome ograniče na predefinisano vrednost prema nekom od usvojenih FRT standarda. Time se postiže da doprinos DER-a struji kvara bude manji od doprinosa tradicionalnih naizmjeničnih mašina [3].

Uređaji energetske elektronike jesu posrednici koji omogućavaju integraciju obnovljivih izvora (sunce, vetar) u mrežu, odnosno priključenje skladišta električne energije, kao što su stacionarne baterije ili baterije električnih automobila, takođe, ovi uređaji omogućavaju realizaciju prethodno pomenutih upravljačkih strategija. Priključenje DER-ova na mrežu preko uređaja energetske elektronike, se može izvesti na dva načina:

- Delimično preko uređaja energetske elektronike (DFIM - Doubly fed induction machine).
- Potpuno preko uređaja energetske elektronike (IBDER - Inverter based distributed energy resource).

Ponašanje DER-a u mreži kako u normalnom radnom režimu tako i u režimu sa kvarom direktno zavisi od načina na koji je DER povezan sa mrežom. Prema generalnom načinu povezanosti sa mrežom, DER-ovi se mogu podeliti u nekoliko sledećih kategorija [3]:

- DER tipa 1: Sinhroni generator direktno povezan na mrežu;
- DER tipa 2: Asinhroni generator direktno povezan na mrežu;
- DER tipa 3: Doubly fed induction machine - DFIM;
- DER tipa 4: Inverter based distributed energy resource - IBDER.

Prilikom analize režima mikromreže sa kvarom u nekim od svojih čvorova, doprinos priključenih DER-ova u proračunu se uvažava preko idealnih strujnih generatora, čije se struje proračunavaju u zavisnosti od vremenske sekvence koja je od interesa (supranzitivna, tranzitivna, ustaljena). Od DER-a se očekuje da u uslovima kvara injektuje reaktivnu komponentu struje u cilju pomaganja napona na mestu kvara, kako bi se u što kraćem vremenskom intervalu napon vratio na nominalnu vrednost.

Tokom kvara DER injektira struju čiji je modul jednak strujnom ograničenju invertora ($I_{DER3-4i}^{max}$), sa uglom ($\delta_{Ireakt i}^{pk}$) koji prednjači uglu napona čvora pre kvara u kom je priključen DER za ugao od $\frac{\pi}{2}$.

U ovom slučaju relacija za proračun struje DER-a u suptrazitivnoj sekvenci ima sledeću formu:

$$\hat{I}_{DER3-4i}^{k''} = I_{DER3-4i}^{max} e^{j\delta_{Ireakt i}^{pk}}. \quad (2.1)$$

Uglovi direktnih komponenti reaktivne struje svih DER-ova ($i = 1, \dots, N_{DER3-4}$) priključenih u mreži se računaju prema sledećoj relaciji:

$$\delta_{Ireakt i} = \delta_{v_i} + \frac{\pi}{2}, \quad (2.2)$$

gde je:

$\delta_{Ireakt i}$ - ugao reaktivne struje i -tog DER-a,

δ_{v_i} - ugao direktne komponente napona čvora priključenja i -tog DER-a.

Potrebno je uporediti moduo reaktivne struje DER-a sa strujnim ograničenjima invertora, na osnovu čega je potrebno odrediti celokupnu struju kratkog spoja i -tog DER-a u tranzitivnoj sekvenci.

$$I_{DER3-4i}^{reakt} \begin{cases} > I_{DER3-4i}^{max} \rightarrow \hat{I}_{DER3-4i}^{k'} = I_{DER3-4i}^{max} e^{j\delta_{Ireakt i}} \\ \leq I_{DER3-4i}^{max} \rightarrow \hat{I}_{DER3-4i}^{k'} = I_{DER3-4i}^{akt} e^{j\delta_{v_i}} + I_{DER3-4i}^{reakt} e^{j\delta_{Ireakt i}} \end{cases} \quad (2.3)$$

gde je:

$$I_{DER3-4i}^{akt} = \sqrt{(I_{DER3-4i}^{max})^2 - (I_{DER3-4i}^{reakt})^2}. \quad (2.4)$$

3. PRORAČUN TOKOVA SNAGA I KRATKIH SPOJEVA U MIKROMREŽI

Najvažniji proračuni u okviru elektroenergetskog sistema jesu proračuni tokova snaga i kratkih spojeva. Na osnovu ovih proračuna dobija se uvid u celokupno stanje sistema kako u normalni radnim uslovima tako i u uslovima sa kvarom.

3.1. PRORAČUN TOKOVA SNAGA

Proračun tokova snage, odnosno određivanje režima mreže pre kvara, izvršen je uz pomoć algoritma koji je zasnovan na iterativnom postupku, prilagođenom za proračune tokova snaga u okviru distributivnih mreža, pod nazivom „Metod sumiranja struja“. Proračun se vrši na osnovu poznatog napona korena mreže (izvora) i poznate potrošnje u svim čvorovima mreže. Uticaj DER-ova u proračun je uvažen preko strujnog injektiranja u čvoru priključenja sa negativnim predznakom. Strujno injektiranje DER-a se u svakoj iteraciji proračunava na osnovu njegove deklarirane snage i napona u tački priključenja, napon u prvoj iteraciji proračuna je jednak nominalnoj vrednosti.

Algoritam počinje inicijalizacijom postupka, odnosno učitavanjem podataka o mreži, numeracijom grana i čvorova po lejerima, setovanjem indeksa iteracija (h) na početnu vrednost. Nakon inicijalizacije započinje sam iterativni postupak proračuna radnog režima mreže [2].

Sam proračun se sprovodi u tri koraka, koji se ponavljaju iz iteracije u iteraciju, pri čemu se na kraju svake od iteracija vrši provera zadovoljenosti kriterijuma konvergencije, ako prethodno deklarirani kriterijum nije zadovoljen, ulazi se u narednu iteraciju proračuna, odnosno ako je kriterijum zadovoljen, izlazi se iz proračuna.

1. Korak: Proračun injektiranih struja
2. Korak: Proračun struja po granama
3. Korak: Proračun napona u čvorovima

Konkretno, u kreiranom programskom proračunu zadati kriterijum konvergencije postavljen je na vrednost $\varepsilon = 0.000001$, a sam broj iteracija ograničen je na 50, u suprotnom, smatra se da proračun divergira.

3.2. Proračun kratkih spojeva

U osnovi svakog proračuna režima sa kvarom, nezavisno od algoritma koji se primenjuje za proračun, vrše se četiri dekompozicije, ključna dekompozicija je svakako dekompozicija na režim mreže pre kvara i režim delta (Δ) kola. Kako je sam režim mikromreže poznat iz prethodno sprovedenog proračuna tokova snaga, proračun režima sa kvarom se svodi na proračun režima delta kola

U delta kolu se ogleda jednostavnost proračuna režima mreže sa kratkim spojem, odnosno, ono je ključno za određivanje režima mreže sa kvarom. Superponiranjem režima pre kvara poznatog iz tokova snaga sa proračunatim režimom delta kola, dobija se režim mikromreže sa kratkim spojem [1].

Kada se razmatraju tradicionalne distributivne mreže, njihovo delta kolo je pasivno svuda osim na mestu kvara, međutim, sa implementacijom obnovljivih izvora u distributivne mreže i sa njihovim upravljačkim strategijama, menja se i sama topologija delta kola, što važi i za mikro-

mreže koje se razmatraju u okviru ovog štiva. Naime, delta kolo više nije aktivno samo na mestu kvara (tradicionalno), već ono postaje aktivno i na mestima gde je DER priključen u sistem.

Kako bi se uvažile prethodne činjenice, razvijen je novi koncept delta kola pod nazivom generalizovano delta kolo, koje nam omogućava integraciju savremenih DER-ova u proračune režima mreže sa kvarom, na ovaj način i jeste vršen proračun u okviru ovog rada. Deo struje DER-a koji prilikom kvara premašuje vrednost struje pre kratkog spoja naziva se ekcesna struja i ona mora biti uvažena u proračunima režima delta kola, odnosno, potrebno je tu struju injektirati u delta kolo.

Prema tome, DER se u delta kolu modeluje idealnim strujnim generatorima sa strujama koje su jednake ekcesnim strujama. Logika rada invertora DER-a omogućava injektiranje samo simetričnih struja direktnog redosleda, prema tome, može se zaključiti da se generalizovano delta kolo razlikuje od tradicionalnog samo u direktnom redosledu, dok su inverzni i nulti identični, odnosno pogonska kola inverznog i nultog redosleda su pasivna svuda osim na mestu kratkog spoja.

Generalizovano delta kolo se izvodi na sledeći način [3]:

1. Anulirati sve idealne generatore u faznom domenu.
2. Insertovati topologiju kratkog spoja u čvor sa kvarom.
3. Dodati trofazne idealne strujne generatore simetričnih struja direktnog redosleda u svim trofaznim čvorovima u kojima su DER-ovi priključeni na mrežu.
4. Transformisati generalizovano delta kolo iz faznog domena u domen simetričnih komponenti.

U osnovi algoritma koji je korišćen za proračun jeste Kanonički model za proračun režima mreže sa kvarom, koji je dodatno prilagođen postojanju DER-ova u mreži, odnosno prilagođen je generalizovanom delta kolu. Celokupna analiza i primena algoritma za proračun režima generalizovanog delta kola detaljno je opisana u okviru knjige iz literature ovog projektnog zadatka „Modelovanje i fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža“ [3, 4].

4. NUMERIČKA ANALIZA REZULTATA

Za potrebe istraživanja u okviru master rada razvijen je softverski alat uz pomoć programskog jezika Fortran 95, u Visual Studio 2010 programskom okruženju, u kom su implementirane sve prethodno opisane metode. Verifikacija dobijenih rezultata kroz razvijeni programa izvršena je uz pomoć hardware in the loop sistema, odnos Typhoon Hil softvera i hardvera.

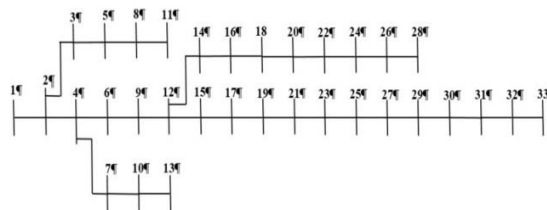
Mikromreža koja je razmatrana (slika 4.1.) zasnovana je na standardizovanoj IEEE 33 mreži sa solarnim elektranama priključenim u čvorovima 11, 13, 28, 33, respektivno, dodatno, u okviru mikromreže u čvoru 1 instaliran je i dizel agregat u cilju zadovoljavanja potrošnje i održavanja frekvencije u ostrvskom režimu rada. Priključene solarne elektrane su međusobno istih karakterističnih podataka, njihovi sistemski podaci kao i sistemski podaci dizel generatora prikazani su u okviru tabele 4.1. U zavisnosti od potrebe analize, kroz konzolu razvijenog programa, korisnik može menjati broj i mesto priključenja DER-ova.

Dizel agregat je na mrežu priključen preko dvonamotajnog transformatora prenosnog odnosa 20/0.48 kV/kV, impedansa transformatora iznosi 0.1 r.j., dok relativna impedansa dizel generatora iznosi 25%.

Distributivna mreža 20 kV na koju je priključena razmatrana mikromreža u proračunima je modelovana odgovarajućim ekvivalentom ($X/R = 0.136275$).

Za potrebe analize, simuliran je trolni kratak spoj u čvoru 9, za dva različita radna režima mreže:

- mikromreža povezana na distributivnu mrežu („Grid Connected“),
- mikromreža u ostrvskom režimu rada („Island Mode“).



Slika 4.1. IEEE 33 mreža [5]

Tabela 4.1. Sistemski podaci solarne elektrane i dizel generatora

	PV Elektrana	Dizel Generator
P [kW]	200	4000
Q [kVAr]	65	3000
V_{nom} [kV]	20	0.48

4.1 Radni režim: mikromreža priključena na distributivni sistem

Kao prvi radni režim analizira se slučaj kada je mikromreža povezana na distributivni sistem, vrednosti struje kvara u faznom domenu pri trolnom kratkom spoju u čvoru 9 mikromreže prikazane su u tabeli 4.1.1. Dok u tabeli 4.1.2. prikazane su u faznom domenu struje pre ($\hat{I}_{pk}$) i za vreme kvara ($\hat{I}_k$) priključenih solarnih elektrana pri „Grid-Connected“ radnom režimu. Sve vrednosti u okviru tabele glave 4.1. su zadate u Amperima ([A]).

Tabela 4.1.1. Vrednosti struje kvara po fazama na mestu kvara (čvor 9)

$\hat{I}_{3pks,A}$	$4226.04e^{-j48.56^\circ}$
$\hat{I}_{3pks,B}$	$4225.94e^{-j168.56^\circ}$
$\hat{I}_{3pks,C}$	$4225.95e^{j71.44^\circ}$

Tabela 4.1.2. Vrednosti struje po fazama priključenih solarnih elektrana

	Solarna elektrana čvor 11	Solarna elektrana čvor 13	Solarna elektrana čvor 28	Solarna elektrana čvor 33
$\hat{I}_{pk,A}$	$6.068e^{j18.02^\circ}$	$6.081e^{j18.28^\circ}$	$6.091e^{j19.33^\circ}$	$6.105e^{j19.10^\circ}$
$\hat{I}_{pk,B}$	$6.068e^{-j101.98^\circ}$	$6.081e^{-j101.72^\circ}$	$6.091e^{-j100.68^\circ}$	$6.105e^{-j100.90^\circ}$
$\hat{I}_{pk,C}$	$6.068e^{j138.02^\circ}$	$6.081e^{j138.28^\circ}$	$6.091e^{j139.33^\circ}$	$6.105e^{j139.10^\circ}$
$\hat{I}_{k,A}$	$9.107e^{j40.89^\circ}$	$9.121e^{j67.24^\circ}$	$9.104e^{j88.63^\circ}$	$9.104e^{j88.86^\circ}$
$\hat{I}_{k,B}$	$9.107e^{-j79.11^\circ}$	$9.120e^{-j52.76^\circ}$	$9.104e^{-j31.37^\circ}$	$9.104e^{-j31.14^\circ}$
$\hat{I}_{k,C}$	$9.107e^{j160.89^\circ}$	$9.120e^{-j172.76^\circ}$	$9.104e^{-j151.37^\circ}$	$9.104e^{-j151.14^\circ}$

4.2. Radni režim: mikromreža u ostrvskom režimu

Vrednosti struje kvara za ostrvski radni režim mreže u faznom domenu pri trolpolnom kratkom spoju u čvoru 9 prikazane su u tabeli 4.2.1. Dok u tabeli 4.2.2. prikazane su struje priključenih solarnih elektrana u faznom domenu pre ($\hat{I}_{pk}$) i za vreme kvara ($\hat{I}_k$) pri ostrvskom radnom režimu. Sve vrednosti u okviru tabela glave 4.2. su zadate u Amperima ([A]).

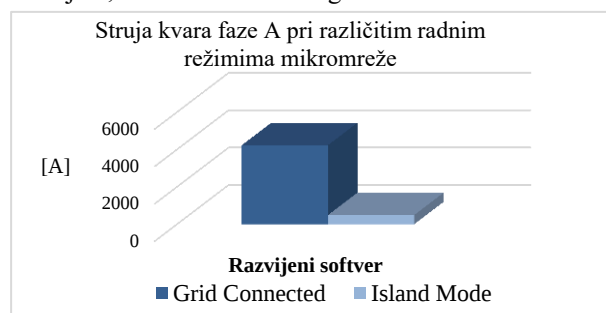
Tabela 4.2.1. Vrednost struje kvara po fazama na mestu kvara (čvor 9)

$\hat{I}_{3pks,A}$	$488.81e^{j49.30^\circ}$
$\hat{I}_{3pks,B}$	$488.80e^{-j70.70^\circ}$
$\hat{I}_{3pks,C}$	$488.80e^{j169.30^\circ}$

Tabela 4.2.2. Vrednosti struje po fazama priključenih solarnih elektrana

	Solarna elektrana čvor 11	Solarna elektrana čvor 13	Solarna elektrana čvor 28	Solarna elektrana čvor 33
$\hat{I}_{pk,A}$	$6.068e^{j18.02^\circ}$	$6.081e^{j18.28^\circ}$	$6.091e^{j19.33^\circ}$	$6.105e^{j19.10^\circ}$
$\hat{I}_{pk,B}$	$6.068e^{-j101.98^\circ}$	$6.081e^{-j101.72^\circ}$	$6.091e^{-j100.68^\circ}$	$6.105e^{-j100.90^\circ}$
$\hat{I}_{pk,C}$	$6.068e^{-j138.02^\circ}$	$6.081e^{-j138.28^\circ}$	$6.091e^{-j139.33^\circ}$	$6.105e^{-j139.10^\circ}$
$\hat{I}_{k,A}$	$9.104e^{j89.94^\circ}$	$9.104e^{j89.68^\circ}$	$9.104e^{j88.63^\circ}$	$9.104e^{j88.86^\circ}$
$\hat{I}_{k,B}$	$9.104e^{-j30.07^\circ}$	$9.104e^{-j30.32^\circ}$	$9.104e^{-j31.37^\circ}$	$9.104e^{-j31.14^\circ}$
$\hat{I}_{k,C}$	$9.104e^{-j150.06^\circ}$	$9.104e^{-j150.32^\circ}$	$9.104e^{-j151.37^\circ}$	$9.104e^{-j151.14^\circ}$

Poređenjem dobijenih rezultata kroz razvijeni softver za različite radne režime mikromreže, zapaža se značajna razlika u vrednostima struje kvara, na dijagramu 4.2.1. prikazano je poređenje rezultata. Vrednost struje kvara koja se ostvaruje pri režimu kada je mikromreža priključena na distributivni sistem je približno devet puta veća nego struja kvara u ostrvskom radnom režimu. Sa aspekta relejne zaštite kao krucijalnog elementa elektroenergetskog sistema, razlika struje kvara koja je prisutna u mikromreži kao posledica različitih radnih režimima je veoma bitna, kako bi se izvršilo adekvatno podešenje zaštite tako da svi eventualni kvarovi koji nastanu unutar mreže budu pravovremeno detektovani i otklonjeni, nezavisno od radnog režima.



Dijagram 4.2.1. Poređenje struja kvara za različite radne režime mikromreže

5. POREĐENJE DOBIJENIH REZULTATA SA REZULTATIMA IZ HARDWARE IN THE LOOP POSTAVKE

Verifikacija rezultata sakupljenih kroz razvijeni softver je sprovedena uz pomoć Typhoon Hil postavke. Verifikacijom je pokazano da rezultati sakupljeni kroz

razvijeni softver za „Grid Connected“ radni režim odstupaju do 2.3% u odnosu na rezultate iz hardware in the loop postavke, dok su odstupanja u ostrvskom radnom režimu, nešto veća i iznose 8.7%. Kako generator u ostrvskom režimu ima veliki uticaj na struju kvara, različiti pristup njegovom modelovanju kroz Typhoon Hil i razvijeni softver vidljivo se odrazio na rezultate struje kvara u ostrvskom režimu rada. U tabeli 5.1. su u Amperima ([A]) prikazane RMS vrednosti struje kvara, sakupljene kroz razvijeni softver i Typhoon Hil postavku za različite radne režime mikromreže.

Tabela 5.1. Verifikacija rezultata

Radni režim	Softver	Typhon Hil
Grid Connected	4226.04	4127.07
Island Mode	488.81	447.66

6. ZAKLJUČAK

Dobit od implementacije obnovljivih izvora je prisutna u celokupnom sistemu. Krajnji korisnici najveću dobit ostvaruju kroz očuvavanje životne sredine, dok dobit distributivne kompanije se ogleda u smanjenju gubitaka u prenosnom delu sistema, smanjenju vršnih opterećenja, itd.

Poređenjem rezultata za dva radna režima, zapaža se značajna razlika u vrednostima struje kvara za isto mesto i vrstu kvara, kako kroz razvijeni softver tako i kroz Typhoon Hil postavku. Upravo ta razlika zahteva da implementirana relejna zaštita unutar mikromreže bude adaptivna, odnosno da se u zavisnosti od radnog režima mikromreže i broja priključenih DER-ova vrši njeno prepodešavanje, kako bi se svi kvarovi u okviru mreže pravovremeno otkrili i otklonili.

7. LITERATURA

- [1] V.Strezoski: *Osnovni proračuni elektroenergetskih sistema, Tom 2, Tokovi snaga i kratki spojevi*; Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
- [2] D.Popović, D.Bekut, V.Treskanica: *Specijalizovani DMS Algoritmi*; DMS Group, Novi Sad, 2004.
- [3] L.Strezoski: *Modelovanje i fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža*; Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2021.
- [4] V.Strezoski, D. Bekut: A Canonical Model For The Study Of Faults In Power Systems; *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 1493-1499,1991; DOI:[10.1109/59.116995](https://doi.org/10.1109/59.116995).
- [5] System data of IEEE 33-Bus Distribution Network - https://www.researchgate.net/figure/Line-data-and-Load-of-System-IEEE-33-bus_tbl1_328771243

Kratka biografija:



Darko Lazarević rođen je u Šapcu 1997. god. Osnovne studije na Fakultetu tehničkih nauka na odelu elektroenergetski sistemi završio je 2020. godine. kontakt: darkolazarevic1997@gmail.com



dr Luka Strezoski rođen je u Novom Sadu 1990. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2017. god., a od 2020 je izabran za šefa katedre. Oblast interesovanja su elektroenergetski sistemi.