

MODELOVANJE I PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA DISTRIBUTIVNIH MREŽA S DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA ZASNOVANIM NA TROFAZNYM INVERTORIMA

L. STREZOSKI, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

V. KATIĆ, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

B. DUMNIĆ, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

1. UVOD

U ovom radu je predložena procedura za proračun kratkih spojeva distributivnih mreža s distribuiranim generatorima zasnovanim na trofaznim invertorima (IZDG). Tradicionalne distributivne mreže su bile pasivne u smislu da u njima nije bilo proizvodnje električne energije. Njihova jedina uloga je bila da se energija preuzeta iz napojnih transformatorskih stanica distribuira do potrošača. Modelovanje i proračuni takvih mreža utvrđeni su i koriste se u elektroprivredi više desetina godina [1].

Poslednjih godina se značajno povećava instalacija distribuiranih generatora (DG) u distributivnim mrežama. Zato su današnje distributivne mreže aktivne. To je suštinski razlog što se tradicionalno modelovanje i proračunavanje ne može primeniti na moderne aktivne distributivne mreže [2]. Najveći broj savremenih distribuiranih izvora energije zasnivaju se na korišćenju obnovljivih izvora energije kao što su energija sunca ili vetra i ovakvi izvori električne energije podrazumavaju i upotrebu trofaznih invertora [3, 4]. Pošto su IZDG trofaznim invertorima raspregnuti od mreže, njihovi modeli su zasnovani na podešenju invertora [4]. Zato IZDG u distributivnoj mreži ne mogu biti modelovani kao tradicionalni sinhroni i asinhroni generatori [2, 3, 4].

Zavisno od specifičnih zahteva različitih zemalja, invertori IZDG mogu biti podešeni na različite načine. Najveći broj razvijenih zemalja imaju svoje sopstvene propise za priključenje i rad na elektroenergetskoj mreži (Grid Codes) sa striktno određenim pravilima o odzivu IZDG u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži [3, 4, 5]. U najvećem broju slučajeva se zahteva da IZDG ostanu povezani na mrežu sve vreme trajanja kratkog spoja. Ovo pravilo je poznato kao „Low Voltage Ride Through” (LVRT) [4, 5].

U ovom radu je dat pregled LVRT zahteva nekih od izabranih zemalja, a zatim su na osnovu tih zahteva predloženi modeli IZDG u uslovima mreže s kratkim spojem. Saglasno s tim, modeli su integrisani u novo razvijeni metod za proračun režima aktivnih distributivnih mreža s kratkim spojem [2]. Predloženi modeli, integrisani u metod za proračun režima aktivnih distributivnih mreža s kratkim spojem su verifikovani na

standardnom IEEE 13 distributivnom test fideru [6], sa dodatim IZDG. Dobijeni rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju adekvatne rezultate proračuna kratkih spojeva distributivnih mreža gde su LVRT zahtevi striktno definisani. Takođe, ovi modeli se mogu uspešno koristiti i u velikom broju ostalih energetskih aplikacija distributivnih menadžment sistema, koje su zasnovane na proračunu kratkih spojeva, kao što su: podešavanje i koordinacija relejne zaštite, izbor zaštitne opreme (prekidača i osigurača), projektovanje opreme, restauracija napajanja, vođenje mreže u uslovima kvara itd.

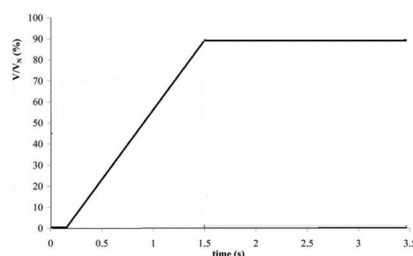
Ostatak rada je organizovan na sledeći način: u poglavlju 2 je dat pregled LVRT zahteva nekoliko izabranih zemalja i izvučene su njihove zajedničke karakteristike. U poglavlju 3 su predloženi modeli za IZDG u uslovima kratkog spoja, na osnovu LVRT zahteva. U poglavlju 4 je prikazana procedura za proračun režima mreže s kratkim spojem. U poglavlju 5 su prikazani i diskutovani rezultati proračuna režima aktivne distributivne mreže s kratkim spojem. Rad je zaključen u poglavlju 6.

2. LVRT ZAHTEVI IZABRANIH ZEMALJA

Od modernih DG se zahteva da doprinesu podršku distributivnoj mreži ne samo u normalnim uslovima, već i u uslovima s kratkim spojem [3]. Da bi ispunili taj zahtev, DG bi trebali da ostanu povezani na mrežu u uslovima s kratkim spojem i pomognu mreži da se lakše oporavi od kratkog spoja, ukoliko je to moguće [3]. S obzirom da IZDG imaju kontrolisan odziv (kontrolisanu struju) u uslovima s kratkim spojem [3, 4, 5], ova vrsta DG može da ostane povezana na mrežu. Ta sposobnost čini IZDG veoma atraktivnim u modernim distributivnim mrežama. Mogućnost ostanka na mreži za vreme trajanja kratkog spoja, koji izaziva pad napona na mestu priključenja IZDG-a, naziva se LVRT sposobnost [3, 4, 5]. Većina LVRT zahteva je definisana za prenosne mreže [5], ali sve veći broj razvijenih zemalja je počeo da uvodi ove zahteve i u svoja Pravila o radu distributivnih mreža (Distribution Codes - DC) [7, 8, 9]. Savremeni propisi o načinu rada distributivnih mreža, kao što su nemački [7, 8], irski [9] i danski [7], imaju striktno definisane LVRT zahteve. S obzirom na sve veći porast IZDG širom sveta, vrlo je verovatno da će i ostale zemlje u skorijoj budućnosti uvesti LVRT zahteve u svoja pravila o radu distributivnih mreža. U nastavku će ukratko biti objašnjeni LVRT zahtevi nemačkih, danskih i irskih Pravila o radu distributivnih mreža.

2.1. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Nemačke

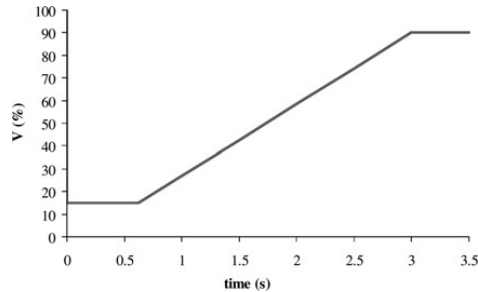
Nemački LVRT zahtevi su prikazani na Slici 1 [7, 8]. Nemačka pravila o radu distributivnih mreža zahtevaju da IZDG ostane povezan na mrežu čak i u slučaju da napon na mestu priključenja padne na nulu, prvih 150 ms. Između 150 ms i 1500 ms, granica napona raste linearno od 0% do 90% i najzad, posle 1500 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko je napon na mestu priključenja između 90% i 100% od nominalnog. Ukoliko napon na mestu priključenja IZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 1, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže nakon isteka predviđenog vremena.



SLIKA 1 –LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE NEMAČKE [8]

2.2. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Republike Irske

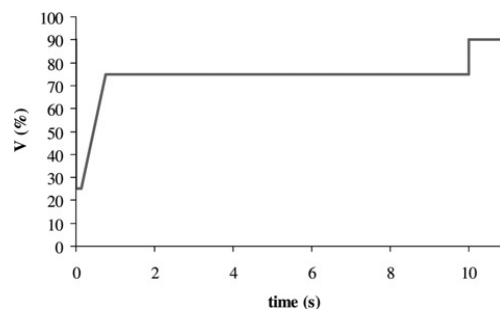
Na Slici 2 su prikazani irski LVRT zahtevi [9]. Sa slike se vidi da je zahtev da IZDG ostane povezan na mrežu ukoliko napon na mestu priključenja padne na 15% od nominalnog, prvih 625 ms. Od 625 ms do 3000 ms, granica napona raste linearno od 15% do 90%. Posle 3000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 90%. Slično kao u slučaju nemačkih Pravila o radu distributivnih mreža, ukoliko napon na mestu priključenja IZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 2, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže.



SLIKA 2 – LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE REPUBLIKE IRSKE [9]

2.3. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Danske

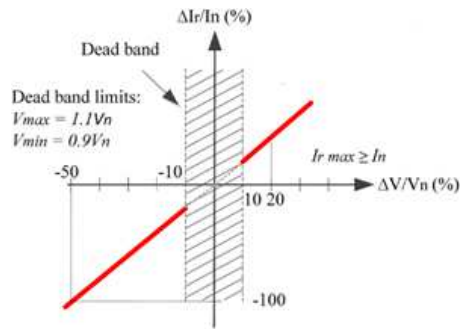
Na Slici 3 su prikazani danski LVRT zahtevi [7]. IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko napon na mestu priključenja padne na 25% od nominalnog, prvih 100 ms. Od 100 ms do 1000 ms, granica napona raste linearno od 25% do 75%. Od 1000 ms do 10.000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 75%. Posle 10.000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 90%. Ukoliko napon na mestu priključenja IZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 3, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže.



SLIKA 3 – LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE DANSKE [7]

2.4. Zahtevi za injektiranjem reaktivne struje za vreme kratkog spoja

Pravila o radu distributivnih mreža zahtevaju od IZDG da podrže distributivnu mrežu tako što će generisati reaktivnu snagu tokom kratkog spoja, da bi pomogli bržem povratku napona u normalne granice [3, 7]. Reaktivna struja je definisana kao struja koja prednjači naponu na mestu priključenja IZDG za ugao $\frac{\pi}{2}$, odnosno struja koja će pomnožena sa naponom dati injektiranje reaktivne snage u mrežu [3, 7]. Pravila o radu distributivnih mreža Republike Irske i Nemačke zahtevaju od IZDG-a da injektira reaktivnu struju u vrednosti od 2% nominalne struje po procentu pada napona na mestu priključenja IZDG-a [3, 7]. To znači da ukoliko napon padne na 50%, reaktivna struja koju IZDG mora da injektira je jednaka 100% nominalne struje. Ovaj zahtev je prikazan na Slici 4 [7]. Međutim, IZDG moraju da kontrolišu svoju struju kvara, sa jasno definisanim ograničenjem te struje, da bi zaštitili osetljive uređaje energetske elektronike [10]. Ograničenje struje kvara se razlikuje kod različitih proizvođača, ali ne prelazi 1.5 od nominalne struje [2, 3, 4, 5]. Zbog toga, u slučajevima ozbiljnih padova napona na mestu priključenja IZDG-a (više od 75%) reaktivna struja koju će IZDG injektirati u toku kratkog spoja ne može da pređe definisano ograničenje.



SLIKA 4 – ZAHTEVI ZA INJEKTIRANJEM REAKTIVNE STRUJE [7]

2.5. Pregled LVRT zahteva pravila o radu distributivnih mreža izabranih zemalja

U ovom delu su izvučene zajedničke, bitne karakteristike različitih Pravila o radu distributivnih mreža. Saglasno sa prethodnim potpoglavljima, može se zaključiti da su osnovni LVRT zahtevi od IZDG-a:

1. Da ostane povezan na mrežu u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži;
2. Da injektira reaktivnu snagu u mrežu u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži.

Na osnovu ovih zahteva, u sledećem poglavlju su predloženi modeli za IZDG u uslovima mreže sa kratkim spojem.

3. MODELOVANJE IZDG U USLOVIMA MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Sinhroni i asinhroni generatori se u elektroprivredi koriste već više od jednog veka. Njihovi modeli kako u normalnom režimu, tako i u režimu mreže s kratkim spojem su jasno ustanovljeni i uspešno se koriste poslednjih nekoliko decenija [1]. Za razliku od ovih generatora, IZDG su relativno novi. IZDG nemaju jasno zasnovane i opšte prihvaćene modele. Zbog toga je potrebno što pre razviti prikladne modele za ovu vrstu generatora. U ovom radu će se za modelovanje koristiti nemački LVRT zahtevi (kriva sa Slike 1), koji su i najstrože postavljani zahtevi, ali iz Poglavlja 2 je jasno da se modeli mogu lako prilagoditi da odgovaraju LVRT zahtevima drugih zemalja.

IZDG imaju kontrolisanu struju kvara, sa jasno definisanim ograničenjem te struje. U ovom radu će se pretpostaviti da je strujno ograničenje 150% od njihove nominalne struje, saglasno sa [2, 3, 4]. IZDG su podešeni tako da uvek daju simetrične struje direktnog redosleda, čak i u slučaju neuravnoteženih kratkih spojeva [2, 3, 4]. Takođe, IZDG reaguju isključivo na propad napona direktnog redosleda na mestu priključenja [3, 7]. Saglasno s tim, modeli predloženi u ovom radu će se odnositi samo na direktni redosled. U inverznom i nultom redosledu, IZDG modeli su anulirani.

3.1. IZDG Modeli

Predloženi modeli se sastoje od idealnih strujnih izvora, sa simetričnim strujama direktnog redosleda. Vrednosti ovih struja određuju se na osnovu vrednosti napona direktnog redosleda na mestu priključenja IZDG-a, u trenutku kratkog spoja (\hat{V}_T^d). U prvoj iteraciji proračuna, IZDG je modelovan kao idealni strujni izvor sa strujom jednakoj njegovoj struji pre kratkog spoja I_{IZDG}^{pre} . Zatim se proračunava čitavo stanje mreže u toj iteraciji, procedurom “Improved Back-Forward Sweep” (IBFS) predloženom u [2]. Posle prve iteracije proračuna, raspolaže se sa naponom \hat{V}_T^d . S obzirom da se koriste nemački LVRT zahtevi, IZDG mora da ostane povezan na mrežu čak i u slučaju da je $\hat{V}_T^d = 0$.

Na osnovu faznog ugla napona \hat{V}_T^d određuje se fazni ugao reaktivne struje IZDG-a (I_{IZDG}^{reakt}), tako da prednjači naponu \hat{V}_T^d za ugao $\frac{\pi}{2}$, odnosno:

$$\delta_{I_{reakt}} = \delta_U + \frac{\pi}{2}, \quad (1)$$

Gde je $\delta_{I_{reakt}}$ ugao reaktivne struje, a δ_U ugao napona \hat{V}_T^d .

Sada se izračunava odnos između modula nominalnog napona na mestu priključenja IZDG-a (V_{Tnom}^d) i modula napona \hat{V}_T^d :

$$\Delta V_T = \frac{V_T^d}{V_{Tnom}^d}. \quad (2)$$

Odnos modula reaktivne struje IZDG-a u i nominalne struje IZDG-a (I_{IZDG}^{nom}) je jednak dvostrukoj vrednosti ΔV_T (saglasno sa Slikom 4):

$$\frac{I_{IZDG}^{reakt}}{I_{IZDG}^{nom}} = 2 \Delta V_T. \quad (3)$$

Sada se računa vrednost modula reaktivne struje IZDG-a:

$$I_{IZDG}^{reakt} = 2 \Delta V_T I_{IZDG}^{nom}. \quad (4)$$

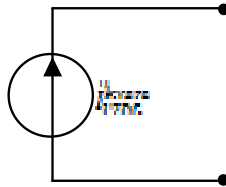
Na kraju, I_{IZDG}^{reakt} se poredi sa ograničenjem struje kratkog spoja IZDG-a (I_{IZDG}^{max}) i na osnovu njihovog odnosa se određuje ukupna struja kratkog spoja IZDG-a (I_{IZDG}^{kvara}):

$$I_{IZDG}^{reakt} \begin{cases} > I_{IZDG}^{max} \Rightarrow \hat{I}_{IZDG}^{kvara} = I_{IZDG}^{max} e^{j\delta_{I_{reakt}}} \\ \leq I_{IZDG}^{max} \Rightarrow \hat{I}_{IZDG}^{kvara} = I_{IZDG}^{akt} e^{j\delta_U} + I_{IZDG}^{reakt} e^{j\delta_{I_{reakt}}} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\text{gde je } I_{IZDG}^{akt} = \sqrt{(I_{IZDG}^{max})^2 - (I_{IZDG}^{reakt})^2}. \quad (6)$$

Sa ovom strujom se ide u naredne iteracije proračuna.

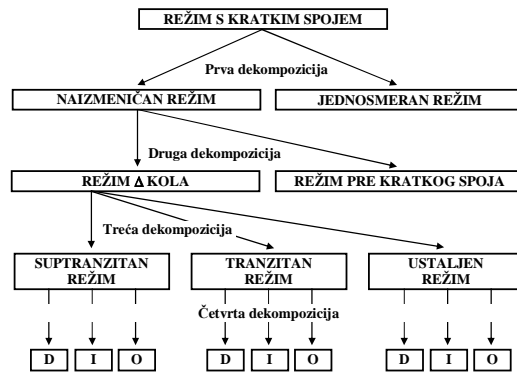
Iz relacije (5) se vidi da je modul struje IZDG-a u kratkom spoju uvek ograničen definisanim strujnim ograničenjem (I_{IZDG}^{max}). Odnos aktivne i reaktivne komponente ove struje menja se u odnosu na intenzitet propada napona na mestu priključenja IZDG-a, saglasno sa Slikom 4. Predloženi model IZDG-a u uslovima mreže sa kratkim spojem može da se predstavi kao što je prikazano na Slici 5.



SLIKA 5 – MODEL IZDG U USLOVIMA MREŽE S KRATKIM SPOJEM

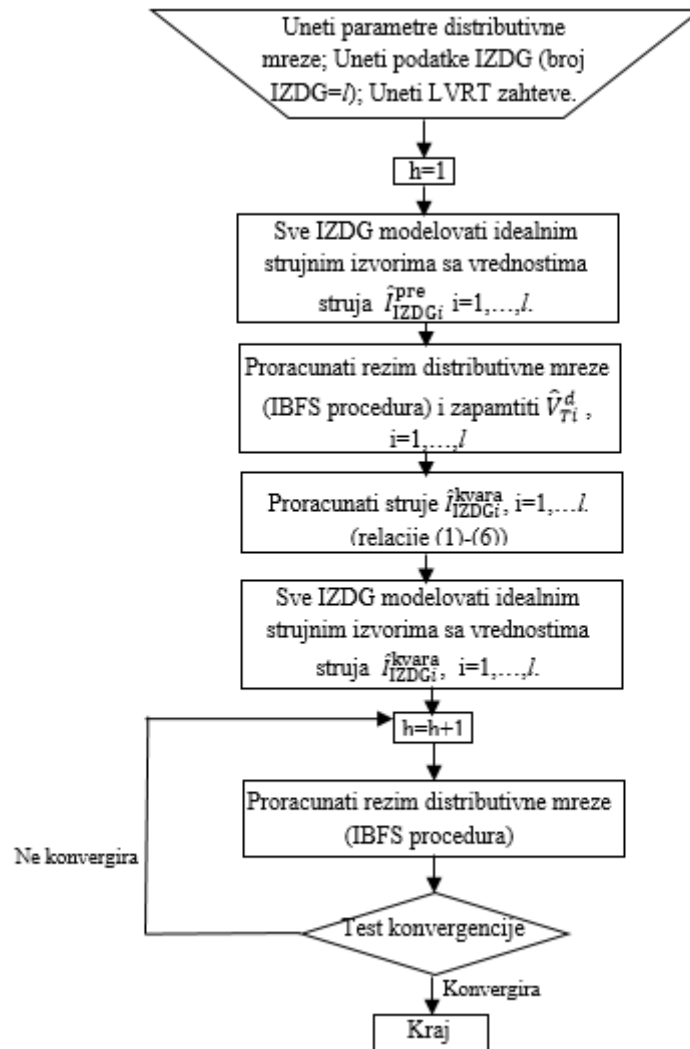
4. PROCEDURA ZA PRORAČUN REŽIMA AKTIVNE DISTRIBUTIVNE MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Proračun režima distributivne mreže s kratkim spojem sprovodi se pomoću četiri dekompozicije sa slike 6 [1, 2].



SLIKA 6 – ČETIRI DEKOMPOZICIJE REŽIMA DISTRIBUTIVNE MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Jednosmerni režim nije od interesa za ovaj rad. S obzirom da je režim pre kratkog spoja poznat, proračun režima s kratkim spojem se svodi na proračun Δ kola. Iterativna procedura za proračun Δ kola aktivne distributivne mreže je data u [2]. Ta procedura se zove IBFS procedura. U ovom radu su modeli iz Poglavlja 3 integrisani u IBFS proceduru. Blok dijagram procedure za proračun kratkih spojeva distributivne mreže sa integrisanim IZDG dat je na Slici 7.

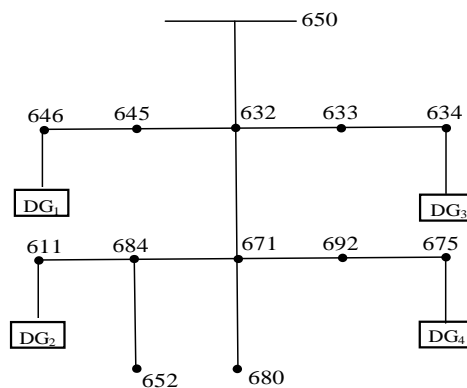


SLIKA 7 – BLOK DIJAGRAM PROCEDURE ZA PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA MREŽE SA IZDG

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Predloženi modeli, integrisani u IBFS proceduru su verifikovani na modifikovanom IEEE 13 test fideru [6] – Slika 8.

Fider je modifikovan da bude uravnotežen, u simetričnom režimu pre kratkog spoja. Čvor 650 je koren mreže, sa specificiranim trofaznim, simetričnim naponom (fazni napon: $U_1 = (21/\sqrt{3})KV$). Takođe, četiri IZDG-a: DG₁, DG₂, DG₃ i DG₄ su dodata u čvorove 646, 611, 634 i 675, respektivno. IZDG su izabrani da snabdevaju skoro 50% ukupne potrošnje (svaki snabdeva 12% ukupne potrošnje). Pretpostavlja se da sva četiri IZDG rade sa nominalnom snagom u trenutku pre kratkog spoja. Sve sekcije vodova su međusobno jednake, njihovi parametri su dati u Tabeli 1. Trofazni kratak spoj je simuliran u čvoru 680. U Tabeli 2 su dati rezultati za struje i napone sva četiri IZDG ($\hat{I}_{DG1}, \hat{I}_{DG2}, \hat{I}_{DG3}, \hat{I}_{DG4}, \hat{U}_{DG1}, \hat{U}_{DG2}, \hat{U}_{DG3}, \hat{U}_{DG4}$), pre kratkog spoja, kao i za iste te struje i napone u trenutku kratkog spoja. Takođe, prikazani su rezultati za trofazne snage sva četiri IZDG ($\hat{S}_{DG1}, \hat{S}_{DG2}, \hat{S}_{DG3}, \hat{S}_{DG4}$), pre i u trenutku kratkog spoja. Potrošači i otočni parametri vodova su zanemareni u ovom primeru.



SLIKA 8 – MODIFIKOVANI IEEE 13 TEST FIDER

TABELA 1 – PARAMETRI SEKCIJA

$Z^+ = Z [\Omega/km]$	$Z^0 [\Omega/km]$	$l [km]$
0.4897+j1.0032	1.2376+j3.0992	1.6

TABELA 2 – REZULTATI ZA KRATAK SPOJ U ČVORU 680

Struje	Pre kratkog spoja [kA]	Kratak spoj [kA]	Naponi	Pre kratkog spoja [kV]	Kratak spoj [kV]	Snage	Pre kratkog spoja [MVA]	Kratak spoj [MVA]
\hat{I}_{DG1}	-0.041-j0.0006	0.054-j0.027	\hat{U}_{DG1}	12.242+j0.259	8.141+j0.044	\hat{S}_{DG1}	1.5+j0	1.33+j0.67
\hat{I}_{DG2}	-0.041-j0.0013	0.029-j0.054	\hat{U}_{DG2}	12.311+j0.415	4.092+j0.037	\hat{S}_{DG2}	1.5+j0	0.35+j0.67
\hat{I}_{DG3}	-0.041-j0.0006	0.054-j0.027	\hat{U}_{DG3}	12.242+j0.259	8.141+j0.044	\hat{S}_{DG3}	1.5+j0	1.33+j0.67
\hat{I}_{DG4}	-0.041-j0.0013	0.029-j0.054	\hat{U}_{DG4}	12.311+j0.415	4.092+j0.037	\hat{S}_{DG4}	1.5+j0	0.35+j0.67

Kao što se vidi iz Tabele 2, pre kratkog spoja sva četiri IZDG su injektirala jednake snage, i to isključivo aktivnu snagu. Takođe, struje sva četiri IZDG pre kratkog spoja su gotovo identične.

U trenutku kratkog spoja u čvoru 680, naponi na mestu priključenja sva četiri IZDG su značajno opali. S obzirom da se DG₁ i DG₃ nalaze na jednakoj udaljenosti od kratkog spoja, propadi napona na njihovim mestima priključenja će biti jednaki. Ovi propadi napona će, saglasno sa Slikom 4, izazvati jednake reaktivne struje kvara oba DG, a s obzirom da su im i strujna ograničenja jednaka to će, saglasno sa relacijom (5), izazvati da im i aktivne komponente struja budu jednake. Isto važi i za DG₂ i DG₄.

Iz Tabele 2 se vidi da što je veći propad napona na mestu priključenja IZDG, veća je i reaktivna struja koju IZDG injektira. Saglasno sa injektiranim reaktivnim strujama, sva četiri IZDG će injektirati reaktivne snage u trenutku kratkog spoja, što je jedan od osnovnih zahteva od IZDG. S obzirom da reaktivne struje kvara IZDG rastu linearno sa propadom napona na njihovim mestu priključenja, reaktivne snage sva četiri IZDG u trenutku

kratkog spoja će biti jednake, iako su propadi napona na mestima priključenja DG_2 i DG_4 duplo veći nego na mestima priključenja DG_1 i DG_3 . Ovi rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju željene rezultate u distributivnim mrežama gde su LVRT zahtevi striktno definisani.

6. ZAKLJUČAK

Za razliku od tradicionalnih sinhronih i asinhronih generatora, IZDG su relativno nov oblik distribuiranih generatora. IZDG nemaju jasno zasnovane i opšte prihvaćene modele u uslovima mreže s kratkim spojem. Zato su u ovom radu predloženi modeli za IZDG u uslovima mreže s kratkim spojem, zasnovani na LVRT zahtevima modernih zemalja. Ovi modeli su integrisani u novo razvijenu proceduru za proračun kratkih spojeva aktivnih distributivnih mreža. Rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju željene rezultate u distributivnim mrežama gde su LVRT zahtevi striktno definisani. Takođe, iz dobijenih rezultata se vidi da je osnovna karakteristika IZDG prilikom kratkog spoja, da pomažu distributivnu mrežu tako što će injektirati reaktivnu snagu, upotrebom predloženih modela očuvana i jasno iskazana. Na osnovu svega prethodno rečenog, može se zaključiti da se predloženi modeli mogu uspešno koristiti u proračunima kratkih spojeva aktivnih distributivnih mreža, kao i u ostalim DMS energetske aplikacijama, koje su zasnovane na proračunu kratkih spojeva.

U nastavku istraživanja na ovoj temi jedan od pravaca će biti i eksperimentalna provera algoritama upravljanja invertorskim jedinicama u distribuiranim izvorima električne energije u skladu sa LVRT zahtevima upotrebom savremene laboratorijske postavke [11].

7. LITARATURA

- [1] Bergen R., Vittal V., 2000, "Power System Analysis"(2nd Ed.), Prentice Hall.
- [2] Strezoski L., Prica M., 2016, "Real-Time Short-Circuit Analysis of Active Distribution Systems", IEEE Power and Energy Conference in Illinois (PECI), Champagne, IL, USA, pp. 1–6.
- [3] Van Tu D., Chaitusaney S., Yokoyama A., 2014, "Maximum-Allowable Distributed Generation Considering Fault Ride-Through Requirement and Reach Reduction of Utility Relay", IEEE Trans. Power Del., Vol. 29, No. 2, pp. 534–541.
- [4] Williams J., Karlson B., 2012, "Wind Power Plant Short-Circuit Modeling Guide", Sandia Nat. Lab., Albuquerque, NM.
- [5] Teodorescu R., Liserre M., Rodriguez M., 2011, "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", John Wiley & Sons.
- [6] Kersting W., 2001, "Radial distribution test feeders", IEEE PES Winter Meeting, Vol. 2, pp. 908–912.
- [7] Tsili M., Papathanassiou S., 2009, "A review of grid code technical requirements for wind farms", IET Renew. Power Generation, Vol. 3, No. 3, pp. 308–332.
- [8] Bundesverband der Energie - und Wasserwirtschaft e.V., 2008, "Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the medium-voltage network".
- [9] Distribution System Operators, ESB Networks, 2015 "Irish Distribution Code".
- [10] Ivanovic Z., Adzic E., Vekic M., Grabic S., Celanovic N., and Katic V.A., 2012, "HIL Evaluation of Power Flow Control Strategies for Energy Storage Connected to Smart Grid Under Unbalanced Conditions", IEEE Trans. on Pow. Elect., Vol. 27, No.11, pp.4699-4710.
- [11] Dumnic B., Milicevic D., Popadic B., Katic V.A., Corba Z., 2013, "Advanced laboratory setup for control of electrical drives as an educational and developmental tool", IEEE Eurocon 2013, 1- 4 July, Zagreb, Croatia, pp. 903-909,

Kontakt informacije autora:

Luka Strezoski: lukastrezoski@uns.ac.rs

Vladimir Katic: katav@uns.ac.rs

Boris Dumnic: dumnic@uns.ac.rs