

ISPITIVANJE UTICAJA OBNOVLJIVIH IZVORA PRIMENOM TEST MREŽE**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RENEWABLE SOURCES USING TEST GRIDS**Pavle Perge, Vladimir Katić, Aleksandar Stanisavljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu razmatra se uticaj obnovljivih izvora električne energije na IEEE 13-bus test mrežu. Mreža je modifikovana tako što je u nju priključen distribuirani generator – vetroelektrana. Cilj ovog rada je da se utvrdi uticaj priključenog distribuiranog generatora na napone kratkog spoja i samu mrežu. Modelovanje je rađeno u programskom paketu DIGSILENT Power Factory.

Ključne reči: kratak spoj, IEEE test mreža, vetroelektrana

Abstract – This paper discusses the impact of renewable energy sources on the IEEE 13-bus test network. The network has been modified by connecting a distributed generator - a wind power plant. The aim of this paper is to determine the influence of the connected distributed generator on short-circuit voltages and the network itself. The modeling was done in the DIGSILENT Power Factory software package.

Keywords: short circuit, IEEE test grid, wind farm

1. UVOD

Pod distribuiranim generatorima (DG) podrazumevaju se generatori manjih snaga, koji se priključuju direktno na distributivnu mrežu i koji za pogon koriste obnovljive izvore energije ili viškove energije iz nekog drugog tehnološkog (proizvodnog) procesa. Samo ime DG vezuje se za izvore energije, koji su rasprostranjeni po distributivnoj mreži. Iz ovoga sledi da se distribuirana proizvodnja odnosi na električnu energiju dobijenu na lokaciji potrošača ili u njegovoj blizini [1].

Priključenje ovih izvora i njihova sinhronizacija sa mrežom obavlja se preko odgovarajućih energetskih elektronskih pretvarača, koji su nelinearne prirode i zasnovani na digitalnim tehnikama upravljanja. Iz tog razloga značajno je razmotriti njihovu interakciju sa mrežom, odnosno obostrani uticaj na parametre kvaliteta električne energije.

Uticaj može biti dvojak. Sa jedne strane DG-i poboljšavaju naponske prilike u distributivnoj mreži, smanjuju gubitke u prenosu, poboljšavaju pouzdanost napajanja, ali i doprinose povećanju harmonijske distorzije napona. S druge strane, poremećaji naponskih prilika u mreži (propadi ili poskoci napona, nesimetrija, fliker i sl.) utiču na pravilan i stabilan rad energetskih pretvarača sa strane mreže, odnosno mrežnih invertora.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red. prof.

Distribuirani generatori mogu se podeliti na više načina: prema vrsti energenta, snazi, vrsti generatora, načinu priključenja na mrežu, brzini upravljanja, nivou učešća (prisustva u mreži).

Podela DG prema vrsti energenta:

- vetroelektrana
- solarna (FN) elektrana
- hidroelektrana
- biogasna elektrana
- geotermalna elektrana
- mikroturbina (gasna)
- dizel agregat
- elektroenergetska skladišta

Prvih pet kategorija spadaju u obnovljive izvore, a šesta i sedma u fosilna goriva.

U ovom radu će se posmatrati propadi napona na sabirnicama mrežnih invertora, kao posledica kvarova na mreži. Radi referentnijih rezultata, istraživanje će se vršiti na standardizovanoj, IEEE test mreži sa dodatim DG-om (vetroelektranom) i to IEEE 13-bus [2]. Koristiće se posebno razvijeni model test mreže u demo-verziji programskog paketa DIGSILENT Power Factory [3]. Cilj rada je da utvrdi uticaj priključenog DG, kao i vrsta kvara na fazne napone.

2. TEST MREŽE

Pokazalo se da je testiranje različitih scenarija u softverskim alatima vremenski dugotrajno i zahtevno. Zbog toga, pojavila se potreba da se ustanove jedan ili više referentnih modela distributivnih mreža sa standardizovanim kompleksnošću, strukturom i dobro poznatim i dokumentovanim parametrima, koji mogu da predstavljaju distributivne ili prenosne mreže. Navedeni test i referentni modeli su izabrani kao optimalni da mogu da pokriju različite potrebe za testiranjem u različitim uslovima i u zavisnosti od tipova opterećenja i same strukture elektroenergetskog sistema. Uglavnom ovi modeli predstavljaju uprošćene modele realnih elektroenergetskih sistema. Od velikog broja test mreža ovde će se koristiti IEEE test mreža (IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) i to ona sa 13 (*IEEE 13-bus*) [2]. Da bi se razmatrao uticaj DG-a, ovoj test mreži će se dodati vetrogenerator na jednoj sabirnici IEEE 13-bus.

Postoji dve vrste test mreža: prenosne i distributivne.

Distribuirana proizvodnja (engl. Distributed generation-DG) je termin koji se u elektroenergetici koristi za proizvodnju električne energije na lokaciji potrošača, dok se pod terminom distribuirani izvori-generatori misli na generatore koji se priključuju na distributivnu, NN ili SN mrežu. U IEEE standardu se distribuiranim generatorima smatraju jedinice snage do 10MW.

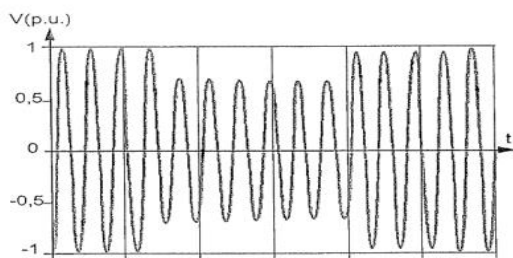
3. KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE - PROPADI NAPONA I KRATKI SPOJEVI

Pitanje kvaliteta električne energije je usko vezano za osnovne postavke elektroenergetskog sistema, pa je od velike važnosti za njegovo funkcionisanje. Kvalitet električne energije predstavlja zajednički interes potrošača i proizvođača električne energije, a problemi u vezi sa kvalitetom su postavljeni u žižu interesovanja savremene distributivne mreže. Od posebnog interesa su viši harmonici i propadi napona, jer su njihovi efekti posebno izraženi u radu EES-a i potrošača [4]. U ovom radu posebna pažnja će biti na simulaciji kratkih spojeva.

Propad napona predstavlja kratkotrajno smanjenje efektivne vrednosti napona od 10% do 90% nominalne vrednosti, obično u trajanju od polovine periode do 1 min. Na slici 1 prikazan je tipičan vremenski oblik propada napona. Uzroci propada napona su kratki spojevi, uključivanje velikih potrošača (asinhronih motora i elektroločnih peći), povezivanje distributivnih transformatora i druga preopterećenja u mreži. Posledice propada napona su otkazivanje opreme, prekid programa, gubitak informacija, prekid proizvodnog procesa ili oštećenje industrijskih proizvoda. Kod DG-a propadi mogu da izazovu prevelike struje i pregorevanje tranzistorskih prekidača u invertoru, gubitak sinhronizacije i ispad DG-a.

Tehničke prednosti primene DG:

- poboljšavaju naponske prilike i kvalitet el. energije u distributivnoj mreži
- smanjuju se gubici u mreži i opterećenja dalekovoda u prenosu el.energije
- jednostavnije upravljanje potrošnjom i izravnavanje dijagrama opterećenja
- povećavaju pouzdanost napajanja
- umanjuju emisiju CO₂
- mogu davati podršku mreži tokom kvara (Fault Ride Trough – FRT, Low Voltage Ride Trough LVRT) i napajati mrežu u tim situacijama.



Slika 1. Vremenski oblik propada napona [4]

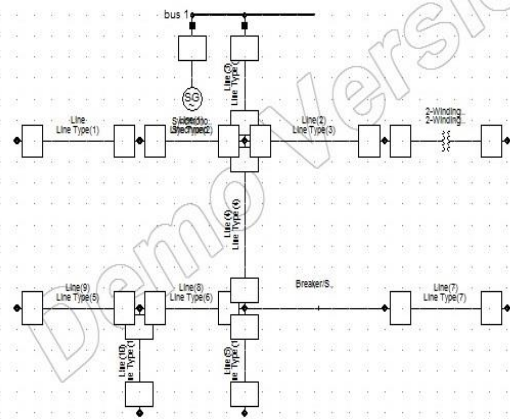
4. MODELOVANJE IEEE TEST MREŽE

Za ovo istraživanje izvršeno je modelovanje IEEE test mreže sa 13 sabirnica dopunjenih sa DG-om (vetroeletrom) u programskom jeziku DIgSILENT Power Factory [3].

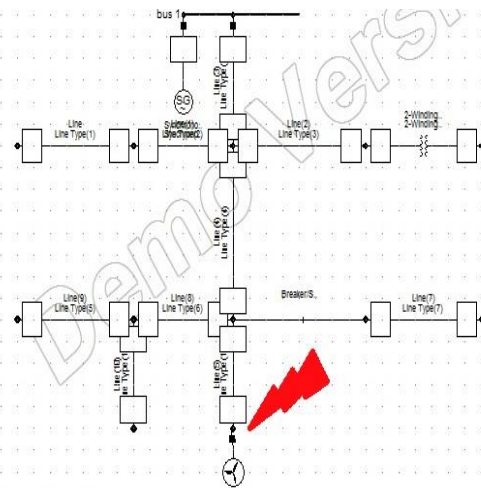
4.1 Model IEEE 13-bus test mreže

IEEE-13 test mreža je dizajnirana za testiranje algoritama u neuravnoteženim trofaznim radijalnim sistemima. Ova test mreža je uprošćen model realne distributivne mreže. Ono što karakteriše ovu mrežu je da je ona kratka, nebalansirana i u značajnoj meri opterećena mreža. Mreža se sastoji od 13 čvorova koji su međusobno povezani sa 10 vodova, ima jedan glavni izvor napajanja kao i dva transformatora (jedan distributivni transformator ΔY

115/4.16 KV I jedan linijski transformator YY 4.16/0.480 KV), dve kondenzatorske baterije, kao i neuravnotežene distributivne potrošače.



Sl. 2. Model modifikovane IEEE 3-bus test mreže modelovane u DIgSILENT-u



Sl. 3. Model modifikovane IEEE 13-bus test mreže sa povezanim vetrogeneratorom i označenim mestom kvara (sabirnica 680)

5. REZULTATI SIMULACIJA

Simulirani su jednofazni (1pks) i trofazni (3pks) kratki spojevi na sabirnici 680 kako bi se uočio uticaj vetrogeneratora na mesto kvara.

5.1. Rezultati simulacija na IEEE 13-bus test mreži

Posmatrani su 1pks i 3pks i njihov uticaj na nivo propada napona na mestu priključenja vetrogeneratora, tj. na sabirnici 680.

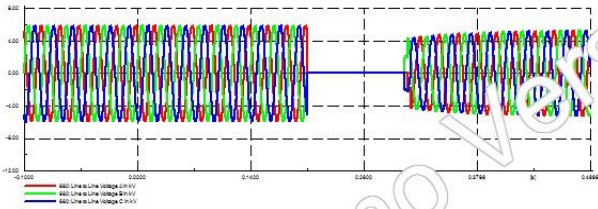
5.1.1. 3PKS na sabirnici 680

Na slikama 4 i 5 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 680 u slučaju 3pks, sa i bez priključenog vetrogeneratora.

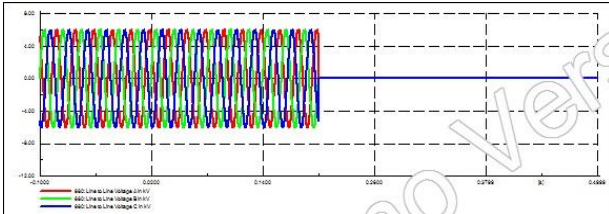
Mogu se uočiti odgovarajući poremećaji napona i uticaj vetrogeneratora na napone kratkog spoja.

Sa slike 4 vidi se da nakon prestanka kratkog spoja sistem pokušava da se vrati u normalu sa znatno manjim amplitudama i različitim periodama oscilovanja.

Sa slike 5 vidi se da sistem nakon kratkog spoja ne uspeva da se vrati u normalan rad i da su naponi u sve 3 faze nula (negativan uticaj DG).



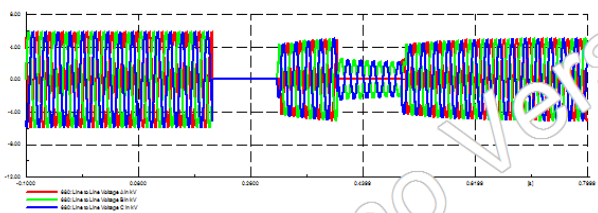
Sl.4. Naponi kratkog spoja u slučaju 3pks bez povezanog vetrogeneratorom



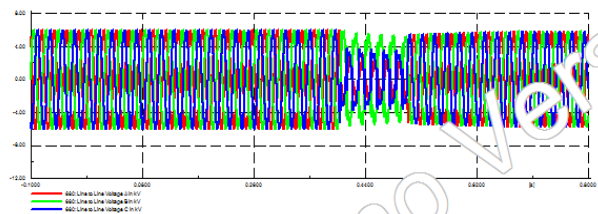
Sl.5. Naponi kratkog spoja u slučaju 3pks sa povezanim vetrogeneratorom

5.1.2. 1PKS na sabirnici 680 u fazi A

Na slikama 6 i 7 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 680 u slučaju 1pks (u fazi A) sa i bez povezanog vetrogeneratora.



Sl.6. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks bez povezanog vetrogeneratora u fazi A



Sl.7. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks sa povezanim vetrogeneratorom u fazi A

Sa slike 6 se vidi da je napon faze A na nuli, dok naponi u ostale dve faze imaju propad i neku vrednost koja je različita od nule.

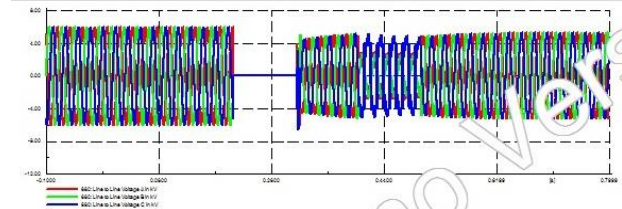
Sa slike 7 vidi se da sva tri fazna napona imaju neku vrednost čak i u trenutku kratkog spoja iako je napon u fazi A značajno manji od napona u preostale dve faze. Nakon 200 ms sistem se vraća u normalu, sa istom amplitudom kao i pre kratkog spoja.

5.1.3. 1PKS na sabirnici 680 u fazi B

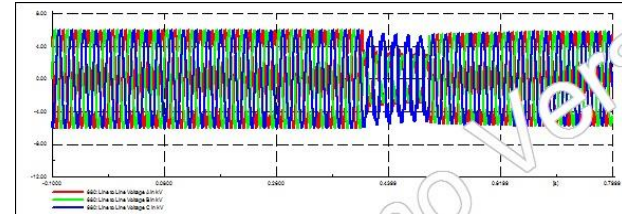
Na slikama 8 i 9 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 680 u slučaju 1pks (u fazi B) sa i bez povezanog vetrogeneratora.

Sa slike 8 se vidi da je napon faze B na nuli, dok naponi u ostale dve faze imaju propad i neku vrednost koja je različita od nule.

Sa slike 9 se vidi da sva tri fazna napona imaju neku vrednost čak i u trenutku kratkog spoja iako je napon u fazi B značajno manji od napona u preostale dve faze. Nakon 200 ms sistem se vraća u normalu, sa istom amplitudom kao i pre kratkog spoja.



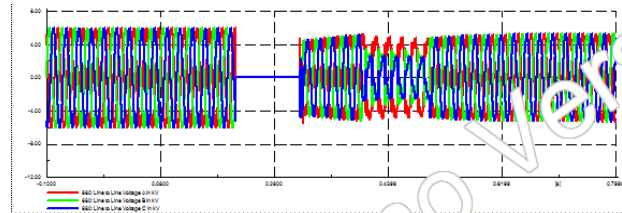
Sl.8. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks bez povezanog vetrogeneratora u fazi B



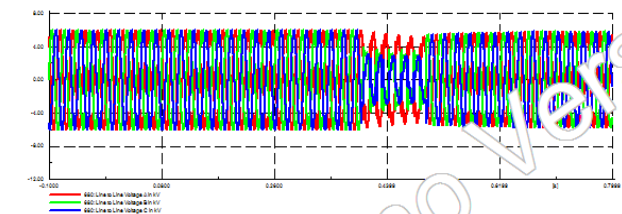
Sl.9. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks sa povezanim vetrogeneratorom u fazi B

5.1.4. 1PKS na sabirnici 680 u fazi C

Na slikama 10 i 11 prikazani su rezultati simulacija, odnosno fazni naponi na sabirnici 680 u slučaju 1pks (u fazi C) sa i bez povezanog vetrogeneratora.



Sl.10. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks bez povezanog vetrogeneratora u fazi C



Sl.11. Naponi kratkog spoja u slučaju 1pks sa povezanim vetrogeneratorom u fazi C

Sa slike 10 se vidi da su sve vrednosti faznih napona različite od nule, uz blagi propad napona, dok napon u fazi C ima najveći propad.

Sa slike 11 se vidi da sva tri fazna napona imaju neku vrednost čak i u trenutku kratkog spoja iako je napon u fazi C značajno manji od napona u preostale dve faze. Nakon 200 ms sistem se vraća u normalu, sa istom amplitudom kao i pre kratkog spoja.

5.2. Rezultati simulacija na IEEE 13-bus test mreži

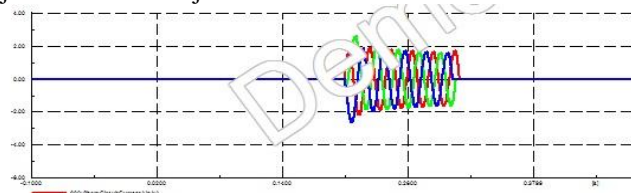
U ovom slučaju posmatrane su struje kratkih spojeva u svim fazama prilikom 3pks i 1pks na sabirnici 680 sa i bez povezanog vetrogeneratora

5.2.1. 3PKS na sabirnici 680

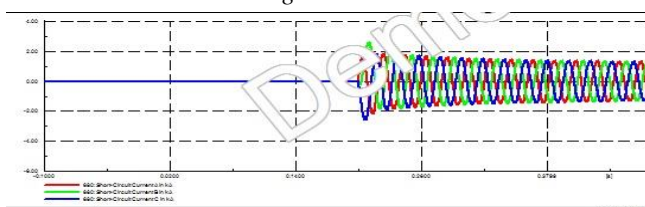
Na slikama 12 i 13 prikazani su rezultati simulacija tj. fazne struje u slučaju 3pks.

Sa slike 12 vidi se nastanak kratkog spoja i njegovo iščezavanje nakon 300ms. Nakon toga struja u svim fazama ima vrednost nula.

Sa slike 13 se vidi da struja kratkog spoja ne iščezava u periodu od 300ms, nego nastavlja sa postepenim smanjenjem vrednosti struje u sve tri faze.



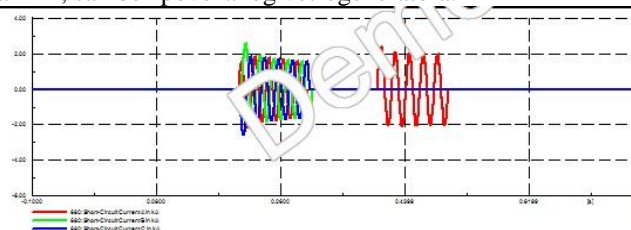
Sl.12. Struja kratkog spoja za 3pks bez povezanog vetrogeneratora



Sl.13. Struja kratkog spoja za 3pks sa povezanim vetrogeneratorom

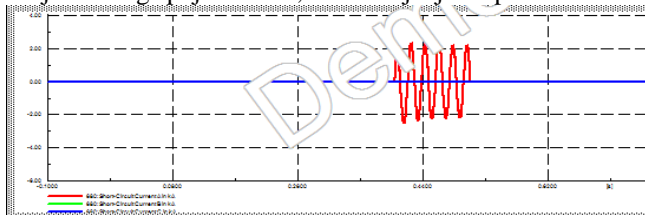
5.2.2. 1PKS na sabirnici 680 u fazi A

Na slikama 14 i 15 prikazane su simulacije struja 1pks u fazi A , sa i bez povezanog vetrogeneratora.



Sl.14. Struje kratkog spoja u slučaju 1pks bez povezanog vetrogeneratora u fazi A

Na slici 14 vidi se poremećaj u sve tri faze , i nakon toga stupa simulacija u trajanju od 200ms u kojoj se jasno vidi struja kratkog spoja faze A , bez slabljenja amplitude.



Sl.15. Struje kratkog spoja u slučaju 1pks sa povezanim vetrogeneratorom u fazi A

Na slici 15 se vidi struja kratkog spoja faze A bez prethodnog poremećaja . Isto ponašanje sistema je i za fazu B i za fazu C.

6. ZAKLJUČAK

Analizom različitih slučajeva za jednopolni i trolpolni kratak spoj sa i bez priključenog vetrogeneratora u mreži , zaključuje se da njegovo priključenje u mreži doprinosi povećanju vrednosti propada napona i faznim strujama, naročito kod trolpolnog kratkog spoja. Ako je u mreži priključeno više DG-a dobija se veća snaga iz njih i povećanje deformacija napona i struja će biti veće .

U slučaju IEEE 13-bus test mreže radene su simulacije na sabirnici 680 u slučaju 3pks i 1pks. Rezultati deformacije napona su očigledni pogotovo u slučaju sa povezanim DG-om.

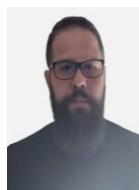
Što se tiče struja kratkog spoja promene koje nastaju povezivanjem DG-a dovode do smanjenja amplitude struje kratkog spoja i njenog neiščezavanja.

Pored mesta kvara i pogonskog stanja sistema na propade napona u EES utiče i vrsta kvara.

7. LITERATURA

- [1] V. Mijailović, „Distribuirani izvori energije – principi rada i eksploatacioni aspekti“, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [2] A. Stanisavljević, V.A. Katić, B. Dumnić, B. Popadić, „A Brief Overview of the Distribution Test Grids with a Distributed Generation Inclusion Case Study“, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol.15, No.1, Feb.2018, pp. 115 – 129,
- [3] <https://www.digsilent.de/en/>
- [4] V.A. Katić, A. Tokić, T. Konjić: „Kvalitet električne energije“, TEMPUS-CEFES, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.

Kratka biografija:



Pavle Perge rođen je u Sremskoj Mitrovici 1991. god. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2019., a master 2020. Iz oblasti Elektrotehnike i računarstva.



Vladimir A. Katić rođen je 1954. god. u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, kvalitet električne energije, obnovljivi izvori električne energije i električna vozila.



Aleksandar M. Stanisavljević, rođen je u Beogradu 1988. god. Doktorirao ne na Univerzitetu u Novom Sadu 2019. god. gde je trenutno u zvanju docenta. Oblast interesovanja su mu integracija obnovljivih izvora energije na mrežu i kvalitet električne energije.