

UTICAJ DISTRIBUTIVNIH GENERATORA NA KOORDINACIJU ZAŠTITE IZMEĐU PREKIDAČA I OSIGURAČA U RADIJALNIM DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA**THE IMPACT OF DISTRIBUTION GENERATORS ON PROTECTION COORDINATION IN FUSE SAVING SCHEME OF RADIAL DISTRIBUTION GRIDS**Helena Petričević, Vladan Krsman, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratka sadržaj – U radu je prikazano kako priključenje jednog ili više distributivnih generatora utiče na tradicionalni proračun relejne zaštite u radijalnim distributivnim mrežama. Cilj ovog rada je da se utvrdi koliko je narušen kvalitet proračuna relejne zaštite koji se koristi u svakodnevnom upravljačkim akcijama unutar distributivne mreže. Poseban akcenat je stavljen na koordinaciju zaštite između prekidača i osigurača. Verifikacija problema je izvršena na mreži od 50 čvorova.

Ključne riječi: Relejna zaštita, Distributivna mreža, Distributivni generator

Abstract – This paper describes how the presence of one or more distribution generators affects the traditional calculation of relay protection applied in radial distribution networks. The goal of this paper is to determine the existence of any issue in relay protection calculation in the day-to-day management of the distribution network. The focus was put to protection coordination in Fuse Saving Scheme. Verification of results was carried out on network with 50 nodes.

Keywords: Relay protection, Distribution network, Distribution generator, Fuse Saving Scheme

1. UVOD

Uvođenjem distributivnih generatora oslobađa se prenosni kapacitet, čime se povećava faktor efikasnosti samih mreža. Smanjuju se gubici u prenosu energije, a samim tim i troškovi eksploatacije. Naponski profil u distributivnim mrežama je povoljniji, a pouzdanost i kvalitet snabdjevanja krajnjih potrošača je na znatno većem nivou [1].

Pored pozitivnih osobina koje donosi priključenje distributivnih generatora postoje i loše osobine koje mogu da utiču na stabilnost čitavog distributivnog sistema. Uvođenjem distributivnih generatora mijenja se koncept radialnosti, mreža postaje aktivna i mnogo dinamičnija.

Priključenje distributivnih generatora direktno na distributivnu mrežu uzrokuje da se mjesto kvara napaja iz više izvora, čime se mijenjaju vrijednosti varijabli poremećenog stanja na osnovu kojih je podešena relejna zaštita mreže [1].

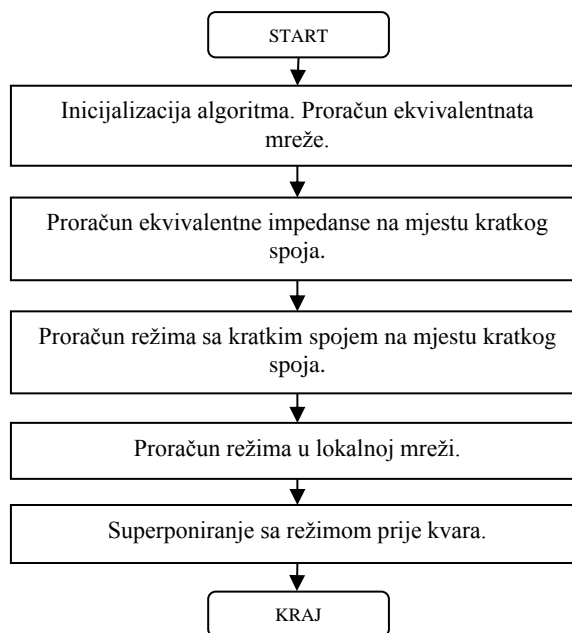
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Vladan Krsman, docent.

Selektivnost između prekidača za napajanje i nizvodnih uređaja očekuje se u tipičnom distributivnom sistemu. U nekim situacijama (u slučaju prolaznih kvarova), prekidač za napajanje je u slučaju kvara podešen tako da reaguje prije osigurača koji se nalazi nizvodno od prekidača za napajanje. Ova praksa poznata je kao "Fuse Saving" šema [2]. Posebna pažnja u ovom radu će biti posvećena uticaju distributivnih generatora na rad (koordinaciju) relejne zaštite u "Fuse Saving" šemi.

2. PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA

Osnova za dobro podešenje relejne zaštite je poznavanje vrijednosti struja kvara kroz zaštitne uređaje. U tu svrhu u radu je korišćen Admitantno impedantni algoritam, čiji blok dijagram je prikazan na slici 2.1.



Slika 2.1 – Admitantno impedantni algoritam[3]

3. RELEJNA ZAŠTITA

Osnovna uloga relejne zaštite je da obezbijedi siguran rad elektroenergetskih sistema i da zaštiti korisnike i opremu. Pošto su kvarovi u distributivnim mrežama česta pojava, cilj relejne zaštite je da uticaj tih kvarova na potrošače svede na minimum. Cilj relejne zaštite je da detektuje i na odgovarajući način reaguje na sve moguće tipove kvarova koji mogu da se dese u šticejnoj mreži, ali na takav način da bez napajanja ostaje minimalan broj potrošača. Nije

uvijek moguće obezbijediti ispunjenje svih uslova koji se postavljaju pred relejnu zaštitu i često se moraju praviti kompromisi, kako bi se našlo rješenje najbliže idealnom.

Sa povećanjem potrošnje i opterećenja sistema, sve je značajnija uloga prekostrujne zaštite. Neophodne karakteristike prekostrujne zaštite su osjetljivost, selektivnost, brzina, pouzdanost i ekonomičnost [4].

Osjetljivost je sposobnost releja da odreaguje na najmanju očekivanu struju kvara. **Selektivnost** je sposobnost releja da razlikuje stanja u kojima je potrebno odmah reagovati, reagovati sa nekom vremenskom zadržskom ili uopšte ne reagovati. Svaki relej ima svoju zonu šticećenja, ali pored toga, vrlo često služi i kao rezervna zaštita opremi u drugim zonama. **Brzina** je sposobnost releja da reaguje u predviđenom vremenskom intervalu. Struje kratkog spoja direktno utiču na naprezanja opreme, oštećuju je i smanjuju vijek trajanja. Stoga je u interesu kvar otkloniti što je prije moguće. **Pouzdanost** relejne zaštite bi trebalo da obezbijedi da sistem radi na predviđen način, kako je i konfigurisan. Pouzdanost predstavlja sigurnost da će relejna zaštita pravilno raditi, bez obzira na spoljne faktore. **Ekonomičnost** predstavlja obezbeđenje maksimuma zaštite uz minimalne troškove. Troškovi su najvažniji faktor koji dominantno utiče na sve prethodno navedene zahtjeve. Bitno je naći kompromisno rješenje između cijene i nivoa zaštite[4].

4. UTICAJ DISTRIBUTIVNIH GENERATORA NA RELEJNU ZAŠTITU

Distributivne mreže su konstruisane i planirane da budu pasivne, da se napajanje vrši u smjeru iz centralizovanog izvora (napojna transformatorska stanica VN/SN) ka individualnim potrošačima. Sekcije se sastoje od monofaznih, dvofaznih i trofaznih vodova, na čijim krajevima se nalaze potrošači. Kada se projektovala distributivna mreža, nisu postojali distributivni generatori i nije se vidjela njihova potreba, tako da su distributivne mreže projektovane kao radijalne mreže sa napajanjem samo sa jedne strane. S obzirom da su centralizovani izvori energije i dalje dominantni, distributivni izvori se moraju prilagoditi već postojećim konfiguracijama.

Pouzdanost, sigurnost i kvalitet napajanja potrošača je zahtjev koji se stavlja pred projektante koji treba da priključe distributivne generatore u već postojeće distributivne mreže. Skup problema vezan za relejnu zaštitu, koji se mogu pojaviti priključenjem distributivnih izvora su [5]:

- pogrešno okidanje releja,
- smanjen doseg distantnih releja,
- greške u koordinaciji između zaštitnih uređaja,
- neželjen ostrvski pogon,
- automatsko ponovno uključenje,
- ugrožavanje osjetljivosti zaštite.

Greške u koordinaciji između zaštitnih uređaja

Dobrom koordinacijom među zaštitnim elementima se omogućuje selektivnost u radu. Selektivnost obezbjeđuje da se pri trajnim kvarovima, taj kvar izoluje na vrijeme, tako da ostavlja bez napajanja najmanji broj potrošača.

Radijalne distributivne mreže obično imaju neusmjerene prekostrujne releje, prekidače sa automatskim ponovnim uključanjem (APU, eng. *Recloser*) i osigurače u svojim zaštitnim šemama. Kako ovi uređaji ne uzimaju u obzir

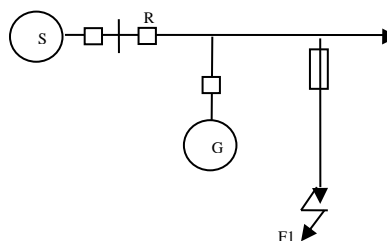
smjer toka snage, to može dovesti do nepotrebnog ili nekorektnog djelovanja zaštite u slučaju kada distributivni generatori doprinose struji kratkog spoja.

Priključenjem distributivnih generatora može doći do ugrožavanja koordinacije. Koordinacija među zaštitnim elementima je urađena sa pretpostavkom da je mreža radijalna, sa jedinstvenim izvorom napajanja.

Postoji nekoliko šema koje se koriste za zaštitu distributivnih mreža. Najčešće su šeme u kojima figuriše prekostrujna zaštita i šeme koje predstavljaju kombinaciju prekostrujnih releja sa automatskim ponovnim uključanjem i osigurača.

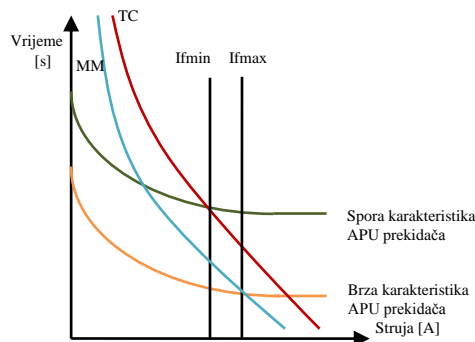
Na slici 4.1 je prikazana distributivna mreža sa zaštitnom šemom koja osiguračima ne daje prioritet u otklanjanju kvara ("*Fuse Saving*").

U slučaju da se kvar desio na mestu F1 (slika 4.1), APU prekidač bi po svojoj brznoj karakteristici trebao da otvori prekidač. Prekidač ostaje u tom stanju određeno vrijeme, dok APU ne inicira njegovo ponovno zatvaranje. U slučaju da je kvar prolaznog tipa, to vrijeme omogućava da se kvar sam od sebe otkloni. Ukoliko je kvar i dalje prisutan, ponovo se izvršava ista akcija i dalje pod pretpostavkom da je kvar prolazan. Ako i posle dvije operacije APU prekidača kvar nije otklonjen, smatra se da je kvar trajnog tipa [6].



Slika 4.1 – "*Fuse Saving*" šema

Nakon ove dvije operacije, prekostrujna karakteristika APU prekidača se prebacuje sa brze na sporu i na taj način omogućava da osigurač djeluje prije APU prekidača i izoluje dio mreže u kojoj je nastao kvar. Da bi se ovakav scenario u stvarnosti odigrao, APU prekidač i osigurač moraju da budu dobro koordinisani.



Slika 4.2 – Koordinacija između APU prekidača i osigurača

Na slici 4.2 su prikazane brza i spora karakteristika APU prekidača i dvije karakteristike osigurača. Dvije karakteristike osigurača su na dijagramu označene sa MM (*Minimum Melting*) i TC (*Total Clearing*). One se razlikuju po tome što MM kriva pokazuje vrijeme početka

topljenja osigurača usljed struje kvara, a TC kriva pokazuje vrijeme koje je potrebno da se osigurač potpuno istopi i otkloni kvar.

Ukoliko je struja kvara u okvirima opsega (I_{fmin} , I_{fmax}), tada će ovakav dio mreže biti dobro koordinisan. Vidi se da će za struje kvara, koje se nalaze u pomenutom opsegu, brza karakteristika APU prekidača prva biti aktivna. Zatim, ukoliko APU ne odreaguje, osigurač služi kao rezervna zaštita. Ukoliko i on u predviđenom vremenu ne prekine napajanje mjesta kvara, spora karakteristika APU prekidača služi kao rezerva.

Ako se razmatra slučaj da je distributivni generator priključen, dolazi do promjena koje mogu da utiču na koordinaciju sistema:

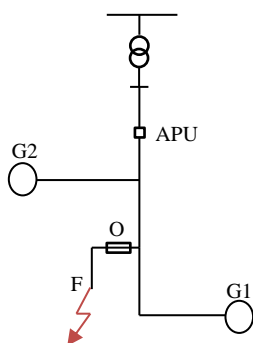
- Vrijednosti struja I_{fmin} i I_{fmax} su promijenjene usljed doprinosa distributivni generatora,
- Struja koju mjeri APU prekidač nije ista kao struja koja prolazi kroz osigurač.

Moguće je da struja kvara poraste i da izađe iz predviđenog opsega. Ta situacija dovodi do ugrožavanja zaštite, jer je koordinacija izgubljena. Struja viđena od strane APU prekidača i osigurača može da se razlikuje. To zavisi od konfiguracije mreže, od mjesta na kom je priključen distributivni generator, kao i od snage tog generatora.

5. VERIFIKACIJA PROBLEMA

U ovom radu izvršena je verifikacija problema na test mreži sa 50 čvorova, jednim napojnim transformatorom i 49 sekcija. Vršene su provjere koordinacije između APU prekidača koji se nalazi na glavnom izvodu (slika 5.1 – APU) i osigurača (slika 5.1. – O) koji štiti izvod na kom se simulira kvar. Provjere su vršene bez generatora, zatim pri priključenju jednog ili dva generatora. Snage generatora su mijenjane u različitim opsezima, što će biti prikazano u primjerima koji slijede.

Vrijednosti struja prikazanih u tabelama rezultat su proračuna režima delta kola. Proračun je vršen upotrebom Admitantno impedantnog algoritma.



Slika 5.1–Test mreža

Prvi primjer – simuliran je jednopolan kratak spoj na mjestu F - slika 5.1. Priključen je jedan generator G1 čija se snaga mijenja u opsegu od 12 do 67 MVA, sa korakom od 5 MVA. U tabeli 5.1 su prikazani rezultati proračuna.

U tabelama 5.1 i 5.2 su takođe prikazani i rezultati proračuna kada na mrežu nije priključen nijedan generator, odnosno kada su snage generatora 0 MVA. S obzirom da je koordinacija među zaštitnim elementima

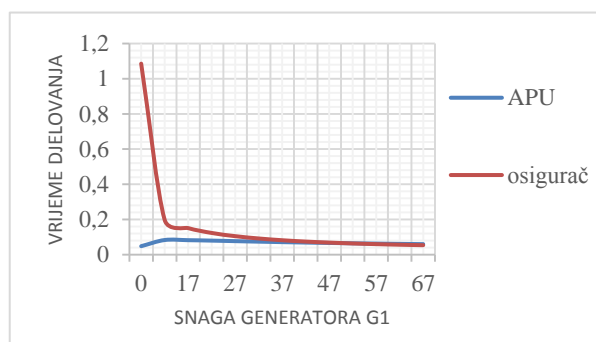
urađena sa pretpostavkom da je mreža radijalna, sa jedinstvenim izvorom napajanja u ovom slučaju neće doći do loše koordinacije.

Tabela 5.1 – Rezultati proračuna koordinacije zaštite u slučaju jednopolnog kratkog spoja na mjestu F kada je na mrežu priključen jedan generator

Snaga G1 [MVA]	Struja kroz APU [A]	Struja kroz osigurač [A]	Vreme delovanja APU prekidača [s]	Vreme delovanja osigurača [s]
0	2610.22	2610.20	0.048017	1.08575
12	1912.29	5785.54	0.0831907	0.1975690
17	1924.23	6606.03	0.0822621	0.1509080
22	1957.94	7308.34	0.0797310	0.1232550
27	1999.43	7921.91	0.0767852	0.1050830
32	2043.01	8464.94	0.0738773	0.0918601
37	2086.17	8950.08	0.0711707	0.0819564
42	2127.76	9386.71	0.0687125	0.0742507
47	2167.29	9782.07	0.0665022	0.0684967
52	2204.59	10141.90	0.0645214	0.0635839
57	2239.66	10471.00	0.0627459	0.0597904
62	2272.58	10773.10	0.0611515	0.0563790
67	2303.45	11051.60	0.0597156	0.0537546

Iz tabele 5.1 se može zaključiti da će za snage generatora veće od 47 MVA doći do loše koordinacije u "Fuse Saving" šemi, odnosno da će osigurač odreagovati prije APU prekidača. Struje kroz APU prekidač prikazane u tabeli 5.1 predstavljaju struje koje vidi relej nulte komponente (mjeri trostruku nultu komponentu struje, odnosno zbir kompleksnih struja faza L1, L2 i L3).

Na slici 5.2 su prikazane krive djelovanja APU prekidača i osigurača pri različitim snagama generatora. Tačka gdje se krive sijeku pokazuje snagu generatora pri kojoj će doći do loše koordinacije zaštite.



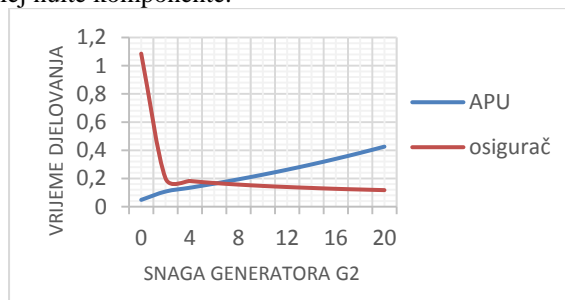
Slika 5.2 - Krive djelovanja APU prekidača i osigurača u slučaju jednopolnog kratkog spoja kada je na mrežu priključen jedan generator

Drugi primjer – simuliran je takođe jednopolan kratak spoj na mjestu F. Priključena su dva generatora G1 i G2. G1 je snage 10 MVA i tokom proračuna se snaga ne mijenja. Snaga generatora G2 je u opsegu od 2 do 20 MVA i mijenja se u koracima od po 2 MVA. U tabeli 5.2 su prikazani rezultati proračuna.

Tabela 5.2 – Rezultati proračuna koordinacije zaštite u slučaju jednofaznog kratkog spoja na mjestu F kada su na mrežu priključena dva generatora

Snaga G1 [MVA]	Snaga G2 [MVA]	Struja kroz APU [A]	Struja kroz osigurač [A]	Vreme delovanja APU prekidača [s]	Vreme delovanja osigurača [s]
0	0	2610.2	2610.2	0.048017	1.08575
2	10	1663.4	5737.9	0.107227	0.201034
4	10	1474.3	6017.2	0.134086	0.181996
6	10	1329.0	6264.3	0.163000	0.167694
8	10	1213.5	6486.9	0.193953	0.156479
10	10	1119.1	6689.9	0.226973	0.146986
12	10	1040.4	6876.7	0.262116	0.139182
14	10	973.44	7049.7	0.299466	0.132580
16	10	915.76	7211	0.339126	0.126430
18	10	865.43	7361.8	0.381224	0.121584
20	10	821.06	7503.5	0.425905	0.117158

Iz tabele 5.2 se može zaključiti da će za snage generatora G2 veće od 8 MVA doći do loše koordinacije u "Fuse Saving" šemi, odnosno da će osigurač odreagovati prije APU prekidača. Struje kroz APU prikazane u tabeli 5.2, kao i u prethodnom primjeru predstavljaju struje koje vidi relej nulte komponente.



Slika 5.3 - Krive djelovanja osigurača i APU prekidača u slučaju jednofaznog kratkog spoja kada su na mrežu priključena dva generatora

Na slici 5.3 su prikazane krive djelovanja APU prekidača i osigurača pri različitim snagama generatora. Tačka gdje se krive sijeku pokazuje snagu generatora pri kojoj će doći do loše koordinacije zaštite.

6. ZAKLJUČAK

U radu je razmatrana koordinacija reagovanja zaštitnih uređaja u "Fuse Saving" šemi, kada u mrežu nema generatora ili kada su na mrežu priključeni jedan ili dva generatora. Ovakav način zaštite primjenjuje se da bi se zaštitilo topljenje osigurača usljed prolaznih kvarova.

U slučaju priključenja jednog generatora u dubini mreže do loše koordinacije dolazi tek za prilično visoke i nerealne vrijednosti snage distributivnog generatora s obzirom da je snaga napojnog transformatora skoro dva puta niža. Na primjer, ako se uzmu ekstremni uslovi rada sa potrošnjom 20% većom od snage transformatora, priključenje generatora ove snage bi pravilo inverzan tok snage na napojnom transformatoru. Na osnovu ove analize može se reći da je zaštita dobro koordinisana.

U slučaju priključenja jednog generatora u dubini mreže i drugog koji se nalazi na putanji između dva zaštitna uređaja, do loše koordinacije dolazi kada ukupna generacija iznosi oko 70% snage napojnog transformatora. Može se reći da u ovom slučaju zaštita nije dobro koordinisana.

Koordinacija zaštite iz razmatranih primjera zavisi od mjesta i broja priključenih generatora. Zaključak je da u zavisnosti od konkretne potrebe priključenja generatora zaštitu treba prilagoditi, odnosno prepodesiti podešenje APU prekidača ili eventualno primijeniti neku drugu vrstu zaštite.

7. LITERATURA

- [1] James A. Silva, Hamed B. Funmilayo, Karen L. Butler – Purry, *Impacts of Distribution Generator on the IEEE 34 Node radial Test Feeder with Overcurrent Protection*, Power Symposium, 2007. NAPS '07. 39th North American, pp. 49-57
- [2] B. Hussain, S. M. Sharkh, S. Hussain, and M. A. Abusara, *An Adaptive Relaying Scheme for Fuse Saving in Distribution Networks With Distributed Generation*, IEEE Transactions on Power Delivery Volume:28, Issue: 2, 2013
- [3] D.Popović, Z.Gorečan, J.Dujić, V.Vasić, V.Perić: *Modelovanje u elektroenergetici*, DMS Grupa, Prosveta, Novi Sad, 2011.
- [4] Duško Bekut, *Relejna zaštita*, Fakultet Tehničkih Nauka Novi Sad, 2009.
- [5] Ioanna Xyngi: *An Intelligent Algorithm for Smart Grid Protection Applications*, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- [6] Hamed B. Funmilayo, Karen L. Butler-Purry, *An Approach to Mitigate the Impact of Distributed Generation on the Overcurrent Protection Scheme for Radial Feeders*, Power Systems Conference and Exposition, Mar. 2009. PSCE '09. IEEE/PES, pp. 1 – 11

Kratka biografija:

Helena Petričević rođena je na Sokocu 1993. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranila je 2016. godine.

Vladan Krsman rođen je u Sarajevu 1985. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je 2017. godine na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetski sistemi.