

RESTAURACIJA NAPAJANJA SREDNJENAPONSKE DISTRIBUTIVNE MREŽE

Vidosava Babić, Ilija Vujošević***

Ključne riječi: distributivna mreža, restauracija, lokalna mreža, osnovne i složene varijante rezervnog napajanja potrošača.

Sažetak : Postupak za obnavljanje napajanja potrošačima u distributivnoj mreži, koji su zbog ispada privremeno ostali bez napona, naziva se restauracija distributivne mreže (DM). U radu je prikazan postupak restauracije srednjenaponske DM poslije ispada srednjenaponskog (SN) izvoda. Nakon izolacije mjesta kvara, napajanje SN izvoda moguće je realizovati preko susjednih izvoda što je prikazano kroz skup osnovnih i složenih varijanti rezervnog napajanja. Varijante alternativnog napajanja rangiraju se prema korisnički specificiranom kriterijumu.

1. UVOD

Elektroenergetski sistemi sastoje se od skupa generatora, transformatora i vodova koji djeluju kao jedinstvena cjelina, čiji je osnovni zadatak osiguranje pouzdanog, kvalitetnog i racionalnog napajanja električnom energijom različitih vrsta potrošača. Ispad u napajanju u srednjenaponskoj DM prouzrokuje prekid u snadbjevanju određenog dijela potrošača, koji sa sobom nosi štetu, kako potrošačima tako i elektrodistributivnom preduzeću. Restauracija napajanja je postupak koji prema određenom kriterijumu omogućava određivanje optimalnog plana manipulacija za obnavljanje napajanja na dijelu izvoda koji je ostao bez napajanja nakon izolacije kvara.

Zbog velike dimenzionalnosti gradskih srednjenaponskih DM problem restauracije je dodatno usložen. Zato se zadnjih decenija razvilo niz distributivno upravljačkih funkcija koje imaju za cilj da za što kraći vremenski period, uz minimalne troškove, što veći broj ispalih potrošača dobije napajanje. Svi ovi postupci se podvode pod jedan cilj koji se naziva restauracija napajanja u DM.

* Dipl. ing. en. Vidosava Babić, Crnogorski Telekom, Podgorica

** Prof. dr Ilija Vujošević, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

Restauracija napajanja je jedan od najvažnijih operativnih problema u DM sa kvarom. Problem definisanja plana restauracije u DM je višekriterijumski, kombinatorni, nelinearni problem sa ograničenjima. U literaturi su poznati pet osnovna pristupa kojima se rješavaju problemi restauracije DM i to: optimizacioni, heuristički, vještačka inteligencija, fuzzy logika i tehnike upravljanja rizikom.

2. PROCEDURE U PROCESU RESTAURACIJE

U ovom radu se za određivanje plana restauracije radijalnih DM koristi jedan heuristički algoritam. Da bi se ispunio osnovni cilj restauracije tj. obnovilo napajanje potrošača u DM, koji su zbog ispada privremeno ostali bez napona, pristupa se lokalizaciji kvara i izolaciji elemenata u kvaru. Za to postoje dva pristupa i to: automatski uz pomoć lokatora kvara, ili odlaskom ekipa na teren primjenjujući "metodu polovljenja" ili "metodu korak po korak". Izolovanje dionice u kvaru, treba izvršiti u što kraćem vremenskom periodu sa što manje manipulacija (otvaranja, zatvaranja) komutacionih uređaja.

Nakon izolacije dionice u kvaru, u ovom slučaju dionice 4006 kao što je dato na slici 1. pristupa se određivanju zona A, B i C, što predstavlja prvi korak u procesu restauracije.

Zona A predstavlja dio mreže od elementa u kvaru do napojne transformatorske stanice. Napajanje zone A može se jednostavno obnoviti nakon izolacije elementa u kvaru, i zatvaranjem izvodnog prekidača.

Zona B je element u kvaru. Ako nije moguće izolovati sam element, onda se izolovanje izvodi na nekom od susjednih elemenata gdje takva oprema postoji, pri čemu i ti elementi ulaze u zonu B.

Zona C predstavlja dio ugroženog izvoda sa potrošačima, koji su privremeno ostali bez napajanja, a za koji potencijalno ima uslova za ponovno uspostavljanje napajanja sa nekom od susjednih i/ili nesusednih izvoda.

3. KONCEPT LOKALNE MREŽE

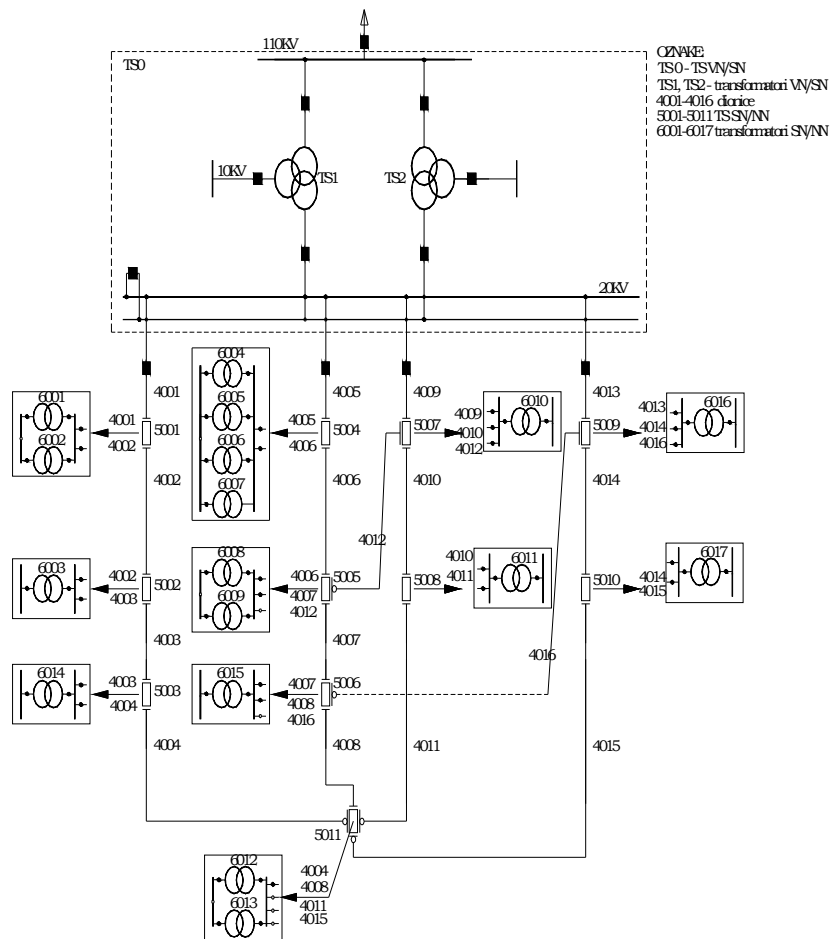
Lokalna mreža je dio DM koji obuhvata zonu C i minimalan, ali dovoljan broj susjednih i/ili nesusednih izvoda ugroženom izvodu koji mogu da izvrše restauraciju zone C, a da strujna i naponska ograničenja u DM budu zadovoljena. Na slici 2. data je DM poslije izolacije kvara na srednjenaponskom izvodu II, na dionici 4006 sa odgovarajućom zonom C i pripadajućom lokalnom mrežom. Dimenzije lokalne mreže zavise od opterećenja zone C. Veličina lokalne mreže predstavlja kompromis između dva protivrječna zahtjeva: zahtjev za minimizacijom snage nerestauriranog opterećenja (podrazumijeva veću lokalnu mrežu) i zahtjeva za minimizacijom troškova (podrazumijeva manju lokalnu mrežu). Širenjem lokalne mreže otvara se mogućnost većeg izbora varijanti rezervnog napajanja, mada je nekad efikasnije realizovati varijantu sa manjim brojem manipulacija uz određenu redukciju opterećenja u zoni C.

4. VARIJANTE ALTERNATIVNOG NAPAJANJA POTROŠAČA

Iz lokalne mreže mogu se selektovati osnovne i složene varijante rezervnog napajanja potrošača.

4.1 OSNOVNE VARIJANTE REZERVNOG NAPAJANJA

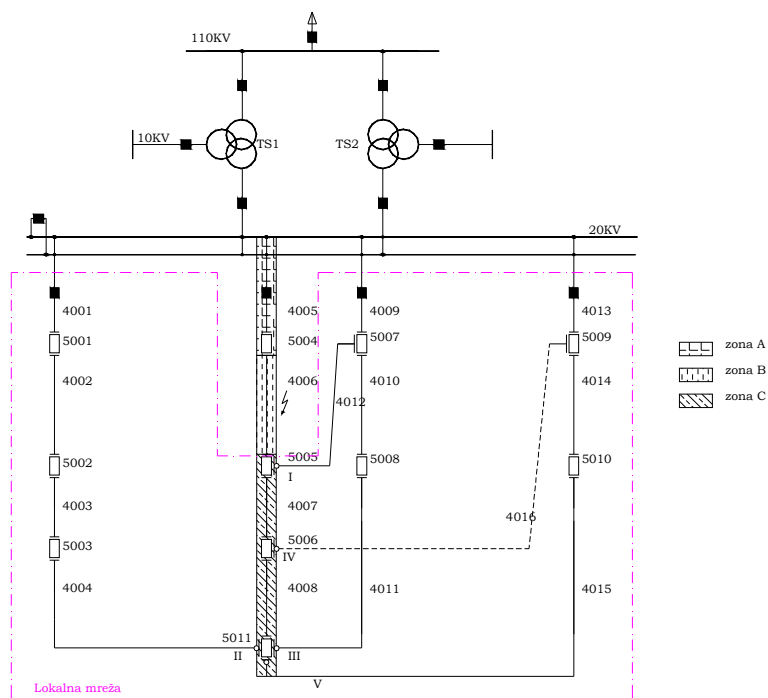
Osnovna varijantna rezervnog napajanja je ona varijanta kod koje se restauracija zone C izvršava preko jednog od susjednih srednjenaponskih izvoda zatvaranjem samo jednog KU (komutacionog uređaja) tipa NO (normalno otvoren). Osnovne varijante alternativnog napajanja potrošača određuju se jednostavnim topološkim pretraživanjem unutar lokalne mreže. Za svaku potencijalnu varijantu alternativnog napajanja potrošača zone C, vrši se provjera tehničkih ograničenja.



Slika 1. Srednjenaponska distributivna mreža

4.2 SLOŽENE VARIJANTE REZERVNOG NAPAJANJA

Složena varijantna rezervnog napajanja je ona varijanta kod koje se restauracija napajanja zone C obezbeđuje preko više susjednih srednjenaponskih izvoda, tj. sa većim brojem manipulacija KU.



Slika2. Lokalna mreža, dionica sa kvarom, zone A, B i C

4.3 RANGIRANJE VARIJANTI REZERVNOG NAPAJANJA

Rangiranje varijanti rezervnog napajanja vrši se koristeći jedan od pet specificiranih kriterijuma ili neku njihovu kombinaciju:

- iznos snage nerestauriranog opterećenja;
- troškovi manipulacija KU;
- kritična rezerva snage napojnih transformatora;
- kritična strujna rezerva izvoda;
- kritični pad napona u DM;

1. Snaga nerestauriranog opterećenja u varijanti (h) definisana je sledećom relacijom:

$$IP^{(h)} = p \sum_{i \in \alpha_p^{(h)}} P_i^{(h)} + q \sum_{i \in \alpha_q^{(h)}} P_i^{(h)} \quad (1)$$

gdje su:

p, q – težinski faktori,

$\alpha_p^{(h)}$ – skup indeksa običnih potrošača kojima u varijanti (h) nije restaurirano opterećenje,

$\alpha_q^{(h)}$ – skup indeksa prioriternih potrošača kojima u varijanti (h) nije restaurirano opterećenje,

$P_i^{(h)}$ – snage običnih i prioriternih potrošača kojima u varijanti (h) nije restaurirano opterećenje.

U relaciji (1) prvom sumom je definisana snaga običnih potrošača a drugom snaga prioriternih potrošača kojima nije restaurirano opterećenje. Manje vrijednosti indeksa IP označavaju manju ukupnu nerestauriranu snagu potrošača, odnosno manji iznos neisporučene električne energije.

2. Troškovi manipulacija KU za izvršavanje h-te varijante alternativnog napajanja potrošača su date sledećim relacijom:

$$IC^{(h)} = \sum_{i \in \alpha_c^{(h)}} c_i \quad (2)$$

gdje su:

c_i – troškovi i-te manipulacije KU,

$\alpha_c^{(h)}$ – skup manipulacija potrebnih da se realizuje varijanta (h).

Relacija (2) predstavlja sumu fiktivnih troškova manipulacija. Uvođenjem fiktivnih troškova, moguće je forsirati manipulacije samo sa određenim KU. Niža vrijednosti indeksa IC označavaju manje vrijeme potrebno za realizaciju razmatrane varijante alternativnog napajanja potrošača, odnosno da je manji iznos neisporučene električne energije.

3. Kritična rezerva snage napojnog transformatora u varijanti (h) data je sledećim relacijom:

$$IS^{(h)} = \frac{1}{\min_{i=1, n_T} \left(\frac{S_{Ti}^n - S_{Ti}^{(h)}}{S_{Ti}^n} \right)} \quad (3)$$

gdje su:

n_T – broj napojnih transformatora,

$S_{Ti}^n, S_{Ti}^{(h)}$ – nominalna i moduo aktuelne snage u varijanti (h) napojnog transformatora (i) respektivno.

Gornji indeks definisan je kao recipročna vrijednost minimalne relativne vrijednosti margine između nominalne i aktuelne snage napojnih transformatora. Niže vrijednosti indeksa IS označavaju veću rezervu snage na napojnim transformatorima, odnosno veću sigurnost režima.

4. Strujna rezerva u varijanti (h) data je sledećim relacijom:

$$IJ^{(h)} = \frac{1}{\min_{\substack{i=1, n_{izv} \\ j \in \alpha_{di}^{(h)}}} \left(\frac{J_{ij}^n - S_{ij}^{(h)}}{S_{ij}^n} \right)} \quad (4)$$

gdje su:

n_{izv} – ukupan broj izvoda,

$\alpha_{di}^{(h)}$ – skup indeksa grana koji pripadaju izvodu (i) u varijanti (h),

J_{ij}^n – nominalna struja grane (j), koja pripada izvodu (i) u varijanti (h),

$J_{ij}^{(h)}$ – noduo aktuelne struje grane (j), koja pripada izvodu (i) u varijanti (h).

Gornji indeks je definisan kao recipročna vrijednost minimalne relativne vrijednosti između nominalne i aktuelne struje izvoda. Manja vrijednosti indeksa IJ označava veću strujnu rezervu na izvodima, odnosno veću sigurnost režima.

5. Kritični pad napona u varijanti (h) data je sledećim relacijom:

$$IV^{(h)} = \max_{\substack{i=1, n_{izv} \\ k \in \alpha_{ti}}} \left(\frac{V_{r,i}^{(h)} - V_{ik}^{(h)}}{V_{r,i}^{(h)}} \right) \quad (5)$$

gdje su:

$\alpha_{ti}^{(h)}$ – skup indeksa distributivnih transformatora, koji pripadaju izvodu (i) u varijanti (h),

$V_{r,i}^{(h)}$ – moduo napona korjena izvoda (i) u varijanti (h),

$V_{ik}^{(h)}$ – moduo aktuelnog napona distributivnog transformatora (k) koji pripada izvodu (i) u varijanti (h).

Gornji indeks je definisan kao vrijednost maksimalnog relativnog pada napona između korijena i jednog distributivnog transformatora. Manja vrijednost indeksa IV označava manji pad napona, odnosno kvalitetnije naponske prilike.

Kriterijumi za rangiranje varijanti objedinjeni su u integralnoj kriterijumskoj funkciji koja je data relacijom (6):

$$I^{(h)} = p_1 IP^{(h)} + p_2 IC^{(h)} + p_3 IS^{(h)} + p_4 IJ^{(h)} + p_5 IV^{(h)} \quad (6)$$

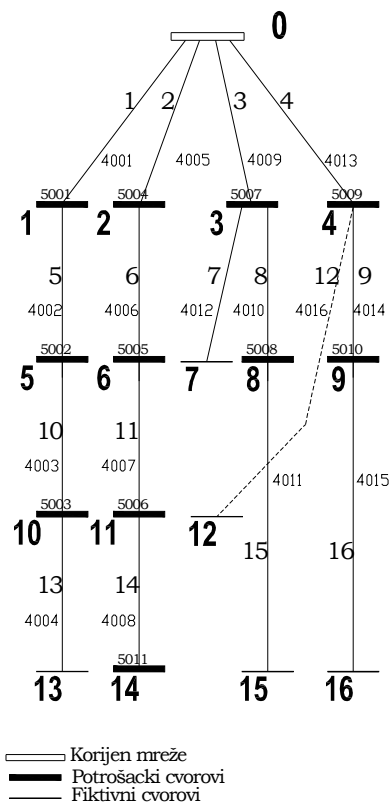
gdje su:

p_i – težinski faktori ($i=1, \dots, 5$).

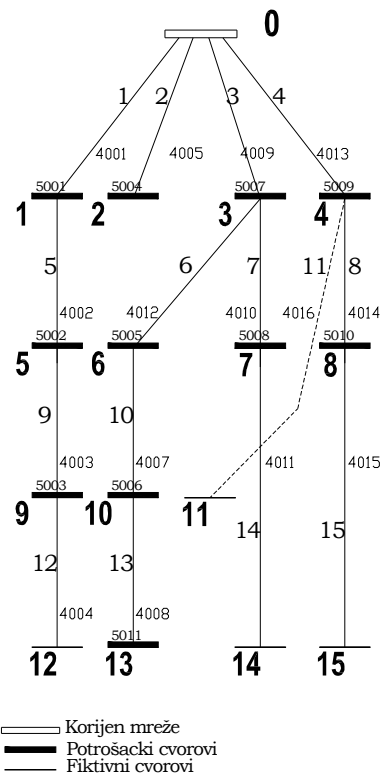
Zavisno od problema koji se restauracijom treba prevazići favorizuju se pojedini članovi u integralnoj kriterijumskoj funkciji. Ta favorizacija se vrši izborom odgovarajućih vrijednosti težinskih faktora.

U ovom radu izvršena je restauracija napajanja distributivne mreže za simulirano mjesto kvara (kratak spoj) na izvodu II, dionici 4006 kao što je prikazano na slici 1. Primjenjujući naprijed navedene procedure, za razmatrani kvar na dionici 4006, razmatra se pet osnovnih i četiri složene varijante rezervnog napajanja.

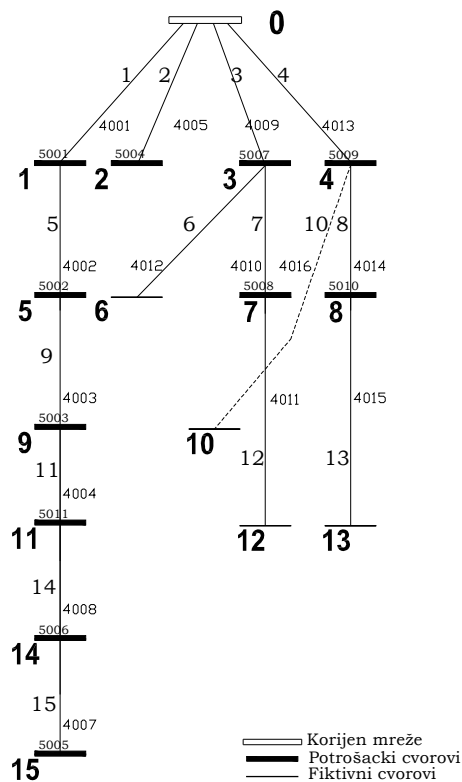
Prva varijanta rezervnog napajanja označena je na slici 2. sa I i ostvaruje se zatvaranjem rastavljaja u TS 5005 na dionici 4012. Struktura mreže koja se ima za ovo uklopno stanje prikazana je na slici 4.



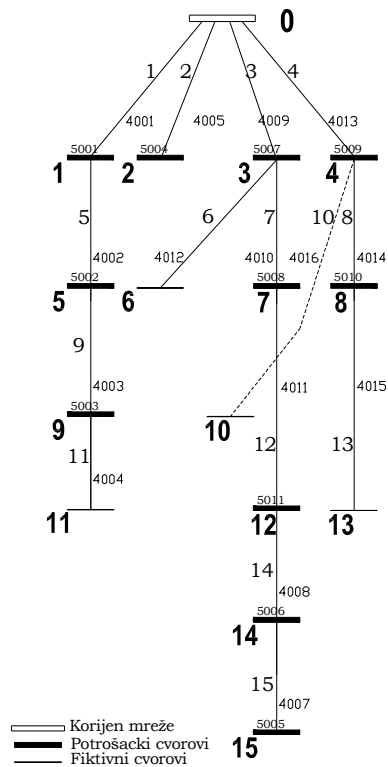
Slika 3. Struktura DM za proračun tokova snaga



Slika 4. Struktura DM za prvu varijantu rezervnog napajanja



Slika 5. Struktura DM za drugu varijantu rezervnog napajanja



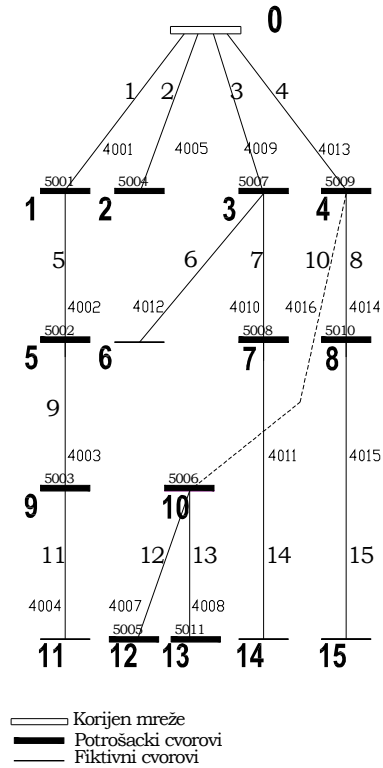
Slika 6. Struktura DM za treću varijantu rezervnog napajanja

Druga varijanta rezervnog napajanja označena je na slici 2. sa II i ostvaruje se zatvaranjem rastavljača u TS 5011 na dionici 4004. Struktura mreže koja se ima za ovo uklopno stanje prikazana je na slici 5.

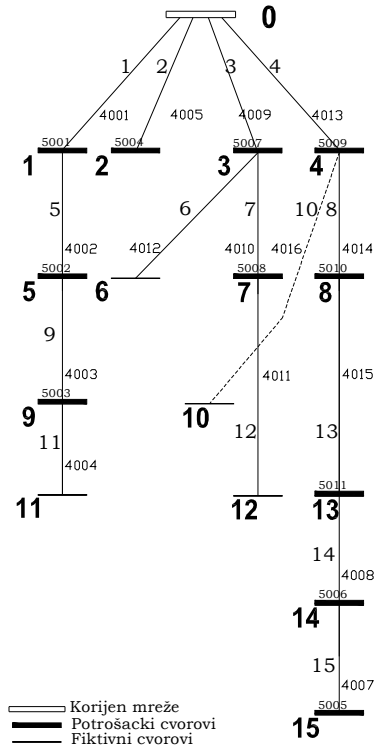
Treća varijanta rezervnog napajanja označena je na slici 2. sa III i ostvaruje se zatvaranjem rastavljača u TS 5011 na dionici 4011. Struktura mreže koja se ima za ovo uklopno stanje prikazana je na slici 6.

Četvrta varijanta rezervnog napajanja označena je na slici 2. sa IV i ostvaruje se zatvaranjem rastavljača u TS 5006 na dionici 4016. Struktura mreže koja se ima za ovo uklopno stanje prikazana je na slici 7.

Peta varijanta rezervnog napajanja označena je na slici 2. sa V i ostvaruje se zatvaranjem rastavljača u TS 5011 na dionici 4015. Struktura mreže koja se ima za ovo uklopno stanje prikazana je na slici 8.



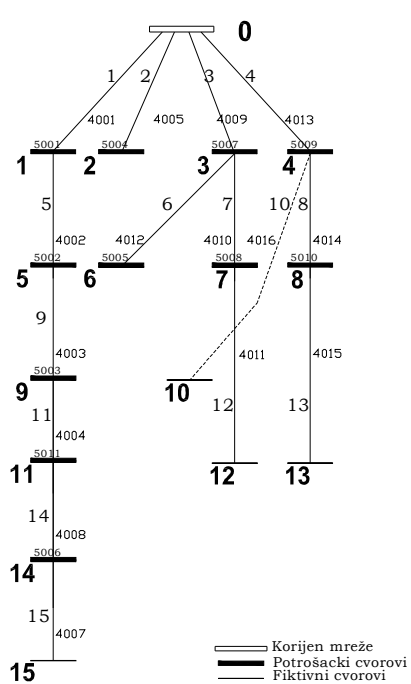
Slika 7. Struktura DM za četvrtu varijantu rezervnog napajanja



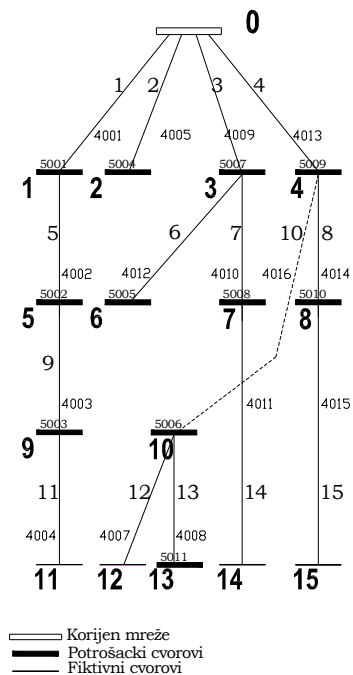
Slika 8. Struktura DM za petu varijantu rezervnog napajanja

Složene varijante rezervnog napajanja dobijaju se diobom zone C i ostvaruju se: otvaranjem normalno zatvorenog (NZ) rasklopnog uređaja u TS 5005 na dionici 4007 i zatvaranjem NO rastavljača na dionici 4012 u TS 5005 za slučaj svake složene varijante. Takođe potrebno je izvršiti i: zatvaranje NO rastavljača na dionici 4004 u TS 5011 (za slučaj prve složene varijante rezervnog napajanja), zatvaranje NO rastavljača na dionici 4016 u TS 5006 (za slučaj druge složene varijante rezervnog napajanja), zatvaranje NO rastavljača na dionici 4011 u TS 5011 (za slučaj treće složene varijante rezervnog napajanja) i zatvaranjem NO rastavljača na dionici 4015 u TS 5011 (za slučaj četvrte složene varijante rezervnog napajanja).

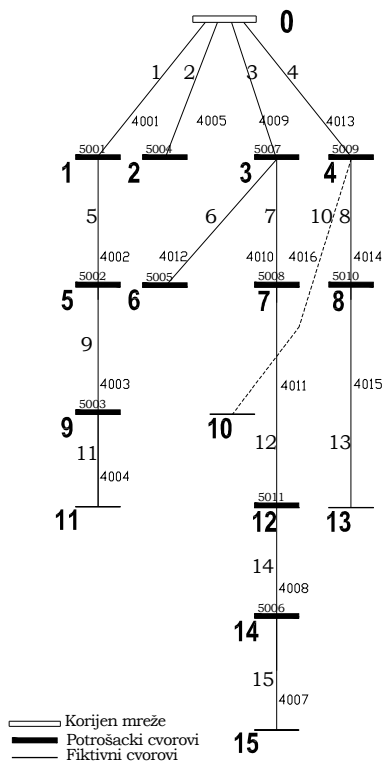
Strukture mreža koje se imaju za data uklopna stanja prikazana su na slikama 9, 10, 11 i 12.



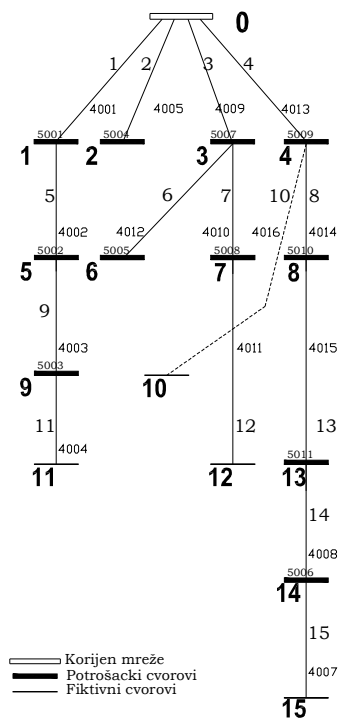
Slika 9. Struktura DM za prvu složenu varijantu rezervnog napajanja



Slika 10. Struktura DM za drugu složenu varijantu rezervnog napajanja



Slika 11. Struktura DM za treću složenu varijantu rezervnog napajanja



Slika 12. Struktura DM za četvrtu složenu varijantu rezervnog napajanja

Za prikazane varijante rezervnog napajanja uz primjenu gore navedenih specificiranih kriterijuma data je rang lista varijanti rezervnog napajanja, koja je prikazana u tabeli I i tabeli II. Za težinske faktore u integralnoj kriterijumskoj funkciji (6) usvojene su vrijednosti: $p_1=100$, $p_2=20$, $p_3=1$, $p_4=10$, $p_5=1$.

Tabela I. Rang lista osnovnih varijanti rezervnog napajanja

Kriterijum	I osnovna	II osnovna	III osnovna	IV osnovna	V osnovna
IP	0	0	0	0	0
IC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
IS	1.186347789	1.186361223	1.186351894	1.186350262	1.186352735
IJ	1.682956227	2.190902204	1.686682726	1.75255714	1.755684278
IV	0.008402086	0.019074932	0.012053245	0.009350157	0.012619608
I	28.02431215	33.11445819	28.0652324	28.72127182	28.75581512

Tabela II. Rang lista složenih varijanti rezervnog napajanja

Kriterijum	I složena	II složena	III složena	IV složena
IP	0	0	0	0
IC	0.7	0.7	0.7	0.7
IS	1.186354349	1.186347645	1.186348692	1.18634906
IJ	1.699559251	1.428394908	1.681710347	1.429028529
IV	0.010974872	0.005838188	0.006732848	0.006827768
I	32.19292173	29.47613492	32.01018501	29.48346212

5. ZAKLJUČAK

Efikasnom restauracijom distributivnih sistema, elektrodistributivna preduzeća mogu da ponude najbolji kvalitet električne energije svojim potrošačima, a da istovremeno za sebe ostvare maksimalni profit.

U ovom radu izvršena je restauracija napajanja distributivne mreže za simulirano mjesto kvara (kratak spoj). Kao rezultat dobija se rang lista varijanti rezervnog napajanja. U svim varijantama izvršena je restauracija opterećenja. Suma troškova manipulacija je nešto manja u osnovnim varijantama, jer se u složenim varijantama zahtijeva nešto veći broj manipulacija, uz uslov da su pretpostavljeni jednaki troškovi svake manipulacije. U svim varijantama su snage napojnih transformatora iste. Bolja strujna rezerva i kvalitetnije naponske prilike ostvarene su većinom u složenim varijantama. Uzimajući sve kriterijume u obzir najbolje rangirana je prva varijanta. Odabir konačne varijante zavisi od favorizacije pojedinih članova u integralnoj kriterijumskoj funkciji i iskustva dispečara.

LITERATURA

- [1] D.S.Popović, R.M.Ćirić, "A Multi-Objective Algoritam For Distribution Networks Restoration," *IEEE PES 99 WM 410*, Winter Meeting, New York, NY, USA, Jan. 31-Feb. 4, 1999.
- [2] R.M.Ćirić, D.S.Popović, "Algoritam za restauraciju srednjenaponskih distributivnih mreža," *Elektrodistribucija*, god. 26, br. 2, Septembar 1998, strana 93-101.
- [3] I. Vujošević, "Analiza elektroenergetskih sistema I," *ETF Podgorica*, 2006. godine.
- [4] D.Popović, D.Bekut, V.Treskanica, "Specijalizovani DMS algoritmi," Novi Sad, 2004. godine.
- [5] R.M.Ćirić, D.S.Popović, "Pregled metodologija za restauraciju distributivnih mreža," *Elektrodistribucija*, god. 29, br. 2, 2001.