

TRAŽENJE KVARA NA IZVODU SREDNJEG NAPONA SA DALJINSKI UPRAVLJIVIM RASTAVLJAČIMA

J. Nahman¹, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija
J. Spirić, EPS PD „Jugoistok“, Niš, Srbija

UVOD

Razmatra se radijalni, jednostrano napajani nadzemni napojni vod srednjeg napona proizvoljne konfiguracije. Na vodu su ugrađeni daljinski upravljivi rastavljači (DUR-i), postoji upravljačko mesto za pokretanje ovih rastavljača i komandovanje prekidačima u izvornoj TS i poznaje se konfiguracija napojnog voda. Primenom DUR-a znatno se smanjuje ukupno vreme za nalaženje deonice u kvaru čime se smanjuju i troškovi usled neisporučene energije potrošačima i pokazatelj SAIDI. Međutim, kao i kod traženja kvara kada napojni vod ima obične rastavljače, vreme nalaženja deonice u kvaru i potrebni broj delovanja prekidača u izvornoj TS osetno zavise od redosleda kojim se deonice pretražuju. Heurističke metode predložene u [1,2] pri traženju kvara uzimaju u obzir verovatnoću da se kvar dogodio na pojedinim deonicama voda, dajući u redosledu prednost onim rastavljačima preko kojih se napajaju deonice sa velikom verovatnoćom kvara, a do kojih se može doći za umereno vreme. Verovatnoće kvara zavise od dužine deonica voda i njegove konstrukcije ali i od uslova na trasi. Zato je kod procene intenziteta kvarova na pojedinim deonicama najbolje koristiti iskustvene podatke. U ovom se referatu prikazuje heuristička metoda za utvrđivanje optimalnog redosleda otvaranja rastavljača pri traženju kvara zasnovana na ideji opisanoj u [1,2], prilagođena specifičnostima razmatranog problema. Pored navedenog, analiziraju se povoljni efekti pokazivača kvara i predlažu heuristički kriterijumi za njihovo razmeštanje duž voda kako bi se postiglo najbolje rešenje.

UTVRĐIVANJE NAJPOVOLJNIJEG REDOSLEDA OTVARANJA DUR-a

Redosled aktiviranja DUR-a određuje se korak po korak po jedinstvenom kriterijumu. Bira se DUR i za koji se postiže najveća vrednost pokazatelja

$$K_i = \min(p_{i-}, p_{i+}) \quad (1)$$

¹ E-mail: j.nahman@beotel.net

U (1) su sa p_{i-} i p_{i+} označene uslovne verovatnoće da je, ako se dogodio, kvar na neistraženom delu voda ispred odnosno iza rastavljača i računajući od izvora ka kraju voda. Primenom (1) se otvaranjem rastavljača dobija maksimalna informacija o mogućem delu voda u kvaru. Verovatnoće su jednake

$$p_{i-} = \frac{\sum_{i-} \lambda_j}{\Lambda} \quad (2)$$

$$p_{i+} = \frac{\sum_{i+} \lambda_k}{\Lambda} \quad (3)$$

U (2) i (3) su λ_j i λ_k intenziteti otkaza grana na neistraženim delovima voda ispred i iza rastavljača i . Sa Λ je označen ukupan intenzitet otkaza voda. Ako su intenziteti otkaza jednaki za sve grane voda, u (2) i (3) umesto intenziteta otkaza grana mogu stajati dužine.

Kako se u svim koracima izbora rastavljača ima isto Λ , ovaj se parametar može izostaviti iz prethodno navedenih izraza. Tako se umesto (1) može koristiti kriterijum

$$K_i = \min(\sum_{i-} \lambda_j, \sum_{i+} \lambda_k) \quad (4)$$

Ili, kod homogenog voda,

$$K_i = \min(\sum_{i-} L_j, \sum_{i+} L_k) \quad (5)$$

gde su sa L označene dužine odgovarajućih grana voda.

Očekivani broj isključenja struje kvara prekidačem u toku traženja kvara jednak je

$$N = \sum_{j=1}^m n_j p_j \quad (6)$$

Ovde su n_j potrebni broj isključenja prekidača da bi se ustanovilo da li je grana j u kvaru, p_j verovatnoća da je grana j u kvaru i m ukupan broj grana voda. Pomenuta verovatnoća je jednaka

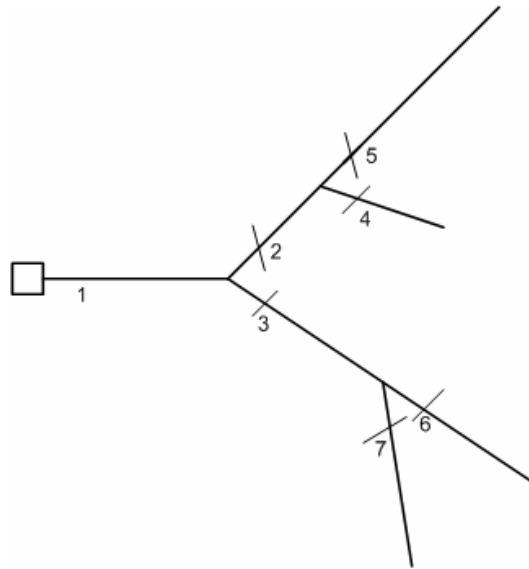
$$p_j = \frac{\lambda_j}{\Lambda} \quad (7)$$

Sa λ_j označen je intenzitet otkaza grane j .

Primenu opisanog postupka prikazaćemo na jednostavnom primeru voda sa 7 grana koje sve imaju DUR-e na svojim otpremnim krajevima, prema sl.1. Grane su označene brojevima 1-7. Iste oznake imaju i pripadajući rastavljači. Pretpostavka je da su intenziteti kvarova po jedinici dužine grana jednaki tako da se u proračunima može koristiti relacija (5).

Dužine grana su, prikazane u obliku vektora,

$$L_g = [5 \ 4 \ 7 \ 6 \ 8 \ 4 \ 6] \text{ km}$$



Sl.1. Primer napojnog voda sa 6 DUR-a

Analizom šeme na sl.1 dolazi se do zaključka da je prema (5) prvi rastavljač koji treba otvoriti rastavljač 2. Za ovaj je

$$\sum_{i-} L_j = 5 + 7 + 4 + 6 = 22$$

$$\sum_{i+} L_k = 4 + 6 + 8 = 18$$

pa je

$$K_2 = \min(22,18) = 18$$

Pokazuje se da je rastavljaču 2 po usvojenom kriterijumu najbliži rastavljač 3 sa $K_3 = 17$ što je manje od 18.

Ako se posle otvaranja rastavljača 2 i ponovnog uključenja voda pokaže da je deo iza rastavljača 2 u kvaru, naredni rastavljač koji treba otvoriti je rastavljač 5 za koga je

$$K_5 = \min(10,8) = 8$$

Ako se posle otvaranja rastavljača 5 i uključenja prekidača u TS opet konstatuje kvar, otvara se rastavljač 4. Ponovnim uključenjem prekidača konstatuje se da li je kvar u grani 4 ili grani 2.

Ako se posle otvaranja rastavljača 2 i ponovnog uključenja voda pokaže da kvar nije iza ovog rastavljača, po kriterijumu (5) se traži prvi rastavljač koji treba otvoriti na neistraženom delu voda. To je rastavljač 7 za koga je

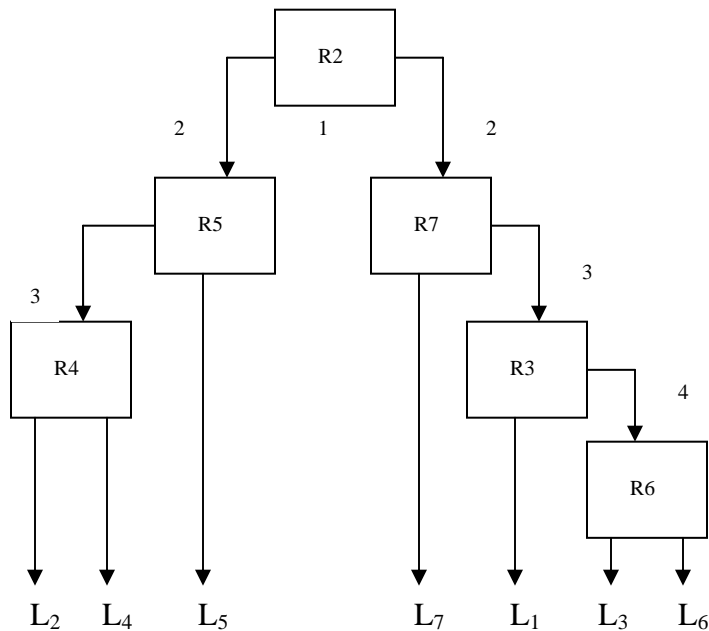
$$K_7 = \min(16,6) = 6$$

Ako kvar nije na grani 6, kriterijum (5) na neistraženom delu voda ispunjava rastavljač 3 sa

$$K_3 = \min(5,11) = 5$$

Ako kvar nije u grani 1, otvara se, kao poslednji, rastavljač 6 čime se utvrđuje da li je kvar u grani 3 ili 6.

Opisana procedura traženja kvara prikazana je šematski na sl.2. Sa R su označeni rastavljači koji se otvaraju, a L su izolovane grane voda čije se stanje proverava. Pored svakog rastavljača naznačen je broj isključenja prekidača usled manipulacija sa ovim i prethodnim rastavljačima.



Sl.2 Šematski prikaz traženja kvara

Prema (6) i sl. 2 izračunava se

$$N = \frac{1}{40} (3 \cdot (4 + 6) + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot (4 + 7)) = 2.925$$

PRIMENA POKAZIVAČA KVAROVA

Pokazivači (indikatori ili detektori) kvarova pokazuju da li je struja kvara protekla kroz granu voda u kojoj se nalaze i tako isključuju potrebu za otvaranjem DUR-a kod koga su ugrađeni. Time se smanjuje ukupan broj aktiviranja prekidača u toku traganja za delom voda u kvaru.

U Tabeli 1 naveden je potrebni broj isključenja prekidača u razmatranom primeru kada na vodu postoji jedan indikator koji je postavljen kod različitih DUR-a.

Kako se vidi iz tabele, pokazivač značajno smanjuje očekivani broj delovanja prekidača, posebno ako se postavi na najpovoljnije mesto.

Tabela 1.- Broj isključenja kod voda sa jednim indikatorom

DUR sa indikatorom	N
2	1.925
3	1.875
4	2.200
5	2.100
6	2.350
7	2.225

U Tabeli 2 navedeni su podaci o broju isključenja prekidača kod traženja kvara u razmatranom primeru ako postoji više indikatora kvarova.

Tabela 2.- Broj isključenja kod voda sa više pokazivača

Broj indikatora	Broj mogućih rasporeda	Opseg vrednosti N
0	1	2,925
1	6	1,875 – 2,350
2	15	1,300 – 1,750
3	20	0,875 – 1,117
4	15	0,500 – 1,050
5	6	0,225
6	1	0

Izvedeni proračuni su pokazali da se optimalno ili njemu blisko rešenje dobija ako se pokazivači postavljaju kod DUR-a sa najvećim vrednostima pokazatelja K_i .

PRAKTIČNI PRIMER NAPOJNOG VODA 10 kV

Podaci o vodu. Na sl.3 prikazan je primer jednog napojnog voda 10 kV. Intenzitet kvarova je 0.2 kv./(km god.), a šteta usled prekida napajanja iznosi 6 Din po kWh neisporučene energije. Podaci o dužinama L grana voda, srednjim snagama P i broju potrošača n dati su u obliku vektora

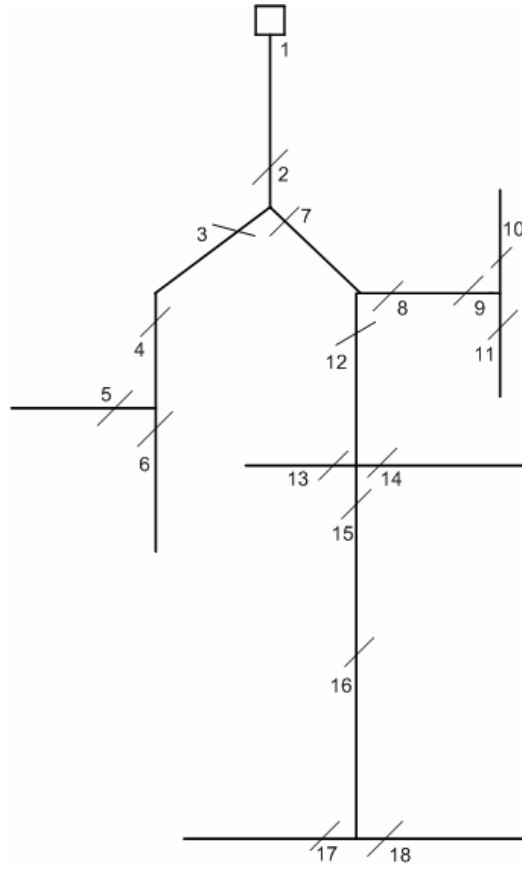
$$L = [1.43 \ 0.32 \ 2.28 \ 0.27 \ 0.25 \ 1.34 \ 0.55 \ 1.08 \ 0 \ 0.03 \ 0.48 \ 0.55 \ 0.37 \ 2.71 \ 2.3 \ 2.0 \ 0.36 \ 1.04] \text{ km}$$

$$P = [50 \ 0 \ 66 \ 0 \ 66 \ 19 \ 0 \ 63 \ 0 \ 40 \ 38 \ 0 \ 63 \ 14 \ 0 \ 0 \ 25 \ 45] \text{ kW}$$

$$n = [107 \ 0 \ 175 \ 0 \ 175 \ 64 \ 0 \ 158 \ 0 \ 185 \ 184 \ 0 \ 158 \ 57 \ 0 \ 0 \ 120 \ 292]$$

Neisporučena energija i pokazatelj SAIDI. Rastavljači na napojnom vodu obrazuju skupove grana koje se od ostalih grana mogu odvojiti njihovim otvaranjem. Takve skupove označićemo sa B_i gde je i indeks rastavljača kojim se posmatrani skup odvaja sa strane napajanja. Neka se, na primer, rastavljači na vodu na sl.3 nalaze na mestima 15, 14, 12, 8 i 3. Skup B_3 obuhvataće grane 3 do 6, a skup B_1 prekidača obuhvataće grane 1, 2 i 7.

Sa A_i označićemo skup grana čiji kvar prekida napajanje skupu B_i .



Sl.3 Napojni vod 10 kV

Na primer, skup A_3 sadrži grane 1 do 7, a skup A_1 grane 1, 2 i 7. Jasno je da svaki skup B_i ima svoj skup A_i pri čemu je

$$B_i \subseteq A_i \quad (8)$$

jer kvar grana skupa B_i sigurno prekida napajanje svih grana ovog skupa. Godišnji troškovi usled prekida napajanja potrošača u skupu B_i jednaki su

$$C_i = cd \sum_{i \in A_i} L_i \lambda_i \sum_{i \in B_i} P_i \quad (9)$$

U (9) su c troškovi po neisporučenoj jedinici energije, d je prosečno trajanje opravke, L_i je dužina grane i , λ_i je godišnji broj kvarova po jedinici dužine grane, a P_i je srednja godišnja snaga potrošača koji je priključen na granu i .

Ukupni godišnji troškovi napojnog voda usled prekida napajanja jednaki su

$$C = \sum_i C_i \quad (10)$$

gde indeks i obuhvata sve rastavljače i prekidač u izvornoj stanici. U razmatranom primeru je $i = 1, 3, 8, 12, 14, 15$.

Pokazatelj $SAIDI_i$ koji daje očekivano prosečno trajanje prekida napajanja svakog potrošača u skupu B_i jednak je

$$SAIDI_i = \frac{d}{N} \left(\sum_{i \in A_i} L_i \lambda_i \sum_{i \in B_i} n_i \right) \quad (11)$$

gde je sa n_i označen broj potrošača povezan za granu i a sa N ukupan broj potrošača koji se napajaju preko posmatranog voda. Pokazatelj $SAIDI$ za vod jednak je

$$SAIDI = \sum_i SAIDI_i \quad (12)$$

Indeks i uzima iste vrednosti kao u (10).

Raspored DUR-a. Za određivanje optimalnog rasporeda rastavljača na napojnom vodu razvijen je program *switchlocsa.m* u MATLAB kodu koji se može koristiti za utvrđivanje i optimalnog rasporeda DUR-a. Tada se za prosečno vreme trajanja prekida uvrštava srednje trajanje nalaženja kvara na skupovima grana B_i . U razmatranom primeru usvojeno je $d = 1$ h. Program u traganju za rešenjem koristi metodu simuliranog kaljenja. Iz skupa mogućih lokacija DUR-a, kojih u razmatranom primeru ima 17, slučajno se bira onoliki broj lokacija koliko se ovakvih rastavljača želi ugraditi. Postepenim promenama izabrane opcije, saglasno pravilima primenjene metode, nalazi se najbolji raspored rastavljača po kriterijumu minimalnih godišnjih troškova zbog prekida isporuke električne energije prema (10) ili minimalnih vrednosti pokazatelja $SAIDI$ prema (12). Tabela 3 daje nađena najbolja rešenja po kriterijumu minimalnih troškova za različiti broj instalisanih DUR-a.

Tabela 3.- Rezultati proračuna troškova i pokazatelja $SAIDI$

Broj DUR-a	Lokacije	Godišnji troškovi 1000 din.	$SAIDI$ h
0		10.19	3.47
1	12	6.36	2.30
2	3 12	4.68	1.68
3	3 8 12	4.01	1.46
4	3 7 14 15	3.36	1.28
5	3 8 12 14 15	3.05	1.13

Kako se vidi, godišnji troškovi i pokazatelj $SAIDI$ osetno se smanjuju kod ugradnje prvog i drugog DUR-a. Dalje povećanje broja rastavljača ima sve manje efekte.

U Tabeli 4 dati su optimalni redosledi otvaranja rastavljača iz Tabele 3 određeni na osnovu vrednosti pokazatelja K_i .

Tabela 4. Optimalni redosled manipulacija rastavljačima

Broj DUR-a	Redosled otvaranja DUR-a	Broj isključenja prekidača
2	12 3	1.463
3	12 3 8	1.496
4	17 15 14 3	1.602
5	12 15 14 3 8	1.877

ZAKLJUČCI

1. Primena DUR-a može bitno smanjiti vreme traženja kvara, štete usled prekida isporuke energije potrošačima i pokazatelj *SAIDI* kojim se ocenjuje pouzdanost napajanja. Pozitivni efekti koji se postižu ugradnjom svakog sledećeg DUR-a smanjuju se.
2. Izbor mesta postavljanja DUR-a osetno utiče na efekte koji se njime postižu. Ovaj izbor zavisi od konfiguracije voda, rasporeda, snage i broja potrošača i intenziteta kvarova pojedinih grana voda (a ne isključivo njihove dužine).
3. Redosled manipulacija sa DUR-ima treba izabrati tako da se na najmanju meru svede broj isključenja prekidača u izvornoj TS u toku traženja kvara. Pokazatelj K_i , definisan u ovom referatu, omogućuje takav izbor.
4. Broj isključenja prekidača dodatno se smanjuje ako se u vod ugrađuju pokazivači kvara. Na pomenuto smanjenje bitno utiče broj i raspored pokazivača. Optimalni ili bliski njemu raspored pokazivača utvrđuje se takođe prema vrednostima pokazatelja K_i što znači da se ovaj praktično poklapa sa optimalnim redosledom za DUR-e. Treba razmotriti mogućnost razvoja konstrukcija koje objedinjuju DUR-e i pokazivače.
5. U postojećim uslovima kada se štete od neisporučene energije obično svode samo na neostvareni prihod distributivnog preduzeća a ne postoje ni jasno utvrđeni kriterijumi o dozvoljenim vrednostima trajanja prekida napajanja, teško je utvrditi ekonomsku opravdanost primene DUR-a, pokazivača kvarova i druge savremene tehnike koja se koristi za smanjenje efekata kvarova.

LITERATURA

1. Nahman J, Spirić J, 1998, „Optimalno traganje za kvarom u nadzemnim radijalnim distributivnim mrežama“, Savetovanje JUKO CIGRE, ref 6.10, Zlatibor.
2. Nahman J, Spirić J, 2006, „Optimal fault location in overhead radial distribution networks equipped with switches and fault detectors“, Savetovanje JUKO CIGRE, Zlatibor
3. Arzanascev D. A i dr., 1987, „Modeli optimizacije razvoja energetske sistema“, (knjiga, na ruskom), V. Škola, Moskva,.
4. Council of European Regulators ASBL, 2005, „Third Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply“
5. CIRED WG03 Report, 1999, „Fault Management in Electrical Distribution Systems“