

OSETLJIVOST REŽIMA DISTRIBUTIVNE MREŽE NA PROMENU OPTEREĆENJA I VREDNOSTI PARAMETARA

SENSITIVITY ANALYSIS OF DISTRIBUTION NETWORK

Zoran Sikirica, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je analiziran problem netehničkih gubitaka u distributivnim mrežama kao i osetljivost distributivnih mreža na promenu parametara i opterećenja. Izvršena je klasifikacija uzroka i posledica tih gubitaka. Analiza osetljivosti režima distributivne mreže na promene njenog opterećenja i parametara mreže izvršena je na osnovu proračuna tokova snaga. Program za proračun tokova snaga realizovan je u programskom jeziku Fortran.

Ključne reči: Distributivne mreže, proračun tokova snaga, netehnički gubici, osetljivost.

Abstract – This paper analyzes the problem of non-technical losses in distribution networks as well as the sensitivity of distribution networks to the change of parameters and load. Furthermore, the classification of causes and consequences of those losses have been done. Analysis of the distribution network regime sensitivity to the change of its load and network parameters has been done based on power flow calculations. Power flow calculation program is realized in Fortran programming language.

Keywords: Distributive networks, Power flow calculation, non-technical losses, sensitivity.

1. UVOD

U radu je izvršena analiza promene režima radijalne distributivne mreže (DM) usled promene vrednosti opterećenja i parametara DM. Pritom, razmatrane su promene vrednosti napona električno najudaljenijeg čvora DM, vrednosti ukupnih gubitaka aktivne i reaktivne snage i granice opterećenja DM. Proračuni su izvršeni za različite modele potrošnje. U skladu sa tim, u radu je razmatran uticaj netehničkih gubitaka (pre svega kao posledica krađe električne energije [8]). Ukazano je na značaj poznavanja tipa potrošnje i vrednosti parametara prilikom proračuna i planiranja DM.

Nakon uvoda, u drugoj glavi rada biće prikazana struktura DM, tj. modelovanje njenih elemenata. Treća glava je posvećena problematici tokova snaga, načinu klasifikacije čvorova, kao i formiranju strukture mreže kako bi se što efikasnije izvršili proračuni. Pored ovog u treće glava je posvećena proračunu tokova snaga Rajičićevom metodom. Osetljivosti distributivne mreže pri promeni njenih parametara i opterećenja prikazana je u četvrtoj glavi.

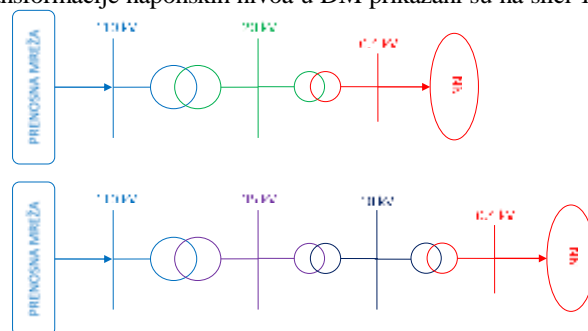
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Švenda, red. prof.

Peta glava je posvećena detaljnoj podeli svih gubitaka u DM, kao i njihova klasifikacija i uticaj na mrežu. U šestoj glavi je prikazana test DM na kojoj će se vršiti proračuni, kao i analiza i detekcija netehničkih gubitaka sa matematičkim modelom tokova snaga. U sedmoj glavi kroz niz primera predstavljene su promene koje se dešavaju u DM kada se promeni opterećenje ili neki od parametara DM. Zaključak je prikazan u osmoj glavi, i potom, u devetoj glavi sledi spisak literature korišćene pri izradi rada.

2. TOPOLOGIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE

DM preko transformatorskih stanica VN/SN preuzima električnu energiju iz prenosne mreže i distribuira je do krajnjih (srednjih i malih) potrošača. Potrošači električnu energiju preuzimaju preko transformatorskih stanica SN/NN i iz manjih elektrana koje su priključene u DM [2]. Primeri transformacije naponskih nivoa u DM prikazani su na slici 1.



Slika 1 – Primer transformacije naponskih nivoa u DM

2.2.1. Model potrošača

Snaga potrošnje potrošača (potrošačkog područja) je funkcija modula napona i učestanosti. U proračunima stacionarnih tokova snaga, vrednost učestanosti je unapred specificirana (poznata). U skladu sa tim kompleksna snaga potrošača je funkcija samo modula napona čvora na koji je priključen. One se obično iskazuju preko tri komponente [3]:

$$S_x(U_x) = k_{sp} P_x^{spec} - jk_{sq} Q_x^{spec} + k_{ipx} \frac{U_x}{U_{nNN}} P_x^{spec} - \quad (1)$$

$$jk_{iqx} \frac{U_x}{U_{nNN}} Q_x^{spec} + k_{ypx} \left(\frac{U_x}{U_{nNN}} \right)^2 P_x^{spec} - jk_{yqx} \left(\frac{U_x}{U_{nNN}} \right)^2 Q_x^{spec}$$

2.2.2. Vodovi

Vodovi su elementi elektroenergetskog sistema za prenos i distribuciju napona i električne energije, pri čemu se razlikuju nadzemne i kablovske deonice [4]. Za njihovo modelovanje najčešće se koristi π ekvivalentna šema.

2.2.3. Transformatori

Transformator je osnovni uređaj za transformaciju električne energije sa jednog na drugi naponski nivo (posredstvom magnetne sprege, bez pokretnih delova). Trofazni energetski transformator moguće je ekvivalentirati pasivnim četvorokrajnikom („ Π “ šemom) [10].

3. TOKOVI SNAGA

Velika dimenzionalnost realnih DM i njihova slaba potencijalna upetljanost, kao i relativno visok odnos R/X, prouzrokovali su vrlo slabu uslovljenost matrica kojim se opisuju takvi problemi. Na taj način, svi navedeni numerički postupci, koji su bazirani na matričnom pristupu, postaju neefikasni u rešavanju problema proračuna tokova snaga u DM.

Da bi se ovi problem prevazišli, kao i da bi se ovi proračuni maksimalno ubrzali korišćenjem poznavanja karakteristika DM, razvijeni su specijalizovani algoritmi za proračun tokova snaga u DM. U ovim postupcima proračun se vrši po granama DM, čime se potiskuje potreba za rešavanjem slabo uslovljenih matričnih sistema jednačina. Na taj način, značajno se povećava brzina proračuna i opadaju memorijski zahtevi [1].

U cilju proračuna napona i tokova snaga u ovom radu je primenjena Rajičić metoda [11]. Proračuni su realizovani na primeru jednostavne radijalne DM.

4. OSETLJIVOST REŽIMA DM

U ovom delu je predstavljena osetljivost DM na promenu opterećenja i promenu parametara DM.

4.1. Uvodna razmatranja

Jedan deo rada analizira rezultate proračuna DM pri različitim parametrima potrošnje. Tako je kroz različite primere prikazana promena karakterističnih veličina DM: struje najopterećenije deonice, napona električno najudaljenijeg čvora, ukupnih gubitaka aktivne i reaktivne snage pri različitim napojnim naponima i različitim tipovima potrošnje itd.

4.2. Osetljivost DM na promenu opterećenja

U ovom delu su analizirane promene napona električno najudaljenijeg čvora DM, ukupnih gubitaka aktivne snage i granice mogućeg opterećenja sa promenom tipa potrošnje, faktora snage i preraspodelom reaktivne snage potrošnje po čvorovima mreže. Iz tabela 1, 2, 3, 4 utvrđeno je da, ako tip potrošnje i faktor snage nisu poznati, za opterećenje duplo veće od zadatog može doći do greške u proceni napona od 2% i ukupnih gubitaka snage od 32%.

Tabela 1 – Vrednosti u pri promeni tipa potrošnje i p za $\cos\varphi = 0,85$

$k_p=k_q$	u[%]	
	p=1	p=2
0	-0,43122	-2,05649
1	0,023852	0,240748
2	0,407368	1,815741

Ako je faktor snage nepoznat, a tip potrošnje poznat

moguće greške su 4.2% i 46%, respektivno. Sa porastom kvaliteta informacija o faktoru snage rastu granice mogućeg opterećenja mreže za sve tipove potrošnje.

Tabela 2 – Odstupanje u pri promeni faktora snage i p

$k_p=k_q$	$\cos\varphi$	u[%]	
		p=1	p=2
0	0.7	-1,61313	-4,20728
	0.85	-0,27612	-0,57553
	1.0	1,889249	4,782811
1	0.7	-1,41693	-3,04903
	0.85	-0,26003	-0,52615
	1.0	1,67696	3,575175
2	0.7	-1,26368	-2,41424
	0.85	-0,31539	-0,76122
	1.0	1,579073	3,175458

Tabela 3 – Vrednosti Δp pri promeni tipa potrošnje i p za $\cos\varphi = 0,85$

$k_p=k_q$	Δp [%]	
	p=1	p=2
0	14,51973	32,14334
1	-1,19775	-5,36949
2	-13,322	-26,7739

Tabela 4 – Odstupanje Δp pri promeni $\cos\varphi$ i p

$k_p=k_q$	$\cos\varphi$	Δp [%]	
		p=1	p=2
0	0.7	40,65547	46,04159
	0.85	-4,92168	-5,85348
	1.0	-35,7338	-40,1881
1	0.7	37,33021	37,33499
	0.85	-4,6266	-4,62667
	1.0	-32,7036	-32,7083
2	0.7	34,73897	32,40959
	0.85	-4,61535	-4,91265
	1.0	-30,1236	-27,4969

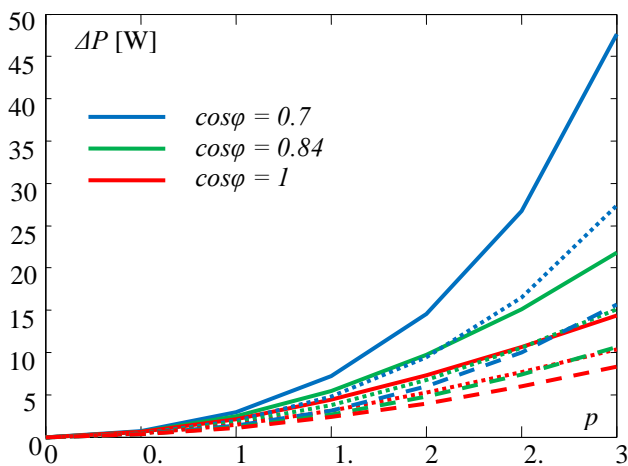
Tabela 4 – Odstupanje Δp pri promeni $\cos\varphi$ i p

Iz tabela 5 je moguće videti da neravnomerna raspodela reaktivne snage potrošnje može dovesti do povećanja gubitaka aktivne snage od desetak procenata i samim tim smanjenja granice mogućeg opterećenja DM.

Tabela 4 – Smanjenje u i povećanje Δp pri neravnomernoj, u odnosu na ravnomernu raspodelu reaktivnih snaga potrošnje

$k_p=k_q$	p=1	p=2
u[%]	0,179614	0,467402
Δp [%]	10,93201	10,35854

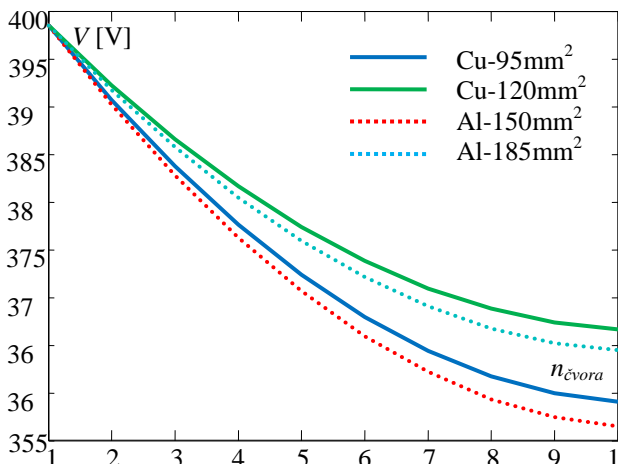
Na slici 2. prikazane su krive gubitaka aktivne snage za $k_p=k_q=0, 1$ i 2 , i faktore snage $0.7, 0.84$ i 1 pri čemu p predstavlja vrednost sa kojom je množeno osnovno opterećenje u čvorovima test DM.



Slika 2 – Ukupni gubici aktivne snage za tip potrošnje konstantne snage (—), struje (.....) i impedanse (- - - - -) pri različitim $\cos\varphi$

4.3. Osetljivost DM na promenu parametara voda

Osetljivost vrednosti napona na razmatranoj DM u zavisnosti od parametara deonica (tipa i presek kabla) prikazana je na slici 3.



Slika 3 – Dijagram pada napona za različite preseke kabla i različite materijale (potrošač konstantne snage)

5. VRSTE GUBITAKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Vrednost gubitaka jedan je od direktnih pokazatelja efikasnosti prenosa energije od proizvođača do potrošača. Najveći deo gubitaka električne energije u procesu prenosa električne energije od proizvođača do potrošača čine gubici u DM[1]. Analiza i određivanje mesta nastanka ovih gubitaka je ujedno i preduslov za njihovo smanjenje do nivoa prihvatljivih vrednosti. Iz tog razloga došlo je do razvika novih i savremenih metoda za kvalitetnu analizu gubitaka električne energije u mreži, koje će koristiti ograničen broj podataka. Funkcija estimacije stanja sistema je proces u kome se na osnovu telemetrisanih veličina merenja i istorijskih podataka u sistemu, uz korišćenje optimizacionih kriterijuma, određuju nepoznate vrednosti promenljivih veličina. Ova funkcija se pokazala kao pogodna za određivanje nepoznatih veličina u sistemu, međutim, osnovni problem je skromna automatizacija, što otežava proces

prikupljanja telemetrisanih (SCADA) podataka [1,6].

Gubici električne energije u DM mogu se svrstati u dve osnovne grupe (prema načinu nastanka):

- Tehnički gubici
- Netehnički (komercijalni) gubici.

5.1. Tehnički gubici

Pod tehničkim gubicima smatraju se gubici koji nastaju kao posledica stavljanja postrojenja pod napon i proticanja struje kroz električnu mrežu. Veličina ovih gubitaka zavisi od električnih karakteristika elemenata instaliranih u mreži i režima proticanja struje kroz sva postrojenja koja se nalaze između proizvođača i potrošača električne energije [7,8,9].

Tehnički gubici sa stanovišta uzroka nastanka dele se na [6,9]:

- gubitke nezavisne od opterećenja (fiksne gubitke)
- gubitke zavisne od opterećenja (varijabilne gubitke).

5.2. Netehnički gubici

Druga grupa obuhvata gubitke koji nastaju na osnovu razlike evidentiranih veličina nabavljene i isporučene (naplaćene) električne energije u određenom vremenskom periodu. Ovi gubici se javljaju kao posledica nesavršenosti organizacije eksploatacije sistema, nesavršenosti uređaja za registraciju protoka električne energije, kvarova na postrojenjima, kao i neovlašćenog korišćenja električne energije[6,8,9].

Na osnovu iskustva komercijalni gubici [7,8,9]:

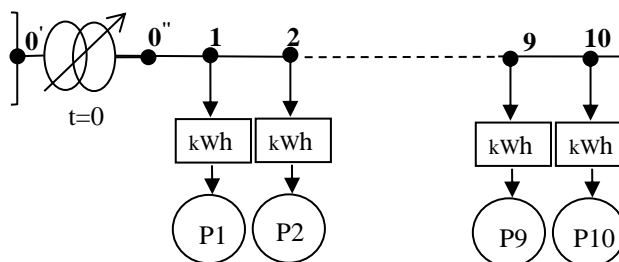
- egzistiraju u obliku veoma varijabilnih veličina,
- praktično ih je nemoguće odrediti računskim putem,
- mogu biti pozitivni i negativni.

6. ANALIZA DETEKCIJE NETEHNIČKIH GUBITAKA

Analiza uticaja neovlašćene upotrebe električne energije na stanje sistema izvršena je na test DM, slika 5. Osetljivost rešenja i brojlara, analizirana je na osnovu simulacije dodatnog, neregistrovanog opterećenja u jednom, dva i više čvorova DM.

6.1. Opis test distributivne mreže

Radialna test DM se sastoji se od regulacionog Tr $m_1 = 20 \pm 2 \times 5\% / 0.4 \text{ kV/kV}$ i niskonaponskog dela sa deset jednakih deonica i potrošača. Snaga Tr iznosi $S_n = 1 \text{ MVA}$. Pozicija teretnog menjača je $t=0$. Svaki potrošač je opremljen brojilom klase tačnosti 0,5, 1 i 1,5. Smatra se da su vrednosti potrošnje za svaki od potrošača snimane.

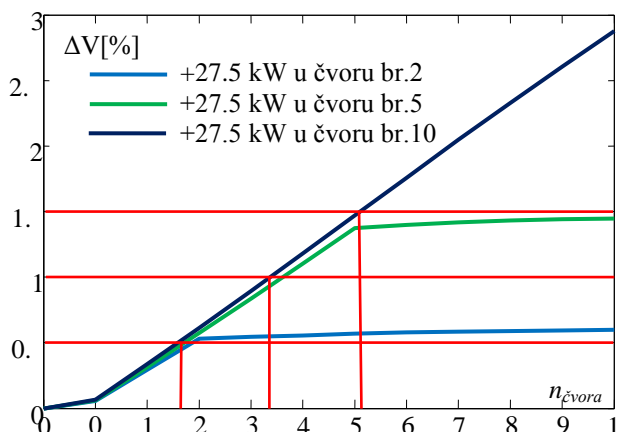


Slika 4 – Test distributivna mreže

6.2. Simulacija dodatnog opterećenja u mreži

U ovom delu razmatra se mogućnosti detekcije dodatnog opterećenja: Dodatno opterećenje je simulirano u čvorovima br. 2, 5 i 10, pri tom faktor snage ima konstantnu vrednost 0.84 (ind).

Jedan od ciljeva rada je da se pokaže za koje će vrednosti dodatnog opterećenja, promena modula napona biti veća ili jednaka 0.5%, 1.0% i 1.5%, odnosno da se analizira osetljivost brojila klase tačnosti 0.5, 1.0 i 1.5. Takođe, jedan od ciljeva rada je da se pokaže na kom mestu i kolika dodatna potrošnja može da se detektuje primenom takvih brojila.

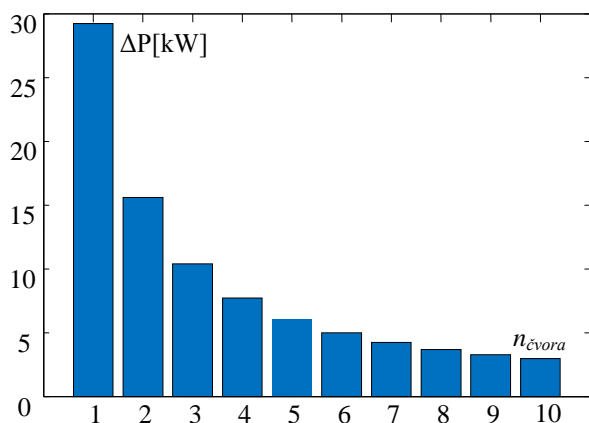


Slika 5 – Promena vrednosti modula napona čvorova usled dodatnog opterećenja od 27.5 kW u čvorovima 2, 5, 10

Na slici 6 prikazane su promene vrednosti modula napona za različita opterećenja u čvorovima br.2, 5, 10. Na slici se vidi koje se vrednosti opterećenja mogu detektovati sa instrumentima različite klase tačnosti.

6.3. Rezultati analize

U ovom delu prikazani su rezultati analize ispitivanja osetljivosti mogućnosti primene pametnih brojila različitih klasa za razmatranu test DM.



Slika 6 – Minimalne vrednosti dodatne potrošnje, koja može da se detektuje primenom brojila klase tačnosti 0.5

Na slici 7 prikazane su minimalne vrednosti dodatne potrošnje u potrošačkim čvorovima mreže, koje mogu da se detektuju primenom brojila klase tačnosti 0.5.

8. ZAKLJUČAK

Tema ovog rada jeste osetljivost režima DM na promenu opterećenja i vrednosti parametara kao i netehnički gubici koji se javljaju u DM. Na primeru jedne DM simulirane su različite promene parametara i pri tome su praćene promene.

U radu je prikazan uticaj neovlašćene upotrebe električne energije na početku, na sredini i na kraju test mreže na ostatak mreže. Cilj je bio da se pokaže za koje će vrednosti dodatnog opterećenja promena modula napona biti veća ili jednaka 0,5%, 1% i 1,5%, tj. da se pokaže osetljivost pametnih brojila čija je klasa tačnosti 0,5, 1 i 1,5. Rezultati pokazuju da se prilikom neovlašćene upotrebe električne energije uspešno mogu detektovati, pre svega, promene vrednosti modula napona čvorova sa dodatnom potrošnjom koji se nalaze u drugoj polovini test mreže, tj. da mesto dodatne potrošnje u test mreži u velikoj meri utiče na mogućnost detekcije dodatne potrošnje. Na početku mreže dodatna potrošnja u realnosti ne može biti detektovana jer bi vrednosti minimalne dodatke potrošnje koju bi napredno brojilo moglo da detektuje nerealno visoka.

9. LITERATURA

1. D.Bekut, V.Dabić D.Popović, Specijalizovani DMS Algoritmi; Prosveta, Novi Sad, 2011.
2. D.Jakus, I.Penović, R.Goić: Distribucija električne energije, Fakultet elektrotehnike i strojarstva, Split, 2008.
3. P.Vidović: Nesimetrični tokovi snaga distributivnih mreža; Novi Sad, magistarska teza, Fakultet Tehničkih Nauka, novembar 2008.
4. V.Strezorski: Osnovi elektroenergetike (elektroenergetski sistemi); radni materijal, školska 2002/2003 god.
5. D.Stojanović, L.Korunović: Analiza režima distributivnih mreža pri promeni opterećenja, Proc. 49th ETRAN Conference, Budva, June 5-10, Vol. I: Elektronski fakultet u Nišu, 2005.
6. D.Stojković, Tehnički i komercijalni gubici u distributivnim mrežama, FTN, diplomski rad, 2006.
7. J.Samardžija, Netehnički gubici u distributivnim mrežama, FTN, master rad, 2016. J. Samardžija.
8. S. Žutobradić, Ž. Rajić, L. Wagmann, H. Miličić: Analiza problematike gubitaka električne energije u distribucijskim mrežama članica EU, Umag, 2010.
9. D. Radojčić, Netehnički gubici, FTN, master rad, 2015.
10. Zadaci iz energetskih transformatora
11. D.Rajičić, R.Taleski: Two Novel Methods for Radial and Weakly Meshed Network Analysis; Electric Power Systems Research 48, pp. 79-87, December, 1998.

Kratka biografija:



Zoran Sikirica rođen je u Karlovcu (Republika Hrvatska), 27.05.1989. god. Srednju tehničku školu (Elektrotehničar automatike) završio je 2008. god. u Rumi. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2015. god. Iste godine upisao se na master studije.