

PRORAČUN NESIMETRIČNIH TOKOVA SNAGA DISTRIBUTIVNIH MREŽA SA DISTRIBUTIVNIM GENERATORIMA ZASNOVANIM NA UREĐAJIMA ENERGETSKE ELEKTRONIKE

CALCULATION OF UNBALANCED POWER FLOW OF DISTRIBUTION NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATORS BASED ON POWER ELECTRONIC DEVICES

Tijana Terzić, Luka Strezoski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su prikazane osnovne informacije o ponašanju distribuiranih resursa u normalnim režimima, a potom i upravljačke strategije koje su korišćene u njima. Cilj je bio proračunati tokove snaga distributivnih mreža sa distributivnim generatorima, pa su se morali uvesti i novi tipovi čvorova.

Ključne reči: Distributivne mreže, Distribuirani energetske resursi, Nesimetrični tokovi snaga

Abstract: The paper presents basic information on the behavior of distributed resources in normal regimes, and then the management strategies used in them. The goal was to calculate the power flow in distribution network with distributive generators, so new types of nodes had to be introduced.

Keywords: Distribution networks, Distributed energy resources, Unbalanced power flow

1. UVOD

U današnje vreme suočavamo se sa ekološkim problemima, koji dovode do pitanja kako namiriti sve veće potrebe za proizvodnjom električne energije sa smanjenim uticajem na životnu sredinu. Utvrđeno je da proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora ima znatno manji uticaj na zagađenje okoline od proizvodnje iz neobnovljivih izvora.

Distribuirani energetske resursi (DER) su distribuirani generatori (DG), distribuirana skladišta električne energije i hibridni DER. Priključenjem sve većeg broja distribuiranih energetske resursa na distributivne mreže, one postaju složenije, kao i procesi koji se u njima odvijaju. Tradicionalni model za proračun tokova snaga se više ne može koristiti, pa se i tradicionalna klasifikacija čvorova mora upotpuniti. Jednofaznim čvorovima tipa θV , PQ i PV su pridruženi novi trofazni čvorovi.

U ovom radu je urađen proračun tokova snaga za datu mrežu koju čini osam čvorova u programskom jeziku Fortran i razvojnom okruženju Microsoft Visual Studio 2010 i dobijeni rezultati prikazani su tabelarno i grafički.

2. NORMALIZACIJA KOLA

Normalizacija je proces transformacije veličina iz domena apsolutnih vrednosti u domen relativnih vrednosti. Opšti

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Luka Strezoski.

oblik transformacije u domen relativnih jedinica prikazan je u izrazu (1). U izrazu (2) predstavljen je skup mogućih veličina u apsolutnim jedinicama, a u (3) skup baznih veličina koje na osnovu (1) moraju biti različite od nule.

$$\hat{x} = \frac{\hat{X}}{X^b}, \quad X^b \neq 0 \quad (1)$$

$$\hat{X} \in \{S, U, I, Z, Y\} \quad (2)$$

$$X^b \in \{S^b, U^b, I^b, Z^b, Y^b\} \quad (3)$$

Osnovne bazne veličine su bazna snaga i bazni naponi i oni moraju biti različiti od nule. Prilikom izbora baznih napona treba voditi računa da je cilj normalizacije eliminisati što veći broj transformatora, odnosno odnosa transformacije. Na osnovu osnovnih baznih veličina, izvode se odnosi transformacije, struje, impedanse, admitanse i to za svaki naponski nivo [3].

3. PONAŠANJE DISTRIBUIRANIH RESURSA U NORMALNIM REŽIMIMA

Neke od tehnologija za proizvodnju električne energije su: fotonaponski sistemi, vetroelektrane, mikroturbine, gorivne ćelije, motori sa unutrašnjim sagorevanjem. Oni mogu biti direktno vezani na mrežu, mogu biti vezani delimično preko uređaja energetske elektronike ili potpuno preko uređaja energetske elektronike.

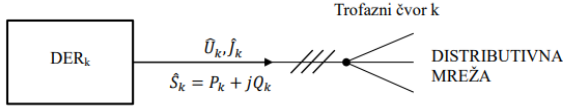
Obnovljivi izvori energije imaju promenljivu proizvodnju električne energije koju je teško kontrolisati i koja zavisi od vremenskih prilika, godišnjih doba itd. Oni su teško upravljivi kada je neophodno kontrolisati aktivnu snagu. Kako bi se ti nedostaci prevazišli, u energetske sistem se uvode distribuirana skladišta električne energije. Njihov rad se zasniva na tome da kada se javi period niske potrošnje, višak energije se skladišti u distribuirana skladišta energije.

Za razliku od toga, kada se javi period povećane potrošnje, energija se iz distribuiranih skladišta transformiše u električnu energiju i isporučuje gde je neophodna. Primer su baterije akumulatora i zamajci [1, 2].

4. UPRAVLJAČKE STRATEGIJE IMPLEMENTIRANE U DER

Posmatra se DER_k koji je na nesimetričnu distributivnu mrežu priključen u trofaznom čvoru k i ta situacija je prikazana na slici 1 na osnovu [1]. Čvor k je opisan osnovnim i izvedenim faznim veličinama. Osnovne

veliĉine su fazni naponi \hat{U}_k , aktivne snage P_k i reaktivne snage Q_k , a izvedene veliĉine su injektirane struje \hat{J}_k .



Slika 1 – DER_k prikljuĉen u ĉvoru k

Oni mogu biti izraĉeni u faznom domenu, kao i u domenu simetriĉnih komponenti. Naponi su izraĉeni modulima i uglovima, a snage su u kompleksnom obliku. Veza izmeĉu ova dva domena ostvaruje se matricama transformacije.

Trofazne snage u domenu simetriĉnih komponenti su jednake:

$$\begin{aligned} \hat{S}_{k\Sigma} &= P_{k\Sigma} - jQ_{k\Sigma} = 3(\hat{S}_k^d - \hat{S}_k^i - \hat{S}_k^o) \\ &= 3(\hat{U}_k^{d*} \hat{J}_k^d - \hat{U}_k^{i*} \hat{J}_k^i - \hat{U}_k^{o*} \hat{J}_k^o) \\ &= 3[\text{Re}\{\hat{U}_k^{d*} \hat{J}_k^d\} + j\text{Im}\{\hat{U}_k^{d*} \hat{J}_k^d\}] \\ &\quad - [\text{Re}\{\hat{U}_k^{i*} \hat{J}_k^i\} + j\text{Im}\{\hat{U}_k^{i*} \hat{J}_k^i\}] \\ &\quad - [\text{Re}\{\hat{U}_k^{o*} \hat{J}_k^o\} \\ &\quad + j\text{Im}\{\hat{U}_k^{o*} \hat{J}_k^o\}] \end{aligned} \quad (4)$$

Energetski resursi zasnovani na energetskoj elektronici imaju upravljaĉke strategije koje su sloŹenije od upravljaĉkih strategija tradicionalnih naizmeniĉnih mašina. Oni omogućavaju da se u nesimetriĉnim reŹimima injektiraju simetriĉne struje, tako Źto inverzna i nulta komponenta struje dobijaju vrednosti nula. Mogu obezbediti i da se odrŹavaju simetriĉni naponi u nesimetriĉnim reŹimima mreŹe. Ovo dovodi do velikih promena kada je u pitanju model za proraĉun tokova snaga. Tri pofazna ĉvorova bila su dovoljna za proraĉun simetriĉnih reŹima, pa se sada moraju proširiti.

5. MODELI ĆVOROVA ZA PRORAĀUN TOKOVA SNAGA

U novim mreŹama ima $3N$ kompleksnih napona, odnosno $2N$ realnih i $2N$ kompleksnih veliĉina stanja. Promenljive stanja prikazane u domenu simetriĉnih komponenti su direktnog, inverznog i nultog redosleda. Naponi direktnog redosleda su opisani pomoću $2N$ realnih veliĉina, odnosno N veliĉina koje odgovaraju vrednostima modula i N veliĉina koje odgovaraju vrednostima ugla napona. Naponi inverznog i nultog redosleda su u kompleksnom domenu i opisani su sa po N kompleksnih veliĉina.

Za predstavljanje tradicionalnih naizmeniĉnih mašina u nesimetriĉnim reŹimima uvode se ĉvorovi tipa: $(\theta V)_\Sigma$, $P_\Sigma Q_\Sigma$ i $P_\Sigma V$. Ostali ĉvorovi modeluju savremene distribuirane energetske resurse. Moguće je obezbediti simetriĉne fazne napone u nesimetriĉnom reŹimu mreŹe i to zahvaljujući ĉvorovima tipa: $P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}$ i $P_\Sigma V_{sim}$. Ćvorovi $P_\Sigma Q_\Sigma I$ i $P_\Sigma VI$ modeluju upravljaĉke strategije kojima se moŹe kontrolisati inverzna komponenta struje u nesimetriĉnim reŹimima. Dva trofazna ĉvorova su izvedena iz tradicionalnih tipova: $3\theta V$ i $3PQ$. Ova klasifikacija ĉvorova sa njihovim zadatim i nepoznatim veliĉinama data je u tabeli 1 [1].

Tabela 1 – Nova klasifikacija ĉvorova

Tip ĉvorova	Zadate veliĉine	Nepoznate veliĉine
θV	θ, U	/
PQ	P, Q	θ, U
PV	P, U	θ
$(\theta V)_\Sigma$	θ^d, U^d	\hat{U}^i, \hat{U}^o
$P_\Sigma Q_\Sigma$	P_Σ, Q_Σ	$\theta^d, U^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$
$P_\Sigma V$	P_Σ, U^d	$\theta^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$
$P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}$	$P_\Sigma, Q_\Sigma, \hat{U}^i, \hat{U}^o$	θ^d, U^d
$P_\Sigma V_{sim}$	$P_\Sigma, U^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$	θ^d
$P_\Sigma Q_\Sigma I$	$P_\Sigma, Q_\Sigma, \hat{I}^i$	$\theta^d, U^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$
$P_\Sigma VI$	P_Σ, U^d, \hat{I}^i	$\theta^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$
$3\theta V$	$\theta_{ka}, U_{ka}, \theta_{kb}, U_{kb}, \theta_{kc}, U_{kc}$	/
$3PQ$	$P_{ka}, Q_{ka}, P_{kb}, Q_{kb}, P_{kc}, Q_{kc}$	$\theta^d, U^d, \hat{U}^i, \hat{U}^o$

6. PRORAĀUN NESIMETRIĀNIH TOKOVA SNAGA DISTRIBUTIVNIH MREŽA SA DG

Analizira se trofazna mreŹa koja ima N trofaznih ĉvorova. Prvi ĉvor je oznaĉen kao balansni ĉvor. Ukupan broj ĉvorova mreŹe i brojevi elemenata skupova mreŹe povezani su relacijom (5), a skupovi indeksa razliĉitih tipova ĉvorova sa skupom $\{2, 3, \dots, N\}$ povezani su relacijom (6). Model tokova snaga je prikazan na osnovu [1,2].

$$\begin{aligned} 1 + N_{P_\Sigma Q_\Sigma} + N_{P_\Sigma V} + N_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} + N_{P_\Sigma V_{sim}} + N_{P_\Sigma Q_\Sigma I} \\ + N_{P_\Sigma VI} + N_{3PQ} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{N_{P_\Sigma Q_\Sigma}} \cup \alpha_{N_{P_\Sigma V}} \cup \alpha_{N_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}}} \cup \alpha_{N_{P_\Sigma V_{sim}}} \cup \alpha_{N_{P_\Sigma Q_\Sigma I}} \\ \cup \alpha_{N_{P_\Sigma VI}} \cup \alpha_{N_{3PQ}} \\ = \{2, 3, \dots, N\} \end{aligned} \quad (6)$$

Sada se mogu izdvojiti vektori nepoznatih veliĉina stanja mreŹe direktnog, inverznog i nultog redosleda:

$$\begin{aligned} X^d = [\theta_k^d, k \in \{2, 3, \dots, N\}, U_k^d, k \\ \in \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma} \cup \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} \cup \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma I} \cup \alpha_{3PQ}]^T \end{aligned} \quad (7)$$

$$\hat{X}^i = [\hat{U}_k^i, k \in \{2, 3, \dots, N\}, k \notin \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} \cup \alpha_{P_\Sigma V_{sim}}]^T \quad (8)$$

$$\hat{X}^o = [\hat{U}_k^o, k \in \{2, 3, \dots, N\}, k \notin \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} \cup \alpha_{P_\Sigma V_{sim}}]^T \quad (9)$$

Vektor X^d se sastoji od $(N - 1 + N_{P_\Sigma Q_\Sigma} + N_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} + N_{P_\Sigma Q_\Sigma I} + N_{3PQ})$ realnih nepoznatih veliĉina stanja, a vektori \hat{X}^i i \hat{X}^o od $2(N - 1 - N_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} - N_{P_\Sigma V_{sim}})$ kompleksnih nepoznatih veliĉina stanja. Kako bi se odredile nepoznate veliĉine, potrebno je obezbediti isti broj jednaĉina modela. On je predstavljen u domenu simetriĉnih komponenti. Model nesimetriĉnih tokova snaga ima sledeći izgled:

$$\begin{aligned} P_k^d = \text{Re} \left\{ \hat{U}_k^{d*} \sum_{l=1}^N \hat{y}_{kl}^d \hat{U}_l^d \right\} = g'_k(X^d), \\ k \in \{2, 3, \dots, N\} \quad (10) \\ Q_k^d = -\text{Im} \left\{ \hat{U}_k^{d*} \sum_{l=1}^N \hat{y}_{kl}^d \hat{U}_l^d \right\} = g''_k(X^d), k \\ \in \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma} \cup \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma V_{sim}} \cup \alpha_{P_\Sigma Q_\Sigma I} \\ \cup \alpha_{3PQ} \quad (11) \end{aligned}$$

$$-\hat{f}_k^i - \hat{y}_{k1}^i \hat{U}_1^i = \sum_{l=2}^N \hat{y}_{kl}^i \hat{U}_l^i, \quad k \in \{2, 3, \dots, N\} \text{ i } k \notin \alpha_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} \cup \alpha_{P_{\Sigma}V_{sim}} \quad (12)$$

$$-\hat{f}_k^o - \hat{y}_{k1}^o \hat{U}_1^o = \sum_{l=2}^N \hat{y}_{kl}^o \hat{U}_l^o, \quad k \in \{2, 3, \dots, N\} \text{ i } k \notin \alpha_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} \cup \alpha_{P_{\Sigma}V_{sim}} \quad (13)$$

Model se sada svodi na $(N - 1 + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}} + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}I} + N_{3PQ})$ nelinearnih realnih jednačina i $2(N - 1 - N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} - N_{P_{\Sigma}V_{sim}})$ kompleksnih linearnih jednačina. Rešavanje ovih jednačina dobija se $(N - 1 + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}} + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} + N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}I} + N_{3PQ})$ realnih veličina direktnog redosleda i $2(N - 1 - N_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} - N_{P_{\Sigma}V_{sim}})$ kompleksnih veličina inverznog i nultog redosleda.

U kraćem obliku model se može zapisati:

$$(\Delta S^d)^h = JAC^h(\Delta X^d)^h \quad (14)$$

$$(f^i)^h = \hat{f}^i(\hat{X}^i)^{h+1} \quad (15)$$

$$(f^o)^h = \hat{f}^o(\hat{X}^o)^{h+1} \quad (16)$$

Postupak proračuna tokova snaga se ponavlja sve dok model ne konvergira i ispuni sledeće uslove:

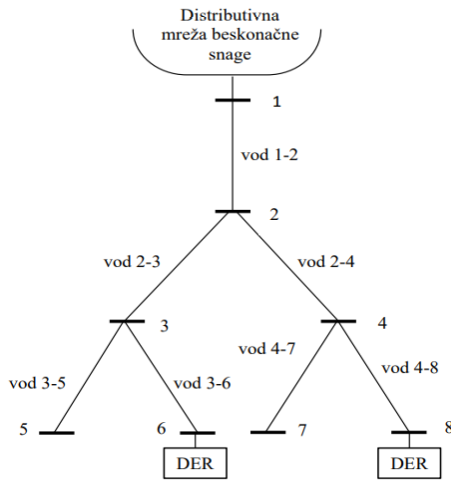
$$(\Delta \theta_k^d)^h < \varepsilon_1, \quad k \in \{2, 3, \dots, N\} \quad (17)$$

$$(\Delta U_k^d)^h < \varepsilon_2, \quad k \in \left\{ \alpha_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}} \cup \alpha_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}V_{sim}} \cup \alpha_{P_{\Sigma}Q_{\Sigma}I} \cup \alpha_{3PQ} \right\} \quad (18)$$

7. REZULTATI PRORAČUNA TOKOVA SNAGA

1.1 Projektni zadatak

U ovom radu za proračun nesimetričnih tokova snaga distributivnih mreža sa distributivnim generatorima zasnovanim na uređajima energetske elektronike analizira se trofazna mreža koja ima osam čvorova i sedam vodova. Njena konfiguracija je prikazana na slici 2.



Slika 2 – Konfiguracija mreže

Mreža se napaja iz korena mreže, koji je povezan na mrežu beskonačne snage.

Prvi čvor je balansni, tipa $3\theta V$, čvorovi 2, 3, 4, 5 i 7 su potrošački, tipa $3PQ$, a generatorski čvorovi su 6 i 8 tipa

$P_{\Sigma}V$ i $P_{\Sigma}Q_{\Sigma}I$. Svi vodovi su jednakih dužina po 1 km i jednakih parametara koji su dati u tabeli 2.

Tabela 2 – Podaci o vodovima

$r^d = r^i$	$x^d = x^i$	$g^d = g^i$	$b^d = b^i$	r^o	x^o	g^o	b^o
$\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	$\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	$\left[\frac{S}{km}\right]$	$\left[\frac{\mu S}{km}\right]$	$\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	$\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	$\left[\frac{S}{km}\right]$	$\left[\frac{\mu S}{km}\right]$
0,40	0,36	0,00	300,00	2,00	1,80	0,00	60,00

Ovi podaci omogućavaju formiranje matrice admitansi sva tri redosleda, što je urađeno na osnovu [3]. Režim mreže je nesimetričan zbog nesimetrije napona faza balansnog čvora i različitih vrednosti snaga po fazama potrošačkog područja. Potrebni podaci se nalaze u narednim tabelama. Modul i ugao napona balansnog čvora faze A su: 20,00 kV i 0°, faze B: 20,50 kV i -115°, faze C: 21,00 kV i -220°.

Tabela 3 – Podaci o klasičnom DER

S_n [MW]	Vn [kV]	x^d [%]	x^i [%]	x^o [%]
5	20	110	20	10

Tabela 4 – Podaci o potrošačkom području

P_a	P_b	P_c	Q_a	Q_b	Q_c
[MW]	[MW]	[MW]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
1,50	1,00	0,50	0,75	0,50	0,25

U čvoru 6 su trofazna aktivna snaga i direktna komponenta napona redom jednake $P_{\Sigma} = 1 MW$ i $U^d = 20 500 V$. U čvoru 8 trofazna aktivna i reaktivna snaga su $P_{\Sigma} = 1 MW$ i $Q_{\Sigma} = 0,5 MVar$.

2.1 Rezultati proračuna

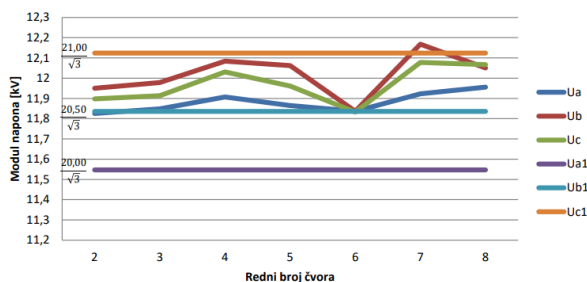
Cilj proračuna tokova snaga je da se izračunaju nepoznate veličine vektora stanja. Proračun se završava kada se zadovolje kriterijumi konvergencije, a u ovom slučaju je bilo neophodno šest iteracija. Vrednosti modula i uglova napona po fazama za svaki čvor u poslednjoj iteraciji su predstavljene u tabeli 5 i grafički na slici 3.

Tabela 5 – Vrednosti faznih napona po čvorovima

Redni broj čvora	U_a	θ_a	U_b	θ_b	U_c	θ_c
	[kV]	[°]	[kV]	[°]	[kV]	[°]
2	11,826	0,713	11,950	-118,900	11,898	121,073
3	11,848	1,388	11,978	-118,251	11,913	121,797
4	11,907	0,806	12,084	-118,602	12,031	121,226
5	11,865	1,331	12,062	-118,122	11,961	121,980
6	11,837	2,186	11,837	-117,853	11,833	122,160
7	11,923	0,749	12,168	-118,479	12,078	121,409
8	11,956	1,019	12,050	-118,550	12,067	121,017

Najveće odstupanje modula napona faze A u odnosu na nominalni napon mreže i napon balansnog čvora je u generatorskom čvoru 8 i on je viši za 3,54 %. Modul napona faze B u čvoru 7 je za 5,38 % viši u odnosu na nominalni napon, a za 2,80 % viši u odnosu na napon balansnog čvora.

U čvoru 6 je najniži modul napona faze C u odnosu na napon balansnog čvora i on za 2,40 % ima manju vrednost. Vidi se da su vrednosti u sve tri faze dosta bliske zadatom naponu u ovom čvoru. U čvoru 7 napon za 4,60 % viši u odnosu na nominalni napon. Može se zaključiti da su moduli napona u opsegu oko 5,50 % u odnosu na nominalni napon mreže, a oko 3,00 % u odnosu na napone balansnog čvora.



Slika 3 – Vrednosti modula napona po čvorovima

Uglovi napona faza A i B se razlikuju samo za par stepeni od uglova napona balansnog čvora, dok je u fazi C dosta veća razlika. Primeni se da su te vrednosti dosta slične, uz ne veća odstupanja od po $1,5^\circ$ u svakoj fazi.

Dobijene vrednosti struja po fazama u poslednjoj iteraciji postupka se mogu očitati u tabeli 6.

Tabela 6 – Vrednosti faznih struja po čvorovima

Redni broj čvora	I_a [A]	θ_a [°]	I_b [A]	θ_b [°]	I_c [A]	θ_c [°]
2	61,948	-25,305	122,714	-132,494	109,855	94,239
3	61,835	-24,595	122,539	-131,793	109,615	94,891
4	60,991	-25,059	121,601	-132,441	108,938	94,412
5	61,215	-24,316	122,233	-131,805	109,222	94,861
6	242,993	69,777	215,388	-21,012	300,642	-151,179
7	60,379	-24,785	121,308	-132,452	108,557	94,380
8	30,994	-25,402	30,994	-145,402	30,994	94,597

Vrednosti modula struja u potrošačkim čvorovima imaju približne vrednosti po svakoj fazi, koje se razlikuju najviše do $1,5 A$. U generatorskom čvoru 6, koji je upravljačke strategije $P_\Sigma V$, moduli struja su redom po fazama oko 4,2 i 3 puta veće od modula struja potrošačkih čvorova. Čvor 8 je generatorski, tipa $P_\Sigma Q_\Sigma I$, što znači da su struje inverznog i nultog redosleda jednake $0 A$. U faznom domenu moduli struja su nekoliko puta manji u odnosu na struje u potrošačkim čvorovima. Moduli struja u sve tri faze imaju identične vrednosti, odnosno po $30,994 A$

Uglovi struja u potrošačkim područjima takođe imaju približne vrednosti po fazama. Približne vrednosti su i u čvoru 8, ali nešto niže u fazama A i B u odnosu na potrošačke čvorove. U čvoru 6 su uglovi pomereni za oko 95° u fazi A u odnosu na ostale čvorove, u fazi B su pomereni za oko 118° , dok je u fazi C najveća promena i iznosi oko 245° .

8. ZAKLJUČAK

Poslednjih decenija, usled klimatskih promena, uvođenjem distribuiranih energetske resursa, došlo je do velikih promena u elektroenergetskim sistemima. Sada mreže bivaju nesimetrične, a tokovi snaga mogu biti i dvosmerni. Distribuirani energetske resursi imaju upravljačke strategije koje se dosta razlikuju od tradicionalnih mašina, jer imaju mogućnost da kontrolišu inverzne komponente struja u nesimetričnim režimima, ali i da održavaju simetrične napone trofaznog čvora u nesimetričnom režimu. Zbog toga su uvedeni i novi tipovi čvorova.

Cilj rada bio je da se postupkom za proračun nesimetričnih tokova snaga sa distributivnim generatorima odrede nepoznate varijable stanja, jer se dalje na osnovu njih

moгу izračunati sve ostale potrebne veličine. Data je mreža koja se sastoji od osam čvorova, od toga je prvi čvor balansni, dva su generatorska i ostali čvorovi su potrošački. Postupak za proračun tokova snaga je razvijen u programskom jeziku Fortran. Izračunati su naponi i struje u faznom domenu i predstavljeni preko modula i uglova. Uglovi napona su približnih vrednosti kao i uglovi balansnog čvora u fazama A i B, uz razlike u fazi C, dok se moduli razlikuju i oni su uglavnom u opsegu između $\frac{20,50}{\sqrt{3}} kV$ i $\frac{21,00}{\sqrt{3}} kV$. U čvoru tipa $P_\Sigma V$ sve tri faze imaju približne vrednosti. Moduli struja u potrošačkim čvorovima imaju slične vrednosti. Isti slučaj važi i za uglove struja. U generatorskim čvoru $P_\Sigma V$ struje rastu i do nekoliko puta u odnosu na potrošačke, a uglovi se pomeraju drastično u svakoj fazi. U generatorskom čvoru $P_\Sigma Q_\Sigma I$ moduli padaju, a uglovi su slični kao u potrošačkim čvorovima. Razlog za to leži u činjenici da je moguće kontrolisati inverznu komponentu struje i u nesimetričnim režimima.

9. LITERATURA

- [1] Nikola Vojnović, „Proračun tokova snaga neuravnoteženih mreža sa energetske resursima priključenim na mrežu preko uređaja energetske elektronike“, Novi Sad 2018.
- [2] Luka Strezoski, „Modelovanje i fundamentalni proračuni aktivnih distributivnih mreža“, ISBN 978-86-6022-352-6, Izdavač: Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2021 (Novi Sad : FTN, Grafički centar GRID); (Polje rezultata: Tehničko-tehnološke nauke)
- [3] Vladimir Strezoski, „Osnovni proračuni elektroenergetskih sistema. Tom 1, Elementi“, Novi Sad 2017.

Kratka biografija:



Tijana Terzić rođena je u Loznici 1997. godine. Osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu završila je 2020. godine.