

PRORAČUN TOKOVA SNAGA U RADIJALNIM DISTRIBUTIVNIM ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA UNUTAR PROGRAMSKOG PAKETA MS OFFICE®

Mr. sc. Borko Frühwirth, Zagreb

UDK 621.396:681.32
STRUČNI ČLANAK

U radu se opisuje uporaba programskog alata Excel®, unutar MS Office® programskog paketa, za proračun tokova snaga u radijalnim mrežama. Program daje zadovoljavajuće rezultate uz prihvatljivo vrijeme računanja, a omogućava relativno jednostavno uključivanje rezultata u dokumente izrađene unutar ostalih programskih alata MS Office®-a. Osnovna ideja članka je poticanje šire stručne javnosti na korištenje mogućnosti koje nam pružaju uobičajeno korišteni programski alati.

Ključne riječi: razdjelne mreže, tokovi snaga, EXCEL®, MS Office®, VBA® (Visual Basic for Applications).

Uvod

Prilikom izrade studija i projekata u području elektroenergetike potrebno je izvršiti veliki broj složenih proračuna. Ti proračuni su najčešće iterativni postupci s velikim brojem ulaznih i izlaznih podataka te nerijetko i velikim brojem iteracija. Ponekad ih je potrebno ponoviti i više puta kako bi se odredilo koja oprema zadovoljava zahtjeve na mjestu ugradnje. Na tržištu postoji određen broj specijaliziranih programskih paketa koji pokrivaju veća ili manja područja proračuna, no oni su obično vrlo skupi i nisu lokalizirani. Prilikom razmatranja investicije u jedan takav proizvod treba računati i s potrebnim vremenom za upoznavanje s novim programskim paketima, koji su u pravilu vrlo složeni i gotovo uvijek relativno loše dokumentirani na stranom jeziku. Treba računati i na troškove lokalizacije koji se u pravilu svode na vrijeme potrebno da se rezultati koji su obično na engleskom jeziku prevedu i uvrste u studiju, odnosno projektnu dokumentaciju, ali i na eventualno usklađivanje sa zakonskom regulativom. Prije desetak godina, kad su osobna računala počela ulaziti u svakodnevni život i kad je programiranje bilo jednostavnije, te kad se nije očekivao vrhunski izgled programa i izlaznih rezultata, napredni korisnici su izrađivali "jednostavnije" programe za vlastite potrebe. Nestajanjem jednostavnijih operativnih sustava, a time i uz njih vezanih programskih jezika, te porastom očekivanja od programa javio se problem da je za izradu nekad manjih programa potrebno dobro poznavanje nekog programskog jezika, ali i problema na kojem se radi te da je za izradu gotovo bilo kojeg programa za proračune u elektroenergetici potrebno organizirati tim stručnjaka i

programera koji će sudjelovati na projektu izrade specijaliziranog programa. I tu još nije kraj problema jer je za svaku eventualnu naknadnu promjenu, kao što je izmjena izgleda izvješća s rezultatima, potrebno ponovno uposliti cijeli taj tim koji možda više i nije na okupu. Druga je mogućnost da netko tko dobro poznaje problem o kojem se radi, ali i tehnike programiranja uključujući i programski jezik i operativni sustav, te uložiti puno vremena i entuzijazma kako bi program izradio. Što je alternativa? Za jedan veliki dio proračuna u elektroenergetici alternativa se može naći unutar programskog paketa MS Office®. Prvenstveno se tu misli na programe MS Excel® i Access®. S obzirom da će za većinu korisnika, ali i problema biti prihvatljiviji MS Excel®, u nastavku će biti govora samo o tom programu. MS Excel® je danas uredski standard za proračunsku tablicu i gotovo svatko se susreo s radom u njoj. Ono što je vjerojatno svima poznato, ali što koristi relativno mali dio korisnika je Visual Basic for Applications® (VBA). VBA® je programski jezik implementiran u sve programe MS Office®-a, pa tako i u MS Excel®. Ovo nam omogućava da neke složenije proračune, koje zbog njihove složenosti ne možemo provesti u proračunskoj tablici izvršimo u VBA®, a da proračunsku tablicu koristimo kao alat za unos podataka, formatiranje izlaznih rezultata, jednostavnije proračune koji se trebaju izvršiti nad ulaznim i izlaznim podacima i sl. Na ovaj način "programer", koji sad ne mora posjedovati opsežno znanje o programskom jeziku, može punu pažnju posvetiti izradi algoritma i na relativno lak i brz način izraditi program potpuno prilagođen potrebama. I prerade programa su naravno jednostavnije, jer naprimjer promjenu izgleda završnog izvješća, odnosno prevođenje

može napraviti tajnica, odnosno prevodilac. Nadalje je potrebno istaknuti odličnu kompatibilnost s drugim aplikacijama u programskom paketu MS Office[®], pa tako i sa MS Word[®]-om. Koji su nedostaci? Jedan od njih je svakako taj da ovakve aplikacije nisu pogodne za komercijalnu upotrebu, a drugi je da je VBA[®] interpreter i samim time relativno spor programski jezik te nije pogodan za neke tipove proračuna. U svakom slučaju prije odluke o nabavi nekog komercijalnog programskog paketa trebalo bi razmisliti mogu li se potrebe zadovoljiti unutar programskog paketa, koji je instaliran na gotovo svakom računalu, ukoliko se uloži, možda čak i manje truda nego što je potrebno za upoznavanje s ciljanim specijalističkim programskim paketom.

U nastavku je obrađen problem proračuna tokova snaga u distributivnim radijalnim mrežama uz primjenu programa MS Office[®].

1. METODE PRORAČUNA TOKOVA SNAGA U DISTRIBUTIVNIM RADIJALNIM MREŽAMA

Distributivne elektroenergetske mreže su općenito radijalne, a omjer R/X je vrlo velik. Zbog toga uobičajene metode proračuna tokova snaga u distributivnim radijalnim mrežama u kojima je pad napona od početnog do krajnjeg čvora velik, kao što je Newton-Raphson-ova metoda, nisu učinkovite.

Razni autori [5], [6] predlagali su modificirane verzije uobičajenih metoda za proračun tokova snaga distributivnih elektroenergetskih mreža. Tek u zadnje vrijeme pojavljuju se metode specijalizirane za rješavanje distributivnih mreža. U [1] nabrojani su autori nekih metoda i ukratko su opisane njihove metode. Svaka od tih metoda ima svojih pozitivnih i negativnih strana. Zajedničko im je da su sve one primjenjivane na većim računalima, te da rade s realnim brojevima. Ideja ovog rada je odabir metode koja će biti primjenjiva unutar programskog paketa MS Office[®] i na malim džepnim računalima.

U slučaju kad su radijalni distributivni elektroenergetski vodovi vrlo dugački, premda je područje regulacije veliko, naponi na krajnjim čvorovima znatno su manji od nazivnih. Klasične metode proračuna tokova snaga u ovakvim situacijama vrlo često divergiraju, te nisu pogodne za proračun. Ovaj je rad iniciran s idejom da se napravi algoritam koji će konvergirati u bilo kojoj situaciji, a koji će biti vrlo jednostavan, te zahtijevati što manje memorije i snage procesora. Algoritam je zasnovan na algoritmu prikazanom u članku "Novel method for solving radial distribution networks" [1], u kojem je razrađen problem proračuna tokova snaga u rural-

nim dijelovima Indije. U prethodno navedenom članku, [1], zanemaren je kut napona, odnosno napon je predstavljen samo svojim modulom, što ne unosi znatniju pogrešku. U ovdje opisanom programu ovo zanemarenje nije primijenjeno nego su proračuni rađeni u kompleksnoj domeni.

Metoda se sastoji u tome da se kreće od krajnjeg čvora prema prvom, te da se, pomoću pretpostavljenog napona, izračunavaju gubici u pojedinim granama i ukupna snaga koja prolazi kroz taj čvor i granu koja ga napaja. Zatim se vraća od prvog čvora i na osnovi prije izračunatih snaga i gubitaka u pojedinim granama računaju se padovi napona na pojedinim vodovima i naponi čvorova. Time završava jedna iteracija. Postupak se ponavlja dok razlika napona čvorova između dvije iteracije nije manja od željene točnosti. Nakon što je željena točnost postignuta, izračunavaju se gubici u grana i snaga koja prolazi kroz čvorove te se formiraju rezultantne matrice s tim vrijednostima.

Označavanje čvorova i grana preuzeto je iz prije navedenog članka u kojem je razvijena jedinstvena metoda označavanja kako bi se smanjile potrebe unošenja i pohrane podataka. Time se smanjilo vrijeme potrebno za unošenje podataka u računalo kao i potrebna memorija za pohranu podataka. Tako je vrijeme proračuna, od unosa podataka do ispisa rezultata, znatno smanjeno.

2. ALGORITAM

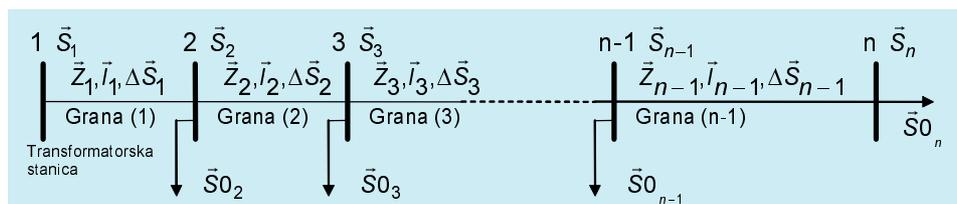
2.1. Pretpostavke

U proračunu tokova snaga je pretpostavljeno da se trofazna, po fazama jednoliko opterećena, radijalna distributivna elektroenergetska mreža može nadomjestiti ekvivalentnim jednofaznim modelom. Nadomještanje elektroenergetske mreže njenim jednofaznim modelom nije ovdje obrađeno (obrađeno je u [1], [2]).

2.2. Distributivni sustav od samo jedne napojne grane

2.2.1. Označavanje

Razmotrimo distributivni sustav od samo jedne napojne grane, koja se sastoji od n čvorova i $n-1$ grana, kao što je prikazano na sl. 1. Čvorove označimo brojevima od 1 do n , tako da je početni čvor onaj iz kojega se napaja mreža i za kojega možemo pretpostaviti da mu se napon ne mijenja u ovisnosti o opterećenju. Grane označimo isto brojevima od 1 do $n-1$ i to tako da grana završava u čvoru čiji je redni broj za jedan veći od broja grane.



Slika 1. Distributivni sustav od samo jedne napojne grane

2.2.2. Proračun

Za ovako definiran sustav vrijedi:

$$\vec{S}_n = \vec{S}0_n \quad \vec{S}_i = \vec{S}_i + \vec{S}0_i + \Delta\vec{S}_{i+1} \\ i = n-1, \dots, 1 \quad (\text{broj čvora}) \quad (1)$$

gdje je: $\vec{S}_i = \vec{P}_i + j\vec{Q}_i$ – Snaga koja prolazi kroz i -ti čvor

$$\vec{S}0_i = \vec{P}0_i + j\vec{Q}0_i \quad \text{– Snaga koju potrošači} \\ \text{preuzimaju iz } i\text{-tog čvora.}$$

Gubitke u pojedinim granama ($\Delta\vec{S}_i$) računamo jednadžbom:

$$\Delta\vec{S}_i = \Delta\vec{U}_i \cdot \vec{I}_i^* = \vec{Z}_i \cdot \vec{I}_i \cdot \vec{I}_i^* \quad \text{gdje je } i \text{ broj promatranog grane} \quad (2)$$

gdje je: \vec{I}_i – Struja koja prolazi kroz i -tu granu

$$\vec{Z}_i = \vec{R}_i + j\vec{X}_i \quad \text{– Impedancija } i\text{-te grane} \\ \Delta\vec{U}_i \quad \text{– Pad napona na } i\text{-toj grani.}$$

Struju koja prolazi kroz granu i , a ujedno i struju koja prolazi kroz $i+1$ čvor, izračunavamo pomoću jednadžbe:

$$\vec{I}_i = \left(\frac{\vec{S}_{i+1}}{\vec{V}_{i+1}} \right)^* \quad \text{gdje je } i \text{ broj promatranog grane} \quad (3)$$

$$\vec{V}_{i+1} = \vec{V}_i - \vec{I}_i \cdot \vec{Z}_i \quad i = n-1, \dots, 1 \text{ (broj čvora)} \quad (4)$$

gdje je: \vec{V}_i – Napon i -tog čvora

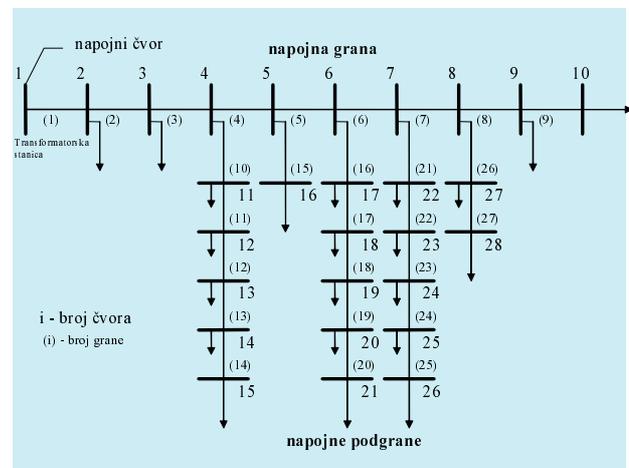
Najprije pretpostavimo da su svi naponi čvorova jednaki naponu prvog čvora. Pomoću tako pretpostavljenih napona izračunamo snage koje prolaze kroz pojedine čvorove (S_i). Ovaj proračun provodimo od zadnjeg čvora prema prvom čvoru koristeći jednadžbu (1). Gubitke na pojedinim vodovima izračunavamo jednadžbom (2). Nakon toga provodimo korekciju napona. Počevši od prvog čvora, a na osnovi prethodno izračunatih snaga koje prolaze kroz pojedine čvorove, pomoću jednadžbe (4) izračunavamo padove napona pojedinih grana i nove napone čvorova. Izračunavanjem novih vrijednosti za napone čvorova završava se prva iteracija i s tim vrijednostima napona ulazi se u drugu iteraciju. Ovaj postupak ponavljamo dok ne postignemo željenu točnost. Točnost određujemo kao razliku dobivenih vrijednosti između dviju iteracija. Možemo promatrati promjenu snage, struje ili napona.

2.3. Distributivni sustav s napojnom granom i podgranama

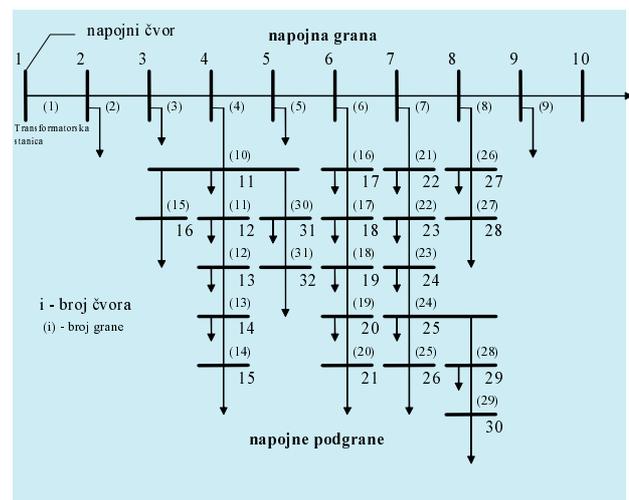
2.3.1. Označavanje

U slučaju distributivnog sustava s napojnom granom i napojnim podgranama situacija je praktički ista kao i kod jednostavnijeg, prije opisanog slučaja. Napojna grana je niz grana koje počinju u prvom čvoru (transformatorskoj stanici), a napojna podgrana je niz grana s

početkom na nekom od čvorova napojne grane ili napojne podgrane. Počinjemo prvo od napojne grane, te je označimo na prije opisani način (čvorove brojevima od 1 do n , a grane brojevima od 1 do $n-1$). Nakon toga označavanje nastavimo napojnom podgranom koja počinje na napojnoj grani, a na čvoru s najmanjim rednim brojem. Čvorove označavamo brojevima od $n+1$ do mn , a grane brojevima od n do $mn-1$. Označavanje nastavljamo sljedećom napojnom podgranom i tako dok ne označimo čitavu mrežu. Naročito je važno da napojne grane budu označene redom od manjih brojeva prema većima u smjeru od napojnog čvora (čvora broj 1, transformatorske stanice) do krajnjeg potrošača. Primjeri označavanja čvorova i grana dani su na sl. 2 i 3.



Slika 2. Označavanje mreže s napojnim podgranama



Slika 3. Označavanje mreže s napojnim podgranama

2.3.2. Proračun

Za ovakvu mrežu vrijede jednadžbe (1), (2), (3) i (4), iste kao i za prethodno obrađeni slučaj. Jedina je razlika što sad imamo napojnu granu i više napojnih podgrana.

Napojne podgrane promatramo isto kao i napojnu granu. Izračunavamo snagu koju napojna podgrana preuzima od napojne grane i onda tu snagu dodajemo napojnoj grani u čvoru gdje se napojna podgrana veže na napojnu granu. Zbog toga proračun moramo početi od krajnje napojne podgrane. Postupak je najbolje provoditi obrnutim redom od onoga kojim smo označavali mrežu. Nakon što smo izračunali snage koje prolaze kroz čvorove, potrebno je izračunati napone pojedinih čvorova s kojima ćemo ući u sljedeću iteraciju. Napone na čvorovima izračunavamo tako da od napona početnog čvora oduzimamo padove napona na grani koja ga povezuje sa sljedećim čvorom (jednadžba (4)). Pri tome koristimo struju koja prolazi kroz granu, a koju izračunavamo iz jednadžbe (3). Prvo izračunamo napone napojne grane, a onda prelazimo na napojne podgrane. Najbolje je postupak provoditi onim redom kako su grane označene. Na ovaj način izračunamo napone čvorova s kojima ulazimo u sljedeću iteraciju.

3. PROGRAM ZA IZRAČUNAVANJE TOKOVA SNAGA U RADIJALNIM DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

3.1. Ulazni podaci

Proračun tokova snaga u radijalnim distributivnim mrežama	
Investitor:	Investitor Adresa Grad Država
Izradio:	Projektna kuća Projektant
Datum:	01.01.04
Napojna TS:	TS1
Vod:	ZV1
Osnovni podaci:	
Napon napojnog čvora:	11 kV
Broj čvorova:	28 ⁽¹⁾
Broj grana:	27 ⁽²⁾
Broj podgrana:	5 ⁽³⁾
Željena točnost:	0,10000 V 0,00010 kV 0,00091 %
Broj iteracije:	5
Postignuta točnost:	0,00387 V 0,00000 kV 0,00387 %
Napomena:	
	⁽¹⁾ Uključujući i napojni
	⁽²⁾ Pojedinačnih grana
	⁽³⁾ Broj podgrana bez napojne grane
<input type="button" value="Pripremi za unos"/> <input type="button" value="Izračunaj"/>	

Slika 4. Prikaz tablice OP (osnovni podaci)

Ulazni podaci za program su sljedeći:

- snaga koju potrošači preuzimaju iz pojedinih čvorova
- impedancije pojedinih grana
- napon napojnog čvora (čvor broj 1)
- konfiguracija mreže
- željena točnost.

Prije pokretanja programa potrebno je kreirati tablice u kojima su ulazni podaci za proračun. Kad se program pokrene on će podatke iz tablica učitati u svoje interne varijable s kojima će obavljati proračun. Nakon završetka proračuna rezultate će pohraniti u rezultatne tablice. Da bi se olakšao postupak kreiranja tablica ulaznih podataka, napravljen je program koji generira ulazne tablice na osnovi osnovnih ulaznih podataka.

Na sl. 4 prikazana je osnovna tablica proračunske mape u kojoj su prikazani osnovni podaci proračuna i gumbi za pokretanje programa pripreme za unos podataka, te programa za izračun.

Snage koje potrošači preuzimaju iz pojedinih čvorova sastoje se od radne i jalove komponente. U programu se pretpostavlja da je ta snaga konstantna, što je uobičajena pretpostavka za ovakve tipove proračuna.

Snage koje potrošači preuzimaju iz pojedinih čvorova pohranjene u tablici **SKPPIC (Snage Koje Potrošači Preuzimaju Iz Čvorova** – izgled tablice je prikazan na sl. 5). U ovu tablicu se unose radne i jalove komponente snage koju potrošači uzimaju iz čvora u VA odnosno u W i VAR.

Čvor	Snaga	
	P[W]	Q[VAR]
1	0,00	0,00
2	35280,00	36000,00
3	14000,00	14280,00
4	35280,00	36000,00
5	14000,00	14280,00
6	35280,00	36000,00
7	35280,00	36000,00
8	35280,00	36000,00
9	14000,00	14280,00
10	14000,00	14280,00
11	56000,00	57130,00
12	35280,00	36000,00
13	35280,00	36000,00
14	14000,00	14280,00
15	35280,00	36000,00
16	35280,00	36000,00
17	8960,00	9140,00
18	8960,00	9140,00
19	35280,00	36000,00
20	35280,00	36000,00
21	14000,00	14280,00
22	35280,00	36000,00
23	8960,00	9140,00
24	56000,00	57130,00
25	8960,00	9140,00
26	35280,00	36000,00
27	35280,00	36000,00
28	35280,00	36000,00

Impedancije grana			
Grana	Impedancija		
	R [ohm]	X [ohm]	
1	1,1970	0,8200	
2	1,7960	1,2310	
3	1,3060	0,8950	
4	1,8510	1,2680	
5	1,5240	1,0440	
6	1,9050	1,3050	
7	1,1970	0,8200	
8	0,6530	0,4470	
9	1,1430	0,7830	
10	2,8230	1,1720	
11	1,1840	0,4910	
12	1,0020	0,4160	
13	0,4550	0,1890	
14	0,5460	0,2270	
15	2,5500	1,0580	
16	1,3660	0,5670	
17	0,8190	0,3400	
18	1,5480	0,6420	
19	1,3660	0,5670	
20	3,5520	1,4740	
21	1,5480	0,6420	
22	1,0920	0,4530	
23	0,9100	0,3780	
24	0,4550	0,1890	
25	0,3640	0,1510	
26	0,5460	0,2260	
27	0,2730	0,1130	

Slika 5. Tablice: SKPPIC (Snage Koje Potrošači Preuzimaju Iz Čvorova) i IG (Impedancije Grana)

Impedancije pojedinih grana su kompleksne veličine. Stvarne impedancije vodova potrebno je preračunati na određeni naponski nivo na kojem se obavlja proračun, što nije predmet ovog rada, ali može jednostavno biti riješeno kao dio tablice ulaznih podataka.

Impedancije pojedinih grana pohranjene u tablici IG (Impedancije Grana – izgled tablice je prikazan na sl. 5). U ovu tablicu se unose radne i jalove komponente impedancije grana u ohmima, svedeno na jedan naponski nivo.

Napon napojnog čvora (čvor broj 1) je napon u početnom čvoru. Pretpostavka je da je regulacija, odnosno mreža iz koje se napaja početni čvor takva da je taj napon konstantan.

Napon napojnog čvora (čvor broj 1) upisuje se u tablicu OP (Opći Podaci – izgled tablice je prikazan na sl. 4) zadan je kao realan broj. Napon se zadaje u kV. Jednostavnim zahvatom u programu mogla bi se stimulirati i regulacija u napojnom čvoru ili u čvoru koji se nalazi odmah iza njega uz pretpostavku da je prva grana u stvari regulacijski transformator.

Konfiguracija mreže je opisana pomoću tablice koja se sastoji od tri stupca i onoliko redova koliko mreža ima napojnih grana i podgrana. U prvom stupcu je broj čvora u kojemu grana počinje, u drugom je prvi sljedeći čvor nakon čvora iz kojeg je napojna grana ili podgrana krenula, a u trećem stupcu je zadnji čvor na grani, odnosno podgrani. Na sl. 6 prikazana je konfiguracija mreže za mrežu sa sl. 2, a u tabl. 1 prikazana je konfiguracija mreže za mrežu sa sl. 3.

Tablica 1. Tablica konfiguracije mreže za distributivnu mrežu na sl. 3

	Polazni čvor	Čvor odmah iza početnog	Krajnji čvor
NG	1	2	10
NPG	4	11	15
NPG	10	16	16
NPG	10	31	32
NPG	6	17	21
NPG	7	22	26
NPG	25	29	30
NPG	8	27	28

U računalu konfiguracija mreže je pohranjena u tablicu KM (Konfiguracija Mreže). Nakon pokretanja programa ova se tablica učitava u matricu cijelih brojeva. Kao što je već prije navedeno na sl. 6 prikazana je tablica KM za konfiguraciju distributivne mreže na sl. 2.

Konfiguracija mreže				
	Početni čvor	Čvor poslije početnog	Krajnji čvor	
Napojna grana		1	2	10
Podgrana	1	4	11	15
	2	5	16	16
	3	6	17	21
	4	7	22	26
	5	8	27	28

Slika 6. Tablica konfiguracije radialne mreže prikazane na sl. 2

Željena točnost je apsolutna vrijednost razlike promatrane veličine između pojedinih iteracija. Kad ta vrijednost postane manja od zadane vrijednosti, onda je iterativni postupak završen. Zadana vrijednost željene točnosti je realna veličina i zadana je u tablici OP (Opći Podaci – izgled tablice je prikazan na sl. 4).

3.2. Izlazni podaci

Kao rezultat program daje sljedeće podatke:

- napone pojedinih čvorova
- snage koje prolaze kroz pojedine čvorove
- gubitke po granama
- broj iteracije nakon koje je postignuta željena točnost.

Program rezultate, osim broja iteracija, pohranjuje u određene proračunske tablice koje su unaprijed definirane. S obzirom da program samo upisuje rezultate u već za to pripremljene tablice postoji mogućnost prevođenja tablica, daljnjeg korištenja rezultata, te oblikovanja istih na nivou korisnika proračunske tablice bez ulaženja u program i mijenjanja programskog koda.

Prilikom oblikovanja proračunskih tablica dopušteno je gotovo sve osim dodavanja i izbacivanja kolona i redova prije prostora predviđenog za unos podataka i ispis rezultata, te mijenjati nazive pojedinih tablica. Navedeno je bitno stoga što se program veže na apsolutne koordinate i nazive tablica i ukoliko dođe do promjene naziva tablica, odnosno pozicije ulaznih podataka, doći će do pogreške u programu ili krivog interpretiranja ulaznih podataka.

Naponi pojedinih čvorova su izlazni podaci programa koji se spremaju u rezultatnu tablicu **NC** (Naponi Čvorova). Tablica je prikazana na sl. 7, na kojoj su prva

Unutar proračunske tablice moguća je izrada grafikona na korisničkom nivou te je rezultate moguće vrlo jednostavno prikazati grafički. Na sl. 8 prikazani su grafički naponi pojedinih čvorova, ali tako da se vidi grananje mreže. Na osi "x" su čvorovi napojne grane s kojih se odvajaju ostale grane koje su prikazane u raznim bojama, a na osi "y" je napon u kV, a time da su crvenim linijama označeni limiti napona (u ovom slučaju sasvim proizvoljno na 11 kV i na $0,9 \cdot 11$ kV).

Nakon zadnje iteracije izračunavaju se **snage koje prolaze kroz pojedine čvorove** i **gubici po granama**. Snage koje prolaze kroz pojedine čvorove pohranjuju

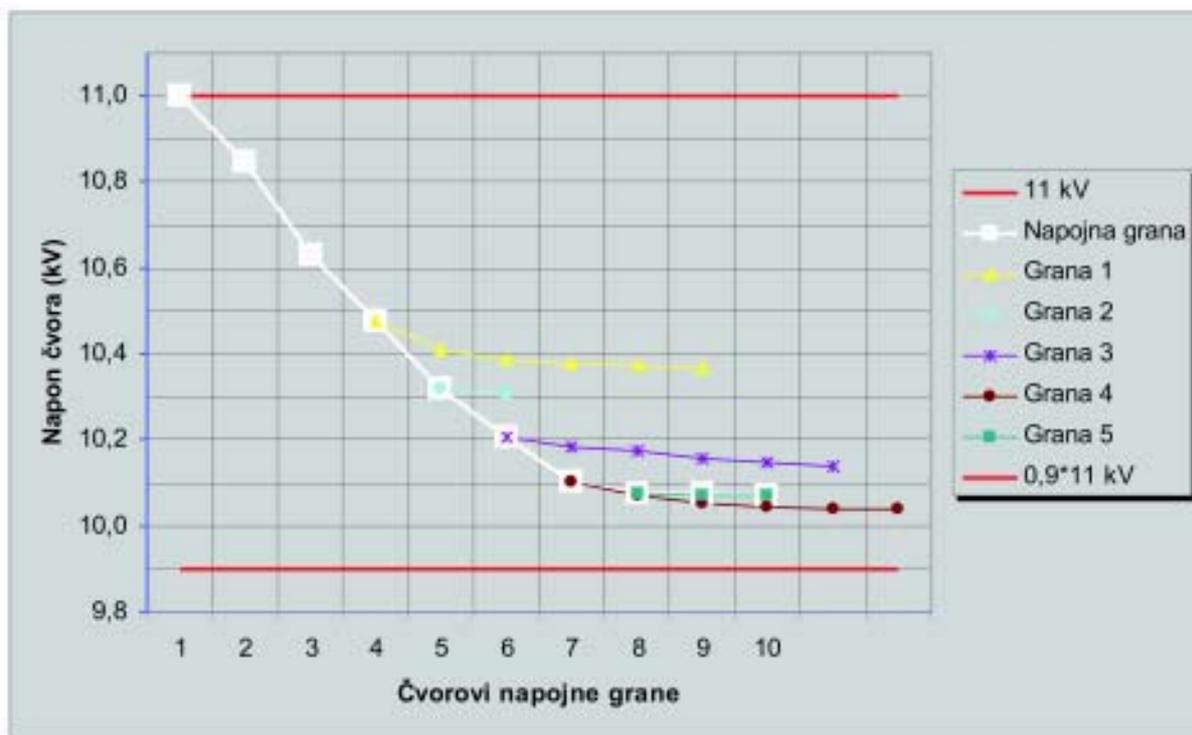
Naponi čvorova - rezultat proračuna

Čvor	Napon		Napon			
	Re(U) [V]	Im(U) [V]	U [V]	U [kV]	Ui/U1 [%]	1-Ui/U1 [%]
1	11000,00	0,00	11000	11,00	100,0%	0,00%
2	10848,38	27,65	10848	10,85	98,6%	1,38%
3	10630,76	67,14	10631	10,63	96,6%	3,35%
4	10475,46	95,32	10476	10,48	95,2%	4,76%
5	10319,35	123,46	10320	10,32	93,8%	6,18%
6	10203,22	144,35	10204	10,20	92,8%	7,23%
7	10102,04	162,49	10103	10,10	91,8%	8,15%
8	10074,93	167,37	10076	10,08	91,6%	8,40%
9	10071,84	167,92	10073	10,07	91,6%	8,43%
10	10069,13	168,41	10071	10,07	91,6%	8,45%
11	10407,07	123,37	10408	10,41	94,6%	5,38%
12	10387,50	131,40	10388	10,39	94,4%	5,56%
13	10375,81	136,19	10377	10,38	94,3%	5,67%
14	10372,71	137,45	10374	10,37	94,3%	5,69%
15	10370,05	138,54	10371	10,37	94,3%	5,72%
16	10306,86	128,59	10308	10,31	93,7%	6,29%
17	10183,46	152,37	10185	10,18	92,6%	7,41%
18	10172,65	156,76	10174	10,17	92,5%	7,51%
19	10154,16	164,27	10155	10,16	92,3%	7,68%
20	10144,65	168,13	10146	10,15	92,2%	7,76%
21	10137,62	170,98	10139	10,14	92,2%	7,83%
22	10070,13	175,38	10072	10,07	91,6%	8,44%
23	10053,09	182,25	10055	10,05	91,4%	8,59%
24	10040,06	187,50	10042	10,04	91,3%	8,71%
25	10037,18	188,66	10039	10,04	91,3%	8,74%
26	10035,34	189,40	10037	10,04	91,2%	8,75%
27	10069,45	169,59	10071	10,07	91,6%	8,45%
28	10068,08	170,15	10070	10,07	91,5%	8,46%
		Umin	10037	10,04	91,2%	
					dUmax	8,75%

Slika 7. Rezultat proračuna: tablica NC (Naponi Čvorova)

dva stupca rezultati proračuna, a druga dva se izračunavaju iz prva dva unutar proračunske tablice. Stupci koji su izračunati unutar proračunske tablice označeni su žutom bojom.

se u tablicu **SKPKC** (Snage Koje Prolaze Kroz Čvorove), a gubici po granama u tablicu **GPG** (Gubici Po Granama). Tablice su prikazane na sl. 9.



Slika 8. Grafički prikaz napona na čvorovima

Snage koje prolaze kroz čvorove - rezultat proračuna

Čvor	Snaga	
	P[VA]	Q[VA]
1	829867,21	822547,21
2	816361,26	813295,01
3	762550,59	764593,87
4	735570,07	741418,34
5	513054,80	518780,68
6	457496,44	464216,22
7	315236,85	320769,57
8	133916,36	136595,62
9	28004,51	28563,09
10	14000,00	14280,00
11	176332,00	179614,12
12	120009,75	122350,49
13	84593,86	86294,07
14	49292,90	50285,36
15	35280,00	36000,00
16	35280,00	36000,00
17	102920,84	104742,91
18	93818,96	95544,02
19	84639,62	86313,05
20	49293,82	50285,73
21	14000,00	14280,00
22	144955,94	147607,55
23	109412,36	111498,20
24	100267,22	102281,30
25	44249,18	45143,81
26	35280,00	36000,00
27	70566,84	72002,83
28	35280,00	36000,00

Gubici po granama - rezultat proračuna

Grana	Gubici	
	P[VA]	Q[VA]
1	13505,95	9252,20
2	18530,67	12701,14
3	12980,52	8895,54
4	9252,18	6338,07
5	6217,39	4259,15
6	3774,77	2585,86
7	431,40	295,53
8	10,30	7,05
9	4,51	3,09
10	1651,08	685,47
11	322,25	133,64
12	135,89	56,42
13	20,96	8,71
14	12,90	5,36
15	60,98	25,30
16	283,98	117,87
17	141,88	58,90
18	219,35	90,97
19	65,80	27,31
20	13,82	5,73
21	653,15	270,88
22	263,59	109,34
23	185,14	76,90
24	18,04	7,49
25	9,18	3,81
26	54,72	22,65
27	6,84	2,83

Slika 9. Rezultati proračuna: tablica SKPKC (Snage Koje Prolaze Kroz Čvorove) i tablica GPG (Gubici Po Granama)

Program izračunava i *struje koje prolaze pojedinim granama* i sprema ih u tablicu SPG (Struje Po Granama). S obzirom da je struktura tablice gotovo identična već spomenutim tablicama SKPKC (Snage Koje Prolaze

Kroz Čvorove) i GPG (Gubici Po Granama) ova tablica nije prikazana.

Nakon završetka izvođenja programa u tablicu OP (Opći Podaci – izgled tablice je prikazan na sl. 4) pohranjuju

se podaci o tome koliko je iteracija trebalo da se postigne tražena točnost te kolika je bila najveća promjena od prethodne iteracije.

3.3. Program za izračunavanje tokova snaga u radijalnim distributivnim mrežama

Kako bi se pokrenuo program za izračunavanje tokova snaga unutar programske tablice potrebno je prvo upisati poznate podatke unutar tablice **OP (Opći Podaci – izgled tablice je prikazan na sl. 4)**. Nakon toga se pritiskom na gumb "Pripremi za unos" pokreće program koji na temelju zadanih podataka priprema sve tablice za unos podataka upisujući redne brojeve čvorova i grana. Upisom tablica: : **SKPPIC (Snage Koje Potrošači Preuzimaju Iz Čvorova), IG (Impedancije Grana) i KM (Konfiguracija Mreže)** završava upis svih potrebnih podataka i pritiskom na gumb "Izračunaj" počinje proračun. Rezultati se ispisuju u tablice u skladu s prethodno navedenim.

Nakon završetka proračuna rezultate je moguće urediti po potrebi, a ponovni proračun neće promijeniti izgled tablice, nego samo vrijednosti pojedinih ćelija. Moguće je rezultate vezati na neku drugu tablicu te dobiti cjelovito izvješće u obliku jedne tablice.

3.4. Rezultati proračuna promatrani na primjeru

Kao što je već prije rečeno, iteracijski postupak se ponavlja dok apsolutna vrijednost napona ne postane manja od neke unaprijed zadane točnosti. Osim napona mogla bi se promatrati snaga u bilo kojem čvoru ili gubici u pojedinoj grani. Napon je odabran zbog jednostavnosti i zbog toga što se ovim postupcima vrlo često izračunavaju naponi u pojedinim čvorovima. Ti su podaci obično početne vrijednosti za proračun kratkog spoja u mreži.

Rezultati proračuna su promatrani na primjeru koji je obrađen i u [1]. Konfiguracija mreže promatranog primjera prikazana je na sl. 2.

Ulazni podaci za primjer prikazan na sl. 2. Napon napojnog čvora $V_0 = 11kV$ i zadana vrijednost željene točnosti $ACC = 0,1V$ prikazane su u tablici na sl. 4. Snage koje potrošači preuzimaju iz pojedinih čvorova prikazane su u tablici na sl. 5, kao i impedancije pojedinih grana.

Rezultati proračuna prikazani su na slikama 7 i 9. Željena točnost je postignuta nakon 5 iteracija, a razlika između zadnje dvije iteracije je iznosila 0,00386 V. Za potrebe praćenja iteriranja proračuna napravljan je podprogram koji je bilježio sve iteracije i zapisivao ih u posebnu varijablu. Naponi svih pet iteracija pohranjeni su u posebnu tablicu i analizirani. Iz provedene analize proizlazi da metoda vrlo brzo konvergira, te da je promjena napona već između druge i treće iteracije manja od 1%. Za neke grublje proračune zadovoljila bi i samo jedna iteracija, jer uvijek moramo imati na umu i točnost ulaznih parametara.

4. ZAKLJUČAK

U ovom članku obrađena su dva problema. Prvi je mogućnost iskorištavanja programa MS EXCEL[®], odnosno programskog jezika VBA[®] (Visual Basic for Applications[®]) za složene proračune elektroenergetskog sustava, a drugi je metoda proračuna radijalnih mreža.

MS EXCEL[®] se pokazao vrlo učinkovit alat za izradu malih programa u VBA[®] koji koriste podatke unesene u jednoj tablici kao ulazne podatke, te vraćaju rezultate u druge tablice. Prednosti su vrlo velika raširenost programa MS EXCEL[®], jednostavnost uporabe te mogućnost oblikovanja rezultata uz minimalno poznavanje programa. Kopiranje rezultata u novu tablicu, oblikovanje ispisa, stvaranje izvješća, razmjena podataka s drugim aplikacijama i dr. ograničeno je samo mogućnostima programa MS EXCEL[®]. Nedostatak ovdje prikazanog programa je njegova jednostavnost zbog koje ne posjeduje provjere ulaznih parametara, naprednog korisničkog sučelja i sličnih pogodnosti koje komercijalni programi nude. Daljnjom razradom bi se i u tom smislu program mogao nadograditi.

Ovdje obrađena metoda proračuna pokazala se vrlo učinkovitom. Ona u potpunosti iskorištava posebnosti radijalne distributivne elektroenergetske mreže. Metodom označavanja mreže količina podataka koju je potrebno unijeti u računalo smanjena je na minimum, što je rezultiralo smanjenjem vremena unosa podataka, racionalizacijom memorije i smanjenjem ukupnog vremena proračuna. Metoda konvergira u svim slučajevima, a konvergencija je vrlo brza. Kao što je prije rečeno za neke potrebe zadovoljavala bi i prva iteracija. S malom promjenom ovaj bi se program mogao koristiti za proračun struja i napona u niskonaponskoj mreži. U tom slučaju snage, koje potrošači uzimaju iz mreže, bi se mogle modelirati funkcijom bilo kakvog karaktera, pa i na taj način da na istoj mreži imamo potrošače raznih tipova.

Ovaj rad je izrađen prvenstveno kako bi se pokazale alternativne mogućnosti izrade srednje složenih proračuna i potaknula šira stručna javnost na razradu sličnih rješenja. Autor stavlja na raspolaganje proračunsku tablicu na adresi:

<http://free-zg.htnet.hr/bofruehw/energija/toksurm/>

LITERATURA

- [1] D. DAS, H. S. NAGI, D. P. KOTHARI: "Novel method for solving radial distribution networks", IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, No. 4, July 1994, pp. 291-298
- [2] J. GRAINGER, W. D. STIVENSON Jr.: "Power System Analysis", McGraw-Hill 1994
- [3] Dr. M. i K. OŽEGOVIĆ: "Električne mreže", Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, Split 1989.
- [4] MS EXCEL i MS VB Help

- [5] D. RAJICIC i A. BOSE: "A modification to the fast decoupled power flow for ill-conditioned power systems", IEEE Trans. 1988, PWRS-3, pp. 743-746
- [6] S. IWAMOTO i Y. TAMURA: "A load flow calculation method for ill-conditioned power systems", IEEE Trans. 1981, PAS-100, pp. 1736-1713
- [7] S. C. TRIPATHY, G. DURGAPARASAD, O. P. MALIK i G. S. HOPE: "Load flow solutions ill-conditioned power systems by a Newton like method", IEEE Trans. 1982, PAS-101, pp. 3648-3657
- [8] B. FRÜHWIRTH: "Load Flow Calculation in Radial Distribution Networks"; Energija; year 47; no. 1; February, 1998; page 23...28

CALCULATION OF LOAD FLOWS IN RADIAL DISTRIBUTION NETWORKS WITHIN PROGRAMME PACKAGE MS OFFICE

In the paper the usage of Excel programme within MS Office for load flow calculation in radial networks is described. The programme gives acceptable results and calculation time and a relatively simple incorporation of results in the documents made within other MS Office tools. The basic idea of the paper is to push wider professional public to use possibilities opened by commonly used programming tools.

DIE BERECHNUNG DER LEISTUNGSVERTEILUNG IN RADIALEN STROMNETZEN INNERHALB DES MS OFFICE PROGRAMMPAKETS

Beschrieben wird die Verwendung des, sich innerhalb des MS Office Programmpakets befindenden, Programmwerkzeuges Excel für die Berechnung der Leistungsverteilung in radialen Stromnetzen. Der Programm gibt zufriedenstellende Ergebnisse bei annehmbarer Berechnungszeit und ermöglicht verhältnismässig einfache Eingliederung dieser Ergebnisse in die, innerhalb anderer MS Office Programmwerkzeuge, erschaffenen Dokumente. Der Grundgedanke dieses Artikels war die breitere Fachöffentlichkeit zur Nutzung dargebotener Möglichkeiten üblich genutzter Programmwerkzeuge anzuregen.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Borko Frühwirth, dipl. ing.
Končar – inženjering za energetiku
i transport d.d.
Fallerovo šetalište 22,
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2004 – 03 – 22.