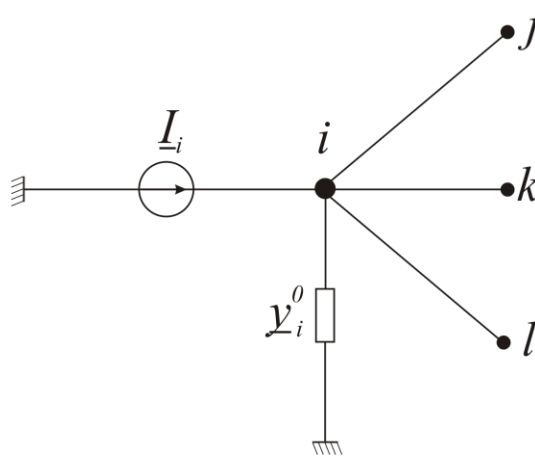


Iterativni metod proračuna radijalnih mreža u MATLAB softverskom alatu

Iterativni metod proračuna radijalnih mreža zasniva se na direktnoj primeni I i II *Kirchoff*-ovog zakona. Metod kao polazne podatke, osim podataka o parametrima elemenata mreže, koristi kao poznate aktivne i reaktivne snage opterećenja u potrošačkim čvorovima i napon napojnog čvora.

Raspodela struja u i -tom čvoru distributivne mreže prikazana je na Sl. 1.



Slika 1. Raspodela struja u i -tom čvoru distributivne mreže

$$\underline{I}_i^{(v)*} = \frac{\underline{S}_i}{\underline{U}_i^{(v-1)}} - y_i^0 \underline{U}_i^{(v-1)*} \quad (1)$$

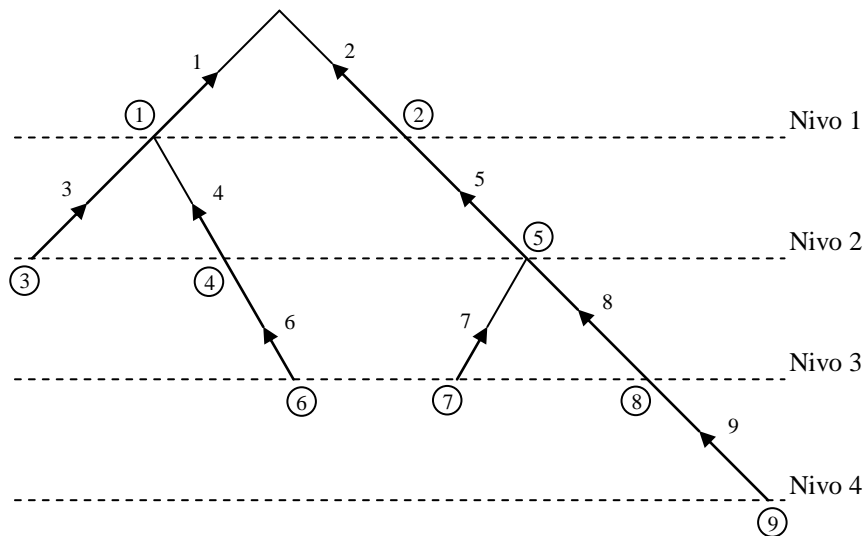
Da bi algoritam bio efikasan poželjno je (mada nije neophodno) da se izvrši numeracija kojom se grane raspoređuju po nivoima, kao što je prikazano na Sl. 2. Metod za numerisanje grana u radijalnoj distributivnoj mreži zasniva se na tome da se numerisanje svih grana u mreži vrši po nivoima, polazeći od početnog čvora mreže koji se nalazi u korenu stabla. Postupak teče tako što se prvo numerišu sve grane vezane za početni čvor. Numerisanje grana u sledećem nivou počinje tek pošto su numerisane sve grane iz prethodnog nivoa. Ukoliko se, nakon što je mreža već numerisana, ubaci ili izbaci iz mreže neka grana, nije potrebno vršiti ponovno numerisanje celokupne mreže, već samo onih grana koje se nalaze ispod one koja je ubačena, odnosno izbačena.

Nakon obavljene numeracije uvodi se polazna pretpostavka da su naponi u svim čvorovima mreže jednaki naponu napojnog čvora (kroz iterativni proces vrednosti napona se postupno menjaju, sve dok se ne odrede tačne vrednosti napona čvorova).

```

% Dodeljivanje pocetne vrednosti napojnom cvoru [r.j.]
Uo(1,1)=((1.03*4344+1.0*4416)/(4344+4416));
% imaginarna komponenta napona
Ui(1,1)=0;
% Naponi u svim cvorovima su jednaki naponu napojne tacke
for i=1:n
    U(i,1)=U(1,1);
    Ui(i,1)=0;
end

```



Slika 2. Način numeracije čvorova i grana radijalne distributivne mreže

Jedna iteracija proračuna, obeležena indeksom v , sastoji se od sledeća tri koraka:

1. korak

Proračun injektirane struje za svaki čvor mreže se radi prema sledećoj relaciji:

$$\underline{I}_i^{(v)} = \left(\frac{\underline{S}_i}{\underline{U}_i^{(v-1)}} \right)^* - \left(\sum \underline{y}_i^0 \right) \underline{U}_i^{(v-1)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

gde je:

$\underline{I}_i^{(v)}$ - struja injektiranja u čvoru i , u v -toj iteraciji,

$\underline{U}_i^{(v-1)}$ - napon čvora i u $(v-1)$ iteraciji,

\underline{S}_i - injektirana snaga u čvoru i ,

$\sum \underline{y}_i^0$ - suma admitansi svih otočnih elemenata u čvoru i ,

n – ukupan broj čvorova u mreži.

U opštem slučaju se u posmatranom čvoru imaju i otočne admitanse tako da je struja injektiranja, koja je od interesa za proračune tokova snaga u distributivnim mrežama, jednaka sumi odlazećih struja po granama, odnosno na desnoj strani u relaciji (2) od ukupnog injektiranja je oduzet deo struje koji uzima otočna admitansa.

for i=1:n

Ir(i,1)=(U(i,1)*P(i,1)+Ui(i,1)*Q(i,1))./(U(i,1).^2+Ui(i,1).^2);

Ii(i,1)=(Ui(i,1)*P(i,1)+U(i,1)*Q(i,1))./(U(i,1).^2+Ui(i,1).^2);

end

2. korak

Korak unazad se realizuje sračunavanjem ukupnih struja koje se prenose preko čvorova mreže polazeći od grana u poslednjem nivou i krećući se ka napojnom čvoru u skladu sa sledećom relacijom:

$$\underline{J}_k^{(v)} = -\underline{I}_{k_2}^{(v)} + \sum_{i \in \alpha_{k_2}} \underline{J}_i^{(v)}, \quad k = n-1, n-2, \dots, 1 \quad (3)$$

gde je:

$\underline{J}_k^{(v)}$ - struja grane k na v -toj iteraciji,

k_2 - završni čvor grane k (u slučaju označavanja u skladu sa Sl. 2 ima se da je $k_2 = k$),

α_{k_2} - skup grana koji ističu iz čvora k_2 .

% Koraci unazad-izracunavanje struja grana

i=n;

Jr=-Ir;

Jr(26,1)=Ir(26,1);

Ji=-Ii;

while (i>=1)

for j=i:n

if (K(j,2)==i)

Jr(i,1)=Jr(i,1)+Jr(K(j,1),1);

Ji(i,1)=Ji(i,1)+Ji(K(j,1),1);

end

end

i=i-1;

end

3. korak

Korak unapred se realizuje sračunavanjem napona polazeći od napojnog čvora i krećući se ka granama u poslednjem nivou u skladu sa relacijom:

$$\underline{U}_{k_2}^{(v)} = \underline{U}_{k_1}^{(v)} - \underline{Z}_k \underline{J}_k^{(v)}, \quad k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (4)$$

gde je \underline{Z}_k redna impedansa grane k , a k_1 početni čvor grane k .

% KORAK 4 Korak unapred

% Sračunavanje napona polazeci od napojnog cvora

UstaroR=U;

UstaroI=Ui;

for i=1:n

if (i==1)

a=U(K(i,1,:))-Jr(i,:).*R(i)+Ji(i,:).*X(i);

b=Ui(K(i,1,:))-Ji(i,:).*R(i)-Jr(i,:).*X(i);

else

a=U(K(i,2,:))-Jr(i,:).*R(i)+Ji(i,:).*X(i);

b=Ui(K(i,2,:))-Ji(i,:).*R(i)-Jr(i,:).*X(i);

end

U(i,1)=a(1);

Ui(i,1)=b(1);

end

Koraci 1, 2 i 3 ponavljaju se sve dok ne bude zadovoljen kriterijum konvergencije. Kao kriterijum konvergencije koristi se maksimalno odstupanje izračunatih aktivnih i reaktivnih snaga po čvorovima od specificiranih, odnosno računa se:

$$\Delta P_i^{(v)} = Re \left\{ \underline{S}_i^{(v)} - \underline{S}_i \right\} \quad (5)$$

$$\Delta Q_i^{(v)} = Im \left\{ \underline{S}_i^{(v)} - \underline{S}_i \right\} \quad (6)$$

% Pocinje iterativni postupak

br=0;

razlikaUr=1000; razlikaUi=1000;

kriterijum=0.001; % kriterijum konvergencije

while ((razlikaUr>kriterijum)||razlikaUi>kriterijum))

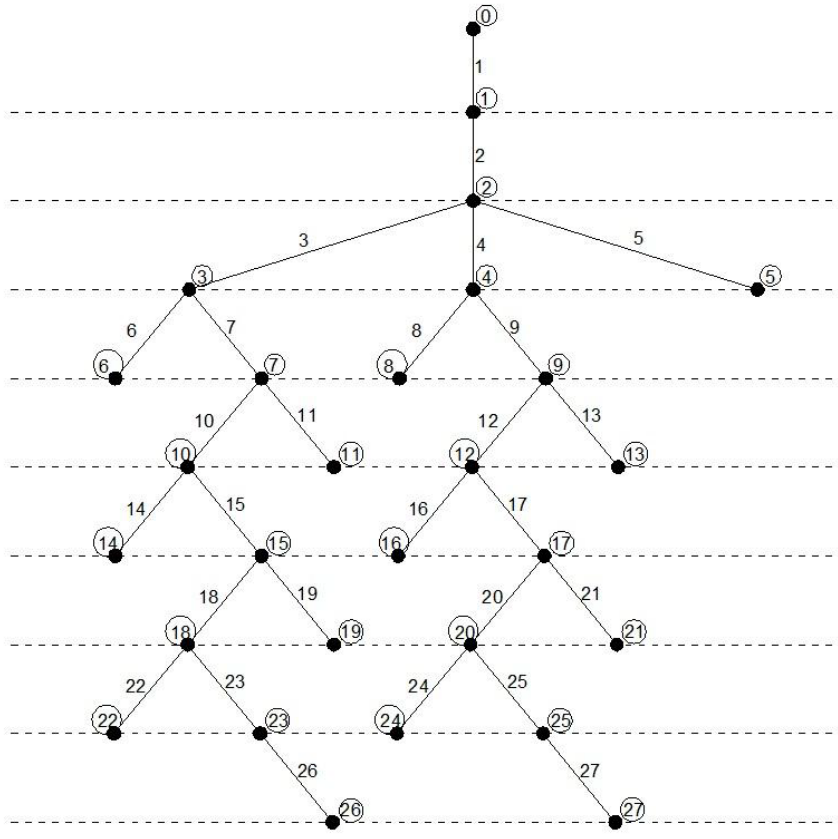
% na kraju petlje se proračunava razlika napona

razlikaUr=max(min(abs(U-UstaroR)))

razlikaUi=max(min(abs(Ui-UstaroI)))

Testiranje

Testiranje algoritma je potrebno sprovesti na primeru radijalne mreže od 27 čvorova. Mreža je preuzeta iz knjige 'Analiza elektroenergetskih sistema I' (Sl.). Parametri mreže su takođe preuzeti iz knjige i nalaze se u Tabeli I. Karakteristike opterećenja su u Tabeli II.



Slika 3. Test mreža od 27 čvorova

Tabela I Parametri test mreže

broj čvora	Un [kV]	gornji čvor	R [Ω]	X [Ω]	Sn [kVA]
0	35	/	/	/	/
1	35	0	3,19	3,67	/
2	10	1	0,77	10	10000
3	10	2	1,12	0,75	/
4	10	2	1,12	0,75	/
5	10	2	1,12	0,75	/
6	0,4	3	1,35	5,85	1000
7	10	3	1,12	0,75	/
8	0,4	4	2,88	9,38	630

9	10	4	1,12	0,75	/
10	10	7	1,12	0,75	/
11	0,4	7	2,88	9,58	400
12	10	9	1,12	0,75	/
13	0,4	9	2,88	9,58	400
14	0,4	10	2,88	9,38	630
15	10	10	1,12	0,75	/
16	0,4	12	1,35	5,85	1000
17	10	12	1,12	0,75	/
18	10	15	1,12	0,75	/
19	0,4	15	2,88	9,38	630
20	10	17	1,12	0,75	/
21	0,4	17	2,88	9,38	630
22	0,4	18	1,35	5,85	1000
23	10	18	1,12	1,75	/
24	0,4	20	2,88	9,38	630
25	10	20	1,12	0,75	/
26	0,4	23	1,35	5,85	1000
27	0,4	25	1,35	5,85	1000

Tabela II Godišnji dijagrami opterećenja

	vršni sat	segment 1	segment 2
$P+jQ$	0,8+j0,15	0,6+j0,16	0,5+j0,18
$U_o [r.j.]$	1,03	1,03	1
trajanje [h]	1	4344	4416

MATLAB kod

```
% Ulazni podaci o radijalnoj mrezi
n=27; % Broj cvorova radijalne mreze
Un=[35 10 10 10 10 0.4 10 0.4 10 10 0.4 10 0.4 0.4 10 0.4 10 10
0.4 10 0.4 0.4 10 0.4 10 0.4 0.4]; % Nominalni naponi [kV]
R=[3.19 0.77 1.12 1.12 1.12 1.35 1.12 2.88 1.12 1.12 2.88 1.12
2.88 2.88 1.12 1.35 1.12 1.12 2.88 1.12 2.88 1.35 1.12 2.88 1.12
1.35 1.35]; % Otpor graana [om]
X=[3.67 10 0.75 0.75 0.75 5.85 0.75 9.38 0.75 0.75 9.58 0.75
9.58 9.38 0.75 5.85 0.75 0.75 9.38 0.75 9.38 5.85 1.75 9.38 0.75
5.85 5.85]; % Reaktanse grana [om]
Sn=[0 10000 0 0 0 1000 0 630 0 0 400 0 400 630 0 1000 0 0 630 0
630 1000 0 630 0 2000 1000 ]; % Nominalne snage trafoa [kVA]
Sb=1000; % Bazna snaga [kVA]
Zb=Un.^2./Sb.*1000; % Bazna impedansa
```

```

Z=(R+i*X)./Zb; % Svodjenje u r.j.
R=R./Zb;
X=X./Zb;

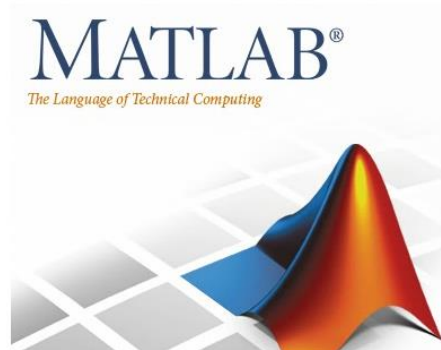
% Dodeljivanje pocetne vrednosti napojnom cvoru [r.j.]

U(1,1)=((1.03*4344+1.0*4416)/(4344+4416)); % srednja vrednost
napona
Uo(1,1)=((1.03*4344+1.0*4416)/(4344+4416));
% imaginarna komponenta napona
Ui(1,1)=0;

% Snage potrosnje [r.j.]
for i=1:n
    P(i,1)=1.*Sn(1,i)./Sb;
    Q(i,1)=1.*Sn(1,i)./Sb;
end
S=P+i*Q;

% Matrica koicidencije
K=[1 0
    2 1
    3 2
    4 2
    5 2
    6 3
    7 3
    8 4
    9 4
    10 7
    11 7
    12 9
    13 9
    14 10
    15 10
    16 12
    17 12
    18 15
    19 15
    20 17
    21 17
    22 18
    23 18
    24 20
    25 20
    26 23

```



```

27 25];

% Korak 1
% Naponi u svim cvorovima su jednaki naponu napojne tacke
for i=1:n
    U(i,1)=U(1,1);
    Ui(i,1)=0;
end

% Pocinje iterativni postupak
br=0;
razlikaUr=1000; razlikaUi=1000;
kriterijum=0.001; % kriterijum konvergencije
while ((razlikaUr>kriterijum)|| (razlikaUi>kriterijum))

% KORAK
% Izracunavanje struja injektiranja

for i=1:n

Ir(i,1)=(U(i,1)*P(i,1)+Ui(i,1)*Q(i,1))./(U(i,1).^2+Ui(i,1).^2);
    Ii(i,1)=(Ui(i,1)*P(i,1)-
U(i,1)*Q(i,1))./(U(i,1).^2+Ui(i,1).^2);
end

% KORAK 3
% Koraci unazad-izracunavanje struja grana
i=n;
Jr=-Ir;
    Jr(26,1)=Ir(26,1);
Ji=-Ii;
    while (i>=1)
for j=i:n
if (K(j,2)==i)
    Jr(i,1)=Jr(i,1)+Jr(K(j,1),1);
    Ji(i,1)=Ji(i,1)+Ji(K(j,1),1);
end
end
i=i-1;
end

% KORAK 4 Korak unapred
% Sracunavanje napona polazeci od napojnog cvora
UstaroR=U;
UstaroI=Ui;
for i=1:n
    if (i==1)
        a=U(K(i,1),:)-Jr(i,:).*R(i)+Ji(i,:).*X(i);

```



```

        b=Ui(K(i,1),:)-Ji(i,:).*R(i)-Jr(i,:).*X(i);
    else
        a=U(K(i,2),:)-Jr(i,:).*R(i)+Ji(i,:).*X(i);
        b=Ui(K(i,2),:)-Ji(i,:).*R(i)-Jr(i,:).*X(i);
    end
    U(i,1)=a(1);
    Ui(i,1)=b(1);
end

razlikaUr=max(min(abs(U-UstaroR)))
razlikaUi=max(min(abs(Ui-UstaroI)))
br=br+1;
end
Napon=sqrt(U.^2+Ui.^2)

```