

**UNIVERZITET "SV. KIRIL I METODIJ# - SKOPJE
ELEKTROTEHNI ^KI FAKULTET**

R. A~kovski

**UPATSTVO ZA RE [AVAWE
NA PROGRAMSKITE ZADA^ I
PO PREDMETOT
"PRENOSNI I DISTRIBUTIVNI SISTEMI#**



SKOPJE, 1997 godina

ZABELE [KI VO VRSKA SO IZRABOTKATA NA PROGRAMSKITE ZADA^ I PO PREDMETOT "PRENOSNI I DISTRIBUTIVNI SISTEMI#

A) Op { t i zabele { ki:

1. **Aktivni otpornosti na sprovodnicite.** Pri presmetuvaweto na aktivnata otpornost na sprovodnicite vo programskite zada~i da se pretpostavi deka rabotnata temperatura na sprovodnicite iznesuva okolu $\theta = 40^\circ \text{C}$. Toa zna~i deka vrednosta r_{20} , ot~itana od tabelata 2.5, }e treba dopolnitelno, so pomo { na relacijata (3.2), da se koregira, t.e. da se zgolemi za 8%, ili pak da se koristi ravenkata (3.1) vo koja za speci f i~nata sprovodnost na aluminijot }e se usvoi $k = 32 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$.
2. **Reaktancii na vodovite.** Pri presmetuvaweto na podol`nite reaktivni otpornosti na vodovite x se koristi relacijata (3.6). Pritoa, sopstvenoto sredno-geometrisko rastojanie D_s na sprovodnicite se presmetuva so relacijata (3.8), odnosno, koga se raboti za sprovodnici vo snop, so relacijata (3.10).
3. **Kapacitivni sprovodnosti na vodovite.** Pri presmetkata na podol`nata kapacitivna sprovodnost b na vodovite, se koristi relacijata (3.17). Pritoa, radiusot na sprovodnikot r_p , izrazen vo mm, se ot~ituva od tabelata 2.5. Kaj sprovodnicite vo snop, mesto radiusot r_p , vo formulata (3.17) se zamenuva sopstvenoto sredno-geometrisko rastojanie na snopot D_s , presmetano so pomo { na (3.10).

B) Zabele { ki vo vrska so prva ta programska zada~a.

Bidejji se raboti za visokonaponski vod, pri presmetuvaweto na naponskite priliki }e mora da se vodi smetka ne samo za podol`nata komponenta  $DU_d$ , tuku i za popre~nata komponenta na padot na napon  $DU_q$ , a voedno, vo presmetkite }e mora da se uva`uva kapacitivnosta na vodot. (Za aktivnata otpornost G mo`e da se usvoi  $G = 0$ ). Bidejji e poznata mo}nosta na potro { uva~ot, priklue~en na krajot od vodot ( $P_2$  i  $Q_2$ ) a ne e poznat naponot  $U_2$ , tuku naponot  $U_1$ , zada~ata ne mo`e da se re { i direktno, kako { to e toa napraveno vo poglavjata (4.1) i (4.2), tuku }e mora da se primeni iterativna postapka. Zaradi postigawe na dovolna to~nost, brojot na iteraciite { to pritoa }e se izvede ne treba da bide pomal od 2.

Pred da se zapo~ne so iterativnata postapka, se usvojuva vrednosta na naponot U_2 . Kako { to e voobi~aeno, se usvojuva $U_2 = U_n$. Posle toa se pristapuva kon izveduvaweto na prvata iteracija. Prvata iteracija, (a i sekoja naredna iteracija), se sastoi od slednite ~ekori:

- #1. So pomo { na (4.11) se presmetuva reaktivnata mo}nost Q_{c2} na popre~nata granka priklue~ena na krajot od vodot.
- #2. So pomo { na (4.12) se presmetuva mo}nosta na krajot od vodot $S''_{12} = S_2 - jQ_{c2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{c2})$, a potoa i strujata I niz rednata granka na vodot.
- #3. So pomo { na relaciite (4.1) i (4.2), se presmetuvaat popre~nata i podol`nata komponenta na fazniot napon DU_{df} i DU_{qf} . Potoa, se presmetuvaat: $DU_d = \sqrt{3} \cdot DU_{df}$ i $DU_q = \sqrt{3} \cdot DU_{qf}$.
- #4. Vrz baza na relacijata (4.5), se dobiva novata, koregirana vrednost za naponot U_2 :

$$U_1 = \sqrt{U_2^2 - DU_q^2} - DU_d$$

Posle ova, zavr { uva prvata iteracija, i se preminuva na vtorata (t.e. slednata) iteracija. Po izvr { uvaweto na dovolen broj iteracii, vrednosta na naponot U_2 prakti~no ve}e ne se menuva, i toga {, iterativniot proces mo`e da se prekine. Na krajot, so pomo { na relaciite (4.13) i (4.14) se presmetuvaat zagubite na mo}nost vo rednata granka od vodot, a potoa, so pomo { na relaciite (4.18) i (4.19), se presmetuva i mo}nosta na po~etokot od vodot $S_1 = P_1 + jQ_1$, kako i struite I_1, I_2, I_{c1} i I_{c2} .

Posle izvr { enite analiti~ki presmetki, se crta fazorskiot dijagram na naponite i struite, na milimetarska hartija (format A4), vo razmer.

V) Zabele { ki vo vrška so v t o r a t a programska zada~a.

Pred da se premine kon presmetuvawe na parametrite na zadadeniot re`im na rabota na sistemot, je bide potrebno, najnapred, da se presmetaat parametrite na site elementi od mre`ata, se razbira, svedeni na edno isto naponsko nivo. Najpovolno e ako site elementi se sveduvaat na 110 kV naponsko nivo. Posle presmetuvaweto na parametrite na mre`ata, se preminuva kon opredeluvawe na parametrite na rabotniot re`im. Ponatamo { nata postapka za re { avawe na mre`ata mo`e da se podeli vo nekolku ~ekori:

- #1. Ne vodej { i privremeno smetka za zagubite na mo}nost vo mre`ata, so pomo { na izrazite (5.10) i postapkata opi { ana vo poglavje 5.1, se opredeluva to~kata (sobirnicata) na razdel vo prstenestiot del od mre`ata. Potoa, prstenot se seve (otvora) vo razdelnata to~ka a potro { uva~ot vo razdelnata to~ka se deli na dva fiktivni potro { uva~a (vidi slika 5.4) pri { to zbirot od nivnite mo}nosti e ednakov na mo}nosta na sami ot potro { uva~. So toa, mre`ata od slo`eno-zatvorena, se pretvora vo otvorena.
- #2. So vaka presmetanite mo}nosti niz grankite od mre`ata (ne uva`uvaj { i gi pritoa zagubite na mo}nost vo sekoja od niv) se vr { i procenka na naponite vo jazlite od sistemot. Toa go pravime so cel zagubite na mo}nost vo grankite od mre`ata, koi zavisat od kvadratot na naponite na jazlite i koi podocna je se presmetuvaat, da se dobij at { to e mo`no poto~no.
- #3. Kapacitivnostite na site vodovi se eliminiraat na toj na~in { to se "pretvoraat vo injekcii na reaktivna mo}nost, po polovina na sekoj kraj.
- #4. Popre~nite granki na site transformatori se simuliraat so ve { ta~ki potro { uva~i koi se postavuvaat na primarnata strana od transformatorot. Nivnata mo}nost e ednakva na zagubite na prazen od na trens formatorot, t.e. $\underline{S} = DP_{Fe} + jDQ_{Fe}$.
- #5. Vo otvorenata mre`a, sostavena samo od redni granki, so primena na prvi ot Kirhofov zakon za mo}nosti, se vr { i presmetka na uto~netite tekovi na mo}nosti. Trgnuvaj { i odnazad, od krajnite potro { uva~i na mre`ata, i odej { i nanapred, prema napojnata to~ka "A#, so pomo { na izrazite (4.14) i operiraj { i pritoa so uto~netite vrednosti na naponite vo jazlite, dobieni vo ~ekoro t #2, se presmetuvaat zagubite na aktivna i reaktivna mo}nost DP_v i DQ_v vo rednite granki od vodovite, kako i mo}nostite $\underline{S}'$ na po~etokot od sekoj vod, so pomo { na relaci i te (4.15). Tie se potrebni za da se presmetaat (so primena na prvi ot Kirhofov zakon) mo}nostite $\underline{S}''$ na krajot od delnicite koi £ prethodat na razgleduvanata delnica (vod). Ovaa postapka se pravi za sekoja granka od mre`ata, s~ dodeka ne se dojde do napojnata to~ka. Na toj na~in se dobiva i mo}nosta na izvorot  $\underline{S}_A = P_A + jQ_A$ . Vo ovie presmetki, zna~i, se uva`uvaat injekci i te na reaktivna mo}nost generirani od kapacitivnostite na vodovite, zagubite na mo}nost vo rednite granki od elementite, kako i zagubite vo magnetskoto kolo (grankata na magnetizirawe) na energetskite transformatori.
- #6. Se vr { i presmetka na mo}nosta na izvorot $\underline{S}_A = (P_A + jQ_A)$ vo napojnata to~ka "A#. Taa pretstavuva zbir na site mo}nosti { to se odveduvaat po vodovite priklueeni vo napojnata to~ka "A# plus mo}nosta na potro { uva~ot, priklueen vo nea.
- #7. Se vr { i presmetka na zagubite na mo}nost vo sistemot $D\underline{S}$. Tie pretstavuvaat razlika pome|u mo}nosta na izvorot $\underline{S}_A = (P_A + jQ_A)$ i zbirot na mo}nostite na site potro { uva~i $\Sigma \underline{S}_p = \Sigma P_p + j \Sigma Q_p$.
- #8. Se vr { i uto~nuvawe na naponite vo jazlite od sistemot. Trgnuvaj { i od poznati ot napon vo napojnata to~ka "A# i odej { i od element na element kon krajnite jazli od mre`ata, se vr { i presmetka na zagubata na napon vo sekoj element od mre`ata, a potoa i presmetka na naponite vo jazlite. Zagubata na napon $DU = U_j - U_k$ vo elementot so reden broj "i#, koj gi svrzuva jazlite "j# i "k#, i niz ~ija redna granka so parametri $\underline{Z}_i = (R_i + jX_i)$ te~e na po~etokot mo}nosta $\underline{S}'_{j-k} = (P'_{j-k} + jQ'_{j-k})$, se presmetuva so izrazite:

$$DU_d = \frac{P'_{j-k} \cdot R_i + Q'_{j-k} \cdot X_i}{U_j}; \quad DU_q = \frac{P'_{j-k} \cdot X_i - Q'_{j-k} \cdot R_i}{U_j}; \quad DU = DU_d + \frac{DU_q^2}{2 \cdot U_j}.$$

Koga se raboti za nadzemnite vodovi, zagubata na napon DU mo`e sosema dobro da se presmeta i so pomo { na relacijata:

$$DU \approx DU_d = \frac{P'_{j-k} \cdot R_i + Q'_{j-k} \cdot X_i}{U_j}.$$

Se razbira deka vaka dobienite re { enija za naponite i tekovite na mo } nostite vo mre ` ata se pribli ` ni. Dokolku sakame da izvr { ime nivno uto ~ nuvawe, } e bide potrebno, celata postapka da se povtori pove } e pati. Pri sekoe nejzino povtoruvawe, presmetkite na mre ` ata } e se vr { at so uto ~ neti vrednosti na naponite, taka { to ve } e posle nekolku iteraciji, } e se dobijat rezultati so zadovolitelna to ~ nost. Pri re { avaweto na programskata z ad a ~ a, vakvi uto ~ nuvawa ne se neophodni.

Napomena: Oznakata -----//----- vo { emata od II programska z ad a ~ a ozna ~ uva deka se raboti za dva identi ~ ni, paralelno vrzani vodovi. Sli ~ no na ova, oznakata 2hT ka ` uva deka se raboti za dva identi ~ ni, paralelno vrzani transformatora, a oznakata 3hT ozna ~ uva tri identi ~ ni paralelno vrzani transformatori itn.

I Programska zada~a - primer: Daden e tri fazen prenosni vod so dol`ina  $L = 123.3$  km. Faznite sprovodnici na vodot se kombinirani Al/ $\wedge$  ja`iwa so nominalen presek: $2 \times 490/65$ mm² (sprovodnici vo snop), postaveni na me|usebno rastojanje $k = 40$ cm. Faznite sprovodnici se postaveni vo ista ravnina, t.e. imaat horizontalen raspored pri {to, rastojanieto pome|u sekoj dve sosedni fazi iznesuva $D = 8.5$ m. Poznati se slednite re`imski parametri: $P_2 = 360$ MW $Q_2 = 160$ Mvar $U_1 = 410$ kV.

Da se presmetaat podol`nite parametri na vodot  $r, x$  i  $b$  i ostanatite re`imski parametri P_1, Q_1, I_1, j_1 i U_2, I_2, j_2 a potoa da se nacрта fazorskiot dijagram na naponite i struite za dadeniot re`im. Rezultatite od presmetkite da se prika`at i tabelarno, vo prilo`eniot formular.

Re { enie:

1. Presmetka na parametrite na vodot

$$r = \frac{1000}{k \cdot n \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 2 \cdot 490,3} = 0,032 \frac{\Omega}{\text{km}},$$

$$D_m = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} = \sqrt[3]{D \cdot (2D) \cdot D} = D \cdot \sqrt[3]{2} = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 8,5 = 10,71 \text{ m},$$

$$D_s = \sqrt{r_p \cdot k} = \sqrt{(d_s/2) \cdot k} = \sqrt{15,3 \cdot 400} = 78,23 \text{ mm}$$

$$x = 0,1445 \cdot \log \frac{D_m}{D_s} = 0,1445 \cdot \log \frac{10,71}{78,23 \cdot 10^{-3}} = 0,309 \frac{\Omega}{\text{km}},$$

$$b = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_m}{D_s}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{10,71}{78,23 \cdot 10^{-3}}} = 3,548 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}.$$

Spored toa, parametrite na zamenskata {ema na vodot }e bidat:

$$R = r \cdot l = 0,032 \cdot 123,3 = 3,95 \Omega,$$

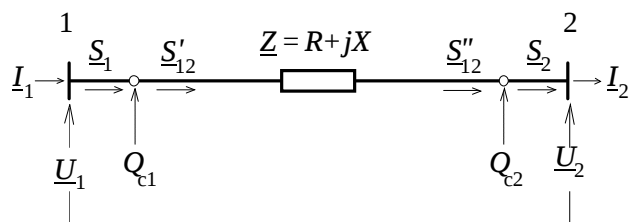
$$X = x \cdot l = 0,309 \cdot 123,3 = 38,1 \Omega,$$

$$B = b \cdot l = 3,548 \cdot 123,3 = 437,5 \mu\text{S}; \quad B/2 = 218,75 \mu\text{S}.$$

2. Presmetka na padot na napon vo vodot

Za presmetuvawe na podol`nata i popre~nata komponenta na padot na napon }e ni bide potrebno celosno da gi znaeme prilikite na po~etokot od vodot (P_2, Q_2, U_2) ili prilikite na po~etokot (P_1, Q_1, U_1). Bidej{i nas ni se poznati samo mo}nostite P_2 i Q_2 a naponot U_2 ne ni e poznat, na po~etokot }e usvoime:

$$\underline{U}_2 = U_n \angle 0^\circ = U_n \cdot e^{j0} = 380 \text{ kV}$$



Slika 1

Sega mo`eme da ja presmetame reaktivnata mo}nost Q_{c2} {to ja generira popre~nata granka na krajot od vodot, a potoa i mo}nosta $\underline{S}''_{12}$ (sl. 1):

$$Q_{c2} = (B/2) \cdot U_2^2 = 218,75 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 = 31,59 \text{ Mvar},$$

a potoa i mo}nosta $\underline{S}''_{12}$ (sl.1):

$$\underline{S}''_{12} = \underline{S}_2 - jQ_{c2} = (P_2 + jQ_2) - jQ_{c2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{c2})$$

ili:

$$\underline{S}''_{12} = (360 + j160) - j31,59 = (360 + j128,41) \text{ MVA}.$$

Sega mo `eme da gi presmetame (pribli `no) komponenti te DU_d i DU_q na padot na napon:

$$DU_d = \frac{P_2 \cdot R + (Q_2 - Q_{c2}) \cdot X}{U_2} = \frac{360 \cdot 3,95 + 128,41 \cdot 38,1}{380} = 16,62 \text{ kV}$$

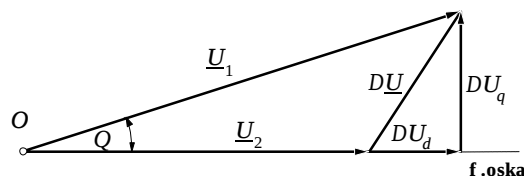
$$DU_q = \frac{P_2 \cdot X - (Q_2 - Q_{c2}) \cdot R}{U_2} = \frac{360 \cdot 38,1 - 128,41 \cdot 3,95}{380} = 35,9 \text{ kV} .$$

Za da ja presmetame uto~netata vrednost na naponot U_2 }e se poslu `ime so vektorskiot dijagram prika `an na slikata 2. Od dijagramot proizleguva slednata relacija:

$$U_1^2 = (U_2 + DU_d)^2 + DU_q^2, \text{ t.e.}$$

$$U_2 = \sqrt{U_1^2 - DU_q^2} - DU_d$$

$$U_2 = \sqrt{410^2 - 35,9^2} - 16,62 = 391,81 \text{ kV}.$$



Slika 2

3. Uto~nuvawe na vrednos t a na naponot U_2 so i t e r a t i v n a p o s t a p k a

Dobienata vrednost za naponot U_2 e pribli `na bidej}i taa e dobiena so pribli `nite vrednosti na komponentite DU_d i DU_q na padot na napon vo vodot. Poradi toa }e bide potrebno da se izvr { i uto~nuvawe na vrednosta na naponot U_2 .

Uto~nuvaweto na vrednosta na naponot U_2 se vr { i so pove}ekratno povtoruvawe na operaci i te izvedeni vo to~kata 2. Pri sekoe nivno izveduvawe }e se operira so uto~netite vrednosti za naponot U_2 i kapacitivnata mo }nost Q_{c2} , dobieni vo prethodnata iteracija. Uto~nuvawata gi pravime dovolen broj pati, t.e. s } do onoj moment koga vrednosta na naponot U_2 dobiena vo poslednata iteracija }e se razlikuva nezna~itelno vo odnos na negovata prethodno dobiena vrednost. Kako kriterium za konvergencija na iterativniot proces mo `e da se usvoi sledniot:

$$\frac{U_{2\text{novo}} - U_{2\text{staro}}}{U_{2\text{staro}}} \leq e$$

pri { to voobi~aeno e da se raboti so vrednosti za tolerancijata $e = 0,001$ (t.e. $e\% = 0,1\%$).

Na toj na~in, vo narednite iteracii }e dobieme:

- *Posle I i iteracija:*

$$U_2 = 391,81 \text{ kV}.$$

- *II i iteracija:*

$$Q_{c2} = 33,58 \text{ Mvar}; DU_d = 15,923 \text{ kV}; DU_q = 33,732 \text{ kV}; U_2 = \sqrt{410^2 - 33,732^2} - 15,923 = 392,69 \text{ kV}$$

- *III i iteracija:*

$$Q_{c2} = 33,73 \text{ Mvar}; DU_d = 15,872 \text{ kV}; DU_q = 33,658 \text{ kV}; U_2 = \sqrt{410^2 - 33,658^2} - 15,872 = 392,74 \text{ kV} .$$

i t n.

Zaklu~uvame deka promenata na vrednosta na naponot U_2 po izveduvaweto na III iteracija e ve }e nezna~itelno, t.e. pomalo od $e\% = 0,1\%$, poradi { to iterativniot proces na presmetuvawe na vrednosta na naponot U_2 }e go zapreme i posledното re { enie }e go proglasime za kone~no, t.e.

$$U_2 = 392,74 \text{ kV}.$$

4. Presme t ka na p r i l i k i t e n a k r a j o t o d v o d o t

$$\underline{S}_2 = (360 + j160) \text{ MVA} = 393,954 \cdot e^{j23,96^\circ} \text{ MVA}$$

$$\underline{S}''_{12} = \underline{S}_2 - jQ_{c2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{c2}) = (360 + j126,27) \text{ MVA}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{S}^*_{12}}{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_2} = \frac{393,954 \cdot e^{-j23,96^\circ}}{\sqrt{3} \cdot 392,74} = 0,579 \cdot e^{-j23,96^\circ} \text{ kA} = (0,529 - j0,235) \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{c2} = j \frac{B}{2} \cdot \underline{U}_{2f} = j \frac{B}{2} \cdot \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} = j0,0496 \text{ kA},$$

$$\underline{I}_{12} = \underline{I}_2 + \underline{I}_{c2} = (0,529 - j0,235) + j0,0496 = (0,529 - j0,185) \text{ kA}.$$

5. Presme t ka na p r i l i k i t e n a p o ~ e t o k o t o d v o d o t

Zagubi te na mo }nost vo rednata granka od vodot }e bidat:

$$D\underline{S} = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{c2})^2}{U_2^2} \cdot (R + jX) = \frac{360^2 + 126,27^2}{392,74^2} \cdot (3,95 + j38,1) = (3,727 + j35,951) \text{ MVA}.$$

Ponatamu, vo soglasnost so slikata 1 imame:

$$Q_{c1} = (B/2) \cdot U_1^2 = 218,75 \cdot 10^{-6} \cdot 410^2 = 36,772 \text{ Mvar},$$

$$\underline{S}'_{12} = \underline{S}''_{12} + D\underline{S} = (363,95 + j162,221) \text{ MVA},$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}'_{12} - jQ_{c1} = (363,727 + j125,449) \text{ MVA} = 384,753 \cdot e^{j19,03^\circ} \text{ MVA}.$$

Od slikata 2 dobivame:

$$q = \arctg \frac{DU_q}{U_2 + DU_d} = \arctg \frac{33,658}{392,74 + 15,872} = 4,71^\circ.$$

$$\underline{U}_1 = U_1 \cdot e^{jq_1} = 410 \cdot e^{j4,71^\circ} \text{ kV} = (408,616 + j33,772) \text{ kV}.$$

$$\underline{I}_{c1} = j \frac{B}{2} \cdot \underline{U}_{1f} = j \frac{B}{2} \cdot \frac{\underline{U}_1}{\sqrt{3}} = j218,75 \cdot 10^{-6} \cdot 410 \cdot e^{j4,71^\circ}$$

$$\underline{I}_{c1} = (-4,25 + j51,61) \text{ A} = 51,8 \cdot e^{j94,71^\circ} \text{ A}.$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} + \underline{I}_{c1} = (529 - j185) + (-4,3 + j51,6) = (524,7 - j134,4) \text{ A} = 541,7 \cdot e^{j-14,31^\circ} \text{ A}.$$

$$j_1 = \arg(\underline{U}_1) - \arg(\underline{I}_1) = 4,71 - (-14,31) = 19,02^\circ.$$

$$DP = P_1 - P_2 = 363,722 - 360 = 3,722 \text{ MW};$$

$$DQ = Q_1 - Q_2 = 125,449 - 160 = -34,551 \text{ Mvar}.$$

Rezultatite od presmetkite gi smestuvame vo slednata tabela:

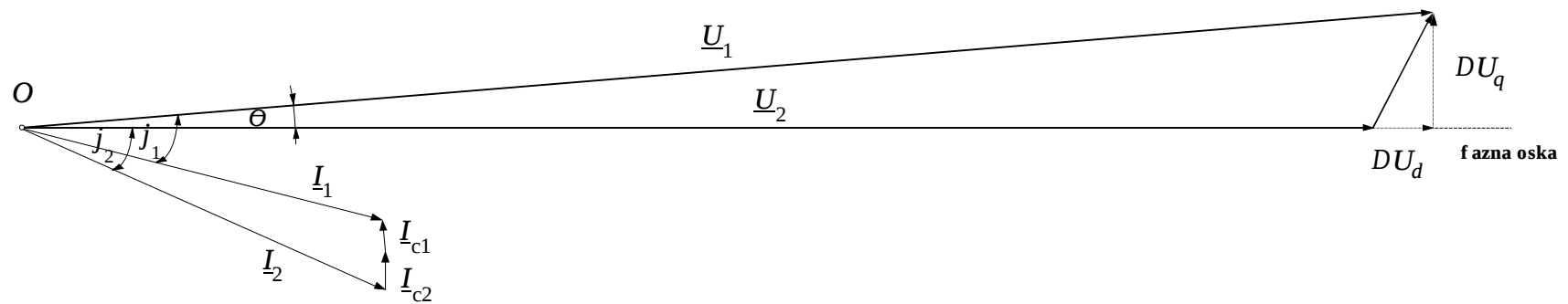
Tabela 1. Re` imski parametri na rabota na vodot

P_2	Q_2	U_2	I_2	I_{c2}	j_2	P_1	Q_1	U_1	I_1	I_{c1}	j_1	DP	DQ
MW	Mvar	kV	A	A	o	MW	Mvar	kV	A	A	o	MW	Mvar
360	160	392,74	579	49,6	23,96	363,727	125,449	410	541,7	51,8	19,02	3,727	-34,551

Na slikata 3 e prika` an fazorskiot dijagram na naponite i struite niz vodot za razgleduvaniot re` im na rabota.

Razmer za napon: 1 cm = 20 kV

Razmer za struja: 1 cm = 100 A

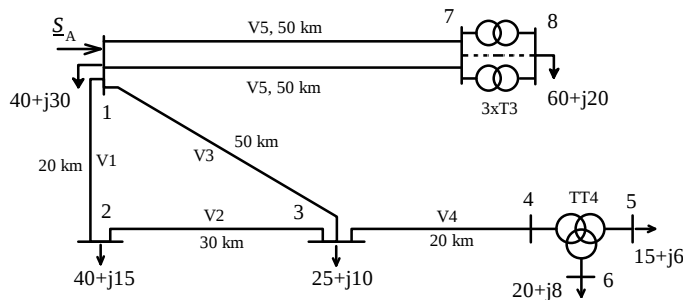


Slika 3. Fazorski dijagram na naponite i struite

II Programska zada~a - primer: Na slikata e prika`ana 110 kV prenosna mre`a. Vodovite V1, V2 i V3, koi go formiraat prstenot, se izvedeni kako nadzemni, so sprovodnici Al/ 240/40 mm². Ostanatite vodovi se so pomal presek Al/ 150/25 mm², izvedeni isto taka kako nadzemni. Sredno-geometriskoto rastojanie me|u faznite sprovodnici kaj site vodovi e isto i iznesuva $D_m = 4,5$ m. Dol`inite na oddelnite vodovi (izrazeni vo km) se dadeni na samata slika. Na slikata se prika`ani i optovaruvawata na potro { uva~ite, izrazeni vo MVA. Naponot vo napojnata to~ka "1# iznesuva $U_1 = 117$ kV. Podatocite za transformatorite se dadeni vo tabelite 1 i 2.

Za dadeniot re`im na rabota da se opredelat: 1) efektivnite vrednosti na naponite vo oddelnite jazli od mre`ata 2) tekovite na mo`nosti niz grankite od mre`ata 3) vkupnite zagubi na mo`nost vo mre`ata $\Delta S = \Delta P + j\Delta Q$ 4) mo`nosta na izvorot  $S_A = P_A + jQ_A$ . Rezultatite od presmetkite da se prika`at tabelarno i grafi~ki, vo prilo`enite formulari.

Podatoci za vodovite i potro { uva~ite:



$$L_{1-2} = 20 \text{ km}$$

$$L_{2-3} = 30 \text{ km}$$

$$L_{1-3} = 50 \text{ km}$$

$$L_{3-4} = 20 \text{ km}$$

$$L_{1-7} = 50 \text{ km}$$

$$S_{p1} = (40+j30) \text{ MVA}$$

$$S_{p2} = (40+j15) \text{ MVA}$$

$$S_{p3} = (25+j10) \text{ MVA}$$

$$S_{p5} = (15+j6) \text{ MVA}$$

$$S_{p6} = (20+j8) \text{ MVA}$$

$$S_{p8} = (60+j20) \text{ MVA}$$

Podatoci za dvonamotni te transformatori T3

$$S_n = 25 \text{ MVA}; U_{1n}/U_{2n} = 115/10,5 \text{ kV/kV}; DP_{Cun} = 120 \text{ kW}; DP_{Fe} = 27 \text{ kW}; u_k\% = 10,5\%; i_o = 0,7\%$$

Podatoci za trinamotniot transformator TT4

$$40/40/40 \text{ MVA}; 110/10,5/6,3 \text{ kV}; u_{k12}\% = 11\%; u_{k13}\% = 16,3\%; u_{k23}\% = 6\%; DP_{Cun12} = 220 \text{ kW}; DP_{Cun13} = 220 \text{ kW}; DP_{Cun23} = 220 \text{ kW}; DP_{Fe} = 55 \text{ kW}; i_o = 1,5\%.$$

Re { eni e:

1. Presmetka na parametrite na elementite od mre`ata, svedeni na 110 kV strana

a) Vodovi V1, V2 i V3 so sprovodnici Al/ 240/40 mm²

$$r = \frac{1000}{32 \cdot 243,0} = 0,129 \Omega/\text{km}; x = 0,1145 \cdot \log \frac{2 \cdot 4500}{0,81 \cdot 21,9} = 0,391 \Omega/\text{km}; b = 2,9 \mu\text{S}/\text{km}.$$

b) Vodovi V4, V5 i V6 so sprovodnici Al/ 150/25 mm²

$$r = \frac{1000}{32 \cdot 148,9} = 0,210 \Omega/\text{km}; x = 0,1145 \cdot \log \frac{2 \cdot 4500}{0,81 \cdot 17,1} = 0,406 \Omega/\text{km}; b = 2,79 \mu\text{S}/\text{km}.$$

v) Parametri na trinamotniot transformator TT4

$$DP_{Fe} = 55 \text{ kW} = 0,055 \text{ MW}; DQ_{Fe} = \frac{i_o\%}{100} \cdot \frac{1,5}{100} \cdot 40 = 0,6 \text{ Mvar}.$$

$$R_{12} = DP_{Cun12} \cdot \frac{U_n^2}{S_{12}^2} = 0,220 \cdot \frac{110^2}{40^2} = 1,664 \Omega. \text{ Sli~no: } R_{13} = R_{23} = 1,664 \Omega. \Rightarrow R_1 = R_2 = R_3 = 0,832 \Omega.$$

$$X_{12} = \frac{u_{k12}\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{12}^2} = \frac{11}{100} \cdot \frac{110^2}{40} = 33,275 \Omega. \text{ Sli~no: } X_{13} = 49,308 \Omega \text{ i } X_{23} = 18,15 \Omega.$$

$$X_1 = (X_{12} + X_{13} - X_{23})/2 = 32,217 \Omega; X_2 = 1,058 \Omega; X_3 = 17,091 \Omega.$$

g) Parametri na dvonamotni te transformatori 3xT3

Grupata od $n = 3$ transformatori je bide ekvivalentirana so eden edinstven, ~ii parametri se:

$$DP_{Fe} = 3 \cdot 27 = 81 \text{ kW} = 0,081 \text{ MW}; DQ_{Fe} = 3 \cdot \frac{i_o \%}{100} \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,525 \text{ Mvar.}$$

$$R_T = \frac{1}{3} \cdot DP_{Cun} \cdot \frac{U_n^2}{S_n^2} = \frac{1}{3} \cdot 0,12 \cdot \frac{115^2}{25^2} = 0,846 \Omega; Z_T = \frac{1}{3} \cdot \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{1}{3} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{25} = 18,515 \Omega.$$

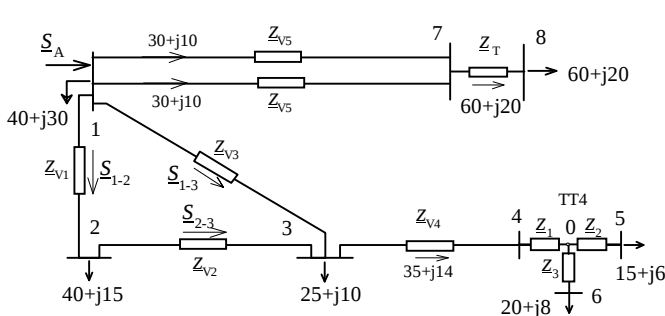
$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{18,515^2 - 0,846^2} = 18,496 \Omega.$$

Vrz osnova na ovie presmetki se dobieni site potrebni podatoci za elementite od razgleduvaniot EES. Nivnite vrednosti se prika`ani sistematizirano vo tabelata T1.

Tabela T1. Parametri na elementite od EES, svedeni na 110 kV naponsko nivo

	E l e m e n t	R Ω	X Ω	B μS
1	Vod V1:	2,58	7,82	58
2	Vod V2:	3,87	11,73	87
3	Vod V3:	6,45	19,55	145
4	Vod V4:	4,20	8,12	55,8
5	Vod V5:	10,50	20,30	139,5
6	Granka 1 od TT4 Z_1	0,832	32,217	/
7	Granka 2 od TT4 Z_2	0,832	1,058	/
8	Granka 3 od TT4 Z_3	0,832	17,091	/
4	Trans f. 3xT3 Z_T	0,846	18,490	/

2. Opredeluvawe na pribli`na ta raspredelba na mo}nos t i vo sis t e m o t

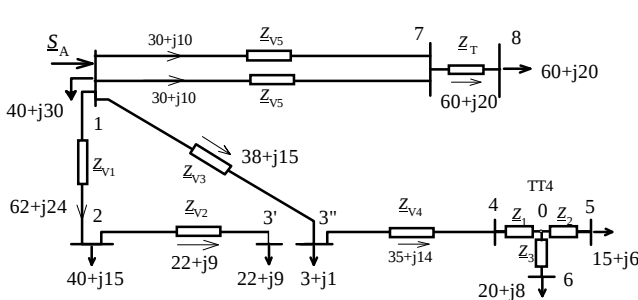


$$\underline{S}_{1-2} = [(25 + j10) + ((35 + j14))] \cdot \frac{50}{20 + 30 + 50} + (40 + j15) \cdot \frac{30 + 50}{20 + 30 + 50} = (62 + j24) \text{ MVA.}$$

$$\underline{S}_{2-3} = \underline{S}_{1-2} - \underline{S}_{P2} = (22 + j9) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}_{1-3} = \underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3} + \underline{S}_{P5} + \underline{S}_{P6} - \underline{S}_{1-2} = (38 + j15) \text{ MVA}$$

3. O t v o r a w e n a p r s t e n o t 1-2-3-1 i r a d i j a l i z a c i j a n a m r e ` a t a



Raspredelbata na mo}nosti i naponskite priliki vo sistemat nema da se izmenat ako vodot potro{uva~ot $\underline{S}_{P3}$ go podelime na dva fiktivni potro{uva~a $\underline{S}'_{P3}$ i $\underline{S}''_{P3}$ (pri {to e $\underline{S}_{P3} = \underline{S}'_{P3} + \underline{S}''_{P3}$), i vodot V2 go otvorime na negoviot kraj, kako {to e toa prika`ano na slikata. Pritoa }e imame:

$$\underline{S}'_{P3} = \underline{S}_{2-3} = (22 + j9) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}''_{P3} = \underline{S}_{P3} - \underline{S}'_{P3} = (3 + j1) \text{ MVA.}$$

4. Opredeluvawe na pribli `nite vrednos ti na naponi te vo jazli te - I aproksimacija

Pribli `nite vrednos ti na zagubata na napon vo vodovi te }e ja presmetuvame so izrazot:

$$DU_V \approx DU_d = \frac{P_V \cdot R_V + Q_V \cdot X_V}{U};$$

dodeka vo transformatorite, so izrazot:

$$DU_T \approx DU_d + \frac{DU_q^2}{2 \cdot U} = \frac{P_T \cdot R_T + Q_T \cdot X_T}{U} + \frac{1}{2 \cdot U} \cdot \left[\frac{P_T \cdot X_T - Q_T \cdot R_T}{U} \right]^2.$$

Na toj na~in dobivame:

$$DU_{1-2} = \frac{P_{1-2} \cdot R_{V1} + Q_{1-2} \cdot X_{V1}}{U_A} = \frac{62 \cdot 2,58 + 24 \cdot 7,82}{117} = 2,97 \text{ kV}; \Rightarrow U_2 = U_A - DU_{1-2} = 114,03 \text{ kV}.$$

$$DU_{2-3'} = \frac{P_{2-3'} \cdot R_{V2} + Q_{2-3'} \cdot X_{V2}}{U_2} = \frac{22 \cdot 3,87 + 9 \cdot 11,73}{114,03} = 1,67 \text{ kV}; \Rightarrow U_{3'} = U_2 - DU_{2-3'} = 112,36 \text{ kV}.$$

$$DU_{1-3''} = \frac{P_{1-3''} \cdot R_{V3} + Q_{1-3''} \cdot X_{V3}}{U_A} = \frac{38 \cdot 6,45 + 15 \cdot 19,55}{117} = 4,60 \text{ kV}; \Rightarrow U_{3''} = U_A - DU_{1-3''} = 112,4 \text{ kV}.$$

O~igledno e deka poradi operiraweto so pribli `nite tekovi na mo}nosti, rezultatot za naponite $U_{3'}$ i $U_{3''}$ (iako se raboti za eden ist jazol), ne se sovpa|aat o celost, no sepak e $U_{3'} \approx U_{3''}$. Ponatamu imame:

$$DU_{3-4} = \frac{P_{3-4} \cdot R_{V4} + Q_{3-4} \cdot X_{V4}}{U_{3''}} = \frac{35 \cdot 4,2 + 14 \cdot 8,12}{112,36} = 2,32 \text{ kV}; \Rightarrow U_4 = U_{3''} - DU_{3-4} = 110,08 \text{ kV}.$$

$$DU_{1-7} = \frac{P_{1-7} \cdot R_{V5} + Q_{1-7} \cdot X_{V5}}{U_A} = \frac{30 \cdot 10,5 + 10 \cdot 20,3}{117} = 4,43 \text{ kV}; \Rightarrow U_7 = U_1 - DU_{1-5} = 112,57 \text{ kV}.$$

Zagubite na napon vo oddelnite granki Z_1 , Z_2 i Z_3 (primar, sekundar i tercier) od trinamotniot transformator TT4 }e bidat:

$$DU_{Z1} \approx DU_{d1} + \frac{DU_{q1}^2}{2 \cdot U_4} = \frac{35 \cdot 0,832 + 14 \cdot 32,217}{110,08} + \frac{1}{2 \cdot 110,08} \cdot \frac{(35 \cdot 32,217 - 14 \cdot 0,832)^2}{110,08^2} = 4,36 + 0,47 = 4,83 \text{ kV}.$$

$$U_0 = U_4 - DU_{Z1} = 110,08 - 4,83 = 105,25 \text{ kV}.$$

$$DU_{Z2} \approx DU_{d2} + \frac{DU_{q2}^2}{2 \cdot U_0} = \frac{15 \cdot 0,832 + 6 \cdot 1,058}{105,25} + \frac{1}{2 \cdot 105,25} \cdot \frac{(15 \cdot 1,058 - 6 \cdot 0,832)^2}{110,08^2} = 0,18 \text{ kV}.$$

$$U_5 = U_0 - DU_{Z2} = 105,25 - 0,18 = 105,07 \text{ kV}.$$

$$DU_{Z3} \approx DU_{d3} + \frac{DU_{q3}^2}{2 \cdot U_0} = \frac{20 \cdot 0,832 + 8 \cdot 17,091}{105,25} + \frac{1}{2 \cdot 105,25} \cdot \frac{(20 \cdot 17,091 - 8 \cdot 0,832)^2}{110,08^2} = 1,46 + 0,05 = 1,51 \text{ kV}.$$

$$U_6 = U_0 - DU_{Z3} = 105,25 - 1,51 = 103,74 \text{ kV}.$$

$$DU_{7-8} = DU_{ZT} \approx DU_d + \frac{DU_q^2}{2 \cdot U_7} = \frac{60 \cdot 0,846 + 20 \cdot 18,49}{112,57} + \frac{1}{2 \cdot 112,57} \cdot \frac{(60 \cdot 18,49 - 20 \cdot 0,846)^2}{112,57^2} = 3,76 + 0,41 = 4,17 \text{ kV}.$$

$$U_8 = U_7 - DU_{ZT} = 112,57 - 4,17 = 108,4 \text{ kV}.$$

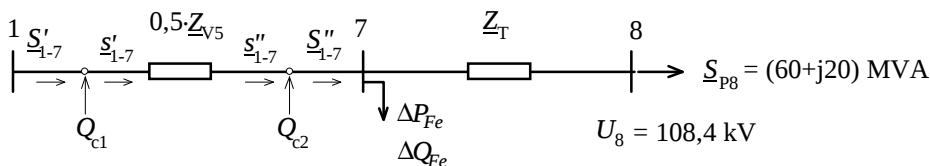
Pribli `nite vrednos ti na naponite, dobieni vo ova a faza od presmetki te, se prika `ani vo tabelata 2.

Tabela 2. Pribli `ni vrednos ti na naponite vo jazli te posle prvata faza

U_1	U_2	$U_{3'}$	$U_{3''}$	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_0
117,00 kV	114,03 kV	112,36 kV	112,40 kV	110,08 kV	105,07 kV	103,74 kV	112,57 kV	108,40 kV	105,25 kV

5. Presme t ka na zagubi te na mo}nos t i u t o~nuvawe na mo}nos t i te vo radijalizirana t a mre `a

5.1. Zagubi na mo}nos t vo grupa t a dvonamo t ni t rans f orma t ori



Slika 2.

Zagubite na mo}nost vo grankata na magnetizirawe na grupata dvonamotni transformatori je ja pretstavime kako fiktiven potro{uva~, priklju~en vo jazelot "7# (slika 2). Za zagubite mo}nost $D\underline{S}_{ZT}$ vo rednata granka $\underline{Z}_T$ je imame:

$$D\underline{S}_{ZT} = \frac{P_{P8}^2 + Q_{P8}^2}{U_8^2} \cdot (R_T + jX_T) = \frac{60^2 + 20^2}{108,4^2} \cdot (0,846 + j18,490) = (0,288 + j6,294) \text{ MVA},$$

dodeka vkupnite zagubi na mo}nost $D\underline{S}_T$ vo grupata transformatori je bide:

$$D\underline{S}_T = D\underline{S}_{ZT} + (D P_{Fe} + j D Q_{Fe}) = (0,369 + j6,819) \text{ MVA}.$$

Spored toa, mo}nosta $\underline{S}''_{1-7}$ koja vleguva vo grupata transformatori je bide:

$$\underline{S}''_{1-7} = \underline{S}_{P8} + D\underline{S}_T = (60,369 + j26,819) \text{ MVA}.$$

5.2. Zagubi na mo}nos t vo vodovi te V5 i V6

Mo}nosta Q_{c2} { to ja generira napre~nata granka od vodovite V5 i V6 pri jazelot "7# je bide:

$$Q_{c2} = 2 \cdot (B_{V5} / 2) \cdot U_7^2 = 139,5 \cdot 10^{-6} \cdot 112,57^2 = 1,768 \text{ Mvar}.$$

Ponatamu, vo soglasnost so slikata 2 imame:

$$\underline{S}''_{1-7} = (p''_{1-7} + jq''_{1-7}) = \underline{S}''_{1-7} - jQ_{c2} = (60,369 + j25,051) \text{ MVA}.$$

Zagubite na mo}nost $D\underline{S}_{1-7}$ vo rednata granka od ekvivalentniot vod 1-7 je bide:

$$D\underline{S}_{1-7} = \frac{p''_{1-7}^2 + q''_{1-7}^2}{U_7^2} \cdot \frac{R_{V5} + jQ_{V5}}{2} = \frac{60,369^2 + 25,051^2}{112,57^2} \cdot \frac{10,5 + j20,3}{2} = (1,77 + j3,422) \text{ MVA}.$$

$$\underline{S}'_{1-7} = \underline{S}''_{1-7} + D\underline{S}_{1-7} = (62,139 + j28,473) \text{ MVA}.$$

Mo}nosta Q_{c1} { to ja generira napre~nata granka od vodovite V5 i V6 pri jazelot "1# je bide:

$$Q_{c1} = 2 \cdot (B_{V5} / 2) \cdot U_1^2 = 139,5 \cdot 10^{-6} \cdot 117^2 = 1,91 \text{ Mvar}.$$

Ponatamu, za mo}nosta na po~etokot od ekvivalentniot vod 1-7 imame:

$$\underline{S}'_{1-7} = \underline{S}'_{1-7} - jQ_{c1} = (62,139 + j26,563) \text{ MVA}.$$

5.3. Zagubi na mo}nos t vo t rinamo t niot t rans f orma t oro t TT4

Na sli~en na~in kako i vo slu~ajot 5.1, gi opredeluvame zagubite na mo}nost vo impedanciite $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$ na namotkite od trinamotniot transformator. Kako rezultat se dobivaat slednite vrednosti koi se vo soglasnost so slikata 3:

$$\underline{S}''_6 = \underline{S}_{P6} = (20 + j8) \text{ MVA}; \quad \underline{S}'_6 = (20,036 + j8,737) \text{ MVA};$$

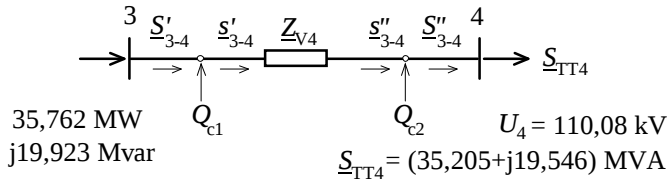
$$\underline{S}''_5 = \underline{S}_{P5} = (15 + j6) \text{ MVA}; \quad \underline{S}'_5 = (15,005 + j6,006) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}''_4 = \underline{S}'_5 + \underline{S}'_6 = (35,041 + j14,743) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}'_4 = (35,15 + j18,946) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}_{TT4} = \underline{S}''_{1-4} = \underline{S}'_4 + (DP_{Fe} + jDQ_{Fe}) = (35,205 + j19,546) \text{ MVA}.$$

5.4. Zagubi na mo}nos t vo vodo t V4



Slika 4.

Mo}nosta Q_{c2} { to ja gener i ra napre~nata granka od vodot V4 pri jazelot "4# }e bide:

$$Q_{c2} = (B_{V4} / 2) \cdot U_4^2 = 27,9 \cdot 10^{-6} \cdot 110,08^2 = 0,338 \text{ Mvar}.$$

Ponatanu, vo soglasnost so slikata 4 imame:

$$\underline{S}''_{3-4} = \underline{S}_{TT4} - jQ_{c2} = (35,205 + j19,208) \text{ MVA}.$$

Zagubite na mo}nost $D_{S_{3-4}}$ vo impedancijata Z_{V4} od rednata granka na vodot V4 }e bide:

$$D_{S_{3-4}} = \frac{p_{3-4}^2 + q_{3-4}^2}{U_4^2} \cdot (R_{V4} + jQ_{V4}) = \frac{35,205^2 + 19,208^2}{110,08^2} \cdot (4,2 + j8,12) = (0,557 + j1,078) \text{ MVA}.$$

$$\underline{S}'_{3-4} = \underline{S}''_{3-4} + D_{S_{3-4}} = (35,762 + j20,286) \text{ MVA}.$$

Mo}nosta Q_{c1} { to ja gener i ra napre~nata granka od vodot V4 pri jazelot "3# }e bide:

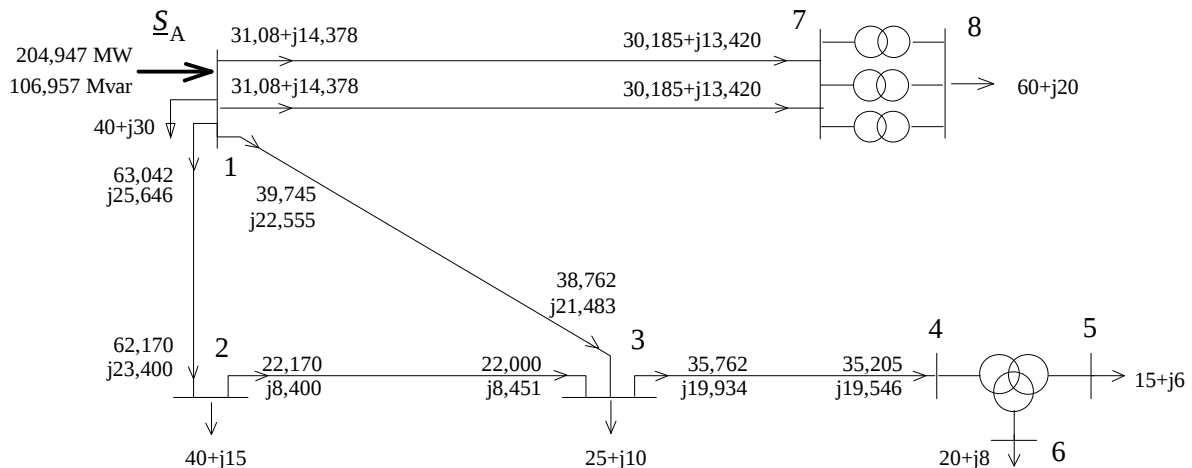
$$Q_{c1} = (B_{V4} / 2) \cdot U_3^2 = 27,9 \cdot 10^{-6} \cdot 112,4^2 = 0,352 \text{ Mvar}.$$

Ponatanu, za mo}nosta na po~etokot od vodot V4 dobivame:

$$\underline{S}'_{3-4} = \underline{S}'_{3-4} - jQ_{c1} = (35,762 + j19,934) \text{ MVA}.$$

5.5. Zagubi na mo}nos t vo vodovi t e V1, V2 i V3

Na napolno ist na~in kako i vo to~kata 5.4 gi presmetuvame zagubite na mo}nost i vo vodovite od prstenot V1, V2 i V3. Rezultatite od presmetkite se prika`ani na slikata 5 i vo tabelata T3.



Slika 5. Kone~na raspodelba na mo}nosti vo sistemot

Tabela 3. Tekovi na mo}nost i niz elementite od sistemot

reden broj	Vod	Pome u jazl ite	Mo}nost na po~etokot		Mo}nost na krajot		Zagubi na mo}nost	
			MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
1	V1	1-2	63,042	25,646	62,170	23,400	0,872	2,246
2	V2	2-3	22,170	8,400	22,000	8,451	0,170	-0,051
3	V3	1-3	39,745	22,555	38,762	21,483	0,983	1,072
4	V4	3-4	35,762	19,923	35,205	19,546	0,557	0,377
5	V5	1-7	31,080	14,378	30,185	13,420	0,895	0,958
6	V6	1-7	31,080	14,378	30,185	13,420	0,895	0,958

6. Ut o~nuvawe na naponi te vo jazl ite

Postapkata od to~kata 4 se povtoruva u { te edna { , no sega so uto~net ite vrednosti na mo}nost ite niz redni te granki od vodovi te:

$$DU_{1-2} = \frac{P'_{1-2} \cdot R_{V1} + Q'_{1-2} \cdot X_{V1}}{U_A} = \frac{63,042 \cdot 2,58 + (25,646 + 0,397) \cdot 7,82}{117} = 3,13 \text{ kV};$$

$$U_2 = U_1 - DU_{1-2} = 113,87 \text{ kV}$$

$$DU_{2-3'} = \frac{P'_{2-3} \cdot R_{V2} + Q'_{2-3} \cdot X_{V2}}{U_2} = \frac{22,170 \cdot 3,87 + (8,401 + 0,566) \cdot 11,73}{114,03} = 1,68 \text{ kV};$$

$$U_{3'} = U_2 - DU_{2-3'} = 112,19 \text{ kV}.$$

$$DU_{1-3''} = \frac{P'_{1-3} \cdot R_{V3} + Q'_{1-3} \cdot X_{V3}}{U_A} = \frac{39,745 \cdot 6,45 + (22,555 + 0,992) \cdot 19,55}{117} = 6,13 \text{ kV};$$

$$U_{3''} = U_A - DU_{1-3''} = 110,87 \text{ kV}.$$

Naponot vo jazol ot "3# je bide sredna vrednost od naponi te $U_{3'}$ i $U_{3''}$:

$$U_3 = \frac{U_{3'} + U_{3''}}{2} = \frac{112,19 + 110,87}{2} = 111,53 \text{ kV}.$$

$$DU_{3-4} = \frac{P'_{3-4} \cdot R_{V4} + Q'_{3-4} \cdot X_{V4}}{U_3} = \frac{35,762 \cdot 4,2 + (19,934 + 0,36) \cdot 8,12}{111,53} = 2,82 \text{ kV};$$

$$U_4 = U_3 - DU_{3-4} = 108,71 \text{ kV}.$$

$$DU_{1-7} = \frac{P'_{1-7} \cdot R_{V5} + Q'_{1-7} \cdot X_{V5}}{U_A} = \frac{31,080 \cdot 10,5 + (14,378 + 1,91) \cdot 20,3}{117} = 5,62 \text{ kV};$$

$$U_7 = U_1 - DU_{1-7} = 112,38 \text{ kV}.$$

Bidej}i mo}nostite niz transformatorite ostanuvaat isti, pribli`no isti (neizmeneti) je bidat i zagubite na napon i zagubite na mo}nost vo niv, presmetani prethodno. Na toj na~in, "kone~nite# vrednosti na naponi te vo jazl ite od sistemot je bidat sledni te:

Tabela 4 Uto~netiti na naponi te vo jazl ite

U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_0
117,00 kV	113,87 kV	111,53 kV	108,71 kV	103,7 kV	102,37 kV	112,38 kV	108,21 kV	103,88 kV

Za mo}nosta na izvorot, spored prethodno presmetanoto dobivame:

$$\underline{S}_A = \underline{S}_{P1} + \underline{S}'_{1-2} + \underline{S}'_{1-3} + 2 \cdot \underline{S}'_{1-7},$$

$$\underline{S}_A = (40 + j30) + (63,042 + j25,646) + (39,745 + j22,555) + 2 \cdot (31,080 + j14,378) = (204,947 + j106,957) \text{ MVA}.$$

Vkupnata potro { uva~ka na aktivna i reaktivna energija na konzumot vo sistemot }e bide:

$$\sum P_p = P_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P_{P5} + P_{P6} + P_{P8} = 40 + 40 + 25 + 15 + 20 + 60 = 200 \text{ MW}.$$

$$\sum Q_p = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P5} + Q_{P6} + Q_{P8} = 30 + 15 + 10 + 6 + 8 + 20 = 89 \text{ Mvar}.$$

Spored toa, vkupnite zagubi na mo}nost vo sistemot }e bidat:

$$DP_\Sigma = P_A - \sum P_p = 204,947 - 200 = 4,947 \text{ MW}; \quad DQ_\Sigma = Q_A - \sum Q_p = 106,957 - 89 = 17,957 \text{ Mvar}.$$

Za ilustracija na to~nosta na presmetkite }e ni poslu`at tabelite 5 i 6 vo koi se poka`ani to~nite rezultati od zada~ata, dobieni so pomo { na komjuter.

Tabela 5 To~ni vrednosti na naponi te vo jazl ite (kompjuterska presmetka)

$\underline{U}_1$	$\underline{U}_2$	$\underline{U}_3$	$\underline{U}_4$	$\underline{U}_5$	$\underline{U}_6$	$\underline{U}_7$	$\underline{U}_8$	$\underline{U}_0$
117.00	113.70	111.67	108.85	103.24	101.86	111.80	107.42	103.42
0.00°	-1.82°	-2.80°	-3.77°	-9.52°	-11.29°	-2.11°	-7.33°	-9.46°

Tabela 6. Tekovi na mo}nosti niz elementite od sistemot (kompjuterska presmetka)

reden broj	Vod	Pome u jazl ite	Mo}nost na po~etokot		Mo}nost na krajot		Zagubi na mo}nost	
			MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
1	V1	1-2	63.62	28.81	62.70	26.78	0,92	2,03
2	V2	2-3	22.70	11.78	22.50	12.28	0,20	-0,50
3	V3	1-3	39.21	18.75	38.30	17.90	0,91	0,85
4	V4	3-4	35.80	20.18	35.23	19.75	0,57	0,43
5	V5	1-7	31.09	13.38	30.19	13.47	0,90	0,91
6	V6	1-7	31.09	13.38	30.19	13.47	0,90	0,91
7	Z ₁	4-0	35.17	19.15	35.06	14.79	0,11	4,36
8	Z ₂	0-5	15.02	6.02	15.00	6.00	0,02	0,02
9	Z ₃	0-6	20.04	8.76	20.00	8.00	0,04	0,76
10	Z _T	7-8	60.29	26.41	60.00	20.00	0,29	6,41

Vo pogled na mo}nosta na izvorot i vkupnite zagubi vo sistemot se dobieni slednite rezultati:

$$\underline{S}_A = P_A + jQ_A = (205,003 + j104,336) \text{ MVA}; \quad DP = 5,003 \text{ MW}; \quad DQ = 15,336 \text{ Mvar}.$$

TABELAREN I GRAFI^KI PRIKAZ NA PRESMETANITE REZULTATI

Tabela I. Presmetani vrednosti na naponite vo jazlite (kV)

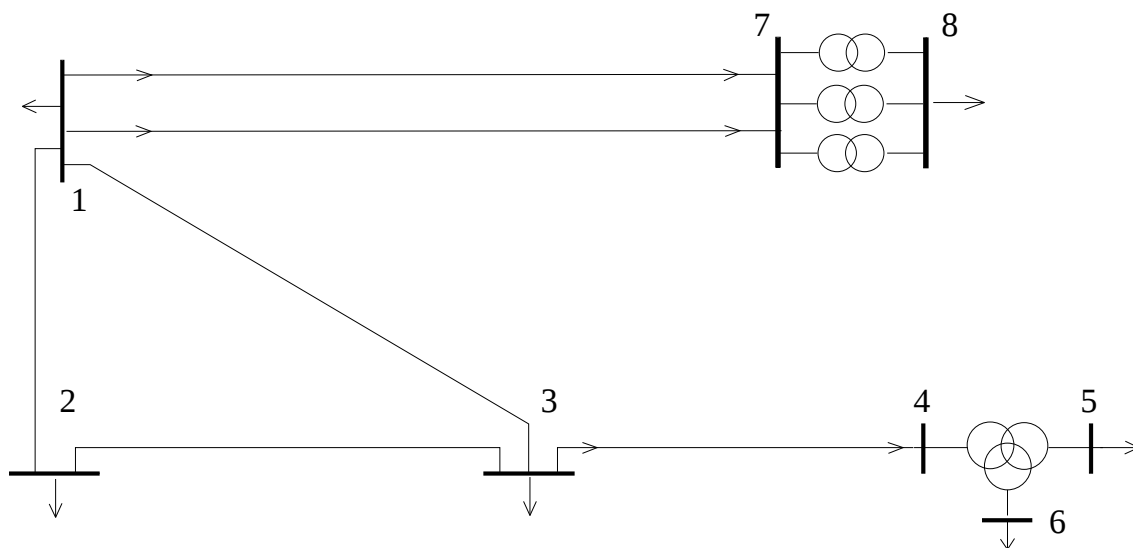
$\underline{U}_1$	$\underline{U}_2$	$\underline{U}_3$	$\underline{U}_4$	$\underline{U}_5$	$\underline{U}_6$	$\underline{U}_7$	$\underline{U}_8$	$\underline{U}_0$

Tabela II. Presmetani vrednosti na tekovite na mo}nosti niz elementite od sistemot

reden broj	Vod	Pome u jazlite	Mo}nost na po{etokot		Mo}nost na krajot		Zagubi na mo}nost	
			MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
1	V1	1-2						
2	V2	2-3						
3	V3	1-3						
4	V4	3-4						
5	V5	1-7						
6	V6	1-7						
7	Z ₁	4-0						
8	Z ₂	0-5						
9	Z ₃	0-6						
10	Z _T	7-8						

Tabela III. Presmetani bilansi na mo}nostite vo sistemot

Presmetani mo}nosti	MW	Mvar
Vkupna potro{uva~ka vo sistemot:		
Moknost vo napojnata to~ka:		
Vkupni zagubi vo sistemot:		



Slika 5. Kone~na raspodelba na mo}nosti vo sistemot

Kandidat: _____ Ind.br. ____/____

1. Programska zadata: Daden e tri fazen prenosni vod so dolžina $l =$ ____ km. Fazne sprovodnici na vodot se kombinirani Al/ $\wedge$ jačija so nominalen presek:

a) 150/25 mm² b) 240/40 mm² v) 360/60 mm² g) 490/65 mm² d) 2x490/65 mm² ($k =$ ____ cm)¹.

Fazne sprovodnici imaat: a) triagolen raspored b) horizontalen raspored, pri to, rastojanieto pomeju seкои dve sosedni fazi iznesuva $D =$ ____ m.

Poznati se slednite rešimski parametri: $P_2 =$ ____ MW $Q_2 =$ ____ Mvar $U_1 =$ ____ kV.

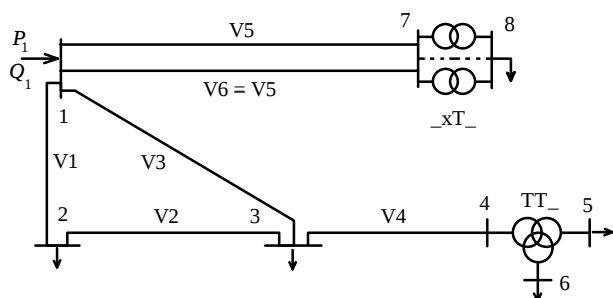
Da se presmetaat podolžne parametri na vodot r, x i b i ostanatite rešimski parametri P_1, Q_1, I_1, j_1 i U_2, I_2, j_2 a potoa da se nacрта fazorskiot dijagram na naponite i struite za dadeniot rešim. Rezultatite od presmetkite da se prikaat i tabelarno.

1) Vo slučajot "d" se raboti za vod so dva sprovodnika po faza (sprovodnici vo snop), postaveni na meļusebno rastojanie k .

2. Programska zadata: Na slikata e prikaana 110 kV prenosna mreāa. Vodovite V1, V2 i V3, koi go formiraat prstenot, se izvedeni kako nadzemni, so sprovodnici Al/ $\wedge$ 240/40 mm². Ostanatite vodovi se so pomal presek Al/ $\wedge$ 150/25 mm², izvedeni isto taka kako nadzemni. Sredno-geometriskoto rastojanie meļu faznite sprovodnici kaj site vodovi e isto i iznesuva $D_m =$ ____ m. Dolžinite na poedinite vodovi (izrazeni vo km) se dadeni na samata slika. Na slikata se prikaani i optovaruvawata na potroćuwaite, izrazeni vo MVA. Naponot vo napojnata točka ____ iznesuva $U_0 =$ ____ kV. Podatocite za transformatorite se dadeni vo tabelite 1 i 2.

Za dadeniot rešim na rabota da se opredelat: 1) efektivnite vrednosti na naponite vo oddelnite jazli od mreāata 2) tekovite na moļnosti niz grankite od mreāata 3) vkupnite zagubi na moļnost vo mreāata $DS = DP + jDQ$ 4) moļnosta na izvorot $S_1 = P_1 + jQ_1$. Rezultatite od presmetkite da se prikaat tabelarno i grafički, vo priloēenite formulari.

Podatoci za vodovite i potroćuwaite:



$L_{1-2} =$ ____ km $S_{p1} =$ ____ (MVA)
 $L_{2-3} =$ ____ km $S_{p2} =$ ____ (MVA)
 $L_{1-3} =$ ____ km $S_{p3} =$ ____ (MVA)
 $L_{3-4} =$ ____ km $S_{p5} =$ ____ (MVA)
 $L_{1-7} =$ ____ km $S_{p6} =$ ____ (MVA)
 $S_{p8} =$ ____ (MVA)

Tabela 1. Nominalni podatoci za dvonamotni energetski transformatori

Transformator tip	S_n MVA	U_{1n} / U_{2n} kV/kV	DP_{Cun} kW	DP_{Fe} kW	u_k % %	i_o % %
T1	10	115/11	60	14	10,5	0,7
T2	16	115/11	85	19	10,5	0,7
T3	25	115/10,5	120	27	10,5	0,7
T4	40	115/6,3	172	36	10,5	0,65
T5	63	115/10,5	250	51	10,5	0,6

Tabela 2. Nominalni podatoci za trinamotni energetski transformatori

Trinamoten transf. tip	S_n MVA			U_n kV			u_k %			i_o %	DP_{Cun} kW			DP_{Fe}
	1-2	1-3	2-3	1	2	3	1-2	1-3	2-3	%	1-2	1-3	2-3	kW
TT1	16	10	16	110	11,0	6,6	10,5	17,5	6,0	1,5	100	100	100	26
TT2	25	16	25	110	38,5	6,6	10,0	17,0	6,0	1,2	150	150	150	40
TT3	31,5	31,5	31,5	110	38,5	11	18,2	10,6	6,6	1,5	200	200	200	55
TT4	40	40	40	110	10,5	6,3	11,0	16,3	6,0	1,5	220	220	220	55
TT5	63	63	63	110	38,5	11	16,5	17,0	6,0	0,85	310	310	310	70

Zadate gi izdal: _____ Izdaden na deH: _____ Rok za predavawe: _____

