

УНИВЕРЗИТЕТ "СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ" - СКОПЈЕ  
ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА  
И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

Р. Ачковски

**УПАТСТВО ЗА РЕШАВАЊЕ  
НА ПРОГРАМСКИТЕ ЗАДАЧИ  
ПО ПРЕДМЕТОТ  
"ВИСОКОНАПОНСКИ МРЕЖИ  
И СИСТЕМИ"**



СКОПЈЕ, 2006 година

**УПАТСТВО ЗА РЕШАВАЊЕ НА ПРВАТА  
ПРОГРАМСКА ЗАДАЧА ОД ОБЛАСТА НА  
ПРЕНЕСУВАЊЕ НА МОКНОСТ СО ДОЛГИ ВОДОВИ**



СКОПЈЕ, 2006 година

## ЗАБЕЛЕШКИ ВО ВРСКА СО ИЗРАБОТКАТА НА ПРОГРАМСКАТА ЗАДАЧА

### 1) Пресметка на подолжните параметри на водои:

**Активни отпорности на спроводниците.** При пресметувањето на активната отпорност на спроводниците во програмската задача да се претпостави дека работната температура на спроводниците изнесува околу  $\theta = 40^\circ \text{C}$ . Тоа значи дека вредноста  $r_{20}$ , отчитана од табелата П.1 од Прилогот, ќе треба дополнително да се корегира, т.е. да се зголеми за 8% или пак да се користи равенката (1.1) во која за специфичната спроводност на алуминиумот ќе се усвои  $\kappa = 32 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$ .

$$r = \frac{1000}{\kappa \cdot n \cdot A} = \frac{1000}{32 \cdot n \cdot A} = \frac{31,25}{n \cdot A}, \frac{\Omega}{\text{km}} \quad (1.1)$$

Во релацијата (1.1) со  $n$  е означен бројот на спроводниците по фаза, додека со  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) е означен вистинскиот пресек на спроводникот. Кај алуцел јажињата под  $A$  се подразбира вистинскиот пресек на алуминиумовиот дел од јажето.

**Реактивни отпорности на водовите.** При пресметувањето на подолжните реактивни отпорности на водовите  $x$  се користи релацијата (1.2).

$$x = 0,1445 \cdot \log \frac{D_m}{D_s}, \frac{\Omega}{\text{km}} \quad (1.2)$$

Во оваа релација се воведени следните обележувања:

$D_m$  – средногеометриско растојание (СГР) помеѓу фазните спроводници;

$D_s$  – редуцирано сопствено СГР на фазните спроводници;

Средногеометриското растојание  $D_m$  помеѓу фазните спроводници А, В и С се пресметува со помош на релацијата (1.3)

$$D_m = \sqrt{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} \quad (1.3)$$

За водовите чии фазни спроводници се поставени во темињата на рамностран триаголник со страница  $D$ , СГР  $D_m$  ќе биде  $D_m = D$ . За водовите чии фазни спроводници се поставени во рамнина, во согласност со (1.3), ќе имаме:  $D_m = \sqrt[3]{D \cdot 2D \cdot D} = D \cdot \sqrt[3]{2} = 1,26 \cdot D$ .

Редуцираното сопствено СГР на фазните спроводници  $D_s$  зависи од типот на спроводниците. Кај водовите со спроводници во сноп тоа зависи уште и од бројот на спроводниците во снопот  $n$  и димензиите на самиот сноп. Тоа се пресметува со помош на една од следните релации:

**Табела 1.1. Формули за пресметка на редуцираното (СГР)  $D_s$**

Формула	Случај
$D_s = r_e = r_p \cdot e^{-0,25} = 0,7788 \cdot r_p$	– за масивни спроводници и хомогени јажиња со радиус $r_p = d_p/2$ ;
$D_s \approx r_e = 0,81 \cdot r_p$	– за вообичаено употребувани алуцел јажиња Al/C;
$D_s = \sqrt{r_e \cdot a} = \sqrt{0,81 \cdot r_p \cdot a}$	– за водови со $n=2$ спроводника во сноп поставени на меѓусебно растојание $a$ ;
$D_s = \sqrt[3]{r_e \cdot a^2} = \sqrt[3]{0,81 \cdot r_p \cdot a^2}$	– за водови со $n=3$ спроводника во сноп поставени во темињата на рамностран триаголник со страница $a$ ;
$D_s = \sqrt[4]{r_e \cdot \sqrt{2} \cdot a^3} = \sqrt[4]{1,15 \cdot r_p \cdot a^3}$	– за водови со $n=4$ спроводника во сноп поставени во темињата на квадрат со страница $a$ ;

**Капацитивни спроводности на водовите.** При пресметката на подолжната капацитивна спроводност  $b$  на водовите, се користи релацијата (1.5).

$$b = \frac{7,58}{\log(D_m / D_{SS})}, \frac{\mu\text{S}}{\text{km}} \quad (1.5)$$

Величината  $D_{SS}$  што фигурира во (1.5) се нарекува сопствено СГР на фазните спроводници. Таа се пресметува на сличен начин како и редуцираното сопствено СГР  $D_S$ , само што место со еквивалентниот радиус  $r_e$  овде се оперира со вистинскиот надворешен радиус на спроводникот  $r_p$ :

**Табела 1.2. Формули за пресметка на сопственото (СГР)  $D_{SS}$**

Формула	Случај
$D_{SS} = r_p$	– за масивни спроводници и за јажиња со радиус $r_p = d_p/2$ ;
$D_{SS} = \sqrt{r_p \cdot a}$	– за водови со $n=2$ спроводника во сноп поставени на меѓусебно растојание $a$ ;
$D_{SS} = \sqrt[3]{r_p \cdot a^2}$	– за водови со $n=3$ спроводника во сноп поставени во темињата на рамностран триаголник со страница $a$ ;
$D_{SS} = \sqrt[4]{r_p \cdot \sqrt{2} \cdot a^3}$	– за водови со $n=4$ спроводника во сноп поставени во темињата на квадрат со страница $a$ ;

(1.6)

**II) Пресметка на  $Z_C$ ,  $\gamma$  и параметриите  $Z_P$  и  $Y_P$  на  $\pi$ -заменска шема на водот:**

Карактеристичната импеданција  $Z_C$  на водот ќе биде:

$$Z_C = Z_C \cdot e^{j\xi} = \sqrt{\frac{r+jx}{jb}}; \quad Z_C = \sqrt{\frac{\sqrt{r^2+x^2}}{b}}; \quad \xi = \frac{1}{2} \cdot (\arctg \frac{x}{r} - \frac{\pi}{2}) \tag{1.7}$$

Константата на простирање  $\gamma$  се пресметува со формулата (1.8):

$$\gamma = \gamma \cdot e^{j\varphi_\gamma} = \sqrt{(r+jx) \cdot jb}; \quad \gamma = \sqrt{b \cdot \sqrt{r^2+x^2}}; \quad \varphi_\gamma = \frac{1}{2} \cdot (\arctg \frac{x}{r} + \frac{\pi}{2}) \tag{1.8}$$

$$\gamma = (\alpha + j\beta); \quad \alpha = \gamma \cdot \cos \varphi_\gamma; \quad \beta = \gamma \cdot \sin \varphi_\gamma \tag{1.9}$$

Кенелиевите корекциони фактори  $k_r$ ,  $k_x$  и  $k_b$  за разгледуваниот вод ќе бидат:

$$k_r = 1 - \frac{b \cdot x \cdot l^2}{3}; \quad k_x = 1 - \frac{b \cdot x \cdot l^2}{6} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{x^2}\right) \approx 1 - \frac{b \cdot x \cdot l^2}{6}; \quad k_b = 1 + \frac{b \cdot x \cdot l^2}{12} \tag{1.10}$$

Параметрите на уточнетата  $\pi$ -заменска шема на водот ќе бидат:

$$R_P = k_r \cdot (r \cdot l); \quad X_P = k_x \cdot (x \cdot l); \quad Y_P = k_b \cdot (b \cdot l); \quad Y_P / 2 = k_b \cdot (b \cdot l) / 2 \tag{1.11}$$

**III) Пресметка на оснанијите режимски параметри на водот:**

Бидејќи се работи за високонапонски вод, при пресметувањето на напонските прилики ќе мора да се води сметка не само за подолжната компонента  $\Delta U_d$ , туку и за попречната компонента на падот на напон  $\Delta U_q$ . Наедно со та, во пресметките ќе мора да се уважува капацитивната проводност  $B$  на водот. (За активната отпорност на водот  $G$  може да се усвои  $G = 0$ ). Бидејќи е позната моќноста на потрошувачот, приклучен на крајот од водот ( $P_2$  и  $Q_2$ ) а не е познат напонот  $U_2$ , туку напонот  $U_1$ , задачата не може да се реши директно, туку ќе мора да се примени итеративна постапка. Заради постигање на доволна точност, бројот на итерациите што притоа ќе се изведе не треба да биде помал од 2.

Пред да се започне со итеративната постапка, се усвојува вредноста на напонот  $U_2$ . Вообичаено е за непознатиот напон  $U_2$  да се усвои  $U_2 = U_n e^{j0}$  ( $U_n$  = номинален напон на водот). Но проценетата вредност на напонот  $U_2$  ќе биде поблиску до вистинската ако притоа се користи следната релација:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2 \cdot R_P + Q_2 \cdot X_P}{U_n}; \quad U_2 = U_2 e^{j0} \tag{1.12}$$

После тоа се пристапува кон изведувањето на првата итерација. Првата итерација, (а и секоја наредна итерација), се состои од следните чекори:

- #1. Со помош на релацијата (1.13) се пресметува реактивната моќност  $Q_{C2}$  на попречната гранка приклучена на крајот од водот.

$$Q_{C2} = \frac{B_P}{2} \cdot U_2^2 \tag{1.13}$$

#2. Со помош на (1.14) се пресметува моќноста на крајот од водот а потоа, по потреба, и струјата  $I_{12}$  во редната гранка  $Z_P$  на водот.

$$\underline{S}_{12}'' = \underline{S}_2 - jQ_{C2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{C2}) \tag{1.14}$$

#3. Со помош на релациите (1.15) и (1.16), се пресметуваат попречната и подолжната компонента на падот на напон  $\Delta U_d$  и  $\Delta U_q$ .

$$\Delta U_d = \frac{P_2 \cdot R_P + (Q_2 - Q_{C2}) \cdot X_P}{U_2}; \quad \Delta U_q = \frac{P_2 \cdot X_P - (Q_2 - Q_{C2}) \cdot R_P}{U_2} \tag{1.15}$$

#4. Со примена на Питагорината теорема се добива новата, корегирана вредност за напонот  $U_2$ :

$$U_1 = \sqrt{U_2^2 - \Delta U_d^2} - \Delta U_q; \quad \theta = \arg(\underline{U}_1) = \arctan \frac{\Delta U_q}{U_2 + \Delta U_d}.$$

После ова, завршува првата итерација, и се преминува на втората (т.е. следната) итерација. Постапката и редоследот на изведувањето на опрациите за втората и сите наредни итерации се идентични како и кај првата итерација при што вредностите за  $Q_{C2}$ ,  $\Delta U_d$  и  $\Delta U_q$ , коишто се определуваат со помош на релациите (1.13) и (1.15) се пресметуваат со уточнетите вредности за напонот  $U_2$ , добиени од претходната итерација.

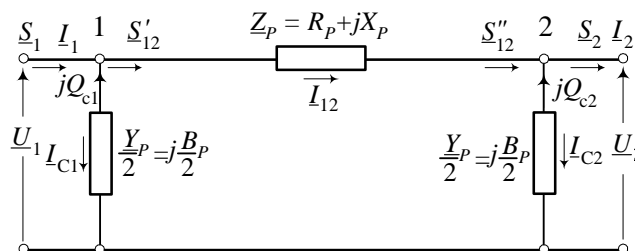
По извршувањето на доволен број итерации, вредноста на напонот  $U_2$  практично веќе не се менува, и тогаш, итеративниот процес може да се прекине. На крајот, во согласност со сликата 1, со помош на релациите (1.16) се пресметуваат загубите на моќност во редната гранка од водот, а потоа, со помош на релациите (1.17) и (1.18), се пресметува и моќноста на почетокот од водот  $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1$ , како и струите  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{c1}$  и  $I_{c2}$ .

$$\Delta \underline{S}_{12} = (\Delta P_{12} + j\Delta Q_{12}) = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{C2})^2}{U_2^2} \cdot (R_P + jX_P) \tag{1.16}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}'_{12} &= \underline{S}_{12}'' + \Delta \underline{S}_{12} \\ \underline{S}_1 &= \underline{S}'_{12} - jQ_{C1} = \underline{S}'_{12} - j \frac{B_P}{2} \cdot U_1^2 \end{aligned} \tag{1.17}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{S_2^*}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3} \cdot U_2}; \quad I_{C2} = j \frac{B_P}{2} \cdot U_{2f} = j \frac{B_P}{2} \cdot \frac{U_2}{\sqrt{3}}; \quad I_{12} = I_2 + I_{C2} \\ I_{C1} &= j \frac{B_P}{2} \cdot U_{1f} = j \frac{B_P}{2} \cdot \frac{U_1}{\sqrt{3}}; \quad I_1 = I_{12} + I_{C1} \end{aligned} \tag{1.18}$$

После извршените аналитички пресметки, се црта фазорскиот дијаграм на напоните и струите, на милиметарска хартија (формат A4), во размер.



Слика 1

**I Програмска задача – пример:** Даден е трифазен преносен вод со должина  $L = 181$  km. Фазните спроводници на водот се комбинирани Al/C јажиња со номинален пресек  $2 \times 490/65$  mm<sup>2</sup> (спроводници во сноп), поставени на меѓусебно растојание  $a = 38$  cm. Фазните спроводници се поставени во иста рамнина, т.е. имаат хоризонтален распоред, при што растојанието помеѓу секои две соседни фази изнесува  $D = 8,0$  m. Познати се следните режимски параметри:  $P_2 = 435$  MW  $Q_2 = 145$  Mvar  $U_1 = 410$  kV.

Да се пресметаат подолжните параметри на водот  $r, x, b, Z_p, Y_p$  и останатите режимски параметри  $P_1, Q_1, I_1, \phi_1$  и  $U_2, I_2, \phi_2$  а потоа да се нацрта фазорскиот дијаграм на напоните и струите за дадениот режим. Резултатите од пресметките да се прикажат и табеларно, во приложениот формулар.

**Решение:**

**1. Пресметка на параметриите на водот**

$$r = \frac{1000}{\kappa \cdot n \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 2 \cdot 490,3} = 0,03187 \frac{\Omega}{\text{km}},$$

$$D_m = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} = \sqrt[3]{D \cdot (2D) \cdot D} = D \cdot \sqrt[3]{2} = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 8,0 = 10,1 \text{ m},$$

$$D_s = \sqrt{0,81 \cdot r_p \cdot a} = \sqrt{(d_s/2) \cdot a} = \sqrt{0,81 \cdot 15,3 \cdot 380} = 68,63 \text{ mm}$$

$$D_{SS} = \sqrt{r_p \cdot a} = \sqrt{(d_s/2) \cdot a} = \sqrt{15,3 \cdot 380} = 76,25 \text{ mm}$$

$$x = 0,1445 \cdot \log \frac{D_m}{D_s} = 0,1445 \cdot \log \frac{10,1}{68,63 \cdot 10^{-3}} = 0,31325 \frac{\Omega}{\text{km}},$$

$$b = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_m}{D_{SS}}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{10,1}{76,25 \cdot 10^{-3}}} = 3,572 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}.$$

$$\underline{z} = (r + jx) = (0,03187 + j0,31325) = 0,31487 \cdot e^{j84,191^\circ} \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{\underline{z}}{y}} = \sqrt{\frac{r + jx}{jb}} = 296,9 \cdot e^{j\xi}; \quad \xi = -2,905^\circ$$

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{z} \cdot y} = \sqrt{(r + jx) \cdot jb} = 1,06053 \cdot e^{j87,1} \frac{1}{\text{km}}; \quad \underline{\gamma} = (\alpha + j\beta) = (5,373 + j105,92) \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{km}}$$

Кенелиевите корекциони фактори  $k_r, k_x$  и  $k_b$  ќе бидат:

$$x \cdot b = 0,31325 \cdot 3,572 \cdot 10^{-6} = 11,189 \cdot 10^{-6}$$

$$k_r = 1 - \frac{x \cdot b}{3} \cdot l^2 = 0,98778; \quad k_x \approx 1 - \frac{x \cdot b}{6} \cdot l^2 = 0,99389; \quad k_b = 1 + \frac{x \cdot b}{12} \cdot l^2 = 1,00316$$

Според тоа, параметрите на заменската шема на водот ќе бидат:

$$R_p = k_r \cdot (r \cdot l) = 0,98778 \cdot 5,768 = 5,698 \Omega$$

$$X_p = k_x \cdot (x \cdot l) = 0,99389 \cdot 56,698 = 56,352 \Omega$$

$$B_p = k_b \cdot (b \cdot l) = 1,00316 \cdot 646,5 = 648,5 \mu\text{S}; \quad B_p/2 = 323,25 \mu\text{S}.$$

**2. Пресметка на падот на напон во водот**

За пресметување на подолжната и попречната компонента на падот на напон ќе ни биде потребно целосно да ги знаеме приликите на почетокот од водот ( $P_2, Q_2, U_2$ ) или приликите на почетокот ( $P_1, Q_1, U_1$ ). Бидејќи нас ни се познати само моќностите  $P_2$  и  $Q_2$  а напонот  $U_2$  не ни е познат, за почетокот, неговата вредност ќе ја процениме со помош на следната приближна релација:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2 \cdot R_p + Q_2 \cdot X_p}{U_n} = 410 - \frac{435 \cdot 5,698 + 145 \cdot 56,352}{400} = 383,4 \text{ kV}$$

$$\text{Истовремено ќе усвоиме } \underline{U}_2 = U_2 \cdot e^{j0} = 383,4 \cdot e^{j0} \text{ kV}.$$

– I итерација:

Сега можеме да ја пресметаме реактивната моќност  $Q_{c2}$  што ја генерира попречната гранка на крајот од водот, а потоа и моќноста  $S''_{12}$  (слика 1):

$$Q_{c2} = (B/2) \cdot U_2^2 = 324,25 \cdot 10^{-6} \cdot 384,4^2 = 47,667 \text{ Mvar},$$

а потоа и моќноста  $S''_{12}$  (сл.1):

$$S''_{12} = S_2 - jQ_{c2} = (P_2 + jQ_2) - jQ_{c2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{c2}), \text{ или}$$

$$S''_{12} = (435 + j145) - j47,667 = (360 + j97,337) \text{ MVA}.$$

Сега можеме да ги пресметаме (приближно) компонентите  $\Delta U_d$  и  $\Delta U_q$  на падот на напон:

$$\Delta U_d = \frac{P_2 \cdot R_P + (Q_2 - Q_{c2}) \cdot X_P}{U_2} = \frac{435 \cdot 5,698 + 97,337 \cdot 56,352}{383,4} = 20,771 \text{ kV}$$

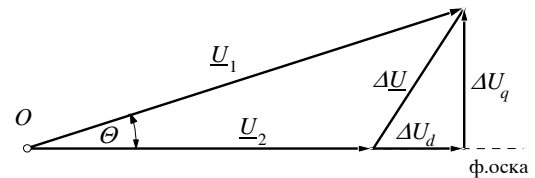
$$\Delta U_q = \frac{P_2 \cdot X_P - (Q_2 - Q_{c2}) \cdot R_P}{U_2} = \frac{435 \cdot 56,352 - 97,337 \cdot 5,698}{383,4} = 62,49 \text{ kV}.$$

За да ја пресметаме уточнетата вредност на напонот  $U_2$  ќе се послужи́ме со векторскиот дијаграм прикажан на сликата 2. Од дијаграмот произлегува следната релација:

$$U_1^2 = (U_2 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2, \text{ т.е.}$$

$$U_2 = \sqrt{U_1^2 - \Delta U_q^2} - \Delta U_d$$

$$U_2 = \sqrt{410^2 - 62,49^2} - 20,771 = 384,44 \text{ kV}.$$



Слика 2

### 3. Уточнување на вредноста на напонот $U_2$ со итеративна постапка

Добиената вредност за напонот  $U_2$  е приближна бидејќи таа е добиена со приближните вредности на компонентите  $\Delta U_d$  и  $\Delta U_q$  на падот на напон во водот. Поради тоа ќе биде потребно да се изврши уточнување на вредноста на напонот  $U_2$ .

Уточнувањето на вредноста на напонот  $U_2$  се врши со повеќекратно повторување на операциите изведени во точката 2. При секое нивно изведување ќе се оперира со уточнетите вредности за напонот  $U_2$  и капацитивната моќност  $Q_{c2}$ , добиени во претходната итерација. Уточнувањата ги правиме доволен број пати, т.е. сè до оној момент кога вредноста на напонот  $U_2$  добиена во последната итерација ќе се разликува незначително во однос на неговата претходно добиена вредност. Како критериум за конвергенција на итеративниот процес може да се усвои следниот:

$$\frac{|U_{2\text{ново}} - U_{2\text{старо}}|}{U_{2\text{старо}}} \leq \varepsilon$$

при што вообичаено е да се работи со вредности за толеранцијата  $\varepsilon = 0,001$  (т.е.  $\varepsilon\% = 0,1\%$ ).

На тој начин, во наредните итерации ќе добиеме:

– После I итерација:

$$U_2 = 394,44 \text{ kV}.$$

– II итерација:

$$Q_{c2} = 47,923 \text{ Mvar}; \Delta U_d = 20,677 \text{ kV}; \Delta U_q = 62,324 \text{ kV}; U_2 = \sqrt{410^2 - 62,324^2} - 20,677 = 384,56 \text{ kV}$$

– III итерација:

$$Q_{c2} = 47,953 \text{ Mvar}; \Delta U_d = 20,666 \text{ kV}; \Delta U_q = 62,305 \text{ kV}; U_2 = \sqrt{410^2 - 62,305^2} - 20,666 = 384,57 \text{ kV}$$

Заклучуваме дека промената на вредноста на напонот  $U_2$  по изведувањето на III итерација е веќе незначителна, т.е. помала од  $\varepsilon\% = 0,1\%$ , поради што итеративниот процес на пресметување на вредноста на напонот  $U_2$  ќе го запреме и последното решение ќе го прогласиме за конечно, т.е.  $U_2 = 384,57 \text{ kV}$ .

#### 4. Пресметка на приликиџе на крајој од водој

$$\underline{S}_2 = (435 + j145) \text{ MVA} = 458,53 \cdot e^{j18,44^\circ} \text{ MVA}$$

$$\underline{S}''_{12} = \underline{S}_2 - jQ_{c2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{c2}) = (435 + j97,047) \text{ MVA}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{S}^*_{12}}{\sqrt{3} \cdot \underline{U}^*_{2f}} = \frac{458,53 \cdot e^{-j18,44^\circ}}{\sqrt{3} \cdot 384,57} = 0,688 \cdot e^{-j18,44^\circ} \text{ kA} = (0,653 - j0,218) \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{c2} = j \frac{B_P}{2} \cdot \underline{U}_{2f} = j \frac{B_P}{2} \cdot \frac{U_2}{\sqrt{3}} = j \frac{648,5 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \frac{384,57}{1,73205} = j0,0907 \text{ kA},$$

$$\underline{I}_{12} = \underline{I}_2 + \underline{I}_{c2} = (0,653 - j0,218) + j0,091 = (0,653 - j0,127) \text{ kA} = 0,6653 \cdot e^{-j11,01^\circ} \text{ kA}.$$

#### 5. Пресметка на приликиџе на јочейокој од водој

Загубите на моќност во редната гранка од водот ќе бидат:

$$\Delta \underline{S} = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{c2})^2}{U_2^2} \cdot (R_P + jX_P) = \frac{435^2 + 97,047^2}{384,57^2} \cdot (5,698 + j56,352) = (7,653 + j75,689) \text{ MVA}.$$

Понатаму, во согласност со сликата 1 имаме:

$$Q_{c1} = (B_P / 2) \cdot U_1^2 = 324,25 \cdot 10^{-6} \cdot 410^2 = 43,107 \text{ Mvar},$$

$$\underline{S}'_{12} = \underline{S}''_{12} + \Delta \underline{S}_{12} = (442,653 + j172,736) \text{ MVA},$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}'_{12} - jQ_{c1} = (442,653 + j129,629) \text{ MVA} = 461,243 \cdot e^{j16,32^\circ} \text{ MVA}.$$

Од сликата 2 добиваме:

$$\theta = \arctg \frac{\Delta U_q}{U_2 + \Delta U_d} = \arctg \frac{62,305}{384,57 + 20,666} = 8,74^\circ.$$

$$\underline{U}_1 = U_1 \cdot e^{j\theta} = 410 \cdot e^{j8,74^\circ} \text{ kV} = (405,236 + j62,305) \text{ kV}.$$

$$\underline{I}_{c1} = j \frac{B_P}{2} \cdot U_{1f} = j \frac{B_P}{2} \cdot \frac{U_1}{\sqrt{3}} = 0,0768 \cdot e^{j98,74^\circ} \text{ kA} = (-0,012 + j0,0759) \text{ kA}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{12} + \underline{I}_{c1} = (0,653 - j0,127) + (-0,001 + j0,076) = (0,652 - j0,051) \text{ A} = 0,643 \cdot e^{-j4,54^\circ} \text{ kA}.$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{Q_1}{P_1} = \arctg \frac{129,629}{442,653} = 16,32^\circ$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 442,653 - 435 = 7,653 \text{ MW}; \quad \Delta Q = Q_1 - Q_2 = 129,629 - 145 = -15,371 \text{ Mvar}.$$

$$\Delta U \% = \frac{U_1 - U_2}{U_n} \cdot 100 = \frac{410 - 384,57}{400} \cdot 100 = 6,36 \%$$

Резултатите од пресметките ги сместуваме во следната табела:

Табела 1. Режимски параметри на работа на водот

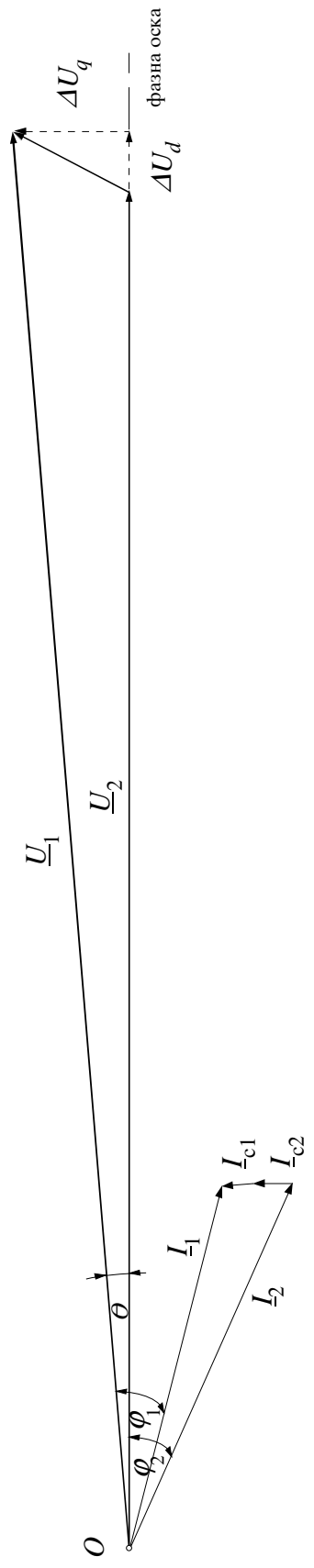
$P_2$	$Q_2$	$U_2$	$I_2$	$I_{c2}$	$\varphi_2$	$P_1$	$Q_1$	$U_1$	$I_1$	$I_{c1}$	$\varphi_1$	$\Delta P$	$\Delta Q$
MW	Mvar	kV	A	A	°	MW	Mvar	kV	A	A	°	MW	Mvar
4350	145	384.57	688	90,1	18,44	442,653	129,629	410	643	76,8	16,32	7,653	-15,371

На сликата 3 е прикажан фазорскиот дијаграм на напоните и струите низ водот за разгледуваниот режим на работа.



Размер за напон: 1 cm = 20 kV

Размер за струја: 1 cm = 100 A



Слика 3. Фазорски дијаграм на напоните и струите

## Прилог

**Табела П.1 Конструкција и состав на хомогените јажиња од алуминиум(Al), според MKS.N.C1.502**

Номинален пресек mm <sup>2</sup>	Вистински пресек mm <sup>2</sup>	Состав на јажето број и пречник на жиците		Надвор. пречник d <sub>p</sub> mm	Маса на јажето G kg/km	Сила на кинење F <sub>kin</sub> daN	Активна отпорност r <sub>20</sub> Ω/km	Трајно дозволена струја A
16	15,89	7	1,7	5,1	44	290	1,802	90
25	24,25	7	2,1	6,3	67	425	1,181	120
35	34,36	7	2,5	7,5	94	585	0,833	150
50	49,48	7	3,0	9,0	135	810	0,579	185
70	65,82	7	2,1	10,5	181	1150	0,437	225
95	93,27	19	2,5	12,5	256	1595	0,309	285
120	117,00	19	2,8	14,0	322	1910	0,246	330
150	147,10	37	2,25	15,7	406	2570	0,196	380
185	181,60	37	2,5	17,5	501	3105	0,159	435
240	242,50	61	2,25	20,2	670	4015	0,119	515
300	299,40	61	2,5	22,5	827	4850	0,080	600
400	400,10	61	2,89	26,0	1105	6190		
500	499,80	61	3,23	29,1	1381	7600		
600	586,00	61	3,5	31,5	1640	/		
700	710,00	61	3,85	34,7	1960	/		

**Табела П.2. Конструкција и состав на комбинираниите Al/Џ јажиња, според MKS.N.C1.351**

Номинален пресек mm <sup>2</sup>	Вистински пресек mm <sup>2</sup>	Al-плашт број и пречник (mm) на жиците		Џ-јадро број и пречник (mm) на жиците		Надвор. пречник d <sub>p</sub> mm	Маса на јажето G kg/km	Сила на кинење F <sub>kin</sub> daN	Омска отпорност r <sub>20</sub> Ω	Трајно дозвол. струја I <sub>d</sub> , A
16/2,5	15,3/2,6	6	1,80	1	1,80	5,4	62	595	1,879	90
25/4	23,8/4,0	6	2,25	1	2,25	6,8	97	920	1,203	125
35/6	34,3/5,7	6	2,70	1	2,70	8,1	140	1265	0,835	145
50/8	48,3/8,0	6	3,20	1	3,20	9,6	195	1710	0,595	170
70/12	69,9/11,4	26	1,85	7	1,44	11,7	284	2680	0,413	235
95/15	94,4/15,3	26	2,15	7	1,67	13,6	382	3575	0,306	290
120/20	121,6/19,5	26	2,44	7	1,90	15,5	492	4565	0,237	345
150/25	148,9/24,2	26	2,70	7	2,10	17,1	601	5525	0,194	400
185/30	183,8/29,8	26	3,00	7	2,33	19,0	742	6620	0,157	455
210/35	209,1/34,1	26	3,20	7	2,49	20,3	845	7490	0,138	490
240/40	243,0/39,5	26	3,45	7	2,68	21,9	987	8640	0,119	530
360/57	360,2/57,3	26	4,20	19	1,96	26,6	1483	12745	0,080	675
490/65	490,3/63,6	54	3,40	7	3,40	30,6	1855	15310	0,059	840
170/40	171,8/40,1	30	2,70	7	2,70	18,9	790	7675	0,168	435
240/55	241,3/56,3	30	3,20	7	3,20	22,4	1107	10385	0,119	530
350/80	349,3/78,9	30	3,85	19	2,30	26,9	1585	14845	0,083	675
490/110	487,8/111,2	30	4,55	19	2,73	31,7	2221	20800	0,059	840
50/30	51,2/29,8	12	2,33	7	2,33	11,7	375	4380	0,564	
95/55	96,5/56,3	12	3,20	7	3,20	16,0	708	7935	0,389	
120/70	122,0/71,3	12	3,60	7	3,60	18,0	896	10000	0,299	
75/80	74,8/78,9	18	2,30	19	2,30	16,1	828	10500	0,236	

УНИВЕРЗИТЕТ Св. "КИРИЛ И МЕТОДИЈ"  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

**II ПРОГРАМСКА ЗАДАЧА**  
**ОД ОБЛАСТА НА КУСИ ВРСКИ**  
(Пример 2004/2005 година)



Скопје, ноември 2004 г.

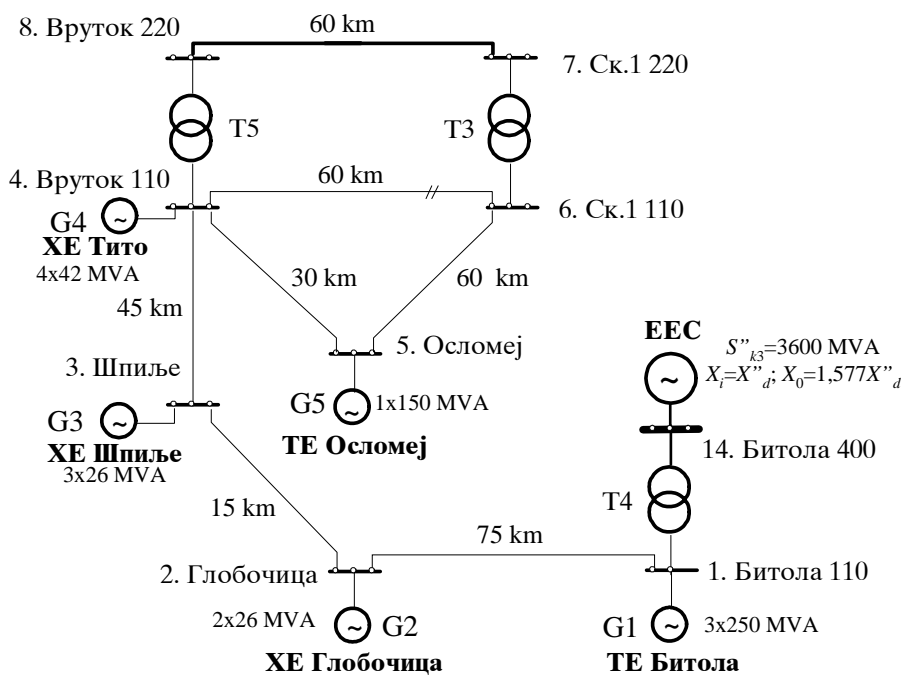
## II ПРОГРАМСКА ЗАДАЧА ПО ПРЕДМЕТОТ „ВИСОКОНАПОНСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ“ ОД ОБЛАСТА „КУСИ ВРСКИ ВО ЕЕС“ - П Р И М Е Р

На сликата е прикажан дел од високонапонската мрежа (110/220/400 kV) од ЕЕС на Република Македонија. Остатокот од ЕЕС е претставен со неговиот еквивалент. Должините на поедините водови како и нивниот номинален напон се прикажани на самата слика. Останатите неопходни податоци за елементите на ЕЕС се прикажани во приложените табели.

За дефинираната вклопна состојба е потребно:

1. Да се пресметаат параметрите и да се нацртаат шемите на мрежата за директен, инверзен и нулти редослед, при што, параметрите ќе бидат сведени на напонското ниво на собирницата на која настанала кусата врска.
2. Се посматра режим на *еднофазна* куса врска, настаната на собирниците бр. 2 (Глобочица), во *суштранзиентниот* период. Да се пресметаат фазните струи во гранките и фазните напони во јазлите од системот. Притоа, да се прикаже целиот тек на пресметките, а резултатите од пресметките да се приложат во табеларна форма и во графичка форма, на самата шема на системот.

Во пресметките да се претпостави дека пред настанувањето на кусата врска системот бил практично неоптоварен, т.е. работел во режимот на празен од.



### СПИСОК НА СОБИРНИЦИТЕ

1. Битола 110
2. Глобочица
3. Шпиље
4. Вруток 110
5. Осломеј
6. Ск. 1 110
7. Ск. 1 220
8. Вруток 220
14. Битола 400

Слика 1

### ПОДАТОЦИ ЗА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОД ЕЕС

#### I. ПОДАТОЦИ ЗА ПОДОЛЖНИТЕ РЕАКТАНЦИИ НА ВОДОВИТЕ

- водови 110 kV:  $x = 0,40 \Omega/\text{km}$ ;  $x_0 = 3,50 \cdot x$

- водови 220 kV:  $x = 0,42 \Omega/\text{km}$ ;  $x_0 = 3,20 \cdot x$

#### II. ПОДАТОЦИ ЗА ИНТЕКОНЕКТИВНИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ 1)

T3:	3x150 MVA	115,5/220 kV/kV	$u_k = 11,5\%$	спрега на соединување: $\underline{Y}\underline{Y}_d$
T4:	2x300 MVA	115,5/400 kV/kV	$u_k = 12,5\%$	спрега на соединување: $\underline{Y}\underline{Y}_d$
T5:	1x150 MVA	115,5/220 kV/kV	$u_k = 11,5\%$	спрега на соединување: $\underline{Y}\underline{Y}_d$

Сите интерконективни трансформатори имаат спрега на соединување Y Y со заземјени звездишта на обете намотки.

### III. ПОДАТОЦИ ЗА ГЕНЕРАТОРИТЕ И БЛОК-ТРАНСФОРМАТОРИТЕ 1)

реден број	Електрична	Податоци за генераторите	Податоци за блок-трансформаторите
1	G1, ТЕ Битола	15,75 kV 3x250 MVA $x''_d = x'_i = 20\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 160\%$	15,75/110 kV/kV $u_k = 10,5\%$
2	G2, ХЕ Глобочица	10,5 kV 2x26 MVA $x''_d = x'_i = 16\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 125\%$	10,5/115,5 kV/kV $u_k = 11\%$
3	G3, ХЕ Шпиље	10,5 kV 3x26 MVA $x''_d = x'_i = 18\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 120\%$	10,5/115,5 kV/kV $u_k = 10,5\%$
4	G4, ХЕ Тито	12,0 kV 4x42 MVA $x''_d = x'_i = 20\%$ $x'_d = 32\%$ $x_d = 120\%$	12/116 kV/kV $u_k = 11\%$
5	G5, ТЕ Осломеј	13,8 kV 1x150 MVA $x''_d = x'_i = 17\%$ $x'_d = 20\%$ $x_d = 150\%$	13,8/115,5 kV/kV $u_k = 11\%$
6	G6, ТЕ Неготино	15,75 kV 1x250 MVA $x''_d = x'_i = 22\%$ $x'_d = 32\%$ $x_d = 200\%$	15,75/121 kV/kV $u_k = 10\%$
ПОДАТОЦИ ЗА СОСЕДНИТЕ ЕЕС			
7	G7, Екв. на ост.ЕЕС	400 kV $S''_{k3} = 3600$ MVA $x_i = x''_d$ $x_0 = 1,577 \cdot x''_d$	

- 1) На секоја генераторска единица ѝ припаѓа по еден блок-трансформатор со иста номинална моќност како и моќноста на генераторската единица. Спрегата на соединување на секој блок-трансформатор е  $\Delta Y$ , при што триаголникот  $\Delta$  е од страна на генераторот, додека ѕвездата  $Y$  е од страна на мрежата. Свездиштето на блок-трансформаторот може да биде заземјено или незаземјено. Во секоја електрична има само еден блок-трансформатор со заземјено свездиште. Свездиштата на останатите блок-трансформатори (доколку ги има повеќе во електричната) не се заземјени.

#### ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ И ШЕМИ ЗА ДИРЕКТЕН, ИНВЕРЗЕН И НУЛТИ РЕДОСЛЕД

##### а) Реактанции на водовите

Бидејќи кусата врска настанала на 110 kV собирница бр 2. (Глобочица), сите параметри на елементите од ЕЕС ќе ги сведуваме на 110 kV напонско ниво. Реактанциите на водовите за директен, инверзен и нулти редослед ќе ги пресметуваме со помош на релациите (1)

$$X_d = X_i = x \cdot l; \quad X_0 = x_0 \cdot l \quad (1)$$

Така, на пример, реактанцијата на 110 kV вод  $V_{1-2}$  (Битола- Глобочица), долг  $l_{1-2}=75$  km, ќе добиеме:

$$X_d = X_i = x \cdot l_{1-2} = 0,4 \cdot 75 = 30 \Omega; \quad X_0 = x_0 \cdot l_{1-2} = 1,4 \cdot 75 = 105 \Omega.$$

додека реактанцијата на 220 kV вод  $V_{7-8}$  (Скопје 1 220 – Вруток 220), долг  $l_{7-8}=60$  km, сведен на 110 kV напонско ниво, ќе добиеме:

$$X_d = X_i = x \cdot l_{7-8} \cdot k_{T3}^2 = 0,42 \cdot 60 \cdot (115,5/220)^2 = 6,946 \Omega; \quad X_0 = x_0 \cdot l_{7-8} = 1,46 \cdot 60 \cdot (115,5/220)^2 = 22,226 \Omega.$$

##### б) Реактанции на интјерконективните трансформатори

Со оглед на спрегата на соединување и начинот на заземјување на свездиштата на овие трансформатори, нивните реактанции за директен, инверзен и нулти редослед ќе ги пресметуваме со помош на релациите (2)

$$X_d = X_i = X_0 = X_k = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; \quad (U_n = 115,5 \text{ kV}) \quad (2)$$

##### в) Реактанции на блок-трансформаторите во ЕЦ

Слично како и во претходниот случај, реактанциите за директен и инверзен редослед ќе бидат еднакви на реактанцијата на куса врска на трансформаторот, т.е.:

$$X_d = X_i = X_k = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; \quad (U_n = \text{номинален напон на ВН намотка}) \quad (3)$$

Така, на пример, директната и инверзната реактанција на секој блок-трансформатор во ТЕ Битола, сведена на ВН страна, ќе биде:

$$X_d = X_i = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{110^2}{250} = 5,082 \Omega.$$

Бидејќи спрегата на соединување на овие трансформатори е  $Y \Delta$  ( $\Delta$  е на страната на генераторот), во поглед на нултиот систем кај блок-трансформаторите со директно заземјено свездиште на ВН намотка ќе имаме  $X_0 = X_k$ , додека кај оние со изолирано свездиште ќе имаме  $X_0 = \infty$ .

### ѝ) Реактанции на синхроните машини ЕЦ

Откога ќе се пресметаат природните вредности на реактанциите на синхроните машини со помош на релациите (4):

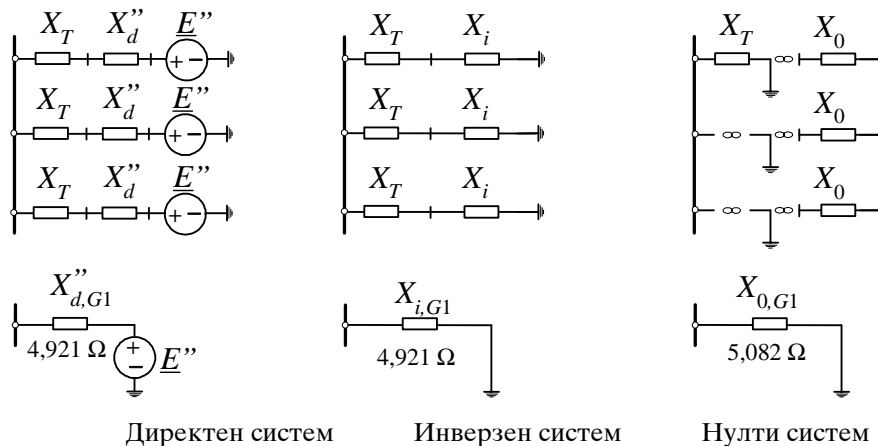
$$X_d'' = \frac{X_d''\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; X_d' = \frac{X_d'\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; X_d = \frac{X_d\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; X_i = \frac{X_i\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}; X_0 = \frac{X_0\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (4)$$

тие ќе треба да се сведат на 110 kV напонско ниво. Сведувањето се врши на тој начин што нивните природни вредности добиени со (4) ќе се помножат со квадратот од коефициентот на трансформација на соодветниот блок-трансформатор. Така, на пример, сведените вредности на суптранзиентната и инверзната реактанција на еден од агрегатите во ТЕ Битола ќе бидат:

$$X_d'' = \frac{X_d''\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot k_T^2 = \frac{20}{100} \cdot \frac{15,75^2}{250} \cdot \frac{110^2}{15,75^2} = 9,68 \Omega; \text{ и } X_i = \frac{20}{100} \cdot \frac{15,75^2}{250} \cdot \frac{110^2}{15,75^2} = 9,68 \Omega.$$

Кога во електраната има поголем број агрегати (блокови), тогаш сите тие се еквивалентираат со еден еквивалентен генератор. Така, на пример, трите агрегати во ТЕ Битола ќе се еквивалентираат со еден еквивалентен, поред шемата од сл. 2. Параметрите на еkv. генератор G ќе бидат:

$$X_{d,G1} = \frac{(X_d'' + X_T)}{3} = \frac{(9,68 + 5,082)}{3} = \frac{14,762}{3} = 4,921 \Omega; X_{i,G1} = \frac{(X_i + X_T)}{3} = 4,921 \Omega; X_{0,G1} = X_T = 5,082 \Omega$$



Слика 2

### д) Реактанции на соседните ЕЕС

Секој од соседните ЕЕС може да се претстави со една еквивалентна машина. Реактанциите за директен систем се пресметуваат во согласност со релациите (5), врз основа на познатите моќности на трифазна куса врска  $S_{k3}''$ ,  $S_{k3}'$  и  $S_{k3}$  за суптранзиентен, транзиентен и траен период:

$$X_d'' = \frac{U_n^2}{S_{k3}''}; X_d' = \frac{U_n^2}{S_{k3}'}; X_d = \frac{U_n^2}{S_{k3}} \quad (5)$$

и во заменската шема за директен систем тие се претставуваат со соодветен напонски генератор, со параметри ( $\underline{E}''$  и  $X_d''$ ), ( $\underline{E}'$  и  $X_d'$ ) или ( $\underline{E}$  и  $X_d$ ), зависно од посматраниот период, додека во инверзниот односно нултиот систем тие се претставуваат само со својата инверзна  $X_i$  односно нулта  $X_0$  реактанција.

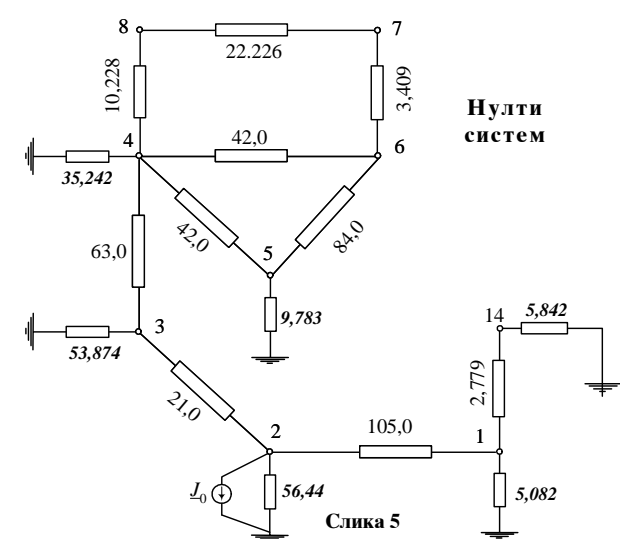
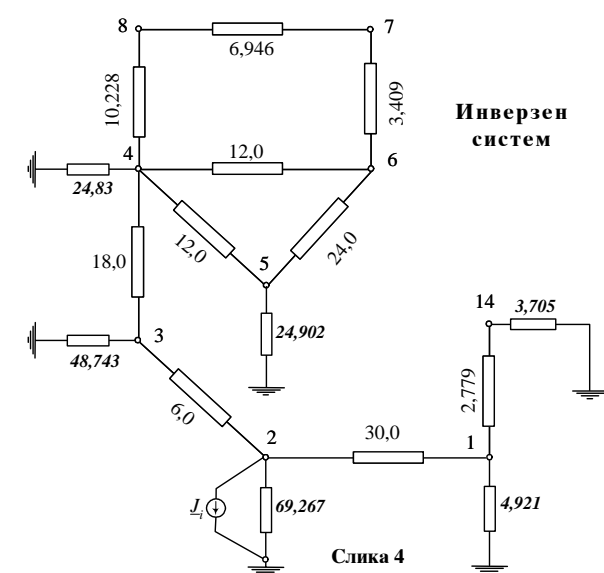
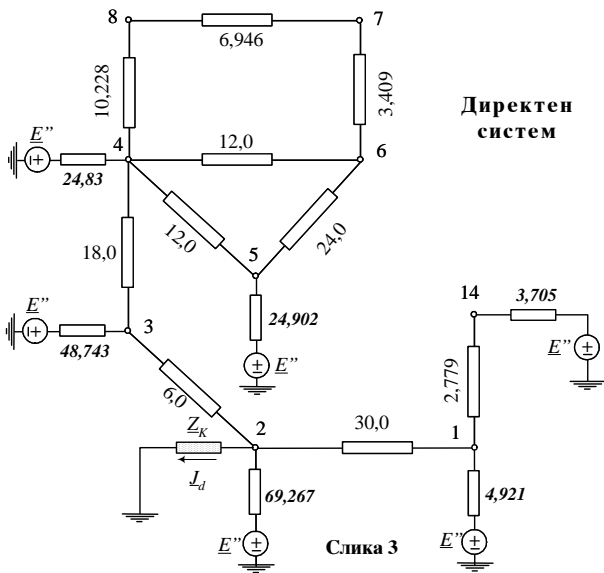
На тој начин, за еквивалентниот генератор со кој се заменува останатиот дел од ЕЕС на Р. Македонија, за суптранзиентниот период, ќе добиеме:

$$X_{d,EES}'' = \frac{U_n^2}{S_{k3}''} \cdot k_{T4}^2 = \frac{400^2}{3600} \cdot \left(\frac{115,5}{400}\right)^2 = 3,705 \Omega; X_{i,EES} = X_{d,EES}'' = 3,705 \Omega; X_{0,EES} = 1,577 \cdot X_{d,EES}'' = 5,842 \Omega$$

Постапувајќи на тој начин, се пресметуваат реактанциите за директен, инверзен и нулти редослед за сите водови и интерконективни трансформатори од мрежата, а потоа и за сите еквиваленти генератори и соседни системи. Резултатите од пресметките на сведените реактанции на 110 kV напонско ниво се прикажани во табелата 1 и на сликите 3, 4 и 5.

Табела 1. РЕАКТАНЦИИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОД ЕЕС ( $\Omega$ ), СВЕДЕНИ НА НАПОНСКОТО НИВО НА МЕСТОТО НА КУСАТА ВРСКА

р. бр.	Елемент	Помеѓу јазлите		$x_d$	$x_i$	$x_0$
1	V <sub>1-2</sub>	Битола 110	Глобочица	30.000	30.000	105.000
2	V <sub>2-3</sub>	Глобочица	Шпиље	6.000	6.000	21.000
3	V <sub>3-4</sub>	Шпиље	Вруток 110	18.000	18.000	63.000
4	V <sub>4-5</sub>	Вруток 110	Осломеј	12.000	12.000	42.000
5	V <sub>4-6</sub>	Вруток 110	Ск. 1 110	12.000	12.000	42.000
6	V <sub>5-6</sub>	Осломеј	Ск. 1 110	24.000	24.00	84.000
7	V <sub>7-8</sub>	Ск. 1 220	Вруток 220	6.946	6.946	22.226
8	T3	Ск. 1 110	Ск. 1 220	3.409	3.409	3.409
9	T5	Вруток 110	Вруток 220	10.228	10.228	10.228
10	T4	Битола 110	Битола 400	2.779	2.779	2.779
11	G1	Битола 110		4.921	4.921	5.082
12	G2	Глобочица		69.267	69.267	56.440
13	G3	Шпиље		48.743	48.743	53.874
14	G4	Вруток 110		24.830	24.830	35.242
15	G5	Осломеј		24.902	24.902	9.783
16	G6	Екв. ЕЕС на РМ		3.705	3.705	5.842



## ПРЕСМЕТКА НА ЕКВИВАЛЕНТНИТЕ (ВЛЕЗНИТЕ) ИМПЕДАНЦИИ

За да ги определиме приликите на местото на кусата врска ќе биде потребно, најнапред, да ги пресметаме влезните, т.е. еквивалентните импеданции  $\underline{Z}_d$ ,  $\underline{Z}_i$  и  $\underline{Z}_0$  во директниот, инверзниот односно нултиот систем.

### а) Еквивалентна импеданција на директниот систем

Го посматраме колото за директниот систем (слика 3) од кое се испуштени сите е.м. сили како и импеданцијата на грешката  $Z_K$  (слика 6). Со  $X_{e1}$  ќе ја означиме еквивалентната реактанција на делот од колото лево од местото на грешката (јазелот 2), додека со  $X_{e2}$  ќе ја означиме еквивалентната реактанција на делот до колото десно од местото на грешката. Тогаш, после трансфигурацијата на триаголникот  $\Delta 456$  во еквивалентна ѕвезда, ќе имаме:

$$X_{e2} = 30,0 + 4,921П(2,779 + 3,705) = 32,798 \Omega$$

$$X_p = (24,902 + 6) + (6 + 3,409 + 6,946 + 10,228)П3 = 33,536 \Omega$$

$$X_{e1} = 6 + 48,743П(18 + 24,83ПX_p) = 25,415 \Omega$$

$$\underline{Z}_d = jX_d = jX_{e1}ПjX_{e2}Пj69,267 = j11,867 \Omega.$$

### б) Еквивалентна импеданција на инверзниот и нултиот систем

На сличен начин постапуваме и при определувањето на еквивалентната импеданција на инверзниот и нултиот систем и притоа добиваме:

$$\underline{Z}_d = jX_d = j11,867 \Omega; \quad \underline{Z}_i = jX_i = j11,867 \Omega; \quad \underline{Z}_0 = jX_0 = j21,898 \Omega.$$

## ПРЕСМЕТКА НА ПРИЛИКИТЕ НА МЕСТОТО НА ГРЕШКАТА

Симетричните компоненти на струите на грешката ( $\underline{J}_d$ ,  $\underline{J}_i$ ,  $\underline{J}_0$ ) и на напоните на местото на грешката ( $\underline{U}_d$ ,  $\underline{U}_i$ ,  $\underline{U}_0$ ) ќе ги добиеме со помош на општите релации (4.70), (4.71) и (4.34) како и со помош на табелата 4.2 од [1]:

$$k = 1 \text{ (еднофазна куса врска): } \underline{Z}_K = \underline{Z}_i + \underline{Z}_0 = j11,867 + j21,898 = j33,765 \Omega.$$

$$\underline{E}'' = U_{nf} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63,51 \text{ kV} - \text{ празен од во системот;}$$

$$\underline{J}_d = \frac{\underline{E}''}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_K} = \frac{63,51}{j11,867 + j33,765} = -j1391,8 \text{ A}; \quad \underline{U}_d = \underline{Z}_K \underline{J}_d = 46,993 \text{ kV}.$$

$$\underline{J}_i = 1 \cdot \underline{J}_d = -j1391,8 \text{ A}; \quad \underline{U}_i = -\underline{Z}_i \cdot \underline{J}_i = -16,516 \text{ kV}.$$

$$\underline{J}_0 = 1 \cdot \underline{J}_d = -j1391,8 \text{ A}; \quad \underline{U}_0 = -\underline{Z}_0 \cdot \underline{J}_0 = -30,477 \text{ kV}.$$

## ПРЕСМЕТКА НА ПРИЛИКИТЕ ВО ОСТАНАТИОТ ДЕЛ ОД МРЕЖАТА

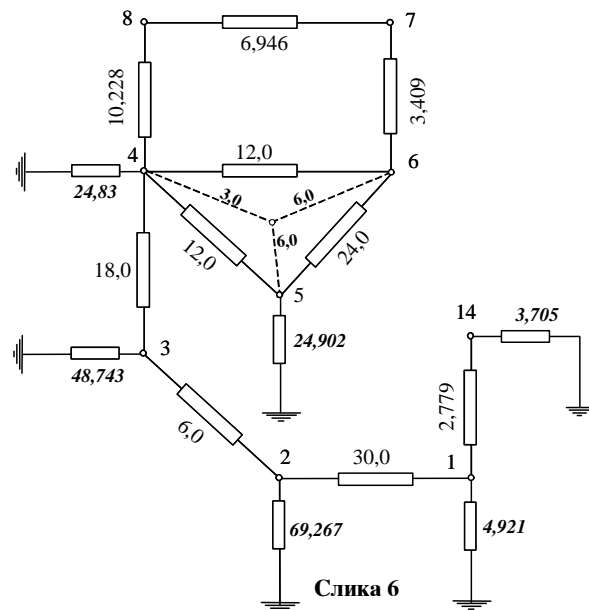
Откога ги пресметавме приликите на местото на кусата врска (јазелот бр. 2), со примена на двата Кирхофови закона ги пресметуваме приликите во останатиот дел од мрежата. На тој начин, врз основа на сликата 7, за директниот систем можеме да пишуваме:

$$\underline{U}_{2,d} = U_d = 46,993 \text{ kV}; \quad \underline{I}_{G2,d} = \frac{\underline{E}'' - U_{2,d}}{jX_{G2,d}} = \frac{63,51 - 46,993}{j69,267} = -j238,4 \text{ A}; \quad I_{G2,d} = 238,4 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{1-2,d} = J_d \frac{X_{2e,d}^{-1}}{X_{1e,d}^{-1} + X_{2e,d}^{-1} + X_{G2,d}^{-1}} = -j1391,8 \frac{30,49 \cdot 10^{-3}}{(39,347 + 30,49 + 14,437) \cdot 10^{-3}} = -j503,6 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{3-2,d} = J_d \frac{X_{1e,d}^{-1}}{X_{1e,d}^{-1} + X_{2e,d}^{-1} + X_{G2,d}^{-1}} = -j1391,8 \frac{39,347 \cdot 10^{-3}}{(39,347 + 30,49 + 14,437) \cdot 10^{-3}} = -j649,8 \text{ A}$$

$$\underline{U}_{1,d} = \underline{U}_{2,d} + jX_{1-2,d} \cdot \underline{I}_{1-2,d} = 46,993 + 30 \cdot 0,5036 = 62,1 \text{ kV}.$$



Слика 6



$$\underline{U}_{1,d} = \underline{U}_{2,d} + jX_{1-2,d} \cdot I_{1-2,d} = 46,993 + 30 \cdot 0,5036 = 62,1 \text{ kV.}$$

$$\underline{I}_{G1,d} = \frac{\underline{E}'' - \underline{U}_{1,d}}{jX_{G1,d}} = \frac{63,51 - 62,1}{j4,921} = -j286,2 \text{ A}$$

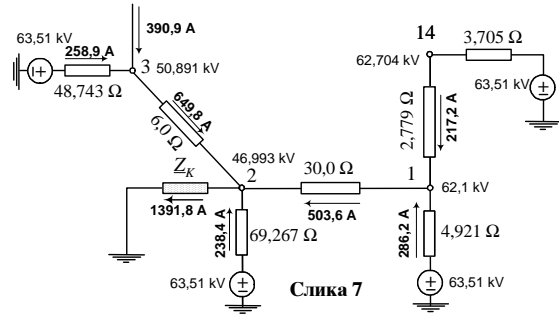
$$\underline{I}_{14-1,d} = \underline{I}_{1-2,d} - \underline{I}_{G1,d} = -j217,2 \text{ A; } \underline{I}_{EES,d} = \underline{I}_{14-1,d} = -j217,2 \text{ A}$$

$$\underline{U}_{14,d} = \underline{U}_{1,d} + jX_{T4} \cdot I_{14-1,d} = 62,1 + 2,779 \cdot 0,2172 = 62,704 \text{ kV.}$$

$$\underline{U}_{3,d} = \underline{U}_{2,d} + jX_{3-2,d} \cdot I_{3-2,d} = 46,993 + 6 \cdot 0,6498 = 50,891 \text{ kV.}$$

$$\underline{I}_{G3,d} = \frac{\underline{E}'' - \underline{U}_{3,d}}{jX_{G3,d}} = \frac{63,51 - 50,891}{j48,743} = -j258,9 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{4-3,d} = \underline{I}_{3-2,d} - \underline{I}_{G3,d} = -j390,9 \text{ A, итн.}$$



На наполно ист начин се работи и при решавањето на приликите во инверзниот и нултиот систем. Резултатите од пресметките на симетричните компоненти на фазните струи во елементите од разгледуваниот ЕЕС ги прикажуваме систематизирано во табела 2. Во истата табела ги сместуваме и вредностите на фазните струи во повредената фаза (фаза А) на елементите од системот.

Резултатите од пресметките на симетричните компоненти на фазните напони во одделните јазли од разгледуваниот ЕЕС ги прикажуваме систематизирано во табела 3. Во истата табела ги сместуваме и вредностите на фазните струи во повредената фаза (фаза А) на елементите од системот.

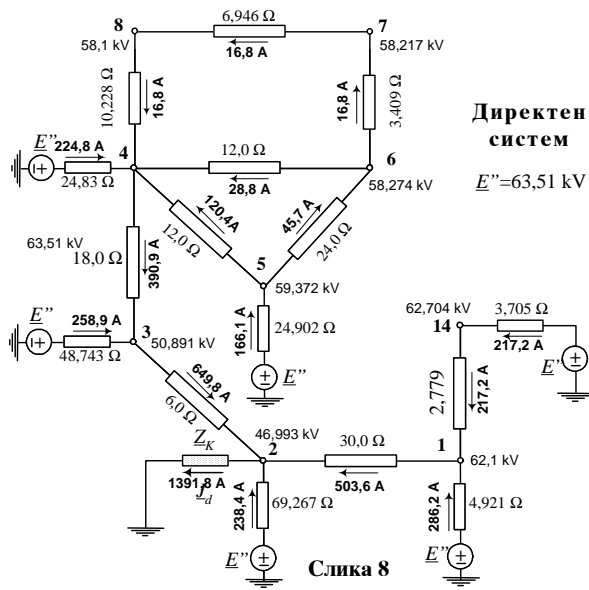
**Табела 2. Распределба на струите (А) во гранките од ЕЕС за време на кусата врска**

Р. број	Елемент		Помеѓу јазлите	Насока	$I_d$	$I_i$	$I_0$	$I_f$
1	V1-2	1-2	Битола 110      Глобочица	>	503,6	503,6	281,7	1288,8
2	V2-3	2-3	Глобочица      Шпиље	<	649,8	649,8	570,1	1869,6
3	V3-4	3-4	Шпиље      Вруток 110	<	390,9	390,9	226,6	1008,4
4	V4-5	4-5	Вруток 110      Осломеј	<	120,4	120,4	75,8	316,6
5	V4-6	4-6	Вруток 110      Ск. 1 110	<	28,8	28,8	14,2	72,0
6	V5-6	5-6	Осломеј      Ск. 1 110	>	45,7	45,7	30,8	122,3
7	V7-8	7-8	Ск. 1 220      Вруток 220	>	16,8	16,8	16,6	50,3
8	T3	6-7	Ск. 1 110      Ск. 1 220	>	16,8	16,8	16,5	50,4
9	T5	4-8	Вруток 110      Вруток 220	<	16,8	16,8	16,6	50,3
10	T4	1-14	Битола 110      Битола 400	<	217,2	217,2	104,4	539,0
20	G1	0-1	–      ТЕ Битола 110	>	286,3	286,3	177,3	749,9
21	G2	0-2	–      ХЕ Глобочица	>	238,4	238,4	540,0	1016,9
22	G3	0-3	–      ХЕ Шпиље	>	258,9	258,9	343,5	681,3
23	G4	0-4	–      ХЕ Вруток 110	>	224,8	224,8	120,0	569,6
24	G5	0-5	–      ТЕ Осломеј	>	166,1	166,1	106,6	438,8
27	G6	0-14	–      Екв. на ЕЕС на Р. М.	>	217,2	217,2	104,4	538,8

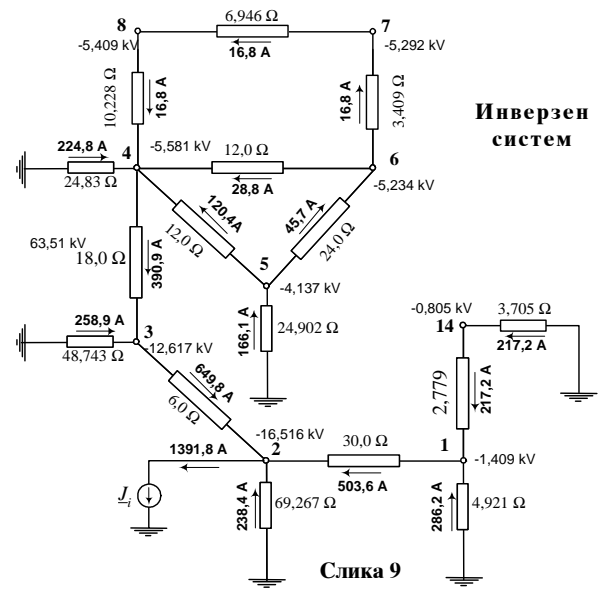
**Табела 3. Симетрични компоненти и фазни напони (А) на повредената фаза во јазлите од ЕЕС**

р.број	С о б и р н и ц а	$U_d$	$U_i$	$U_0$	$U_f$	$U_f\%$
1	Битола 110	62,100	-1,409	-0,901	59,791	89,7%
2	Глобочица	46,993	-16,516	-30,477	0,000	0,0%
3	Шпиље	50,891	-12,617	-18,505	19,769	29,6%
4	Вруток 110	57,927	-5,581	-4,228	48,118	72,2%
5	Осломеј	59,372	-4,137	-1,043	54,192	81,3%
6	Ск. 1 110	58,274	-5,234	-3,632	49,408	74,1%
7	Ск. 1 220	58,217	-5,292	-3,689	49,236	73,8%
8	Вруток 220	58,100	-5,409	-4,058	48,633	72,9%
14	Битола 400	62,704	-0,805	-0,610	61,289	91,9%

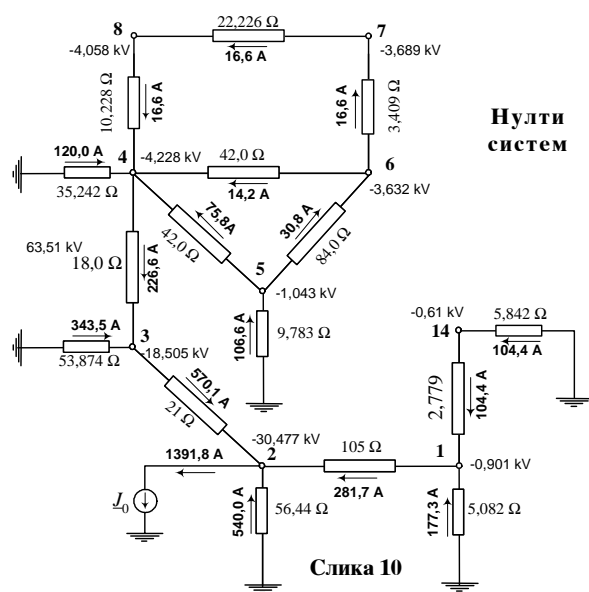
Состојбата во системите од одделните редоследи ги прикажуваме и графички на сликите 8, 9 и 10. Состојбата со фазните напони и струи во ЕЕС е графички прикажана на сликата 11.



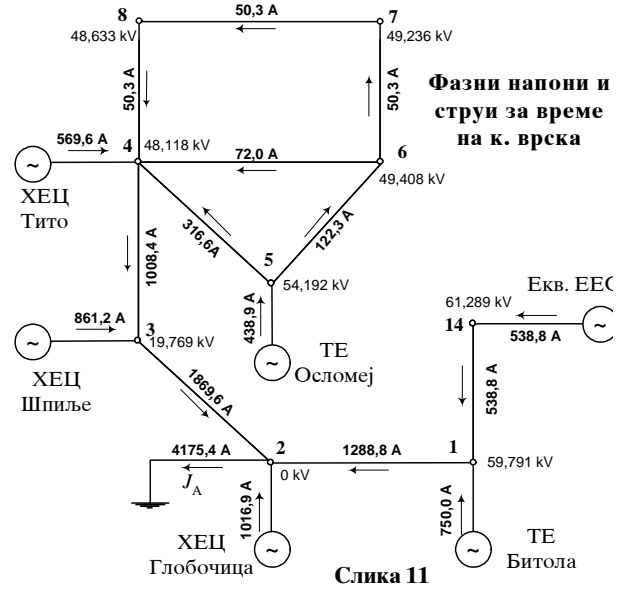
Слика 8



Слика 9



Слика 10



Слика 11

## **П Р И Л О Ж И**

## II ПРОГРАМСКА ЗАДАЧА ПО ПРЕДМЕТОТ „ВИСОКОНАПОНСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ“ ОД ОБЛАСТА „КУСИ ВРСКИ ВО ЕЕС“

Кандидат: \_\_\_\_\_ индекс бр. \_\_\_\_\_

На сликата е прикажан дел од високонапонската мрежа (110/220/400 kV) од ЕЕС на Република Македонија. Должините на поедините водови како и нивниот номинален напон се прикажани на самата слика. Во поглед на вклопната состојба на системот, познато е следното:

- а) исклучени водови: \_\_\_\_\_  
 б) исклучени извори: \_\_\_\_\_

Останатите неопходни податоци за елементите на ЕЕС се прикажани на заднината од листот.

За дефинираната вклопна состојба е потребно:

1. Да се пресметаат параметрите и да се нацртаат шемите на мрежата за директен, инверзен и нулти редослед, при што, параметрите ќе бидат сведени на напонското ниво на собирницата на која настанала кусата врска.
2. Се посматра режим на а) еднофазна; б) двофазна; в) трифазна куса врска, настаната на собирниците бр. \_\_\_\_, во 1) суипранзиентниот; 2) транзиентниот; 3) трајниот период. Да се пресметаат фазните струи во гранките и фазните напони во јазлите од системот. Притоа, да се прикаже целиот тек на пресметките, а резултатите од пресметките да се приложат во табеларна форма и во графичка форма, на самата шема на системот.

Во пресметките да се претпостави дека пред настанувањето на кусата врска системот бил практично неоптоварен, т.е. работел во режимот на празен од.

17.11.2004

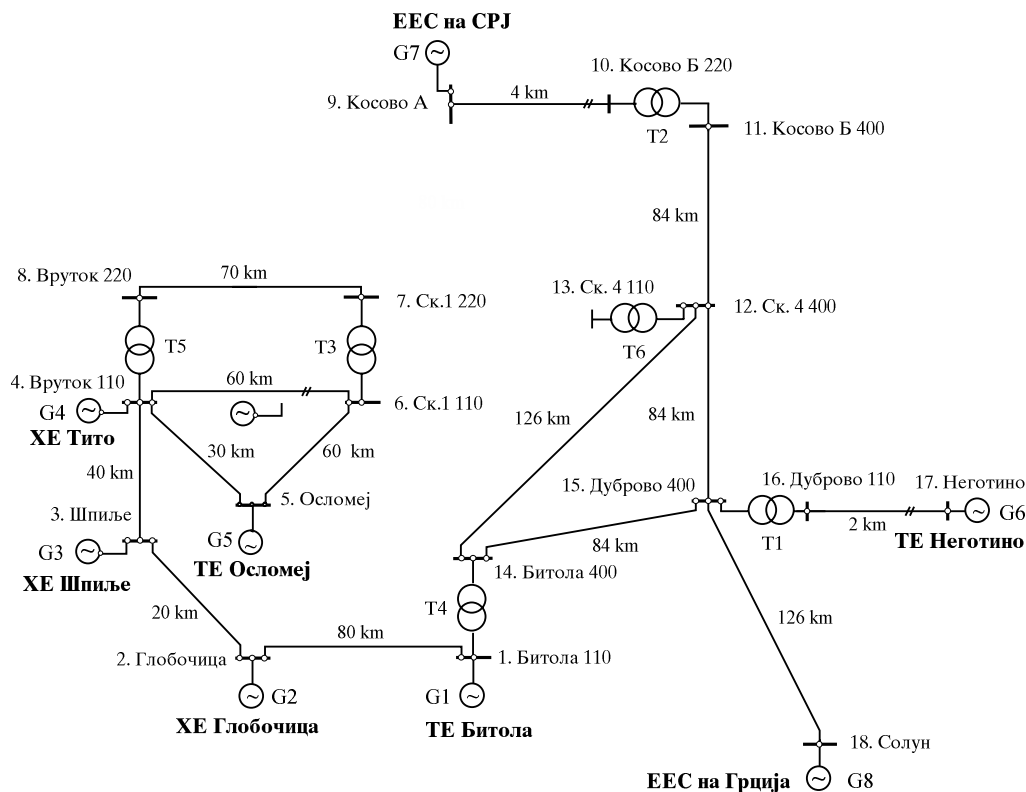
Датум на издавање на задачата:

проф. д-р Ристо Ачковски

Задачата ја издал:

17.12.2004

Рок на предавање на задачата:



### СПИСОК НА СОБИРНИЦИТЕ

1. Битола 110
2. Глобочица
3. Шпиље
4. Вруток 110
5. Осломеј
6. С.к. 1 110
7. С.к. 1 220
8. Вруток 220
9. Косово А
10. Косово Б 220
11. Косово Б 400
12. С.к. 4 400
13. С.к. 4 110
14. Битола 400
15. Дуброво 400
16. Дуброво 110
17. Неготино
18. Солун

## ПОДАТОЦИ ЗА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОД ЕЕС

### I. ПОДАТОЦИ ЗА ПОДОЛЖНИТЕ РЕАКТАНЦИИ НА ВОДОВИТЕ

- водови 110 kV:  $x = 0,40 \Omega/\text{km}$  ;  $x_0 = 3,50 \cdot x$
- водови 220 kV:  $x = 0,42 \Omega/\text{km}$  ;  $x_0 = 3,20 \cdot x$
- водови 380 kV:  $x = 0,33 \Omega/\text{km}$  ;  $x_0 = 2,10 \cdot x$

### II. ПОДАТОЦИ ЗА ИНТЕКОНЕКТИВНИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ 1)

T1:	1x300 MVA	115,5/400 kV/kV	$u_k = 12,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$
T2:	2x400 MVA	220/400 kV/kV	$u_k = 12,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$
T3:	3x150 MVA	115,5/220 kV/kV	$u_k = 11,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$
T4:	3x300 MVA	115,5/400 kV/kV	$u_k = 12,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$
T5:	1x150 MVA	115,5/220 kV/kV	$u_k = 11,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$
T6:	2x300 MVA	115,5/400 kV/kV	$u_k = 12,0\%$	спрега на соединување: $\underline{Y} \underline{Y}_d$

### III. ПОДАТОЦИ ЗА ГЕНЕРАТОРИТЕ И БЛОК-ТРАНСФОРМАТОРИТЕ 2)

реден број	Електрана	Податоци за генераторите	Податоци за блок-трансформаторите
1	G1, ТЕ Битола	15,75 kV ___x250 MVA $x''_d = x'_i = 20\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 160\%$	15,75/110 kV/kV $u_k = 10,5\%$
2	G2, ХЕ Глобочица	10,5 kV 2x26 MVA $x''_d = x'_i = 16\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 125\%$	10,5/115,5 kV/kV $u_k = 11\%$
3	G3, ХЕ Шпиље	10,5 kV ___x26 MVA $x''_d = x'_i = 18\%$ $x'_d = 30\%$ $x_d = 120\%$	10,5/115,5 kV/kV $u_k = 10,5\%$
4	G4, ХЕ Тито	12,0 kV ___x42 MVA $x''_d = x'_i = 20\%$ $x'_d = 32\%$ $x_d = 120\%$	12/116 kV/kV $u_k = 11\%$
5	G5, ТЕ Осломеј	13,8 kV 1x150 MVA $x''_d = x'_i = 17\%$ $x'_d = 20\%$ $x_d = 150\%$	13,8/115,5 kV/kV $u_k = 11\%$
6	G6, ТЕ Неготино	15,75 kV 1x250 MVA $x''_d = x'_i = 22\%$ $x'_d = 32\%$ $x_d = 200\%$	15,75/121 kV/kV $u_k = 10\%$
<b>ПОДАТОЦИ ЗА СОСЕДНИТЕ ЕЕС</b>			
7	G7, ЕЕС НА СРЈ	220 kV $S''_{k3} = \text{_____ MVA}$ $x_i = x_0 = x'_d = x''_d$ $x_d = 1,5 \cdot x''_d$	
8	G8, ЕЕС на Грција	400 kV $S''_{k3} = \text{_____ MVA}$ $x_i = x_0 = x''_d$ $x'_d = 1,2 \cdot x''_d$ $x_d = 2,0 \cdot x''_d$	

#### Забелешки:

- 1) Интерконективните трансформатори T1, T2, . . . , T6 имаат спрега на соединување  $\underline{Y} \underline{Y}$  со заземјени звездишта на обете намотки.
- 2) На секоја генераторска единица ѝ припаѓа по еден блок-трансформатор со иста номинална моќност како и моќноста на генераторската единица. Спрегата на соединување на секој блок-трансформатор е  $\Delta \underline{Y}$ , при што триаголникот  $\Delta$  е од страна на генераторот, додека ѕвездата  $\underline{Y}$  е од страна на мрежата. Свездиштето на блок-трансформаторот може да биде заземјено или незаземјено. Во секоја електрана има само еден блок-трансформатор со заземјено ѕвездиште. Свездиштата на останатите блок-трансформатори (доколку ги има повеќе во електраната) не се заземјени.

3) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**РЕАКТАНЦИИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ОД ЕЕС СВЕДЕНИ НА НАПОНСКОТО НИВО  
НА МЕСТОТО НА КУСАТА ВРСКА**

реден број	Елемент	Помеѓу јазлите		$x_d$ ( $\Omega$ )	$x_i$ ( $\Omega$ )	$x_0$ ( $\Omega$ )
1	V <sub>1-2</sub>	Битола 110	Глобочица			
2	V <sub>2-3</sub>	Глобочица	Шпиље			
3	V <sub>3-4</sub>	Шпиље	Вруток 110			
4	V <sub>4-5</sub>	Вруток 110	Осломеј			
5	V <sub>4-6</sub>	Вруток 110	Ск. 1 110			
6	V <sub>5-6</sub>	Осломеј	Ск. 1 110			
7	T3	Ск. 1 110	Ск. 1 220			
8	T5	Вруток 110	Вруток 220			
9	V <sub>7-8</sub>	Ск. 1 220	Вруток 220			
10	V <sub>9-10</sub>	Косово А	Косово Б 220			
11	T2	Косово Б 220	Косово Б 400			
12	V <sub>11-12</sub>	Косово Б 400	Ск. 4 400			
13	T6	Ск. 4 400	Ск. 4 110			
14	V <sub>12-14</sub>	Ск. 4 400	Битола 400			
15	V <sub>12-15</sub>	Ск. 4 400	Дуброво 400			
16	V <sub>14-15</sub>	Битола 400	Дуброво 400			
17	T4	Битола 110	Битола 400			
18	T1	Дуброво 400	Дуброво 110			
19	V <sub>16-17</sub>	Дуброво 110	Неготино			
20	G1	Битола 110	Битола 110			
21	G2	Глобочица	Глобочица			
22	G3	Шпиље	Шпиље			
23	G4	Вруток 110	Вруток 110			
24	G5	Осломеј	Осломеј			
25	G6	Неготино	Неготино			
26	G7	ЕЕС на СРЈ	ЕЕС на СРЈ			
27	G8	ЕЕС на Грција	ЕЕС на Грција			

**РАСПРЕДЕЛБА НА СТРУИТЕ НИЗ ГРАНКИТЕ ОД ЕЕС ЗА ВРЕМЕ НА КУСАТА ВРСКА**

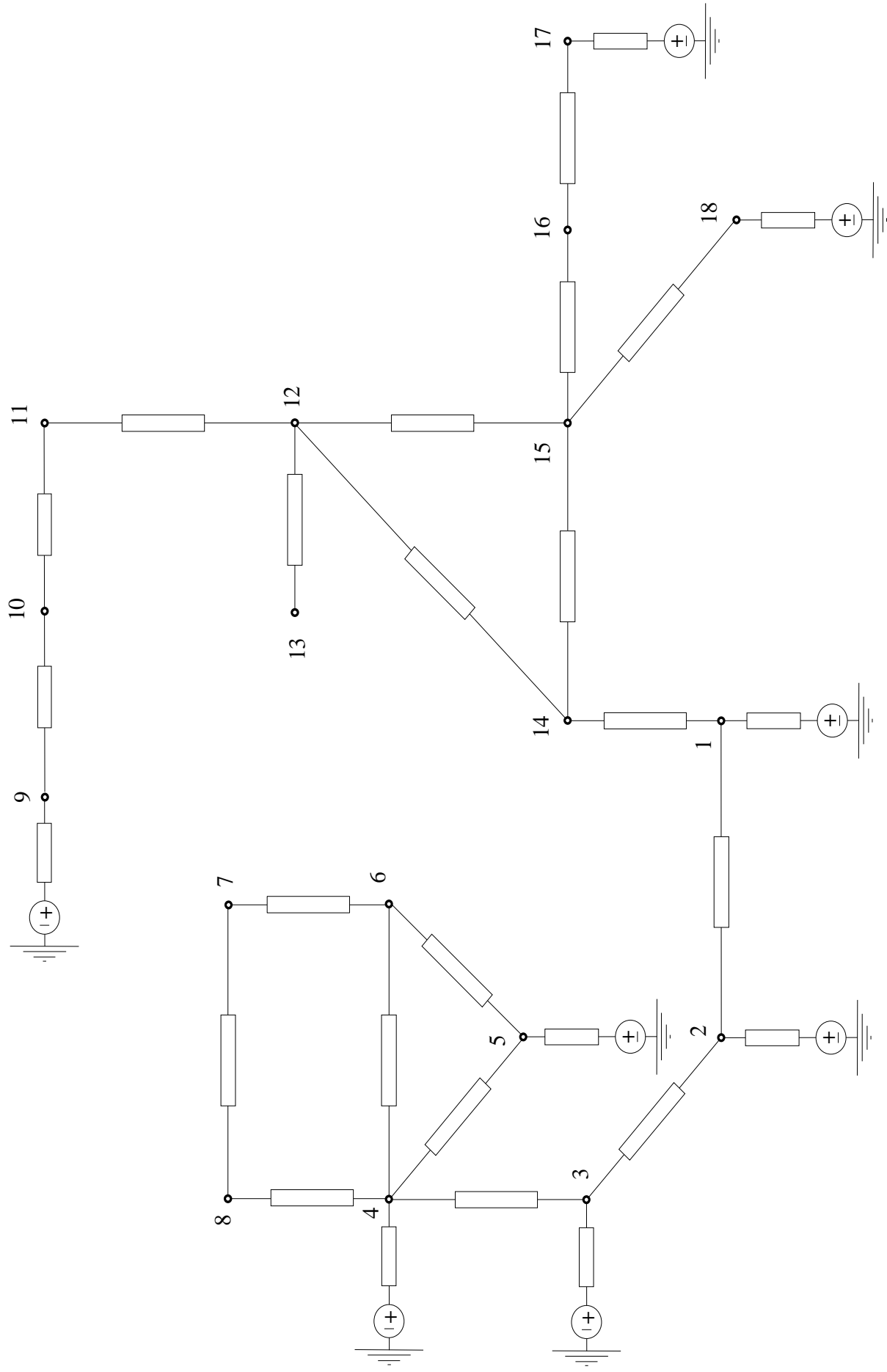
реден број	Елемент	Помеѓу јазлите	Насока < >	$I_d$ (A)	$I_i$ (A)	$I_0$ (A)	$I_f$ (A)
1	V <sub>1-2</sub>	Битола 110      Глобочица					
2	V <sub>2-3</sub>	Глобочица      Шпиље					
3	V <sub>3-4</sub>	Шпиље      Вруток 110					
4	V <sub>4-5</sub>	Вруток 110      Осломеј					
5	V <sub>4-6</sub>	Вруток 110      Ск. 1 110					
6	V <sub>5-6</sub>	Осломеј      Ск. 1 110					
7	T3	Ск. 1 110      Ск. 1 220					
8	T5	Вруток 110      Вруток 220					
9	V <sub>7-8</sub>	Ск. 1 220      Вруток 220					
10	V <sub>9-10</sub>	Косово А      Косово Б 220					
11	T2	Косово Б 220      Косово Б 400					
12	V <sub>11-12</sub>	Косово Б 400      Ск. 4 400					
13	T6	Ск. 4 400      Ск. 4 110					
14	V <sub>12-14</sub>	Ск. 4 400      Битола 400					
15	V <sub>12-15</sub>	Ск. 4 400      Дуброво 400					
16	V <sub>14-15</sub>	Битола 400      Дуброво 400					
17	T4	Битола 110      Битола 400					
18	T1	Дуброво 400      Дуброво 110					
19	V <sub>16-17</sub>	Дуброво 110      Неготино					
20	G1	–      Битола 110	>				
21	G2	–      Глобочица	>				
22	G3	–      Шпиље	>				
23	G4	–      Вруток 110	>				
24	G5	–      Осломеј	>				
25	G6	–      Неготино	>				
26	G7	–      ЕЕС на СРЈ	>				
27	G8	–      ЕЕС на Грција	>				

**НАПОНСКИ ПРИЛИКИ ПРИ ПОЕДИНИТЕ СОБИРНИЦИ ЗА ВРЕМЕ НА КУСАТА ВРСКА**

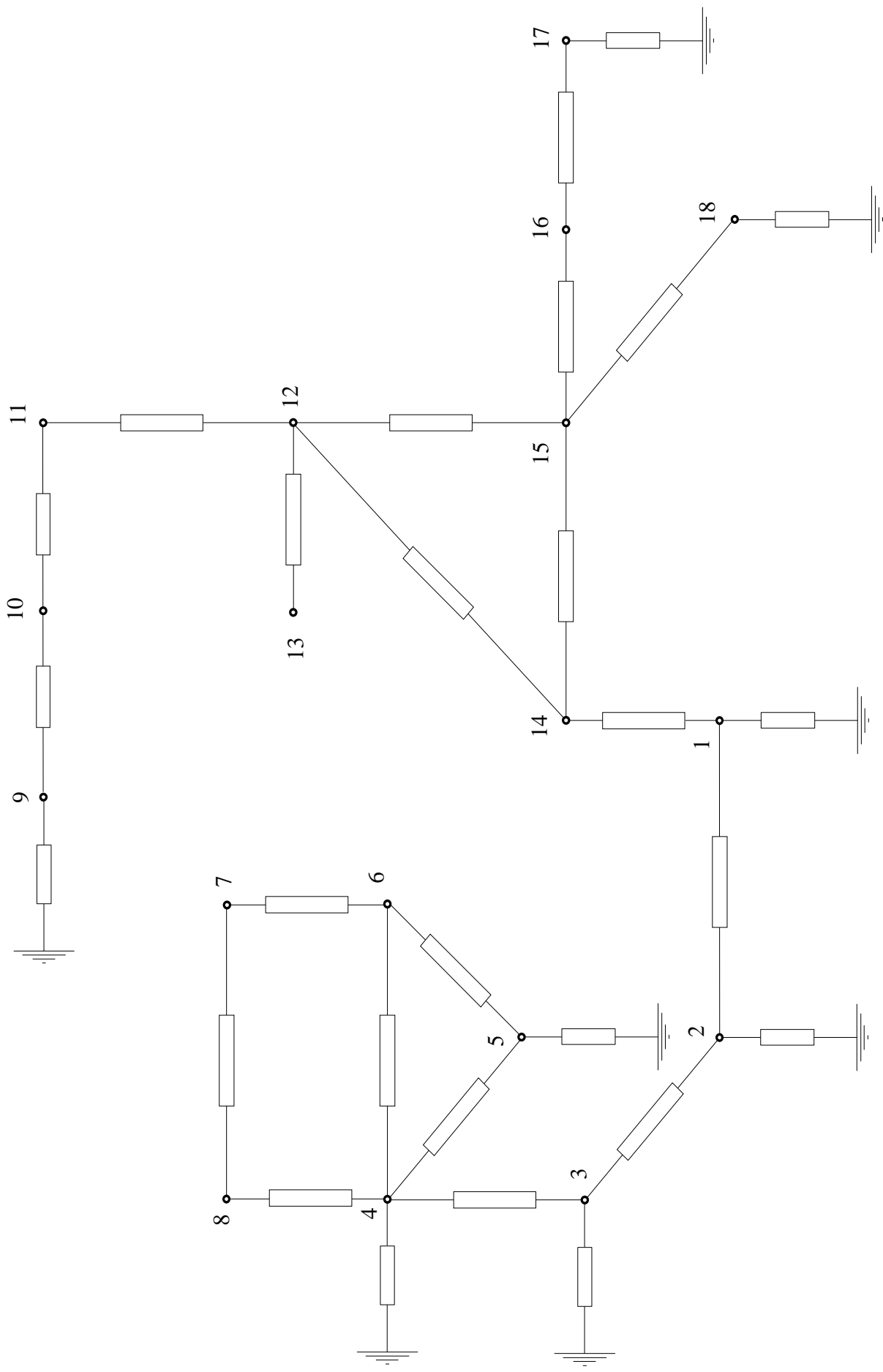
реден број	С об и р н и ц а	$U_d$ (kV)	$U_i$ (kV)	$U_0$ (kV)	$U_f$ (kV)	$U_f$ (% од $U_{нф}$ )
1	Битола 110					
2	Глобочица					
3	Шпиље					
4	Вруток 110					
5	Осломеј					
6	Ск. 1 110					
7	Ск. 1 220					
8	Вруток 220					
9	Косово А					
10	Косово Б 220					
11	Косово Б 400					
12	Ск. 4 400					
13	Ск. 4 100					
14	Битола 400					
15	Дуброво 400					
16	Дуброво 110					
17	Неготино					
18	Солун					



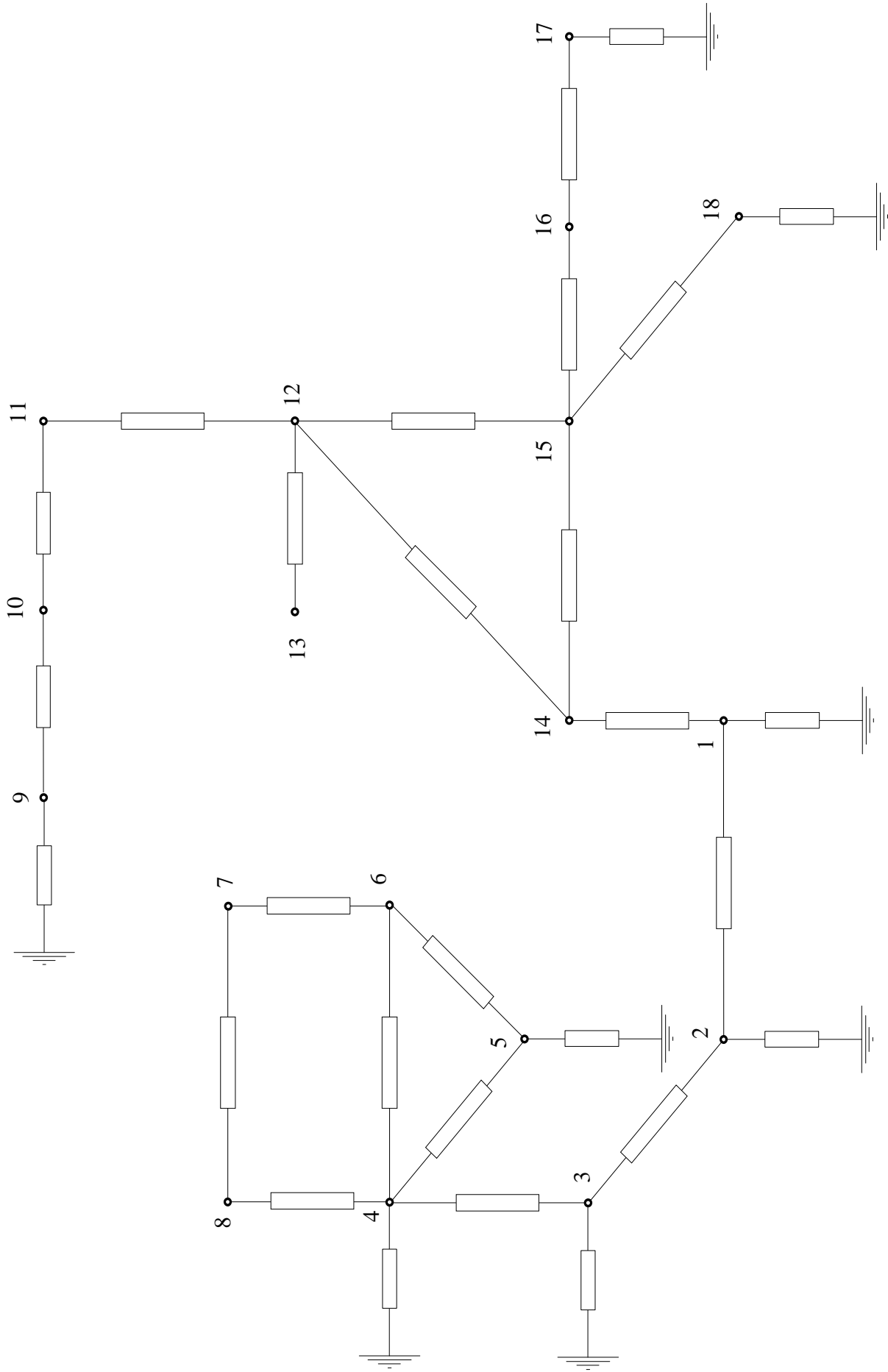
### ЗАМЕНСКА ШЕМА НА МРЕЖАТА ЗА ДИРЕКТЕН РЕДОСЛЕД



### ЗАМЕНСКА ШЕМА НА МРЕЖАТА ЗА ИНВЕРЗЕН РЕДОСЛЕД



### ЗАМЕНСКА ШЕМА НА МРЕЖАТА ЗА НУЛТИ РЕДОСЛЕД



## РАСПРЕДЕЛБА НА ФАЗНИТЕ НАПОНИ И СТРУИ ВО ЕЕС ЗА ВРЕМЕ НА КУСАТА ВРСКА

