

## 6. ПРЕСМЕТКА НА ЈАМКАСТИ И СЛОЖЕНО-ЗАТВОРЕНИ МРЕЖИ

### 6.1. ОПШТО ЗА ПРЕСМЕТКАТА НА СЛОЖЕНО-ЗАТВОРЕНИТЕ МРЕЖИ

Во затворените мрежи најголемиот дел од потрошувачите имаат двострано па и повеќестрано напојување кое што обезбедува висок степен на сигурност во напојувањето. Потрошувачи во преносните мрежи се трафостанциите ВН/СН од кои што се напојуваат градови или поголеми градски населби како и големи индустриски комплекси кои што поради својата важност и големина бараат висока доверливост во електроснабдувањето. Затоа современите преносни мрежи редовно се прават како сложено-затворени со поголем број контури со што се обезбедува барем двострано, а онаму каде што е неопходно и повеќестрано напојување на нивните потрошувачи. Во таквите мрежи и бројот на извори односно напојни точки е поголем.

Во електроенергетските мрежи *јазли* се точките во кои е приклучен некој од изворите или потрошувачите на мрежата. Јазли се и точките во кои се врши спојување на барем два елемента од мрежата (преносни водови или трансформатори) и тие се нарекуваат *пасивни јазли* (dummy buses). Повеќето од јазлите во преносните мрежи се *потрошувачки*, т.е. јазли во кои што се приклучени потрошувачите на електрична енергија. Некои од јазлите, но во значително помал број, се и т.н. *генераторски јазли*. Тоа се оние јазли во кои што е приклучена електрична централа. Во согласност со изложеното во третата глава, точка 4.5, тие се делат на „PQ“ и „PU“ јазли. Кај првите електраната е дефинирана со своето производство на активна и реактивна моќност и таквите извори може да се третираат како „негативни“ потрошувачи. За разлика од нив, кај „PU“ јазлите се познати произведуваната активна моќност  $P_G$  и напонот  $U_G$  на собирниците од генераторот, т.е. кај нив синхронизираниот генератор покрај производството на активна моќност има задача и да го одржува напонот во приклучениот јазел на една однапред зададена вредност  $U_G$ . Постојат и мешовити јазли кои што претставуваат комбинација од потрошувачки и генераторски јазли.

Во секоја мрежа постои и т.н. *балансен јазел* (slack bus или swing bus). Тоа е генераторски јазел во кој што е приклучена голема електрана која има задача да го исполни билансот на моќности во системот, т.е. разликата помеѓу сумарната потрошувачка на моќност, загубите и генерираните моќности на преостанатите електрани во ЕЕС. Истовремено таа електрана има и дополнителна задача да го одржува напонот во балансниот јазел на однапред зададената вредност, дефинирана од страна на диспечерот на ЕЕС.

Една од основните задачи на анализата на ЕЕС е определувањето на режимските параметри на набљудуваниот режим, а тоа се моќностите (струите) во гранките и напоните (по модул и аргумент, односно фаза) во јазлите од системот. Врз основа на нив се определуваат и вкупните загуби на моќност во тој режим. Овие

анализи се неопходни од повеќе причини а главна причина за тоа е утврдување дали сите од режимските параметри се наоѓаат во дозволените или однапред дефинираните граници.

Математички гледано решавањето на состојбата во една мрежа (кое што во литературата е познато уште и под називот „Load Flow анализа“) се сведува на решавање нелинеарен систем комплексни равенки. Методите за анализа на стационарните режими во ЕЕС се делат на *директни* и *итеративни*. Првите се базирани на примената на основните закони во електротехниката и главна нивна одлика се едноставноста, прегледноста и простата физичка интерпретација на набљудуваниот режим. Затоа таквите методи се применуваат секогаш кога за тоа постои можност и оправданост, а тоа е најчесто во случајот на отворените дистрибутивни мрежи за низок и среден напон како и кај затворените мрежи со едноставна конфигурација и мал број контури. Кај нив определувањето на состојбата во мрежата се сведува на решавање систем линеарни алгебарски равенки, и се врши директно, што во денешно време претставува лесна задача.

Итеративните методи, пак, проблемот не го решаваат директно туку итеративно, во поголем број чекори. Секој таков чекор претставува една иста процедура која што ја применува постапката на линеаризација на нелинераниот систем равенки во околината на самото решение и која што обично се сведува на решавање систем линеарен алгебарски равенки којшто произлегува од самата линеаризација на нелинеарниот проблем. Тие секогаш бараат познавање на едно „добро“ почетно решение за режимските параметри т.е. решение кое што е доволно блиску до вистинското решение за да може итеративниот процес сигурно да конвергира. Потребниот број итерации притоа зависи од поголем број фактори: од применетата постапка за решавање на линеарниот проблем, од зададената точност со која што се сака да се добие самото решение, од тоа колку е добро самото почетно решение, од тежината на анализираниот режим и др.

Моделирањето на елементите од мрежата во ваквите анализи се врши на начин којшто е опишан во третата глава, преку нивните пизаменски шеми. Изворите најчесто се моделираат со познатите инјектирани активна и реактивна моќност. Тој начин на моделирање е сосема коректен кога станува збор за т.н. PQ-јазли, додека моделирањето на изворите приклучени во PU-јазлите се врши на сличен, но малку посложен начин, за што подетално ќе стане збор во други дисциплини коишто го надополнуваат градивото во овој курс.

Потрошувачите во овие анализи може да се моделираат на неколку различни начини: а) преку нивните *струи* коишто како фазори се сметаат за познати (начин којшто се применува доста често при анализата на НН и СН дистрибутивни мрежи); б) преку нивните *комплексни моќности* –коишто се сметаат за познати и независни од напоните во системот и в) со помош на *константни импеданции* односно *адмитанции*. Моделот на константна привидна моќност на потрошувачите се користи најчесто при анализата на преносните мрежи. Кај нив вистинските потрошувачи се всушност приклучени на

преносниот систем преку трансформаторски станици ТС ВН/СН и тоа на СН страна така што автоматските регулатори на напонот кај самите трансформатори успеваат да обезбедат напонот на СН страна, од чија што висина зависи моќноста на потрошувачот, да ја добие бараната вредност и да биде практично константен, независно од режимот на работа на системот. Моделот на константна импеданција, пак, се применува тогаш кога се сака во пресметките да се уважи статичката карактеристика на товарот, т.е. да се опфати на некој начин зависноста на товарот од напонот. Таквите модели се применуваат обично во анализите на дистрибутивните мрежи каде што доминираат термичките потрошувачи и кај кои навистина статичките карактеристики на потрошувачите имаат квадратна (или приближно квадратна) зависност од напонот. Уважувањето на статичките карактеристики на конзумот обезбедува повисока точност при моделирањето на системот но затоа тоа ги усложнува самите пресметки.

Во сите анализи што ќе се вршат во наредниот дел ќе се применува моделот на константна моќност.

## **6.2. ОПШТА ПОСТАПКА ЗА ПРЕСМЕТКА НА ТЕКОВИТЕ НА МОЌНОСТИ ВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ МРЕЖИ**

Постои голем број нумерички методи за пресметка на тековите на моќности во ЕЕС, различни по својата ефикасност и сложеност. Сите тие меѓусебе се разликуваат по постапката на решавање на проблемот, поради што тие ќе се разликуваат и по брзината на пресметување, точноста на добиените резултати како и по потребите од компјутерска меморија. Тие се изучуваат во специјалистичките курсови на енергетските насоки на електротехничките факултети. Без да навлегуваме подетално во нивниот опис, во овој курс проблемот на пресметување на тековите на моќности во една мрежа (Load Flow Problem) ќе го решаваме со примена на два најчесто применувани метода: *методот на контурни струи* и *методот на јазлови потенцијали*. За таа цел ќе се запознаеме со секој од нив одделно.

Кај првиот метод како непознати се јавуваат струите на т.н. независни контури во мрежата чиј што број за реалните ЕЕС е релативно мал во споредба со бројот на јазли во нив. Но начинот на формирањето на системот равенки што произлегуваат од тој метод е прилично сложен поради што тој се користи само во едноставни случаи на мрежи со мал број контури.

### **6.2.1. Метод на јазлови потенцијали**

Еден од најчесто применуваните методи за решавање на состојбата во сложените мрежи е познатиот метод на јазлови потенцијали. Бројот на равенки кои што произлегуваат од неговата примена е еднаков на бројот на независните јазли во системот и тој е значително поголем во однос на бројот равенки добиени со претходно спомена-

тиот метод на контррни струи. Но затоа начинот на нивното формирање е сосема едноставен, а тоа го прави тој да биде најчесто користен за Load Flow анализите на сложените електроенергетски мрежи.

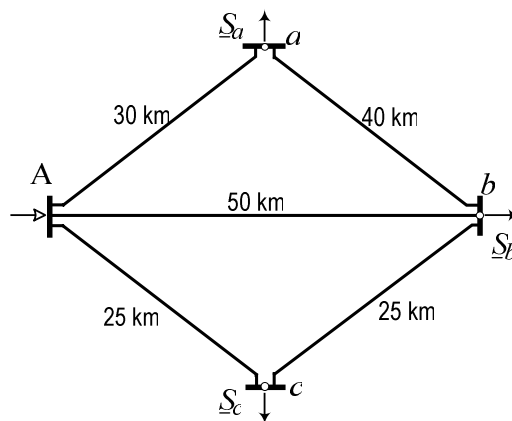
Според него помеѓу инјектираните струи  $\underline{J}$  и фазните напони во јазлите  $\underline{V}$  во една мрежа постои следната матрична (линеарна) релација:

$$\underline{Y} \times \underline{V} = \underline{J} \quad (6.1)$$

Релацијата (6.1) всушност претставува систем линеарни комплексни равенки кој ја дава врската помеѓу матрицата колона (векторот) на фазните напони на јазлите  $\underline{V}$ , ( $V_j = U_j/\sqrt{3}; j = 1, n$ ), матрицата колона на инјектираните струи во јазлите  $\underline{J}$  со помош на матрицата на адмитанции  $\underline{Y}$  на независните јазли на мрежата. Оваа матрица е квадратна и симетрична и, како што е познато, таа е „ретка“ т.е. бројот на ненулти елементи во неа е многу помал во споредба со вкупниот број на елементи  $n^2$ . Бо развиена форма релацијата (6.1) изгледа вака:

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \vdots \\ J_n \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

Доколку во проблемот е позната десната страна од (6.2) т.е. познати се инјектираните струи  $\underline{J}_i$ ; ( $i = 1, n$ ) во независните јазли тогаш проблемот се решава директно, без итерации. Во тој случај најнапред се определуваат напоните во јазлите, т.е. матрицата колона  $\underline{V}$  а потоа и струите во гранките од мрежата. Но најчесто проблемот на Load Flow анализата е поставен поинаку. Имено во таквите анализи вообичаено е да се познати инјектираните привидни моќности во јазлите, т.е. елементите од матрицата  $\underline{S}$  кои што се изразуваат преку непознатите напони на јазлите  $\underline{V}$ . Во тој случај проблемот се решава итеративно.



**Слика 6.1. Сложено-затворена мрежа со 4 независни јазли и 5 гранки**

Да ја илустрираме примената на овој метод на еден пример.

Нека за мрежата прикажана на сликата 6.1 е потребно да се напишат релациите што произлегуваат од методот на јазлови потенцијали и потоа да се определат режимските параметри за

зададениот режим на работа, т.е. да се пресметаат напоните во јазлите и струите односно моќностите во гранките од мрежата. Сите водови во мрежата имаат исти подолжни параметри:  $\underline{z} = (r+jx) = (0,129+j0,40) \Omega/\text{km}$ ;  $\underline{y} \approx 0$ . Нивните должини во (km) се прикажани на самата слика 6.1. Познат е напонот во напојната точка од мрежата А, т.е. во „балансниот“ јазел,  $U_A = 112 \text{ kV}$  како и струјните инјекции во одделните јазли од мрежата со помош на кои што се моделираат нејзините потрошувачи:

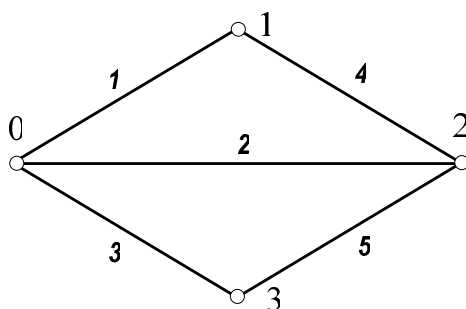
$$\underline{J}_a = (157,5 - j52,5) \text{ A} = 166,02 \cdot e^{-18,44^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{J}_b = (105 - j52,5) \text{ A} = 117,39 \cdot e^{-26,57^\circ} \text{ A и}$$

$$\underline{J}_c = (52,5 - j52,5) \text{ A} = 74,25 \cdot e^{-45^\circ} \text{ A}$$

### Решение

Нека балансниот јазел го означиме со редниот број 0. Останатите јазли ќе ги нумерираме произволно, со броеви од 1 до  $n$ , колку што изнесува бројот на независни јазли во мрежата. Ќе ги занемариме попречните гранки во мрежата. Тогаш графот на мрежата ќе биде прикажан на сликата 6.2.



Слика 6.2. Граф на мрежата од слика 6.1

Според методот на јазлови потенцијали за мрежата од сликата 6.2 можеме, врз основа на релацијата (6.1), да ја напишеме следната матрична релација:

$$\begin{pmatrix} \underline{Y}_{00} & \underline{Y}_{01} & \underline{Y}_{02} & \underline{Y}_{03} \\ \underline{Y}_{10} & \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{20} & \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{30} & \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{V}_0 \\ \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{J}_0 \\ \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \\ \underline{J}_3 \end{pmatrix}. \quad (6.3)$$

Како што е познато, за елементите на матрицата на адмитанции на јазлите  $\underline{Y}$  важат следните правила:

- дијагоналниот елемент во редицата  $i$  е еднаков на сумата на адмитанциите на сите гранки кои го содржат јазелот  $i$  (во таа сума треба да се сметаат и адмитанциите на напречните гранки од еквивалентните шеми на водовите и трансформаторите доколку ги има);

- вондијагоналниот елемент во редицата  $i$  и колоната  $j$  е еднаков на негативната сума на адмитанциите на сите гранки кои едновременно ги содржат јазлите  $i$  и  $j$  (директни врски меѓу јазлите  $i$  и  $j$ ).

На пример, според горните правила за одделни елементи од матрицата  $\underline{Y}$  можеме да напишеме:

$$\underline{Z}_1 = (0,129 + j0,40) \cdot 30 = (3,858 + j12) \Omega;$$

$$\underline{Z}_2 = (0,129 + j0,40) \cdot 50 = (6,430 + j20) \Omega;$$

$$\underline{Z}_3 = (0,129 + j0,40) \cdot 25 = (3,215 + j10) \Omega;$$

$$\underline{Z}_4 = (0,129 + j0,40) \cdot 40 = (5,144 + j16) \Omega;$$

$$\underline{Z}_5 = (0,129 + j0,40) \cdot 25 = (3,215 + j10) \Omega;$$

$$\underline{Y}_{00} = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3} = (0,068 - j0,211) \text{ S};$$

$$\underline{Y}_{01} = -\frac{1}{\underline{Z}_1} = (-0,024 + j0,076) \text{ S}.$$

Применувајќи ја истата постапка за останатите елементи, за матрицата  $\underline{Y}$  добиваме:

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} 0,068 - j0,211 & -0,024 + j0,076 & -0,015 + j0,045 & -0,029 + j0,091 \\ -0,024 + j0,076 & 0,040 - j0,134 & -0,018 + j0,057 & 0 \\ -0,015 + j0,045 & -0,018 + j0,057 & 0,062 - j0,193 & -0,029 + j0,091 \\ -0,029 + j0,091 & 0 & -0,029 + j0,091 & 0,058 - j0,181 \end{pmatrix} \text{ S}.$$

Сега ни преостанува да го решиме комплексниот систем равенки (6.3). Бидејќи напонот  $U_0 = \sqrt{3} \cdot V_0$  во јазелот 0 е познат, нултата редица од системот равенки (4.8.1) можеме да ја испуштиме, а во останатите три равенки познатата вредност на напонот  $\underline{V}_0$  ја префрламе на десната страна на равенките со што го добиваме следниот систем равенки:

$$\begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{J}_1 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{10} \\ \underline{J}_2 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{20} \\ \underline{J}_3 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{30} \end{pmatrix}. \quad (6.3)$$

Непознатите напони во јазлите ги добиваме како решение на следниот систем равенки:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} \underline{J}_1 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{10} \\ \underline{J}_2 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{20} \\ \underline{J}_3 - \underline{V}_0 \underline{Y}_{30} \end{pmatrix}. \quad (6.4)$$

или

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,640 + j8,210 & 1,015 + j3,158 & 0,508 + j1,579 \\ 1,015 + j3,158 & 2,369 + j7,368 & 1,184 + j3,684 \\ 0,508 + j1,579 & 1,184 + j3,684 & 2,200 + j6,842 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1,728 - j4,936 \\ 1,047 - j2,983 \\ 1,937 - j5,913 \end{pmatrix}.$$

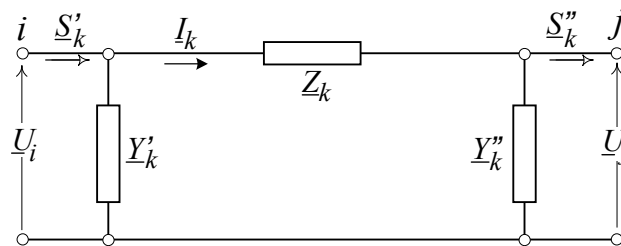
Решението на проблемот гласи:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 63,960 \cdot e^{-j0,77^\circ} \\ 63,96 \cdot e^{-j0,63^\circ} \\ 64,11 \cdot e^{-j0,41^\circ} \end{pmatrix} \text{ kV; или}$$

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 110,781 \cdot e^{-j0,77^\circ} \\ 110,790 \cdot e^{-j0,63^\circ} \\ 110,048 \cdot e^{-j0,41^\circ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (110,77 - j1,49) \\ (110,78 - j1,22) \\ (111,04 - j0,79) \end{pmatrix} \text{ kV.}$$

Со познатите вредности на напоните во сите јазли, тековите на моќност се пресметуваат на следниот начин. Ако гранката со реден број  $k$ , што ги поврзува јазлите  $i$  и  $j$  можеме, во општ случај, да ја претставиме со една  $\pi$ -заменска шема како на сликата 6.3, тогаш можеме да пишуваме:

$$\underline{I}_k = \frac{\underline{V}_i - \underline{V}_j}{\underline{Z}_k} = \frac{\underline{U}_i - \underline{U}_j}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_k}. \quad (6.5)$$



**Слика 6.3.  $\pi$  – заменска шема на гранката  $k$  ( $i-j$ )**

$$\underline{S}'_k = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_i \cdot (\underline{I}_k + \underline{Y}'_k \cdot \underline{V}_i)^* = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_i \cdot \underline{I}_k^* + U_i^2 \cdot \underline{Y}'_k{}^*; \quad (6.6)$$

$$\underline{S}''_k = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_j \cdot (\underline{I}_k - \underline{Y}''_k \cdot \underline{V}_j)^* = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_j \cdot \underline{I}_k^* + U_j^2 \cdot \underline{Y}''_k{}^*. \quad (6.7)$$

каде што со  $\underline{I}_k$  е означена струјата во редната гранка, со  $\underline{S}'_k$  и  $\underline{S}''_k$  се означени привидните моќности на почетокот и на крајот на гранката, додека  $\underline{Z}_k$ ,  $\underline{Y}'_k$  и  $\underline{Y}''_k$  се редната импеданција и напречните адмитанции на почетокот и крајот од  $\pi$  – еквивалентната шема на гранката, во согласност со сликата 6.3.

На тој начин за моќностите во гранките ги добиваме следните вредности:

реден број	пOMEЃу јазлите	почеток		крај	
		MW	Mvar	MW	Mvar
1	0 – 1	27,605	10,988	27,448	10,501
2	0 – 2	14,205	7,237	14,130	7,003
3	0 – 3	19,297	12,329	19,219	12,088
4	2 – 1	29,081	-0,828	29,046	-0,835
5	3 – 2	9,050	2,061	9,036	20,213

Моќностите што им се испорачуваат на потрошувачите во мрежата ќе бидат:

$$\underline{S}_a = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_2 \cdot \underline{J}_a^* = (30,083 + j10,479) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}_b = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_3 \cdot \underline{J}_b^* = (20,036 + j10,297) \text{ MVA};$$

$$\underline{S}_c = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_4 \cdot \underline{J}_c^* = (10,026 + j10,170) \text{ MVA}.$$

Во практиката задачата на Load Flow анализата на електроенергетските мрежи се дефинира на малку поинаков начин. Имено наместо инјектираните струи, се задаваат моќностите на потрошувачите и моќностите на сите извори (синхрони генератори) освен за генераторот во балансниот јазел. Тогаш проблемот станува нелинеарен и неговото решавање се врши со специјализирани постапки кои во основа имаат итеративен карактер.

Оваа постапка ќе ја илустрираме на истата мрежа од сликата 6.1. само што сега наместо струјните инјекции  $\underline{J}_a$ ,  $\underline{J}_b$  и  $\underline{J}_c$  во јазлите, потрошувачката ќе биде зададена преку моќностите на самите потрошувачи:  $\underline{S}_a = (30+j5) \text{ MVA}$ ;  $\underline{S}_b = (20+j10) \text{ MVA}$ ;  $\underline{S}_c = (10+j10) \text{ MVA}$ .

Ќе ја задржиме истата нумерација на јазлите како и претходно. Во тој случај инјектираната струја во јазелот  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) можеме да ја пресметаме со зададената моќност на потрошувачот во тој јазел и неговиот фазен напон:

$$\underline{J}_i = -\underline{J}_{Pi} = -\frac{\underline{S}_{Pi}^*}{3 \cdot \underline{V}_i^*} = -\frac{P_{Pi} - jQ_{Pi}}{3 \cdot \underline{V}_i^*}; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6.8)$$

при што знакот минус е поради тоа што струјата не се инјектира во јазелот  $i$  туку излегува од него.

$$\begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{P_{P1} - jQ_{P1}}{3 \cdot \underline{V}_1^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{10} \\ -\frac{P_{P2} - jQ_{P2}}{3 \cdot \underline{V}_2^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{20} \\ -\frac{P_{P3} - jQ_{P3}}{3 \cdot \underline{V}_3^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{30} \end{pmatrix}, \quad (6.9)$$

Заменувајќи ја релацијата (6.8) во (6.3) го добиваме системот нелинеарни равенки (6.9), каде што непознати величини се напоните на јазлите со потрошувачите  $\underline{V}_1$ ,  $\underline{V}_2$  и  $\underline{V}_3$ , додека за фазниот напон на напојниот јазел имаме  $\underline{V}_0 = \underline{U}_0 / \sqrt{3} = 112 / \sqrt{3} \text{ kV}$ . Системот (6.9) е нелинеарен зашто непознатите променливи  $\underline{V}_i$ ; ( $i = 1, n-1$ ) се јавуваат и на десната страна од системот.

Овој систем може да се реши со примена на готови математички софтверски пакети како што се на пример Matcad, Matlab и сл. Во нашиот случај нелинеарниот систем равенки ќе го решиме со итеративна постапка. Притоа почетното решение на проблемот ќе го добиеме користејќи го сознанието дека напоните во јазлите од една



реална мрежа за нормални работни режими се движи во тесен интервал околу своите номинални вредности. На тој начин, усвојувајќи ги за почетното решение вредностите:

$$\underline{V}_i = \underline{V}_0; i = 1, 2, \dots, n, \quad (6.10)$$

со помош на (6.3) ќе можеме да ја пресметаме десната страна од системот (6.5):

$$D = \begin{pmatrix} -\frac{P_{P1} - jQ_{P1}}{3 \cdot \underline{V}_1^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{10} \\ -\frac{P_{P2} - jQ_{P2}}{3 \cdot \underline{V}_2^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{20} \\ -\frac{P_{P3} - jQ_{P3}}{3 \cdot \underline{V}_3^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{30} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.452 - j8.415 \\ 1.453 - j4.986 \\ 3.174 - j10.062 \end{pmatrix} \text{ kA.},$$

Понатаму следи решението за комплексните напони на јазлите после првата итерација:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} -\frac{P_{P1} - jQ_{P1}}{3 \cdot \underline{V}_1^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{10} \\ -\frac{P_{P2} - jQ_{P2}}{3 \cdot \underline{V}_2^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{20} \\ -\frac{P_{P3} - jQ_{P3}}{3 \cdot \underline{V}_3^*} - \underline{V}_0 \underline{Y}_{30} \end{pmatrix}, \quad (6.11)$$

каде што е:

$$\begin{pmatrix} \underline{Y}_{11} & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{13} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{23} \\ \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{32} & \underline{Y}_{33} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 2,640 + j8,210 & 1,015 + j3,158 & 0,508 + j1,579 \\ 1,015 + j3,158 & 1,369 + j7,368 & 1,184 + j3,684 \\ 0,508 + j1,579 & 1,184 + j3,684 & 2,200 + j6,842 \end{pmatrix}.$$

Притоа се добива следното решение:

$$\underline{U}_1 = (110,28 - j2,65) \text{ kV}$$

$$\underline{U}_2 = (110,07 - j2,13) \text{ kV и}$$

$$\underline{U}_3 = (110,45 - j1,37) \text{ kV.}$$

Но ова не е конечното решение бидејќи десната страна на системот равенки (6.9) беше пресметана приближно, со претпоставени вредности за напоните  $\underline{V}$ .

Во новата итерација десната страна од системот равенки (6.9), т.е. матрицата колона  $\mathbf{D}$  ќе ја пресметаме со помош на новите, тукушто пресметани, вредности за напоните  $\mathbf{V}$ . На тој начин за векторот  $\mathbf{D}$  ќе дониеме нови вредности:

$$D = \begin{pmatrix} -\frac{P_{P1} - jQ_{P1}}{3 \cdot V_1^*} - V_0 Y_{10} \\ -\frac{P_{P2} - jQ_{P2}}{3 \cdot V_2^*} - V_0 Y_{20} \\ -\frac{P_{P3} - jQ_{P3}}{3 \cdot V_3^*} - V_0 Y_{30} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.449 - j8.407 \\ 1.452 - j4.981 \\ 3.174 - j10.059 \end{pmatrix} \text{ kA.},$$

и како резултат на тоа ќе добиеме нови, уточнети, вредности за непоните:

$$\underline{U}_1 = (110,19 - j2,653) \text{ kV}$$

$$\underline{U}_2 = (109,997 - j2,125) \text{ kV и}$$

$$\underline{U}_3 = (110,396 - j1,362) \text{ kV.}$$

После доволен број итерации се добива „конечното“ решение на задачата:

$$\underline{U}_1 = (110,187 - j2,655) = 110,219 \cdot e^{-j1,38^\circ} \text{ kV}$$

$$\underline{U}_2 = (109,995 - j2,127) = 110,016 \cdot e^{-j1,11^\circ} \text{ kV и}$$

$$\underline{U}_3 = (110,395 - j1,363) = 110,404 \cdot e^{-j0,71^\circ} \text{ kV.}$$

Резултатите за непознатите модули на напоните на независните јазли, добиени во првите 4 итерации за време на итеративниот процес се прикажани во следната табела:

Итерација	$U_1$	$U_2$	$U_3$
0	112,000	112,000	112,000
1	110,309	110,092	110,454
2	110,221	110,017	110,405
3	110,220	110,016	110,404
4	110,219	110,016	110,404

Сега, со помош на изразите (6.5), (6.6) и (6.7), можеме да ги пресметаме моќностите во гранките од мрежата:

реден број	помеѓу јазлите	почеток		крај	
		MW	Mvar	MW	Mvar
1	0 - 1	27,104	7,368	26,863	6,614
2	0 - 2	13,947	6,316	13,827	5,942
3	0 - 3	18,947	11,316	18,823	10,928
4	2 - 1	2,800	-2,383	2,794	-2,401
5	3 - 2	8,839	1,188	8,818	1,123

— ■ —



$$(\mathbf{Z}_K) = \begin{pmatrix} \underline{Z}_{11} & \underline{Z}_{12} & \cdots & \underline{Z}_{1m} \\ \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{22} & \cdots & \underline{Z}_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \underline{Z}_{m1} & \underline{Z}_{m2} & \cdots & \underline{Z}_{mm} \end{pmatrix}; (\mathbf{A}) = \begin{pmatrix} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \\ \cdots \\ \underline{A}_m \end{pmatrix}; (\mathbf{S}_K) = \begin{pmatrix} \underline{S}_1 \\ \underline{S}_2 \\ \cdots \\ \underline{S}_m \end{pmatrix} \quad (6.17)$$

Во матричната релација (6.17)  $(\mathbf{Z}_K)$  е т.н. матрица на импеданции на независните контури, која е квадратна и симетрична, од  $m$ -ти ред. Дијагоналниот елемент  $\underline{Z}_{ii}$  на оваа матрица се добива како сума од сите импеданции што и припаѓаат на  $i$ -тата контура, додека вондијагоналниот елемент  $\underline{Z}_{ij}$  е еднаков на сумата на импеданциите на гранките од мрежата кои што се заеднички за  $i$ -тата и  $j$ -тата контура, со знак „+“ кога насоките на  $i$ -тата и  $j$ -тата контура низ тие гранки се совпаѓаат, односно со знак „-“ во спротивниот случај.

Матрицата  $(\mathbf{A})$  што фигурира на десната страна од последната матрична равенка, зависи од оптоварувањата во мрежата и од импеданциите на гранките на мрежата и таа е секогаш позната, но нејзиното определување е главниот проблем за примената на овој метод.

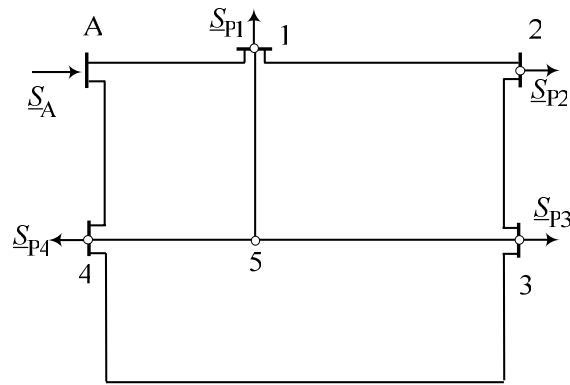
На тој начин решавањето на една мрежа со помош на методот на контурни моќности се сведува на решавање на еден систем комплексни равенки. Понатаму таквиот систем равенки може да се реши со некоја од познатите нумерички постапки, на пример со инверзија на матрицата на импеданции на независните контури, или, пак, со помош на некаков готов софтверски алат (MatCad, Matlab и др.).

Откога ќе се пресметаат контурните моќности  $(\mathbf{S}_K)$  од (6.16), кои всушност се совпаѓаат со моќностите во гранките со помош на кои се дефинираат главните контури во мрежата, со примена на I Кирхофов закон за струи се пресметуваат и струите во преостанатите гранки.

Специјален случај на методот на контурни моќности е [методот на раздвојување](#). Овој метод служи за решавање на таканаречените „хомогени“ мрежи. Тоа се оние мрежи кај кои односот  $X/R = \xi$  за секоја редна гранка е константен. Тука, на пример, спаѓаат мрежите чиишто водови имаат ист пресек, или пак, високонапонските преносни мрежи за кои е  $R \ll X$  па е  $X/R = \xi$  е голем број. Кај овие мрежи, за секоја контура, место комплексната равенка (6.14) добиваме две алгебарски равенки:  $\sum P_k \cdot X_k = 0$  и  $\sum Q_k \cdot R_k = 0$ , за секоја независна контура. Со други зборови, комплексниот систем од  $m$  равенки се распаѓа на два алгебарски система од по  $m$  равенки, што претставува големо олеснување при пресметките.

Формирањето на системот равенки којшто прозилегува од методот на контурни струи (моќности) ќе го илустрираме на следниот пример. Нека е потребно за сложено-затворената мрежа, прикажана на сликата 6.4, да се напише системот контурни равенки кои што произлегуваат од примената на овој метод.

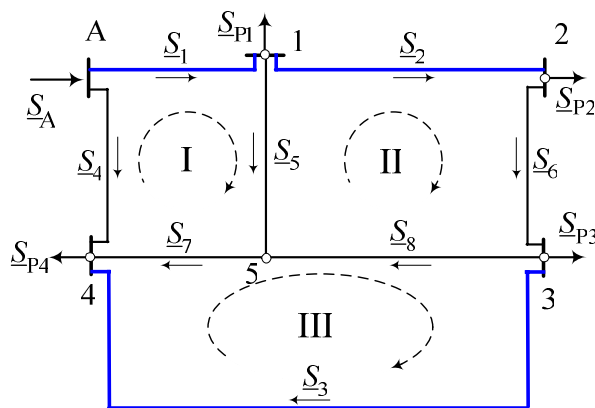
Прикажаната мрежа има вкупно  $n = 6$  јазли (A, 1, 2, 3, 4 и 5) и  $b = 8$  гранки (A-1, 1-2, 3-4, A-4, 1-5, 2-3, 5-4 и 3-5). Бројот на независните контури  $m$  на мрежата изнесува:  $m = b - n + 1$ .



**Слика 6.4. Сложено затворена мрежа со три независни контури**

Значи, во нашиот случај ќе имаме  $m = 8 - 6 + 1 = 3$  независни контури. Според тоа системот контурни равенки со што кој се опишува состојбата во мрежата ќе биде од трети ред.

Сега ќе ги дефинираме трите независни контури и ќе ги усвоиме нивните насоки. Нека  $A-1-5-4-A$  биде првата контура, понатаму  $1-2-3-5-1$  биде втората и нека третата контура биде  $3-4-5-3$ . Позитивните насоки на независните контури нека бидат како на сликата 6.5.



**Слика 6.5. Сложено-затворена мрежа со три независни контури.**

За секоја контура да одбереме по една гранка што припаѓа само на таа контура. Во тој случај, на пример, гранката  $A-1$  припаѓа само на првата контура, гранката  $1-2$  припаѓа само на втората контура, а гранката  $3-4$  припаѓа само на третата контура. Сега со  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$  и  $\underline{S}_3$  ќе ги означиме моќностите низ овие гранки и притоа нивните насоки ќе ги усогласиме со позитивните насоки на соодветните независни контури. Нумерацијата на останатите моќности низ гранките од мрежата и усвојувањето на нивните насоки е произволна. Притоа со  $\underline{Z}_i$  и  $\underline{S}_i$  ќе ги означиме редната импеданција и моќноста во  $i$ -тата гранка. Понатаму, тргнувајќи од условот дека сумата на падови на напони во една затворена (пасивна) контура е еднаков на нула (II Кирхофов закон), за секоја од независните контури пишуваме по една таква равенка. На тој начин ги добиваме контурните равенки на мрежата:

$$\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_1^* + \underline{S}_5 \cdot \underline{Z}_5^* + \underline{S}_7 \cdot \underline{Z}_7^* - \underline{S}_4 \cdot \underline{Z}_4^* = 0,$$

$$\underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_2^* + \underline{S}_6 \cdot \underline{Z}_6^* + \underline{S}_8 \cdot \underline{Z}_8^* - \underline{S}_5 \cdot \underline{Z}_5^* = 0,$$

$$\underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_3^* - \underline{S}_7 \cdot \underline{Z}_7^* - \underline{S}_8 \cdot \underline{Z}_8^* = 0.$$

Во овој систем равенки непознати се само контурните моќности  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$  и  $\underline{S}_3$  бидејќи моќностите  $\underline{S}_4$ ,  $\underline{S}_5$  .....  $\underline{S}_8$  низ останатите гранки од мрежата можат да се изразат преку нив и преку познатите моќности на оптоварувањата  $\underline{S}_{P1}$  .....  $\underline{S}_{P4}$ . Имено, со примена на I Кирхофов закон за моќности во јазлите 1, 2, 3, 5 и 4, добиваме:

$$\underline{S}_5 = \underline{S}_1 - \underline{S}_2 - \underline{S}_{P1};$$

$$\underline{S}_6 = \underline{S}_2 - \underline{S}_{P2};$$

$$\underline{S}_8 = \underline{S}_6 - \underline{S}_3 - \underline{S}_{P3} = \underline{S}_2 - \underline{S}_3 - (\underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3});$$

$$\underline{S}_7 = \underline{S}_8 + \underline{S}_5 = \underline{S}_1 - \underline{S}_3 - (\underline{S}_{P1} + \underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3});$$

$$\underline{S}_4 = \underline{S}_{P4} - \underline{S}_7 - \underline{S}_3 = -\underline{S}_1 + (\underline{S}_{P1} + \underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3} + \underline{S}_{P4})$$

Ако во системот контурни равенки на мрежата моќностите  $\underline{S}_4$ ,  $\underline{S}_5$  .....  $\underline{S}_8$  ги изразиме преку контурните моќности  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$  и  $\underline{S}_3$  и моќностите на потрошувачите  $\underline{S}_{P1}$  .....  $\underline{S}_{P4}$ , ќе го добиеме конечниот облик на системот контурни равенки, кој после средувањето гласи:

$$\underline{Z}_{11}^* \cdot \underline{S}_1 + \underline{Z}_{12}^* \cdot \underline{S}_2 + \underline{Z}_{13}^* \cdot \underline{S}_3 = \underline{A}_1;$$

$$\underline{Z}_{21}^* \cdot \underline{S}_1 + \underline{Z}_{22}^* \cdot \underline{S}_2 + \underline{Z}_{23}^* \cdot \underline{S}_3 = \underline{A}_2;$$

$$\underline{Z}_{31}^* \cdot \underline{S}_1 + \underline{Z}_{32}^* \cdot \underline{S}_2 + \underline{Z}_{33}^* \cdot \underline{S}_3 = \underline{A}_3.$$

каде што се:

$$\underline{A}_1 = \underline{S}_{P1} \cdot (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 + \underline{Z}_7)^* + (\underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3}) \cdot (\underline{Z}_4 + \underline{Z}_7)^* + \underline{S}_{P4} \cdot \underline{Z}_7^*;$$

$$\underline{A}_2 = -\underline{S}_{P1} \cdot \underline{Z}_5^* + \underline{S}_{P2} \cdot (\underline{Z}_6 + \underline{Z}_8)^* + \underline{S}_{P3} \cdot \underline{Z}_5^*;$$

$$\underline{A}_3 = -\underline{S}_{P1} \cdot \underline{Z}_7^* + (\underline{S}_{P2} + \underline{S}_{P3}) \cdot (\underline{Z}_7 + \underline{Z}_8)^*.$$

Според тоа матрицата на импеданции на главните контури ќе изгледа вака:

$$(\underline{Z}_K) = \begin{pmatrix} \underline{Z}_1 + \underline{Z}_5 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_4 & -\underline{Z}_5 & -\underline{Z}_7 \\ -\underline{Z}_5 & \underline{Z}_2 + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_8 + \underline{Z}_5 & -\underline{Z}_8 \\ -\underline{Z}_7 & -\underline{Z}_8 & \underline{Z}_3 + \underline{Z}_7 + \underline{Z}_8 \end{pmatrix}$$

### 6.2.3. Приближна постапка за пресметка на распределбата на моќности во јамкасти мрежи

Основниот недостаток на отворените мрежи (што претставува типична конфигурација во СН и НН дистрибутивни мрежи) е малата сигурност на електроснабдувањето на потрошувачите со електрична енергија. При повреда на еден од водовите во таквите мрежи доаѓа до прекин во снабдувањето со електрична енергија на сите потрошувачи

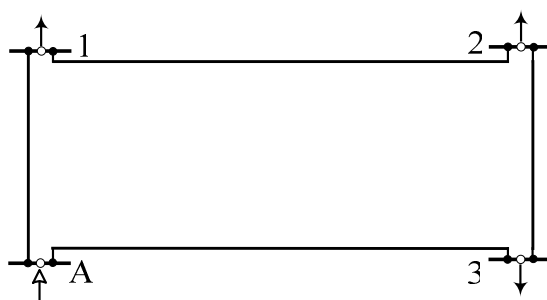
кои се напојуваат преку него, а прекилот ќе трае сè до откривањето и отстранувањето на повредата, што може да изнесува и неколку десетини саати.

**Подоверливо напојување** со електрична енергија на потрошувачите се постига со градба на **затворени мрежи**, кај кои постојат една или повеќе контури и поголемиот дел од потрошувачите можат да се напојуваат од две, **па и повеќе страни**. Затворените мрежи од своја страна се делат на: **прстенести (јамкасти)** и **сложено-затворени**. Кај првите во мрежата постои само една јамка (контура) додека кај вторите бројот на контури во мрежата е поголем.

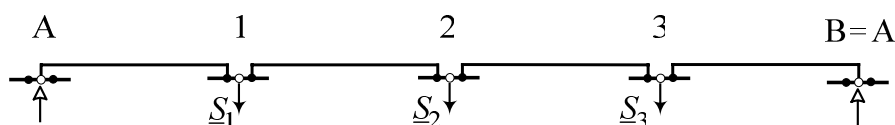
Прстенести конфигурации на мрежата се применуваат локално во дистрибутивниот дел од 110 kV мрежи а понекогаш и кај 35 kV мрежи со цел да се обезбеди непрекидно напојување на потрошувачите дури и при дефект (проследен со испад) на било кој од водовите што ја формираат затворената контура.

Во случајот кога мрежата содржи само една контура, нејзината контурна моќност се добива директно со помош на соодветен израз, згоден за брзо рачно пресметување. Во делот што следи ќе се запознаеме со еден директен, неитеративен, метод за решавање на состојбата во јамкастите мрежи (мрежи со една контура) кои даваат приближно решение на проблемот со задоволителна точност.

Да го разгледаме случајот на едноставна јамкаста мрежа (слика 6.6). Нека мрежата се состои од 4 водови меѓусебно поврзани така што ја формираат контурата „А–1–2–А“. Мрежата се напојува од точката „А“. Ако контурата (прстенот) што го образуваат четирите вода го пресечеме низ напојната точка „А“ и го отвориме (развиеме), ќе ја добиеме шемата од сликата 6.7, која што претставува магистрален вод напојуван од двата краја. Притоа напоните во крајните точки „А“ и „В“ имаат еднакви ефективни вредности и еднакви фазни агли, што е сосема разбирливо, бидејќи точките „А“ и „В“ всушност претставуваат една иста точка.



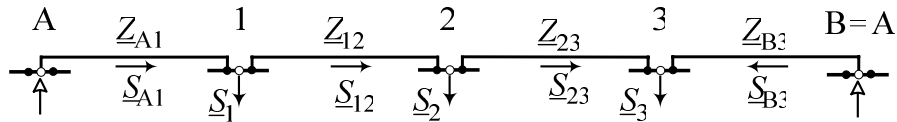
**Слика 6.6. Јамкаста (прстенеста) мрежа**



**Слика 6.7. Прстенеста мрежа отворена во точката на напојување (двострано напојувана мрежа)**

Пресметката на двострано-напојуваната мрежа од сликата 6.2 се врши со помош на пресметковната шема, прикажана на сликата 6.3. Во оптоварувањата  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$  и  $\underline{S}_3$ , прикажани во мрежата, се вклучени и генерираните реактивни моќности на поедините водови. Исто така, доколку јазлите „1“, „2“ и „3“ претставуваат трансформаторски станици (ТС), во споменатите потрошувачи ќе треба да бидат вклучени и загубите на моќност во самите трансформатори.

Насоките на моќностите низ гранките од мрежата  $\underline{S}_{A-1}$ ,  $\underline{S}_{1-2}$ ,  $\underline{S}_{2-3}$  и  $\underline{S}_{B-3}$  се усвојуваат произволно. Вистинските насоки на моќностите ќе се добијат како резултат на пресметките.



**Слика 6.8. Двострано напојувана мрежа со еднакви напони на краиштата**

Во првата апроксимација претпоставуваме дека нема загуби на моќност во водовите и дека сите напони во мрежата се еднакви на номиналниот. Бидејќи точките “А” и “В” во мрежата од сликата 6.8 се една иста точка, за јамката А–1–2–3–А можеме, според II Кирхофов закон, да напишеме:

$$\underline{Z}_{A1} \cdot \underline{I}_{A1} + \underline{Z}_{12} \cdot \underline{I}_{12} + \underline{Z}_{23} \cdot \underline{I}_{23} - \underline{Z}_{B3} \cdot \underline{I}_{B3} = 0. \quad (6.18)$$

Бидејќи е претпоставено дека сите напони се еднакви на номиналниот, за струјата  $\underline{I}_{ij}$  низ гранката „i–j“ може да се пишува:

$$\underline{I}_{ij} = \frac{\underline{S}_{ij}^*}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ т.е. } \underline{S}_{ij} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \underline{I}_{ij}^*. \quad (6.19)$$

Според тоа, ако равенката (6.18) ја конјугираме и потоа целата ја помножиме со  $\sqrt{3} \cdot U_n$ , ќе добиеме:

$$\underline{S}_{A1} \cdot \underline{Z}_{A1}^* + \underline{S}_{12} \cdot \underline{Z}_{12}^* + \underline{S}_{23} \cdot \underline{Z}_{23}^* - \underline{S}_{B3} \cdot \underline{Z}_{B3}^* = 0. \quad (6.20)$$

Бидејќи ги занемаривме загубите, моќностите низ гранките од мрежата ќе ги добиеме на едноставен начин ако ги изразиме преку моќноста  $\underline{S}_{A1}$  низ водот А–1 и преку моќностите на потрошувачите, т.е:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{12} &= \underline{S}_{A1} - \underline{S}_1; \\ \underline{S}_{23} &= \underline{S}_{A1} - \underline{S}_1 - \underline{S}_2; \\ \underline{S}_{B3} &= \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 - \underline{S}_{A1}. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Ако моќностите  $\underline{S}_{ij}$  од релациите (6.20), изразени преку непознатата моќност  $\underline{S}_{A1}$  ги замениме во (6.18), ќе добиеме:

$$\underline{S}_{A1} \cdot \underline{Z}_{A1}^* + (\underline{S}_{A1} - \underline{S}_1) \cdot \underline{Z}_{12}^* + (\underline{S}_{A1} - \underline{S}_1 - \underline{S}_2) \cdot \underline{Z}_{23}^* - (\underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 - \underline{S}_{A1}) \cdot \underline{Z}_{B3}^* = 0, \quad (6.22)$$

т.е.

$$\underline{S}_{A1} \cdot (\underline{Z}_{A1}^* + \underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{B3}^*) - \underline{S}_1 \cdot (\underline{Z}_{12}^* + \underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{B3}^*) - \underline{S}_2 \cdot (\underline{Z}_{23}^* + \underline{Z}_{B3}^*) - \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{B3}^* = 0. \quad (6.23)$$

Ако ги воведеме ознаките:



$$\begin{aligned}\underline{Z}_{AB} &= \underline{Z}_{A1} + \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{B3}; \\ \underline{Z}_{1B} &= \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{B3};\end{aligned}\quad (6.24)$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{2B} &= \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{B3}, \\ \underline{Z}_{A1} &= \underline{Z}_{A1}; \quad \underline{Z}_{A2} = \underline{Z}_{A1} + \underline{Z}_{12}; \quad \underline{Z}_{A3} = \underline{Z}_{A1} + \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23},\end{aligned}\quad (6.25)$$

тогаш следува:

$$\begin{aligned}\underline{S}_{A1} &= \frac{\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{1B}^* + \underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{2B}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3B}^*}{\underline{Z}_{AB}^*} \quad \text{и} \\ \underline{S}_{B3} &= \frac{\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{A1}^* + \underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{A2}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{A3}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}.\end{aligned}\quad (6.26)$$

Во општ случај, кога прстенестата мрежа напојува  $n$  оптоварувања, би било:

$$\underline{S}_{A1} = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{iB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}; \quad \underline{S}_{Bn} = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_i \cdot \underline{Z}_{Ai}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}.\quad (6.27)$$

По определувањето на моќностите  $\underline{S}_{A1}$  и  $\underline{S}_{Bn}$  низ главните делници од прстенот, со помош на I Кирхофов закон за моќности, применет на јазлите од мрежата „1“, „2“, ...,  $n$ , се определуваат и моќностите во останатите делови од мрежата.

Определувањето на тековите на моќностите во водовите од јамкастата мрежа, според наведените формули, е [прва етапа](#) од пресметката. По неа следи [втора етапа](#), во која се пресметуваат [загубите на напон](#) и [загубите на моќности](#) во поедините делници од мрежата.

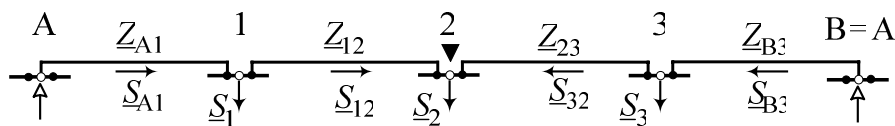
Ќе претпоставиме дека како резултат од првата етапа од пресметките е добиена распределба на тековите на моќности, како на сликата 6.9.а, при што кон точката „2“ моќноста доаѓа од двете страни на мрежата. Ваквата точка во мрежата се нарекува [точка на раздел](#) или [разделна точка](#), и на шемите обично се означува со зацрнет триаголник ▼.

Очигледно е дека ништо нема да се измени ако во шемата од сликата 6.9 а извршиме раздвојување на мрежата во разделната точка, како што е тоа прикажано на сликата 6.9 б. При ова раздвојување потрошувачот  $\underline{S}_2$  во разделната точка се дели на два фиктивни потрошувача:

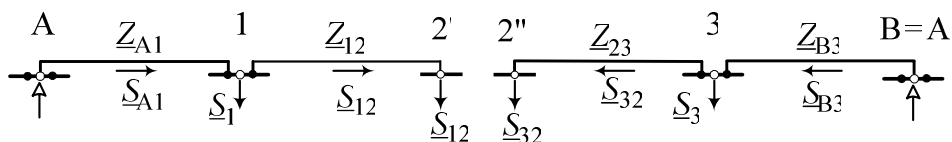
$$\begin{aligned}\underline{S}'_2 &= \underline{S}_{12} \quad \text{и} \\ \underline{S}''_2 &= \underline{S}_{32},\end{aligned}$$

при што важи (види сл. 6.9 б и сл. 6.10):

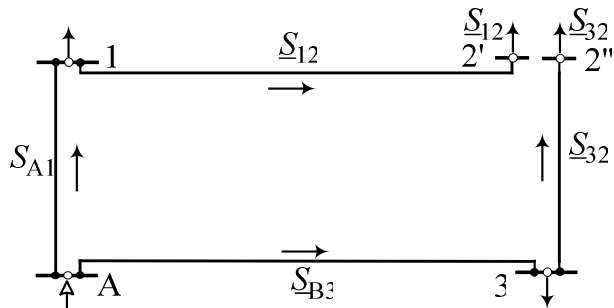
$$\underline{S}'_2 + \underline{S}''_2 = \underline{S}_{12} + \underline{S}_{32} = \underline{S}_2.$$



Слика 6.9 а



Слика 6.9 б

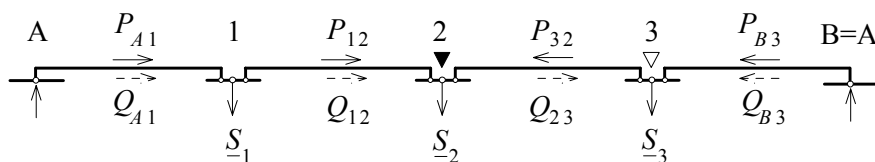


Слика 6.10. Сечење на мрежата во разделната точка

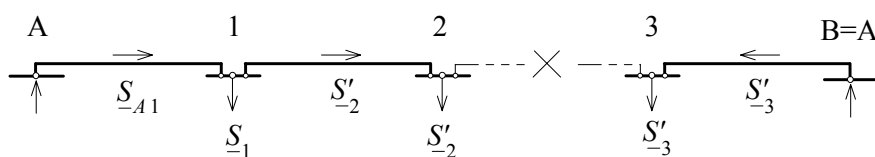
Значи, тековите на моќности низ водовите од мрежата прикажана на сликата 6.9 а, а исто така и напоните, се исти со моќностите и напоните во мрежата на сликата 6.9 б. Меѓутоа, шемата од сликата 6.9 б содржи два независни дела и секој од нив претставува радијална мрежа со познати оптоварувања и познат напон во напојната точка. Затоа натамошната пресметка може да се спроведува како и за радијалните мрежи.

Доколку се работи за ВН преносна прстенеста мрежа, најнапред ќе биде потребно да се определат поточните вредности на моќностите, уважувајќи ги и загубите на моќност во секој од деловите на мрежата, а потоа да се премине кон пресметување на напоните во мрежата. Кај дистрибутивните мрежи влијанието на загубите на моќноста обично не се зема предвид.

По изведувањето на првиот чекор од пресметките може да се случи во мрежата да се јават две разделни точки – едната за активна, а другата за реактивна моќност. Таков случај е прикажан на сликата 6.11 а, во која точката „2“ е разделна точка за активна моќност и е обележена со знакот  $\nabla$ , додека точката „3“ е разделна точка за реактивната моќност и на сликата е обележена со знакот  $\nabla$ .



Слика 6.11 а



Слика 6.11 б

И во овој случај, наместо да се разгледува двострано напојувана мрежа, како на сликата 6.11 а, може да се разгледуваат две радијални мрежи, како на сликата 6.11 б. Притоа, водот 2–3 е испуштен, но при определувањето на фиктивните оптоварувањата  $\underline{S}'_2$  и  $\underline{S}'_3$  треба да се земат во предвид и загубите на моќност во водот меѓу разделните точки „2” и „3”. Овие загуби (приближно) изнесуваат:

$$\Delta P_{23} = \frac{P_{32}^2 + Q_{23}^2}{U_n^2} \cdot R_{23}; \quad \Delta Q_{23} = \frac{P_{32}^2 + Q_{23}^2}{U_n^2} \cdot X_{23}, \quad (6.28)$$

така што, за моќностите на фиктивните потрошувачи  $\underline{S}'_2$  и  $\underline{S}'_3$  се добива:

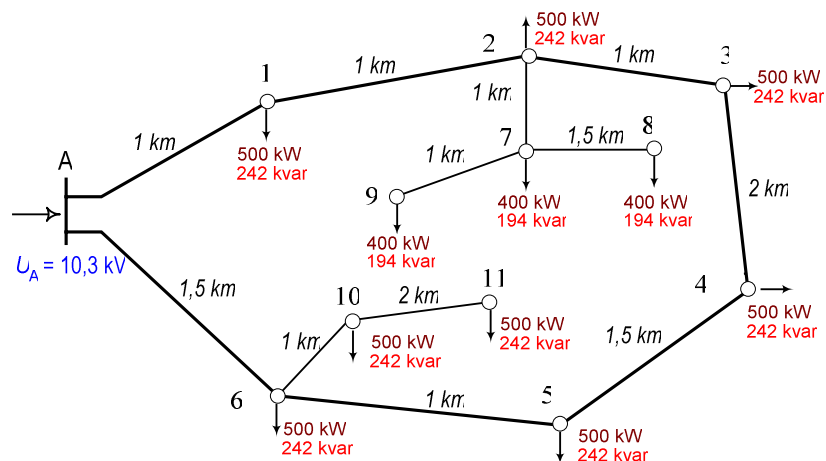
$$\begin{aligned} \underline{S}'_2 &= P'_2 + jQ'_2 = P_{12} + j(Q_{12} + \Delta Q_{23}); \\ \underline{S}'_3 &= P'_3 + jQ'_3 = (P_{B3} + \Delta P_{23}) + jQ_{B3} \end{aligned} \quad (6.29)$$

— ■ —

**Пример 6.1.** На сликата П.6.1 е прикажана прстенестата мрежа анализирана во примерот 5.4. Но овој пат мрежата работи како затворена, со вклучени сите делници од прстенот. Параметрите на елементите од мрежата како и моќностите на товарите се исти како и во примерот 5.4. Напонот во напојниот јазел „А“ повторно изнесува  $U_A = 10,3 \text{ kV}$ .

Да се пресмета приближната распределба на моќностите во мрежата со помош на релациите (6.27) и врз основа на тоа да се определи точката на раздел во мрежата. Потоа да се изврши отворање на мрежата во точката на раздел со што прстенестата мрежа ќе се распадне на две радијални мрежи напојувани од истата напојна точка А. Во така отворената мрежа да се пресметаат напоните во сите јазли од мрежата. Колкава е загубата на напон  $\Delta U$  во мрежата.

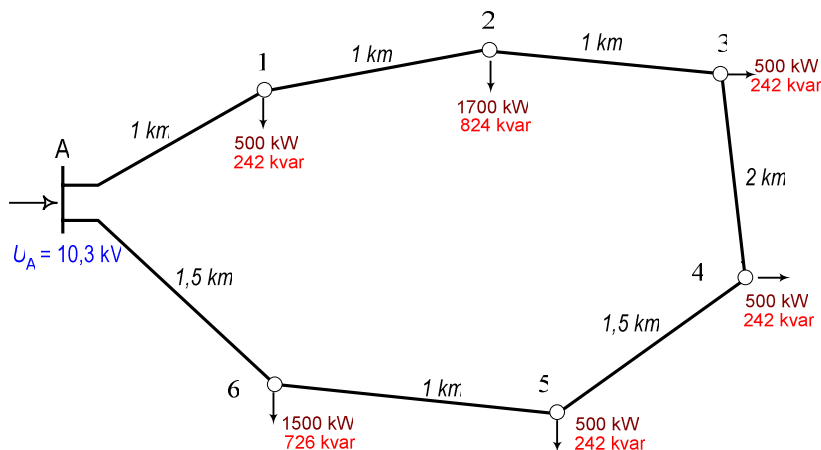
Добиените приближни резултати за моќностите и напоните да се споредат со нивните точни вредности, добиени со помош на компјутерска програма.



**Слика П.6.1.1. 10 kV кабелска мрежа кога работи како затворена (прстенеста)**

### Решение:

За да ја определиме приближната распределба на моќности во прстенот со помош на релациите (6.27) најнапред ќе извршиме „приведување“ на сите товари кон прстенот, како што е тоа направено на сликата П.6.1.2. На тој начин моќноста во јазлеот „2“ ќе биде:  $(500+j242) + 3 \times (400+j194) = (1700+j824)$  kVA додека во јазелот „6“ таа ќе изнесува  $3 \times (500+j242) = (1500+j726)$  kVA.



**Слика П.6.1.2. Анализитаната прстенеста мрежа со приведени товари кон прстенот**

Сега можеме со помош на приближниот израз (6.27) да ги определиме моќностите во главните делници „A-1“ и „A-6“. Така, на пример, за моќноста  $\underline{S}_{A-1}$  ќе имаме:

$$\underline{S}_{A-1} = \frac{\sum_{k=1} \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{k-B}^*}{\underline{Z}_{A-B}^*} = \frac{\sum_{k=1} \underline{S}_k \cdot l_{k-B}}{l_{A-B}}$$

$$\underline{S}_{A-1} = \underline{S}_1 = \frac{8 \cdot (500 + j242) + 7 \cdot (1700 + j824) + 6 \cdot (500 + j242) + 5 \cdot (500 + j242)}{9} +$$

$$+ \frac{4 \cdot (500 + j242) + 2,5 \cdot (500 + j242) + 1,5 \cdot (1500 + j726)}{9};$$

$$\underline{S}_{A-1} = (2656 + j1287) \text{ kVA.}$$

Во последните две релации место со конјугираните вредности на импеданциите на редните гранки од мрежата оперираваме со нивните должини зашто сите водови имаат исти пресеци и исти подолжни параметри.

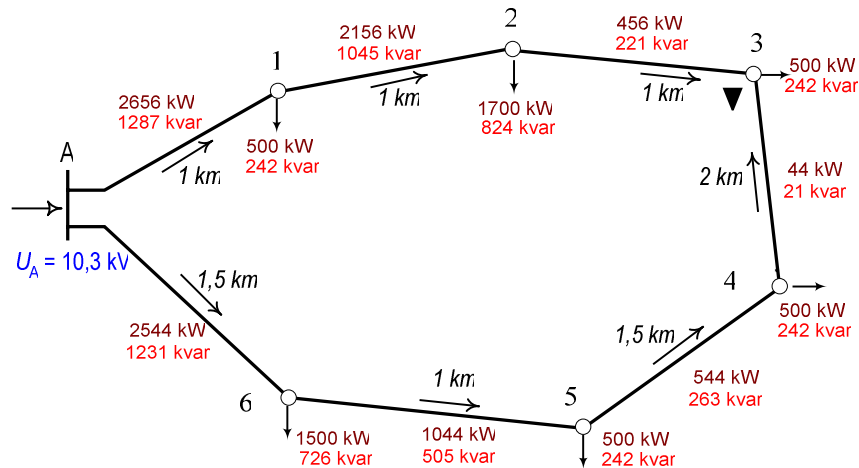
Сега со примена на I Кирхофов закон за моќности во јазлите бр. 1, 2, 3, 4 и 5 лесно ќе ги определиме моќностите во останатите делници од мрежата:

$$\underline{S}_{1-2} = \underline{S}_{A-1} - \underline{S}_1 = (2656 - j1287) - (500 + j242) = (2156 + j1045) \text{ kVA};$$

$$\underline{S}_{2-3} = \underline{S}_{1-2} - \underline{S}_2 = (2156 + j1045) - (1700 + j824) = (456 + j221) \text{ kVA}$$

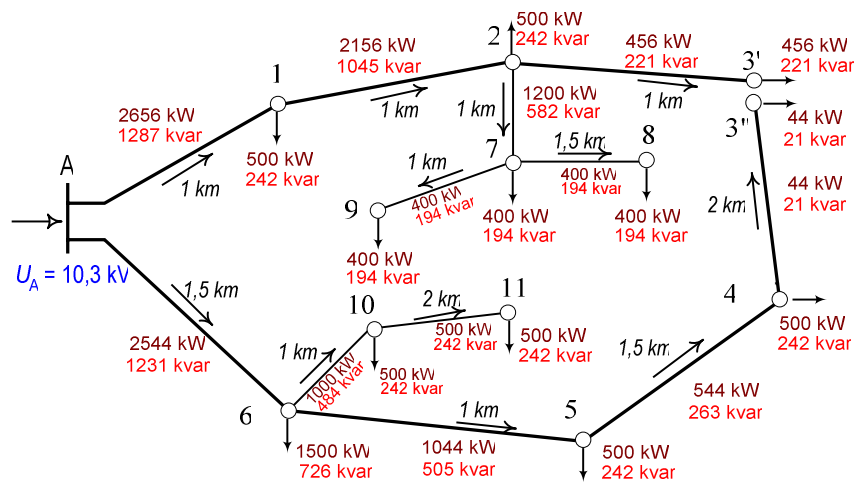
ИТН.

На тој начин ја добиваме следната распределба на моќности, прикажана на сликата



**Слика П.6.1.3. Приближна распределба на моќности во прстенестата мрежа**

Сега доаѓа втората фаза кога прстенот се отвора во точката на раздел (сл. П.6.1.4).



**Слика П.6.1.4. Приближна распределба на моќности во отворената прстенеста мрежа**

На тој начин прстенестата мрежа од сликата П.6.1.1 ја претворивме во отворена т.е. „радијална“. Сега ќе пристапиме кон определувањето на напоните во јазлите од отворената мрежа на ист начин како што тоа го правевме во примерот 5.4:

$$r = 0,208 \, \Omega/\text{km}; \quad x = 0,092 \, \Omega/\text{km};$$

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= \frac{P_{A-1} \cdot R_1 + Q_{A1} \cdot X_1}{U_A} = \frac{P_{A-1} \cdot r + Q_{A1} \cdot x}{U_A} \cdot l_1 = \\ &= \frac{2656 \cdot 0,208 + 1287 \cdot 0,092}{10,3} \cdot 1; \quad \Delta U_1 = 0,065 \, \text{kV}; \end{aligned}$$

$$U_1 = U_A - \Delta U_1 = 10,3 - 0,065 = 10,235 \, \text{kV}.$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_{1-2} \cdot r + Q_{1-2} \cdot x}{U_1} \cdot l_2 = \frac{2156 \cdot r + 1045 \cdot x}{10,235} \cdot 1 = 0,053 \text{ kV};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_2 = 10,235 - 0,053 = 10,182 \text{ kV, итн.}$$

Понатаму, за втората делница имаме:

$$\Delta U_2 = \frac{P_{\Sigma 2} \cdot R_2 + Q_{\Sigma 2} \cdot X_2}{U_1} = \frac{2200 \cdot 0,208 + 1066 \cdot 0,092}{10,234} \cdot 1 = 0,054 \text{ kV};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_2 = 10,234 - 0,054 = 10,180 \text{ kV, итн.}$$

Слично се пресметуваат и преостанатите напони во јазлите. Како резултат на пресметките ќе ги добиеме следните резултати (табела П.6.1.1):

**Табела П.6.1.1. Текови на моќности, загуби на напон и напони во мрежата**

р. број	Делница	$P_{\Sigma i}$ (kW)	$Q_{\Sigma i}$ (kvar)	$\Delta U_i$ (kV)	Напон $U_i$ на крајот (kV)
1	A – 1	2656	1287	0,065	10,235
2	1 – 2	2156	1045	0,053	10,182
3	2 – 3'	456	221	0,011	10,170
4	A – 6	2544	1231	0,094	10,206
5	6 – 5	1044	505	0,026	10,181
6	5 – 4	544	263	0,020	10,160
7	4 – 3''	44	21	0,002	10,158
8	2 – 7	1200	582	0,030	10,152
9	7 – 8	400	194	0,015	10,137
10	7 – 9	400	194	0,010	10,142
11	6 – 10	1000	484	0,025	10,182
12	10 – 11	500	242	0,025	10,157

Поради тоа што оваа постапка е приближна, за напонот во точката 3 добиевме две вредности:  $U_{3'} = 10,170 \text{ kV}$  и  $U_{3''} = 10,158 \text{ kV}$ . Ќе усвоиме  $U_3 = (U_{3'} + U_{3''})/2 = 10,164 \text{ kV}$ .

Точка со најнизок напон во мрежата е јазелот бр. 8. Напонот во тој јазел, според приближните пресметки, изнесува:  $U_8 = 10,137 \text{ kV}$ . Во тој случај загубата на напон во мрежата  $\Delta U$  ќе изнесува:

$$\Delta U = U_A - U_8 = 10,3 - 10,137 = 0,163 \text{ kV (1,63\%)}.$$

#### Пресметка на точните текови на моќности

Со помош на компјутерска програма базирана на методот на јазлови потенцијали, како решение на работата на мрежата како затворена се добиваат следните резултати, прикажани во табелата П.6.1.2. Според овие пресметки точната вредност на загубата на напон во мрежата  $\Delta U$  изнесува:

$$\Delta U = U_A - U_8 = 10,3 - 10,133 = 0,167 \text{ kV (1,67\%)}.$$

Загубите на активна моќност  $\Delta P_{\Sigma}$  во мрежата се добиваат со директно собирање на сите загуби во нејзините гранки, т.е:

$$\Delta P_{\Sigma} = 66 \text{ kW (1,26\%)}.$$

Видливо е и во овој случај големото совпаѓање на добиените резултати со приближната и со точната постапка.

**Табела П.6.1.2. Текови на моќности и напони во мрежата – точни вредности**

реден		Почеток		Крај		Напон $U_i$ на	$\Delta P_i$	$\Delta Q_i$
број	Делница	$P_{\Sigma i}$ (kW)	$Q_{\Sigma i}$ (kvar)	$P_{\Sigma i}$ (kW)	$Q_{\Sigma i}$ (kvar)	крајот (kV)	(kW)	(kvar)
1	A – 1	2.746	1.321	2.728	1.313	10,233	18.24	8.05
2	1 – 2	2.228	1.073	2.216	1.068	10,178	12.17	5.37
3	2 – 3	0.511	0.244	0.510	0.244	10,165	0.64	0.28
4	A – 6	2.520	1.210	2.497	1.199	10,207	23.01	10.16
5	6 – 5	0.993	0.478	0.991	0.477	10,183	2.43	1.07
6	5 – 4	0.491	0.237	0.490	0.236	10,165	0.89	0.39
7	4 – 3	-0.010	-0.004	-0.010	-0.004	10,165	0.00	0.00
8	2 – 7	1.205	0.584	1.201	0.582	10,148	3.60	1.59
9	7 – 8	0.401	0.194	0.400	0.194	10,133	0.60	0.27
10	7 – 9	0.400	0.194	0.400	0.194	10,138	0.40	0.18
11	6 – 10	1.004	0.482	1.001	0.481	10,183	2.48	1.09
12	10 - 11	0.501	0.241	0.500	0.240	10,158	1.24	0.55

□ □ □

### 6.3. МЕТОД НА РАЗДВОЈУВАЊЕ НА МРЕЖАТА

Решавањето на јамкастите и сложено-затворените мрежи, во општ случај, бара операции со комплексни броеви, при што резултатите се добиваат со висока точност. Но во праксата често се среќаваат задачи во кои се бара определување на **приближната распределба** на моќностите во мрежата (на пример при **димензионирање** на мрежата, при **проверка** на термичките оптоварувања на нејзините елементи како и при проверка на напонските прилики) кое треба да се врши повеќекратно, за разни вклопни состојби во мрежата и за разни режими на работа, при што не се бара висока точност на добиените резултати. Во таквите случаи од интерес е решението (макар и приближно) да го добиеме со што е можно помалку пресметковни операции и за што е можно пократко пресметковно време.

Секое упростување на пресметковната постапка, во принцип, доведува до скратување на обемот на пресметките, но и до намалување на точноста на резултатите. Ако упростувањата се значителни, а притоа се добиваат резултати со прифатлива точност, тогаш постапката има соодветно практично значење. Една од таквите постапки е и постапката условно наречена **раздвојување на мрежата**.

Нека е потребно да се пресмета распределбата на моќностите во јамкастата мрежа, од една или повеќе пасивни контури, т.е. контури кои не содржат внатрешни е.м. сили или пак трансформатори со различни коефициенти на трансформација и нека од неа се напојуваат неколку потрошувачи. Ако притоа контурата се состои од  $m$  гранки низ кои што течат струите  $I_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), врз основа на II Кирхофов закон можеме да пишуваме:

$$\sum_{i=1}^m \underline{Z}_i \cdot I_i = 0. \quad (6.30)$$

Под претпоставката дека напоните во сите јазли од мрежата се приближно еднакви на номиналниот напон, множејќи ги обете страни од равенката (6.30) со  $\sqrt{3} \cdot U_n$ , добиваме:

$$0 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \sum_{i=1}^m \underline{Z}_i \cdot I_i = \sum_{i=1}^m (P_i - jQ_i) \cdot (R_i + jX_i). \quad (6.31)$$

Понатаму имаме:

$$(0 + j0) = \sum_{i=1}^m (P_i \cdot R_i + Q_i \cdot X_i) - j \sum_{i=1}^m (P_i \cdot X_i - Q_i \cdot R_i), \quad (6.32)$$

следува:

$$\sum_{i=1}^m (P_i \cdot R_i + Q_i \cdot X_i) = 0 \quad \text{и} \quad (6.33 \text{ а})$$

$$\sum_{i=1}^m (P_i \cdot X_i - Q_i \cdot R_i) = 0. \quad (6.33 \text{ б})$$

Релациите (6.33 а) и (6.33 б) важат секогаш кога во контурите од мрежата воопшто нема трансформатори, што е многу чест случај, или пак доколку сите трансформатори во контурата имаат исти преносни односи. Претходните две равенки заедно со соодветните равенки, напишани според I Кирхофов закон, овозможуваат да се определат моќностите во сите  $m$  гранки на разгледуваната мрежа.

Од равенките (6.33 а и 6.33 б) се гледа дека распределбата на активните и реактивните моќности зависи како од активните така и од реактивните отпорности на елементите од мрежата.

Равенката (6.33 а) можеме да ја напишеме во облик:

$$0 = \frac{R_1}{X_1} \cdot P_1 \cdot X_1 + \frac{R_2}{X_2} \cdot P_2 \cdot X_2 + \dots + \frac{R_n}{X_n} \cdot P_n \cdot X_n + \frac{X_1}{R_1} \cdot Q_1 \cdot R_1 + \frac{X_2}{R_2} \cdot Q_2 \cdot R_2 + \dots + \frac{X_n}{R_n} \cdot Q_n \cdot R_n. \quad (6.34)$$

Во посебен случај, кога важи условот:

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{X_2}{R_2} = \frac{X_3}{R_3} = \dots = \frac{X_n}{R_n} = \xi = \text{const.}, \quad (6.35)$$

мрежата се нарекува *хомогена*. Тогаш равенката (6.34) го добива обликот:



$$\frac{1}{\xi} \cdot \sum_{i=1}^m P_i \cdot X_i + \xi \cdot \sum_{i=1}^m Q_i \cdot R_i = 0 . \quad (6.36)$$

Равенката (6.33 б) може да се напише на следниот начин:

$$\sum_{i=1}^m Q_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^m P_i \cdot X_i . \quad (6.37)$$

Со решавање на равенките (6.36) и (6.37) добиваме:

$$\sum_{i=1}^m P_i \cdot X_i = 0 \text{ и} \quad (6.38 \text{ а})$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i \cdot R_i = 0 . \quad (6.38 \text{ б})$$

Равенката (6.38 а) служи за определување на распределбата на активните моќности, додека равенката (6.38 б) служи за определување на распределбата на реактивните моќности низ гранките од мрежата.

Последните две равенки се независни една од друга и кажуваат дека кај хомогените мрежи распределбата на активните моќности зависи само од реактивните отпорности, а распределбата на реактивните моќности зависи само од активните отпорности на редните гранки од мрежата. Овој заклучок овозможува пресметката на приближната распределба на моќности да се упрости преку нејзиното спроведување на две заменски шеми. Првата од нив ќе биде составена само од реактанциите на мрежата и ќе служи за определување на распределбата на активните моќности. Втората шема ќе биде составена само од резистанциите на елементите од мрежата и врз основа на неа ќе се определува распределбата на реактивните моќности. На тој начин, појдовната заменска шема се раздвојува на две шеми, што дало повод оваа постапка да се нарече метод на раздвојување на мрежата.

Посебна погодност на овој метод е во тоа што со воведувањето на две шеми и со раздвојувањето на тековите на активните и реактивните моќности е избегнато оперирањето со комплексни броеви, па работејќи само со реални броеви, пресметката значително се олеснува и забрзува.

Тргувајќи од равенката (6.33 б), на сосема аналоген начин, за хомогена мрежа се добиваат и следните релации:

$$\sum_{i=1}^m P_i \cdot R_i = 0 , \quad (6.28 \text{ а})$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i \cdot X_i = 0 . \quad (6.28 \text{ б})$$

Тоа значи дека распределбата на активните моќности кај хомогените мрежи може да се определи и со помош на заменската шема која содржи само активни отпорности, а распределбата на реактивните моќности може да се определи со користење на заменската шема, составена само од реактивните отпорности. Овој пристап е, во поглед на добиените резултати, сосема рамноправен со претходниот.

Ако мрежата **не е напълно хомогена**, т.е. ако во неа постојат и елементи со поинаков однос  $X/R$ , тоа ќе услови и определена **грешка** во резултатите од пресметките добиени со помош на методот на раздвојување. При поголема нехомогеност и грешката ќе биде поголема. Сепак, истражувањата покажале дека за вообичаените мрежи со номинален напон до 110 kV грешката обично не е голема. Притоа, претходните два пристапа не се подеднакво успешни.

**Подобро приближување** до вистинската распределба на моќностите се добива ако при пресметката со методот на раздвојување распределбата на **активните моќности** се определува преку заменската шема на мрежата составена од **реактанциите**, додека распределбата на **реактивните моќности** се определува преку заменската шема на мрежата, составена само од **резистанциите** на елементите од мрежата.

Методот на раздвојување обично се користи за определување на приближната распределба на моќностите во мрежи што треба да се појават во перспектива, во фазата на нивното проектирање. Грешките што притоа се добиваат за тековите на моќности се од редот на големина 5 – 10%, што може да се смета за прифатливо бидејќи со толкава (па и помала) точност се познаваат идните товари во мрежите.

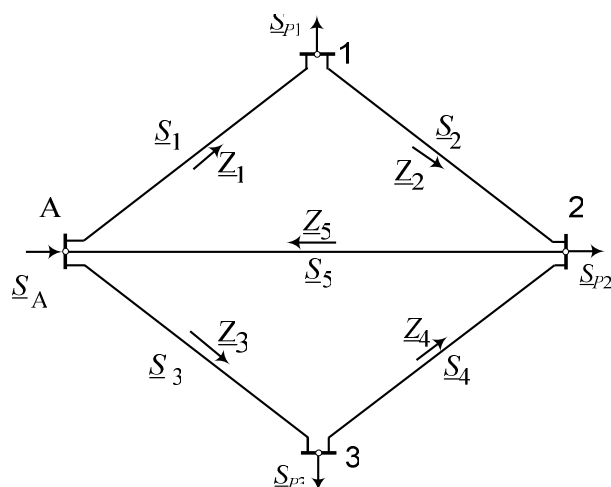
## 6.4. ПРИМЕРИ

**Пример 6.2.** 110 kV мрежа сложено-затворена е прикажана на сликата П.6.2.1. Познати се моќностите на потрошувачите во собирниците 1, 2 и 3, зададени во MVA, како и редните импеданции на поедините водови, изразени во  $\Omega$ . Да се одреди распределбата на моќности во мрежата.

Бројни вредности:  $Z_1 = (10 + j20) \Omega$ ;  $Z_2 = (5 + j10) \Omega$ ;

$Z_3 = (10 + j20) \Omega$ ;  $Z_4 = (6 + j12) \Omega$ ;  $Z_5 = (20 + j40) \Omega$ ;

$S_{P1} = (10 + j5) \text{ MVA}$ ;  $S_{P2} = (30 + j20) \text{ MVA}$ ;  $S_{P3} = (10 + j5) \text{ MVA}$ .

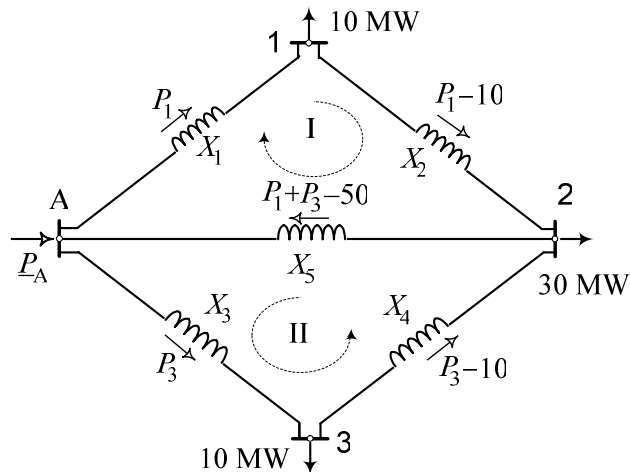


Слика П.6.2.1 110 kV мрежа со две независни контури

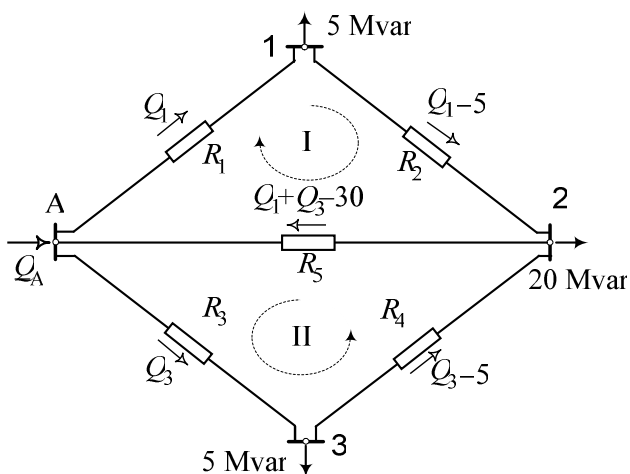
**Решение**

Бидејќи мрежата е хомогена (водовите имаат иста подолжна импеданција), можеме да го примениме методот на раздвојување. Значи, ќе формираме две шеми (слика П.6.2.2).

Шемата од сликата П.6.2.а, составена само од реактанциите на елементите, ќе ни служи за определување на распределбата на активните моќности, додека шемата од сликата П.6.2.б, составена само од активните отпорности (резистанциите), ќе ни послужи за определување на тековите на реактивните моќности.



**а) шема на реактанции и активни моќности**



**б) шема на резистанции и реактивни моќности**

**Слика П.6.2.2. Раздвојување на хомогената мрежа**

Со примена на Кирхофовите закони, за мрежата од шема а) ги пишуваме равенките :

$$P_1 \cdot X_1 + (P_1 - 10) \cdot X_2 + (P_1 + P_3 - 50) \cdot X_5 = 0 ;$$

$$P_3 \cdot X_3 + (P_3 - 10) \cdot X_4 + (P_1 + P_3 - 50) \cdot X_5 = 0 ;$$

или во среден облик:

$$70 \cdot P_1 + 40 \cdot P_3 = 2100 ;$$

$$40 \cdot P_1 + 72 \cdot P_3 = 2120 .$$

Решението на овој систем равенки ќе биде:

$$P_1 = 19,3 \text{ MW} \text{ и } P_3 = 18,7 \text{ MW}.$$

На сличен начин, за шемата б) ги пишуваме равенките:

$$Q_1 \cdot R_1 + (Q_1 - 5) \cdot R_2 + (Q_1 + Q_3 - 30) \cdot R_5 = 0;$$

$$Q_3 \cdot R_3 + (Q_3 - 5) \cdot R_4 + (Q_1 + Q_3 - 30) \cdot R_5 = 0;$$

или:

$$35 \cdot Q_1 + 20 \cdot Q_3 = 625;$$

$$20 \cdot Q_1 + 36 \cdot Q_3 = 630;$$

од каде што се добива:

$$Q_1 = 11,5 \text{ Mvar} \text{ и } Q_3 = 11,2 \text{ Mvar}.$$

Значи, ги добиваме моќностите низ водовите А-1 и А-3:

$$\underline{S}_1 \equiv \underline{S}_{A-1} = (P_1 + jQ_1) = (19,3 + j11,5) \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_3 \equiv \underline{S}_{A-3} = (P_3 + jQ_3) = (18,7 + j11,2) \text{ MVA}$$

Моќностите низ останатите водови се определуваат со примена на I Кирхофов закон за моќности.

$$\underline{S}_2 \equiv \underline{S}_{1-2} = \underline{S}_1 - \underline{S}_{P1} = (19,3 + j11,5) - (10 + j5) = (9,3 + j6,5) \text{ MVA},$$

$$\underline{S}_4 \equiv \underline{S}_{3-2} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{P3} = (18,7 + j11,2) - (10 + j5) = (8,7 + j6,2) \text{ MVA}.$$

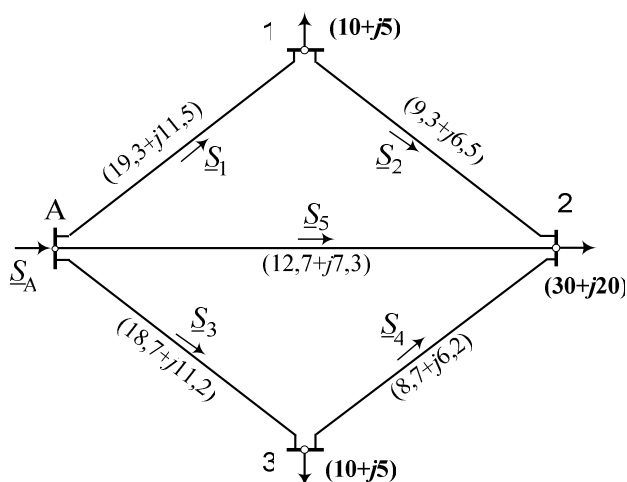
$$\underline{S}_5 \equiv \underline{S}_{2-A} = \underline{S}_1 + \underline{S}_3 - \Sigma \underline{S}_P$$

$$\underline{S}_5 = (38 + j22,7) - (50 + j30) = (-12 - j7,3) \text{ MVA},$$

т.е.

$$\underline{S}_{A-2} = -\underline{S}_5 = (12 + j7,3) \text{ MVA}.$$

Распределбата на комплексните моќности во зададената мрежа е прикажана на сл. П.6.2.3.



**Слика П.6.2.3. Интегрална распределба на моќности во мрежата**

□ □ □

T1: 1 x 150 MVA (220±12x1,25%)/115 kV/kV  $u_k^0\%$  = 10,9%  
T2: 3x150 MVA (220±12x1,25%)/115 kV/kV  $u_k^0\%$  = 15,4%.



<i>реден број</i>	<i>Име на јазелот</i>	<i>Ознака во шештата</i>	$P_P$ MW	$Q_P$ Mvar
1	Вруток 110	A	/	/
2	Гостивар	1	10	4
3	Тетово	2	20	7
4	Југохром	3	60	30
5	Скопје 1 110	4	120	60
6	Скопје 1 220	5	/	/
7	Вруток 220	6	/	0

**Табела П.6.3.2. Податоци за параметрите на елементите**

реден број	Е л е м е н т	Должина km	R Ω	X Ω	B μS
1	Вод А – 1	8,2	1,01	3,28	22,6
2	Вод 1 – 2	26,1	3,21	10,44	71,84
3	Вод 2 – 3	16,8	2,07	6,72	46,2
4	Вод 3 – 4	34,5	4,24	13,80	67,4
5	Трансформатор Т1	–	–	9,61	–
6	Трансформатор Т2	–	–	4,53	–
7	Вод 5 -6	65,5	1,43	7,52	628

**Решение:**

Бидејќи се работи за високонапонска мрежа, ќе мора да ги уважуваме капацитивностите на водовите и произведуваните реактивни моќности од нив. Затоа, пред да започнеме со пресметките, ќе ги пресметаме (процениме) генерираните моќности  $Q_{ci}$  ( $i = 1, 6$ ) што се инјектираат во поедините јазли од мрежата поради присуството на капацитивноста на водовите. Потоа, инјектираните моќности  $Q_{ci}$  ќе ги “внесеме” во потрошувачите и на тој начин ќе добиеме мрежа без попречни гранки и нови, фиктивни потрошувачи, со намалени реактивни моќности.

$$Q_{C1} = b \cdot U_n^2 \cdot (l_{A-1} + l_{1-2}) / 2 = 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot (8,2 + 26,1) / 2 = 0,57 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{P1} - jQ_{c1} = (10 + j3,43) \text{ MVA},$$

$$Q_{C2} = b \cdot U_n^2 \cdot (l_{1-2} + l_{2-3}) / 2 = 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot (26,1 + 16,8) / 2 = 0,71 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_2 = \underline{S}_{P2} - jQ_{c2} = (20 + j6,29) \text{ MVA},$$

$$Q_{C3} = b \cdot U_n^2 \cdot \frac{l_{2-3} + l_{3-4}}{2} = 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot \frac{16,8 + 34,5}{2} = 0,85 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_3 = \underline{S}_{P3} - jQ_{c3} = (60 + j29,14) \text{ MVA},$$

$$Q_{C4} = b \cdot U_n^2 \cdot l_{3-4} / 2 = 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot 34,5 / 2 = 0,57 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_4 = \underline{S}_{P4} - \underline{S}_{G4} - jQ_{c4} = (30 + j9,43) \text{ MVA},$$

$$Q_{C5} = b_{220} \cdot U_n^2 \cdot \frac{l_{5-6}}{2} = 2,62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{220^2}{115^2} \cdot 110^2 \cdot \frac{65,5}{2} = 3,8 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_5 = \underline{S}_{P5} - jQ_{c5} = -j3,80 \text{ MVA},$$

$$Q_{C6} = b_{220} \cdot U_n^2 \cdot \frac{l_{5-6}}{2} = 2,62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{220^2}{115^2} \cdot 110^2 \cdot \frac{65,5}{2} = 3,8 \text{ Mvar};$$

$$\underline{S}_6 = \underline{S}_{P6} - jQ_{c6} = -j3,80 \text{ MVA},$$

$$Q_{C\Sigma} = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4} + Q_{C5} + Q_{C6} = 10,46 \text{ Mvar}.$$

Приближните вредности на моќностите  $\underline{S}_{A1}$  и  $\underline{S}_{A-6}$  низ гранките „А - 1” и „А - 6” ќе ги добиеме со помош на изразите (6.10):

$$\underline{S}_{A-1} = \frac{\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{1-B}^* + \underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{2-B}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3-B}^* + \underline{S}_4 \cdot \underline{Z}_{4-B}^*}{\underline{Z}_{A-B}^*} ;$$

$$\underline{S}_{A-6} = \frac{\underline{S}_1 \cdot \underline{Z}_{1-A}^* + \underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{2-A}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3-A}^* + \underline{S}_4 \cdot \underline{Z}_{4-A}^*}{\underline{Z}_{A-B}^*} ,$$

каде што е:

$$\underline{Z}_{V1} = (1,01 + j3,28) \Omega; \quad \underline{Z}_{V2} = (3,21 + j10,44) \Omega;$$

$$\underline{Z}_{V3} = (2,07 + j6,72) \Omega; \quad \underline{Z}_{V4} = (4,24 + j13,80) \Omega;$$

$$\underline{Z}_{V5}^{CB} = (1,43 + j7,52) \Omega.$$

$$\underline{Z}_{T1} = j9,61 \Omega; \quad \underline{Z}_{T2} = j4,53 \Omega.$$

$$\underline{Z}_{A-B} = \underline{Z}_{VA-1} + \underline{Z}_{V1-2} + \underline{Z}_{V2-3} + \underline{Z}_{V3-4} + \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2}.$$

$$\underline{Z}_{A-B} = (11,96 + j55,90) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{1-B} = \underline{Z}_{V1-2} + \underline{Z}_{V2-3} + \underline{Z}_{V3-4} + \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2}$$

$$\underline{Z}_{1-B} = (10,95 + j52,62) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{2-B} = \underline{Z}_{V2-3} + \underline{Z}_{V3-4} + \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2} = (7,74 + j42,18) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{3-B} = \underline{Z}_{V3-4} + \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2} = (5,67 + j35,46) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{4-B} = \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2} = (1,43 + j21,66) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{5-B} = \underline{Z}_{V5-6} + \underline{Z}_{T2} = (1,43 + j17,13) \Omega ,$$

$$\underline{Z}_{6-B} = \underline{Z}_{T2} = (0,00 + j9,61) \Omega .$$

Импеданциите  $\underline{Z}_{i-A}$  потребни за пресметување на моќноста  $\underline{S}_{A-6}$  ќе ги добиеме со помош на следната релација:

$$\underline{Z}_{i-A} + \underline{Z}_{i-B} = \underline{Z}_{A-B} ; \quad i = 1, 6 ,$$

од каде што следи:

$$\underline{Z}_{i-A} = \underline{Z}_{A-B} - \underline{Z}_{i-B} ; \quad i = 1, 6 .$$

На тој начин, како резултат од пресметките се добива следниот резултат:

$$\underline{S}_{A-1} = (74,65 + j23,91) \text{ MVA} \text{ и } \underline{S}_{A-6} = (45,35 + j17,38) \text{ MVA} .$$

Моќностите низ останатите гранки од мрежата ќе ги добиеме со примена на I Кирхофов закон за секој од јазлите 1, 2, 3, 4 и 5:

$$\underline{S}_{1-2} = \underline{S}_{A-1} - \underline{S}_1 = (74,65 + j23,91) - (10,0 + j3,43) ;$$

$$\underline{S}_{1-2} = (64,65 + j20,48) \text{ MVA} ,$$

$$\underline{S}_{2-3} = \underline{S}_{1-2} - \underline{S}_2 = (64,65 + j20,48) - (20,0 + j6,29) ;$$

$$\underline{S}_{2-3} = (44,65 + j14,19) \text{ MVA} ,$$

$$\underline{S}_{4-3} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{2-3} = (60,0 + j29,14) - (44,65 + j14,19);$$

$$\underline{S}_{4-3} = (15,35 + j14,95) \text{ MVA} ,$$

$$\underline{S}_{5-4} = \underline{S}_{4-3} + \underline{S}_4 = (15,35 + j14,95) + (30,0 + j9,43);$$

$$\underline{S}_{5-4} = (45,35 + j24,38) \text{ MVA} ,$$

$$\underline{S}_{6-5} = \underline{S}_{5-4} + \underline{S}_5 = (45,35 + j24,38) + (0 - j3,80);$$

$$\underline{S}_{6-5} = (45,35 + j20,58) \text{ MVA} .$$

Примената на I Кирхофов закон за јазелот бр. 6 ќе ни послужи како проверка за точноста на пресметките:

$$\underline{S}_{4-6} = \underline{S}_{6-5} + \underline{S}_6 = (45,35 + j20,58) + (0 - j3,80);$$

$$\underline{S}_{4-6} = (45,35 + j16,78) \text{ MVA},$$

а тоа е ист резултат со резултатот за моќноста  $\underline{S}_{4-6}$ , добиен претходно.

Од добиената распределба на моќностите (која претставува [прва апроксимација](#)) се гледа дека точка на раздел во мрежата ќе биде јазелот „3” (Југохром). Сега следува втората фаза на пресметките во која најнапред ќе се пресметаат (приближно) вредностите на напоните во поедините јазли, а [потоа](#) ќе се изврши [уточнување](#) на тековите на моќностите.

За напонот во точката 1 (Гостивар) ќе добиеме (приближно):

$$U_1 \cong U_A - (P_{A-1} \cdot R_1 + Q_{A-1} \cdot X_1) / U_A$$

$$U_1 = 115 - (74,65 \cdot 1,01 + 23,91 \cdot 3,28) / 115 = 113,66 \text{ kV}.$$

Понатаму имаме:

$$U_2 \cong U_1 - (P_{1-2} \cdot R_2 + Q_{1-2} \cdot X_2) / U_1$$

$$U_2 = 113,66 - (64,65 \cdot 3,21 + 20,48 \cdot 10,44) / 113,66 = 109,96 \text{ kV};$$

$$U_3 \cong U_2 - (P_{2-3} \cdot R_3 + Q_{2-3} \cdot X_3) / U_2$$

$$U_3 = 109,96 - (44,66 \cdot 2,07 + 14,19 \cdot 6,72) / 109,96 = 108,25 \text{ kV};$$

$$U_4 \cong U_3 + (P_{4-3} \cdot R_4 + Q_{4-3} \cdot X_4) / U_3 =$$

$$U_4 = 108,25 + (15,36 \cdot 4,24 + 14,95 \cdot 13,80) / 108,25 = 110,76 \text{ kV};$$

$$U_5 \cong U_4 + (P_{5-4} \cdot R_5 + Q_{5-4} \cdot X_5) / U_4 =$$

$$U_5 = 110,76 + (45,36 \cdot 0 + 24,38 \cdot 4,53) / 110,76 = 111,75 \text{ kV},$$

$$U_{5sv} = k_{T2} \cdot U_5 = 213,79 \text{ kV};$$

$$U_6 \cong U_5 + (P_{6-5} \cdot R_6 + Q_{6-5} \cdot X_6) / U_5$$

$$U_6 = 111,75 + (45,36 \cdot 1,43 + 20,58 \cdot 7,52) / 111,75 = 113,72 \text{ kV};$$

$$U_{6sv} = k_{T1} \cdot U_6 = 217,55 \text{ kV}.$$

Сега прстенот ќе го отвориме во точката на раздел “3”, (Гостивар).

Потоа, тргнувајќи од точката „3”, со „познатиот” напон  $U_3 = 108,25 \text{ kV}$  и со познатата моќност  $\underline{S}_{2-3}'' = (44,65 + j14,19) \text{ MVA}$  на крајот од водот  $V_{2-3}$ , со помош на изразите (4.18) и (4.19) ќе ги пресметаме загубите на активна и реактивна моќност во водот  $V_{2-3}$ , и ќе ја добиеме моќноста на почетокот од водот  $\underline{S}_{2-3}'$ :

$$\Delta P_{2-3} = \frac{(P_{2-3}')^2 + (Q_{2-3}')^2}{U_3^2} \cdot R_{2-3} = \frac{44,65^2 + 14,19^2}{108,25} \cdot 2,07 = 0,39 \text{ MW},$$

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{(P_{2-3}')^2 + (Q_{2-3}')^2}{U_3^2} \cdot X_{2-3} - \frac{b}{2} \cdot I_{2-3} \cdot U_3^2$$



$$\Delta Q_{2-3} = \frac{44,65^2 + 14,19^2}{108,25} \cdot 6,72 - \frac{2,75}{2} \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \cdot 108,25^2 = 15,17 \text{ Mvar.}$$

$$\underline{S}_{2-3}' = \underline{S}_{2-3}'' + \Delta P_{2-3} + j\Delta Q_{2-3} = (45,04 + j15,17) \text{ MVA.}$$

Сега, применувајќи го I Кирхофов закон за јазелот “2”, ќе ја определиме моќноста  $\underline{S}_{1-2}''$  на крајот од водот  $V_{2-3}$ :

$$\underline{S}_{1-2}'' = \underline{S}_{2-3} + \underline{S}_2 = (45,04 + j15,17) + (20 + j7) = (65,04 + j22,17) \text{ MVA.}$$

За да ја пресметаме моќноста  $\underline{S}_{1-2}'$  на почетокот од водот  $V_{1-2}$ , ќе биде потребно најнапред да ја пресметаме моќноста  $\underline{S}_{1-2}$  низ редната гранка на овој вод:

$$\underline{S}_{1-2} = \underline{S}_{1-2}'' - j \frac{b}{2} \cdot l_{1-2} \cdot U_2^2$$

$$\underline{S}_{1-2} = (65,04 + j22,17) - j0,43 = (65,04 + j21,74) \text{ MVA.}$$

Загубите на моќност  $\underline{\Delta S}_{1-2}$  во водот  $V_{1-2}$  ќе бидат:

$$\underline{\Delta S}_{1-2} = \frac{P_{1-2}^2 + Q_{1-2}^2}{U_2^2} \cdot (R_2 + jX_2) - j \cdot b \cdot \frac{l_{1-2}}{2} \cdot (U_1^2 + U_2^2),$$

$$\begin{aligned} \underline{\Delta S}_{1-2} &= \frac{65,04^2 + 21,74^2}{109,96^2} \cdot (3,21 + j10,44) - \\ &- j2,75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{26,1}{2} \cdot (109,96^2 + 113,66^2); \end{aligned}$$

$$\underline{\Delta S}_{1-2} = (1,25 + j3,17) \text{ MVA.}$$

И конечно, моќноста  $\underline{S}_{1-2}'$  на почетокот од водот  $V_{1-2}$  ќе изнесува:

$$\underline{S}_{1-2}' = \underline{S}_{1-2} + \underline{\Delta S}_{1-2} = (65,04 + j22,17) + (1,25 + j3,17)$$

$$\underline{S}_{1-2}' = (66,29 + j25,34) \text{ MVA.}$$

Понатаму следи постапката за пресметување на моќноста низ водот  $V_{A-1}$ , а потоа и моќноста низ преостанатите водови од мрежата. Таа е идентична како во разгледуваниот случај со водот  $V_{1-2}$ .

Конечниот резултат од пресметките на тековите на уточнетите моќности во сите гранки од мрежата е прикажан во табелата П.6.3.3. Во истата табела се прикажани и егзактните вредности на моќностите и напоните од разгледуваниот систем, добиени со помош на компјутер, со една итеративна постапка која дава точни резултати. Од табелата се гледа дека совпаѓањата на вредностите за моќностите и напоните се сосема задоволителни од каде што може да се заклучи дека приближната постапка за решавање на прстенестите мрежи, изложена во главата 5 во реалните мрежи дава резултати со сосема задоволителна точност.

**Табела П.6.3.3. Резултати од пресметките на напоните и тековите на моќности (заокружени на една децмала) приближни и точни**

ред. бр.	Моќност (MVA)	Приближни резултати			Точни резултати		
		Почеток	Крај	$U$ (kV)	Почеток	Крај	$U$ (kV)
1	$\underline{S}_{A-1}$	76,8+j30,7	76,3+j29,3	113,7	78,1+j31,9	77,6+j30,3	114,1
2	$\underline{S}_{1-2}$	66,3+j25,3	65,0+j22,2	110,0	67,7+j26,3	66,3+j22,9	109,1
3	$\underline{S}_{2-3}$	45,0+j15,2	44,7+j14,2	108,3	46,3+j15,9	45,8+j15,1	107,3
4	$\underline{S}_{4-3}$	15,5+j15,8	15,4+j15,8	110,8	14,3+j14,3	14,2+j14,9	109,7
5	$\underline{S}_{5-4}$	45,5+j26,8	45,5+j25,8	111,8	44,3+j25,3	44,3+j24,3	110,8
6	$\underline{S}_{6-5}$	45,8+j20,4	45,5+j26,8	113,7	44,6+j19,7	44,3+j25,3	113,1
7	$\underline{S}_{4-6}$	45,8+j22,3	45,8+j20,4	/	44,6+j21,7	44,6+j19,7	/
A	$\underline{S}_A$	122,6+j53,0	/	115,0	122,7+j53,6	/	115,0

□ □ □

**Пример 6.4.** Се посматра мрежата од примерот 6.3. Со помош на методот на раздвојување на моќности да се определи распределбата на моќности и напонските прилики во системот. Обата трансформатора работат со номинален преносен однос  $k_{T1} = k_{T2} = k_{Tn} = 220/115 \text{ kV/kV}$ .

### Решение:

Според овој метод, во хомогените или приближно хомогените мрежи, тековите на активните и реактивните моќности можат да се решаваат одделно. Притоа, тековите на активни моќности во контурата ќе ги добиеме со решавање на мрежата составена од реактанциите на елементите, во која постојат само активните оптоварувања. Слично, тековите на реактивните моќности во мрежата ќе ги добиеме на тој начин што ќе ја решаваме мрежата составена само од активните отпорности, кога во неа постојат само реактивните оптоварувања на потрошувачите. Значи, решавањето на оваа задача ќе се состои во одделно решавање на шемите прикажани на сликите П.6.4.1 и П.6.4.2.

Во шемата на слика П.6.4.1 за непозната величина (моќност) ќе ја прогласиме моќноста  $P_{A-1}$  низ гранката “A-1”. Моќностите низ останатите гранки од мрежата можеме да ги изразиме преку непознатата моќност  $P_{A-1}$ , применувајќи го I Кирхофов закон за секој јазел одделно. Потоа, врз основа на релацијата (6.38 а) ( $\sum P_i \cdot X_i = 0$ ), која е директна последица од примената на II Кирхофов закон за контурата, ќе ја добиеме следната (приближна) равенка:

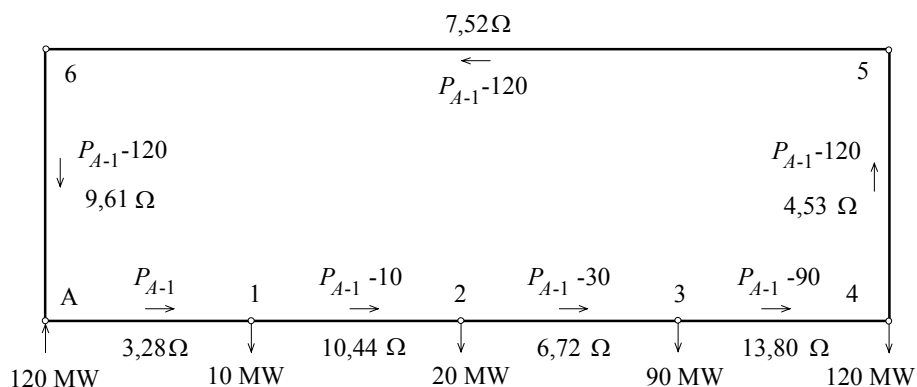
$$P_{A-1} \cdot X_1 + (P_{A-1} - P_1) \cdot X_2 + (P_{A-1} - P_1 - P_2) \cdot X_3 + (P_1 + P_2 + P_3 - P_{A-1}) \cdot X_4 + (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_{A-1}) \cdot (X_5 + X_6 + X_7) = 0,$$

во која единствена непозната е моќноста  $P_{A-1}$ . Со нејзиното решавање добиваме:

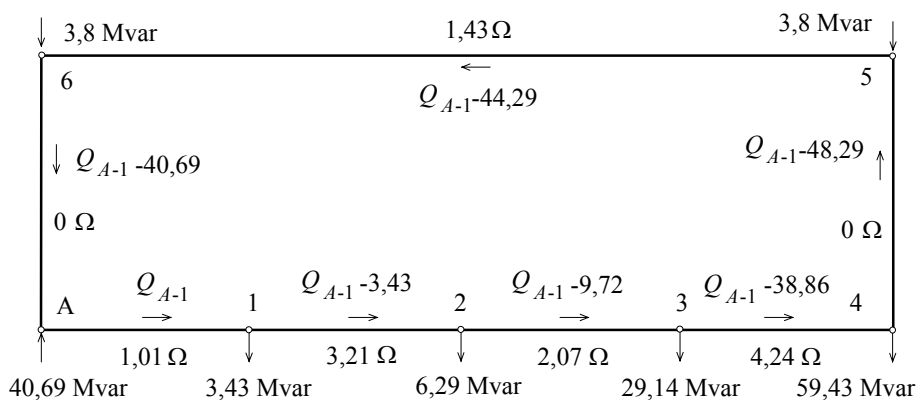
$$\begin{aligned}
& P_{A-1} \cdot 3,28 + (P_{A-1} - 10) \cdot 10,44 + (P_{A-1} - 30) \cdot 6,72 + \\
& + (P_{A-1} - 90) \cdot 13,8 + (P_{A-1} - 120) \cdot 21,66 = 0 \\
\Rightarrow & P_{A-1} = 74,91 \text{ MW}.
\end{aligned}$$

На сосема идентичен начин постапуваме и при решавањето на мрежата составена од активните отпорности низ која течат реактивните моќности (II шема). Како резултат од пресметките добиваме:

$$\begin{aligned}
& Q_{A-1} \cdot 1,01 + (Q_{A-1} - 3,43) \cdot 3,21 + (Q_{A-1} - 9,72) \cdot 2,07 + (Q_{A-1} - 38,86) \cdot 4,24 + \\
& + (Q_{A-1} - 48,29) \cdot 0 + (Q_{A-1} - 44,49) \cdot 1,43 + (Q_{A-1} - 40,69) \cdot 0 = 0. \\
\Rightarrow & Q_{A-1} = 21,7 \text{ Mvar}.
\end{aligned}$$

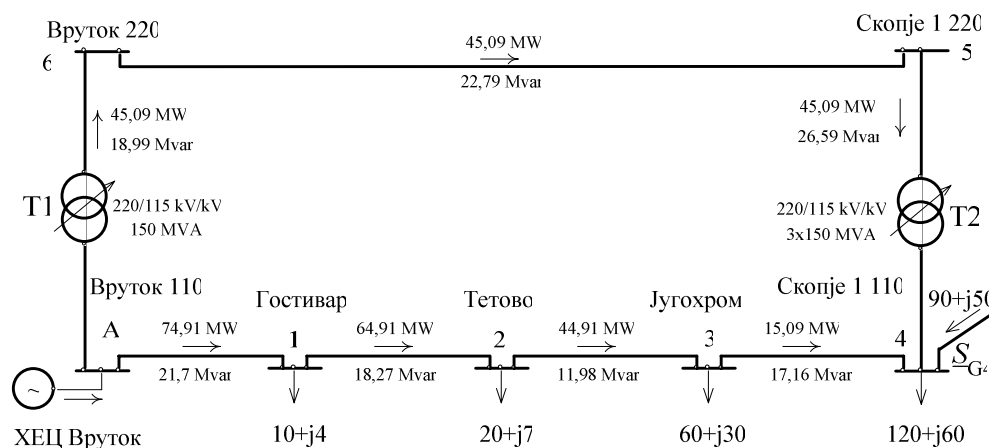


**Слика П.6.4.1. Шема за пресметка на распределбата на активните моќности**



**Слика П.6.4.2. Шема за пресметка на распределбата на реактивните моќности**

Конечната „интегрална” распределба на моќности во мрежата е прикажана на сликата П.6.4.3.



**Слика П.6.4.3. Распределба на моќностите по првата фаза на пресметките**

Така добиената распределба на моќности е **приближна**, бидејќи, покрај другото, во себе **не ги уважува загубите** на напон и загубите на моќност. Таа претставува само **прва апроксимација** и ќе ни послужи за определување (проценка) на напонските прилики и точката на раздел на моќностите во мрежата.

Понатамошниот тек на пресметките („сечење” и отворање на прстенот, поделба на мрежата, пресметка на приближните вредности на напоните во јазлите, пресметка на загубите на моќност и **уточнување** на тековите на моќности низ гранките од мрежата) претставуваат **втора фаза** од пресметките и тие се изведуваат на наполно ист начин како што тоа беше направено во примерот 6.2. Резултатите од пресметките што се вршат во оваа фаза, заедно со точните резултати се прикажани во табелата П.6.4.1.

**Табела П.6.4.1. Резултати од пресметките на напоните и тековите на моќности добиени со методот на раздвојување (заокружени на една децмала) – приближни и точни**

ред. бр.	Моќност (MVA)	Приближни резултати			Точни резултати		
		Почеток	Крај	$U$ (kV)	Почеток	Крај	$U$ (kV)
1	$S_{A-1}$	77,0+j28,4	76,5+j27,0	113,7	78,1+j31,9	77,6+j30,3	114,1
2	$S_{1-2}$	66,5+j23,0	65,3+j19,9	110,2	67,7+j26,3	66,3+j22,9	109,1
3	$S_{2-3}$	45,3+j12,9	44,9+j12,0	108,6	46,3+j15,9	45,8+j15,1	107,3
4	$S_{4-3}$	15,3+j17,5	15,1+j18,0	111,4	14,3+j14,3	14,2+j14,9	109,7
5	$S_{5-4}$	45,3+j28,5	45,3+j27,5	112,5	44,3+j25,3	44,3+j24,3	110,8
6	$S_{6-5}$	45,6+j22,1	45,3+j28,5	113,4	44,6+j19,7	44,3+j25,3	113,1
7	$S_{A-6}$	45,6+j24,0	45,6+j22,1	/	44,6+j21,7	44,6+j19,7	/
A	$S_A$	122,6+j52,4	/	115,0	122,7+j53,6	/	115,0

□ □ □