Електрични мрежи

Решавање на радијални електрични мрежи

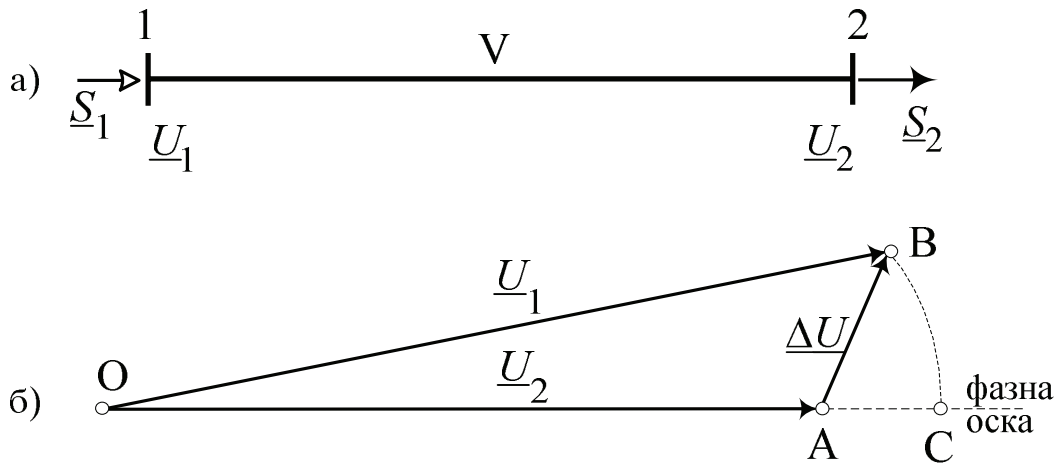
М. Тодоровски

Институт за преносни електроенергетски системи
Факултет за електротехника и информациски технологии
Универзитет Св. Кирил и Методиј

mirko@feit.ukim.edu.mk
pees.feit.ukim.edu.mk

Скопје, 2018

Пресметка на загуба на напон на вод



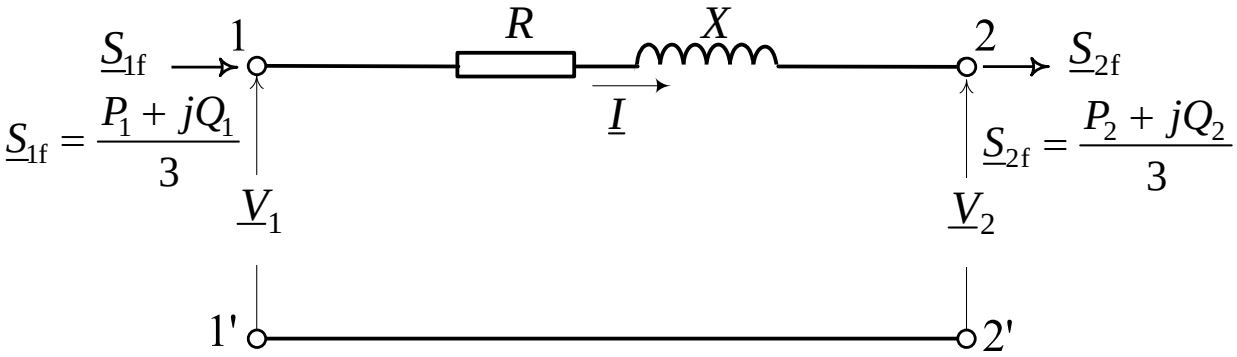
- Под поимот подразбираме дека се работи за меѓуфазен напон. Кога се работи за фазен напон, тогаш тоа посебно се нагласува. При тоа секогаш важи

$$\underline{U} = \sqrt{3} \cdot \underline{V}$$

- Разликата на комплексните напони $\Delta\underline{U} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$ се нарекува пад на напон во водот (вектор AB).
- Алгебарската разлика $\Delta U = U_1 - U_2$ на ефективните вредности на напоните се нарекува загуба на напонот во водот (отсечка AC).

Пресметка на загуба на напон на вод

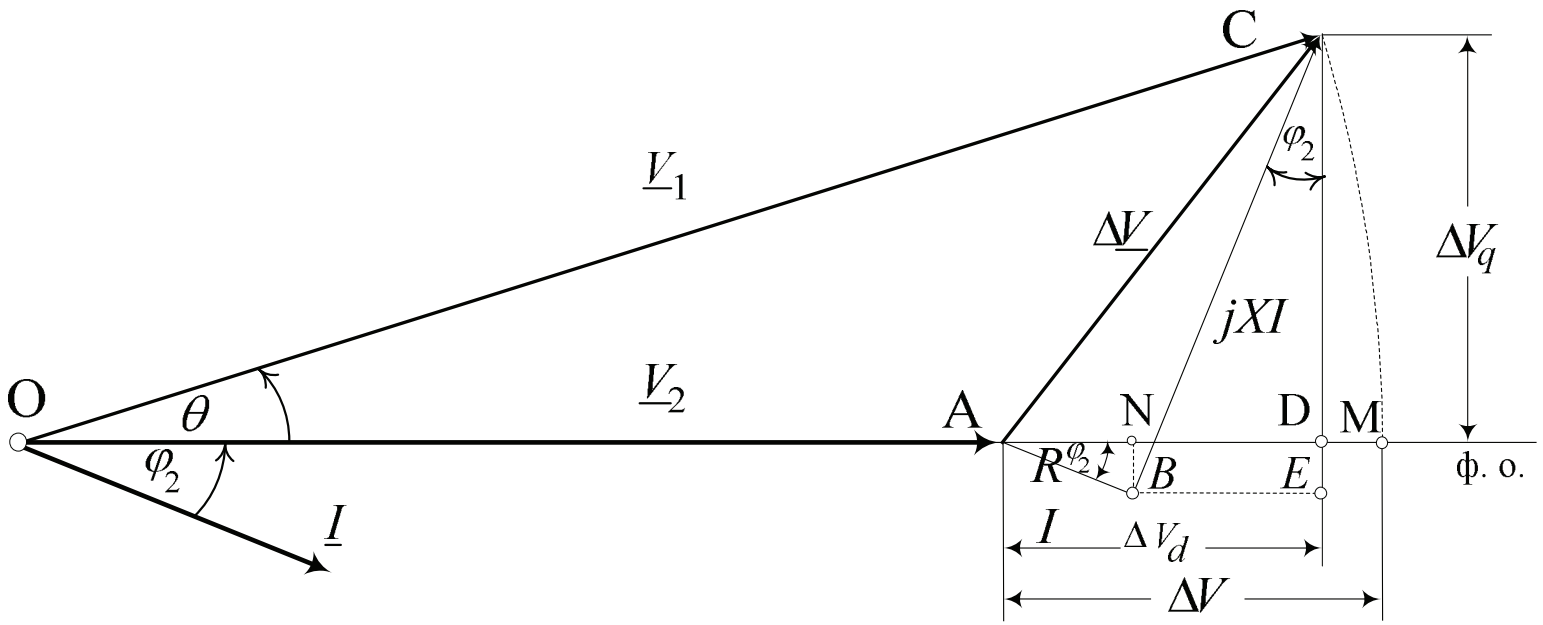
Случај со надземен вод за среден напон ($U_\mathrm{n} \leq 35\,\mathrm{kV}$)



- Фазните напони на двата краја од водот се V_1 и V_2
- Трифазните моќности на двата краја од водот се $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1$ и $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$
- Нека се познати $\underline{V}_2$, $\underline{I}$ и φ_2, а треба да се определи напонот $\underline{V}_1$ и аголот θ меѓу векторите на фазните напони

Пресметка на загуба на напон на вод

- Падот на напон во водот $\Delta \underline{V} = \underline{Z} \cdot \underline{I}$ е даден со векторот $\overrightarrow{\mathrm{AC}}$
- Загубата на напон во водот е дадена со отсечката $\overline{\mathrm{AM}}$

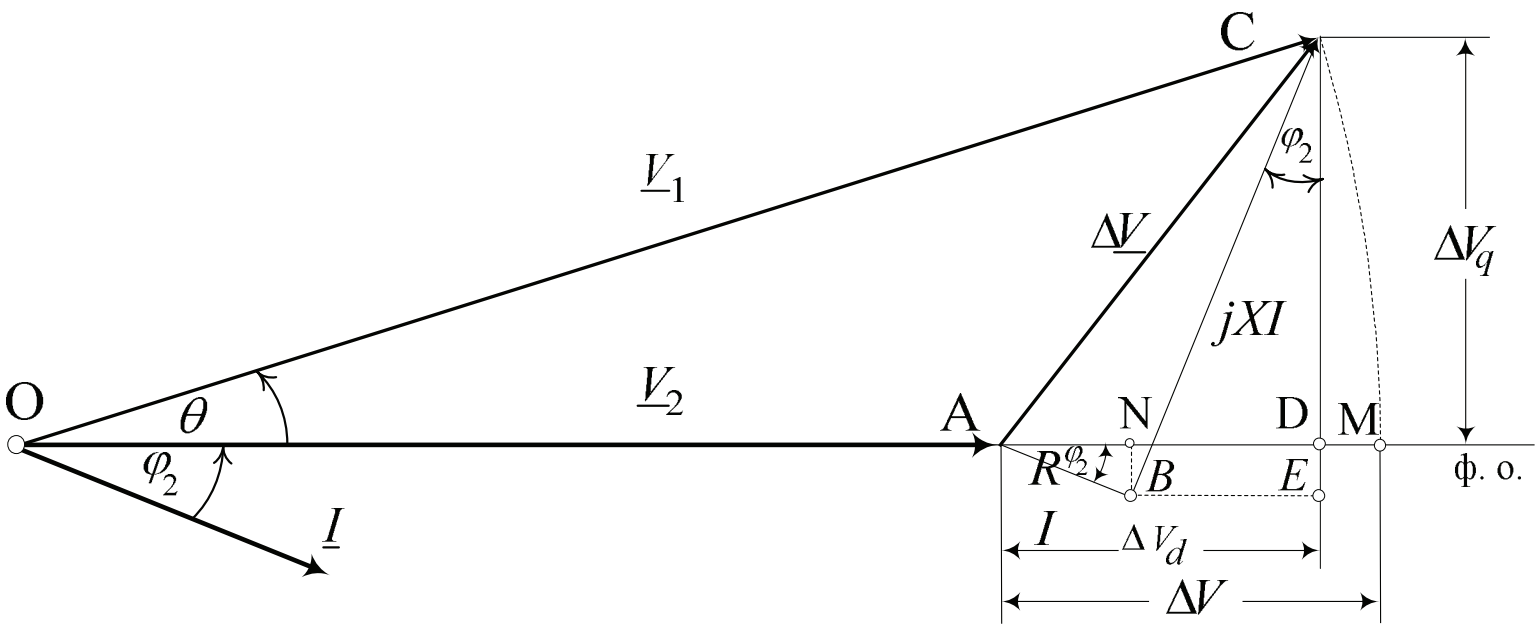


надолжна компонента на падот на фазниот напон

$$\overline{\mathrm{AD}} = \overline{\mathrm{AN}} + \overline{\mathrm{ND}} = \overline{\mathrm{AN}} + \overline{\mathrm{BE}}$$

$$\Delta V_d = RI\cos\varphi_2 + XI\sin\varphi_2$$

Пресметка на загуба на напон на вод



напречна (попречна) компонента на падот на фазниот напон

$$\overline{\mathrm{CD}} = \overline{\mathrm{CE}} - \overline{\mathrm{DE}} = \overline{\mathrm{CE}} - \overline{\mathrm{BN}}$$

$$\Delta V_q = XI\cos\varphi_2 - RI\sin\varphi_2.$$

Пресметка на загуба на напон на вод

$$\underline{V}_1 = V_2 + \Delta V_d + j\Delta V_q$$

Ако равенката ја помножиме со $\sqrt{3}$ за меѓуфазниот (линискиот) напон на почетокот на водот добиваме

$$\underline{U}_1 = U_2 + \Delta U_d + j\Delta U_q$$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2},$$

$$U_1 = (U_2 + \Delta U_d) \cdot \sqrt{1 + \frac{\Delta U_q^2}{(U_2 + \Delta U_d)^2}}.$$

$$U_2 + \Delta U_d \gg \Delta U_q$$

$$U_1 \approx U_2 + \Delta U_d + \frac{\Delta U_q^2}{2 \cdot (U_2 + \Delta U_d)},$$

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx \Delta U_d + \frac{\Delta U_q^2}{2 \cdot (U_2 + \Delta U_d)}.$$

Пресметка на загуба на напон на вод

Кај реалните водови е

$$\Delta U_q < 0,05 \cdot U_{\mathrm{n}}.$$

$$\frac{\Delta U_q^2}{2 \cdot (U_2 + \Delta U_d)} \approx \frac{\Delta U_q^2}{2 \cdot U_{\mathrm{n}}} < \frac{(0,05 \cdot U_{\mathrm{n}})^2}{2 \cdot U_{\mathrm{n}}} = 0,00125 \cdot U_{\mathrm{n}}.$$

$$\Delta U \approx \Delta U_d.$$

$$\Delta U \approx \Delta U_d = \sqrt{3} \cdot \Delta V_d = \sqrt{3} \cdot (R \cdot I \cdot \cos\varphi_2 + X \cdot I \cdot \sin\varphi_2).$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I, \quad S_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I,$$

$$\Delta U \approx \Delta U_d = S_2 \cdot \frac{(R \cdot \cos\varphi_2 + X \cdot \sin\varphi_2)}{U_2} = \frac{P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X}{U_2},$$

$$\Delta U \approx \Delta U_d = S_1 \cdot \frac{(R \cdot \cos\varphi_1 + X \cdot \sin\varphi_1)}{U_1} = \frac{P_1 \cdot R + Q_1 \cdot X}{U_1}.$$

$$U_1 \approx U_2 + \frac{P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X}{U_2},$$

$$U_2 \approx U_1 - \frac{P_1 \cdot R + Q_1 \cdot X}{U_1}.$$

Пресметка на загуба на напон на вод

- Во претходната постапка до решението дојдовме преку фазорскиот дијаграм. Тоа вклучува примена на геометрија, т.е. „графичко“ решавање на електрични кола.
- „Вистинскиот“ начин на решавање во денешно време е со примена на методите за решавање на електрични кола со помош на равенки без примена на никаква геометрија.

$$\underline{I} = \left(\frac{\underline{S}_2}{\sqrt{3}\,U_2}\right)^* = \frac{P_2 - jQ_2}{\sqrt{3}\,U_2}$$

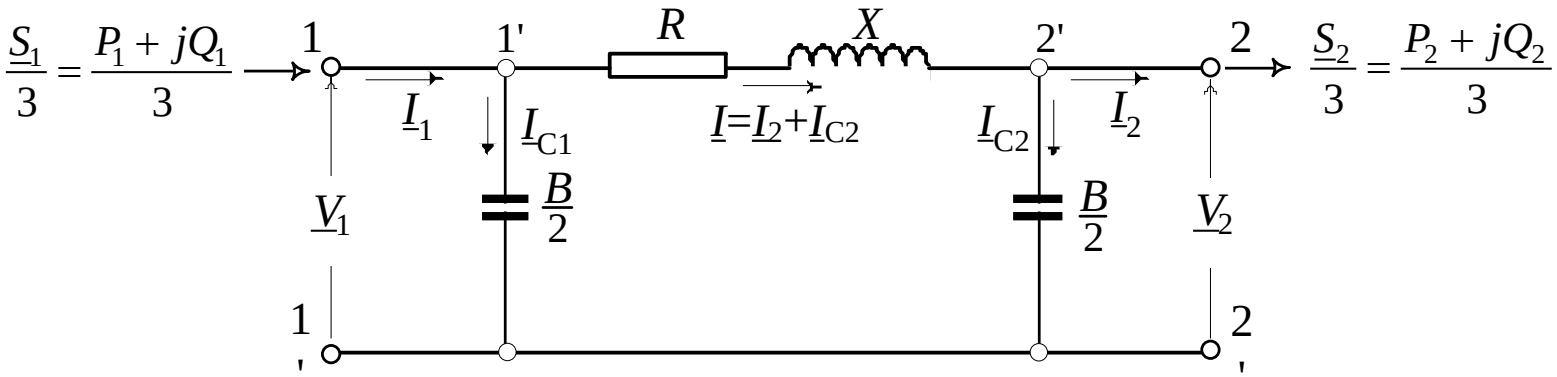
$$\underline{V}_1 = V_2 + \underline{Z}\cdot\underline{I} \qquad \sqrt{3}\cdot\underline{V}_1 = \sqrt{3}\cdot V_2 + \sqrt{3}\cdot\underline{Z}\cdot\underline{I} \qquad \underline{U}_1 = U_2 + \sqrt{3}\cdot\underline{Z}\cdot\underline{I}$$

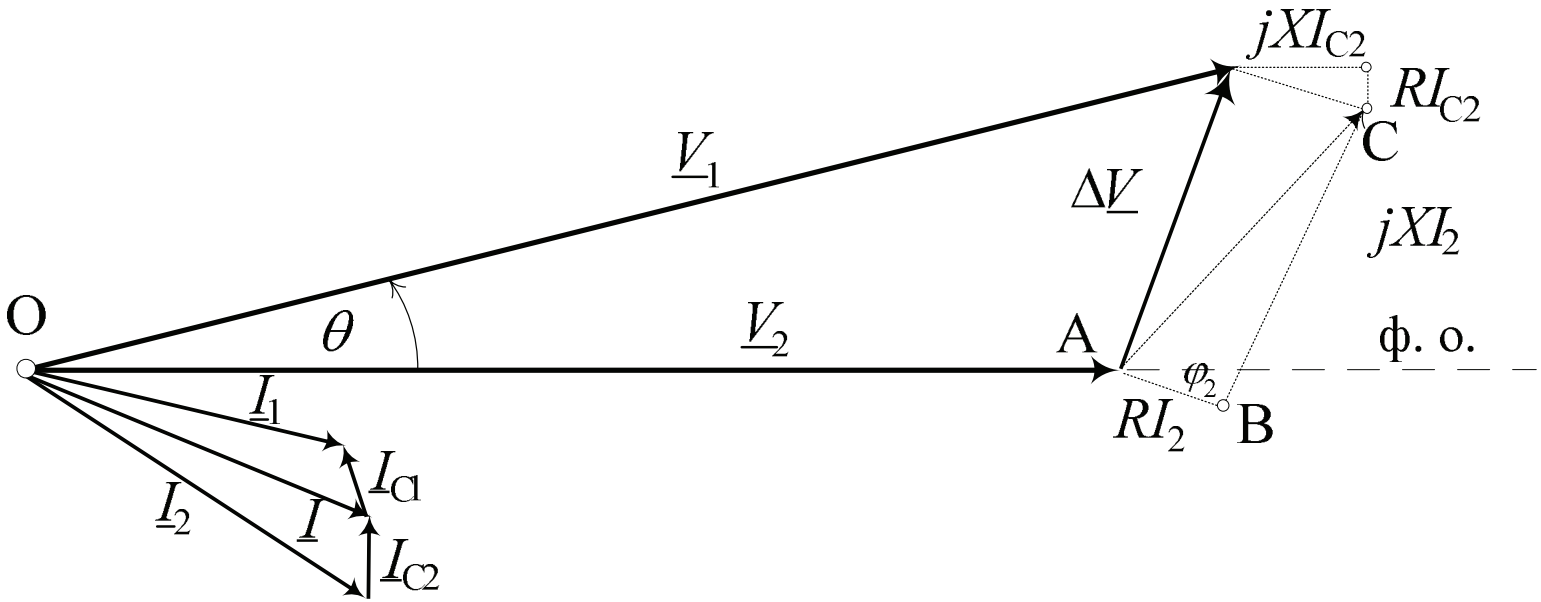
$$\underline{U}_1 = U_2 + (R + jX)\cdot\frac{P_2 - jQ_2}{U_2} = U_2 + \frac{P_2\cdot R + Q_2\cdot X}{U_2} + j\frac{P_2\cdot X - Q_2\cdot R}{U_2}$$

$$\Delta U_d = \frac{P_2\cdot R + Q_2\cdot X}{U_2} \qquad \Delta U_q = \frac{P_2\cdot X - Q_2\cdot R}{U_2}$$

$$U_1 = \sqrt{(U_1 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2}$$

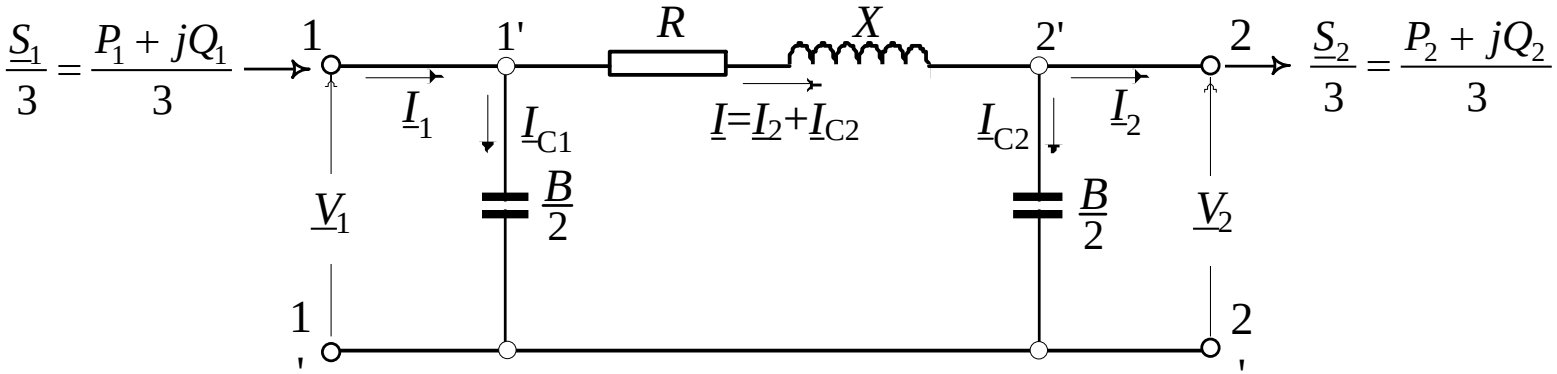
Високонапонски водови ($U_\mathrm{n} \geq 110\,\mathrm{kV}$)





Нема да се обидеме графички да го решаваме проблемот преку фазорскиот дијаграм.

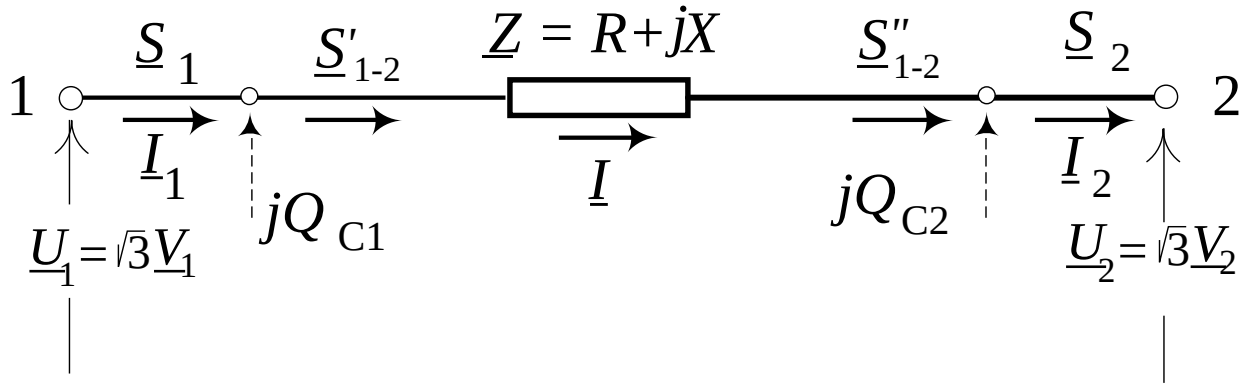
Високонапонски водови ($U_\mathrm{n} \geq 110\,\mathrm{kV}$)



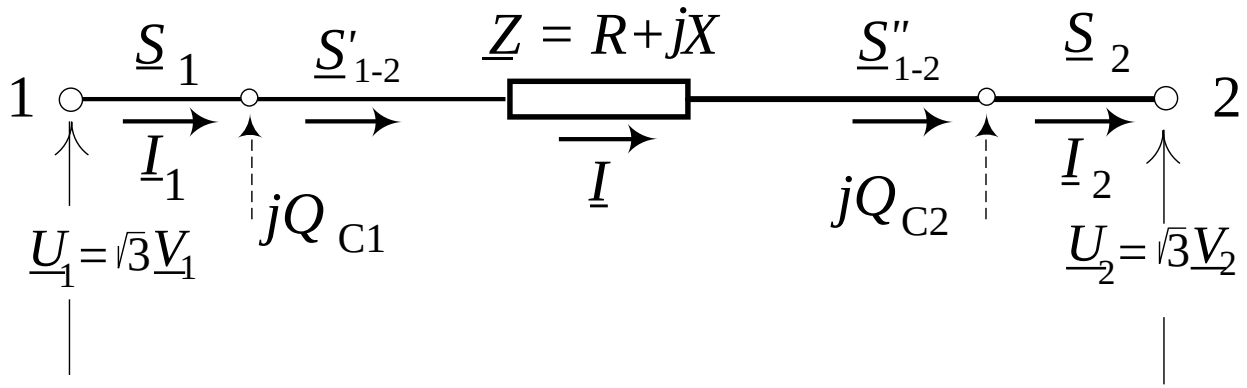
$$\underline{I}_{\mathrm{C2}} = j(B/2) \cdot \underline{U}_2/\sqrt{3}$$

$$\underline{S}_{\mathrm{C2}} = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_2 \cdot \underline{I}^*_{\mathrm{C2}} = -j(B/2) \cdot U_2^2 = -jQ_{C2}$$

$$\underline{S}_{\mathrm{C1}} = -j(B/2) \cdot U_1^2 = -jQ_{C1}$$



Високонапонски водови ($U_\mathrm{n} \geq 110\,\mathrm{kV}$)



$$\underline{S}''_{1-2} = \underline{S}_2 - jQ_{\mathrm{C}2} = P_2 + j(Q_2 - Q_{\mathrm{C}2}).$$

$$S''_{1-2} = \sqrt{P_2^2 + (Q_2 - Q_{\mathrm{C}2})^2} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I$$

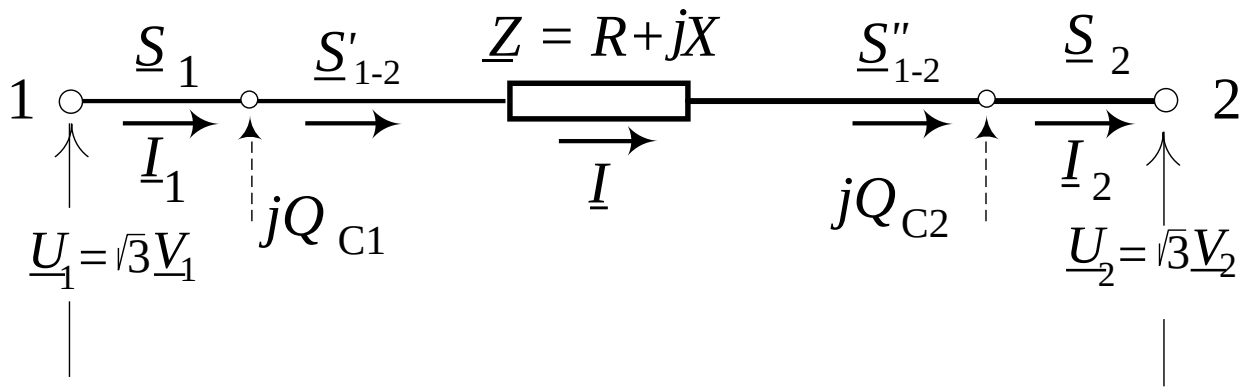
$$I^2 = \frac{S''^2_{1-2}}{3 \cdot U_2^2} = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{\mathrm{C}2})^2}{3 \cdot U_2^2}.$$

загуби на активна и реактивна моќност во редната гранка $\underline{Z} = R + jX$

$$\Delta P_Z = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{C2})^2}{U_2^2} \cdot R;$$

$$\Delta Q_Z = 3 \cdot X \cdot I^2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - Q_{\mathrm{C}2})^2}{U_2^2} \cdot X.$$

Високонапонски водови ($U_{\mathrm{n}} \geq 110\,\mathrm{kV}$)



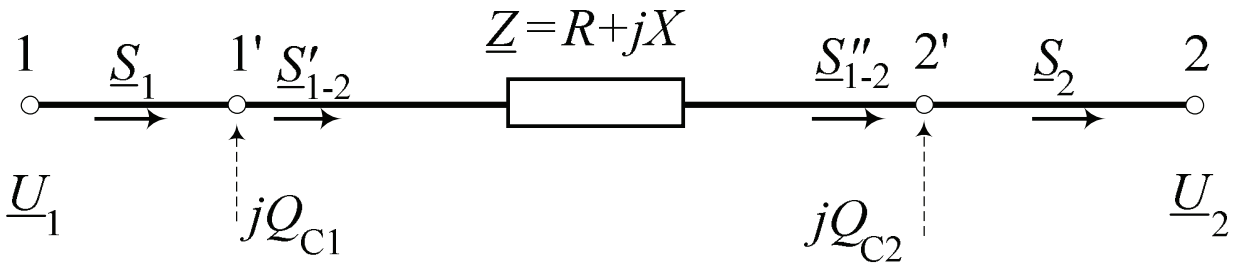
$$\underline{S}'_{1-2} = \underline{S}''_{1-2} + \Delta P_Z + j\Delta Q_Z.$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}'_{1-2} - jQ_{\mathrm{C1}} = \underline{S}''_{1-2} + \Delta P_Z + j\Delta Q_Z - jQ_{\mathrm{C1}},$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_2 - jQ_{\mathrm{C2}} + \Delta P_Z + j\Delta Q_Z - jQ_{\mathrm{C1}},$$

Пример 1

110 kV надземен вод со должина l = 50 km и познати параметри $R = r \cdot l$ = 6,45 Ω; $X = x \cdot l$ = 19,95 Ω и $B = b \cdot l$ = 142 μS на својот крај „2“ напојува потрошувач со моќност $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 = (40 + j18)$ MVA при напон U_2 = 110 kV. Да се пресметаат приликите на неговиот почеток P_1, Q_1 и U_1. Пресметките да се направат без занемарување на погонската капацитивност на водот.



$$Q_{C2} = (B/2) \cdot U_2^2 = 71 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot 10^6 = 860.000 \text{ var} = 0,86 \text{ Mvar};$$
$$Q_2 - Q_{C2} = 17,14 \text{ Mvar}.$$

$$\underline{S}''_{1-2} = (P''_{1-2} + jQ''_{1-2}) = \underline{S}_2 - jQ_{C2} = (40 + j17,14) \text{ MVA},$$
$$P''_{1-2} = 40 \text{ MW}; \quad Q''_{1-2} = 17,14 \text{ Mvar}.$$

Пример 1

$$\Delta \underline{S}_Z = \Delta P_Z + j\Delta Q_Z = \frac{(P''_{1-2})^2 + (Q''_{1-2})^2}{U_2^2} \cdot (R + jX);$$

$$\Delta \underline{S}_Z = \frac{40^2 + 17,14^2}{110^2} \cdot (6,45 + j19,95)\ \mathrm{MVA},$$

$$\Delta P_Z = 1,009\ \mathrm{MW}; \quad \Delta Q_Z = 3,122\ \mathrm{Mvar}.$$

$$\Delta U_d = \frac{P''_{1-2} \cdot R + Q''_{1-2} \cdot X}{U_2} = \frac{40 \cdot 6,45 + 17,14 \cdot 19,95}{110} = 5,454\ \mathrm{kV};$$

$$\Delta U_q = \frac{P''_{1-2} \cdot X - Q''_{1-2} \cdot R}{U_2} = \frac{40 \cdot 19,95 - 17,14 \cdot 6,45}{110} = 6,249\ \mathrm{kV}.$$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2} = \sqrt{(110 + 5,454)^2 + 6,249^2} = 115,623\ \mathrm{kV}.$$

$$\theta = \mathrm{arctg}\frac{\Delta U_q}{U_2 + \Delta U_d} = \mathrm{arctg}\frac{6,249}{110 + 5,454} = 3,1^\circ.$$

Пример 1

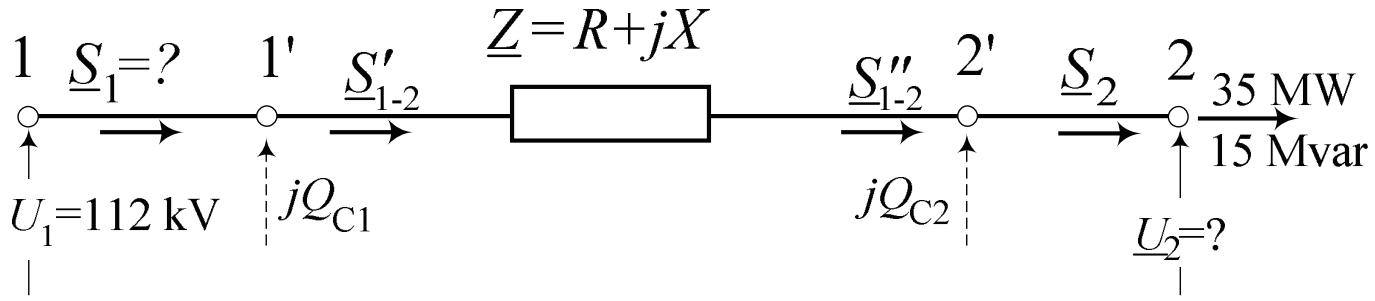
$$Q_{\mathrm{C1}} = \frac{B}{2} \cdot U_1^2 = 71 \cdot 10^{-6} \cdot 115,623^2 \cdot 10^6 = 0,949\,\mathrm{Mvar}.$$

$$\Delta P = \Delta P_Z = 1\,\mathrm{MW}; \quad \Delta Q = \Delta Q_Z - (Q_{C1} + Q_{C2}) = 1,314\,\mathrm{Mvar}.$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 41\,\mathrm{MW}; \quad Q_1 = Q_2 + \Delta Q = 19,314\,\mathrm{Mvar}.$$

Пример 2

Се посматра повторно истиот 110 kV надземен вод од примерот 1 но во друг режим. Познат е напонот на почетокот U_1 = 112 kV како и моќноста на потрошувачот на крајот од водот $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$ = (35 + j15) MVA. Да се пресмета напонот кај потрошувачот U_2 како и моќноста на неговиот почеток $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1$.



- Во овој случај задачата не можеме да ја решиме директно со истата постапка како во примерот 1 бидејќи величините што треба да ги пресметаме зависат од непознатата U_2. Затоа овде ќе примениме итеративна постапка.
- Во секоја итерација процедурата на решавање ќе биде иста како и досега и ќе се базира на претпоставена вредност на непознатот напон U_2. Ќе започнеме со претпоставката $U_2 = U_\mathrm{n} = 110\,\mathrm{kV}$.

Пример 2

1) Прва итерација

$$Q_{\mathrm{C2}} = (B/2) \cdot U_2^2 = 71 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 \cdot 10^6 = 0,86\,\mathrm{Mvar};$$

$$Q_2 - Q_{\mathrm{C2}} = 14,14\,\mathrm{Mvar}.$$

$$\underline{S}''_{1-2} = \underline{S}_2 + jQ_{\mathrm{C2}} = (35 + j14,14)\,\mathrm{MVA}.$$

$$\Delta U_d = \frac{P''_{1-2} \cdot R + Q''_{1-2} \cdot X}{U_2} = \frac{35 \cdot 6,45 + 14,14 \cdot 19,95}{110} \cdot 10^3 = 4,617\,\mathrm{kV};$$

$$\Delta U_q = \frac{P''_{1-2} \cdot X - Q''_{1-2} \cdot R}{U_2} = \frac{35 \cdot 19,95 - 14,14 \cdot 6,45}{110} \cdot 10^3 = 5,519\,\mathrm{kV}.$$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2} \;\Rightarrow\; U_2 = \sqrt{{U_1}^2 - \Delta U_q^2} - \Delta U_d;$$

$$U_2 = \sqrt{112^2 - 5,519^2} - 4,627 = 107,247\,\mathrm{kV}.$$

Пример 2

2) Втора итерација
со претходната вредност за U_2 = 107,247 kV пресметуваме

$$\Delta U_d = 4,743\,\mathrm{kV}; \quad \Delta U_q = 5,658\,\mathrm{kV}; \quad U_2 = 107,114\,\mathrm{kV}$$

После само уште две итерации се добива решение коешто може да се третира за „доволно точно“. Низата од решенија во итеративниот процес изгледа вака

1) итерација: $\Delta U_d = 4,617\,\mathrm{kV}; \quad \Delta U_q = 5,519\,\mathrm{kV}; \quad U_2 = 107,247\,\mathrm{kV}$
2) итерација: $\Delta U_d = 4,743\,\mathrm{kV}; \quad \Delta U_q = 5,658\,\mathrm{kV}; \quad U_2 = 107,114\,\mathrm{kV}$
3) итерација: $\Delta U_d = 4,750\,\mathrm{kV}; \quad \Delta U_q = 5,664\,\mathrm{kV}; \quad U_2 = 107,107\,\mathrm{kV}$
4) итерација: $\Delta U_d = 4,750\,\mathrm{kV}; \quad \Delta U_q = 5,664\,\mathrm{kV}; \quad U_2 = 107,107\,\mathrm{kV}$

$$U_2 = 107,107\,\mathrm{kV}; \quad P_1 = 35,8\,\mathrm{MW}; \quad Q_1 = 15,78\,\mathrm{Mvar};$$
$$\Delta P = 0,8\,\mathrm{MW}; \quad \Delta Q = 0,78\,\mathrm{Mvar};$$

Пример 2 – аналитички израз

$$Q_{C2} = B/2 \cdot U_2^2$$
$$\Delta U_d = \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{C2}) X}{U_2}$$
$$\Delta U_q = \frac{P_2 X - (Q_2 - Q_{C2}) R}{U_2}$$

$$(U_2 + \Delta U_d)^2 + \Delta U_q^2 - U_1^2 = 0$$
$$\alpha U_2^4 + \beta U_2^2 + \gamma = 0$$

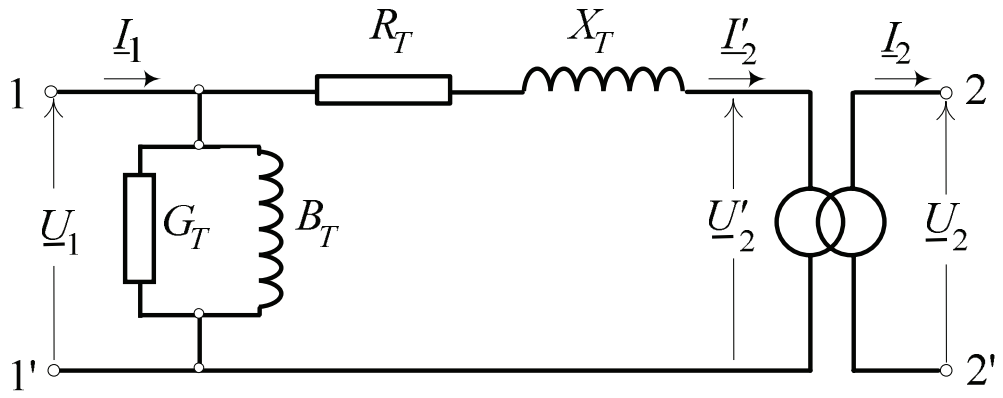
$$\alpha = B^2 \left(R^2 + X^2\right) - 4BX + 4$$
$$\beta = 8 \left(P_2 R + Q_2 X\right) - 4 U_1^2 - 4BQ_2 \left(R^2 + X^2\right)$$
$$\gamma = 4 \left(P_2^2 + Q_2^2\right) \left(R^2 + X^2\right)$$

Пример 2 – аналитички израз

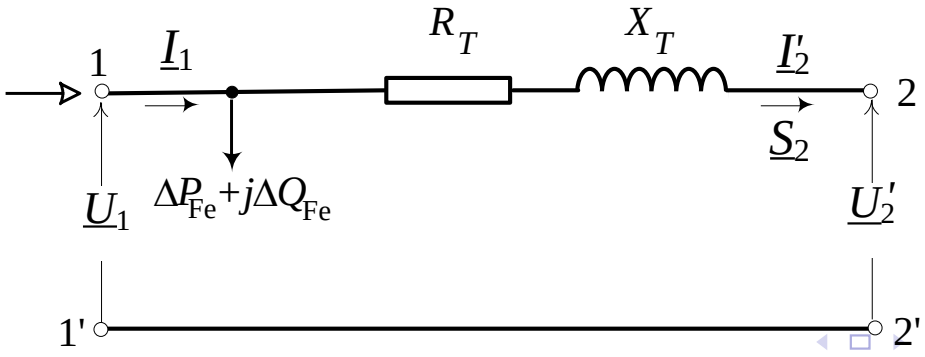
$$\alpha = B^2\left(R^2+X^2\right) - 4BX + 4 =$$
$$= 142\cdot 10^{-6}\cdot(6,45^2+19,95^2) - 4\cdot 142\cdot 10^{-6}\cdot 19,95 + 4 = 3,98868$$
$$\beta = 8\left(P_2R + Q_2X\right) - 4U_1^2 - 4BQ_2\left(R^2+X^2\right) =$$
$$= 8\cdot(35\cdot 6,45 + 15\cdot 19,95) - 4\cdot 112^2 - 4\cdot 142\cdot 10^{-6}\cdot 15\cdot\left(6,45^2+19,95^2\right) =$$
$$= -45.979,74543$$
$$\gamma = 4\left(P_2^2+Q_2^2\right)\left(R^2+X^2\right) = 4\cdot\left(35^2+15^2\right)\cdot\left(6,45^2+19,95^2\right) = 2.549.709$$

$$D = \beta^2 - 4\cdot\alpha\cdot\gamma = 2.073.457.125$$
$$x_1 = \frac{-\beta+\sqrt{D}}{2\cdot\alpha} = 11.471,84503$$
$$x_2 = \frac{-\beta-\sqrt{D}}{2\cdot\alpha} = 55,72222$$
$$U_2 = \sqrt{x_1} = 107,107\,\mathrm{kV}$$

Загуба на напон и загуба на моќност во трансформатори



- Со идеалниот трансформатор со познат преносен однос k_{T} вршиме сведување на напонот $\underline{U}_2$ и струјата $\underline{I}_2$.
- При пресметките од практични причини, идеалниот трансформатор не го прикажуваме во заменските шеми, но сепак правиме сведување на сите електрични величини на едно исто напонско ниво.



Загуба на напон и загуба на моќност во трансформатори

Загубата на напонот во трансформаторот ќе се определи по постапка која е аналогна на онаа што ја применуваме и кај водовите.

$$\Delta U_d = \sqrt{3} I_2' (R_T \cos\varphi_2 + X_T \sin\varphi_2) = \frac{S_2}{U_2'} (R_T \cos\varphi_2 + X_T \sin\varphi_2),$$

$$\Delta U_q = \sqrt{3} I_2' (X_T \cos\varphi_2 - R_T \sin\varphi_2) = \frac{S_2}{U_2'} (X_T \cos\varphi_2 - R_T \sin\varphi_2).$$

$$R_T = \frac{u_{ka}\%}{100} \cdot \frac{U_\mathrm{n}^2}{S_\mathrm{n}},$$

$$X_T = \frac{u_{k\sigma}\%}{100} \cdot \frac{U_\mathrm{n}^2}{S_\mathrm{n}},$$

$$\Delta U_d = \frac{S_2}{U_\mathrm{n}} \cdot \left(\frac{u_{ka}\%}{100} \cdot \frac{U_\mathrm{n}^2}{S_\mathrm{n}} \cdot \cos\varphi_2 + \frac{u_{k\sigma}\%}{100} \cdot \frac{U_\mathrm{n}^2}{S_\mathrm{n}} \cdot \sin\varphi_2 \right),$$

$$\Delta U_q = \frac{S_2}{U_\mathrm{n}} \cdot \left(\frac{u_{k\sigma}\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_\mathrm{n}} \cdot \cos\varphi_2 - \frac{u_{ka}\%}{100} \cdot \frac{U_\mathrm{n}^2}{S_\mathrm{n}} \cdot \sin\varphi_2 \right),$$

Загуба на напон и загуба на моќност во трансформатори

$$\Delta U_d\% = \frac{S_2}{S_\mathrm{n}} \cdot (u_{ka}\% \cdot \cos\varphi_2 + u_{k\sigma}\% \cdot \sin\varphi_2),$$

$$\Delta U_q\% = \frac{S_2}{S_\mathrm{n}} \cdot (u_{k\sigma}\% \cdot \cos\varphi_2 - u_{ka}\% \cdot \sin\varphi_2).$$

Коефициент на оптоварување на трансформаторот

$$\alpha = \frac{S_2}{S_\mathrm{n}}$$

$$\Delta U_d\% = \alpha \cdot (u_{ka}\% \cdot \cos\varphi_2 + u_{k\sigma}\% \cdot \sin\varphi_2),$$

$$\Delta U_q\% = \alpha \cdot (u_{k\sigma}\% \cdot \cos\varphi_2 - u_{ka}\% \cdot \sin\varphi_2).$$

Загуба на напон и загуба на моќност во трансформатори

$$\Delta P_T = \Delta P_{\mathrm{Fe}} + 3 \cdot R_T \cdot (I_2')^2 = \Delta P_{\mathrm{Fe}} + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{(U_2')^2} \cdot R_T,$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{\mathrm{Fe}} + 3 \cdot X_T \cdot (I_2')^2 = \Delta Q_{\mathrm{Fe}} + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{(U_2')^2} \cdot X_T.$$

Ако се земе дека е $U_2' \approx U_{\mathrm{n}}$ тогаш, со оглед на следните релации:

$$\Delta P_k \approx \Delta P_{\mathrm{Cun}} = R_T \cdot \frac{S_{\mathrm{n}}^2}{U_{\mathrm{n}}^2},$$

$$\Delta Q_{\mathrm{Fe}} = \frac{i_0\%}{100} S_{\mathrm{n}} \quad \text{и}$$

$$X_T \approx Z_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_{\mathrm{n}}^2}{S_{\mathrm{n}}},$$

можеме да пишуваме:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\mathrm{Fe}} + \Delta P_{\mathrm{Cun}} \cdot \alpha^2; \quad \Delta Q_T = \frac{S_{\mathrm{n}}}{100} \cdot \left(i_0\% + u_k\% \cdot \alpha^2\right).$$

Загуба на напон и загуба на моќност во трансформатори

n идентични паралелно врзани трансформатори

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_{\mathrm{Fe}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\mathrm{Cun}} \cdot \alpha^2;$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_{\mathrm{n}}}{100} \cdot \left(n \cdot i_0\% + \frac{1}{n} \cdot u_k\% \cdot \alpha^2 \right).$$

Пример 3

За дистрибутивниот трансформатор од примерот од глава 4

$$S_{\mathrm{n}} = 400\,\mathrm{kVA};\, U_{\mathrm{n}} = 10\,\mathrm{kV};\, k_T = k_{T\mathrm{n}} = 25;$$
$$u_k\% = 4\%;\, i_0\% = 2,1\%;\, \Delta P_{\mathrm{Cun}} = 4,6\,\mathrm{kW};\, \Delta P_{\mathrm{Fe}} = 0,63\,\mathrm{kW}.$$

да се пресмета загубата на напон и моќност за следниот работен режим:
$U_1 = 10,3\,\mathrm{kV}$; $S_2 = S_{\mathrm{n}} = 400\,\mathrm{kVA}$; $\cos\varphi = 0,8$ ($P_2 = 320\,\mathrm{kW}$; $Q_2 = 240\,\mathrm{kvar}$).

Параметрите на Г-заменската шема изнесуваат

$$\underline{Z}_T = (R_T + jX_T) = (2,875 + j9,58)\,\Omega;$$
$$\underline{Y}_T = (G_T + jB_T) = (9,3 - j83,5)\,\mu\mathrm{S}.$$

Пример 3

$$Z_{\mathrm{n}} = \frac{U_{\mathrm{n}}^2}{\mathrm{S_n}} = \frac{10^2}{0,4} = 250\,\Omega,$$

$$\alpha = \frac{S_2}{S_{\mathrm{n}}} = \frac{400}{400} = 1.$$

$$R_T = \frac{u_{ka}\%}{100} \cdot \frac{U_{\mathrm{n}}^2}{S_{\mathrm{n}}} \Rightarrow u_{ka}\% = 100 \cdot \frac{R_T}{Z_{\mathrm{n}}} = 100 \cdot \frac{2,875}{250} = 1,15\%;$$

$$X_T = \frac{u_{k\sigma}\%}{100} \cdot \frac{U_{\mathrm{n}}^2}{S_{\mathrm{n}}} \Rightarrow u_{k\sigma}\% = 100 \cdot \frac{X_T}{Z_{\mathrm{n}}} = 100 \cdot \frac{9,58}{250} = 3,83\%.$$

проверка

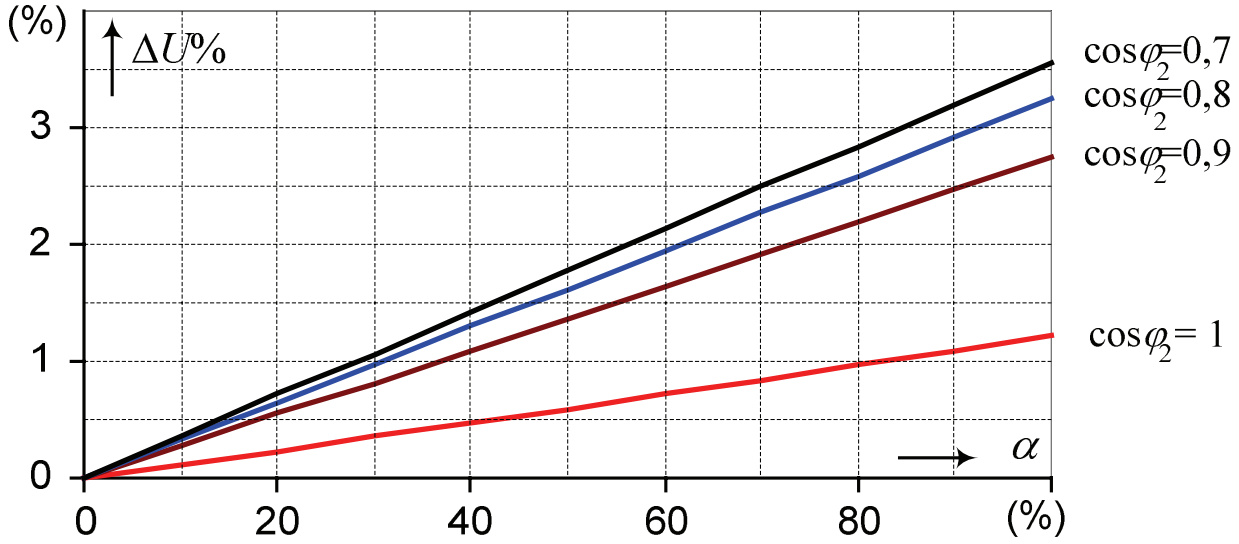
$$u_k\% = \sqrt{(u_{ka}\%)^2 + (u_{k\sigma}\%)^2} = \sqrt{1,15^2 + 3,83^2} = 4\%.$$

$$\Delta U_d\% = \alpha\,(u_{ka}\% \cos\varphi_2 + u_{k\sigma}\% \sin\varphi_2) = 1 \cdot (1,15 \cdot 0,8 + 3,83 \cdot 0,6) = 3,22\,\%;$$

$$\Delta U_q\% = \alpha\,(u_{k\sigma}\% \cos\varphi_2 - u_{ka}\% \sin\varphi_2) = 1 \cdot (3,83 \cdot 0,8 - 1,15 \cdot 0,6) = 2,37\,\%;$$

$$\Delta U\% = \Delta U_d\% + (\Delta U_q\%)^2/200 = 3,22^2 + 2,37^2/200 = 3,25\,\%.$$

Пример 3



Загуба на напон во трансформаторот во зависност од степенот на оптовареност α

$$\Delta P_T = \Delta P_{\mathrm{Fe}} + \Delta P_{\mathrm{Cun}} \cdot \alpha^2 = 0,63 + 4,6 \cdot 1^2 = 5,23\,\mathrm{kW};$$

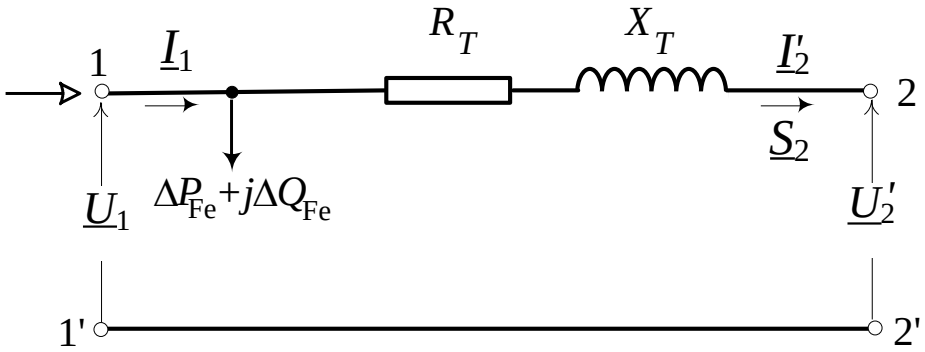
$$\Delta Q_T = S_{\mathrm{n}} \cdot \frac{\left(i_0\% + u_k\% \cdot \alpha^2\right)}{100} = 400 \cdot \frac{(2,1 + 4 \cdot 1^2)}{100} = 24,4\,\mathrm{kvar}.$$

Пример 3 – втор начин

$$U_1 = 10,3\,\mathrm{kV}; \quad P_2 = 320\,\mathrm{kW}; \quad Q_2 = 240\,\mathrm{kvar}$$

$$\underline{Z}_T = (R_T + jX_T) = (2,875 + j9,58)\ \Omega$$

$$\Delta P_{\mathrm{Fe}} = 0,63\,\mathrm{kW} \quad \Delta Q_{\mathrm{Fe}} = i_0\%/100 \cdot S_{\mathrm{n}} = 2,1/100 \cdot 400 = 8,4\,\mathrm{kvar}$$



$$\Delta U_d = \frac{P_2 \cdot R_T + Q_2 \cdot X_T}{U_2} = \frac{0,32 \cdot 2,875 + 0,24 \cdot 9,58}{10} = 0,322\,\mathrm{kV} = 3,22\%$$

$$\Delta U_q = \frac{P_2 \cdot X_T - Q_2 \cdot R_T}{U_2} = \frac{0,32 \cdot 9,58 - 0,24 \cdot 2,875}{10} = 0,238\,\mathrm{kV} = 2,38\%$$

Пример 3 – втор начин

$$\Delta P_Z = R_T \cdot \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} = 2,875 \cdot \frac{0,32^2 + 0,24^2}{10^2} = 0,0046\,\mathrm{MW}$$

$$\Delta P_Z = 4,6\,\mathrm{kW}$$

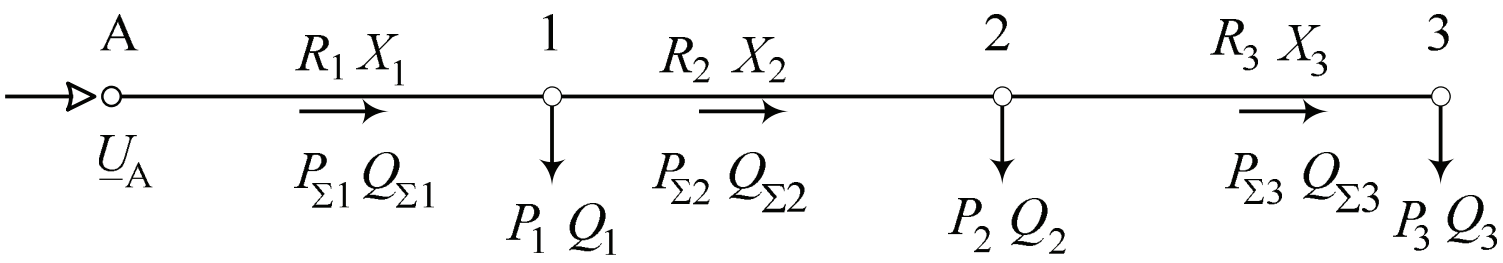
$$\Delta Q_Z = X_T \cdot \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} = 9,58 \cdot \frac{0,32^2 + 0,24^2}{10^2} = 0,0153\,\mathrm{Mvar}$$

$$\Delta Q_Z = 15,3\,\mathrm{kvar}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{\mathrm{Fe}} + \Delta P_Z = 0,63 + 4,6 = 5,23\,\mathrm{kW}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{\mathrm{Fe}} + \Delta Q_Z = 8,4 + 15,3 = 23,7\,\mathrm{kvar}$$

Неразгранета мрежа

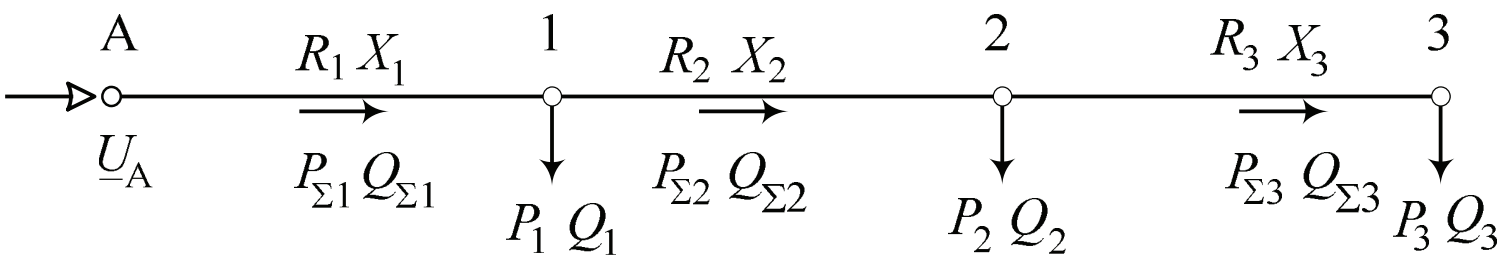


Магистрален вод

$$P_{\Sigma 3} = P_3, \qquad Q_{\Sigma 3} = Q_3;$$
$$P_{\Sigma 2} = P_2 + P_3, \qquad Q_{\Sigma 2} = Q_2 + Q_3;$$
$$P_{\Sigma 1} = P_1 + P_2 + P_3, \qquad Q_{\Sigma 1} = Q_1 + Q_2 + Q_3;$$

$$P_{\Sigma k} = \sum_{i=k}^{3} P_i; \quad Q_{\Sigma k} = \sum_{i=k}^{3} Q_i; \quad k = 1, 2, 3.$$

Неразгранета мрежа



Магистрален вод

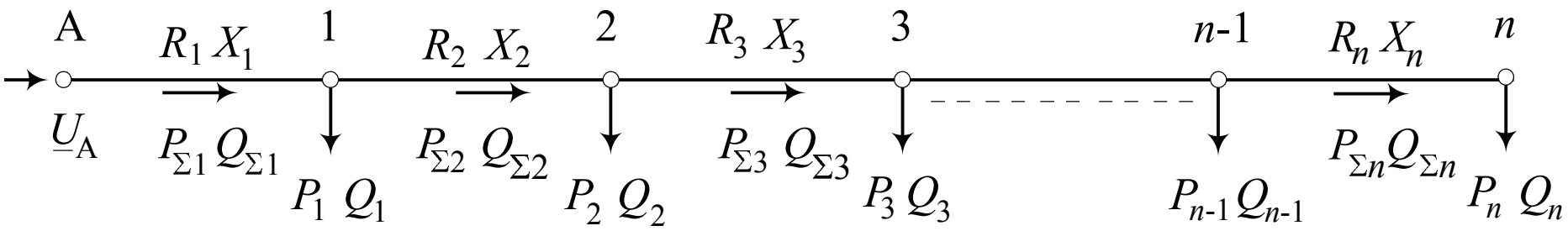
$$\Delta U \equiv \Delta U_{A-3} = \Delta U_{A-1} + \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3};$$

$$\Delta U = \frac{P_{\Sigma 1} R_1 + Q_{\Sigma 1} X_1}{U_1} + \frac{P_{\Sigma 2} R_2 + Q_{\Sigma 2} X_2}{U_2} + \frac{P_{\Sigma 3} R_3 + Q_{\Sigma 3} X_3}{U_3};$$

$$\Delta U = \sum_{i=1}^{3} \frac{P_{\Sigma i} R_i + Q_{\Sigma i} X_i}{U_i}.$$

$$\Delta U \approx \sum_{i=1}^{3} \frac{P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i}{U_n} = \frac{1}{U_n} \cdot \sum_{i=1}^{3} (P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i).$$

Неразгранета мрежа



Магистрален вод со произволен број потрошувачи

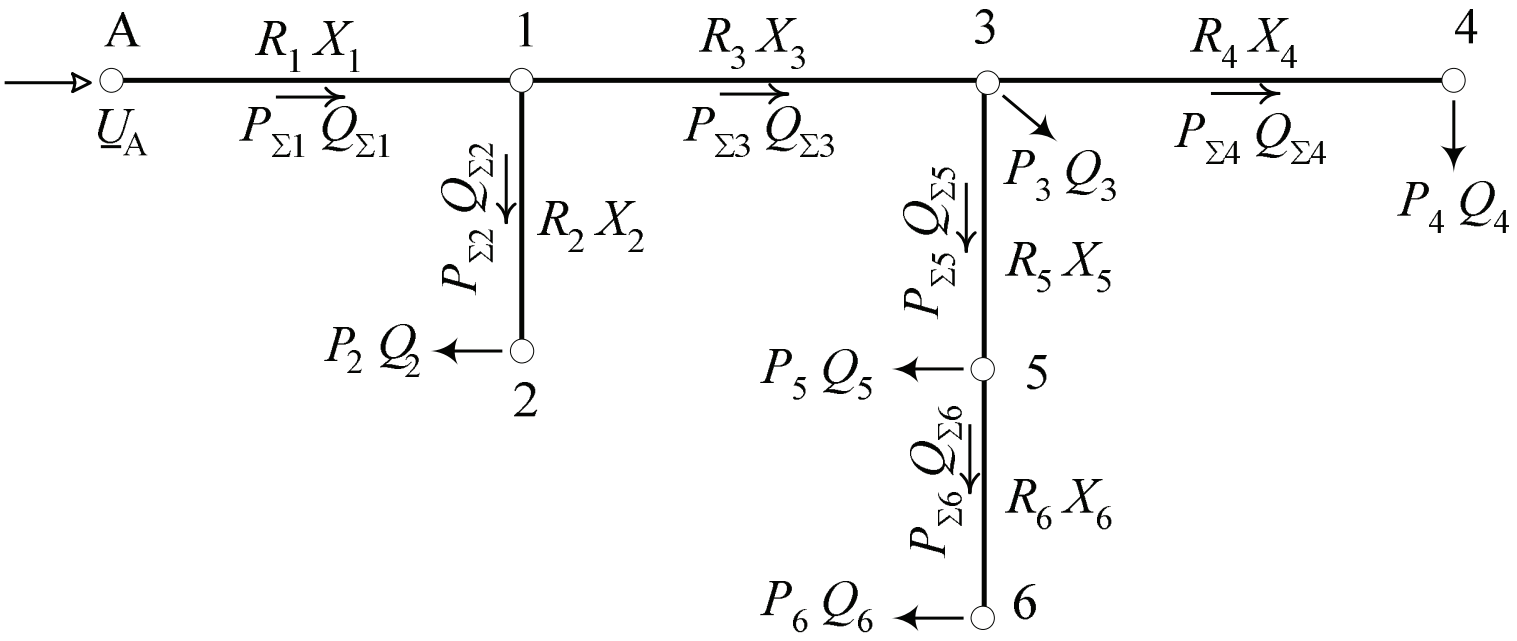
$$\Delta U = U_{\mathrm{A}} - U_n \approx \sum_{i=1}^{n} \frac{P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i}{U_{\mathrm{n}}} = \frac{1}{U_{\mathrm{n}}} \cdot \sum_{i=1}^{n} (P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i).$$

$$\Delta U_{A-k} \approx \sum_{i=1}^{k} \frac{P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i}{U_{\mathrm{n}}} = \frac{1}{U_{\mathrm{n}}} \cdot \sum_{i=1}^{k} (P_{\Sigma i} \cdot R_i + Q_{\Sigma i} \cdot X_i).$$

Ако магистралниот вод е со ист пресек по целата своја должина

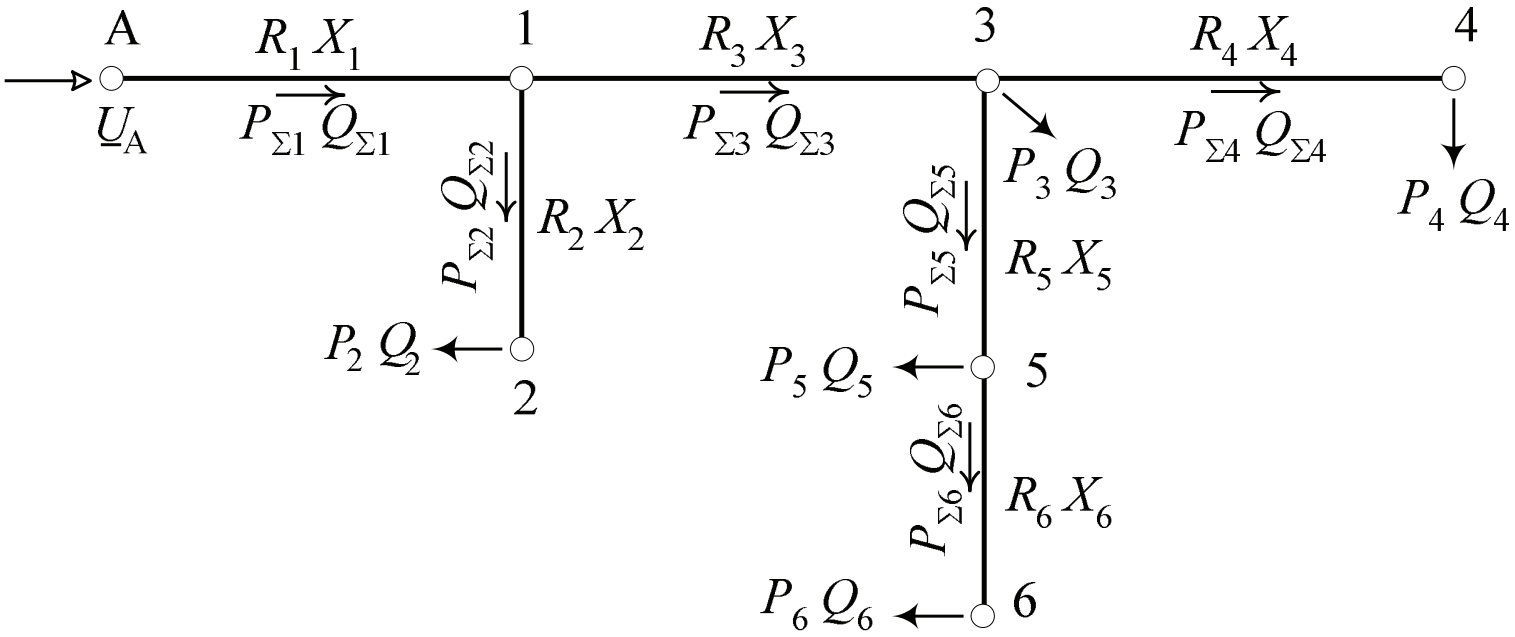
$$\Delta U_{A-k} \approx \sum_{i=1}^{k} \frac{P_{\Sigma i} R_i + Q_{\Sigma i} X_i}{U_{\mathrm{n}}} = \frac{1}{U_{\mathrm{n}}} \left(r \sum_{i=1}^{k} P_{\Sigma i} l_i + x \cdot \sum_{i=1}^{k} Q_{\Sigma i} \cdot l_i \right)$$

Разгранета мрежа



$$U_6 = U_A - (\Delta U_{A-1} + \Delta U_{1-3} + \Delta U_{3-5} + \Delta U_{5-6});$$
$$U_6 = U_A - (\Delta U_1 + \Delta U_3 + \Delta U_5 + \Delta U_6).$$

Разгранета мрежа



делница А-1: $P_{\Sigma1} = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6;$ $\quad Q_{\Sigma1} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$

делница 1-2: $P_{\Sigma2} = P_2;$ $\quad Q_{\Sigma2} = Q_2,$

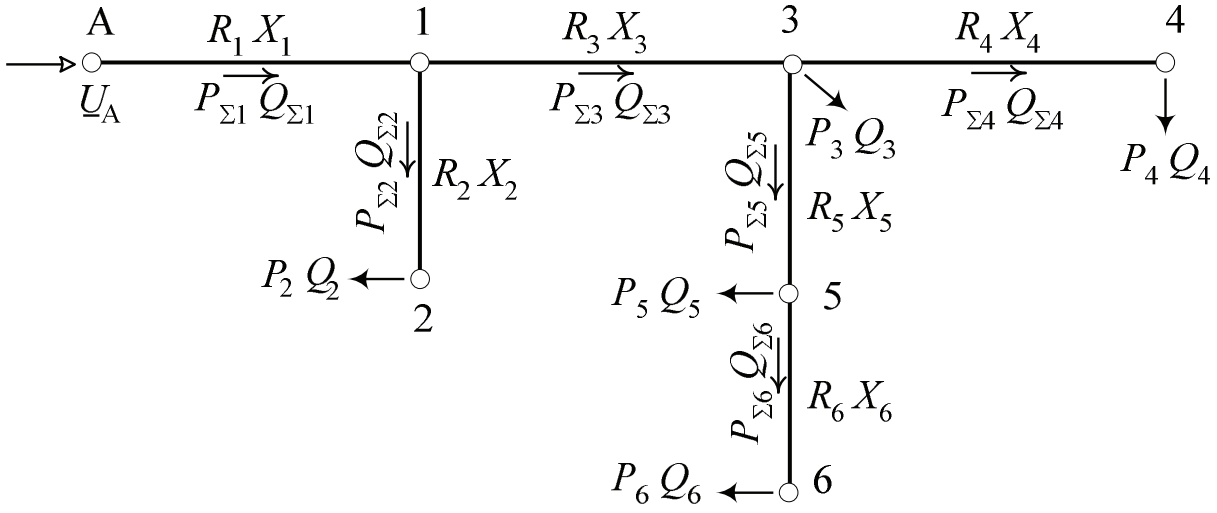
делница 1-3: $P_{\Sigma3} = P_3 + P_4 + P_5 + P_6;$ $\quad Q_{\Sigma3} = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$

делница 3-4: $P_{\Sigma4} = P_4;$ $\quad Q_{\Sigma4} = Q_4,$

делница 3-5: $P_{\Sigma5} = P_5 + P_6;$ $\quad Q_{\Sigma5} = Q_5 + Q_6,$

делница 5-6: $P_{\Sigma6} = P_6;$ $\quad Q_{\Sigma6} = Q_6.$

Разгранета мрежа

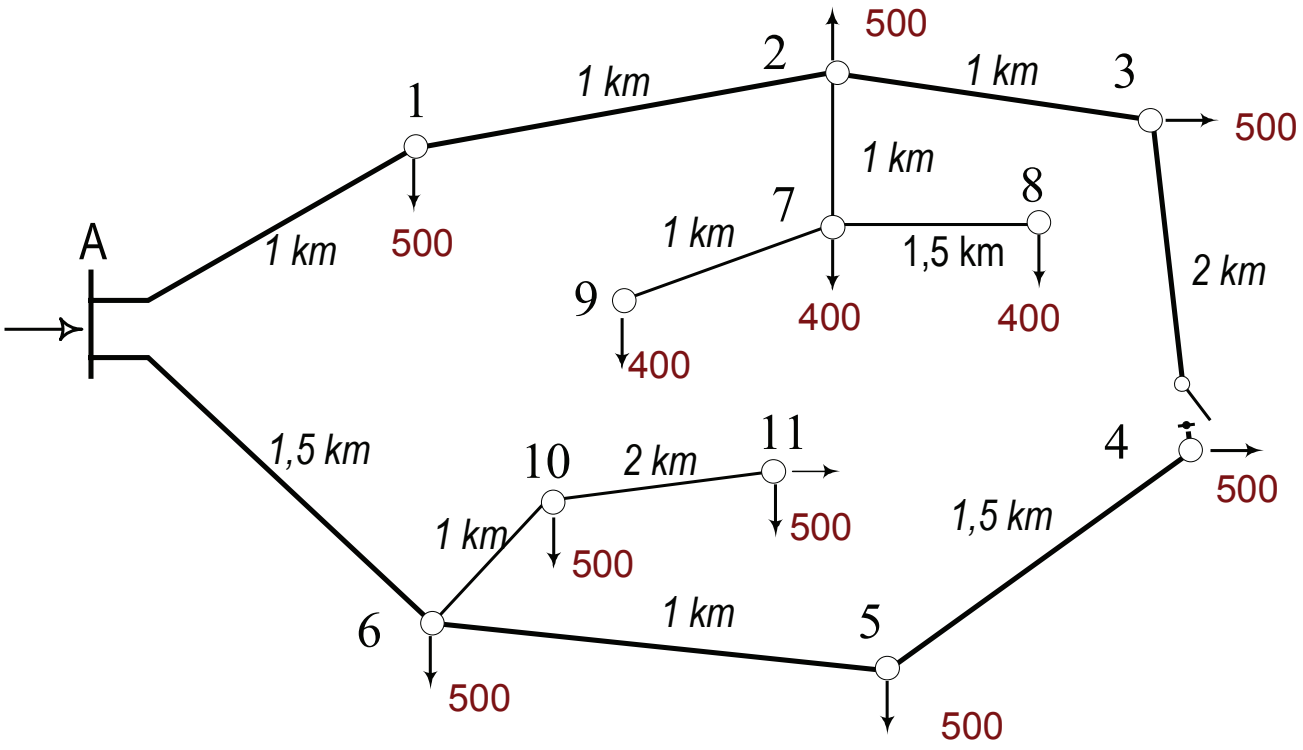


$$
\begin{aligned}
U_6 &\approx U_{\mathrm{A}} - \Delta U_1 - \Delta U_3 - \Delta U_5 - \Delta U_6 = \\
&= U_{\mathrm{A}} - \frac{(P_{\Sigma 1} \cdot R_1 + Q_{\Sigma 1} \cdot X_1)}{U_{\mathrm{n}}} - \frac{(P_{\Sigma 3} \cdot R_3 + Q_{\Sigma 3} \cdot X_3)}{U_{\mathrm{n}}} - \\
&- \frac{(P_{\Sigma 5} \cdot R_5 + Q_{\Sigma 5} \cdot X_5)}{U_{\mathrm{n}}} - \frac{(P_{\Sigma 6} \cdot R_6 + Q_{\Sigma 6} \cdot X_6)}{U_{\mathrm{n}}}.
\end{aligned}
$$

Аналогно се постапува и при пресметувањето на напонот во било која друга точка од мрежата. Загубата на напон во мрежата е разликата на ефективните вредности на напонот во точката А и напонот на точката од мрежата која има најмал напон.

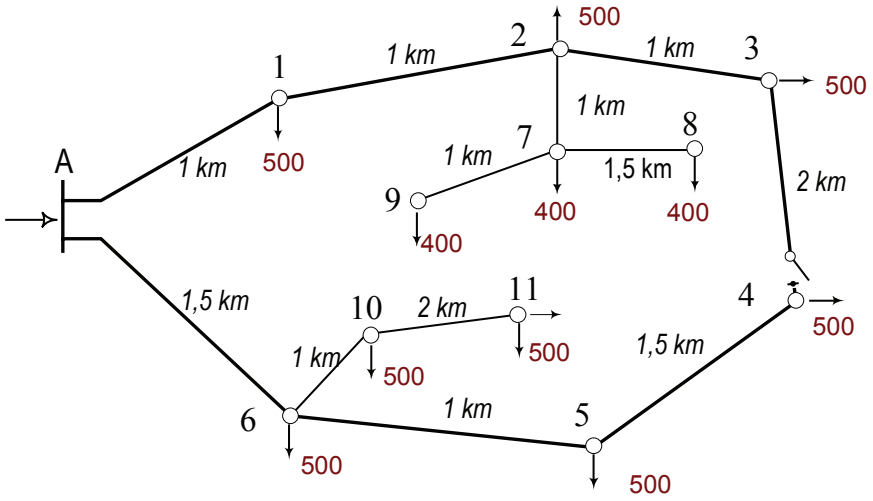
Пример 4

На сликата се прикажани два полупрстена од една 10 kV кабелска градска мрежа. Тие напојуваат вкупно $n = 11$ трансформаторски станици 10/0,4 kV со идентични параметри. Познати се нивните оптоварувања на среднонапонската страна и тие, изразени во kW, се прикажани на самата слика. Факторот на моќност на сите потрошувачи е еднаков и изнесува $\cos\varphi = 0,9$. Напонот во напојниот јазел изнесува U_{A} = 10,3 kV. Сите секции од мрежата се кабли од типот XHE 49 A 3×1×150, 6/10 kV за коишто е позната надолжната импеданција $\underline{z}_1 = (0,208 + j0,092)\ \Omega/\mathrm{km}$.



За прикажаниот режим на работа да се пресметаат приближните вредности на моќностите во гранките и напоните во јазлите од мрежата.

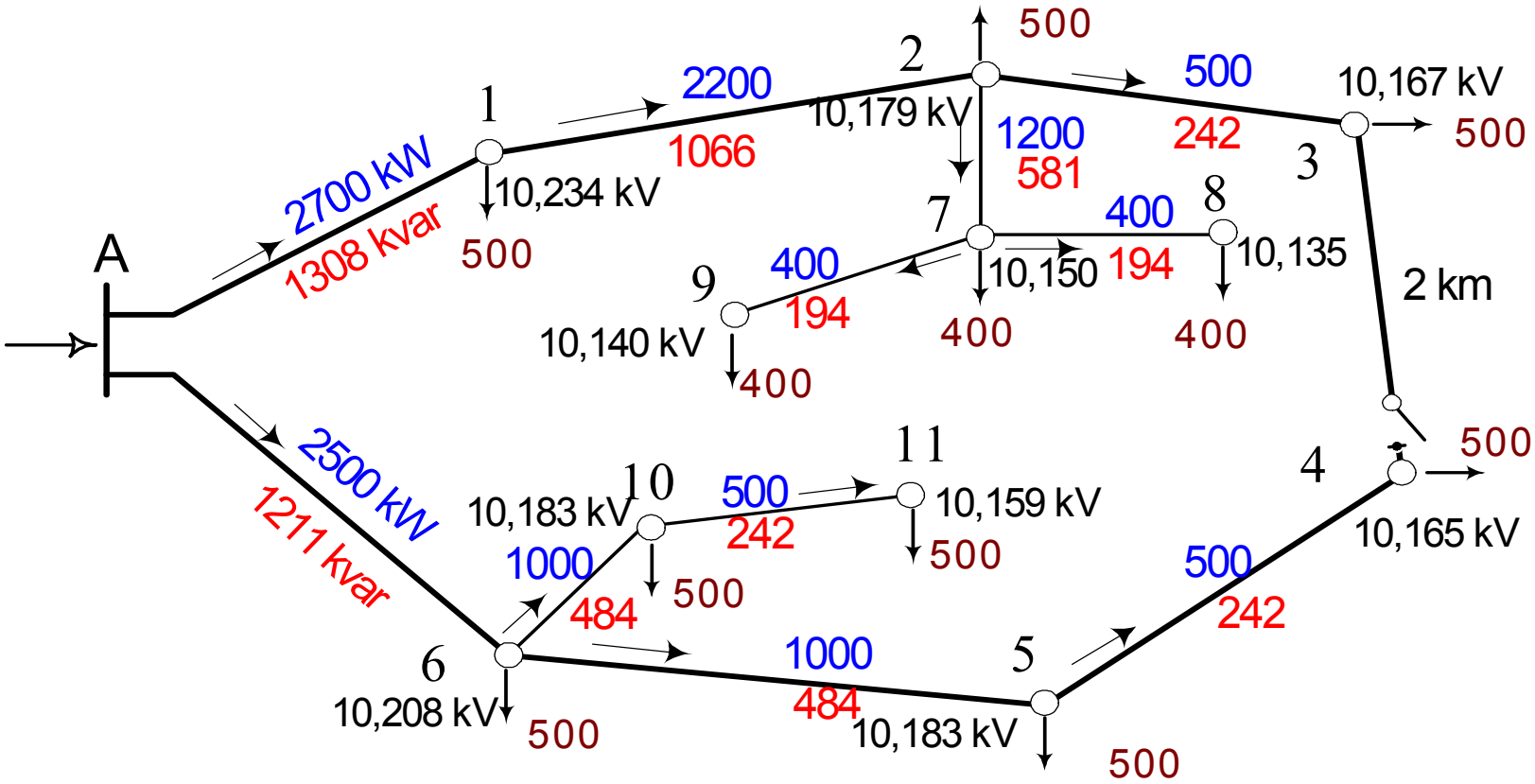
Пример 4 – текови на моќности



$$P_{\Sigma 1} = P_1 + P_2 + P_3 + P_7 + P_8 + P_9;$$
$$P_{\Sigma 1} = 500 + 500 + 500 + 400 + 400 + 400 = 2700\ \mathrm{kW};$$
$$Q_{\Sigma 1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_7 + Q_8 + Q_9;$$
$$Q_{\Sigma 1} = 242 + 242 + 242 + 194 + 194 + 194 = 1308\ \mathrm{kvar}.$$

$$P_{\Sigma 2} = P_2 + P_3 + P_7 + P_8 + P_9 = 500 + 500 + 400 + 400 + 400 = 2200\ \mathrm{kW},$$
$$Q_{\Sigma 2} = Q_2 + Q_3 + Q_7 + Q_8 + Q_9 = 242 + 242 + 194 + 194 + 194 = 1066\ \mathrm{kvar},$$
$$P_{\Sigma 2} = P_{\Sigma 1} - P_1 = 2700 - 500 = 2200\ \mathrm{kW},$$
$$Q_{\Sigma 2} = Q_{\Sigma 1} - Q_1 = 1308 - 242 = 1066\ \mathrm{kvar}.$$

Пример 4 – текови на моќности



Пример 4 – напони

$$\Delta U_1 = \frac{P_{\Sigma 1} R_1 + Q_{\Sigma 1} X_1}{U_{\mathrm{A}}} = \frac{2700 \cdot 0,208 + 1308 \cdot 0,092}{10,3} = 0,066\,\mathrm{kV};$$

$$U_1 = U_{\mathrm{A}} - \Delta U_1 = 10,3 - 0,066 = 10,234\,\mathrm{kV}.$$

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

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

Пример 4 – резултати

Делница	$P_{\Sigma i}$ (kW)	$Q_{\Sigma i}$ (kvar)	ΔU_i (kV)	U_i (kV)	ΔP_i (kW)	ΔQ_i (kvar)
A – 1	2700	1308	0,066	10,234	17,876	7,907
1 – 2	2200	1066	0,054	10,180	11,996	5,306
2 – 3	500	242	0,012	10,167	0,621	0,275
3 – 4	0	0	0	10,167	0	0
2 – 7	1200	581	0,030	10,150	3,598	1,591
7 – 8	400	194	0,015	10,135	0,603	0,267
7 – 9	400	194	0,010	10,140	0,401	0,177
A – 6	2500	1211	0,092	10,208	23,104	10,219
6 – 5	1000	484	0,025	10,183	2,476	1,095
5 – 4	500	242	0,019	10,165	0,932	0,412
6 – 10	1000	484	0,025	10,183	2,476	1,095
10 – 11	500	242	0,025	10,158	1,244	0,550

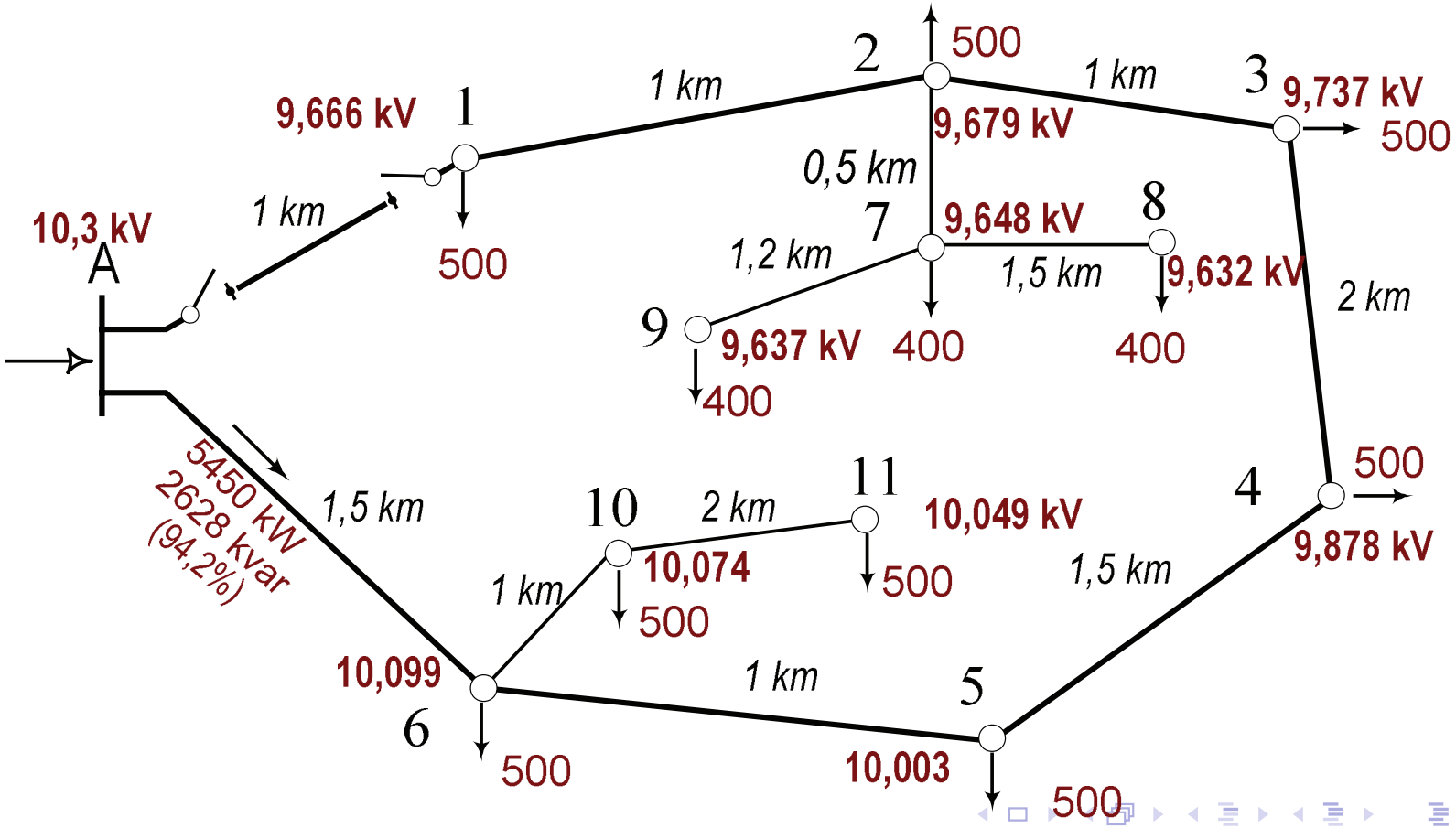
Загубата на напон во мрежата е разлика на ефективните вредности на напонот во точката А и напонот во точката со најнизок напон (точка бр. 8).

$$\Delta U = U_{\mathrm{A}} - U_8 = 10,3 - 10,135 = 0,165\,\mathrm{kV}\ (1,65\%).$$

$$\Delta P_{\Sigma} = 65,85\,\mathrm{kW}$$

Пример 5

За мрежата од примерот 4 да се утврди колкави ќе бидат загубите на напон и моќност за најнеповолниот режим на работа, кога е испадната секцијата „А-1“. Дали таквиот режим е прифатлив од аспект на загуба на напон во мрежата и од аспект на термичко оптоварување на секцијата „А-6“ како најоптоварена. Дозволените загуби на напон во хавариски режими изнесува ΔU_{doz} = 10%, додека најголемото дозволено струјно оптоварување на кабелот изнесува I_{d} = 360 А.

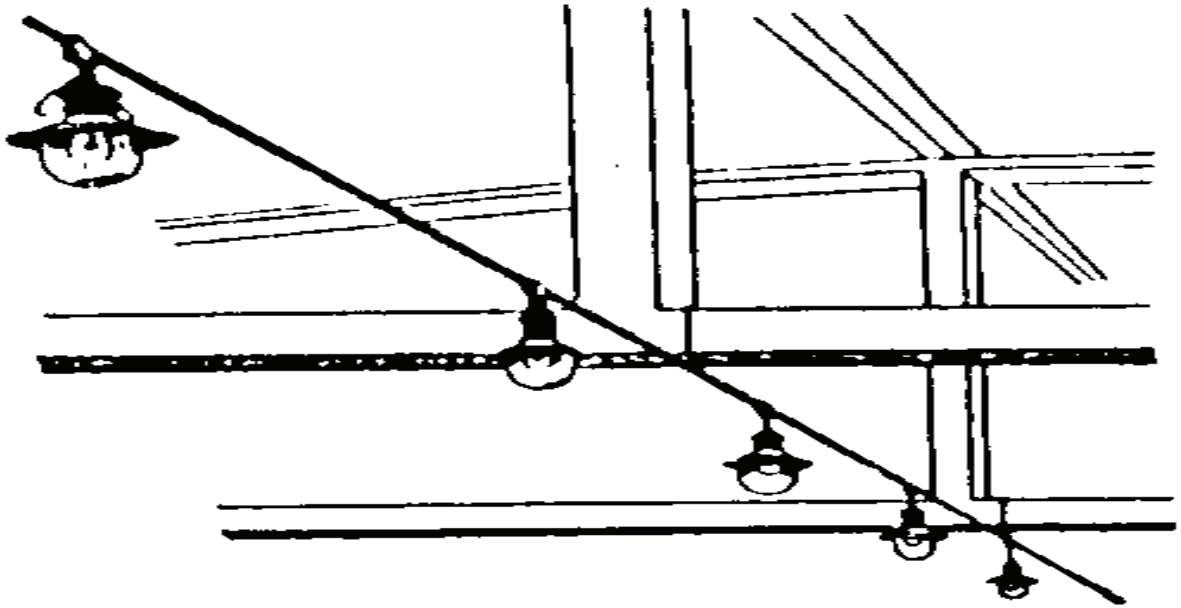


Пример 5 – резултати

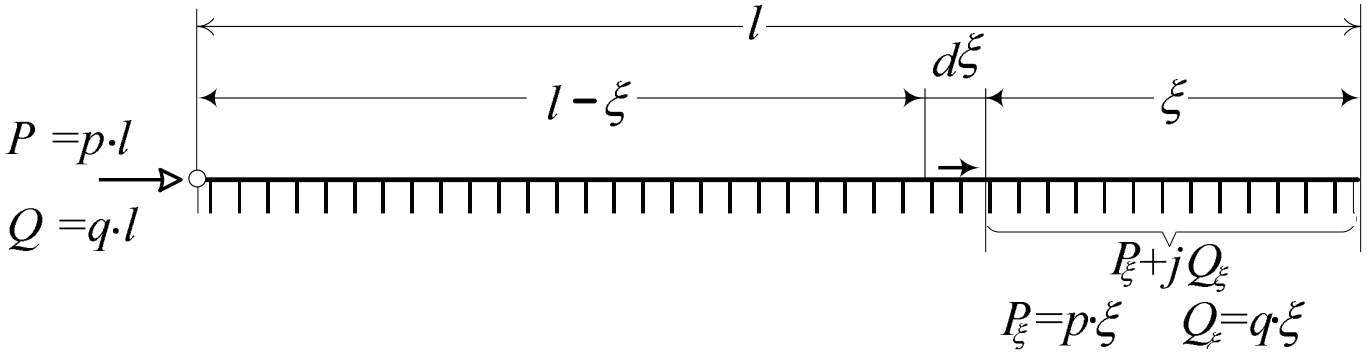
- привидна моќност во првата, најоптоварена делница „А-6“: $(5,45 + j2,63)$ MVA;
- струја во најоптоварената делница I_{A-6} = 339 A (94,2% од дозволената I_{d});
- вкупни загуби на моќност во мрежата $\Delta \underline{S}_{\Sigma} = (250 + j110)$ kVA;
- загуба на напон во мрежата: $\Delta U = U_A - U_8 = 10,3 - 9,632 = 0,668$ kV (6,8%).

Мрежа со континуирано оптоварување

- Во некои случаи, на пример при проектирањето на мрежа на надворешно осветление на град, село, фабричка хала и слично, оптоварувањата на водовите се претставуваат рамномерно распределени по нивната должина.
- Така се постапува бидејќи доколку во пресметките би се зела предвид секоја светилка одделно, тогаш пресметувањето би било премногу комплицирано, а надомест за тоа би било малото зголемување на точноста на резултатите.



Мрежа со континуирано оптоварување

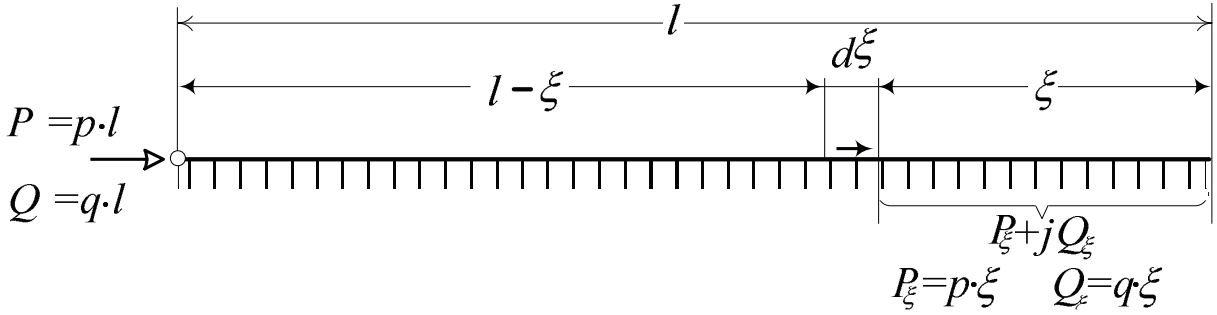


$$d(\Delta U) = \frac{P_\xi \cdot r \cdot d\xi}{U_\mathrm{n}} + \frac{Q_\xi \cdot x \cdot d\xi}{U_\mathrm{n}} = \frac{(p \cdot \xi) \cdot r \cdot d\xi}{U_\mathrm{n}} + \frac{(q \cdot \xi) \cdot x \cdot d\xi}{U_\mathrm{n}},$$

$$\Delta U = \int_0^l d(\Delta U) = \frac{p \cdot r}{U_\mathrm{n}} \cdot \int_0^l \xi \cdot d\xi + \frac{q \cdot x}{U_\mathrm{n}} \cdot \int_0^l \xi \cdot d\xi = \frac{p \cdot r \cdot l^2}{2\,U_\mathrm{n}} + \frac{q \cdot x \cdot l^2}{2\,U_\mathrm{n}}.$$

$$\Delta U = \frac{1}{2} \cdot \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_\mathrm{n}}.$$

Мрежа со континуирано оптоварување



$$d(\Delta P) = 3 \cdot r \cdot d\xi \cdot I_\xi^2 = r \cdot d\xi \cdot \frac{P_\xi^2 + Q_\xi^2}{U_\mathrm{n}^2} =$$

$$= r \cdot d\xi \cdot \frac{p^2 \cdot \xi^2 + q^2 \cdot \xi^2}{U_\mathrm{n}^2} = \frac{p^2 + q^2}{U_\mathrm{n}^2} \cdot r \cdot \xi^2 \cdot d\xi,$$

$$\Delta P = \int_0^l d(\Delta P) = \frac{p^2 + q^2}{U_\mathrm{n}^2} \cdot r \cdot \int_0^l \xi^2 \cdot d\xi = \frac{p^2 + q^2}{U_\mathrm{n}^2} \cdot r \cdot \frac{l^3}{3},$$

$$\Delta P = \frac{1}{3} \cdot \frac{P^2 + Q^2}{U_\mathrm{n}^2} \cdot R = \frac{1}{3} \cdot \Delta P_{\text{конц}}.$$

$$\Delta Q = \frac{1}{3} \cdot \frac{P^2 + Q^2}{U_\mathrm{n}^2} \cdot X = \frac{1}{3} \cdot \Delta Q_{\text{конц}}.$$

Пример 6

На сликата е прикажан надземен извод од една НН дистрибутивна мрежа. Изводот напојува вкупно 22 индивидуални потрошувачи (селски домаќинства). Главната магистрала на мрежата, долга $l = 1065\ \mathrm{m}$, е изведена со спроводници Al 35 mm^2 за коишто е позната импеданцијата по единица должина $\underline{z} = (0,90 + j0,35)\ \Omega/\mathrm{km}$, додека приклучните водови до поедините потрошувачи се изведени со самоносечки кабли (СКС) 4×16 Al со подолжна импеданија $\underline{z}_1 = (2,0 + j0,10)\ \Omega/\mathrm{km}$, кои со оглед на своите релативно мали должини може да се испуштат од анализите.

Со помош на моделот за вод со континуирано распределен товар да се процени загубата на напон и загубите на моќност во мрежата. Потоа, со детални пресметки да се добие уточнетата вредност за овие загуби и да се оцени големината на грешката што ја дава идеализираниот модел на магистралниот вод. Просечната моќност по едно домаќинство во режимот на максималното оптоварување изнесува $P_1 = 2\ \mathrm{kW}$ при фактор на моќност $\cos\varphi = 0,95\ (Q_1 = P_1 \cdot \mathrm{tg}\varphi = 0,657\ \mathrm{kvar})$.

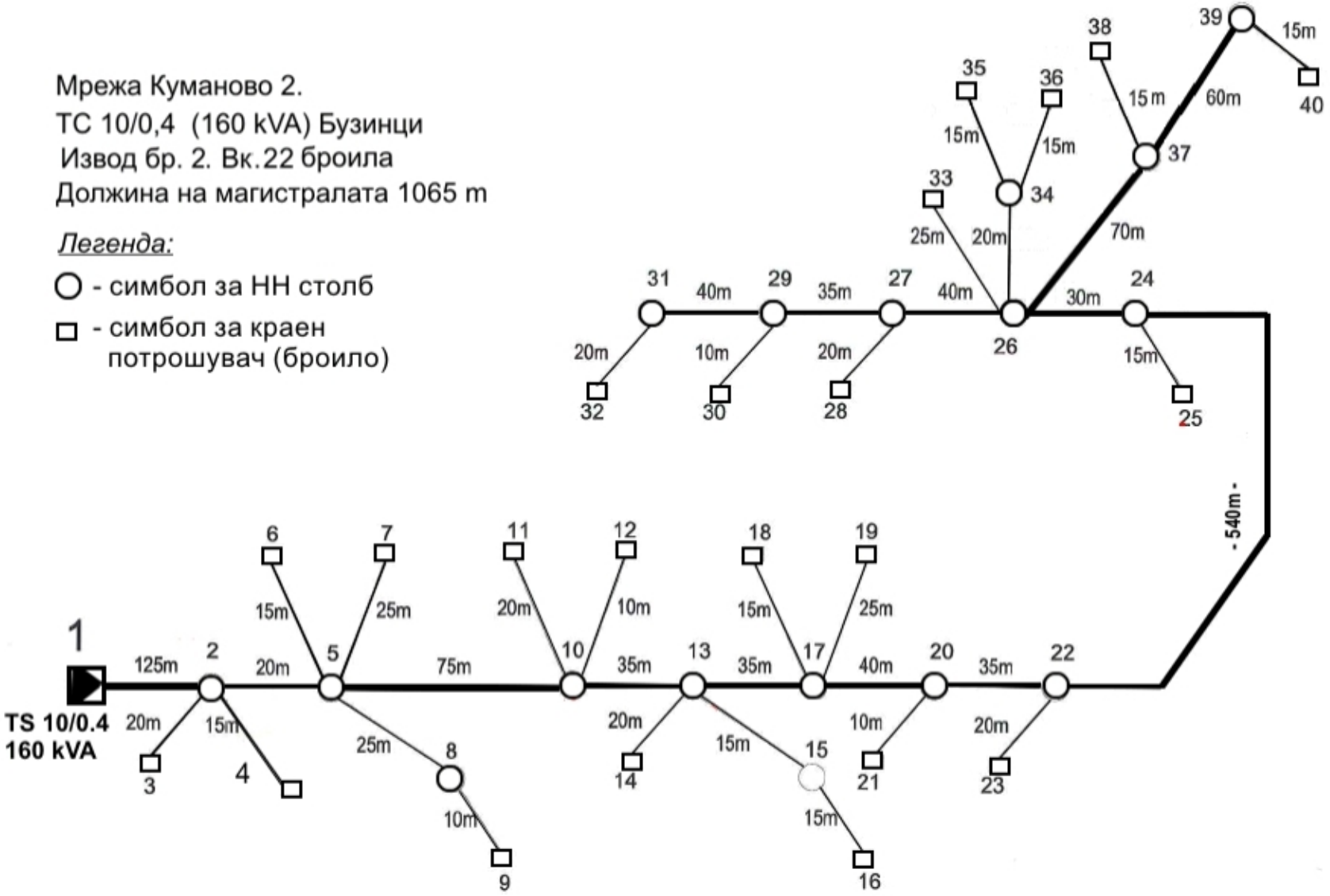
Пример 6

Мрежа Куманово 2.
ТС 10/0,4 (160 kVA) Бузинци
Извод бр. 2. Вк.22 броила
Должина на магистралата 1065 m

Легенда:

○ - симбол за НН столб

□ - симбол за краен потрошувач (броило)



Пример 6

$$\underline{Z} = (R + jX) = \underline{z} \cdot l = (0,90 + j0,35) \cdot 1,065 = (0,969 + j0,373)\,\Omega.$$

$$P_\Sigma = n \cdot P_1 = 22 \cdot 2 = 44\,\mathrm{kW};$$
$$Q_\Sigma = n \cdot Q_1 = 22 \cdot 0,657 = 14,5\,\mathrm{kvar}.$$

$$\Delta U = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_\Sigma \cdot R + Q_\Sigma \cdot X}{U_\mathrm{n}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{44 \cdot 0,969 + 14,5 \cdot 0,373}{0,4} = 60\,\mathrm{V};$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_\mathrm{n}} \cdot 100 = \frac{60}{400} \cdot 100 = 15\%.$$

$$\Delta P = \frac{1}{3} \cdot \frac{{P_\Sigma}^2 \cdot R}{U_\mathrm{n}^2 \cdot \cos^2\varphi} = \frac{1}{3} \cdot \frac{44^2 \cdot 0,969}{0,4^2 \cdot 0,95^2} = 4431\,\mathrm{W} = 4,431\,\mathrm{kW};$$

$$\Delta P\% = \frac{4,431}{44} \cdot 100 = 9,8\%.$$

$$\Delta Q = \frac{1}{3} \cdot \frac{{P_\Sigma}^2 \cdot X}{U_\mathrm{n}^2 \cdot \cos^2\varphi} = \frac{1}{3} \cdot \frac{44^2 \cdot 0,373}{0,4^2 \cdot 0,95^2} = 1667\,\mathrm{var} = 1,667\,\mathrm{kvar};$$

$$\Delta Q\% = \frac{1,667}{14,5} \cdot 100 = 11,5\%.$$

Пример 6

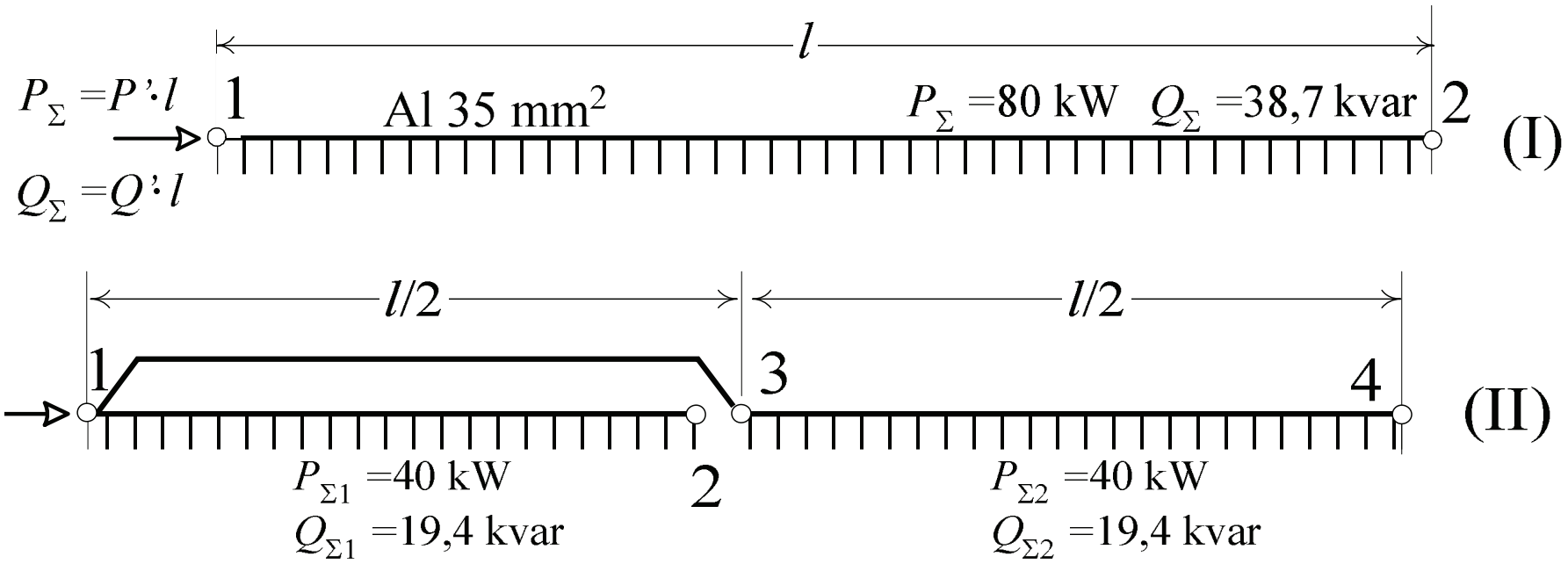
Со детално моделирање на изводот, со вистинските должини на неговите делници и со вистинската просторна распределба на потрошувачите со помош на програмата LFZ.xls при $U_1 = 420\ \mathrm{V}$ се добива

$$\Delta U = 63,6\ \mathrm{V}; (\Delta U\% = 15,9\%).$$
$$\Delta P = 4,61\ \mathrm{kW}; (\Delta P\% = 10,5\%).$$
$$\Delta Q = 1,79\ \mathrm{kvar}; (\Delta Q\% = 12,3\%).$$

Со релациите за вод со континуиран товар се добиваат доста добри проценки на загубите на напон и моќност во НН дистрибутивни мрежи. Затоа тие често се користат за брзи проценки на загубите во мрежата.

Пример 7

НН надземен извод со должина l = 300 m и спроводници од Е-Al јаже со пресек 35 mm^2, со $\underline{z} = (0,90 + j0,33)\ \Omega/\mathrm{km}$, напојува група потрошувачи со вкупна моќност во режимот на максимално оптоварување $P_\Sigma = 80\ \mathrm{kW}$; $\cos\varphi = 0,9$. Потрошувачите може да се третираат како рамномерно распределен товар. Поради големата должина на изводот и растот на конзумот, загубите на напон и моќност во мрежата се веќе неприфатливо високи. Се размислува за негово појачување на тој начин што до средината на изводот, на истите столбови, ќе се пушти уште една делница со ист пресек како и постојниот вод којашто ќе ја напојува втората половина од изводот.



Да се пресмета колку пати ќе се намалат загубите ΔU и ΔP, т.е. колкав ќе биде односот $\Delta U_{(\mathrm{II})}/\Delta U_{(\mathrm{I})}$ и $\Delta P_{(\mathrm{II})}/\Delta P_{(\mathrm{I})}$ помеѓу загубите после и пред реконструкцијата на изводот.

Пример 7 – постојна состојба

$$R = r \cdot l = 0,9 \cdot 0,3 = 0,27\,\Omega;$$

$$X = x \cdot l = 0,33 \cdot 0,3 = 0,1\,\Omega;$$

$$P_\Sigma = 80\,\mathrm{kW}; \quad Q_\Sigma = P_\Sigma \cdot \mathrm{tg}\varphi = 38,7\,\mathrm{kvar};$$

$$\Delta U_{(\mathrm{I})} = (U_1 - U_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_\Sigma \cdot R + Q_\Sigma \cdot X}{U_\mathrm{n}} = 32\,\mathrm{V};$$

$$\Delta P_{(\mathrm{I})} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_\Sigma^2 \cdot R}{U_\mathrm{n}^2 \cdot \cos^2\varphi} = 4,44\,\mathrm{kW}.$$

Пример 7– нова состојба

$$\Delta U_{(\mathrm{II})} = (U_1 - U_3) + (U_3 - U_4) = \Delta U_{1-3} + \Delta U_{3-4};$$

$$\Delta U_{1-3} = \frac{1}{U_{\mathrm{n}}} \cdot \left(\frac{P_\Sigma}{2} \cdot \frac{R}{2} + \frac{Q_\Sigma}{2} \cdot \frac{X}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \Delta U_{(\mathrm{I})};$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{U_{\mathrm{n}}} \cdot \left(\frac{P_\Sigma}{2} \cdot \frac{R}{2} + \frac{Q_\Sigma}{2} \cdot \frac{X}{2} \right) = \frac{1}{4} \cdot \Delta U_{(\mathrm{I})};$$

$$\Delta U_{(\mathrm{II})} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) \cdot \Delta U_{(\mathrm{I})} = \frac{3}{4} \cdot \Delta U_{(\mathrm{I})};$$

$$\frac{\Delta U_{(\mathrm{II})}}{\Delta \mathrm{U}_{(\mathrm{I})}} = \frac{3}{4} = 0,75;$$

Пример 7– нова состојба

$$\Delta P_{(\mathrm{II})} = \Delta P_{1-2} + \Delta P_{1-3} + \Delta P_{3-4};$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(R/2)}{U_{\mathrm{n}}^2} \left(\frac{P_\Sigma/2}{\cos\varphi} \right)^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{P_\Sigma^2 \cdot R}{U_{\mathrm{n}}^2 \cdot \cos^2\varphi} = \frac{1}{8} \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})};$$

$$\Delta P_{1-3} = \frac{(R/2)}{U_{\mathrm{n}}^2} \left(\frac{P_\Sigma/2}{\cos\varphi} \right)^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{P_\Sigma^2 \cdot R}{U_{\mathrm{n}}^2 \cdot \cos^2\varphi} = \frac{3}{8} \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})};$$

$$\Delta P_{3-4} = \Delta P_{1-2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(R/2)}{U_{\mathrm{n}}^2} \left(\frac{P_\Sigma/2}{\cos\varphi} \right)^2 = \frac{1}{8} \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})};$$

$$\Delta P_{(\mathrm{II})} = \left(\frac{1}{8} + \frac{3}{8} + \frac{1}{8} \right) \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})} = \frac{5}{8} \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})} = 0,625 \cdot \Delta P_{(\mathrm{I})};$$

$$\frac{\Delta P_{(\mathrm{II})}}{\Delta \mathrm{P}_{(\mathrm{I})}} = \frac{5}{8} = 0,625.$$

Пример 7 – резултати

$$\Delta U_{(\mathrm{II})} = 0,75 \cdot \Delta U_{(\mathrm{I})} = 0,75 \cdot 32 = 24\ \mathrm{V}\ (6\%);$$
$$\Delta P_{(\mathrm{II})} = 0,625 \cdot \Delta \mathrm{P}_{(\mathrm{I})} = 2,78\ \mathrm{kW}.$$

Со секционирањето на постојниот вод на половина и со изградбата на новата делница, загубата на напон ќе се намали за 25% додека загубата на моќност (и на енергија) ќе се намали за 37,5%.

Забелешка: Резултатите добиени за односите $\Delta U_{(II)}/\Delta U_{(I)}$ и $\Delta P_{(II)}/\Delta P_{(I)}$ се општи и не зависат ниту од параметрите на мрежата (должина, пресек и сл.) ниту пак од оптоварувањето. Тоа значи дека со ваков зафат во една мрежа со конфигурација слична на онаа од сликата секогаш ќе се добива истото релативно намалување на загубите ΔU и ΔP.