Problema 1.1 Să se determine cum se va schimba rezistența activă a unui conductor de cupru cu secțiunea transversală 70 mm^2 și lungimea 8 km, dacă temperatura minimă a aerului este -25˚C, cea maximă +35˚C.

Rezolvare: Se calculează rezistența conductorului la temperatura +20˚C aplicând relația:

$$R = \rho_{Cu} \cdot \frac{l}{s} = 17{,}24 \frac{8}{70} = 1{,}97\,\Omega.$$

Rezistența activă a conductorului la temperatura -25˚C și +35˚C se va determina cu relația:

$$R_{0(-25)} = R \cdot \left[1 + \alpha_{tCu} \cdot (t - 20)\right] = 1{,}97 \cdot \left[1 + 0{,}0043 \cdot (-25 - 20)\right] = 1{,}59\,\Omega;$$

$$R_{0(+35)} = 1{,}97 \cdot \left[1 + 0{,}0043 \cdot (35 - 20)\right] = 2{,}09\,\Omega.$$

Respectiv, la temperatura -25˚C rezistența activă a conductorului se va micșora cu 19 %, dar la temperatura +35˚C se va mări cu 6 % în raport cu rezistența activă a conductorului la temperatura +20˚C.

Problema 1.2 Un consumator de 1000 kW ce se află la distanța de 5 km de la stația electrică coborâtoare este alimentat printr-o linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea nominală 10 kV, la un cosφ = 0,85. Linia este echipată cu conductoare din oțel ПМС-50, fazele sunt dispuse în vârful unui triunghi echilateral pe capul stâlpului cu distanța de 1 m între ele. Se cere să determine parametrii pasivi ai schemei echivalente.

Rezolvare: Schema echivalentă pentru așa o linie este prezentată în Fig.1.3,d.

Pentru a determina parametrii pasivi ai liniei cu conductoare din oțel este necesar de determinat curentul ce parcurge prin linie:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5 \cdot 0{,}85} = 64{,}76 \text{ A}.$$

Pentru secțiunea indicată în funcție de curentul ce trece prin linie, din normele tehnice se determină rezistența specifică r_0= 3,73 Ω/km și reactanța specifică x_0'' = 1,14 Ω/km.

Rezistența totală a liniei:

$$R_l = r_0 \cdot l = 3{,}73 \cdot 5 = 18{,}65\,\Omega.$$

Reactanța totală a liniei:

$$X_l = l \cdot (x_0' + x_0'') = 5 \cdot \left(0{,}1445 \cdot \lg\frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} + 1{,}14\right) = 7{,}432\,\Omega.$$

Problema 1.3 O linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 10 kV este echipată cu conductoare ПМС – 35 dispuse pe stîlpi de beton cu coronamentul în triunghi. LEA are lungimea de 3 km și distanța medie geometrică între conductoare este D_{mg} = 1 m, această linie este parcursă de un curent de sarcină I_s= 15 A. Să se determine parametrii schemei echivalente?

Rezolvare: Schema echivalentă va fi ca în figura 1.3,d.

În baza curentului de sarcină I_s, din literatura tehnică, se determină rezistența specifică r_0= 4,02 Ω/km și reactanța specifică x_0'' = 0,75 Ω/km.

Rezistența activă a liniei se determină:

$$R_l = r_0 \cdot l = 4{,}02 \cdot 3 = 12{,}06\,\Omega.$$

Reactanța inductivă poate fi determinată:

$$X_l = l \cdot (x_0' + x_0'') = l \cdot \left(0{,}1445 \cdot \lg\frac{D_{mg}}{r_{ech}} + x_0''\right) = 3 \cdot \left(0{,}1445 \cdot \lg\frac{1}{3{,}34 \cdot 10^{-3}} + 0{,}75\right) = 3{,}324\,\Omega;$$

$$r_{ech} = \frac{F}{\pi} = \frac{35}{3{,}14} = 3{,}34 \text{ mm}.$$

Problema 1.4 O LEA simplu circuit este echipată cu conductoare ПМС-35, distanța medie geometrică între conductoare este D_{mg} = 1 m, această linie are o impedanță Z_l = 28 Ω și este parcursă de un curent de sarcină I_s = 20 A. Să se determine lungimea acestei LEA?

Rezolvare: Se cunoaște expresia:

$$Z_l = z_0 \cdot l \Rightarrow l = \frac{Z_l}{z_0}; \; z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}.$$

Pentru a determina lungimea liniei, trebuie de determinat impedanța specifică a liniei.
r_0= 4,4 Ω/km, x_0'' = 1,04 Ω/km.

$$x_0 = x_0' + x_0'' = 0{,}358 + 1{,}04 = 1{,}362\,\frac{\Omega}{km}; \; z_0 = \sqrt{(4{,}4)^2 + (1{,}362)^2} = 4{,}61\,\frac{\Omega}{km};$$

$$l = \frac{28}{4{,}61} = 6{,}07 \text{ km}.$$

Problema 1.5 O linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 35 kV este echipată cu conductoare Al-Ol-35/6,2 (AC-35/6,2) dispuse pe stâlpi de beton cu coronamentul în triunghi, distanța între faze este D = 3,5 m, linia electrică are lungimea de 5 km. Să se determine parametrii pasivi a acestei linii?

Rezolvare: Deoarece avem U_{nom} = 35 kV se utilizează schema echivalentă din figura 1.3,d..

Determinarea rezistenței active R_l – ?

Rezistența activă poate fi determinată cu ajutorul expresiilor (1.7) și (1.3).

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{28{,}9}{36{,}9} = 0{,}783\,\frac{\Omega}{km};$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0{,}783 \cdot 5 = 3{,}915\,\Omega.$$

Reactanța inductivă la fel poate fi determinată cu ajutorul expresiilor (1.9) și (1.16).

$$x_0 = 0{,}1445\lg\frac{D_{m.g}}{r} + \frac{0{,}0157 \cdot \mu}{n} = 0{,}1445 \cdot \lg\frac{3{,}5}{4{,}2 \cdot 10^{-3}} + 0{,}0157 \cdot 1 = 0{,}438\,\frac{\Omega}{km};$$

$$D_{m.g} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} = \sqrt[3]{D^3} = D = 3{,}5 \text{ m};$$

$$X_l = x_0 \cdot l = 0{,}438 \cdot 5 = 2{,}19\,\Omega.$$

Problema 1.6 Se consideră o LEA trifazată simplu circuit cu tensiunea 110 kV cu lungimea l = 100 km, echipată cu conductoare Al–Ol–120/19 (AC–120/19) dispuse pe stâlpi de beton cu modul de dispunere a conductoarelor orizontal. Distanța între conductoare este de 4 m. Se cere:

1. de alcătuit schema echivalentă;
2. de determinat rezistența activă R_l a liniei;
3. de determinat reactanța inductivă X_l a liniei;
4. de determinat susceptanța capacitivă B_l a liniei.

Rezolvare:

1. Deoarece avem $U_{nom} = 110$ kV utilizăm schema echivalentă în "π" (fig. 1.3,b).
2. Pentru determinarea rezistenței active a liniei R_l se utilizează formulele (1.3) și (1.7).

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{28{,}9}{118} = 0{,}245\,\frac{\Omega}{km}; \; R_l = r_0 \cdot l = 0{,}245 \cdot 100 = 24{,}5\,\Omega.$$

3. Reactanța inductivă X_l se determină utilizând expresiile (1.9) – (1.16).

$$x_0 = 0{,}1445\lg\frac{D_{m.g}}{r} + \frac{0{,}0157 \cdot \mu}{n} = 0{,}1445 \cdot \lg\frac{5{,}04}{7{,}6 \cdot 10^{-3}} + 0{,}0157 \cdot 1 = 0{,}423\,\frac{\Omega}{km};$$

$$D_{m.g} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} = \sqrt[3]{4 \cdot 8 \cdot 4} = D = 5{,}04 \text{ m};$$

$$D = D_{AB} = D_{BC} = 4 \text{ m}; \; D_{AC} = D_{AB} + D_{BC} = 4+4=8 \text{ m};$$

$$X_l = x_0 \cdot l = 0{,}423 \cdot 100 = 42{,}3\,\Omega.$$

1. Iar susceptanța capacitivă B_l se determină cu relațiile (1.22) și (1.23).

$$b_0=\frac{7{,}56}{\lg\frac{D_{m.g}}{r}}\cdot 10^{-6}=\frac{7{,}56}{\lg\frac{5{,}04}{7{,}6\cdot 10^{-3}}}\cdot 10^{-6}=2{,}679\cdot 10^{-6}\ \frac{S}{km};$$

$$B_l=2{,}679\cdot 10^{-6}\cdot 100=2{,}679\cdot 10^{-4}\ S.$$

Parametrii pasivi ai liniilor electrice pot fi găsiţi şi în literatura tehnică în diferite anexe.

Problema 1.7 Un consumator este racordat în nodul „i” , el absoarbe de la reţea o putere $S_i = 20 + j\cdot 9$ MVA, tensiunea în nodul racordat este $U_i = 110 – j\cdot 11$ kV. De determinat:

1. $I'_i,\ I''_i,\ I_{a.i},\ I_{r.i}$;
2. de construit dependenţele:
   - $R_{si} = f(\cos\varphi)$;
   - $X_{si} = f(\cos\varphi)$;
   - $|Z_{si}| = f(\cos\varphi)$.

Rezolvare:

1. Determinarea curenţilor.

$$\overset{*}{\underline{S}}=\sqrt{3}\cdot\overset{*}{\underline{U}}\cdot\underline{I}\quad\Rightarrow\quad I=\frac{\overset{*}{S}}{\sqrt{3}\cdot\overset{*}{\underline{U}}};$$

$$I_i=\frac{\overset{*}{S_i}}{\sqrt{3}\cdot\overset{*}{\underline{U}_i}}=\frac{P_i - jQ_i}{\sqrt{3}\cdot(U'_i-jU''_i)}=\frac{(P_i - jQ_i)\cdot(U'_i+jU'')}{(U'_i-jU''_i)\cdot(U'_i+jU'')}=\frac{P_i\cdot U'_i+jP_i\cdot U''_i-jQ_i\cdot U'_i+Q_i\cdot U''_i}{\sqrt{3}\cdot\left[(U'_i)^2+(U''_i)^2\right]}=$$

$$\frac{P_i\cdot U'_i+Q_i\cdot U''_i}{\sqrt{3}\cdot\left[(U'_i)^2+(U''_i)^2\right]}+j\frac{P_i\cdot U''_i-Q_i\cdot U'}{\sqrt{3}\cdot\left[(U'_i)^2+(U''_i)^2\right]}=I'_i+jI''_i;$$

$$I'_i=\frac{P_i\cdot U'_i+Q_i\cdot U''_i}{\sqrt{3}\cdot\left[(U'_i)^2+(U''_i)^2\right]}$$ – componenta reală;

$$I''_i=\frac{P_i\cdot U''_i-Q_i\cdot U'}{\sqrt{3}\cdot\left[(U'_i)^2+(U''_i)^2\right]}$$ – componenta imaginară.

$$I'_i=\frac{20\cdot 110+9\cdot(-11)}{\sqrt{3}\cdot\left[(110)^2+(11)^2\right]}=0{,}099\ \text{kA};$$

$$I''_i=\frac{20\cdot(-11)-9\cdot 110}{\sqrt{3}\cdot\left[(110)^2+(11)^2\right]}=-0{,}057\ \text{kA};$$

$I_i = 0{,}099 – j\cdot 0{,}054$ kA.

$I_{ai} = I_i\cdot\cos\varphi$; $I_{ri} = I_i\cdot\sin\varphi$;

$$P_i=\sqrt{3}\cdot U_i\cdot I_i\cdot\cos\varphi=\sqrt{3}\cdot U_i\cdot I_{ai}\quad\Rightarrow\quad I_{ai}=\frac{P_i}{\sqrt{3}\cdot U_i};$$

$$I_{ai}=\frac{20}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(110)^2+(11)^2}}=0{,}104\ \text{kA};$$

$$Q_i=\sqrt{3}\cdot U_i\cdot I_i\cdot\sin\varphi=\sqrt{3}\cdot U_i\cdot I_{ri}\quad\Rightarrow\quad I_{ri}=\frac{Q_i}{\sqrt{3}\cdot U_i};$$

$$I_{ri}=\frac{9}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(110)^2+(11)^2}}=0{,}047\ \text{kA}.$$

2. Construcţia dependenţelor.

$$\underline{Z}_{si}=\frac{U_i^2}{\overset{*}{S_i}}=\frac{U_i^2}{|S_i|\cdot(\cos\varphi-j\sin\varphi)}=\frac{U_i^2\cdot(\cos\varphi+j\sin\varphi)}{|S_i|\cdot(\cos\varphi-j\sin\varphi)\cdot(\cos\varphi+j\sin\varphi)};$$

$$(\cos\varphi-j\sin\varphi)(\cos\varphi+j\sin\varphi)=1;$$

$$S_i=\frac{P_i}{\cos\varphi};\quad \underline{Z}_{si}=\frac{U_i^2}{\frac{P_i}{\cos\varphi}}\cdot(\cos\varphi+j\sin\varphi)=\frac{U_i^2}{P_i}\cdot(\cos^2\varphi+j\cos\varphi\cdot\sin\varphi);$$

$$\underline{Z}_{si(*)}=\frac{\underline{Z}_{si}}{\underline{Z}_b};\qquad Z_b=\frac{U_i^2}{P_i};$$

$$\underline{Z}_{si(*)}=\frac{U_i^2\cdot(\cos^2\varphi+j\cos\varphi\cdot\sin\varphi)\cdot P_i}{P_i\cdot U_i}=\cos^2\varphi+j\cos\varphi\cdot\sin\varphi;$$

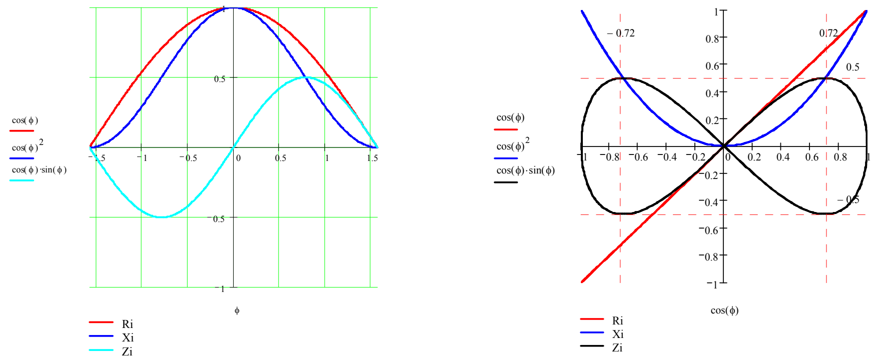
$R_i = \cos^2\varphi$; $R_i = f(\varphi)$ $[R_i = f(\cos\varphi)]$;

$X_i = \cos\varphi\cdot\sin\varphi$; $X_i = f(\varphi)$ $[X_i = f(\cos\varphi)]$;

$|Z_i|=\sqrt{R_i^2+X_i^2}$; $|Z_i| = f(\varphi)$ $[|Z_i| = f(\cos\varphi)]$.

$$|Z_i|=\sqrt{(\cos^2\varphi)^2+(\cos\varphi\cdot\sin\varphi)^2}=\cos\varphi\cdot\sqrt{\cos^2\varphi+\sin^2\varphi}=\cos\varphi.$$

Dependenţele sunt prezentate în figura 1.



a)   b)

Fig.1. Dependenţele rezistenţelor

Problema 1.8 La un post de transformare urban este instalat un transformator trifazat de putere de tipul **TM – 40/10/0,4**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestui transformator şi de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de paşaport) a acestui transformator şi anume: pentru **TM – 40/10/0,4:** $S_n = 0{,}04$ MVA; $U_{1n} = 10{,}5$ kV; $U_{2n} = 0{,}4$ kV; $u_{sc\%} = 4{,}7$ %; $\Delta P_{sc} = 1{,}28$ kW; $\Delta P_0 = 0{,}19$ kW; $I_{0\%} = 3{,}0$ %.

Rezistenţa activă a transformatorului se determină cu următoarea relaţie:

$$R_t=\Delta P_{sc}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n^2}\cdot 10^{-3}=1{,}28\cdot\frac{(10{,}5)^2}{(0{,}04)^2}\cdot 10^{-3}=88{,}2\,\Omega.$$

Reactanţa inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t=\frac{u_{sc(r)\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n}=\frac{3{,}44}{100}\cdot\frac{10{,}5^2}{0{,}04}=94{,}81\,\Omega;$$

$$u_{sc(r)\%}=\sqrt{u_{sc\%}^2-u_{sc(a)\%}^2}=\sqrt{4{,}7^2-3{,}2^2}=3{,}44\,\%;$$

$$u_{sc(a)\%}=R_t\cdot\frac{S_n}{U_{1n}^2}\cdot 100=88{,}2\cdot\frac{0{,}04}{10{,}5^2}\cdot 100=3{,}2\,\%.$$

Conductanţa activă a transformatoarelor se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{0,19}{(10,5)^2}\cdot 10^{-3} = 1,72\cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanța inductivă a transformatorului se determină cu relația:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{1,2}{10,5^2}\cdot 10^{-3} = 10,9\cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100}\cdot S_n = \frac{3,0}{100}\cdot 40 = 1,2 \text{ kvar}.$$

Pentru a estima dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ se fac următoarele calcule (se consideră $u_{sc(a)\%} = 0$):

$$x_t = \frac{u_{sc\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{4,7}{100}\cdot\frac{10,5^2}{0,04} = 129,54\ \Omega;$$

Eroarea se determină cu expresia:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{x_t - X_t}{x_t}\cdot 100\% = \frac{129,54 - 94,81}{129,54}\cdot 100 = 26,8\%.$$

Din calcule se observă bine că la calculul reactanței a transformatorului trebuie de luat în considerație componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$, deoarece se obține $\varepsilon_{\%} = 26,8\%$.

<u>Problema 1.9</u> La un post de transformare al unei uzine este instalat un transformator trifazat de putere de următorul tip **TM – 1600/10/0,4**. Se cere să se determine parametrii schemei echivalente a acestui transformator și de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

<u>Rezolvare:</u> Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de pașaport) a acestui transformator și anume: pentru **TM – 1600/10/0,4:** $S_n = 1,6$ MVA; $U_{1n} = 10,5$ kV; $U_{2n} = 0,4$ kV; $u_{sc\%} = 5,5$ %; $\Delta P_{sc} = 18$ kW; $\Delta P_0 = 2,8$ kW; $I_{0\%} = 1,3$ %.

Rezistența activă a transformatorului se determină cu următoarea relație:

$$R_t = \Delta P_{sc}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n^2}\cdot 10^{-3} = 18\cdot\frac{(10,5)^2}{(1,6)^2}\cdot 10^{-3} = 0,78\,\Omega.$$

Reactanța inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc(r)\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{5,0}{100}\cdot\frac{10,5^2}{1,6} = 3,45\,\Omega;$$

$$u_{sc(r)\%} = \sqrt{u_{sc\%}^2 - u_{sc(a)\%}^2} = \sqrt{5,5^2 - 2,32^2} = 5,0\%;$$

$$u_{sc(a)\%} = R_t\cdot\frac{S_n}{U_{1n}^2}\cdot 100 = 0,78\cdot\frac{1,6}{10,5^2}\cdot 100 = 2,32\%.$$

Conductanța activă a transformatorului se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{2,8}{(10,5)^2}\cdot 10^{-3} = 25,4\cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanța inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{20,8}{10,5^2}\cdot 10^{-3} = 189\cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100}\cdot S_n = \frac{1,3}{100}\cdot 1600 = 20,8 \text{ kvar}.$$

Pentru a estima dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ se fac următoarele calcule (se consideră $u_{sc(a)\%} = 0$):

$$x_t = \frac{u_{sc\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{5,5}{100}\cdot\frac{10,5^2}{1,6} = 3,79\,\Omega;$$

$$\varepsilon_{\%} = \frac{x_t - X_t}{x_t}\cdot 100\% = \frac{3,79 - 3,45}{3,79}\cdot 100 = 8,97\%.$$

Din analiza rezultatelor calculelor se observă bine că la calculul reactanței a transformatorului trebuie de luat în considerație componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$, deoarece se obține $\varepsilon_{\%} = 26,8\%$.

<u>Problema 1.10</u> Stația principală coborâtoare (SPC) a unei uzine industriale este echipată cu două transformatoare trifazate de putere de tipul **TM – 630/35/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestui transformator și de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

<u>Rezolvare:</u> Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de pașaport) a acestui transformator și anume: pentru **TM – 630/35/10:** $S_n = 0,63$ MVA; $U_{1n} = 35$ kV; $U_{2n} = 11$ kV; $u_{sc\%} = 6,5$ %; $\Delta P_{sc} = 7,6$ kW; $\Delta P_0 = 1,6$ kW; $I_{0\%} = 2,0$ %.

Rezistența activă a transformatorului se determină cu următoarea relație:

$$R_t = \Delta P_{sc}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n^2}\cdot 10^{-3} = 7,6\cdot\frac{(35)^2}{(0,63)^2}\cdot 10^{-3} = 23,46\,\Omega.$$

Reactanța inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc(r)\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{6,39}{100}\cdot\frac{35^2}{0,63} = 124,25\ \Omega;$$

$$u_{sc(r)\%} = \sqrt{u_{sc\%}^2 - u_{sc(a)\%}^2} = \sqrt{6,5^2 - 1,21^2} = 6,39\%;$$

$$u_{sc(a)\%} = R_t\cdot\frac{S_n}{U_{1n}^2}\cdot 100 = 23,46\cdot\frac{0,63}{35^2}\cdot 100 = 1,21\%.$$

Conductanța activă a transformatoarelor se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{1,6}{(35)^2}\cdot 10^{-3} = 1,31\cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanța inductivă a transformatorului se determină cu relația:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2}\cdot 10^{-3} = \frac{12,6}{35^2}\cdot 10^{-3} = 10,3\cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100}\cdot S_n = \frac{2,0}{100}\cdot 630 = 12,6 \text{ kvar}.$$

Pentru a estima dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ se fac următoarele calcule (se consideră $u_{sc(a)\%} = 0$):

$$x_t = \frac{u_{sc\%}}{100}\cdot\frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{6,5}{100}\cdot\frac{35^2}{0,63} = 126,39\ \Omega;$$

Eroarea se determină cu expresia:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{x_t - X_t}{x_t}\cdot 100\% = \frac{126,39 - 124,25}{126,39}\cdot 100 = 1,69\%.$$

Din calcule se observă bine că la calculul reactanței a transformatorului trebuie de luat în considerație componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$, deoarece se obține $\varepsilon_{\%} = 1,69\%$, se recomandă de neglijat când $\varepsilon_{\%} < 1,0\%$.

<u>Problema 1.11</u> Să se determine parametrii schemei echivalente și de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit a transformatorului de tipul **ТДН –16000/35/10**.

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de paşaport) a acestui transformator şi anume: pentru **ТДН –16000/35/10:** $S_n = 16$ MVA; $U_{1n} = 36{,}75$ kV; $U_{2n} = 10{,}5$ kV; $u_{sc\%} = 8{,}0$ %; $\Delta P_{sc} = 90$ kW; $\Delta P_0 = 21$ kW; $I_{0\%} = 0{,}75$ %.

Rezistenţa activă a transformatorului se determină cu următoarea relaţie:

$$R_t = \Delta P_{sc} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} = 90 \cdot \frac{(36{,}75)^2}{(16)^2} \cdot 10^{-3} = 0{,}47\,\Omega.$$

Reactanţa inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc(r)\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{7{,}98}{100} \cdot \frac{36{,}75^2}{16} = 6.74\ \Omega;$$

$$u_{sc(r)\%} = \sqrt{u_{sc\%}^2 - u_{sc(a)\%}^2} = \sqrt{8{,}0^2 - 0{,}56^2} = 7{,}98\%;$$

$$u_{sc(a)\%} = R_t \cdot \frac{S_n}{U_{1n}^2} \cdot 100 = 0{,}47 \cdot \frac{16}{36{,}75^2} \cdot 100 = 0{,}56\%.$$

Conductanţa activă a transformatoarelor se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{21}{(36{,}75)^2} \cdot 10^{-3} = 15{,}5 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanţa inductivă a transformatorului se determină cu relaţia:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{120}{36{,}75^2} \cdot 10^{-3} = 88{,}9 \cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{0{,}75}{100} \cdot 16000 = 120 \text{ kvar}.$$

Pentru a estima dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ se fac următoarele calcule (se consideră $u_{sc(a)\%} = 0$):

$$x_t = \frac{u_{sc\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{8{,}0}{100} \cdot \frac{36{,}75^2}{16} = 6{,}75\ \Omega;$$

Eroarea se determină cu expresia:

$$\varepsilon_\% = \frac{x_t - X_t}{x_t} \cdot 100\% = \frac{6{,}75 - 6{,}74}{6{,}75} \cdot 100 = 0{,}15\%.$$

Din calcule se observă bine că la calculul reactanţei a transformatorului componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ poate fi neglijată deoarece se obţine $\varepsilon_\% = 0{,}15\%$. De aici se poate de făcut următoarea concluzie: pentru transformatoarele de puteri mari se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$.

Problema 1.12 La staţia electrică din satul Răduleni sunt instalate două transformatoare trifazate de putere de tipul **ТМН – 6300/110/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor transformatoare şi de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de paşaport) a acestor transformatoare şi anume: pentru **ТМН – 6300/110/10:** $S_n = 6{,}3$ MVA; $U_{1n} = 115$ kV; $U_{2n} = 11$ kV; $u_{sc\%} = 10{,}5$ %; $\Delta P_{sc} = 33{,}5$ kW; $\Delta P_0 = 11{,}5$ kW; $I_{0\%} = 1{,}0$ %.

Rezistenţa activă a transformatorului se determină cu următoarea relaţie:

$$R_t = \Delta P_{sc} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} = 33{,}5 \cdot \frac{(115)^2}{(6{,}3)^2} \cdot 10^{-3} = 11{,}16\,\Omega.$$

Reactanţa inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc(r)\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{10{,}49}{100} \cdot \frac{115^2}{6{,}3} = 220{,}21\ \Omega;$$

$$u_{sc(r)\%} = \sqrt{u_{sc\%}^2 - u_{sc(a)\%}^2} = \sqrt{10{,}5^2 - 0{,}53^2} = 10{,}49\%;$$

$$u_{sc(a)\%} = R_t \cdot \frac{S_n}{U_{1n}^2} \cdot 100 = 11{,}16 \cdot \frac{6{,}3}{115^2} \cdot 100 = 0{,}53\%.$$

Conductanţa activă a transformatorului se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{11{,}5}{(115)^2} \cdot 10^{-3} = 0{,}87 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanţa inductivă a transformatorului se determină cu relaţia:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{63}{115^2} \cdot 10^{-3} = 4{,}76 \cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{1{,}0}{100} \cdot 6300 = 63 \text{ kvar}.$$

Pentru a estima dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ se fac următoarele calcule (se consideră $u_{sc(a)\%} = 0$):

$$x_t = \frac{u_{sc\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{115^2}{6{,}3} = 220{,}417\,\Omega;$$

Eroarea se determină cu expresia:

$$\varepsilon_\% = \frac{x_t - X_t}{x_t} \cdot 100\% = \frac{220{,}417 - 220{,}21}{220{,}417} \cdot 100 = 0{,}09\%.$$

Din calcule se observă bine că la calculul reactanţei a transformatorului componenta activă a tensiunii de scurtcircuit $u_{sc(a)\%}$ poate fi neglijată deoarece se obţine $\varepsilon_\% = 0{,}09\%$.

Problema 1.13 La staţia electrică din satul Burlăceni sunt instalate două transformatoare trifazate de putere de următorul tip **ТДН – 16000/110/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor transformatoare.

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de paşaport) a acestor transformatoare şi anume: pentru **ТДН – 16000/110/10:** $S_n = 16$ MVA; $U_{1n} = 115$ kV; $U_{2n} = 11$ kV; $u_{sc\%} = 10{,}5$ %; $\Delta P_{sc} = 85$ kW; $\Delta P_0 = 21$ kW; $I_{0\%} = 0{,}85$ %.

Rezistenţa activă a transformatorului se determină cu următoarea relaţie:

$$R_t = \Delta P_{sc} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} = 85 \cdot \frac{(115)^2}{(16)^2} \cdot 10^{-3} = 4{,}39\,\Omega.$$

Reactanţa inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{115^2}{16} = 86{,}79\,\Omega.$$

Conductanţa activă a transformatorului se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{21}{(115)^2} \cdot 10^{-3} = 1{,}59 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanţa inductivă a transformatorului se determină cu relaţia:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{136}{115^2} \cdot 10^{-3} = 10{,}28 \cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{0{,}85}{100} \cdot 16000 = 136 \text{ kvar}.$$

Problema 1.14 La staţia electrică ”Ciocana” din mun. Chişinău sunt instalate două transformatoare trifazate de putere cu înfăşurări scindate (divizate) de următorul tip **ТРДН – 40000/110/10/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor transformatoare.

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg datele caracteristice (de paşaport) a acestor transformatoare şi anume: pentru **ТРДН – 40000/110/10/10:** $S_n = 40$ MVA; $U_{1n} = 115$ kV; $U_{2n(O\text{-}J1,J2)} = 10{,}5$ kV; $u_{sc(O.J1,J2)\%} = 10{,}5$ %; $u_{sc(J1\text{-}J2)\%} = 3$ %; $\Delta P_{sc} = 170$ kW; $\Delta P_0 = 34$ kW; $I_{0\%} = 0{,}55$ %.

Rezistenţa activă a transformatorului se determină cu următoarea relaţie:

$$R_t = \Delta P_{sc} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} = 170 \cdot \frac{(115)^2}{(40)^2} \cdot 10^{-3} = 1{,}41\,\Omega.$$

Reactanţa inductivă a transformatorului se determină cu expresia:

$$X_t = \frac{u_{sc\%}}{100} \cdot \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{115^2}{40} = 34{,}72\,\Omega;$$

$$X_2' = X_2'' = 1{,}8 \cdot X_t = 1{,}8 \cdot 34{,}72 = 62{,}49\ \Omega.$$

Conductanţa activă a transformatorului se determină cu expresia:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{34}{(115)^2} \cdot 10^{-3} = 2{,}57 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanţa inductivă a transformatorului se determină cu relaţia:

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_{1n}^2} \cdot 10^{-3} = \frac{220}{115^2} \cdot 10^{-3} = 16{,}6 \cdot 10^{-6}\ S;$$

$$\Delta Q_o = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{0{,}55}{100} \cdot 40000 = 220\ \text{kvar}.$$

Problema 1.15 Pentru transformatorul trifazat cu trei înfăşurări, montat la staţia electrică din oraşul Floreşti, de tipul **ТДТН–25000/110/35/10** cu raportul puterilor 100/66,7/66,7% se cere să se calculeze parametrii schemei echivalente raportaţi la tensiunea înfăşurării primare.

Rezolvare: Transformatorul dat are următoarele caracteristice:
U_{n1}=115 kV, ΔP_{sc}=145 kW, ΔP_0=36 kW, $u_{sc12\%}$=10,5%, $u_{sc13\%}$=17%, $u_{sc23\%}$=6%, $I_{0\%}$=1,0%.

Pentru acest tip constructiv de transformator rezistenţele înfăşurărilor se determină:

$$R_t = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2 \cdot 10^3}{1{,}83 \cdot S_n^2} = \frac{145 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{1{,}83 \cdot 25000^2} = 1{,}67\ \Omega;$$

$$R_1 = R_t = 1{,}67\ \Omega;\ R_2' = 1{,}5 \cdot R_t = 1{,}5 \cdot 1{,}67 = 2{,}51\ \Omega;\ R_3' = 1{,}5 \cdot R_t = 2{,}51\ \Omega.$$

Reactanţa se determină pe baza tensiunilor de scurtcircuit între perechile de înfăşurări ($u_{sc12\%}, u_{sc13\%}, u_{sc23\%}$) care sunt indicate în fişa tehnică a transformatorului, pentru care la început se calculează tensiunea de scurtcircuit a înfăşurărilor:

$$u_{sc1\%} = 0{,}5 \cdot (u_{sc12\%} + u_{sc13\%} - u_{sc23\%}) = 0{,}5 \cdot (10{,}5 + 17 - 6) = 10{,}75\%;$$
$$u_{sc2\%} = 0{,}5 \cdot (u_{sc12\%} + u_{sc23\%} - u_{sc13\%}) = 0{,}5 \cdot (10{,}5 + 6 - 17) = 0;$$
$$u_{sc3\%} = 0{,}5 \cdot (u_{sc13\%} + u_{sc23\%} - u_{sc12\%}) = 0{,}5 \cdot (17 + 6 - 10{,}5) = 6{,}25\%.$$

Rezistenţele reactive se determină:

$$X_{t1} = \frac{10 \cdot u_{sc1\%} \cdot U_{n1}^2}{S_n} = \frac{10 \cdot 10{,}75 \cdot 115^2}{25000} = 56{,}87\ \Omega,\ X_{t2} = 0,$$

$$X_{t3} = \frac{10 \cdot u_{sc3\%} \cdot U_{n1}^2}{S_n} = \frac{10 \cdot 6{,}25 \cdot 115^2}{25000} = 33{,}06\ \Omega.$$

Calculele ne demonstrează, că rezistenţa activă în transformatoarele de putere mare poate fi neglijată deoarece ea are valori mici în comparaţie cu cea reactivă.

Conductanţa activă a transformatorului:

$$G_t = \frac{\Delta P_0}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{36}{115^2 \cdot 10^3} = 2{,}72 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Susceptanţa se determină după puterea reactivă de magnetizare

$$\Delta Q_0 = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{1{,}0}{100} \cdot 25000 = 250\ \text{kvar};$$

$$B_t = \frac{\Delta Q_0}{U_n^2 \cdot 10^3} = \frac{250}{115^2 \cdot 10^3} = 18{,}9 \cdot 10^{-6}\ S.$$

Problema 2.1 O linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 10 kV este echipată cu conductoare Al-Ol–95/16 (AC–95/16) dispuse pe stâlpi de beton cu coronamentul în vârfurile unui triunghi echilateral, linia electrică are lungimea de 8 km şi distanţa între conductoare este D = 1 m. LEA alimentează un consumator care necesită o putere P = 1 kW la un factor de putere cosφ = 0,9. La intrare în linie este impusă tensiunea U_1 = 10 kV. Se cere de calculat:

- valorile aproximative ale soluţiilor $U_2^{(1)}$ şi $U_2^{(2)}$;
- factorul de putere în ipoteza că $|U_1| = |U_2|$;
- factorul de putere în ipoteza că fazorul $|U_1|$ coincide după sens cu fazorul $|U_2|$.

Rezolvare**:** Deoarece avem U_{nom} = 35 kV utilizăm schema echivalentă din figura 1.3,d. Rezistenţa activă poate fi determinată cu relaţia de mai jos.

$$R_l = r_0 \cdot l = 0{,}299 \cdot 8 = 2{,}392\ \Omega.$$

Reactanţa inductivă la fel poate fi determinată cu următoarea relaţie:

$$X_l = x_0 \cdot l = 0{,}332 \cdot 8 = 2{,}565\ \Omega.$$

1. Calculul valorilor aproximative ale soluţiilor $U_2^{(1)}$ şi $U_2^{(2)}$:

$$U_1 - U_2 = \Delta U_l \approx \Delta U_l'' = \frac{P_l'' \cdot R_l + Q_l'' \cdot X_l}{U_2} = \frac{P_2 \cdot R_l + Q_2 \cdot X_l}{U_2},$$

Considerând că: $S_l'' = S_2;\ P_l'' = P_2;\ Q_2'' = Q_2$ se obţine:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_2 \cdot R_l + Q_2 \cdot X_l}{U_2}; \quad \Big| \cdot U_2$$

$$U_2^2 - U_1 \cdot U_2 + P_2 \cdot R_l + Q_2 \cdot X_l = 0.$$

În continuare se rezolvă ecuaţia de gradul doi.
P_2 = 1 kW; $Q_2 = P_2 \cdot$tgφ = 0,48 kvar.

$$U_2^2 - 10 \cdot U_2 + 1 \cdot 2{,}392 + 0{,}48 \cdot 2{,}565 = 0;$$
$$U_2^2 - 10 \cdot U_2 + 3{,}627 = 0;$$
$$\Delta = 10^2 - 4 \cdot 3{,}627 = 100 - 14{,}509 = 85{,}491;$$
$$U_2^{(1)} = \frac{10 + \sqrt{\Delta}}{2} = \frac{10 + \sqrt{14{,}509}}{2} = 9{,}623\ \text{kV};$$
$$U_2^{(2)} = \frac{10 - \sqrt{\Delta}}{2} = \frac{10 - \sqrt{14{,}509}}{2} = 0{,}377\ \text{kV}.$$

2. Determinarea factorului de putere în ipoteza că $|U_1| = |U_2|$:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \Delta \underline{U}_l = \underline{U}_2 + \Delta U_l'' + j \cdot \delta U_2'' = 0.$$

Considerând că $|U_1| = |U_2|$ din expresia de mai sus se obţine:

$$|U_1| - |U_2| = \Delta \underline{U}_l = \Delta U_l'' + j \cdot \delta U_2'' = 0;$$

$$\Delta U_l'' = \frac{P_l'' \cdot R_l + Q_l'' \cdot X_l}{U_2} = 0;\ \delta U_l'' = \frac{P_l'' \cdot X_l - Q_l'' \cdot R_l}{U_2} = 0;\ tg\varphi = \frac{\delta U_l''}{U_2 + \Delta U_l''} = 0; \quad \Rightarrow \cos\varphi = 1.$$

3. Determinarea factorului de putere în ipoteza că fazorul $|U_1|$ coincide după sens cu fazorul $|U_2|$: Dacă fazorul $|U_1|$ coincide după sens cu fazorul $|U_2|$ atunci:

$$\delta U_l'' = 0;\ \delta U_l'' = \frac{P_2 \cdot X_l - Q_2 \cdot R_l}{U_2} = 0 \Rightarrow P_2 \cdot X_l - Q_2 \cdot R_l = 0;$$

$$P_2 \cdot X_l = Q_2 \cdot R_l \ \Rightarrow\ Q_2 = \frac{P_2 \cdot X_l}{R_l} = \frac{1 \cdot 2{,}565}{2{,}392} = 1{,}072 \text{ kvar};$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{1^2 + (1{,}072)^2} = 1{,}466 \text{ kVA};$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos\varphi \Rightarrow \cos\varphi = \frac{P_2}{S_2} = \frac{1}{1{,}466} = 0{,}68.$$

Problema 2.2 O rețea electrică simplu buclată cu tensiunea nominală U_{nom}= 10 kV, graful căreia este reprezentat în figura 1, este echipată cu conductoare de tipul Al-Ol-70/11, distanța între conductoare este D = 1 m, lungimea tronsoanelor și puterile absorbite de consumatori sunt indicate în schemă; tensiunea în nodul de echilibru este U_0 = 10,5 kV. De determinat valoarea maximă a pierderii de tensiune.

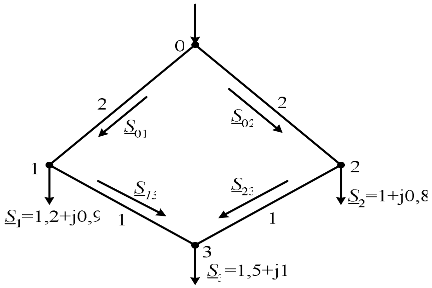


Fig.1 Graful rețelei electrice

Rezolvare: Deoarece linia este executată din același fel de material rezultă că impedanța pentru o unitate de lungime este constantă și v-om utiliza cazul doi de calcul electric.

Calculul acestei probleme poate fi divizat în două etape și anume:

- etapa directă

Determinarea fluxului de putere $\underline{S}_{01}$-?

$$\underline{S}_{01} = \frac{\underline{S}_1 \cdot l_{1320} + \underline{S}_3 \cdot l_{320} + \underline{S}_2 \cdot l_{20}}{l_{01320}} = \frac{\underline{S}_1 \cdot (l_{13} + l_{32} + l_{20}) + \underline{S}_3 \cdot (l_{32} + l_{20}) + \underline{S}_2 \cdot l_{20}}{l_{01} + l_{13} + l_{32} + l_{20}} =$$

$$= \frac{(1{,}2 + j \cdot 0{,}9) \cdot (1+1+2) + (1{,}5 + j \cdot 1) \cdot (1+2) + (1 + j \cdot 0{,}8) \cdot 2}{2+1+1+2} = \frac{11{,}3 + j \cdot 8{,}2}{6} = 1{,}88 + j \cdot 1{,}37\, MVA.$$

Pentru a determina celelalte fluxuri de putere ($\underline{S}_{23}$, $\underline{S}_{32}$, $\underline{S}_{02}$) aplicăm teorema întâi a lui Kirchhoff pentru fiecare nod.

nodul 1.

$$-\underline{S}_{01} + \underline{S}_1 + \underline{S}_{13} = 0;$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{13} = 1{,}88 + j \cdot 1{,}37 - (1{,}2 + j \cdot 0{,}9) = 0{,}68 + j \cdot 0{,}47 \text{ MVA}.$$

nodul 3.

$$-\underline{S}_{13} + \underline{S}_3 - \underline{S}_{23} = 0;$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{13} = 1{,}5 + j \cdot 1 - (0{,}68 + j \cdot 0{,}47) = 0{,}82 + j \cdot 0{,}53 \text{ MVA}.$$

nodul 2.

$$-\underline{S}_{02} + \underline{S}_2 + \underline{S}_{23} = 0;$$

$$\underline{S}_{02} = \underline{S}_2 + \underline{S}_{23} = 1 + j \cdot 0{,}8 + 0{,}82 + j \cdot 0{,}53 = 1{,}82 + j \cdot 1{,}33 \text{ MVA}.$$

Verificarea se face cu relația:

$$\underline{S}_{01} + \underline{S}_{02} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3;$$

$$1{,}88 + j \cdot 1{,}37 + 1{,}82 + j \cdot 1{,}33 = 1{,}2 + j \cdot 0{,}9 + 1 + j \cdot 0{,}8 + 1{,}5 + j \cdot 1;$$

$$3{,}7 + j \cdot 2{,}7 = 3{,}7 + j \cdot 2{,}7.$$

sau determinăm fluxul de putere $\underline{S}_{02}$ prin relația:

$$\underline{S}_{02} = \frac{\underline{S}_2 \cdot l_{2310} + \underline{S}_3 \cdot l_{310} + \underline{S}_1 \cdot l_{10}}{l_{02310}} = \frac{\underline{S}_2 \cdot (l_{23} + l_{31} + l_{10}) + \underline{S}_3 \cdot (l_{31} + l_{10}) + \underline{S}_1 \cdot l_{10}}{l_{02} + l_{23} + l_{31} + l_{10}} =$$

$$= \frac{(1 + j \cdot 0{,}8) \cdot (1+1+2) + (1{,}5 + j \cdot 1) \cdot (1+2) + (1{,}2 + j \cdot 0{,}9) \cdot 2}{2+1+1+2} = \frac{10{,}9 + j \cdot 8}{6} = 1{,}82 + j \cdot 1{,}33\, MVA.$$

Observăm că am obținut aceleași valori a fluxului de putere $\underline{S}_{02}$, ceea ce dă dovadă că calculele au fost efectuate corect.

Considerând nodul "3" nod de separare putem prezenta următoarea schemă echivalentă.

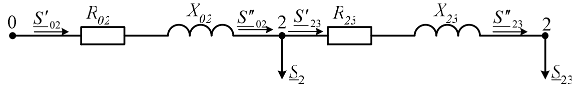


Fig.2 Schema echivalentă

Calcularea parametrilor schemei echivalente:

$$R_{02} = r_0 \cdot l_{02} = 0{,}420 \cdot 2 = 0{,}840\ \Omega;$$
$$X_{02} = x_0 \cdot l_{02} = 0{,}341 \cdot 2 = 0{,}682\ \Omega;$$
$$R_{23} = r_0 \cdot l_{23} = 0{,}420 \cdot 1 = 0{,}420\ \Omega;$$
$$X_{23} = x_0 \cdot l_{23} = 0{,}341 \cdot 1 = 0{,}341\ \Omega.$$

Considerăm că $U_3 = U_{nom}$ =10 kV și în baza lui $\underline{S}_{23}$ și U_{nom} determinăm $\Delta\underline{S}_{23}$-?

$$\Delta\underline{S}_{23} = \frac{(S''_{23})^2}{(U_{nom})^2} \cdot (R_{23} + jX_{23}) = \frac{(0{,}82)^2 + (0{,}53)^2}{10^2} \cdot (0{,}42 + j0{,}341) = 0{,}004 + j \cdot 0{,}003 \text{ MVA}.$$

Determinarea fluxului de putere $\underline{S}'_{23}$-?

$$\underline{S}'_{23} = \underline{S}''_{23} + \Delta\underline{S}_{23} = 0{,}82 + j \cdot 0{,}53 + 0{,}004 + j \cdot 0{,}003 = 0{,}824 + j \cdot 0{,}533 \text{ MVA}.$$

Aplicăm prima teoremă a lui Kirchhoff pentru nodul "2"

$$-\underline{S}''_{02} + \underline{S}'_{23} + \underline{S}_2 = 0;$$

$$\underline{S}''_{02} = \underline{S}'_{23} + \underline{S}_2 = 0{,}824 + j \cdot 0{,}533 + 1 + j \cdot 0{,}8 = 1{,}824 + j \cdot 1{,}333 \text{ MVA}.$$

În baza lui $\underline{S}''_{02}$ și U_{nom} determinăm pierderea de putere $\Delta\underline{S}_{02}$ - ?

$$\Delta\underline{S}_{02} = \frac{(S''_{02})^2}{(U_{nom})^2} \cdot (R_{02} + jX_{02}) = \frac{(1{,}824)^2 + (1{,}333)^2}{10^2} \cdot (0{,}84 + j \cdot 0{,}682) = 0{,}043 + j \cdot 0{,}035 \text{ MVA}.$$

Determinarea fluxului de putere $\underline{S}'_{02}$-?

$$\underline{S}'_{02} = \underline{S}''_{02} + \Delta\underline{S}_{02} = 1{,}824 + j \cdot 1{,}333 + 0{,}043 + j \cdot 0{,}035 = 1{,}867 + j \cdot 1{,}368 \text{ MVA}.$$

- etapa inversă

În baza lui U_0 și $\underline{S}'_{02}$ determinăm pierderile de tensiune în tronsonul – 02.

Considerăm că $\Delta U_{02} = \Delta U'_{02} + j\delta U'_{02} \approx \Delta U'_{02}$ ($\delta U'_{02} \approx 0$);

$$\Delta U'_{02} = \frac{P'_{02} \cdot R_{02} + Q'_{02} \cdot X_{02}}{U_0} = \frac{1{,}867 \cdot 0{,}84 + 1{,}368 \cdot 0{,}682}{10{,}5} = 0{,}24 \text{ kV}.$$

În baza lui U_0 și $\Delta U'_{02}$ determinăm U_2-?

$$U_2 = U_0 - \Delta U'_{02} = 10{,}5 - 0{,}24 = 10{,}26 \text{ kV}.$$

În baza lui U_2 și $\underline{S}'_{23}$ determinăm pierderile de tensiune în tronsonul – 23

$$\Delta U'_{23} = \frac{P'_{23} \cdot R_{23} + Q'_{23} \cdot X_{23}}{U_2} = \frac{0{,}824 \cdot 0{,}42 + 0{,}533 \cdot 0{,}341}{10{,}26} = 0{,}05 \text{ kV}.$$

În baza lui U_2 și $\Delta U'_{23}$ determinăm U_3-?

$$U_3 = U_2 - \Delta U'_{23} = 10{,}26 - 0{,}05 = 10{,}21 \text{ kV}.$$

Problema 2.3 Se consideră o LEA trifazată simplu circuit cu tensiunea 110 kV cu lungimea l = 100 *km,* echipată cu conductoare Al-Ol-150/19 (AC-150/19) dispuse pe stîlpi de beton cu modul de dispunere a conductoarelor orizontal. Distanța între conductoare este de 4,5 *m*. Se cere:

5. de alcătuit schema echivalentă;
6. de determinat rezistența activă R_l a liniei;
7. de determinat reactanța inductivă X_l a liniei;
8. de determinat susceptanța capacitivă B_l a liniei;
9. de estimat (evaluat) dacă se poate neglija susceptanța capacitivă B_l.

Rezolvare:

1. Deoarece avem $U_{nom} = 110$ kV utilizăm schema echivalentă în "π" care este reprezentată în figura 1.3,b.

2. Determinarea rezistenței active R_l -?

$$F = 148\ mm^2;\ r_0 = \frac{28,9}{148} = 0,195 \frac{\Omega}{km};$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,195 \cdot 100 = 19,5\Omega.$$

3. Determinarea reactanței inductive X_l – ?

$$x_0 = 0,1445 \cdot \lg \frac{5,67}{8,4 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 \cdot 1 = 0,425 \frac{\Omega}{km};$$

$$X_l = 0,425 \cdot 100 = 42,5\ \Omega.$$

4. Determinarea susceptanței capacitive B_l – ?

$$b_0 = \frac{7,56}{\lg \frac{D_{m.g}}{r}} \cdot 10^{-6} = \frac{7,56}{\lg \frac{5,67}{8,4 \cdot 10^{-3}}} \cdot 10^{-6} = 2,67 \cdot 10^{-6}\ \frac{S}{km};$$

5. Pentru a evalua dacă se poate neglija susceptanța B_l trebuie de făcut următoarele operații:
   a. determinarea puterii reactive de compensare Q_c–?

Deoarece avem aceeași tensiune la capetele liniei putem scrie:

$$Q_c = Q_l = (U_{nom})^2 \cdot B_l = 110^2 \cdot 2,67 \cdot 10^{-4} = 3,231 \text{ MVAr}.$$

   b. determinarea puterii aparente S–?

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{nom} \cdot I_l;\ I_l = F \cdot j_{ec};$$

j_{ec} – densitatea economică, j_{ec}=1 $\frac{A}{mm^2}$;

I_l = 150 A; $S = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 150 \cdot 10^3 = 28,59$ MVA.

   c. determinarea puterii active *P* și puterii reactive *Q* la un factorul de putere cosδ =0,9.

$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$

$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\delta = S \cdot \cos\delta = 28,59 \cdot 0,9 = 25,731$ MW;

$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\delta = S \cdot \sin\delta = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(28,59)^2 - (25,731)^2} = 12,462$ Mvar.

$$\frac{Q_l}{Q} \cdot 100\% = \frac{3,231}{12,462} \cdot 100 = 25,93 \approx 26\%;$$

Deoarece am obținut un procent mare (de 26 %), la calcule trebuie de luat în considerație susceptanța capacitivă.

Dacă avem o linie cu aceiași parametri numai că lungimea ei este de 10 km obținem:

$B_l = 2,67 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2,67 \cdot 10^{-5}$ S.

Puterea reactivă de compensare va fi:

$Q_c = Q_l = (U_{nom})^2 \cdot B_l = 110^2 \cdot 2,67 \cdot 10^{-5} = 0,323$ Mvar;

$$\frac{Q_l}{Q} \cdot 100\% = \frac{0,323}{12,462} \cdot 100 = 2,593 \approx 2,6\%$$

Făcând verificarea observăm că am obținut 2,6% și putem neglija susceptanța capacitivă.

Observăm că cu cît lungimea liniei este mai mică cu atât eroarea este mai mică și invers eroarea mai mare când lungimea liniei este mai mare.

Problema 2.4 Se consideră o linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 110 kV este echipată cu conductoare Al-Ol-185/43 dispuse pe stîlpi de beton cu modul de dispunere a conductoarelor orizontal, LEA are lungimea de 100 km și distanța medie geometrică este D_{mg} = 5 m. Această linie alimentează un consumator care consumă o putere S_2 = 30+j20 MVA, la intrare este impusă tensiunea U_1 = 121 kV. De determinat tensiunea la ieșire U_2 și puterea la intrare S_1. De de analizat dacă se poate neglija componenta transversală a căderii de tensiune $\delta U_l''$ și de construit diagrama fazorială de tensiuni.

Rezolvare**:** Determinarea parametrilor pasivi a LEA:

- Rezistența activă

$R_l = r_0 \cdot l = 0,154 \cdot 100 = 15,4\ \Omega.$

- Reactanța inductivă

$X_l = x_0 \cdot l = 0,420 \cdot 100 = 42\ \Omega.$

- Susceptanța capacitivă

$B_l = b_0 \cdot l = 2,82 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 2,82 \cdot 10^{-4}$ S.

Considerăm că tensiunea U_2 la pasul "zero" este $U_2^{(0)}$=112 kV;

Determinarea puterii reactive de compensare Q_c'' – ?

$$Q_c'' = (U_2^{(0)})^2 \cdot \frac{B_l}{2} = (112)^2 \cdot \frac{2,82 \cdot 10^{-4}}{2} = 1,768 \text{ Mvar}.$$

Aplicăm prima teoremă a lui Kirchhoff în nodul "1"

$$-\underline{S}_l'' - jQ_c'' + \underline{S}_2 = 0;$$

$$\underline{S}_l'' = P_l'' + jQ_l'' = \underline{S}_2 - jQ_c'' = 30 + j20 - j1,768 = 30 + j18,232.$$

Determinarea tensiunii la iesire U_2 - ?

Pentru a ne simplifica calculele considerăm că $\delta U_l''$=0;

$$U_1 = U_2 + \frac{P_l'' \cdot R_l + Q_l'' \cdot X_l}{U_2} \Bigg| \cdot U_2$$

$$U_2^2 - U_1 U_2 + P_l'' \cdot R_l + Q_l'' \cdot X_l = 0;$$

$$U_2^2 - 121 \cdot U_2 + 30 \cdot 15,4 + 18,232 \cdot 42 = 0;$$

$$U_2^2 - 121 \cdot U_2 + 1227,744 = 0.$$

Rezolvând ecuația de gradul doi obținem:

$$U_2^1 = \frac{121 + \sqrt{121^2 - 4 \cdot 1227,744}}{2} = 109,82 \text{ kV};$$

$$U_2^2 = \frac{121 - \sqrt{121^2 - 4 \cdot 1227,744}}{2} = 11,18 \text{ kV}.$$

În baza lui U_2^1 și $\frac{B_l}{2}$ determinăm Q_c'' – ?

$$Q_c'' = (U_2^{(1)})^2 \cdot \frac{B_l}{2} = (109,82)^2 \cdot \frac{2,82 \cdot 10^{-4}}{2} = 1,7 \text{ Mvar}.$$

Determinăm S_l'' - ?

$$\underline{S}_l'' = \underline{S}_2 - jQ_c'' = 30 + j20 - j1,7 = 30 + j18,3 \text{ MVA}.$$

Determinăm $U_{1calcul}$ - ?

$$U_{1calcul} = U_2 + \Delta U_l'' = U_2 + \Delta U_l'' + j\delta U_l'';$$

$$\Delta U_l'' = \frac{P_l'' \cdot R_l + Q_l'' \cdot X_l}{U_2^1} = \frac{30 \cdot 15,4 + 18,3 \cdot 42}{109,82} = 11,2 \text{ kV};$$

$$\delta U_l'' = \frac{P_l''\cdot X_l - Q_l''\cdot R_l}{U_2^1} = \frac{30\cdot 42 - 18{,}3\cdot 15{,}4}{109{,}82} = 8{,}91 \text{ kV};$$

$$U_{1calcul} = 109{,}82 + 11{,}2 + j8{,}91 = 121{,}02 + j8{,}91 \text{ kV};$$

$$\left|U_{1calcul}\right| = \sqrt{(U_2 + \Delta U_l'')^2 + (\delta U_l'')^2} = \sqrt{(109{,}82+11{,}2)^2 + (8{,}91)^2} = 121{,}35 \text{ kV};$$

$$tg\delta_2 = \frac{\delta U_l''}{U_2 + \Delta U_l''} = \frac{8{,}91}{109{,}82+11{,}2} = 0{,}74 \Rightarrow \delta_2 = 0^0 4'.$$

Se observă bine că componenta transversală a căderii de tensiune $\delta U_l''$ puțin influențează, pe viitor o putem neglija.

Determinarea puterii la intrare S_1- ?

Aplicăm prima teoremă a lui Kirchhoff în nodul “2”

$$-\underline{S}_1 + \underline{S}_l' - jQ_c' = 0;$$

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_l' - jQ_c' = P_l' + j(Q_l' - Q_c').$$

Determinăm Q_c' – ?

$$Q_c' = U_1^2 \cdot \frac{B_l}{2} = (121)^2 \cdot \frac{2{,}82\cdot 10^{-4}}{2} = 2{,}064 \text{ Mvar}.$$

Determinăm S_l' – ?

$$S_l' = \Delta S_l + S_l'';$$

$$\Delta S_l = \frac{|S_l''|}{(U_2^1)^2}\cdot(R_l + jX_l) = \frac{(P_l'')^2 + (Q_l'')^2}{(U_2^1)^2}\cdot(R_l + jX_l) = \frac{(30)^2 + (18{,}3)^2}{(109{,}82)^2}\cdot(15{,}4 + j42) = 0{,}428 + j1{,}166$$

$$S_l' = 0{,}428 + j1{,}116 + 30 + j18{,}3 = 30{,}428 + j19{,}466 \text{ MVA};$$

$$S_1 = 30{,}428 + j(19{,}466 - 2{,}064) = 30{,}428 + j17{,}402 \text{ MVA}.$$

Diagrama fazorială a tensiunilor este prezentată în figura 1.

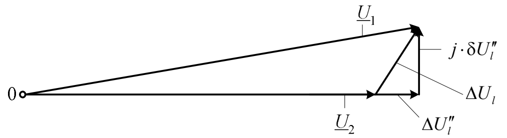


Fig.1 Diagrama fazorială a tensiunilor

<u>Problema 2.5</u> De determinat ce valoare a tensiunii trebuie menținută în nodul de alimentare (nodul 0) a rețelei la o sarcină maximă S_{max} şi la o sarcină minimă S_{min} = 0,3·S_{max} a LEA, reprezentate în figura 1, dacă în nodul “c” tensiunea în cazul sarcinii maximale să fie nu mai joasă de 110 kV, iar la o sarcină minimală — 108 kV. Sarcinile în MVA, lungimile tronsoanelor în kilometri şi tipul conductoarelor utilizate sunt indicate pe desen.

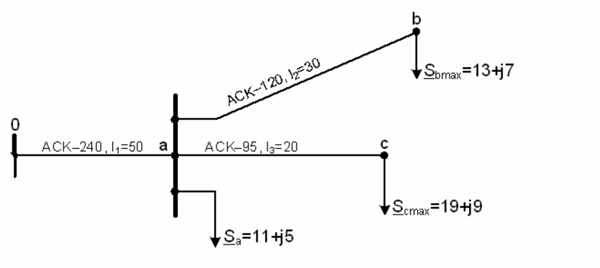


Fig.1 Schema electrică de principiu a rețelei electrice

<u>Rezolvare</u>:

Alcătuim schema echivalentă a rețelei.

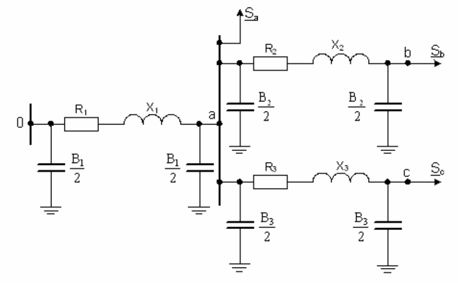


Fig.2. Schema echivalentă a RE

Din tabelul 7 pag.229 [11] se alege parametrii calculați la 100 km a tipurilor de conductoare şi calculăm parametri reali a tronsoanelor:

- **tronsonul 1** (0 – a) ACK – 240

$r_1 = 12\ \Omega$; $x_1 = 40{,}1\ \Omega$; $b_1 = 2{,}85\cdot 10^{-4}$ S;

$$R_1 = r_1\cdot\frac{l_1}{100} = 12\cdot\frac{50}{100} = 6\ \Omega;\ X_1 = x_1\cdot\frac{l_1}{100} = 40{,}1\cdot\frac{50}{100} = 20\ \Omega;$$

$$B_1 = b_1\cdot\frac{l_1}{100} = 2{,}85\cdot 10^{-4}\cdot\frac{50}{100} = 1{,}425\cdot 10^{-4}\ S.$$

- **tronsonul 2** (a – b) ACK – 120

$r_2 = 24{,}9\ \Omega$; $x_2 = 42{,}3\ \Omega$; $b_2 = 2{,}69\cdot 10^{-4}$ S.

$$R_2 = r_2\cdot\frac{l_2}{100} = 24{,}9\cdot\frac{30}{100} = 7{,}5\ \Omega;\ X_2 = x_2\cdot\frac{l_2}{100} = 42{,}3\cdot\frac{30}{100} = 12{,}69\ \Omega;$$

$$B_2 = b_2\cdot\frac{l_2}{100} = 2{,}69\cdot 10^{-4}\cdot\frac{30}{100} = 0{,}81\cdot 10^{-4}\ S.$$

- **tronsonul 3** (a – c) ACK – 95

$r_3 = 31{,}4\ \Omega$; $x_3 = 42{,}9\ \Omega$; $b_3 = 2{,}65\cdot 10^{-4}$ S.

$$R_3 = r_3\cdot\frac{l_3}{100} = 31{,}4\cdot\frac{20}{100} = 6{,}28\ \Omega;\ X_3 = x_3\cdot\frac{l_3}{100} = 42{,}9\cdot\frac{20}{100} = 8{,}58\ \Omega;$$

$$B_3 = b_3\cdot\frac{l_3}{100} = 2{,}65\cdot 10^{-4}\cdot\frac{20}{100} = 0{,}53\cdot 10^{-4}\ S.$$

Deoarece cunoaştem tensiunile în nodul „c”, calculul regimului liniei se începe din nodul „c”.

Determinăm puterea reactivă de compensare a tronsonului 3.

$$Q_{c3} = U_c'^2\cdot B_3 = 110^2\cdot 0{,}53\cdot 10^{-4} = 0{,}6 \text{ Mvar}.$$

Jumătate din această putere este injectată la sfârşitul tronsonului. Atunci puterea la sfârşitul liniei se va determina în felul următor:

$$\underline{S}''_3 = \underline{S}_c - 0{,}5\cdot jQ_{c3} = 19 + j9 - 0{,}5\cdot j0{,}6 = (19 + j8{,}7) \text{ MVA}.$$

Pierderile de putere în tronson:

$$\Delta P_3 = \frac{(P_3'')^2 + (Q_3'')^2}{U_c^2}\cdot R_3 = \frac{(19)^2 + (8{,}7)^2}{110^2}\cdot 6{,}28 = 0{,}2 \text{ MW};$$

$$\Delta Q_3 = \frac{(P_3'')^2 + (Q_3'')^2}{U_c^2}\cdot X_3 = \frac{(19)^2 + (8{,}7)^2}{110^2}\cdot 8{,}58 = 0{,}3 \text{ Mvar};$$

ce constituie din puterea tranzitată prin linie:

$$\Delta P_{3*} = \frac{\Delta P_3}{P_3''}\cdot 100 = \frac{0{,}2}{19}\cdot 100 = 1\ \%;$$

$$\Delta Q_{3*} = \frac{\Delta Q_3}{Q_3''} \cdot 100 = \frac{0,3}{8,7} \cdot 100 = 3\ \%.$$

Pierderile de putere în tronsonul 3 constituie mai puţin de 5 % din puterea tranzitată şi în calculele următoare ele pot fi neglijate, atunci $\underline{S}'_3 = \underline{S}''_3 = (19 + j8,7)$ MVA.

Puterea S_3'' trecând prin rezistenţele R_3 şi X_3, duc la crearea căderilor de tensiune pe acest tronson, care se determină:

$$\Delta U_3' = \frac{P_3'' \cdot R_3 + Q_3'' \cdot X_3}{U_c'} = \frac{19 \cdot 6,28 + 8,7 \cdot 8,58}{110} = 1,8\ \text{kV};$$

$$\delta U_3' = \frac{P_3'' \cdot X_3 - Q_3'' \cdot R_3}{U_c'} = \frac{19 \cdot 6,58 - 8,7 \cdot 6,28}{110} = 1\ \text{kV}.$$

Tensiunea în nodul „a” se determină ca expresia:

$$\underline{U}'_a = U_c' + \Delta U_3 = U_c' + \Delta U_3' + j\delta U_3';$$

$$U_a' = \sqrt{(U_c' + \Delta U_3')^2 + (\delta U_3')^2} = \sqrt{(110 + 1,8)^2 + 1^2} = 111,8\ \text{kV};$$

sau U_a se determină şi cu ajutorul relaţiei:

$$U_a' = U_c' + \Delta U_3' + \frac{(\delta U_3')^2}{2 \cdot U_c'} = 110 + 1,8 + \frac{1^2}{2 \cdot 110} = 118,8\ \text{kV}.$$

Se vede bine că componenta transversală a căderii de tensiune practic nu influenţează la calculul tensiunii în nodul „a” şi poate să nu fie luată în consideraţie deoarece:

$$\frac{(\delta U_3')^2}{2 \cdot U_c'} = \frac{1^2}{2 \cdot 110} = 0,0045\ \text{kV}.$$

De aceea e destul pentru a determina componenta longitudinală a căderii de tensiune şi tensiunea de determinat după expresia simplificată.

Deoarece nu cunoaştem tensiunea la finele tronsonului 2, determinarea puterii reactive de compensare a acestui tronson se face după tensiunea nominală:

$$Q_{c2} = U_{nom}^2 \cdot B_2 = 110^2 \cdot 0,81 \cdot 10^{-4} = 0,98\ \text{Mvar}.$$

Puterea la sfârşitul tronsonului 2:

$$\underline{S}''_2 = \underline{S}_b - 0,5 \cdot jQ_{c2} = 13 + j7 - 0,5 \cdot j0,98 = (13 + j6,5)\,.$$

Deoarece nu se cunoaşte tensiunea în nodul ”b” şi se cunoaşte tensiunea în nodul ”a”, la determinarea pierderilor de putere poate fi utilizată tensiunea nominală:

$$\Delta P_2 = \frac{(P_2'')^2 + (Q_2'')^2}{U_{nom}^2} \cdot R_3 = \frac{(13)^2 + (5,6)^2}{110^2} \cdot 7,5 = 0,13\ \text{MW}; \quad (\Delta P_{2*} = 1,3\ \%);$$

$$\Delta Q_2 = \frac{(P_2'')^2 + (Q_2'')^2}{U_{nom}^2} \cdot X_3 = \frac{(13)^2 + (5,6)^2}{110^2} \cdot 12,69 = 0,22\ \text{Mvar}; \quad (\Delta Q_{2*} = 3,4\ \%).$$

La fel pot fi neglijate valorile pierderilor de putere în tronsonul 2 deoarece ele constituie mai puţin de 5 % din puterea tranzitată prin tronson, atunci $\underline{S}'_2 = \underline{S}''_2 = (13 + j6,5)\ MVA$.

Cunoscând S_2' şi U_a determinăm căderea de tensiune în tronsonul 2:

$$\Delta U_2' = \frac{P_2'' \cdot R_2 + Q_2'' \cdot X_2}{U_a'} = \frac{13 \cdot 7,5 + 6,5 \cdot 12,89}{111,8} = 1,6\ \text{kV}.$$

Tensiunea în nodul ”b” se determină:

$$U_b' = U_a' - \Delta U_2' = 111,8 - 1,6 = 110,2\ \text{kV}.$$

Puterea reactivă de compensare sumară la sfârşitul tronsonului 1, începutul tronsoanelor 2 şi 3 se determină:

$$Q_{c\Sigma} = 0,5 \cdot (U_a')^2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3) = 0,5 \cdot (111,8)^2 \cdot (1,42 + 0,8 + 0,53) \cdot 10^{-4} = 1,7\ \text{Mvar}.$$

Puterea la sfârşitul tronsonului 1 este:

$$\underline{S}''_1 = \underline{S}'_2 + \underline{S}'_3 + \underline{S}_a - jQ_{c\Sigma} = 13 + j6,5 + 19 + j8,7 + 11 + j5 - j1,7 = (43 + j18,5)\ MVA.$$

Pierderile de putere în tronsonul 1:

$$\Delta P_1 = \frac{(P_1'')^2 + (Q_1'')^2}{(U_a')^2} \cdot R_1 = \frac{(43)^2 + (18,5)^2}{(111,8)^2} \cdot 6 = 1\ MW; \ (\Delta P_{1*} = 2,4\ \%);$$

$$\Delta Q_1 = \frac{(P_1'')^2 + (Q_1'')^2}{(U_a')^2} \cdot X_1 = \frac{(43)^2 + (18,5)^2}{(111,8)^2} \cdot 20,5 = 3,6\ M\ \text{var}; \quad (\Delta Q_{1*} = 19,5\ \%).$$

Puterea la începutul tronsonului este:

$$\underline{S}'_1 = \underline{S}''_1 + \Delta P_1 + j\Delta Q_1 = 43 + j18,5 + 1 + j3,6 = (44 + j22,1)\ MVA.$$

Căderea de tensiune longitudinală pe tronsonul 1:

$$\Delta U_1' = \frac{P_1'' \cdot R_1 + Q_1'' \cdot X_1}{U_a'} = \frac{43 \cdot 6 + 18,5 \cdot 20,5}{111,8} = 5,7\ \text{kV}.$$

Căderea de tensiune transversală pe tronsonul 1:

$$\delta U_1' = \frac{P_1'' \cdot X_1 - Q_1'' \cdot R_1}{U_a'} = \frac{43 \cdot 20,5 - 18,5 \cdot 6}{111,8} = 6,9\ \text{kV}.$$

Tensiunea în nodul ”0”:

$$U_0' = U_a' + \Delta U_1' + \frac{(\delta U_1')^2}{2 \cdot U_a} = 111,8 + 5,7 + \frac{(6,9)^2}{2 \cdot 111,8} = 117,7\ \text{kV}.$$

Dacă la calcul tensiunii în nodul ”0” neglijăm căderea de tensiune transversală atunci obţinem: $U_0' = U_a' + \Delta U_1' = 111,8 + 5,7 = 117,5\ \text{kV}$.

Eroarea de calcul este:

$$\frac{117,7 - 117,5}{117,7} \cdot 100 = 0,17\ \%.$$

Calculul regimului de lucru a liniei la un consum de putere minimală, calculul se începe la fel de la nodul ”c” .

Puterea la sfârşitul tronsonului 3 se va determina în felul următor:

$$\underline{S}''_{3\min} = 0,3 \cdot \underline{S}_c - 0,5 \cdot jQ_{c3} = 0,3 \cdot (19 + j9) - 0,5 \cdot j0,6 = (5,7 + j2,4)\ MVA.$$

Pierderile de putere în tronsonul 3 nu le determinăm deoarece ele, ca şi – n regimul când avem consun de putere maximală, au valori mici.

Căderea de tensiune pe tronsonul 3 :

$$\Delta U_3'' = \frac{P_{3\min}'' \cdot R_3 + Q_{3\min}'' \cdot X_3}{U_c''} = \frac{5,7 \cdot 6,28 + 2,4 \cdot 8,58}{108} = 0,52\ \text{kV}.$$

Tensiunea în nodul ”a”:

$$U_a'' = U_c'' + \Delta U_3'' = 108 + 0,52 = 108,52\ \text{kV}.$$

Puterea la sfârşitul tronsonului 2:

$$\underline{S}''_{2\min} = 0,3 \cdot \underline{S}_b - 0,5 \cdot jQ_{c2} = 0,3 \cdot (13 + j7) - 0,5 \cdot j0,98 = (3,9 + j1,6)\ MVA.$$

Deoarece $\underline{S}'_{2\min} = \underline{S}''_{2\min}$, atunci căderea de tensiune longitudinală pe tronsonul 2 se determină:

$$\Delta U_2'' = \frac{P_{2\min}' \cdot R_2 + Q_{2\min}' \cdot X_2}{U_a''} = \frac{3,9 \cdot 7,5 + 1,6 \cdot 12,89}{108,5} = 0,3\ \text{kV}.$$

Tensiunea în nudul ”b” se determină:

$$U_b'' = U_a'' - \Delta U_2'' = 108,5 - 0,3 = 108,2\ \text{kV}.$$

Puterea reactivă de compensare sumară la sfârşitul tronsonului 1, începutul tronsoanelor 2 şi 3 se determină:

$$Q_{c\Sigma} = 0.5 \cdot (U_a'')^2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3) = 0,5 \cdot (108,5)^2 \cdot (1,42 + 0,8 + 0,53) \cdot 10^{-4} = 1,6\ M\ \text{var}.$$

Puterea la sfârşitul tronsonului 1 este:

$$\underline{S}''_{1\min} = \underline{S}'_{2\min} + \underline{S}'_{3\min} + 0,3 \cdot \underline{S}_a - jQ_{c\Sigma} = 3,9 + j1,6 + 5,7 + j2,4 + 0,3 \cdot (11 + j5) - j1,6 =$$
$$= (12,9 + j3,9)\ MVA.$$

Căderea de tensiune longitudinală pe tronsonul 1:

$$\Delta U_1'' = \frac{P_{1\min}'' \cdot R_1 + Q_{1\min}'' \cdot X_1}{U_a''} = \frac{12{,}9 \cdot 6 + 3{,}9 \cdot 20{,}5}{108{,}5} = 1{,}4 \text{ kV}.$$

Tensiunea în nodul ”0”:

$$U_0'' = U_a'' + \Delta U_1'' = 108{,}2 + 1{,}4 = 109{,}6 \text{ kV}.$$

În aşa mod, tensiunea în nodul de alimentare trebuie să fie egală cu 117,2 kV la o sarcină maximă, iar la o sarcină minimă — egală cu 109,6 kV, pentru a menține tensiunea în limitele date în nodul ”c”.

Problema 3.1 O linie electrică aeriană cu tensiunea nominală U_{nom} = 110 kV este echipată cu conductoare de tipul Al-Ol-185/24 dispuse orizontal pe stâlpi de beton, distanța medie geometrică dintre conductoare este D_{mg}=5,5 m, lungimea liniei este l =100 km şi alimentează un singur consumator care consumă o putere S_2=30+j·20 MVA, tensiunea la intrare este U_1=121 kV. De determinat tensiunea la ieşire U_2, utilizând metoda Newton – Raphson.

Rezolvare: În primul rând se alcătuieşte schema echivalentă care este prezentată în figura 3.1.

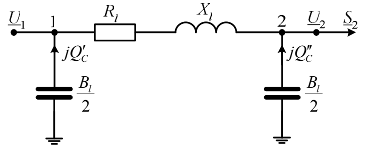


Fig. 3.1. Schema echivalentă a LEA

În continuare se determină elementele pasive a liniei.

$R_l = r_0 \cdot l$ = 0,154·100 = 15,4 Ω;

$X_l = x_0 \cdot l$ = 0,420·100 = 42 Ω;

$B_l = b_0 \cdot l = 2{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 2{,}82 \cdot 10^{-4}$ S;

Determinarea admitanților:

$$\underline{Y}_{12} = \frac{1}{\underline{Z}_{12}} = \frac{1}{R_{12} + jX_{12}} = G_{12} - jB_{12};$$

$$G_{12} = \frac{R_{12}}{(R_{12})^2 + (X_{12})^2} = \frac{15{,}4}{(15{,}4)^2 + (42)^2} = 7{,}69 \cdot 10^{-3} \text{ S};$$

$$B_{12} = \frac{X_{12}}{(R_{12})^2 + (X_{12})^2} = \frac{42}{(15{,}4)^2 + (42)^2} = 20{,}98 \cdot 10^{-3} \text{ S};$$

$$\underline{Y}_{22} = G_{22} - jB_{22} = \underline{Y}_{12} + j\frac{B_l}{2} = 7{,}69 \cdot 10^{-3} - j20{,}98 \cdot 10^{-3} + j1{,}41 \cdot 10^{-4} = 7{,}69 \cdot 10^{-3} - j20{,}84 \cdot 10^{-3}.$$

Ecuația alcătuită conform ecuațiilor nodale va avea forma următoare

$$\sqrt{3} \cdot \underline{I}_2 = \underline{U}_2 \underline{Y}_{22} - \underline{U}_1 \cdot \underline{Y}_{12}.$$

Bilanțul puterilor, folosind varianta rectangulară de exprimare a tensiunilor

Într-un nod generator avem $+P_g$ şi $+Q_g$ iar într-un nod consumator avem $-P_c$ şi $-Q_c$.
Abaterile de tensiune se determină cu relația:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(0)} = -\begin{bmatrix} \dfrac{\delta\omega P_2}{\delta U_2'} & \dfrac{\delta\omega P_2}{\delta U_2''} \\ \dfrac{\delta\omega Q_2}{\delta U_2'} & \dfrac{\delta\omega Q_2}{\delta U_2''} \end{bmatrix}_{(0)}^{-1} \times \begin{bmatrix} \omega P_2 \\ \omega Q_2 \end{bmatrix}_{(0)}.$$

Se consideră la pasul “zero” că:

$$(U_2')_{(0)} = 112 \text{ kV};$$

$$(U_2'')_{(0)} = 0.$$

Abaterile de putere se determină utilizând expresiile (3.13) şi (3.14)

$$(\omega P_2)_{(0)} = -P_j + G_{22} \cdot \left[(U_2')_{(0)}^2 + (U_2'')_{(0)}^2\right] - G_{12} \cdot (U_2')_{(0)} \cdot U_1 + B_{12} \cdot (U_2'')_{(0)} \cdot U_1 = 30 + 7{,}69 \cdot 10^{-3} \cdot 112^2 -$$
$$- 7{,}69 \cdot 10^{-3} \cdot 112 \cdot 121 = 22{,}25;$$

$$(\omega Q_2)_{(0)} = Q_2 - B_{22} \cdot \left[(U_2')_{(0)}^2 + (U_j'')_{(0)}^2\right] + B_{12} \cdot (U_2')_{(0)} \cdot U_1 + G_{12} \cdot (U_2'')_{(0)} \cdot U_1 = -20 - 20{,}84 \cdot 10^{-3} \cdot 112^2 +$$
$$+ 20{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot 112 \cdot 121 = 2{,}91.$$

Elementele Jacobianului vor avea valorile:

$$\left(\frac{\delta(\omega P_2)}{\delta(U_2')}\right)_{(0)} = 2 \cdot G_{22} \cdot (U_2')_{(0)} - G_{12} \cdot U_1 = 2 \cdot 7{,}69 \cdot 10^{-3} \cdot 112 - 7{,}69 \cdot 10^{-3} \cdot 121 = 0{,}792;$$

$$\left(\frac{\delta(\omega P_2)}{\delta(U_2'')}\right)_{(0)} = 2 \cdot G_{22} \cdot (U_2'')_{(0)} + B_{12} \cdot U_1 = 20{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot 121 = 2{,}539;$$

$$\left(\frac{\delta(\omega Q_2)}{\delta(U_2')}\right)_{(0)} = -2 \cdot B_{22} \cdot (U_2')_{(0)} + B_{12} \cdot U_1 = -2 \cdot 20{,}84 \cdot 10^{-3} \cdot 112 + 20{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot 121 = -2{,}130;$$

$$\left(\frac{\delta(\omega Q_2)}{\delta(U_2'')}\right)_{(0)} = -2 \cdot B_{22} \cdot (U_2'')_{(0)} + G_{12} \cdot U_1 = 7{,}69 \cdot 10^{-3} \cdot 121 = 0{,}930.$$

Determinăm tensiunea la ieşire la pasul ”1”.

$$\begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(0)} = -\begin{bmatrix} 0{,}792 & 2{,}539 \\ -2{,}130 & 0{,}930 \end{bmatrix}_{(0)}^{-1} \times \begin{bmatrix} 22{,}25 \\ 2{,}91 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2{,}165 \\ -8{,}088 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(1)} = \begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(0)} + \begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(0)} = \begin{bmatrix} 112 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2{,}165 \\ -8{,}088 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 109{,}835 \\ -8{,}088 \end{bmatrix}.$$

În continuare pentru a efectua calculele se utilizează calculatorul şi se obțin următoarele rezultate

pasul ”2”
$$\begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(1)} = -\begin{bmatrix} 0{,}759 & 2{,}414 \\ -2{,}039 & 1{,}268 \end{bmatrix}_{(1)}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0{,}539 \\ 1{,}461 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}716 \\ -1{,}679 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(1)} + \begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(1)} = \begin{bmatrix} 109{,}835 \\ -8{,}088 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0{,}716 \\ -1{,}679 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 109{,}119 \\ -8{,}087 \end{bmatrix}.$$

pasul ”3”
$$\begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(2)} = -\begin{bmatrix} 0{,}748 & 2{,}414 \\ -2{,}009 & 1{,}267 \end{bmatrix}_{(2)}^{-1} \times \begin{bmatrix} 3{,}937 \cdot 10^{-3} \\ -0{,}011 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5{,}440 \cdot 10^{-3} \\ -5{,}495 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(3)} = \begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(2)} + \begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix} 109{,}119 \\ -8{,}087 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -5{,}440 \cdot 10^{-3} \\ -5{,}495 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 109{,}114 \\ -8{,}087 \end{bmatrix}.$$

pasul ”4”
$$\begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(3)} = -\begin{bmatrix} 0{,}748 & 2{,}414 \\ -2{,}009 & 1{,}267 \end{bmatrix}_{(3)}^{-1} \times \begin{bmatrix} 2{,}163 \cdot 10^{-7} \\ -5{,}861 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2{,}913 \cdot 10^{-7} \\ 6{,}651 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(4)} = \begin{bmatrix} U_2' \\ U_2'' \end{bmatrix}_{(3)} + \begin{bmatrix} \Delta U_2' \\ \Delta U_2'' \end{bmatrix}_{(3)} = \begin{bmatrix} 109{,}114 \\ -8{,}087 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2{,}913 \cdot 10^{-7} \\ 6{,}651 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 109{,}114 \\ -8{,}087 \end{bmatrix}.$$

Mai departe nu-i necesar de efectuat calculele deoarece rezultatele sunt aceleaşi, deci soluția este rezultatul obținut la pasul ”4”.

Dacă se ia în considerație puterea reactivă de compensare atunci se obțin următoarele rezultate: se modifică numai valoare abaterii de putere reactivă.

$$(\omega Q_2)_{(0)} = \left(Q_2 - \frac{U_{nom}^2 \cdot B_l}{2}\right) - B_{22} \cdot \left[(U_2')_{(0)}^2 + (U_j'')_{(0)}^2\right] + B_{12} \cdot (U_2')_{(0)} \cdot U_1 + G_{12} \cdot (U_2'')_{(0)} \cdot U_1 =$$
$$= -\left(20 - \frac{110^2 \cdot 2{,}82 \cdot 10^{-4}}{2}\right) - 20{,}84 \cdot 10^{-3} \cdot 112^2 + 20{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot 112 \cdot 121 = 4{,}616;$$

$$\begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(0)} = -\begin{bmatrix}0{,}792 & 2{,}539 \\ -2{,}130 & 0{,}930\end{bmatrix}_{(0)}^{-1} \times \begin{bmatrix}22{,}25 \\ 4{,}616\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-1{,}460 \\ -8{,}309\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(1)} = \begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(0)} + \begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(0)} = \begin{bmatrix}112 \\ 0\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-1{,}460 \\ -8{,}309\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}110{,}540 \\ -8{,}309\end{bmatrix}.$$

În continuare pentru a efectua calculele la fel se utilizează calculatorul şi se obţin următoarele rezultate:

pasul "2"
$$\begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(1)} = -\begin{bmatrix}0{,}770 & 2{,}411 \\ -2{,}069 & 1{,}277\end{bmatrix}_{(1)}^{-1} \times \begin{bmatrix}0{,}547 \\ 1{,}483\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0{,}716 \\ -1{,}703\cdot 10^{-3}\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(1)} + \begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(1)} = \begin{bmatrix}110{,}540 \\ -8{,}309\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-0{,}716 \\ -1{,}703\cdot 10^{-3}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}109{,}824 \\ -8{,}308\end{bmatrix}.$$

pasul "3"
$$\begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(2)} = -\begin{bmatrix}0{,}759 & 2{,}411 \\ -2{,}039 & 1{,}277\end{bmatrix}_{(2)}^{-1} \times \begin{bmatrix}3{,}941\cdot 10^{-3} \\ -0{,}011\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-5{,}362\cdot 10^{-3} \\ -5{,}323\cdot 10^{-5}\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(3)} = \begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(2)} + \begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(2)} = \begin{bmatrix}109{,}824 \\ -8{,}308\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-5{,}362\cdot 10^{-3} \\ -5{,}323\cdot 10^{-5}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}109{,}819 \\ -8{,}308\end{bmatrix}.$$

pasul "4"
$$\begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(3)} = -\begin{bmatrix}0{,}758 & 2{,}411 \\ -2{,}038 & 1{,}277\end{bmatrix}_{(3)}^{-1} \times \begin{bmatrix}2{,}105\cdot 10^{-7} \\ -5{,}705\cdot 10^{-7}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-2{,}796\cdot 10^{-7} \\ 5{,}849\cdot 10^{-10}\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(4)} = \begin{bmatrix}U_2' \\ U_2''\end{bmatrix}_{(3)} + \begin{bmatrix}\Delta U_2' \\ \Delta U_2''\end{bmatrix}_{(3)} = \begin{bmatrix}109{,}819 \\ -8{,}308\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-2{,}796\cdot 10^{-7} \\ 5{,}489\cdot 10^{-10}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}109{,}819 \\ -8{,}308\end{bmatrix}.$$

Aici se finisează calculele. Analizând rezultatele în cazul când se neglijează puterea reactivă de compensare rezultatele puţin diferă unul de altul, de aceea în continuare nu trebuie de luat această putere în consideraţie.

Pentru a determina puterea limită (maximă) care poate fi cerută de consumator se efectuează următorul calcul:

Se cunoaşte bine următoarea expresie:

$$U_1 = U_2 + \frac{P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l}{U_2} \Bigg| \cdot U_2$$

$$U_2^2 - U_1 U_2 + P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l = 0;$$

$$U_2 = \frac{U_1 \pm \sqrt{U_1^2 - 4\cdot\left(P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l\right)}}{2};$$

$$U_2 = \frac{U_1}{2} \pm \sqrt{\frac{U_1^2}{4} - \left(P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l\right)}.$$

În continuare radicalul se egalează cu zero şi ţinând cont că $Q_l = P_l \cdot tg\varphi$ se obţine:

$$\frac{U_1^2}{4} - \left(P_l \cdot R_l + P_l \cdot tg\varphi \cdot X_l\right) = 0 \Rightarrow P_l = \frac{U_1^2}{4\cdot\left(R_l + tg\varphi \cdot X_l\right)}.$$

$\cos\varphi = 0{,}85 \Rightarrow tg\varphi = 0{,}62$, puterea limită se obţine.

$$P_{l,\max} = \frac{121^2}{4\cdot\left(15{,}4 + 0{,}62\cdot 42\right)} = 88{,}3 \text{ MW};$$

$$Q_{l,\max} = P_{l,\max} \cdot tg\varphi = 88{,}3 \cdot 0{,}62 = 55 \text{ Mvar}.$$

Această problemă poate fi rezolvată şi prin următoarea metodă.

Se alcătuieşte sistemul de ecuaţii pentru schema din fig. 3.1.

$$\overset{*}{\underline{Y}}_{11} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_1 - \overset{*}{\underline{Y}}_{12} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_2 = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_1; \qquad (1)$$

$$-\overset{*}{\underline{Y}}_{21} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_1 + \overset{*}{\underline{Y}}_{22} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_2 = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_2, \qquad (2)$$

sau

$$\overset{*}{\underline{Y}}_{11} \cdot U_1^2 - \overset{*}{\underline{Y}}_{12} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_2 \cdot \underline{U}_1 = \underline{S}_1; \qquad (3)$$

$$-\overset{*}{\underline{Y}}_{21} \cdot \overset{*}{\underline{U}}_1 \underline{U}_2 + \overset{*}{\underline{Y}}_{22} \cdot U_2^2 = \underline{S}_2. \qquad (4)$$

Vom face următoarele notaţii:

$\underline{Y}_{11} = G_{11} - jB_{11} = Y_{11} \cdot e^{-j\alpha 11}$; $\overset{*}{\underline{Y}}_{11} = Y_{11} \cdot e^{j\alpha 11}$;

$\underline{Y}_{21} = G_{21} - jB_{21} = Y_{21} \cdot e^{-j\alpha 21}$; $\overset{*}{\underline{Y}}_{21} = Y_{21} \cdot e^{j\alpha 21}$; $\underline{Y}_{21} = \underline{Y}_{12}$;

$\underline{Y}_{22} = G_{22} - jB_{22} = Y_{22} \cdot e^{-j\alpha 22}$; $\overset{*}{\underline{Y}}_{22} = Y_{22} \cdot e^{j\alpha 22}$;

$\underline{U}_1 = U_1' + jU_1'' = U_1 e^{j\Psi 1} \;\rightarrow\; \overset{*}{\underline{U}}_1 = U_1 e^{-j\Psi 1}$;

$\underline{U}_2 = U_2' + jU_2'' = U_2 e^{j\Psi 2} \;\rightarrow\; \overset{*}{\underline{U}}_2 = U_2 e^{-j\Psi 2}$; $\quad \Psi_2 - \Psi_1 = \delta$; $-\Psi_2 + \Psi_1 = -\delta$;

$\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 = S_2 e^{j\varphi 2}$; $\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1 = S_1 e^{j\varphi 1}$.

Luând în consideraţie notaţiile de mai sus din (4) obţinem:

$$-Y_{21} e^{j\alpha 21} \cdot U_1 e^{-j\Psi 1} \cdot U_2 e^{j\Psi 2} + Y_{22} e^{j\alpha 22} \cdot U_2^2 = S_2 e^{j\varphi 2}, \qquad (5a)$$

$$-Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2 e^{j(\Psi 2 - \Psi 1 + \alpha 21)} + Y_{22} \cdot U_2^2 e^{j\alpha 22} = S_2 e^{j\varphi 2}, \qquad (5b)$$

sau

$$\left.\begin{aligned} &-Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \left\{\cos\overbrace{\left[\left(\Psi_2 - \Psi_1\right) + \alpha_{21}\right]}^{\delta+\alpha 21}\right\} + Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \cos\left(\alpha_{22}\right) = S_2 \cdot \cos\left(\varphi_2\right); \\ &-Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \left\{\sin\overbrace{\left[\left(\Psi_2 - \Psi_1\right) + \alpha_{21}\right]}^{\delta+\alpha 21}\right\} + Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \sin\left(\alpha_{22}\right) = S_2 \cdot \sin\left(\varphi_2\right). \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

de unde

$$\left.\begin{aligned} &-\cos\left(\delta + \alpha_{21}\right) = \frac{S_2 \cdot \cos\left(\varphi_2\right)}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2} - \frac{Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \cos\left(\alpha_{22}\right)}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2}; \\ &-\sin\left(\delta + \alpha_{21}\right) = \frac{S_2 \cdot \sin\left(\varphi_2\right)}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2} - \frac{Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \sin\left(\alpha_{22}\right)}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

(7) se ridică la pătrat şi se adună parte cu parte

$$\left[-\cos\left(\delta + \alpha_{21}\right)\right]^2 + \left[-\sin\left(\delta + \alpha_{21}\right)\right]^2 = \frac{S_2^2}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2} \cdot \left(\cos^2\left(\varphi_2\right) + \sin^2\left(\varphi_2\right)\right) +$$

$$+ \frac{Y_{22}^2 \cdot U_2^4}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2} \cdot \left(\cos^2\left(\alpha_{22}\right) + \sin^2\left(\alpha_{22}\right)\right) - 2 \cdot \frac{S_2 \cdot Y_{22} \cdot U_2^2}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2}\left(\cos\left(\varphi_2\right) \cdot \cos\left(\alpha_{22}\right) + \sin\left(\varphi_2\right) \cdot \sin\left(\alpha_{22}\right)\right),$$

sau

$$1 = \frac{S_2^2}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2} + \frac{Y_{22}^2 \cdot U_2^4}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2} - 2 \cdot \frac{S_2 \cdot Y_{22} \cdot U_2^2}{Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2} \cdot \cos\left(\varphi_2 - \alpha_{22}\right);$$

sau

$$Y_{21}^2 \cdot U_1^2 \cdot U_2^2 = Y_{22}^2 \cdot U_2^4 - 2 \cdot S_2 \cdot Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \cos\left(\varphi_2 - \alpha_{22}\right) + S_2^2;$$

sau

$$Y_{22}^2 \cdot U_2^4 - \underbrace{\left(2 \cdot S_2 \cdot Y_{22} \cdot \cos\left(\varphi_2 - \alpha_{22}\right) + Y_{21}^2 \cdot U_1^2\right)}_{A} \cdot U_2^2 + S_2^2 = 0; \qquad (8)$$

$$Y_{22}^2 \cdot U_2^4 - A \cdot U_2^2 + S_2^2 = 0;$$

sau

$$U_2^4 - \frac{A}{Y_{22}^2} \cdot U_2^2 + \left(\frac{S_2}{Y_{22}}\right)^2 = 0 . \qquad (9)$$

Soluția ecuației (8) este:

$$U_2^2 = \frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2} \pm \sqrt{\left(\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2}\right)^2 - \left(\frac{S_2}{Y_{22}}\right)^2} , \qquad (10)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2} \pm \sqrt{\left(\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2}\right)^2 - \left(\frac{S_2}{Y_{22}}\right)^2}} , \qquad (11)$$

$$\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2} = \left[\frac{2 \cdot S_2 \cdot Y_{22} \cdot \cos(\varphi_2 - \alpha_{22})}{2 \cdot Y_{22}^2} + \frac{Y_{21}^2 \cdot U_1^2}{2 \cdot Y_{22}^2}\right] = \frac{S_2}{Y_{22}} \cdot \left[\cos(\varphi_2 - \alpha_{22}) + \frac{Y_{21}^2 \cdot U_1^2}{2 \cdot Y_{22} \cdot S_2}\right] =$$

$$= \frac{S_2}{Y_{22}} \cdot \left[\cos(\varphi_2 - \alpha_{22}) + V\right], \qquad (12)$$

unde $V = \dfrac{Y_{21}^2 \cdot U_1^2}{2 \cdot Y_{22} \cdot S_2}$, (13)

$$\left[\cos(\varphi_2 - \alpha_{22}) + V\right] = F . \qquad (14)$$

Luând în considerație (12) și (14) relația (8) se poate scrie în felul următor:

$$U_2 = \sqrt{\frac{S_2}{Y_{22}} \cdot \left(F \pm \sqrt{F^2 - 1}\right)}. \qquad (15)$$

Din relația (7) obținem că:

$$(\delta + \alpha_{21}) = \arcsin\left(-\frac{S_2 \cdot \sin(\varphi_2) - Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \sin(\alpha_{22})}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2}\right), \qquad (16)$$

$$\delta = (\delta + \alpha_{21}) - \alpha_{21} . \qquad (17)$$

Din relația (9) rezultă că soluție există dacă se îndeplinește condiția:

$$\left(\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2}\right)^2 \geq \left(\frac{S_2}{Y_{22}}\right)^2 , \qquad (18)$$

sau

$$\left(\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2}\right)^2 = \left(\frac{S_2}{Y_{22}}\right)^2 , \qquad (19)$$

$$\frac{A}{2 \cdot Y_{22}^2} = \frac{S_2}{Y_{22}} , \qquad (20)$$

sau

$$A - 2 \cdot Y_{22} \cdot S_2 = 0 . \qquad (21)$$

Relația (21) primește următoarea formă:

$$2 \cdot S_2 \cdot Y_{22} \cdot \cos(\varphi_2 - \alpha_{22}) + Y_{21}^2 \cdot U_1^2 - 2 \cdot Y_{22} \cdot S_2 = 0 , \qquad (22)$$

sau

$$2 \cdot Y_{22} \cdot (1 - \cos(\varphi_2 - \alpha_{22})) \cdot S_2 = Y_{21}^2 \cdot U_1^2 , \qquad (23)$$

de unde se determină

$$S_2 = \frac{Y_{21}^2 \cdot U_1^2}{2 \cdot Y_{22} \cdot (1 - \cos(\varphi_2 - \alpha_{22}))} . \qquad (24)$$

Deoarece $P_2 = S_2 \cdot \cos\varphi_2$ din (24) rezultă că puterea maximă absorbită de consumator va avea loc în ipoteza că $(\varphi_2 - \alpha_{22}) = \pi$.

$$P_{2\max} = \frac{Y_{21}^2 \cdot U_1^2}{4 \cdot Y_{22}} .$$

Din relația (3) se obține:

$$Y_{11} e^{j\alpha 11} \cdot U_1^2 - Y_{12} e^{j\alpha 12} \cdot U_2 e^{-j\Psi 2} \cdot U_1 e^{j\Psi 1} = S_1 e^{j\varphi 1} , \qquad (25)$$

sau

$$Y_{11} \cdot U_1^2 e^{j\alpha 11} - Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1 e^{j(\alpha 12 - \Psi 2 + \Psi 1)} = S_1 e^{j\varphi 1} , \qquad (26)$$

sau

$$\left.\begin{aligned} &Y_{11} \cdot U_1^2 \cdot \cos(\alpha_{11}) - Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1 \cdot \cos(\alpha_{12} - \Psi_2 + \Psi_1) = S_1 \cdot \cos(\varphi_1); \\ &Y_{11} \cdot U_1^2 \cdot \sin(\alpha_{11}) - Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1 \cdot \sin(\alpha_{12} - \Psi_2 + \Psi_1) = S_1 \cdot \sin(\varphi_1). \end{aligned}\right\} \qquad (27)$$

(27) se ridică la pătrat și se adună parte cu parte, ținând cont că $(-\Psi_2 + \Psi_1) = -\delta$ se obține:

$$S_1^2 \cdot \left[\cos(\varphi_1)^2 + \sin(\varphi_1)^2\right] = Y_{11}^2 \cdot U_1^4 \cdot \left[\cos(\alpha_{11})^2 + \sin(\alpha_{11})^2\right] + Y_{12}^2 \cdot U_2^2 \cdot U_1^2 \cdot \left[\cos(\alpha_{12} - \delta)^2 + \right.$$

$$\left. + \sin(\alpha_{12} - \delta)^2\right] - 2 \cdot Y_{11} \cdot Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1^3 \cdot \left[\cos(\alpha_{11}) \cdot \cos(\alpha_{12} - \delta) + \sin(\alpha_{11}) \cdot \sin(\alpha_{12} - \delta)\right], \qquad (28)$$

sau

$$S_1^2 = Y_{11}^2 \cdot U_1^4 + Y_{12}^2 \cdot U_2^2 \cdot U_1^2 - 2 \cdot Y_{11} \cdot Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1^3 \cdot \cos(\alpha_{11} - \alpha_{12} + \delta) , \qquad (29)$$

sau

$$S_1 = \sqrt{Y_{11}^2 \cdot U_1^4 + Y_{12}^2 \cdot U_2^2 \cdot U_1^2 - 2 \cdot Y_{11} \cdot Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1^3 \cdot \cos(\alpha_{11} - \alpha_{12} + \delta)} , \qquad (30)$$

sau

$$S_1 = U_1 \cdot \sqrt{Y_{11}^2 \cdot U_1^2 + Y_{12}^2 \cdot U_2^2 - 2 \cdot Y_{11} \cdot Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1 \cdot \cos(\alpha_{11} - \alpha_{12} + \delta)} . \qquad (31)$$

Din relația (27) se determină:

$$\varphi_1 = \arcsin\left(\frac{Y_{11} \cdot U_1^2 \cdot \sin(\alpha_{11}) - Y_{12} \cdot U_2 \cdot U_1 \cdot \sin(\alpha_{12} - \delta)}{S_1}\right). \qquad (32)$$

$Y_{12} = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$; $\alpha_{12} = 1{,}21935$ rad.

$Y_{22} = 22{,}2 \cdot 10^{-3}$; $\alpha_{22} = 1{,}21716$ rad.

$S_2 = 36{,}05$; $\varphi_2 = -2{,}5535$ rad.

Conform relației (13) se obține:

$$V = \frac{\left(22{,}4 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 121^2}{2 \cdot \left(22{,}2 \cdot 10^{-3}\right) \cdot 36{,}05} = 4{,}5657 ;$$

Conform relației (14) se determină:

$$F = \left[\cos(-2{,}5535 - 1{,}21716) + 4{,}5657\right] = 3{,}7572 .$$

Conform relației (15) se determină modulul tensiunii:

$$U_2^{(1)} = \sqrt{\frac{S_2}{Y_{22}} \cdot \left(F + \sqrt{F^2 - 1}\right)} = \sqrt{\frac{36{,}05}{22{,}2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(3{,}7572 + \sqrt{(3{,}7572)^2 - 1}\right)} = 109{,}4181 .$$

$$U_2^{(2)} = \sqrt{\frac{S_2}{Y_{22}} \cdot \left(F - \sqrt{F^2 - 1}\right)} = \sqrt{\frac{36{,}05}{22{,}2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(3{,}7572 - \sqrt{(3{,}7572)^2 - 1}\right)} = 14{,}8287 .$$

Unghiul δ se determină cu relația (16) și (17):

$$\delta = \arcsin\left(-\frac{S_2 \cdot \sin(\varphi_2) - Y_{22} \cdot U_2^2 \cdot \sin(\alpha_{22})}{Y_{21} \cdot U_1 \cdot U_2}\right) - \alpha_{21} ;$$

$$\delta^{(1)} = -0{,}0739\, rad = -4{,}2361^0 ;$$

$$\delta^{(2)} = -0{,}5596\, rad = -32{,}0624^0 .$$

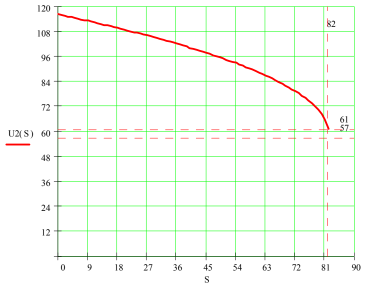
$$\underline{U}_2^{(1)} = U_2^{(1)} e^{j\delta^{(1)}} = 109{,}1192 - j8{,}0823 \text{ kV};$$

$$\underline{U}_2^{(2)} = U_2^{(2)} e^{j\delta^{(2)}} = 12{,}5668 - j7{,}8717 \text{ kV}.$$

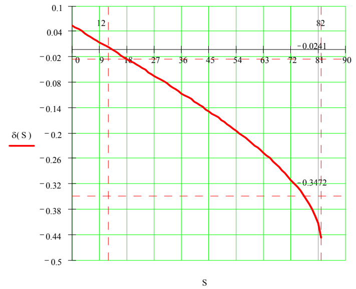
Puterea limită se determină:

$$P_{2\max} = \frac{\left(22{,}4 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 121^2}{4 \cdot \left(22{,}2 \cdot 10^{-3}\right)} = 82{,}72 \text{ MW}.$$

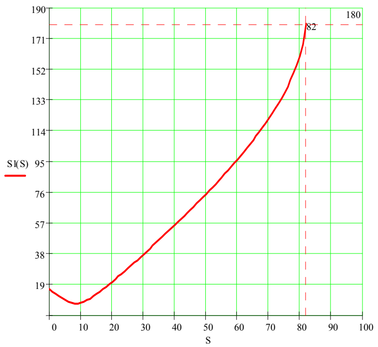
În baza relațiilor (15), (16), (31) şi (32) se pot construi următoarele dependențe:



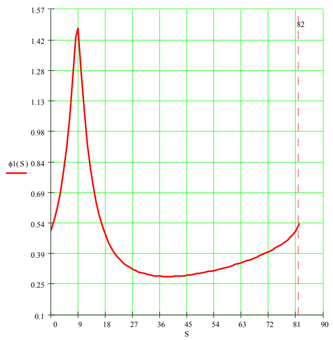
Dependența $U_2 = f(S_2)$



Dependența $\delta = f(S_2)$



Dependența $S_1 = f(S_2)$



Dependența $\varphi_1 = f(S_2)$

Problema 4.1 Se consideră o linie electrică trifazată, curent alternativ, simplu circuit de 35 kV (fig.1). Linia alimentează un consumator industrial care absoarbe, în orele de vârf ale curbei de sarcină, o putere activă de 3800 kW, la un factor de putere cosφ = 0,85. LEA are 22 km şi este executată cu conductoare din oțel–aluminiu de tipul AC – 70/11. Curba de sarcină este prezentată în fig.2. Să se determine pierderile de putere şi de energie (exacte şi aproximative) în linie prin toate metodele.

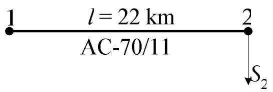


Fig.1 Schema LEA

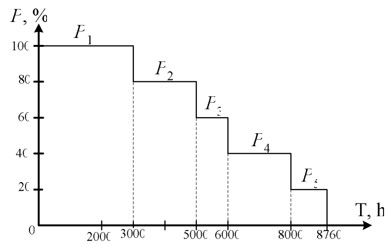


Fig.2 Curba de sarcină anuală clasată

Rezolvare: Pentru a determina pierderile de putere activă şi reactivă în LEA mai întâi trebuie de alcătuit schema echivalentă a liniei şi de determinat parametrii ei.

Deoarece tensiunea nominală a LEA este 35 kV se utilizează schema echivalentă prezentată în fig.3.

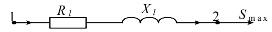


Fig.3 Schema echivalentă a LEA

Utilizând literatura tehnică se determină valorile parametrilor schemei echivalente.

$R_l = r_0 \cdot l = 0{,}420 \cdot 22 = 9{,}24\ \Omega;$

$X_l = x_0 \cdot l = 0{,}410 \cdot 22 = 9{,}02\ \Omega.$

Pierderile de putere se determină cu relația:

$$\Delta P_l = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot R_l = \frac{3800^2 + 2356^2}{35^2} \cdot 9{,}24 \cdot 10^{-3} = 151\ \text{W};$$

$$\Delta Q_l = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot X_l = \frac{3800^2 + 2356^2}{35^2} \cdot 9{,}02 \cdot 10^{-3} = 147\ \text{kvar};$$

$$Q_l = Q_{\max} = S_{\max} \cdot \sin\varphi = P_{\max} \cdot tg\varphi = 3800 \cdot 0{,}62 = 2356\ \text{kvar}.$$

Pentru a determina pierderile de energie activă e necesar de analizat curba de sarcină.

1. Se determină durata de utilizare a sarcinii maxime – T_{max}.

$$T_{\max} = \frac{W_a}{P_{\max}} = \frac{P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + P_3 \cdot T_3 + P_4 \cdot T_4 + P_5 \cdot T_5}{P_{\max}} =$$

$$= \frac{3800 \cdot 1{,}0 \cdot 3000 + 3800 \cdot 0{,}8 \cdot 2000 + 3800 \cdot 0{,}6 \cdot 1000 + 3800 \cdot 0{,}4 \cdot 2000 + 3800 \cdot 0{,}2 \cdot 760}{3800} = 6152\, h/an;$$

2. Se determină sarcina medie S_{med} şi medie pătratică S_{mp}.

1 sarcina medie se determină cu relația:

$$S_{med} = \frac{P_{med}}{\cos\varphi} = \frac{W_a}{T_{an} \cdot \cos\varphi} = \frac{23275000}{8760 \cdot 0{,}85} = 3126\ \text{kVA};$$

2 sarcina medie pătratică se determină cu relația:

$$S_{mp} = \frac{P_{mp}}{\cos\varphi} = \sqrt{\frac{1}{T_f}\left(P_1^2 \cdot T_1 + P_2^2 \cdot T_2 + P_3^2 \cdot T_3 + P_4^2 \cdot T_4 + P_5^2 \cdot T_5\right)} \Big/ \cos\varphi =$$

$$\sqrt{\frac{3800^2 \cdot 3000 + 3040^2 \cdot 2000 + 2280^2 \cdot 1000 + 1520^2 \cdot 2000 + 760^2 760}{8760}} \Big/ 0{,}85 = 3374\, kVA;$$

3. Se determină pierderile de energie activă prin toate metodele.

3 $\Delta W = \frac{S_{med}^2}{U_n^2} \cdot R_l \cdot k_f^2 \cdot T_f = \frac{3126^2}{35^2} \cdot 9{,}24 \cdot 1{,}08^2 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 753122\ \text{kW·h/an};$

k_f – coeficientul de formă a curbei de sarcină;

$$k_f = \frac{S_{mp}}{S_{med}} = \frac{3374}{3126} = 1{,}08.$$

- $\Delta W = \frac{S_{mp}^2}{U_n^2} \cdot R_l \cdot T_f = \frac{3374^2}{35^2} \cdot 9{,}24 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 752195\ \text{kW·h/an};$
- $\Delta W_{ex} = \frac{S_{\max}^2}{U_n^2} \cdot R_l \cdot \tau_{ex} = \frac{4471^2}{35^2} \cdot 9{,}24 \cdot 4793 \cdot 10^{-3} = 722691\ \text{kW·h/an};$

$$k_f = \frac{\sqrt{\tau \cdot T_f}}{T_{\max}} \quad \Rightarrow \tau_{ex} = \frac{k_f^2 \cdot T_{\max}^2}{T_f} = \frac{1{,}08^2 \cdot 6000^2}{8760} = 4793 \text{ h/an.}$$

τ_{ex} – durata pierderilor maximale determinate exact;

$$\Delta W_{ap} = \frac{S_{\max}^2}{U_n^2} \cdot R_l \cdot \tau_{ap} = \frac{4471^2}{35^2} \cdot 9{,}24 \cdot 4787 \cdot 10^{-3} = 721786 \text{ kW·h/an;}$$

$$\tau_{ap} = \left(0{,}124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0{,}124 + \frac{6125}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 4787 \text{ h/an;}$$

τ_{ap} – durata pierderilor maximale determinate aproximativ;

Problema 4.2 La un post de transformare, echipat cu două transformatoare de tipul **TM – 630/10/0,4,** sunt conectați doi consumatori care au consumat 5000000 kW·h. Durata de utilizare a sarcinii maxime este 5000 h/an. Considerând că transformatoarele funcționează în paralel să se determine:

1. pierderile de putere şi de energie în transformatoare;
2. să se studieze cum variază valoarea procentuală a pierderii de energie în funcție de cantitatea de energie consumată;

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg parametrii de paşaport a transformatoarelor şi anume: $S_n = 630$ kVA; $U_{1n} = 10{,}5$ kV; $U_{2n} = 0{,}4$ kV; $u_{sc\%} = 5{,}5$ %; $\Delta P_{sc} = 8{,}5$ kW; $\Delta P_0 = 1{,}31$kW; $I_{0\%} = 3{,}0$ %.

Pentru a determina pierderile de putere şi de energie trebuie de determinat sarcina consumatorilor la un factor de putere cosφ=1,0. Această sarcină se determină cu relația:

$$S_{sar} = S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos\varphi} = \frac{W_a}{T_{\max} \cdot \cos\varphi} = \frac{5000000}{5000 \cdot 1{,}0} = 1000 \text{ kVA;}$$

Pierderile de putere activă şi reactivă se determină cu relația:

$$\Delta P_t = 2 \cdot \Delta P_0 + \frac{\Delta P_{sc}}{2} \cdot k_o^2 = 2 \cdot 1{,}31 + \frac{8{,}5}{2} \cdot (1{,}59)^2 = 13{,}36 \text{ kW;}$$

$$\Delta Q_t = 2 \cdot \Delta Q_0 + \frac{u_{sc\%}}{2 \cdot 100} \cdot k_o^2 \cdot S_n = 2 \cdot 18{,}9 + \frac{5{,}5}{2 \cdot 100} \cdot (1{,}59)^2 \cdot 630 = 81{,}6 \text{ kvar;}$$

$$k_o = \frac{S_{sar}}{S_n} = \frac{1000}{630} = 1{,}59\,; \quad \Delta Q_0 = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{3{,}0}{100} \cdot 630 = 18{,}9 \text{ kvar.}$$

Pierderile de energie se determină în felul următor:

$$\Delta W_t = 2 \cdot \Delta P_0 \cdot T_f + \frac{\Delta P_{sc}}{2} \cdot k_o^2 \cdot \tau = 2 \cdot 1{,}31 \cdot 8760 + \frac{8{,}5}{2} \cdot (1{,}59)^2 \cdot 3411 = 59600 \text{ kW·h/an;}$$

$$\tau = \left(0{,}124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0{,}124 + \frac{5000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 3411 \text{ h/an.}$$

$$\Delta W_{t\%} = \frac{\Delta W_t}{W_a} \cdot 100 = \frac{59600}{5000000} \cdot 100 = 1{,}19\,\%.$$

Consumul tehnologic al transformatoarelor constituie 1,19 % din toată energia electică tranzitată prin ele.

Problema 4.3 Un consumator industrial care necesită o putere maximă de 20 MVA, la un factor de putere cosφ = 0,9, este alimentat de la o stație electrică de transformare 110/10 kV dotată cu două transformatoare de tipul **ТДН 16000/110/10** conectate la o LEA de 110 kV cu lungimea de 50 km (fig.1). LEA este echipată cu conductoare din oțel–aluminiu de tipul AC – 240/32 dispuse orizontal cu distanța dintre faze de 4,5 m. Durata de utilizare a sarcinii maxime este T_{max}=6000h/an. Să se determine pierderile de putere şi de energie în linie şi în transformatoarele stației.

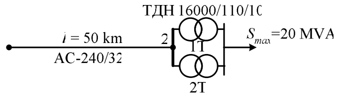


Fig.1 Schema de principiu a rețelei electrice

Rezolvare: Din literatura tehnică se aleg parametrii de paşaport a transformatoarelor şi anume: $S_n = 16$ MVA; $U_{1n} = 115$ kV; $U_{2n} = 11$ kV; $u_{sc\%} = 10{,}5$ %; $\Delta P_{sc} = 85$ kW; $\Delta P_0 = 18$kW; $I_{0\%} = 0{,}7$ %.

Pierderile de putere activă şi reactivă într-un singur transformator se determină cu relația:

$$\Delta P_t = \Delta P_0 + \Delta P_{sc} \cdot k_o^2 = 18 + 85 \cdot (1{,}25)^2 = 150{,}8 \text{ kW,}$$

$$\Delta Q_t = \Delta Q_0 + \frac{u_{sc\%}}{100} \cdot k_o^2 \cdot S_n = 112 + \frac{10{,}5}{100} \cdot (1{,}25)^2 \cdot 16000 = 2737 \text{ kvar,}$$

$$k_o = \frac{S_{sar}}{S_n} = \frac{20}{16} = 1{,}25\,; \quad \Delta Q_0 = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot S_n = \frac{0{,}7}{100} \cdot 16000 = 112 \text{ kvar.}$$

Pierderile de putere activă şi reactivă în transformatoarele SE (când transformatoarele lucrează în paralel) se determină cu relația:

$$\Delta P_{t(1+2)} = 2 \cdot \Delta P_0 + \frac{\Delta P_{sc}}{2} \cdot k_o^2 = 2 \cdot 18 + \frac{85}{2} \cdot (1{,}25)^2 = 102{,}4 \text{ kW,}$$

$$\Delta Q_{t(1+2)} = 2 \cdot \Delta Q_0 + \frac{u_{sc\%}}{2 \cdot 100} \cdot k_o^2 \cdot S_n = 2 \cdot 112 + \frac{10{,}5}{2 \cdot 100} \cdot (1{,}25)^2 \cdot 16000 = 1636{,}5 \text{ kvar.}$$

Pierderile de energie activă în cazul când transformatoarele funcționează separat şi în paralel se determină în felul următor:

$$\Delta W_t = \Delta P_0 \cdot T_f + \Delta P_{sc} \cdot k_o^2 \cdot \tau = 18 \cdot 8760 + 85 \cdot (1{,}25)^2 \cdot 4592 = 767555 \text{ kW·h/an,}$$

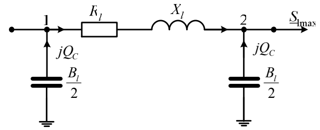
$$\Delta W_{t(1+2)} = 2 \cdot \Delta P_0 \cdot T_f + \frac{\Delta P_{sc}}{2} \cdot k_o^2 \cdot \tau = 2 \cdot 18 \cdot 8760 + \frac{85}{2} \cdot (1{,}25)^2 \cdot 4592 = 620297{,}5 \text{ kW·h/an,}$$

$$\tau = \left(0{,}124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0{,}124 + \frac{6000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 4592 \text{ h/an.}$$

Din analiza rezultatelor se observă că la funcționarea în paralel a transformatoarelor pierderile de putere cât şi de energie au valori mai mici decât în cazul funcționării separat.

Pentru a determina pierderile de putere activă şi reactivă în LEA mai întâi trebuie de alcătuit schema echivalentă a liniei şi de determinat parametrii ei.

Deoarece tensiunea nominală a LEA este 110 kV se utilizează schema echivalentă în ”π”.



Utilizând literatura tehnică se determină valorile parametrilor schemei echivalente.

$R_l = r_0 \cdot l = 0{,}118 \cdot 50 = 5{,}9\ \Omega;$

$X_l = x_0 \cdot l = 0{,}401 \cdot 50 = 20{,}05\ \Omega;$

$B_l = b_0 \cdot l = 2{,}85 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 142{,}5 \cdot 10^{-6}$ S;

$$Q_C = U_n^2 \cdot \frac{B_l}{2} = 110^2 \cdot \frac{142{,}5 \cdot 10^{-6}}{2} = 0{,}862 \text{ Mvar.}$$

Se consideră că în stație transformatoarele funcționează în paralel, atunci se obține:

$$\underline{S}_{l\max} = \underline{S}_{\max} + \Delta\underline{S}_t = P_{\max} + \Delta P_{t(1+2)} + j \cdot \left(Q_{\max} + \Delta Q_{t(1+2)}\right) = 18 + 0{,}1024 + j \cdot (8{,}7 + 1{,}6365) =$$
$$= 18{,}1024 + j \cdot 10{,}3365\ MVA;$$

$$P_{\max} = S_{\max} \cdot \cos\varphi = 20 \cdot 0{,}9 = 18 \text{ MW;}$$

$$Q_{\max} = S_{\max} \cdot \sin\varphi = P_{\max} \cdot tg\varphi = 20 \cdot 0{,}435 = 8{,}7 \text{ Mvar.}$$

Pierderile de putere se determină cu relația:

$$\Delta P_l = \frac{P_{l\max}^2 + (Q_{l\max} - Q_C)^2}{U_n^2} \cdot R_l = \frac{(18{,}1024)^2 + (10{,}3365 - 0{,}862)^2}{110^2} \cdot 5{,}9 = 0{,}204 \text{ MW};$$

$$\Delta Q_l = \frac{P_{l\max}^2 + (Q_{l\max} - Q_C)^2}{U_n^2} \cdot X_l = \frac{(18{,}1024)^2 + (10{,}3365 - 0{,}862)^2}{110^2} \cdot 20{,}05 = 0{,}692 \text{ Mvar};$$

Pierderile de energie în LEA se determină cu expresia:

$$\Delta W_l = 3 \cdot R \cdot I_{l\max}^2 \cdot \cos\varphi \cdot \tau = \Delta P_l \cdot \tau = 0{,}204 \cdot 4952 \cdot 10^3 = 1010208 \text{ kW·h/an}.$$

La determinarea pierderilor de putere și de energie în LEA pierderile corona se neglijează.

Problema 4.4 O uzină, ce consumă o putere de (40+j30) MVA, se alimentează, de la o stație electrică ce se află la distanța l = 180 km de la uzină, prin intermediu unei LEA, confecționată din conductor de tipul АСКП–240, cu tensiunea de 220 kV. Tensiunea la sfârșitul liniei când avem consum maxim de putere este egală cu U_2 = 215 kV. De determinat pierderile de putere în linie.

Rezolvare: Din tabele și acte normative găsim:

$r_0 = 0{,}12 \frac{\Omega}{km}$, $x_0 = 0{,}43 \frac{\Omega}{km}$ și $b_0 = 2{,}66 \cdot 10^{-6} \frac{S}{km}$. Atunci obținem:

$$R = r_0 \cdot l = 0{,}12 \cdot 180 = 21{,}6 \ \Omega;$$

$$X = x_0 \cdot l = 0{,}43 \cdot 180 = 77{,}4 \ \Omega;$$

$$B = b_0 \cdot l = 2{,}66 \cdot 10^{-6} \cdot 180 = 4{,}8 \cdot 10^{-4} \ S.$$

Puterea reactivă de compensare a liniei se determină în felul următor:

$$Q_c = U_2^2 \cdot B = 215^2 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-4} \approx 22 \text{ Mvar}.$$

Determinăm puterea aparentă la sfârșitul liniei ținând cont de faptul că jumătate din puterea reactivă de compensare a liniei este injectată la sfârșitul liniei. Atunci avem:

$$\underline{S}_2 = P_2 + j(Q_2 - \frac{1}{2}Q_c) = 40 + j(30 - \frac{22}{2}) = (40 + j19)\,MVA.$$

Pierderile de putere în linie se determină:

$$\Delta P = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot R = \frac{40^2 + 19^2}{215^2} \cdot 21{,}3 = 0{,}92 \ MW;$$

$$\Delta Q = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot X = \frac{40^2 + 19^2}{215^2} \cdot 77{,}4 = 3{,}28 \ M\text{var}.$$

Pierderile totale de putere se determină:

$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} = \sqrt{0{,}92^2 + 3{,}28^2} = 3{,}41 \ MVA$, care constituie din puterea totală

$$\frac{\Delta S}{S} \cdot 100 = \frac{3{,}41}{\sqrt{40^2 + 30^2}} \cdot 100 = 6{,}82\%.$$

Problema 4.5 Să sere de obținut relațiile $\Delta W_{(0,4-110)\%} = f(\Delta W_{(0,4)\%}), \Delta W_{(10)\%}, \Delta W_{(110)\%}$ dacă sunt cunoscute consumul propriu tehnologic procentual în RE de 110 kV – $\Delta W_{(110)\%}$ = 4,5 %, RE 10 kV – $\Delta W_{(10)\%}$ = 5,5 % și în RED 0,4 kV – $\Delta W_{(0,4)\%}$ = 6,0 %. Puterea activă maximă tranzitată prin LEA este P_{max} = 2000 kW, T_{max} = 6000 h/an și cosφ = 0,88. Tipul, lungimea, și numărul LEA cât și a transformatoarelor din stațiile electrice sunt indicate în schema de principiu prezentată în figura 1.

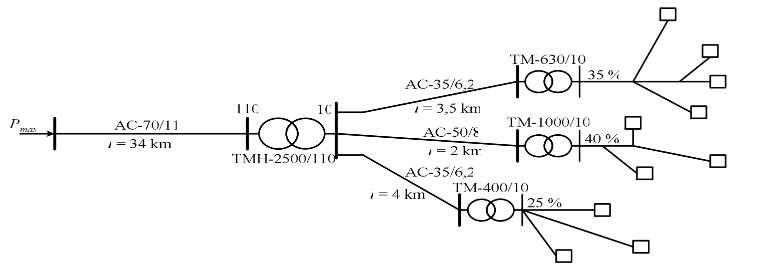


Fig.1 Schema de principiu a RE de (0,4 – 110) kV

Rezolvare:

Consumul propriu tehnologic procentual în RE de 110 kV se determină cu relația:

$$\Delta W_{(110)\%} = \frac{\Delta W_{(110)}}{W_{(110)}} \cdot 100 \Rightarrow \Delta W_{(110)} = \frac{\Delta W_{(110)\%} \cdot W_{(110)}}{100}, \tag{1}$$

Iar consumul propriu tehnologic în RE de 10 kV se determină:

$$\Delta W_{(10)\%} = \frac{\Delta W_{(10)}}{W_{(10)}} \cdot 100 = \frac{\Delta W_{(10)}}{W_{(110)} - \Delta W_{(110)}} \cdot 110, \tag{2}$$

$$W_{(10)} = W_{(110)} - \Delta W_{(110)};$$

Din relația (2) rezultă:

$$\Delta W_{(10)} = \frac{\Delta W_{(10)\%} \cdot (W_{(110)} - \Delta W_{(110)})}{100};$$

$$\Delta W_{(10)} + \Delta W_{(110)} = \frac{\Delta W_{(10)\%}}{100} \cdot [W_{(110)} - \Delta W_{(110)}] + \frac{\Delta W_{(110)\%}}{100} \cdot W_{(110)};$$

$$W_{(0,4)} = W_{(110)} - [\Delta W_{(110)} + \Delta W_{(10)}] = W_{(110)} - \left[\frac{\Delta W_{(110)\%} \cdot W_{(110)}}{100} + \frac{\Delta W_{(10)\%} \cdot (W_{(110)} - \Delta W_{(110)})}{100}\right];$$

$$\Delta W_{(0,4)\%} = \frac{\Delta W_{(0,4)}}{W_{(0,4)}} \cdot 100 = \frac{\Delta W_{(0,4)}}{W_{(110)} - [\Delta W_{(110)} + \Delta W_{(10)}]} \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta W_{(0,4)} = \frac{\Delta W_{(0,4)\%} \cdot (W_{(110)} - [\Delta W_{(110)} + \Delta W_{(10)}])}{100};$$

$$\Delta W_{(0,4-110)} = \Delta W_{(0,4)} + \Delta W_{(10)} + \Delta W_{(110)};$$

$$\Delta W_{(0,4-110)} = \frac{W_{(110)} - [\Delta W_{(110)} + \Delta W_{(10)}]}{100} \cdot \Delta W_{(0,4)\%} + \frac{\Delta W_{(10)\%} \cdot (W_{(110)} - \Delta W_{(110)})}{100} + \frac{\Delta W_{(110)\%} \cdot W_{(110)}}{100}$$

$$W = P_{\max} \cdot T_{\max} = 2000 \cdot 6000 = 12000000 \text{ kWh};$$

$$\Delta W_{(110)} = \frac{\Delta W_{(110)\%} \cdot W_{(110)}}{100} = \frac{4{,}5 \cdot 12000000}{100} = 540000 \text{ kWh};$$

$$\Delta W_{(10)} = \frac{\Delta W_{(10)\%} \cdot (W_{(110)} - \Delta W_{(110)})}{100} = \frac{5{,}5 \cdot (12000000 - 540000)}{100} = 630300 \text{ kWh};$$

$$\Delta W_{(0,4)} = \frac{\Delta W_{(0,4)\%} \cdot (W_{(110)} - [\Delta W_{(110)} + \Delta W_{(10)}])}{100} = \frac{6{,}0 \cdot (1200000 - (540000 + 630300))}{100} =$$

$$= 649782 \ kWh;$$

$$\Delta W_{(0,4-110)} = \Delta W_{(0,4)} + \Delta W_{(10)} + \Delta W_{(110)} = 540000 + 630300 + 649782 = 1820082 \text{ kWh}.$$

Probleme propuse către rezolvare

Problema 1. Să se calculeze rezistenţa activă şi reactanţa inductivă a unei linii electrice aeriene cu simplu circuit de 35 kV, echipată:

a) cu conductorul de oţel-aluminiu (AC-95/16);
b) cu conductorul din oţel (ПМС-95).

Distanţa între faze este de 3,5 m şi lungimea liniei este de 15 km.

Problema 2. **S**ă se calculeze parametrii pasivi a unei linii electrice aeriene simplu circuit de 10 kV, echipată cu conductoare de oţel ПМС-50. Fazele sunt dispuse în vârfurile unui triunghi echilateral pe capul unui stâlp, cu distanţa de 1m între ele. Linia alimentează un consumator de 1000 kW la cosφ = 0,85. Lungimea liniei este de 5 km.

Problema 3. De determinat rezistenţa activă a unei LEA cu tensiunea de 110 kV, îndeplinită cu conductor de tipul AC-120 cu lungimea de 65 km, la temperatura 0 şi 35 ^{0}C.

Problema 4. De estimat pentru care secţiuni ale LEC de 10 kV se poate neglija reactanţa inductivă dacă secţiunea variază în limitele 16 ÷ 240 mm^2.

Problema 5. O întreprindere industrială se alimentează de la două surse cu tensiunea 10kV printr-o LEA şi o LEC. Lungimea LEA este de 8,5 km şi este îndeplinită cu conductor de tipul AC-120/19 cu distanţa medie geometrică între conductoare de 2 m. Lungimea LEC este de 5 km (cablu ААБ-95). Se cere să se determine parametrii schemei echivalente a liniilor respective.

Problema 6. Să se întocmească schema echivalentă şi să se determine parametrii LEA de 110 kV „Floreşti2 - Şoldăneşti" executată din conductor de tipul AC-150/24. Conductoarele sunt dispuse pe stâlpi în vârful unui triunghi echilateral, cu distanţa între ele de 4,5 m. Lungimea liniei este de 53,2 km..

Problema 7. Se consideră o LEA de 35(110) kV. De trasat curbele de variere a rezistenţei active (r_0) şi a reactanţei inductive (x_0) pentru unitatea de lungime în funcţie de secţiunea transversală a conductoarelor. Secţiunea variază de la 35 mm^2 până la 240 mm^2. U_{nom} = 35 kV, D_{mg}=3,5 m; U_{nom} = 110 kV, D_{mg} = 5 m.

Problema 8. O linie de 110 kV, simplu circuit, este echipată cu conductor din oţel-aluminiu având secţiunea de 185/29 mm^2. Conductoarele sunt dispuse pe stâlpi în plan orizontal la distanţa dintre ele de 4 m. Lungimea liniei este de 70 km. Să se întocmească schema echivalentă şi să se determine parametrii ei.

Problema 9. O linie electrică cu simplu circuit de 110 kV, echipată cu conductoare din oţel-aluminiu de tip AC-120/19, alimentează un consumator la distanţa de 55 km. Conductoarele sunt dispuse în vârful unui triunghi echilateral, cu distanţa între ele de 3,5 m. Să se alcătuiască schema echivalentă şi să se determine parametrii ei.

Problema 10. O linie electrică de 330 kV alimentează o staţie de transformatoare a unui consumator situat la o distanţă de 270 km. Linia este echipată cu conductoare din oţel-aluminiu de tipul 2×ACO-300 cu distanţa de 9 m între faze. Să se calculeze parametrii pasivi ai LEA.

Problema 11. Pentru LEA cu simplu circuit de 400 kV şi lungimea de 350 km, echipată cu conductoare fasciculare de tipul AC-450/50 se cere să se calculeze reactanţa specifică în următoarele două cazuri: când în fiecare fază sînt două conductoare şi respectiv când în fiecare fază sunt trei conductoare dispuse în vârful unui triunghi echilateral. Fazele sunt dispuse în plan orizontal, pe capul unui stâlp portal, cu distanţa de 15 m între ele. Distanţele între conductoarele aceleiaşi faze – 400 mm.

Problema 12. La un post de transformare al unei uzine este instalat un transformator trifazat de putere de tipul **TM – 1000/10/0,4**. Se cere să se determine parametrii schemei echivalente a acestui transformator şi de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

Problema 13. Să se determine parametrii schemei echivalente şi de estimat dacă se poate de neglijat componenta activă a tensiunii de scurtcircuit a transformatorului de tipul **ТДН –25000/35/6,3**.

Problema 14. La staţia electrică din Şerpeni sunt instalate două transformatoare trifazate de putere de următorul tip **ТДН – 10000/110/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor transformatoare.

Problema 15. Pentru transformatorul trifazat cu trei înfăşurări, montat la staţia electrică din oraşul Anenii-Noi, de tipul **ТДТН–16000/110/35/10** cu raportul puterilor 100/66,7/66,7% se cere să se calculeze parametrii schemei echivalente raportaţi la tensiunea înfăşurării primare.

Problema 16. La staţia electrică din Străşeni sunt instalate două autotransformatoare trifazate de putere de următorul tip **АТДЦТН – 200000/330/110/10**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor autotransformatoare.

Problema 17. La staţia electrică a Uzinei de Tractoare din mun. Chişinău sunt instalate două transformatoare trifazate de putere cu înfăşurări scindate (divizate) de următorul tip **ТРДН–25000/110/6,3/6,3**. De determinat parametrii schemei echivalente a acestor transformatoare.

Problema 18. O linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 10 kV este echipată cu conductoare Al-Ol–70/11 (AC–70/11) dispuse pe stâlpi de beton cu coronamentul în vârfurile unui triunghi echilateral, linia electrică are lungimea de 6,5 km şi distanţa între conductoare este D = 1,5 m. LEA alimentează un consumator care necesită o putere P = 0,85 kW la un factor de putere cosφ = 0,87. La intrare în linie este impusă tensiunea U_1 = 10 kV. Se cere de calculat:

- valorile aproximative ale soluţiilor $U_2^{(1)}$ şi $U_2^{(2)}$;
- factorul de putere în ipoteza că $|U_1| = |U_2|$;
- factorul de putere în ipoteza că fazorul $|U_1|$ coincide după sens cu fazorul $|U_2|$.

Problema 19. O linie electrică aeriană simplu circuit de 35 kV, alimentează un consumator situat la distanţa de 3 km, care necesită o putere de 26 MW. Linia este executată cu conductoare de oţel-aluminiu de 95/16. Fazele sunt dispuse orizontal pe capul unui stâlp, cu distanţa de 4 m. Rezistivitatea electrică a aluminiului este 28,9 $\Omega \cdot mm^2 / km$. Tensiunea la intrare este U_1= 36 kV. Să se determine: factorul de putere în ipoteză că fazorul U_1 coincide după direcţie cu fazorul U$_2$, considerând că linia funcţionează în gol.

Problema 20. Pentru o schemă cu trei patru circuite de ales sistemul principal de circuite şi de scris în mod desfăşurat ecuaţiile curenţilor circulari.

Problema 21. O linie electrică aeriană de 35 kV cu lungimea de 20 km funcţionează în gol. Tensiunea la ieşire din linie este de 35 kV. Conductoarele sunt de 70/11 din oţel-aluminiu. Să se determine U_1 şi I_1 pe cale grafică şi analitică.

Problema 22. O LEA simplu circuit de 110 kV, alimentează un consumator situat la distanţa de 70 km, care necesită 0 putere de 70 MW, la un factor de putere cosφ = 0,8. Linia este echipată cu conductoare din oţel-aluminiu de tipul AC – 185/29. Fazele sunt dispuse orizontal cu distanţa între ele de 4.5 m. Tensiunea U_1 = 115 kV. Să se determine:

1. parametrii schemei echivalente;
2. valorile aproximative şi exactă a pierderii de tensiune;
3. componentele activă şi respectiv reactivă a curentului la barele consumatorului;
4. valorile reală şi imaginară a curentului la barele consumatorului.

Problema 23. O LEA simplu circuit de 110 kV alimentează un consumator situat la distanţa de 80 km, care necesită o putere activă de 21 MW. Linia este echipată cu conductoare de oţel-aluminiu de 150/24. Fazele sunt dispuse orizontal pe capul unui stâlp cu distanţa de 4 m. Tensiunea U_1= 115 kV. Să se determine:

1. parametrii schemei echivalente;
2. factorul de putere cosφ în ipoteză ca fazorul U_1 să coincidă cu fazorul U_2;
3. pentru fazorul obţinut de determinat pierderile de tensiune (valoarea exactă şi aproximativă).

Problema 24. O uzină ce consumă o putere activă de 18 MW ,la un factor de putere cosφ=0,82, este alimentată de la o staţie electrică situată la o distanţă de 15 km, prin intermediul unei LEA de 35 kV executată din conductoare de tipul AC – 70/11 cu distanţa medie geometrică între faze D_{mg} = 3.5 m. La barele staţiei tensiunea este de 37 kV. Să se determine:

1. parametrii schemei echivalente;
2. valorile aproximative şi exactă a pierderii de tensiune;

3. componentele activă şi respectiv reactivă a curentului la barele consumatorului;
4. valorile reală şi imaginară a curentului la barele consumatorului.

Problema 25. Se consideră o linie electrică aeriană simplu circuit cu tensiunea 110 kV este echipată cu conductoare Al-Ol-240/32 dispuse pe stâlpi de beton cu modul de dispunere a conductoarelor orizontal, LEA are lungimea de 80 km şi distanţa medie geometrică este D_m=5 m. Această linie alimentează un consumator care consumă o putere S_2 = 35+j20 MVA, la intrare este impusă tensiunea U_1 = 121 kV. De determinat tensiunea la ieşire U_2 şi puterea la intrare S_1. De analizat dacă se poate neglija componenta transversală a căderii de tensiune $\delta U_l''$ şi de construit diagrama fazorială de tensiuni.

Problema 26. La un post de transformare, echipat cu două transformatoare de tipul **TM–1000/10/0,4,** sunt conectaţi doi consumatori care au consumat 5500000 kW·h. Durata de utilizare a sarcinii maxime este 5400 h/an. Considerând că transformatoarele funcţionează în paralel să se determine:

1. pierderile de putere şi de energie în transformatoare;
2. să se studieze cum variază valoarea procentuală a pierderii de energie în funcţie de cantitatea de energie consumată;

Problema 27. Se consideră o linie electrică trifazată, curent alternativ, simplu circuit de 35 kV (fig.1). Linia alimentează un consumator industrial care absoarbe, în orele de vârf ale curbei de sarcină, o putere activă de 4200 kW, la un factor de putere cosφ = 0,88. LEA are 26 km şi este executată cu conductoare din oţel–aluminiu de tipul AC – 95/15. Curba de sarcină este prezentată în fig.2. Să se determine pierderile de putere şi de energie (exacte şi aproximative) în linie prin toate metodele.

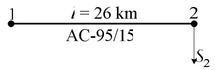


Fig.1 Schema LEA

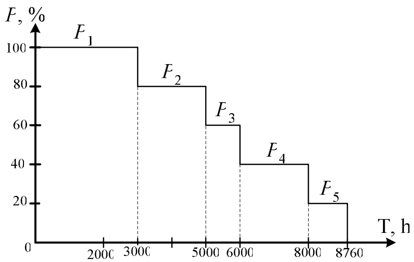


Fig.2 Curba de sarcină anuală clasată

Problema 28 Un consumator industrial care necesită o putere maximă de 14 MVA, la un factor de putere cosφ = 0,9, este alimentat de la o staţie electrică de transformare 110/10 kV dotată cu două transformatoare de tipul **ТДН 10000/110/10** conectate la o LEA de 110 kV cu lungimea de 43 km (fig.1). LEA este echipată cu conductoare din oţel–aluminiu de tipul AC – 240/32 dispuse orizontal cu distanţa dintre faze de 5 m. Durata de utilizare a sarcinii maxime este T_{max} = 5800 h/an. Să se determine pierderile de putere şi de energie în linie şi în transformatoarele staţiei.

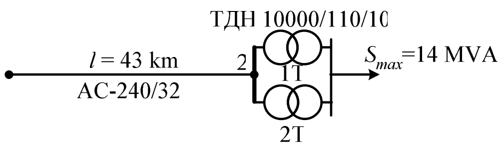


Fig.1 Schema de principiu a reţelei electrice

Problema 29. O staţie electrică de transformare este echipată cu două transformatoare de tip ТДТН – 25000/110/35/10 ($\Delta P_0 = \Delta P_{Fe}$ = 36 kW, $\Delta P_{scJM} = \Delta P_{scÎJ} = \Delta P_{scÎM}$ = 145 kW), la barele de 35 kV şi 10.5 kV sunt racordate plecări ale reţelei electrice de distribuţie (RED) care alimentează diverşi consumatori a cărei sarcină totală are un timp anual de utilizare a puterii maxime T_{max} = 4500 h, timpul pierderilor maximale este τ = 2500 h. Graficele de sarcină prezintă maximele de 10 MVA la tensiunea de 35 kV şi de 14 MVA la tensiunea de 10,5 kV la un factor de putere unitar (cosφ = 1) care coincid cu vârful de sarcină al sistemului energetic. Să se calculeze pierderile de putere şi de energie electrică în următoarele variante:

- toate întreruptoarele sunt conectate în afară de 10Î2T şi 35Î1T;
- toate întreruptoarele sunt conectate în afară de 10ÎSşi 35ÎS;
- transformatorul 2T este retras în rezervă (rezerva rece) şi sunt deconectate întreruptoarele 110Î2T, 10Î2T şi 35Î2T;
- sunt deconectate întreruptoarele 10Î2T şi 35Î2T (transformatorul 2T funcţionează în regim de mers în gol).

Să se compare cele patru variante din punct de vedere al pierderilor de putere şi energie activă considerând că timpul anual de funcţionare o unui transformator este T_f = 8400 h.

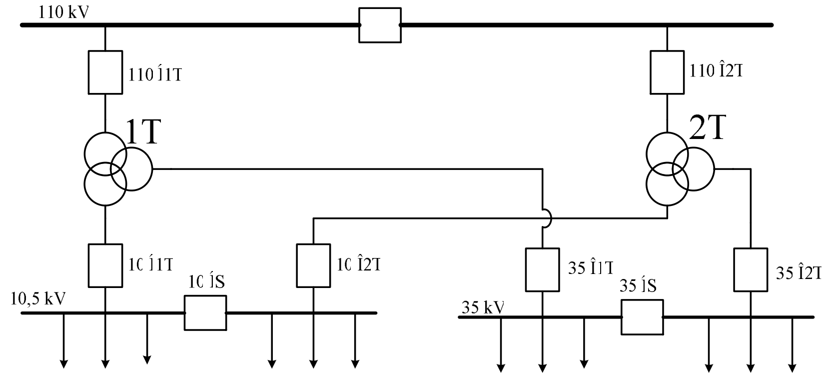


Fig.1 Schema de principiu