

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13Е013ЕНТ)

- јул 2023 -

Београд, 2.7.2023.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 1000 \text{ kVA}$, $U_1/U_{02} = 10/0,42 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Dyn11 има номинални пораст температуре намотаја $\theta_{mn} = 65 \text{ K}$ и испитиван је у огледима празног хода и кратког споја на температури од 20°C при чему је измерено: $U_0 = U_{02}$, $I_0 = 42,6 \text{ A}$, $P_0 = 1,3 \text{ kW}$, и $U_k = 500 \text{ V}$, $I_k = 52 \text{ A}$, $P_k = 12 \text{ kW}$. Додатни губици се могу занемарити.

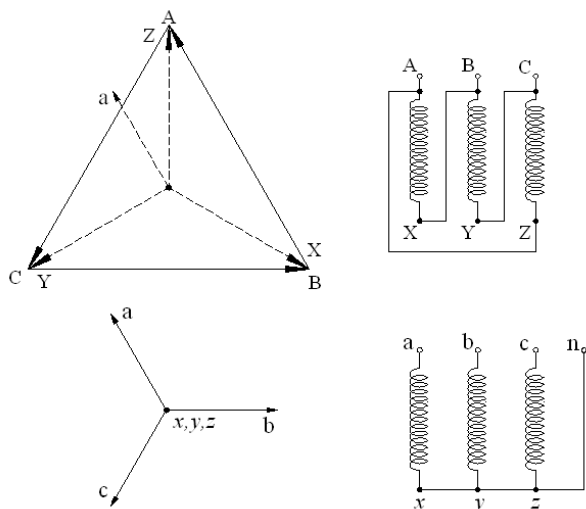
1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т8)
2. За један трансформатор познати су следећи подаци: пресек магнетног кола (S_{Fe}), дужина магнетног кола (l_{Fe}), број навојака на примару (N_1), статичка карактеристика материјала ($B(H)$), карактеристика која описује утицај начина преклапања лимова магнетног кола и линеаризоване (елиптичне) зависности $B(H)$ при мрежној учестаности напајања и при различитим вредностима максималне индукције B . При којој од две различите вредности индукције B_{max2} и B_{max1} , при чему је $B_{max2} > B_{max1}$, површ елипсе име већу вредност. Објаснити начин одређивања реактивне и активне компоненте струје празног хода трансформатора прикљученог на номинални напон, полазећи од наведених познатих карактеристика. (Т14)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на ВН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (310)
4. Задати трансформатор је оптерећен струјом $I = (900 + j600) \text{ A}$ која је једнака у све три фазе. Колики је напон секундара у овом случају? Колико оптерећење и каквог карактера треба прикључити на трансформатор да би секундарни напон имао номиналну вредност? (310)
5. При ком оптерећењу наступа максимални степен искоришћења снаге трансформатора и колико он износи ако је трансформатор прикључен на мрежу напона $1,1U_{1n}$? (310)
6. Задатом трансформатору се паралелно прикључује трансформатор снаге 630 kVA , напона $U_1/U_{20} = 10/0,4 \text{ kV}$, напона кратког споја $u_k = 6 \%$ и спреге Dyn7. Колика ће бити релативна струја изједначења у НН намотајима задатог трансформатора? Да ли је овакав режим рада дозвољен и евентуално, под којим условима? Колики је однос тежина ова два трансформатора ако имају исту максималну индукцију и густину струје? (312)
7. Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља трансформатора. На слици приказати и приближни облик промене температуре намотаја по висини, укључујући и температуру најтоплије тачке. На две одвојене слике приказати основни ефекат до кога долази када се укључе вентилатори (прелазак из AN на AF хлађење) и када се укључе пумпе (прелазак са ON на OD хлађење) у односу на ситуацију да су искључени и вентилатори и пумпе). Повећање брзине струјања флуида (ваздуха и уља) доводи до повећања коефицијента преласка топлоте струјањем. Повећање брзине струјања уља доводи до смањења вертикалног градијента температуре уља. (Т12)
8. Скицирати промену вредности струје кратког споја у три периоде након настанка кратког споја за три случаја, када је једносмерна компонента струје кратког споја позитивна и једнака: а) Око 50 % вредности коју она постиже у случају да се квар деси у најнеповољнијем тренутку, б) Нула, в) Максимално могућа (при најнеповољнијем тренутку квара). Посматрати краatak спој до кога је дошло при неоптерећеном трансформатору. (Т12)
9. Израчунати линијске струје примара и фазне напоне секундара задатог трансформатора ако је са секундарне стране оптерећен струјама $I_a = (900 - j400) \text{ A}$, $I_b = (500 - j200) \text{ A}$, $I_c = 0 \text{ A}$. (312)

Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

РЕШЕЊА

2.7.2023.

1.



2. Предавања, Поглавље 2.

Вредност магнетне индукције у језгру се израчунава коришћењем једначине (2.29).

Струја магнећења: одељак 2.2.1.

Активна компонента струје празног хода је једнака количнику губитака и напона. Губици: текст испод слике 2.16. Већу површину има елипса која важи за $B_{max2} > B_{max1}$.

$$3. \quad I_{1nf} = \frac{S_n}{3 \cdot U_{1n}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 33,33 \text{ A}, \quad I_{1nf} = I_{1n} \cdot \frac{U_{1nf}}{U_{2nf}} = 33,33 \cdot \frac{10}{0,42} \cdot \sqrt{3} = 1374,5 \text{ A}$$

$$R_a' = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{3 \cdot 10^2 \cdot 10^6}{1300} = 230,8 \text{ k}\Omega \Rightarrow I_a = \frac{U_{1f}}{R_a'} = \frac{10 \cdot 10^3}{230,8 \cdot 10^3} = 0,0433 \text{ A}$$

$$I_0' = I_0 \cdot \frac{U_{1nf}}{U_{2nf}} = 42,6 \cdot \frac{0,42}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1,033 \text{ A} \Rightarrow I_\mu = \sqrt{I_0'^2 - I_a^2} = 1,0321 \text{ A}$$

$$X_\mu = \frac{U_{1nf}}{I_\mu} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,0321} = 9,69 \text{ k}\Omega$$

$$I_{kf} = \frac{52}{\sqrt{3}} = 30 \text{ A}, \quad I_{1nf} = 33,33 \text{ A} \Rightarrow U_{kn} = U_k \cdot \frac{I_{1n}}{I_k} = 500 \cdot \frac{33,33}{30} = 555,5 \text{ V}$$

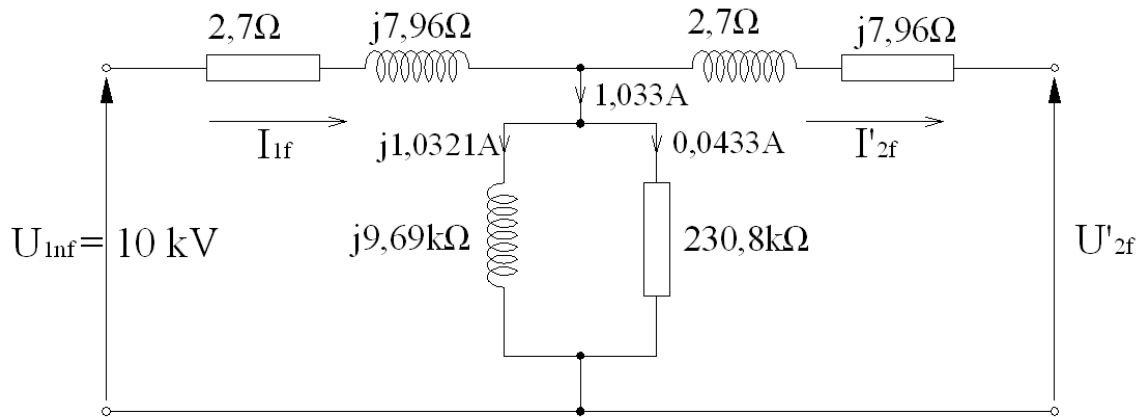
$$P_d \approx 0 \Rightarrow P_{k,20^\circ} \approx P_{Cu,20^\circ} = 12 \text{ kW}, \quad P_{Cu,75^\circ} = P_{Cu,20^\circ} \cdot \frac{235+75}{235+20} = 14,58 \text{ kW}$$

$$P_{Cu,75^\circ n} = P_{Cu,75^\circ} \cdot \left(\frac{I_{1nf}}{I_{kf}} \right)^2 = 14,58 \cdot \left(\frac{33,33}{30} \right)^2 = 18 \text{ kW}$$

$$R_k = \frac{P_{Cu,75^\circ n}}{3I_{1fn}^2} = \frac{18000}{3 \cdot 33,33^2} = 5,4 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2' = \frac{R_k}{2} = 2,7 \Omega$$

$$z_{k\%} = u_{k\%} = \frac{U_{kn}}{U_{1fn}} \cdot 100 = \frac{555,5}{10000} \cdot 100 = 5,6\% \Rightarrow Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{5,6}{100} \cdot \frac{10000}{33,33} = 16,8\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{16,8^2 - 5,4^2} = 15,91\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = \frac{15,91}{2} = 7,96\Omega$$



$$4. \quad I_{2fn} = 1374,5 A, \quad I = \sqrt{900^2 + 600^2} = 1081,7 A \Rightarrow \beta = \frac{I}{I_{2nf}} = \frac{1081,7}{1374,5} = 0,787$$

$$u_{r\%} = \frac{P_{k,n}}{S_n} \cdot 100 = \frac{18}{1000} \cdot 100 = 1,8\% \Rightarrow u_{x\%} = \sqrt{u_{kn\%}^2 - u_{r\%}^2} = \sqrt{5,6^2 - 1,8^2} = 5,3\%$$

$$\cos \varphi = \frac{900}{1081,7} = 0,832, \quad \sin \varphi = \frac{600}{1081,7} = 0,55$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \beta(u_r \cos \varphi - u_x \sin \varphi) = 0,787 \cdot (1,8 \cdot 0,832 - 5,3 \cdot 0,55) = -1,115\% \\ b &= \beta(u_x \cos \varphi + u_r \sin \varphi) = 0,787 \cdot (5,3 \cdot 0,832 + 1,8 \cdot 0,55) = 4,25\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta u = a + \frac{b^2}{200} = -1,025\%$$

$$U_2 = \left(1 + \frac{1,025}{100}\right) \cdot 420 = 424,3V$$

$$\Delta u \approx a = 0 \Rightarrow u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = -\frac{u_r}{u_x} = \frac{Q + Q_x}{P}$$

$$S = (P + jQ) = \sqrt{3} U_l \underline{I}^* = \sqrt{3} \cdot 424,3 \cdot (900 - j600) = (661,4 - j440,9) kVA$$

$$Q_x = -\frac{u_r}{u_x} \cdot P - Q = -\frac{1,8}{5,3} \cdot 661,4 + 440,9 = 216,3 kVar \text{ индуктивно}$$

$$5. \quad P_0' = 1,1^2 \cdot P_{0n} = 1573 W, \quad \beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_0'}{P_{kn}}} = \sqrt{\frac{1,573}{18}} = 0,296 \Rightarrow S_{\max} = \beta_{\max} \cdot S_n = 296 kVA$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{2P_0'}{\beta_{\max} S_n \cos \varphi_{\max}} = 1 - \frac{2 \cdot 1,573}{296} = 0,9894 \Rightarrow \eta_{\max} = 98,94\%$$

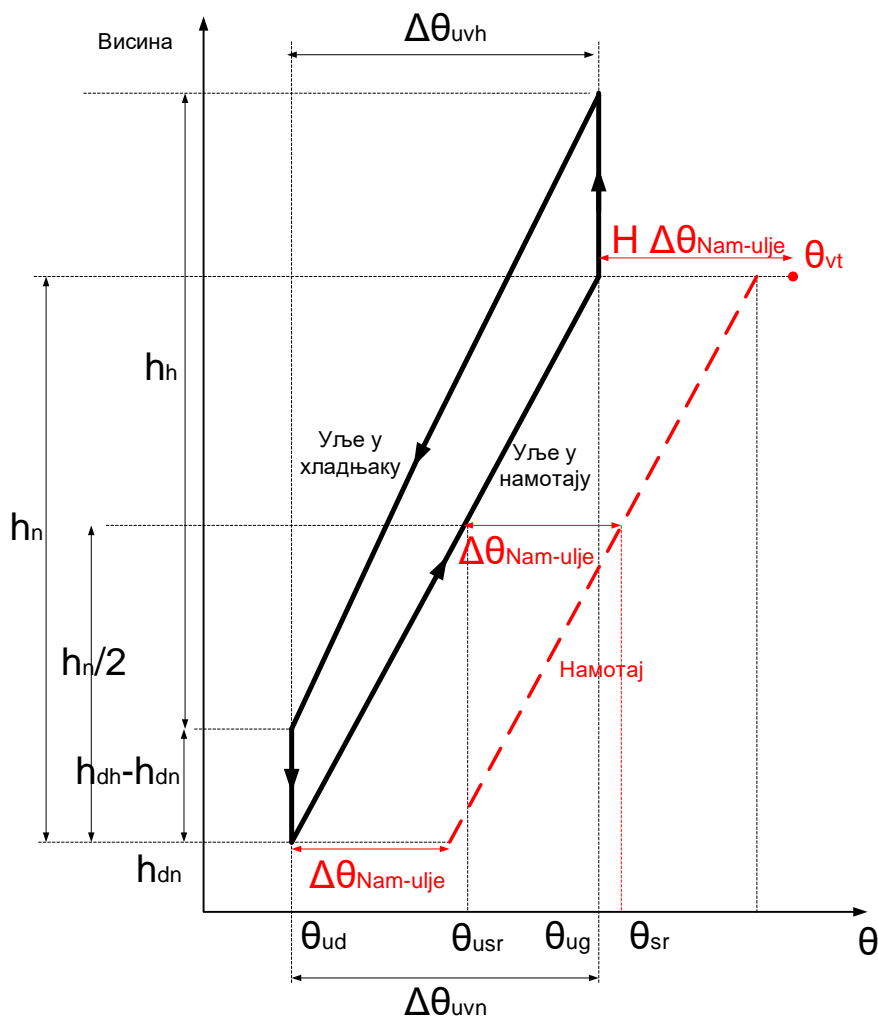
$$6. \quad n_1 = \frac{U_1'}{U_{02}'} = \frac{10 \cdot \sqrt{3}}{0,42} = 41,2, \quad n_2 = \frac{U_1''}{U_{02}''} = \frac{10 \cdot \sqrt{3}}{0,4} = 43,3 \Rightarrow \Delta n_{\%} = 1 - \frac{n_2}{n_1} = -5,1\%$$

$$i_{il} = \frac{|\Delta n_{\%}|}{u_{kI} + \frac{S_{n1}}{S_{n2}} u_{kII}} = \frac{5,1}{5,6 + \frac{1000}{630} \cdot 6} = 33,72\%$$

- може трајно да ради али са малим оптерећењем

$$U \sim l^2, \quad I \sim l^2 \Rightarrow S \sim U \cdot I \sim l^4 \Rightarrow \frac{S_1}{S_2} = \frac{l_1^4}{l_2^4} \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = \sqrt[4]{\frac{S_1}{S_2}}$$

$$m, G \sim l^3 \Rightarrow \frac{G_1}{G_2} = \frac{l_1^3}{l_2^3} \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = \sqrt[3]{\frac{G_1}{G_2}} \Rightarrow \frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{\frac{3}{4}} = 1,41$$

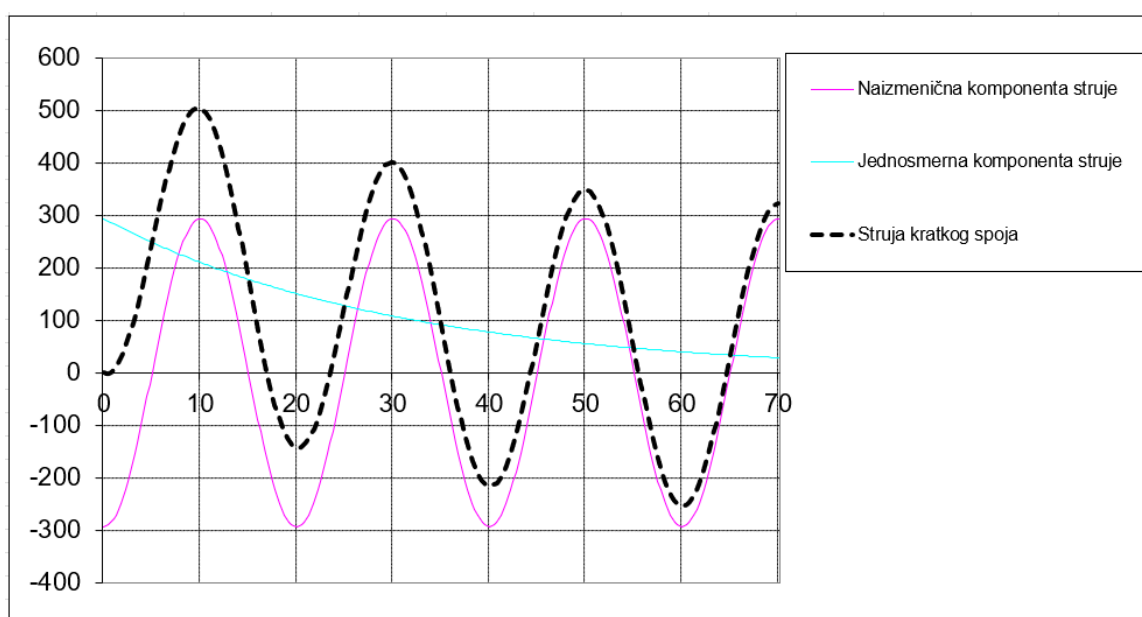
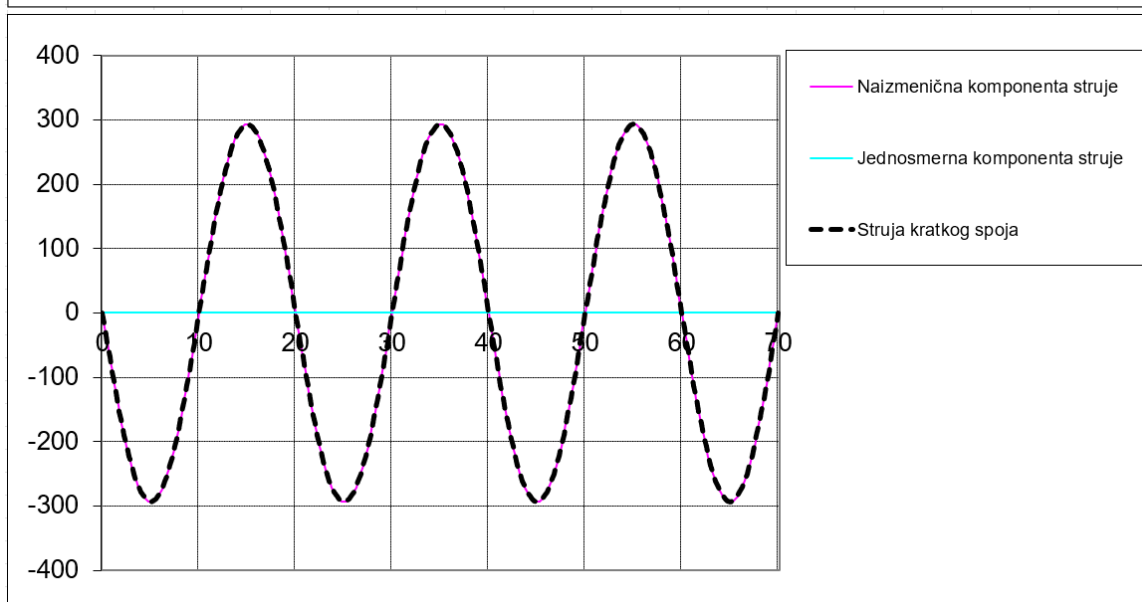
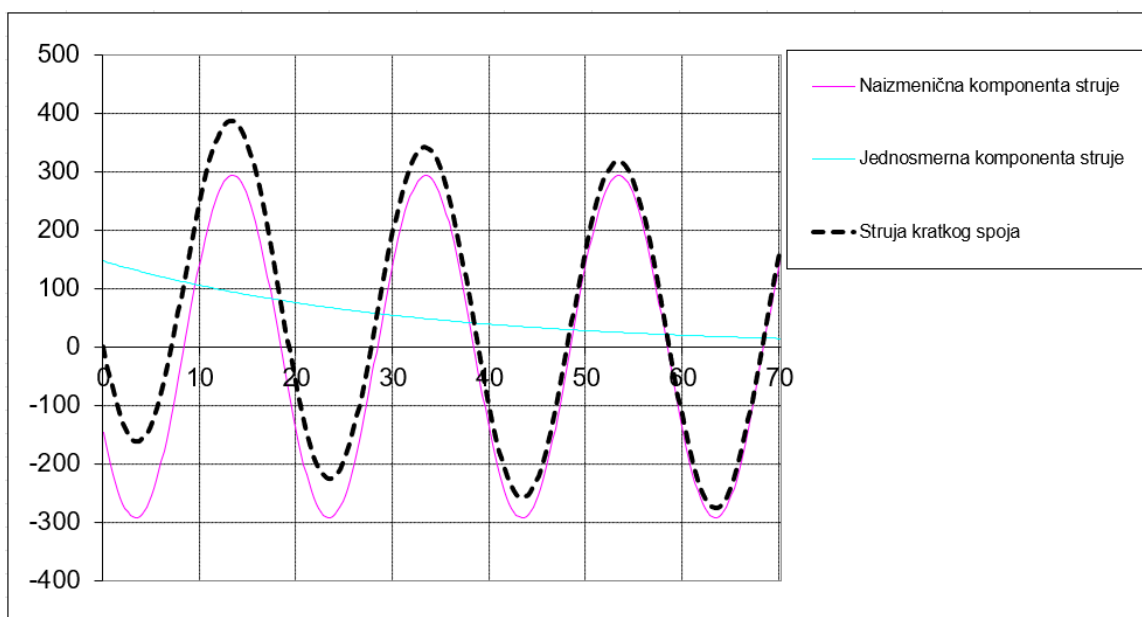


7.

Прелазак из AN на AF хлађење: читава слика се помера транслаторно на лево.

Прелазак са ON на OD хлађење: смањује се $\Delta\theta_{uvn}$, нешто мање се смањује $\Delta\theta_{Nam-ulje}$, а још мање θ_{usr} .

8.



$$9. \quad I_A = \frac{\underline{I}_a}{n}, \quad I_B = \frac{\underline{I}_b}{n}, \quad I_C = \frac{\underline{I}_c}{n} = 0, \quad \underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_A - \underline{Z}_k \underline{I}_A &= \underline{U}_a' \\ \underline{U}_B - \underline{Z}_k \underline{I}_B &= \underline{U}_b' \\ \underline{U}_C - \underline{Z}_k \underline{I}_C &= \underline{U}_c' \end{aligned} \right\}$$

$$\underline{U}_a' = 10 \cdot 10^3 - (2,7 + j7,96) \cdot (900 - j400) \frac{0,42}{10 \cdot \sqrt{3}} = 10000 - (2,7 + j7,96) \cdot (21,8 - j9,7) = (9864 - j147,3)V$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_b' &= 10 \cdot 10^3 \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} - (2,7 + j7,96) \cdot (500 - j200) \frac{0,42}{10 \cdot \sqrt{3}} = -5000 - j8660 - 71,3397 - j83,4156 \\ &= (-5071,3 - j8743,4)V \end{aligned}$$

$$\underline{U}_a = (239,2 - j3,57)V$$

$$\underline{U}_b = (-123 - j212)V$$

$$\underline{U}_c = 420V$$

$$\underline{I}_A = (900 - j600) \cdot \frac{0,42}{\sqrt{3} \cdot 10} = (21,8 - j9,7)A$$

$$\underline{I}_B = (500 - j200) \cdot \frac{0,42}{\sqrt{3} \cdot 10} = (12,1 - j4,8)A$$

$$\underline{I}_C = 0$$

$$\underline{I}_{Al} = \underline{I}_A - \underline{I}_C = (21,8 - j9,7)A$$

$$\underline{I}_{Bl} = \underline{I}_B - \underline{I}_A = (-9,7 + j4,9)A$$

$$\underline{I}_{Cl} = \underline{I}_C - \underline{I}_B = -\underline{I}_B = (-12,1 + j4,8)A$$