

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)

- септембар 1 2025 -

Београд, 21.09.2025.

Трофазни уљни дистрибутивни енергетски трансформатор има следеће номиналне податке: $S_n = 400 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 10/0,42 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Dzn10, $P_{kn} = 5 \text{ kW}$, $u_{kn} = 5,93 \%$, $P_{0n} = 820 \text{ W}$, $j_{0n} = 1,79 \%$. Густина струје у намотајима примара и секундара износи $J = 3 \text{ A/mm}^2$. Познати су конструкцијски параметри: број навојака примара $N_1 = 1278$, средњи пречник примара $D_1 = 304 \text{ mm}$, висина оба намотаја $h = 390 \text{ mm}$, ширина намотаја примара $a = 38 \text{ mm}$ и секундара $b = 27 \text{ mm}$, уз међусобни размак намотаја $\delta = 14 \text{ mm}$.

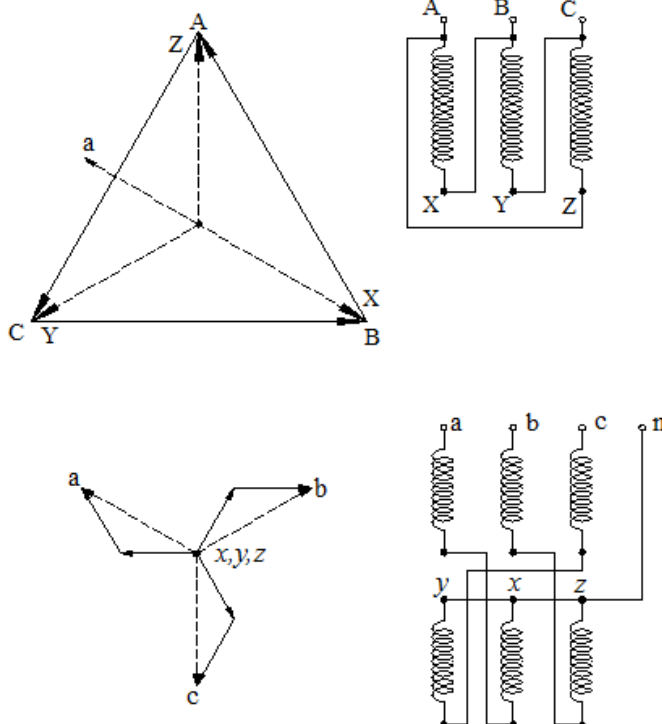
1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и крајеве). (Т)
2. Израчунати приближно максималну индукцију B_m задатог трансформатора ако се зна да су карактеристике употребљених лимова $r_{Fe} = 1,33 \text{ W/kg}$ и $q_{Fe} = 2,7 \text{ VA/kg}$ при номиналном напону и фреквенцији. (З)
3. Полазећи од претпоставке да се намотај примара монофазног трансформатора налази на једном стубу, а намотај секундара на другом, скицирати расподелу магнетног поља, и означити расипне флуксне обухвате намотаја примара и секундара ($\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$). Написати изразе за индуктивности расипања примара и секундара ($L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$). (Т)
4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са НН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (З)
5. Асинхрони мотор са карактеристикама: $P_n = 200 \text{ kW}$, $U_n = 420 \text{ V}$, $\cos\varphi_n = 0,9$, $\eta_n = 0,93$, $I_p/I_n = 4$, $\cos\varphi_p = 0,8$, спрега Δ , треба прикључити на секундар задатог трансформатора. Да ли је могућ његов полазак ако се зна да је максимални дозвољени пад напона на његовим крајевима при поласку 11% ? (З)
6. Извести израз за максималну вредност струје при укључењу трансформатора у празном ходу, користећи апроксимацију стварног облика магнетног хистерезиса са две праве линије. Дати текстуално или графичко објашњење свих величина које фигуришу у коначном изразу. (Т)
7. Да ли је напрезање на кидање намотаја примара у дозвољеним границама при појави трополног кратког споја секундара у најнеповољнијем тренутку. (З)
8. Ако се задатом трансформатору паралелно прикључи трансформатор следећих карактеристика: $S_{n2} = 500 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 10/0,4 \text{ kV}$, $u_{kn2} = 6 \%$, $\cos\varphi_{k2} = \cos\varphi_{k1}$ спрега Dzn10, израчунати процентуалну вредност струје изједначења која се јавља у намотајима секундара трансформатора. (З)
9. На фазе а и б секундара Скотовог трансформатора за напоне $10 \text{ kV}/2 \times 100 \text{ V}$ прикључени су потрошачи снаге 200 kW $\cos\varphi = 0,8$ инд. и 100 kW $\cos\varphi = 0,96$ кап, респективно. Израчунати струје примара и секундара и нацртати векторски дијаграм примарних и секундарних напона. (З)
10. Навести на који начин се у фази пројектовања врши провера напонске издржљивости трансформатора за простопериодичне напоне мрежне учестаности. Којим конструкционим елементима се остварује напонска издржљивост трансформатора? (Т)

Испит траје максимално 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 10) траје максимално 2 сата. Сваки задатак носи максимално 11 поена. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

РЕШЕЊА
- септембар 1 2025 -

Београд, 21.09.2025.

1.



2.

$$P_{0n} = 820 \text{ W} \Rightarrow m_{Fe} = \frac{P_{0n}}{p_{Fe}} = \frac{820}{1,33} = 616,5 \text{ kg}$$

$$Q_0 = m_{Fe} q_{Fe} + 440 B_m E_1, \quad E_1 = \frac{U_{1nf}}{N_1} = \frac{10 \cdot 10^3}{1278} = 7,82 \frac{\text{V}}{\text{nav}}$$

$$S_0 = \sqrt{3} U_0 I_0 = \sqrt{3} U_0 \cdot \frac{j_0}{100} I_{1nf} = \sqrt{3} U_0 \cdot \frac{j_0}{100} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{1nf}} = \frac{j_0}{100} S_n = \frac{1,79}{100} \cdot 400 \cdot 10^3$$

$$= 7160 \text{ VA}$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{7160^2 - 820^2} = 7113 \text{ kVA}$$

$$B_m = \frac{Q_0 - m_{Fe} q_{Fe}}{440 \cdot E_1} = \frac{7113 - 615,5 \cdot 2,7}{440 \cdot 7,82} \approx 1,58 \text{ T}$$

3. Предавања, Поглавље 3, одељак 3.3., од другог пасуса до краја стране 5.

4.

$$I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{02}} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 549,8 \text{ A}$$

$$\text{ПХ: } R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_0/3} = \frac{420^2}{820} = 215,1 \Omega \Rightarrow I_{a2f} = \frac{U_{02f}}{R_a''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 215,1} = 1,127 \text{ A}$$

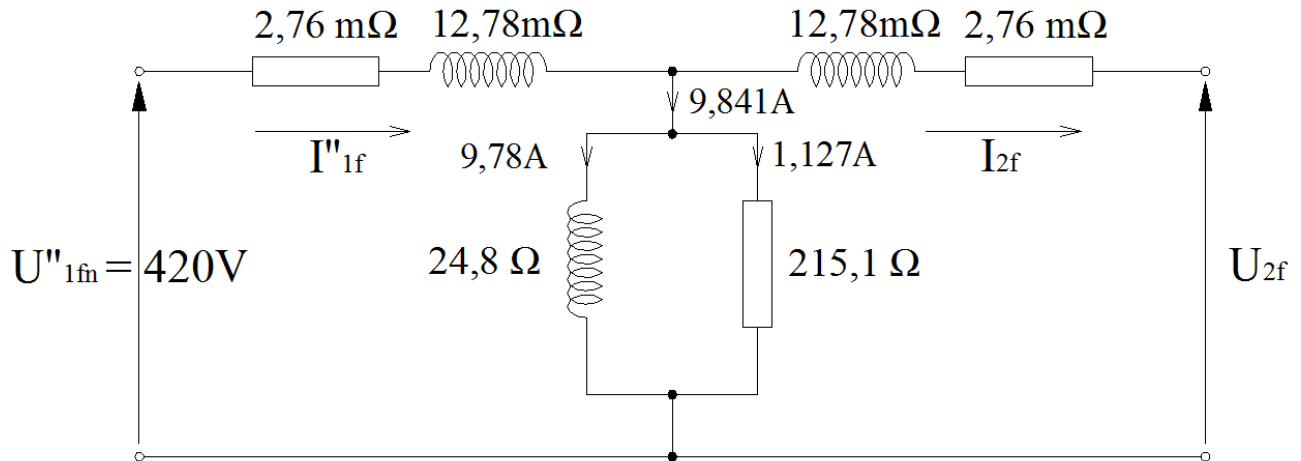
$$I_{02f} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{1,79}{100} \cdot 549,8 = 9,841 \text{ A}, I_{\mu 2f} = \sqrt{I_0^2 - I_\mu^2} = \sqrt{9,841^2 - 1,127^2} = 9,78 \text{ A}$$

$$X_{\mu}'' = \frac{U_{02f}}{I_{\mu}} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 9,78} = 24,8 \, \Omega$$

$$\text{KC: } R_k'' = \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_{2nf}^2} = \frac{5000}{3 \cdot 549,8^2} = 5,51 \, m\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_k}{2} = 2,76 \, m\Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{02f}}{I_{2nf}} = \frac{5,93}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 549,8} = 26,15 \, m\Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 25,56 \, m\Omega$$

$$X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 12,78 \, m\Omega$$



5.

$$I_{mn} = \frac{P_n / \eta_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} = \frac{200 \cdot 10^3 / 0,93}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0,9} = 328,4 \, A \Rightarrow I_{mp} = 4 I_{mn} = 1313,8 \, A$$

$$\Rightarrow \beta_p = \frac{I_{mp}}{I_{2nf}} = \frac{1313,8}{549,8} = 2,39$$

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{5}{400} \cdot 100 = 1,25 \, \%, \quad u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 5,797 \, \%$$

$$a = \beta(u_r \cos \varphi_p + u_x \sin \varphi_p) = 2,39 \cdot (1,25 \cdot 0,8 + 5,797 \cdot 0,6) = 10,7 \, \%$$

$$b = \beta(u_x \cos \varphi_p - u_r \sin \varphi_p) = 2,39 \cdot (5,797 \cdot 0,8 - 1,25 \cdot 0,6) = 9,29 \, \%$$

$$\Delta u = a + \frac{b^2}{200} = 11,13 \, \% > 11 \, \% \Rightarrow \text{мотор не може да стартује}$$

6. Предавања, Поглавље 6., текст који почиње испод слике 6.3 на страни 5. закључно са формулом (6.19) на страни 8.

7.

$$I_{1nf} = I_{2nf} \cdot \frac{U_{02}}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = 549,8 \cdot \frac{0,42}{\sqrt{3} \cdot 10} = 13,3 \, A$$

$$I_{kr} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{u_k} I_{1nf} \left(1 + e^{-\frac{u_r \pi}{u_x}} \right) = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{5,93} \cdot 13,3 \cdot \left(1 + e^{-\frac{1,25 \cdot \pi}{5,797}} \right) = 478,3 \, A$$

$$k_R = 1 - \frac{a + b + \delta}{\pi h} = 1 - \frac{38 + 27 + 14}{\pi \cdot 390} = 0,936$$

$$F_y = \frac{F_r}{\pi D_m N_1} \cdot \frac{D_1}{2} = \frac{\mu_0}{4} N_1 I_{kr}^2 \frac{D_1 k_R}{h} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4} \cdot 1278 \cdot 478,3^2 \cdot \frac{304 \cdot 0,936}{390} = 66,98 \, N$$

$$S_{Cu} = \frac{I_{1nf}}{J} = \frac{13,3}{3} = 4,43 \text{ mm}^2 \Rightarrow \sigma_y = \frac{F_y}{S_{Cu}} = \frac{66,98}{4,43} \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Pa} < \sigma_d = 10^8 \text{ Pa}$$

$\Rightarrow$ јесте у дозвољеним границама

8.

$$\Delta n_{\%} = \frac{n_I - n_{II}}{n_I} \cdot 100 = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot 10}{0,42} - \frac{\sqrt{3} \cdot 10}{0,4}}{\frac{\sqrt{3} \cdot 10}{0,42}} \cdot 100 = \frac{0,4 - 0,42}{0,4} \cdot 100 = -5 \%$$

$$|i_{i2}|_{\%} = \frac{|\Delta n_{\%}| \cdot 100}{u_{kI} + \frac{S_{nI}}{S_{nII}} u_{kII}} = \frac{-5 \cdot 100}{5,93 + \frac{400}{500} \cdot 6} = 46,6 \%$$

9.

$$I_a = j \frac{P_a}{U_a \cos \varphi_a} (\cos \varphi_a - j \sin \varphi_a) = j \frac{200 \cdot 10^3}{100 \cdot 0,8} (0,8 - j0,6) = (1,5 + j2) \text{ kA}$$

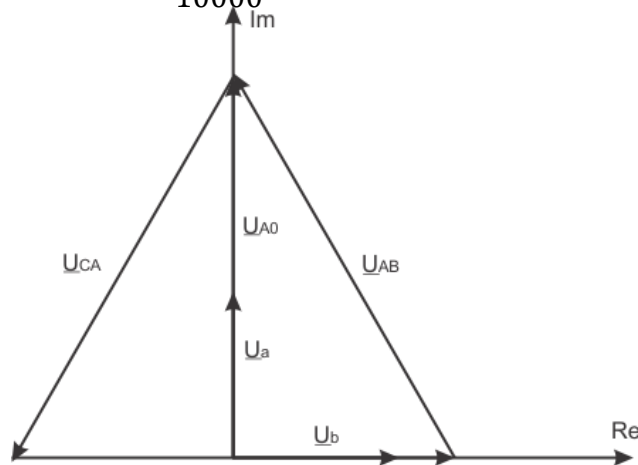
$$I_b = \frac{P_b}{U_b \cos \varphi_b} (\cos \varphi_b + j \sin \varphi_b) = \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 0,96} (0,96 + j0,28) = (1 + j0,292) \text{ kA}$$

$$I_A \frac{\sqrt{3}}{2} N_1 = I_a N_2 \Rightarrow I_A = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} I_a = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{100}{10000} \cdot (1,5 + j2) \cdot 10^3 = (17,3 + j23,1) \text{ A}$$

$$\left. \begin{aligned} I_B \frac{N_1}{2} - I_C \frac{N_1}{2} &= N_2 I_b \\ I_A + I_B + I_C &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_B = -\frac{1}{2} I_A + \frac{N_2}{N_1} I_b, \quad I_C = -\frac{1}{2} I_A - \frac{N_2}{N_1} I_b$$

$$I_B = -\frac{1}{2} (17,3 + j23,1) + \frac{100}{10000} \cdot (1 + j0,292) \cdot 10^3 = (1,35 - j8,63) \text{ A}$$

$$I_C = -\frac{1}{2} (17,3 + j23,1) - \frac{100}{10000} \cdot (1 + j0,292) \cdot 10^3 = (-18,65 - j14,47) \text{ A}$$



10. Предавања, Поглавље 6, одељак 6.3., погледати слику 6.15 и пропратни текст.