

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)

- октобар 2 2025 -

Београд, 26.10.2025.

Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 1600 \text{ kVA}$, $U_{1n} / U_{02} = 10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Dyn7, испитан је у огледима празног хода и кратког споја, при чему је добијено: ПХ: $P_{0n} = 2,4 \text{ kW}$, $U_{0n} = 0,4 \text{ kV}$, $j_{0n} = 0,8 \%$; КС: $P_{kn75} = 14,5 \text{ kW}$, $u_{kn75} = 4.5 \%$.

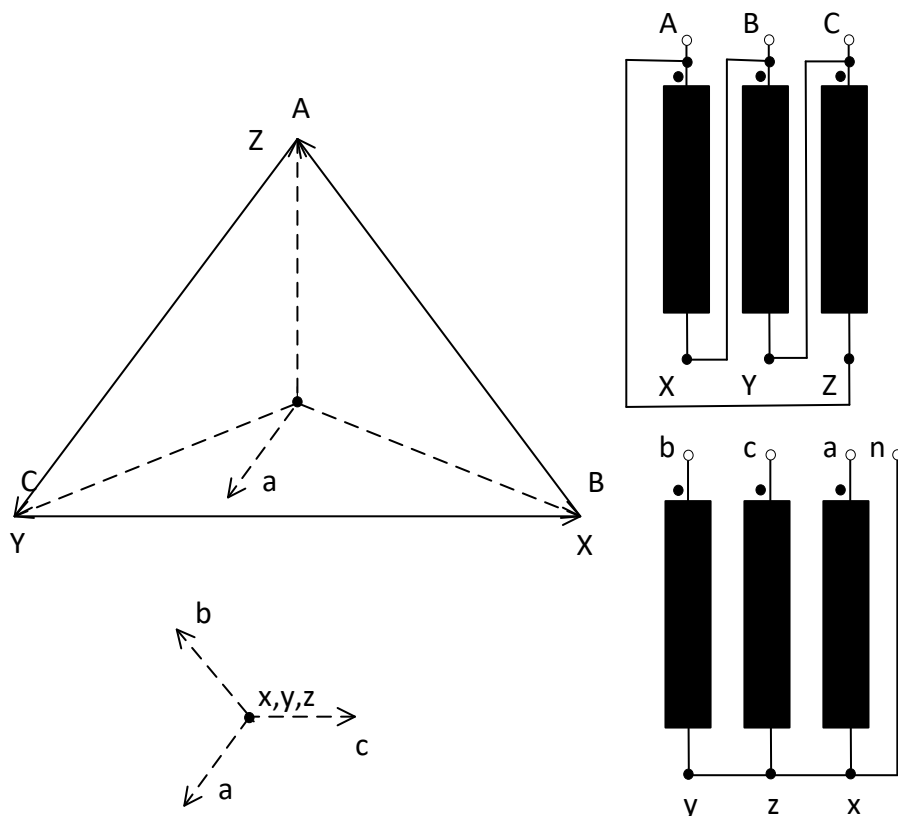
1. Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја (почетке и крајеве, као и хомологе тачке). (Т)
2. Колико смањење маса магнетног кола се постиже ако се оно изведе као потпуно симетрично (делови магнетних кола који припадају свакој од три фазе су међусобно идентични) у односу на класично тростубно језгро са средњим и два спољна намотаја. Резултат математички образложити. (Т)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са НН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (З)
4. У који положај треба поставити регулатор напона (колики број навојака, у односу на номинални, треба да буде прикључен на примару) да би напон на номинално оптерећеном мотору, прикљученом на секундар трансформатора, био што ближи номиналном? Сматрати да је напон мреже једнак номиналном (10 kV) и да је релативна вредност напона кратког споја приближно иста за различите положаје регулатора напона. Номиналне карактеристике асинхроног мотора: $P_n = 1 \text{ MW}$, $U_{nl} = 400 \text{ V}$, $\cos\phi = 0,82$, $\eta_n = 92 \%$. (З)
5. Колики је степен искоришћења трансформатора у условима рада из задатка 4. Занемарити промену снаге губитака у намотајима услед разлике температуре намотаја од 75°C . Снага губитака у магнетном колу је сразмерна квадрату магнетне индукције. (З)
6. Нацртати дијаграм промене температуре уља за случај OD трансформатора са нисконапонским (НН – 1) и високонапонским (ВН – 2) намотајем, за случај да се трансформатор налази у кратком споју, због чега нема протока уља кроз магнетно коло. Вертикална позиција и висина оба намотаја су исте. Дати објашњење за све димензије коришћене на цртежу, за које сматрати да су познате. Ву-pass уља се, због OD хлађења, може занемарити. На дијаграму приказати и дуж која описује промену температуре НН намотаја по висини, као и његову најтоплију тачку. (Т)
7. Нацртати заменски шему и написати једначине чијим се решавањем може одредити напон на оптерећењу и расподела оптерећења између два паралелно везана трансформатора истих спрега, али различитих преносних односа и импеданси. Сматрати да су познати: а) преносни односи оба трансформатора, б) редне импедансе примара и секундара у заменској шеми трансформатора, в) импеданса оптерећења. Занемарити гране магнетне везе. (З)
8. Који је опсег у коме се креће максимална тренутна вредност струје трополног кратког споја на секундару трансформатора, а који се јавља при различитим тренуцима настанка кратког споја током простопериодичног циклуса мрежног напона? (З)
9. Написати израз за израчунавање струје једнополног кратког споја (у А) при кратком споју фазног проводника на ниженапонској страни трансформатора са земљом. Познати су следећи подаци о трансформатору: снага S_n , спрега Дун, номинални линијски напони на ВН страни (U_1) и НН страни (U_2), као и директна (x_d) и нулта (x_0) реактанса у релативним јединицама. Занемарити утицај отпорности. Сматрати да су све импедансе елемената мреже занемарљиве у односу на импедансе трансформатора. (Т)
10. Одредити однос типских снага (ST) аутотрансформатора (STAT) и обичног трансформатора (STT). АТ и Т имају исти преносни однос n и пролазну снагу. (Т)

Испит траје максимално 3 сата. Други колоквијум (задачи 6 до 10) траје максимално 2 сата. Сваки задатак носи максимално 10 поена.

РЕШЕЊА
- октобар 1 2025 -

Београд, 26.10.2025.

1.



2. Поглавље 1.4, текст испод слике 1.7, закључно са сликом 1.9.

3. ПХ:

$$I_{n2f} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{02}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 2309,4 \text{ A}$$

$$R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_{0n}/3} = \frac{U_{02}^2}{P_{0n}} = \frac{400^2 \cdot 10^6}{2400} = 66,67 \Omega \Rightarrow I_{a2f} = \frac{U_{02f}}{R_a} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 66,67} = 3,46 \text{ A}$$

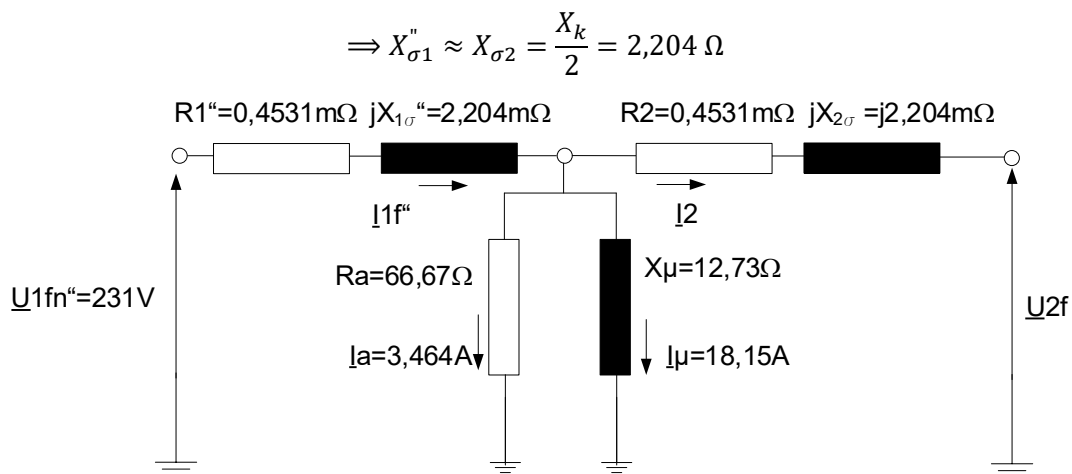
$$I_{02f} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{n2f} = 18,475 \text{ A} \Rightarrow I_{\mu 2f} = \sqrt{I_{02f}^2 - I_{a2f}^2} = 18,148 \text{ A}$$

$$X_{\mu}'' = \frac{U_{02f}}{I_{\mu 2f}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18,148} = 12,73 \Omega$$

КС:

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3I_{2nf}^2} = \frac{28000}{3 \cdot 2309,4^2} = 0,9063 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' = R_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{0,9063}{2} = 0,4531 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \frac{U_{02f}}{I_{2nf}} = \frac{4,5}{100} \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 2309,4} = 4,5 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \approx 4,408 \text{ m}\Omega$$



4.

$$P_m = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{10^6}{0,92} = 1087 \text{ kW}$$

$$\tan \varphi_m = 0,698 \Rightarrow Q_m = P_m \cdot \tan \varphi_m = 1087 \cdot 0,698 = 759 \text{ kVar}$$

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} = 1325,8 \text{ kVar}$$

$$u_{rn} = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{14,5 \cdot 10^3}{1600 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0,906\% \Rightarrow u_{xn} = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 4,407\%$$

$$\beta = \frac{S_m}{S_n} = \frac{1325,8}{1600} = 0,8286$$

$$\Delta u = a = \beta(u_{rn} \cos \varphi_k + u_{xn} \sin \varphi_k) = 0,8286(0,906 \cdot 0,82 + 4,407 \cdot 0,5724) = 2,706\%$$

Регулатор напона треба поставити у положај у коме је број навојака 2,5% мањи него у нултом положају.

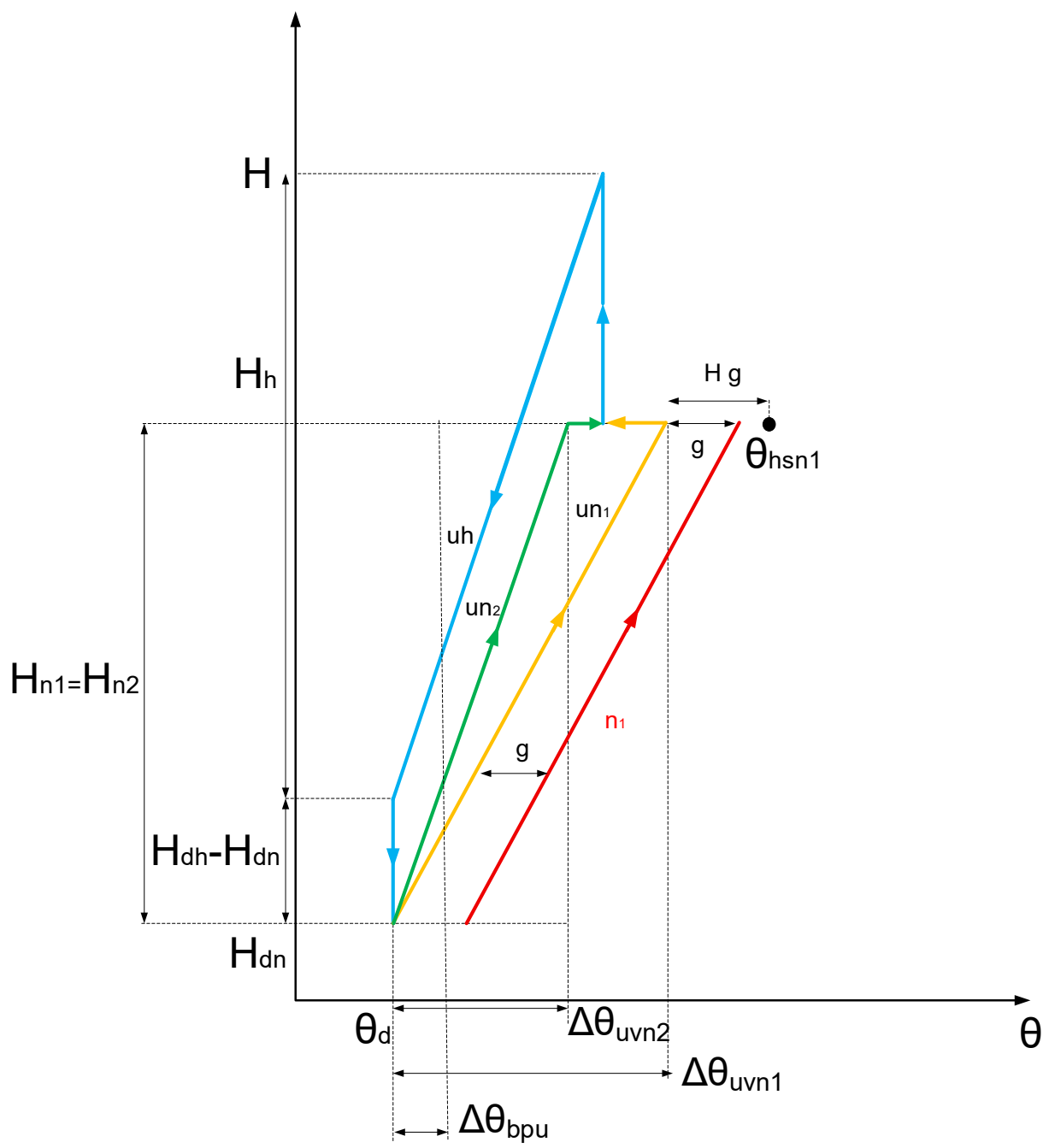
5.

$$\eta\% = 100 \cdot \frac{\beta S_n \cos \phi}{\beta S_n \cos \phi + \alpha^2 P_{0n} + \beta^2 P_{kn}} = 100 \cdot \frac{0,8286 \cdot 1600 \cdot 0,82}{0,8286 \cdot 1600 \cdot 0,82 + 14,5 + 2,4} = 98,5\%$$

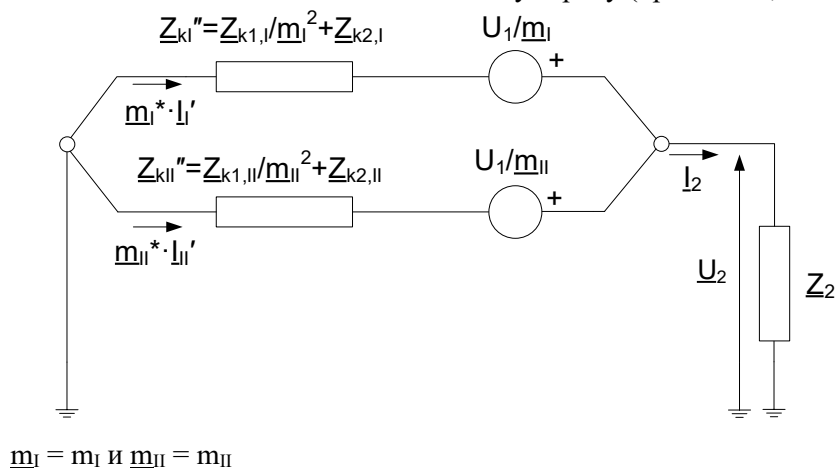
$$\alpha = \frac{\frac{U_n}{0,975 \cdot N_{1n}}}{\frac{U_n}{N_{1n}}} = 1,026 = 98,5\%$$

$$\eta\% = 100 \cdot \frac{\beta S_n \cos \phi}{\beta S_n \cos \phi + \alpha^2 P_{0n} + \beta^2 P_{kn}} = 100 \cdot \frac{0,8286 \cdot 1600 \cdot 0,82}{0,8286 \cdot 1600 \cdot 0,82 + 1,026^2 \cdot 2,4 + 0,8286^2 \cdot 14,5} = 98,87\%$$

6.



7. Заменска шема сведена на ниженапонску страну (предавања, поглавље 7, слика 7.2):



$$Z_{kI}'' m_I I_I' - \frac{U_1}{m_I} = Z_2 (I_I' + I_{II}')$$

$$Z_{kII}'' m_{II} I_{II}' - \frac{U_1}{m_{II}} = Z_2 (I_I' + I_{II}')$$

8.

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1nf}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 2309,4A$$

$$I_{1max} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{u_k} \cdot I_{1nf} \left(1 + e^{-\frac{u_r \pi}{u_x}} \right) = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{4,5} \cdot 2309,4 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,906 \cdot \pi}{4,407}} \right) = 110,6kA$$

$$I_{1min} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{u_k} \cdot I_{1nf} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{4,5} \cdot 2309,4 = 72,58kA$$

9. Предавања, Поглавље 9, односно страна 553 из књиге [1], при чему је:

$$V_F = \frac{U_2}{\sqrt{3}}$$

$$X_1 = X_2 = x_d \frac{U_2^2}{S_n}$$

$$X_0 = x_0 \frac{U_2^2}{S_n}$$

$$Z_F = 0$$

Једначине (9.2.7), која одговарају шеми на слици 9.7 (b).

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

10. Предавања, Поглавље 10.3.