

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)

- јул-1 2025 -

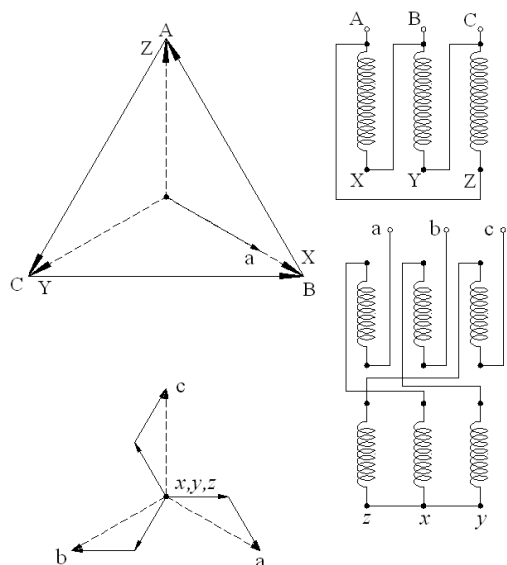
Београд, 28.08.2025

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има номиналне податке: $S_n = 200 \text{ kVA}$, $U_1 / U_{20} = 10 \pm 2 \times 2\% / 0,4 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Dz4, хлађење ONAN, $P_{Kn} = 3,6 \text{ kW}$, $u_{Kn} = 4\%$, $P_{0n} = 400 \text{ W}$, $j_0 = 2,5\%$. Номинални пораст температуре горњег уља износи 55 K.

1. а) Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и крајеве). (Т)
б) За колико ће се променити губици у гвожђу ако се временом, због растресања магнетског кола, струја празног хода повећа на 4 %? (Т)
2. Полазећи од таласног облика простопериодичног напона и **СТАТИЧКЕ** карактеристике $\varphi(i_0)$, нацртати таласни облик струје магнећења. (Т)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са НН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (З)
4. Трансформатор напаја потрошач фактора снаге $\cos\varphi = 0,6$ кап., при чему пораст температуре горњег уља у стационарном стању достиже вредност од 65 K. Колики је тада напон секундара и степен искоришћења снаге трансформатора? (З)
5. Написати израз за степен искоришћења снаге при оптерећењу трансформатора β и фактору снаге $\cos\varphi$, и односу стварног напона на примару и његове номиналне вредности α . Из термичких прорачуна је позната средња температура бакарних намотаја ϑ при оптерећењу β , односно функционална зависност $\vartheta(\beta)$. Познате су вредности номиналних губитака у намотајима P_{k75} (при номиналној струји и средњој температури 75°C) и однос Џулових и укупних губитака k_J у намотајима при 75°C. Сматрати да су губици у магнетном колу, чије је номинална бвредност P_{0n} , сразмерни са α^2 . За губитке у конструкционим деловима трансформатора усвојити апроксимацију да не зависе од температуре и да су пропорционални квадрату β ; позната је њихова вредност при номиналној струји P_{konstn} . (Т)
6. Колико износи критична вредност струје трополног кратког споја задатог трансформатора ако се квар десио у најнеповољнијем тренутку? Колико је приближно времена потребно да струја достигне вредност устаљеног стања? (З)
7. Из прорачуна магнетног поља добијена је расподела вредности аксијалне H_a и радијалне H_r компоненте поља по запремини намотаја, по аксијалној (a), радијалној (r) и угаоној (φ) координати, при протицању струје кратког споја I кроз намотај. Написати изразе за аксијалну f_{ia} и радијалну f_{ir} компоненту силе која делује по јединици дужине проводника на позицији a, r, φ . (Т)
8. Скицирати расподелу пренапона на намотају са уземљеном неутралном тачком. Која су критична места и зашто? Написати приближан аналитички израз за расподелу напона на намотају у прелазном режиму полазећи од познатих израза за почетну и крајњу расподелу пренапона. (З)
9. Нацртати заменску шему два паралелно везана трансформатора сведену на секундар. Комплексна импеданса оптерећења износи $\underline{Z}_2$. Преносни односи и сатни бројеви трансформатора се разликују и за трансформаторе 1 и 2 износе m_I и k_I , односно m_{II} и k_{II} , респективно. (Т)
10. Од једнофазног трансформатора снаге $S_n = 100 \text{ kVA}$, напона $U_1/U_{02} = 400/220 \text{ V}$ превезивањем формирати спрегу аутотрансформатора тако да има што већу пролазну снагу. Колико износе пролазна и електромагнетска снага, напони и струје овако формираног аутотрансформатора? (З)

Испит траје максимално 3 сата. Други колоквијум (задачи 6 до 10) траје максимално 120min. Сваки задатак носи максимално 12 поена. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

1. a)



б) Неће се променити јер је:

$$U, f = \text{const} \Rightarrow B_m, \Phi = \text{const} \Rightarrow P_{Fe} = \text{const}$$

2. Предавања, Поглавље 2, крива а) на слици 2.4

3.

$$I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{02f}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3} = 288,7 \text{ A} \quad I_0 = \frac{j_{0n}}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{2,5}{100} \cdot 288,7 = 7,217 \text{ A}$$

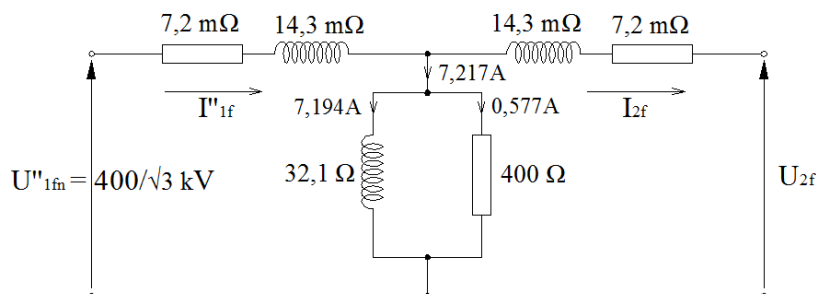
$$I_a = \frac{P_0}{3 U_{02f}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{3 \cdot 400} = 0,5774 \text{ A} \Rightarrow I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = 7,1939 \text{ A}$$

$$R_a = \frac{U_{02f}}{I_a} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,5774} = 400 \Omega, \quad X_\mu = \frac{U_{02f}}{I_\mu} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,1939} = 32,1 \Omega$$

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3 I_{2nf}^2} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{3 \cdot 288,7^2} = 14,4 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2' = \frac{R_k}{2} = 7,2 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 288,7} = 32 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{32^2 - 14,4^2} = 28,6 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2}' = \frac{X_k}{2} = 14,3 \text{ m}\Omega$$



4. $\cos \phi = 0,6 \text{ kap} \Rightarrow \sin \phi = -0,8$

$$\frac{\theta_m}{\theta_{mn}} = \frac{65}{55} = \left(\frac{\beta^2 \cdot 3,6 + 0,4}{3,6 + 0,4} \right)^{0,8} \Rightarrow \beta = 1,122$$

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3,6}{200} \cdot 100 = 1,8\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 3,57\%$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \beta(u_r \cos \phi + u_x \sin \phi) = 1,122 \cdot (1,8 \cdot 0,6 - 3,57 \cdot 0,8) = -1,993\% \\ b &= \beta(u_x \cos \phi - u_r \sin \phi) = 1,122 \cdot (3,57 \cdot 0,6 + 1,8 \cdot 0,8) = 4,019\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta u = a + \frac{b^2}{200} = -1,91\%$$

$$U_2 = 400 \cdot \left(1 + \frac{1,91}{100} \right) = 407,6V$$

$$\eta_{\%} = \frac{\beta S_n \cos \phi}{\beta S_n \cos \phi + \alpha^2 P_{on} + \beta^2 P_{kn}} \cdot 100 = \frac{1,122 \cdot 200 \cdot 0,6}{1,122 \cdot 200 \cdot 0,6 + 0,4 + 1,122^2 \cdot 3,6} \cdot 100 = 96,47\%$$

5.

$$\eta = \frac{\alpha \beta S_n \cos \varphi}{\alpha \beta S_n \cos \varphi + P_l + P_{Fe}}$$

$$= \frac{\alpha \beta \sqrt{3} U_{2n} I_{2n} \cos \varphi}{\alpha \beta \sqrt{3} U_{2n} I_{2n} \cos \varphi + \beta^2 \left(\frac{235 + \vartheta(\beta)}{235 + 75} k_J P_{k75} + \frac{235 + 75}{235 + \vartheta(\beta)} (1 - k_J) P_{k75} \right) + \beta^2 P_{konstn} + \alpha^2 P_{on}}$$

6.

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1nf}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 11,5A$$

$$I_{1KR} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{u_k} \cdot I_{1nf} \left(1 + e^{-\frac{u_r \pi}{u_x}} \right) = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{4} \cdot 11,5 \cdot \left(1 + e^{-\frac{1,8 \cdot \pi}{3,57}} \right) = 490A$$

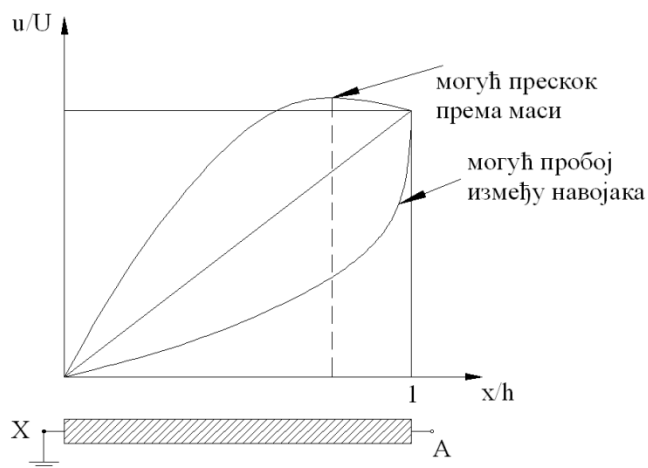
$$t_{us} \approx 4T_k = 4 \cdot \frac{L_k}{R_k} = 4 \cdot \frac{u_x}{\omega u_r} = 4 \cdot \frac{3,57}{314 \cdot 1,8} = 25,3ms$$

7. Предавања, Поглавље 7, Доња слика 7.2.

$$\underline{m}_I = m_I \cdot e^{j \cdot k_I \cdot 30^\circ}$$

$$\underline{m}_{II} = m_{II} \cdot e^{j \cdot k_{II} \cdot 30^\circ}$$

8.



Приближан израз за расподелу пренапона у прелазном режиму:

$$u(x) = 2U \frac{x}{h} - U \frac{sh\alpha x}{sh\alpha h}$$

9. Предавања, Поглавље 6., страна 12

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

$$f_{la} = I \mu_0 H_r$$

$$f_{lr} = I \mu_0 H_a$$

10. $U_{1a} = 620V, U_{2a} = 400V, n_a = \frac{620}{400} = 1,55$

$$S_{an} = \frac{n_a}{n_a - 1} S_n = \frac{1,55}{0,55} \cdot 100 = 282kVA,$$

$$I_{1a} = \frac{S_a}{U_{1a}} = \frac{282 \cdot 10^3}{620} = 454,8A, \quad I_{2a} = \frac{S_a}{U_{2a}} = \frac{253,8 \cdot 10^3}{400} = 705A$$