

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- јул 2021 -

Београд, 3.7.2021.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има следеће номиналне податке:  $S_n = 250\text{kVA}$ ,  $U_1/U_{02} = 10/0,42\text{kV}$ ,  $f = 50\text{Hz}$ , спрега Dz6, хлађење ONAN. У огледу кратког споја који је вршен на  $20^\circ\text{C}$  при  $I_n$  измерено је:  $P_k = 3\text{kW}$ ,  $u_k = 4\%$ , а у огледу празног хода при  $U_n$ :  $P_{0n} = 1,2\text{kW}$ ,  $j_0 = 1,5\%$ . Однос губитака услед хистерезиса и вихорних струја је  $P_{Hn}/P_{Fn} = 3$ , а Штајнмицов коефицијент износи 1,9.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т8)
2. Нацртати магнетно коло трофазног тростубног и трофазног петостубног трансформатора и навести значење елемената у магнетном колу. (Т10)
3. Ако се задати трансформатор прикључи на мрежу напона  $11\text{kV}$  и фреквенције  $60\text{Hz}$  израчунати колики су тада губици у гвожђу. (310)
4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (312)
5. Написати израз за степен искоришћења снаге при оптерећењу трансформатора  $\beta$ . Из термичких прорачуна је позната средња температура бакарних намотаја  $\vartheta$  при оптерећењу  $\beta$ , односно функционална зависност  $\vartheta(\beta)$ . Познате су вредности номиналних губитака у намотајима  $P_{k75}$  (при номиналној струји и средњој температури  $75^\circ\text{C}$ ), однос Џулових и укупних губитака  $k_J$  у намотајима при  $75^\circ\text{C}$ . Сматрати да губици у магнетном колу не зависе од  $\beta$  и да су једнаки номиналним губицима у празном ходу  $P_{0n}$ . За губитке у конструкционим деловима трансформатора усвојити апроксимацију да не зависе од температуре и да су пропорционални квадрату  $\beta$ ; позната је њихова вредност при номиналној струји  $P_{konstn}$ . (Т10)
6. Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре намотаја (Т5). Полазећи од појединачних компоненти пораста температура на дијаграму, као и фактора најтоплије тачке, написати изразе за највише локалне температуре намотаја и уља (Т5).
7. Паралелно задатом трансформатору прикључује се трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 300\text{kVA}$ ,  $U_1/U_{02} = 10/0,4\text{kV}$ ,  $u_k = 5\%$ , спрега Dz6,  $\cos\varphi_{k1} = \cos\varphi_{k2}$ . Колико износи релативна струја изједначења? Да ли би ова два трансформатора могла да раде трајно у паралели и под којим условима? (38)
8. Колико износе комплексне линијске струје примара задатог трансформатора ако је секундар оптерећен струјама  $I_a = (200+j100)\text{A}$ ,  $I_b = (300+j150)\text{A}$  и  $I_c = (200-j100)\text{A}$ ? (310)
9. Скотов трансформатор напона  $U_1/U_2 = 20000/2 \times 100\text{ V}$ , напаја се из двофазног симетричног система напона са секундарне стране, а на примарној трофазној страни је оптерећен трофазним симетричним потрошачем снаге  $S = 400\text{kVA}$ ,  $\cos\varphi = 0,6$  инд. Израчунати ефективне и комплексне вредности струја секундара (36) и нацртати шему трансформатора (32) и векторски дијаграм примарних и секундарних струја (32).
10. Увести апроксимацију стварног облика магнетног хистерезиса са две праве линије и на основу ње извести израз за максималну вредност струје при укључењу трансформатора у празном ходу. Потребно је дефинисати сваку од величина које фигуришу у коначном изразу користећи текстуални опис или означавање на графику. (Т12)

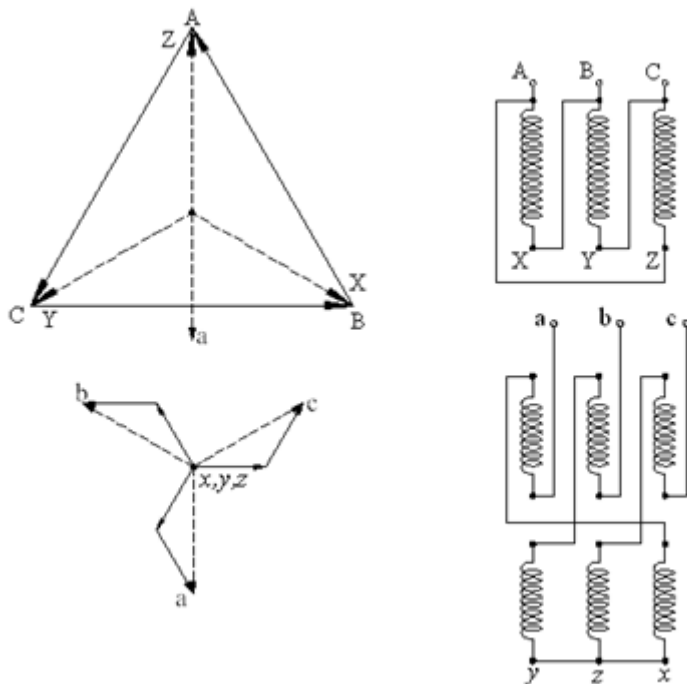
Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

др Зоран Радаковић  
др Зоран Лазаревић

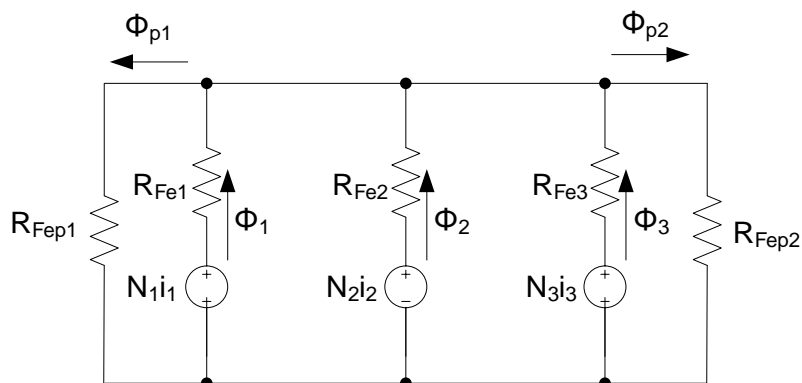
# РЕШЕЊА

3.7.2021.

1.



2. Предавања, Поглавље 2, стране 2 и 3.



3.  $P_{Hn} + P_{Fn} = P_{0n} = 1,2 \text{ kW}$ ,  $P_{Hn} / P_{Fn} = 3 \Rightarrow P_{Hn} = 900 \text{ W}$   $P_{Fn} = 300 \text{ W}$

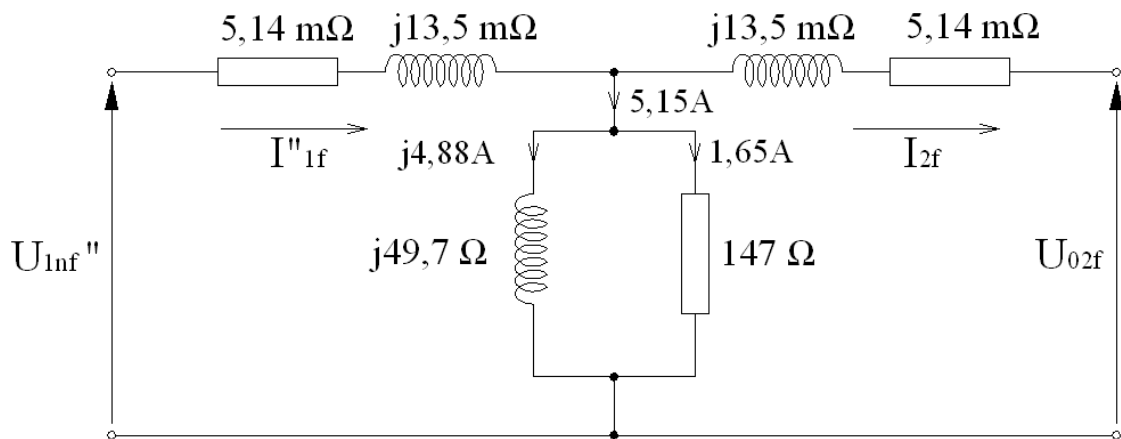
$$P_H = k_H f B_m^n \Rightarrow \frac{P_H^{60}}{P_{Hn}} = \frac{f_{60}}{f_{50}} \cdot \left( \frac{U_{60}/f_{60}}{U_{50}/f_{50}} \right)^n = \left( \frac{f_{50}}{f_{60}} \right)^{n-1} \cdot \left( \frac{U_{60}}{U_{50}} \right)^n = \left( \frac{50}{60} \right)^{0,9} \cdot \left( \frac{11}{10} \right)^{1,9} = 1,017$$

$$P_H^{60} = 900 \cdot 1,017 = 915 \text{ W}$$

$$P_V = k_V f^2 B_m^2 \Rightarrow \frac{P_V^{60}}{P_{Vn}} = \left( \frac{f_{60}}{f_{50}} \right)^2 \cdot \left( \frac{U_{60}/f_{60}}{U_{50}/f_{50}} \right)^2 = \left( \frac{U_{60}}{U_{50}} \right)^2 = 1,21$$

$$P_V^{60} = 300 \cdot 1,21 = 363 \text{ W} \Rightarrow P_0^{60} = P_H^{60} + P_V^{60} = 915 + 363 = 1278 \text{ W}$$

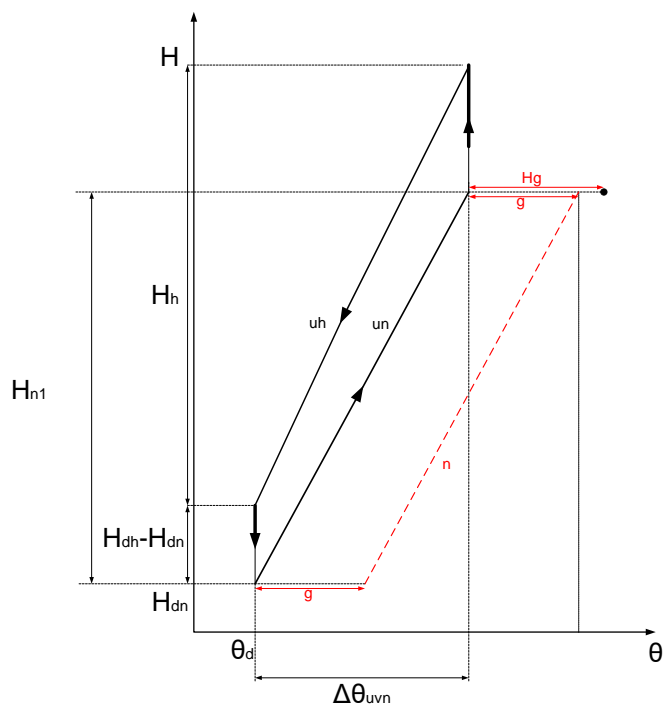
$$\begin{aligned}
4. \quad I_{2nf} &= \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 343,7 \text{ A} \Rightarrow I_0'' = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{1,5}{100} \cdot 343,7 = 5,15 \text{ A} \\
R_a'' &= \frac{U_{2nf}^2}{P_0/3} = \frac{420^2}{1200} = 147 \Omega \Rightarrow I_a'' = \frac{U_{2f}}{R_a''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 147} = 1,65 \text{ A} \\
I_\mu'' &= \sqrt{I_0''^2 - I_a''^2} = 4,88 \text{ A} \Rightarrow X_\mu = \frac{U_{2nf}}{I_\mu''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 4,88} = 49,7 \Omega \\
P_{k,n} &= P_{k,20^\circ} \cdot \frac{235+75}{235+20} = 3 \cdot \frac{310}{255} = 3,647 \text{ kW} \\
u_{r,20^\circ} &= \frac{P_{k,20^\circ}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3}{250} \cdot 100 = 1,2 \% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_{k,20^\circ}^2 - u_{r,20^\circ}^2} = \sqrt{4^2 - 1,2^2} = 3,82 \% \\
u_{r,n} &= \frac{P_{k,n}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3,647}{250} \cdot 100 = 1,46 \% \Rightarrow u_k = \sqrt{u_x^2 + u_n^2} = \sqrt{3,82^2 + 1,46^2} = 4,09 \% \\
R_{kn}'' &= \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_{2nf}^2} = \frac{3647}{3 \cdot 343,7^2} = 10,29 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_{kn}''}{2} = 5,14 \text{ m}\Omega \\
Z_k'' &= \frac{u_{kn}}{100} \cdot \frac{U_{2nf}}{I_{2nf}} = \frac{4,09}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 343,7} = 28,85 \text{ m}\Omega \\
X_k'' &= \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = \sqrt{28,85^2 - 10,29^2} = 27 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k''}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ m}\Omega
\end{aligned}$$



5.

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_l + P_{Fe}} \\
&= \frac{\beta \sqrt{3} U_{2n} I_{2n} \cos \varphi}{\beta \sqrt{3} U_{2n} I_{2n} \cos \varphi + \beta^2 \left( \frac{235 + \vartheta(\beta)}{235 + 75} k_J P_{k75} + \frac{235 + 75}{235 + \vartheta(\beta)} (1 - k_J) P_{k75} \right) + \beta^2 P_{konstn} + P_{on}}
\end{aligned}$$

6.



Највиша температура намотаја:  $\theta_{Cu} = \theta_d + \Delta\theta_{uvm} + H g$

Највиша температура уља:  $\theta_{Oil} = \theta_d + \Delta\theta_{uvm}$

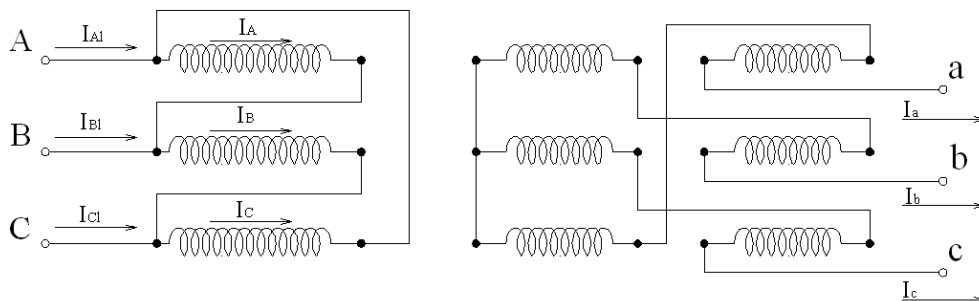
7.

$$|\Delta n_{\%}| = \frac{n_I - n_{II}}{n_I} \cdot 100 = \frac{10/0,42 - 10/0,4}{10/0,42} \cdot 100 = \frac{23,8 - 25}{23,8} \approx 5\%$$

$$|i_i| = \frac{|\Delta n_{\%}|}{u_{kI\%} + \frac{S_{nI}}{S_{nII}} \cdot u_{kII\%}} = \frac{5}{4,1 + \frac{250}{300} \cdot 5} = 0,6 r.j. \Rightarrow 60\%$$

- могу да раде али са смањеним оптерећењем при коме струја ниједног од њих не прелази  $I_{ni}$  (у зависности од  $\cos \varphi$ ).

8.



$$\frac{N_1}{N_2} = 1,15 \cdot \frac{U_{1nf}}{U_{2nf}} = 1,15 \cdot \frac{10}{0,42/\sqrt{3}} = 47,4$$

$$\underline{I_A} \cdot N_1 = \frac{N_2}{2} I_b - \frac{N_2}{2} I_c$$

$$\underline{I}_A = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I}_b - \underline{I}_a) = \frac{1}{47,4} \cdot 0,5 \cdot (300 + j150 - 200 - j100) = 0,01055 \cdot (100 + j50) = (1,055 + j0,527) A$$

$$\underline{I}_B = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I}_c - \underline{I}_b) = \frac{1}{4,74} \cdot 0,5 \cdot (200 - j100 - 300 - j150) = 0,01055 \cdot (-100 - j250) = -(1,055 + j2,638) A$$

$$\underline{I}_C = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I}_a - \underline{I}_c) = \frac{1}{4,74} \cdot 0,5 \cdot (200 + j100 - 200 + j100) = 0,01055 \cdot j200 = j2,11 A$$

$$\underline{I}_{Al} = \underline{I}_A - \underline{I}_C = 1,055 + j0,527 - j2,11 = (1,055 - j1,583) A$$

$$\underline{I}_{Bl} = \underline{I}_B - \underline{I}_A = -1,055 - j2,638 - 1,055 - j0,527 = (2,11 - j3,165) A$$

$$\underline{I}_{Cl} = \underline{I}_C - \underline{I}_B = j2,11 + 1,055 + j2,638 = (1,055 + j4,748) A$$

$$9. \quad \underline{I}_A = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20} = 11,5 A \Rightarrow \underline{I}_A = 11,5 \cdot (0,6 - j0,8) = (6,9 - j9,2) A$$

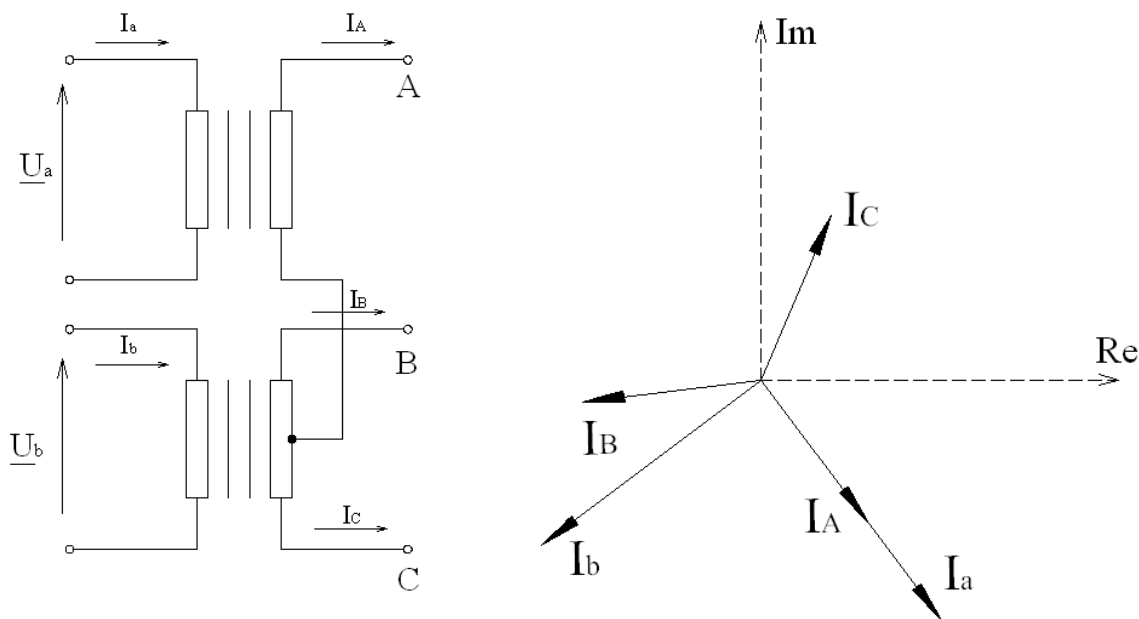
$$\underline{I}_B = \underline{I}_A \left( -0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (6,9 - j9,2) \cdot \left( -0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (-11,4 - j1,4) A$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_A \left( -0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (6,9 - j9,2) \cdot \left( -0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (4,5 + j10,6) A$$

$$\underline{I}_a = \frac{N_1}{N_2} \cdot \underline{I}_A = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{20000}{100} (6,9 - j9,2) = (1195 - j1593) A$$

$$\underline{I}_b N_2 = \frac{N_1}{2} (\underline{I}_B - \underline{I}_C)$$

$$\underline{I}_b = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I}_B - \underline{I}_C) = \frac{20000}{100} \cdot 0,5 \cdot (-11,4 - j1,4 - 4,5 - j10,6) = -(1590 + j1200) A$$



10. Предавања, Поглавље 6., од слике 6.3 на страни 5. закључно са формулом (6.20) на страни 8.