

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°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 11kV и фреквенције 60Hz 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 β . 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), однос Цулових и укупних губитака k_J у намотајима при 75°C . Сматрати да губици у магнетном колу не зависе од β 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 β ; 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)

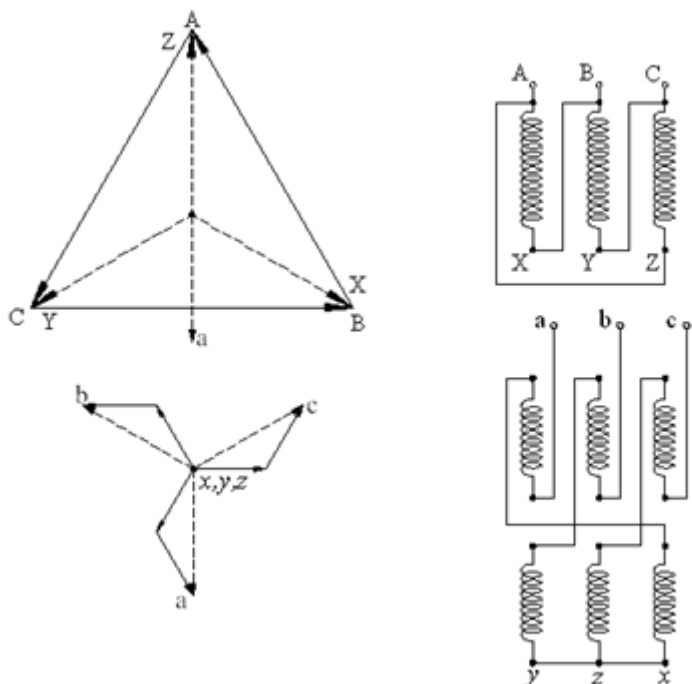
Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

др Зоран Радаковић
др Зоран Лазаревић

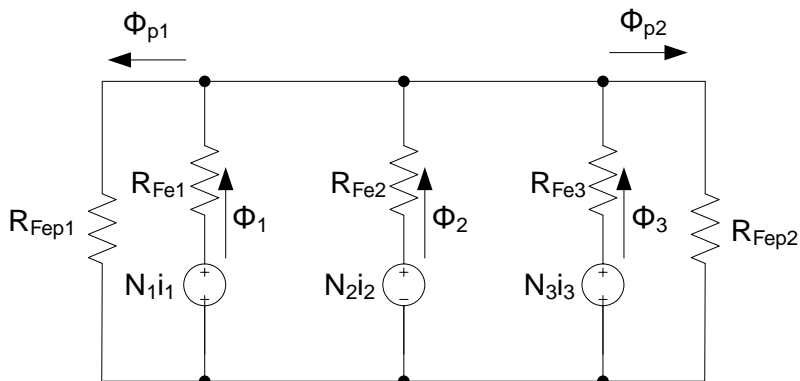
РЕШЕЊА

3.7.2021.

1.



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



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

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

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

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

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

$$4. \quad I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 343,7 \text{ A} \Rightarrow I_0'' = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{1,5}{100} \cdot 343,7 = 5,15 \text{ A}$$

$$R_a'' = \frac{U_{2nf}^2}{P_0/3} = \frac{420^2}{1200} = 147 \Omega \Rightarrow I_a'' = \frac{U_{2nf}}{R_a''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 147} = 1,65 \text{ A}$$

$$I_\mu'' = \sqrt{I_0''^2 - I_a''^2} = 4,88 \text{ A} \Rightarrow X_\mu = \frac{U_{2nf}}{I_\mu''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 4,88} = 49,7 \Omega$$

$$P_{k,n} = P_{k,20^\circ} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 3 \cdot \frac{310}{255} = 3,647 \text{ kW}$$

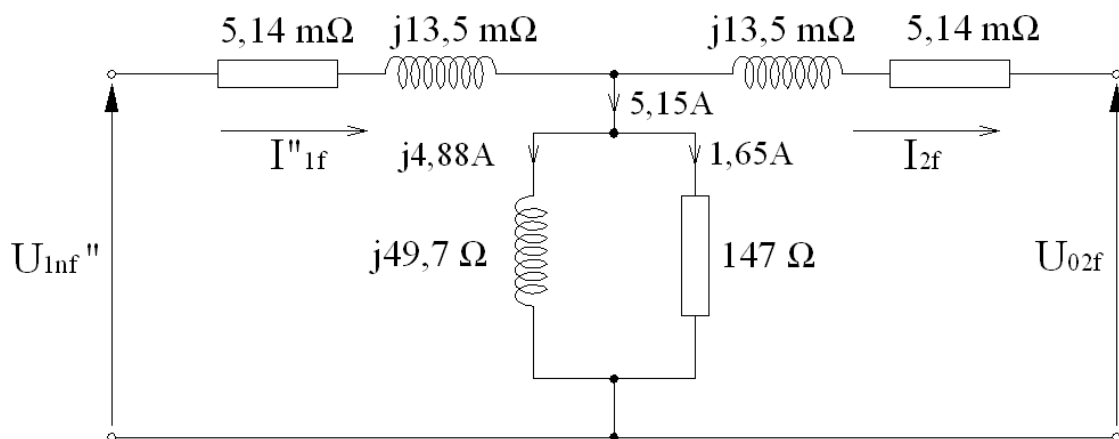
$$u_{r,20^\circ} = \frac{P_{k,20^\circ}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3}{250} \cdot 100 = 1,2\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_{k,20^\circ}^2 - u_{r,20^\circ}^2} = \sqrt{4^2 - 1,2^2} = 3,82\%$$

$$u_{r,n} = \frac{P_{k,n}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3,647}{250} \cdot 100 = 1,46\% \Rightarrow u_k = \sqrt{u_x^2 + u_n^2} = \sqrt{3,82^2 + 1,46^2} = 4,09\%$$

$$R_{kn}'' = \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_{2nf}^2} = \frac{3647}{3 \cdot 343,7^2} = 10,29 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_{kn}''}{2} = 5,14 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k'' = \frac{u_{kn}}{100} \cdot \frac{U_{2nf}}{I_{2nf}} = \frac{4,09}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 343,7} = 28,85 \text{ m}\Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = \sqrt{28,85^2 - 10,29^2} = 27 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k''}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ m}\Omega$$

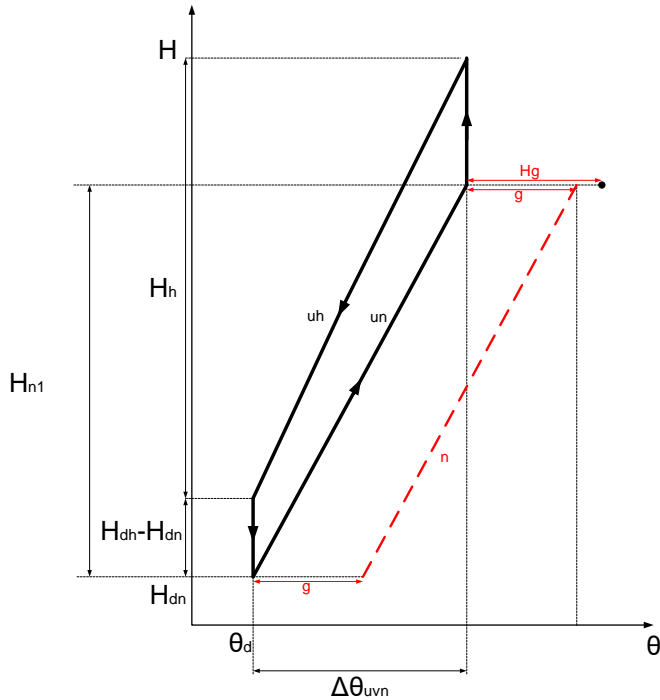


5.

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

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

6.



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

Највиша температура уља: $\theta_{oil} = \theta_d + \Delta\theta_{uvn}$

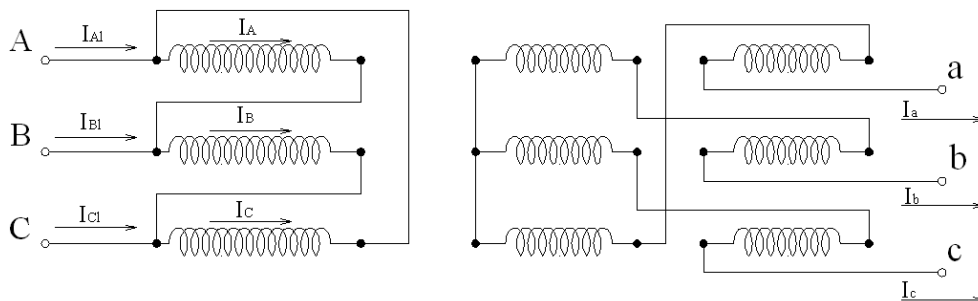
7.

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

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

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

8.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

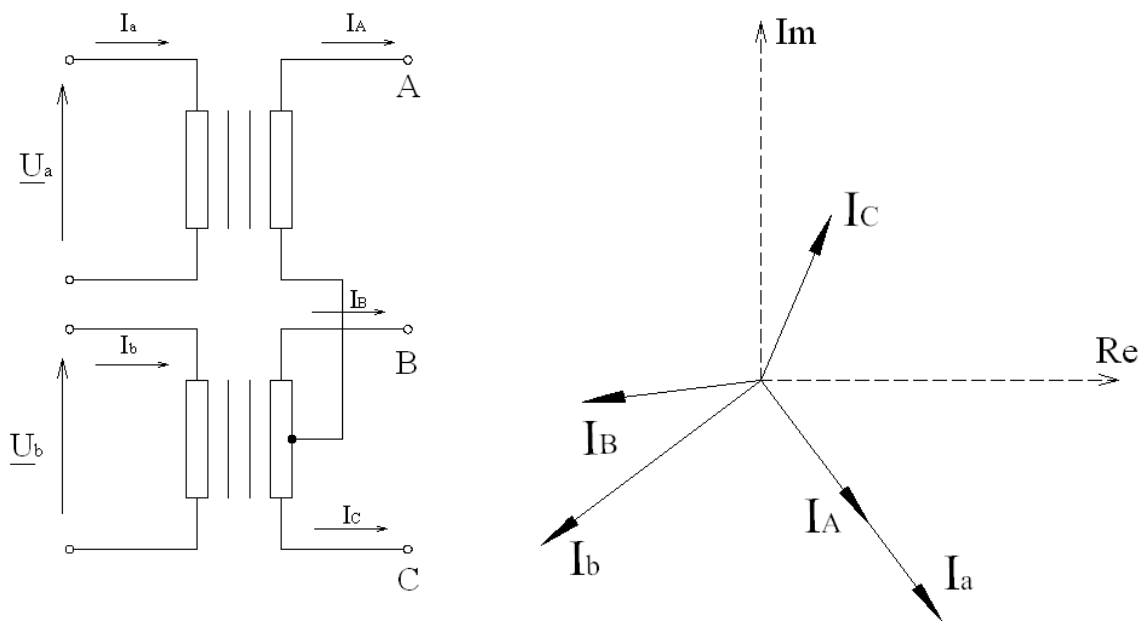
$$\underline{I}_B = \underline{I}_A \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (6,9 - j9,2) \cdot \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (-11,4 - j1,4)A$$

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

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

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

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



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