

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- фебруар 2021 -

Београд, 13.02.2021.

Трофазни дистрибутивни уљни трансформатор има следеће номиналне податке:  $S_n = 500 \text{ kVA}$ ,  $U_1 / U_{20} = 1000 / 660 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , спрега  $Yzn11$ ,  $N_1 = 800$ ,  $P_{0n} = 3 \text{ kW}$ ,  $\cos\varphi_{0n} = 0,3$ ,  $u_{kn} = 6,2 \%$ ,  $\cos\varphi_{kn} = 0,48$ .

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т8)
2. Израчунати Филдов сачинилац сматрајући га једнаким за све намотаје и додатне губитке на референтној температури ако су отпори примарног и секундарног намотаја на  $20^\circ\text{C}$  мерени једносмерном струјом  $R_{1f} = 0,025 \Omega$  и  $R_{2f} = 0,01 \Omega$ . При решавању задатка сматрати да су губицу у конструкционим деловима трансформатора занемарљиво мали. (310)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на ВН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (312)
4. Ако се на задати трансформатор прикључи мотор са номиналним подацима:  $P_n = 400 \text{ kW}$ ,  $U_n = 660 \text{ V}$ ,  $\eta_n = 0,92$ ,  $\cos\varphi_n = 0,84$ , израчунати напон секундара и степен искоришћења снаге трансформатора ако мотор ради номинално оптерећен. Колики би требао да буде број навојака примара да би секундарни напон имао номиналну вредност при датом оптерећењу? (310)
5. Нацртати топлотну шему са два чвора и два топлотна капацитета и објаснити значење симбола на шеми (Т5). Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре намотаја (Т5). Написати изразе за порасте температуре намотаја и уља које се додељују чворовима у топлотној шеми (за случај када ови порасте достижу максималну вредност) полазећи од појединачних компоненти пораста температура на дијаграму, као и фактора најтоплије тачке (Т5).
6. Колика је критична сила и њен карактер у сваком навојку примара која потиче од аксијалне компоненте поља расипања, ако је висина оба намотаја  $350 \text{ mm}$ , средњи пречник намотаја примара  $220 \text{ mm}$ , коефицијент Роговског  $0,92$  и ако је примарни намотај спољашњи? (312)
7. Паралелно задатом трансформатору прикључују се трансформатори снага  $S_{n2} = 600 \text{ kVA}$  и  $S_{n3} = 400 \text{ kVA}$  и напона кратког споја  $u_{k2} = 5 \%$  и  $u_{k3} = 7 \%$ . Како ће трансформатори поделити укупно оптерећење од  $1500 \text{ kVA}$ ? Колико износи максимална снага којом ови трансформатори могу бити оптерећени тако да у трајном раду ни један од њих не буде преоптерећен и колика су тада појединачна оптерећења? (314)
8. Са симетричним оптерећењем трансформатора везаним у звезду (Y) паралелно је везана батерија кондензатора везана у троугао (D). Импеданса оптерећења везаног у звезду износи  $Z_Y$  по фази, и његова неутрална тачка је уземљена преко реактансе  $X_N$ . Реактанса кондензаторске батерије износи  $X_C$  по фази. Нацртати заменске шеме оптерећења трансформатора у директном, инверзном и нултом систему. (Т12)
9. Скотов трансформатор напона  $U_{1n}/U_{2n} = 10000/2 \times 200 \text{ V}$ , прикључен је на трофазни уравнотежени систем напона, а на секундару је оптерећен снагама  $S_a = 100 \text{ kVA}$ ,  $\cos\varphi_a = 0,8 \text{ кап.}$  и  $S_b = 200 \text{ kVA}$ ,  $\cos\varphi_b = 0,8 \text{ инд.}$ . Израчунати комплексне струје примара и секундара и нацртати векторски дијаграм напона (312). Нацртати шему веза намотаја овог трансформатора. (Т5)

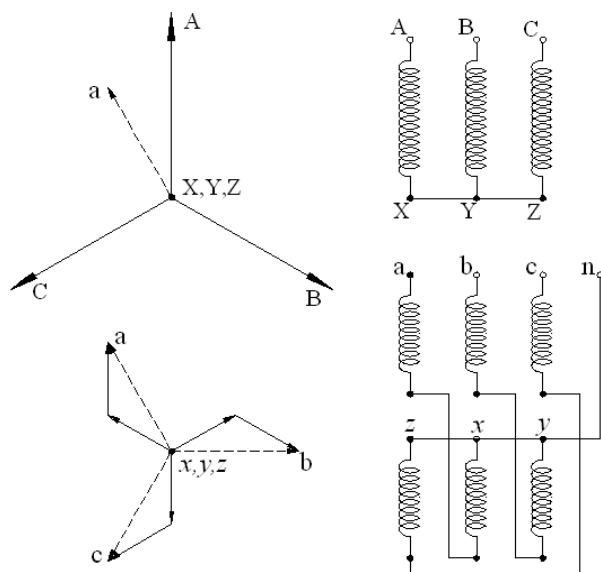
Испит траје 180 min. Други колоквијум који чине задаци 6-9 траје 90 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

др Зоран Радаковић  
др Зоран Лазаревић

# РЕШЕЊА

13.02.2021.

1.



$$2. \quad R_{1,DC}^{75} = \frac{235 + 75}{235 + 20} \cdot 0,025 = 0,0304 \Omega, \quad R_{2,DC}^{75} = \frac{235 + 75}{235 + 20} \cdot 0,01 = 0,0122 \Omega$$

$$n = \frac{U_1}{U_{02}} = \frac{1000}{660} = 1,515, \quad I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 288,7 \text{ A}$$

$$P_{Cu}^{75} = 3 \cdot (R_{1,DC}^{75} + R_{2,DC}^{75} \cdot n^2) \cdot I_{1nf}^2 = 3 \cdot (0,0304 + 0,0122 \cdot 1,515^2) \cdot 288,7^2 = 14603 \text{ W}$$

$$u_m = u_{kn} \cos \varphi_{kn} = 6,2 \cdot 0,48 = 2,976\% \Rightarrow P_{kn} = \frac{u_m}{100} \cdot S_n = \frac{2,976}{100} \cdot 500 \cdot 10^3 = 14880 \text{ W}$$

$$k_F = \frac{P_{kn}}{P_{Cu}^{75}} = \frac{14880}{14603} = 1,019, \quad P_d^{75} = P_{kn} - P_{Cu}^{75} = 277 \text{ W}$$

$$3. \quad R_1^{75} = k_F \cdot R_{1,DC}^{75} = 1,019 \cdot 0,0304 = 0,03098 \Omega$$

$$R_2^{75'} = k_F \cdot R_{2,DC}^{75} \cdot n^2 = 1,019 \cdot 0,0122 \cdot 1,515^2 = 0,02853 \Omega$$

$$R_k' = R_1^{75} + R_2^{75'} = 0,03098 + 0,02853 = 0,05951 \Omega$$

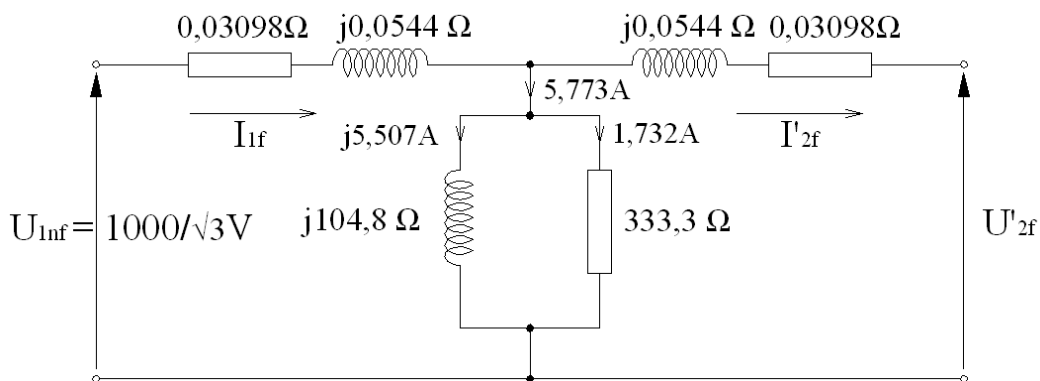
$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{6,2}{100} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 288,7} = 0,124 \Omega$$

$$\Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k'^2} = 0,1088 \Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2}' = \frac{X_k}{2} = 0,0544 \Omega$$

$$R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{1000^2}{3000} = 333,3 \Omega \Rightarrow I_{af} = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 333,3} = 1,732 \text{ A}$$

$$I_{0f} = \frac{I_{af}}{\cos \varphi_0} = \frac{1,732}{0,3} = 5,773 \text{ A} \Rightarrow I_{\mu f} = \sqrt{I_{0f}^2 - I_{af}^2} = \sqrt{5,773^2 - 1,732^2} = 5,507 \text{ A}$$

$$X_\mu = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu f}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 5,507} = 104,8 \Omega$$



$$4. \quad I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{02}} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 660} = 437,4 \text{ A}, \quad I_{mn} = \frac{P_n / \eta_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi_n} = \frac{400 \cdot 10^3 / 0,92}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,84} = 452,8 \text{ A}$$

$$\beta = \frac{I_{mn}}{I_{2nf}} = \frac{452,8}{437,4} = 1,035, \quad u_{xn} = \sqrt{u_{kn}^2 - u_m^2} = \sqrt{6,2^2 - 2,976^2} = 5,439 \%$$

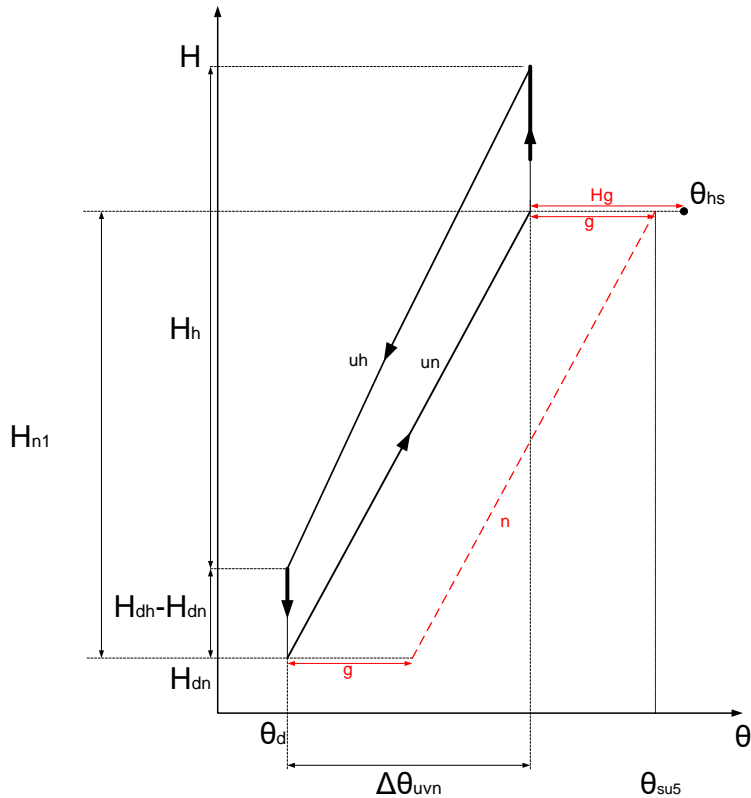
$$\left. \begin{aligned} a &= \beta(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi) = 1,035 \cdot (2,975 \cdot 0,84 + 5,439 \cdot 0,542) = 5,6376\% \\ b &= \beta(u_x \cos \varphi - u_r \sin \varphi) = 1,035 \cdot (5,439 \cdot 0,84 - 2,975 \cdot 0,542) = 2,956\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta u = a + \frac{b^2}{200} = 5,681\%$$

$$U_2 = \left(1 - \frac{5,681}{100}\right) \cdot 660 = 622,5 \text{ V}, \quad N_1^* = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_{02}} = 800 \cdot \frac{622,5}{660} = 754,5 \approx 754 \text{ nav}$$

$$\Delta N_1 = N_1 - N_1^* = 46 \text{ nav}$$

$$\eta = \frac{P_n / \eta_n}{P_n / \eta_n + \beta^2 P_{Cu} + P_0} = \frac{400 / 0,92}{400 / 0,92 + 1,035^2 \cdot 14,88 + 3} = 0,9584 \rightarrow 95,84\%$$

5. Предавања, одељак 5.3.2.



Чвор 1:  $\theta_{Cu} = \theta_d + \Delta\theta_{uvn} + H g$

Чвор 2:  $\theta_{Oii} = \theta_d + \Delta\theta_{uvn}$

6.  $I_{k \max 1} = \sqrt{2} \cdot k_m \cdot \frac{100 I_{1n}}{u_{k\%}}, k_m = \left( 1 + e^{\frac{u_r \pi}{u_x}} \right) = \left( 1 + e^{\frac{2,976}{5,439} \pi} \right) = 1,179$

$I_{k \max 1} = \sqrt{2} \cdot 1,179 \cdot \frac{100 \cdot 288,7}{6,2} = 7763,9 \text{ A}$

$F_{r1} = \frac{1}{2} \cdot \pi \mu_0 \frac{k_R}{h} D_1 (N_1 I_{k \max 1})^2 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,92}{0,35} \cdot 0,22 \cdot (800 \cdot 7763,9)^2 \approx 44 \cdot 10^6 \text{ N}$

$F_y = f_r R_1 = \frac{F_{r1}}{2\pi N_1} = 8,75 \text{ kN}$

7.  $S_i = \frac{S}{\frac{u_{ki}}{S_{ni}} \sum_i \left( \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \right)}$

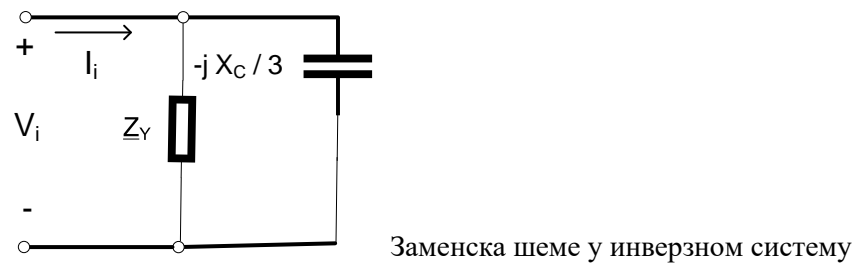
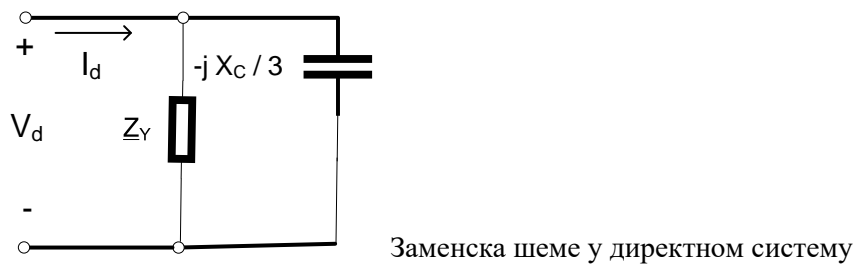
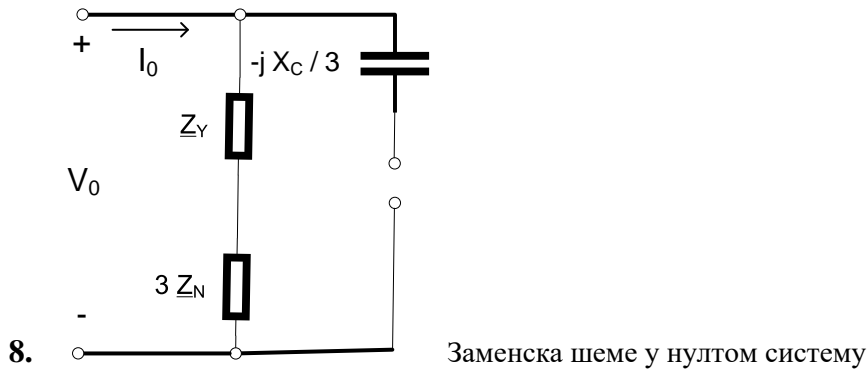
$\sum_i \left( \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \right) = \frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} + \frac{S_{n3}}{u_{k3}} = \frac{500}{6,2} + \frac{600}{5} + \frac{400}{7} = 257,8$

$S_1 = \frac{1500}{\frac{6,2}{500} \cdot 257,8} = 469,2 \text{ kVA}, \quad S_2 = \frac{1500}{\frac{5}{600} \cdot 257,8} = 698,2 \text{ kVA}$

$$S_3 = \frac{1500}{\frac{7}{400} \cdot 257,8} = 332,48 \text{ kVA}$$

$$S_2 = S_{2n} = 600 \text{ kVA} = \frac{S_d}{\frac{5}{600} \cdot 257,8} \Rightarrow S_d = 1289 \text{ kVA}$$

$$S_1 = \frac{1289}{1500} \cdot 469,2 = 403,2 \text{ kVA}, \quad S_3 = \frac{1289}{1500} \cdot 332,48 = 285,7 \text{ kVA}$$



9.

a)

$$I_a = \frac{S_a}{U_2} = \frac{100 \cdot 10^3}{200} = 500 \text{ A} \Rightarrow \underline{I}_a = jI_a (\cos \varphi_a + j \sin \varphi_a) = j500 \cdot (0,8 + j0,6) = (-300 + j400) \text{ A}$$

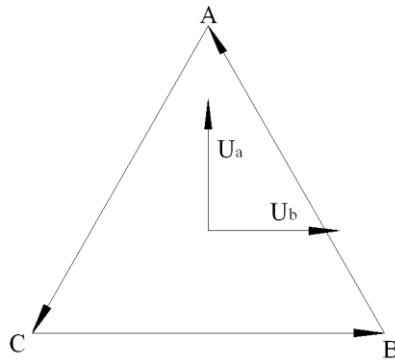
$$I_b = \frac{S_b}{U_2} = \frac{200 \cdot 10^3}{200} = 1000 \text{ A} \Rightarrow \underline{I}_b = I_b (\cos \varphi_b - j \sin \varphi_b) = 1000 \cdot (0,8 - j0,6) = (800 - j600) \text{ A}$$

$$n_a = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1000}{200} = 43,3, \quad n_b = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{10000}{200} = 50$$

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{I}_a}{n_a} = \frac{(-300 + j400)}{43,3} = (-6,93 + j9,24) \text{ A}$$

$$I_B = -\frac{\underline{I}_A}{2} + \frac{1}{n_b} \cdot \underline{I}_b = -\frac{(-6,93 + j9,24)}{2} + \frac{1}{50} \cdot (800 - j600) = (19,5 + j16,6) \text{ A}$$

$$I_C = -\frac{\underline{I}_A}{2} - \frac{1}{n_b} \cdot \underline{I}_b = -\frac{(-6,93 + j9,24)}{2} - \frac{1}{50} \cdot (800 - j600) = (-12,5 + j7,38) \text{ A}$$



б) Предавања, Поглавље 10, страна 2, Слика 10.1