

**ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)**  
**- септембар 2021 -**

**Београд, 26.9.2021.**

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 1600 \text{ kVA}$ ,  $U_{1n}/U_{20} = 10/0,4 \text{ kV}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $j_0 = 1,3 \%$ ,  $P_{0n} = 6 \text{ kW}$ ,  $u_{kn} = 5 \%$ , спрега  $Dy3$ , има максимални степен искоришћења снаге при  $60 \%$   $S_n$ . Максимална индукција у језгру износи  $B_m = 1,4 \text{ T}$ .

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све крајеве намотаја. (Т8)
2. Ако би се постојећи лимови трансформатора заменили хладноваљаним лимовима при чему се индукција, с обзиром на губитке у гвожђу, може повећати на  $1,6 \text{ T}$ , проценити приближно процентуална смањења маса гвожђа и бабра трансформатора, ако је вредност флука остала непромењена. (310)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (310)
4. Колики је напон секундара и степен искоришћења снаге задатог трансформатора ако се на његове крајеве прикључи претежно капацитивно оптерећење од  $120 \%$   $S_n$  са фактором снаге  $0,8$ ? (310)
5. Нацртати топлотну шему са два чвора и два топлотна капацитета и објаснити значење симбола на шеми. (Т5) Објаснити које се топлотне проводности у шеми мењају, и зашто, када се мења режим рада (са ONAN на ONAF, а затим на ODAF) (Т5).
6. Дати трансформатор је преоптерећен за  $60 \%$ . Ради растерећења потребно је паралелно њему прикључити један од два расположива трансформатора чији су основни подаци дати у табели:

трансформатор	$S_n$	$U_{1n} / U_{20}$	$u_{kn}$
А	1000 kVA	10 / 0,4 kV	6 %
Б	1250 KVA	10 / 0,4 kV	8 %

Који је комбинација повољнија и због чега? (310)

7. На основу ког принципа се постиже смањење губитака услед затварања дела расутог магнетног флука спољњег намотаја трансформатора ако се са унутрашње стране зидова суда трансформатора постави екран у облику пакета танких магнетних лимова? (Т10)
8. Скотов трансформатор за напоне  $10000/2 \times 200 \text{ V}$  отерећен је са секундарне стране струјама  $I_a = (100 + j300) \text{ A}$  и  $I_b = (200 - j100) \text{ A}$ . Израчунати струје примара овог трансформатора и нацртати шему веза намотаја и векторски дијаграм напона. (312)
9. Навести на који начин се врши провера напонске издржљивости трансформатора за простопериодичне напоне мрежне учестаности и конструкционе елементе којима се остварује напонска издржљивост трансформатора. (Т10)
10. Нацртати шему аутотрансформатора и извести израз за везу између типске и пролазне снаге. (Т10)

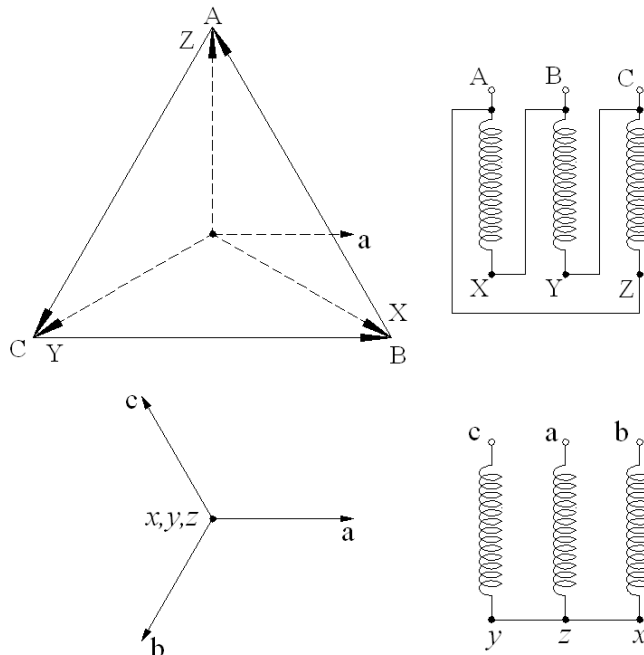
**Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.**

**др Зоран Радаковић**  
**др Зоран Лазаревић**

# РЕШЕЊА

26.9.2021.

1.



2.  $\Phi_m = B_m \cdot S_{Fe}$

$$B_{m1} \cdot S_{Fe1} = B_{m2} \cdot S_{Fe2} \Rightarrow S_{Fe2} = \frac{B_{m1}}{B_{m2}} \cdot S_{Fe1} = \frac{1,4}{1,6} \cdot S_{Fe1} = 0,875 \cdot S_{Fe1}$$

$$m_{Fe} \sim S_{Fe} \Rightarrow m_{Fe2} = 0,875 m_{Fe1} \Rightarrow m_{Fe} \downarrow 12,5\%$$

Ако је  $d$  пречник описаног круга око попречног пресека магнетског кола  $S_{Fe}$  тада је:

$$S_{Fe} \sim d^2, m_{Cu} \sim d \Rightarrow m_{Cu} \sim \sqrt{S_{Fe}} \Rightarrow m_{Cu2} = \sqrt{0,875} \cdot m_{Cu1} = 0,935 \cdot m_{Cu1} \Rightarrow m_{Cu} \downarrow 6,4\%$$

3. ПХ:  $I_{1nf} = \frac{S_n}{3 \cdot U_{1n}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 53,3 \text{ A}$

$$I_{01f} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{1nf} = \frac{1,3}{100} \cdot 53,3 = 0,693 \text{ A}$$

$$R_{af} = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{(10 \cdot 10^3)^2}{6 \cdot 10^3/3} = 50 \text{ k}\Omega \Rightarrow I_{a1f} = \frac{U_{1nf}}{R_{af}} = \frac{10 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3} = 0,2 \text{ A}$$

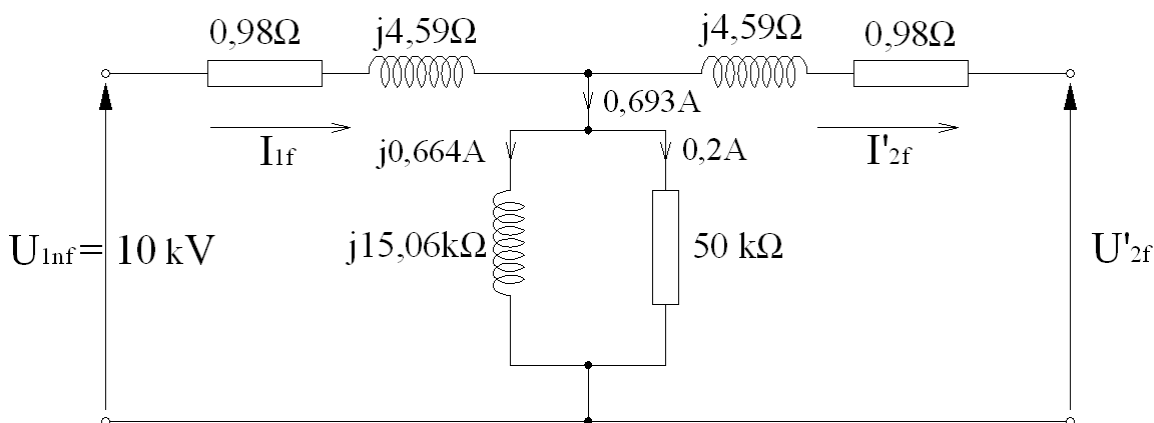
$$I_{\mu f} = \sqrt{I_{0f}^2 - I_{af}^2} = 0,664 \text{ A} \Rightarrow X_{\mu f} = \frac{U_{0f}}{I_{\mu f}} = \frac{10 \cdot 10^3}{0,664} = 15,06 \text{ k}\Omega$$

КС:  $P_{kn} = \frac{P_{0n}}{\beta^2} = \frac{6}{0,6^2} = 16,7 \text{ kW}$

$$R_{kf} = \frac{P_k}{3 \cdot I_{1nf}^2} = \frac{16,7 \cdot 10^3}{3 \cdot 53,3^2} = 1,96 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2' = \frac{R_k}{2} = 0,98 \Omega$$

$$Z_k = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{53,3} = 9,38 \Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{9,38^2 - 1,96^2} = 9,17 \Omega$$

$$X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2}' = \frac{X_k}{2} = 4,59 \Omega$$



4.  $\beta = 1,2$   $\cos \varphi = 0,8$  кап.

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{16,7}{1600} \cdot 100 = 1,0438\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 4,89\%$$

$$a = \beta(u_r \cos \varphi - u_x \sin \varphi) = 1,2 \cdot (1,0438 \cdot 0,8 - 4,89 \cdot 0,6) = -2,519\%$$

$$b = \beta(u_x \cos \varphi + u_r \sin \varphi) = 1,2 \cdot (4,89 \cdot 0,8 + 1,0438 \cdot 0,6) = 5,446\%$$

$$\Delta u = a + \frac{b^2}{200} = -2,519 + \frac{5,446^2}{200} = -2,37\%$$

$$U_2 = U_{02} \left( 1 - \frac{\Delta u}{100} \right) = 400 \left( 1 + \frac{2,38}{100} \right) = 409,5V$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cos \varphi}{\beta \cdot S_n \cos \varphi + \beta^2 P_{kn} + P_{0n}} = \frac{1,2 \cdot 1600 \cdot 0,8}{1,2 \cdot 1600 \cdot 0,8 + 1,2^2 \cdot 16,7 + 6} = 0,9808 \rightarrow 98,08\%$$

5. Предавања, одељак 5.3.2.

Са повећањем брзине струјања ваздуха (промена са AN на AF) повећава се коефицијент преласка топлоте струјањем са радијатора на ваздух, због чега расте  $\Lambda_{II}$  и смањује се температура уља.

Са повећањем брзине струјања уља (промена са ON на OD) повећава се коефицијент преласка топлоте струјањем са намотаја на уље, због чега расте  $\Lambda_I$  и смањује се разлика температуре намотаја и уља  $g$ .

6.  $\beta = 1,6 \Rightarrow \Sigma S = 1,6 \cdot 1600 = 2560 kVA$

A  $S_{n2} = 1000 kVA$ ,  $u_{k2} = 5\%$

$$S_1 = \frac{\Sigma S}{\frac{u_{k1\%}}{S_{n1}} \sum_i \frac{S_{ni}}{u_{ki}}} = \frac{2560}{\frac{5}{1600} \cdot \left( \frac{1600}{5} + \frac{1000}{6} \right)} = 1683 kVA \quad \text{преоптерећен за } 5,2\%$$

$$S_2 = \Sigma S - S_1 = 2560 - 1683 = 877 kVA \quad \text{подоптерећен за } 12,3\%$$

B  $S_{n2} = 1250 kVA$ ,  $u_{k2} = 8\%$

$$S_1 = \frac{\Sigma S}{\frac{u_{k1\%}}{S_{n1}} \sum_i \frac{S_{ni}}{u_{ki}}} = \frac{2560}{\frac{5}{1600} \cdot \left( \frac{1600}{5} + \frac{1250}{8} \right)} = 1720 kVA \quad \text{преоптерећен за } 7,5\%$$

$$S_2 = \Sigma S - S_1 = 2560 - 1720 = 840 kVA \quad \text{подоптерећен за } 32,8\%$$

Повољнији је први случај јер је у овом случају први трансформатор мање преоптерећен.

7. Предавања, Поглавље 2, стр. 16 и 17 (закључно до пасуса пре израза (2.16)). Губици се смањују јер је дебљина суда много већа од дебљине магнетних лимова.

8.

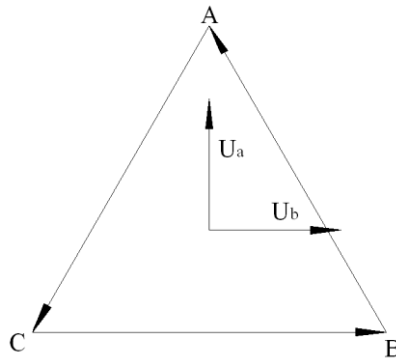
$$n_a = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{10000}{200} = 43,3, \quad n_b = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{10000}{200} = 50$$

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{I}_a}{n_a} = \frac{(100 + j300)}{43,3} = (2,31 + j6,93) \text{ A}$$

$$\left. \begin{aligned} I_B \cdot \frac{N_1}{2} - I_C \cdot \frac{N_1}{2} &= I_b \cdot N_2 \\ I_A + I_B + I_C &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$I_B = -\frac{I_A}{2} + \frac{1}{n_b} \cdot I_b = -\frac{(2,31 + j6,93)}{2} + \frac{1}{50} \cdot (200 - j100) = (2,854 - j5,465) \text{ A}$$

$$I_C = -\frac{I_A}{2} - \frac{1}{n_b} \cdot I_b = -\frac{(2,31 + j6,93)}{2} - \frac{1}{50} \cdot (200 - j100) = (-5,155 - j1,465) \text{ A}$$



9. Предавања, Поглавље 6, одељак 6.3., погледати слику 6.16 и пропратни текст.

10. Предавања, Поглавље 10, одељак 10.3., слика 10.12 и текст од пасуса пре израза (10.29) до израза (10.31).