

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 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 бакра трансформатора, ако је вредност флуksа 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 флуksа 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)**

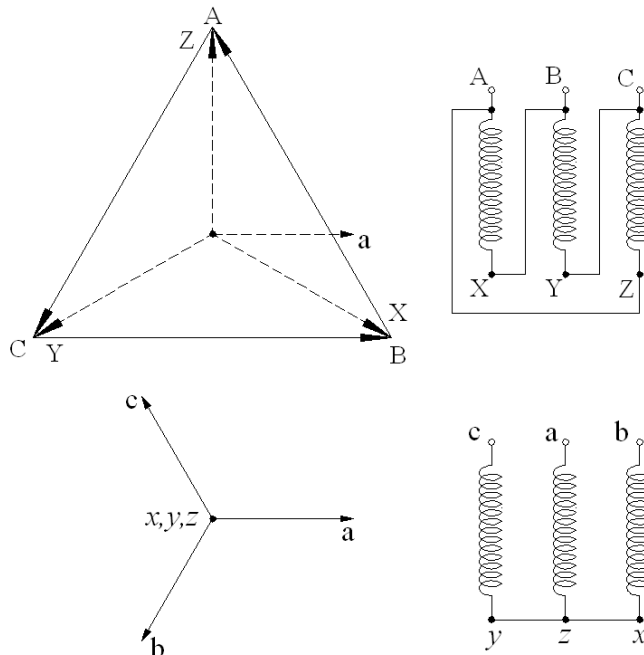
Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

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:

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

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

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

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

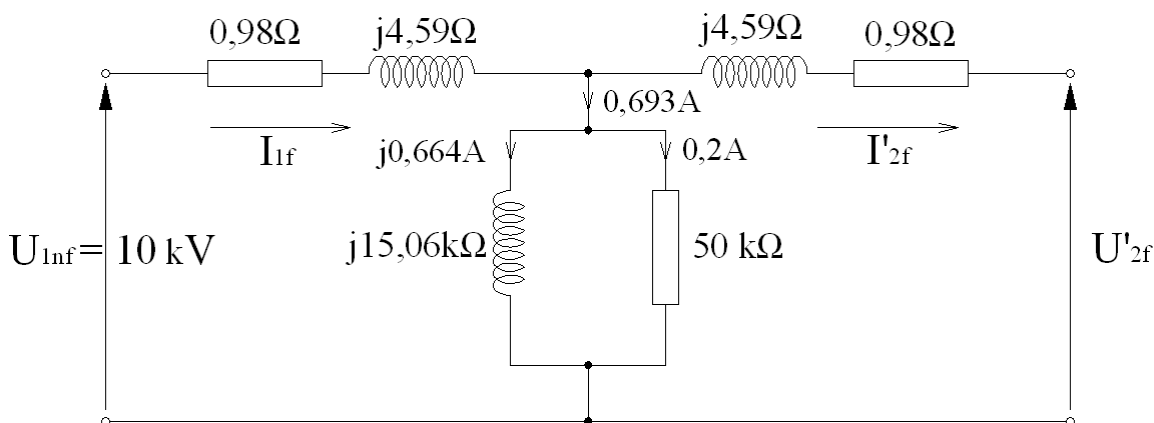
$$I_{\mu f} = \sqrt{I_{0f}^2 - I_{af}^2} = 0,664 \text{ A} \Rightarrow X_{\mu f} = \frac{U_{0f}}{I_{\mu f}} = \frac{10 \cdot 10^3}{0,664} = 15,06 \text{ k}\Omega$$

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

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

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

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



4. $\beta = 1,2 \quad \cos \varphi = 0,8$ 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 ΔT 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 ΔT и смањује се разлика температуре намотаја и уља g .

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

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

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

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

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

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

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

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.

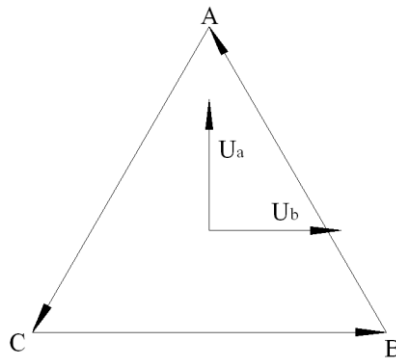
$$n_a = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{10000}{200} = 43,3, \quad n_b = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{10000}{200} = 50$$

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

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

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

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



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).