

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- колоквијум - децембар 2021 -

Београд, 18.12.2021.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 630 \text{ KVA}$ ,  $U_1/U_{02} = 10/0,42 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , спрега  $Yd5$ , има временску константу загревања као хомогено тело  $T = 3h$  и испитиван је у огледима празног хода и кратког споја при чему је измерено: ПХ:  $U_0 = U_{02}$ ,  $I_0 = 13,2 \text{ A}$ ,  $P_0 = 1280 \text{ W}$ , КС:  $U_k = 580 \text{ V}$ ,  $I_k = I_{1n}$ ,  $P_{kn} = 6830 \text{ W}$

1. Нацртати шему веза намотаја и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја. (Т)
2. Полазећи од познате криве магнећења која важи при условима номиналне ефективне вредности напона и номиналне учестаности, нацртати криву временске струје магнећења у току једне полупериоде. На слици приказати и криве промене магнетног флукса и криву магнећења. (Т)
3. Одредити процентуалну промену губитака услед хистерезиса и вихорних струја ако се задати трансформатор прикључи на мрежу чији је напон 5% већи од  $U_{1n}$ , а фреквенција 60 Hz. Штајмницов коефицијент је  $n = 1,7$ . Објаснити како ови губици зависе од таласног облика примарног напона. (З)
4. Израчунати све параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни. Нацртати шему са уписаним бројним вредностима параметара и свим електричним величинама. (З)
5. Где се јављају губици проузроковани протицањем струје кроз намотаје? За компоненту губитака у намотајима навести како се она одређује прорачунски. Како се експерименталним путем одређује компонента губитака изазваних протицањем струје кроз намотаје која се јавља ван намотаја? (Т)
6. На задати трансформатор је прикључен мотор следећих номиналних карактеристика:  $P_n = 400 \text{ kW}$ ,  $\eta_n = 0,97$ ,  $\cos\phi_n = 0,82$ , спрега  $\Delta$ . Мотор ради у номиналном режиму. Одредити капацитет кондензаторских батерија везаних у  $Y$  тако да је при раду са њима напон секундара сведен на примар једнака напону напајања. (З)
7. Нацртати фазорски дијаграм промене напона на трансформатору за случај да је напон на секундару већи од напона на примару. При цртању занемарити утицај струје у грани магнећења. (Т)
8. Одредити максималан могући степен искоришћења снаге, као и напон секундара у том случају. Користити комплетну формулу за пад напона. (З)
9. Задати трансформатор ради номинално оптерећен. После достизања номиналне температуре трансформатор се искључује са мреже. После 2h хлађења поново се укључује и ради са оптерећењем од  $1,3S_n$ . Одредити време рада трансформатора у овим условима после кога температура горњег уља поново достиже номиналну вредност. (З)
10. Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре по висини намотаја, са приказаном температуром најтоплије тачке. Које компоненте преноса топлоте су обухваћене разликом температуре намотаја и уља, за коју се по упрошћеном моделу сматра да се не мења по висини? (Т)

**Колоквијум траје 3h. Сви задаци носе по 12 поена. Дозвољено је коришћење само једне свеске за рад и концепт. Прецртати што није за преглед.**

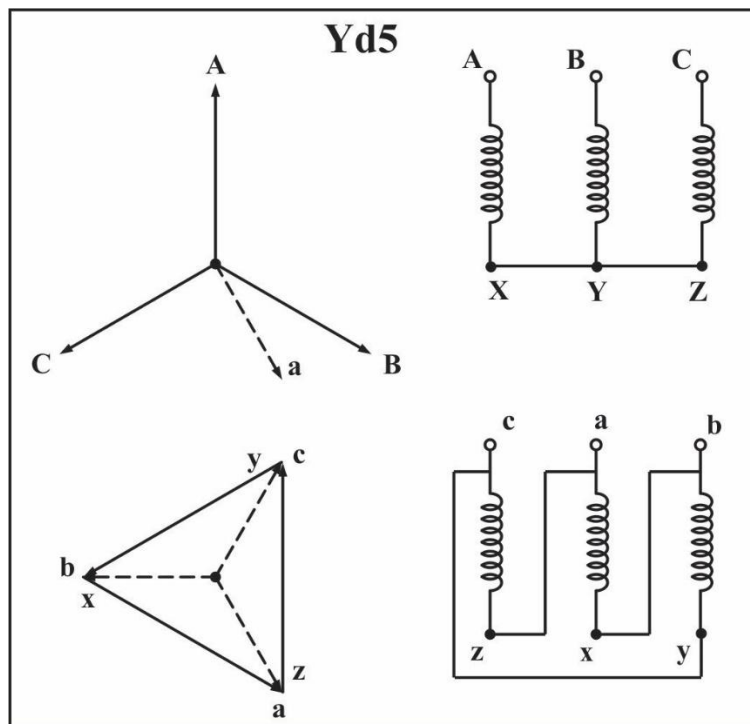
Проф. др Зоран Радаковић, Проф. др Зоран Лазаревић

## РЕШЕЊА

- колоквијум - децембар 2021 -

Београд, 18.12.2021.

1.



2. Предавања, поглавље 2., страна 12, слика 2.14, при чему није било потребно цртати криву промене напона, а за криву струје магнећења нацртати једну од постојеће две криве b) или c).

3.  $U_1 = 1,05U_{1n}$ ,  $f = 1,2f_n$

$$P_h = k_h f B_m^n \sim \frac{U^n}{f^{n-1}} \Rightarrow P_h = \frac{1,05^{1,7}}{1,2^{0,7}} P_{hn} = 0,956 P_{hn} \Rightarrow P_h \downarrow 4,4\%$$

$$P_v = k_v f^2 B_m^2 \sim U^2 \Rightarrow P_v = 1,05^2 P_{vn} = 1,102 P_{vn} \Rightarrow P_v \uparrow 10,2\%$$

Губици услед вихорних струја не зависе од таласног облика напона јер сваки хармоник ствара своју компоненту губитака које се могу суперпонирати. Губици услед хистерезиса зависе изразито од таласног облика јер он одређује динамику и облик описивања хистерезисне петље која дефинише укупне губитке услед хистерезиса.

4. ПХ:

$$R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{U_{1n}^2}{P_0} = 78k\Omega \Rightarrow I_a = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}R_a} = 74mA, \quad n = \frac{U_{1nf}}{U_{02f}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,42} = 13,75$$

$$I_{0f} = \frac{I_0}{n\sqrt{3}} = 554,4mA \Rightarrow I'_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = 549,4mA \Rightarrow X_\mu = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}I_\mu} = 10,5k\Omega$$

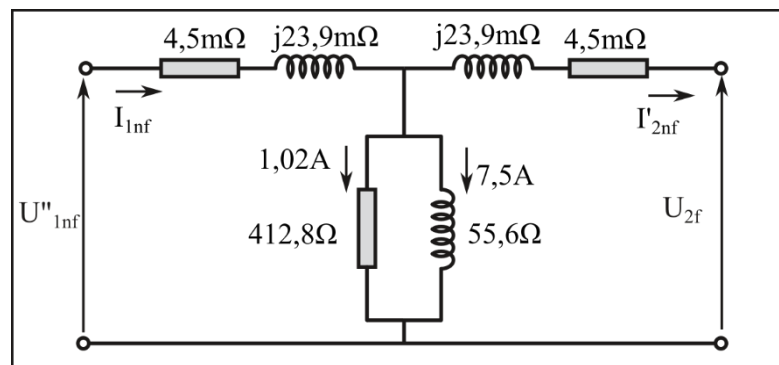
$$I''_{0f} = 7,621A, I''_{af} = 1,0172A, I''_{\mu f} = 7,552A, R''_a = R_a/n^2 = 412,8\Omega, X''_\mu = X_\mu/n^2 = 55,6\Omega$$

КС:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}} = 36,4A \Rightarrow R_k = \frac{P_k}{3I_{1n}^2} = 1,72\Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,86\Omega$$

$$Z_k = \frac{U_{kf}}{I_{1n}} = \frac{U_k}{\sqrt{3}I_{1n}} = 9,2\Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 9,04\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 4,52\Omega$$

$$R''_k = R_k/n^2 = 9,1m\Omega, R''_1 = R_2 = R''_k/2 = 4,5m\Omega, X''_k = X_k/n^2 = 47,8m\Omega, X''_{\sigma 1} = X_{\sigma 2} = X''_k/2 = 23,9m\Omega$$



5. Губици проузроковани протицањем струје кроз намотаје се јављају у намотајима, конструкционим деловима трансформатора унутар суда и у зидовима суда. Компонента губитака у намотајима се одређује као збир губитака који би се имали при протицању једносмерне струје једнаке ефективної вредности стварне наизменичне струје и вредности додатних губитака који су изазвани неравномерном расподелом струје поп пресеку проводника. Губици у конструкционим деловима трансформатора унутар суда и у суду се одређују из огледа кратког споја, као разлика измерених губитака и израчунатих губитака у намотајима.

6.  $u_k = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100 = 5,8\%, \quad u_r = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 = 1,08\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 5,698\%$

$$\cos \varphi_m = 0,82 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_m = 0,698$$

$$\Delta u = a = \beta(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi) = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = -\frac{u_r}{u_x} = \frac{Q_m + Q_c}{P_m} \Rightarrow Q_c = -\frac{P}{\eta_n} \left( \frac{u_r}{u_x} + \operatorname{tg} \varphi_m \right) = -366kVar$$

$$C = \frac{Q_c}{3U_{02f}^2 \omega} = 6,6mF$$

7. Предавања, поглавље 5Б., страна 9, слика 4Б.5.

$$8. \beta_m = \sqrt{\frac{P_{0n}}{P_{kn}}} = 0,43, \quad \cos \varphi = 1, \quad \eta = \frac{\beta_m S_n}{\beta_m S_n + 2P_{0n}} \cdot 100 = 99,07\%$$

$$\left. \begin{array}{l} a = \beta_m u_r = 0,47 \\ b = \beta_m u_x = 2,47 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta u = a + \frac{b^2}{200} = 0,5\% \Rightarrow U_2 = U_{02} \left( 1 - \frac{\Delta u}{100} \right) = 417,9V$$

$$9. \theta_{2h} = \theta_{mn} e^{-t/T} = 33,4K, \quad \theta'_m = \frac{P_{on} + 1,3^2 P_{kn}}{P_{on} + P_{kn}} \cdot \theta_{mn} = 102,8K$$

$$\theta_{xh} = \theta_{mn} = \theta_{2h} e^{-t_x/T} + \theta'_m (1 - e^{-t_x/T}) \Rightarrow t_x = -T \ln \left( \frac{\theta_{mn} - \theta'_m}{\theta_{2h} - \theta'_m} \right) = 1,82h$$

10. Предавања, поглавље 5., страна 16, слика 5.Б. Разлика температуре намотаја и уља, за коју се по упрошћеном моделу сматра, да се не мења по висини, једнака је збиру пада температуре на слоју чврсте изолације проводника и пада температуре услед преласка топлоте струјањем са спољашње површи изолације на уље.