

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- колоквијум - децембар 2022 -

Београд, 12.12.2022.

Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 1200 \text{ kVA}$ ,  $U_{1n} / U_{02} = 35 / 0,42 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , спрега  $Yzn5$ , испитан је у огледима празног хода и кратког споја, при чему је добијено:  $P_0 = 2300 \text{ W}$ ,  $U_0 = 420 \text{ V}$ ,  $I_0 = 33 \text{ A}$  и  $P_k = 7690 \text{ W}$ ,  $U_k = 1750 \text{ V}$ ,  $I_k = 15 \text{ A}$ , респективно. Максимална индукција у језгру износи  $B_m = 1,65 \text{ T}$ .

1. Нацртати шему веза намотаја и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја. (Т)

2. Израчунати приближно број навојака примара задатог трансформатора ако се зна да је специфична реактивна снага лимова магнетског кола  $2,6 \text{ VAr/kg}$ , маса магнетског кола  $1200 \text{ kg}$  и да се додатна реактивна снага због ваздушних процепа на преклопима лимова може приближно представити формулом  $440E_1B_m$ , где је  $E_1$  индукована ЕМС по једном навојку (З).

3. Нацртати дијаграм који садржи четири магнетне карактеристике  $B(H)$ : једни статичку криву магнетнења и три динамичке криве магнетнења, за следеће случајеве: максимална индукција  $B_{m1}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , максимална индукција  $B_{m1}$ ,  $f > 50 \text{ Hz}$ , максимална индукција  $B_{m2}$  ( $B_{m2} > B_{m1}$ ),  $f = 50 \text{ Hz}$ . (Т)

4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. Израчунати номиналну процентуалну вредност напона кратког споја. (З)

5. Написати израз за степен искоришћења снаге при оптерећењу трансформатора  $\beta$ . Из термичких прорачуна је позната средња температура бакарних намотаја  $\vartheta$  при оптерећењу  $\beta$ , односно функционална зависност  $\vartheta(\beta)$ . Познате су вредности номиналних губитака у намотајима  $P_{k75}$  (при номиналној струји и средњој температури  $75^\circ\text{C}$ ) и однос Цулових и укупних губитака  $k_J$  у намотајима при  $75^\circ\text{C}$ . Сматрати да губици у магнетном колу не зависе од  $\beta$  и да су једнаки номиналним губицима у празном ходу  $P_{on}$ . За губитке у конструкционим деловима трансформатора усвојити апроксимацију да не зависе од температуре и да су пропорционални квадрату  $\beta$ ; позната је њихова вредност при номиналној струји  $P_{konstn}$ . (Т)

6. Израчунати привидну снагу и фактор снаге оптерећења које по прикључењу на секундарне крајеве трансформатора неће довести до пада напона на његовим крајевима и при чему ће степен искоришћења снаге трансформатора бити  $98,86 \%$ . Користити упрошћену формулу за пад напона. (З)

7. Навести по две техничке карактеристике на које утиче расподела расутог флукса: а) Које су битне за електроенергетску мрежу, б) Које се тичу сила које делују на проводнике намотаја, в) Које се тичу губитака. (Т)

8. Написати и објаснити изразе по којима се реактанса расипања одређује: а) преко енергије магнетног поља, б) преко укупног магнетног флукса. При одговору на питање није потребно писати изразе за расподелу магнетног поља, већ се може сматрати да је она позната. (Т)

**Колоквијум траје 2h. Сви задаци носе по 15 поена. Дозвољено је коришћење само једне свеске за рад и концепт. Прецртати што није за преглед.**

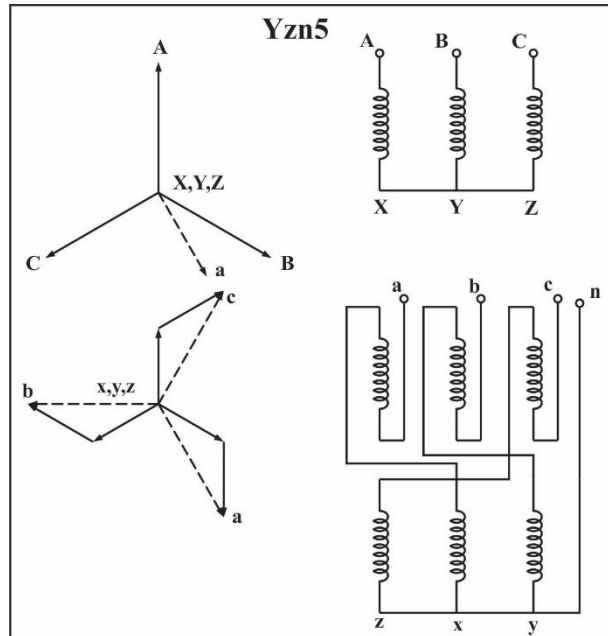
Проф. др Зоран Радаковић

# РЕШЕЊА

- колоквијум - децембар 2022 -

Београд, 12.12.2022.

1.



2. Потребно је прво израчунати реактивну снагу коју трансформатор узима из мреже у празном ходу:

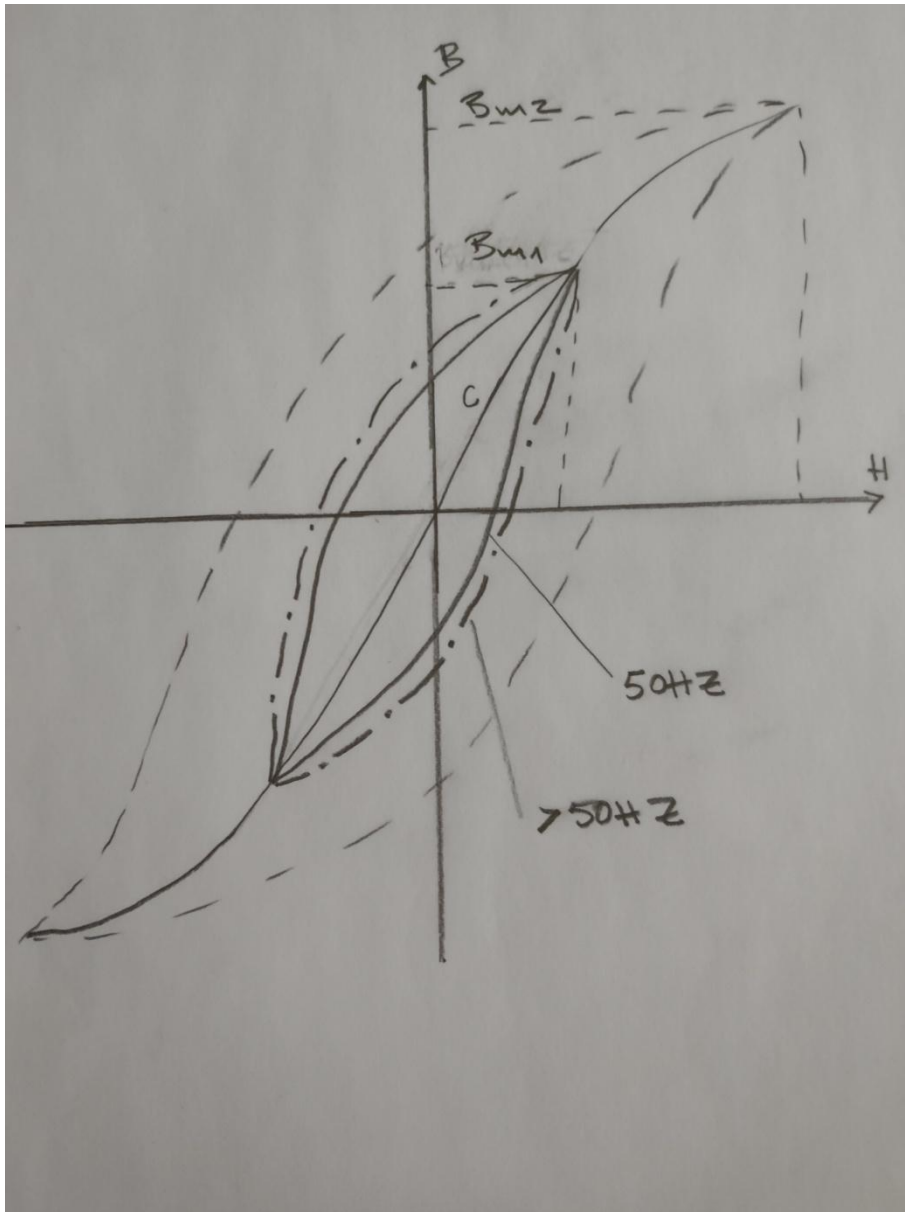
$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{(\sqrt{3}U_0 I_0)^2 - P_0^2} = 23896 \text{ VAr}$$

Сада се може, коришћењем формуле за реактивну снагу, добити индукована ЕМС по навојку:

$$E_1 = \frac{Q_0 - m_{Fe} q_{Fe}}{440 B_m} = \frac{23896 - 1200 \cdot 2,6}{440 \cdot 1,65} = 28,6 \text{ V}$$

Одакле се може одредити приближна вредност броја навојака примара:

$$N_1 = \frac{U_{1nf}}{E_1} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 28,6} \approx 707 \text{ V}$$



3.

4. ПХ:

$$R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{U_{1nf}^2}{P_0} = 532,6 \text{ k}\Omega \Rightarrow I'_a = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 532,6 \cdot 10^3} = 37,9 \text{ mA}$$

$$I'_0 = I_0 \frac{U_{02f}}{U_{1nf}} = 33 \cdot \frac{0,42}{35} = 396 \text{ mA} \Rightarrow I'_\mu = \sqrt{I_0'^2 - I_a'^2} = 394,2 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow X_\mu = \frac{U_{1nf}}{I'_\mu} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 394,2 \cdot 10^{-3}} = 51,3 \text{ k}\Omega$$

КС:

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 35} = 19,8 \text{ A} \Rightarrow I_k < I_{1nf}$$

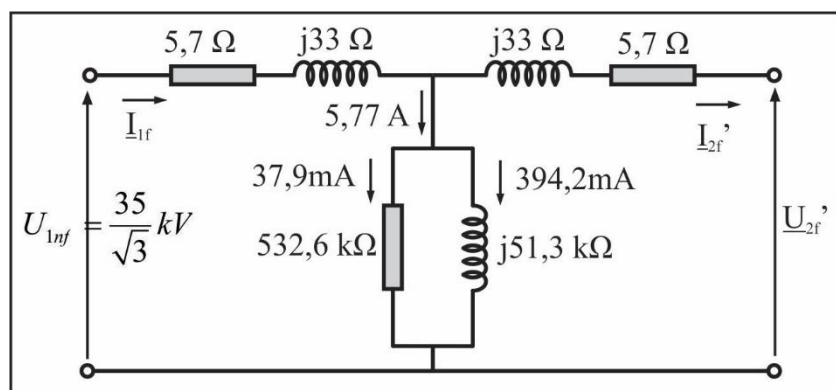
$$U_{kn} = U_k \frac{I_{1nf}}{I_k} = 1750 \cdot \frac{19,8}{15} = 2310 \text{ V}, P_{kn} = P_k \left( \frac{I_{1nf}}{I_k} \right)^2 = 7690 \cdot \left( \frac{19,8}{15} \right)^2 \approx 13,4 \text{ kW}$$

$$u_{kn\%} = \frac{U_{kn}}{U_{1n}} \cdot 100 = \frac{2310}{35000} \cdot 100 = 6,6 \%$$

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3I_{1nf}^2} = \frac{13,4 \cdot 10^3}{3 \cdot 19,8^2} = 11,4 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2' = \frac{R_k}{2} = 5,7 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_{knf}}{I_{1nf}} = \frac{2310}{\sqrt{3} \cdot 19,8} = 67,4 \Omega$$

$$\Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 66,4 \Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2}' = \frac{X_k}{2} = 33,2 \Omega$$



5.

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

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

6. Прво може да се израчуна фактор снаге оптерећења при коме нема пада напона на секундару трансформатора:

$$\Delta u \approx a = u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi = 0 \Rightarrow \tan \varphi = -\frac{1}{\tan \varphi_k} = -\frac{u_{rn}}{u_{xn}}$$

$$u_{rn} = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{13,4}{1200} \cdot 100 = 1,12 \% \Rightarrow u_{xn} = \sqrt{u_{kn}^2 - u_{rn}^2} = 6,5 \%$$

$$\tan \varphi = -\frac{1,12}{6,5} = -0,172 \Rightarrow \cos \varphi = 0,986 \text{ кап.}$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + \beta^2 P_{kn} + P_{on}} \Rightarrow \beta_{1/2} = \begin{cases} 0,8 \\ 0,21 \end{cases}$$

Оптерећења која задовољавају задате услове су:

$$S_{m1} = 0,8 \cdot 1200 = 960 \text{ kVA}, \quad \cos \varphi = 0,986 \text{ кап.}$$

$$S_{m2} = 0,21 \cdot 1200 = 252 \text{ kVA}, \quad \cos \varphi = 0,986 \text{ кап.}$$

7. а) Струје кратког споја и падови напона

б) Механичка напрезања при кратком споју и вибрације (и последишна бука) при нормалном раду

в) Додатни губици у намотајима услед потискивања струје (може се рећи и због вихорниј струја) и у конструкционим деловима услед затварања расутог флуksа

8.

$$X_k = \frac{\omega W_m}{I^2}$$
$$W_m = \frac{1}{2} \int_V B_m H_m dV = \frac{1}{2 \mu_0} \int_V B_m^2 dV$$

Магнетна индукција под интегралом се мења по запремини.

$$X_k = \frac{\omega \Psi_m}{I_m}$$
$$\Psi_m = \sum_{i=1}^N \int_{S_i} B_{mi} dS$$

$N$  представља број навојака. Флуks који се затвара кроз сваки од навојака се израчунава као површински интеграл аксијалне компоненте магнетне индукције  $B_{mi}$  на површи (у случају кружних проводника ова површ је круг) која пролази кроз средиште навојка.