

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- колоквијум - децембар 2020 -

Београд, 12.12.2020.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 500 \text{ kVA}$ ,  $U_1/U_2 = 22/0,42 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , спрега Ду3, има термичку временску константу као хомогено тело 2h. Филдов сачинилац на  $75^\circ\text{C}$  који је исти за оба намотаја износи 1,016. Штајнмицов коефицијент је 1,8 и  $P_{Hn}/P_{Vn} = 3$ . При испитивању трансформатора у огледима празног хода и кратког споја добијени су следећи подаци:

**ПХ:**  $U_0 = U_{02}$ ,  $I_0 = 10,9 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi_0 = 0,14$

**КС:**  $U_{kn} = 1100 \text{ V}$ ,  $I_{kn} = 13,12 \text{ A}$ ,  $P_{kn} = 5500 \text{ W}$

1. Нацртати шему веза намотаја и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја.
2. Колико износе губици у гвожђу ако се на примар трансформатора уместо простопериодичног синусног напона прикључи напон чији је таласни облик дат следећом једначином:

$$u(t) = \sqrt{2}U_{1n} \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{2}U_{1n}}{3} \sin(5\omega t)$$

3. Колико износи Филдов сачинилац на  $25^\circ\text{C}$  при фреквенцији напајања од  $60\text{Hz}$ ?
4. На које величине од комерцијалног значаја у фази производње (кроз количину материјала) и током експлоатације утиче: а) начин слагања лимова магнетног кола, б) испуна простора магнетним лимом унутар намотаја са кружним навојцима? Одговор образложити преко успостављања везе између а) и б) и величина од комерцијалног значаја.
5. Израчунати све параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни. Нацртати шему са уписаним бројним вредностима параметара и свим електричним величинама.
6. На секундар трансформатора прикључено је трофазно оптерећење при коме се има минималан напон на секундарним крајевима, а истовремено и максималан степен искоришћења снаге трансформатора. Одредити комплексну снагу овог оптерећења и напон секундара при том оптерећењу.
7. Израчунати степен искоришћења снаге трансформатора при преоптерећењу од  $20 \%$  и  $\cos \varphi = 0,8$  капацитивно.
8. Дефинисати индуктивности расипања полазећи од: а) флуксних обухвата намотаја примара и секундара и б) укупне магнетне енергије  $W_w$  у простору ван магнетног кола (написати израз за  $W_w$  полазећи од тога да је позната расподела магнетног поља).
9. Колико износи двочасовно максимално дозвољено оптерећење задатог трансформатора при коме пораст температуре горњег уља достиже своју номиналну вредност? Сматрати да је трансформатор претходно имао температуру амбијента и да се температура уља може одредити по линеарном термичком моделу са једном временском константом.
10. Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре по висини намотаја, са приказаном температуром најтоплије тачке.

**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

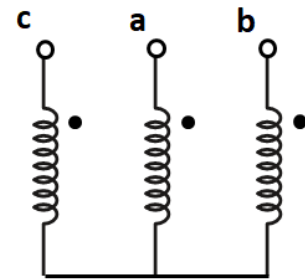
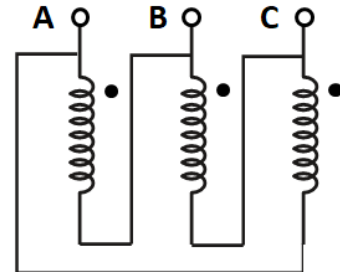
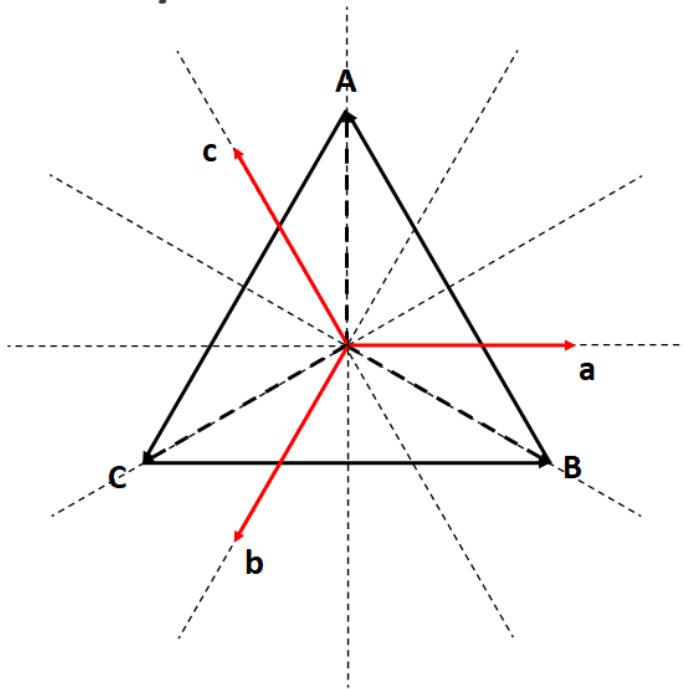
# РЕШЕЊА

- колоквијум - децембар 2020 -

Београд, 12.12.2020.

1.

Dy3



2.

$$\phi(t) = -\frac{1}{\omega N_1} \left[ \sqrt{2} U_{1n} \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{2} U_{1n}}{15} \cos(5\omega t) \right]$$

$$\Phi_{m1} = \frac{\sqrt{2} U_{1n}}{\omega N_1}, \quad \Phi_{m5} = \frac{\Phi_{m1}}{15}$$

$$P_{Fen} = P_{0n} = S_0 \cos \varphi_0 = \sqrt{3} U_0 I_0 \cos \varphi_0 = \sqrt{3} \cdot 420 \cdot 10,9 \cdot 0,14 = 1110W$$

$$P_{Fen} = P_{hn} + P_{vn}; \quad P_{hn} / P_{vn} = 3; \quad P_{vn} = 0,25 \cdot 1110 = 277,5W$$

$$P_{hn} = 0,75 \cdot 1110 = 832,5W$$

$$\text{Због фазног става хармоника} \Rightarrow B_m' = B_{m1} + B_{m5}$$

$$\frac{P_h'}{P_h} = \left( \frac{B_m'}{B_m} \right)^{1,8} = \left( \frac{B_{m1} + B_{m5}}{B_{m1}} \right)^{1,8} = \left( \frac{16}{15} \right)^{1,8} = 1,12$$

$$\frac{P_v'}{P_v} = \left( \frac{U_{1eff}'}{U_{1eff}} \right)^2 = \left( \frac{\sqrt{U_{1n}^2 + U_{1n}^2 / 15}}{U_{1n}} \right)^2 = \frac{16}{15} = 1,07$$

$$P_{Fe}' = P_h' + P_v' = 1,12 \cdot 832,5 + 1,07 \cdot 277,5 = 1229,3W$$

3.

$$P_{Cun} = \frac{P_{kn}}{k_{Fn}} = \frac{5500}{1,016} = 5413,4W \Rightarrow P_{dn} = P_{kn} - P_{Cun} = 86,6W$$

$$P_d^{25} = \frac{235+75}{235+25} \cdot P_{dn} = 103,25W \quad P_{Cu}^{25} = \frac{235+25}{235+75} \cdot P_{Cun} = 4540,3W$$

$$k_F^{25} = 1 + \frac{P_d^{25}}{P_{Cu}^{25}} = 1,0227, \quad k_F = 1 + \Delta k_F = 1 + \left( \frac{\mu_0 \pi f}{\rho} \right)^2 \frac{m^2 q^4}{9} \Rightarrow \Delta k_F \sim f^2$$

$$\frac{\Delta k_{F,60Hz}^{25}}{\Delta k_{F,50Hz}^{25}} = \left( \frac{60}{50} \right)^2 \Rightarrow \Delta k_{F,60Hz}^{25} = 1,44 \cdot 0,0227 = 0,0327 \Rightarrow k_{F,60Hz}^{25} = 1,0327$$

4. Начин слагања лимова утиче на укупну вредност магнетног отпора, а тиме и на струју магнећења и реактивну снагу потребну за магнећење магнетног кола. Степен испуне простора магнетним лимом утиче на унутрашњи пречник намотаја (са повећањем степена испуне смањује се унутрашњи пречник намотаја). Смањење пречника значи смањење обима навојака, што значи и смањење потребна количина бакра и цене израде трансформатора. Такође, смањује се и вредност отпора и снаге губитака.

5. ПХ:

$$U_0 = U_{02} = 420V, I_0 = I_{0f} = 10,9A, \cos \varphi_0 = 0,14 \Rightarrow \sin \varphi_0 = 0,99$$

$$I_{a2f} = I_{02f} \cdot \cos \varphi_0 = 10,9 \cdot 0,14 = 1,526A \Rightarrow R_a'' = \frac{U_{02f}}{I_{a2f}} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 1,526} = 158,9\Omega$$

$$I_{\mu 2f} = I_{02f} \cdot \sin \varphi_0 = 10,9 \cdot 0,99 = 10,791A \Rightarrow X_{\mu}'' = \frac{U_{02f}}{I_{\mu 2f}} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 10,791} = 22,5\Omega$$

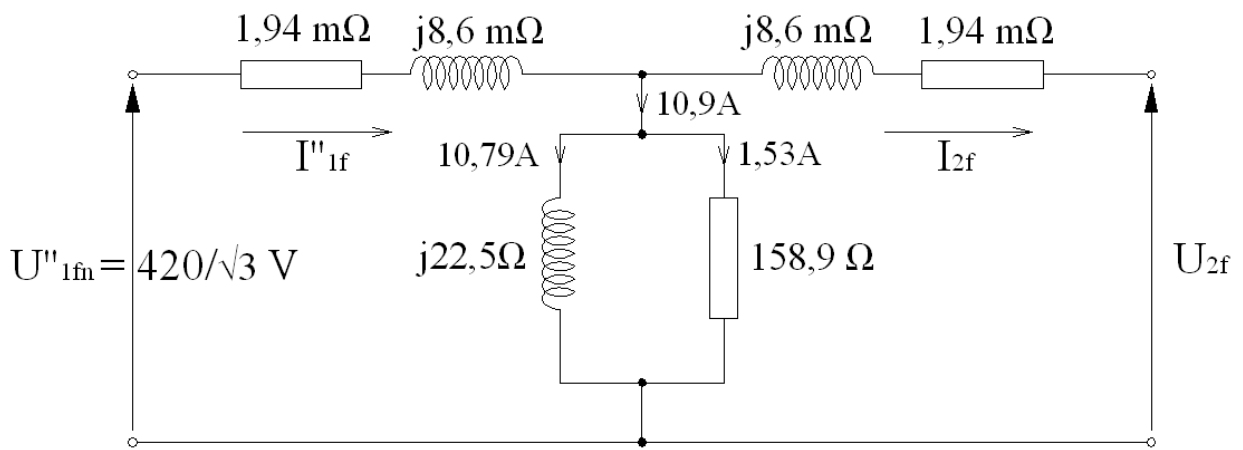
КС:

$$U_{kn} = 1100V, I_{1n} = 13,12A, P_{kn} = 5500W$$

$$I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{02}} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 0,42} = 687,3A, \quad n = \frac{22 \cdot \sqrt{3}}{0,42} = 90,7$$

$$U_{knf}'' = \frac{U_{knf}}{n} = 12,13V \Rightarrow R_k'' = \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_{2nf}^2} = \frac{5500}{3 \cdot 687,3^2} = 3,88m\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_k}{2} = 1,94m\Omega$$

$$Z_k'' = \frac{U_{knf}''}{I_{2nf}} = \frac{12,13}{687,3} = 17,65m\Omega \Rightarrow X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} \Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 8,6m\Omega$$



6.

$$\Delta u = \Delta u_{\max} = \beta \cdot u_k, \cos \varphi = \cos \varphi_k = \frac{u_r}{u_k}, \beta = \beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_{0n}}{P_{kn}}} = \sqrt{\frac{1110}{5500}} = 0,45$$

$$u_k = \frac{U_{kn}}{U_{1n}} \cdot 100 = 5\%, \quad u_m = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{5500}{500 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,1\%$$

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 4,88\%, \quad \cos \varphi = \frac{1,1}{5} = 0,22 \Rightarrow \sin \varphi = 0,975$$

$$\underline{S} = \beta \cdot S_n (\cos \varphi + j \sin \varphi) = 0,45 \cdot 500 \cdot (0,22 + j0,975) = (49,5 + j219,4) \text{ kVA}$$

$$\Delta u = \beta_{\max} \cdot u_k = 2,25\% \Rightarrow U_2 = (1 - 2,25/100) \cdot 420 = 410,6 \text{ V}$$

7.

$$\beta = 1,2, \quad \cos \varphi = 0,8 \text{ kap.}$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi \cdot 100}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi \cdot 100 + \beta^2 P_{kn} + P_{Fen}} = 98,15\%$$

8. а) Предавања, одељак 3.3., од последњег пасуса на страни 4 до краја претпоследњег пасуса на страни 5.

б) Предавања, одељак 4А. 4. 2., стране 10 и 11, изрази (4А.8), (4А.10), (4А.14).

9.

$$\theta(2h) = \theta_{mn} = \theta_m \left( 1 - e^{-\frac{2}{\theta_m}} \right) \Rightarrow \frac{\theta_m}{\theta_{mn}} = \frac{1}{\left( 1 - e^{-\frac{2}{\theta_m}} \right)} = 1,58 \Rightarrow \theta_m = 102,8 \text{ K}$$

$$\frac{\theta_m}{\theta_{mn}} = \frac{P_{Fen} + \beta^2 P_{kn}}{P_{Fen} + P_{kn}} \Rightarrow \beta = 1,3 \Rightarrow S = 1,3 \cdot 500 = 650 \text{ kVA}$$

10. Предавања, поглавље 5., страна 16, слика 5.Б