

## ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- јануар 2022 -

Београд, 22.01.2022.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има следеће номиналне податке:  $S_n = 100 \text{ kVA}$ ,  $U_1/U_{20} = 10/0,42 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , спрега  $Yzn11$ ,  $P_{kn75} = 1900 \text{ W}$ ,  $u_{kn} = 6 \%$ ,  $P_0 = 310 \text{ W}$ ,  $j_0 = 3,15 \%$ .

1. Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона овог трансформатора и означити све крајеве намотаја (почетке и завршетке). Показати графички и табеларно могућност паралелног рада са трансформатором са спрегом  $Dyn7$ . **(T12)**
2. Одредити додатне губитке на референтној температури  $75^\circ\text{C}$  и Филдов сачинилац, сматрајући да је исти за оба намотаја, и занемарујући губитке у конструкционим деловима и суду трансформатора, ако су средње вредности отпорности мерене једносмерном струјом између прикључних крајева примара и секундара на  $20^\circ\text{C}$ :  $R_1 = 13,9 \Omega$  и  $R_2 = 0,0278 \Omega$ . **(310)**
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме на НН страни и нацртати шему са унетим свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. **(312)**
4. Одредити фактор снаге номинално оптерећеног трансформатора при коме се има максималан пад напона на секундару трансформатора. Колики треба да буде напон примара да би се компензовао овај пад напона? Колико износи степен искоришћења снаге трансформатора у том случају? **(314)**
5. Дати теоријско објашњење магнетног отпора у магнетном колу трансформатора и објаснити како се одређује реактивна компонента струје магнећења. При објашњењу посматрати празан ход трансформатора прикљученог на номинални напон. **(T12)**
6. Три једнофазна трансформатора за  $U_1/U_2 = 550 / 380 \text{ V}$ , номиналних снага  $15 \text{ kVA}$ ,  $20 \text{ kVA}$  и  $18 \text{ kVA}$  и напона кратких спојева  $4,2 \%$ ,  $4,8 \%$  и  $5,2 \%$  респективно, раде паралелно и оптерећени су са укупном снагом од  $50 \text{ kW}$  при  $\cos\phi = 0,8$  инд. Израчунати секундарне струје и процентуалну оптерећеност сваког од три трансформатора. Колико износи максимална дозвољена активна снага уз задати  $\cos\phi$  тако да ни један трансформатор не буде преоптерећен? **(312)**
7. Намотаји задатог трансформатора су превезани тако да формирају аутотрансформатор за напоне  $U_{1a}/U_{02a} = 10,42/10 \text{ kV}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , спрега  $YNy0$ . Нацртати шему и израчунати снагу, напон кратког споја, струје и степен искоришћења снаге добијеног АТР, ако је оптерећен са номиналном снагом при  $\cos\phi = 1$ . Колико пута би била већа тежина обичног трансформатора који треба да замени формиран АТР? **(314)**
8. Из прорачуна магнетног поља добијена је његова расподела (промена вредности аксијалне и радијалне компоненте поља по запремини намотаја). Написати изразе за аксијалну и радијалну компоненти силе која делује на проводник. Навести два типа напрезања која проузрокује аксијална сила и три типа напрезања која проузрокује радијална сила. **(T12)**
9. За један тронамотајни трофазни трансформатор  $110\text{kV}/6\text{kV}/6\text{kV}$ ,  $Ynd5d5$  преко огледа кратког споја су одређене следеће вредности импеданси, сведене на напонски ниво  $110\text{kV}$ : за директни и инверзни редослед  $Z_{VN-NN1} = 41.33 \Omega$ ,  $Z_{VN-NN2} = 41.59 \Omega$ ,  $Z_{NN1-NN2} = 74.12 \Omega$  и за нулти редослед, посматрано са ВН стране  $Z_{0VN-NN1,NN2} = 20.52 \Omega$ . Нацртати заменску шему трансформатора за директни, инверзни и нулти систем. Сматрати да су измерене импедансе чисто реактивне и да је звездиште идеално уземљено (отпорност уземљивача једнака нули). **(312)**
10. Навести на који начин се врши провера напонске издржљивости трансформатора за простопериодичне напоне мрежне учестаности. Којим конструкционим елементима се остварује напонска издржљивост трансформатора. **(T10)**

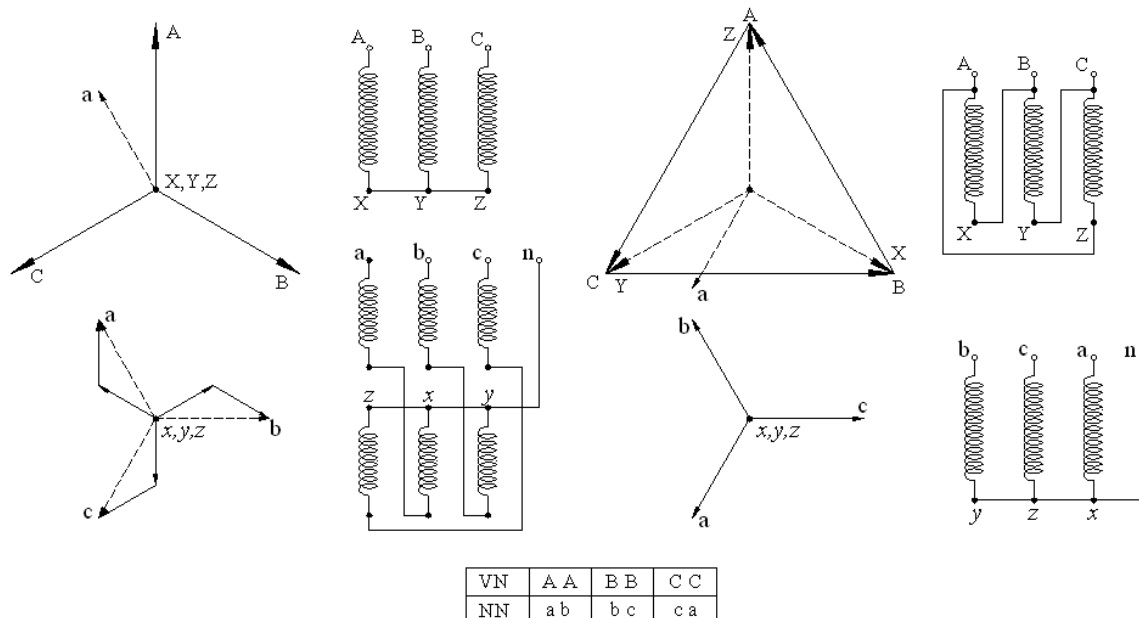
Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 10) траје 90min. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

др Зоран Радаковић  
др Зоран Лазаревић

# РЕШЕЊА

22.01.2022.г.

1.



2.

$$R_{1f} = \frac{R_1}{2} = 6,95 \Omega, \quad R_{2f} = \frac{R_2}{2} = 0,0139 \Omega, \quad I_{1fn} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 5,774 \text{ A}$$

$$P_{Cu}^{20} = 3 \cdot (R_{1f} + n^2 R_{2f}) \cdot I_{1fn}^2 = 3 \cdot \left( 6,95 + \left( \frac{10}{0,42} \right)^2 \cdot 0,0139 \right) \cdot 5,77^2 = 1483 \text{ W}$$

$$P_{Cu}^{75} = \frac{235 + 75}{235 + 20} \cdot 1481,2 = 1803 \text{ W} \Rightarrow P_d^{75} = P_{kn} - P_{Cu}^{75} = 1900 - 1803 = 97 \text{ W}$$

$$k_F = \frac{P_{kn}}{P_{Cu}^{75}} = \frac{P_{Cu}^{75} + P_d^{75}}{P_{Cu}^{75}} = 1 + \frac{P_d^{75}}{P_{Cu}^{75}} = 1 + \Delta k_F = 1 + \frac{97}{1803} = 1 + 0,054 = 1,054$$

3.

$$I_{2fn} = n \cdot I_{1fn} = \frac{10}{0,42} \cdot 5,77 = 137,4 \text{ A}, \quad I_{02} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2fn} = \frac{3,15}{100} \cdot 137,4 = 4,33 \text{ A}$$

$$R_{a2} = \frac{U_{2f}^2}{P_0/3} = \frac{3 \cdot (0,42 \cdot 10^3)^2}{3 \cdot 310} = 569 \Omega, \quad I_{a2} = \frac{U_{2f}}{R_{a2}} = \frac{0,42 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 569} = 0,426 \text{ A}$$

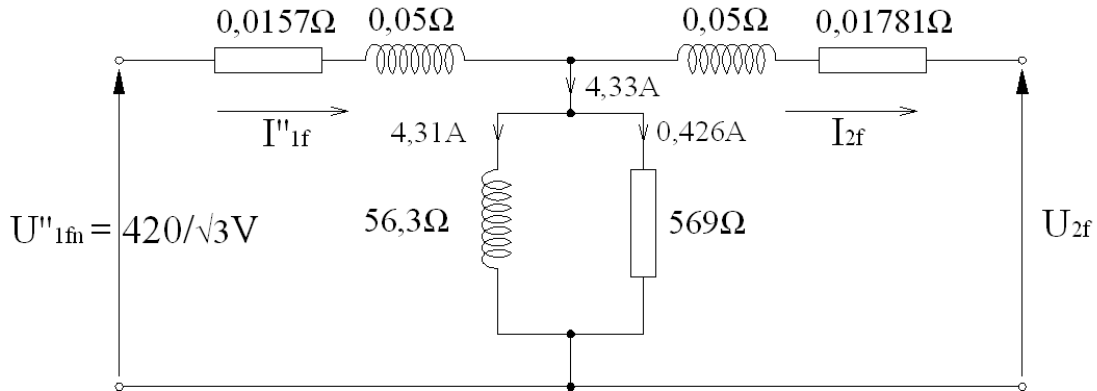
$$I_{\mu 2} = \sqrt{I_{02}^2 - I_{a2}^2} = \sqrt{4,33^2 - 0,426^2} = 4,309 \text{ A} \Rightarrow X_{\mu 2} = \frac{U_{2f}}{I_{\mu 2}} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 4,309} = 56,3 \Omega$$

$$R_{1f}^{75} = R_{1f} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 8,449 \Omega, \quad R_{2f}^{75} = R_{2f} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 0,0169 \Omega$$

$$R_{1f\sim}'' = \frac{R_{1f}^{75}}{n^2} \cdot k_F = \frac{8,449}{(10/0,42)^2} \cdot 1,054 = 0,0157 \Omega, \quad R_{2f\sim}'' = R_{2f}^{75} \cdot k_F = 0,0169 \cdot 1,054 = 0,01781 \Omega$$

$$R_k'' = R_{1f}'' + R_{2f} = 0,0157 + 0,01781 = 0,03351 \Omega, \quad Z_k'' = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{2f0}}{I_{2fn}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 137,4} = 0,106 \Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = \sqrt{0,106^2 - 0,03351^2} = 0,1 \Omega \Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2}'' = \frac{X_k''}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \Omega$$



4.

$$\Delta u \approx a = \beta(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi), \quad \beta = 1, \quad \frac{d\Delta u}{d\varphi} = \frac{d(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi)}{d\varphi} = 0$$

$$-u_r \sin \varphi + u_x \cos \varphi = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \frac{u_x}{u_r}$$

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{1900}{100 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,9\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{6^2 - 1,9^2} = 5,69\%$$

$$\cos \varphi = \cos \arctg \left( \frac{u_x}{u_r} \right) = 0,32, \quad \Delta u = u_r \cdot \frac{u_r}{u_k} + u_x \cdot \frac{u_x}{u_k} = \frac{u_r^2 + u_x^2}{u_k} = u_k = 6\%$$

$$U_1' = \frac{U_1}{\left(1 - \frac{\Delta u}{100}\right)} = \frac{10 \cdot 10^3}{(1 - 0,06)} = 10638 \text{ V} \Rightarrow \alpha = \frac{U_1'}{U_1} = 1,0638$$

$$\eta_{\%} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot S_n \cos \varphi}{\alpha \cdot \beta \cdot S_n \cos \varphi + \beta^2 \cdot P_{kn} + \alpha^2 \cdot P_{0n}} \cdot 100 = \frac{1,0638 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 0,32}{1,0638 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 0,32 + 1,9 + 1,0638^2 \cdot 0,31} \cdot 100 = 93,8\%$$

5.

Предавања, Поглавље 2, одељак 2.2.1. Пасус испред, израз (2.30) и пасус иза изрази.

6.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{50 \cdot 10^3}{0,8} = 62,5 \text{ kVA}, \quad S_i = \frac{S}{\frac{u_{ki}}{S_{ni}} \sum_i \left( \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \right)}$$

$$\sum_i \left( \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \right) = \frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} + \frac{S_{n3}}{u_{k3}} = \frac{15}{4,2} + \frac{20}{4,8} + \frac{18}{5,2} = 11,2$$

$$S_1 = \frac{62,5}{\frac{4,2}{15} \cdot 11,2} = 19,9 \text{ kVA} \Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{U_1} = \frac{19,9 \cdot 10^3}{380} = 52,4 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \underline{I}_1 = I_1 \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) = (41,92 - j31,44) \text{ A}, \quad \frac{S_1}{S_{n1}} = \frac{19,9}{15} = 1,327 \Rightarrow 32,7\% \text{ npeonm}$$

$$S_2 = \frac{62,5}{\frac{4,8}{20} \cdot 11,2} = 23,3 \text{ kVA} \Rightarrow I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{23,3 \cdot 10^3}{380} = 61,3 \text{ A}$$

$$\Rightarrow \underline{I}_2 = I_2 \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) = (49,04 - j36,78) \text{ A}, \quad \frac{S_2}{S_{n2}} = \frac{23,3}{20} = 1,165 \Rightarrow 16,5\% \text{ npeonm}$$

$$S_3 = \frac{62,5}{\frac{5,2}{18} \cdot 11,2} = 19,3 \text{ kVA} \Rightarrow I_3 = \frac{S_3}{U_3} = \frac{19,3 \cdot 10^3}{380} = 50,8 \text{ A},$$

$$\underline{I}_3 = I_3 \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) = (40,64 - j30,48) \text{ A}, \quad \frac{S_3}{S_{n3}} = \frac{19,3}{18} = 1,072 \Rightarrow 7,2\% \text{ npeonm}$$

$$S_1 = S_{n1} \Rightarrow S_{\max} = S_{n1} \cdot \frac{u_{k1}}{S_{n1}} \sum_i \left( \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \right) = 4,2 \cdot 11,2 = 47,04 \text{ kVA} \Rightarrow P_{\max} = S_{\max} \cdot \cos \varphi = 37,6 \text{ kW}$$

7.

$$U_{1a} / U_{02a} = 10,42 / 10 \text{ kV}$$

$$I_{a1} = I_{2fn} = 137,4 \text{ A}$$

$$I_{a2} = I_{1fn} + I_{2fn} = 5,77 + 137,4 = 143,17 \text{ A}$$

$$I_z = I_{a2} - I_{a1} = I_{1fn} = 5,77 \text{ A}$$

$$S_{na} = \sqrt{3} \cdot U_{a1} \cdot I_{a1} = \sqrt{3} \cdot 10,42 \cdot 10^3 \cdot 137,4 = 2480 \text{ kVA}$$

$$u_{ka} = u_k \cdot \frac{S_n}{S_{na}} = 6 \cdot \frac{100}{2480} = 0,24\%$$

$$\eta_a = \frac{S_{na} \cos \varphi}{S_n \cos \varphi + P_{Fen} + P_{Cun}} = \frac{2480 \cdot 1}{2480 \cdot 1 + 0,31 + 1,9} = 0,9991$$

$$\eta_{a\%} = 99,91\%$$

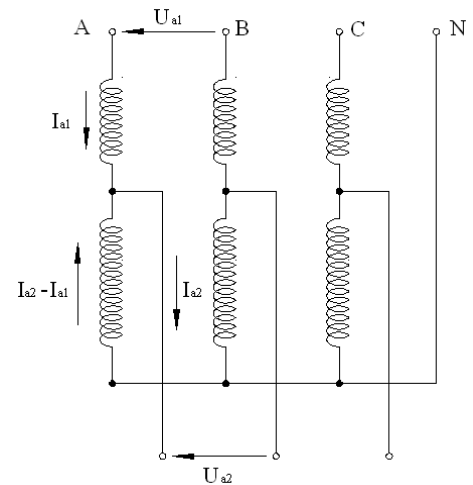
$$G \sim l^3, \quad S \sim l^4 \Rightarrow \left( \frac{G_{TR,1431,7 \text{ kVA}}}{G_{ATR,1431,7 \text{ kVA}}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{G_{TR,1431,7 \text{ kVA}}}{G_{TR,100 \text{ kVA}}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{2480}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \Rightarrow \frac{G_{TR,1431,7 \text{ kVA}}}{G_{TR,100 \text{ kVA}}} = (24,8)^{\frac{3}{4}} = 11,1 \text{ пута}$$

8.

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$$

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$



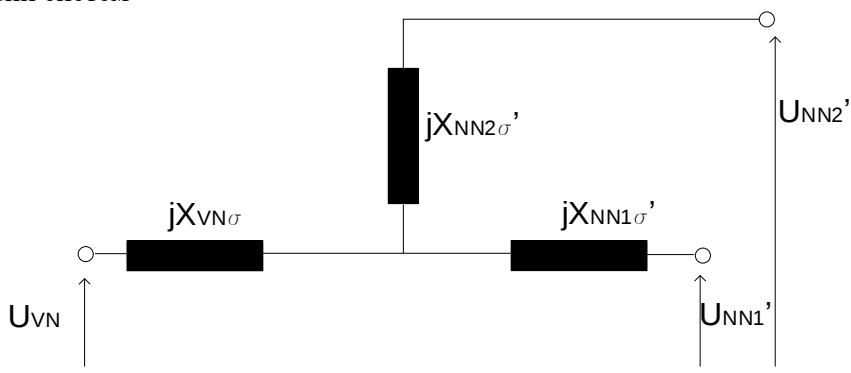
$$F_a = F_z$$

$F_a$ : напрезање проводника на савијање, притисак на одстојнике којима се формирају радијални канали за хлађење

$F_r$ : напрезање проводника на савијање, притисак на одстојнике којима се формирају аксијални канали за хлађење и напрезање проводника на кидање

9.

Директан и инверзни систем

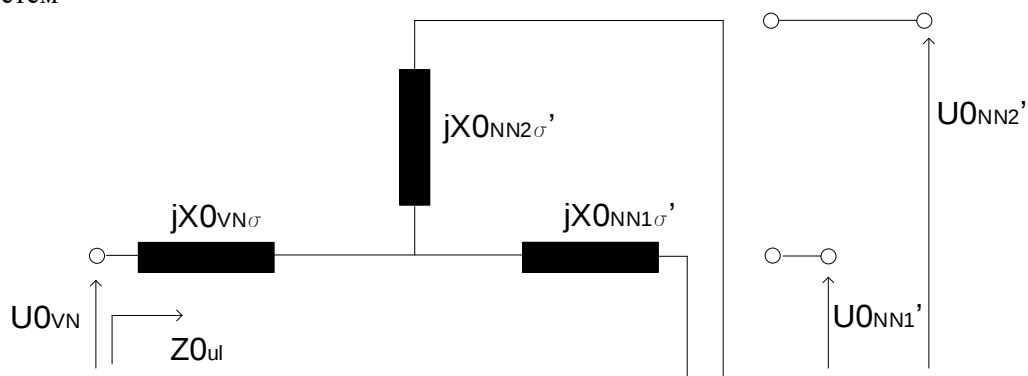


$$X_{VN\sigma} = \frac{1}{2} (X_{VN-NN1} + X_{VN-NN2} - X_{NN1-NN2}') = 4.4 \Omega$$

$$X'_{NN1\sigma} = \frac{1}{2} (X_{VN-NN1} + X_{NN1-NN2}' - X_{VN-NN2}) = 37.19 \Omega$$

$$X'_{NN2\sigma} = \frac{1}{2} (X_{VN-NN2} + X_{NN1-NN2}' - X_{VN-NN1}) = 36.93 \Omega$$

Нулти систем



$$Z_{0ul} = Z_{0VN-NN1,NN2}$$

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