

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)

- септембар 2 2025 -

Београд, 5.10.2025.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има следеће номиналне податке: $S_n = 250 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 10/0,42 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега $Dzn6$, хлађење $ONAN$. У огледу кратког споја који је вршен на 20°C при I_n измерено је: $P_k = 3 \text{ kW}$, $u_k = 4 \%$, а у огледу празног хода при U_n : $P_{0n} = 1,2 \text{ kW}$, $j_0 = 1,5 \%$. Однос губитака услед хистерезиса и вихорних струја је $P_{Hn}/P_{Fn} = 3$, а Штајнмицов коефицијент износи 1,9.

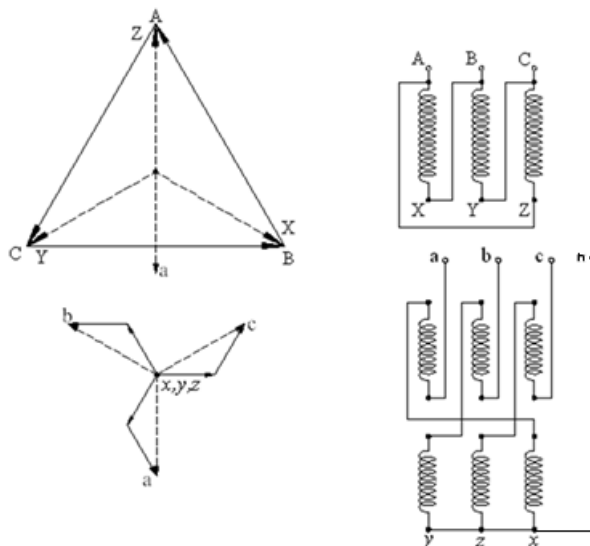
1. Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја (почетке и крајеве). (Т)
2. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни сматрајући да су губици услед циркулационих струја у намотају занемарљиви и нацртати шему са уписаним бројним вредностима параметара и свим електричним величинама. (З)
3. Ако се задати трансформатор прикључи на мрежу напона 11 kV и фреквенције 60 Hz израчунати колики су тада губици у гвозђу. (З)
4. Задати трансформатор напаја трофазни индуктивни потрошач снаге $S = 200 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,8$. Колики је капацитет кондензаторских батерија везаних у звезду које треба прикључити на крајеве трансформатора тако да секундарни напон има номиналну вредност? (З)
5. Нацртати дијаграм промене температуре уља за случај трансформатора са нисконапонским (НН – 1) и високонапонским (ВН – 2) намотајем, за случај да се трансформатор налази у кратком споју, због чега нема протока уља кроз магнетно коло. Вертикална позиција и висина оба намотаја су исте. Дати објашњење за све димензије коришћене на цртежу, за које сматрати да су познате. Приказати и компоненту протока $bu\text{-}pass\text{-}a$ уља (у суду, поред активног дела). Дијаграм нацртати за реалну ситуацију да постоји снага губитака у суду и конструкционим деловима трансформатора која се преноси на $bu\text{-}pass\text{-}a$ уља.
6. Паралелно задатом трансформатору прикључује се трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 300 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 10/0,4 \text{ kV}$, $u_k = 5 \%$, спрега $Dz6$, $\cos\varphi_{k1} = \cos\varphi_{k2}$. Колико износи релативна струја изједначења? Да ли би ова два трансформатора могла да раде трајно у паралели и под којим условима? (З)
7. Колико износе комплексне линијске струје примара задатог трансформатора ако је секундар оптерећен струјама $I_a = (200 + j100) \text{ A}$, $I_b = (300 + j150) \text{ A}$ и $I_c = (200 - j100) \text{ A}$? (З)
8. Скотов трансформатор напона $U_1/U_2 = 20000/2 \times 100 \text{ V}$, напаја се са секундарне стране истим напонима фазно помереним за $\pi/2$, а на примарној трофазној страни је оптерећен трофазним потрошачем снаге $S = 400 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,6$ инд. Израчунати ефективне и комплексне вредности струја секундарна и нацртати шему трансформатора и векторски дијаграм примарних и секундарних струја. (З)
9. Нацртати скицу греде чијом се анализом може проверити напрезања проводника услед савијања услед дејства радијалне силе на проводник. Објаснити димензије на слици, а за дужину греде исказати преко конструктивних параметара трансформатора. (Т)
10. Навести на који начин се у фази пројектовања врши провера напонске издржљивости трансформатора за простопериодичне напоне мрежне учестаности. Којим конструкционим елементима се остварује напонска издржљивост трансформатора? (Т)

Испит траје максимално 3 сата. Други колоквијум (задачи 6 до 10) траје максимално 2 сата. Сваки задатак носи максимално 10 поена.

РЕШЕЊА
- септембар 2 2025 -

Београд, 5.10.2025.

1.



$$2. \quad I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 343,7 A \Rightarrow I_0'' = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{1,5}{100} \cdot 343,7 = 5,15 A$$

$$R_a'' = \frac{U_{2nf}^2}{P_0/3} = \frac{420^2}{1200} = 147 \Omega \Rightarrow I_a'' = \frac{U_{2f}}{R_a''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 147} = 1,65 A$$

$$I_\mu'' = \sqrt{I_0''^2 - I_a''^2} = 4,88 A \Rightarrow X_\mu = \frac{U_{2nf}}{I_\mu''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 4,88} = 49,7 \Omega$$

$$P_{k,n} = P_{k,20^\circ} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 3 \cdot \frac{310}{255} = 3,647 kW$$

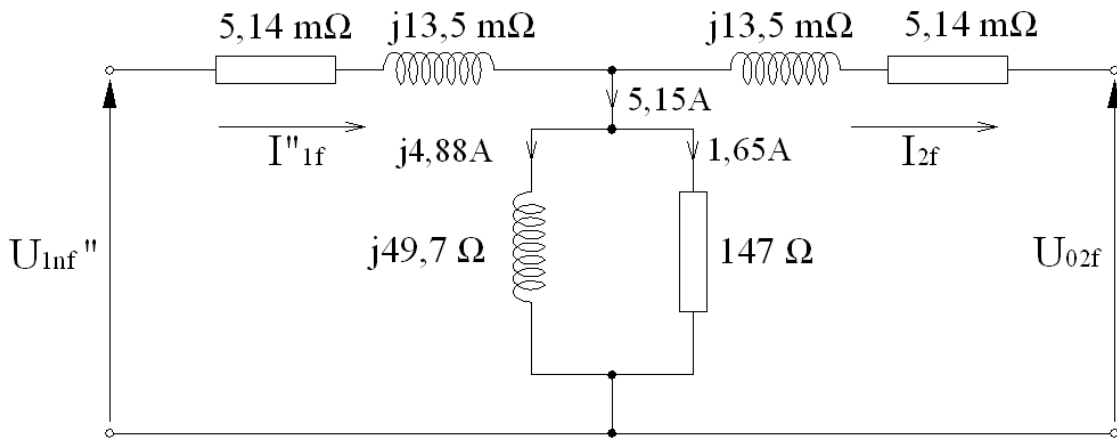
$$u_{r,20^\circ} = \frac{P_{k,20^\circ}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3}{250} \cdot 100 = 1,2\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_{k,20^\circ}^2 - u_{r,20^\circ}^2} = \sqrt{4^2 - 1,2^2} = 3,82\%$$

$$u_{r,n} = \frac{P_{k,n}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3,647}{250} \cdot 100 = 1,46\% \Rightarrow u_k = \sqrt{u_x^2 + u_n^2} = \sqrt{3,82^2 + 1,46^2} = 4,09\%$$

$$R_{kn}'' = \frac{P_{kn}}{3 \cdot I_{2nf}^2} = \frac{3647}{3 \cdot 343,7^2} = 10,29 m\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_{kn}''}{2} = 5,14 m\Omega$$

$$Z_k'' = \frac{u_{kn}}{100} \cdot \frac{U_{2nf}}{I_{2nf}} = \frac{4,09}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 343,7} = 28,85 m\Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = \sqrt{28,85^2 - 10,29^2} = 27 m\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 m\Omega$$



3. $P_{Hn} + P_{Fn} = P_{0n} = 1,2kW$, $P_{Hn}/P_{Fn} = 3 \Rightarrow P_{Hn} = 900W$ $P_{Fn} = 300W$

$$P_H = k_H f B_m^n \Rightarrow \frac{P_H^{60}}{P_{Hn}} = \frac{f_{60}}{f_{50}} \cdot \left(\frac{U_{60}/f_{60}}{U_{50}/f_{50}} \right)^n = \left(\frac{f_{50}}{f_{60}} \right)^{n-1} \cdot \left(\frac{U_{60}}{U_{50}} \right)^n = \left(\frac{50}{60} \right)^{0,9} \cdot \left(\frac{11}{10} \right)^{1,9} = 1,017$$

$$P_H^{60} = 900 \cdot 1,017 = 915W$$

$$P_V = k_V f^2 B_m^2 \Rightarrow \frac{P_V^{60}}{P_{Vn}} = \left(\frac{f_{60}}{f_{50}} \right)^2 \cdot \left(\frac{U_{60}/f_{60}}{U_{50}/f_{50}} \right)^2 = \left(\frac{U_{60}}{U_{50}} \right)^2 = 1,21$$

$$P_V^{60} = 300 \cdot 1,21 = 363W \Rightarrow P_0^{60} = P_H^{60} + P_V^{60} = 915 + 363 = 1278W$$

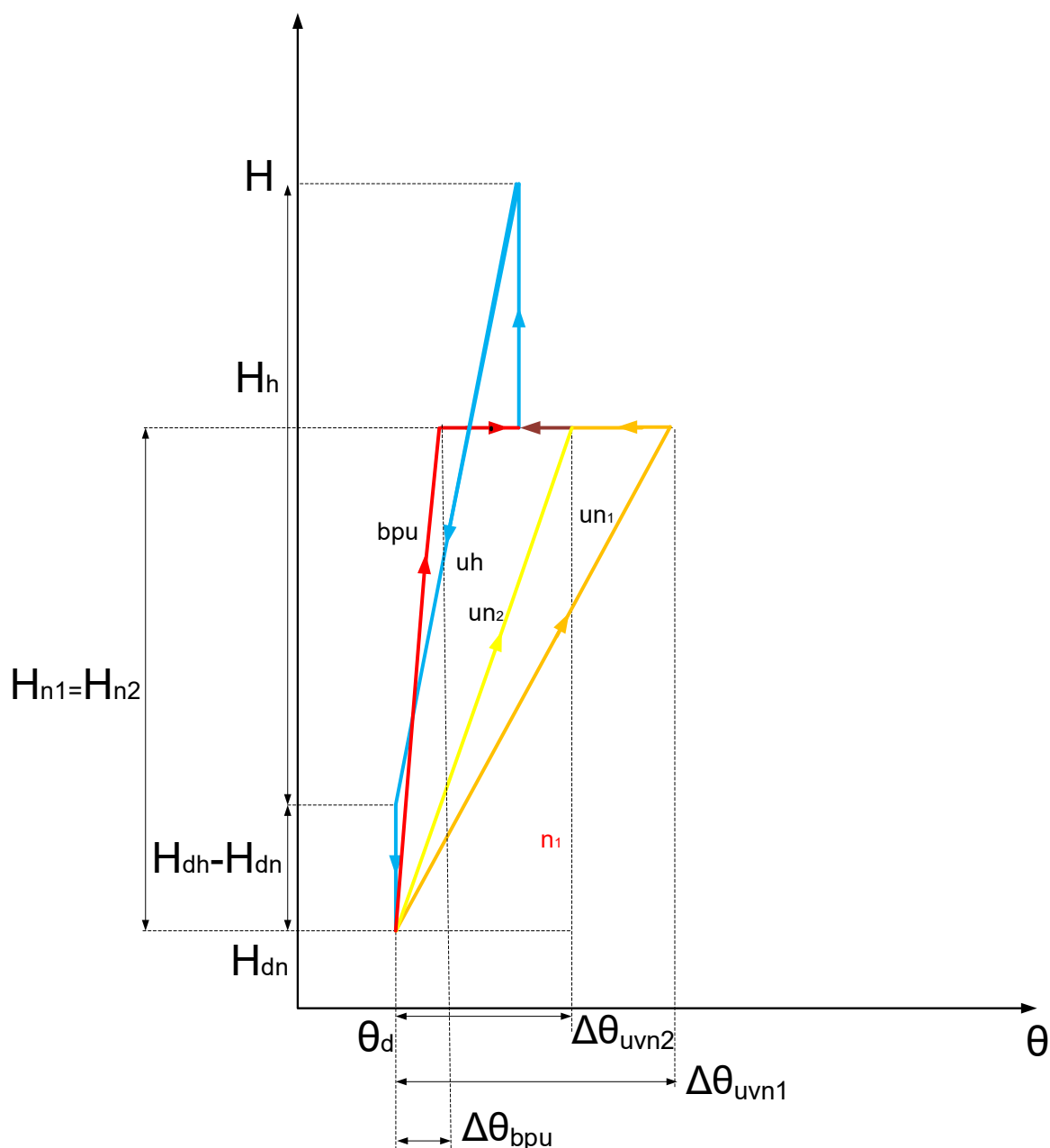
4. $\underline{S} = P + jQ = |\underline{S}|(\cos \phi + j \sin \phi) = 200(0,8 + j0,6) = (160 + j120)kVA$

$$\Delta u \approx a = \beta(u_r \cos \phi + u_x \sin \phi) = 0 \Rightarrow \tan \phi = -\frac{u_r}{u_x} = -\frac{1}{\tan \phi_k}$$

$$\tan \phi = \frac{Q - Q_c}{P} = -\frac{1}{\tan \phi_k} \Rightarrow Q_c = Q + \frac{P}{\tan \phi_k} = Q + P \cdot \frac{u_{rn}}{u_x} = 120 + 160 \cdot \frac{1,46}{3,82} = 181,2kVar$$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{U_{2nf}^2}{X_c} = 3U_{2nf}^2 \omega C \Rightarrow C = \frac{Q_c}{3U_{2nf}^2 \omega} = \frac{181,2 \cdot 10^3}{3 \cdot 420^2 \cdot 314} = 3271,4\mu F$$

5.



Предавања, Поглавље 5, одељак 5.2.2., текст који се односи на слику 5.9.

Додатак: $\Delta\theta_{bpu}$ – температура на врху by-pass-а уља минус температура уља на изласку из хладњака (услед загревања са суда трансформатора и конструкционих елемената)

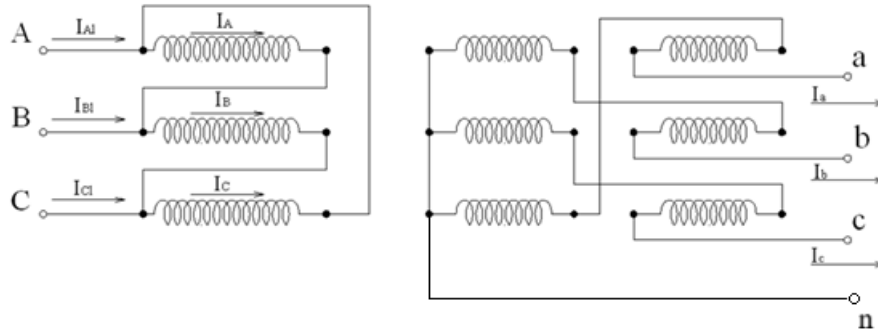
6.

$$|\Delta n_{\%}| = \frac{n_I - n_{II}}{n_I} \cdot 100 = \frac{10/0,42 - 10/0,4}{10/0,42} \cdot 100 = \frac{23,8 - 25}{23,8} \approx 5\%$$

$$|i_i| = \frac{|\Delta n_{\%}|}{u_{kI\%} + \frac{S_{nI}}{S_{nII}} \cdot u_{kII\%}} = \frac{5}{4,1 + \frac{250}{300} \cdot 5} = 0,6r.j. \Rightarrow 60\%$$

- могу да раде али са смањеним оптерећењем при коме струја ниједног од њих не прелази I_{ni} (вредност оптерећења зависи од њеног фактора снаге $\cos \phi$).

7.



$$\frac{N_1}{N_2} = 1,15 \cdot \frac{U_{1nf}}{U_{2nf}} = 1,15 \cdot \frac{10}{0,42/\sqrt{3}} = 47,4$$

$$\underline{I_A} \cdot N_1 = \frac{N_2}{2} \underline{I_b} - \frac{N_2}{2} \underline{I_a}$$

$$\underline{I_A} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I_b} - \underline{I_a}) = \frac{1}{47,4} \cdot 0,5 \cdot (300 + j150 - 200 - j100) = 0,01055 \cdot (100 + j50) = (1,055 + j0,527)A$$

$$\underline{I_B} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I_c} - \underline{I_b}) = \frac{1}{4,74} \cdot 0,5 \cdot (200 - j100 - 300 - j150) = 0,01055 \cdot (-100 - j250) = -(1,055 + j2,638)A$$

$$\underline{I_C} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I_a} - \underline{I_c}) = \frac{1}{4,74} \cdot 0,5 \cdot (200 + j100 - 200 + j100) = 0,01055 \cdot j200 = j2,11A$$

$$\underline{I_{Al}} = \underline{I_A} - \underline{I_C} = 1,055 + j0,527 - j2,11 = (1,055 - j1,583)A$$

$$\underline{I_{Bl}} = \underline{I_B} - \underline{I_A} = -1,055 - j2,638 - 1,055 - j0,527 = (2,11 - j3,165)A$$

$$\underline{I_{Cl}} = \underline{I_C} - \underline{I_B} = j2,11 + 1,055 + j2,638 = (1,055 + j4,748)A$$

8. $I_A = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20} = 11,5A \Rightarrow \underline{I_A} = 11,5 \cdot (0,6 - j0,8) = (6,9 - j9,2)A$

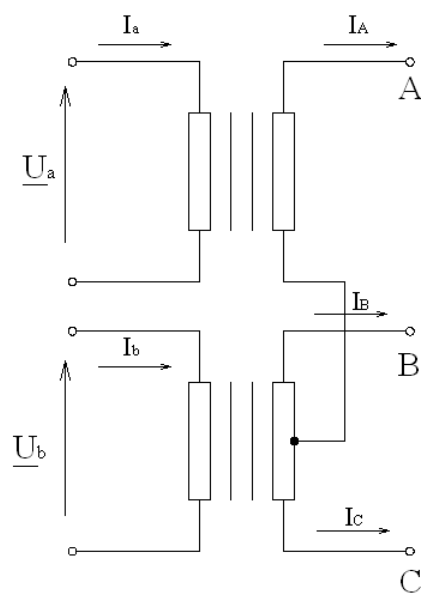
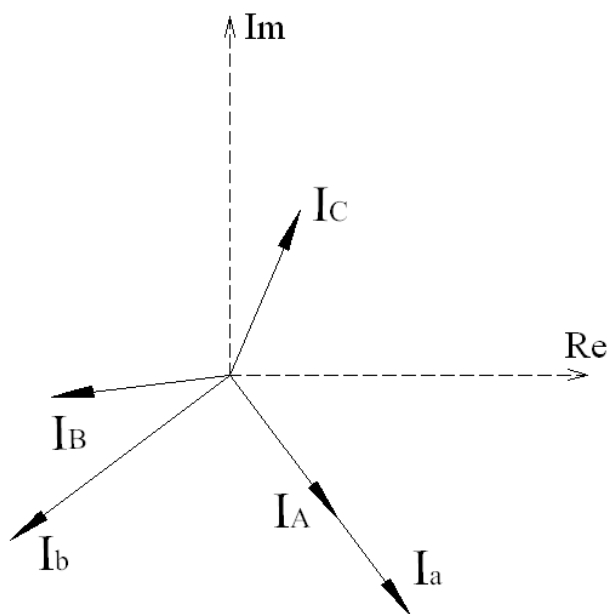
$$\underline{I_B} = \underline{I_A} \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (6,9 - j9,2) \cdot \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (-11,4 - j1,4)A$$

$$\underline{I_C} = \underline{I_A} \left(-0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (6,9 - j9,2) \cdot \left(-0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = (4,5 + j10,6)A$$

$$\underline{I_a} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \underline{I_A} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{20000}{100} (6,9 - j9,2) = (1195 - j1593)A$$

$$\underline{I_b} N_2 = \frac{N_1}{2} (\underline{I_B} - \underline{I_C})$$

$$\underline{I_b} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\underline{I_B} - \underline{I_C}) = \frac{20000}{100} \cdot 0,5 \cdot (-11,4 - j1,4 - 4,5 - j10,6) = -(1590 + j1200)A$$



9. Предавања, Поглавље 6, одељак 6.3., слика 6.15 и пропратни текст.
10. Предавања, Поглавље 6, одељак 6.2.3., слика 6.14, израз (6.14).