

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- фебруар 2022 -

Београд, 12.02.2022.

Трофазни уљни дистрибутивни енергетски трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 1600 \text{ KVA}$, $U_1/U_{20} = 35/0,42 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Yd5, $P_{kn} = 19800 \text{ W}$, $u_{kn} = 6,1 \%$, $P_0 = 2600 \text{ W}$, $j_0 = 1,1 \%$. Висина оба намотаја $h = 645 \text{ mm}$, а корен карактеристичне једначине за израчунавање расподеле пренапона је $\alpha = 10$.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и завршетке). (Т8)
2. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме на ВН страни и нацртати шему са унетим бројним вредностима свих параметара и означеним електричним величинама. (312)
3. На задати трансформатор је прикључено трофазно симетрично оптерећење за које је познато да би при трајном раду довело до пораста температуре горњег уља од 75 K , при чему номинални пораст износи 55 K . Фактор снаге оптерећења је такав да производи максимални пад напона на секундарним крајевима трансформатора. Одредити привидну снагу и фактор снаге овог оптерећења. За пад напона користити упрошћену формулу. Сматрати да је пораст температуре горњег уља сразмеран укупним губицима у трансформатори. Занемарити промену губитака са температуром. (312)
4. Полазећи од пресека магнетног кола (S_{Fe}) и броја навојака на примару (N_1) које је одредио пројектант, карактеристике материјала ($B(H)$) и карактеристика које зависе од начина преклапања лимова магнетног кола објаснити начин одређивања магнетног отпора у магнетном колу трансформатора и реактивне компоненте струје магнетног кола. При објашњењу посматрати празан ход трансформатора прикљученог на номинални напон примара (U_1). (Т12)
5. Нацртати топлотну шему са два чвора и два топлотна капацитета и објаснити значење симбола на шеми. (Т6) Сматрати да важи следеће: а) топлотни капацитети су константни, б) губици у магнетном колу и губици услед расутог флукса у констркционим деловима трансформатора и суду не зависе од температуре, в) коефицијенти преласка топлоте струјањем зависе од температуре. Навести нелинеарности због којих се промена температура при скоковитој промени оптерећења не врши по експоненцијалној зависности. (Т5)
6. На примар трансформатора наилази пренапонски талас амплитуде 1 MV . Написати израз са бројним вредностима којим се израчунава највиша вредност потенцијала неке тачке по висини и одредити највећи потенцијал који се јавља у току прелазног процеса. (310)
7. Израчунати приближно критичну амплитуду струје трополног кратког споја који настаје у најнеповољнијем тренутку, време трајања овог прелазног процеса и број периода до устаљеног стања. (312)
8. Задатом трансформатору се паралелно прикључује трансформатор снаге $S_n = 1600 \text{ KVA}$, $U_1/U_{20} = 35/0,42 \text{ kV}$, спрега Yd1, $u_{kn} = 6,1 \%$, $\cos \phi_k$ исти као задати трансформатор, али је мерењем утврђено да је његов преносни однос већи за $0,4 \%$. Приказати табеларно како треба повезати крајеве примара и секундара ова два трансформатора да би несметано радили у паралели. Колика је стварна и процентуална струја уравнотежења на секундарној страни при укупном оптерећењу од 3 MVA и при $2,4 \text{ MVA}$? (310)
9. Израчунати струје примара и секундара трансформатора при једнофазном (двополном) кратком споју фаза (а-б) трансформатора, ако је трансформатор био претходно у празном ходу са уравнотеженим симетричним системом напона. (312)
10. Нацртати шему за формирање шестофазног из трофазног система, као и одговарајући фазорски дијаграма. (Т11)

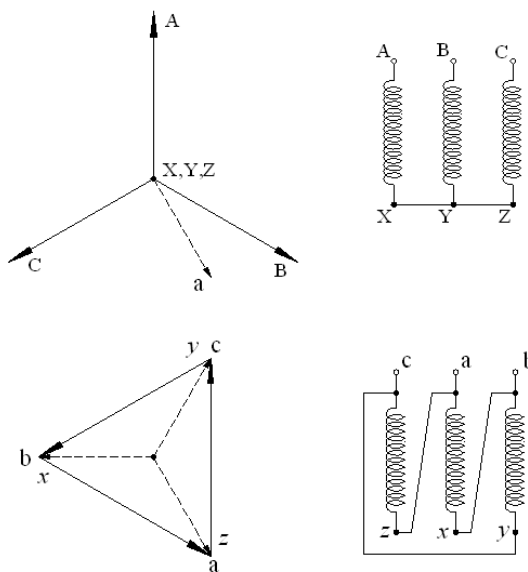
Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 10) траје 90min. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

Зоран Радаковић, Зоран Лазаревић

РЕШЕЊА

12.02.2022.г.

1.



2.

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 26,39 \text{ A} \quad , \quad R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_0/3} = \frac{3 \cdot 35^2 \cdot 10^6}{3 \cdot 2600} = 471,15 \text{ k}\Omega$$

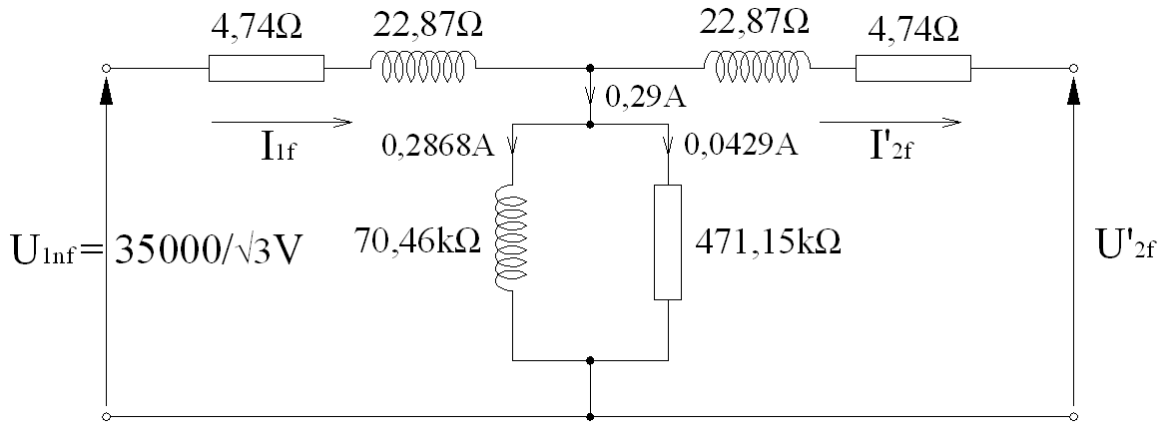
$$I_a = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 471,15 \cdot 10^3} = 0,0429 \text{ A} \quad , \quad I_0 = \frac{j_0}{100} \cdot I_{1nf} = \frac{1,1}{100} \cdot 26,39 = 0,29 \text{ A}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = \sqrt{0,29^2 - 0,0429^2} = 0,2868 \text{ A} \Rightarrow X_\mu = \frac{U_{1nf}}{I_\mu} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,2868} = 70,46 \text{ k}\Omega$$

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3I_k^2} = \frac{19800}{3 \cdot 26,39^2} = 9,48 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2 = \frac{R_k}{2} = 4,74 \Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{6,1}{100} \cdot \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 26,39} = 46,71 \Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{46,71^2 - 9,48^2} = 45,74 \Omega$$

$$X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = \frac{45,74}{2} = 22,87 \Omega$$



3.

$$\frac{\theta_m}{\theta_{mn}} = \frac{P_{0n} + \beta^2 P_{kn}}{P_{0n} + P_{kn}} \Rightarrow \beta = \sqrt{\frac{P_{0n}}{P_{kn}} \left(\frac{\theta_m - \theta_{mn}}{\theta_{mn}} \right) + \frac{\theta_m}{\theta_{mn}}} = 1,19 \Rightarrow S_{op} = 1,19 \cdot 1600 = 1904 \text{ kVA}$$

$$u_m = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = 1,24\%, \quad u_{xn} = \sqrt{u_{kn}^2 - u_m^2} = 5,97\%$$

$$\Delta u = \beta(u_m \cos \varphi + u_{xn} \sin \varphi) \Rightarrow \frac{d\Delta u}{d\varphi} = 0 = -u_m \sin \varphi + u_{xn} \cos \varphi \Rightarrow \tan \varphi = \frac{u_{xn}}{u_m} \Rightarrow \cos \varphi = 0,2 \text{ und.}$$

4.

$$\Phi_{\max} = \frac{U_1}{4,44 f N_1}$$

$$B_{\max} = \frac{\Phi_{\max}}{S_{Fe}}$$

$$B_{\max} \rightarrow H_{\max} \rightarrow \mu_{Fe}$$

(из магнетне карактеристике)

$$R_m = \frac{1}{\mu_{Fe}} \frac{l_{Fe}}{S_{Fe}} + \frac{1}{\mu_0} \frac{l_0}{S_0}$$

(Други сабирак представља магнетни отпор при преласку магнетног флуksа са лима на лим, где постоје мали ваздушни зазори. Он зависи од начина преклапања лимова магнетног кола)

$$I_m = R_m \left(\frac{\Phi_{\max}}{N_1} \right)$$

5. Предавања, одељак 5.3.2., слика 5.И и пасус испод слике.

Промена топлотних проводности и промена Џулових и додатних губитака у намотајима.

6.

$$U_m = 1 \text{ MVA}$$

$$u = U_m \frac{\text{ch}\alpha x}{\text{ch}\alpha h} = 10^6 \frac{\text{ch}10x}{\text{ch}6,45}$$

$$U(x=0) = 10^6 \frac{1}{36,35} = 3160 \text{ V}$$

$$U_{\max} = 2 \cdot 10^6 - 3160 = 1,997 \text{ kV} \approx 2 \text{ MVA}$$

7.

почетни услов: $I_0 = \sqrt{2}I_{1n}$

$$i_k(t) = (\sqrt{2}I_{1n} - I_{km} \sin(\varphi_0 - \varphi_k))e^{-\frac{t}{T_k}} + I_{km} \sin(\omega t + \varphi_0 - \varphi_k)$$

$$I_{kum} = \sqrt{2} \cdot I_{ku} = \sqrt{2} \cdot I_{1n} \cdot \frac{100}{u_{kn}} = \sqrt{2} \cdot 26,39 \cdot \frac{100}{6,1} = 611,8 \text{ A}$$

- максимум nastupa za $\varphi_0 - \varphi_k = -\frac{\pi}{2}$ у тренутку $t = \frac{\pi}{\omega}$

$$i_k(t = \frac{\pi}{\omega}) = I_{kr} = (\sqrt{2}I_{1n} + I_{km})e^{-\frac{\pi u_r}{u_x}} + I_{km} = (\sqrt{2} \cdot 26,39 + 611,8)e^{-\frac{\pi \cdot 1,238}{5,973}} + 611,8 = 950,3 \text{ A}$$

$$T_k = \frac{L_k}{R_k} = \frac{X_k}{\omega \cdot R_k} = \frac{45,74}{314 \cdot 9,48} = 0,0154 \text{ s} \quad , \quad t_k \approx 4T_k = 4 \cdot 0,0154 = 0,0616 \text{ s}$$

8.

- начин повезивања крајева за паралелан рад:

VN	A-A	B-B	C-C
NN	a-b	b-c	c-a

$$U_{02fI} = 420 \text{ V}, \quad U_{02fII} = (1 - 0,004) \cdot 420 = 418,32 \text{ V}$$

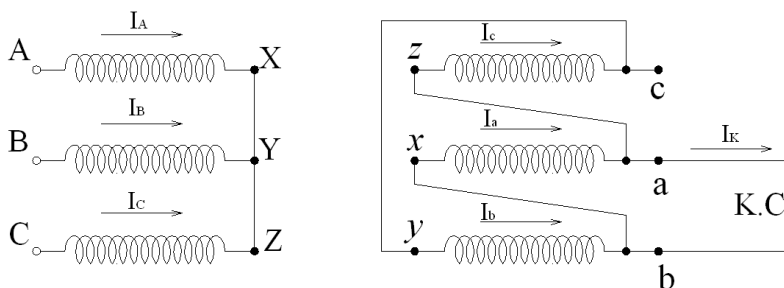
$$I_{2fn} = \frac{S_n}{3 \cdot U_2} = \frac{1600 \cdot 10^3}{3 \cdot 420} = 1269,8 \text{ A} \quad ,$$

$$Z_{K2i} = \frac{u_{ki}}{100} \cdot \frac{U_{n2fi}}{I_{2fn}} \Rightarrow Z_{K2I} = Z_{K2II} = \frac{6,1}{100} \cdot \frac{420}{1269,8} = 0,02018 \Omega$$

- независно од оптерећења:

$$I_{iz} = \frac{U_{02fI} - U_{02fII}}{Z_{K2I} + Z_{K2II}} = \frac{1,68}{2 \cdot 0,02018} = 41,63 \text{ A} \Rightarrow i_{iz\%} = \frac{I_{iz}}{I_{2fn}} \cdot 100 = \frac{41,63}{1269,8} \cdot 100 = 3,28 \%$$

9.



$$U_{ab} = U_a, \quad U_{bc} = U_b, \quad U_{ca} = U_c$$

$$U_a = 0, \quad I_b = I_c$$

$$\underline{U}_A = \frac{35}{\sqrt{3}} kV, \underline{U}_B = \frac{35}{\sqrt{3}} e^{-j\frac{2\pi}{3}} kV$$

$$\underline{U}_C = \frac{35}{\sqrt{3}} e^{-j\frac{4\pi}{3}} kV$$

$$I_A + I_B + I_C = 0, U_a + U_b + U_c = 0$$

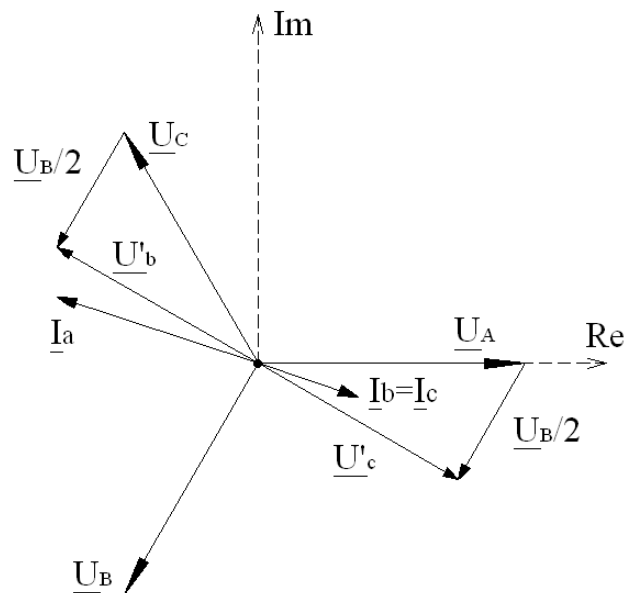
$U_A + U_B + U_C - Z_k \cdot (I_A + I_B + I_C) = U_a + U_b + U_c \Rightarrow U_A + U_B + U_C = 0$ - нема нултих напона на примару

$$Z_k = (9,48 + j45,74) \Omega = 46,71 \angle 78,3^\circ \Omega,$$

$$\underline{U}_B - Z_k I_B = \underline{U}_a = 0 \Rightarrow I_B = \frac{\underline{U}_B}{Z_k} = \frac{35 \cdot 10^3 \angle -120^\circ}{\sqrt{3} \cdot 46,71 \angle 78,3^\circ} = 432,6 \angle -198,3^\circ A \Rightarrow I_a = \frac{I_B}{n} = 9 \angle -198,3^\circ A$$

$$U_A + U_C - Z_k (I_A + I_C) = U_c + U_b = -U_a = 0,$$

$$I_c = I_b \Rightarrow I_A = I_C = \frac{-U_B}{2Z_k} = \frac{-35 \cdot 10^3 \angle -120^\circ}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 46,71 \angle 78,3^\circ} = -216,3 \angle -198,3^\circ A \Rightarrow I_c = I_b = -4,5 \angle -198,3^\circ A$$



10. Предавања, Поглавље 10, страна 4, слике 10.2. и 10.3