

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)
- фебруар 2024 -

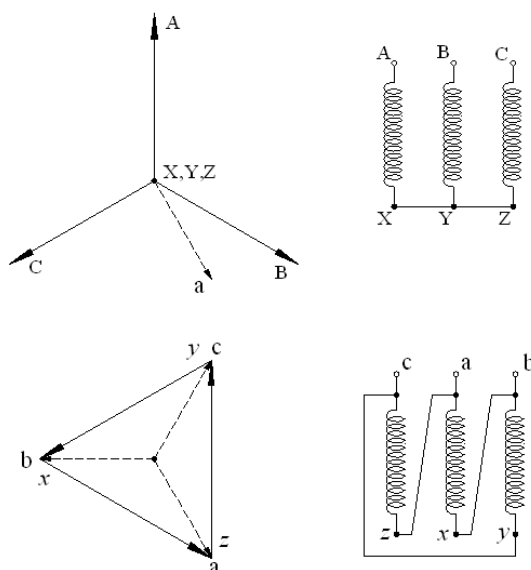
Београд, 2.02.2024.

Трофазни уљни дистрибутивни енергетски трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 1600 \text{ KVA}$, $U_1/U_{02} = 35/0,42 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Yd5, $P_{kn} = 19,8 \text{ kW}$, $u_{kn} = 6,1 \%$, $P_{0n} = 2,6 \text{ kW}$, $j_{0n} = 1,1 \%$. Висина намотаја је $h = 645 \text{ mm}$, а корен карактеристичне једначине расподеле пренапона је $\alpha = 10$.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све крајеве намотаја. (Т)
2. На примар задатог трансформатора прикључени су наизменични напони $u_1 = U_{1\text{mn}}(\cos\omega t - 0,42\cos3\omega t)$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50 \text{ Hz}$, а остала два напона су истог облика и вредности уз одговарајуће симетричне фазне помераје. Штајмницов коефицијент је 1,8. Колико износе губици у гвожђу у том случају ако је при простопериодичном номиналном напајању однос губитака у гвожђу услед хистерезиса и вихорних струја $P_{\text{hn}} : P_{\text{vn}} = 3:1$? (З)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (З)
4. За један трансформатор су израчунате вредности укупних Џулових губитака у оба намотаја, као и однос Џулових (P_{CuJ75n}) и укупних губитака k_{J75n} у бакарним намотајима при 75°C и номиналној струји. У огледу кратког споја при номиналној струји при 20°C измерена је снага губитака P_{k20n} . Колико износе губици у конструктивним деловима и суду трансформатора $P_{konstr20n}$ при номиналној струји и хладном трансформатору (20°C)? (Т)
5. Нацртати шему веза огледа загревања трофазног уљног трансформатора са кратко спојеном ниженапонском (НН) страном: а) током процеса загревања, б) током мерења отпора НН намотаја након искључења напајања са ВН стране напоном 50 Hz. Како се одређује средња температура намотаја након искључења напајања са ВН стране? (Т)
6. Извести израз за струју кратког споја задатог трансформатора ако је у тренутку кратког споја струја трансформатора била $\sqrt{2} \cdot I_{n1}$. Израчунати приближно критичну амплитуду струје кратког споја, време трајања овог прелазног процеса и број периода до устаљеног стања. (З)
7. На једну фазу намотаја примара задатог трансформатора (из заглавља) наилази пренапонски талас амплитуде 1 MV. Израчунати место на намотају трансформатора (по висини) где се јавља максимални напон према маси током прелазног процеса као и његову вредност. Која изолација је угрожена на овом месту? Скицирати општи облик расподеле пренапона на намотају на почетку прелазног процеса за различите корене карактеристичне једначине. (З)
8. Задатом трансформатору се паралелно прикључује трансформатор снаге $S_n = 1600 \text{ KVA}$, $U_1/U_{02} = 35/0,42 \text{ kV}$, 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 %. Одредити начин паралелног рада ових трансформатора. Колика је стварна и процентуална струја уравнотежења на секундарној страни при укупном оптерећењу од 3 MVA и при 2,4 MVA ? (З)
9. Написати израз за израчунавање наизменичне компоненте струје кратког споја у Амперима при кратком фазног и нултог проводника на ниженапонској страни трофазног трансформатора снаге S_n , спреге Dуп, за који су познати номинални линијски напони на ВН страни (U_1) и НН страни (U_2), као и директна (x_d) и нулта (x_0) реактанса у релативним јединицама. Занемарити утицај отпорности. Сматрати да су све импедансе елемената мреже занемарљиве у односу на импедансе трансформатора. (Т)
10. Нацртати шему веза Скотовог трансформатора. Потребни напон на пријемницима износи U_{pri} . Оба секундара имају N_2 навојака на секундару. Примар трансформатора се прикључује на линијски мрежни напон U_m . Колико износи број навојака на једном и на другом намотају примара трансформатора?

Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 10) траје 120min. Сваки задатак носи максимално 11 поена. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

1.



2. $u_1 = U_{1m}(\cos \omega t - 0,42 \cos 3\omega t)$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50 \text{ Hz}$

$$\varphi_1 = \frac{1}{N_1} \int u_1 dt = \frac{1}{N_1} \frac{U_{1m}}{\omega} (\sin \omega t - 0,14 \sin 3\omega t) \Rightarrow \phi_m = \phi_{m1} + \phi_{m3} = 1,14 \phi_{m1}$$

$$P_{H1} = 0,75 P_0 = 0,75 \cdot 2600 = 1950 \text{ W}$$

$$P_{V1} = 0,25 P_0 = 0,25 \cdot 2600 = 650 \text{ W}$$

$$P_H = k_H f B_m^{1,8} \Rightarrow \frac{P'_H}{P_H} = \left(\frac{\phi_m}{\phi_{m1}} \right)^{1,8} = 1,14^{1,8}$$

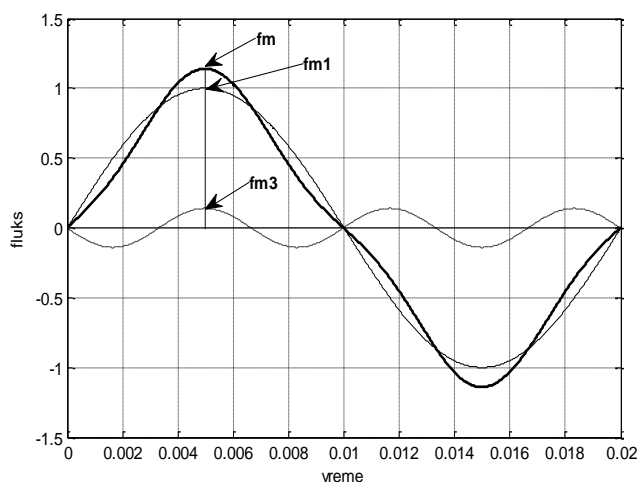
$$P'_H = 1950 \cdot 1,14^{1,8} = 2469 \text{ W}$$

$$P_V = k_V f^2 B_m^2 \Rightarrow \frac{P_{V3}}{P_{V1}} = \left(\frac{f_3}{f_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{\phi_{m3}}{\phi_{m1}} \right)^2$$

$$P_{V3} = P_{V1} \cdot 9 \cdot 0,14^2 = 0,1764 \cdot P_{V1} = 115 \text{ W}$$

$$P'_V = P_{V1} + P_{V3} = 650 + 115 = 765 \text{ W}$$

$$P'_0 = P'_H + P'_V = 2469 + 765 = 3234 \text{ W}$$



3.

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

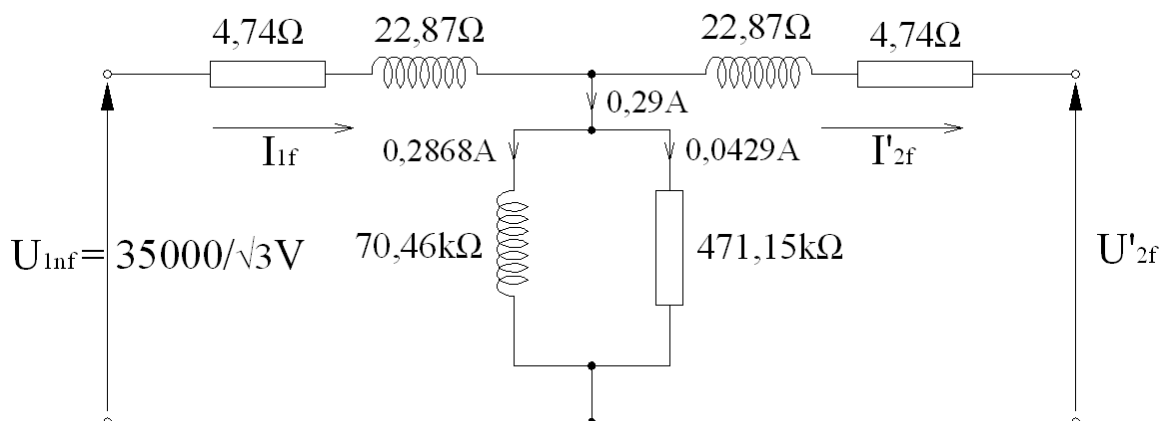
$$I_a = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 471,15 \cdot 10^3} = 0,0429 \text{ A}, \quad I_0 = \frac{j_0}{100} \cdot I_{1nf} = \frac{1,1}{100} \cdot 26,39 = 0,29 \text{ A}$$

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

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

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

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



$$4. P_{konstr\ 20\ n} = P_{k\ 20\ n} - \left(\frac{235+20}{235+75} P_{Cu\ J\ 75\ n} + \frac{235+75}{235+20} (1 - k_J) \frac{P_{Cu\ J\ 75\ n}}{k_J} \right)$$

5. Предавања, Поглавље 5., текст на страни 9, изрази (5.11) и (5.12) и слике 5.3. и 5.4.

6. 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 наступа за $\varphi_0 - \varphi_k = -\frac{\pi}{2}$ у тренутку $t = \frac{\pi}{\omega}$

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

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

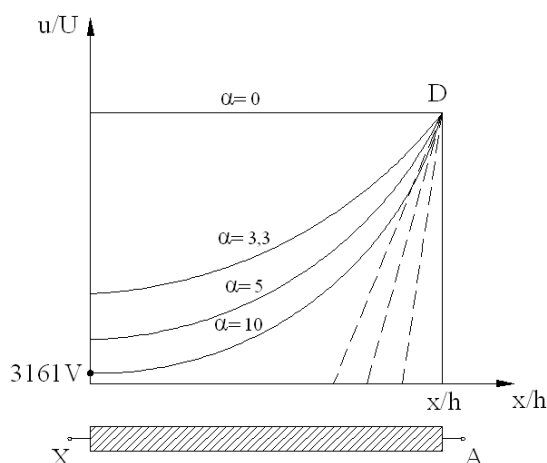
7. $U_m = 1\text{ MVA}$

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

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

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

Угрожена је изолација према маси.



8.

– начин повезивања крајева за паралелан рад:

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

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

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

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

- 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. Поглавље 10, 10.1. ПРЕТВАРАЧИ БРОЈА ФАЗА, 1) Претварање трофазног у двофазни систем, закључно са изразом (10.6).

10. Предавања, Поглавље 9, односно страна 553 из књиге [1], при чему је:

$$V_F = \frac{U_2}{\sqrt{3}}$$

$$X_1 = X_2 = x_d \frac{U_2^2}{S_n}$$

$$X_0 = x_0 \frac{U_2^2}{S_n}$$

$$Z_F = 0$$

Довољно је написати једначину (9.2.7), која одговара шеми на слици 9.17 (b), и једначине (9.2.8) – (9.2.10).