

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)
- јануар 2024 -

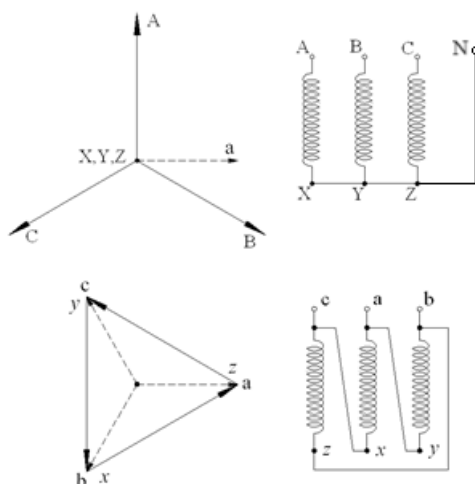
Београд, 12.01.2024.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има номиналне податке: $S_n = 8000 \text{ kVA}$, $U_1/U_{02} = 35/10,5 \text{ kV}$, спрега YNd3, $P_{0n} = 8,67 \text{ kW}$, $j_{0n} = 0,64 \%$, $P_{kn} = 49,1 \text{ kW}$, $u_{kn} = 5,9 \%$, Филдов сачинилац (исти за оба намотаја) $K_F = 1,07$.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све крајеве намотаја. (Т)
2. Израчунати Филдов сачинилац ако се трансформатор прикључи на мрежу напона U_{1n} и фреквенције 40 Hz . (З)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (З)
4. Написати израз за степен искоришћења снаге при оптерећењу трансформатора β (фактор снаге $\cos \varphi$) и односу стварног напона на примару и његове номиналне вредности α . Из термичких прорачуна је позната средња температура бакарних намотаја ϑ_{Cu} при оптерећењу β , односно функционална зависност $\vartheta_{Cu}(\beta)$, као и функционална зависност температуре конструкционих делова $\vartheta_{konstr}(\beta)$. Познате су вредности номиналних губитака у намотајима P_{k75} (при номиналној струји и средњој температури 75°C) и однос Дулових и укупних губитака k_J у намотајима при 75°C . Сматрати да су губици у магнетном колу сразмерни са α^2 . За губитке у конструкционим деловима трансформатора усвојити апроксимацију да настају искључиво као резултат вихорних струја. Позната је њихова вредност при номиналној струји $P_{konst n}$, када је температура конструкционих делова $\vartheta_{konstr n}$. Познате су температурне зависности специфичне електричне отпорности бабра $\rho_{Cu}(\vartheta) = \rho_{Cu 20}(1 + \alpha_{Cu}(\vartheta - 20))$ и челика $\rho_{Fe}(\vartheta) = \rho_{Fe 20}(1 + \alpha_{Fe}(\vartheta - 20))$ од којих су сачињени конструкциони делови. (Т)
5. Нацртати шему веза огледа загревања трофазног уљног трансформатора са кратко спојеном ниженапонском (НН) страном. Описати поступак мерења и израчунавања средње температуре НН намотаја по завршетку загревања. (Т)
6. Извести израз за максималну вредност струје при укључењу трансформатора у празном ходу, користећи апроксимацију стварног облика магнетног хистерезиса са две праве линије. Дати текстуално или графичко објашњење свих величина које фигуришу у коначном изразу. (Т)
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. Висина намотаја је $h = 960 \text{ mm}$, а корен карактеристичне једначине расподеле пренапона је $\alpha = 5$. Скицирати расподелу пренапона на намотају на почетку, у средини и на крају прелазног процеса. (З)
8. Задатом трансформатору (из заглавља) се паралелно прикључује трансформатор номиналне снаге $S_{n2} = 10 \text{ MVA}$ и напона кратког споја $u_{kn2} = 6,5\%$. Колико износи максимално дозвољено оптерећење, а да ни један трансформатор не буде преоптерећен и колика су тада појединачна оптерећења трансформатора? (З)
9. Колики су снага, струје, напон кратког споја и степен искоришћења снаге аутотрансформатора спреге Y_u који настаје превезивањем задатог (из заглавља) за мрежу напона $30,7/20,2 \text{ kV}$? (З)
10. Написати израз за израчунавање симетричне струје кратког споја у Амперима при двополном кратком споју са земљом на ниженапонској страни трофазног трансформатора снаге S_n , спреге Дун, 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)

Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задачи 6 до 10) траје 120min. Сваки задатак носи максимално 12 поена. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

1.



$$2. \quad k_F^{50} = 1,07 \Rightarrow \Delta k_F^{50} = 0,07 \Rightarrow \Delta k_F^{40} = \Delta k_F^{50} \left(\frac{40}{50} \right)^2 = 0,045 \Rightarrow k_F^{40} = 1,045$$

$$P_{Cu} = \frac{P_{kn}}{k_F^{50}} = \frac{49,1}{1,07} = 45,9 \text{ kW} \Rightarrow P_d^{40} = \Delta k_F^{40} \cdot P_{Cu} = 0,045 \cdot 45,9 \approx 2065 \text{ W}$$

$$3. \quad I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{8000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 132 \text{ A} \quad I_{0f1} = \frac{j_{0n}}{100} \cdot I_{1nf} = \frac{0,64}{100} \cdot 132 = 0,845 \text{ A}$$

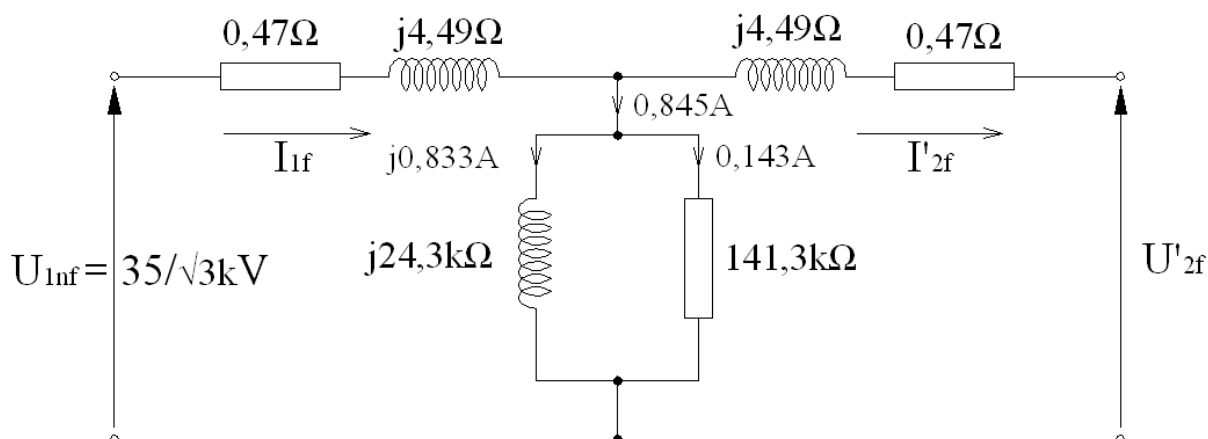
$$I_{af1} = \frac{P_0}{3U_{1nf}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 8,67 \cdot 10^3}{3 \cdot 35 \cdot 10^3} = 0,143 \text{ A} \Rightarrow I_{\mu f1} = \sqrt{I_{0f1}^2 - I_{af1}^2} = 0,833 \text{ A}$$

$$R_{af1} = \frac{U_{1nf}}{I_{af1}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,143} = 141,3 \text{ k}\Omega, \quad X_{\mu f1} = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu f1}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,833} = 24,3 \text{ k}\Omega$$

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3I_{1nf}^2} = \frac{49,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 132^2} = 0,939 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R_2' = \frac{R_k}{2} = 0,47 \Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{5,9}{100} \cdot \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 132} = 9,03 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{9,03^2 - 0,939^2} = 8,98 \Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X_{\sigma 2}' = \frac{X_k}{2} = 4,49 \Omega$$



4.

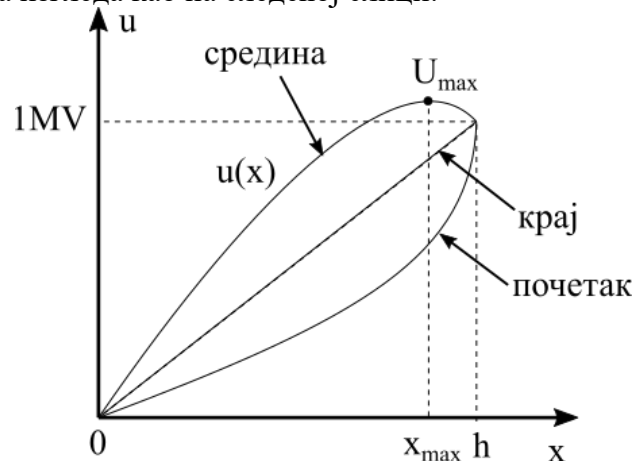
$$\eta = \frac{\alpha \beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + P_I + P_{Fe}}$$

где су:

$$P_I = \beta^2 \left(\frac{1 + \alpha_{Cu}(\vartheta_{Cu}(\beta) - 20)}{1 + \alpha_{Cu}(75 - 20)} k_J P_{k75} + \frac{1 + \alpha_{Cu}(75 - 20)}{1 + \alpha_{Cu}(\vartheta_{Cu}(\beta) - 20)} (1 - k_J) P_{k75} \right) + \beta^2 P_{konstn} \left(\frac{1 + \alpha_{Fe}(\vartheta_{konstrn} - 20)}{1 + \alpha_{Fe}(\vartheta_{konstr}(\beta) - 20)} P_{Constrn} \right)$$

$$P_{Fe} = \alpha^2 P_{on}$$

5. Предавања, Поглавље 5., текст на страни 9, изрази (5.11) и (5.12) и слике 5.3. и 5.4.
6. Предавања, Поглавље 6., текст који почиње испод слике 6.3 на страни 5. закључно са формулом (6.19) на страни 8.
7. Намотај примара се може сматрати уземљеним тако да расподела пренапона на почетку, у средини и на крају прелазног процеса изгледа као на следећој слици:



Максимална вредност напона према маси се јавља у тачки x_{\max} која се може одредити диференцирањем израза за расподелу пренапона у средини прелазног процеса и његовим изједначавањем са нулом.

$$u(x) = U \frac{x}{h} + \left(U \frac{x}{h} - U \frac{sh(\alpha x)}{sh(\alpha h)} \right) = 2U \frac{x}{h} - U \frac{sh(\alpha x)}{sh(\alpha h)}$$

$$\frac{du(x)}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{2U}{h} - U \alpha \frac{ch(\alpha x)}{sh(\alpha h)} = 0 \Rightarrow x_{\max} = \frac{1}{\alpha} ach \left(\frac{2 \cdot sh(\alpha h)}{\alpha h} \right) = \frac{1}{5} ach \left(\frac{2 \cdot sh(5 \cdot 0,96)}{5 \cdot 0,96} \right) = 0,785 m$$

$$U_{\max} = u(x_{\max}) = 2U \frac{x_{\max}}{h} - U \frac{sh(\alpha x_{\max})}{sh(\alpha h)} = 1,219 kV$$

8.
$$\sum \frac{S_{ni}}{u_{ki}} = \frac{8}{5,9} + \frac{10}{6,5} = 2894,4 kVA$$

$$S_d = S_{n1} \cdot \frac{u_{k1}}{S_{n1}} \sum \frac{S_{ni}}{u_{ki}} = 5,9 \cdot 2894,4 = 17076,9 kVA \Rightarrow S_2 = S_d - S_{n1} = 9076,9 kVA$$

9.
$$S_{an} = \frac{n_a}{n_a - 1} S_n = \frac{53,2}{53,2 - 35} \cdot 8000 = 23,38 MVA,$$

$$I_{1a} = \frac{S_a}{\sqrt{3} \cdot U_{1a}} = \frac{23,38 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 53,2 \cdot 10^3} = 253,7 A, \quad I_{2a} = \frac{S_a}{\sqrt{3} \cdot U_{2a}} = \frac{23,38 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 385,7 A$$

$$u_{ka} = \frac{S_n}{S_a} \cdot u_k = 5,9 \cdot \frac{8}{23,38} = 2,02\%, \quad \beta_m = \sqrt{\frac{P_{0n}}{P_{kn}}} = \sqrt{\frac{8,67}{49,1}} = 0,42$$

$$\eta_a = \frac{\beta_m S_{na} \cos \varphi}{\beta_m S_n \cos \varphi + P_{Fen} + P_{Cum}} = \frac{0,42 \cdot 23,38 \cdot 1}{0,42 \cdot 23,38 \cdot 1 + 2 \cdot 0,00867} = 0,9982 \rightarrow 99,82\%$$

10. Предавања, Поглавље 9, односно страна 560 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 једначине (9.4.12), (9.4.13) и (9.4.14), које одговарају шеми на слици 9.12 (b), и једначину (9.1.1).