

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

– колоквијум –

новембар 2016.

Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 8000 \text{ kVA}$, $U_{1n} / U_{02} = 35 / 6.3 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Yd5, испитан је у огледима празног хода и кратког споја при температури од 20°C , при чему је добијено:

ПХ: $P_0 = 7150 \text{ W}$, $U_0 = 6300 \text{ V}$, $I_0 = 4.1 \text{ A}$

КС: $P_{k20} = 32450 \text{ W}$, $U_k = 2030 \text{ V}$, $I_k = 110 \text{ A}$

Однос номиналних губитака услед хистерезиса и вихорних струја је $P_{hn}:P_{vn}=2:1$, а Штајнмицов коефицијент је једнак 2. Специфична отпорност бакра на 20°C износи $1/57 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$. Отпорности намотаја примара и секундара на 20°C , мерене између прикључних крајева при једносмерној струји, износе $R_{1DC} = 1.334 \Omega$ и $R_{2DC} = 0.0127 \Omega$.

1. Нацртати векторски дијаграм напона и шему веза намотаја представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и крајеве). Израчунати број навојака секундара и максималну индукцију у језгру ако је површина попречног пресека магнетског кола $S_{Fe} = 1022 \text{ cm}^2$, коефицијент испуне гвожђем 0.95, а број навојака примара $N_1 = 580$. **(12)**
2. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране при радној температури од 75°C . Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. Израчунати процентуалну вредност напона кратког споја. **(16)**
3. Израчунати нову вредност губитака у гвожђу ако је напон напајања сложенопериодична функција времена: $u(t) = U_{1n} \sqrt{2} (\sin \omega t + 0.2 \sin 3\omega t)$. **(12)**
4. Да ли и због чега струја магнећења зависи од начина сечења и слагања лимова? **(12)**
5. Дати скицу (са приказаним намотајима по стубу, стубовима и деловима јарма) за трофазне трансформаторе са облицима магнетног кола "3/0" и "3/2". **(12)**
6. Одредити релативну вредност привидне снаге и фактор снаге оптерећења при којима се има максимални могући степен искоришћења трансформатора. Колико износи максимална вредност степена искоришћења? **(12)**
7. Одредити фактор снаге оптерећења при коме је напон секундара у фази са напонем примара. Колика је тада ефективна вредност напона секундара, ако је релативна вредност привидне снаге таква да се при њој има максималан могући степен искоришћења при том фактору снаге? Користити упрошћену формулу за пад напона. **(16)**
8. Поновити поступак из 6. задатка у случају да се учестаност напона напајања повећа за 10%, при чему максимална вредност индукције у језгру остаје непромењена у односу на режим са номиналним напонем учестаности 50 Hz. **(16)**
9. Написати дефинициони израз за одређивање реактансе расипања из вредности енергије магнетског поља у запремини коју обухвата намотај примара, простор између намотаја примара и секундара и намотај секундара. Написати израз за енергију магнетског поља под претпоставком да је у свакој тачки запремине позната вредност магнетског поља $H(x, y, z)$. **(12)**

Колоквијум траје 150 минута. Укупан број поена је 120. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад. Прецртати што није за преглед.

У Београду, 27.11.2016.

Проф. др Зоран Лазаревић
Проф. др. Зоран Радаковић

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (ОГЗЕТ)

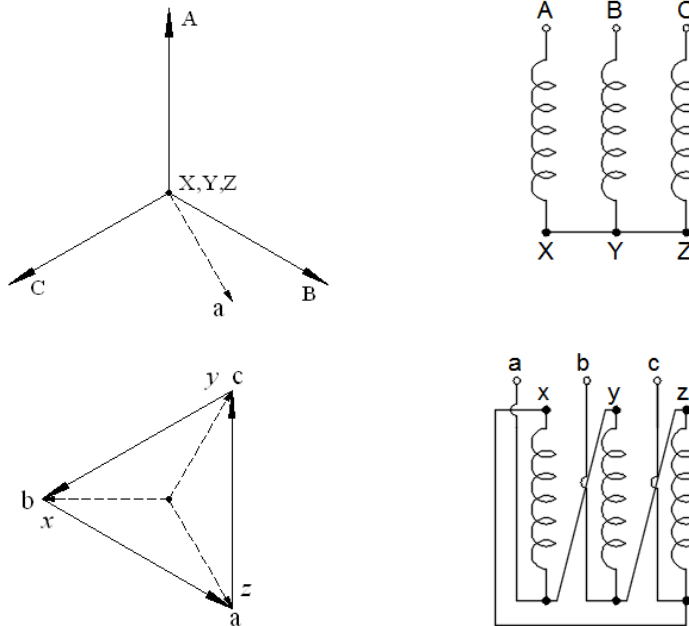
- колоквијум -

- новембар 2016 -

Београд, 27.11.2016.

- РЕШЕЊА -

1. Векторски дијаграм напона и шема веза намотаја приказани су на слици:



Преносни однос трансформатора једнак је:

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n} / \sqrt{3}}{U_{02}} = 3.2075,$$

па је одатле $N_2 = N_1 / n \approx 181$. Максимална вредност индукције може се одредити из израза:

$$B_m = \frac{U_{1n} / \sqrt{3}}{4.44 f N_1 k_{Fe} S_{Fe}} = \frac{35000}{4.44 \cdot 50 \cdot 580 \cdot 0.95 \cdot 1022 \cdot 10^{-4}} = 1.62 T$$

2. Номиналне фазне струје и напони примара и секундара:

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{1n}} = 132 \text{ A}$$

$$I_{2nf} = \frac{S_n}{3 U_{02}} = 423 \text{ A}$$

$$U_{1nf} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = 20207 \text{ V}$$

$$U_{2nf} = U_{02} = 6300 \text{ V}$$

Параметри прорачунати из огледа ПХ (оглед је изведен са нисконапонске стране):

$$R_a' = \frac{3U_{02}^2 \cdot n^2}{P_0} = \frac{3U_{1nf}^2}{P_0} = \frac{U_{1n}^2}{P_0} = \boxed{171.3 \text{ k}\Omega} \rightarrow I_a' = \frac{U_{1nf}}{R_a'} = 0.1179 \text{ A}$$

$$I_{0f}' = \frac{I_{0f}}{n} = \frac{I_0 / \sqrt{3}}{n} = 0.738 \text{ A} \rightarrow I_{\mu}' = \sqrt{(I_{0f}')^2 - (I_a')^2} = 0.7285 \text{ A}$$

$$X_{\mu}' = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu}'} = \boxed{27.74 \text{ k}\Omega}$$

Параметри прорачунати из огледа КС (оглед је изведен са високонапонске стране):

$$R_{k20} = \frac{P_{k20}}{3I_k^2} = 0.894 \Omega$$

Реактанса расипања се одмах може одредити на основу података добијених при 20°C, с обзиром на то да њена вредност не зависи од температуре:

$$Z_{k20}' = \frac{U_k / \sqrt{3}}{I_k} = 10.65 \Omega \rightarrow X_k' = \sqrt{(Z_{k20}')^2 - (R_{k20})^2} = \boxed{10.61 \Omega}$$

Отпорности фазних намотаја примара и секундара при једносмерној струји и 20°C:

$$R_1^{\bar{\bar{}}} = R_{1DC} / 2 = 0.667 \Omega$$

$$R_2^{\bar{\bar{}}} = R_{2DC} \cdot 3 / 2 = 0.019 \Omega$$

Укупни, Џулови и додатни губици у намотајима при номиналној струји и 20°C:

$$\left. \begin{aligned} P_{kn20} &= P_{k20} \cdot \frac{I_{1nf}^2}{I_k^2} = 46704 \text{ W} \\ P_{Cu20} &= 3 \cdot (R_1^{\bar{\bar{}}} \cdot I_{1nf}^2 + R_2^{\bar{\bar{}}} \cdot I_{2nf}^2) = 45087 \text{ W} \end{aligned} \right\} P_{d20} = 1617 \text{ W}$$

Прерачунавање губитака на радну температуру:

$$\left. \begin{aligned} P_{d75} &= P_{d20} \cdot \frac{235 + 20}{235 + 75} = 1330 \text{ W} \\ P_{Cu75} &= P_{Cu20} \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 54811 \text{ W} \end{aligned} \right\} P_{k75} = 56141 \text{ W}$$

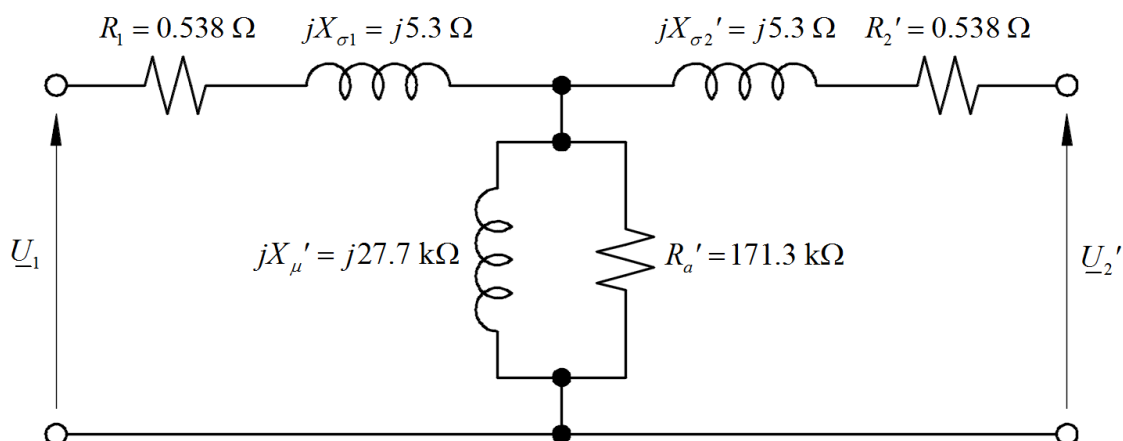
Прорачун редне отпорности при радној температури:

$$R_k' = \frac{P_{kn75}}{3I_{1nf}^2} = \boxed{1.075 \Omega}$$

Процентуална вредност напона кратког споја дефинисана је за номиналну вредност струје кратког споја:

$$u_k\% = \frac{U_{knf75}}{U_{1nf}} \cdot 100 = \frac{Z_{k75}' I_{1nf}}{U_{1nf}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{(R_k')^2 + (X_k')^2} I_{1nf}}{U_{1nf}} \cdot 100 = \boxed{6.96\%}$$

Еквивалентно коло трансформатора са унетим вредностима параметара приказано је на слици:



НАПОМЕНА: С обзиром на то да је у напону кратког споја доминантна реактивна компонента, прихвата се и следећи, поједностављени приступ за прорачун процентаулне вредности напона кратког споја:

$$u_{k\%} = \frac{U_{knf}}{U_{1nf}} \cdot 100\% = \frac{U_k / \sqrt{3} \cdot \frac{I_{1nf}}{I_k}}{U_{1nf}} \cdot 100\% = \frac{U_k \cdot \frac{I_{1nf}}{I_k}}{U_{1n}} \cdot 100\% = \boxed{6.96\%}$$

$$3. \quad \varphi(t) = \frac{U_1 \sqrt{2}}{N_1} \int (\sin \omega t + 0.2 \sin 3\omega t) dt = \frac{-U_1 \sqrt{2}}{\omega N_1} \left(\cos \omega t + \frac{0.2}{3} \cos 3\omega t \right)$$

$$\left. \begin{array}{l} B_{m1} = B_m \\ B_{m3} = 0.067 B_m \end{array} \right\} B_m' = B_{m1} + B_{m3} = 1.067 B_m = 1.725 \text{ T}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_h' = P_h \left(\frac{B_m'}{B_m} \right)^2 = \frac{2P_0}{3} \left(\frac{B_m'}{B_m} \right)^2 = \frac{2P_0}{3} \left(\frac{1.067 B_m}{B_m} \right)^2 = \boxed{5423 \text{ W}} \\ P_v' = P_v \frac{U_1^2 + U_3^2}{U_1^2} = \frac{P_0}{3} \frac{U_1^2 + U_3^2}{U_1^2} = \frac{P_0}{3} \frac{U_1^2 + 0.04 U_1^2}{U_1^2} = \boxed{2479 \text{ W}} \end{array} \right\} P_0' = P_h' + P_v' = \boxed{7902 \text{ W}}$$

4. Одељак 2.3.

5. Поглавље 2., слика 2.6.

6. а) Тражено релативно оптерећење износи:

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_{kn75}}} = \sqrt{\frac{7150}{56141}} = \boxed{0.3569}$$

а фактор снаге при ком ће се имати максимални могући степен искоришћења је $\boxed{\cos \varphi_m = 1}$.

Максимални степен искоришћења износи:

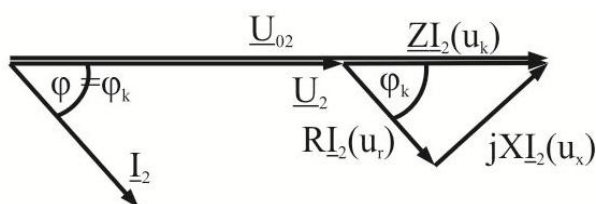
$$\eta_{\max} = \frac{\beta_m \cdot S_n}{\beta_m \cdot S_n + 2P_{0n}} \cdot 100 = \boxed{99.50\%}$$

7. Активна и реактивна компонента пада напона износе:

$$u_{rn} = \frac{P_{kn75}}{S_n} \cdot 100 = 0.702\%$$

$$u_{xn} = \sqrt{u_{k\%}^2 - u_{rn}^2} = 6.92\%$$

Као што се може закључити са дате слике, напони примара и секундара ће бити у фази када је фактор снаге оптерећења једнак:



$$\cos \varphi = \cos \varphi_k = \frac{u_{rn}}{u_{k\%}} = \boxed{0.101}$$

Подужна компонента пада напона тада износи:

$$a = \beta (u_{rn} \cos \varphi_k + u_{xn} \sin \varphi_k) = 2.483\%,$$

при чему је $\beta = \beta_m$ (из претходног задатка), како би се имао максимални могући степен искоришћења за дати фактор снаге.

Процентуална вредност пада напона једнака је подужној компоненти ($\Delta u = a$), па је ефективна вредност напона секундара у апсолутним јединицама:

$$U_2 = U_{02} \cdot \left(1 - \frac{\Delta u}{100}\right) = \boxed{6144 \text{ V}}.$$

Треба приметити да се при овом фактору снаге има максимални пад напона за дату привидну снагу оптерећења.

8. Како би при повећању учестаности максимална вредност индукције остала константна, неопходно је да се напон напајања повећа сразмерно повећању учестаности:

$$U_1' = 1.1 U_{1n} = 38.5 \text{ kV}$$

$$f' = 1.1 f = 55 \text{ Hz}$$

Услед промене учестаности и ефективне вредности напона, долази до промене губитака у гвожђу:

$$\left. \begin{aligned} P_h' &= \frac{f'}{f} P_h = \frac{f'}{f} \cdot \frac{2P_0}{3} = 5243 \text{ W} \\ P_v' &= \frac{(U_1')^2}{U_{1n}^2} P_v = \frac{(U_1')^2}{U_{1n}^2} \cdot \frac{P_0}{3} = 2884 \text{ W} \end{aligned} \right\} P_0' = P_h' + P_v' = \boxed{8127 \text{ W}}$$

Поред тога, услед промене учестаности, долази до промене додатних губитака у намотајима:

$$P'_{dn} = P_{d75} \left(\frac{f'}{f} \right)^2 = 1610 \text{ W}$$

Нова вредност губитака у намотајима при номиналној струји износи:

$$P'_{kn} = P_{Cu75} + P'_{dn} = \boxed{56421 \text{ W}}$$

Максимални степен искоришћења при било којој вредности фактора снаге имаће се при релативном оптерећењу:

$$\beta'_m = \sqrt{\frac{P'_0}{P'_{kn}}} = \boxed{0.3795}$$

Максимални могући степен искоришћења биће остварен при добијеном релативном оптерећењу и уз $\cos \varphi = 1$, и износи:

$$\eta'_{\max} = \frac{\beta'_m S_n}{\beta'_m S_n + 2P'_0} \cdot 100 = \boxed{99.47\%}$$

9. Поглавље 3., стране 20 и 21.