Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Катедра за енергетске претвараче и погоне

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13Е013ЕНТ)
Колоквијум – децембар 2019.

Трофазни уљни дистрибутивни индустријски трансформатор има номиналне податке: Sn = 1000 kVA, U_{1n} / U_{02} = 20 / 6.3 kV, спрега YNd7, f = 50 Hz, P_0 = 1.5 kW, j_0 = 1.5%. Из огледа кратког споја који је рађен при номиналној струји и температури намотаја од 20°C добијено је: P_{k20} = 13 W, u_{k20} = 5%. Отпорности измерене између прикључака намотаја при једносмерној струји и температури од 20 °C износе R_{1DC} = 5 Ω и R_{2DC} = 0.5 Ω. Сматрати да је Филдов сачинилац исти за оба намотаја и да је Штајнмицов коефицијент једнак 1.8, а однос губитака услед хистерезиса и вихорних струја је P_{hn}:P_{vn}=3:1.

1. а) Нацртати векторски дијаграм напона и шеме веза представљајући намотаје као калемове. Означити све прикључке намотаја (почетке и крајеве). ..... **(8)**
б) Колики ће бити фазни померај између линијског напона примара U_{AB} и линијског напона секундара U_{ab} се ознака на изводима трансформатора промени са a на b, односно са b на a? . ..... **(7)**
2. Полазећи од познате динамичке магнетне карактеристике за мрежну учестаност 50 Hz скицирати таласни облик струје празног хода у току 10 ms, односно у току полупериоде у којој се напон напајања мења по косинусној функцији: $u(t)=U_m \cos(\omega t)$. Одговарајућа вредност максимума магнетне индукције у језгру износи $U_m/(N\omega S_{Fe})$. **(15)**
3. За колико се промене губици у гвожђу и струја празног хода трансформатора ако се магнетско коло са једностепеним крстастим пресеком промени на двостепени при чему се коефицијент испуне круга повећа са 0,62 на 0,76. Напон напајања, фреквенција и број навојака примара остају непромењени. . ..... **(15)**
4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме са НН стране при номиналној температури од 75°C и нацртати шему са уписаним бројним вредностима параметара. Колико износи напон кратког споја трансформатора на температури од 75°C? . ..... **(20)**
5. Ако је пад напона у процентима на крајевима трансформатора једнак $u_k/2$ при оптерећењу од 500kVA израчунати фактор снаге и природу оптерећења које је прикључено на крајеве секундара. Колико при томе износи степен искоришћења снаге? Колико треба повећати процентуално напон примара да би се на секундару имао номинални напон? За сва израчунавања користити упрошћену формулу за пад напона. . ..... **(15)**
6. Нацртати G заменску шему трансформатора, за случај из претходног задатка. . ..... **(10)**
7. При огледу загревања трансформатора који се врши у кратком споју тако што се губици у намотајима подесе на вредност која је једнака укупним номиналним губицима (губици у бакру и гвожђу) постиже се у устаљеном стању пораст температуре уља у термометарском џепу од 50K. Ако се у нормалном раду на трансформатор прикључи оптерећење које је 50% веће од номиналног, одредити време које сме да ради, а да температура горњег уља не пређе вредност од 55K. Временска константа масе трансформатора износи 2h. Сматрати да је пораст температуре горњег уља у стационарном стању сразмеран укупној снази губитака у трансформатору. ..... **(10)**
8. **а)** Нацртати топлотну шему са три чвора (један чвор за намотај примара, један чвор за намотај секундара и један чвор за остале делове трансформатора – уље, језгро и суд) и три топлотна капацитета. ..... **(8)**
б) Навести значење сваког од елемената на шеми. ..... **(5)**
в) Да ли и због чега губици у чвору који одговара језгру, суду и уљу зависе од оптерећења? ..... **(7)**

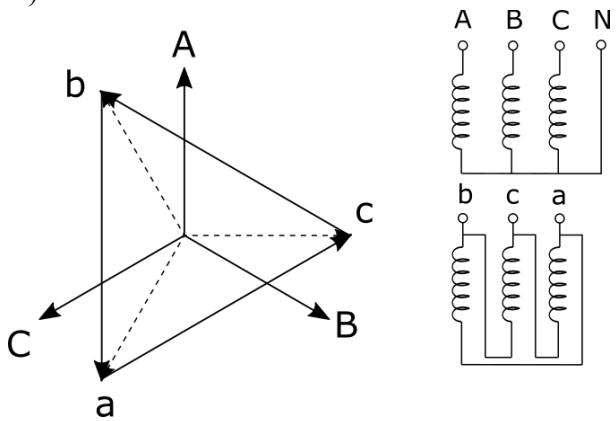
Колоквијум траје 150 минута. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

У Београду, 7.12.2019.

Проф. др Зоран Лазаревић
Проф. др Зоран Радаковић

РЕШЕЊА:

1. а)



б) 30°

2. Предавање, одељак 2.2.2

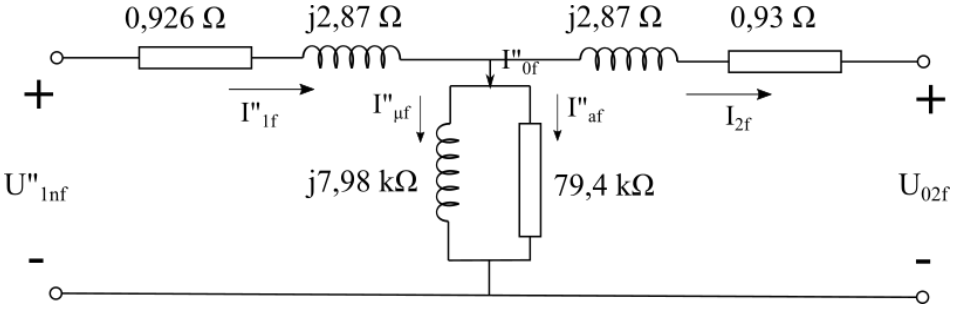
3. $U = 4{,}44 f B_m N S_{Fe} \Rightarrow B_m \sim \frac{1}{S_{Fe}} \sim \frac{0{,}62}{0{,}76} = 0.82$

$P_v = k_v f^2 B_m^2, P_h = k_h f B_m^{1{,}8}$

$P_{vn} = 0{,}75 P_{Fen}, \qquad P_{hn} = 0{,}25 P_{Fen}$

$P'_{Fe} = P_{Fen}(0{,}75 \cdot 0{,}82^{1.8} + 0{,}25 \cdot 0{,}82^2) = 1039W$

4. $R"_a = 79{,}4\ k\Omega, X"_\mu = 7{,}98\ k\Omega, I"_a = 79{,}4\ mA, I"_\mu = 789{,}5\ mA, I"_0 = 793{,}5\ mA$
$R"_{1f}^{75} = 0{,}926\ \Omega, R_{2f}^{75} = 0{,}93\ \Omega, X"_k = 5{,}132\ \Omega, u_k^{75} = 5{,}1\ \%$



5.

$\Delta u = \beta(u_r cos\varphi + u_x sin\varphi) = \frac{u_k}{2}$

$u_r cos\varphi + u_x sin\varphi = u_k$

$u_r\sqrt{1 - sin^2\varphi} + u_x sin\varphi = u_k$

$u_r{}^2(1 - sin^2\varphi) = (u_k - u_x sin\varphi)^2$

$u_r{}^2(1 - sin^2\varphi) = u_k{}^2 - 2\, u_x\, u_k sin\varphi + u_x{}^2\, sin^2\varphi$

$u_r{}^2 - u_r{}^2\, sin^2\varphi = u_k{}^2 - 2\, u_x\, u_k sin\varphi + u_x{}^2\, sin^2\varphi$

$\left(u_k{}^2 - u_r{}^2\right) + \left(u_x{}^2 + u_r{}^2\right) sin^2\varphi - 2\, u_x\, u_k sin\varphi = 0$

$$u_x{}^2 + u_k{}^2 \sin^2\varphi - 2\, u_x\, u_k \sin\varphi = 0$$

$$\sin\varphi_k = \frac{u_x}{u_k}$$

$$u_k{}^2 \sin^2\varphi_k + u_k{}^2 \sin^2\varphi - 2\, u_k{}^2 \sin\varphi \sin\varphi_k = 0$$

Решење једначине:

$$\sin\varphi = \sin\varphi_k \;\Rightarrow\; \cos\varphi = \cos\varphi_k$$

$$\cos\varphi_k = \frac{u_r}{u_k} \;\Rightarrow\; \cos\varphi = \frac{u_r}{u_k}$$

$$u_r = \frac{P_{Cun}}{S_n} \cdot 100 = 1{,}56\%$$

$$\cos\varphi = \frac{1{,}56}{5{,}1} = 0{,}3$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos\varphi}{\beta S_n \cos\varphi + \beta^2 P_{kn} + P_{0n}} = 96{,}53\%$$

$$\frac{U_1^* - U_{1n}}{U_{1n}} * 100 = \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{u_k/2}{100}\right)} - 1\right] \cdot 100 = 2{,}6\ \%$$

6. Предавања, поглавље 3, страна 8.

7. $\theta_{gu,max} = \theta_{gu,z} \frac{(1{,}5^2 P_{Cun} + P_{0n})}{(P_{Cun} + P_{0n})} \left(1 - e^{-\frac{t_x}{\tau}}\right) \Rightarrow t_x = -\tau \cdot ln\left[1 - \frac{\theta_{gu,max}}{\theta_{gu,z}} \frac{(P_{Cun} + P_{0n})}{(1{,}5^2 P_{Cun} + P_{0n})}\right] = 2{,}2h$

8. Предавања, одељак 5.3.2.