

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- јул 2022 -

Београд, 2.7.2022.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има следеће номиналне податке: $S_n=630\text{kVA}$, $U_{1n}/U_{02}=30\pm 2 \times 2,5\%/0,4\text{kV}$, $f=50\text{Hz}$, спрега Дун11, $P_0=1160\text{W}$, $j_0=3\%$, $P_k=6500\text{kW}$, $u_k=6\%$.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т8)
2. Израчунати Филдов сачинилац на температури од 75°C сматрајући да је исти за оба намотаја и занемарујући губитке у конструкционим деловима трансформатора услед расутог флукса, ако отпори мерени између прикључних крајева примара односно секундара на 20°C износе $R_1=12\Omega$ и $R_2=2\text{m}\Omega$, респективно. За колико процената се повећа Филдов сачинилац ако се фреквенција напајања повећа на 60Hz ? (310)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (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 трансформатора у празном ходу прикљученог на номинални напон примара (U_1). При објашњењу нацртати статички магнетну карактеристику. (Т10) Због чега се флукс у магнетном колу трансформатора, прикљученог на номинални напон примара, мења са оптерећењем трансформатора? (Т4)
5. Која два принципа се користе при спровођењу димензионе анализе. (Т8)
6. На које кључне техничке параметре утиче потапање активног дела трансформатора у суд испуњен уљем? (Т8)
7. При ком оптерећењу наступа апсолутни максимум степена искоришћења снаге задатог трансформатора и колико он износи? (310)
8. Задатом трансформатору се ради растерећења прикључује трансформатор истих номиналних података али чији је регулатор померен у положај $+2,5\%$. Израчунати релативну струју изједначења у намотајима секундара трансформатора. Да ли трансформатори могу да раде трајно у оваквим условима и са којим оптерећењем? (310)
9. За које снаге, напоне и струје се може формирати аутотрансформатор спреге Yy развезивањем и поновним везивањем намотаја задатог трансформатора. У којој варијанти се може остварити већа пролазна снага? (310)
10. Из прорачуна магнетног поља добијена је његова расподела (промена вредности аксијалне и радијалне компоненте поља по запремини намотаја). Написати изразе за аксијалну и радијалну компоненти силе која делује на проводник. Нацртати слику на којој су приказане силе које изазивају два типа напрезања проводника намотаја и напрезања одстојника којима се формирају радијални канали за хлађење. (Т10)

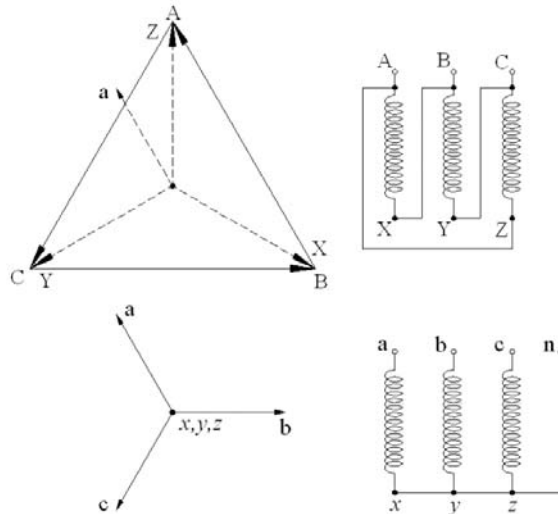
Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

др Зоран Радаковић
др Зоран Лазаревић

РЕШЕЊА

2.7.2022.

1.



2.

Отпорности по фази намотаја примара и секундара на 20°C износе:

$$R_{1f} = \frac{3}{2} R_1 = \frac{3}{2} \cdot 12 = 18 \, \Omega, \quad R_{2f} = \frac{R_2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} = 1 \, m\Omega$$

Номиналне фазне струје примара и секундара износе:

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{3U_{1n}} = \frac{630}{3 \cdot 30} = 7 \, A, \quad I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{02}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909,3 \, A,$$

Губици у бакуру на 20°C услед једносмерне струје у намотајима износе:

$$P_{Cu}^{20} = 3(R_{1f}I_{1nf}^2 + R_{2f}I_{2nf}^2) = 3 \cdot (18 \cdot 7^2 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 909,3^2) = 5126,5 \, W$$

Када се ови губици прерачунају на 75°C износе:

$$P_{Cu}^{75} = P_{Cu}^{20} \cdot \frac{310}{255} = 6232,2 \, W$$

Па је Филдов сачинилац на 75°C:

$$k_F^{75} = \frac{P_k^{75}}{P_{Cu}^{75}} = \frac{6500}{6232,2} = 1,043$$

Филдов сачинилац се може написати као:

$$k_F = 1 + \Delta k_F$$

При чему је Δk_F :

$$\Delta k_F \sim f^2$$

па је:

$$\Delta k_F^{60} = \left(\frac{60}{50}\right)^2 \cdot \Delta k_F^{50} = 1,44 \cdot \Delta k_F^{50}$$

Процентуална промена износи:

$$\frac{k_F^{60} - k_F^{50}}{k_F^{50}} \cdot 100 = \frac{1,44 \cdot \Delta k_F^{50} - \Delta k_F^{50}}{k_F^{50}} \cdot 100 = \frac{0,44 \cdot 0,043}{1,043} \cdot 100 = 1,8 \%$$

3.

ПХ:

$$R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_{0n}/3} = \frac{400^2}{1160} = 138 \Omega \Rightarrow I_{a2f} = \frac{U_{02f}}{R_a} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 138} = 1,673 \text{ A}$$

$$I_{02f} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = 27,279 \text{ A} \Rightarrow I_{\mu 2f} = \sqrt{I_{02f}^2 - I_{a2f}^2} = 27,228 \text{ A}$$

$$X_\mu'' = \frac{U_{02f}}{I_{\mu 2f}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 27,228} = 8,48 \Omega$$

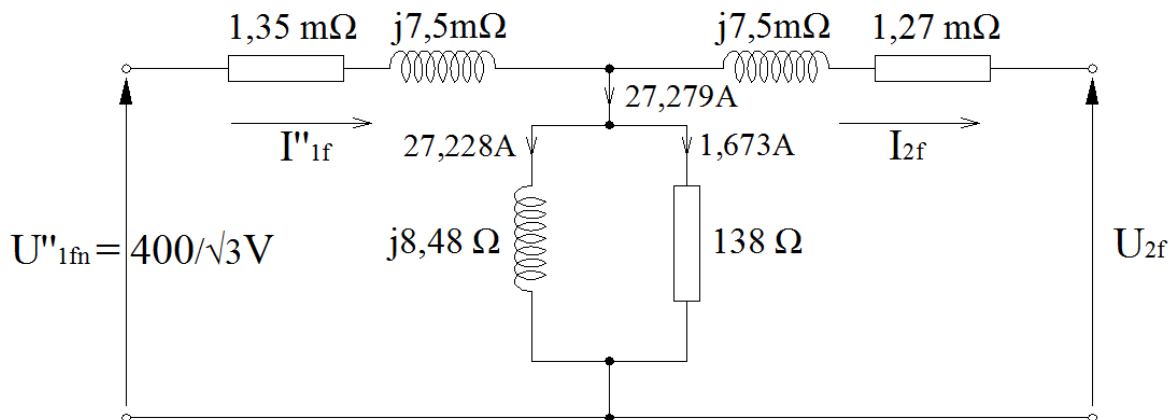
КС:

$$I) R_1'' = 18 \cdot \frac{310}{255} \cdot 1,043 \cdot \left(\frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 30} \right)^2 = 1,35 \text{ m}\Omega, R_2'' = 10^{-3} \cdot \frac{310}{255} \cdot 1,043 = 1,27 \text{ m}\Omega$$

$$II) R_k = \frac{P_{kn}}{3I_{2nf}^2} = \frac{6500}{3 \cdot 909,3^2} = 2,62 \text{ m}\Omega = R_1 + R_2''$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \frac{U_{02f}}{I_{2nf}} = \frac{6}{100} \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 909,3} = 15,24 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \approx 15 \text{ m}\Omega$$

$$\Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X'_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 7,5 \text{ m}\Omega$$



4. Испитни рок фебруар 2022, задатак 4.

5. Константна магнетна индукција у магнетном колу и густина струје

Одржавање граничне температуре без интервенције на расхладном систему (повећање расхладне површине додавањем радијатора или интензитета хлађења). Расхладна површина се повећава само на рачун повећања димензија трансформатора, при чему се густина струје и магнетне индукције смањује $1 / \sqrt{k}$ пута.

6. Електроизолациона својства и хлађење активног дела – проводника и магнетног кола.

7.

Апсолутни максимум степена искоришћења снаге наступа за:

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_{on}}{P_{kn}}} = \sqrt{\frac{1160}{6500}} = 0,42, \quad \cos\varphi = 1$$

Па је максимални степен искоришћења снаге:

$$\eta_m = \frac{\beta_m S_n}{\beta_m S_n + 2P_{on}} = \frac{0,42 \cdot 630}{0,42 \cdot 630 + 2 \cdot 1,16} = 0,9913 \Rightarrow \eta_{m,\%} = 99,13 \%$$

8.

Из формуле за релативну струју изједначења следи тражена вредност:

$$i_i = \frac{\Delta n}{u_{k1\%} + u_{k2\%}} = \frac{2,5}{12} = 0,21 \text{ r.j.}$$

Могу да раде трајно али са оптерећењем мањим од номиналног.

9. I)

$$n_a = \frac{30 + \frac{0,4}{\sqrt{3}}}{30} = 1,0077 \Rightarrow S_a = \frac{n_a}{n_a - 1} S_T = \frac{1,0077}{0,0077} 630 = 82,5 \text{ MVA}$$

$$U_{1a} = \sqrt{3} \cdot \left(30 + \frac{0,4}{\sqrt{3}}\right) = 52,4 \text{ kV}, \quad U_{2a} = \sqrt{3} \cdot 30 = 51,96 \text{ kV}$$

$$I_{1a} = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_{1a}} = \frac{82,5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 52,4 \cdot 10^3} = 909 \text{ A}, \quad I_{2a} = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_{2a}} = \frac{82,5 \cdot 10^6}{3 \cdot 30 \cdot 10^3} = 915,6 \text{ A}$$

II)

$$n_a = \frac{30 + \frac{0,4}{\sqrt{3}}}{\frac{0,4}{\sqrt{3}}} = 130,9 \Rightarrow S_a = \frac{n_a}{n_a - 1} S_T = \frac{130,9}{129,9} 630 = 634,8 \text{ kVA}$$

$$U_{1a} = \sqrt{3} \cdot \left(30 + \frac{0,4}{\sqrt{3}}\right) = 52,4 \text{ kV}, \quad U_{2a} = \sqrt{3} \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} = 400 \text{ V}$$

$$I_{1a} = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_{1a}} = \frac{634,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 52,4 \cdot 10^3} = 7 \text{ A}, \quad I_{2a} = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_{2a}} = \frac{634,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 916,3 \text{ A}$$

Већа пролазна снага се остварује у првој варијанти.

10.

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$$

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_a = F_z$$

Напрезање проводника: на савијање (како између радијалних одстојника, изазвано силом F_a , тако и како између аксијалних одстојника, изазвано силом F_r) и на кидање (изазвано силом F_r).

Напрезање одстојника: на притисак, одређен као количник силе на проводник и укупног попречног пресека (број одстојника помножен са пресеком једног одстојника на проводнику). Највеће напрезање на одстојнике се јавља на радијалним одстојницима на средини намотаја, јер на том месту делује сила једнака збиру сила од дна намотаја до средине, односно од врха намотаја до средине намотаја, које делују у смеру смањења аксијалне димензије намотаја.