



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

Први колоквијум (први термин) из предмета Термички процеси у електроенергетици (19Е014ТПЕ)

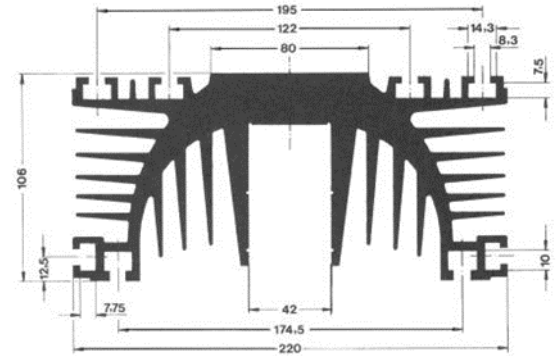
Испит траје максимално 120 минута

Укупан број поена износи 11

Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

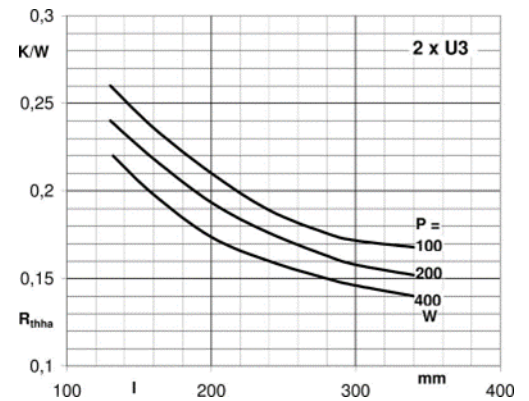
09. 12. 2023.

1. Хладњак приказан на слици 1 се користи за хлађење једног транзистора тако да у устаљеном стању, при природном струјању ваздуха, његова температура буде испод задате вредности од 100°C . Одредити температуру транзистора у случају принудног струјање ваздуха брзином од 10 m/s . Снага генерисања губитака у транзистору је 100 W . Отпор провођењу топлоте кроз транзистор је $R_{T_i} = 0,4\text{ K/W}$. Еквивалентни отпор провођењу топлоте кроз хладњак и преласку топлоте природним струјањем са хладњака на околни ваздух је дат на слици 2, а за случај принудног струјања на слици 3, као зависност $R_{thha}(l, P)$. Температура амбијента је 40°C . (3п)



Слика 1 - Изглед и димензије хладњака

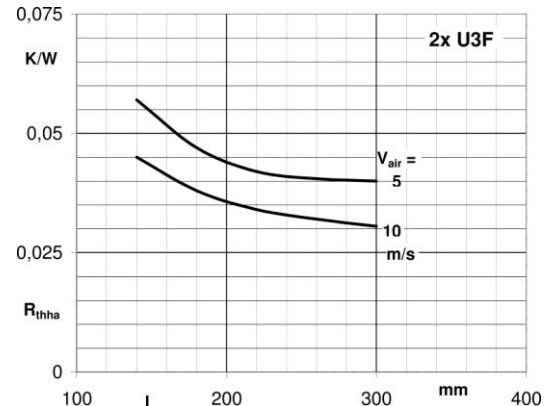
2. Посматра се хлађење суда енергетског уљног трансформатора у два случаја: 1) температура ваздуха 30°C , површинска густини снаге сунчевог зрачења која пада на површ суда 800 W/m^2 ; 2) температура ваздуха 0°C , без додатног загревања услед сунчевог зрачења. Одредити температуру уља у случају 2) за коју је снага која се преноси са уља једнака снази у случају 1) при температури уља од 80°C . Коефицијент размене топлоте струјањем између површи суда и ваздуха је $7\text{ W/(m}^2\text{K)}$. Коефицијент сивоће површи суда износи $0,8$. Отпор преносу топлоте струјањем са унутрашње површи зида, као и отпори преносу топлоте провођењем кроз зид (добре топлотне проводности λ) и танке слојеве заштитних премаза на унутрашњој (δ_{pi}) и спољашњој (δ_{ps}) страни могу се занемарити. Загревање зида услед расутог флукса се може занемарити. (3п)



Слика 2 - Еквивалентни топлотни отпор у случају природног струјања

3. Објаснити поступак извођења фабричког огледа загревања енергетских уљних трансформатора. Приказати шему веза током периода загревања, као и шему мерења температуре намотаја након искључења трансформатора. (2,5п)

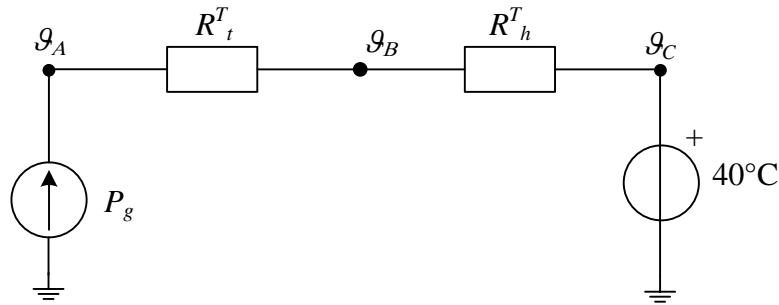
4. Колико износи максимално дозвољена вредност једносмерне струје која протиче кроз кабл чије су карактеристике дате у наставку, а који је директно положен у тло специфичне топлотне отпорности: 1) $\rho_z = 1\text{ (mK/W)}$ и 2) $\rho_z = 2,5\text{ (mK/W)}$. Једножилни кабл пресека $S_{Cu} = 95\text{ mm}^2$ је сачињен од бакра (специфична електрична проводност на 20°C $\sigma_{20\text{ Cu}} = 56 \cdot 10^6\text{ S/m}$ и коефицијент линеарног пораста специфичне електричне отпорности са температуром $\alpha_{Cu20} = 4,29 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$). Кабл је изолован PVC изолацијом дебљине изолације $d_{iz} = 1\text{ mm}$ (топлотне специфичне проводности $\lambda_i = 0,16\text{ W/(mK)}$). Максимална дозвољена температура PVC изолације износи $\vartheta_{doz} = 70^{\circ}\text{C}$. Сматрати да се као "удаљено референтну тло", на коме је температура једнака $\vartheta_z = 20^{\circ}\text{C}$, може узети цилиндар пречника $D_{ref} = 1000\text{ mm}$. (2,5п)



Слика 3 - Еквивалентни топлотни отпор у случају принудног струјања

1. Задатак

Еквивалентна топлотна шема је приказана на слици 1.1.



Слика 1.1 – Топлотна шема

Тачка В представља спој хладњака и транзистора. Са једне стране тачке В налази се отпор провођењу топлоте кроз транзистор а са друге еквивалентни отпор провођењу топлоте кроз хладњак и преносу топлоте струјањем са хладњака на околни ваздух. Тачка С представља околину. У тачку А се инјектира снага губитака P_g и њен потенцијал, односно температура представља тражену температуру.

У устаљеном стању целокупна снага генерисана у транзистору се са хладњака одводи у околину. У случају када је струјање природно, температура тачке А мора бити мања од 150°C тј. максимална вредност укупног топлотног отпора је

$$R_{uk, prirodno}^T = R_t^T + R_{h, prirodno}^T = \frac{\vartheta_{A, prirodno} - \vartheta_C}{P_g} = \frac{100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{100\text{ W}} = 0,6\text{ K/W}. \quad (1.1)$$

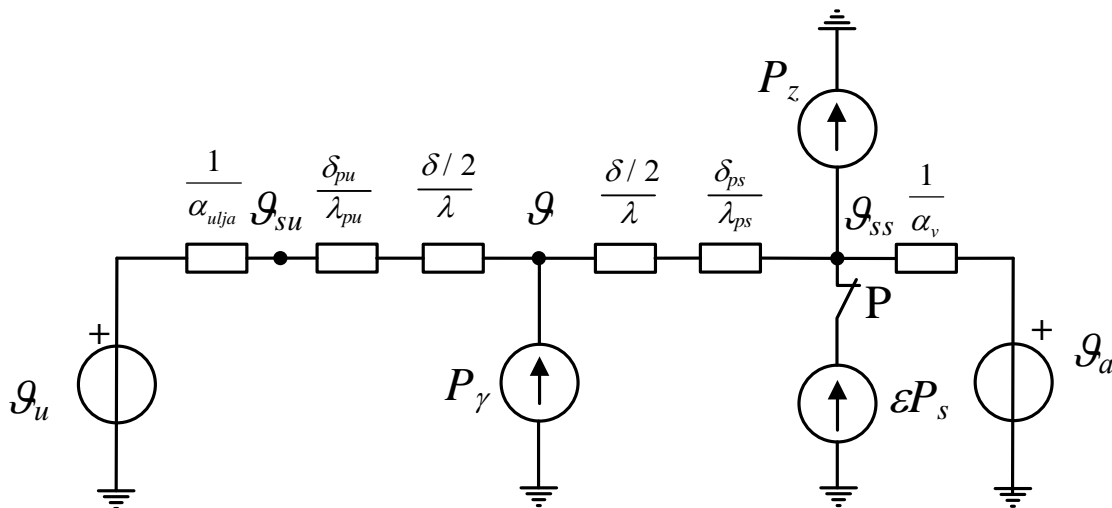
Пошто је вредност отпора R_t^T дата у тексту задатка, вредност отпора $R_{h, prirodno}^T$ износи $0,6\text{ K/W} - 0,4\text{ K/W} = 0,2\text{ K/W}$. На основу познате вредности отпора ($0,2\text{ K/W}$) и снаге губитака (100 W) са графика $R_h^T(l, P)$ са слике 2 се одређује минимална дужина хладњака од 220 mm .

У случају принудног струјања ваздуха, вредност еквивалентног топлотног отпора хладњака $R_{h, prinudno}^T$ одређена на основу дијаграма са слике 3, је $0,035\text{ K/W}$. Температура транзистора у овом случају је

$$\vartheta_{A, prinudno} = P_g (R_t^T + R_{h, prinudno}^T) + \vartheta_C = 100\text{ W} \cdot (0,4\text{ K/W} + 0,035\text{ K/W}) + 40^\circ\text{C} = 83,5^\circ\text{C}. \quad (1.2)$$

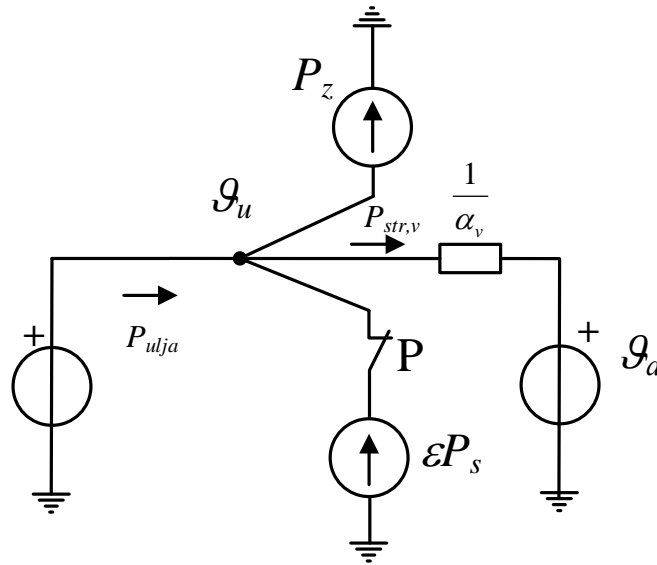
2. Задатак

На слици 2.1 је приказана заменска шема са концентрисаним параметрима која описује топлотни процес загревања. Када је прекидач P затворен, шема моделује загревање трансформаторског суда у првом случају, док је за загревање другом случају прекидач P отворен.



Слика 2.1

По тексту задатка, могуће је занемарити топлотне отпоре услед струјања уља, као и услед провођења топлоте кроз зид суда и танке заштитне премазе на унутрашњој и спољашњој страни зида тј. може се сматрати да је $\vartheta_u = \vartheta_{su} = \vartheta = \vartheta_{ss}$. Тиме се шема са слике 2.1 своди на шему приказану на слици 2.2.



Слика 2.2

У првом случају температура уља је 80°C , док је једначина биланса снаге за чвор ϑ_u на слици 2.2 је

$$P_{ulja,1} + \varepsilon P_s = P_{z,1} + P_{str,v,1}, \quad (2.1)$$

$$P_{ulja,1} = \varepsilon \cdot \sigma_c \left((273,15 + \vartheta_{u,1})^4 - (273,15 + \vartheta_{a,1})^4 \right) + \frac{\vartheta_{u,1} - \vartheta_{a,1}}{\frac{1}{\alpha_v}} - \varepsilon P_s. \quad (2.2)$$

$$P_{ulja,1} = 322,43 \text{ W} + 350 \text{ W} - 640 \text{ W} = 32,43 \text{ W}. \quad (2.3)$$

У другом случају нема додатног загревања услед сунчевог зрачења, па је једначина биланса снага

$$P_{ulja,2} = P_{z,2} + P_{str,v,2}. \quad (2.4)$$

По услову задатка треба да важи

$$P_{ulja,2} = P_{z,2} + P_{str,v,2} = P_{ulja,1}. \quad (2.5)$$

$$\varepsilon \cdot \sigma_c \left((273,15 + \vartheta_{u,2})^4 - (273,15 + \vartheta_{a,2})^4 \right) + \alpha_v (\vartheta_{u,2} - \vartheta_{a,2}) = 32,43 \text{ W}. \quad (2.6)$$

Решавањем једначине (2.6) добија се вредност температуре зида у другом случају $\vartheta_{u2} = 3,01^\circ\text{C}$.

3. Задатак

Часови предавања 6 до 9, поглавља 4.2 и 4.9.2.

4. Задатак

Укупна топлотна отпорност је:

$$R_l^T = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_s}{D_u}\right) + \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{D_{ref}}{D_s}\right) \quad (4.1)$$

Пречници проводника и проводника са изолацијом једнаки су:

$$D_u = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 95}{\pi}} = 10,998\text{mm} \approx 11\text{mm} \quad (4.2)$$

$$D_s = D_u + 2\delta_{iz} = 11\text{mm} + 2\text{mm} = 13\text{mm} \quad (4.3)$$

Па је топлотна отпорност:

- У првом случају:

$$R_{l,1}^T = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,16 \frac{W}{m \cdot K}} \cdot \ln\left(\frac{13\text{mm}}{11\text{mm}}\right) + \frac{1 \frac{m \cdot K}{W}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{1000\text{mm}}{13\text{mm}}\right) = 0,86 \frac{Km}{W} \quad (4.4)$$

- У другом случају:

$$R_{l,2}^T = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,16 \frac{W}{m \cdot K}} \cdot \ln\left(\frac{13\text{mm}}{11\text{mm}}\right) + \frac{2,5 \frac{m \cdot K}{W}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{1000\text{mm}}{13\text{mm}}\right) = 1,89 \frac{Km}{W} \quad (4.5)$$

Електрична отпорност проводника једнака је:

$$R_{Cu}^{70^\circ\text{C}} = \frac{1}{\sigma \cdot S} (1 + \alpha(70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})) = \frac{1}{56 \cdot 95} (1 + 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 50) = 2,28 \cdot 10^{-4} \Omega m \quad (4.6)$$

Једначина енергетског биланса гласи:

$$R_{Cu} I^2 = \frac{\vartheta_{doz} - \vartheta_z}{R_l^T} \quad (4.7)$$

Одавде добијамо израз за дозвољену струју:

$$I = \sqrt{\frac{\vartheta_{doz} - \vartheta_z}{R_{Cu} R_l^T}} \quad (4.8)$$

- У првом случају:

$$I_1 = \sqrt{\frac{70 - 20}{2,28 \cdot 10^{-4} \Omega m \cdot 0,86 \frac{Km}{W}}} = 505,74 \text{ A} \quad (4.9)$$

- У другом случају:

$$I_2 = \sqrt{\frac{70 - 20}{2,28 \cdot 10^{-4} \Omega m \cdot 1,89 \frac{Km}{W}}} = 340,25 \text{ A} \quad (4.10)$$