



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

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

Максимално трајање 120 минута

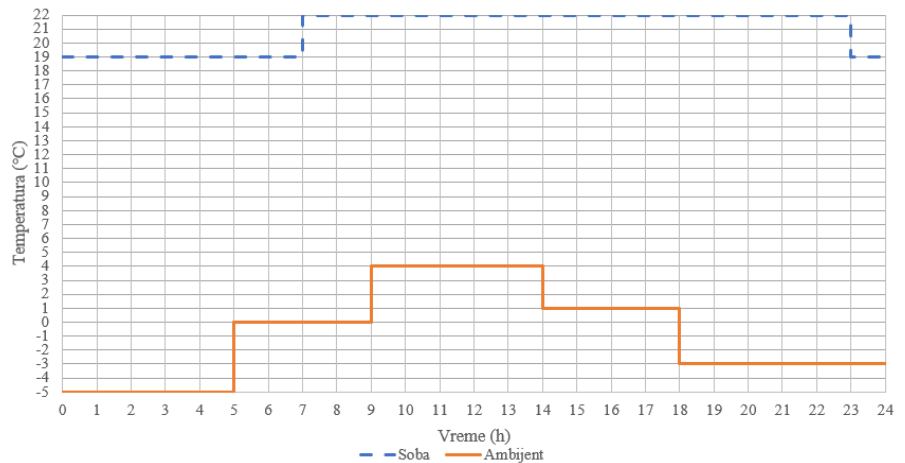
28. 12. 2023.

Укупан број поена износи 11

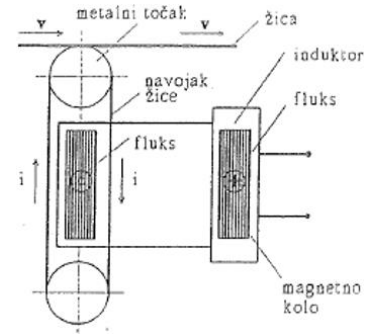
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. Модул базиран на примени Пелтјеове електромоторне силе димензија $60 \times 48 \text{ mm}$, има $N = 126 \text{ pn}$ спојева. Однос пресека кроз који протиче струја и дебљине елемента је $S/L = 1,5 \text{ mm}$. Топлотни отпора провођењу топлоте кроз електроизолациони слој (керамику) и контактни топлотни отпор могу се описати еквивалентним коефицијентом преноса топлоте $k_p = 0,33 \text{ W}/(\text{cm}^2\text{K})$. Модул ради у режиму топлотне пумпе. Одредити снагу којом се топлоте одузима хладном флуиду и снагу којом се она предаје топлом флуиду, ако су температуре топле и хладне стране pn спојева 62°C и 11°C , а напон на прикључцима модула је 15 V . При решавању користити упрошћени модел. Температурна зависност карактеристика материјала од којих су направљени pn спојеви је (T (K) представља апсолутну температуру): $a[\text{V}/\text{K}] = 2\alpha = 2 \cdot (22224 + 930,6 \cdot T - 0,9905 \cdot T^2) \cdot 10^{-9}$, $\rho[\Omega \cdot \text{cm}] = (5112 + 163,4 \cdot T + 0,6279 \cdot T^2) \cdot 10^{-8}$, $\lambda[\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})] = (62605 - 277,7 \cdot T + 0,4131 \cdot T^2) \cdot 10^{-6}$. Карактеристике ρ и λ се приближно могу одредити на средњој вредности температуре топле и хладне стране pn спојева. (3п)

2. Термоакумулациона (ТА) пећ, инсталисане снаге $P_n = 4,5 \text{ kW}$, користи се за загревање једне просторије димензија $a \times b = 5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, висине $h = 2,5 \text{ m}$. Одредити потребан топлотни капацитет изотермичког језгра пећи C^T који омогућава, током периода ниже тарифе (0:00h – 8:00h), акумулацију довољне количине топлоте за загревање просторије током преосталог дела дана (без додатног укључивања грејача). Колико дуго ће грејач бити укључен у овом периоду? Дневни профил температуре у просторији и амбијенталне температуре приказан је на слици. Може се сматрати да еквивалентни коефицијент преноса топлоте од ваздуха у просторији ка амбијенталном ваздуху има вредност $k_{p,plus} = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ током периода када је температура амбијента већа или једнака 0°C , а вредност $k_{p,minus} = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ када је мања. Изнад и испод просторије, као и поред једног од два дужа зида се налазе загревани простори чија је температура једнака температури у посматраној просторији. Максимална дозвољена температура изотермичког језгра пећи је 700°C , а минимална потребна за ефикасно загревање просторије је 100°C . (3п)



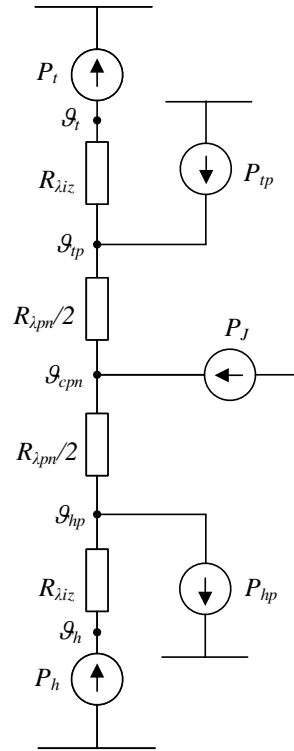
3. Загревање бакарних проводника пре наношења изолације врши се као на слици. Одредити јачину струје кроз проводник пресека $S_{Cu} = 1,5 \text{ mm}^2$, који се загрева од 20°C до 80°C . Брзина проводника је $v = 1 \text{ m/s}$. Дужина навојка у секундару је $L = 2 \text{ m}$. Одредити и број навојака у примару за прикључак на напон 230 V , 50 Hz . За бакар је познато: специфична топлотна проводност $\lambda_{Cu} = 900 \text{ W}/(\text{mK})$, специфични запремински топлотни капацитет $C_{Cu} = 3,46 \cdot 10^3 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{K})$ и специфична електрична проводност $\sigma_{Cu} = 57 \cdot 10^6 \text{ S/m}$. Може се сматрати да су ове величине константне у посматраном температурном опсегу. Сматрати да је загревање проводника адијабатско. (2,5п)



4. На једној слици нацртати напонску карактеристику извора напајања за три различита броја ампернавојака на примару трансформатора за напајање уређаја за електролучно заваривање, заједно са карактеристиком лука, за две различите дужине лука (l_1 и l_2). Цртеж треба да илуструје сва три случаја пресека карактеристика: да нема пресечних тачака, да постоји једна пресечна и да постоје две пресечне тачке. Означити тачке стабилног горења лука. (2,5п)

1. Задатак

Упрошћена топлотна шема за модул у режиму топлотне пумпе приказана је на слици 1.1.



Слика 1.1 – Топлотна шема

$$\underline{N} := 126 \quad SL := 0.15 \quad Sp := 28.8 \quad \kappa p := 0.33$$

$$a(T) := 2 \cdot (22224 + 930.6 \cdot T - 0.9905 \cdot T \cdot T) \cdot 10^{-9}$$

$$\rho(T) := (5112 + 163.4 \cdot T + 0.6279 \cdot T \cdot T) \cdot 10^{-8}$$

$$\lambda(T) := (62605 - 277.7 \cdot T + 0.4131 \cdot T \cdot T) \cdot 10^{-6}$$

$$t_{tp} := 62 \quad t_{hp} := 11 \quad U := 15$$

$$t_p := \frac{t_{tp} + t_{hp}}{2} = 36.5$$

$$E := N \cdot a(t_{tp} + 273.16) \cdot (t_{tp} + 273.16) - N \cdot a(t_{hp} + 273.16) \cdot (t_{hp} + 273.16) = 4.022$$

$$Re_{pn} := 2 \cdot N \cdot \rho(t_p + 273.16) \cdot \frac{1}{SL} \quad R_{tpn} := \frac{1}{\lambda(t_p + 273)} \cdot \frac{1}{SL} \cdot \frac{1}{2 \cdot N} = 1.63$$

$$I := \frac{U - E}{Re_{pn}} = 5.637 \quad P_{pn} := Re_{pn} \cdot I^2 = 61.879$$

$$P_{tp} := N \cdot a(t_{tp} + 273.16) \cdot (t_{tp} + 273.16) \cdot I = 106.102$$

$$P_{hp} := N \cdot a(t_{hp} + 273.16) \cdot (t_{hp} + 273.16) \cdot I = 83.427$$

$$t_{cpn} := \frac{\left(P_{pn} \cdot \frac{R_{tpn}}{2} + t_{tp} + t_{hp} \right)}{2} = 61.719$$

$$P_{kagore} := \frac{t_{cpn} - t_{tp}}{\frac{R_{tpn}}{2}} = -0.344$$

$$P_{kadole} := \frac{t_{cpn} - t_{hp}}{\frac{R_{tpn}}{2}} = 62.224$$

$$P_t := P_{tp} + P_{kagore} = 105.757$$

$$P_h := P_{hp} - P_{kadole} = 21.204$$

2. Задатак

Укупна површина зидова који се хладе (у додиру са амбијенталним ваздухом) је

$$S = 2ah + bh = 32,5 \text{ m}^2 \quad (2.1)$$

На основу дијаграма промене температуре амбијенталног ваздуха и ваздуха у просторији могуће је одредити средњу вредност снаге губитака за сваки од интервала (слика 2.1):

$$P_{0h-5h} = k_{p,minus}S(19^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})) = 429 \text{ W} \quad (2.2)$$

$$P_{5h-7h} = k_{p,plus}S(19^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 277,87 \text{ W} \quad (2.3)$$

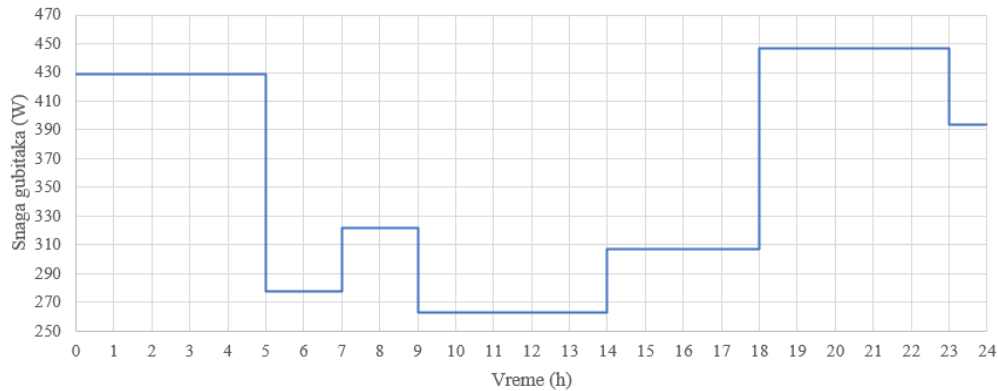
$$P_{7h-9h} = k_{p,plus}S(22^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 321,75 \text{ W} \quad (2.4)$$

$$P_{9h-14h} = k_{p,plus}S(22^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}) = 263,25 \text{ W} \quad (2.5)$$

$$P_{14h-18h} = k_{p,plus}S(22^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C}) = 307,12 \text{ W} \quad (2.6)$$

$$P_{18h-23h} = k_{p,minus}S(22^\circ\text{C} - (-3^\circ\text{C})) = 446,87 \text{ W} \quad (2.7)$$

$$P_{23h-24h} = k_{p,minus}S(19^\circ\text{C} - (-3^\circ\text{C})) = 393,25 \text{ W} \quad (2.8)$$



Слика 2.1

Топлотни капацитет изотермичког језгра пећи треба да буде довољно велики да би акумулисао сву енергију потребну за загревање просторије у периоду од 8:00h до 24:00h:

$$C^T(\vartheta_{max} - \vartheta_{min}) = \sum_{i=1}^6 P_i t_i \quad (2.9)$$

$$C^T = \frac{P_{7h-9h} \cdot 1h + P_{9h-14h} \cdot 5h + P_{14h-18h} \cdot 4h + P_{18h-23h} \cdot 5h + P_{23h-24h} \cdot 1h}{700^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}} = \frac{19,78 \text{ MJ}}{600\text{K}} = 32,96 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \quad (2.10)$$

Током периода од 0:00h до 8:00h из електроенергетског система потребно је преузети енергију којом би се обезбедило „пуњење“ пећи, као и надокнадили губици ка амбијенту:

$$C^T(\vartheta_{max} - \vartheta_{min}) = P_g t_g - P_{0h-5h} \cdot 5h - P_{5h-7h} \cdot 2h - P_{7h-9h} \cdot 1h \quad (2.11)$$

па је време рада грејача

$$t_g = \frac{C^T(\vartheta_{max} - \vartheta_{min}) + P_{0h-5h} \cdot 5h + P_{5h-7h} \cdot 2h + P_{7h-9h} \cdot 1h}{P_g} = \frac{19,78 \text{ MJ} + 10,88 \text{ MJ}}{4500 \text{ W}} = 1,9 \text{ h} \quad (2.12)$$

На основу релативно кратког времена рада грејача може се закључити да је номинална снага пећи непотребно велика за загревање оваквог простора тј. није било потрено потребно трошити додатни новац за куповину пећи ове снаге. Бољи избор би била пећ номиналне снаге нпр. 2 kW, чији грејач би био укључен 4,3h.

3. Задатак

Снага акумулације топлоте у проводнику је

$$P_{akum} = \frac{VC_{cu}\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{S_{cu}v\Delta t C_{cu}\Delta\theta}{\Delta t} = S_{cu}vC_{cu}\Delta\theta \quad (3.1)$$

Пошто се процес загревања може посматрати као адијабатски, једначина биланса снага своди се на једнакост снаге акумулисања (3.10) и снаге Џулових губитака у проводнику:

$$\frac{1}{\sigma_{cu}} \frac{L}{S_{cu}} I^2 = S_{cu}vC_{cu}\Delta\theta \quad (3.2)$$

Сада је могуће одредити струју кроз бакарни проводник

$$I = \sqrt{S_{Cu} v C_{Cu} \Delta \theta \frac{\sigma_{Cu} S_{Cu}}{L}} = 115,4 \text{ A} \quad (3.3)$$

Напон на секундару, који чини један навојак у кратком споју, је

$$U = RI = \sqrt{v C_{Cu} \Delta \theta \frac{L}{\sigma_{Cu}}} = 2,7 \text{ V} \quad (3.4)$$

па је број навојака на примару $N = 230/2,7 \approx 85$.

4. Задатак

Часови предавања 19 до 22, слајдови 23 до 25.