



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

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

Максимално трајање 120 минута

11. 01. 2024.

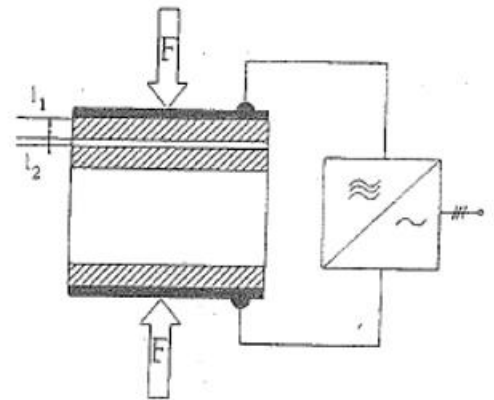
Укупан број поена износи 11

Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. Модул базиран на примени Пелтијеве 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 генератора. Одредити степен искоришћења генератора, дефинисан као однос генерисане електричне енергије и топлоте која се одузима топлој страни. Снага генерисања електричне енергије износи 7 W . Познате су температуре топле и хладне стране pn спојева 100°C и 0°C . При решавању користити упрошћени модел. Температурна зависност карактеристика материјала од којих су направљени pn спојеви је (T (K) представља апсолутну температуру):
 $\alpha[\text{V}/\text{K}] = 2\alpha = 2 \cdot (22224 + 930,6 \cdot T - 0,9905 \cdot T^2) \cdot 10^{-9}$,
 $\rho[\Omega \cdot \text{cm}] = (5112 + 163,4 \cdot T + 0,6279 \cdot T^2) \cdot 10^{-8}$,
 $\lambda[\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})] = (62605 - 277,7 \cdot T + 0,4131 \cdot T^2) \cdot 10^{-6}$. Карактеристике ρ и λ се приближно могу одредити на средњој вредности температуре топле и хладне стране pn спојева. (3п)

2. На једну округлу електроотпорну грејну плочу пречника $D = 0,1 \text{ m}$, инсталисане електричне снаге $P_{inst} = 1000 \text{ W}$, топлотног капацитета $C_p^T = 1200 \text{ J}/\text{K}$ и топлотног отпора преносу топлоте провођењем кроз ослонац, према околина, $R_p^T = 0,5 \text{ K}/\text{W}$, постављена је посуда у којој се загрева $0,5$ литар воде. Прелаз топлоте провођењем са плоче на посуду, истог пречника и равнoг дна, је добар ($R_i^T \approx 0$), а такође се може занемарити и топлотни отпор преласку топлоте струјањем са посуде на воду ($R_{2a}^T \approx 0$). Топлотни капацитет посуде износи $C_l^T = 100 \text{ J}/\text{K}$, а топлотни отпор преносу топлоте струјањем са посуде на околни ваздух $R_{1a}^T = 1 \text{ K}/\text{W}$. Специфични запремински топлотни капацитет воде износи $c_v = 4100 \text{ kJ}/\text{m}^3\text{K}$. Одредити степен искоришћења електротермичког процеса загревања воде у посуди, од температуре 20°C до тренутка кључања, и то када се посуда са водом ставља на: а) грејну плочу температуре 20°C , б) претходно загрејану грејну плочу чија је температура 100°C . Почетна температура посуде једнака је температури воде, односно температури амбијента од 20°C . (3п)

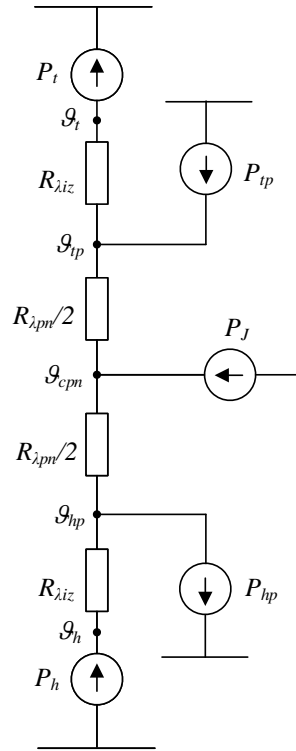
3. У производњи шпер плоча се користи диелектрично загревање на следећи начин. Између две металне плоче пресе, површине $S = 3 \text{ m}^2$, постави се $n = 6$ слојева фурнира ($\epsilon_{r1} = 4$, $\text{tg } \delta_{e1} = 0,4$), сваки дебљине $l_1 = 10^{-3} \text{ m}$ и $n - 1$ слој лепка ($\epsilon_{r2} = 5$, $\text{tg } \delta_{e2} = 0,5$), сваки дебљине $l_2 = 10^{-4} \text{ m}$. Овако формиран сендвич се изложи притиску преко металних плоча. Металне плоче се прикључују на крајеве извора електричне енергије брзопроменљивог напона, ефективне вредности $U = 1000 \text{ V}$ и учестаности $f = 5 \text{ MHz}$, као што је приказано на слици. Израчунати привидну снагу на излазу извора енергије (претварача учестаности), као и фактор снаге његовог оптерећења. Изрази за израчунавање запреминске густине активне и реактивне снаге загревања су: $p = \omega \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \text{tg } \delta \cdot E^2$ и $q = \omega \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$. $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F}/\text{m}$ (2,5п)



4. Скицирати електротермички уређај за тачкасто електроотпорно заваривање. Која три регулациона дејства се користе да би се остварио квалитетан спој, оптимизовао утрошак енергије и брзина технолошког процеса? (2,5п)

1. Задатак

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



Слика 1.1 – Топлотна шема

$$N := 126$$

$$SL := 0.15$$

$$Sp := 28.8$$

$$kp := 0.33$$

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

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

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

$$ttp := 100$$

$$thp := 0$$

$$Pg := 7$$

$$tp := \frac{ttp + thp}{2} = 50$$

$$E := N \cdot a(tp + 273.16) \cdot (ttp + 273.16) - N \cdot a(thp + 273.16) \cdot (thp + 273.16) = 7.834$$

$$Repn := 2 \cdot N \cdot \rho(tp + 273.16) \cdot \frac{1}{SL}$$

$$Rtpn := \frac{1}{\lambda(tp + 273)} \cdot \frac{1}{SL} \cdot \frac{1}{2 \cdot N} = 1.653$$

$$\text{Snaga } P = E \cdot I - \text{Repn} \cdot I^2$$

$$\text{Kvadratna jednačina: } -\text{Repn} \cdot I^2 + E \cdot I - P = 0$$

$$I_1 := \frac{-E + \sqrt{E^2 - 4 \cdot \text{Repn} \cdot P}}{-2 \cdot \text{Repn}} = 1.451$$

+

$$U := \frac{P_g}{I_1} = 4.824$$

$$P_{pn} := \text{Repn} \cdot I_1^2 = 4.368$$

$$P_{tp} := N \cdot a \cdot (t_{tp} + 273.16) \cdot (t_{tp} + 273.16) \cdot I_1 = 31.597$$

Hlađenje na toplim pn spojevima

$$P_{hp} := N \cdot a \cdot (t_{hp} + 273.16) \cdot (t_{hp} + 273.16) \cdot I_1 = 20.228$$

Grejanje na hladnim pn spojevima

$$t_{cpn} := \frac{\left(P_{pn} \cdot \frac{R_{tpn}}{2} + t_{tp} + t_{hp} \right)}{2} = 51.805$$

$$P_{kagore} := \frac{t_{cpn} - t_{tp}}{\frac{R_{tpn}}{2}} = -58.319$$

$$P_{kadole} := \frac{t_{cpn} - t_{hp}}{\frac{R_{tpn}}{2}} = 62.688$$

$$P_t := P_{tp} - P_{kagore} = 89.916$$

$$P_h := P_{hp} + P_{kadole} = 82.916$$

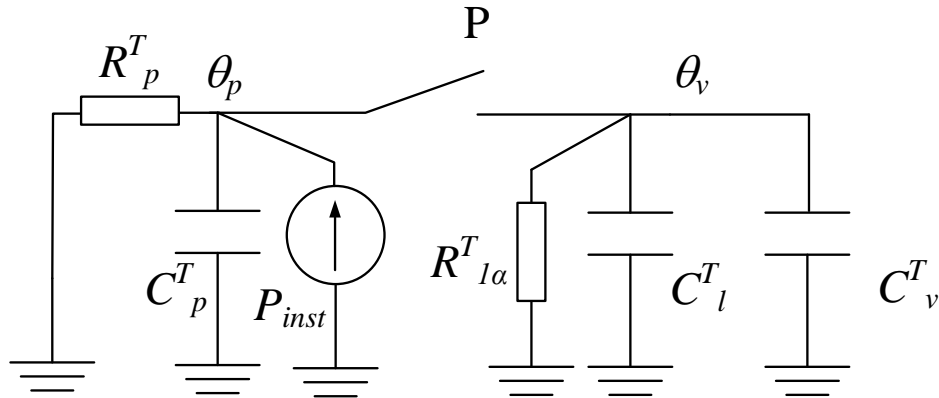
Provera energetskog bilansa

$$P_t - P_g = 82.916$$

$$\eta := 100 \cdot \frac{U \cdot I_1}{P_t} = 7.785$$

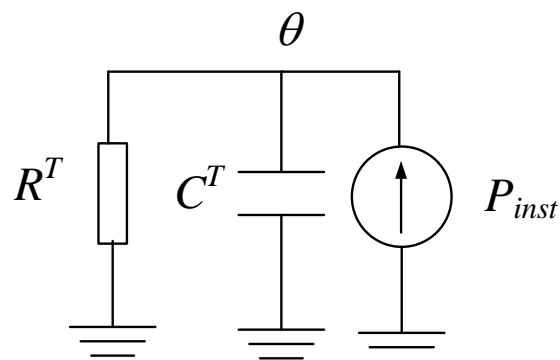
2. Задатак

Топлотна шема којом се моделује загревање приказана је на слици:



Слика 2.1

Након што се посуда са водом постави на грејну плочу, прекидач P се затвара, после чега се шема са слике 2.1 своди на



Слика 2.2

где је $R^T = 0,33 \text{ K/W}$ и $C^T = 4550 \text{ J/K}$.

Решавањем диференцијалне једначине којом се описује шема на слици 2.2 добија се познати израз за временску зависност температуре плоче, посуде и воде у односу на околину:

$$\theta(t) = \theta_0 e^{-t/\tau} + \theta_\infty (1 - e^{-t/\tau}), \quad (2.1)$$

где је $\theta_\infty = P_{inst} R^T$ и $\tau = C^T R^T$. На основу једначине (2.1) могуће је одредити време загревања воде до кључања ($\theta = 80 \text{ K}$)

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\theta_0 - \theta_\infty}{\theta - \theta_\infty} = 1240,1 \text{ s} \quad (2.2)$$

У случају под а) у почетном тренутку плоча, посуда и вода налазе се на температури амбијента, односно $\theta_0 = 0$, па је потребно време загревања

$$t = 1116,67 \text{ s} \cdot \ln \frac{0 - 333,33 \text{ K}}{80 \text{ K} - 333,33 \text{ K}} = 306,5 \text{ s}, \quad (2.3)$$

а степен искоришћења процеса загревања воде до кључања је

$$\eta = \frac{C_v^T \theta}{P_{inst} t} = 0,535 \quad (2.4)$$

У случају под б), пре затварања прекидача P температура грејне плоче је 100°C , односно $\theta_p = 100 - 20 = 80 \text{ K}$, а температура посуде са водом је $\theta_v = 20 - 20 = 0$. Након затварања прекидача долази до прерасподеле акумулисане топлоте тако да температура плоче, посуде и воде постане једнака

$$\theta_0 = \frac{\theta_p C_p^T}{C_p^T + C_l^T + C_v^T} = 28,66 \text{ K}. \quad (2.5)$$

Потребно време загревања је

$$t = 1116,67 \text{ s} \cdot \ln \frac{28,66 - 333,33 \text{ K}}{80 \text{ K} - 333,33 \text{ K}} = 206,1 \text{ s}, \quad (2.3)$$

а степен искоришћења процеса загревања воде до кључања је

$$\eta = \frac{C_v^T \theta}{P_{inst} t} = 0,796 \quad (2.4)$$

3. Задатак

Јачина електричног поља се може одредити тако што се сви слојеви дрвета, односно лепка, представе са два еквивалентна редно везана кондензатора чији су капацитети:

$$C_1 = \varepsilon_1 \frac{S}{nl_1}, \quad (3.1)$$

за n слојева дрвета и

$$C_2 = \varepsilon_2 \frac{S}{(n-1)l_2}, \quad (3.2)$$

за $n-1$ слој лепка.

Из једнакости наелектрисања на граничним површима кондензатора, могуће је одредити вредност напона на свакоме од њих

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U, \quad (3.3)$$

$$U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U. \quad (3.4)$$

Сада је могуће одредити и јачину електричног поља у слојевима дрвета и лепка:

$$E_1 = \frac{U_1}{nl_1} = \frac{U}{nl_1 + \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}}(n-1)l_2} = \frac{10^6 V}{6,4 m}, \quad (3.5)$$

$$E_2 = \frac{U_2}{(n-1)l_2} = \frac{U}{(n-1)l_2 + \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}}nl_1} = \frac{10^6 V}{8 m}. \quad (3.6)$$

Укупна снага диелектричног загревања у слојевима дрвета и лепка је

$$P = \omega \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \varepsilon_0 \cdot \operatorname{tg} \delta_{e1} \cdot E_1^2 \cdot S \cdot n \cdot l_1 + \omega \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \varepsilon_0 \cdot \operatorname{tg} \delta_{e2} \cdot E_2^2 \cdot S \cdot (n-1) \cdot l_2 = 195,5 + 16,29 = 211,79 \text{ kW}. \quad (3.7)$$

Реактивна снага која се узима из мреже се одређује као

$$Q = \omega \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \varepsilon_0 \cdot E_1^2 \cdot S \cdot n \cdot l_1 + \omega \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \varepsilon_0 \cdot E_2^2 \cdot S \cdot (n-1) \cdot l_2 = 488,75 + 32,58 = 521,33 \text{ kVAr}. \quad (3.8)$$

Привидна снага на излазу извора (претварача учестаности) је

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 562,7 \text{ kVA}. \quad (3.9)$$

Фактор снаге оптерећења је

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,376 \text{ (кар.)}. \quad (3.10)$$

4. Задатак

Часови предавања 19 до 22, слајдови 23 до 25.