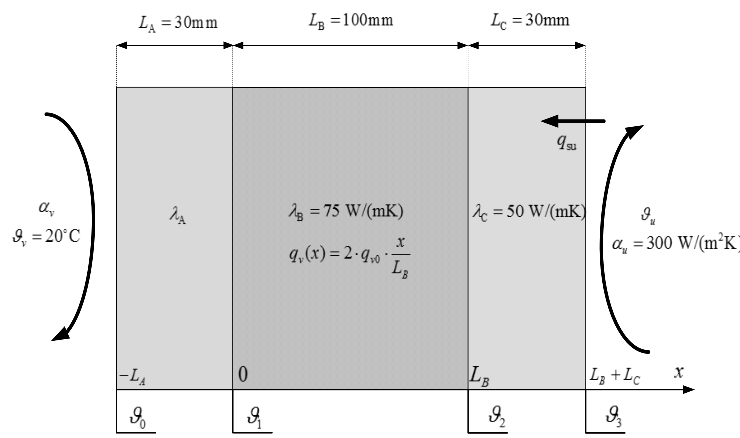
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

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

Колоквијум траје максимално 150 минута 15. 11. 2014.
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. Раван зид се састоји из три слоја, израђених од различитих материјала A, B и C. У слоју B се по запремини генерише топлота запреминском густином снаге $q_v(x) = q_{v0} \cdot \dfrac{x}{L_B}$ $\left(q_{v0} = 200 \cdot 10^3\ \mathrm{W/m^3}\right)$. Специфична топлотна проводност слоја A зависи од температуре: $\lambda_A = \lambda_{A0}(1 + b \cdot (\vartheta - \vartheta_r)),\ b = 0.005,\ \lambda_{A0} = 50\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m \cdot K}},\ \vartheta_r = 20°C.$ Гранична површ слоја A се хлади водом температуре $\vartheta_v = 20^{\circ}\mathrm{C}$, при чему коефицијент преласка топлоте струјањем зависи од разлике температура граничне површи и воде ($\theta = \vartheta_0 - \vartheta_v$): $\alpha_v(\theta) = \alpha_{v0} \cdot (|\theta| / 20)^{0.25}$ $\left(\alpha_{v0} = 1000\ \mathrm{W/(m^2K)}\right)$. Гранична површ слоја C се загрева уљем непознате температуре (ϑ_u), уз коефицијент преноса топлоте струјањем $\alpha_u = 300\ \mathrm{W/(m^2K)}$. Познато је да се топлотна енергија преноси са уља на зид површинском густином снаге $q_{su} = 10\ \mathrm{kW/m^2}$.



Одредити температуру уља (ϑ_u), и температуре граничних површи ($\vartheta_0, \vartheta_1, \vartheta_2$ и ϑ_3) и максималну температуру слоја B. / **3 поена** /

2. Написати општу температурну једначину у правоуглаоном координатном систему за случај стационарног топлотног стања у хомогеној нелинеарној топлопроводној средини. / **2.5 поена** /

3. Електроотпорна коморна пећ са индиректним загревањем, инсталисане снаге $P_n = 5\ \mathrm{kW}$, састоји се из два слоја: унутрашњег, који носи електроотпорни извор топлоте и кога карактерише велики топлотни капацитет и велика топлотна проводност, и спољашњег, топлотно изолационог, кога карактерише мали топлотни капацитет и мала топлотна проводност. Пораст температуре унутрашњости пећи (пећ је празна и њена снага износи 4 kW) у устаљеном стању износи 1600 K, а после прва два часа рада 800 K. У празну пећ, која се налази на температури амбијента, убацује се челични комад масе 200 kg (специфични топлотни капацитет челика износи 0.48 kJ/(kg K)). Израчунати време загревања овог комада до пораста температуре 1000 K и енергетску ефикасност овог процеса уколико пећ ради номиналном снагом. Колико би износили време загревања и енергетска ефикасност да се исти комад (на температури амбијента) убаци у већ загрејану пећ чији пораст температуре износи 700 K? Сматрати да се температуре унутрашњег слоја пећи и челичног комада тренутно по убацивању комада изједначе тренутно. / **3 поена** /

4. Површ бесконачно дугачког цилиндра спољашњег пречника D_{us} = 5 cm, емисивности ε_u = 0.8, потребно је загревањем унутар цилиндра одржавати на температури ϑ_u = 800 ^{0}C. За колико процената се смањује потребна снага загревања ако се око њега стави екран, у односу на ситуацију да се цилиндар налази у слободном простору (температура амбијента износи 20 ^{0}C). Као екран се користи цев чији је пречник унутрашње површи D_{su} = 7 cm, њена емисивност ε_{su} = 0.2, пречник спољашње површи D_{ss} = 8 cm и њена емисивност ε_{ss} = 0.8? Занемарити отпор преносу топлоте провођењем кроз екранску цев, као и пренос топлоте струјањем. / **2.5 поена** /

Решења задатака:

1. задатак

Укупна снага којом се топлота генерише у области B добија се интеграцијом запреминске густине снаге по запремини области:

$$q_{genB} = \iiint_B q_v \cdot dV = \int_{x=0}^{L_B} q_v(x) \cdot S \cdot dx = \frac{q_{v0} \cdot S}{2L_B}(L_B^2 - 0) = \frac{q_{v0} \cdot S \cdot L_B}{2} \tag{1.1}$$

Снага којом се топлота преноси са уља на зид износи:

$$q_{ulja} = q_{su} \cdot S \tag{1.2}$$

Снага којом се топлота преноси од области B ка области A, и даље ка води, једнака је збиру снаге којом се топлота генерише у области B и снаге којом се топлота преноси са уља на зид.

$$q_{B\to A} = q_{genB} + q_{ulja} = \frac{q_{v0} \cdot S \cdot L_B}{2} + q_{su} \cdot S \tag{1.3}$$

С обзиром да се посматра се устаљено стање, без генерисања топлоте у области A, целокупна снага која се из области B пренесе ка области A се преноси струјањем на воду. На основу тога се одређује температура ϑ_0 $(\theta = \vartheta_0 - \vartheta_v)$:

$$q_{strujanja\_v} = q_{B\to A} = \alpha_v(\theta) \cdot S \cdot \theta = \frac{\alpha_{v0} \cdot S}{20^{0.25}} \cdot \theta^{1.25} \tag{1.4}$$

$$\theta = \left(\frac{q_{B\to A} \cdot 20^{0.25}}{\alpha_{v0} \cdot S}\right)^{0.8} = \left(\frac{(\frac{q_{v0} \cdot L_B}{2} + q_{su}) \cdot 20^{0.25}}{\alpha_{v0}}\right)^{0.8} = 20\mathrm{K} \tag{1.5}$$

$$\theta = \vartheta_0 - \vartheta_v \Rightarrow \vartheta_0 = \theta + \vartheta_v = 40^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.6}$$

Снага којом се топлотна енергија преноси кроз област A иста је у свим њеним пресецима, односно независна је од *x* координате. Снага која се преноси кроз област A може се израчунати као флукс вектора површинске густине снаге, при чему је површ кроз коју се рачуна флукс нормална на правац којим се топлота преноси (правац x осе).

$$q_{B\to A} = -\iint_S \vec{q}_S \cdot d\vec{S} = -\iint_S -\lambda_A(\vartheta) \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \cdot \vec{i}_x \cdot \vec{i}_x \cdot dS = \lambda_A(\vartheta) \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \cdot \iint_S dS = \lambda_A(\vartheta) \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \cdot S \tag{1.7}$$

Температура због симетрије зависи само од x координате, те и топлотна проводност (која је функција температуре) и парцијални извод температуре по x координати зависе само од x координате, што значи да су ове величине константне на површи по којој се врши интеграција и да могу изаћи испред знака интеграла.

Решавањем диференцијалне једначине (1.7), уз замену израза за топлотну проводност датог у поставци задатка, добија се расподела температуре у области A.

$$\begin{aligned}
&\frac{q_{B\to A}}{S} \cdot dx = \lambda_A(\vartheta) \cdot d\vartheta \;\Rightarrow\; \int_{x=-L_A}^{0} \frac{q_{B\to A}}{S} \cdot dx = \int_{\vartheta=\vartheta_0}^{\vartheta_1} \lambda_A(\vartheta) \cdot d\vartheta \;\Rightarrow \\
&\int_{x=-L_A}^{0} \left(\frac{q_{v0} \cdot L_B}{2} + q_{su}\right) \cdot dx = \int_{\vartheta=\vartheta_0}^{\vartheta_1} \lambda_{A0} \cdot (1 + b(\vartheta - \vartheta_r)) \cdot d\vartheta \;\Rightarrow \\
&\left(\frac{q_{v0} \cdot L_B}{2} + q_{su}\right) \cdot L_A = \lambda_{A0} \cdot \left(\vartheta + b\frac{(\vartheta - \vartheta_r)^2}{2}\right)\Big|_{\vartheta_0}^{\vartheta_1} \;\Rightarrow \\
&\left(\frac{q_{v0} \cdot L_B}{2} + q_{su}\right) \cdot L_A = \lambda_{A0} \cdot \left((\vartheta_1 - \vartheta_r) - (\vartheta_0 - \vartheta_r) + b\frac{(\vartheta_1 - \vartheta_r)^2}{2} - b\frac{(\vartheta_0 - \vartheta_r)^2}{2}\right)
\end{aligned} \tag{1.8}$$

Једначина (1.8) је квадратна једначина по разлици непознате температуре ϑ_1 и ϑ_r, чијим решавањем се добија:

$$\vartheta_1 - \vartheta_r = 30.651^{\circ}\mathrm{C} \;\Rightarrow\; \vartheta_1 = 50.651^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.9}$$

Расподела температуре у области B добија се решавањем опште температурне једначине која за поменуту област има следећи облик:

$$\lambda_B \cdot \frac{d^2\vartheta}{dx^2} + q_v(x) = 0 \tag{1.10}$$

$$\frac{d^2\vartheta}{dx^2} = -\frac{q_v(x)}{\lambda_B} = -\frac{q_{v0} \cdot x}{\lambda_B \cdot L_B} \tag{1.11}$$

Њено опште решење се добија двоструком интеграцијом:

$$\vartheta(x) = -\frac{q_{v0} \cdot x^3}{6 \cdot \lambda_B \cdot L_B} + C_1 \cdot x + C_2 \tag{1.12}$$

Интеграционе константе које фигуришу у (1.12) могу се одредити из граничних услова за леву граничну површ слоја B (на тој граничној површи познајемо и вредност температуре и њен градијент – у овом случају извод по x координати).

$$\begin{aligned} &\vartheta(0) = \vartheta_1 \\ &\lambda_B \cdot \frac{d\vartheta}{dx}(0) \cdot S = q_{B\to A} \end{aligned} \tag{1.13}$$

$$\vartheta(0) = -\frac{q_{v0} \cdot 0^3}{6 \cdot \lambda_B \cdot L_B} + C_1 \cdot 0 + C_2 = C_2 = \vartheta_1 = 50.651^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.14}$$

$$\lambda_B \cdot S \cdot \frac{d\vartheta}{dx}(0) = \lambda_B \cdot S \cdot (-\frac{q_{v0} \cdot 0^2}{2 \cdot \lambda_B \cdot L_B} + C_1) = \frac{q_{v0} \cdot S \cdot L_B}{2} + q_{su} \cdot S \;\Rightarrow\; C_1 = \frac{q_{v0} \cdot L_B}{2 \cdot \lambda_B} + \frac{q_{su}}{\lambda_B} = 266.67\,\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}} \tag{1.15}$$

Уврштавањем вредности интеграционих константи у једначину (1.12) може се добити температура ϑ_2.

$$\vartheta_2 = \vartheta(L_B) = \vartheta(x = L_B) = -\frac{q_{v0} \cdot L_B^3}{6 \cdot \lambda_B} + C_1 \cdot L_B + C_2 = 76.87^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.16}$$

Остале непознате температуре се добијају на следећи начин:

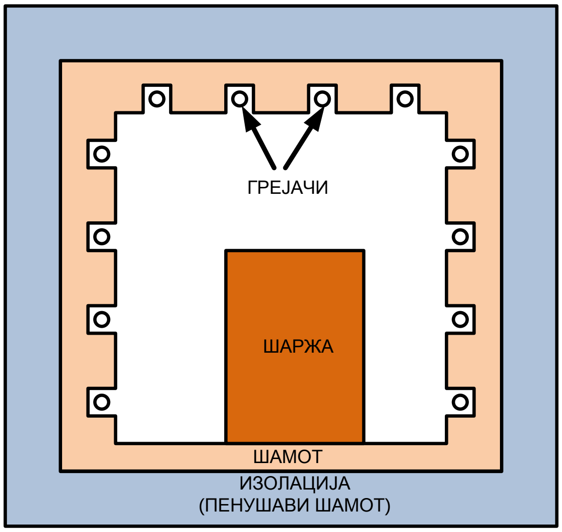
$$\vartheta_3 - \vartheta_2 = R_C^T \cdot q_{ulja} \Rightarrow \vartheta_3 = \vartheta_2 + R_C^T \cdot q_{ulja} = 82.87^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.17}$$

$$q_{ulja} = \alpha_u \cdot S \cdot (\vartheta_u - \vartheta_3) \Rightarrow \vartheta_u = \vartheta_3 + \frac{q_{ulja}}{\alpha_u \cdot S} = 116.20^{\circ}\mathrm{C} \tag{1.18}$$

<u>2. задатак</u>

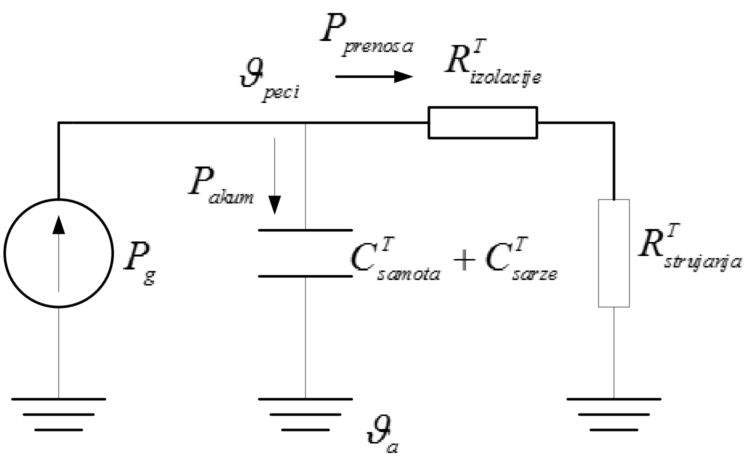
Видети решење 1. задатка са испита одржаног 24.01.2013.

3. задатак



На слици је приказана унутрашњост електроотпорне коморне пећи са шаржом. Унутар пећи одвија се сложени пренос топлоте који укључује пренос топлоте струјањем са грејача на ваздух и са ваздуха на шамот и шаржу, зрачењем са грејача на шаржу, са шарже на шамот и са грејача на шамот, као и провођење топлоте кроз шамот и изолацију и струјање и зрачење ка амбијенту на спољашњој површи пећи. Овако развијен детаљни модел пећи би се састојао из четири чвора којима би биле представљене изотермичке запремине (шаржа, грејач, ваздух, шамот) и захтевао би детаљно познавање унутрашње конструкције пећи и примењених материјала.

Даље решавање задатка приказано је под претпоставком да целокупна унутрашњост пећи представља једну изотермичку запремину и да је уважен пренос топлоте кроз изолацију ка амбијенту. Топлотна шема која одговара овако поједностављеном моделу приказана је на слици.



Укупан топлотни капацитет пећи представља збир топлотних капацитета шамота и шарже. Овај топлотни капацитет зависи од материјала и тежине шарже која се налази у комори пећи.

$$C^T = C^T_{samota} + C^T_{sarze} = C^T_{samota} + m_{sarze} \cdot c_{sarze} \tag{1.19}$$

Промена пораста температуре унутрашњости пећи у односу на амбијент описана је следећом диференцијалном једначином:

$$C^T \cdot \frac{d\theta_{peci}}{dt} + \frac{\theta_{peci}}{R^T} = P_g \tag{1.20}$$

Сређивање једначине (1.20) се добија:

$$R^T \cdot C^T \cdot \frac{d\theta_{peci}}{dt} + \theta_{peci} = R^T \cdot P_g \tag{1.21}$$

$$\tau \cdot \frac{d\theta_{peci}}{dt} + \theta_{peci} = \frac{\tau}{C^T} \cdot P_g \tag{1.22}$$

где је са τ означена временска константа загревања (хлађења):

$$\tau = R^T \cdot C^T \tag{1.23}$$

Решење диференцијалне једначине (1.22) гласи:

$$\theta_{peci}(t) = \theta_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{stac} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \tag{1.24}$$

θ_0 - пораст температуре унутрашњости пећи у тренутку t=0

θ_{stac} - пораст температуре унутрашњости пећи у устаљеном стању које би наступило када би загревање трајало неограничено дуго.

Пораст температуре у устаљеном стању може се одредити на следећи начин:

$$\theta_{stac} = P_g \cdot R^T \tag{1.25}$$

У случају загревања празне пећи, на основу пораста температуре у устаљеном стању може се одредити укупни топлотни отпор ка амбијенту, који представља збир топлотног отпора изолације и топлотног отпора којим је моделовано струјање ка амбијенту.

$$R^T = \frac{\theta_{stac0}}{P_g} = \frac{1600}{4000} = 0.4 \text{ K/W} \tag{1.26}$$

На основу познавања температуре после прва два часа рада са празном пећи, могуће је одредити топлотни капацитет шамота (пошто је топлотни капацитет шарже у том случају једнак нули).

$$\theta(t^*) = 800 \text{ K} = \theta_{stac} \cdot (1 - e^{-\frac{t^*}{\tau}}) + \theta(0) \cdot e^{-\frac{t^*}{\tau}} \Rightarrow \tau = \frac{t^*}{\ln\left(\dfrac{\theta_{stac} - \theta(0)}{\theta_{stac} - \theta(t^*)}\right)} = \frac{2h}{\ln\left(\dfrac{1600-0}{1600-800}\right)} = 2.885h \tag{1.27}$$

$$C^T_{samota} = \frac{\tau}{R^T} = \frac{2.885 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}}{0.4 \text{ K/W}} = 25965 \text{ J/K} \tag{1.28}$$

Топлотни капацитет шарже износи:

$$C^T_{sarze} = m_{sarze} \cdot c_{sarze} = 200 \cdot 480 = 96000 \text{ J/K} \tag{1.29}$$

Укупни топлотни капацитет пећи са шаржом износи:

$$C^T = C^T_{samota} + C^T_{sarze} = 121965 \text{ J/K} \tag{1.30}$$

Пораст температуре при загревању шарже би у устаљеном стању износио:

$$\theta_{stac1} = P_g \cdot R^T = 5000 \cdot 0.4 = 2000 \text{ K} \tag{1.31}$$

Ова вредност пораста температуре се неће достићи јер се шаржа загрева само до достизања пораста температуре од 1000 K.

Временска константа пећи са датом шаржом износи:

$$\tau = R^T \cdot C^T = 0.4 \cdot 121965 = 48786 \text{ s} = 13.552 \text{ h} \tag{1.32}$$

Време потребно да се достигне пораст температуре од 1000 K, уколико је почетна температура у комори била једнака температури амбијента, износи:

$$t_{zagr1} = \tau \cdot \ln\left(\frac{\theta_{stac} - \theta_1(0)}{\theta_{stac} - \theta(t^*)}\right) = 13.552 \cdot \ln\left(\frac{2000-0}{2000-1000}\right) = 9.394 \text{ h} \tag{1.33}$$

Утрошена електична енергија је једнака производу снаге грејача и времена трајања загревања:

$$W_{gr1} = P_g \cdot t_{zagr1} = 5 \cdot 9.394 = 46.97 \text{ kWh} \tag{1.34}$$

Енергија предата шаржи у току загревања једнака је порасту унутрашње енергије шарже:

$$W_{sarze1} = C^T_{sarze} \cdot (\theta^* - \theta_1(0)) = 96000 \cdot (1000-0) = 96 \cdot 10^6 \text{ J=26.67 kWh} \tag{1.35}$$

Степен искоришћења износи:

$$\eta_1 = \frac{W_{sarze1}}{W_{gr1}} = \frac{26.67}{46.97} = 0.568 \tag{1.36}$$

Ниска вредност степена искоришћења последица је енергије утрошене на загревање пећи. Уколико би се вршило загревање више шаржи једне након друге, степен искоришћења би био већи јер би унутрашњост пећи била на већој температури при убацивању шарже и била би потребна мања енергија за загревање унутрашњости пећи. Уколико би се више шаржи загревало истовремено, укупна енергија предата шаржама би била већа и то би довело до пораста степена искоришћења.

Уколико се шаржа уноси у загрејану пећ, долази до размене топлоте са шаржом и топлотна енергија се прерасподељује тако да шаржа и унутрашњост пећи имају исту температуру.

$$C_{samota}^{T} \cdot \theta_{peci0} + C_{sarze}^{T} \cdot \theta_{sarze} = C^{T} \cdot \theta_{peci1} \;\Rightarrow\; \theta_{peci1} = \frac{C_{samota}^{T} \cdot \theta_{peci0} + C_{sarze}^{T} \cdot \theta_{sarze}}{C^{T}} = \frac{25.965 \cdot 700 + 96 \cdot 0}{121.965} = 149 \text{ K} \tag{1.37}$$

Време потребно да се достигне пораст температуре од 1000 K, полазећи од почетне температуре израчунате у (1.37), износи:

$$t_{zagr2} = \tau \cdot \ln\left(\frac{\theta_{stac} - \theta_2(0)}{\theta_{stac} - \theta(t^*)}\right) = 13.552 \cdot \ln\left(\frac{2000-149}{2000-1000}\right) = 8.344 \text{ h} \tag{1.38}$$

Утрошена електична енергија је једнака производу снаге грејача и времена трајања загревања:

$$W_{gr2} = P_g \cdot t_{zagr2} = 5 \cdot 8.344 = 41.72 \text{ kWh} \tag{1.39}$$

Енергија предата шаржи у току загревања једнака је порасту унутрашње енергије шарже:

$$W_{sarze2} = C_{sarze}^{T} \cdot (\theta^* - \theta_2(0)) = 96000 \cdot (1000 - 0) = 96 \cdot 10^6 \text{ J=26.67 kWh} \tag{1.40}$$

Степен искоришћења износи:

$$\eta_2 = \frac{W_{sarze2}}{W_{gr2}} = \frac{26.67}{41.72} = 0.639 \tag{1.41}$$

<u>4. задатак</u>

Видети решење 9. задатка из материјала за рачунске вежбе.

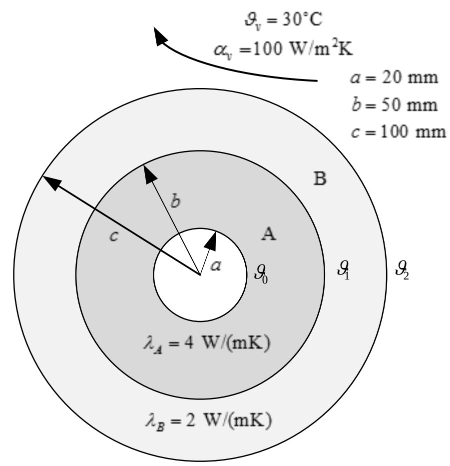
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

Први колоквијум (други термин) из предмета Термички процеси у електроенергетици

Колоквијум траје максимално 150 минута 16. 12. 2014.
За сваки задатак се добија 2.5 поена
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

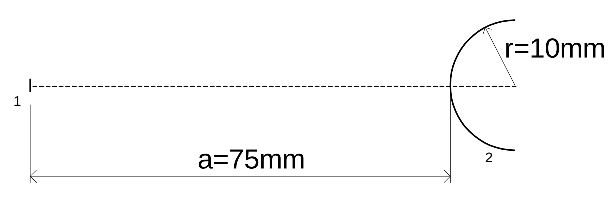
1. Цилиндрична структура приказана на слици се састоји из концентричних слојева A и B. У слоју A се генерише топлота равномерно по запремини запреминском густином снаге $q_v = 100\ \mathrm{kW/m^3}$. Гранична површ слоја B се хлади водом температуре $\vartheta_v = 30^\circ\mathrm{C}$, уз коефицијент преласка топлоте струјањем $\alpha = 100\ \mathrm{W/(m^2K)}$, док је гранична површ слоја A идеално топлотно изолована.
Одредити температуре ϑ_0, ϑ_1 ϑ_2, као и средњу и максималну температуру слоја A. Општа температурне једначине у цилиндричном координатном систему гласи $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial \vartheta}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial \phi}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z}\right) + q_v = \rho c_p \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$.



2. Извести израз за топлотни отпор између унутрашње површи сферног зида (полупречник унутрашње лопте r_u) и флуида који струја са спољашње површи сферичног зида (полупречник спољашње лопте r_s). Топлотна проводност материјала од кога је сачињен зид износи λ. Коефицијент преласка топлоте струјањем са спољашње стране сфере на флуид износи α. Израз за градијент у сферном координатном систему:
$$grad\,\vartheta = \frac{\partial \vartheta}{\partial r}\vec{i}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial \vartheta}{\partial \theta}\vec{i}_\theta + \frac{1}{r\cdot\sin\theta}\frac{\partial \vartheta}{\partial \varphi}\vec{i}_\varphi$$

3. У бојлеру запремине 12 l налази се вода на температури амбијента $\vartheta_a = 20\ ^0\mathrm{C}$. Бојлер поседује "on-off" (хистерезисни) регулатор који искључује грејач када температура воде пређе подешену вредност за 5 K, а укључује грејач када температура воде падне испод подешене вредности за 5 K; на регулатору је подешена температура 60 ^{0}C. Бојлер се укључи у 7 часова 30 минута. Колико износи температуре воде у 7 часова 50 минута, ако се у 7 часова 40 минута утроши 5 литара воде температуре $\vartheta_{uv} = 40\ ^0\mathrm{C}$. При израчунавању сматрати да је трајање потрошње топле воде занемарљиво мало. Техничке карактеристике бојлера су: снага грејача $P_{gr} = 2$ kW, маса казана $m_k = 2$ kg, спољашње димензије бојлера 40cm x 25cm x 20cm. Дебљина топлотне изолације око казана, специфичне топлотне проводности $\lambda = 0.1\ \mathrm{W/(m\cdot K)}$ износи $\delta = 20$ mm. Коефицијент преласка топлоте струјањем са спољашње површи на ваздух износи $\alpha_s = 5\ \mathrm{W/(m^2K)}$, а коефицијент преласка топлоте струјањем са воде на казан $\alpha_u >> \alpha_s$. Густина воде износи $\rho_v = 1000\ \mathrm{kg/m^3}$, специфични топлотни капацитет воде $c_{pv} = 4200$ J/(kgK) и специфични топлотни капацитет казана $c_{pk} = 474$ J/(kgK). Топлотни отпор преносу топлоте кроз топлотну изолацију казана израчунати по формули за раван зид површине $(S_u + S_s) / 2$.

4. Одредити фактор виђења дела лопте (површ 2) са површи 1. Површ 1 се може сматрати бесконачно малом. Задатак решити посматрањем равне површи диска добијене еквивалентирањем задатог дела површи лопте диском за који би се имао исти фактор виђења.



Решења задатака:

1. задатак

Видети решење 1. задатка са испита одржаног 27.01.2014.

2. задатак

Видети решење 2. задатка са првог колоквијума одржаног 28.12.2012.

3. задатак

Видети решење 3. задатка са првог колоквијума одржаног 28.12.2012.

4. задатак

Видети решење 4. задатка са првог колоквијума одржаног 02.12.2013.

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

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

Колоквијум траје максимално 150 минута 27. 12. 2014.
За сваки задатак се добија 2.5 поена
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. Наћи опште решење диференцијалне једначине за једножилни кабл дужине L, кружног попречног пресека електропроводног дела (топлотна проводност материјала λ_p, пречник D) S, у коме се генеришу губици по јединици дужине кабла P_L; дебљина изолације кабла износи δ, топлотна проводност материјала изолације λ_i, а коефицијент преласка топлоте струјањем са површи изолације на ваздух, температуре ϑ_a, α. Поставити граничне услове из којих се могу одредити интеграционе константе за случај да је кабл на оба своја краја прикључен на сабирнице чија је температура ϑ_S. 3 поена

2. Одредити дозвољену једносекундну струју кратког споја (I_{1sdoz}) проводнника од бакра површине попречног пресека 95 mm^2 ако је максимална дозвољена температура изолације 180 °C, а кратак спој настаје при номиналном оптерећењу (струја 232 A, температура 100°C). Температура амбијента износи 30°C. Познате су карактеристике бакра: c_{Cu} = 390 J/(kg ^{0}C), ρ_{Cu} = 8900 kg/m^3, специфична електрична проводност на 20°C $\sigma_{20\,Cu}$=56×10^6 S / m и коефицијент линеарног пораста специфичне електричне отпорности са температуром α_{Cu20}=3.9×10^{-3}°C^{-1}. При прорачуну сматрати да је термички процес по настанку кратког споја адијабатски. Колико износи укупна генерисана топлота током кратког споја (стеуја I_{1sdoz}, трајање 1 s) услед израчунате једносекундне струје кратког споја, а колико енергија пренета у околину током једне секунде; сматрати да је снага преноса енергије ка околини сразмерна разлици температуре бакра и амбијента; при израчунавању користити вредност температуре ббакра (100 °C + 180 °C) / 2 = 140 °C. 3 поена

3. Нацртати шему веза и објаснити начин праћења промене средње температуре намотаја који се налазе у кратком споју (намотај ниског напона) током прелазног топлотног процеса у класичном огледу загревања трансформатора у кратком споју. На шеми приказати и мерне филтре. 2.5 поена

4. Нацртати топлотну шему ODAF енергетског уљног трансформатора са три чвора (сваком од два намотаја је придружен по један чвор у топлотној шеми - чвор 1 и чвор 2) и објаснити њене елементе. Чворовима доделити средње температуре сваког од делова. Да ли се и због чега мењају губици у намотајима током прелазног топлотног процеса при константној струји? Полазећи од дефиниције топлотног отпора (топлотне проводности) објаснити на које, и због чега, топлотне проводности утиче промена броја пумпи, а на које промена броја вентилатора. 2.5 поена

Решења задатака:

1. задатак

Видети решење 1. задатка са другог колоквијума одржаног 17.01.2015.

2. задатак

Видети решење 2. задатка са другог колоквијума одржаног 28.12.2012.

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

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

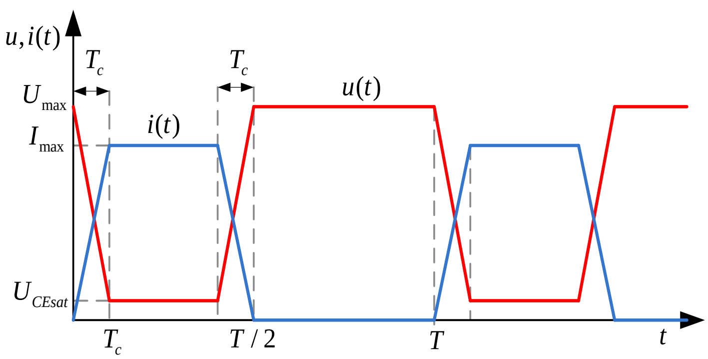
Испит траје максимално 180 минута 17.01.2015.

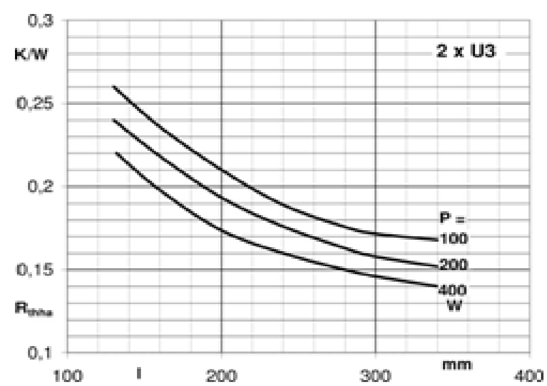
За сваки потпуно тачно урађени задатак се добија 2.5 поена

Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. За случај да се пренос топлоте по дужини кабла не може занемарити, наћи опште решење диференцијалне једначине за једножилни кабл дужине L, кружног попречног пресека електропроводног дела (топлотна проводност материјала λ_p, пречник D) S, у коме се генеришу губици по јединици дужине кабла P_L; дебљина изолације кабла износи δ, топлотна проводност материјала изолације λ_i, а коефицијент преласка топлоте струјањем са површи изолације на ваздух, температуре ϑ_a, α. Колико износи температура најтоплије тачке изолације у случају јако дугачког кабла, када се може сматрати да се температура мења само по радијалној координати?

2. Напон и струја IGBT транзистора као елемента једног инвертора су приказани су на слици $\left(U_{\max}=600\text{V}, I_{\max}=52\text{A}, T_c=2\mu\text{s}, T=0.2\text{ms}, U_{CEsat}=2\text{V}\right)$. Одредити температуру IGBT транзистора у устаљеном радном режиму, ако се за његово хлађење користи хладњак дужине 200mm, чија карактеристика приказана на слици. Отпор провођењу топлоте кроз транзистор износи 0.4 K/W, а температура амбијента 25°C.



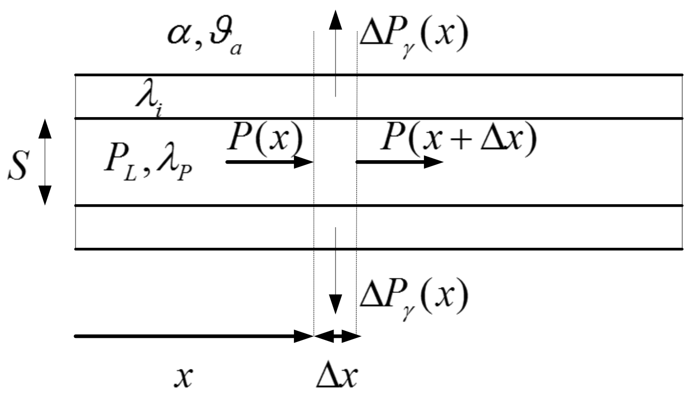


3. Енергетски дистрибутивни уљни трансформатор (номинални подаци: снага 630 kVA, губици услед оптерећења (у намотајима) P_{Cun} = 6.5 kW, губици у празном ходу (у језгру) P_{Fen} = 1.3 kW, пораст температуре горњег уља θ_{gun} = 55 K, пораст средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља g_n = 20 K, фактор најтоплије тачке H = 1.1, временска константа по којој се приближно може рачунати временски ток промене температуре горњег уља 3 сата, пораста средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља 5 минута; однос пораста температуре горњег уља и његове номиналне вредности (θ_{gu} / θ_{gun})=(P_{gu} / P_{gun})ˆ0.8; идентична зависност важи и за разлику средње температуре намотаја и средње температуре уља (g / g_n), при чему је релевантан однос губитака у намотајима (P_{Cu} / P_{Cun}). Може се сматрати да су губици у језгру константни, а губици у намотајима сразмерни квадрату струје.
Трансформатор напаја електромоторни погон са асинхроним моторима. У електромоторном погону је извршена компензација реактивне енергије, тако да систем ради са укупном привидном снагом 550 kVA, при фактору снаге 0.95. У једном тренутку, при устаљеном радном стању, долази до квара и испада батерије кондензатора за компензацију реактивне снаге, при чему фактор снаге постројења опадне на 0.8. После ког времена ће температура горњег уља, а после температура најтоплије тачке, достићи своје номиналне вредности? Температура амбијента је константна и износи 20°C.

4. Описати оглед загревања према стандарду IEC 60076-2. Због чега је неопходно применити поступак екстраполације криве промене отпорности намотаја након искључења напајања по истеку другог дела огледа загревања?

Решења задатака:

1. задатак



Расподелу температуре дуж кабла у устаљеном стању могуће је одредити постављајући једначину биланса снага (односно енергетског биланса) за део кабла дужине Δx. Са $P(x+\Delta x)$, односно $P(x)$, означене су снаге којима се топлотна енергија провођењем преноси дуж кабла кроз пресек на позицији $x+\Delta x$, односно x. Са $\Delta P\gamma(x)$ означена је снага којом се топлота преноси кроз изолацију ка амбијенту на позицији x, док је са $\vartheta(x)$ означена температура на тој позицији.

Снага којом се топлота генерише на посматраном делу кабла износи:

$$\Delta P_{gen} = P_L \cdot \Delta x \tag{1.42}$$

Укупни топлотни отпор преносу топлоте кроз изолацију представља редну везу топлотног отпора изолације и топлотног отпора којим је моделовано струјање на граничној површи и за посматрани део кабла износи:

$$R_{uk}^T = R_{izol}^T + R_{str}^T = \frac{\delta}{\lambda_i \cdot D \cdot \pi \cdot \Delta x} + \frac{1}{\alpha \cdot (D+2\delta) \cdot \pi \cdot \Delta x} = \frac{r_{uk}^T}{\Delta x} \tag{1.43}$$

Снага којом се топлота преноси кроз изолацију за посматрани део кабла износи:

$$\Delta P_\gamma(x) = \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{R_{uk}^T} = \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{r_{uk}^T} \cdot \Delta x \tag{1.44}$$

Једначина биланса снага за посматрани део кабла гласи:

$$P(x+\Delta x) - P(x) - \Delta P_{gen}(x) + \Delta P_\gamma(x) = 0 \tag{1.45}$$

Заменом израза за поједине компоненте снаге из (1.42) и (1.44) у (1.45) добија се:

$$P(x+\Delta x) - P(x) - P_L \cdot \Delta x + \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{r_{uk}^T} \cdot \Delta x = 0 \tag{1.46}$$

$$\frac{P(x+\Delta x) - P(x)}{\Delta x} - P_L + \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{r_{uk}^T} = 0 \tag{1.47}$$

Пуштајући да дужина посматраног дела кабла (Δx) тежи нули, добија се следећа једначина:

$$\frac{dP(x)}{dx} - P_L + \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{r_{uk}^T} = 0 \tag{1.48}$$

Снага којом се топлота преноси дуж кабла може се израчунати као флукс вектора површинске густине снаге кроз попречни пресек проводника:

$$P(x) = \iint_S \vec{q}_S \cdot d\vec{S} = \iint_S -\lambda_P \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \cdot \vec{i}_x \cdot \vec{i}_x \cdot dS = -\lambda_A \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \cdot \iint_S dS = -\lambda_A \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S \tag{1.49}$$

Заменом (1.49) и диференцирањем, добија се следећа диференцијална једначина:

$$\frac{d}{dx}\left(-\lambda_A \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S\right) - P_L + \frac{\vartheta(x) - \vartheta_a}{r_{uk}^T} = 0 \tag{1.50}$$

$$-\lambda_A \cdot S \cdot \frac{d^2\vartheta}{dx^2} - P_L + \frac{\vartheta(x)-\vartheta_a}{r_{uk}^T} = 0 \tag{1.51}$$

$$\frac{d^2\vartheta}{dx^2} - \frac{\vartheta(x)}{\lambda_A \cdot S \cdot r_{uk}^T} = -\frac{\vartheta_a}{\lambda_A \cdot S \cdot r_{uk}^T} - \frac{P_L}{\lambda_A \cdot S} \tag{1.52}$$

$$\frac{d^2\vartheta}{dx^2} - m^2 \cdot \vartheta(x) = -m^2 \cdot \vartheta_a - m^2 \cdot r_{uk}^T \cdot P_L \tag{1.53}$$

Опште решење једначине (1.53) гласи:

$$\vartheta(x) = C_1 \cdot e^{m\cdot x} + C_2 \cdot e^{-m\cdot x} + \vartheta_a + r_{uk}^T \cdot P_L \tag{1.54}$$

Непознате константе могу се одредити на основу граничних услова за крајеве кабла:

$$f_1\left(\vartheta(0), \frac{d\vartheta(0)}{dx}\right) = 0,\ f_2\left(\vartheta(L), \frac{d\vartheta(L)}{dx}\right) = 0 \tag{1.55}$$

Примера ради, ако би кабл на оба своја краја био прикључен на сабирнице исте температуре ϑ_s, општи гранични услов приказан једнакостима (1.55) би се свео на $\vartheta(0) = \vartheta_s,\ \vartheta(L) = \vartheta_s$.

Уколико је кабл хомоген и бесконачне дужине, са идентичним условима хлађења дуж кабла, нема преноса топлоте дуж кабла, односно први члан у једначини (1.48) идентички је једнак нули. Температура проводника је тада константна дуж кабла и износи:

$$\vartheta(x) = \vartheta_a + r_{uk}^T \cdot P_L \tag{1.56}$$

Ово решење се добија и из општег решења, под претпоставком да температура мора бити коначна у позитивној и негативној бесконачности, што доводи до нултих вредности константи.

<u>2.задатак</u>

Пошто је периода рада IGBT транзистора јако мала у односу на термичке временске константе, за његово загревање меродавна је средња вредност снаге губитака на једној периоди рада. Губици енергије на транзистору постоје док је транзистор укључен (кондукциони губици) и у току укључивања и искључивања (комутациони губици). Кондукциони губици постоје зато што на укљученом транзистору напон није једнак нули, већ има неку релативно малу вредност. У току процеса укључивања и искључивања јављају се истовремено и велике вредности напона и велике вредности струје на транзистору, те губици енергије нису занемариви иако прелазни процеси при укључивању и искључивању трају кратко.

$$P_\gamma = \frac{1}{T} \cdot \int_{t=0}^{T} p_\gamma(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \int_{t=0}^{T} u(t) \cdot i(t) \cdot dt = P_{kond} + P_{komut} \tag{1.57}$$

Снаге кондукционих, односно комутационих губитака, дате су изразима (1.58), односно (1.59):

$$P_{kond} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t=T_c}^{T/2-T_c} u(t) \cdot i(t) \cdot dt \tag{1.58}$$

$$P_{komut} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t=0}^{T_c} u(t) \cdot i(t) \cdot dt + \frac{1}{T} \cdot \int_{t=T/2-T_c}^{T/2} u(t) \cdot i(t) \cdot dt \tag{1.59}$$

Снага кондукционих губитака износи:

$$P_{kond} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t=T_c}^{T/2-T_c} u(t) \cdot i(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot U_{CEsat} \cdot I_{\max} \cdot \left(\frac{T}{2} - 2 \cdot T_c\right) \approx \frac{1}{T} \cdot U_{CEsat} \cdot I_{\max} \cdot \frac{T}{2} = U_{CEsat} \cdot I_{\max} = 104\ \mathrm{W} \tag{1.60}$$

У посматраном случају, таласни облици напона и струја су такви да су губици при укључењу и искључењу једнаки (у општем случају ово не важи). Због тога је довољно одредити снагу губитака при искључењу, усредњену на једној периоди рада транзистора (у једној периоди T одвија се један процес укључења и један процес искључења):

$$P_{komut} = \frac{2}{T}\cdot\int_{t=0}^{T_c} u(t)\cdot i(t)\cdot dt = \frac{2}{T}\cdot\int_{t=0}^{T_c}\left(U_{\max} - \frac{U_{\max} - U_{CEsat}}{T_c}\cdot t\right)\cdot\frac{I_{\max}}{T_c}\cdot t\cdot dt =$$
$$= \frac{2}{T}\cdot\left(U_{\max}\cdot I_{\max}\cdot\frac{T_c}{6} + U_{CEsat}\cdot I_{\max}\cdot\frac{T_c}{3}\right)\approx\frac{U_{\max}\cdot I_{\max}}{3}\cdot\frac{T_c}{T} = 104\ \mathrm{W} \tag{1.61}$$

Укупна снага губитака на транзистору износи 208 W, те је меродавна карактеристика хладњака за снагу 208 W. Са те карактеристике се може очитати да хладњак дужине 200 mm има топлотни отпор 0.19 K/W. Укупни топлотни отпор преносу топлоте ка амбијенту једнак је збиру унутрашњег топлотног отпора компоненте и топлотног отпора хладњака. Температура компоненте износи:

$$\vartheta_{komp} = \vartheta_a + (P_{kond} + P_{komut})\cdot(R^T_{komp} + R^T_{hlad}) = 25 + 208\cdot(0.4 + 0.19) = 147.72\ ^{\mathrm{o}}\mathrm{C} \tag{1.62}$$

3. задатак

Видети 4. задатак са испита одржаног 09. 02. 2014.

Напомена: Привидна снага оптерећења са батеријом за компензацију износи 550 kVA. Након испада батерије за компензацију, привидна снага оптерећења се мења (због промена реактивне снаге), али активна снага остаје иста. Полазећи од тога, једноставно се одређује привидна снага оптерећења након испада батерије за компензацију.

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

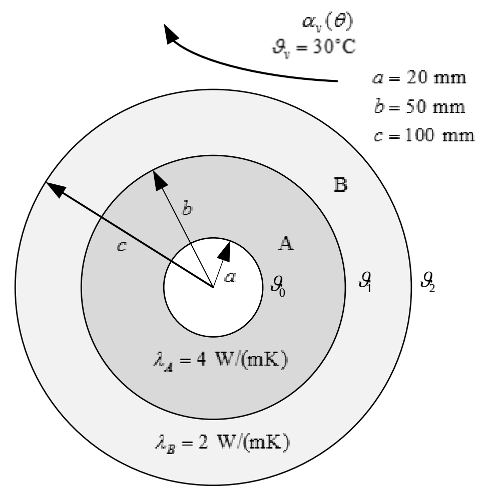
Испит из предмета Термички процеси у електроенергетици

Испит траје максимално 180 минута 17.01.2015.

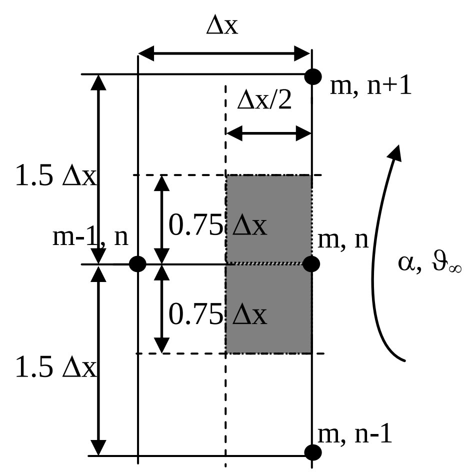
За сваки потпуно тачно урађени задатак се добија 2 поена

Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

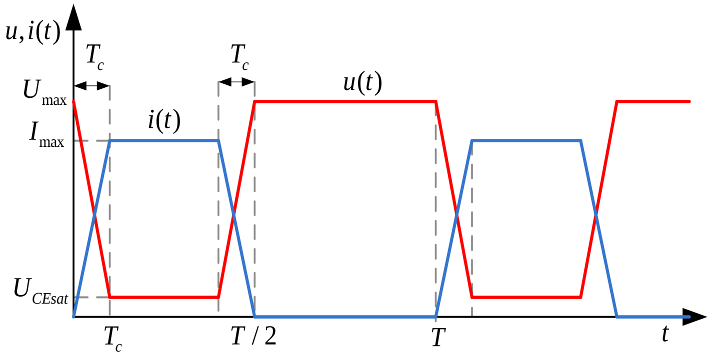
1. Цилиндрична структура приказана на слици се састоји из концентричних слојева A и B. У слоју A се генерише топлота равномерно по запремини запреминском густином снаге $q_v = 100 \cdot 10^3$ W/m^3. Гранична површ слоја B се хлади водом температуре $\vartheta_v = 30^\circ$C, при чему коефицијент преласка топлоте струјањем зависи од разлике температура граничне површи и воде ($\theta = \vartheta_2 - \vartheta_v$) на следећи начин: $\alpha_v(\theta) = \alpha_{v0} \cdot (|\theta|/20)^{0.25}$ $\left(\alpha_{v0} = 1000 \text{ W/(m}^2\text{K)}\right)$. Унутрашња гранична површ слоја A је идеално топлотно изолована.
Одредити температуре ϑ_0, ϑ_1 ϑ_2, као и максималну температуру слоја A. Општа температурна једначина у цилиндричном координатном систему гласи $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial \vartheta}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial \phi}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z}\right) + q_v = \rho c_p \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$.

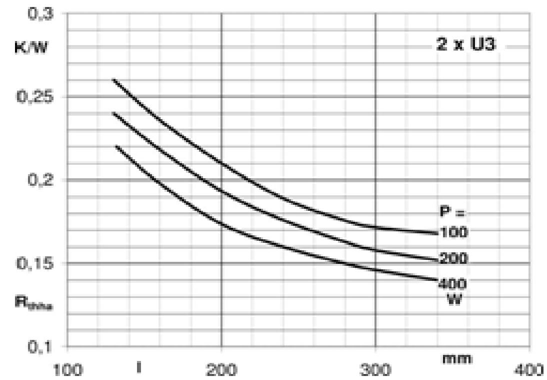


2. Написати изразе енергетског биланса из којих се изводе изрази за имплицитну методу коначних елемената за осенчени елемент топлопроводне средине на слици, са усвојеном карактеристичном тачком m, n. Сматрати да су познати сви подаци о карактеристикама материјала топлопроводне средине, запреминска густина константног генерисања топлоте по запремини q_v, као и коефицијент преласка топлоте струјањем α са тела на околни флуид температуре ϑ_∞.



3. Напон и струја IGBT транзистора као елемента једног инвертора су приказани су на слици $\left(U_{\max} = 600\text{V}, I_{\max} = 52\text{A}, T_c = 2\mu\text{s}, T = 0.2\text{ms}, U_{CEsat} = 2\text{V}\right)$. Одредити температуру IGBT транзистора у устаљеном радном режиму, ако се за његово хлађење користи хладњак дужине 200mm, чија карактеристика приказана на слици. Отпор провођењу топлоте кроз трансистор износи 0.4 K/W, а температура амбијента 25°C.





4. Енергетски дистрибутивни уљни трансформатор (номинални подаци: снага 630 kVA, губици услед оптерећења (у намотајима) P_{Cun} = 6.5 kW, губици у празном ходу (у језгру) P_{Fen} = 1.3 kW, пораст температуре горњег уља θ_{gun} = 55 K, пораст средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља g_n = 20 K, фактор најтоплије тачке H = 1.1, временска константа по којој се приближно може рачунати временски ток промене температуре горњег уља 3 сата, пораста средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља 5 минута; однос пораста температуре горњег уља и његове номиналне вредности (θ_{gu} / θ_{gun})=(P_{gu} / P_{gun})^0.8; идентична зависност важи и за разлику средње температуре намотаја и средње температуре уља (g / g_n), при чему је релевантан однос губитака у намотајима (P_{Cu} / P_{Cun}). Може се сматрати да су губици у језгру константни, а губици у намотајима сразмерни квадрату струје.
Трансформатор напаја електромоторни погон са асинхроним моторима. У електромоторном погону је извршена компензација реактивне енергије, тако да систем ради са укупном привидном снагом 550 kVA, при фактору снаге 0.95. У једном тренутку, при устаљеном радном стању, долази до квара и испада батерије кондензатора за компензацију реактивне снаге, при чему фактор снаге постројења опадне на 0.8. После ког времена ће температура горњег уља, а после температура најтоплије тачке, достићи своје номиналне вредности? Температура амбијента је константна и износи 20°C.

5. Описати оглед загревања према стандарду IEC 60076-2. Због чега је неопходно применити поступак екстраполације криве промене отпорности намотаја након искључења напајања по истеку другог дела огледа загревања?

Решења задатака:

1. задатак

Видети решење 1. задатка са испита одржаног 09. 02. 2015.

3. задатак

Видети решење 2. задатка са другог колоквијума одржаног 17. 01. 2015.

4. задатак

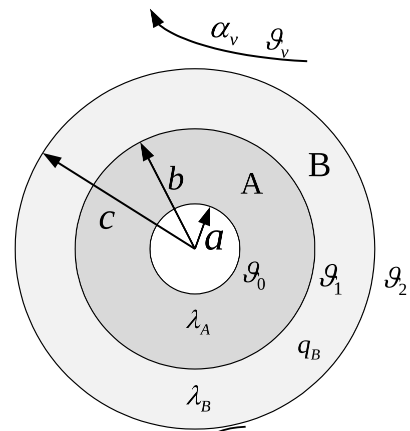
Видети решење 3. задатка са другог колоквијума одржаног 17. 01. 2015.

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

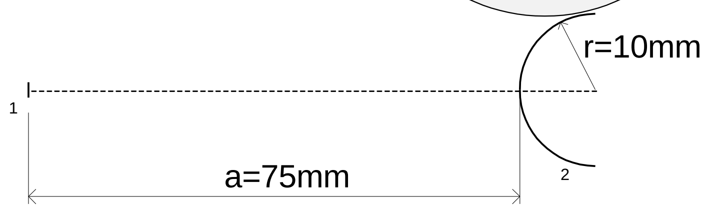
Испит из предмета Термички процеси у електроенергетици

Испит траје максимално 180 минута 18.02.2015.
За сваки потпуно тачно урађени задатак се добија 2 поена
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић



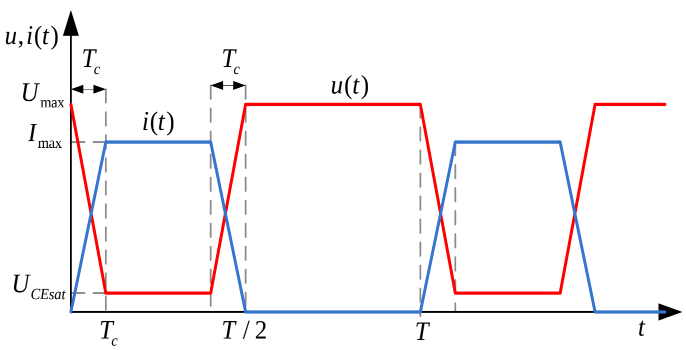
1. Цилиндрична структура приказана на слици се састоји из концентричних слојева A и B (a=20mm, b=50mm, c=100mm). У слоју B се генерише топлота равномерно по запремини запреминском густином снаге $q_B = 100 \cdot 10^3$ W/m^3. Гранична површ слоја B се хлади водом температуре $\vartheta_v = 30^{\mathrm{o}}\mathrm{C}$, при чему коефицијент преласка топлоте струјањем износи $\alpha_v = 300\ \mathrm{W/(m^2K)}$. Унутрашња гранична површ слоја A је идеално топлотно изолована. λ_a=10m/(mK), λ_b=2m/(mK). Одредити температуре ϑ_0, ϑ_1 ϑ_2, као и максималну температуру слоја B. Општа температурна једначина у цилиндричном координатном систему гласи $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial \vartheta}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial \phi}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z}\right) + q_v = \rho c_p \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$

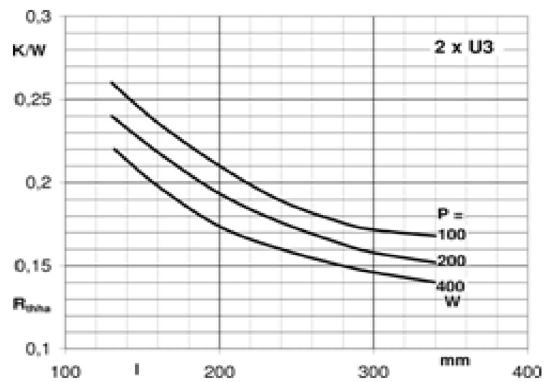
2. Одредити фактор виђења дела лопте (површ 2) са површи 1. Површ 1 се може сматрати бесконачно малом. Задатак решити посматрањем равне површи диска добијене еквивалентирањем задатог дела површи лопте диском за који би се имао исти фактор виђења.



3. Дати прецизну дефиницију топлотног отпора између две изотемичке површи чврстог тела.

4. Напон и струја IGBT транзистора као елемента једног инвертора су приказани су на слици $\left(U_{\max} = 600\mathrm{V}, I_{\max} = 52\mathrm{A}, T_c = 2\mu\mathrm{s}, T = 0.2\mathrm{ms}, U_{CEsat} = 2\mathrm{V}\right)$. Одредити температуру IGBT транзистора у устаљеном радном режиму, ако се за његово хлађење користи хладњак дужине 200mm, чија карактеристика приказана на слици. Отпор провођењу топлоте кроз трансистор износи 0.4 K/W, а температура амбијента 25$^{\mathrm{o}}$C.





5. Описати оглед загревања према стандарду IEC 60076-2. Због чега је неопходно применити поступак екстраполације криве промене отпорности намотаја након искључења напајања по истеку другог дела огледа загревања?

Решења задатака:

1. задатак

Видети решење 1. задатка са испита одржаног 27. 01. 2014.

2. задатак

Видети решење 4. задатка са првог колоквијума одржаног 02. 12. 2013.

4. задатак

Видети решење 2. задатка са другог колоквијума одржаног 17. 01. 2015.

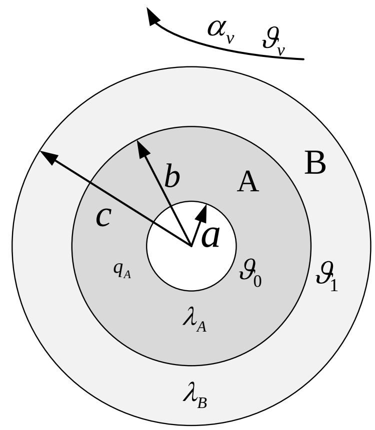
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Катедра за енергетске претвараче и погоне

Испит из предмета Термички процеси у електроенергетици

Испит траје максимално 180 минута 15.09.2015.
За сваки потпуно тачно урађени задатак се добија 2 поена
Предметни наставник: Проф. др Зоран Радаковић

1. Цилиндрична структура приказана на слици се састоји из концентричних слојева A и B (a=20mm, b=50mm, c=100mm). У слоју A се генерише топлота равномерно по запремини запреминском густином снаге $q_A = 100 \cdot 10^3$ W/m^3. Гранична површ слоја B се хлади водом температуре $\vartheta_v = 30^{\circ}$C, при чему коефицијент преласка топлоте струјањем износи $\alpha_v = 300$ W/(m^{2}K). Унутрашња гранична површ слоја A је идеално топлотно изолована. λ_a=10m/(mK), λ_b=2m/(mK). Одредити температуре ϑ_0, ϑ_1 ϑ_2, као и максималну температуру слоја B. Општа температурна једначина у цилиндричном координатном систему гласи $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial \vartheta}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial \phi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z}\right)+q_v=\rho c_p \frac{\partial \vartheta}{\partial t}$



2. На истом дијаграму нацртати расподелу јачине зрачења (поларни дијаграм) идеалног црног тела температуре површи 600 ^{0}C и идеалног сивог тела емисивности 0.7 и температуре 700 ^{0}C.

3. Посматрајмо ребро за хлађење кружног попречног пресека, дужине L = 10 cm и запремине утрошеног материјала V = 10^{-5} m^3 материјала. Температура базиса ребра који је постављен на тело које се хлади износи ϑ_b = 150 ^{0}C. Ребро се хлади природним струјањем ваздуха температуре ϑ_a = 20^{0}C, када коефицијент преласка топлоте износи α_a = 5 W / (m^2 K). Колико износи ефикасност ребра за хлађење ако је топлотна проводност материјала од кога је сачињено ребро: а) λ_1 = 177 W / (m K), б) λ_2 = 140 W / (m K)? Користити гранични услов да је температура базиса који се хлади ваздухом једнака температури ваздуха.

4. Енергетски дистрибутивни уљни трансформатор (номинални подаци: снага 630 kVA, губици услед оптерећења (у намотајима) P_{Cun} = 6.5 kW, губици у празном ходу (у језгру) P_{Fen} = 1.3 kW, пораст температуре горњег уља θ_{gun} = 55 K, пораст средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља g_n = 20 K, фактор најтоплије тачке H = 1.1, временска константа по којој се приближно може рачунати временски ток промене температуре горњег уља 3 сата, пораста средње температуре намотаја у односу на средњу температуру уља 5 минута; однос пораста температуре горњег уља и његове номиналне вредности (θ_{gu} / θ_{gun})=(P_{gu} / P_{gun})ˆ0.8; идентична зависност важи и за разлику средње температуре намотаја и средње температуре уља (g / g_n), при чему је релевантан однос губитака у намотајима (P_{Cu} / P_{Cun}). Може се сматрати да су губици у језгру константни, а губици у намотајима сразмерни квадрату струје.

Трансформатор напаја електромоторни погон са асинхроним моторима. У електромоторном погону је извршена компензација реактивне енергије, тако да систем ради са укупном привидном снагом 550 kVA, при фактору снаге 0.95. У једном тренутку, при устаљеном радном стању, долази до квара и испада батерије кондензатора за компензацију реактивне снаге, при чему фактор снаге постројења опадне на 0.8. После ког времена ће температура горњег уља, а после ког температура најтоплије тачке, достићи своје номиналне вредности? Температура амбијента је константна и износи 20°C.

5. Дефинисати *Biot*-ов број. Коју информацију даје *Biot*-ов број и која је његова примена?

Решења задатака:

1. задатак
Видети решење 1. задатка са испита одржаног 27. 01. 2014.

2. задатак
Видети решење 2. задатка са испита одржаног 24. 01. 2013.

3. задатак
Видети решење 1. задатка са другог колоквијума одржаног 28. 12. 2012.

4. задатак
Видети решење 3. задатка са другог колоквијума одржаног 17. 01. 2015.