



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

FEL ZČU

Kompendium elementárních znalostí

ZETP

12.1.2013

- Jaký je převodní vztah mezi °C a termodynamickou stupnicí
 - $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$
 - $0\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$
- Vyjádřete vztah mezi jednotkami joule a kalorie
 - $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$
- Definice absolutně černého tělesa
 - A (poměrná pohltivost) = 1
 - B (poměrná odrazivost) = 0
 - C (poměrná propustnost) = 0
- Poměrná pohltivost
 - A = Energie pohlcená / Energie celková; pro absolutně černé těleso A=1
- Jaké jsou druhy přenosu tepla
 - vedením (kondukcí)
 - prouděním (konvekci)
 - sáláním (radiací)
- Jaká konstanta určuje množství tepla v jednotce objemu
 - c ... měrná tepelná kapacita [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$]
- Jaké jsou rozměry základních tepelných veličin
 - termodynamická teplota θ [K]
 - součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
 - součinitel přestupu tepla z jednoho prostředí do druhého α [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
 - tepelný měrný odpor $1/\lambda$ [m. K. W^{-1}]
 - hustota tepelného toku $\mathbf{q} = -\lambda \text{ grad } \theta$ [Wm^{-2}]
 - tepelný tok $P = \int \mathbf{q} \cdot d\mathbf{S}$ [W]
- Kdy je součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] minimální
 - materiál je pórovitý, má malou hustotu
- Jaké jsou základní teplotní body oceli?
 - 750°C – Curieův bod
 - 900°C – kalení
 - 1200°C – tváření za tepla
 - 1400°C – tavení
- Vztah pro proudění (Newtonův zákon):
 - $P = \alpha \cdot S \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$ [W], kde α [$\text{W. m}^{-2}. \text{K}^{-1}$] je součinitel prostupnosti tepla z jednoho prostředí do druhého, S je plocha a $\vartheta_1 - \vartheta_2$ teplotní spád (1...okolí, 2...vsázky)

- Fyzikální vlivy na α (součinitel přestupu tepla)
 - rozdíl teplot, vlhkost, drsnost povrchu, viskozita, proudění prostředí (poloha stěny)
- Jaké jsou rovnice harmonického elmg. vlnění
 - $\nabla^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0$
 - $\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$
 - kde $k^2 = \mu \cdot \epsilon \cdot \omega^2 - j \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \omega \Rightarrow k = \alpha - j \cdot \beta$
- Co je to k
 - konstanta šíření elmg. vlnění $k^2 = \mu \cdot \epsilon \cdot \omega^2 - j \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \omega \Rightarrow k = \alpha - j \cdot \beta$
 - α ... fázová konstanta, β ... útlum
- Tepelná vodivost
 - λ [W. m⁻¹. K⁻¹]
- Jak závisí tepelná vodivost na teplotě
 - je jí přímo úměrná $\lambda = \lambda_0(1 + b \cdot \vartheta)$, b ... materiálová konstanta
- Na čem závisí λ
 - $Q, c, \Delta v, \rho$, rozměry tělesa
- Jaké jsou druhy elektrického ohřevu
 - dielektrický
 - indukční (nad 100kW)
 - odporový (přímým průchodem proudu, do 100kW)
 - plasmový
 - obloukový
 - elektronový (ohřev elektronovými paprsky)
 - laserový
 - infračervený
- Ovlivnění pracovního bodu ve statické charakteristice ss oblouku
 - změnou I , nebo vzdáleností elektrod (tedy R)
- Jaké jsou druhy odporového ohřevu
 - přímý
 - nepřímý
- U jakého ohřevu se uplatňují H a E
 - H u indukčního ohřevu
 - E u dielektrického ohřevu
- Jaká je intenzita E uvnitř kruhového vodiče
 - $E = 0$

➤ Co je to x_2

- argument cylindrické funkce $x_2 = r_2 \frac{\sqrt{2}}{a}$, kde r_2 je poloměr vsázky a a je hloubka vniku

➤ Jaké jsou typy výbojů

- doutnavý (v plynech při malých tlacích)
- jiskrový (při průrazu)
- obloukový

➤ Jaké jsou druhy elektrických pecí

- kelímkové
- kanálkové

➤ Kdy se používá indukční kelímková pec

- 50Hz, 150Hz, 500Hz, menší až do 4kHz
- nad teploty 1 400°C
- tekutá nemagnetická vsázka
- výroba ocelí

➤ Kdy se používá indukční kanálková pec

- 50Hz, „permanentní provoz“
- tavení barevných kovů
- zušlechťování šedé litiny

➤ Jaké jsou druhy elektrických vaříčů

- otevřené – volný topný vaříč
- s uzavřenou topnou deskou – topný článek umístěn v plášti

➤ Jaká je účinnost elektrické a plynové pece

- $\eta = 0,35$ plynová pec
- $\eta = 0,78$ elektrická pec při 1240°C

➤ Vyjádřete účinnost indukční elektrické pece

- $\eta_{celk} = \frac{P_z}{P_1 + P_2 + P_3}$, kde P_1 je příkon induktoru, P_2 vsázky a P_3 pásového vedení a stínění
- $65 \div 85\%$

➤ Jaká je účinnost vaříče

- $\eta = \frac{m.c.\Delta\theta}{P.t}$

➤ Dva způsoby určení P_{11}

- z Joulových ztrát
- z Poyntingova vektoru - $P_{11} = \text{Re}(\vec{N}_{11})$ stř.

➤ Výkon

- $P = R \cdot I_{ef}^2 = \frac{1}{2} R \cdot I_{max}^2 = \frac{U_{ef}^2}{R} [\text{W}]$

➤ Metody měření teploty termočlánky

- odchylková metoda
- kompenzační metoda

➤ Cejchování termočlánků

- porovnáním s normálem
- pomocí pevně definovaných teplotních bodů

➤ Závislost termoelektrického napětí na teplotě

- lineární, $U = (\alpha_A - \alpha_B)(\vartheta_T - \vartheta_S)$ [mV]

➤ Termočlánky

- Cr-Ko (-250÷350°C)
- Fe-Ko (-200÷700°C)
- NiCr-Ni (0÷1 200°C)
- PtRh-Pt (0÷1 300°C)

➤ Jaké jsou druhy indukčních zařízení

- tavící × kalící × prohřívací
- pece kelímkové × kanálkové

➤ Dělení podle kmitočtu

- nf - síťová frekvence
- sf - středofrekvenční (50÷10kHz)
- vf - vysokofrekvenční (nad 10kHz)
- vvf - MHz

➤ Druhy stínění

- vodivou stěnou (pláštěm)
- pomocí transformátorových plechů

➤ Na jakém základě funguje stínění transformátorovými plechy

- na základě magnetické vodivosti

➤ Kdy se používá dvouvrstvá cívka

- pro zařízení do 50 Hz

➤ Jaká jsou stádia vsázky

- kusová magnetická (20 ÷ 750°C)
- kusová nemagnetická (750 ÷ 1400°C)
- tekutá nemagnetická (1400°C ÷ 1650°C)

➤ Co je to Curieův bod?

- Je to bod, při kterém dochází k tomu, že se materiál stává nemagnetickým, mizí jeho magnetické vlastnosti má $\mu_r = 1$. Je to materiálová konstanta a pro každý materiál má jinou hodnotu, např. pro ocel je to 768 °C.

➤ Princip vzniku síly v indukční kelímkové peci

- vlivem elektrodynamických sil se silně víří tavenina. Vlivem tlaku magnetických sil na vsázku vzniká u stěny v kelímku tavenině podtlak, v ose taveniny přetlak. Tavenina vtéká ke stěně vlivem hydrostatických sil a vzdouvá se ve středu kelímku. Závisí na příkonu P , elektrické vodivosti (konduktivitě) vsázky γ a klesající hodnotě frekvence f .

- $\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B}$

➤ Co způsobuje víření v peci

- elektrodynamické síly způsobené mg. polem $\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B}$

➤ Proč se používá stínění indukční pece

- pro zamezení namáhání nosných konstrukcí pece magnetickým tokem

➤ Proč má indukční pec dutý vodič

- v dutině proudí chladicí médium

➤ Náhrada průměrů

- $d_c = d_1 + a_1$... cívka induktoru
- $d_v = d_2 - a_2$... vsázka
- $d_s = d_3 + a_3$... stínění

➤ O kolik procent se zvýší indukčnost vsázky díky stínění

- o 10%

➤ Určete hloubku vniku ve vzduchové mezeře cívky pro $f = 1$ kHz

- $a = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \gamma}}$ je pro $\gamma \rightarrow 0$ (vzduch je nevodivý) $a \rightarrow \infty$

➤ Jaká je hloubka vniku pro stejnosměrný proud

- $a = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \gamma}}$ je pro $\omega \rightarrow 0$ (ss proud) $a \rightarrow \infty$

➤ Jaká je optimální tloušťka vsázky

- $a_{opt} = 2,5a \div 3a$; $a = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \gamma}}$

➤ Kolik procent energie vnikne do hloubky $1a$, $2a$, $3a$?

- $1a$... 86,4%
- $2a$... 98,16%
- $3a$... 99,75%

➤ Jaká je optimální tloušťka stěny

- pro $d_{opt} = \frac{\pi}{2}$ je $R_{21} \rightarrow \text{minimální} \Rightarrow \Delta P$ jsou minimální
- pásové vedení, vodič induktoru i stínící plášť musí mít minimální odpor pro minimalizaci ztrát způsobených vířivými proudy

- Na čem závisí tloušťka pásového vedení
 - na a
- Na čem závisí výška pásového vedení
 - na \vec{J}
- Podle čeho se určuje vzdálenost pásů u pásového vedení
 - podle U_G ... napětí zdroje
- Na čem závisí odpor pásového vedení
 - průřez (délka \times výška), délka, konduktivita resp. rezistivita (γ resp. ρ), hloubka vniku (a)
- Na čem závisí homogenní pole mezi vedením
 - na U_G ... napětí zdroje
- Vznik stojatého vlnění
 - vzniká superpozicí (složením) postupné a odražené vlny
- Rovnice stojatého vlnění
 - $\vec{E} = Z \cdot \vec{H}_2 \cdot j \cdot \sin(\alpha x)$; $\vec{H} = \vec{H}_2 \cdot j \cdot \cos(\alpha x) \cdot e^{-j\omega t}$
- Jak se odráží vlna v tenké stěně na rozhraní vodivého a nevodivého
 - s opačnou fází \vec{H} a se stejnou fází \vec{E}
- Podle jaké funkce klesá elektromagnetické vlnění ve vodivé stěně
 - podle funkce $f(x) = e^{-\frac{x}{a}}$ klesá průběh \vec{H} , \vec{J} , \vec{E}
 - podle funkce $f(x) = e^{-\frac{2x}{a}}$ klesá průběh σ
- \vec{H} , \vec{E} ve vodivé vsázce válcové
 - \vec{H} ... mg. skinefekt
 - \vec{E} ... el. skinefekt
- \vec{H} , \vec{E} ve vodivé vsázce válcové
 - \vec{H} ... homogenní
 - \vec{E} ... nulové
- Jak tlustá stěna utlumí záření
 - jakákoli
- Průzařnost materiálu, když $x_2 = 2$, $x_2 = 50$, $x_2 = 100$
 - nevyhovuje 2
 - pro $d = 2a$ absorbuje 80% výkonu, zbytek projde skrz
 - pro $d < a$ téměř neabsorbuje teplo, nevýhodné pro indukční ohřev

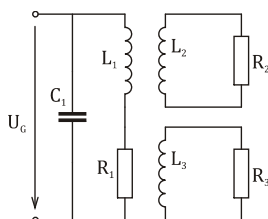
- Co je symetrizační zařízení, kdy se používá
 - pro zařízení nad 500kW
 - k převedení jednofázové zátěže na symetrickou zátěž trojfázovou
- Návrh symetrizačního zařízení pro 600kW / 1000Hz
 - nelze, neboť jak známo, síťová frekvence je na 50Hz
- Výpočet $\Theta = ?$, pro $\lambda = 1,2\mu\text{m}$
 - $\lambda_m = 2892 / \Theta \text{ } [\mu\text{m}, \text{K}] \Rightarrow \Theta = \frac{2892}{1,2} \text{K} = 2410 \text{K}$
- Z čeho se odvozuje C při kompenzaci
 - z činného proudu zdroje $\text{Im}[I_G] = 0$
 - $C = \frac{L_I}{R_I^2 + \omega^2 L_I^2}$
- Jaká je tloušťka, při níž se **H** a **E** utlumí na 1/e
 - tloušťka stěny $d = a$, $E_1 = e^{-1} \cdot E$, $H_1 = e^{-1} \cdot H$
- V jakém prostředí se vlna neodráží
 - v nevodivém
 - nevzniká stojatá vlna
- Kdy je uvažována slabá nebo silná stěna v souvislosti s hloubkou vniku a
 - $\approx d \geq 6,28a$
- Jaká je vlnová délka pro $f=1 \text{ kHz}$
 - $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^3} \text{m} = 3 \cdot 10^5 \text{m}$
- Jaká je vlnová délka?
 - $\lambda = 2\pi a$ pro $\gamma \neq 0$, (tedy vodivé prostředí)
 - $\lambda = \frac{c}{f}$ pro $\gamma = 0$, (tedy nevodivé prostředí)
- Jaká je vlnová délka infrazářením
 - $\lambda = 760 \div 1000 \text{ nm}$
- Kde je větší rychlost elmg. vlny
 - v nevodivém prostředí $v_{\gamma=0} \sim c$, kdežto ve vodivém prostředí $v_{\gamma \neq 0} = 2\pi a f$
- Určení směru Poyntingova vektoru
 - $\mathbf{N} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$, platí obecné pravidlo o směru vektorového součinu. Dívám-li se proti směru výsledného vektoru (zde tedy \mathbf{N} vstupuje do oka), vektory mají od prvního k druhému kladný směr otáčení (proti směru hod. ručiček)

- Hustota proudu
 - $\vec{J} = \gamma \cdot \vec{E}$ [A. m⁻²]
- Kdy je $\gamma = 0$
 - v nevodivém prostředí
- Poyntingův vektor
 - hustota toku elmg. záření na jednotku plochy
 - $\vec{N} = \vec{E} \times \vec{H}$ [W. m⁻²]
- Teplo ve válcové vsázce
 - přímý ohřev $R_2 I_2^2$
 - nepřímý ohřev $R_{21} I_{1ef}^2$
- Činitel vazby
 - $\chi^2 = \frac{M_{12}^2}{L_1 L_2} \Rightarrow \chi = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}$
- Jak závisí P_{21} na hloubce vniku
 - $P_{21} = \frac{1}{z.a.\gamma} N_2^2$
- Stefan – Boltzmannův zákon
 - $P_{\epsilon} = \sigma_{\epsilon} \Theta^4$
 - $\sigma_{\epsilon} = 5,6697 \cdot 10^{-8}$ W. m². K⁴ ... Stefan-Boltzmanova konstanta
 - úhrnná zářivost absolutně černého tělesa
- Planckův zákon
 - $M_{\lambda\epsilon} = f(\Theta, \lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda\Theta} - 1)}$ [Wm⁻³]
 - $C_1 = 3,73 \cdot 10^{-16}$ W. m²
 - $C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2}$ m. K
 - spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa
 - integrace přes $\lambda \in (0, \infty)$ vede na Stefan – Boltzmannův zákon
- Kirchhoffův zákon
 - $P_{\xi} = \epsilon_{\xi} \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot \Theta^4$
 - ϵ_{ξ} je stupeň černosti (součinitel emisivity)
- Wienův zákon
 - $\lambda_m = \frac{2892}{\Theta}$ [μm, K]
- Lambertův zákon
 - $P = P_{\varphi} \cos \varphi$
 - výkonově se uplatňuje pouze kolmá složka záření

➤ Maxwellovy rovnice

- $\text{rot } \vec{H} = \gamma \vec{E} + \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
- $\text{rot } \vec{E} = -\mu_0 \mu_r \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
- $\text{div} \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \rho$
- $\text{div } \vec{H} = 0$

➤ Náhradní schéma indukční kelímkové pece



➤ VA charakteristika ss oblouku

