

## Meranie a implementácia charakteristík peltierovho článku v procese chladienia elektronických súčiastok

Brestovič Tomáš<sup>1</sup>, Čarnogurská Mária<sup>1</sup>, Kubík Michal<sup>1</sup>

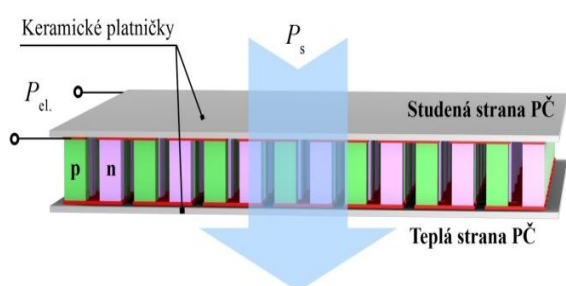
<sup>1</sup> Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Vysokoškolská 4, 042 0 Košice, SR, tomas.brestovic@tuke.sk, maria.carnogurska@tuke.sk, michal.kubik@tuke.sk

**Abstrakt** Pri chladiení polovodičových súčiastok, stabilizácii teploty laserových diód, ale aj pri chladiení infračervených detektorov sa využívajú peltierové články (PČ). Tie umožňujú znížiť teplotu na jednej zo svojich keramických dosiek a umožniť tak intenzifikáciu odvodu tepla len na základe prechodu elektrického prúdu polovodičovými materiálmi. Na vytvorenie závislostí medzi rozdielom teplôt, elektrickým prúdom a celkovým chladiacim výkonom bola uskutočnená rada meraní, na základe ktorých je možné získať rozšírené charakteristiky udávané výrobcom, ako aj vyhodnotenie COP (Coefficient of performance) pri chladiení.

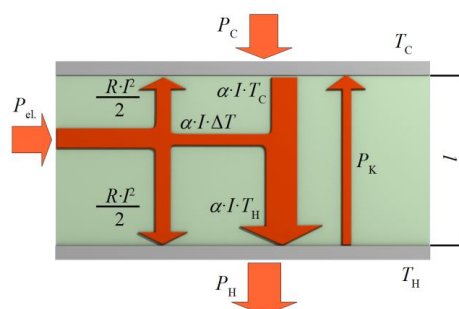
### 1 Úvod

Peltierov termoelektrický článok je zariadenie zložené z niekoľkých termočlánkov, ktoré sú tepelne spojené paralelne a elektricky do série. Termočlánky vytvárajú páry p-n polovodičov, ktoré sú označované ako termoelektrické materiály, pričom využívajú Seebeckov a Thomsonov jav [1]. Termoelektrický menič predstavuje rovinnú stenu zloženú z troch vrstiev. Dve vrstvy sú tvorené keramickými platničkami (obr. 1), ktoré sú vyrobené z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a majú rovnakú hrúbku. Medzi týmito dvomi vrstvami sú stĺpiky materiálu  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , ktoré sú od seba navzájom oddelené vzduchovou medzerou. Peltierov článok môže fungovať ako generátor elektrickej energie pri dosiahnutí rozdielnych teplôt na keramických platničkách, resp. ako tepelné čerpadlo pri privedení elektrickej energie na koncové svorky.

V prípade, že sa článok využíva v procese chladienia, je po privedení elektrického prúdu prenášaný tepelný tok zo studenej strany na teplú, avšak súčasne je vo vnútri polovodičov generované Joulovo teplo, ktoré je odvádzané na obe keramické dosky. Vzhľadom na rozdiel teplôt medzi doskami dochádza v PČ aj k prenosu tepla na základe Fourierovho zákona (obr. 2).



Obr. 1 Model Peltierovho článku



Obr. 2 Tepelné toky v Peltierovom článku

### 2 Tepelná bilancia PČ

Pre tepelný výkon vznikajúci prechodom elektrického prúdu spojom dvoch rôznych vodičov Peltierovho článku, vplyvom Peltierovho javu, platí [1]:

$$P_{PČ} = \alpha \cdot T \cdot I \quad (W) \quad (1)$$

kde  $\alpha$  je Seebeckov koeficient ( $V \cdot K^{-1}$ ),  $T$  - termodynamická teplota spoja (K) a  $I$  je elektrický prúd prechádzajúci PČ (A). Prechodom elektrického prúdu článkom sa vplyvom vnútorného elektrického odporu  $R$  ( $\Omega$ ) uvoľňuje Jouleovo teplo:

$$P_J = R \cdot I^2 \quad (W) \quad (2)$$

Pre tepelný výkon, prechádzajúci článkom z teplejšej strany o teplote  $T_H$  na chladnejšiu stranu o teplote  $T_C$  je možné vychádzať z Fourierovho zákona:

$$P_K = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_H - T_S}{l} \quad (W) \quad (3)$$

kde  $\Delta T$  je rozdiel teplôt na teplej a studenej strane (K),  $\lambda$  je súčiniteľ tepelnej vodivosti použitého materiálu ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $S$  je celkový prierez všetkými polovodičovými stĺpkami ( $m^2$ ) a  $l$  je výška polovodičovných stĺpkov (m). Pre tepelný výkon vchádzajúci na studenej strane do Peltierovho článku (obr. 2) dostávame [2], [3]:

$$P_C = \alpha \cdot I \cdot T_S - \frac{R \cdot I^2}{2} - \lambda \cdot S \cdot \frac{T_H - T_S}{l} \quad (W) \quad (4)$$

zatiaľ čo pre tepelný výkon odchádzajúci na teplej strane Peltierovho článku platí:

$$P_H = \alpha \cdot I \cdot T_H + \frac{R \cdot I^2}{2} - \lambda \cdot S \cdot \frac{T_H - T_S}{l} \quad (W) \quad (5)$$

Po dosiahnutí ustáleného stavu, kedy sa jednotlivé veličiny s časom už nemenia, musí zo zákona zachovania energie pre elektrický výkon dodávaný do článku platiť:

$$P_{el.} = U \cdot I = P_H - P_C = \alpha \cdot I \cdot \Delta T + R \cdot I^2 \quad (W) \quad (6)$$

Chladiacu účinnosť Peltierovho článku, resp. COP, definujeme ako pomer chladiaceho výkonu a elektrického príkonu:

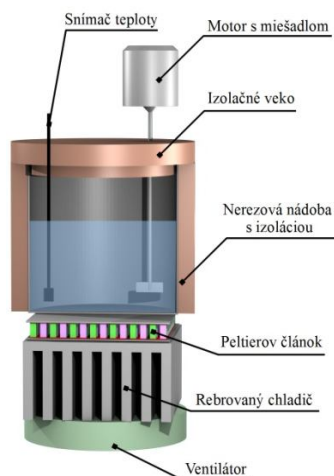
$$COP_{cooling} = \frac{P_C}{P_{el.}} = \frac{\alpha \cdot I \cdot T_S - \frac{R \cdot I^2}{2} - \Delta T}{\alpha \cdot I \cdot \Delta T + R \cdot I^2} \quad (W) \quad (7)$$

Zo vzťahu (7) vidno, že Joulovo teplo uvoľňované v odpore článku jeho účinnosť znižuje, lebo jeho polovica ohrieva studený koniec článku.

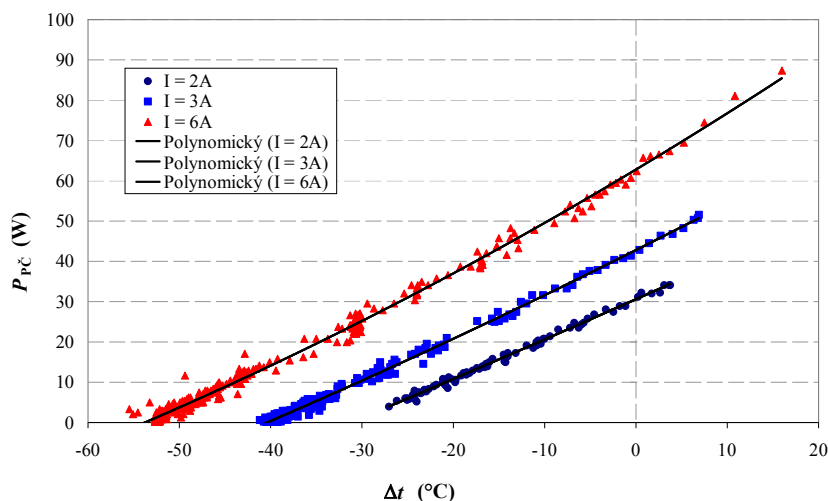
### 3 Meranie charakteristík PČ

Základnou charakteristikou PČ je závislosť chladiaceho výkonu od rozdielu teplôt na keramických doskách pri konštantnom prúde a konštantnej teplote teplej strany. Preto bol Peltierov článok typu TEC1-12710 umiestnený teplou stranou na rebrovanom chladiči s ventilátorom, ktorého otáčky boli regulované pre dosiahnutie konštantnej teploty teplej strany. Pre tento účel bol vytvorený regulátor na báze termistorovo tranzistorovej regulácie. Na studenú stranu PČ sa umiestnila nerezová izolovaná nádoba do ktorej sa nadávkovalo 380 ml vody (obr. 3). Po privedení elektrického prúdu do PČ dochádzalo k znižovaniu teploty vody v oceľovej nádobe, pričom teplota chladiča sa udržiavala na konštantnej teplote. Analýzou časového poklesu teploty vody bolo možné vypočítať chladiaci výkon nepriamou metódou z kalorimetrickej a Fourierovej rovnice. Pre dosiahnutie konštantnej teploty vody sa táto

neustále premiešavala miešadlom s konštantnými otáčkami. Súčasne bola meraná aj teplota chladiča v tesnej blízkosti teplej strany PČ.


**Obr. 3** Schéma

experimentálneho zariadenia na meranie charakteristík PČ


**Obr. 4** Chladiaci výkon PČ TEC1-12710 pri  $T_H = 60\text{ °C}$ 

Tepelný výkon  $P_o$ , ktorý ochladzuje vodu a nerezovú nádobu pozostáva z chladiaceho výkonu Peltierovho článku  $P_{PČ}$  a tepelného výkonu  $P_{str}$  cez steny zásobníka vznikajúceho vplyvom prechodu tepla izoláciou z penového polyetylénu a tieniacou fóliou do okolia:

$$P_o = P_{PČ} + P_{str} \quad (W) \quad (8)$$

Tepelný tok konvekciou a sálaním z povrchu nádoby do okolia je vo všeobecnosti možné vypočítať podľa vzťahu:

$$P_{str} = \frac{t - t_{ok}}{R} \quad (W) \quad (9)$$

kde  $t$  je teplota vody v zásobníku ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_{ok}$  je teplota okolia ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R$  predstavuje tepelný odpor zásobníka vody ( $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ). Priemerná hodnota tepelného odporu izolovanej nádoby získaná meraním pozvoľného ochladzovania vody je  $8,945\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$ . Odobraný tepelný výkon z nádoby je možné vypočítať z upravenej kalorimetrickej rovnice:

$$P_o = -\left(\sum m \cdot c\right) \cdot \frac{dt}{d\tau} \quad (W) \quad (10)$$

kde  $\sum m \cdot c$  je celková tepelná kapacita zásobníka ( $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $dt$  je diferenciálna zmena teploty ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $d\tau$  je diferenciálna zmena času (s). Dosadením vzťahov (9) a (10) do vzťahu (8) možno získať diferenciálnu rovnicu popisujúcu pokles teploty vody v zásobníku pri predpoklade, že v malom rozsahu teploty vody je chladiaci výkon PČ konštantný:

$$-\left(\sum m \cdot c\right) \cdot \frac{dt}{d\tau} = P_{PČ} + \frac{t - t_{ok}}{R} \quad (11)$$

Riešením a úpravou rovnice (11) nadobudne výsledný vzťah na výpočet chladiaceho výkonu PČ, na základe nameraných teplôt, v závislosti na čase:

$$P_{P\check{C}} = \frac{t_{ok} - t_1 - (t_{ok} - t_2) \cdot e^{\frac{\Delta\tau}{R\cdot\Sigma mc}}}{R \cdot \left( 1 - e^{\frac{\Delta\tau}{R\cdot\Sigma mc}} \right)} \quad (W) \quad (12)$$

kde  $t_1$  je teplota na počiatku časového úseku merania  $\Delta\tau$  (°C),  $t_2$  je teplota na konci časového úseku merania  $\Delta\tau$  (°C). Na základe tohto vzťahu boli nepriamou metódou získané priebehy chladiacich výkonov PČ (obr. 4).

Pri známej hodnote chladiaceho výkonu PČ je možné jednoduchým predelením vstupným elektrickým príkonom získať COP chladenia v zmysle vzťahu (7).

#### 4 Diskusia

Zo získaných priebehov chladiaceho výkonu a COP Peltierových článkov je možné optimalizovať tepelný výpočet pri chladení v konkrétnych aplikáciách. S narastajúcim napájacím elektrickým prúdom narastá aj chladiaci výkon PČ, avšak pri zvyšujúcom sa rozdielom teplôt medzi studenou a teplou stranou sa chladiaci výkon znižuje. Pri dosiahnutí kritickej teploty na studenej strane PČ už nedochádza k chladeniu a na teplú stranu sa odvádza iba Joulovo teplo z elektrického príkonu. S narastajúcim elektrickým príkonom do PČ dochádza k zvyšovaniu chladiaceho výkonu, avšak znižuje sa COP chladenia. Preto je z hľadiska účinnosti výhodnejšie prevádzkovať PČ pri nižších výkonoch, čo je však pri prevádzkových požiadavkách zameraných na dosahovanie veľkých výkonov nevýhodné.

#### 5 Záver

Metodika merania charakteristík Peltierových článkov umožňuje jednoduchým meraním teploty vody a teploty v blízkosti teplej strany PČ, v závislosti na čase, automatizovať získanie charakteristík, pretože znižovanie teploty vody na studenej strane sa uskutočňuje automaticky odoberaním tepelného výkonu. Pri meraní je potrebné zvoliť vhodný časový interval merania, aby nedošlo k veľkým rozdielom teplôt, kedy už nie je možné predpokladať konštantný chladiaci výkon PČ, ale ani k veľmi malým rozdielom teplôt, pri ktorých je odchýlka vypočítaného výkonu kalorimetrickou metódou pomerné veľká.

**PodĎakovanie** Autori vyslovujú poďakovanie slovenskej grantovej agentúre VEGA MŠ, grant 1/0006/11 za podporu riešenia tohto projektu a tiež agentúre MŠ SR pre štrukturálne fondy EÚ operačného programu „Výskum a vývoj“ projektu č. p. ITMS 26220220044.

#### Literatúra

- [1] Pérez–Aparicio, J. L., Palma, R., Taylor, R. L. Finite element analysis and material sensitivity of Peltier thermoelectric cells coolers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55 (2012), p.1363–1374, ISSN 0017-9310.
- [2] Kolková, Z., Malcho, M., Čaja, A., Nemeč, P. The comparison of thermal performances with gravitational and capillary heat pipes usable for the cooling of the electrotechnical equipment In: *IN-TECH 2011: Proceedings of international conference on innovative Technologies*, 2011, Bratislava, ISBN 978-80-904502-6-4. - S. 300-303.
- [3] Nemeč, P., Čaja, A., Lenhard, R. Mathematical model for transport limitations of heat pipe, In: *Power control and optimization: proceeding of fourth global conference: 2-4 December 2010*, Kuching, Malaysia, ISBN 978-983-44483-32.