

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

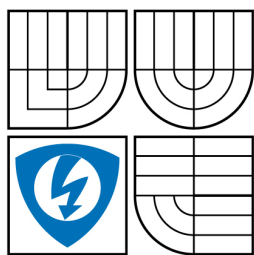
NÁVRH A TVORBA LABORATORNÍ ÚLOHY S PELTIEROVÝM
ČLÁNKEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL MEJZLÍK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Michal Mejzlík

ID: 89279

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Studium Peltierova článku, obecný popis, vlastnosti, použití a charakteristiky Peltierových článků.
2. Zmapování současného stavu v oblasti Peltierových článků.
3. Možnosti využití Peltierova článku v laboratorní výuce.
4. Návrh, matematický popis a realizace laboratorní úlohy s Peltierovým článkem.
5. Vypracování vzorového protokolu.
6. Závěr.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jan Macháček

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

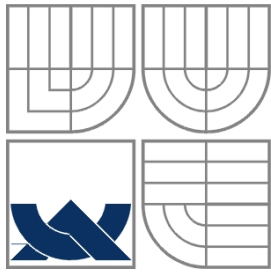
Bibliografická citace práce:

MEJZLÍK, M. Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 76 stran.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Macháčkovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce

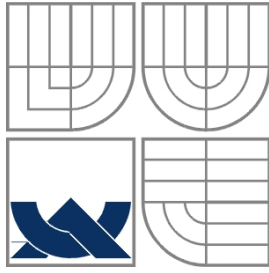
Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem

Michal Mejzlík

vedoucí: Ing. Jan Macháček

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

Design and construction laboratory exercise with Peltier cell

by

Michal Mejzlík

Supervisor: Ing. Jan Macháček

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Práce v úvodu popisuje tři termoelektrické jevy a jejich vlastnosti. Dále se zabývá termoelektrickými články využívajícími principu Seebeckova a Peltierova jevu. Popisuje princip činnosti Peltierových článků, jejich matematický model, konstrukci a využití v praxi. Uvádí s jakými typy, tvary a výkony se můžeme na trhu setkat a podle jakých parametrů se řídí jejich výběr. Navrhuje možnost měření některých charakteristik a veličin v laboratorních úlohách a jejich vyhodnocení. V závěru je uveden návrh laboratorní úlohy s teoreticky vypracovaným vzorovým protokolem.

KLÍČOVÁ SLOVA: termoelektrický jev, tepelný výkon, teplota, Seebeckův jev, Peltierův jev, termobaterie, Peltierův článek, chladič.

ABSTRACT

The introduction of this paper describes three thermoelectrical effects and their properties. It also deals with thermoelectrical cells, which are using Seebeck's and Peltier's effects. The paper describes principles how the Peltier's cells work, their mathematical model, construction and practical use. The paper shows what kinds, shapes and output we can meet at the market and which kinds of parameters regulate their selection. The paper suggests the possibility to measure characteristic behaviour and quantity during laboratory tasks and their evaluations. At the conclusion is added the suggestion of laboratory task together with theoretically made pilot protocol.

KEY WORDS: thermoelectric effect, heat power, temperature, Seebeck effect, Peltier effect, thermobattery, Peltiere module, cooler.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD.....	16
2 TEORETICKÁ ČÁST	18
2.1 TERMOČLÁNEK	18
2.2 TERMOELEKTRICKÉ JEVY	18
2.3 KONTAKTNÍ NAPĚTÍ.....	18
2.4 SEEBECKŮV JEV	19
2.5 PELTIERŮV JEV	20
2.6 THOMSONŮV JEV.....	22
2.7 VZTAHY MEZI KOEFICIENTY	23
2.8 TERMOČLÁNKY	23
3 PELTIEROVA TERMOBATERIE	26
3.1 POLOVODIČE	26
3.2 POLOVODIČE TYPU N.....	26
3.3 POLOVODIČE TYPU P	27
3.4 PŘECHOD PN.....	27
3.5 PELTIERŮV ČLÁNEK.....	29
3.6 PARAMETRY URČUJÍCÍ CHLADÍČÍ A TOPNÝ VÝKON PELTIEROVA ČLÁNKU.....	32
3.7 URČENÍ KONSTANT PRO JEDNU PELTIEROVU TERMOBATERII	34
3.7.1 VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI	34
3.7.2 URČENÍ KONSTANT R A α	35
3.8 MATEMATICKÝ POPIS JEDNOSTUPŇOVÝCH A VÍCESTUPŇOVÝCH PELTIEROVÝCH TERMOBATERIÍ.....	36
3.8.1 JEDNOSTUPŇOVÉ TERMOBATERIE.....	36
3.8.2 DVOUSTUPŇOVÉ TERMOBATERIE	37
3.8.3 TŘÍSTUPŇOVÉ TERMOBATERIE	38
3.9 UKÁZKY CHARAKTERISTIK NAMĚŘENÝCH NA PELTIEROVĚ TERMOBATERII.....	39
4 POUŽITÍ PELTIEROVA ČLÁNKU	41
4.1 POUŽITÍ PELTIEROVA ČLÁNKU	41
4.2 ÚČINNOST PELTIEROVA ČLÁNKU	41
4.3 STAV NA TRHU	41
4.4 MOŽNOSTI VYUŽITÍ A APLIKACE PELTIEROVA ČLÁNKU	48
5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ V LABORATORNÍ VÝUCE.....	54
6 CÍLE PRÁCE	55
7 NÁVRH ZADÁNÍ K LABORATORNÍ ÚLOZE	56
8 NÁVRH PROTOKOLU	65

9 ZÁVĚR.....	74
POUŽITÁ LITERATURA	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Obvod uzavřený ze tří různých kovů.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-2 Princip.schéma Seebeckova jevu.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-3 Princip. schema Peltierova jevu.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2-4 Homogenní kovová tyč délky.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2-5 Grafické znázornění průběhu termoelektrického napětí nejčastějších termočlánků[8]..</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-5 PN přechod v závěrném směru.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3-6 Složení Peltierova článku.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-7 Spojení několika Peltierových článků.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3-8 Peltierova termobaterie.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 3-9 Kaskádní zapojení Peltieroy termobaterie.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 3-10 Energetická bilance jednoho článku.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 3-11 Výkonová bilance jednoho článku.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 3-12 Závislost chladicího výkonu na proudu.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 3-13 Klasická jednostupňová Peltierova termobaterie.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 3-14 Dvoustupňová Peltierova termobaterie.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 3-15 Třístupňová Peltierova termobaterie.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 3-16 Graf závislosti rozdílu teplot na velikosti proudu.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 3-17 Graf závislosti rozdílu teplot na velikosti tepelného výkonu.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 3-18 Graf závislosti napětí na rozdílu tepot.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 4-1 Ukázka kaskádní termobaterie.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 4-2. Kosmická sonda Cassini.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 7-1. Peltierův článek.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 7-2. Schéma zapojení laboratorní úlohy.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 7-3. Náhrada Peltierova článku jeho ekvivalentem napěťového zdroje.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 7-4.Schéma zapojení Peltierova aparátu pro stanovení chladicího činitele ε.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 8-1. Schéma zapojení úlohy pro měření na Peltierově článku.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 8-2. Náhrada Peltierova článku jeho ekvivalentem napěťového zdroje.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 8-3. Rozdělení výkonů Φ_H a Φ_C na Peltierově termobaterii.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 8-4.Schéma zapojení úlohy pro měření chladicího činitele.....</i>	<i>70</i>

Seznam tabulek

Tab. 2-1 Seebeckovy koeficienty některých kovů vztažené k olovu [6]20

Tab. 2-2 Základní informace o termočláncích dle zmíněných norem [1]24

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	Značka jednotky
I	Proud	A
P	Elektrický výkon	W
Q	Teplo	J
R	Elektrický odpor	Ω
S	Průřez	m^2
T	Termodynamická teplota	K
U	Napětí	V
U_e	Elektromotorické napětí	V
U_S	Seebeckovo napětí	V
Z	Součinitel efektivnosti	K^{-1}
h	Délka sloupků polovodičů	m
l	Délka	m
n	Počet článků v termobaterii	-
s	Měrná elektrická vodivost	$S \cdot m^{-1}$
t	Čas	s
ρ	Měrný odpor	$\Omega \cdot m$
ΔT	Teplotní rozdíl	K
Φ	Tepelný výkon	W
Λ	Tepelná vodivost	$W \cdot K^{-1}$
Π	Peltierův koeficient	V
α	Seebeckův koeficient	$V \cdot K^{-1}$
β	Seebeckův koeficient	$V \cdot K^{-2}$
ε	Chladicí faktor	-
ε_h	Účinnost topení	-
η	Účinnost	-
φ	Kontaktní potenciál kovů	V
λ	Měrná tepelná vodivost	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
τ	Thomsonův koeficient	$V \cdot K^{-1}$

1 ÚVOD

Roku 1821 zpozoroval Thomas Johann Seebeck (1770-1834), že v obvodu, který se skládá ze dvou různých kovů a v němž mezi místem styku obou vodičů a jejich volnými konci je teplotní rozdíl ΔT , vzniká napětí ΔU . O 13 let později 1834 objevil francouzský hodinář J. Ch. Peltier (1785-1845) jev, který spočívá v uvolňování nebo pohlcování tepla při průchodu stejnosměrného proudu místem styku dvou různých vodičů. Množství tepla Q_P , zvaného teplem Peltierovým, je úměrné procházejícímu proudu I . Na směr proudu závisí, zda je v místě styku obou vodičů teplo uvolňované nebo pohlcované. Mezi oběma uvedenými jevy, nazvanými po svých objevitelích jevem Seebeckovým a Peltierovým, je úzká souvislost.

Viliam Thomson (1824-1907), známý později jako lord Kelvin, studoval oba dva uvedené jevy na základě zákonů termodynamiky; potvrdil jejich vzájemnou souvislost a navíc objevil další jev, který byl po něm nazván jev Thomsonův. Zjistil totiž, že prochází-li stejnosměrný proud I homogenním vodičem, ve kterém je teplotní spád (teplotní gradient), uvolňuje nebo pohlcuje se ještě další množství tepla Q_T zvaného teplem Thomsonovým. Již z toho je zřejmé, že Thomsonův a Peltierův jev jsou jevy navzájem neoddelitelné.

V letech 1920 -1921 oznámil C. Benedicks objev dalšího termoelektrického jevu, který je kvantitativně určován jen velikostí teplotního gradientu ve vodiči. Existuje-li ve vodiči teplotní gradient přesto, že teploty obou konců vodiče jsou stejné, vznikne mezi konci vodiče rozdíl potenciálů. Ten je velmi malý a u kovů prakticky neměřitelný. Proto existence Benedicksova jevu nebyla dlouho experimentálně prokázána. Byl podrobně studován a ověřován i našimi vědeckými pracovníky. Z. Trousilovi se jej podařilo prokázat na vzorcích z germania a změřit rozdíl potenciálů.

Všechny uvedené jevy- Seebeckův, Peltierův, Thomsonův a Benedicksův - jsou označovány souhrnným názvem jevy termoelektrické. Jejich podstata spočívá buď ve vzniku elektromotorického napětí (dále jen EMN), zvaného termoelektromotorické, nebo stručněji jen termoelektrické (dále už jen termoelektrické), vyvolaného rozdílem teplot v obvodu (jev Seebeckův a Benedicksův), nebo v uvolňování či pohlcování tepla při průchodu stejnosměrného proudu obvodem (jev Peltierův a Thomsonův).

Ve své době nevzbudily termoelektrické jevy zvláštní pozornost fyziků. Byla to totiž doba pokusů Michaela Faradaye (1791-1867) a jeho objevu elektromagnetické indukce roku 1831. Trvalo dlouhou dobu, než se s rozvojem termodynamiky obrátila pozornost fyziků a techniků na všechny druhy energetických přeměn, tedy i na přeměnu energie elektrické v tepelnou a obráceně. Dnes zaujímají termoelektrické jevy ve vědě i technice pevné místo.

Na Seebeckově jevu jsou založeny termoelektrické články, jichž se dosud hlavně využívá k měření a regulaci teplot.

Již v roce 1885 formuloval lord Rayleigh (1842-1919) problém termoelektrického generátoru pro přímou přeměnu energie tepelné v elektrickou. Též vypočítal, i když ještě ne dostatečně přesně, jeho účinnost. Účinnost takového generátoru byla velmi malá, a proto se velmi brzy na celou věc zapomnělo. Na dlouhou dobu se staly termoelektrické jevy v učebnicích fyziky jen okrajovou záležitostí.

Teprve v roce 1909 německý fyzik E. Altenkirch řešil znovu problém termoelektrického generátoru, a to již vcelku správně, a v následujícím roce se zabýval využitím Peltierova jevu k termoelektrickému ochlazování. Ukázalo se však, že materiály tehdy známé a k pokusům

používané – kovy – nejsou k těmto účelům vhodné. Obrat do této oblasti přinesly až výsledky studia vlastností polovodičů, jejichž důkladné poznání umožnilo reálně uvažovat o konstrukci prvních termoelektrických generátorů i chladících zařízení.

Sovětský fyzik, akademik A. F. Ioffe, již roku 1925 navrhl a zkonstruoval první polovodičové chladící zařízení, založené na využití Peltierova jevu. Účinnost tohoto zařízení se však pohybovala jen kolem 4%.

S rozvojem fyziky a techniky polovodičů po druhé světové válce začal ve všech vyspělých zemích i intenzivní výzkum termoelektrických jevů v polovodičích. A byl to opět A. F. Ioffe, který se svými spolupracovníky zkonstruoval první termoelektrickou chladničku.

Studiem praktického využití termoelektrických jevů, přípravou vhodných polovodičových materiálů a výrobou některých zařízení se zabývala a stále zabývá řada výzkumných ústavů, výrobních podniků i některých vysokoškolských pracovišť.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Termočlánek

Termočlánek je zdroj elektrického proudu, používaný především jako čidlo teploty. Využívá principu termoelektrického jevu. Může být případně používán také jako spolehlivý zdroj elektrického proudu, ale jeho energetická účinnost a výkon jsou malé.

2.2 Termoelektrické jevy

Peltier-Seebeckův jev (nebo také termoelektrický jev) je přímou přeměnou rozdílu teplot na elektrické napětí a naopak. Peltierův jev a Seebeckův jev jsou vlastně opaky sebe navzájem. Mezi související jevy patří Thomsonův jev a ohřev Jouleovým teplem. Peltier-Seebeckův jev i Thomsonův jev jsou vratné, zatímco ohřev Jouleovým teplem nemůže být vratným procesem podle zákonů termodynamiky [4].

2.3 Kontaktní napětí

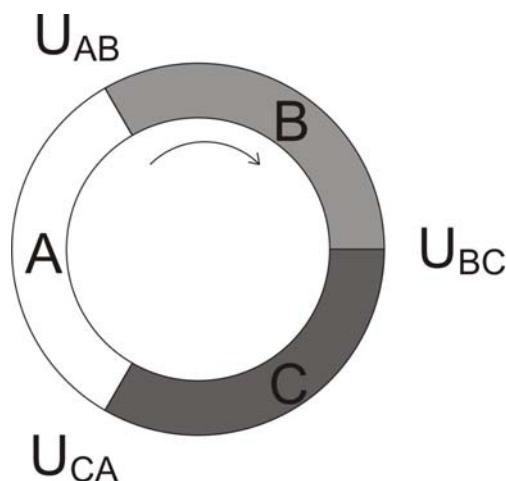
A. Volta¹ zjistil při objasňování jevů pozorovaných D. Galvanim v roce 1795, že při styku dvou různých kovů vzniká mezi nimi rozdíl kontaktního potenciálu – kontaktní napětí. Tento potenciální rozdíl nazýváme kontaktní napětí. Velikost kontaktního napětí závisí na chemickém složení stýkajících se kovů a na jejich teplotě. A. Volta sestavil jednotlivé kovy do řad, v níž každý kov při styku s některým dalším členem řady má kladný potenciál [1].

Pořadí kovů v tzv. Voltově řadě kovů je následující:

Al, Zn, Pb, Sn, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd

Rozdíl potenciálů pozorovaný A. Voltem vzniká při dotyku dvou různých kovů zcela samovolně.

Spojíme-li za sebou několik různých kovů, je potenciálový rozdíl mezi prvním a posledním kovem řady stejný, jako při přímém dotyku těchto dvou kovů. Potenciálový rozdíl kovů, které jsou vloženy do této řady mezi kovy krajní, nemá na velikost výsledného rozdílu potenciálu žádný vliv. Tento jev, ale nelze využít jako zdroj elektrického proudu, protože v uzavřeném obvodu se kontaktní napětí navzájem vyruší [16].



Obr. 2-1 Obvod uzavřený ze tří různých kovů

Elektromotorické napětí U_e , které je dáno algebraickým součtem všech kontaktních napětí v obvodu podle obrázku 2-1, je rovno nule:

$$U_e = U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = (\varphi_B - \varphi_A) + (\varphi_C - \varphi_B) + (\varphi_A - \varphi_C) = 0 \quad (\text{V}; \text{V}; \text{V}) \quad (2.1)$$

Kde: $U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A$ je kontaktní napětí sousedních kovů A a B; $[U_{AB}] = \text{V}$

$U_{BC} = \varphi_C - \varphi_B$ je kontaktní napětí sousedních kovů B a C; $[U_{BC}] = \text{V}$

$U_{CA} = \varphi_A - \varphi_C$ je kontaktní napětí sousedních kovů C a A; $[U_{CA}] = \text{V}$

a

$\varphi_A; \varphi_B; \varphi_C$ jsou kontaktní potenciály kovů A, B, C. $[\varphi] = \text{V}$

2.4 Seebeckův jev

je přeměna teplotních rozdílů přímo na elektrické napětí.

Tento jev byl poprvé náhodně objeven v roce 1821 německým fyzikem Thomasem Johannem Seebeckem², který zjistil, že budeme-li mít obvod složený podle obrázku 2-1, ve kterém styčná místa jednotlivých kovů budou mít různou teplotu, bude obvodem procházet malý, ale měřitelný elektrický proud- což znamená, že se v obvodu objevil zdroj elektromotorického napětí[16].

Sestavme si nyní obvod podle obrázku 2-2, ze dvou různých kovů, označených materiál A a B. Budou-li mít místa spojů obou kovů různou teplotu, tzn. $T_1 \neq T_2$, na výstupních svorkách Seebeckova obvodu naměříme napětí. Protože vzniklé napětí je dáno příčinou nestejných teplot, nazývá se toto napětí termoelektromotorické, běžněji termoelektrické. Velikost tohoto napětí se bude zvětšovat s rostoucím rozdílem teplot ΔT . Jevo vznik napětí, který nastává při teplotních rozdílech mezi dvěma rozdílnými kovy nebo polovodiči.

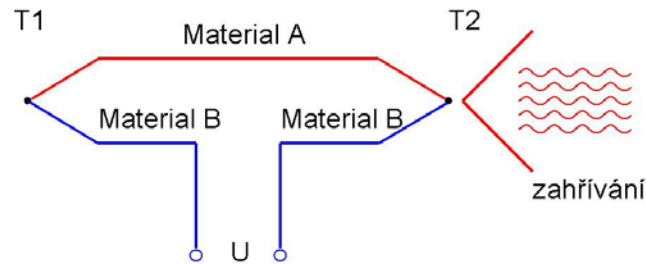
Na základě mnoha svých pokusů sestavil Seebeck čisté kovy v termoelektrickou řadu (zvanou Seebeckovu řadu) s následujícím pořadím:

Sb, Fe, Zn, Ag, Au, Sn, Pb, Hg, Cu, Pt, Bi

Termoelektrickým článkem, vytvořeným kterýmikoliv dvěma z uvedených kovů, prochází, podle Seebecka, ve spoji s vyšší teplotou proud směrem od následujícího kovu z řady ke kovu v řadě předcházejícímu.[16].

Rostoucí termoelektrické napětí mezi dvěma kovy Seebeckovy řady se zvětšuje s rostoucím odstupem kovů v řadě. Na základě tohoto tvrzení tedy přísluší největší napětí dvojici Bi – Sb. V Seebeckově řadě jsou uvedeny pouze čisté kovy, avšak tento jev lze pozorovat i mezi různými polovodiči nebo kovem a polovodičem[16].

¹Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta se narodil jako sedmé a poslední dítě ve šlechtické rodině. Do sedmi let nemluvil, jeho okolí proto mělo obavy, že je slabomyslný. Přesto zvládl vystudovat jezuitskou kolej a své zpoždění dohnat. Poté ale, místo dráhy duchovního, přestoupil na královský seminář. V té době se začal zajímat o výzkum elektřiny.



Obr. 2-2 Princip.schéma Seebeckova jevu

V obvodu podle obrázku 2-2 může být měřené napětí U_S vyjádřeno vztahem:

$$U_S = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_B(T) - \alpha_A(T)) dT \quad (\text{V}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (2.2)$$

Kde α_A a α_B jsou Seebeckovy koeficienty kovů A a B,
 T_1 a T_2 jsou teploty spojů.

Seebeckovy koeficienty jsou nelineární a závisí na teplotě vodičů, použitém materiálu a jeho molekulární struktuře. Pokud jsou Seebeckovy koeficienty v daném rozsahu teplot přibližně konstantní, může být výše uvedená rovnice (2.2) linearizována:

$$U_S = (\alpha_a - \alpha_b) \cdot (T_2 - T_1) + 0,5 \cdot (\beta_a - \beta_b) \cdot (T_2 - T_1)^2 \quad (\text{V}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{V} \cdot \text{K}^{-2}, \text{K}) \quad (2.3)$$

$$U_S = (\alpha_a - \alpha_b) \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{V}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (2.4)$$

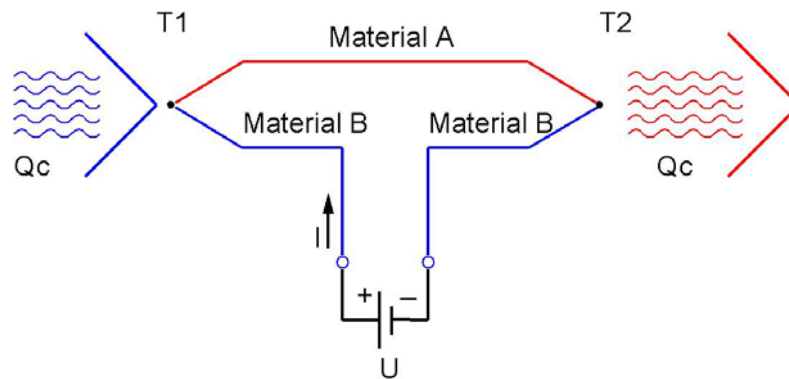
Tab. 2-1 Seebeckovy koeficienty některých kovů vztahované k olovu [6]

Kov	$\frac{\alpha}{\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}}$	$\frac{\beta}{\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-2}}$
Antimon	35,6	0,145
Bizmut	-74,4	0,032
Konstantan	-38,1	-0,0888
Měď	2,71	0,0079
Nikl	-19,1	-3,02
Platina	-3,03	-3,25
Železo	16,7	-0,0297

2.5 Peltierův jev

V r. 1834 objevil francouzský fyzik Peltier³ efekt, který je inverzní k Seebeckovu efektu. Protéká-li stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, vzniká teplotní rozdíl mezi oběma spoji. Teče-li proud z vnějšího zdroje daným směrem,

jaký má proud při ohřátí tohoto spoje v Seebeckově jevu, pak se daný spoj ochlazuje. Prochází-li proud směrem opačným, pak se spoj ohřívá. Peltierův efekt závisí na druhu kovů a na jejich teplotě. Jedná se tedy o jev opačný k Seebeckovu jevu. Tento jev byl objeven v roce 1834 J. C. Peltierem³. Využití Peltierových článků je rozmanité, např. jako chladič pro zesilovače, mikroprocesory, přenosné ledničky, chladičí boxy a další [6].



Obr. 2-3 Princip. schema Peltierova jevu

Teplo Q_P emitované (absorbované) průchodem proudem:

$$Q_P = \Pi_{AB} \cdot I \cdot t = (\Pi_A - \Pi_B) \cdot I \cdot t \quad (\text{J; V, A, s}) \quad (2.5)$$

Kde Π je Peltierův koeficient daný vztahem:

$$\Pi = \alpha \cdot T \quad (\text{V; V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (2.6)$$

Jeho hodnota roste pro každou dvojici vodičů s teplotou a nezávisí na směru proudu I . Jak již bylo uvedeno, směr proudu tedy určuje, zda se daný spoj bude ohřívát (pozitivní tepelný výkon) či ochlazovat (negativní tepelný výkon). To je v termoelektrickém obvodu splněno, jelikož v každém jeho spoji je směr proudu opačný [2].

Rovnici (2.5) lze také napsat ve tvaru pro Peltierův tepelný výkon:

$$\Phi_P = \Pi_{AB} \cdot I = (\Pi_A - \Pi_B) \cdot I \quad (\text{W; V, A}) \quad (2.7)$$

A po dosazení vztahu (2.6) do rovnice (2.7) dostaneme pro Peltierův tepelný výkon:

$$\Phi_P = \alpha \cdot T \cdot I \quad (\text{W; V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{A}) \quad (2.8)$$

² Thomas Johann Seebeck se narodil 9. dubna roku 1770 v Reval (dnešní Tallin), hlavním městě Estonska, v bohaté obchodnické rodině. Studoval na univerzitě v Berlíně a v Göttingenu, kde roku 1802 získal lékařskou kvalifikaci. Protože upřednostňoval fyzikální výzkum před lékařskou praxí, zahájil svou vědeckou kariéru. Po dokončení studia začal působit na univerzitě v Jeně, kde se setkal s Goethem a stal se jeho dobrým přítelem. Pracoval v mnoha fyzikálních odvětvích, ale mezi jeho nejznámější objev patří tzv. Seebeckův jev.

Podnětem k využití Peltierova jevu v různých zařízeních, určených především pro chlazení, bylo teprve objevení nových materiálů, jež jsou vhodné pro výrobu účinných polovodičů. Příhodné fyzikální vlastnosti materiálů vhodných pro výrobu Peltierových termoelektrických článků jsou zahrnuty v tzv. součiniteli efektivnosti Z [K^{-1}], který je pro materiál ideálního článku určen vztahem [2]:

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot s}{\lambda} \quad (K^{-1}; V \cdot K^{-1}, S \cdot m^{-1}, W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}) \quad (2.9)$$

Resp.

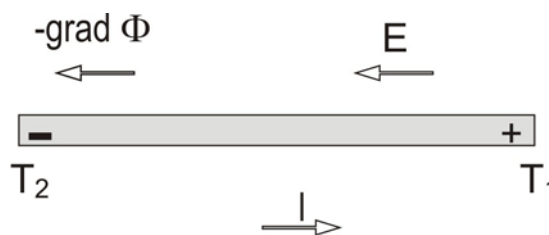
$$Z = \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \rho} \quad (K^{-1}; V \cdot K^{-1}, W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}, W \cdot m) \quad (2.10)$$

Kde: α je Seebeckův koeficient [α] = $V \cdot K^{-1}$
 s je měrná elektrická vodivost [s] = $S \cdot m^{-1}$
 λ je měrná tepelná vodivost [λ] = $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
 ρ je měrný odpor [ρ] = $\Omega \cdot m$

2.6 Thomsonův jev

V roce 1857 William Thomson (lord Kelvin) teoreticky popsal jev, zvaný po něm Thomsonův jev, který sice Seebeck již v minulosti experimentálně zjistil, ale nevěnoval mu pozornost.[knížka]

Termoelektrické napětí vzniká i v každém osamoceném jediném homogenním vodiči, jsou-li na něm místa o nestejných teplotách. V místech o různých teplotách se totiž vlastnosti vodiče trochu liší, a to je příčinou vzniku dalšího termoelektrického napětí U_T , nazvaného napětím Thomsonovým.[16]



Obr. 2-4 Homogenní kovová tyč délky

Mějme homogenní kovovou tyč délky l podle obrázku 1, kterou na jednom konci zahříváme na teplotu T_1 a jejíž druhý konec udržujeme na stálé teplotě T_2 . Po určité době nastane na tyči stav, kdy teplota v ní bude klesat spojitě a rovnoměrně od teplejšího konce k chladnějšímu.

$$\frac{\Delta T}{l} = \text{grad}T \quad (2.11)$$

Kde: ΔT je teplotní rozdíl mezi konci tyče $\Delta T = T_1 - T_2$; [ΔT] = K

Rovnice (2.11) je tzv. teplotní gradient a číselně se rovná změně teploty připadající na jednotku délky tyče. $[\text{grad}T] = \text{K}\cdot\text{m}^{-1}$. Mezi oběma konci tyče vznikne v důsledku teplotního rozdílu Thomsonovo termoelektrické napětí U_T , které je úměrné- $\text{grad}T$, tj. teplotnímu spádu. Záporné znaménko gradientu udává, že teplo proudí ve směru klesající teploty, nebo že teplota klesá s délkou tyče, kterou měříme ve směru od teplejšího konce k chladnějšímu) a délce tyče l :

$$U_T = -\tau \frac{-\Delta T}{l} \cdot l = \tau \cdot \Delta T \quad (\text{V}; \text{V}\cdot\text{K}^{-1}, \text{K}, \text{m}) \quad (2.12)$$

Kde: τ je Thomsonův koeficient $[\tau] = \text{V}\cdot\text{K}^{-1}$

Thomsonův koeficient τ se číselně rovná Thomsonovu termoelektrickému napětí mezi dvěma místy homogenního vodiče ve vzájemné vzdálenosti 1m , je-li mezi nimi teplotní rozdíl 1K . Thomsonův koeficient nabývá kladných nebo záporných hodnot, pro olovo je nulový.

Prochází-li takovým kovovým vodičem, v němž je teplotní gradient definovaný vztahem podle rovnice (2.11), stejnosměrný elektrický proud, vyvíjí se v něm kromě Jouelova tepla a Pletierova tepla ještě teplo Thomsonovo:

$$Q_T = U_T \cdot I \cdot t = \tau \cdot \Delta T \cdot I \cdot t \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}, \text{s}; \text{V}\cdot\text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \text{m}, \text{s}) \quad (2.13)$$

2.7 Vztahy mezi koeficienty

$$\Pi = \alpha \cdot T \quad (\text{V}; \text{V}\cdot\text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (2.14)$$

$$\tau = \frac{d\alpha}{dT} \cdot \frac{1}{T} \quad (\text{V}\cdot\text{K}^{-1}; \text{V}\cdot\text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (2.15)$$

2.8 Termočlánky

Termoelektrické napětí vzniká, jestliže navzájem spojíme vodiče ze dvou různých kovů. Z hlediska měření je však potřebné, aby generované termoelektrické napětí bylo co největší a aby oba kovy byly co nejodolnější proti vlivům okolního prostředí tak, aby se jejich vlastnosti co nejméně měnily v průběhu času. Tomu vyhovuje jen několik dvojic materiálu a jejich složení je proto normováno, takže vlastnosti stejně označených termočlánků vyrobených různými výrobci jsou shodné. V současné době se doporučuje používat termočlánky dle normy IEC 584-1, respektive ČSN IEC 584-1, nebo EN 60584-1. Méně se používají termočlánky podle normy DIN 43710 [1].

³ **Jean Charles Athanase Peltier** (22. února 1785, Ham – 27. října 1845, Paříž) byl francouzský fyzik, objevitel jevu později nazvaného jeho jménem.

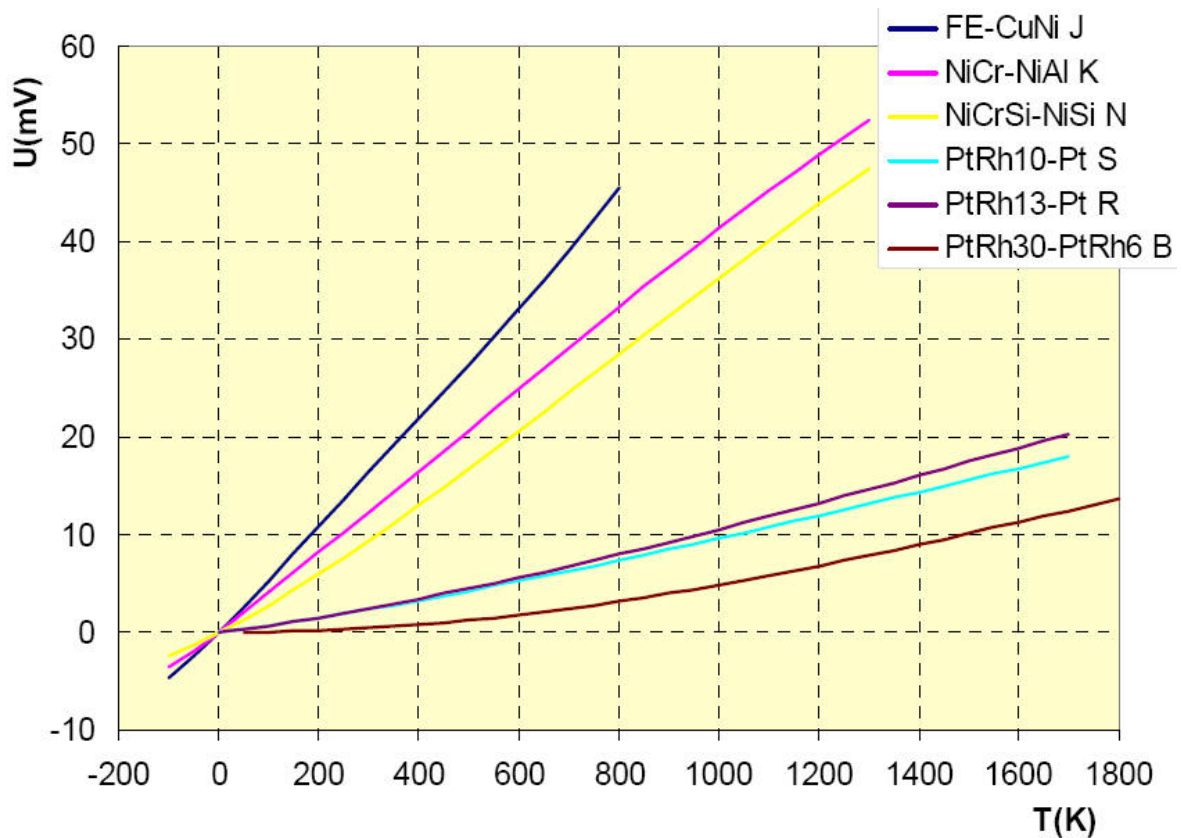
Tab. 2-2 Základní informace o termočláncích dle zmíněných norem [1]

Označení termočlátku dle IEC 584	Původní označení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	- 200 až 350
J	Fe-CuNi	- 200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	- 100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	- 200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	- 200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700
Označení termočlátku dle DIN 43710	Původní označení	Měřicí rozsah [°C]
L	Fe-CuNi, Fe-ko	- 200 až 900
U	Cu-Ni, Cu-ko	- 200 až 600

⁴ William Thomson (26. června 1824 Belfast - 17. prosince 1907 Netherhall u Largsu (Skotsko)) byl skotský fyzik a jeden z nejvýznamnějších fyziků vůbec.

Do svých deseti let byl vzděláván otcem. S ním pak přešel na univerzitu v Glasgow. V patnácti letech už psal pojednání o vedení tepla. Později studoval v Cambridgi, posléze pracoval v Paříži u H. V. Regnaulta, kde se věnoval kalorimetrii. Po návratu byl jmenován profesorem fyziky, kterým byl po neuvěřitelných 53 let (1846-1899). Během svého života sestrojil řadu vynálezů: například kvadrantový elektroměr, přístroje pro měření elektřiny v atmosféře, nový typ buzoly, a mnoho dalších. Je po něm pojmenována jednotka teploty Kelvin a takzvaný Joule-Thomsonův efekt.

Osobně se také podílel na kladení transatlantických kabelů. Za to byl povýšen do šlechtického stavu a materiálně zajištěn.



Obr. 2-5 Grafické znázornění průběhu termoelektrického napětí nejčastějších termočlánků[8]

Pro výrobu proudu je výkon jednotlivého termočlánku velice malý. Proto jsou při praktickém použití takové termočlánky sdružovány do baterií [3].

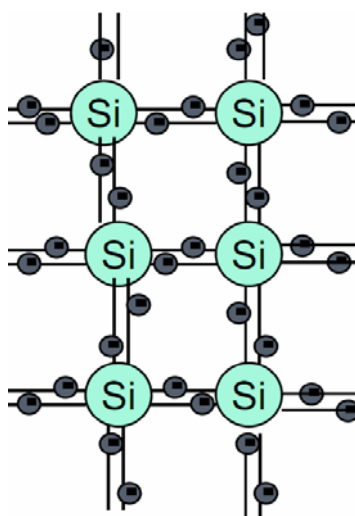
Významné použití termočlánků je u kosmických sond k vnějším planetám. Je součástí radioizotopového termoelektrického generátoru. Zde se využívá především dlouhodobé spolehlivosti termočlánku. [3]

V České republice se nejčastěji používají termočlánky z obecných kovů "J" a "K" a z drahých kovů "S" a "B", čímž je pokryt rozsah teplot cca (-200 až 1700 °C), s dalšími termočlánky je však možné tento rozsah ještě rozšířit- např. s termočlánky na bázi wolframu a rhenia (WRh5-WRh20, W-WRh26, WRh5-WRh26, WRh3-WRh25) lze měřit až do cca 2300 °C. Termočlánek "L" se před lety používal i u nás, nyní je stále ještě velmi rozšířený v Německu, kde je normován v DIN 43710. U nás se po přechodu na normu IEC 584 prakticky nepoužívá. [1]

3 PELTIEROVA TERMOBATERIE

3.1 Polovodiče

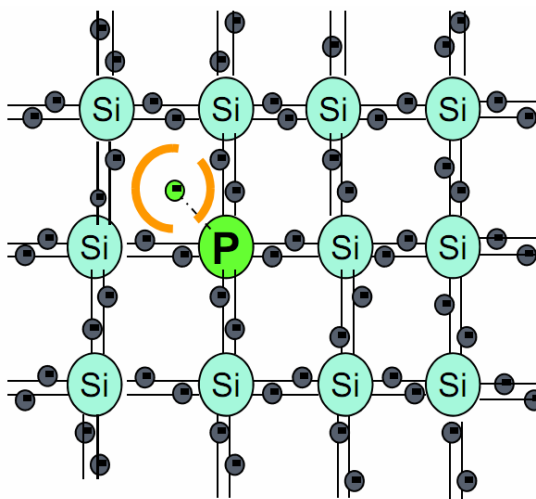
Polovodiče se od kovů liší větším měrným odporem, hůř však vedou proud. Znakem polovodičů je skutečnost, že jejich měrný odpor s teplotou klesá a vodivost polovodiče roste. Vlastnosti polovodičů má řada prvků a sloučenin, ale v elektrotechnice se využívají jen některé, především se jedná o křemík Si. Křemík se vyskytuje v zemské kůře, ale pro potřeby elektrotechniky se vyrábí. V krystalu čistého křemíku je každý atom obklopen dalším čtyřmi atomy a je s nimi spojen vazbou, na níž se podílejí dvojice elektronů. Elektrony tvořící vazbu jsou ke svým atomům vázány slabě, snadno se uvolňují a vznikají prázdná místa s kladným nábojem – díry [12].



Obr. 3-1 Krystalová mřížka polovodičového křemíku Si

3.2 Polovodiče typu N

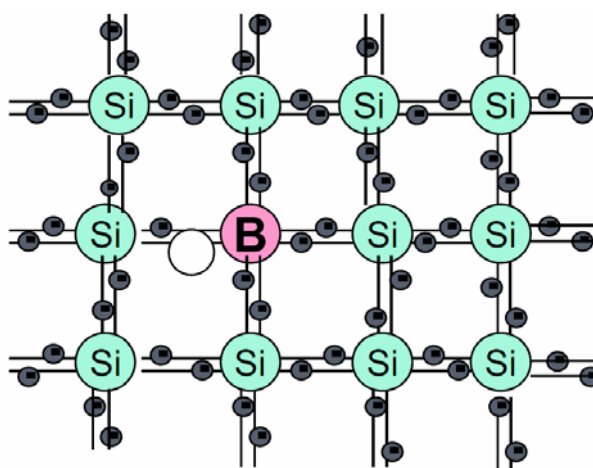
Polovodiče typu N využívají tzv. *elektronové vodivosti*. Při dotování čistého polovodičového materiálu pětimocnými látkami, jako jsou fosfor, arsen, nebo antimon, dochází k jejich střídavé vazbě se sousedními atomy křemíku, nebo germania. Pátý valenční elektron nenajde partnera, a proto se může velmi snadno uvolnit z vazby s vlastním atomem. Pokud se tak stane a v atomu začnou převládat protony, tak potom se atom snaží zachytit nějaký letící elektron, aby se jeho náboj vyrovnal. Takto putují elektrony od jedné díry ke druhé, směrem ke kladnému pólu zdroje napětí. Protože transport náboje v polovodičovém materiálu, který je dotován DONORY (dárci elektronů), probíhá pomocí volných elektronů, je takovýto polovodičový materiál označován jako negativně vodivý [12].



Obr. 3-2 Polovodič typu N s příměsí fosforu

3.3 Polovodiče typu P

Polovodiče typu P se naopak dotují trojmocnými prvky (resp. po dotování polovod. mat. se teprve vytvoří polovodič typu P), jako je například bór, hliník, galium nebo indium. Prvku příměsí, který má o jeden elektron méně, říkáme AKCEPTOR. V krystalové mřížce čistého polovodičového materiálu tedy dojde k náhradě jednoho atomu za atom cizího prvku. Protože má ale tento dotovací atom cizího prvku pouze tři valenční elektrony, vznikne díra (defektní elektron), která je ale zaplněna elektronem sousedního atomu v rámci tepelného vytváření páru elektron-díra, aby byla vytvořena kovalentní vazba. V tomto sousedním atomu se zase vytvoří díra (tzv. sekundární díra), která je zase zaplněna elektronem dalšího sousedního atomu. Takto díry, které představují kladné elementární náboje, putují pod vlivem vnějšího elektrického pole k zápornému pólu zdroje elektrického napětí. Proto tuto vodivost označujeme jako *děrovou vodivost* [12].



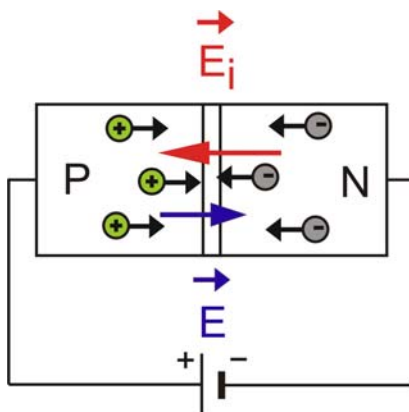
Obr. 3-3 Polovodič typu P s příměsí boru

3.4 Přechod PN

Přechod P-N je oblast na rozhraní příměsového polovodiče typu P a polovodiče typu N. Přechod P-N se chová jako *hradlo*, tzn. že propouští elektrický proud pouze jedním směrem [10].

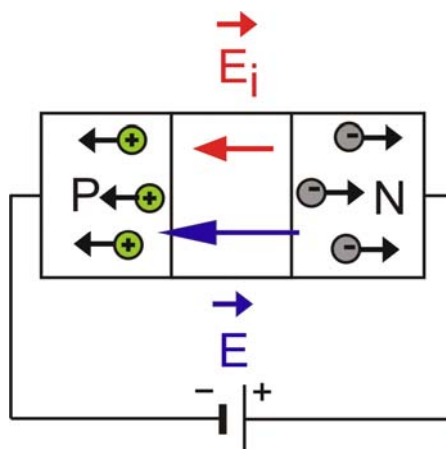
Jedna z možností výroby **přechodu PN** je difuze materiálu *typu P* do materiálu *typu N*. Materiál *typu P* potom pronikne rovnoměrně do materiálu *typu N*. Přechod PN může být připojen *v závěrném, nebo propustném směru* [13].

Je-li přechod PN zapojen **v propustném směru**, je kladný pól zdroje připojen k materiálu *typu P* a záporný pól k materiálu *typu N*. Při dostatečně velkém vnějším napětí dojde k téměř úplnému odstranění hradlové vrstvy (vyprázdněná oblast, ve které nejsou žádné nositelé náboje a jejíž tloušťka se pohybuje od asi 1mm až do 5mm - vznikla už při výrobě přechodu PN) [13].



Obr. 3-4 PN přechod v propustném směru

Je-li však přechod PN zapojen **v závěrném směru** (pořadí pólů je invertováno), dochází při připojení napětí k rozšiřování hradlové (závěrné) vrstvy a tím pádem nemůže protékat proud. Ve skutečnosti zde malý proud protéká, ale je silně teplotně závislý. Napětí zde nemůže být libovolně velké, protože by mohlo dojít ke zničení přechodu, kterým by v určitém okamžiku začal protékat velký proud, protože by došlo k překonání vazebných sil, které působí na valenční elektrony, protože by silové účinky elektrického pole byly větší. U těchto typů přechodů se využívá ještě jiné vlastnosti a to je kapacita hradlové vrstvy, ale to už pro nás v tuto chvíli není podstatné [13].

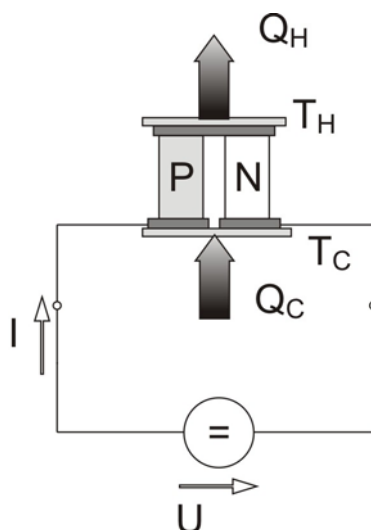


Obr. 3-5 PN přechod v závěrném směru

3.5 Peltierův článek

Peltierovy články využívají Peltierova jevu (je to inverzní jev Seebeckova jevu), který spočívá v tom, že pokud jsou k sobě spojeny dva vodiče z rozdílného materiálu, z nichž každý má jinou výstupní práci (to je veličina, která udává, jakou práci musí vykonat elektron, aby opustil onen materiál) a prochází jimi stejnosměrný proud, tak se spoj buďto zahřívá nebo ochlazuje. To záleží na směru proudu. Pokud elektrony přecházejí z materiálu s větší výstupní prací, do materiálu s menší výstupní prací, je elektronům kladen menší odpor a mají přebytek energie, kterou odevzdávají v podobě tepla. Změníme-li smysl proudu, budou elektrony ke svému přestupu potřebovat více energie a tu si vezmou v podobě energie tepelné, což znamená, že se spoj ochladí.[9]

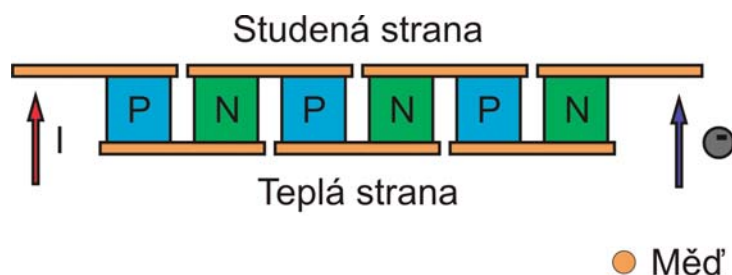
Peltierův článek se skládá ze dvou větví (sloupků) hranolovitého tvaru (obr.3-1). Pokud tedy elektrony procházejí z polovodiče typu N do kovu a pak do polovodiče typu P, zde vstupují elektrony z polovodiče typu N a díry z polovodiče typu P- ty se sloučí a tím ztrácejí kinetickou energii, která se pak mění v teplo a měď se na této straně zahřívá. Na druhé straně budou z mědi vycucávány elektrony do polovodiče N a díry do polovodiče P. Oba, jak elektron, tak i díra potřebují získat kinetickou energii, aby se mohly rozpohybovat. Vezmou si ji v podobě tepla z okolí, a tím pádem ochladí materiál.[9]



Obr. 3-6 Složení Peltierova článku

- Kde:
- Q_C je teplo absorbované
 - Q_H je teplo vyzařované
 - P je polovodič s děrovou vodivostí
 - N je polovodič s elektronovou vodivostí

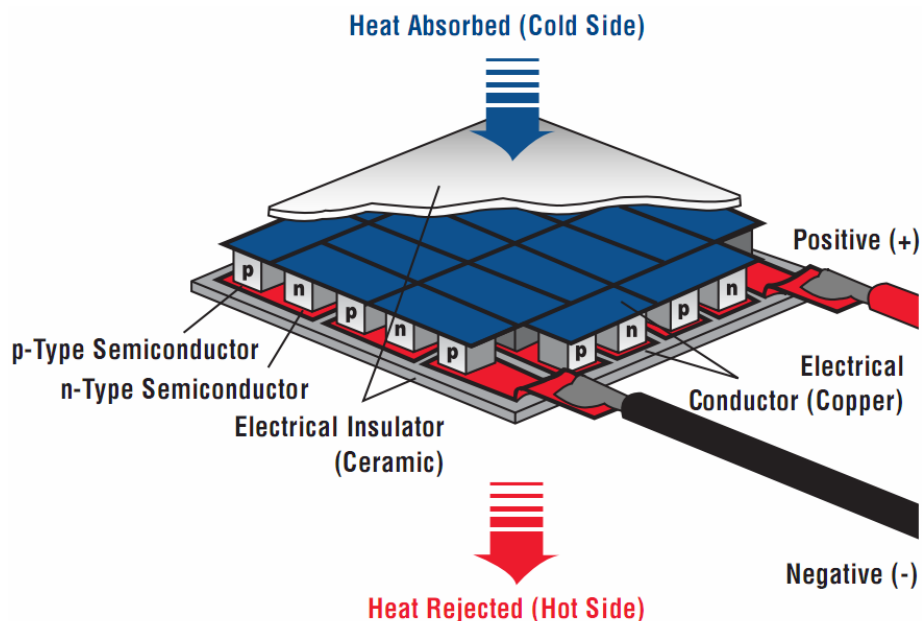
Peltierovy články se neskládají jen z jediného přechodu, ale přechodů je několik- viz obrázek 3-2, kde červená šipka znamená směr proudu I a modrá šipka naznačuje směr toku elektronů [9].



Obr. 3-7 Spojení několika Peltierových článků

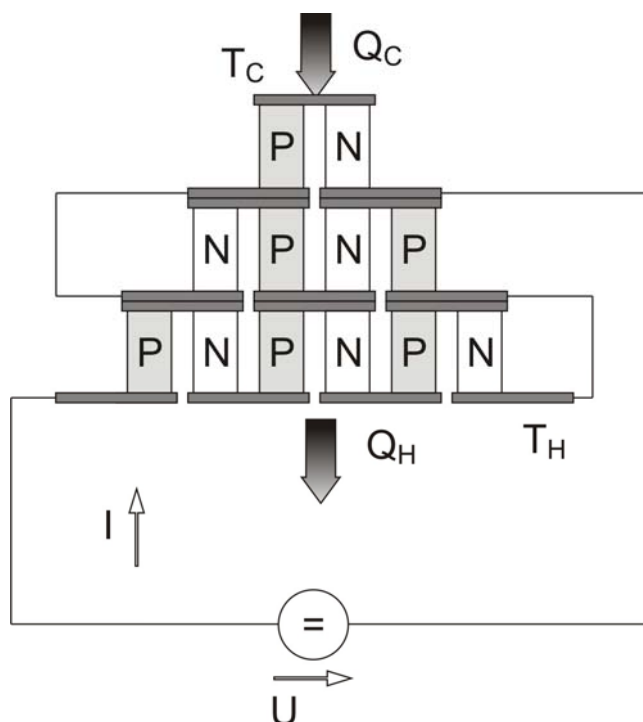
Sloupky, tvořené polovodiči typu P a N, jsou na jedné straně vodivě spojeny spojovacím můstkem. Spodní kontaktní plošky na druhé straně jsou určeny pro přívod elektrické energie. Spojovací můstek a kontaktní plošky absorbují nebo vyzařují teplo. V místě styku polovodiče se spojovacím můstkem vzniká nežádoucí přechodový odpor, který značně ovlivňuje dosažitelnou chladicí kapacitu Q článku (W) a maximální rozdíl teplot mezi teplou a studenou stranou ΔT_{\max} (K). Ideálně je množství absorbovaného tepla na studené straně a vyzářeného tepla na teplé straně závislé na součinu Peltierova koeficientu a proudu procházejícího polovodičem. V praxi je množství tepla Q_C absorbovaného na studené straně, udávající skutečnou chladicí kapacitu článku, sníženo o Jouleovo teplo a teplo přivedené sem vedením z teplé strany článku. Rozdíl teplot mezi teplou a studenou stranou polovodičového materiálu totiž způsobuje přechod tepla v polovodiči z chladné strany na teplou. Zvýší-li se proud tekoucí obvodem, zvětší se rozdíl teplot mezi oběma stranami, ale také množství tepla vedeného polovodičem. Proud, při kterém už nedochází k dalšímu ochlazování, je označován I_{\max} [2].

Základním polovodičovým materiálem na Peltierovy články jsou převážně vizmut-telluridy, tj. termální systémy Bi-Te-Se (N-typ) a Bi-Sb-Te (P-typ). Tyto materiály mají výhodné termoelektrické vlastnosti, nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost. Spojovací můstky jsou zhotoveny většinou z mědi (malý měrný elektrický odpor, možnost pájení). Nevýhodou mědi je možná difúze do polovodičového materiálu, a tím zhoršení jeho vlastností. V místě styku můstku a polovodiče vzniká nežádoucí přechodový odpor, který může značně nepříznivě ovlivnit dosažitelný chladicí výkon P článku a maximální dosažitelný teplotní rozdíl obou spojek. Nejlepší termoelektrický materiál je tedy bezcenný, nepodaří-li se najít vhodný technologický postup výroby, zajišťující nízký přechodový odpor. Jednotlivé Peltierovy články se obvykle zapojují do série ve větší celky, tzv. chladicí termobaterie viz obr. 3-8 [6].



Obr. 3-8 Peltierova termobaterie

K dosažení vyšších teplotních rozdílů při zachování určitého chladicího výkonu se spojují jednotlivé termobaterie do kaskády viz obr. 3-9. V tomto případě se musí zajistit elektrická izolace mezi termobateriemi. Jako izolace se používají keramika s dobrou tepelnou vodivostí [6].

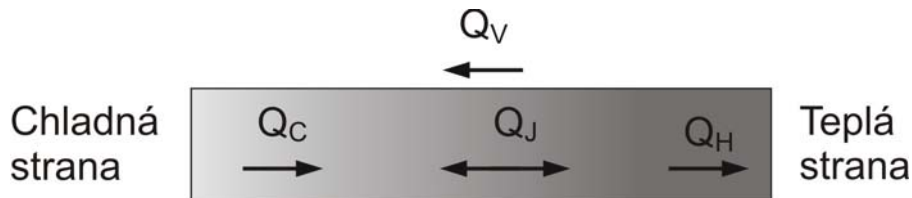


Obr. 3-9 Kaskádní zapojení Peltierovy termobaterie

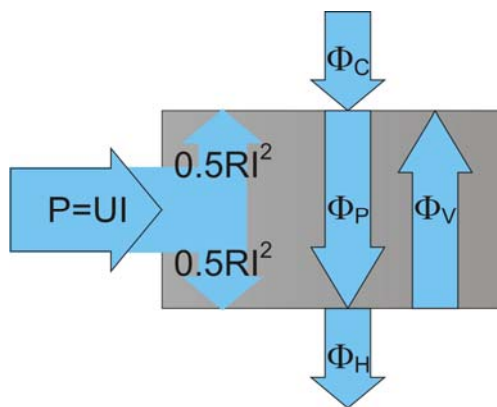
Pro spojení termobaterií do kaskády je vhodné keramické destičky potří silikonovým tukem pro zajištění malého tepelného odporu mezi bateriemi, nebo baterie slepit vhodným lepidlem s dobrou tepelnou vodivostí. Kaskádní řazení termoelementů má výhodu především v dosažení vyšší chladicí účinnosti pro požadované velké teplotní rozdíly spojek. Hrubou představu o principu čerpání tepelné energie Peltierovým článkem, tj. přeměně elektrické energie v tepelnou, lze získat rozborem vzniku termoelektrického napětí v polovodičích typu P, resp. typu N [6].

3.6 Parametry určující chladicí a topný výkon Peltierova článku

Aby bylo možno formulovat vztahy mezi vlastnostmi materiálu, rozměry článků, jejich počtem, chladicím účinkem, napájecím proudem atd., je třeba vycházet z energetické bilance jednoho článku viz obr. 3-4.



Obr. 3-10 Energetická bilance jednoho článku



Obr. 3-11 Výkonová bilance jednoho článku

Na studené straně o teplotě T_C [K] se odnímá tepelný výkon Φ_C [W], tzv. Peltierův tepelný výkon, který je úměrný termoelektrickému napětí α [$V \cdot K^{-1}$] Peltierova článku a velikosti procházejícího proudu I [A] dle vztahu:

$$\Phi_C = \alpha \cdot T_C \cdot I \quad (\text{W}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}) \quad (3.1)$$

Na teplé straně o teplotě T_H [K] se uvolňuje tepelný výkon Φ_H [W] do okolí dle vztahu:

$$\Phi_H = \alpha \cdot T_H \cdot I \quad (\text{W}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}) \quad (3.2)$$

Účinkem procházejícího proudu vzniká uvnitř článku tepelný výkon Φ_J :

$$\Phi_J = R \cdot I^2 \quad (\text{W}; \Omega, \text{A}) \quad (3.3)$$

kde R [Ω] je vnitřní odpor Peltierova článku. Vlivem teplotního rozdílu mezi teplou a studenou stranou článku a tepelnou vodivostí článku Λ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] se šíří tepelný výkon Φ_V [W] dle vztahu:

$$\Phi_V = \Lambda \cdot \Delta T \quad (\text{W}; \text{W} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (3.4)$$

kde Λ je dáno vztahem:

$$\Lambda = \frac{S_{Pol}}{h_P} (\lambda_P + \lambda_N) \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; \text{m}^2, \text{m}, \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (3.5)$$

Kde: S_{Pol} je průřez polovodičových sloupků [S_{Pol}] = m²
 h_P je délka sloupku [h_P] = m
 λ_P je měrná tepelná vodivost polovodiče typu P Peltierova článku [λ_P] = W · m⁻¹ · K⁻¹
 λ_N je měrná tepelná vodivost polovodiče typu N Peltierova článku [λ_N] = W · m⁻¹ · K⁻¹

Budeme-li předpokládat průběh teploty mezi teplými a studenými stranami lineární a zanedbáme-li vliv přívodů a přechodových odporů, a jiné jevy se nám výrazně neuplatní, můžeme vyjádřit chladicí výkon Φ_0 [W] n-násobného článku podle vztahu:

$$\Phi_0 = n \cdot \left(\Phi_C - \frac{1}{2} \Phi_J - \Phi_V \right) \quad (\text{W}; -, \text{W}) \quad (3.6)$$

$$\Phi_0 = n \cdot \left(\alpha \cdot T_C \cdot I - \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \Lambda \cdot \Delta T \right) \quad (\text{W}; -, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \Omega, \text{A}, \text{W} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (3.7)$$

Kde:

$$\Delta T = T_H - T_C \quad (\text{K}; \text{K}) \quad (3.8)$$

Při předchozím předpokladu můžeme vyjádřit příkon n-násobného článku P [W], který se skládá ze dvou částí, a to Jouleových tepelných ztrát Φ_J a z výkonu potřebného na překonání potenciálového rozdílu mezi teplým a studeným koncem článku:

$$P = n \cdot (R \cdot I^2 + \alpha \cdot \Delta T \cdot I) \quad (\text{W}; -, \Omega, \text{A}, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}) \quad (3.9)$$

Na teplé straně Peltierova článku se vyzařuje jednak teplo Φ_0 absorbované na chladné straně, a jednak příkon P článku. Tedy pro vyzařovaný výkon n-násobného článku platí:

$$\Phi_H = \Phi_0 + P \quad (\text{W}; \text{W}, \text{W}) \quad (3.10)$$

Po dosazení (3.7) a (3.9) do (3.10) dostaneme:

$$\Phi_H = n \cdot \left(\alpha \cdot T_H \cdot I + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \Lambda \cdot \Delta T \right) (W; -, V \cdot K^{-1}, A, \Omega, W \cdot K^{-1}, K) \quad (3.11)$$

Maximum topného výkonu je zde neomezené a závisí pouze na velikosti napájecího proudu. Podíl odvodu tepla vlivem tepelné vodivosti polovodičového materiálu je poměrně malý a z rovnice (3.11) plyne, že účinnost topení termoelektrickým článkem je vyšší, než u ohřevu pouhým Jouleovým teplem. Účinnost topení je dána vztahem:

$$\varepsilon_H = \frac{\Phi_H}{P} (-; W, W) \quad (3.12)$$

Účinnost chlazení je vyjádřena chladícím faktorem, tj. poměr chladícího výkonu k příkonu

$$\varepsilon = \frac{\Phi_0}{P} (-; W, W) \quad (3.13)$$

Jak již bylo uvedeno, pro dosažení větších teplotních rozdílů při zachování určitého chladícího výkonu se vyrábějí kaskádní termobaterie (obr.3-9). V takových případech nás zajímá celkový chladící faktor kompletní kaskády a vyzařovaný tepelný výkon. Pro celkový chladící faktor platí:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\prod_{i=1}^{i=n} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_i} \right) - 1} (-; -) \quad (3.14)$$

Výraz (3.14) vyjadřuje poměr tepla absorbovaného první kaskádou k celkovému tepelnému výkonu vyzařenému na teplé straně termobaterie, tj. chladící účinnost kaskádní termobaterie. Pro vyzařovaný tepelný výkon na poslední kaskádě platí:

$$\Phi_{Hn} = \Phi_0 + \sum_{i=1}^n P_n (W; W, W) \quad (3.15)$$

Peltierův článek je z hlediska čerpání tepla reverzním systémem. Obrátíme-li tedy směr napájecího proudu, obrátí se i teploty na obou stranách. Dřívější chladná strana bude nyní teplo vyzařovat a bývalá teplá strana absorbovat [6].

3.7 Určení konstant pro jednu Peltierovu termobaterii

3.7.1 Výpočet tepelné vodivosti

Nejdříve upravíme vztah (3.6) pomocí (3.8) a dostaneme:

$$\Phi_0 = n \cdot \left(\alpha \cdot (T_H - \Delta T) \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2 - \Lambda \cdot \Delta T \right) (W; -, V \cdot K^{-1}, K, \Omega, A, W \cdot K^{-1}) \quad (3.16)$$

a) určíme Φ_0 pro $\Delta T=0$:

$$\Phi_{0T0} = n \cdot \left(\alpha \cdot T_H \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2 \right) (W; -, V \cdot K^{-1}, K, A, \Omega, A) \quad (3.17)$$

b) určíme ΔT pro $Q=0$:

$$\Delta T_0 = \frac{\alpha \cdot T_H \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2}{\alpha \cdot I + \Lambda} \quad (\text{K}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \Omega, \text{W} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (3.18)$$

Podělením výrazů (3.17) a (3.18) a malou úpravou dostaneme vztah pro tepelnou vodivost jednoho Peltierova článku:

$$\Lambda = \frac{Q_{0T_0}}{n \cdot \Delta T_0} - \alpha \cdot I \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; \text{W}, -, \text{K}, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{A}) \quad (3.19)$$

Pro malé proudy je možno výraz zjednodušit:

$$\Lambda = \Lambda_0 = \frac{\Phi_{0T_0}}{n \cdot \Delta T_0} \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; \text{W}, -, \text{K}) \quad (3.20)$$

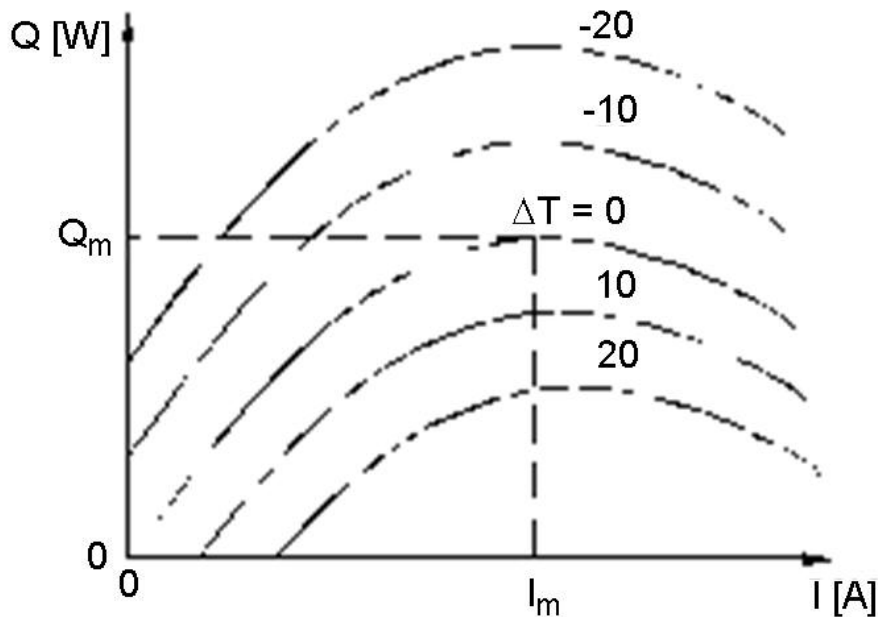
kde K_0 je tepelná vodivost při nulovém proudy.

3.7.2 Určení konstant R a α

Pro nulový teplotní rozdíl mezi teplým a studeným koncem baterie $\Delta T=0$ viz vztah (3.17) platí:

$$\Phi_m = n \cdot \left(\alpha \cdot T_H \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2 \right) \quad (\text{W}; -, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \Omega) \quad (3.21)$$

Ze závislosti (příklad této závislosti viz obr. 3-11 určíme maximální chladicí výkon Φ_m pro parametr $\Delta T=0$ a pro tento výkon odečteme příslušnou hodnotu proudy I_m .



Obr. 3-12 Závislost chladicího výkonu na proudy

Derivací vztahu (3.6) podle I dostaneme výraz:

$$\frac{d\Phi_0}{dI} = n \cdot (\alpha \cdot T_C - R \cdot I_m) = 0 \quad (\text{W,A}; -, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \Omega, \text{A}) \quad (3.22)$$

$$I_m = \frac{\alpha \cdot T_C}{R} \quad (\text{A}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \Omega) \quad (3.23)$$

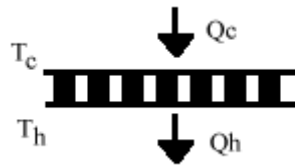
Po dosazení vztahu (3.24) do (3.23) a úpravou dostaneme:

$$R = \frac{2 \cdot \Phi_m}{n \cdot I_m^2} \quad (\Omega; \text{W}, -, \text{A}) \quad (3.24)$$

$$\alpha = \frac{R \cdot I_m}{T_C} \quad (\text{V} \cdot \text{K}^{-1}; \Omega, \text{A}, \text{K}) \quad (3.25)$$

3.8 Matematický popis jednostupňových a vícestupňových Peltierových termobaterií

3.8.1 Jednostupňové termobaterie



Obr. 3-13 Klasická jednostupňová Peltierova termobaterie

Teplotní rozdíl mezi teplou studenou stranou je dán:

$$\Delta T = T_H - T_C \quad (\text{K}; \text{K}) \quad (3.26)$$

Pro tepelný výkon Φ_0 absorbovaný z okolí jednostupňovým Peltierovým článkem platí:

$$\Phi_0 = (\alpha \cdot T_C \cdot I) - (0,5 \cdot I^2 \cdot R_M) - (\Lambda \cdot \Delta T) \quad (\text{W}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \Omega, \text{W} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (3.27)$$

Pro napájecí napětí Peltierova článku potom platí:

$$U_{in} = (\alpha \cdot \Delta T) + (I \cdot R_M) \quad (\text{V}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}, \Omega) \quad (3.28)$$

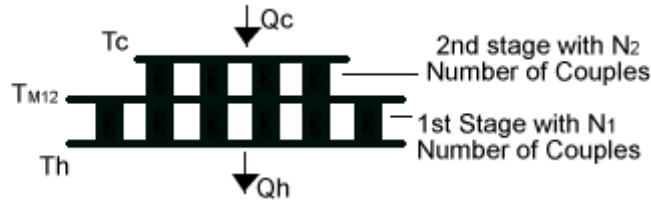
Elektrický příkon Peltierovy termobaterie je potom dán vztahem:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}) \quad (3.29)$$

Tepelný výkon vyzářený na teplé straně Peltierovy termobaterie je:

$$\Phi_H = P_{in} + \Phi_0 \text{ (W;W,W)} \quad (3.30)$$

3.8.2 Dvoustupňové termobaterie



Obr. 3-14 Dvoustupňová Peltierova termobaterie

Teplota mezi prvním a druhým stupněm termobaterie T_{M12} je :

$$T_{M12} = \frac{(0,5 \cdot I^2) \cdot (R_{M1} + R_{M2}) + (\Lambda_{M1} \cdot T_H) + (\Lambda_{M2} \cdot T_C)}{I \cdot (\alpha_{M1} - \alpha_{M2}) + \Lambda_{M1} + \Lambda_{M2}} \quad (3.31)$$

Pro tepelný výkon Φ_0 absorbovaný z okolí jednostupňového Peltierovým článku platí:

$$\Phi_0 = (\alpha_{M2} \cdot T_C \cdot I) - (0,5 \cdot I^2 \cdot R_{M2}) - (\Lambda_{M2} \cdot (T_{M12} - T_C)) \quad (3.32)$$

Pro napájecí napětí Peltierova článku potom platí:

$$U_{in} = (\alpha_{M2} \cdot (T_{M12} - T_C)) + (I \cdot R_{M2}) + (\alpha_{M1} \cdot (T_H - T_{M12})) + (I \cdot R_{M1}) \quad (3.33)$$

Elektrický příkon Peltierovy termobaterie je potom dán vztahem:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I \text{ (W;V,A)} \quad (3.34)$$

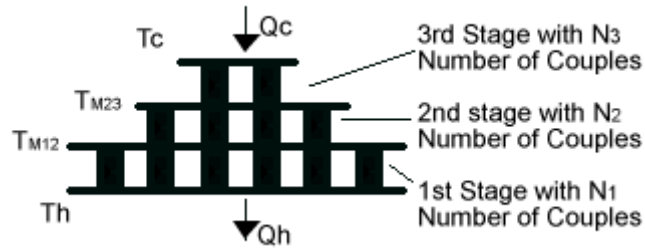
Tepelný výkon vyzářený na teplé straně Peltierovy termobaterie je:

$$\Phi_H = P_{in} + \Phi_0 \text{ (W;W,W)} \quad (3.35)$$

Nebo:

$$\Phi_H = (\alpha_{M1} \cdot T_H \cdot I) + (0,5 \cdot I^2 \cdot R_{M1}) - (\Lambda_{M1} \cdot (T_H - T_{M12})) \quad (3.36)$$

3.8.3 Třístupňové termobaterie



Obr. 3-15 Třístupňová Peltierova termobaterie

Teplota mezi prvním a druhým stupněm termobaterie T_{M12} je:

$$T_{M12} = \frac{(0,5 \cdot I^2) \cdot (R_{M1} + R_{M2}) + (\Lambda_{M1} \cdot T_H) + (\Lambda_{M2} \cdot T_{M23})}{I \cdot (\alpha_{M1} - \alpha_{M2}) + \Lambda_{M1} + \Lambda_{M2}} \quad (3.37)$$

Teplota mezi druhým a třetím stupněm termobaterie T_{M23} je:

$$T_{M23} = \frac{(0,5 \cdot I^2) \cdot (R_{M2} + R_{M3}) + (\Lambda_{M2} \cdot T_{M12}) + (\Lambda_{M3} \cdot T_C)}{I \cdot (\alpha_{M2} - \alpha_{M3}) + \Lambda_{M2} + \Lambda_{M3}} \quad (3.38)$$

Pro tepelný výkon Φ_0 absorbovaný z okolí jednostupňového Peltierovým článku platí:

$$\Phi_0 = (\alpha_{M3} \cdot T_C \cdot I) - (0,5 \cdot I^2 \cdot R_{M3}) - (\Lambda_{M3} \cdot (T_{M23} - T_C)) \quad (3.39)$$

Pro napájecí napětí Peltierova článku potom platí:

$$U_{in} = (\alpha_{M1} \cdot (T_H - T_{M12})) + (I \cdot R_{M1}) + (\alpha_{M2} \cdot (T_{M12} - T_{M23})) + (I \cdot R_{M2}) + (\alpha_{M3} \cdot (T_{M23} - T_C)) + (I \cdot R_{M3}) \quad (3.40)$$

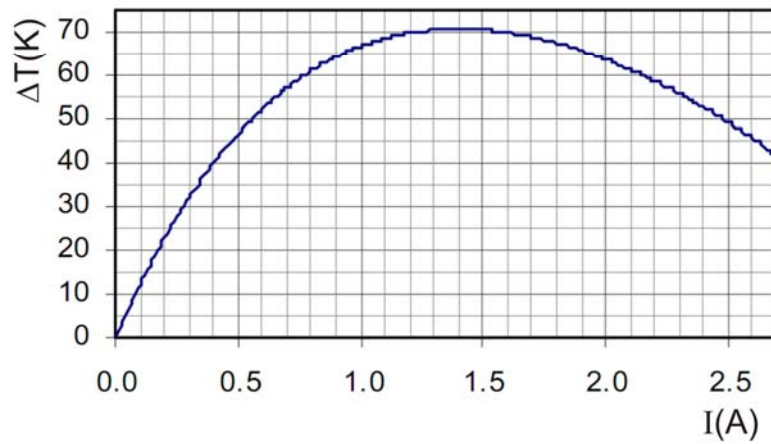
Elektrický příkon Peltierovy termobaterie je potom dán vztahem:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}) \quad (3.41)$$

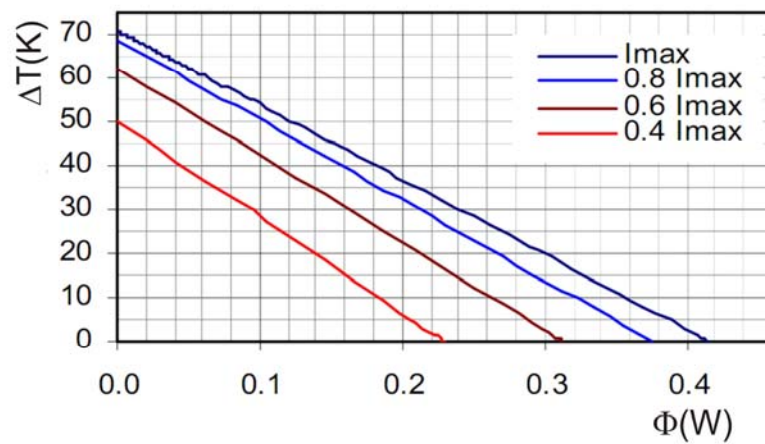
Tepelný výkon vyzářený na teplé straně Peltierovy termobaterie je:

$$\Phi_H = P_{in} + \Phi_0 \quad (\text{W}; \text{W}, \text{W}) \quad (3.42)$$

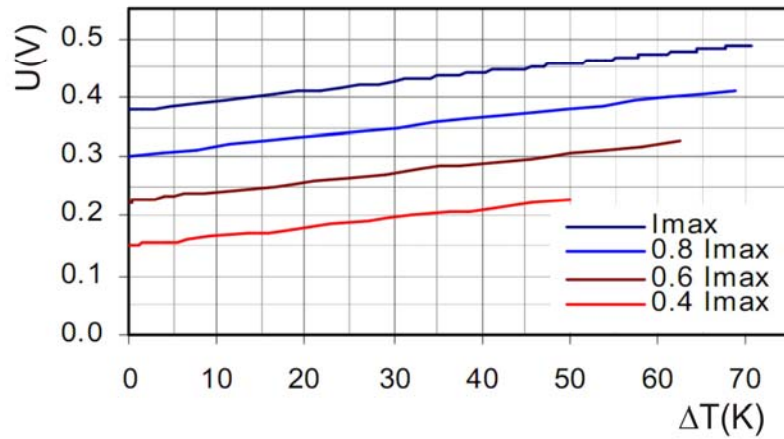
3.9 Ukázky charakteristik naměřených na Peltierově termobaterii



Obr. 3-16 Graf závislosti rozdílu teplot na velikosti proudu



Obr. 3-17 Graf závislosti rozdílu teplot na velikosti tepelného výkonu



Obr. 3-18 Graf závislosti napětí na rozdílu teplot

Ukázky charakteristik byly naměřeny na Peltierově termobaterii typu 1MC04-004-05 od firmy RMT Ldt. o těchto parametrech:

ΔT_{MAX}	70K
Q_{MAX}	0,42W
I_{MAX}	1,5A

4 POUŽITÍ PELTIEROVA ČLÁNKU

Výhodou Peltierových termobaterií je soustředění chladícího nebo topného účinku na velmi malou plochu. Zařízení je spolehlivé a teplota se dá regulovat změnou velikosti napájecího proudu. Baterie mají plochý tvar, takže ohřev nebo chlazení dané plochy je rovnoměrné. Další výhodou je jejich rychlost odezvy. Peltierovy články našly uplatnění v různých odvětvích lidské činnosti (lékařství, laboratorní zařízení, klimatizační zařízení), nejznámější je jejich použití v přenosných chladničkách [14].

4.1 Použití Peltierova článku

- miniaturní chladiče pro zesilovače, chladiče pro výkonné generátory, lasery, parametrické zesilovače, chladiče
- pro mikroprocesory, chladiče pro různá elektronická zařízení- například pro noční vidění.
- Lékařství- chladiče přenosných kontejnerů pro biologické materiály a tekutiny (např. krev), farmaceutická a kosmetická zařízení a podobně.
- Vědecká a laboratorní zařízení- chladící prostory, chladící laboratorní desky, tepelné kalibrátory, CCD chladiče, termostaty.
- Spotřební zboží- přenosné ledničky a chladící boxy, chladiče a chladící boxy nápojů pro obchody, restaurace atd.
- Klimatizační zařízení- chladící zařízení pro prostory na uskladňování knih a filmů

4.2 Účinnost Peltierova článku

Zařízení pracuje s relativně nízkou účinností, většinou je to v poměru (topící/chladící výkon) 1.5 až 2.5, při nulovém rozdílu teplot. Čím se rozdíl teplot zvětšuje, tím se zvětšuje i tento poměr a snižuje účinnost [15].

Maximální chladící výkon se pohybuje od desetiny wattu až po stovky wattů. Maximální rozdíl teplot může dosahovat 60 až -85 °C (pokud bude teplý konec udržován na 30°C, na studeném může být až -30 až -45 °C). Ceny dosahují desítek až tisíců korun [15].

4.3 Stav na trhu

Pro srovnání jednotlivých typů, tvarů, druhů a výkonů jednotlivých článků, jsem si vybral nabídku firmy FERROTEC. Tato společnost má přehledně zpracovaný web se všemi parametry nutnými pro správný výběr Peltierova chladícího článku. Jednotlivé typy jsem shrnul do níže uvedených tabulek, kde sem se snažil zachytit v jakých rozměrech, výkonech a jiných jmenovitých hodnotách se můžeme na trhu u Peltierových termobaterií setkat.

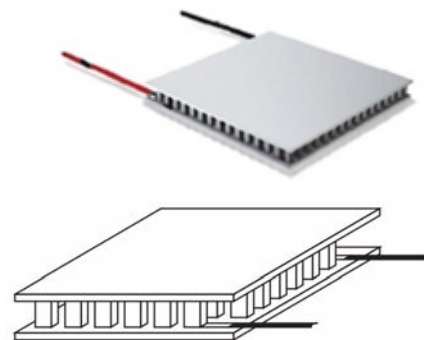
Význam jednotlivých symbolů a zkratk v tabulkách:

- $[I_{MAX}] = A$ je maximální velikost proudu, kterým lze termobaterii zatěžovat při $\Phi_C = 0$, a ΔT_{MAX}
- $[V_{MAX}] = V$ je maximální hodnota stejnosměrného napětí při němž lze termobaterii napájet při $\Phi_C = 0$ a I_{MAX}
- $[\Delta T_{MAX}] = K$ je maximální teplotní rozdíl při $\Phi_C = 0$ a I_{MAX}
- $[\Phi_{CMAX}] = W$ je maximální přečerpávaný tepelný výkon při I_{MAX} a $\Delta T = 0$

Single-Stage Peltier Coolers

Klasické Peltierovy termobaterie jsou vhodné pro širokou škálu aplikací chlazení a vytápění s nízkým až vysokým tepelným čerpacím výkonem (v závislosti na modelu termobaterie). Mezi typické aplikace pro tyto standardní TEC (termoelektrické chladiče) patří lékařské přístroje, spotřební zboží, průmyslové zařízení, elektrické zařízení laboratoří a vědeckých přístrojů.

Single-Stage Peltier Coolers				
I_{MAX}	A	3,00	až	40,00
U_{MAX}	V	2,30	až	17,60
ΔT_{MAX}	K	72,00	až	72,00
Q_{CMAX}	W	3,80	až	95,00
šířka	mm	7,39	až	55,00
hloubka	mm	11,50	až	55,00
výška	mm	3,18	až	4,85



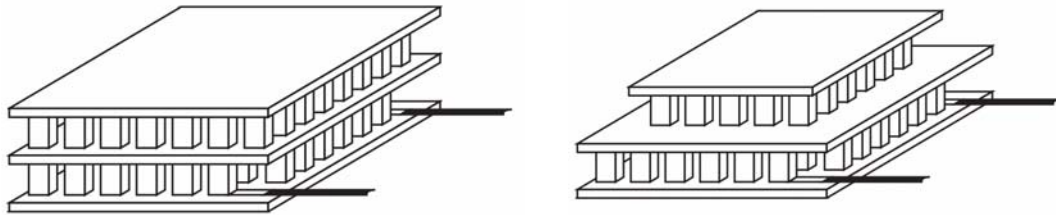
Více stupňové Peltierovy termobaterie

Two-Stage Peltier Coolers

TEC moduly z řady více-stupňových baterií jsou navrženy tak, aby docílili vyššího rozdílu teplot oproti klasickým jednostupňovým článkům. Tyto vícestupňové TEC jsou vhodné pro aplikace kde je požadováno docílení co nejnižších teplot. Typickými aplikacemi pro tyto speciální moduly jsou IR detektory, CCD kamery a elektro-optika.

Two-Stage Peltier Coolers				
I_{MAX}	A	3,50	až	24,00
U_{MAX}	V	8,20	až	18,20
ΔT_{MAX}	K	88,00	až	106,00
Q_{CMAX}	W	11,00	až	74,00
šířka 1.stupně	mm	20,00	až	45,00
hloubka 1.stupně	mm	20,00	až	54,00
šířka 2.stupně	mm	39,00	až	45,00
hloubka 2.stupně	mm	39,00	až	54,00
výška	mm	6,80	až	7,49





Obr. 4-1 Ukázka kaskádní termobaterie

Three-Stage Peltier Coolers

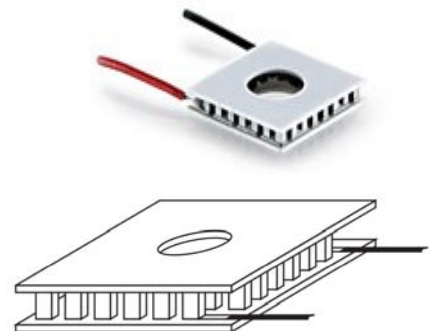
Three-Stage Peltier Coolers				
I_{MAX}	A	4,60	až	6,50
U_{MAX}	V	8,60	až	18,30
ΔT_{MAX}	K	111,00	až	111,00
Q_{CMAX}	W	9,70	až	22,00
šířka 1.stupně	mm	15,20	až	20,00
hloubka 1.stupně	mm	15,20	až	20,00
šířka 2.stupně	mm	20,00	až	29,80
hloubka 2.stupně	mm	20,00	až	29,80
šířka 3.stupně	mm	29,80	až	39,70
hloubka 3.stupně	mm	29,80	až	29,80
výška	mm	9,15	až	9,85



Center-Hole Peltier Coolers

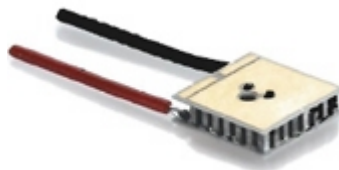
V některých případech je nutné použít Peltierův chladič s kruhovým otvorem. Tato řada umožňuje vést přívodní kabely, uchycení či jiný hardware přes Peltier.

Center-Hole Peltier Coolers					extra velký
I_{MAX}	A	3,00	až	4,00	6,00
U_{MAX}	V	3,20	až	3,20	17,20
ΔT_{MAX}	K	72,00	až	72,00	72,00
Q_{CMAX}	W	5,20	až	6,90	56,00
šířka	mm	15,10	až	15,10	39,70
hloubka	mm	18,00	až	18,00	39,70
výška	mm	3,18	až	3,18	3,80
průměr otvoru	mm	5,00	až	8,00	4,70



Multi-hole Peltier Coolers

Multi-hole Peltier Coolers		
I_{MAX}	A	1,20
U_{MAX}	V	3,20
ΔT_{MAX}	K	70,00
Q_{CMAX}	W	2,00
šířka	mm	8,65
hloubka	mm	8,65
výška	mm	2,14



Round Peltier Coolers

Round Peltier Coolers		
I_{MAX}	A	6,00
U_{MAX}	V	1,90
ΔT_{MAX}	K	72,00
Q_{CMAX}	W	6,20
vnější průměr	mm	26,00
vnitřní průměr	mm	14,00
výška	mm	3,31



Miniature Peltier Coolers

Peltierovy moduly z řady miniaturních jsou vhodné pro vytápění a chlazení aplikací, kde postačí odvod malého množství tepla. Typickými aplikacemi pro tyto specializované TEC moduly patří chlazení laserových diod, infračervený zařízení, elektro-optických a elektrických zařízení s malým příkonem. Jsou určeny zejména pro komerční použití

Miniature Peltier Coolers					extra velký
I_{MAX}	A	1,20	až	2,50	2,00
U_{MAX}	V	0,96	až	8,90	4,80
ΔT_{MAX}	K	70,00	až	70,00	70,00
Q_{CMAX}	W	0,63	až	8,70	52,00
šířka	mm	4,01	až	12,10	6,05
hloubka	mm	4,01	až	12,10	12,20
výška	mm	1,64	až	2,65	1,64

Thin-Film Substrate Peltier Coolers

Tato řada tenkovrstvých TEC má uplatnění tam, kde je nutné přizpůsobení tvaru nerovnostem a jiným záhybům.

Thin-Film Substrate Peltier Coolers				
I_{MAX}	A	1,20	až	1,80
U_{MAX}	V	2,50	až	8,90
ΔT_{MAX}	K	66,00	až	66,00
Q_{CMAX}	W	1,30	až	7,20
šířka	mm	6,05	až	12,10
hloubka	mm	6,05	až	11,20
výška	mm	1,79	až	2,09



High-Power Peltier Coolers

Tento typ Peltierů je používán v aplikacích, kde je nutno absorbovat velké množství tepla z omezeného prostoru, kde by již nezbyl prostor pro usazení většího počtu standardních Peltierů

High-Power Peltier Coolers					extra velký
I_{MAX}	A	6,00	až	16,00	60,00
U_{MAX}	V	17,50	až	53,80	4,30
ΔT_{MAX}	K	72,00	až	72,00	72,00
Q_{CMAX}	W	108,00	až	289,00	139,00
šířka	mm	39,70	až	55,00	55,00
hloubka	mm	39,70	až	60,00	55,00
výška	mm	3,35	až	4,16	4,85



Thermal Cycling Peltier Coolers for Temperature Cycling Applications

Tyto Peltiery jsou navrženy pro tepelné cyklické děje. Jsou navrženy pro co nejdelší životnost při častých změnách použití z termoelektrického chlazení na ohřev a naopak. Typickými aplikacemi, které používají tyto Peltierovy chladiče jsou: přístrojová technika, chladírny, PCR zařízení a analyzátory.

Thermal Cycling Peltier Coolers for Temperature Cycling Applications				
I_{MAX}	A	4,00	až	24,00
U_{MAX}	V	4,30	až	17,50
ΔT_{MAX}	K	72,00	až	72,00
Q_{CMAX}	W	31,00	až	71,00
šířka	mm	29,70	až	40,10
hloubka	mm	29,70	až	40,10
výška	mm	3,94	až	4,62



Výhody termoelektrických modulů:

- žádné pohyblivé ani rotační části
- malá hmotnost a rozměry
- absence údržby
- tichý chod
- možnost použití ke chlazení i ohřevu
- možnost použití v širokém rozsahu teplot
- měření teplot s vysokou přesností (až do 0,1K)
- umožňují provoz v libovolné poloze
- jsou šetrné k životnímu prostředí
- možnost chlazení pod teplotu okolí
- dosažení velmi nízkých teplot při chlazení (až -80°C)

Oblasti využití Peltierových chladících termobaterií

Peltierovy chladící termobaterie jsou využívány v širokém spektru výrobních oblastí. Patří mezi ně zařízení používané pro vojenské účely, zdravotnictví, průmysl, vědecká a laboratorní pracoviště. Používají se v rozsahu od chlazení potravin a nápojů, až po vysoce sofistikované systémy jako třeba kontroly teplot v raketách a jiných vesmírných objektech.

Na rozdíl od běžných chladičů umožňují termoelektrické články dosažení teplot nižších než je teplota okolí stejně tak jako teplotní stabilizaci objektů v nestálých teplotních podmínkách.

Termoelektrické chladiče obvykle mohou být využívány v případech, které vyžadují odvod tepla v rozmezí od miliwatů až do několika tisíc watů. Klasické jednostupňové moduly jsou schopny přečerpávat maximálně 3-6 W na cm². Zatímco vícestupňové modely jsou používány pro zvýšení celkového výkonu tepelného čerpadla.

Typické aplikace použité termoelektrických článků:

- Letecká elektrotechnika
- Chlazení černých skříněk
- Kalorimetry
- CCD kamery
- Chlazení sálů a síní
- Kompaktní výměníky tepal
- Stabilní teploty lázní
- Vysoušedla
- Měřiče rosného bodu
- Elektronická chladící zařízení

- Environmentální analyzátory
- Chlazení integrovaných obvodů
- Infračervené detektory
- Laserové kolimátory
- Chladiče laserových diod
- Mikroprocesorové chlazení
- Chladiče nočního vidění
- Osmometry
- Ledničky a chladicí zařízení v letadlech, automobilech, limuzínách..
- Kalibrace termostatů
- Vinotéky, nápojové a potravinové chladničky

Seznam některých výrobců Peltierových článků:

FERROTEC	www.ferrotec.com
MELCOR	www.melcor.com/tec.html
QUICK – COOL	www.quick-cool.com
NANOCOOLERS	www.nanocoolers.com
TE TECHNOLOGY, INC.	www.tetech.com
ADVANCED THERMOELECTRIC	www.americool.com
TELLUREX CORPORATION	www.tellurex.com
KRYOTHERM	www.kryothermusa.com
SUPERCOOL	www.supercool.cz
WATRONIX Inc.	www.inbthermoelectric.com

4.4 Možnosti využití a aplikace Peltierova článku

Laboratorní technika

Zrcadlový senzor rosného bodu

- zrcadlo (obvykle ze zlata) je ochlazováno studenou stranou Peltierova článku
- podchlazením zrcadla při teplotách plynu nad 0 °C dochází k orosení
- prostřednictvím regulačního obvodu je proud Peltierova článku řízen tak, aby na zrcadle byla udržována teplota rosného bodu
- vznik orosení lze detekovat fotoelektricky nebo změnou elektrické vodivosti
- teplota zrcadla se měří miniaturním odporovým nebo polovodičovým teploměrem a výstupním signálem je buď hodnota teploty rosného bodu, nebo jiné vyjádření vlhkosti plynu

Laboratorní centrifuga Biosan od firmy DINEX

Technické parametry:

- Možnost centrifugace zkumavek až o objemu 50ml či mikrotitračních destiček
- 1000 - 3000 RPM
- Suchý blok Biosan (vyhřívání/chlazení) - teplotní rozsah od -10°C do +100°C
- Mechanismus kombinace hliníkového bloku a peltierova článku

Laboratorní sušárny a inkubátory z produkce německé firmy *Memmert* patří k základu přístrojů pro ohřev a chlazení. Nová klimatická komora HPP 108 se jako všechny ostatní výrobky Memmert vyznačuje perfektním designem a velmi kvalitním provedením. Využití Peltierova jevu k chlazení a řízení vlhkosti navíc přináší vysokou účinnost a zcela tichý provoz tohoto zařízení.

Technické parametry:

- Rozsah nastavitelných teplot 5 - 70°C
- Rozsah nastavitelné vlhkosti 10 - 90% r. v.
- Vnitřní rozměry komory 560 x 400 x 480 mm
- Užitečný objem 108 litrů
- Vnější rozměry skříně 710 x 620 x 760 mm
- Hmotnost 66 kg
- Přibližná cena 200 000 Kč/ks

Na výstavě Analytica 2008 v Mnichově představila firma **Schott Instruments** GmbH dva nové **spektrofotometry řady UviLine**, které patří do střední cenové třídy. UviLine 9100 je určen pro měření pouze ve viditelné oblasti spektra v rozsahu 320 – 1100 nm, zatímco model UviLine 9400 pokrývá celou UV/VIS oblast v rozsahu 190 – 1100 nm.

Některé technické parametry:

	UviLine 9100	UviLine9400
Rozsah vlnových délek	320 – 1100 nm	190 – 1100 nm
Zdroj světla	halogenová lampa	xenonová výbojka
Šířka spekt. Pásu	4 nm	4nm
Rozptýlené světlo	<0,1%	<0,1%
Správnost absorbance	$\pm 0,003$ (do 0,6 A)	$\pm 0,003$ (do 0,6 A)
Cena	69 800 Kč	109 600 Kč

Leica CM1850UV

je výkonný **kryostat** určený jak pro rutinní práci, tak pro aplikace v biologickém, lékařském nebo technickém výzkumu. Přístroj je navržen pro rychlé zmrazování a krájení preparátů ze vzorků tkání a je vybaven automatickým dezinfekčním systémem.

Kryostat je zařízení používané k tepelné izolaci vnitřních chladných částí od okolního prostředí. Vnitřní části jsou chlazeny vnějším chladicím zařízením nebo tzv. kryokapalinami. Z nich jsou nejběžnější kapalný dusík (teplota 77 K) a kapalné helium (4,2 K). V kryostatech však může být dosaženo podstatně nižších teplot. V chladných částech kryostatů se provádějí vědecké experimenty a technická měření, která vyžadují nízké teploty, nebo jsou v nich umístěny supravodivé magnety.

Přístroje QUANTA Biotech Ltd pro molekulární biologii

QB-96 GRADIENT - modulární gradientový cykler

- rychlost ohřevu 5,0 °C/s
- chlazení 4,0 °C/s
- teplotní uniformita < +/- 0,4 °C
- lineární teplotní gradient až 30 °C
- všechny bloky řízeny nezávisle čtyřmi páry Peltierových článků a čtyřmi senzory

Auto-Q GRADIENT - vysoce výkonný modulární gradientový cykler s motorickým víkem

- rychlost ohřevu 5,0 °C/s
- chlazení 4,0 °C/s
- teplotní uniformita < +/- 0,4 °C
- lineární teplotní gradient až 30 °C
- všechny bloky řízeny nezávisle čtyřmi páry Peltierových článků a čtyřmi senzory

Kamery G2 CCD

CCD kamery jsou přístroje pro snímání extrémně slabých zdrojů světla v astronomii a mikroskopii.

Technické parametry

- Chlazení CCD čipu Termoelektrické (Peltierovy) články
- Počet článků Dva stupně
- Max. regulovaný ΔT 40°C pod okolím (při 85% chlazení)
- Přesnost regulace $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- Chlazení horké Nucený oběh (dva 40 mm ventilátory)
- strany Volitelný kapalinový výměník

Napájecí zdroj

- Napájení kamery 12 V (DC)
- Spotřeba kamery 30 W
- Vstupní napětí zdroje 100 – 240 V (AC) / 50 – 60 Hz
- Výstupní napětí zdroje 12 V (DC) / 5 A
- Výkon zdroje 60 W

Kosmická sonda Cassini

vyslaná 15.10.1997 do vesmíru ke studiu Saturnových prstenců vyrábí elektrickou energii pomocí *termoelektrického generátoru*.



Obr. 4-2. Kosmická sonda Cassini

Reometry Physica řady MCR

Physica MCR 501 - reometr se vzduchovými ložisky s největším rozsahem točivého momentu, s nejvyšší přesností pro široký rozsah měření kapalin až tuhých látek, určený pro výzkum a vývoj.

Physica MCR 301 - reometr se vzduchovými ložisky, pro vývoj produktů a výzkum, ideální v rozsahu pro nízkoviskózní a kapalné materiály až po tuhé látky.

Physica MCR 51 - robustní reometr s mechanickými ložisky, pro kontrolu kvality a standardní aplikace.

Chlazení rozvaděčů**Chlazení datového rozvaděče Schrack Technik**

- Teplota okolí -40°C - $+50^{\circ}\text{C}$
- Teplota v rozvaděči 0°C - $+50^{\circ}\text{C}$
- Výkony jen 100W, 150W, 500W
- IP 54 / IP 24

Rittal Thermoelectric Cooler je chladicí zařízení určeno výhradně k **chlazení rozváděčových skříní a řídicích skříněk**. Rittal Thermoelectric Cooler reguluje chladicí výkon Peltierových článků a množství vzduchu z integrovaných ventilátorů tak, aby byla s vysokou přesností udržována požadovaná vnitřní teplota rozváděčové skříně nebo řídicí skřínky.

Technické parametry

- | | | |
|---------------------------------|---|---|
| • Typ | 3201.200 | 3201.300 |
| • Rozměry v mm (Š x V x H) | 125 x 400 x 155 | 125 x 400 x 155 |
| • Provozní napětí | 100 – 240 V(AC), 50/60Hz | 24 V (DC) |
| • Užitečný chladicí výkon Q_K | 100W | 100W |
| • Jmenovitý výkon P_{EL} | max. 100W | max.100W |
| • Hmotnost | 3 kg | 2,4 kg |
| • Rozsah nastavení teploty | $+20^{\circ}\text{C}$ - $+55^{\circ}\text{C}$ | $+20^{\circ}\text{C}$ - $+55^{\circ}\text{C}$ |

Použití v oblasti PC

AMD patentovalo Peltierův článek přímo na chipu. Nyní používá na chipu 9 měděných vrstev a jednu hliníkovou a právě rozhraní Cu-Al může při průchodu 6A proudu vytvořit teplotní spád 10-15 K.

U společnost **nanoCoolers** přetransformovali Peltierův článek do takové podoby, že jej začali nazývat tenkou vrstvou (Thin Film). Současně vyvinuli vlastní výrobní proces, umožňující nanášet takovouto chladicí vrstvu na křemíkové desky (tedy na holé obnažené čipy, které teprve čeká zapouzdrění). V nanoCoolers jsou schopni svojí technologií dostat tento „vylepšený“ Peltierův článek na vzdálenost několika mikronů od čipu! Současně blízkost chladícího prvku k čipu umožňuje v nesrovnatelně kratších časech pružně reagovat na potřeby chlazeného obvodu (odpadá nutnost nejprve odvést teplo samotného pouzdra čipu, než tento teplotní pokles dorazí k čipu samotnému).

Ostatní aplikace

Vinotéka firmy **Baumatic** typu BW18 a 28BW

Technické parametry

• Typ	BW18	BW28
• Kapacita	18 lahví	28 lahví
• Celkový objem	60 litrů	78 litrů
• Užitný objem	50 litrů	65 litrů
• Spotřeba energie	1,00 kWh/24 h	1,20 kWh/24 h
• Rozměry v mm (V x Š x H)	645 x 355 x 500	730 x 460 x 540

Elektrické výčepní zařízení Loomax Wunderbaum Choler

Elektrické výčepní zařízení Loomax Wunderbaum Cooler, chlazení Peltier (Peltierův článek), nastavitelná teplota od 3°C-9°C, lze použít 4,5 a 6l soudky, ochladí soudek z 25°C na 9°C během 2 hodin

Termoelektrické chladiče jsou užívány nejvíce v průmyslových odvětví jako lékařství, laboratoř, kosmický prostor, polovodičová technika, telekomunikace, průmyslový a spotřební materiál.

Používá se v širokém rozsahu od jednoduchých chladících boxů jídla a nápojů až po extrémně důmyslný teplotní řídicí systém v raketách jiných vesmírných zařízeních.

Termoelektrický chladič umožňuje snižování teploty objektu pod hranici teploty okolí. TEC chladič se odlišuje od klasických tím, že poskytne aktivní chlazení na rozdíl od pasivního

chlazení. Termoelektrické chladiče mohou být použity pro aplikace které, požadovat odvod tepla v rozsahu od mili-wattů až do několik tisíce wattů.

Trendem v posledních letech je zvětšování termoelektrické systémy namísto klasického kompresorového chlazení. Systémy s výkonem od 200 do 400 W se stávají stále běžnější, ačkoli ještě nejsou tak ty menší systémy s výkonem pod 100 W. Velké termoelektrické systémy s rozsahem v řádech kilowatů jsou používány pro specializované aplikace jako chlazení uvnitř ponorek a železničních vagonů nebo chlazení ve specializovaných oblastech jako chlazení lázní v polovodičové výrobě.

Základním polovodičovým materiálem na Peltierovy články jsou převážně vizmut-telluridy, tj. termální systémy Bi-Te-Se (N-typ) a Bi-Sb-Te (P-typ). Tyto materiály mají výhodné termoelektrické vlastnosti, nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost. Spojovací můstky jsou zhotoveny většinou z mědi (malý měrný elektrický odpor, možnost pájení). Její nevýhodou je možná difúze do polovodičového materiálu a tím zhoršení jeho vlastností. V místě styku můstku a polovodiče vzniká nežádoucí přechodový odpor, který může značně nepříznivě ovlivnit dosažitelný chladicí výkon Φ_0 článku a maximální dosažitelný teplotní rozdíl obou spojek.

5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ V LABORATORNÍ VÝUCE

Termoelektrické chladicí moduly jsou zejména v několika posledních letech využívány v nejrůznějších aplikacích vyžadujících velmi přesnou regulaci teploty. Ve speciálních případech umožňují regulaci teploty s přesností 0,001 K. Možnosti využití v laboratorní výuce jsou dány především jednoduchostí a přesností. Právě přesnost při nastavování teploty je asi největší výhodou Peltierova článku. Můžeme ho využívat ve dvou reverzních režimech, ať už je ohřev nebo chlazení. Tato možnost nám také zajišťuje udržování přesně nastavené teploty v teplotně proměnném okolí.

Laboratorní výuka je založena na základě nejrůznějších měření a následné vyhodnocování výsledků. Její kvalita tedy závisí na podmínkách při kterých jsou dané pokusy prováděny. Nezřídka jsou právě teplotní výkyvy vinou špatného vyhodnocení výsledků nebo ovlivněním celého průběhu. Výsledek je tak už z principu ovlivněn nějakou chybou. Využití v laboratorní výuce by se dá shrnout do následujících bodů:

- Kalorimetry
- CCD kamery
- Kompaktní výměníky tepal
- Stabilní teploty lázní
- Vysoušedla
- Měřiče rosného bodu
- Elektronická chladicí zařízení
- Environmentální analyzátory
- Chlazení integrovaných obvodů
- Infračervené detektory
- Laserové kolimátory
- Chladiče laserových diod
- Kalibrace termostatů

6 CÍLE PRÁCE

1. Studium Peltierova článku, obecný popis, vlastnosti, použití a charakteristiky Peltierových článků.
2. Zmapování současného stavu v oblasti Peltierových článků.
3. Možnosti využití Peltierova článku v laboratorní výuce.
4. Návrh, matematický popis a realizace laboratorní úlohy s Peltierovým článkem.
5. Vypracování vzorového protokolu.
6. Závěr.

Teoretickými vlastnosti Peltierova článku se práce zabývá hned ve svém úvodu. Popisuje principiální děj Seebeckův a Peltierův na jejichž základě termobaterie pracuje. Na tyto principy potom nazuje část týkající se polovodičů, z kterých jsou dnešní Peltierovy termobaterie vyrobeny. Na základě poznatků jevů a vztahů jsou uvedeny některé výpočty určující směrodatné parametry při výběru vhodného chladicího modulu.

Další část obsahu práce je věnována zkoumáním a hledáním aplikací ve kterých jsou dnes Peltierovy články nejvíce rozšířené. Obsahuje shrnutí výroby Peltierových článků co se tvarů, typů, velikostí, parametrů a použití týče. Nechybí ani seznam nejznámějších výrobců společně s odkazy na webové stránky.

Na teoretické poznatky přímo navazuje praktická část týkající se měření a matematického popisu na Peltierově termobaterii. Tato část leží spíše v teoretické rovině, nicméně samotným matematickým popisem některých parametrů a závislostí na vstupních parametrech (jako jsou napájecí proud a napětí, teplota okolí nebo chlazeného zařízení), si lze vytvořit určitou představu o chování chladiče.

Praktická část je se dělí do dvou částí, které spolu velice úzce souvisí, Jedna kapitola by měla být věnována návrhu laboratorní úlohy. Zde bude uveden jen stručný základ a některé konkrétní vztahy které budou ale hned v další kapitole mnohem více odvozovány.

Protože lze Peltierův článek použít ve dvou režimech a to v režimu chlazení, nebo výroby elektrické energie, jsou praktické části laboratorní úlohy zaměřeny především na účinnosti těchto vlastností. Účinnost každého zařízení je mírou efektivnosti a ekonomičnosti. Její velikost tedy vypovídá o možnosti využití daného zařízení pro hodnocený účel. Práce se bude zabývat hledáním účinnosti η při přeměně tepelné energie na elektrickou a účinnosti ε vyjadřující chladicí faktor.

7 NÁVRH ZADÁNÍ K LABORATORNÍ ÚLOZE

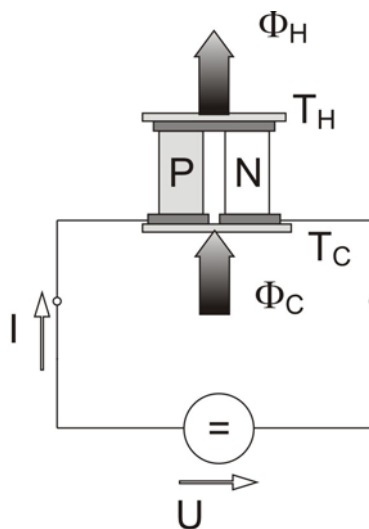
Úkoly:

1. Samostudium pojmů: Seebeckův jev, Peltierův jev, Peltierův článek.
2. Zapojení pracoviště podle schéma zapojení laboratorní úlohy.
3. Určení vnitřního odporu R_M a termoelektrického napětí α_M Peltierovy termobaterie.
4. Výpočet výkonu Φ_H jako příkonu měřeného Peltierova článku.
5. Stanovte účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou pomocí Peltierova článku a sestrojte graf $\eta = f(T_3 - T_4)$.
6. Stanovte chladicí činitel Peltierovy termobaterie a sestrojte graf $\varepsilon = f(I_2)$.

Teoretický rozbor úlohy:

Peltierův článek je zařízení, pracující na principu Peltierova jevu. Tento jev je inverzní k jevu Seebeckovu a během měření poznáme blíže oba dva termoelektrické jevy. Na základě těchto efektů můžeme Peltierovu termobaterii použít k následujícím účelům:

- a) Přímé přeměně energie tepelné v elektrickou
- b) Termoelektrickému ochlazování
- c) Termoelektrickému ohřevu



Obr. 7-1. Peltierův článek

Připojíme-li, Peltierův článek na zdroj stejnosměrného napětí, bude jeho matematický popis vycházet z energetické bilance:

$$Q_p = Q_0 + Q_v + Q_J \quad (J;J) \quad (7.1)$$

Kde: Q_p je Peltierovo teplo

- Q_0 je teplo odebírané z okolí (tzv. chladící výkon)
 Q_V je teplo převedené vedením sloupků z teplé strany na studenou
 Q_J je Jouleovo teplo způsobené průchodem proudu

$$Q_P = \alpha \cdot I_2 \cdot T_C \cdot t \quad (\text{J}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{A}, \text{K}, \text{s}) \quad (7.2)$$

$$Q_J = r \cdot I_2^2 \cdot t \quad (\text{J}; \Omega, \text{A}, \text{s}) \quad (7.3)$$

$$Q_V = \Lambda (T_H - T_C) \cdot t \quad (\text{J}; \text{W} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{s}) \quad (7.4)$$

Kde Λ celková tepelná vodivost článku:

$$\Lambda = \Lambda_P + \Lambda_N = \frac{1}{l} \cdot (\lambda_P S_P + \lambda_N S_N) \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; \text{m}, \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{m}^2) \quad (7.5)$$

Základním parametrem chladícího článku je bezrozměrná veličina zvaná chladící činitel ε , definovaná vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\Phi_0}{P_2} \quad (-; \text{W}, \text{W}) \quad (7.6)$$

P_2 je příkon chladícího článku daný:

$$P_2 = P_J + P_P \quad (\text{W}; \text{W}, \text{W}) \quad (7.7)$$

- Kde: P_J je výkon spotřebovaný na uvolnění Jouleova tepla [P_J] = W
 P_P je výkon potřebný na překonání potenciálového rozdílu mezi teplým a studeným koncem [P_P] = W

$$P_J = U_2 \cdot I_2 \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}) \quad (7.8)$$

- Kde: I_2 je proud procházející Peltierovým článkem [I_2] = A
 U_2 je napájecí napětí chladícího Peltierova článku [U_2] = V

$$P_P = \alpha_M \cdot (T_H - T_C) \cdot I_2 \quad (\text{W}, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{A}) \quad (7.9)$$

- Kde: α je termoelektrický koeficient Peltierova článku [α] = $\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$

Budeme li však jeden konec Peltierova článku zahřívát na teplotu T_H a druhý ochlazovat na teplotu T_C , tak aby $\Delta T \neq 0$, naměříme na jeho výstupních svorkách Seebeckovo napětí dané vztahem:

$$U_S = \alpha \cdot \Delta T \quad (\text{V}; \text{V} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (7.10)$$

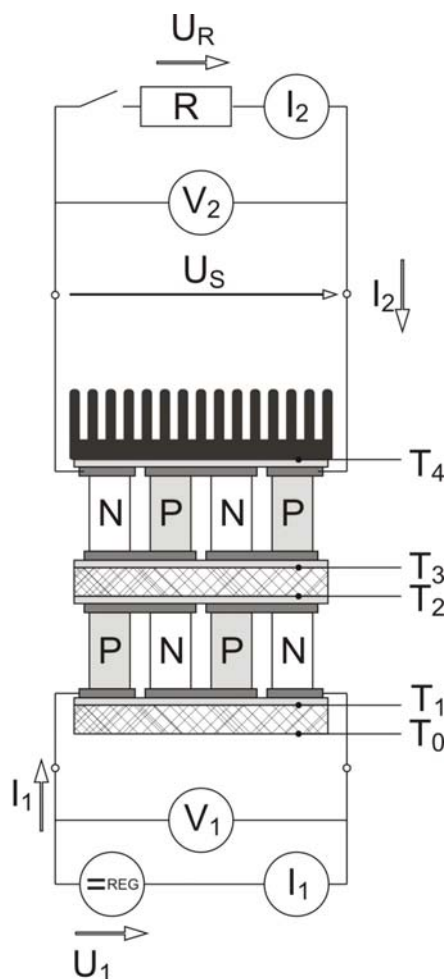
Potom můžeme stanovit účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou pomocí obecného vztahu:

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}} \quad (-; \text{W}, \text{W}) \quad (7.11)$$

Kde výkon je hodnota výkonu dodávaná Peltierovým článkem připojenému spotřebiči
příkon je tepelný výkon absorbovaný Peltierovým článkem.

Postup při měření úlohy:

1. Samostudium pojmů: Peltierův článek, Peltierův jev, Seebeckův jev, tepelné čerpadlo.
2. Schéma zapojení laboratorní úlohy:



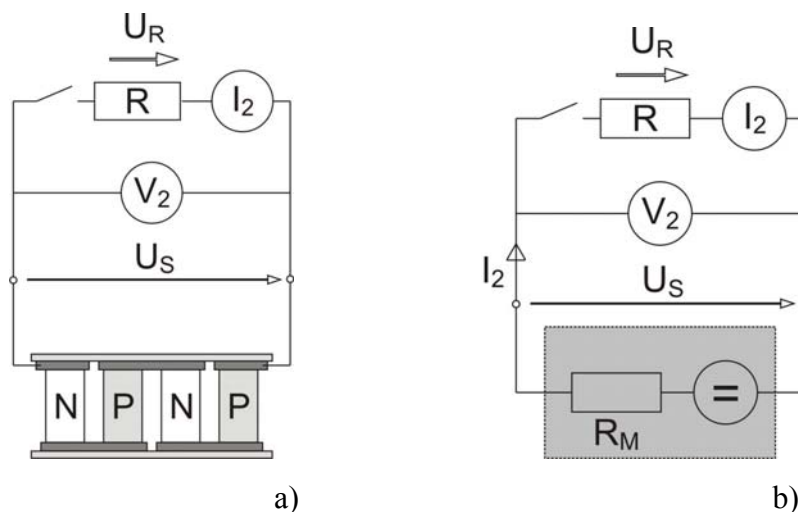
Obr. 7-2. Schéma zapojení laboratorní úlohy

3. Určení vnitřního odporu a termoelektrického napětí Peltierovy termobaterie

Pracoviště zapojíme podle schéma uvedeném na obrázku 7-2. Oteplení studené strany měřené Peltierovy termobaterie docílíme přivedením výkonu přes topný článek (v našem případě druhá Peltierova termobaterie). Pro chlazení druhé strany měřené termobaterie použijeme vodní chladič.

Seebeckův součinitel termoelektrického napětí udává velikost termoelektrického napětí vyvolaného teplotním rozdílem jeden stupeň $[\alpha] = \text{V} \cdot \text{K}^{-1}$.

- Topný článek připojíme na zdroj stejnosměrného napětí tak, aby teplejší strana byla ve styku s gumovou podložkou mezi topícím zařízením a měřenou Peltierovou termobaterií (v opačném případě je třeba změnit polaritu připojeného napětí, abychom docílili ohřevu měřeného článku) a nastavíme na zdroji napětí o určité hodnotě.
- Na chladnější stranu Peltierovy termobaterie připojíme chladičící zařízení.
- Vyčkáme ustálení teplot a zaznamenejeme všechny potřebné hodnoty do tabulky.
- Pro měření teplot je použito termočlánků, které nám hodnotu udávají nepřímo pomocí napětí, proto do tabulky budeme vepisovat jednotlivá napětí, která na teplotu přepočítáme až při zpracování protokolu.
- Měření součinitele termoelektrického napětí α budeme provádět pro dvě různé hodnoty napětí U_1 , a z vypočtených hodnot stanovíme výslednou průměrnou hodnotu.
- Stejně tak pro stanovení vnitřního odporu Peltierovy termobaterie budeme vycházet z hodnot při dvojnásobném měření a výslednou hodnotu stanovíme průměrem hodnot dílčích.
- Velikost Seebeckova napětí U_S z obrázku 7-3 stanovíme voltmetrem V_2 tak, že odpojíme zátěžný rezistor R . Tím nám obvodem podle obrázku 7-3 nebude procházet žádný proud, a podle obrázku 7-3b) se tedy neuplatní ani úbytek napětí na vnitřním odporu termobaterie R_M . Naměřená hodnota napětí tedy bude přímo rovna Seebeckovu napětí. Nezapomeňte toto napětí naměřit pro každou nastavenou hodnotu U_1 .



Obr. 7-3. Náhrada Peltierova článku jeho ekvivalentem napěťového zdroje

Číslo měření	$\frac{U_{T3}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T4}}{\text{mV}}$	$\frac{U_S}{\text{V}}$	$\frac{U_R}{\text{V}}$	$\frac{I_2}{\text{A}}$	$\frac{R_M}{\Omega}$	$\frac{\alpha_{M,i}}{\text{V} \cdot \text{K}^{-1}}$
1							
2							

4. Výpočet výkonu Φ_H jako příkonu měřeného Peltierova článku

Pro některé další výpočty budeme muset znát hodnotu tepelného příkonu měřené Peltierovy termobaterie. Tuto hodnotu budeme muset spočítat pomocí elektrického příkonu do topného článku a některých dalších charakteristických vlastností při čerpání tepla Peltierovým článkem (v našem případě použitým k termoelektrickému ohřevu).

- Zapojení úlohy ponecháme z posledního měření a využijeme toho, že teploty se nám již ustálily.
- Do tabulky zaznamenáme všechny potřebné veličiny, nutné k dalšímu výpočtu tepelného výkonu Φ_H .
- Odvoďte a dosazením změřených hodnot spočítejte požadovaný výkon Φ_H .

Číslo měření	$\frac{U_{T0}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T1}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T2}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T3}}{\text{mV}}$	$\frac{U_1}{\text{V}}$	$\frac{I_1}{\text{A}}$
1						
2						

5. Stanovte účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou, pomocí Peltierova článku a sestrojte graf $\eta = f(T_3 - T_4)$

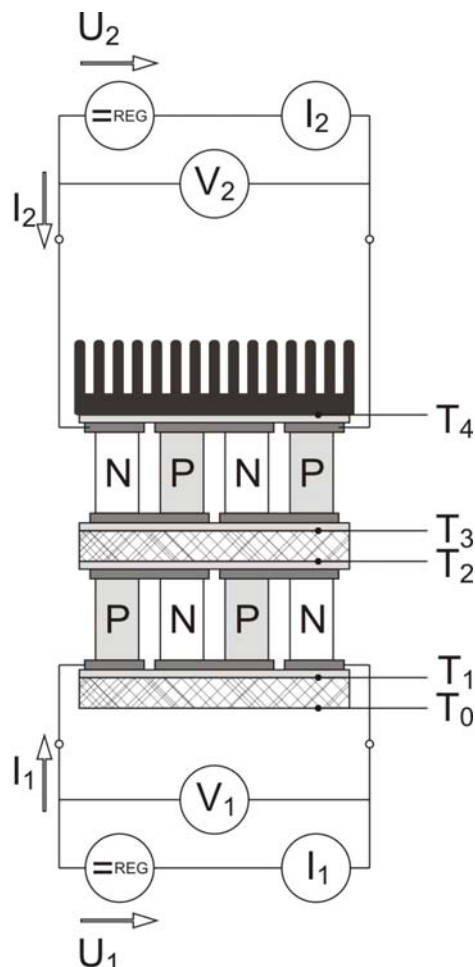
Jednou z možností použití Peltierových článků (termobaterií) je využití teplotního rozdílu na obou jeho koncích. Tento jev se jmenuje po svém objeviteli Seebeckův jev, a při nenulovém rozdílu teplot na studené a teplé straně naměříme na výstupních svorkách napětí (Seebeckovo napětí).

- Opět necháme zapojení z předchozí úlohy.
- Na vstupní svorky topného článku přivedeme stejnosměrné napětí, jehož hodnotu zaznamenáme do tabulky. Po ustálení teplot změříme a zapíšeme ostatní veličiny uvedené v tabulce a nutné pro další výpočty.
- Měření opakujeme pro několik hodnot napájecího napětí U_1 (je nutné vždy nechat ustálit teploty), přičemž z každé sady naměřených veličin, spočteme účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou.
- Na závěr sestrojíme graf, ve kterém na ose x budou vyneseny hodnoty dané absolutní hodnotou rozdílu teplot na studené a teplé straně Peltierovy termobaterie z obrázku 6-2 rozdílu teplot $|T_3 - T_4|$) a na ose y budou příslušné hodnoty účinnosti η .
- Vyhodnoťte a popište průběh sestrojeného grafu.

Číslo měření	$\frac{U_{T0}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T1}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T2}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T3}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T4}}{\text{mV}}$	$\frac{U_R}{\text{V}}$	$\frac{I_1}{\text{A}}$	$\frac{I_2}{\text{A}}$	$\frac{T_3 - T_4}{\text{K}}$	$\frac{\eta}{-}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										

6. Stanovte chladicí činitel Peltierovy termobaterie a sestrojte graf $\varepsilon = f(I_2)$

Nejčastější použití Peltierova článku (termobaterie) je pro účely chlazení a procesy s ním spojené. Veličina ε definována poměrem chladicího výkonu a elektrického příkonu se nazývá chladicí činitel, a při použití Peltierova článku pro chladicí účely je tato hodnota jedním ze základních parametrů při výběru chladicího článku. V tomto úkolu si měřením stanovíme její hodnotu a sestrojíme graf závislosti ε na proudu procházejícím Peltierovou termobaterií.



Obr. 7-4. Schéma zapojení Peltierova aparátu pro stanovení chladicího činitele ε

- Schéma zapojení nyní upravíme podle obrázku 7-4 tak, že na místo zátěžného odporu R připojíme zdroj napájecího napětí pro chladicí článek.
- Na topícím článku nastavíme napětí U_1 , které v dalším průběhu měření již zůstane konstantní. Jeho hodnotu, stejně jako hodnotu proudu I_1 samozřejmě zaznameneáme.
- Chladicí činitel je veličina, definovaná podílem chladicího výkonu a příkonu chladicí termobaterie, je závislý na velikosti proudu I_2 procházejícího chladicí baterií (podle obrázku 7-4).
- Z předchozího bodu vyplývá, že měření bude prováděno opakovaně pro různé hodnoty proudů I_2 , jehož velikost je závislá na velikosti napájecího napětí U_1 .
- Posledním úkolem bude vytvoření grafu závislosti chladicího činitele na proudu I_2 , $\varepsilon = f(I_2)$, kdy na ose x budou hodnoty proudu I_2 a na ose y jim příslušné ε . Průběh grafu okomentujte a vyhodnoťte.

Číslo měření	$\frac{U_{T0}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T1}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T2}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T3}}{\text{mV}}$	$\frac{U_{T4}}{\text{mV}}$	$\frac{U_1}{\text{V}}$	$\frac{I_1}{\text{A}}$	$\frac{U_2}{\text{V}}$	$\frac{I_2}{\text{A}}$	$\frac{\varepsilon}{-}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Poznámky k měření:

Při měření je zapotřebí dbát na nastavení velikosti proudů a napětí aby nedošlo k poškození nebo zničení termobaterie, je důležité dávat pozor na to, aby Peltierova termobaterie nepřekročila pracovní rozsah teplot udávaný výrobcem. Jedná se hlavně o tu stranu termobaterie, která bude topit. To proto, že měděné můstky jsou spojeny s polovodičovými kvádríky většinou pomocí měkké pájky. Při překročení teplotního rozsahu se pájka roztaví a termobaterie se rozloupne na dvě poloviny nebo v lepším případě vám pouze upadne napájecí vodič.

Použité přístroje pro laboratorní úlohu:

Pro chlazení teplé strany modulu lze použít tyto způsoby:

Žebrovaný chladič ofukovaný ventilátorem. Ventilátor rozptýlí teplo uvolněné chladičem do okolního prostředí. I přes použitou nucenou cirkulaci vzduchu se na chladiči ustálí teplota T_{hc} o 10 až 15 °C vyšší než teplota okolí T_o .

Žebrovaný chladič bez přídavného ventilátoru. Tento způsob je používán minimálně, protože přirozená cirkulace vzduchu nestačí odvádět teplo z chladiče. Teplota na chladiči T_{hc} je o přibližně 20 až 40 °C vyšší než teplota okolí T_o .

Nejúčinnějším řešením je chlazení měděným nebo hliníkovým blokem protékaným vodou. S takovým uspořádáním lze dosáhnout nejmenšího tepelného odporu chladiče. Nevýhodou tohoto řešení jsou vyšší pořizovací náklady a složitější instalace.

Pro chlazení měřené Peltierovy termobaterie by bylo vhodné použít zařízení s dobrým odvodem tepla a vysokou účinností. Z výš zmíněných návrhů bylo vybráno zařízení vodních chlazení PC procesorů, které je k tomuto účelu vyrobeno. Chladič je tvořený masivní pasivní částí, tichým ventilátorem i vodní pumpou. Díky pumpě a uzavřenému okruhu nepotřebuje chladič další zařízení pro provoz vodního chlazení. Výhodou je dlouhá životnost až 70 tisíc hodin.

Parametry chladiče na procesor AURAS GTO-990 socket 754

- **Ventilátor:**

Rozměry: 92 x 92 x 25 mm
Hluk: 23 dBA
Rychlost: 800 - 2400 RPM
Průtok vzduchu: 47 CFM

- **Vodní pumpa:**

Rozměry: 45 x 40 x 64 mm
Rychlost: 1400 RPM
Ložisko: keramické
Životnost: 70000 hodin
Napájení: 12 V

- **Rozměry:**

110 x 135 x 133 mm (bez ventilátoru)

- **Hmotnost:**

597 g

Pokud použijeme vodního chladiče pro procesory musíme tomu také přizpůsobit výběr Peltierova článku. Aby bylo chlazení efektivní, zvolená termobaterie by měla mít asi přibližné rozměry jako má PC procesor, proto z řady výrobků se omezím na výběr o rozměrech přibližně

40 x 40mm. Pokud se zaměřím třeba na nabídku firmy FERROTEC , vyberu Peltierův článek typu: 9500/128/060 B s těmito parametry: $I_{MAX} = 6A$

$$V_{MAX} = 17V$$

$$\Delta T = 72 K$$

$$Q_{CMAX} = 57 W$$

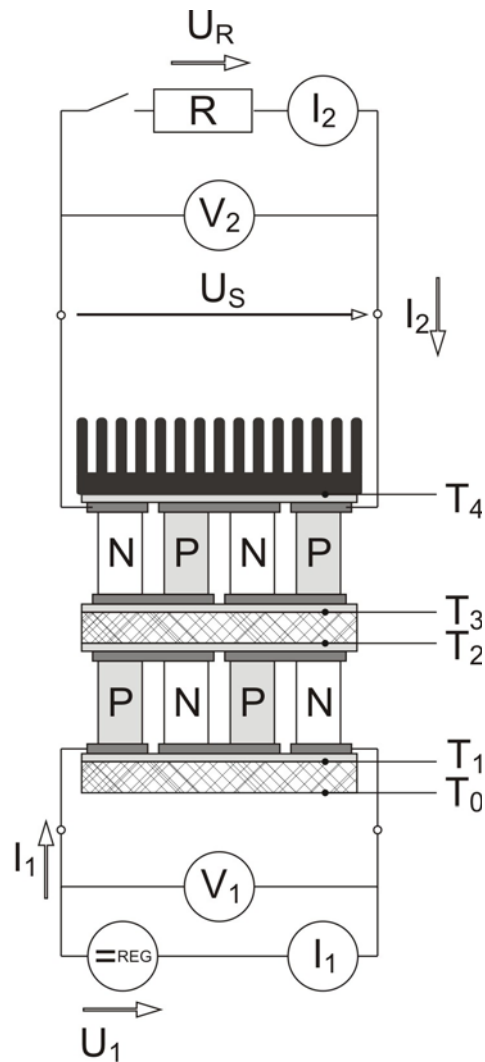
Pro samotný průběh měření je ovšem důležité, aby oba termočlánky (jak měřený tak i ten, který bude sloužit jako zdroj tepla) byly stejné. Vyplývá to z odvozených rovnic v části: vzorový protokol. Jedině tak bude možno stanovit celkovou tepelnou vodivost termočlánek Λ , jejíž hodnota je pro samotné výpočty a vyhodnocení měření nepostradatelná.

Pro měření teploty bude nejvhodnější použití termočláneků k tomuto účelu vyrobených. Manipulace s nimi je jednoduchá a nenáročná.

8 NÁVRH PROTOKOLU

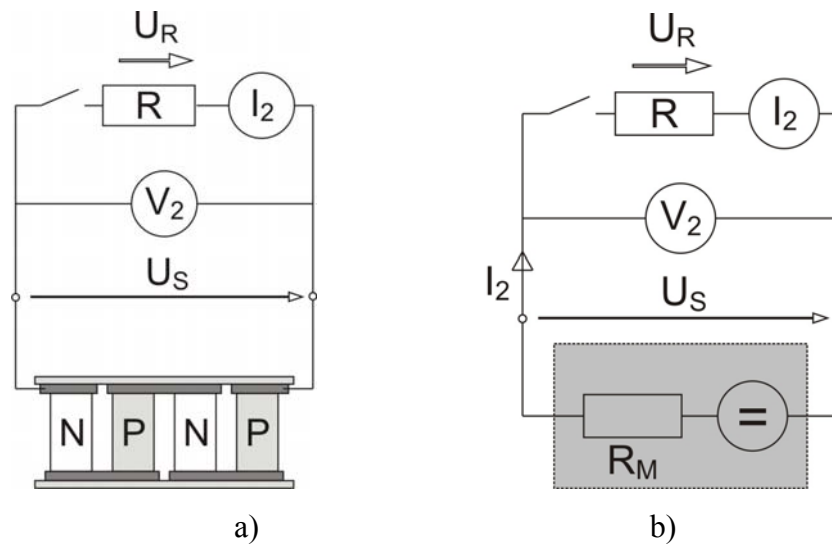
Vypracování:

1. Samostudium pojmů: Peltierův článek, Peltierův jev, Seebeckův jev, tepelné čerpadlo.
2. Schéma zapojení laboratorní úlohy:



Obr. 8-1. Schéma zapojení úlohy pro měření na Peltierově článku

3. Určení vnitřního odporu a termoelektrického napětí Peltierovy termobaterie



Obr. 8-2. Náhrada Peltierova článku jeho ekvivalentem napěťového zdroje

Pro výpočet vnitřního odporu Peltierovy termobaterie $[R_M] = \Omega$ vyjdeme z obrázku 8-2a), kde Peltierův článek nahradíme ekvivalentem napěťového zdroje. Výsledné schéma pak bude vypadat podle obrázku 8-2b).

Obvod 8-2b) popíšeme napěťovou rovnicí podle II. Kirchhoffova zákona:

$$U_S = R_M \cdot I_2 + R \cdot I_2 \quad (\text{V}; \Omega, \text{A}, \Omega) \quad (8.1)$$

Kde: R_M je vnitřní odpor Peltierova modulu $[R_M] = \Omega$
 I_2 je proud procházející obvodem podle obrázku 8.2 $[I_2] = \text{A}$
 R je hodnota zátěžného odporu v obvodu podle obrázku 8.2 $[R] = \Omega$
 U_S je Seebeckovo napětí $[U_S] = \text{V}$

Seebeckovo napětí je hodnota změřená voltmetrem V_2 na výstupních svorkách nezátížené Peltierovy baterie. Od termobaterie odpojíme zátěžný odpor R rozpojením vypínače na obrázku 8-2. Obvodem na obrázku 8-2b) nám již nebude procházet žádný proud, proto se nám neprojeví úbytek napětí na vnitřním odporu R_M . Naměřené napětí potom bude přímo rovno hodnotě Seebeckova napětí U_S .

Vyjádřením R_M z rovnice (8.1) dostaneme:

$$R_M = \frac{U_S - R \cdot I_2}{I_2} \quad (\Omega; \text{V}, \Omega, \text{A}) \quad (8.2)$$

V rovnici (8.2) však můžeme proud I_2 nahradit vyjádřením z Ohmova zákona pomocí U_R a R :

$$I_2 = \frac{U_R}{R} \quad (\text{A}; \text{V}, \Omega) \quad (8.3)$$

Úpravami a dosazením za I_2 z rovnice (8.3) do rovnice (8.2) dostaneme vztah pro hodnotu R_M vnitřního odporu termobaterie danou pouze hodnotami Seebeckova napětí $[U_S] = V$ a velikostí úbytku napětí $[U_R] = V$ na zátěžném odporu $[R] = \Omega$:

$$R_M = \frac{(U_S - U_R) \cdot R}{U_R} (\Omega; V, \Omega) \quad (8.4)$$

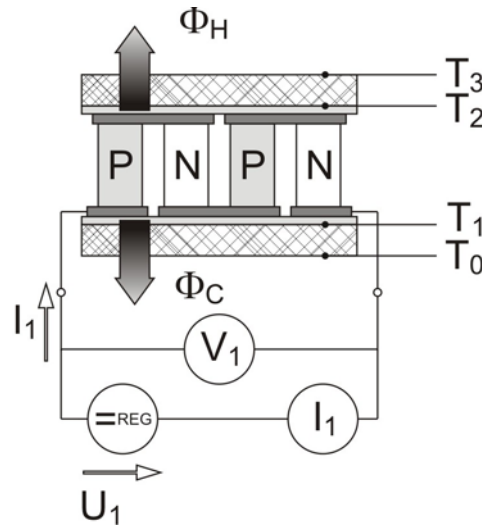
Pro termoelektrický koeficient Peltierova modulu $[\alpha_M] = V \cdot K^{-1}$, který stanovíme ze základního vztahu pro výpočet Seebeckova napětí U_S měřeném na nezatížené Peltierově baterii, platí:

$$\alpha_M = \frac{U_S}{T_4 - T_3} (V \cdot K^{-1}; V, -, K) \quad (8.5)$$

Ze vztahu pak lehce spočítáme Seebeckův koeficient α pro jeden Peltierův článek termobaterie:

$$\alpha = \frac{\alpha_M}{n} (V \cdot K^{-1}; V \cdot K^{-1}, -) \quad (8.6)$$

V tomto případě n , $[n] = -$, značí počet Peltierových článků v termobaterii (toto číslo je udáváno výrobcem a je to jedna z charakteristických hodnot při výběru Peltierovy baterie).

4. Výpočet výkonu Φ_H jako příkonu měřeného Peltierova článkuObr. 8-3. Rozdělení výkonů Φ_H a Φ_C na Peltierově termobaterii

Výkon P_1 daný součinem U_1 a I_1 dodávaný do první Peltierovy termobaterie využívaný k termoelektrickému ohřevu se uvnitř baterie rozdělí na složky Φ_H a Φ_C podle obrázku 8-3:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = \Phi_H + \Phi_C \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}, \text{W}) \quad (8.7)$$

Pro výkony Φ_H a Φ_C platí:

$$\Phi_C = \frac{\lambda_G}{h_G} \cdot S_G \cdot (T_1 - T_0) \quad (\text{W}; \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{m}, \text{m}^2, \text{K}) \quad (8.8)$$

$$\Phi_H = \frac{\lambda_G}{h_G} \cdot S_G \cdot (T_2 - T_3) \quad (\text{W}; \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{m}, \text{m}^2, \text{K}) \quad (8.9)$$

Potom vydělením rovnic (8.8) a (8.9) dostaneme pro výkony Φ_H a Φ_C :

$$\frac{\Phi_C}{\Phi_H} = \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_3} \quad (\text{W}; \text{K}) \quad (8.10)$$

Vyjádřením výkonu Φ_C z rovnice (8.10) a dosazením do rovnice (8.7) dostaneme:

$$\Phi_C = \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_3} \cdot \Phi_H \quad (\text{W}; \text{K}, \text{W}) \quad (8.11)$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = \Phi_H + \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_3} \cdot \Phi_H \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}, \text{W}, \text{K}) \quad (8.12)$$

Ze vztahu (8.12) vyjádřením Φ_H dostaneme:

$$\Phi_H = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot (T_2 - T_3)}{(T_1 - T_0) + (T_2 - T_3)} \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}, \text{K}) \quad (8.13)$$

5. Stanovte účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou, pomocí Peltierovy termobaterie a graf závislosti účinnosti na rozdílu teplot. $\eta = f(T_3 - T_4)$

Pro stanovení účinnosti Peltierova článku pro přeměnu tepelné energie v elektrickou vyjdeme ze všeobecného vztahu pro účinnost tepelného stroje:

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{příkon}} = \frac{P_2}{\Phi_H} \quad (-; J, K) \quad (8.14)$$

Kde: Φ_H je tepelný příkon absorbovaný Peltierovým článkem $[Q_{C2}] = W$

P_2 je výkon dodávaný Peltierovou termobaterií do obvodu $[P_2] = W$

Protože P_2 je výkon dodávaný Peltierovým článkem do obvodu a rozptýlený na zátěžovém odporu R , můžeme pro něj zapsat vztah:

$$P_2 = U_R \cdot I_2 \quad (W; V, A) \quad (8.15)$$

Kde: U_R je napětí na zátěžovém rezistoru $[U_R] = V$

I_2 je proud dodávaný Peltierovou termobaterií do obvodu $[I] = A$

Protože velikost zátěžového odporu R se jen málo mění s teplotou, můžeme proud I_2 ve vztahu (8.15) vyjádřit jako:

$$I_2 = \frac{U_R}{R} \quad (A; V, \Omega) \quad (8.16)$$

Kde: R je velikost rezistence zátěžového odporu $[R] = \Omega$

Potom vztah pro výkon P_2 upravíme na:

$$P_2 = \frac{U_R^2}{R} \quad (W; V, \Omega) \quad (8.17)$$

Pro výkon Φ_H platí vztah:

$$\Phi_H = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot (T_2 - T_3)}{(T_1 - T_0) + (T_2 - T_3)} \quad (W; V, A) \quad (8.18)$$

Potom pro celkovou účinnost při přeměně tepelné energie na elektrickou můžeme psát:

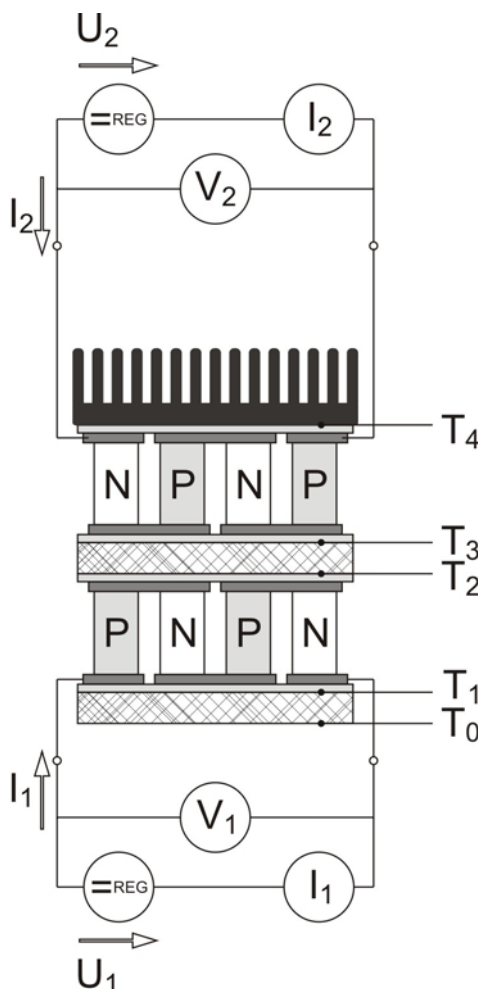
$$\eta = \frac{U_R \cdot I_2 \cdot (T_1 - T_0 + T_2 - T_3)}{U_1 \cdot I_1 \cdot (T_2 - T_3)} \quad (\Omega; U, I) \quad (8.19)$$

Nebo po dosazení za I_2 z rovnice (8.16) můžeme účinnost vyjádřit pomocí zátěžového rezistoru R :

$$\eta = \frac{U_R^2 \cdot (T_1 - T_0 + T_2 - T_3)}{R \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot (T_2 - T_3)} \quad (\Omega; U, I) \quad (8.20)$$

6. Stanovte chladicí činitele Peltierovy termobaterie a graf závislosti činitele na rozdílu teplot $\varepsilon = f(T_4 - T_3)$

Pro stanovení chladicího činitele musíme nyní pozměnit zapojení úlohy. Od Peltierova článku odpojíme zátěžový rezistor R a na kontaktní svorky Peltierovy termobaterie přivedeme stejnosměrné napětí. Důležitá je však polarizace připojeného napětí, aby byl docílen odvod tepla z topného článku. Nové schéma zapojení je na obrázku 8-4.



Obr. 8-4. Schéma zapojení úlohy pro měření chladicího činitele.

Chladicí činitele je jednou z nejzákladnějších veličin chladicího článku. Jedná se o bezrozměrnou veličinu definovanou vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\Phi_0}{P_2} \quad (-; W, W) \quad (8.21)$$

P_2 je příkon chladicího článku daný:

$$P_2 = \Phi_J + \Phi_P \quad (W; W, W) \quad (8.22)$$

Kde: P_J je výkon spotřebovaný na uvolnění Jouleova tepla $[\Phi_J] = W$

P_P je výkon potřebný na překonání potenciálového rozdílu mezi teplým a studeným koncem $[\Phi_P] = W$

$$P_J = U_2 \cdot I_2 = R_M \cdot I_2^2 = \frac{U_2^2}{R_M} \quad (W; V, A, \Omega) \quad (8.23)$$

Kde: R_M je celková vnitřní rezistance Peltierova článku [R_M] = Ω
 I_2 je proud procházející Peltierovým článkem [I_2] = A
 U_2 je napájecí napětí chladicího Peltierova článku [U_2] = V

$$P_p = \alpha_M \cdot (T_4 - T_3) \cdot I_2 \quad (W, V \cdot K^{-1}, K, A) \quad (8.24)$$

Kde: α_M je termoelektrický koeficient Peltierovy termobaterie [α_M] = $V \cdot K^{-1}$

Pokud bude teplá strana ($T_4 > T_3$) Peltierova článku udržovaná na stálé teplotě T_4 a strana studená T_3 se bude ochlazovat tak dlouho, až se Peltierovo teplo Q_p pohlcované článkem bude rovnat součtu tepel Q_0 (je teplo odebírané z okolí, tzv. chladicí výkon), Q_v (teplo převedené vedením sloupků z teplé strany na studenou) a Q_J (Jouleovo teplo způsobené průchodem proudu). Tuto bilanci zapíšeme ve tvaru:

$$Q_p = Q_0 + Q_v + Q_J \quad (J; J) \quad (8.25)$$

Peltierovo teplo Q_p je dáno vztahem:

$$Q_p = \alpha \cdot I_2 \cdot T_3 \cdot t \quad (J; V \cdot K^{-1}, A, K, s) \quad (8.26)$$

Prochází-li Peltierovým článkem o vnitřní rezistanci R_M proud I_2 , způsobuje uvolnění Jouleova tepla Q_J :

$$Q_J = R_M \cdot I_2^2 \cdot t = U_2 \cdot I_2 \cdot t \quad (J; \Omega, A, s, V) \quad (8.27)$$

Toto teplo se však v článku dělí na dvě poloviny, z nichž jedna polovina přechází k teplému konci a druhá ke konci studenému. Proto budeme uvažovat pouze polovinu tohoto tepla, která snižuje chladicí výkon:

$$Q_J = \frac{1}{2} \cdot U_2 \cdot I_2 = \frac{1}{2} \cdot R_M \cdot I_2^2 \cdot t \quad (J; \Omega, A, s) \quad (8.28)$$

Q_v je množství tepla převedeného sloupkou ze strany chladnější ke straně teplejší:

$$Q_v = \Lambda_M (T_4 - T_3) \cdot t \quad (J; W \cdot K^{-1}, K, s) \quad (8.29)$$

Kde: Λ_M je celková tepelná vodivost termobaterie [Λ_M] = $W \cdot K^{-1}$

Dosazením rovnic (8.26), (8.28) a (8.29) do vztahu (8.25) dostaneme vztah:

$$Q_0 = \left[\alpha_M \cdot T_3 \cdot I_2 - \Lambda_M (T_4 - T_3) - \frac{1}{2} \cdot U_2 \cdot I_2 \right] \cdot t \quad (J; V \cdot K^{-1}, K, A, W \cdot K^{-1}, \Omega, s) \quad (8.30)$$

Vydělením rovnice (8.30) časem t dostaneme pro tepelný výkon Φ_0 :

$$\Phi_0 = \alpha_M \cdot T_3 \cdot I_2 - \Lambda_M (T_4 - T_3) - \frac{1}{2} \cdot U_2 \cdot I_2 \quad (W; V \cdot K^{-1}, K, A, W \cdot K^{-1}, \Omega) \quad (8.31)$$

Dosazením Φ_0 a P_2 do vztahu (8.21) pro chladicí činitel, dostaneme výslednou závislost ve tvaru:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_M \cdot T_3 \cdot I_2 - \Lambda_M (T_4 - T_3) - \frac{1}{2} \cdot U_2 \cdot I_2}{I_2 [\alpha_M (T_4 - T_3) + U_2]} \quad (-; V \cdot K^{-1}, K, A, W \cdot K^{-1}, V) \quad (8.32)$$

Kde α_M je termoelektrický koeficient Peltierova modulu $[\alpha_M] = V \cdot K^{-1}$.

Λ_M je celková tepelná vodivost termobaterie $[\Lambda_M] = W \cdot K^{-1}$.

Celková tepelná vodivost Λ jednoho Peltierova článku je dána vztahem:

$$\Lambda = \frac{1}{h_{Pol}} \cdot (\lambda_P \cdot S_P + \lambda_N \cdot S_N) = \frac{1}{h_{Pol}} \cdot (2 \cdot \lambda_{Pol} \cdot S_{Pol}) \quad (W \cdot K^{-1}; m, W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}, m^2) \quad (8.33)$$

Kde: h_{Pol} je délka polovodičového sloupku jednoho Peltierova článku $[h_{Pol}] = m$

λ_P je měrná tepelná vodivost polovodiče typu P Peltierova článku $[\lambda_P] = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

λ_N je měrná tepelná vodivost polovodiče typu N Peltierova článku $[\lambda_N] = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

S_P je průřez polovodičového sloupku typu P Peltierova článku $[S_P] = m^2$

S_N je průřez polovodičového sloupku typu N Peltierova článku $[S_P] = m^2$

λ_{Pol} je měrná tepelná vodivost polovodičů Peltierova článku $[\lambda_P] = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

S_{Pol} je průřez polovodičových sloupeků Peltierova článku $[S_P] = m^2$

Z rovnice (8.33) můžeme určit celkovou tepelnou vodivost termobaterie Λ_M obsahující n Peltierových článků:

$$\Lambda_M = n \cdot \Lambda = \frac{n}{h_{Pol}} \cdot (2 \cdot \lambda_{Pol} \cdot S_{Pol}) \quad (W \cdot K^{-1}; m, W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}, m^2) \quad (8.34)$$

Pro tepelný tok Φ_H můžeme pomocí Fourierova zákona zapsat vztah:

$$\Phi_H = \frac{\lambda_{Pol}}{h_{Pol}} \cdot (T_3 - T_4) \cdot n \cdot 2 \cdot S_{Pol} \quad (W; W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}, m, K, m^2) \quad (8.35)$$

Potom z rovnice (8.35) měrnou tepelnou vodivost polovodičů λ_{Pol} baterie určíme z:

$$\lambda_{Pol} = \frac{\Phi_H \cdot h_{Pol}}{n \cdot 2 \cdot S_{Pol} \cdot (T_3 - T_4)} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; \text{W}, \text{m}, -, \text{m}, \text{m}, \text{K}) \quad (8.36)$$

Dosazením rovnice (8.36) do (8.34) dostaneme pro celkovou tepelnou vodivost termobaterie Λ_M :

$$\Lambda_M = \frac{n}{h_{Pol}} \cdot \left(\frac{2 \cdot S_{Pol} \cdot \Phi_H \cdot h_{Pol}}{n \cdot 2 \cdot S_{Pol} \cdot (T_3 - T_4)} \right) \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; -, \text{m}, \text{m}, \text{m}, \text{K}, \text{V}, \text{A}) \quad (8.37)$$

Upravením a zjednodušením dostaneme vztah pro Λ v následujícím tvaru:

$$\Lambda_M = \frac{\Phi_H}{(T_3 - T_4)} \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}; \text{W}, -, \text{K}) \quad (8.38)$$

9 ZÁVĚR

Peltierův článek je ve svém principu tepelné čerpadlo přesto má před kompresorovými tepelnými čerpadly řadu výhod. Termoelektrické jednotky nemají žádné pohyblivé díly a nevyžadují použití freonů. Proto jsou ekologičtější a šetrnější ke svému prostředí. Dalšími výhodami absence jakýchkoliv pohyblivých částí je vyšší spolehlivost a prakticky bez údržbový provoz. Mohou pracovat v libovolné poloze a jsou ideální pro chlazení zařízení, která by mohla být citlivá na mechanické kmitání. Jejich kompaktní velikost jim také umožňuje použití pro aplikace, která jsou velikostně nebo hmotnostně limitovány, nebo tam, kde i nejmenší kompresory mají přebytek výrobního výkonu. Jejich schopnost vytápět a chladit jednoduchou reverzací toku proudu je užitečná pro aplikace kde je ohřev i chlazení nutný. Nebo v aplikacích kde je nutnost přesného nastavení teploty.

Termoelektrické chladiče jsou nejvíce používány v průmyslových odvětvích jako je: lékařství, laboratorní technika, vesmírný a vzdušný prostor, polovodičová technika, telekomunikace, průmysl a spotřební materiál. Jsou používány v rozsahu od jednoduchých chladičků nápojů až po sofistikované systémy kontroly teplot např. v raketách a jiných vesmírných objektech. Ve speciálních případech umožňují regulaci teploty s přesností 0,001 K. Dosahování velmi nízkých teplot až -80°C dnes není žádnou výjimkou. Díky možnosti inverzního režimu mohou sloužit jako zdroj tepla nebo také jako chladič. Nevýhodou však může být nutnost odvodu tepla z teplejší strany chladiče Peltierova článku. Toto se musí řešit některým dalším chladičím zařízením, jako je

- žebrový chladič ofukovaný ventilátorem
- žebrový chladič samotný
- kapalinový chladič (např. vodní)

Účinnost je dána poměrem odčerpaného tepelného výkonu ku dodanému elektrickému příkonu. U Peltierových článků účinnost závisí na tepelné zátěži, požadovanému teplotnímu rozdílu a na příkonu. Pro klasický jednostupňový modul dosahuje hodnot 0,3 - 0,7.

Cílem práce bylo navrhnout laboratorní úlohu pro měření na Peltierově článku. Může být zapojen jako spotřebič, potom ho lze využít jak pro termoelektrický ohřev tak i chlazení. Nebo ho můžeme použít jako zdroj elektrického napětí, využívající tepelného rozdílu na obou stranách termobaterie. U každého zařízení se kterým se setkáváme, je možná nejdůležitější veličina účinnost s jakou dané zařízení plní svoji funkci. účinnost je vždy známkou efektivnosti a ekonomičnosti provozu. Proto se úloha zabývá stanovením účinnosti výše zmíněných efektů a to je chlazení a přeměna teplotního rozdílu na elektrický výkon. Návrh laboratorní úlohy je spíše návodem jak postupovat při stanovení těchto účinností a které elektrické veličiny měřit aby bylo možno účinnost dopočítat. V další části, nazvané návrh vzorového protokolu, už je odvození konkrétnější. Z výsledných vztahů je patrné, že účinnost vždy závisí na vstupních parametrech jako jsou okolní teploty, tepelný příkon a také na vlastnostech samotného článku. Ty jsou dány především materiálově a uživatel je nedokáže nijak ovlivnit, ale účinnost provozu daného zařízení nezáleží pouze na nich.

Dalším postupem by mohlo být stanovení některých dalších parametrů na které jsou důležité při výběru chladičímho zařízení. Jedním z nich je určitě velikost chladičímho výkonu, která je dána

velikostí procházejícího proudu. S čím nižším příkonem by článek pracoval při dosažení stejného chladícího výkonu, tím by byl provoz ekonomičtější.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Termoelektrické jevy* [online]. 2009 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <http://moon.felk.cvut.cz/~pjev/Jak/_phys/f577/start.html>.
- [2] KUBINA, Pavel. *Regulace teploty pomocí Peltierových termoelektrických modulů* [online]. 2009 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30765>.
- [3] *Termočlánek* [online]. 14. 04. 2009 | 23:53 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Termočlánek>>.
- [4] *Termoelektrický jev* [online]. 22. 2. 2009 | 11:30 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrický_jev>.
- [5] BUREŠ, Jiří. *Seebeckův jev* [online]. 2002 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.converter.cz/tabulky/seebeck.htm>>.
- [6] DŘÍNEK, Milan. *Peltierovy termobaterie* [online]. 16. Prosinec 1999 | 1:00 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART652-Peltierovy-termobaterie.html>>.
- [7] *Peltierův, Thomsonův a Seebeckův jev* [online]. 27. září 2006 | 17:36:00 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://maturita.spermik.info/soubory/elektronika/MO9.doc>>.
- [8] BAXANT, Petr, DRÁPELA, Jiří, LÁZNIČKOVÁ, Ilona. *Elektrotepelná technika*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006. s. 172.
- [9] CHYTIL, Jiří. *Peltierovy chladicí články* [online]. 19. 05. 2005 | 01:00 [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://programujte.com/index.php?akce=clanek&cl=2005051401-peltierovy-chladici-clanky>>.
- [10] *Přechod P-N* [online]. 24. 3. 2009 | 09:36. [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Přechod_P-N>.
- [11] MIKULKA, Roman, HAVLÍČEK, Jiří. *PELTIERŮV ČLÁNEK*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2008. s. 14.
- [12] HUSNÍK, Jan. *POLOVODIČE* [online]. 2008 - 01 - 30 17:53 [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <www.1kspa.cz/kladno/stud_materialy/tpr/Polovodice.pdf>.
- [13] ČERMÁK, Patrik, PLECHÁČEK, Tomáš, ŠVADLENKA, Jaroslav. *Fyzikální projekt: Termoelektrické jevy a jejich měření* [online]. 24. května 2008 23:52 [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <http://www.spse.cz/file/sp_termo.pps>.
- [14] *Autolenice WAECO : Jak funguje "termoelektrické chlazení" ?* [online]. [2008] [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.autolednice-waeco.cz/>>.
- [15] *Peltierův článek* [online]. 8. 2. 2009 v 12:43 [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Peltierův_článek>.
- [16] GOLAB, František, KAMENČÁK, František. *Termoelektrické jevy a jejich užití*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1975. 86 s.