

VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

Simulace termoelektrického článku řízeného
prostřednictvím LabVIEW

Simulation of Thermocouples Driven by
LabVIEW

2015

Tomáš Szöcs

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Szöcs**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Simulace termoelektrické článku řízeného prostředím LabVIEW
Simulation of Thermocouples Driven by LabVIEW**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor a analýza termoelektrického jevu.
2. Charakteristika reálných termoelektrických článků.
3. Simulace termoelektrického článku v prostředí LabVIEW.
4. Verifikace a testování navrženého řešení.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. ISBN 80-730-0145-4.
- [2] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0114-4.
- [3] VLACH, Jaroslav a Josef HAVLÍČEK. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Židek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské diplomové práce dle předpisů čl. 29, odst. 9

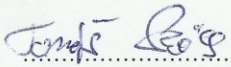
Studijního a školního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech v Ostravě

ČU Ostrava

Z obsahu mého seznamu jsem vyznačil všechny části bakalářské práce, které obsahují popis průběhu technického řešení, software, hardware a jiné patřící veškeré jiné osobní informace, které mohou být náročné ověřit společností Continental Automotive Czech Republic s.r.l. a které nejsou veřejně dostupnými informacemi.

V této bakalářské práci, pokud byl poskytnut jako součást mé práce

V Ostravě 7.5.2015

Podpis 

V Ostravě 7.5.2015 Continental Automotive Czech Republic s.r.l.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Continental Automotive Czech Republic s.r.o.
Na Rovince 879
72000 Ostrava - Hrabová
Czech Republic

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9
Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-
TU Ostrava.“

Z tohoto souhlasu jsou vyjmuty veškeré části bakalářské práce, které obsahují popis produktů,
technického řešení, software, hardware a dále pak veškerého know-how a informací, které
mohou být takto klasifikovány společností Continental Automotive Czech Republic s.r.o.,
které nejsou veřejně dostupnými informacemi.

S těmi částmi práce, musí být nakládáno jako s neveřejnou částí práce.



Continental Automotive Czech Republic s.r.o.
Kopaničná 1713 • 744 01 Přerov p. R.
IČ: 6004932 DIČ: CZ6004932

V Ostravě 30.4.2015

Continental Automotive Czech Republic s.r.o.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Janu Žídkovi CSc. za odborné vedení a rady během tvorby této práce.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Radimovi Hercikovi PhD. za odborné konzultace , rady a cenné připomínky, především při tvorbě kódu v LabVIEW.

Děkuji také přítelkyni a celé rodině za podporu při mém studiu.

Abstrakt

Tato práce pojednává o vyvíjení softwarové aplikace ve vývojovém prostředí LabVIEW. Aplikace slouží jako simulace termoelektrického článku. Uživatel má možnost nastavovat teplotu termočlánku v daném rozsahu a generovat termoelektrické napětí. Dále je zde možné sledovat průběh simulované teploty a termoelektrického napětí termočlánku. K aplikaci byla vytvořena převodní tabulka pro převod teploty na termoelektrické napětí. V teoretické části je podrobný popis termoelektrických jevů, termoelektrických článků, jejich dělení a typy. V praktické části je nejprve popsán návrh řešení. Následně je v této části popsána realizace hardwaru a podrobný vývoj aplikace.

Klíčová slova

termoelektrický jev, termoelektrické napětí, termoelektrický článek, LabVIEW, simulace, měřicí moduly, napěťový dělič

Abstract

This thesis focuses on developing software applications in LabVIEW. The application serves as a simulation of thermocouple. The user has a possibility to adjust the temperature of the thermocouple in the range and generate thermoelectric voltages. Next, it is possible to watch the process of the simulated temperature and the thermoelectric voltage of the thermocouple. For application was created conversion table for converting temperature to thermoelectric voltages. In the theoretical part is a detailed description of thermoelectric phenomena, thermocouples, their division and types. In the practical part is first described draft solutions. Subsequently, this section describes the realization of hardware and detailed application development.

Key words

thermoelectric phenomenon, thermoelectric voltage, thermocouple, LabVIEW, simulation, measuring modules, voltage divider

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| | Teoretický základ..... | 2 |
| 2 | Termoelektrické jevy..... | 2 |
| 2.1 | Kontaktní napětí..... | 2 |
| 3 | Seebeckův jev..... | 4 |
| 3.1 | Kontaktní Seebeckův jev..... | 5 |
| 3.2 | Objemový Seebeckův jev..... | 5 |
| 4 | Peltierův jev..... | 7 |
| 5 | Thomsonův jev..... | 9 |
| 6 | Termoelektrické články..... | 11 |
| 6.1 | Typy a dělení termočlánků..... | 11 |
| 6.1.1 | Dělení dle konstrukce..... | 12 |
| 6.1.2 | Dělení dle materiálu..... | 13 |
| 6.1.3 | Dělení dle využití v průmyslu..... | 14 |
| | Praktická část..... | 16 |
| 7 | Simulace termoelektrického článku v prostředí LabVIEW..... | 16 |
| 7.1 | Kód v prostředí LabVIEW..... | 16 |
| 7.1.1 | Načtení dat ze souboru..... | 16 |
| 7.2 | Výběr měřicí modulu..... | 16 |
| 7.3 | Návrh napěťového děliče..... | 16 |
| 7.4 | Návrh DPS..... | 16 |
| 8 | Řešení..... | 17 |
| 8.1 | LabVIEW..... | 17 |
| 8.1.1 | Uživatelské rozhraní..... | 17 |
| 8.1.2 | Kód v LabVIEW..... | 17 |
| 9 | Verifikace a test aplikace..... | 18 |
| 9.1 | Ověření funkčnosti..... | 18 |
| 9.1.1 | Ověření kódu v LabVIEW..... | 18 |
| 9.1.2 | Ověření hardwaru..... | 18 |
| 9.2 | Test simulace..... | 18 |
| 10 | Zhodnocení výsledků..... | 18 |
| 11 | Seznam použité literatury..... | 20 |

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je simulovat termoelektrický článek a řídit jej prostřednictvím softwarové aplikace vytvořené ve vývojovém prostředí LabVIEW. Základem této práce je vytvoření převodní tabulky, která bude obsahovat teplotu ve stupních Celsia a termoelektrické napětí. Převodní tabulka byla vytvořena pomocí datasheetu reálného termočlánu, dodaného firmou Continental, která je zadavatelem práce. Vytvořená aplikace na základě této tabulky simuluje termoelektrický článek, tedy při zadání simulované teploty generuje příslušné termoelektrické napětí. Ze simulovaných hodnot je vytvořena charakteristika termočlánu, kde je zobrazena závislost termoelektrického napětí na teplotě. Tato charakteristika je následně porovnána s charakteristikou, sestavenou z hodnot převodní tabulky.

V teoretické části práce jsou popsány termoelektrické jevy, jejich využití a princip. Dále jsou v této části popsány různé typy termočlánků a následné dělení podle konstrukce, materiálu a využití v praxi.

Praktická část práce, popisuje vyvinutou aplikaci ve vývojovém prostředí LabVIEW a uživatelské rozhraní, sloužící ke komunikaci a ovládání aplikace. V této části je také popsán externí hardware, vyrobený pro úpravu napětí.

V této práci je hodnocena funkčnost a především přesnost vyvinuté softwarové aplikace pro simulaci termoelektrického napětí. Firmou Continental, byly také poskytnuty odborné konzultace s pracovníky této firmy.

Teoretický základ

2 Termoelektrické jevy

Kromě mechanických, tepelných, elektrických a magnetických vlastností pevných látek a ostatních skupenství mají značný význam i jejich termoelektrické vlastnosti. Termoelektrické vlastnosti (jevy) vznikají jako následek vzájemné podmíněnosti teplotních a potenciálových gradientů, takže za určitých okolností gradient teploty generuje gradient potenciálu a naopak gradient potenciálu v látce vytváří teplotní spád. Tyto jevy mají tedy význam i z hlediska transformace tepelné energie na elektrickou a naopak. [10]

Protože jevy probíhají v pevných látkách a „pracovní tekutinou“ jsou nosiče elektrického náboje, je pro termoelektrická zařízení typická jednoduchost a provoz bez chemických látek nebo pohyblivých částí. Pokud jsou korektně provozovány, pak i spolehlivost a dlouhá životnost. Vzhledem k nízké účinnosti termoelektrické přeměny při výrobě elektrické energie jsou možnosti využití omezené. [7]

K termoelektrickým jevům patří tři základní jevy: Seebeckův jev (vznik termoelektrického napětí v látkách s teplotním gradientem), Peltierův jev (uvolňování, resp. pohlcování tepla na kontaktech při protékání elektrického proudu) a Thomsonův jev (uvolňování, resp. pohlcování tepla v objemu látky protékané elektrickým proudem za přítomnosti teplotního gradientu). [10]

Pro mou práci je důležitý především Seebeckův jev, proto se tomuto jevu budu více věnovat v následujících kapitolách.

2.1 Kontaktní napětí

Alessandro Volta zjistil při objasňování jevů pozorovaných Luigiem 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. Alessandro Volta sestavil jednotlivé kovy do řady, v níž každý kov při styku s některým dalším členem řady má kladný potenciál. Díky této řadě také zjistil, že výsledné napětí, po spojení několika kovů z řady, je rovno rozdílu potenciálů prvního a posledního kovu. [13][8]

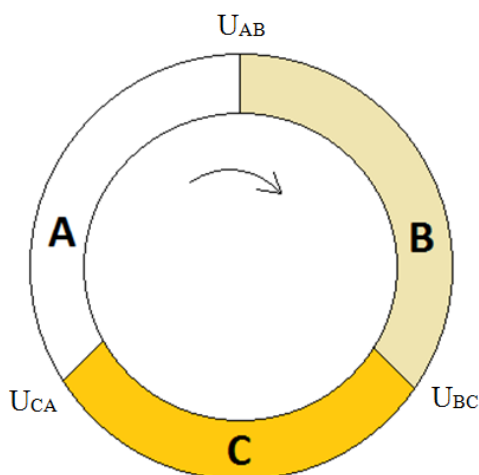
Pořadí kovů v tzv. Voltově řadě kovů je následující:

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

Rozdíl potenciálů pozorovaný Alessandrem 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, ovšem pouze za předpokladu konstantní teploty na všech kovech v daném obvodu. [13]



Obr. 2.1 Uzavřený obvod ze tří různých kovů [13]

Dle 2. Kirchhoffova zákona o smyčkových napětích víme, že algebraický součet kontaktních napětí ve smyčce bude nulové.

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = (\varphi_B - \varphi_A) + (\varphi_C - \varphi_B) + (\varphi_A - \varphi_C) = 0(V) \quad (1.1)$$

Kde: $U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A(V)$ je kontaktní napětí kovů A a B
 $U_{BC} = \varphi_C - \varphi_B(V)$ je kontaktní napětí kovů B a C
 $U_{CA} = \varphi_A - \varphi_C(V)$ je kontaktní napětí kovů C a A
 $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ kontaktní potenciály kovů [13]

3 Seebeckův jev

Seebeckův jev patří mezi nejstarší pozorované jevy v pevných látkách. Tomas Johann Seebeck pozoroval již v roce 1822, že v obvodu vytvořeném ze dvou různých vodičů vzniká elektrické napětí, jestliže konce vodičů mají různé teploty. Seebeck připisoval tento jev vzniku elementárního magnetismu. Ve skutečnosti se zde jedná o vznik termoelektromotorického napětí, také nazývané termoelektrické, ke kterému přispívají svým podílem kontakty i objem zkoumaného vzorku. Formálně proto můžeme rozdělit Seebeckův jev na kontaktní a objemový. [10][4]

Na základě mnoha svých pokusů sestavil Seebeck čisté kovy v termoelektrickou řadu (zvanou Seebeckova řada) 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.

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. [13]

Výsledné termoelektrické napětí lze vypočítat dle tohoto vztahu:

$$U_{AB} = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_B(T) - \alpha_A(T)) dT \quad (2.1)$$

Kde: U_{AB} je termoelektrické napětí mezi kovy A a B

α_A, α_B jsou Seebeckovy konstanty

T je teplota 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: [10]

$$U_{AB} = (\alpha_A - \alpha_B) \cdot (T_B - T_A) + 0,5(\beta_A - \beta_B) \cdot (T_B - T_A)^2 \quad (2.2)$$

Kde: U_{AB} je termoelektrické napětí mezi kovy A a B

$\alpha_A, \alpha_B, \beta_A, \beta_B$ jsou Seebeckovy konstanty

T_A, T_B jsou teploty spojů (K)

3.1 Kontakový Seebeckův jev

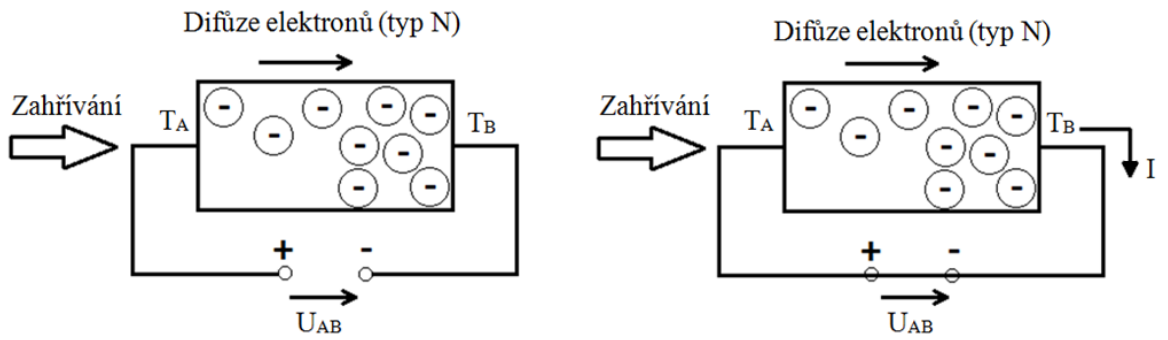
Kontakový Seebeckův jev je důsledkem kontaktního potenciálu, který na rozhraní dvou látek vždy vzniká. Jestliže jsou však oba kontakty na stejné teplotě, je celkové elektromotorické napětí v obvodu nulové. Kontaktní termoelektrický jev tedy závisí na změně Fermiho energie s teplotou a je prakticky jedinou příčinou tohoto jevu v kovech. Poskytuje hodnoty kolem jednotek až desítek $\mu V/K$ (Tab. 3.1). [10]

| K o v | α [$\mu V / K$] | β [$\mu V / K^2$] |
|------------|--------------------------|---------------------------|
| 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 |

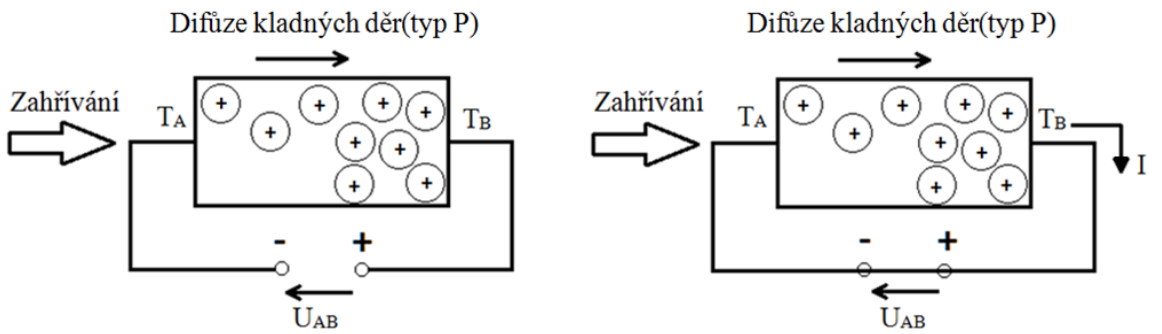
Tab. 3.1 Seebeckovy koeficienty [6]

3.2 Objemový Seebeckův jev

Objemový Seebeckův jev má původ v difúzi nosičů náboje a je hlavním zdrojem termoelektrického napětí v polovodičích. V místech s vyšší teplotou je vyšší koncentrace nosičů náboje, takže začne jejich difúze do míst s nižší teplotou, kde se tyto náboje začnou hromadit. Jestliže uzavřeme tento obvod, dojde k pohybu elektronů přes přechod, tedy obvodem začne protékat elektrický proud. Tím se látka elektricky nabíjí - v případě N typu vodivosti (Obr. 3.1) je teplý konec nabitý kladně, studený záporně, v případě P typu vodivosti (Obr. 3.2) opačně. [6]



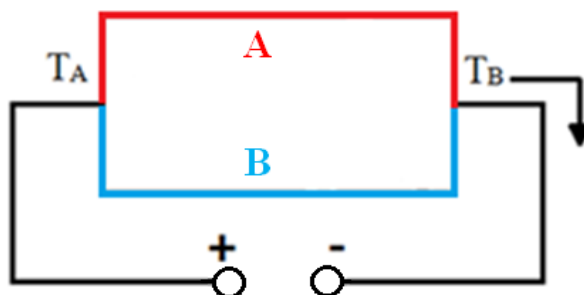
Obr. 3.1 Objemový Seebeckův jev pro polovodič typu N, $T_A > T_B$ (neuzavřený obvod; uzavřený obvod)



Obr. 3.2 Objemový Seebeckův jev pro polovodič typu P, $T_A > T_B$ (neuzavřený obvod; uzavřený obvod)

4 Peltierův jev

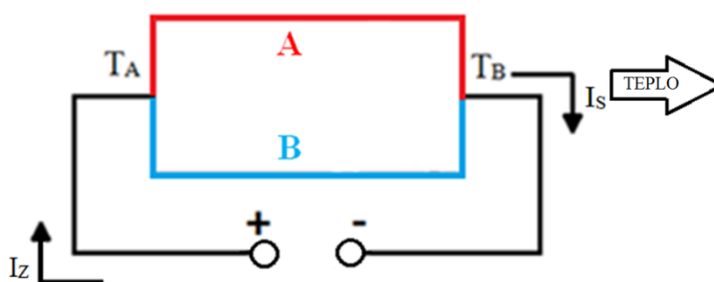
Peltierův jev, který je opačným jevem k Seebeckovu jevu, objevil v roce 1834 francouzský fyzik Jean Charles Athanase Peltier (1783 - 1845). Tento jev lze vysvětlit na obvodu, na základě kterého byl objeven Seebeckův jev (Obr. 4.1), na kterém je vyznačen i směr proudu. [3]



Obr. 4.1 Termočlánek pro Peltierův jev

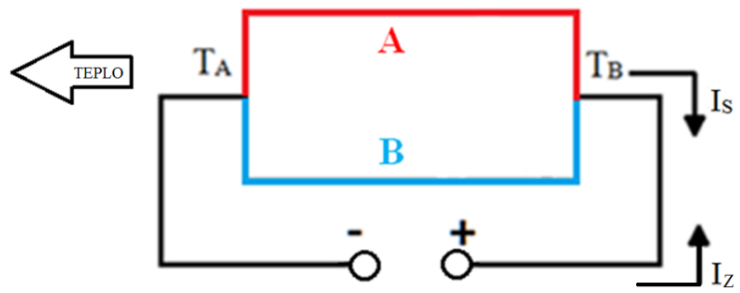
Připojíme-li nyní takto vytvořený termočlánek k vnějšímu zdroji stejnosměrného napětí, aniž bychom vytvořili rozdíl teplot obou rozhraní kovů, nastane tzv. Peltierův jev. Průchodem elektrického proudu oběma kovy (a tedy i jejich spoji) se vytvoří teplotní rozdíl mezi oběma spoji. V závislosti na polaritě přiloženého napětí se bude jeden spoj ohřívat a druhý ochlazovat. [3]

Bude-li elektrický proud (z vnějšího zdroje napětí) procházet oběma kovy stejným směrem, jako je směr elektrického proudu při Seebeckovu jevu, tedy z T_A do T_B , bude se spoj T_A ochlazovat a spoj T_B ohřívat (Obr. 4.2). [3]



Obr. 4.2 Peltierův jev

Bude-li elektrický proud z vnějšího zdroje napětí procházet kovy opačným směrem, než je směr elektrického proudu při Seebeckovu jevu, bude se spoj T_A ohřívat a spoj T_B ochlazovat (Obr. 4.3). [3]



Obr. 4.3 Peltieruv jev

5 Thomsonův jev

Třetí termoelektrický jev objevil a experimentálně potvrdil v roce 1851 William Thomson (1824 - 1907). Jestliže kovovou tyč délky l zahříváme na jednom konci, vytvoří se v ní teplotní spád (teplotní gradient) daný vztahem:

$$\text{grad}T = \frac{\Delta T}{l} \text{ (K} \cdot \text{m}^{-1}\text{)} \quad (4.1.)$$

Kde: ΔT je rozdíl teplot na jednom a druhém konci tyče (K)
 l je délka vodivé tyče (m)

Mezi konci vodiče vznikne nepatrné termoelektrické napětí U (Obr. 5.1). Tomuto napětí odpovídá elektrostatické pole popsané vnitřní elektrickou intenzitou \vec{E}_i .

Prochází-li vodičem o elektrickém odporu R elektrický proud I , uvolňuje se do okolí teplo Q , které je popsáno vztahem:

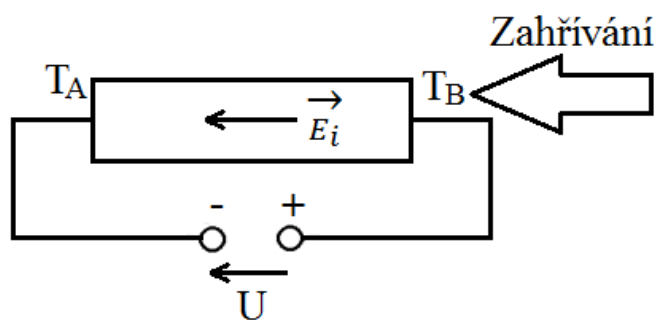
$$Q = RI^2 - \mu I \frac{\Delta T}{l} \quad (4.2.)$$

Kde: Q je teplo sálající z vodivé tyče
 R je elektrický odpor vodivé tyče (Ω)
 I je elektrický proud (A)
 μ je Thomsonův koeficient ($\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$)
 ΔT je rozdíl teplot na jednom a druhém konci tyče (K)
 l je délka vodivé tyče (m) [5]

První člen vztahu odpovídá Jouleovu teplu, které se uvolňuje do okolí vodiče, prochází-li jím elektrický proud. Druhý člen je Thomsonovo teplo, které vzniká díky teplotnímu gradientu ve vodiči. Znaménko Thomsonova tepla se mění v závislosti na směru elektrického proudu, který vodičem protéká.

Na první pohled se zdá, že obě zmíněná tepla vznikají při průchodu elektrického proudu vodičem a v obou případech se vodič zahřívá. Jouleovo teplo vzniká v důsledku srážek elektronů, které se vodičem pohybují, s atomy krystalické mřížky a vodič se přitom ohřívá rovnoměrně.

Thomsonovo teplo se uvolňuje (nebo spotřebovává) proto, že ve vodiči je vytvořen teplotní spád. Ohřev vodiče související s Thomsonovým teplem je tedy nerovnoměrný. Kdyby ve vodiči nebyl vytvořen teplotní spád, Thomsonovo teplo by bylo nulové. [5]



Obr. 5.1 Thomsonův jev

Tento jev je tedy podobný Seebeckovu jevu, rozdíl je v tom, že Thomsonův jev vzniká při ohřátí pouze jednoho vodiče (u Seebeckova jevu jsou nutné vodiče dva). I proto je měřené termoelektrické napětí u Thomsonova jevu velmi malé. [5]

6 Termoeletrické články

K nejrozšířenějším čidlům pro měření teploty patří termočlánky (termoeletrické články). Princip jejich činnosti spočívá v termoeletrickém jevu vznikajícím ve dvou vodičích (větvích) z různých materiálů spojených spolu ve dvou místech o rozdílných teplotách. Navenek se tento jev projevuje vznikem termoeletrického napětí, jak bylo popsáno výše.

V následující tabulce (Tab. 6.1) jsou shrnuty typy termočlánků podle používaných materiálů jejich větví spolu s jejich písmenným označením a vyznačením teplotního rozmezí, ve kterém je lze s garancí použít při dlouhodobém i krátkodobém měření. Nejčastěji se používají termoeletrické články typu J, K a S. [11]

| materiál termočlánku | označení | rozsah teplot při dlouhodobém použití (°C) | maximální teplota při krátkodobém použití (°C) |
|--|----------|--|--|
| měď / kopel | M | - 200 ... + 100 | + 100 |
| měď / měď – nikl | T | - 200 ... + 400 | + 400 |
| chromel / kopel | L | - 200 ... + 600 | + 800 |
| nikl – chrom / měď – nikl | E | - 100 ... + 700 | + 900 |
| železo / měď – nikl | J | - 200 ... + 700 | + 900 |
| nikl – chrom – křemík / nikl – křemík | N | - 200 ... + 1000 | + 1200 |
| nikl – chrom / nikl – hliník | K | - 200 ... + 1000 | + 1300 |
| platina - 10 % rhodium / platina | S | 0 ... + 1300 | + 1600 |
| platina - 13 % rhodium / platina | R | 0 ... + 1300 | + 1600 |
| platina - 30 % rhodium / platina – 6 % rhodium | B | + 300 ... + 1600 | + 1800 |
| wolfram – 5 % rhenium / wolfram – 20 % rhenium | A | 0 ... + 2200 | + 2500 |

Tab. 6.1 Rozsahy teplot nejčastěji používaných termočlánků [11]

6.1 Typy a dělení termočlánků

Termočlánek bývá obvykle zhotoven z tenkých vodičů o průměru 0,1 až 0,5 mm, které jsou uloženy v keramické dvojkapiláře a které jsou na konci spolu svařeny, čímž je vytvořen měřicí spoj.

Protože termočlánky měří v širokém rozsahu teplot a můžou být relativně robustní, jsou termočlánky používány velmi často v průmyslu. Pro výběr termočlánku se používají následující kritéria:

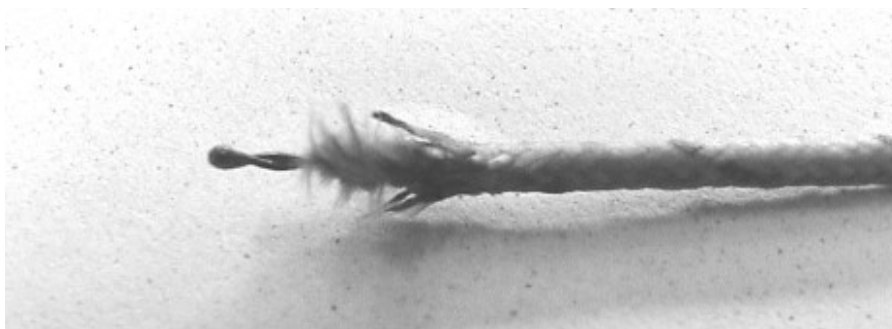
- **teplotní rozsah**
- **chemická odolnost termočlánku nebo materiálu pláště**
- **odolnost proti abrazi a vibracím**
- **požadavky instalace**

Jelikož vzdálenosti od termočlánku k měřicímu stanovišti mohou dosahovat i několika stovek metrů, je nutné použít prodlužovací vedení. To může být u levnějších termočlánků ze stejných materiálů, z nichž je vyroben termočlánek, avšak u platinových by se jednalo o velmi nákladnou, a tudíž nerealizovatelnou záležitost. Proto se v těchto případech používá tzv. kompenzační vedení. Jedná se o vodiče z levnějších materiálů, které však v kombinaci s termočlánekovými dráty nesmějí vytvářet další termočlánky navíc, aby nebyly zkreslovány výsledky měření. Každému typu materiálu termočlánku proto odpovídá specifický materiál kompenzačního vedení, který nesmí být zaměněn za jiný. [11][12]

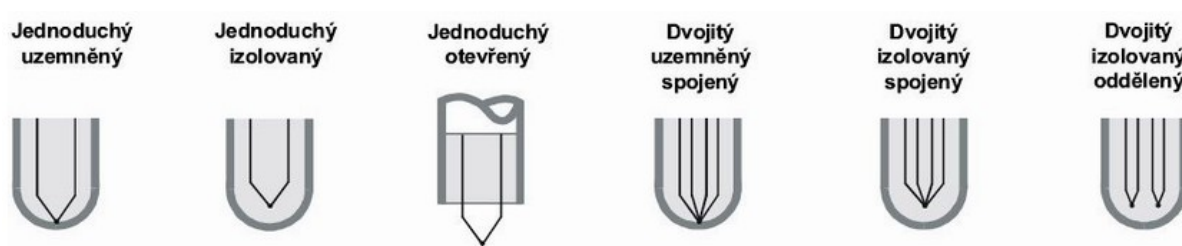
6.1.1 Dělení dle konstrukce

Z pohledu konstrukce a uspořádání měřícího konce termočlánku se dělí na neplášťované a plášťované. V případech měření vysokých teplot nebo v chemicky agresivním prostředí se používají plášťované termočlánky, které bývají chráněny keramickým nebo kovovým pláštěm. Jednotlivé vodiče termočlánku jsou uvnitř tohoto pláště elektricky odděleny sypkou keramikou. V některých oborech, jako je například jaderná energetika, se z bezpečnostních důvodů počet vodičů v termočláncích zdvojuje, aby bylo zajištěno měření i při prasknutí některého z drátků, jedná se o tzv. dvojité termočlánky. [1][11]

Neplášťované termočlánky (Obr. 6.1), jejichž měřící konec není nijak chráněn, se vyrábí z termočlánekového drátu, kde jsou jednotlivé větve od sebe odděleny opředěním ze sklotextilové izolace. Tyto články se také dají použít pro měření vysokých teplot nebo pro měření v chemicky agresivním prostředí, avšak tyto měření jsou omezeny vlastnostmi izolace termočlánekových vodičů. [11]



Obr. 6.1 Neplášťovaný termočlánek [11]



Obr. 6.2 Typy termočláneků [2]

Termočláanky, které mají ochranný plášť, můžeme ještě dále rozdělit na dva typy, podle umístění termočláankové dvojice kovů, a sice na izolované, uzemněné a termočlánek s nechráněným spojem (Obr. 6.2).

U uzemněného měřicího konce sondy jsou termočláankové dráty fyzicky spojeny s vnitřní stěnou pláště termočláanku. To má za následek dobrý přenos tepla z vnějšku přes stěnu pláště sondy k termočláankovému spoji.

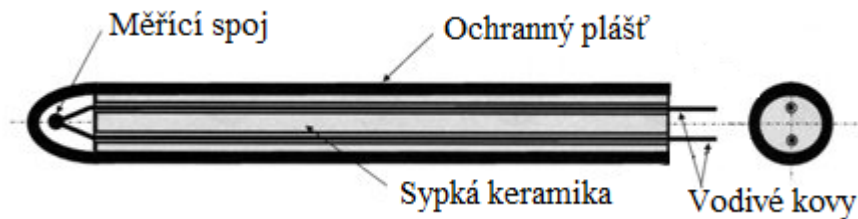
U izolovaného termočláanku je termočláankový spoj oddělen od stěny pláště sondy. Odezva u tohoto termočláanku je pomalejší než u typu uzemněného, ale vyskytuje se zde elektrická izolace.

Termočlánek s nechráněným spojem má spoj vystrčený vně z konce pláště a je tak vystaven okolní atmosféře. Tento typ nabízí nejlepší odezvu, avšak použití je omezeno na suché nekorozivní a beztlakové aplikace. [12]

6.1.2 Dělení dle materiálu

K výrobě termočláanků se používají různé materiály a v zásadě je můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny – kovy a jejich slitiny a drahé kovy.

Do první skupiny patří termočláanky, k jejichž výrobě se používají slitiny na bázi mědi, niklu, chromu a dalších prvků. Do druhé skupiny, patří termočláanky vyráběné z platiny, slitin platiny a rhodia. [1]



Obr. 6.3 Konstrukční schéma termočlánku [1]

Termočláňkové slitiny se dodávají ve formě drátů. Jedním z jejich výrobců je česká společnost Safina, a. s., která se specializuje na zpracování drahých kovů. Termočláňky z platiny a jejích slitin s rhodiem se vyznačují vysokou kvalitou, zejména s ohledem na možnost přesného měření velmi vysokých teplot a korozní odolnost vůči prostředí. [1]



Obr. 6.4 Termoelektrický drát [1]

6.1.3 Dělení dle využití v průmyslu

- **Drátové termočláňky svařované do kuličky**

Tyto termočláňky jsou nejjednodušší formou termočláňku. Termočláňek se skládá ze dvou termočláňkových drátů spojených k sobě svařením do kuličky. Protože je tento spoj termočláňku nechráněný, jsou zde aplikační omezení. Svařené termočláňkové dráty by se neměly používat s kapalinami, jelikož by mohly korodovat nebo oxidovat. Obvykle jsou tyto svařované drátové termočláňky dobrou volbou pro měření teploty plynu. Protože mohou být vyrobeny velmi malé, mají také velmi rychlou odezvu. [9]

- **Termoelektrické sondy**

Termočláňková sonda se skládá z termočláňkového drátu umístěného v kovovém plášti. K obvyklým materiálům pláště patří nerezová ocel a inconel. Inconel vydrží větší teplotní rozsahy

než nerezová ocel, avšak často se dává přednost nerezové oceli pro její značně širokou chemickou odolnost. Pro velmi vysoké teploty jsou k dispozici i jiné zvláštní materiály pláště. Měřicí konec termočlávkové sondy má tři různá provedení.

- **Sondy pro měření teploty povrchů**

Měření teploty kovových povrchů je obtížné pro většinu snímačů teploty. Aby se zajistilo přesné měření, musí být vstupní část snímače v kontaktu s měřeným povrchem. Toto je obtížné zajistit, pokud je neohebný snímač i povrch. Protože jsou termočlávkové sondy provedeny z pružných kovů, může být měřicí spoj proveden jako plochý a tenký element, aby se dosáhlo co nejlepšího kontaktu s pevným povrchem. [9]

- **Tyčové termočlávkové sondy**

Používají se pro teploty – 200°C až +1600°C. Ochranné trubice jsou z různých materiálů, vyrábí se v provedení jednoduché nebo dvojité. Tyčové termočlávkové sondy jsou využívány pro měření teploty kapalin a plynů. Důležitou oblastí použití jsou pece a zařízení pro průmyslová odvětví strojírenství.

- **Plášťové termočlávkové sondy**

Mají ohebné otřesuvzdorné plášťové vedení s minerální izolací, krátkou dobu odezvy. Průměr ochranné trubice bývá od 0,5 mm. Vestavné délky se vyrábějí podle specifikace uživatele. Díky své speciální vlastnosti – minerální izolace - se používají v chemických továrnách, elektrárnách, v konstrukcích motorů atd. Používají se pro teploty od – 200 do + 150°C.

- **Vpichové termočlávkové sondy**

Vzhledem ke své zvláštní konstrukci (robustní, parotěsné) jsou zvláště vhodné pro uzení, vaření, pečení, tzn. ve všech procesech zpracování potravin. Mají vibracím odolnou konstrukci. Rukojeť je odolná vůči mastným kyselinám. Používají se pro teploty od – 100 do + 260°C. Jsou parotěsné a tlakotěsné. Mají vysokou mechanickou odolnost.

- **Závitové termočlávkové sondy**

Používají se pro teploty -40 až +600°C Jsou dodávány s různými typy termopárů . Ochranná armatura a měřicí špička bývá z nerezové oceli. Využívá se v plastikářském průmyslu. Podle požadavků je možné provedení konce teploměru se špičkou nebo ve tvaru meče. [13]

Praktická část

7 Simulace termoelektrického článku v prostředí LabVIEW

7.1 Kód v prostředí LabVIEW

7.1.1 Načtení dat ze souboru

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

7.2 Výběr měřicí modulu

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

7.3 Návrh napěťového děliče

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

7.4 Návrh DPS

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

8 Řešení

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

8.1 LabVIEW

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

8.1.1 Uživatelské rozhraní

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

8.1.2 Kód v LabVIEW

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

9 Verifikace a test aplikace

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

9.1 Ověření funkčnosti

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

9.1.1 Ověření kódu v LabVIEW

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

9.1.2 Ověření hardwaru

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

9.2 Test simulace

Obsah této kapitoly podléhá utajení z důvodu ochrany firemního tajemství společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. a proto je neveřejný. Plné znění této práce je uchováno na sekretariátu Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

10 Zhodnocení výsledků

Cílem této práce bylo navrhnout co nejpřesnější simulaci termoelektrického článku. Simulace je realizována ve vývojovém prostředí LabVIEW. Simulované termoelektrické napětí je pomocí měřicího modulu NI USB 6212 převedeno z virtuální veličiny na fyzickou veličinu. K měřicímu modulu byla vyrobena deska plošných spojů, která obsahuje napěťový dělič pro úpravu daného napětí.

Pro zjištění přesnosti simulace, bylo provedeno měření. Výsledkem měření jsou zobrazené grafy. V grafu ze simulace je vidět lehký rozkmit hodnot, oproti grafu z převodní tabulky. Rozsah teplot i termoelektrického napětí byl splněn bez výrazných chyb.

Rozkmit hodnot je způsoben nedokonalým převodem měřicího modulu a nepřesností napěťového děliče. Rezistory, použité pro napěťový dělič, mají toleranci 1%, ale i jedno procento dokáže při tak malém napětí způsobit drobné odchylky.

Měřicí modul disponuje 16 bitovým, analogový výstupem, při daném rozsahu napětí je změna napěťové úrovně 0,0791mV na jeden krok. Přičemž reálná změna napěťové úrovně při změně o 1 °C, tedy jeden krok, je přibližně 0,040mV, což je přibližně poloviční hodnota.

Z detailu rozkmitu napětí je patrné, že jsou zde tři hodnoty, které se zobrazují na výstupu při dané teplotě. Při teplotě 1000°C je reálné napětí termočlánku cca 36,256mV. Výstupní hodnoty simulace jsou 36,642mV, 36,313mV a 35,984mV. Prostřední hodnota je téměř totožná s reálnou hodnotou. Drobné odchylky napětí, zapříčiněné napěťovým děličem, způsobí chybný převod měřicího modulu, jehož výsledkem je první a poslední hodnota. Vypočítáme-li z těchto tří hodnot aritmetický průměr, získáme hodnotu 36,313mV. Následně dle níže uvedeného vztahu (8.1.), vypočítáme procentuální přesnost simulace a její chybu.

$$přesnost\ simulace = \frac{reálná\ hodnota\ napětí}{hodnota\ napětí\ ze\ simulace} = \frac{36,256}{36,313} * 100 = 99,84\% \quad (8.1.)$$

Kmitání hodnot na výstupu simulace lze eliminovat použitím modulu s větším rozlišením, čímž se zmenší změna napěťové úrovně na jeden krok. Přesnost simulace, dle výpočtu, je 99,84%, chyba simulace je tedy 0,16%. Přesnost simulace je velmi vysoká, z toho vyplývá, že celková aplikace splnila cíl této práce.

11 Seznam použité literatury

1. MAREK, Pavel. MM Průmyslové spektrum. MM Průmyslové spektrum [online]. Vestec: MM Průmyslové spektrum, © 2015 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-platinovych-termoclanku.html>
2. VLACH, Libor. MODERNÍ MĚŘENÍ A REGULACE ENERGETICKÝCH VELIČIN [online]. Brno, květen 2003 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmr/v/>. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. František Vdoleček, CSc.
3. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Peltierův jev. Encyklopedie fyziky [online]. 2010-02-01 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev#>
4. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Seebeckův jev. Encyklopedie fyziky [online]. 2010-02-01 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
5. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Thomsonův jev. Encyklopedie fyziky [online]. 2010-02-01 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/912-thomsonuv-jev>
6. BUREŠ, Jiří. Seebeckův jev. ConVERTER: Převody jednotek, fyzikální tabulky, životopisy fyziků a Nobelova cena. [online]. © 2002 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/seebeck.htm>
7. BRÁZDIL, Marian. Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla. TZB-info[online]. Praha: Topinfo, 12.8.2013 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickyh-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>
8. Termoelektrické jevy. KRÁLOVÁ, Magda. Edutorium [online]. Plzeň: NetPro systems, (c) 2008 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: http://techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b747269636bfd2070726f7564h&key=401

9. Omegaeng.cz [online]. 1995-2011 [cit. 2011-05-25]. Omega Engineering Česká republika. Dostupné z: <<http://www.omegaeng.cz/>>.
10. SCHAUER, František a Július KREMPASKÝ. Fyzika I a II. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně a Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2004. Dostupné z: <http://kf-lin.elf.stuba.sk/KrempaskyFyzika/43.pdf>
11. NOVÉ TECHNOLOGIE- VÝZKUMNÉ CENTRUM. Termomechanika technologických procesů [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, © 2000-2014 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://ttp.zcu.cz/cz/uvod>
12. BRZOBOHATÝ Lukáš: Měření teploty. Brno, 2011. 19s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
13. MEJZLÍK, M. Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 76 stran

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 2.1 Uzavřený obvod ze tří různých kovů | 3 |
| Obr. 3.1 Objemový Seebeckův jev pro polovodič typu N, $T_A > T_B$ (neuzavřený obvod; uzavřený obvod) | 6 |
| Obr. 3.2 Objemový Seebeckův jev pro polovodič typu P, $T_A > T_B$ (neuzavřený obvod; uzavřený obvod) | 6 |
| Obr. 4.1 Termočlánek pro Peltierův jev | 7 |
| Obr. 4.2 Peltierův jev | 7 |
| Obr. 4.3 Peltierův jev | 8 |
| Obr. 5.1 Thomsonův jev | 10 |
| Obr. 6.1 Neplášťovaný termočlánek | 13 |
| Obr. 6.2 Typy termočláneků | 13 |
| Obr. 6.3 Konstrukční schéma termočláneku | 14 |
| Obr. 6.4 Termoelektrický drát | 14 |

Seznam elektronických příloh

1. Simulace_termoelektrického_clanku (LabVIEW)
2. Podmínka_rozsahu (LabVIEW)
3. Převod_jednotek (LabVIEW)
4. Control (LabVIEW)
5. Převodní tabulka (Excel)