

Ověřování vlastností Peltierova článku

Petr Julina

2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Institut řízení procesů a aplikované informatiky
akademický rok: 2004/2005

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr JULINA**
Studijní program: **M2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Automatizace a řídicí technika ve spotřebním průmyslu**

Téma práce: **Ověřování vlastností Peltierova článku**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte analýzu zadání.
2. Zpracujte literární rešerši o stavu řešení.
3. Uvedte teorii Peltierova článku.
4. Navrhněte a realizujte laboratorní sestavu.
5. Provedte měření na laboratorní sestavě.
6. Zpracujte vyhodnocení výsledků měření.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- CHUDÝ,V. akol. Meranie technických veličin. Bratislava: STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2.
DYER,S.,A. Survey of instrumentation and measurement. John Wiley and Sons, 2001,s.1096, ISBN 0-471-39484-X.
ĎAĎO,S.-KREIDL,M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, 1996.
WEBSTER,J.,G. The measurement, instrumentation and sensor handbook. New York: CRC Press LLC; Springer-Verlag, 1999,s. 1932.ISBN 3-540-64830-5.
FRADEN,J. Handbook of Modern Sensors. Physics, desings and Applications. New York: Springer Verlag, 1996, s.556.ISBN 1-56396-538-0
HRUŠKA,F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2001,s. 107.ISBN 80-7318-026-X.
HRUŠKA,F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, s. 118.ISBN 80-7318-053-7.
Nejistoty v měření. Automatizace, (2001),č. 7-8,s.50-53, pokračování v č.10,12.
Firemní podklady firmy Supercool.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Hruška, Ph.D.

Institut řízení procesů a aplikované informatiky

Datum zadání diplomové práce:

21. února 2005

Termín odevzdání diplomové práce:

15. června 2005

Ve Zlíně dne 18. února 2005


prof. Ing. Josef Šimoník, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel institutu

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato diplomová práce se věnuje problematice Peltierových článků. Cílem je seznámit se s teorií, sestavit praktický model a ověřit vlastnosti Peltierova článku. V teoretické části je uvedeno složení, princip funkce, výhody a použití Peltierova článku. V praktické části je uveden popis a sestavení praktického modelu. Závěr se věnuje vyhodnocení měření a ověření Peltierova článku.

Abstrakt ve světovém jazyce

This Master thesis describes the problems of Peltier Elements. The object is to acquaint the theory, compose a practical model and verify it's qualities. In the theoretical part is introduced the composition, function principle, benefits and use of the Peltier Element. The practical part describes a construction and assemblage of the practical model. In the conclusion are evaluated the measurement results and the Peltier Element characteristics are verified.

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu ing.Františku Hruškovi Ph.D., za odborný, vstřícný přístup při řešení všech zadaných problémů a veškerou poskytnutou pomoc a spolupráci při zpracování diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 13. 06. 2005

.....

jméno diplomanta

ÚVOD.....	7
I. TEORETICKÁ ČÁST	9
1 ANALÝZA ZADÁNÍ.....	10
2 LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3 TEORIE PELTIEROVA ČLÁNKU.....	14
3.1 ZÁKLADNÍ STRUKTURA A ZAPOJENÍ TEMU	15
3.1.1 Materiál typu N	15
3.1.2 Materiál typu P	16
3.2 ROZŠÍŘENÁ STRUKTURA.....	16
3.3 SLOŽENÍ PELTIEROVA ČLÁNKU	18
3.3.1 Základní struktura	18
3.3.2 Kaskádní spojení článků	20
3.4 PŘÍKLADY APLIKACÍ S VYUŽITÍM PELTIEROVÝCH MODULŮ:.....	22
3.5 VÝHODY POUŽITÍ PELTIEROVA ČLÁNKU.....	24
3.6 TYPICKÝ TERMOELEKTRICKÝ SYSTÉM.....	24
3.6.1 Systémy vzduch-vzduch.....	25
3.6.2 Systémy vzduch-kapalina.....	26
3.6.3 Systémy direkt-vzduch.....	26
3.6.4 Systémy direkt-kapalina.....	27
3.6.5 Systémy kapalina-vzduch.....	27
3.6.6 Systémy kapalina-kapalina.....	28
3.7 VÝPOČET PARAMETRŮ ČLÁNKU	30
3.7.1 Parametry určující chladicí a topný výkon Peltierova článku.....	32
3.7.2 Určení konstant pro jeden Peltierův článek	35
3.7.3 Příklad využití výše uvedených vztahů.....	37
II. PRAKTICKÁ ČÁST	40
4 NÁVRH A REALIZACE MODELU.....	41
5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	47
5.1 NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY	47
5.1.1 Příklad výpočtu posledního řádku tabulky:	47
5.1.2 Diskuze výsledků	48
ZÁVĚR.....	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
SEZNAM OBRÁZKŮ	56
SEZNAM TABULEK.....	57

ÚVOD

V r. 1834 objevil francouzský fyzik Jean Charles Athanase Peltier jev inverzní k Seebeckovu jevu.

Seebeckův jev - jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů do uzavřeného obvodu a mají-li spoje různou teplotu T_1 a T_2 , protéká obvodem elektrický proud.

Peltierův jev - protéká-li stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, pak vzniká teplotní rozdíl mezi oběma spoji. Teče-li proud z vnějšího zdroje daným spojením stejným 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.

Cílem diplomové práce je na základě uvedeného teoretického popisu navrhnout model, provést praktické měření a ověřit vlastnosti Peltierova článku. Peltierův jev byl objeven již před 180 lety, ale teprve ve 20. století se začal uplatňovat v praktických aplikacích. Vysvětlení Peltierova jevu a jeho funkce v termoelektrických zařízeních je velmi zajímavým problémem, protože nakonec směřuje do velmi komplexní fyziky na subatomární úrovni.

Základní idea Peltierova jevu spočívá v tom, že když protéká stejnosměrný proud přes termoelektrický element (dále jen TEM), způsobuje to teplotní diferenciál mezi jednotlivými stranami TEMu. Výsledkem je, že jedna ze stran TEMu, které se říká studená, bude ochlazována, zatímco strana opačná, která je nazývána horká, je současně zahřívána. Pokud je teplo generované na horké straně TEMu efektivně odváděno do chladičů a dále do okolního prostředí, potom teplota studené strany TEMu bude mnohem nižší než teplota okolní. Chladič je klíčovým komponentem zařízení. Chladič, který je příliš malý může způsobit, že požadovaná teplota studené strany nebude dosažena.

Chladicí kapacita TEMu je úměrná velikosti protékajícího proudu. Její velikost lze tedy jednoduše řídit pomocí velikosti proudu, změnou polaritu proudu je zase možno snadno reverzovat strany TEMu. Studená strana TEMu bude následně zahřívána a jeho

horká strana bude ochlazována. TEM modul vytváří velmi rozdílné teploty, ovšem díky specifickým vlastnostem Peltierova článku disponuje systém větší kapacitou pro topení než chlazení.

Rozsah termoelektrických aplikací založených na Peltierově jevu neustále roste. Tato problematika má značné praktické použití. Chladicí zařízení jsou přátelská k životnímu prostředí a systémy generující výkon, založené na termoelektrickém jevu, by mohly být jednou z nejperspektivnějších technologií budoucnosti. V současné době se většinou používají při výrobě chladicích zařízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ANALÝZA ZADÁNÍ

Peltierův jev je známý již dlouhou dobu, ale teprve v současné době se začal využívat v praktických aplikacích. Peltierův článek je velmi moderní zařízení, které slouží pro výrobu chladu nebo tepla přímo z elektrické energie. Pro jeho velké výhody a značné praktické využití se ověřují vlastnosti na Univerzitě Tomáše Bati. Je to první seznámení se s principem a funkcí Peltierova článku.

Mezi hlavní výhody patří velká účinnost, snadná ovladatelnost chladicí kapacity, možnost chlazení v libovolné poloze, nepřítomnost pohyblivých částí, možnost velmi přesné regulace teploty, nehlučnost a absence otřesů, vysoká spolehlivost, životnost počítající se na desítky let, šetrnost k životnímu prostředí a bezfreonová technologie (článek nepoužívá žádné freony na rozdíl od některých chladicích zařízení). Peltierův článek je elegantní řešení pro malé chladicí systémy, protože nemá takový chladicí výkon jako běžná chladicí zařízení. Ověření jeho vlastností slouží k získání informací pro jeho použití jako akčního členu v systémech automatizace.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

CHUDÝ,V. a kol.: Meranie technických veličin. Bratislava: STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2

V této knize jsou popsány způsoby měření a zpracování mnoha veličin. Kniha obsahuje historii měření, veličiny a jejich jednotky, měřící prostředky, chyby a nejistoty v měření, zásady při zpracování naměřených údajů, fyzikální principy snímačů, měření tlaku, teploty, průtoku a rychlostí proudění tekutin, výšky hladiny, délky, otáček a frekvencí otáčení. Použité kapitoly v diplomové práci jsou Elektrické teploměry, Odporové teploměry, Termoelektrické teploměry.

DYER,S.,A.: Survey of instrumentation and measurement. John Wiley and Sons, 2001,s.1096, ISBN 0-471-39484-X

Tato kniha popisuje měření mnoha veličin. Je zde popsán úvod o měření, příprava signálu, měření elektrických, elektromagnetických, mechanických, fyzikálních, chemických, optických veličin, získání a záznam dat a testovací metody. Do své diplomové práce jsem použil kapitoly Sensors and Transducers, Temperature Sensors, Thermocouple a Thermopiles.

ĎAĎO,S.-KREIDL,M.: Senzory a měřící obvody. Praha: ČVUT, 1996

Publikace popisuje senzory různých veličin. Obsahuje technologii výroby, měřící řetězce, technické parametry, metody zmenšení chyb. Kapitola 3, kterou jsem použil obsahuje - Senzory tepelných veličin. Jsou zde popsány základní pojmy a jednotky, senzory pro dotykové měření teploty.

WEBSTER,J.,G.: The measurement, instrumentation and sensor handbook. New York: CRC Press LLC; Springer-Verlag, 1999,s. 1932.ISBN 3-540-64830-5

V této knize se popisuje měření od základů teorie měření různých veličin až po vyhodnocení a zpracování. Senzory jsou zde rozděleny do kapitol dle snímaných veličin. Kniha obsahuje měření bezdotykové, měření vlastností látek (chemické, mechanické, elektrické), měření teploty, optické veličiny, biosenzory, způsob zpracování signálu a řízení. Z knihy jsem použil kapitolu 32 Temperature measurement (32.2 Thermometers, 32.4 Thermocouples).

FRADEN,J.: Handbook of Modern Sensors. Physics, desings and Applications.New York: Springer Verlag, 1996, s.556.ISBN 1-56396-538-0

Tato kniha obsahuje podrobné popisy, principy a klasifikace jednotlivých senzorů. Jsou zde popsány všeobecné teoretické informace a senzorech různých veličin. Z této knihy jsem použil kapitolu – Temperature sensors, kde je uvedena podkapitola Resistance Temperature Detectors.

HRUŠKA,F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2001,s. 107.ISBN 80-7318-026-X.

Tato publikace se zabývá prostředky pro získání informací, technickými prostředky centrálních jednotek a prostředky pro ovládání. Senzory jsou rozděleny dle způsobu snímané veličiny. Zde jsem našel teorii měření teploty. Použil jsem teorii odporových snímačů teploty, termoelektrické snímače teploty a jejich převodníky.

HRUŠKA,F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce.UTB ve Zlíně,FT, únor 2002, s.118.ISBN 80-7318-053-7.

V publikaci jsou popisovány senzory různých veličin, které jsou rozděleny do kapitol dle způsobu snímání. Do své diplomové práce jsem použil kapitolu - Elektrické odporové senzory teploty Pt100 a kapitolu - Termočláňkové senzory.

Nejistoty v měření. Automa, (2001),č. 7-8,s.50-53, pokračování v č.10,12.

V těchto odborných časopisech jsou nejistoty měření rozděleny do tří částí podle čísel časopisů. První část – vyjadřování nejistot obsahuje: základní pojmy a definice, používání nejistot a souvislosti s mezinárodními předpisy, chyby a nejistoty měření. Druhá část – nejistoty přímých měření obsahuje: stanovení standardních nejistot při přímém měření, zákon šíření nejistot aplikovaný na jednodušší případy měření, zaokrouhlování výsledků měření, jak uvádět měření a příklady stanovení nejistoty. Třetí část – nejistoty nepřímých měření obsahuje: postupy určování standardních nejistot při nepřímých měřeních, kovariance při určování výsledných nejistot, příklady zdrojů korelací v návaznosti na zdroje nejistot.

Pozn.: V oficiálním zadání došlo k překlepu - místo časopisu Automa je uveden časopis Automatizace, tento fakt byl projednán s vedoucím diplomové práce

Firemní podklady firmy Supercool

V propagačních materiálech firmy Supercool jsou uvedeny různé typy Peltierových článků, jejich základní princip, rozměry, charakteristiky, popis montáže a zapojení. Do své diplomové práce jsem použil část, ve které je uveden popis jednotlivých systémů a zásady montáže.

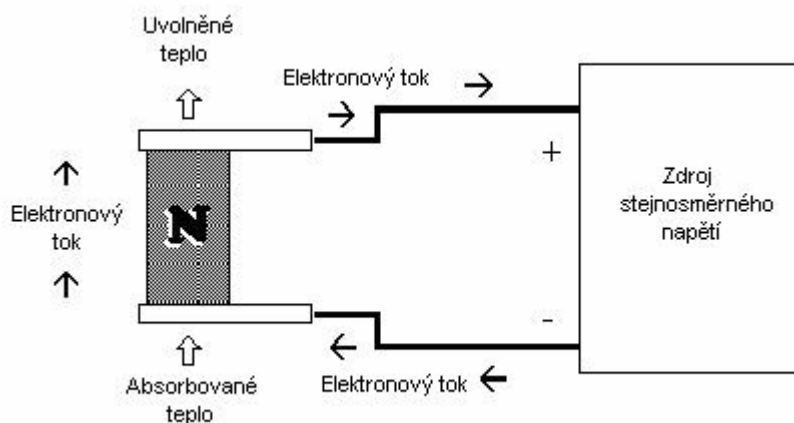
3 TEORIE PELTIEROVA ČLÁNKU

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 se používají zčásti proto, že mají výhodné termoelektrické vlastnosti, nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost, ale rovněž proto, že konstruktéři mohou řídit typ nosičů elektrického náboje ve vodiči. Při použití tohoto typu materiálu může být Peltierovo zařízení (tj. TEM) konstruováno – v jeho nejjednodušší formě – kolem jediné polovodičové pelety, která je na obou koncích připájena na elektricky vodivý materiál. Spojovací můstky jsou zhotoveny většinou z mědi (malý měrný elektrický odpor, možnost pájení). Její nevýhodou je možná difúze do polovodičového materiálu a tím i zhoršení jeho vlastností. V místě styku můstku a polovodiče vzniká nežádoucí přechodový odpor, který může značně nepříznivě ovlivnit dosažitelný chladicí výkon Q 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.

Při průchodu stejnosměrného proudu přes TEM vzniká mezi jeho stranami teplotní diferenciál. Výsledkem je, že jedna ze stran TEMu, které se říká studená, je ochlazována, zatímco strana opačná, která je nazývána horká, je současně zahřívána. Pokud je teplo generované na horké straně TEMu efektivně odváděno do chladičů a dále do okolního prostředí, potom teplota studené strany TEMu bude mnohem nižší než teplota okolní. Chladicí kapacita TEMu je úměrná velikosti jeho elektrického příkonu, tedy protékajícího proudu a přiloženého napětí. Reverzací polarity zdroje lze snadno zaměnit jednotlivé strany TEMu – studená strana bude následně zahřívána a horká ochlazována. [2,3,4]

3.1 Základní struktura a zapojení TEMu

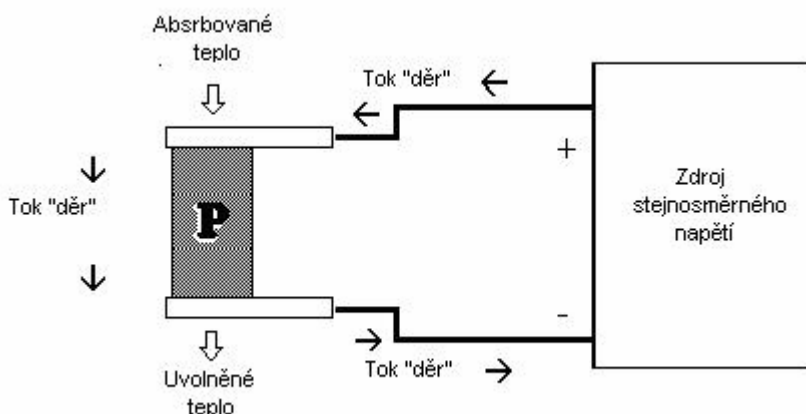
3.1.1 Materiál typu N



Obr. 1. Peleta typu N

Teplo se bude pohybovat ve směru pohybu nosičů elektrického náboje obvodem (ve skutečnosti jsou to právě nosiče náboje, které přenášejí teplo). V tomto příkladě je použit polovodičový materiál typu N k vyrobení pelety a nosiči náboje použitými k vytvoření podstatné části Peltierova efektu budou elektrony (s negativním nábojem). Se zdrojem stejnosměrného napětí zapojeným dle obr.1 budou elektrony odpuzovány záporným pólem a přitahovány kladným pólem zdroje, což je nutí téci ve směru hodinových ručiček (viz. obr.1). S elektrony tekoucími skrze materiál typu N ze spodu nahoru je teplo absorbováno ve spodním spojení a aktivně přenášeno do horního spojení – je tedy efektivně vedeno nosiči náboje skrze polovodičovou peletu. [4]

3.1.2 Materiál typu P



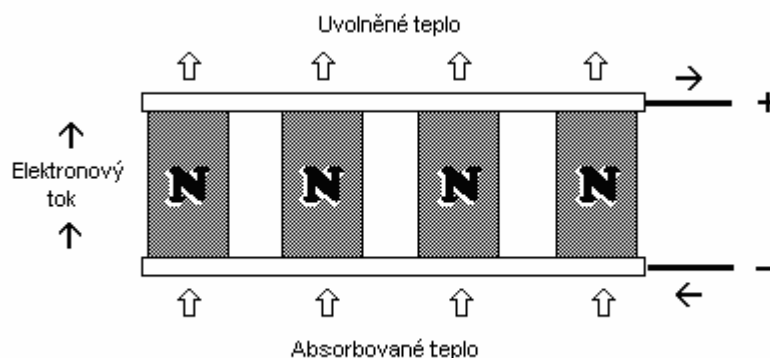
Obr. 2. Peleta typu P

V termoelektrickém průmyslu jsou rovněž používány polovodičové pelety typu P. Pelety tohoto typu jsou vyrobeny tak, že nosiče náboje v materiálu jsou kladné (v elektronice známe jako „díry“). Tyto „díry“ zesilují elektrickou vodivost krystalické struktury materiálu typu P tím, že dovolují elektronům téci více volně skrze materiál, když je připojeno napětí. Kladné nosiče náboje jsou odpuzovány kladným polem stejnosměrného pole zdroje a přitahovány k negativnímu pólu, tudíž proud „děr“ teče ve směru opačném vůči toku elektronů. Protože nosiče náboje jsou podstatnými částicemi, které přenášejí teplo vodičem, použití materiálu typu P má za následek fakt, že teplo je přitahováno k zápornému pólu zdroje napětí a odpuzováno od kladného pólu. Tato rozdílná akce materiálu P a N při vedení tepla je velmi důležitá při konstrukci praktických TEM zařízení. Zatímco obr.2 zde – z důvodu jednoduchosti – zobrazuje tok „děr“ skrze spojení do zdroje energie, ve skutečnosti jsou nosiči náboje skrze měděné cesty elektrony. [4]

3.2 Rozšířená struktura

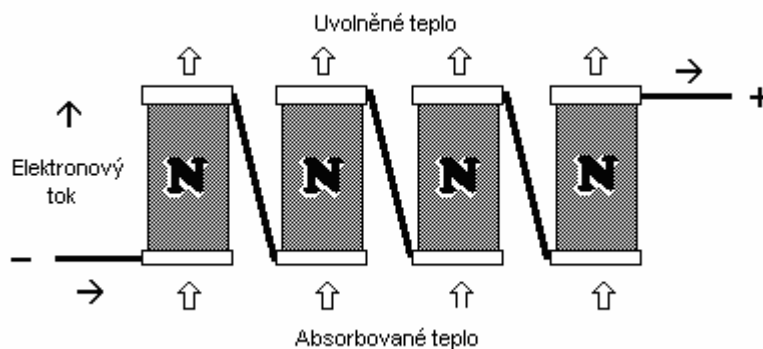
Abychom vytvořili u TEM zařízení větší tepelnou kapacitu, jsou společně používány vícenásobné pelety. Samozřejmě na první pohled by se zdálo nejlepší jednoduše spojit je paralelně – jak elektricky tak tepelně – jak dokládá obr.3. I když je to teoreticky možné, v praxi se tento způsob zapojení příliš nepoužívá. Je zde totiž problémem, že typická TEM polovodičová peleta snese zatížení pouze velmi malým napětím - asi desítek milivoltů - zatímco snese poměrně vysoké proudové zatížení.

Například jednotlivá peleta v běžném TEM zařízení je proudově zatížena pěti či více ampéry při napětí pouhých 60 mV; pokud je zapojena paralelně v typické 254-peletové konfiguraci, zařízení snese proud přes tisíc ampérů při těchto 60 mV (za předpokladu, že zdroj je schopen tyto proudové hodnoty poskytnout).



Obr. 3. Paralelní zapojení pelet typu N

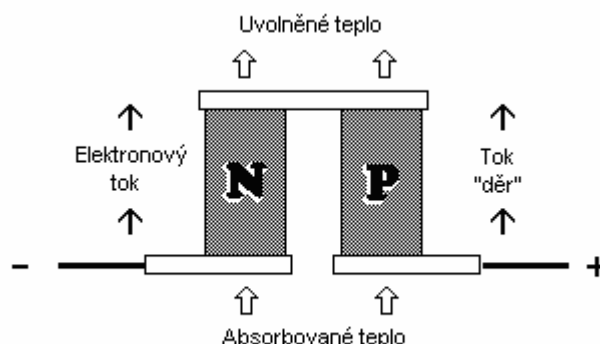
Jediným reálným řešením je zapojení polovodičů elektricky do série a z hlediska tepla paralelně (to je, vedení tepla společně ve stejném směru). Zde bychom mohli mít tendenci jednoduše provést elektrické spojení z pelety na peletu (viz obr. 4), abychom dosáhli sériového obvodu. Toto je teoreticky proveditelné, nicméně spojení mezi peletami představuje tepelný zkrat, který významně snižuje výkon zařízení.



Obr. 4. Upravené zapojení pelet typu N (tepelná část spojena paralelně, elektrická sériově)

Naštěstí existuje další možnost, která nám poskytuje očekávanou elektrickou a tepelnou konfiguraci a optimalizuje termoelektrický jev. Uspořádáním pelet typu P a N do

dvojice a vytvořením spojení mezi nimi a měděným můstkem je tedy možno vytvořit sériový obvod, který může udržovat pohyb tepla v jednom směru. Jak ukazuje obr.5, na konec pelety typu P je připojeno kladné napětí a na konec pelety typu N je podobně připojeno záporné napětí. Vytváří se zde tedy zajímavý jev.



Obr. 5. Zapojení základní pelety

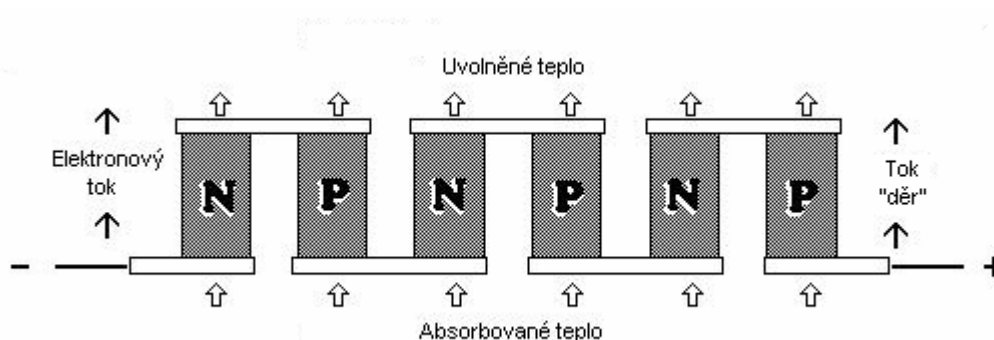
Kladné náboje (tzv. „díry“) v materiálu typu P jsou odpuzovány kladným elektrickým potenciálem a přitahovány záporným pólem. Záporné elektrické náboje v materiálu typu N jsou na druhou stranu odpuzovány negativním potenciálem a přitahovány kladným pólem zdroje. Když elektrony dosáhnou P materiálu, jednoduše vtékají skrz „díry“ mimo krystalickou strukturu pelet P typu (uvědomme si, že nosiče náboje jsou základními elementy materiálové struktury, které určují směr toku tepla). Materiál typu N má přebytek elektronů zatímco materiál typu P jich má nedostatek. Jeden P a jeden N tvoří pár, jak ukazuje obr.5. Termoelektrické páry jsou elektricky v sérii a tepelně paralelně. TE modul se může skládat z několika set párů. [4]

3.3 Složení Peltierova článku

3.3.1 Základní struktura

Nepřetržitý elektronový tok se uskutečňuje ze záporného pólu zdroje skrze N peletu, skrze měděný můstek, skrze P peletu a zpět do kladného pólu zdroje. Protože používáme dva rozdílné polovodičové materiály, nosiče náboje a teplo spolu tekou skrze

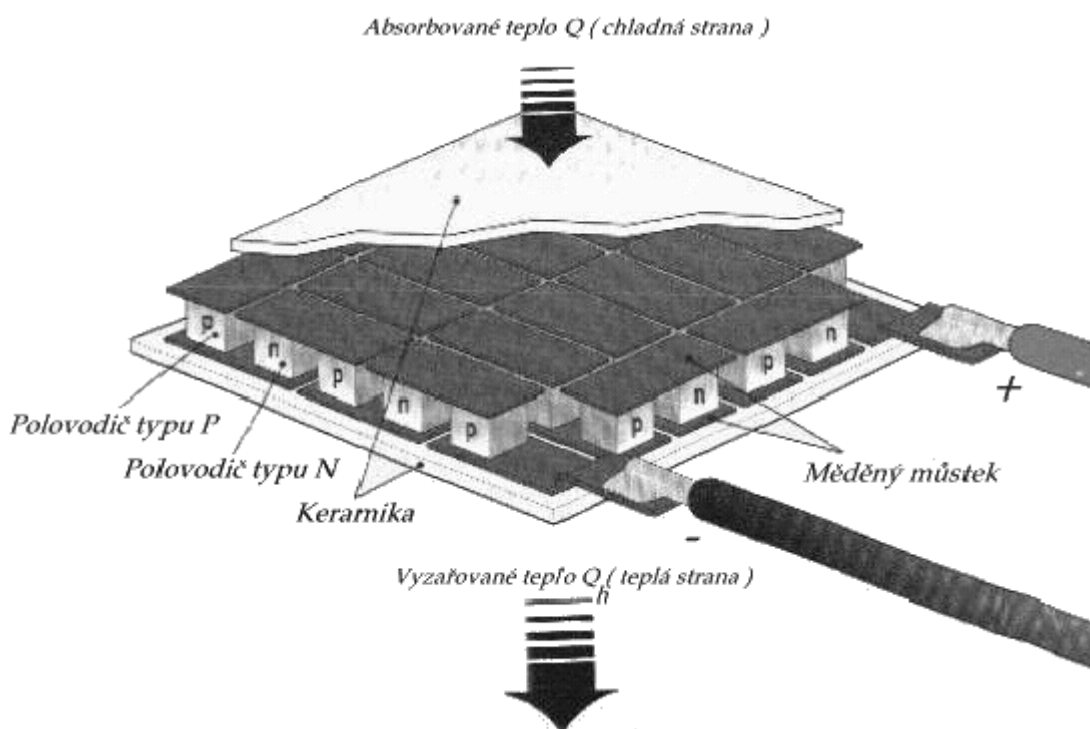
pelety stejným směrem. Při využití těchto zvláštních vlastností TEM páru je možno spojit mnoho pelet dohromady v řadu k vytvoření praktických TEM modulů. Tato zařízení nejenom pumpují značné množství tepla, ale jejich sériová elektrická spojení jsou vhodná pro běžně dostupné stejnosměrné zdroje. Takže dnes nejběžněji používaná TEM zařízení - spojující 254 pelet typu P nebo N – mohou pracovat při napětí 12 – 16 V ss a proudu 4-5A.



Obr. 6. Vícepárová konfigurace zvyšuje kapacitu tepelného toku

Základní TEM jednotka je termočlánek, který se skládá z polovodičových elementů typu-P a typu-N nebo tabletka (peleta). Měděné můstky jsou používány k propojení pelet, které jsou tradičně vyrobeny ze slitiny na základě vizmut-telluridu. Tedy, typický TEM se skládá z termočlánků spojených elektricky do série a vložených mezi dvě destičky keramiky upravené oxidem hliníku. Množství termočlánků se může velmi měnit od několika elementů až po stovky. Toto umožňuje konstruovat TEMy požadované chladicí kapacity s rozsahem od zlomků watt po stovky watt.

Samozřejmě, ve vyráběných zařízeních s větším množstvím pelet, musíte mít prostředky k tomu, aby konstrukce celku byla mechanicky soudržná. Řešením je osadit vodivý můstek na tenkou vrstvu keramiky (viz obr.7); vnější strana keramiky potom slouží jako tepelné rozhraní mezi článkem a vnějším prostředím. Konstatujeme, že keramické materiály se staly pro tento účel průmyslovým standardem, protože představují nejlepší kompromis mezi mechanickou pevností, elektrickým odporem a tepelnou vodivostí. [4]

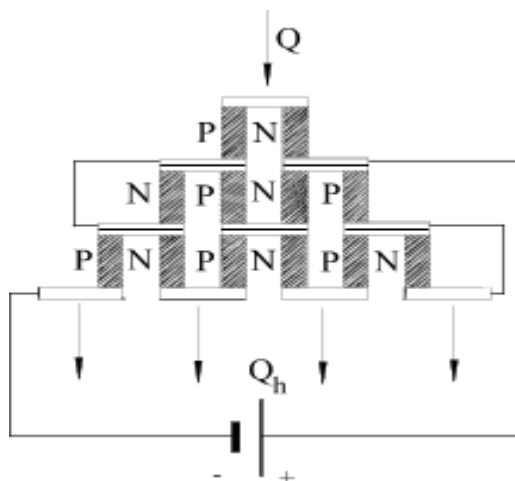


Obr. 7. Struktura Peltierova článku

3.3.2 Kaskádní spojení článků

K dosažení vyšších teplotních rozdílů při zachování určitého chladicího výkonu se spojují jednotlivé termoelementy do kaskády (viz obr. 8). V tomto případě se musí zajistit elektrická izolace mezi TEMy. Jako izolace se používá keramika s dobrou tepelnou vodivostí (viz obr. 7).

Při spojení TEM do kaskády je vhodné keramické destičky opatřit tenkou vrstvou silikonové vazelíny pro zmenšení tepelného odporu mezi články, nebo články slepit vhodným lepidlem s dobrou tepelnou vodivostí. Kaskádní řazení termoelementů má výhodu především v dosažení vyšší chladicí účinnosti při požadovaném velkém teplotním rozdílu stran.



Obr. 8. Spojení více článků do kaskády

Jak již bylo uvedeno, mezi výhody Peltierových článků patří soustředění chladicího nebo topného účinku na velmi malou plochu. Zařízení je spolehlivé a teplota se dá snadno regulovat změnou velikosti napájecího proudu. Články mají plochý tvar, takže ohřev nebo chlazení dané stěny či plochy je rovnoměrné. Jejich další výhodou je rychlost odezvy.

Aby nedošlo k poškození nebo zničení článku, je důležité zajistit, aby Peltierův článek nepřekročil rozsah pracovních teplot udávaný výrobcem. Jedná se hlavně o tu stranu článku, 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 článek se rozloupne na dvě poloviny nebo v lepším případě vám upadne napájecí vodič.

Článek je sice možno v prvním případě opravit např. pomocí obyčejné pistolové pájky, ale jak jsem již bylo výše popsáno, vzniknou určité přechodové odpory mezi polovodičovými sloupky a měděnými můstky a tím pádem poklesne chladicí výkon. V tomto případě se většinou nedá již článek pro chlazení použít, je ho ale možno stále použít pro topení. V druhém případě stačí pouze upadnutý vodič připájet a článek opět pracuje jak má. Proto se doporučuje, nemáte-li možnost kontrolovat teplotu teplé strany článku, nepracovat s ním naprázdno, tj. nepouštět do něj proud, není-li tato strana opatřena chladičem.

K poškození nebo zničení Peltierova článku může také dojít vlivem vodní páry kondenzující uvnitř článku. Kondenzace vodní páry na studené straně jednotlivých Peltierových elementů a její následné zmrznutí při záporných teplotách je příčinou zvětšení mechanického zatížení uvnitř článku, které může způsobit poškození či zničení článku. Při malých tloušťkách článku se může také vlivem kondenzace vodní páry uvnitř článku snižovat teplotní rozdíl mezi jeho jednotlivými stranami (vytvářejí se tepelné mosty).

Při spojování článků do kaskády nebo vkládání článků například mezi chladič a chlazený obvod je vhodné potřít oba povrchy článku silikonovou vazelínou nebo jinou pastou s dobrou tepelnou vodivostí či je slepit vhodným lepidlem. Tím se zabrání tepelné izolaci jednotlivých spojovaných povrchů, která vzniká vlivem vzduchových mezer způsobených nedokonalou rovinností přiložených povrchů.

Velikost napájecího proudu se řídí jednak velikostí napájecího napětí a jednak zatížením Peltierova článku. Při zatížení například chladné strany článku vzroste velikost odebíraného proudu, proto je vhodné mít v napájecím obvodu proudové omezení, aby nedošlo k překročení maximálního povoleného proudu.[2,3,4]

3.4 Příklady aplikací s využitím Peltierových modulů:

- chlazení vzorků pro mikroskopii
- chlazení vzorků pro rentgenostrukturní analýzu
- miniaturní i velké laboratorní termostaty
- pícky pro studium fázových přechodů (odchylka od přímky poklesu nebo nárůstu teploty menší než 0,001K)

- chlazení měřicích sond
- vymrazování vlhkých plynů
- přesná regulace vlhkosti a teploty vzduchu pro mikroklimatické komory
- aktivní rekuperace tepla
- podchlazování přesně lokalizované oblasti vzorku
- podrobování vzorků teplotním cyklům
- uchovávání materiálů v definovaných teplotách
- vlhkoměry, stanovení stopových množství vody v plynech
- podchlazování definované části rostliny (např. kořenového balu) při zkoumání vlivu teploty na růst
- gradientní boxy pro studium chování suchozemských i vodních živočichů v gradientu teploty
- napodobení denního a nočního teplotního cyklu a jeho urychlování nebo zpomalování
- lyofilizační technika
- řízená krystalizace
- klimatizované boxy pro experimenty nebo převoz vzorků (lze použít el. síť vozidla)
- temperované stolky pro přípravu vzorků
- chlazení nebo řízení teploty elektronických součástek
- generování el. napětí diferencí teplot
- vysokovýkonové poloprovozní aplikace
- přesná regulace teploty
- teplotní čidla, čidla teplotní difference a čidla viditelného a infračerveného záření [2,3,4]

3.5 Výhody použití Peltierova článku

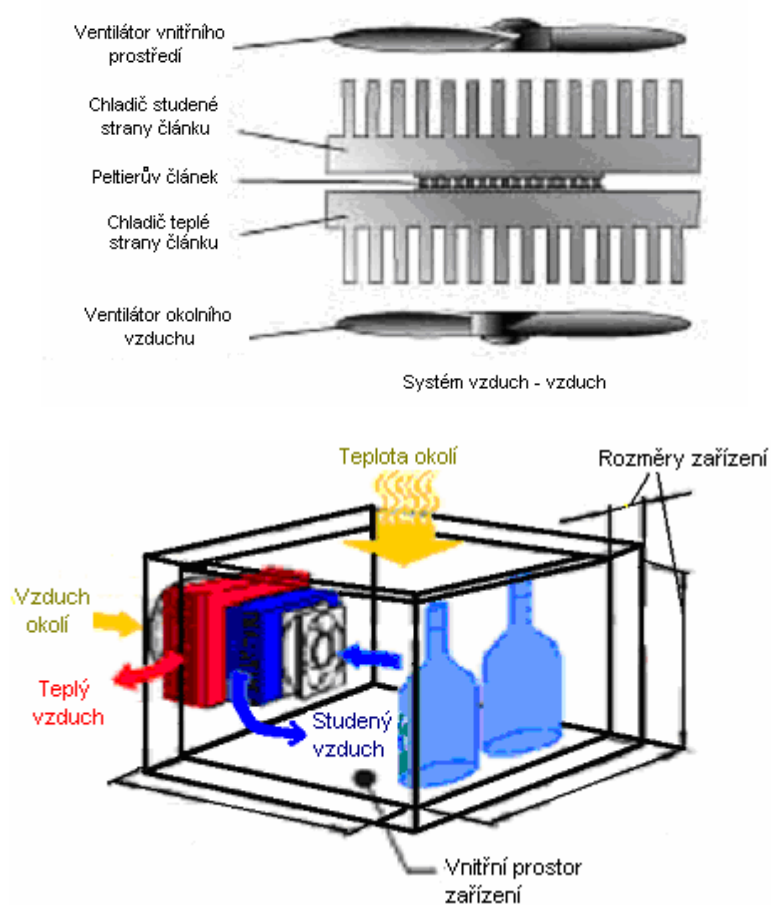
- možnost libovolného rozměrového uzpůsobení chladicí jednotky
- možnost chlazení v libovolné poloze
- nepřítomnost pohyblivých částí
- možnost velmi přesné regulace teploty (běžná je 0,1 °C, na přání je možno dodat regulaci na 0.01°C, ve speciálních případech na 0,001°C)
- nehlučnost a absence otřesů
- vysoká spolehlivost
- bezfreonová technologie
- životnost, počítající se na desítky let
- možnost modulární stavby chladicích zařízení a tím snadné odstupňování hodnot chladicího výkonu
- možnost ohřevu i chlazení stejným modulem (změnou polarity proudu)
- možnost dosažení i velmi nízkých teplot (až –80°C)

[2,3,4]

3.6 Typický termoelektrický systém

Podívejme se na design typického TE systému, který ochlazuje vzduch v uzavřeném prostoru (např. lednice do auta), což je pravděpodobně nejpoužívanější druh TE aplikace. Zde je zpochybnění, jak nashromážděné teplo je předáváno zevnitř krabice ven z krabice a sbírá teplo z okolního vzduchu. Obvykle se to děje za použití dvou tepelných chladičů ve spojení s jedním či více Peltierovými články. Chladič je klíčovým komponentem zařízení. Chladič, který je příliš malý, může způsobit, že požadovaná teplota studené strany nebude dosažena. Studená strana TEMu je ta strana, která je ochlazována po připojení stejnosměrného zdroje. Za určitých okolností je nezbytné, aby tato strana byla chladnější než požadovaná teplota chlazeného objektu. Toto platí obzvláště v případech, kdy studená strana není v přímém kontaktu s objektem, jako v případech kdy je chlazen uzavřený prostor.

Menší z tepelných chladičů je použit uvnitř zařízení (ochlazování nitřního prostoru boxu). Chladič absorbuje teplo z cirkulace vzduchu v boxu. V tomto případě je Peltierův článek montován mezi menší tepelný chladič a větší chladič systému. TEM, tak aktivně přečerpává teplo z vnitřního prostoru boxu na teplou stranu – do okolního prostředí. Ventilátor na teplé straně vhání vzduch mezi žebra chladiče a takto odebrané teplo uvolňuje do vnějšího prostředí. Pozn. Všechno uvolněné teplo nezahrnuje pouze teplo přečerpané z krabice, ale také teplo, které je produkováno Peltierovým článkem samotným. [4]



Obr. 9. Termoelektrický systém

3.6.1 Systémy vzduch-vzduch

Systémy vzduch-vzduch jsou používány k chlazení (nebo zahřívání) objektů v uzavřeném prostoru (boxu). Teplo je absorbováno a disipováno tepelnými výměníky vybavenými ventilátory. Chlazený box se opatří otvorem, do něj se osadí zařízení a připojí

se ke zdroji energie. Chladiče vzduch- vzduch poskytují díky své konstrukční jednoduchosti spolehlivý kompaktní výkon.

Instalace

Pro neizolované (elektronické) skříně platí následující zásady designu:

- teplý vzduch proudící z chladiče teplé strany článku nesmí zahřívát skřín
- studený vzduch z výměníku studené strany by neměl foukat přímo na skřín
- schránka je utěsněna a rovněž zařízení v otvoru má těsné spojení
- v kondenzačním prostředí je třeba provést montáž žebířů výměníku studené strany ve vertikální poloze, aby byl zajištěn efektivní odvod kondenzátu
- pro izolované skříně navíc platí: dostatečná izolace bez tepelných mostů (čím větší tepelný odpor materiálu stěn, tím větší účinnost systému)

3.6.2 Systémy vzduch-kapalina

Chladiče vzduch-kapalina jsou ideální, pokud je třeba vysoký výkon v kompaktním provedení. Teplo je absorbováno vzduchovým chladičem na studené straně a potom disipováno do kapaliny na straně teplé. Kapalinový okruh je běžného recirkulačního typu vybaven čerpadlem a tepelným výměníkem kapalina-vzduch k zajištění rozptýlení tepla do okolního vzduchu. Systémy vzduch-kapalina vám umožňují umístit jednotku do chlazeného prostoru pouze s vývodem pro kapalinové potrubí a elektrické připoje.

3.6.3 Systémy direkt-vzduch

Zařízení direkt-vzduch jsou používána ve 3 klíčových aplikacích zahrnující chlazení, respektive zahřívání.

1 - Objekty - přímo na studené straně článku nebo objekty na přídatné studené desce vlastního návrhu.

2 - Zásobníky - aplikuje se připevněním tepelně vodivého zásobníku na studenou stranu článku

3 - Kapaliny – připevněním tepelně vodivého tanku nebo kapalinového výměníku na studenou stranu článku.

Teplo je absorbováno studenou stranou, pumpováno skrze TE moduly a potom rozptylováno do vzduchu vzduchovým chladičem. Direkt-vzduch chladiče poskytují kompaktní a spolehlivé chlazení.

3.6.4 Systémy direkt-kapalina

Zařízení direkt-kapalina jsou používána k chlazení nebo zahřívání, buďto objektů připevněných přímo ke studené desce, nebo zásobníku připevněním tepelně vodivého zásobníku na studenou desku. Teplo je rozptylováno do kapaliny na teplé straně. Kapalinový okruh je běžného recirkulačního typu vybaven čerpadlem a tepelným výměníkem kapalina-vzduch k zajištění rozptýlení tepla do okolního vzduchu. Použitím efektivního tepelného výměníku a jednoho či více direkt-kapalina zařízení lze vytvořit velmi výkonný a přece kompaktní systém. Standardní zařízení jsou optimalizována na vysokou chladicí kapacitu a výkonnost, spíše než na dosažení maximálního delta T. Typické aplikace zahrnují temperování elektronických prvků, chlazení laserů a analytických přístrojů.

3.6.5 Systémy kapalina-vzduch

Zařízení kapalina-vzduch jsou používána k chlazení nebo zahřívání kapaliny(nebo plynu) tekoucí skrze tepelný výměník. Kapalinový chladič je navržen pro recirkulační systém. Teplo je absorbováno kapalinovým chladičem, pumpováno skrze TE moduly a potom rozptylováno do vzduchu vzduchovým chladičem. Ke zlepšení přenosu tepla jsou do kapalinových kanálů vloženy turbulátory. Nicméně, pro vyšší hodnoty průtoku mohou být tyto turbulátory odstraněny, aby se zamezilo poklesu tlaku. Kapalinové chladiče jsou vyrobeny z anodizovaného hliníku. Typické aplikace: chlazení tkání nebo jiných oblastí

těla v laserové či mikrovlnné termoterapii, chlazení/zahřívání při kapilární elektroforéze, chlazení výkonových laserů a jiné citlivé elektroniky.

Instalace

Chlazený objekt je připevněn ke studené desce šrouby. Je aplikována tenká vrstva tepelně vodivé směsi mezi povrchy. K zajištění optimální výkonnosti by rovinnost chlazeného objektu měla být 0,05 mm/100mm. Pokud je chlazen kontejner nebo tank, je třeba použít 3-5mm Al plech (nebo ekvivalent) k zajištění přenosu tepla. Pokud je použit tank z nerezové oceli, je nutno osadit Al plech s větší plochou povrchu, než je studená deska ke zlepšení tepelného přenosu.

3.6.6 Systémy kapalina-kapalina

Zařízení kapalina-kapalina jsou používány pro zahřívání nebo chlazení kapalin (nebo plynů) proudících skrze chladič. Teplo je disipováno do kapaliny na teplé straně. Kapalinový okruh je běžného recirkulačního typu vybaven čerpadlem a tepelným výměníkem kapalina-vzduch k zajištění rozptýlení tepla do okolního vzduchu. Použitím efektivního tepelného výměníku a jednoho či více kapalina-kapalina zařízení lze vytvořit velmi výkonný a přitom kompaktní systém. Kapalinové chladiče jsou vyrobeny z anodizovaného hliníku. Ke zlepšení přenosu tepla jsou do kapalinových kanálů vloženy turbulátory. Standardní zařízení jsou optimalizována na vysokou chladicí kapacitu a výkonnost spíše než na dosažení maximálního delta T. Typickými aplikacemi jsou: medicínská a analytická zařízení, chlazení/zahřívání procesních kapalin.

Instalace

Pro vynikající výkonnost dokonce při nižších průtocích kapaliny, nebo pokud je chlazen plyn, jsou vkládány do kapalinových kanálů turbulátory. Pokud aplikace vyžaduje průtok bez poklesu tlaku, mohou být turbulátory odstraněny. Doporučený průtok kapaliny na teplé straně je 2 l/min nebo více. Nižší průtokové hodnoty vedou k lehkému snížení chladicího výkonu. Doporučenými kapalinami jsou voda s glykolem nebo fluorinert (3M). Je vhodné použít čerpadlo s malou tepelnou propustností a vyvíjením vlastního tepla.

Rovněž je nutno zajistit tepelnou izolaci kapalinového chladiče a potrubí ke zmenšení tepelné propustnosti.

Obecné zásady pro konstrukci a montáž jednotlivých systémů

- minimalizace tepelných ztrát a kondenzace par izolováním všech možných studených povrchů v systému.
- zajištění dobré ventilace na teplé straně.
- oddělení vstupního vzduchu od výstupního vzduchu, pokud je to nutné, použitím vzduchovodů a hadic.
- pokud je teplá strana vestavěna, je nezbytné se ujistit, že vstupní vzduch přichází zvenčí.
- externí jištění s rozsahem alespoň 150% jmenovitého proudu.

Napětí

Vzhledem k tomu, že TE princip vyžaduje stejnosměrné napětí, TE zařízení pracují pouze s tímto napětím. Všechna standardní zařízení jsou navržena pro 12-24 voltů, ale existují také 48V verze u větších zařízení a 5V verze u těch nejmenších. Napájecí napětí standardních ventilátorů musí být v toleranci $\pm 10\%$ jmenovitého napětí a mít maximálně 5% zvlnění, aby bylo dosaženo optimální funkčnosti a životnosti. Pro ventilátory nepoužívejte spínané PWM zdroje (zdroje s modulovanou šířkou pulsu). Vstupní napětí pro TEM může být reverzováno pro zahřívání a regulováno dolů až na 0V a nahoru až na 110% jmenovitého napětí. U spínaných PWM zdrojů používejte PWM frekvenci nad 5 kHz, abyste zabránili zkrácení životnosti vinou jevu tepelného kolísání na TE modulech.

Ventilátory

Ventilátor je jedinou pohyblivou částí v termoelektrickém zařízení (vzduchové systémy). Proto je zřejmý vztah mezi životností ventilátorů a životností celého zařízení. Všechny standardní ventilátory jsou bez uhlíků a jsou osazeny kuličkovými ložisky. Předpokládaná životnost při 25°C je 50 tisíc hodin provozu.

Podívejme se na skutečná čísla. Představme si, že musíme odčerpávat z uzavřené schránky 25W, aby teplota ve vnitřním prostoru byla zchlazena z 20°C okolí na 3°C. K dosažení této teploty budeme muset snížit teplotu studeného konce k nule. Použijeme Peltierův článek, který napájíme stejnosměrným zdrojem 4,1A/10,4V. Teplá strana systému bude muset uvolnit 25W tepelného výkonu plus 42,6W napájení TE modulu (celkem 67,6 W) . Při využití chladiče teplé strany článku s ventilátorem s efektivním tepelným odporem 0,148°C/W, stoupne teplota teplého konce přibližně o 10°C nad okolní. Mělo by být zmíněno, že k dosažení 17°C rozdílu teplot mezi teplotou ve schránce a okolní musíme vytvořit 30°C teplotního rozdílu mezi stranami Peltierova článku.

3.7 Výpočet parametrů článku

Vhodný TEM pro aplikace je závislý minimálně na třech parametrech. Těmito parametry jsou : teplota horkého konce T_h , teplota studeného konce T_c a množství tepla, které má být absorbováno na studené straně. Teplá strana TEM je strana, na které je uvolňováno teplo po připojení stejnosměrného zdroje. Tato strana je připevněna k chladiči .Při použití vzduchem chlazeného chladiče (přirozená či nucená konvekce), může být teplota horké strany vypočtena použitím vzorců 1 a 2

$$T_h = T_{okolí} + \theta \cdot Q \quad (1)$$

$$Q_h = Q_c + P \quad (2)$$

T_h - teplota studeného konce (K)

$T_{okolí}$ - teplota okolí (K)

θ - tepelný odpor (°C.W⁻¹)

Q_h - teplo uvolněné teplou stranou (W)

Q_c - teplo absorbované ze studené strany (W)

P - příkon (W)

Vstupní příkon termočlánku P je určen proudem a napětím.

$$P = U \cdot I \quad (3)$$

Odhad Q_c , množství tepla ve wattech absorbovaného ze studené strany je obtížný, protože musí být zváženy všechny tepelné zátěže v konstrukci. Mezi ně patří:

1. Aktivní:

- teplo disipované z elektronických prvků
- jakékoliv teplo vyvíjené chemickou reakcí

2. Pasivní :

- radiace (tepelná ztráta mezi dvěma blízkými objekty s rozdílnými teplotami)
- konvekce: (tepelná ztráta vzduchem, pokud má vzduch jinou teplotu než objekt)
- ztráty izolační
- ztráty vedením (tepelná ztráta skrze vedení, šrouby, atd.)
- přenosová ztráta (čas potřebný ke změně teploty objektu)

Všechny články jsou navrženy pro $I_{\max}$, $U_{\max}$, $Q_{\max}$, a $\Delta T_{\max}$ při specifických hodnotách T_h . Práce na úrovni či blízko maximálního výkonu je relativně neefektivní vzhledem k vnitřnímu zahřívání (Jouleovo teplo) při vysokém výkonu. Proto články obecně pracují mezi 25% - 80 % maximálního proudu. Příkon termočlánku určuje teplotu horké strany a chladičový výkon při dané zátěži.

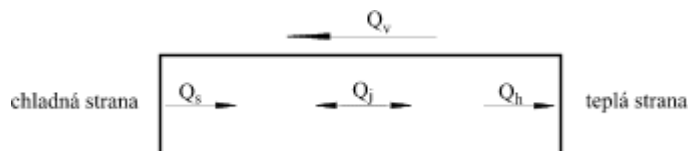
Teplotní difference termočlánku ΔT se vztahuje k T_h a T_c dle rovnice 4

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (4)$$

Při činnosti článku má proud tekoucí skrze něj dva efekty: Peltierův jev (chlazení) a Jouleův jev (zahřívání). Jouleův jev je úměrný čtverci proudu. Proto při zvyšování proudu začíná Jouleovo teplo převažovat nad Peltierovým chlazením a způsobuje ztrátu čistého chlazení. Toto omezení určuje $I_{\max}$ pro článek.[2]

3.7.1 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.10).



Obr. 10. Tepelné bilance Peltierova článku

Na studené straně o teplotě T_s (K) se odnímá tepelný výkon Q_s (W) - tzv. Peltierův chladicí výkon, který je úměrný termoelektrickému napětí Peltierova článku a velikosti procházejícího proudu I (A) dle vztahu:

$$Q_s = \alpha \cdot T_s \cdot I \quad (5)$$

Na teplé straně o teplotě T_h (K) se uvolňuje Peltierův tepelný výkon Q_h (W) do okolí dle vztahu -

$$Q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I \quad (6)$$

Účinkem procházejícího proudu vzniká uvnitř článku Jouleovo teplo –

$$Q_j = R \cdot I^2 \quad (7)$$

kde R (Ω) je vnitřní odpor Peltierova článku. Vlivem teplotního rozdílu mezi teplou a studenou stranou článku a díky tepelné vodivosti článku K se šíří teplo Q_v (W) dle vztahu –

$$Q_v = K \cdot \Delta T \quad (8)$$

kde K je dáno vztahem –

$$K = \frac{S}{l} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (9)$$

S – průřez polovodičových sloupků (m^2)

l – délka sloupků (m)

$\lambda_{1,2}$ – tepelné vodivosti obou polovodičových sloupků ($\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)

Budeme-li předpokládat, že průběh teploty mezi teplou a studenou stranou je lineární, zanedbáme-li vliv přívodů a přechodových odporů a jiné jevy se nám výrazně neuplatní, můžeme vyjádřit chladicí výkon Q (W) n -násobného článku podle vztahu:

$$Q = n.(Q_s - \frac{1}{2}Q_j - Q_v) = n.(\alpha.T_s.I - \frac{1}{2}.R.I^2 - K.\Delta T) \quad (10)$$

Při předchozím předpokladu můžeme vyjádřit příkon n -násobného článku P (W), který se skládá ze dvou částí, a to Jouleova tepla Q_j a z výkonu potřebného na překonání termoelektrické síly, platí tedy:

$$P = n.(R.I^2 + \alpha.\Delta T.I) \quad (11)$$

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

$$Q_h = Q + P \quad (12)$$

Po dosazení (10) a (11) do (12) dostaneme:

$$Q_h = n.(\alpha.T_h.I + \frac{1}{2}R.I^2 - K.\Delta T) \quad (13)$$

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 (13) plyne, že účinnost topení termoelektrickým článkem je vyšší než u ohřevu pouhým Jouleovým teplem. Účinnost topení je dána vztahem:

$$\varepsilon_h = \frac{Q_h}{P} \quad (14)$$

Účinnost chlazení je vyjádřena chladicím faktorem, tj. poměrem chladicího výkonu k příkonu:

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} \quad (15)$$

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

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_i}\right) - 1} \quad (16)$$

Výraz (16) vyjadřuje poměr tepla absorbovaného první kaskádou k celkovému tepelnému výkonu vyzařovanému na teplé straně článku, tj. chladicí účinnost kaskádního článku. Pro vyzařovaný tepelný výkon na poslední kaskádě platí:

$$Q_{hn} = Q + \sum_{i=1}^n P_n \quad (17)$$

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.[2,3,5]

3.7.2 Určení konstant pro jeden Peltierův článek

Výpočet tepelné vodivosti

Nejdříve upravíme vztah (10) pomocí (4) a dostaneme:

$$Q = n \cdot (\alpha \cdot (T_h - \Delta T) \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2 - K \cdot \Delta T) \quad (18)$$

a) určíme Q pro $\Delta T = 0$

$$Q_0 = n \cdot (\alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2) \quad (19)$$

b) určíme ΔT pro $Q = 0$

$$\Delta T_0 = \frac{\alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2}{\alpha \cdot I + K} \quad (20)$$

Podělením výrazů (19) a (20) a malou úpravou dostaneme vztah pro tepelnou vodivost jednoho Peltierova článku:

$$K = \frac{Q_0}{n \cdot \Delta T_0} - \alpha \cdot I \quad (21)$$

Pro malé proudy je možno výraz zjednodušit:

$$K = K_0 = \frac{Q_0}{n \cdot \Delta T_0} \quad (22)$$

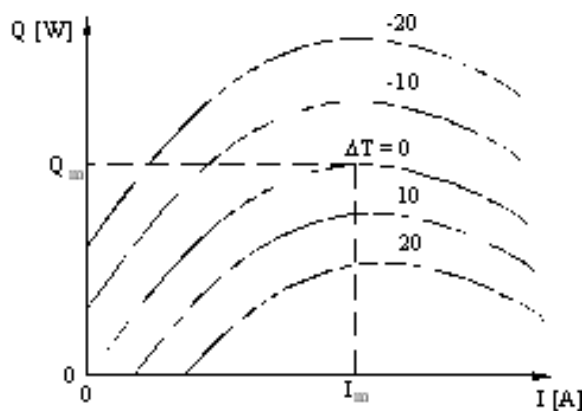
kde K_0 je tepelná vodivost při nulovém proudu.

Určení konstant R a α

Při nulovém teplotním rozdílu mezi teplým a studeným koncem ($\Delta T = 0$) viz. vztah (19) - platí:

$$Q_m = n \cdot (\alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} R \cdot I^2) \quad (23)$$

Ze závislosti (příklad této závislosti viz. obr.5) určíme maximální chladicí výkon $Q_{\max}$ při parametru $\Delta T = 0$ a pro tento výkon odečteme příslušnou hodnotu proudu $I_{\max}$.



Obr. 11. Charakteristika Peltierova článku
dle výrobce

Derivací vztahu (10) podle I dostaneme výraz:

$$\frac{dQ}{dI} = n \cdot (\alpha \cdot T_s - R \cdot I_m) = 0 \Rightarrow I_m = \frac{\alpha \cdot T_s}{R} \quad (24)$$

Po dosazení vztahu (25) do (24) a úpravou dostaneme:

$$R = \frac{2 \cdot Q_m}{n \cdot I_m^2} \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{R \cdot I_m}{T_s} \quad (26)$$

3.7.3 Příklad využití výše uvedených vztahů

Pomocí výše uvedených vztahů je možno určit jednotlivé parametry Peltierova článku, tj. vypočítat jeho účinnost, chladicí a tepelný výkon při požadovaném teplotním rozdílu na jeden Peltierův článek nebo na kaskádu Peltierových článků. Pro názornost uvedeme příklad výpočtu jednotlivých parametrů.

Máme k dispozici Peltierův článek s následujícími parametry, které udává výrobce –

$T_h = 27^\circ\text{C}$ (teplota teplé strany Peltierova článku)

Teplotní rozsah: -150°C až $+70^\circ\text{C}$

Tab. 1. Výrobce udávané hodnoty

$I_{\max}$ (A)	$\Delta T_{\max}$ ($^\circ\text{C}$)	U (V)	Q_{cmax} (W)	a (mm)	b (mm)	h (mm)	Počet elementů
3,3	60	1,9	3,9	15	15	4,7	17

Kde

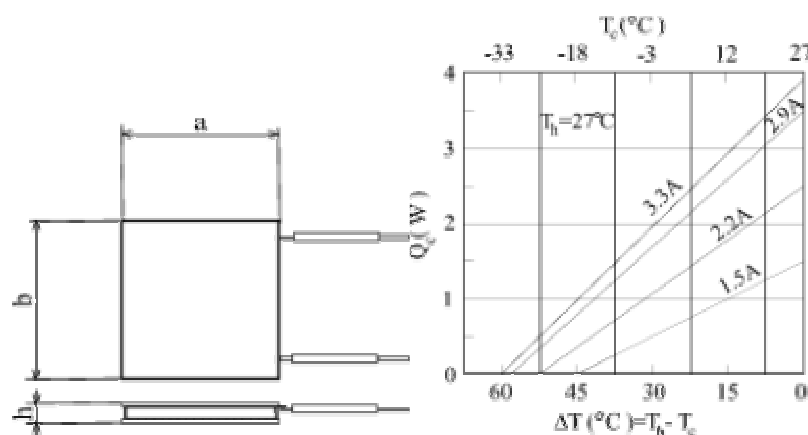
a, b, h - jsou rozměry Peltierova článku (dle obr.12).

$I_{\max}$ - je maximální proud, jakým můžeme Peltierův článek napájet

U - je doporučené napětí na Peltierově článku

$\Delta T_{\max}$ - je maximální teplotní rozdíl, jaký je možno na daném článku dosáhnout

$Q_{\max}$ - je maximální chladicí výkon Peltierova článku



Obr. 12. Rozměry a charakteristiky Peltierova článku
udávané výrobcem

Na levé straně obr.12 jsou zobrazeny rozměry Peltierova článku, v jeho pravé části je znázorněna závislost chladicího výkonu článků na teplotním rozdílu obou ploch článků při konstantní teplotě teplé strany $T_h = 27^\circ\text{C}$ a při daném napájecím proudu. Tepelnou vodivost K vypočítáme podle vztahu (19).

Q_0 odpovídá chladicímu výkonu při $\Delta T = 0$. Z grafu (obr.12.) určíme pro $I = 1.5\text{A}$

$Q_0 = 1.5\text{W}$.

ΔT_0 odpovídá teplotnímu rozdílu při $Q = 0$. Z grafu (obr.č.12.) určíme pro $I = 1.5\text{A}$

$T_0 = 45^\circ\text{C}$.

$n=17$...počet Peltierových elementů v článku.

Po dosazení dostaneme:

$$K = 1.96 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Pro výpočet elektrického odporu R jednoho Peltierova článku použijeme vztah (22). Za hodnoty $Q_{\max}$ a $I_{\max}$ dosadíme maximální hodnoty udávané výrobcem, tj. maximální chladicí výkon $Q_{\max} = 3.9 \text{ W}$ a maximální napájecí proud $I_{\max} = 3.3 \text{ A}$.

Odpor R_i jednoho Peltierova článku má velikost:

$$R_i = 0.042 \text{ W}$$

Termoelektrického napětí Peltierova článku určíme dle vztahu (23) kde $T_s = T_h = 300.15 \text{ K}$. Po dosazení a výpočtu dostaneme:

$$\alpha = 462 \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$$

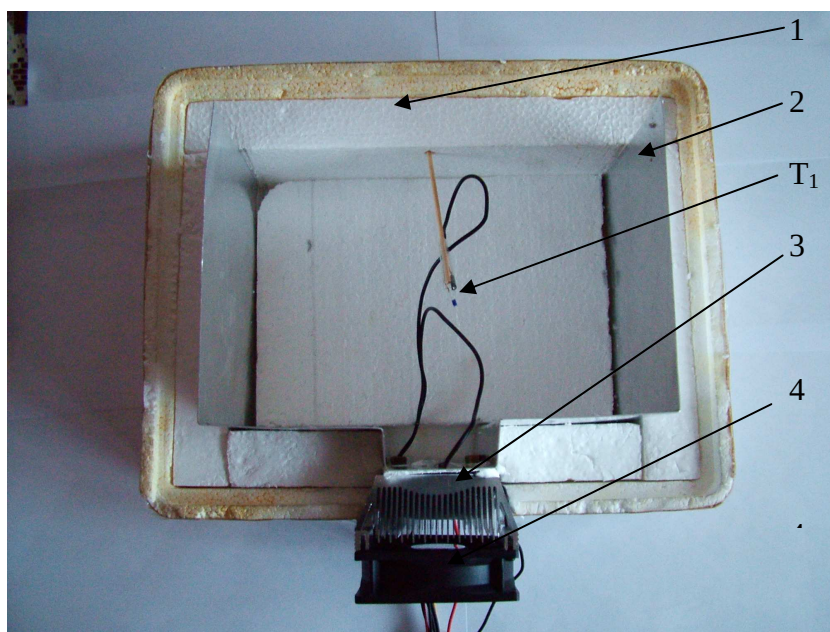
[2,5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

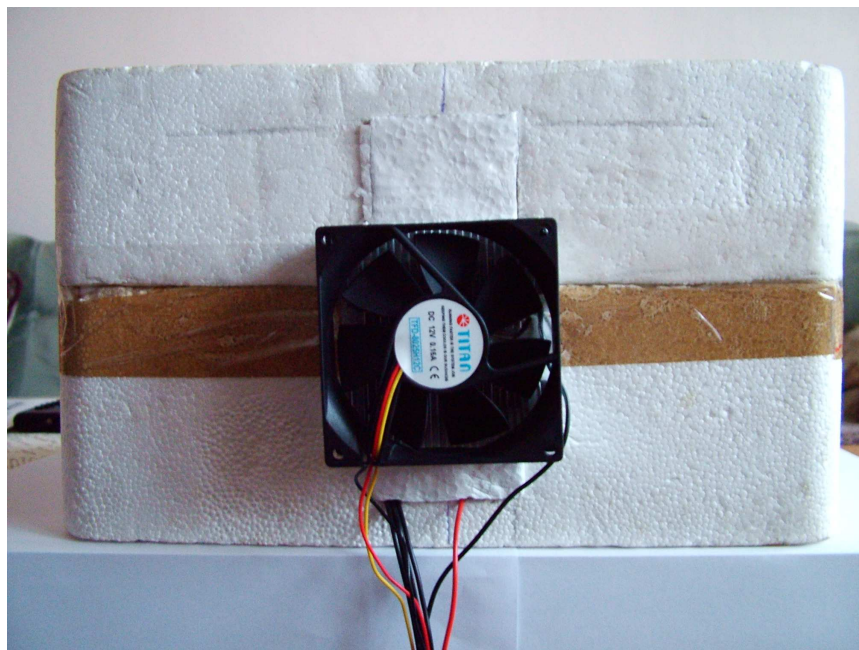
4 NÁVRH A REALIZACE MODELU

Pro ověření vlastností Peltierova článku jsem sestavil praktický model – polystyrénovou schránku (1), kde uprostřed stěny je umístěn mezi dvěma chladiči Peltierův článek dle obr.13. Spojení chladičů mezi článkem je provedeno dvěma plastovými šroubky. Pro zajištění co nejmenšího prostupu tepla z okolního prostředí do vnitřního prostoru schránky, bylo nutno dostatečně tepelně odizolovat všechny potenciální tepelné mosty. Schránka byla složena ze dvou dílů, které byly při měření přelepeny páskou.

Menší chladič (2) sloužící pro absorpci tepla z chlazeného prostoru je umístěn uvnitř schránky. Větší chladič (3), zajišťující uvolnění tepla do okolního prostředí je umístěn na vnější straně. Vnitřní chladič je vyroben z hliníkového plechu o ploše S_1 který je vytvarován po povrchu tří stěn schránky. Jako druhý chladič je použit PC chladič procesoru o ploše S_2 s ventilátorem (4) pro aktivní odvod tepla. Předběžným měřením, uskutečněním ve fázi doladování modelu, jsem totiž zjistil, že pasivní chladič – byť dostatečně plošně dimenzovaný – nezajišťuje adekvátní chlazení teplé strany článku a celému systému tak velmi klesá účinnost.

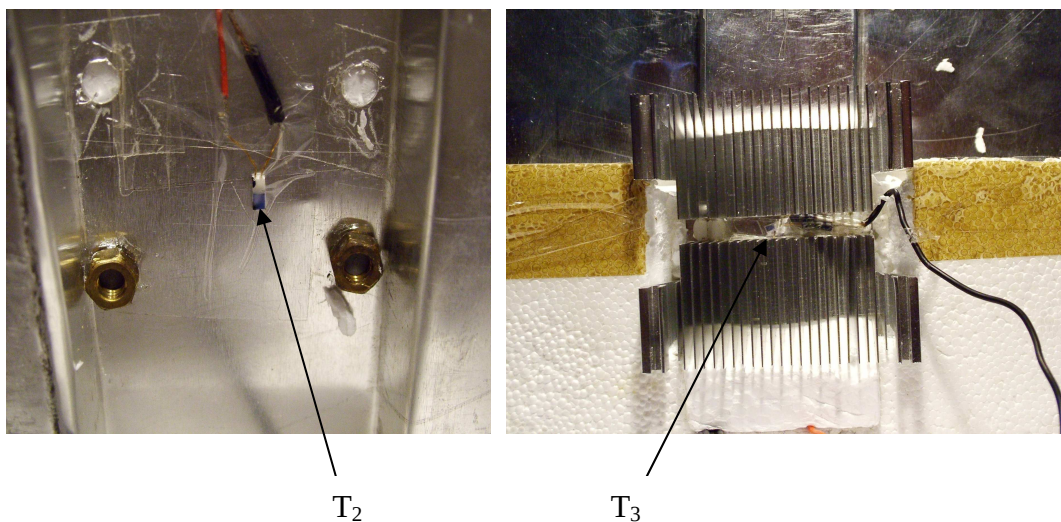


Obr. 13. Vnitřní pohled



Obr. 14. Měřicí aparatura

Další součást modelu je měření teploty, které slouží pro vyhodnocení měření. Měřil jsem čtyři teploty: uvnitř boxu T_1 , na studené straně Peltierova článku T_2 , na teplé straně Peltierova článku T_3 a teplotu okolí T_4 .



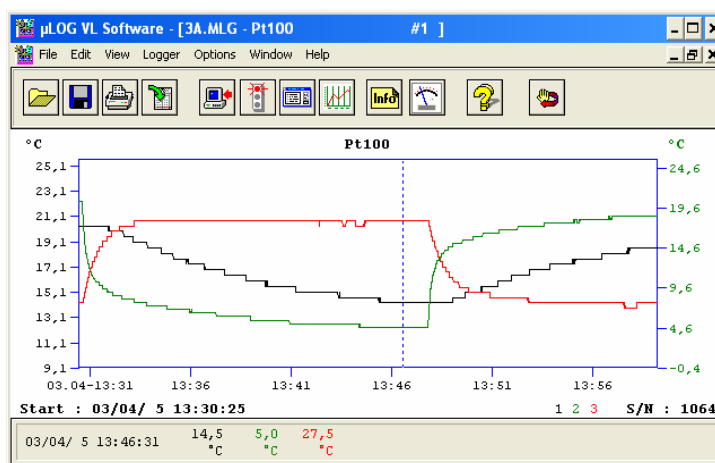
Obr. 15. Umístění senzorů Pt100

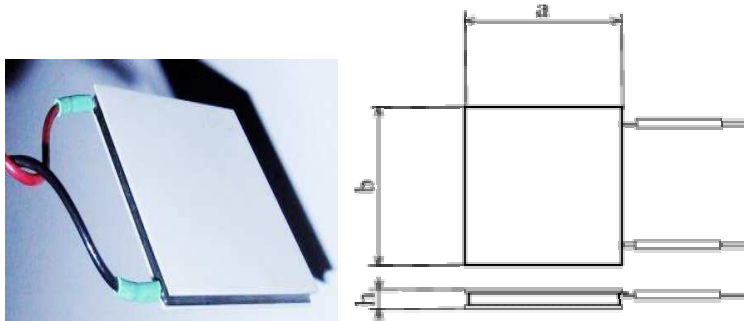
K měření teplot jsem použil čtyři senzory Pt100, jejichž měřené údaje byly pomocí převodníků vyhodnocovány v PC. Teplotní snímače pro měření teploty studené a teplé strany článku jsou přilepeny pomocí pásky přímo na chladiče. Snímač teploty vnitřního prostoru schránky je umístěn na dřevěné tyčince přibližně ve středu prostoru. Snímač venkovní teploty je umístěn volně v prostoru, ve kterém je prováděno měření, samozřejmě mimo dosah teplého vzduchu proudícího z venkovního chladiče. Teplota okolí byla během měření konstantní.

Měřicí aparatura se skládá z popsaného modelu, zdroje stejnosměrného napětí pro napájení Peltierova článku, ampérmetru, voltmetru, převodníků Wieland pro převod odporu na unifikovaný signál 0-10 V, μ Log jednotky pro převod naměřených údajů přes rozhraní RS232 do PC a zdroje pro napájení převodníků a ventilátoru.

Stabilizovaný stejnosměrný zdroj pro napájení Peltierova článku je regulovatelný 0-30V/3A. Maximální proud pro měřený článek je 4,6 A, ale pro mé měření byl dostačující i tento použitý zdroj. Pro měření napětí a proudu jsou použity běžné multimetry. Převodníky pro převod odporu na napětí 0-10V jsou od firmy Wieland a snímače teploty jsou zapojeny dvouvodičově. Napájení převodníků je ze stejnosměrného zdroje 0-24 V/1,5 A. Tento zdroj slouží také pro napájení ventilátoru.

Naměřená data se převáděla přes jednotku μ Log do PC. Jednotka μ Log je zapojena k PC přes rozhraní RS 232. Naměřená data jsou pomocí programu zobrazována na monitoru dle obr.16. a uloženy pro další vyhodnocení.



Obr. 16 Příklad měření teploty v programu μLog 

Obr. 17. Měřený Peltierův článek

Tab. 2. Parametry měřeného článku

$I_{\max}(\text{A})$	$\Delta T_{\max}(\text{°C})$	$U(\text{V})$	$Q_{\text{cmax}}(\text{W})$	$a(\text{mm})$	$b(\text{mm})$	$h(\text{mm})$
4,6	60	8,5	27	30	30	4,1

$I_{\max}$ – maximální proud (A)

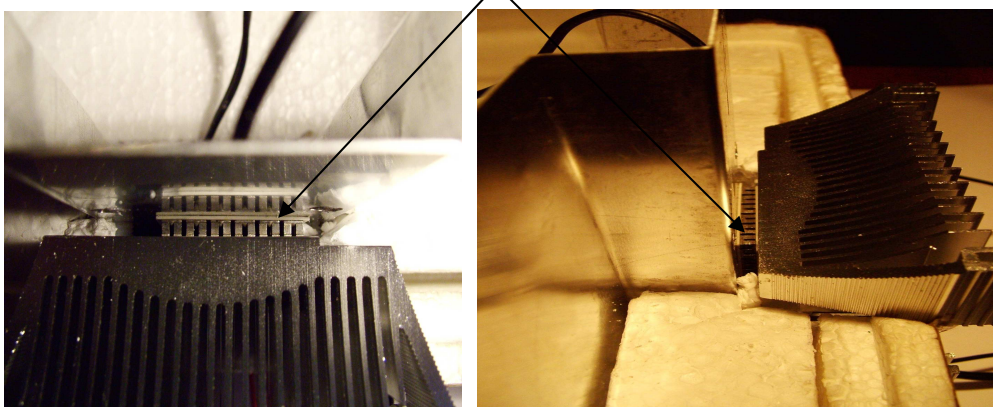
$\Delta T_{\max}$ – maximální teplotní diference (°C)

U – napětí (V)

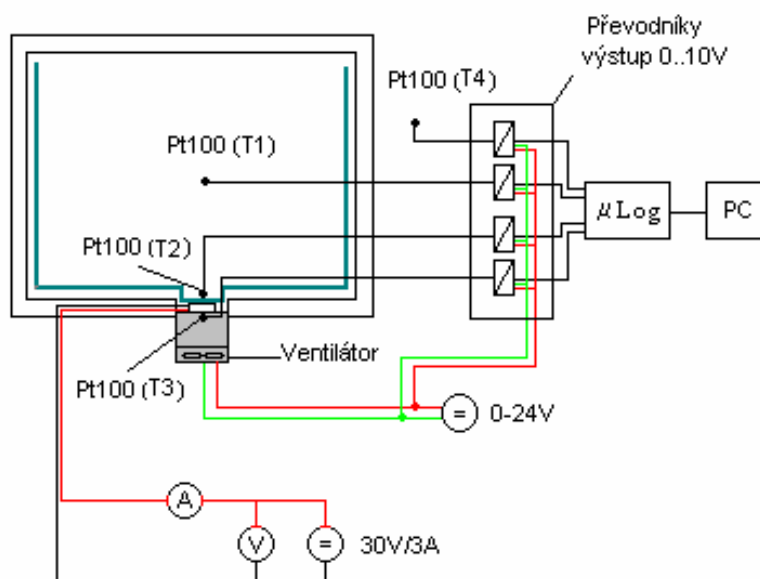
Q_{cmax} – maximální výkon (W)

a, b, h - jsou rozměry Peltierova článku (mm)

Peltierův článek



Obr. 18. Detailní pohled na umístění Peltierova článku



Obr. 19. Schéma zapojení měřící aparatury

Dle navrženého modelu jsem sestavil následující rovnice popisující funkci laboratorní sestavy [1]. Příkon Peltierova článku P (W)

$$P = U \cdot I \quad (27)$$

U – napětí (V)

I – proud (A)

Tok energie konvekcí uvnitř schránky Q_1 (W)

$$Q_1 = h_1 \cdot S_1 \cdot (T_2 - T_1) \quad (28)$$

Tok energie konvekcí na povrchu schránky Q_2 (W)

$$Q_2 = h_2 \cdot S_2 \cdot (T_3 - T_4) \quad (29)$$

Přenos tepla vedením Q_3 (W)

$$Q_3 = k \cdot S_3 \cdot (T_1 - T_4) \quad (30)$$

$h_{1,2}$ – součinitele prostupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

$S_{1,2}$ – plocha (m^2)

T_1 – teplota uvnitř krabice (K)

T_2 – teplota studené strany Peltierova článku (K)

T_3 – teplota horké strany Peltierova článku (K)

T_4 – teplota okolí (K)

kde k je součinitel přestupu tepla vypočítaný dle rovnice (31)

$$k = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} \quad (31)$$

d – tloušťka stěny (mm)

λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Chladicí výkon Q (W)

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (32)$$

Celkový výkon Q_c (W)

$$Q_c = P + Q \quad (33)$$

5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

5.1 Naměřené a vypočítané hodnoty

Dle uvedených vztahů v předchozí kapitole jsem vypočítal následující údaje, které jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 3.. Naměřené a vypočtené hodnoty

I (A)	U (V)	ΔT (K)	T_3 (K)	T_2 (K)	P (W)	Q (W)	Q_c (W)	ε
0	0	0	294,15	294,15	0	0	0	0
0,5	0,8	5	295,15	290,15	0,40	0,207	0,607	0,517
1	1,7	11	296,15	285,15	1,70	0,828	2,528	0,487
1,5	2,6	15	297,15	282,15	3,90	1,242	5,142	0,318
2	3,4	18	298,15	280,15	6,80	1,656	8,456	0,243
2,5	4,3	21	299,65	278,65	10,75	2,277	13,027	0,212
3	5,1	22,5	300,65	278,15	15,30	2,691	17,991	0,176

I - proud (A)

U – napětí (V)

ΔT – teplotní difference (K)

T_2 – teplota studeného konce Peltierova článku (K)

T_3 – teplota horkého konce Peltierova článku (K)

P - příkon článku (W)

Q - chladičový výkon (W)

Q_c - celkový výkon (W)

ε – chladičový faktor (-)

5.1.1 Příklad výpočtu posledního řádku tabulky:

$$P = U \cdot I = 3,15 \cdot 5,1 = 15,3 \text{ W}$$

$$Q_1 = h_1 \cdot S_1 \cdot (T_1 - T_2) = 5,0 \cdot 0,55 \cdot (287,65 - 278,15) = 2,6125 \text{ W}$$

$$Q_2 = h_2 \cdot S_2 \cdot (T_3 - T_4) = 12,00345 \cdot (300,65 - 294,15) = 2,691 \text{ W}$$

$$k = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} = \frac{1}{\frac{0,045}{0,043} + \frac{1}{5} + \frac{1}{12}} = 0,751967 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q_3 = k \cdot S_3 \cdot (T_4 - T_1) = 0,751967 \cdot 0,5437 \cdot (294,15 - 287,65) = 2,657 \text{ W}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2,691 \text{ W}$$

$$Q_c = P + Q = 15,3 + 2,691 = 17,991 \text{ W}$$

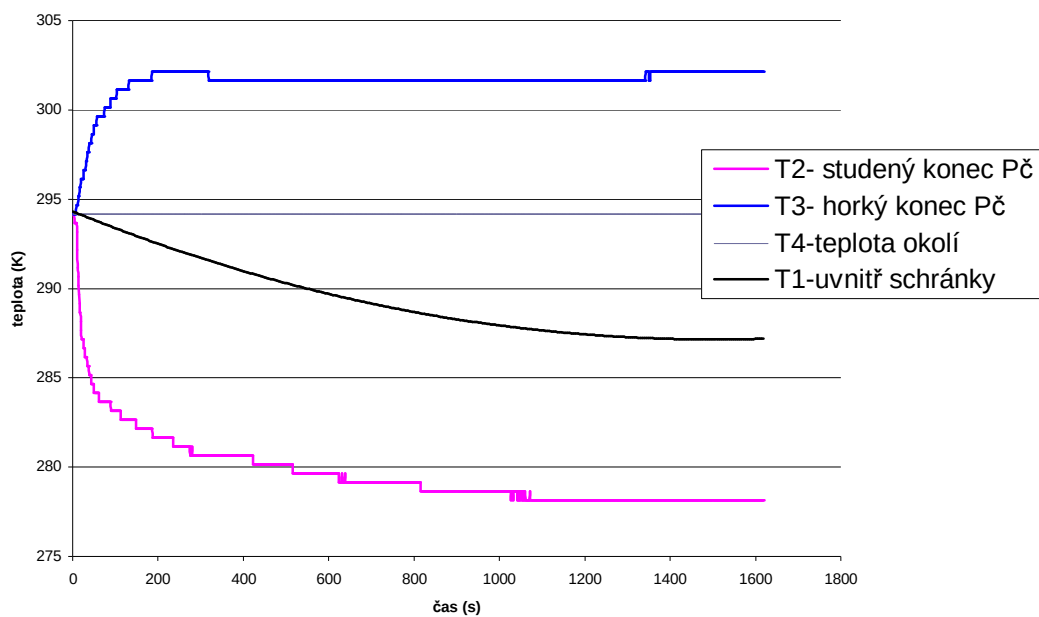
Účinnost chlazení je vyjádřena chladicím faktorem, tj. poměr chladicího výkonu k příkonu

–

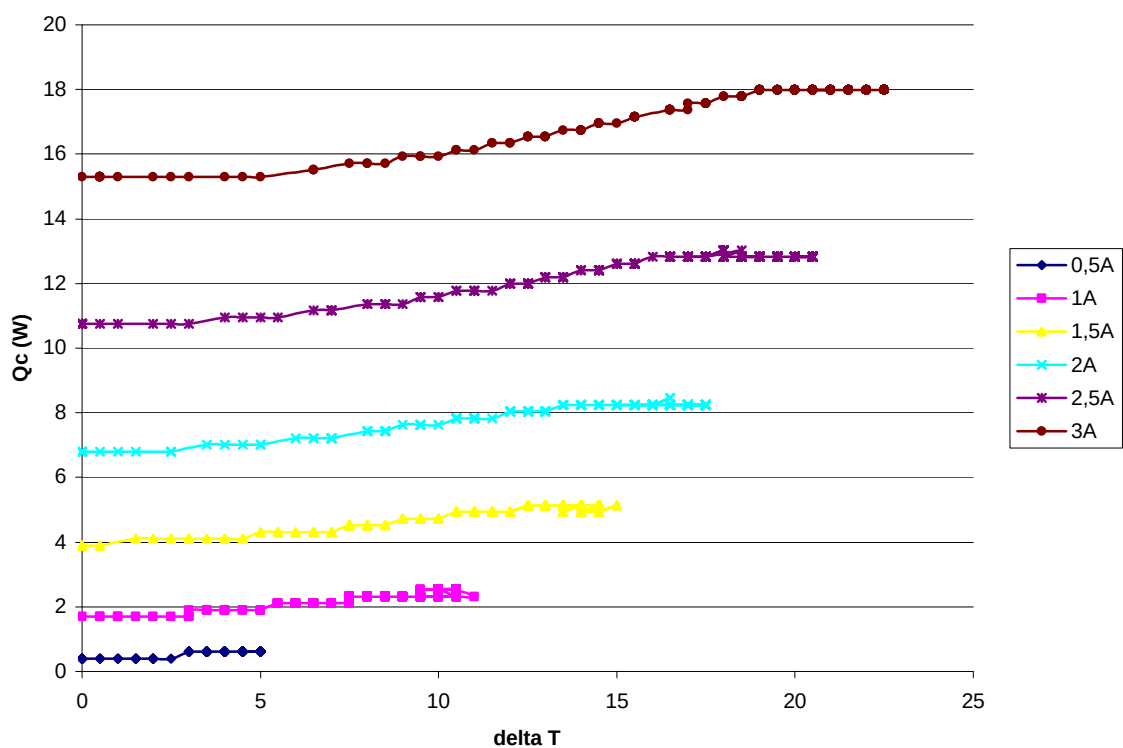
$$\varepsilon = \frac{Q}{P} = \frac{2,691}{15,3} = 0,175882$$

5.1.2 Diskuze výsledků

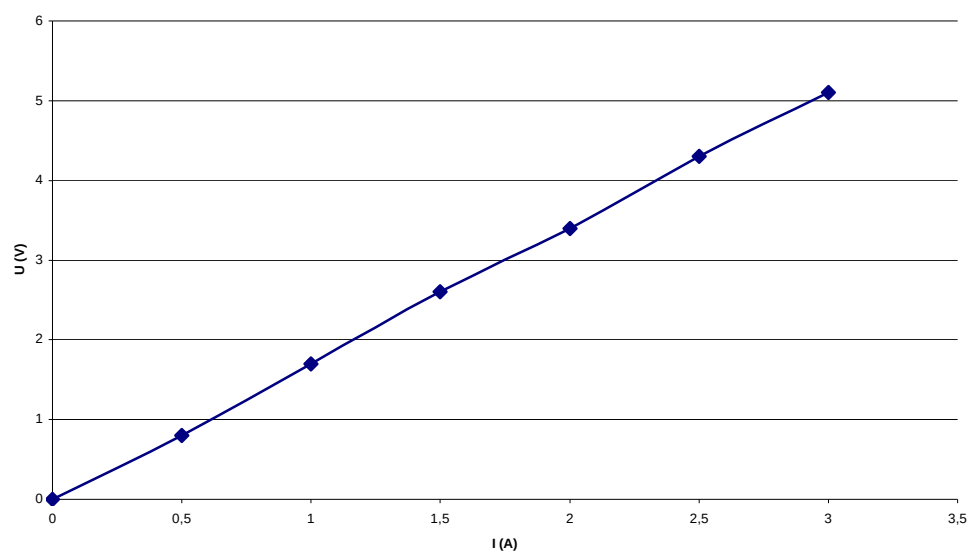
Při měření mohla vzniknout chyba způsobená nedostatečným oddělením vnitřního prostoru schránky od okolního prostředí. Jak jsem výše uvedl, spoje byly sice přelepeny páskou, ale v prostoru mezi článkem a chladiči mohla vzniknout nedokonale odizolovaná plocha, která mohla způsobit přestup tepla do vnitřního prostoru. To mohlo způsobit odchylky při výpočtu uvedených hodnot toku tepla.



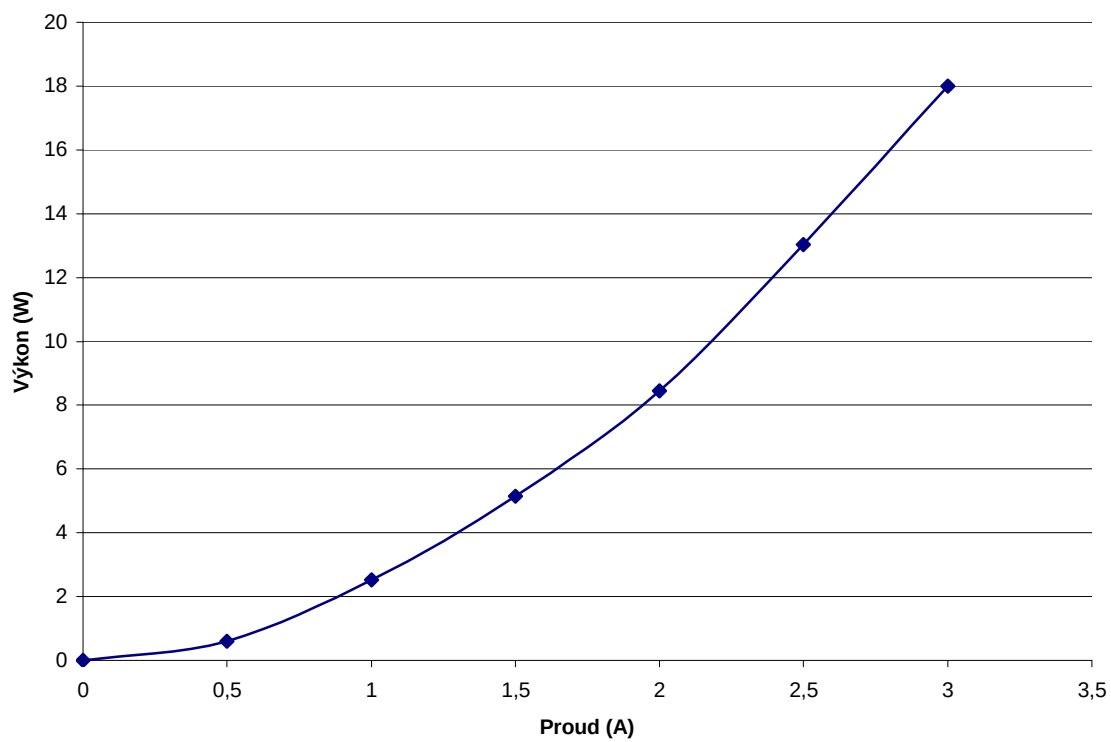
Obr. 20. Graf naměřených teplot v závislosti na čase



Obr. 21. Graf závislosti celkového výkonu na delta T při změnách proudu

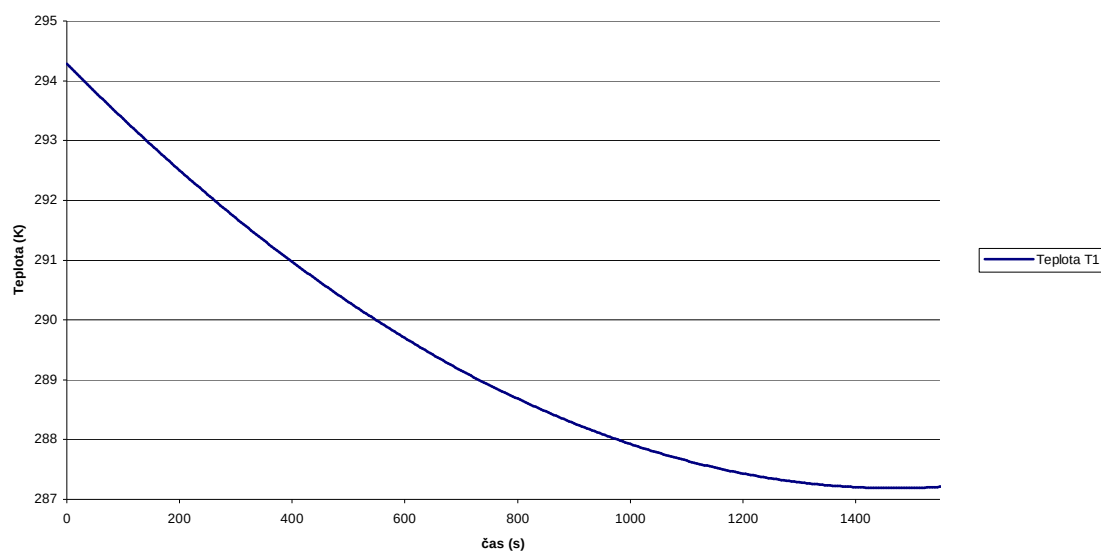


Obr. 22. Naměřená voltampérová charakteristika článku



Obr. 23. Graf závislosti celkového výkonu na proudu

Dynamické vlastnosti:



Obr. 24. Graf závislosti teploty uvnitř schránky na čase

Dle průběhu naměřené přechodové charakteristiky obr.24 závislosti teploty na čase jsem určil dynamické vlastnosti soustavy.

Aproximace soustavou prvního řádu:

$$G(s) = \frac{k}{Ts + 1} = \frac{-7}{287,5s + 1}$$

$G(s)$ – přenos soustavy

k – zesílení

T – časová konstanta (s)

ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku Peltierova článku. Cílem práce bylo podrobné seznámení se s teorií, vlastnostmi Peltierových článků a na sestaveném praktickém modelu si tyto vlastnosti zjistit a ověřit.

V teoretické části je podrobně uvedena teorie, složení a princip funkce Peltierových článků. Princip tohoto zařízení byl znám již dlouho, ale jeho unikátní vlastnosti se začínají rozvíjet v praxi teprve až v současné době, protože díky neustále se zdokonalujícím technologiím zpracování polovodičů se daří zvyšovat účinnost Peltierova článku na úroveň použitelnou v praktických aplikacích. Peltierovy články nacházejí uplatnění v různých odvětvích lidské činnosti a jejich použití se neustále rozvíjí.

Mezi jejich výhody patří soustředění chladicího nebo topného účinku na velmi malou plochu. Jsou spolehlivé, nemají žádné mechanické části, nevydávají žádné rušivé zvuky ani vibrace, teplota se dá snadno regulovat změnou velikosti napájecího proudu, mají plochý tvar, takže ohřev nebo chlazení dané stěny či plochy je rovnoměrné. Nevýhodou oproti běžným kompresorovým a absorpčním agregátům je, že nedosahují takových tepelných parametrů.

V praktické části jsem sestavil model, na kterém jsem si sám ověřil zjištěné poznatky z teoretické části. Zjistil jsem měřením, že uvedené teoretické vlastnosti jsou v praxi aplikovatelné. Teplota se dá snadno regulovat změnou velikosti proudu a změna toku proudu způsobí (dle teorie), že z dříve studené strany Peltierova článku se stane strana teplá. Tok tepla se tedy změní a z chladicího zařízení se tak jednoduše stane zařízení pro výrobu tepla.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografické publikace:

- [1] MÍKA, Vladimír a kolektiv. *Chemicko inženýrské výpočty I*. 3. vyd. VŠCHT Praha : 1996. 314 s. ISBN 80-7080-255-3.

WWW stránka - elektronická monografie

- [2] Webové stránky firmy Melcor corporation. Dostupné z WWW:
<<http://www.melcor.com/>>.
- [3] Webové stránky firmy Kryotherm. Dostupné z WWW:
<<http://www.kryotherm.com/>>.
- [4] Webové stránky firmy Tellurex corporation. Dostupné z WWW:
<<http://www.tellurex.com/>>.
- [5] Webové stránky HW serveru. Dostupné z WWW:
<<http://www.hw.cz/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_s - teplota studeného konce (K)

$T_{\text{okolí}}$ - teplota okolí (K)

θ - tepelný odpor ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)

Q_h - teplo uvolněné teplou stranou (W)

Q_c - teplo absorbované ze studené strany (W)

P - příkon (W)

I_{max} – maximální proud (A)

U_{max} – maximální napětí (V)

Q_{max} – maximální výkon (W)

ΔT_{max} – maximální teplotní difference (K)

ΔT – teplotní difference (K)

T_s – teplota studeného konce (K)

Q_s - tepelný výkon (W)

Q_h - Peltierův tepelný výkon (W)

Q_j - Jouleovo teplo (W)

Q_v - teplo (W)

S – průřez polovodičových sloupků (m^2)

l – délka sloupků (m)

$\lambda_{1,2}$ – tepelné vodivosti obou polovodičových sloupků ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

R – vnitřní odpor Peltierova článku (Ω)

I – proud (A)

U – napětí (V)

Q - chladičový výkon (W)

P - příkon n-násobného článku (W)

ε_h - účinnost topení (-)

ε - účinnost chlazení (chladicí faktor) (-)

a, b, h - jsou rozměry Peltierova článku (mm)

Q_1 - tok energie konvekcí uvnitř schránky (W)

Q_2 - tok energie konvekcí na povrchu schránky (W)

Q_3 - přenos tepla vedením (W)

Q_c - celkový výkon (W)

$h_{1,2}$ - součinitel prostupu tepla ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

$S_{1,2}$ - plocha (m^2)

T_1 - teplota uvnitř schránky (K)

T_2 - teplota studeného konce Peltierova článku (K)

T_3 - teplota horkého konce Peltierova článku (K)

T_4 - teplota okolí (K)

$G(s)$ - přenos soustavy

k - zesílení

T - časová konstanta

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Peleta typu N</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2. Peleta typu P</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3. Paralelní zapojení pelet typu N</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4. Upravené zapojení pelet typu N (tepelná část spojena paralelně, elektrická sériově)</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5. Zapojení základní pelety</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 6. Vícepárová konfigurace zvyšuje kapacitu tepelného toku</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7. Struktura Peltierova článku</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8. Spojení více článků do kaskády</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9. Termoelektrický systém</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10. Tepelné bilance Peltierova článku</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 11. Charakteristika Peltierova článku dle výrobce</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 12. Rozměry a charakteristiky Peltierova článku udávané výrobcem</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 13. Vnitřní pohled</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 14. Měřicí aparatura</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 15. Umístění senzorů Pt100</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 16. Příklad měření teploty v programu μLog</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 17. Měřený Peltierův článek</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 18. Detailní pohled na umístění Peltierova článku</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 19. Schéma zapojení měřicí aparatury</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 20. Graf naměřených teplot v závislosti na čase</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 21. Graf závislosti celkového výkonu na ΔT při změnách proudu</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 22. Naměřená voltampérová charakteristika článku</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 23. Graf závislosti celkového výkonu na proudu</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 24. Graf závislosti teploty uvnitř schránky na čase</i>	<i>51</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Výrobce udávané hodnoty.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 2. Parametry měřeného článku.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 3.. Naměřené a vypočtené hodnoty.....</i>	<i>47</i>