



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Lednička s Peltierovým článkem

Lucián Čadan

Integrovaná střední škola Nová Paka,
Kumburská 846, 509 31 Nová Paka

Autor práce:	Lucián Čadan
Obor studia:	26-41-L/01 Mechanik elektrotechnik
Třída:	R3
Školní rok	2017/2018
Konzultanti:	Ing. Pavel Stránský Bc. Radomír Mikyska

Nová Paka 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem ročníkovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze uvedené podklady a literaturu.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze ročníkové práce jsou shodné.

Nemám žádný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/200 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Nové Pace dne:

Podpis:

Poděkování

Děkuji panu Ing. Pavlu Stránskému za odborný dohled, připomínky a rady k mé práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Bc. Radomíru Mikyskovi a panu Lízrovi za možnost práce na projektu i při odborném výcviku. Děkuji také panu Khunovi za rady ohledně termostatu a regulace teploty.

Anotace

Tato práce je zaměřená na využívání Peltierova článku a jeho uplatnění v chladičí technice. V následující práci popisuji přesnou funkci Peltierova článku, jeho problematiku, možnost využití a jeho efektivitu. Dále se zabývám regulací teploty za pomoci termostatu s hysterezí. Velkou kapitolou tohoto projektu je samotná konstrukce chladničky, kde chci dosáhnout kvalitně odizolovaného prostoru od okolní teploty. Mým cílem je sestavit chladničku využívající tento článek, s co největší úsporou elektrické energie za pomoci regulace teploty.

Anotation

This project is focused on the Peltier's module and its application in cooling technology. I describe specific function of Peltier's module, its problematic, possibility of using and its effectivity. Next I deal with temperature regulation with thermostat with hysteresis. The big issue in this project is construction of the fridge. I want to receive well done construction which will be completely isolated from outside temperature. My target is to construct a fridge, which will use this module with the highest effectivity of cooling and big save of energy with a help with temperature regulation.

Obsah

Úvod.....	6
1 Peltierův článek.....	7
1.1 Seebeckův jev	7
1.2 Peltierův jev	7
1.3 Druhy článků	8
1.4 Výhody, nevýhody a využití.....	8
2 Konstrukce ledničky	9
2.1 umístění článku a odvádění tepla z článku	10
3 Termostat	11
3.1 Schéma termostatu.....	11
3.2 Použité součástky	11
3.3 Tvorba a výroba plošného spoje termostatu	12
3.4 Popis funkce termostatu.....	13
3.4.1 Volba čidla	14
3.5 Nastavení termostatu	14
3.5.1 Indikace přerušení čidla	14
3.6 Zakrytování komponent.....	14
3.8 Konstrukční údaje chladničky	15
4 Měření veličin	16
4.1 Regulační cyklus.....	17
4.2 Výpočet efektivity chlazení	17
Závěr.....	18
Seznam použité literatury a zdrojů.....	19
Seznam použitých symbolů a zkratk	20
Seznam obrázků	21
Seznam tabulek a grafů	21
Seznam příloh.....	22
Přílohy	23

Úvod

V dnešní době je na trhu mnoho chladicích zařízení pracujících na různých principech. Nalezneme zde zařízení pracující na principu komprese (kondenzování páry chladiva) a zařízení pracující na termoelektrickém jevu, neboli přeměně elektrické energie na chlad či teplo. V této práci se budu věnovat termoelektrické přeměně elektrické energie na chlad.

K projektu chladničky s Peltierovým článkem mě přivedla myšlenka vyrobit si chladicí zařízení bez použití kompresoru a kondenzátoru, jako tomu je u klasických ledniček. Právě Peltierův článek má ideální vlastnosti pro tvorbu těchto malých chladicích zařízení. V následující práci popíši jeho výhody, nevýhody a možné využití nejen v chladicí technice. Dále se budu zabývat problematikou konstrukce izolovaných chladicích prostorů při malých konstrukčních rozměrech.

Za výstup práce považuji chladničku s dobře izolovaným vnitřním prostorem pro chlazení nápojů. Chladnička bude obstarána termostatem, za účelem úspory elektrické energie, kterým bude možné nastavovat požadovanou teplotu chlazeného prostoru. Práce bude doplněna o výpočty a měření všech potřebných elektrických veličin pro správnou a přesnou specifikaci chladničky.

1 Peltierův článek

Jádro celé chladničky tvoří Peltierův článek. Jedná se o součástku tvořenou mnoha polovodičovými můstky. Při průchodu proudu se jedna strana článku zahřívá a druhá chladí. Díky tomuto jevu jsme schopni vyrobit chladicí zařízení bez použití kompresoru, nebo chladicí kapaliny. Je zde mnoho využití a právě jedním z nich je chladicí box.

1.1 Seebeckův jev

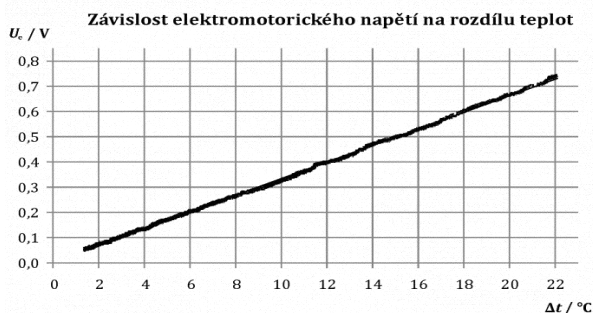
Jako první uvádím Seebeckův jev, jelikož byl objeven ještě před jevem Peltierovým (tyto dva jevy pracují přesně obráceně).

Seebeckův jev, který byl objeven roku 1821 německým fyzikem Thomasem Johannem Seebeckem, patří mezi tzv. termoelektrické jevy, které zahrnují přeměny tepelné energie na energii elektrickou a naopak. Spojíme-li dva různé vodiče (resp. polovodiče), získáváme dva jejich spoje. Pokud mají tyto spoje různou teplotu, naměříme mezi nimi elektromotorické napětí U_e , někdy označované jako napětí Seebeckovo – jde o tzv. Seebeckův jev.

Pro malé teplotní rozdíly Δt (v řádu desítek stupňů Celsia) lze generované elektromotorické napětí považovat za přímo úměrné právě členu Δt vztahem:

$$U_e = \alpha \Delta t$$

α [α]=V·K⁻¹ je tzv. relativní Seebeckův koeficient, který se bude měnit s materiály polovodičů



Graf 1- elektromotorické napětí

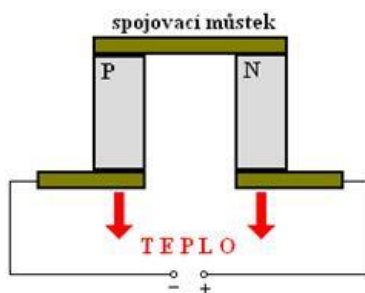
1.2 Peltierův jev

Tento jev byl objeven roku 1834 francouzským fyzikem Jeanem Athanasem Peltierem. Jedná se o opak Seebeckova jevu. Zatímco Seebeckův jev popisuje vznik napětí při zahřívání článku, Peltierův jev popisuje chování článku při průchodu proudu.

Při průchodu proudu článkem se vytvoří rozdíl teplot mezi stranami v závislosti na polaritě napájení (při prohození vstupních svorek se článek začne zahřívát tam, kde předtím chladil).

Peltierův článek se skládá ze dvou tělísek vyrobených z polovodičů (nejčastěji bismutu a telluru) a spojovacího můstku. Tyto polovičky jsou opačné vodivosti (N a P). Spojovacím můstkem se přivádí do článku elektrická energie a absorbuje (resp. odvádí) se jím teplo z Peltierova článku.

Obrázek 1 – spojené polovodiče



1.3 Druhy článků

Jednotlivé články se liší svým maximálním výkonem, teplotním rozdílem ΔT , velikostí a tedy i počtem PN přechodů (až 300 párů).

Pro svůj projekt jsem zvolil článek TEC-12706 viz specifikace:

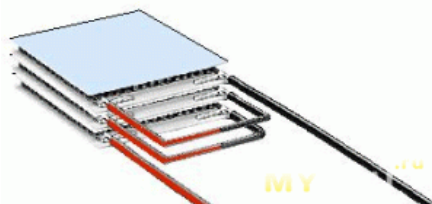
Hot Side Temperature (°C)	25	50
Qmax (W)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (A)	6,4	6,4
V _{max} (V)	14,4	16,4
Module Resistance (Ω)	1,98	2,3

Tabulka 1- specifikace článku TEC-12706

Tento článek je dostačující a poměr ceny a výkonu je zde velmi dobrý. Cena tohoto článku se pohybuje od 150 do 200,- Kč.

Avšak na trhu nalezneme nejen články pro domácí sestavování, ale i články pro využití ve firmách. Nejvýkonnější verze článku má maximální výkon 300 W. Jedná se o kus TEC1-12730HT. Tato verze snese maximální proud 30 A. Podle takového výkonu se cena samozřejmě pohybuje v jiných číslech. Cena tohoto článku je kolem 800,- Kč. Tyto typy slouží spíše pro průmyslové využívání.

Velké účinnosti lze dosáhnout i tak, že články naskládáme na sebe. Dostaneme tak větší ΔT a při dobrém chlazení tak můžeme ušetřit pár korun a zároveň zvýšíme výkon i efektivitu chlazení.



Obrázek 2 – skládání článků

1.4 Výhody, nevýhody a využití

Pomocí peltierova článku dokážeme sestavit prakticky jakékoliv chladicí zařízení. S oblibou se články používají jako hlavní součástka chladničky do aut a na výrobu dalších typů chladicích boxů. Kromě chladicích boxů je zde další zajímavé využití, a to chlazení procesoru v počítači, kde můžeme zchladit procesor na velmi nízkou teplotu. Při kreativním řešení můžeme odvádět teplo z každé strany a vyrobit tak „termoprostor“, kde budeme moci udržovat objekty chladné nebo teplé podle potřeby.

Nevýhodou článků může být velká spotřeba bez regulace teploty, proto je dobré vymyslet zařízení, které odpojí článek při dosažení požadované teploty. Při správné izolaci, kdy teplota v prostoru vydrží, tak docílíme velké úspory energie.

Další nevýhodou je oddělení chladné strany od teplé, jelikož na dobré odvedení tepla z horké strany je třeba velký chladič, který když se ohřeje, může zanášet teplo právě do izolované komory. Tomu můžeme předcházet správným izolováním přechodu. V mém projektu

mi velmi pomohl klasický alobal, kterým jsem podložil chladič z horké strany a dále jsem ho přilepil na vnitřní stranu ledničky, abych předešel pronikání tepla z vnější strany.

2 Konstrukce ledničky

Při konstrukci lednice je důležité použít dobrý izolační materiál, aby se teplota v lednici udržela co nejdéle. V mém projektu jsem jako izolační materiál použil polystyren, který je lehcce k dostání a má dobré izolační vlastnosti. Dále bylo potřeba celou polystyrenovou konstrukci umístit do dřevěné konstrukce, která sice izolační vlastnosti nemá (ne takové jako polystyrén), ale jako ochrana před mechanickým poškozením slouží dobře. Jako vnější obal jsem vybral dřevotřískovou desku o tloušťce 5 mm. Dřevotříska sice není tak odolná, ale je lehká a dobře tvarovatelná. Velmi důležité je umístění dvířek. Zde se nám nabízí dvě možnosti. Umístit dvířka na čelní straně, nebo vodorovně na půdorysové straně chladničky. Snažil jsem se zabránit tomu, aby se chlad ztratil při otevření dvířek. Toho bych samozřejmě nemohl docílit, kdybych umístil dvířka na čelní stranu ledničky, jelikož by se při otevření dvířek teplota v chladničce okamžitě vyrovnala s teplotou v místnosti. Oproti tomu umístění dvířek na půdorysovou stranu chladničky má velkou výhodu. Když jsem se snažil co nejvíc odizolovat prostor v chladničce, toto umístění mi velmi pomohlo. Chladný vzduch se drží na dně, takže při otevření dvířek zůstane chladný vzduch na dně a ven se dostane jen malé množství.



Obrázek 3 – dvířka na čelní straně



Obrázek 4- dvířka na půdorysové straně

Na obrázku číslo 3 můžeme vidět první verzi chladničky. Tato verze skončila neúspěchem, jelikož objem, který měl článek vychladit, byl moc velký a díky špatnému odizolování mezi dvířky a dnem unikala teplota ven.

Poté, co jsem vnitřní objem zmenšil o třetinu a dvířka přesunul z čelní strany na stranu půdorysovou, se efektivita chlazení velmi zvětšila. Jako izolační výplň mezi polystyrenovými stěnami jsem použil speciální fixační lepidlo, které má velmi dobré izolační vlastnosti. Tato verze je na obrázku číslo 4.

2.1 Umístění článku a odvádění tepla z článku

Čím nižší teplotu chceme z článku odvést, tím větší teplotu dostaneme na druhé straně článku. Toto je velmi důležitý fakt, na který jsem musel brát velký ohled. Při špatném odizolování horké strany článku od chladné se teplota z horké strany může dostávat do prostoru chladničky s chladným vzduchem. Kvůli tomu bylo potřeba vytvořit otvor, který bude mít přesné rozměry jako článek. Dále bylo potřeba vytvořit „zářezy“ pro kovový chladič.



Obrázek 5- otvor pro článek se zářezy na chladič

Abych docílil správného odvedení tepla, podložil jsem chladič na horké straně článku proužky z alobalu, díky kterým se teplo z chladiče nedostávalo skrz polystyren do chladničky. Pro lepší odvedení tepla od článku je potřeba nanést vrstvu teplovodivé pasty mezi článek a chladič. Na chladnou stranu článku jsem umístil chladič se stejným rozměrem jako článek, který zaručí rozvedení chladu z chladiče do prostoru. Článek s chladiči jsem k chladničce uchytíl napevno stejným lepidlem, které jsem použil při spojování stěn. Při této metodě uchycení článku nemusíme vytvářet v chladničce žádné otvory, kterými bychom zbytečně narušovali chladičový prostor. Dále jsem na pasivní chladiče připevnil větráčky, které zaručovaly lepší odvedení tepla a chladu z každé strany článku. Užití větráčku se mi velice osvědčilo na chladné straně článku, kde jsem při „odsávání“ vzduchu z článku do prostoru snížil teplotu o 5°C v porovnání s volným sáláním chladu z chladiče. Díky vnitřnímu větráčku se také urychlí doba, za kterou se teplota v chladničce dostane na požadovanou hodnotu.

Pro lepší vzhled jsem se rozhodl chladničku upravit rohovými lištami. Další užitečnou úpravou bylo přidělení gumových dorazů na vnější stranu dna, což zabrání případnému klouzání a kymácení chladničky po povrchu.

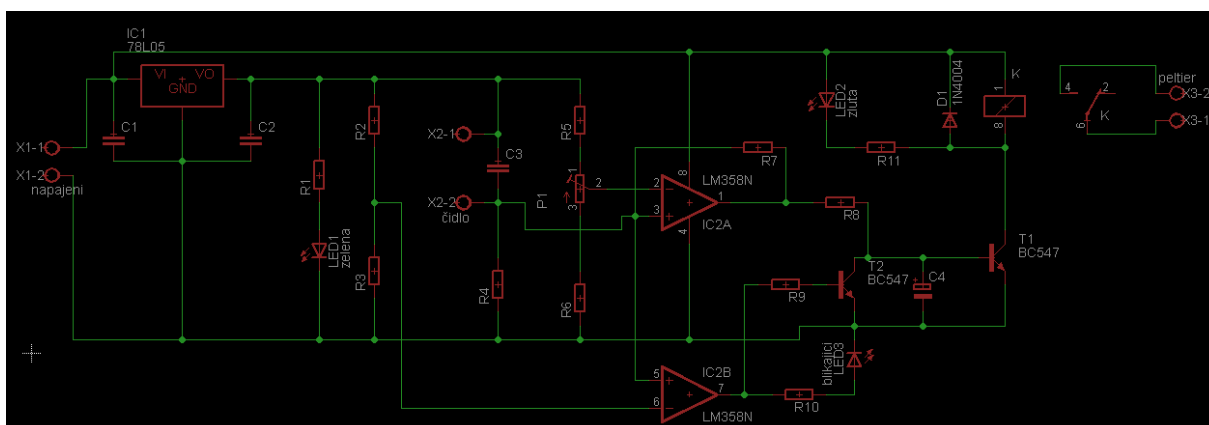
3 Termostat

Pro regulaci teploty jsem se rozhodl použít termostat, který je schopen regulovat teplotu v rozmezí od 5 do 35 °C. Bylo zde však nutno provést úpravy. Klasická funkce termostatu je sepnout topné těleso, když teplota v regulované oblasti klesne pod nastavenou hodnotu. Poté, co se teplota dostane na požadovanou hodnotu, termostat vypne relé. Pro můj projekt jsem potřeboval opačnou funkci, a to sepnutí termostatu vždy, když teplota stoupne nad nastavenou hodnotu. V tu chvíli sepne relé, které připojí Peltierův článek do obvodu, prostor se následně zchladí a po dosažení dané teploty rozepne relé.

3.1 Schéma termostatu

Návrh schématu byl zrealizován za použití programu na tvorbu elektronických obvodů a plošných spojů EAGLE. Tento program jsem si vybral proto, že je snadný ke konstruování obvodů a dobře se v jeho prostředí orientuje.

Termostat sestavený podle tohoto schématu bude reagovat na nárůst teploty. Je to způsobeno výměnou dvou součástek. Svorkovnici pro čidlo společně s kondenzátorem C3 bylo nutné vyměnit s rezistorem R4. Kdyby tyto dvě součástky zůstaly zapojené podle předešlé verze, termostat by reagoval na pokles teploty. (Zvětšené schéma dostupné v příloze.)



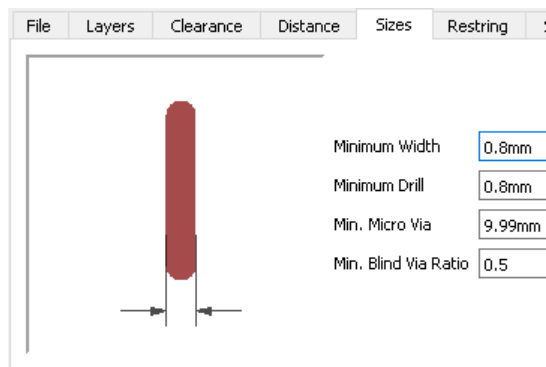
Obrázek 6- schéma termostatu

3.2 Použité součástky

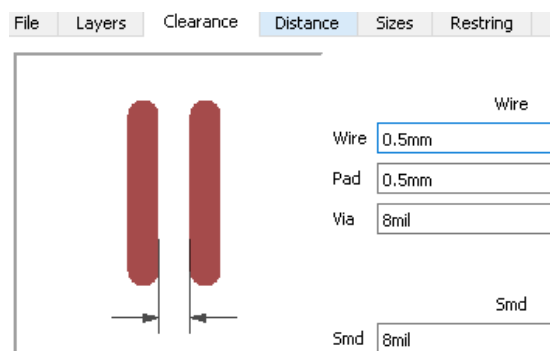
R1, R2	1 kΩ	C1	330 nF
R3	33 kΩ	C2	100 nF
R4	15,8 kΩ	C3	10 nF
R5	8,2 kΩ	C4	10 μF
R6	12 kΩ	T1, T2	BC547
R7	4,7 MΩ	LED1	LED 5 mm, zelená
R8, R9	4,7 kΩ	LED2	LED modrá, vysoce svítivá
R10	1,8 kΩ	LED3	LED 5 mm, červená blikající
R11	2,2 kΩ	D1	1N4007
P1	15 kΩ	IC1	78L05
X1, X2, X3	svorkovnice	IC2	LM358N
čidlo	NT-C 10 kΩ	K	V23061

3.3 Tvorba a výroba plošného spoje termostatu

Plošný spoj jsem vyvíjel v programu EAGLE, což je speciální program pro navrhování elektronických schémat a plošných spojů. Program má propracované prostředí a je zde mnoho možností a funkcí, které nám pomáhají s tvorbou plošného spoje. U tohoto programu je důležité dodržovat určitá pravidla od nastavování šířky jednotlivých propojovacích cest až po průměr pájecích bodů. Tato nastavení zajišťuje v programu EAGLE funkce DRC.



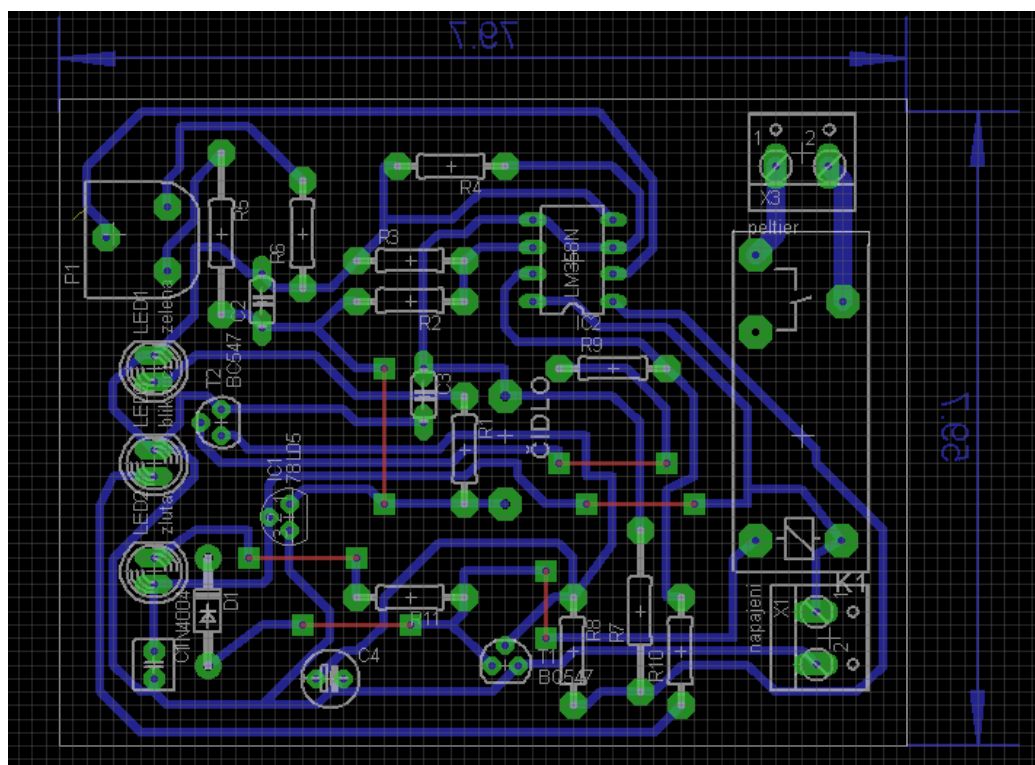
Obrázek 7- DRC nastavení parametrů



Obrázek 8- DRC nastavení parametrů

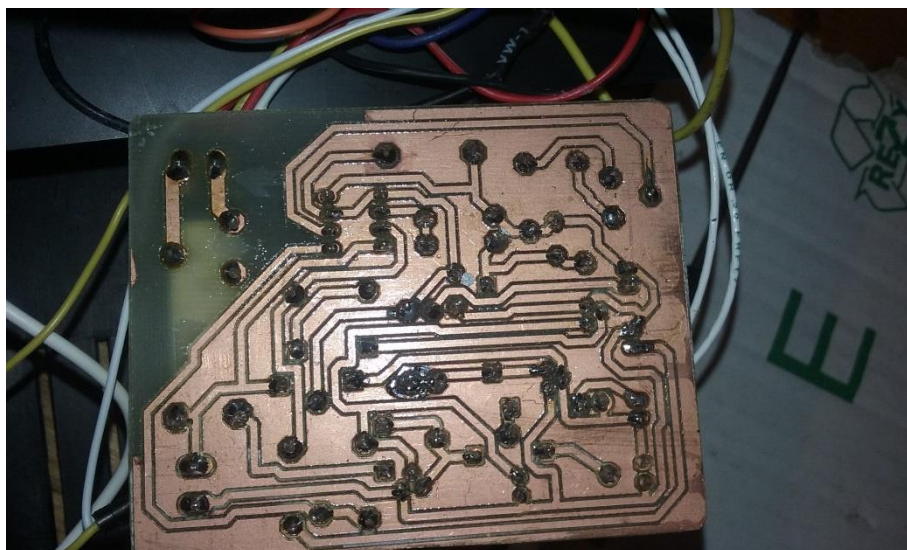
Na obrázku číslo 7 vidíme nastavování tloušťky vodivé cesty na tištěném spoji. Schéma termostatu není až tak rozsáhlé, proto jsem zvolil tloušťku 0,8 mm. Kdyby byla šířka cesty menší, mohlo by se stát, že se cesty mezi sebou snadno vyzkratují nebo strhnou. V obsáhlejších obvodech musíme volit šířku cesty menší. Šetříme tak místo na desce.

Obrázek číslo 8 znázorňuje vzdálenost mezi dvěma vodivými cestami. Pro potřeby mé práce stačí tuto hodnotu nastavit na 0,5 mm. Kdybychom potřebovali zaplnit co nejmenší plochu na desce, volili bychom například vzdálenost 0,2 mm. K takto malým cestám je potřeba speciální vrták, se kterým fréza pracuje.



Obrázek 9- plošný spoj EAGLE

Cívka relé spíná velký proud (3 A), je tedy důležité patřičně oddělit kontakty relé na plošném spoji od ostatních částí obvodu (integrované obvody atd). Kdyby se tak velký proud dostal k vývodům stabilizátoru 78L05, mohl by ho nenávratně poškodit. V levém horním rohu tištěného spoje můžeme vidět odstraněnou vrstvu mědi. Díky tomu je výstup relé kompletně oddělen od okolí a nehrozí tak nebezpečí zkratu.



Obrázek 10 – zapájený plošný spoj

Jelikož bylo potřeba uvolnit co nejvíce místa v krabici kvůli velkému počtu kabelů, rozhodl jsem se destičku podepřít sloupky vytištěnými na 3D tiskárně. Touto úpravou jsem docílil toho, že jsou všechny kabely v krabici vedeny pod plošným spojem a celkový vnitřní vzhled krabičky se tak zlepšil. (Obrázek s osazením součástek dostupný v příloze.)

3.4 Popis funkce termostatu

Postupně popíši funkci termostatu z pravé strany schématu.

Termostat je napájen 12 V a jeho celkový proudový odběr je 6 mA. Napětí je díky napěťovému stabilizátoru 78L05 stabilizováno na 5 V. Kondenzátory C1 a C2 jsou zde kvůli zvýšení stability integrovaného obvodu. Zelená LED dioda signalizuje, že je zařízení v provozu. Dále je zde vytvořen dělič napětí pro napájení operačního zesilovače, který se stará o okruh k indikaci přerušení čidla. Jako čidlo byl zde použit NT-C termistor. NT-C znamená, že s rostoucí teplotou klesá odpor termistoru. Rezistor R4 společně s termistorem tvoří dělič napětí. Mění se odpor s teplotou ovlivňuje dělič napětí vytvořený z rezistorů R5, R6 a P1. Rezistorem R5 je nastavena minimální možná regulovatelná teplota (zde kolem 5°C). Rezistorem R6 je nastavena maximální možná nastavitelná teplota (zde kolem 35°C).

Dvojí operační zesilovač má v tomto obvodu dvě funkce. Jeden operační zesilovač hlídá teplotu a druhý OZ hlídá, jestli není odpojené nebo přerušené čidlo. Operační zesilovač IC2A snímá na neinvertujícím vstupu poměr napětí z děliče vytvořeného rezistorem R4 a termistorem. Tuto hodnotu porovnává s hodnotami na invertujícím vstupu, který snímá nastavenou hodnotu na potenciometru a rezistoru R5 a R6. Je-li napětí na neinvertujícím vstupu větší než na vstupu invertujícím, operační zesilovač přejde do kladné saturace. Díky tomu sepne tranzistor R1, který připojí relé na napájecí napětí 12 V.

Je-li napětí na invertujícím vstupu větší než na neinvertujícím vstupu, OZ přepne do záporné saturace, tranzistor T1 se zavře, relé rozezne a teplota v chladničce opět začne stoupat. V termostatu je zabudována hystereze, o kterou se stará rezistor R7. Jde o rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou. V tomto případě by hystereze ani nebyla třeba, jelikož ochlazování a následné ohřívání prostoru má určitou setrvačnost. Příklad hystereze: hystereze bude nastavená na 1 °C. Požadovaná hodnota bude 8 °C. To znamená, že termostat rozezne relé na 7 °C a sepne na 8 °C.

3.4.1 Volba čidla

Jako vhodné čidlo byl zvolen NT-C termistor s hodnotou 10 kΩ „kapkovitého“ tvaru. Malým kapkovitým tvarem docílíme rychlého reagování termistoru na změny okolní teploty. Čím větší plochu bude termistor mít, tím pomalejší bude jeho odezva na okolní změny teploty.

3.5 Nastavení termostatu

Nastavení požadované teploty se provádí odporovým trimrem (otvor na boku krabičky). Kalibrace probíhá následovně. Připojíme chladničku ke zdroji a necháme vnitřní prostor vychladit na požadovanou teplotu. Po dosažení požadované teploty nastavíme trimr do takové polohy, kdy zhasne modrá LED dioda, signalizující chlazení. Další způsob kalibrace, je připojit místo termistoru rezistor, který bude mít hodnotu stejnou jako hodnota termistoru při požadované teplotě. Opět najdeme trimrem stav, kdy zhasíná modrá led dioda a nahradíme odpor termistorem.

3.5.1 Indikace přerušení čidla

Druhý operační zesilovač hlídá, zda je čidlo (termistor) připojeno nebo odpojeno. Kdyby se náhodou vedení čidla přerušilo (převrtání, přefříznutí, atd.), termostat by teoreticky snímal nekonečný odpor a tuto hodnotu by nikdy nedorovnal s nastavenou hodnotou trimru. Aby se tak nestalo, je neinvertující vstup IC2B připojen na odporový dělič vytvořený s R4 a termistoru. Kdyby se zapnul termostat a čidlo by nebylo připojeno, OZ IC2B přejde do kladné saturace, tím sepne T2 a zkratuje tranzistor T1 do země. Díky tomuto stavu se nemůže sepnout relé na výstupu. Jako signalizace chyby se rozblíká červená LED dioda.

3.6 Zakrytování komponent

Další důležitou součástí projektu bylo umístit termostat se všemi kabely a digitálním teploměrem do ideální krabičky, která bude mít na čelním panelu otvory na LED diody pro signalizaci stavů termostatu. Dodatečně jsem do krabičky prořízl otvor na teploměr, abych měl všechny elektronické součásti v jedné krabičce (původní plán byl umístit teploměr mimo krabičku). Díky tomuto řešení jsou z krabičky vyvedeny pouze napájecí kabely, kabely pro napájení Peltierova článku, čidlo a napájení větráčků. Kabely pro napájení větráčků atd..., jsou vedeny mezi polystyrenovou a dřevěnou konstrukcí, takže na povrchu chladničky se nic nenachází a nehrozí tak případné přerušení kabelů, které by byly umístěny na povrchu. Nastavování teploty je možné šroubovákem z boku krabičky. Na čelní straně krabičky je vyvrtaná díra i pro případné nahrazení trimru potenciometrem s kolmou hřídelí.

3.7 Napájení chladničky

Pro správnou funkčnost Peltierova článku je důležité napájení silným zdrojem. Jelikož jsem potřeboval teplotu v prostoru alespoň 9 °C, bylo potřeba, aby byl povrch jedné strany článku ochlazen alespoň na -10 °C. Tento výkon článku získáme velkým dodávaným proudem, což je v tomto případě proud kolem 3 A.

Jako napájení jsem použil počítačový zdroj, který je schopný takový proud dodat. S použitím počítačového zdroje musíme brát v potaz nestabilitu zdroje, při zatížení pouze 12 V větve. Při zatížení pouze 12 V větve byl dodávaný proud do chladničky pouze 1,2 A s tím, že větráčky samy o sobě spotřebují 0,35 A. To znamená, že na napájení pro článek zbyde něco kolem 0,85 A, což zchladí článek na 0 °C, a to je velmi málo. Tento problém jsem vyřešil připojením výkonových odporů na 5 V větev. Odporů jsou kombinací 1,2 Ω a 2,2 Ω. Díky tomuto zatížení je zdroj stabilnější a 12 V větev dodává do článku proud kolem 3,3 A, což je plně dostačující.

Podotýkám, že zvolený počítačový zdroj nepatří k návrhu ledničky! Je možné místo něj využít i jiný profesionální adaptér s dostatečným výkonem. Tento zdroj je profesionálním výrobkem, a proto je jeho použití bezpečné.

3.8 Konstrukční údaje chladničky

Celá chladnička i s dřevotřískovým obalem má následující rozměry.:

Délka: 23,8 cm

Šířka: 25,5 cm

Výška: 21,5 cm

Polystyrenová konstrukce má tyto rozměry:

Délka: 18 cm

Šířka: 18,5 cm

Výška: 15 cm

Celkový chlazený prostor je tedy 1831,5 cm³



Obrázek 11 – Pohled do chlazeného prostoru

4 Měření veličin

Měření odebíraného proudu ze zdroje probíhalo za chodu všech elektrických zařízení v chladničce (Peltierův článek, termostat a aktivní ventilátory).

$$I_{in} = 3,33 \text{ A}$$
$$U_{in} = 12 \text{ V}$$
$$P_{in} = 39,96 \text{ W}$$

Peltierův článek je stavěný na maximální napětí 16 V. Při tomto napájecím napětí by byla chladnička stále schopna provozu, jelikož integrovaný obvod 78L05 na vstupu termostatu je schopen stabilizovat napětí až do 20 V. Zapojení této chladničky v autě, kde může být výstupní napětí z autobaterie nepatrně vyšší než 12 V, chladničku žádným způsobem nepoškodí.

Dalším důležitým faktorem je doba, za jak dlouho se teplota v chladničce sníží na požadovanou hodnotu. Pro mé měření jsem zvolil teplotu kolem 9,5 °C. (graf v příloze)

t (s)	T in (°C)
0	21,3
20	21
50	20
60	19,7
120	16,8
180	14,4
240	13,1
300	12
420	10,8
600	10,1
960	9,4

t- čas
T in – teplota uvnitř chladničky

Tabulka 2 – tabulka teplotního průběhu

Teplota v čase 0 sekund je teplota v místnosti, kde bylo měření provedeno. I když jsem se tuto poruchovou veličinu snažil odstranit, pořád je zde znát vliv okolní teploty. Například při pokojové teplotě 19 °C jsem dosáhl teploty v chladničce 7,5 °C.

4.1 Regulační cyklus

Toto měření probíhalo při okolní teplotě 19 °C. Požadovaná teplota v chladničce byla nastavena na 8,5 °C. Po zchlazení vnitřního prostoru na tuto hodnotu termostat odpojil článek a teplota se pomalu začala zvyšovat. Tento nečinný stav trval 20 sekund. Po dosažení teploty 9 °C termostat připojil článek a teplota se snižovala. Tento stav trval 1 minutu a 45 sekund. Jako úsporu energie bereme stav, kdy chladnička udržuje chlad v nečinném stavu.

4.2 Výpočet efektivity chlazení

S termostatem v provozu můžeme vypočítat úsporu elektrické energie při cyklech, kdy termostat spíná a rozepína relé a tím reguluje spotřebu.

Začneme výpočtem práce, pokud bude chladnička v provozu dvě hodiny bez regulace příkonu.:

$$\begin{aligned}I_{in} &= 3,33 \text{ A} \\U_{in} &= 12 \text{ V} \\t &= 2 \text{ h}\end{aligned}$$

$$P_{in} = U_{in} * I_{in} = 12 * 3,33 = 39,96 \text{ W}$$

$$W = P_{in} * t = 39,96 * 2 = 79,92 \text{ Wh}$$

Tuto práci by chladnička vykonala za dvě hodiny v provozu.

Nyní budeme brát v potaz regulaci s termostatem. Chladnička bude mít pořád stejný odběr proudu jako předtím. Jediný rozdíl bude doba činnosti zařízení. Cyklus, který se zde bude střídát, bude mít celkově dvě minuty a pět sekund (zařízení bude činné 1 minutu a 45 sekund, nečinné bude 20 sekund). Tento cyklus se za dvě hodiny zhruba 57x zopakuje. Jelikož při nečinném stavu zařízení nic neodebírání a je kompletně odpojeno od zdroje, nemusíme nečinný stav započítávat do celkové práce zařízení za dvě hodiny v provozu. Z celkového času t můžeme tím pádem odečíst 57x20 sekund.

$$W_{ter} = P_{in} * [t - (57 * 20)] = 39,96 * (7200 - 1140) = 67,266 \text{ Wh}$$

Když porovnáme tento výsledek s výsledkem z prvního příkladu, dostaneme celkovou úsporu elektrické energie 15,8 %

Úsporu ve wattech získáme rozdílem W a W_{ter}

$$W_{úsp} = W - W_{ter} = 79,92 - 67,266 = 12,654 \text{ Wh}$$

V tomto měření jsme zanedbali proud, který odebírání termostat při rozepnutém relé. Tento proud je však velmi malý, a na celkové úspoře by se neprojevil (ve srovnání s proudem odebíraným Peltierovým článkem).

Závěr

Velká část tohoto projektu byla věnována problematice konstrukce prostoru a vnějšího obalu chladničky. Díky dlouhému testování jsem došel k úspěšnému a efektivnímu řešení. I když je zde znát malý vliv okolních jevů na efektivitu regulace, kvalita konstrukce splnila všechna očekávání. Při konstruování termostatu nenastal žádný větší problém. Obvod funguje správně i s dodatečnými úpravami, které byly nezbytné pro správnou funkci termostatu. Očekávaný výstup práce, chladnička s regulovatelnou teplotou vybavená termostatem, byl splněn.

Náklady na projekt byly minimální. Cena materiálu použitého ke konstrukci chladničky se pohybovala okolo 150 Kč. Cena Peltierova článku byla 130 Kč a použité chlazení jak aktivní, tak pasivní, jsem použil své vlastní (jeden větráček se cenově pohybuje okolo 50 Kč). Elektronické součástky stály v součtu 70 Kč. Suma je tedy zhruba 350 Kč (bez větráčků). Porovnání ceny a výkonu je zde velmi dobré. Ceny chladniček dostupných v obchodech se pohybují okolo 1500 Kč. Provedení v tomto projektu není profesionální, ovšem jako chladicí zařízení můžeme tuto chladničku považovat za dobrou a levnou variantu.

Mou hlavní prioritou bylo získat co největší úsporu energie a zároveň efektivní regulaci. Tohoto cíle se mi podařilo dosáhnout. Za celou dobu jsem nabyl velkých zkušeností. Dozvěděl jsem se hodně věcí ohledně regulace teploty a konstrukcí izolovaných prostorů. Dále jsem dobře ověřil, že má Peltierův článek v chladicí technice opravdu velké využití. V chladničce do budoucna plánuji několik úprav, jako je osvětlení a zlepšení víka chladničky.

Práce s Peltierovým článkem se mi velmi zalíbila a rád bych realizoval další projekty s tímto článkem. Chtěl bych se více zaměřit na Seebeckův jev a realizovat zařízení, vytvářející napětí z rozdílů teplot. Podle mého názoru mají termoelektrické chladničky potenciál využití do budoucna, hlavně z hlediska nenáročnosti sestavení elektronického obvodu pro chlazení.

Seznam použité literatury a zdrojů

[1] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>

[2] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.601-034.1.pdf>

Seznam použitých symbolů a zkratek

U_e	-	elektromotorické napětí
α	-	Seebeckův koeficient
Δt	-	rozdíl teplot
Q_{\max}	-	maximální výkon
I_{\max}	-	maximální proud
V_{\max}	-	maximální napětí
I_{in}	-	vstupní proud
U_{in}	-	vstupní napětí
P_{in}	-	příkon
T_{in}	-	teplota uvnitř chladničky
t	-	čas
W	-	práce vykonaná chladničkou
W_{ter}	-	práce vykonaná chladničkou s aktivním termostatem

Seznam obrázků

- Obrázek 1 – spojené polovodiče
- Obrázek 2 – vrstvení článků
- Obrázek 3 – dvířka na čelní straně
- Obrázek 4 – dvířka na půdorysové straně
- Obrázek 5 – otvor pro článek se zářezy na chladič
- Obrázek 6 – schéma termostatu
- Obrázek 7 – DRC nastavení parametrů
- Obrázek 8 – DRC nastavení parametrů
- Obrázek 9 – plošný spoj EAGLE
- Obrázek 10 – zapájený plošný spoj
- Obrázek 11 – pohled do chlazeného prostoru

Seznam tabulek a grafů

- Tabulka 1 – specifikace článku TEC-12706
- Tabulka 2 – tabulka teplotního průběhu

- Graf 1 – elektromotorické napětí

Seznam příloh

Příloha A – chladnička v provozu

Příloha B – osazený tištěný spoj

Příloha C – graf průběhu teploty v chladničce

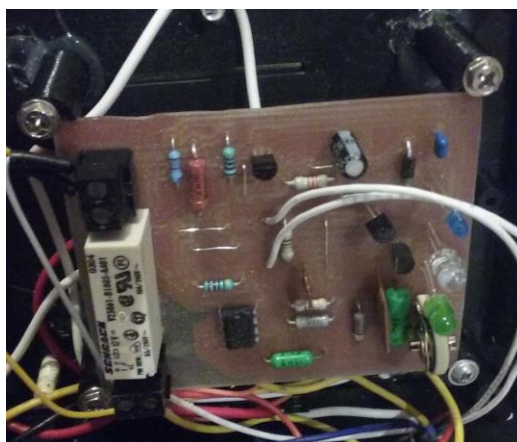
Příloha D – schéma osazení termostatu

Přílohy

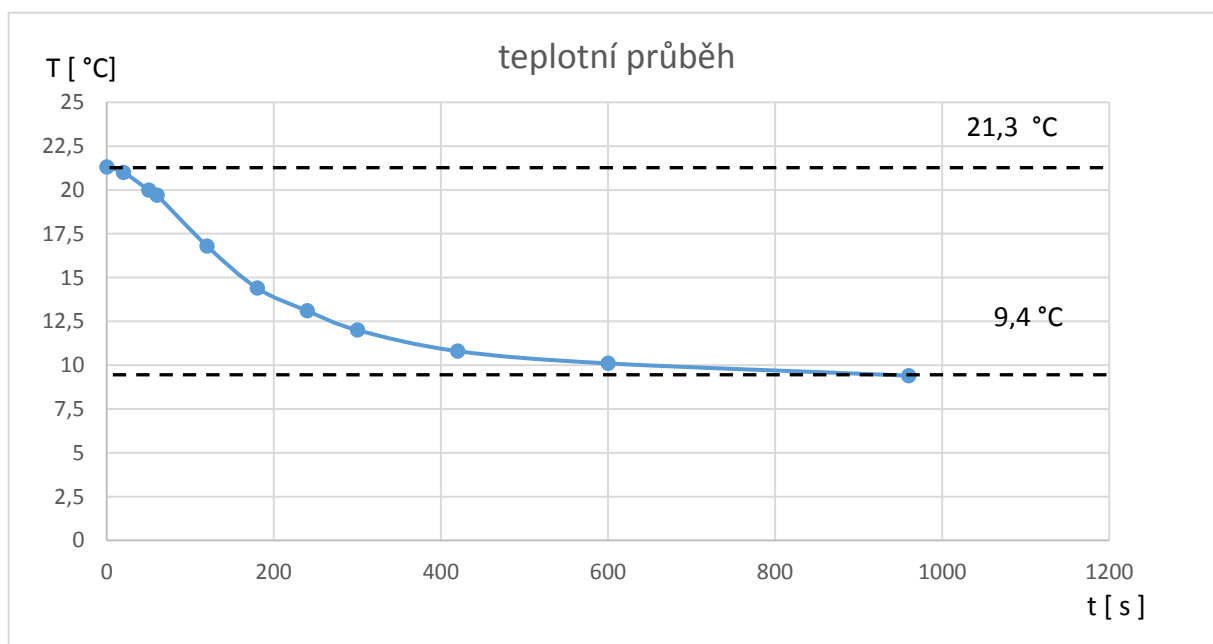
Příloha A - Chladnička v provozu



Příloha B – Osazený tištěný spoj



Příloha C – Graf průběhu teploty v chladničce



Příloha D – Schéma termostatu

