

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra mikroelektroniky**



**Bakalářská práce**

**Přenosná teplotní komora pro automobil**

Studijní obor: Aplikovaná elektronika  
Autor: Tomáš Morcinek  
Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

**Praha 2018**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 25.5.2018

.....  
podpis bakalanta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svým kolegům z programu za cenné rady při návrhů obvodů. Samozřejmě mému vedoucímu projektu Miroslavu Husákovi za navržení zajímavého tématu a důležitých rad při práci na tomto projektu. Dále také profesorům z katedry teorie obvodů a mikroelektroniky, hlavně panu Liboru Jiráskovi při realizaci a řešení problému celého systému. Nakonec také své rodině za psychickou podporu.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Morcinek** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **461389**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektronika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Přenosná teplotní komora pro automobil**

Název bakalářské práce anglicky:

**Portable Temperature Chamber for a Car**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši současného stavu řešení pro chladicí a ohřivací systémy s využitím Peltierových článků.
2. Navrhněte teplotní komoru s jednoduchým řízením teploty s využitím Peltierových článků pro možnost chlazení. Objem komory je cca 2 dm<sup>3</sup>, napájení = 12 V / stř. 230 V, max. odběr 15 A/12 V. Při návrhu řešte homogenní rozložení teploty v komůrce, pro zvýšení účinnosti použijte umístění Peltierových článků na chladičích v kombinaci s větráky, navrhněte systém s více Peltierovými články pro dosažení co nejnižší teploty. Komoru doplňte displejem pro zobrazení teploty, záložním zdrojem pro zobrazení stavu teploty. Navržený systém chlazení teplotní komory realizujte.
3. Zjistěte dosažené parametry komory, tj. především závislost vnitřní teploty na vnější teplotě, hysterzezi udržování vnitřní teploty systému, rychlost chlazení a ohřevu, přesnost regulace teploty.

Seznam doporučené literatury:

1. Neumann, P., Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky I, II, ČVUT.
2. Katalogové listy firmy Kryotherm, www.kryotherm.com.
3. ROWE, D. M.: Handbook of Thermoelectrics. CRC Press, July 1995, ISBN 0849301467
4. SHARP, J. GOLDSMID, H. J. NOLAS, G. S.: Thermoelectrics Basic Principles and New Materials Development. Springer Verlag, August 2001.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Miroslav Husák, CSc., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **12.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací teplotní komory. Chlazení je řešeno pomocí dvojice Peltierových článků. Pro zobrazení teploty je komora o velikosti cca 2 dm<sup>3</sup> doplněna teploměrem. Systém lze napájet z automobilové zásuvky, nebo z jiného 12 V stejnosměrného zdroje schopného dodávat vysoké proudy. Veškeré schémata a rozložení desky je vytvořeno ve vývojovém prostředí Eagle, který je pro studenty volně poskytován společností Autodesk.

**Abstract:**

This bachelor thesis focusses on design of cooling box and parameters which are achieved. System provide information about temperature in and out of box. Capacity of box is about 2dm<sup>3</sup> and can be powered by car socket or some other DC sources capable of high current. Every schematic and PCB layout are created in development environment Eagle by company Autodesk which is provided free for student of technical focus.

**Klíčová slova:**

Elektronika, peltierův článek, chladičí komora, auto lednička

**Key words:**

Electronics, thermoelectric cooling, cooling box, car refrigerator

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
Úvod.....	10
1. Teoretická část.....	11
1.1 Pásový model atomu.....	11
1.1.1 Dělení polovodičů.....	12
1.1.2 Vlastnosti polovodičů.....	12
1.2 Typy termoelektrických jevů.....	13
1.2.1 Seebeckův jev.....	13
1.2.2 Peltierův jev.....	15
1.2.3 Thomsonův jev.....	15
1.3 Termoelektrický článek.....	16
1.3.1 Principy a režimy.....	16
1.3.2 Typy chlazení.....	17
1.3.3 Výhody a nevýhody.....	18
2. Praktická část.....	19
2.1 Návrh obvodů.....	19
2.1.1 Řízení článků.....	19
2.1.2 Běh ventilátorů.....	21
2.1.3 Zobrazení teploty.....	23
2.2 Realizace návrhu.....	24
2.2.1 Plošný spoj DPS.....	24
2.2.2 Rozložení mechanický části boxu.....	25
2.2.3 Napájení.....	26
2.3 Měření vlastností.....	26
2.3.1 Rychlost chlazení v čase.....	26
2.3.2 Udržení teploty po vypnutí.....	28
2.3.3 Spotřeba v čase.....	28
3. Ekonomická rozvaha.....	29
3.1 Cena.....	29
3.1.2 Elektrické části.....	29
3.1.2 Mechanické části.....	30
4. Závěr.....	31
Literatura.....	32
Přílohy.....	33
Elektronické přílohy.....	34



# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky

Li-Ion	Lithium Iontový
PCB	Deska plošných spojů
PWM	Pulzní šířková modulace
TE	Thermoelectric
TEC	Thermoelectric cooler
TEG	Thermoelectric generator
PR1	Potenciometr pro řízení PWM
SW1	Přepínač pro teplotu mezi senzory
GND	Ground – Zem
IN LO	Input low – Vstup dolní hranice napětí (spojeno s GND)
IN HO	Input High – Vstup horní hranice napětí
POJ	Pojistka 10 A
TEG	Thermoelectric generator
TEC	Thermoelectric cooler
OZ	Operační Zesilovač

## Symboly

U	V	Napětí ve voltech
I	A	Proud v ampérech
P	W	Výkon ve watech
T	°C	Teplota ve stupních
t	s	Čas v sekundách
(eV)		Elektron volt
D		Střída
$\Pi_{AB}$		Peltiérův koeficient

# Úvod

Celkově vzato je v moderní době chlazení elektrických zařízení a polovodičových součástí velkým problémem a je zde mnoho výzkumů jak co nejefektivněji a bezztrátově odebrat toto teplo, které může vézt k poškození nebo stárnutí elektroniky. Proto jsem si vybral toto téma, které může mít využití v mnoha směrech. Toto částečně řeší termoelektrické články přesněji peltierovy články, které jsou také základním stavebním prvkem pro chlazení v této práci.

V teoretické části popíšu elektrické vlastnosti pevných látek a základní principy fungování, dělení polovodičů. Dále rozvedu podrobně peltierovy články a jejich vlastnosti v různých podmínkách.

V praktické části je popsán návrh řízení těchto článků, které jsou z teplé strany chlazeny masivními chladiči a těm je odebráno teplo pomocí dvou ventilátoru připevněné k nim. Tyto ventilátory jsou automaticky regulovány teplotou pomocí senzoru umístěného v žebrech z jednoho z chladičů. Napájení je řešeno z automobilové zásuvky, které poskytuje dostatečný výkon pro správnou funkčnost elektroniky i při vysokém odběru proudu.

Cílem tohoto projektu je navrhnout a otestovat chladicí box o velikosti cca 2 dm<sup>3</sup>, který může být využit pro chlazení různých nápojů v teplých parních dnech nebo na cestách. Na konci práce je uvedena celková ekonomická cena celého projektu, která odpovídá skutečným cenám.

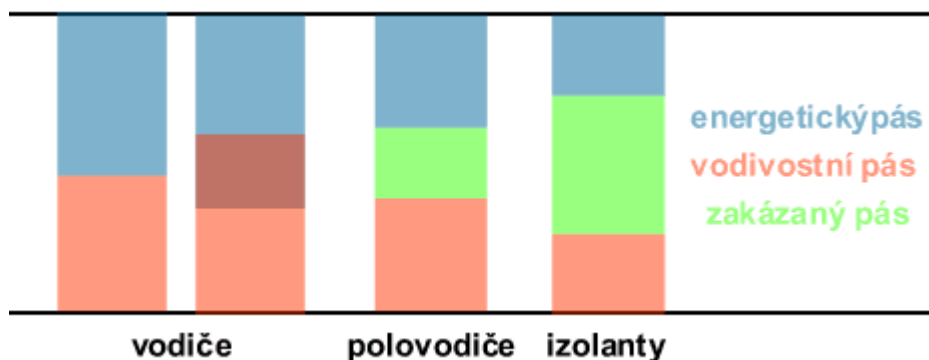
# 1. Teoretická část

## 1.1 Pásový model atomu

Pásový model atomu určuje elektrické vlastnosti pevných látek, které jsou dány velikostí a množstvím energie. V látce vzniká několik elektronových páсів, které se mohou překrývat, nebo je mezi nimi prostor u kterého se nevyskytují žádné elektrony. Tento tzv. „zakázaný pás“ se označuje jako bariéra, kterou musí elektrony překonat, aby přispívali vodivosti materiálu.

Elektrony se v látkách uskupují od valenčního pásu, který obsahuje valenční elektrony z jednotlivých atomů krystalů, až po vodivostní pás. Pokud se elektrony dostanou přes zakázaný pás až do vodivostního pásu, stane se materiál více vodivým.

Materiály dělíme z hlediska elektrických vlastností na kovy (vodiče), polovodiče a izolanty. U kovů se valenční a vodivostní pás překrývá, a tak se mohou elektrony volně pohybovat s minimální vynaloženou energií. Jak můžeme vidět na Obrázek 1, u polovodičů se vyskytuje zakázaný pás, potřebujeme tak materiálu dodat vnější energii. Toho lze dosáhnout například za pomoci tepla nebo světla, kde elektrony překonají tuto bariéru a látka tak může vést elektrický proud. Třetí jsou izolanty, u kterých je zakázaný pás tak velký, že pro překonání je potřeba velké množství energie. Můžeme zde nalézt tzv. dielektrika, která vyžadují vysoké průrazné napětí k porušení jejich struktury. Hraniční bod mezi polovodiči a izolanty je dán energií pro překonání zakázaného pásu, jehož velikost je přibližně 3 eV.



Obrázek 1: Pásový model atomu. Převzato z [2].

Existují také tzv. supravodiče, u kterých za velmi nízkých teplot náhle klesne odpor a stoupne vodivost. Na rozdíl u iontových vodičů je výrazná vodivost i za běžných pokojových teplot.

### 1.1.1 Dělení polovodičů

Mezi tyto materiály patří například prvky Si, Ge, Se, GaAs nebo PbS, kde většina z nich jsou látky krystalického původu a v čisté formě obsahují 4 valenční elektrony. Tyto prvky se nachází ve čtvrté skupině periodické tabulky.

Polovodiče dělíme pomocí jejich vodivostí, struktury, nebo přechodu mezi pásy.

Jestliže čistý křemík zahřejeme, začnou se uvolňovat elektrony z vazeb atomů a způsobí tzv. „vlastní vodivost“, která je způsobena vznikem volných elektronů a děr (je jich stejný počet). Hustota těchto párů, elektron díra, je ale malá a v praxi se málo kdy využívá.

Tato vodivost je také někdy nazývána intrinsická. Proto zde existují polovodiče s nevlastní vodivostí, které vznikají dotováním prvků s jiným počtem valenčních elektronů. Ty se nazývají extrinsické.

Část periodické tabulky prvků

		Skupiny						
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Periody	II	Be	B	C	N	O		
	III		Al	Si	P	S	Cl	
	IV		Ca	Ge	As	Se	Br	
	V		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	VI			Pb	Bi	Po	At	

Prvky s vlastností polovodiče

Obrázek 2: Tabulka prvků. Převzato z [2].

Dotováním některých prvků s jiným počtem valenčních elektronů do čistého křemíku vzniknou dva typy polovodičů. Jeden z nich nazýváme pozitivní (P) a druhé negativní (N).

Polovodiče typu P vznikají dotováním prvků s menším počtem elektronů jako jsou například B nebo In. Vznikne tak díra, kterou zaplní elektron sousedního atomu, tím se díra přemístí a elektrický proud je veden za pomoci děr.

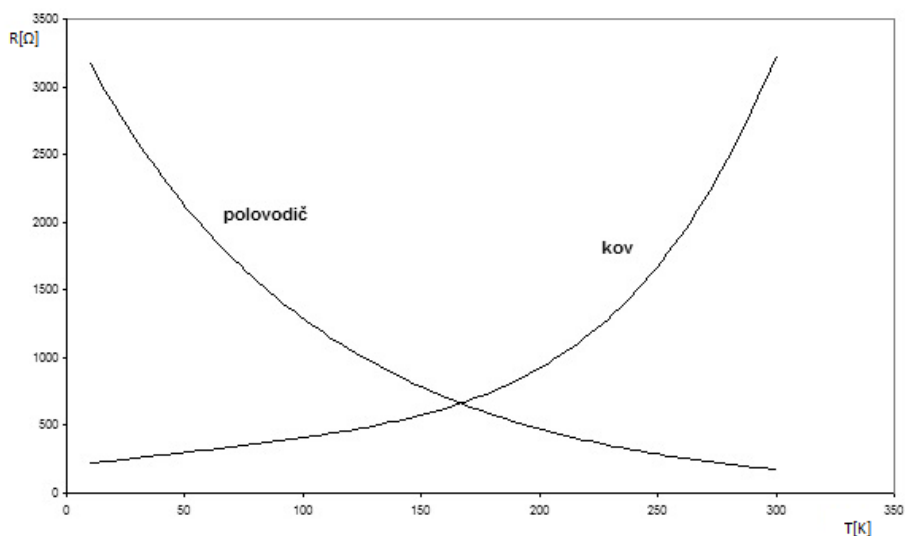
Naopak u polovodičů typů N nadbytek elektronů způsobí, že se nadbytečný elektron uvolní. Ten se v krystalu volně pohybuje a může tak vést elektrický proud.

### 1.1.2 Vlastnosti polovodičů

Jeden z nejdůležitějších vlastností je vodivost materiálu nebo v opačném případě odpor. U polovodičů nám s rostoucí teplotou odpor klesá, kdežto u kovů je tomu přesně naopak, viz. Obrázek 3. Odpor se dá vypočítat dle následujícího vztahu:

$$\Delta R = R_0 * \alpha * \Delta t, \quad (1.1)$$

kde  $R_0$  je počáteční odpor polovodiče,  $\alpha$  je teplotní součinitel odporu (u polovodičů záporná hodnota),  $\Delta t$  je rozdíl teploty od nominální teploty.



Obrázek 3: Závislost odporu kovu a polovodiče na teplotě. Převzato z [9].

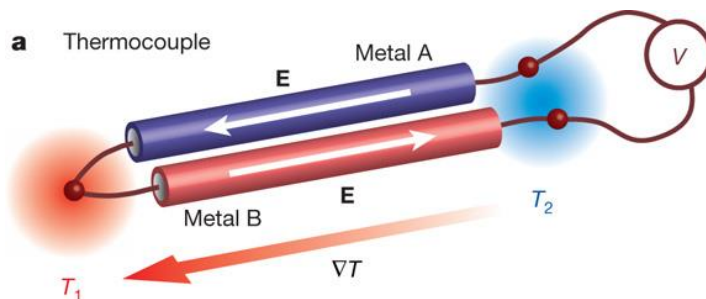
## 1.2 Typy termoelektrických jevů

Termoelektrický jev je schopnost přímé přeměny rozdílu teplot na elektrické napětí. Tohoto jevu lze využívat v obou směrech, od generování elektřiny za pomoci teplotního rozdílu, nebo změny teploty za pomoci elektrického napětí.

V dnešní době se v průmyslu z výrobního procesu objevuje velké množství odpadního tepla, které mohou využít tzv. TE články, které využívají tohoto principu.

### 1.2.1 Seebeckův jev

Spojením dvou různých kovů nebo polovodičů vznikne na každém z nich jiný napěťový potenciál. To je způsobeno jinou velikostí tzv. Seebeckova teplotního koeficientu. Pokud mají tyto spoje různou teplotu, vznikne napěťový rozdíl v řádech několika  $\text{mV}/^\circ\text{C}$  viz. Obrázek 4. Byl náhodně objeven německým fyzikem Thomasem Johannem Seebeckem, po němž je také pojmenován.



Obrázek 4: Seebeckův jev. Převzato z [6].

Zmíněné teplotní koeficienty jsou nelineární a závisí na teplotě daných vodičů, použitém materiálu a jeho struktuře. Z vratné termodynamiky se dá zjistit vzniklé napětí za pomoci následujícího vztahu:

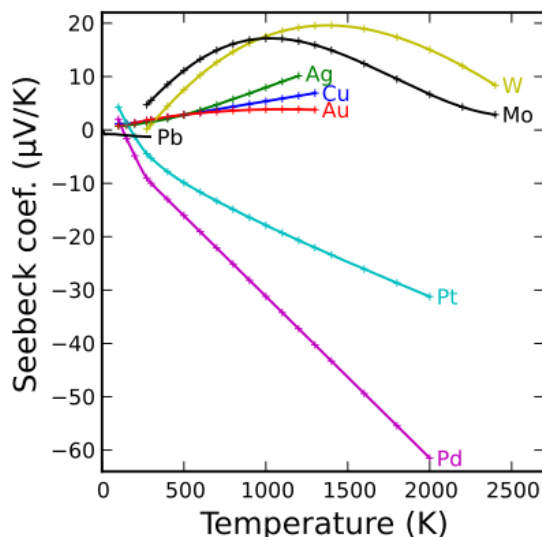
$$U_{AB} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_B(T) - \alpha_A(T) dT, \quad (2.1)$$

kde  $\alpha_B(T)$  je Seebeckův koeficient materiálu a  $T_1, T_2$  teploty spojů.

Elektrony nepřetržitě proudí, pokud jsou materiály uzavřené do obvodu a je dodržena podmínka rozdílu teplot. Pro malé teplotní rozdíly platí lineární závislost napětí na teplotě.

Seebeckův jev se také nachází v některých organických materiálech např. bramborech, zde ale probíhá jev trochu jinak, neboť se zde nenachází žádné elektrony ani díry.

Koeficienty se u kovů nachází řádově  $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$ , kdežto u polovodičů v rozmezí  $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$  viz. Obrázek 5.



Obrázek 5: Velikost Seebeckova koeficientu na teplotě pro různé materiály. Převzato z [9].

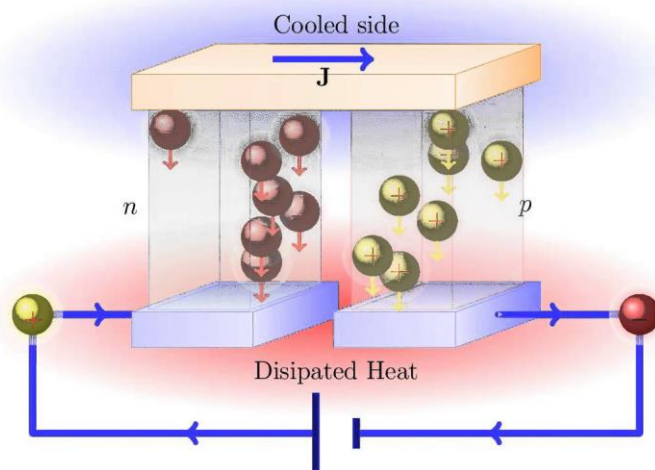
Koeficienty u kovů lze získat pomocí poměru napětí a teploty na levé a na pravé straně spoje, kde může někdy hodnota obsahovat i záporných hodnot, jako je tomu například u Bismutu. Lze ji vypočítat následujícím vztahem:

$$S = \frac{U_{levé} - U_{pravé}}{T_{levé} - T_{pravé}}, \quad (3.2)$$

kde  $S$  je Seebeckův koeficient,  $U$  napětí a  $T$  teplota spoje.

## 1.2.2 Peltierův jev

Tento jev je opačným jevem k Seebeckovu jevu a byl objeven francouzským fyzikem Jeanem Peltierem. Průchodem elektrického proudu oběma kovy se vytvoří teplotní rozdíl mezi oběma spoji. V závislosti na polaritě přiloženého napětí se bude jedna strana zahřívat a druhá ochlazovat viz. Obrázek 6.



Obrázek 6: Peltierův jev. Převzato z [8].

Důsledkem průchodu proudu kovy nebo polovodiči, ve kterém se pohybují volné nabitě částice, vzniká nepoměr elektronů mezi oběma spoji, čímž roste termoelektrické napětí. Toto napětí je přímo úměrné rozdílu teplot, proto s jeho nárůstem poroste i rozdíl teplot na koncích spoje. Je zde zaveden tzv. Peltierův koeficient, který je definován ve vzorci (1.3).

$$\Pi_{AB} = \frac{Q}{I}, \quad (4.3)$$

kde Q je vznikající teplo na spoji AB, I proud protékající obvodem.

Představuje tak množství tepla, které je odebráno na jednotku proudu.

Tohoto jevu využívají peltierovy články pro regulaci teploty. Lze také zpětně zjistit Seebeckův koeficient podle vzorce:

$$\alpha_{AB} = \frac{\Pi_{AB}}{T}, \quad (5.4)$$

kde  $\alpha_{AB}$  je teplotní koeficient spoje AB,  $\Pi_{AB}$  je Peltierův koeficient a T rozdíl teplot na spoji.

## 1.2.3 Thomsonův jev

Byl objeven skotským fyzikem Wiliamem Thomsonem. Tento jev je také někdy nazývat Joule-Thomsonův jev. Rozdílem od Seebeckova jevu je ten, že tento vzniká pouze při ohřívání jednoho vodiče namísto dvou, proto je termoelektrické napětí velmi malé. Při průchodu proudu vodičem vzniká kromě Joulova tepla také Thomsonovo teplo, které vzniká díky teplotnímu rozdílu vodiče.

Polarizace se mění v závislosti na směru průchodu proudu.

$$Q = RI^2 - \mu I \frac{\Delta T}{\Delta l}, \quad (6.5)$$

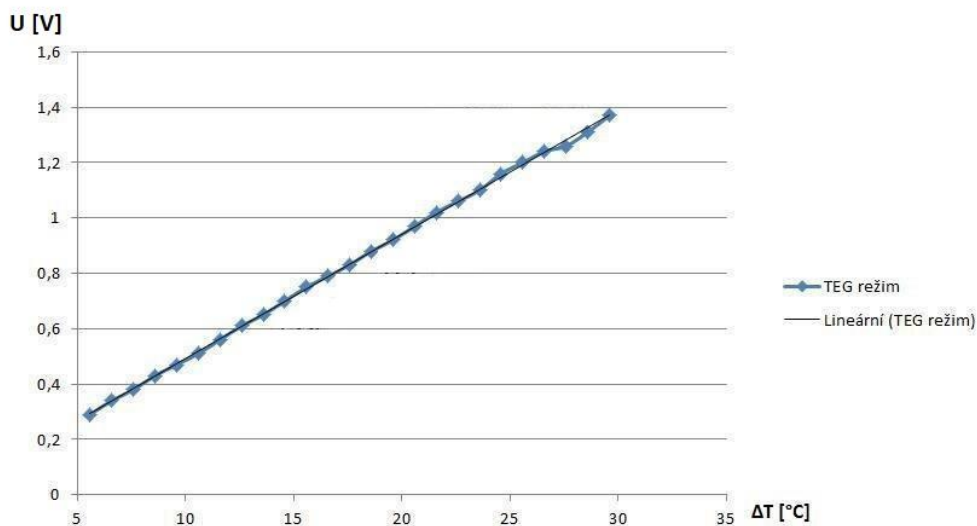
kde  $Q$  je teplo uvolňující se do okolí,  $\mu$  je Thomsonův koeficient.

## 1.3 Termoelektrický článek

Termoelektrické články fungují na základě Peltier-Seebeckova jevu. Při spojení dvou různých kovů a jejich zahřívání dochází k vytvoření napěťového rozdílu, generuje tak elektrické napětí. Jak generátory energie se ale moc nepoužívají, protože generují výkon maximálně jednotek W. Mají malou účinnost maximálně od 2 do 5 %. Větší využití najdou v oblasti chlazení, kde efektivnost dosahuje až desítek %. Články mohou teoreticky dosahovat rozdílu teplot až 70 °C, takže jestliže budeme teplou stranu udržovat v hodnotách kolem 40 °C, dosáhne studená strana záporných teplot.

### 1.3.1 Principy a režimy

V jednom z režimů se článek chová jako termoelektrický generátor. Na Obrázek 7 můžeme vidět, že s narůstajícím rozdílem teplot roste i generované napětí článku s nárůstem 0,05 V/°C. Z grafu je patrné, že při rozdílu 30 °C na teplotě, článek dává pouhých 1,3 V.

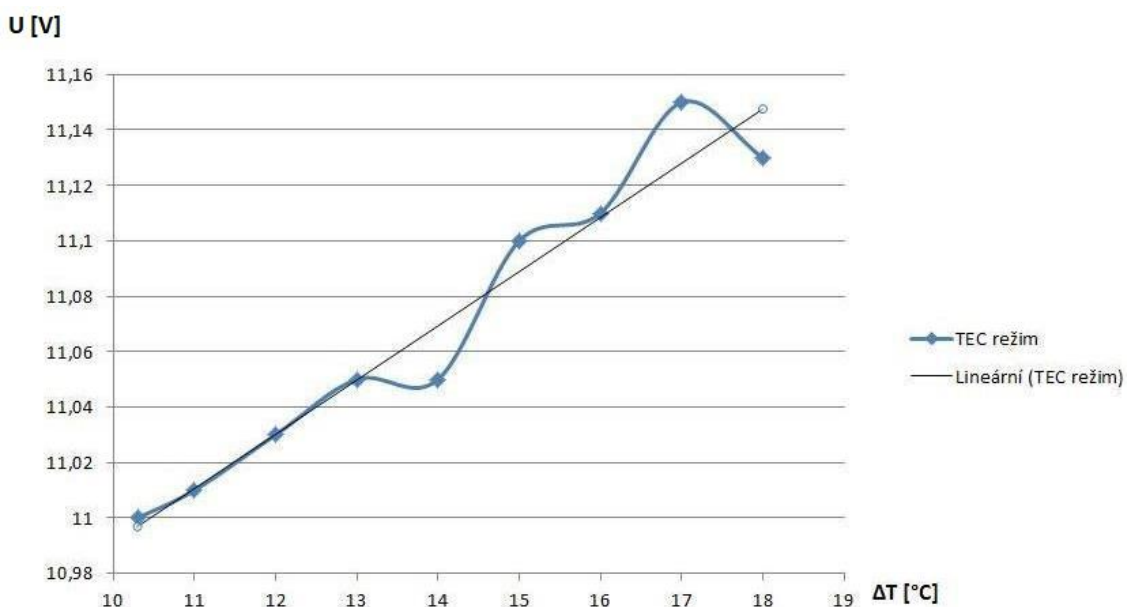


Obrázek 7: Napěťový zisk v závislosti na rozdílu teplot článku.

Druhý režim, který je v této práci důležitější, je článek v režimu jako termoelektrický chladič. Článek se za pomoci tekoucího proudu na jedné straně ochlazuje a na druhé zahřívá. Zde má lepší účinnost než v prvním režimu, ale nevýhodou je přehřívání článku a musí se zde řešit chlazení na teplé straně.



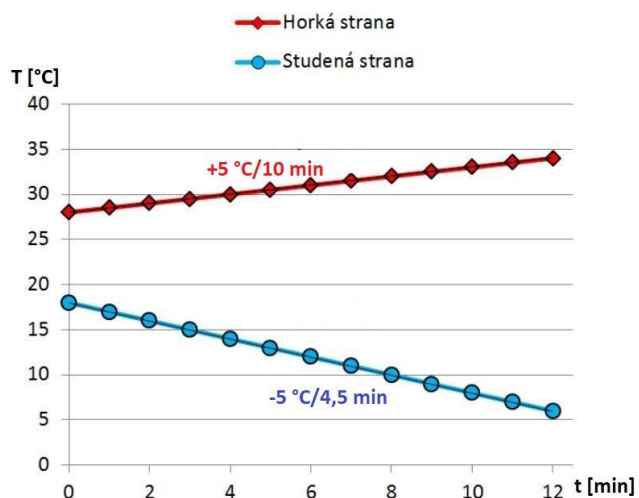
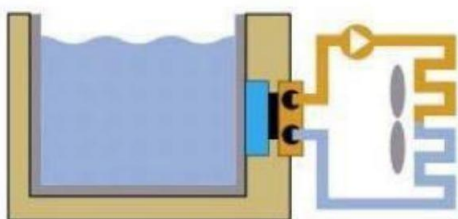
Na Obrázek 8 můžeme vidět, že s rostoucí teplotou článku se nepatrně zvedá i vstupní napětí, protože vstupní odpor článku roste. Při měření byl nastaven stálý proud ze zdroje stejnosměrného napětí na 3,55 A.



Obrázek 8: Vstupní napěťová charakteristika v závislosti na rozdílu teplot článku.

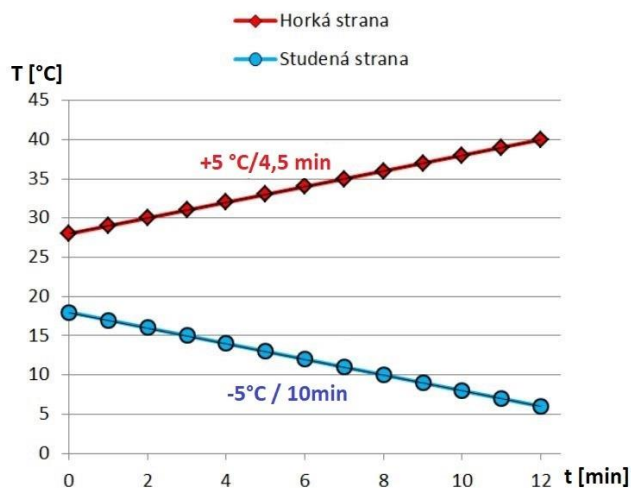
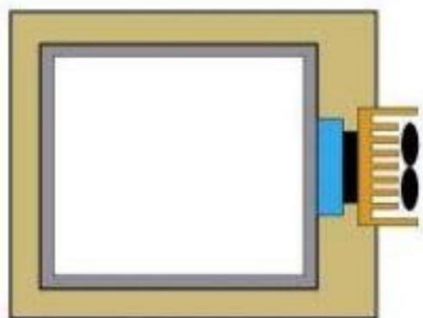
### 1.3.2 Typy chlazení

Existují tři typy chlazení. Prvním je chlazení za pomoci kapaliny, kde pomocí čerpadla rozproudím tekutinu přes chladicí prvek připevněný k článku. Následně kapalina proudí do chladicí části, kde se teplo ochladí vzduchem za pomoci připevněného ventilátoru. Tento typ je nejefektivnější, ale nejnáročnější na konstrukci.



Obrázek 9: Konstrukce chlazení kapalinou a graf teplotní závislosti na čase. Převzato z [2,3].

Druhý funguje na principu ochlazování teplé strany, kde za pomoci ventilátoru připevněném na chladiči odvádíme vytvořené teplo z článku. Konstrukčně je tento typ chlazení realizovatelnější a doba chlazení je poloviční oproti předešlému způsobu chlazení. V této práci jsem zvolil tuto volbu k odvádění tepla z teplé strany článků.



Obrázek 10: Konstrukce chlazení vzduchem a graf teplotní závislosti na čase. Převzato z [2,3].

Existuje také kaskádové zapojení více peltierových článků, kde druhý článek je studenou stranou přilepen k teplé straně prvního a tím tak dosahovat většího rozdílu teplot. Tato metoda má ale mnohem větší spotřebu energie.

### 1.3.3 Výhody a nevýhody

Největší výhodou termoelektrických článků je ten, že okamžitě reagují na změnu teploty nebo napětí připojené do obvodu. Jsou tedy dynamické a mají okamžitý efekt chlazení/topení. Jsou rozměrově přívětivé a dají se sehnat i v malých velikostech. Chlazení tak směřují do velmi malých ploch. Dosahují nízkých teplot v režimu jako chladič. Jejich tichý provoz je oproti kompresorovým chladicím způsobům vynikající, protože nemá žádné pohyblivé části. Mají také dlouhou životnost.

Mají snadnou regulaci a řízení jen za pomoci směru a velikosti protékajícího proudu. Dají se využívat v obou režimech, buďto jako generátor energie, nebo jako chladič.

Velkou nevýhodou je, že při velké teplotním rozdílu studené a teplé strany dochází k přehřívání, částečně to řeší keramická konstrukce a dobré chlazení teplé strany.

Při velmi nízkých teplotách dochází také na studené straně ke srážení vlhkosti.

Mají velkou spotřebu elektrického proudu řádově až desítek A. Mají tak nižší účinnost oproti kompresorovým chlazením.

I když tyto články dosahují účinnosti do několika jednotek %, jsou velice oblíbené mezi kutily. Při vyšších výkonech musíme také počítat s větší hlučností chladicího prvku teplé strany.

## 2. Praktická část

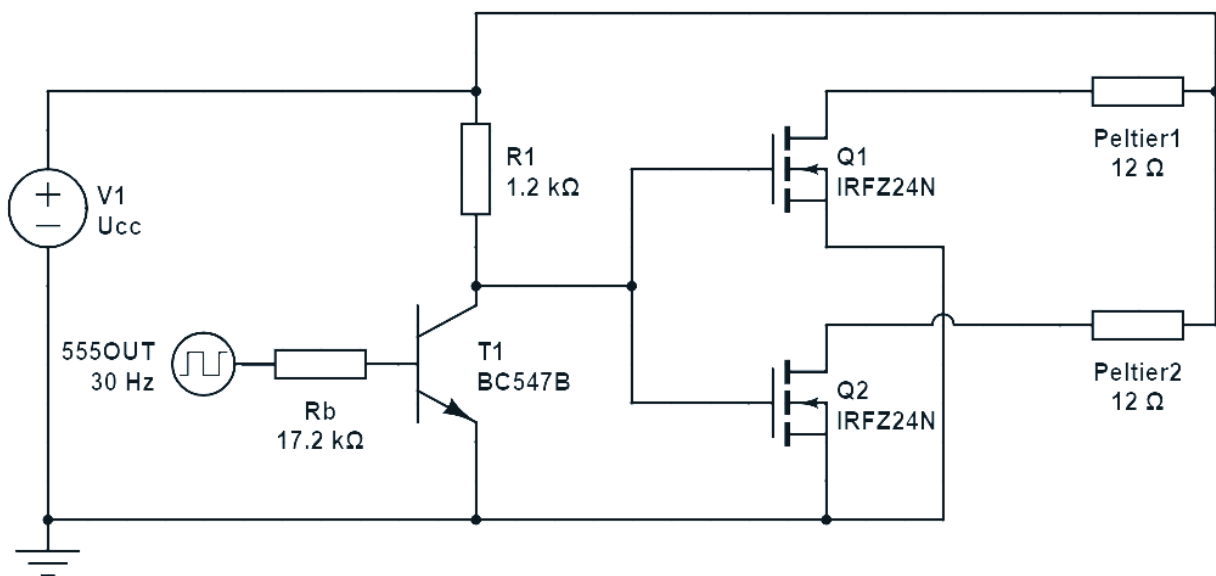
### 2.1 Návrh obvodů

Většina obvodů je převzata a upravena již z funkčních a otestovaných obvodů z různých elektronických časopisů a odborných článků zabývajících se na danou problematiku.

Jednotlivé komponenty a jejich hodnoty jsou upraveny ze specifikací od výrobců a doporučených hodnot pro daná zapojení.

#### 2.1.1 Řízení článků

Články jsou napájeny v obvodu přes dva otevřené MOSFET tranzistory typu IRFZ24N, kde každý zvládá přenést výkon až 58 W. Což nám pro 48 W články postačí. Samozřejmě se dají použít i výkonnější NPN tranzistory a články. Díky připojení hradel GATE na napětí 12 V přes odpor  $R_1$  se oba tranzistory nachází v saturaci. Pro jejich saturaci stačí pouhých 6 V, články tak jedou na maximální výkon.



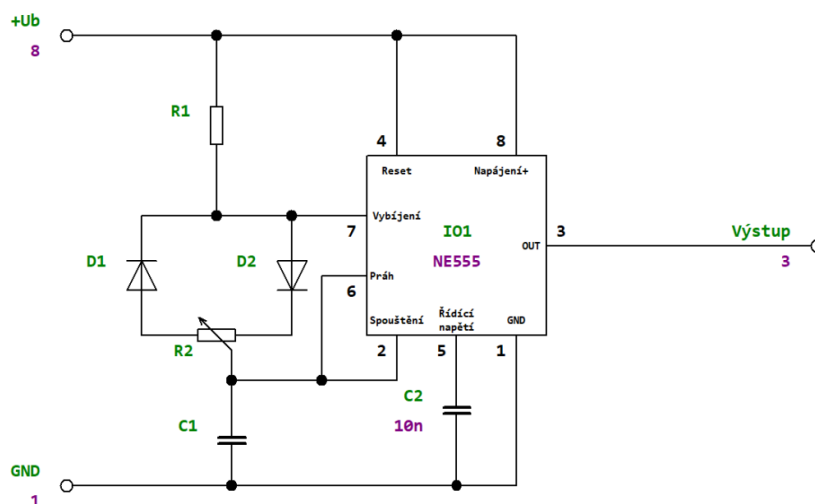
Obrázek 11: Zapojení článků.

Pomocí NPN tranzistoru BC547, který je zapojen jako spínač a jehož řídíme pomocí PWM signálu z časovače 555, odebíráme z hradel dostatečnou energii, aby se MOSFET tranzistory uzavírali a chovali se tak jako ventily.

Zapojený odpor  $R_1$  v kolektorovém obvodu o velikosti 1,2 k $\Omega$  je pro omezení tekoucího proudu a správnou funkčnost bipolárního tranzistoru. Jelikož je napájecí napětí 12 V tak tranzistorem teče kolem 10 mA. Tato hodnota se ale může měnit v závislosti na přiloženém napětí na zdroji, přesněji každý 1 V navíc zvětší proud o 1 mA.

PWM signál je řešen z integrovaného obvodu typu 555 v alternativním zapojení astabilního generátoru. Jeho spínací frekvence se dá ovlivnit hodnotami odporů  $R_1$ ,  $R_2$  a velikost kondenzátoru  $C_1$ . Pro výpočet hodnot lze použít jakoukoliv online kalkulačku [10]. V mém případě jsem zvolil hodnoty v rozmezí frekvencí od 0,15 do 30,7 Hz.

Výsledné hodnoty tak vyšly, že  $R_2$  má velikost 1 k $\Omega$ , kondenzátor kapacitu 47  $\mu$ F a hodnotou  $R_1$  může uživatel pomocí 100 k $\Omega$  potenciometru měnit střidu a řídit tak otevírání bipolárního tranzistoru BC547B.



Obrázek 12: Zapojení PWM generátoru. Převzato z [17].

Diody  $D_1$  a  $D_2$  v zapojení umožňují nabíjení a vybíjení kondenzátoru v závislosti na pozici potenciometru  $R_2$ . Změnou střidy lze brát jako poměr zapnutí/vypnutí podle následujícího vzorce (1.5).

$$D = \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad (2.1)$$

kde  $D$  je střida a  $R_1$ ,  $R_2$  jsou vstupní odpory.

Dobu  $t_H$  v log.“1“ a  $t_L$  v log.“0“ lze vypočítat pomocí tzv. „časové konstanty nabíjení kondenzátoru“ pomocí vzorců (2.2), (2.3).

$$t_H = 0,7(R_1 + R_2)C_1 \quad (2.2)$$

$$t_L = 0,7R_2C_1 \quad (2.3)$$

Z čehož vyplývá, že potenciometr  $R_2$  má v pravé pozici střidu 0,99 %,  $t_H = 3,32$  s a  $T_L=3,29$  a v levé pozici střidu 100 %,  $t_H = 0,03$  s a  $T_L=0$ . Z čehož vyplývá, že peltierovy články budou v levé poloze potenciometru  $R_2$  vypnuté, neboť bude bipolární tranzistor naplno otevřen a odebírat tak napětí z GATE hradel potřebné pro otevření MOSFETŮ. Naopak v pravé poloze dostávají články nejvyšší výkon přímo ze zdroje.



Následné referenční napětí vstupující na zápornou svorku OZ je vypočítáno vzorcem (2.5).

$$U_{OUT} = U_{IN} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \frac{100}{100 + 2500} = 0,192 \text{ V}, \quad (2.5)$$

Kde  $U_{OUT}$  je výstupní napětí děliče,  $U_{IN}$  je vstupní napětí do děliče (5 V),  $R_1$  a  $R_2$  odpory.

Jestliže napětí ze senzoru LM35 překročí tuto referenční hodnotu na výstupu operačního zesilovače se začne objevovat kladné zesílené napětí. Zesílení je vypočítáno ve vzorci (2.6), které zesiluje velikost rozdílu napětí mezi kladnou a zápornou svorkou OZ.

$$A_{741} = 1 + \frac{R4}{R3} = 1 + \frac{100\,000}{2000} = 51, \quad (2.6)$$

kde  $R4$  je zpětnovazební odpor o velikosti 100 k $\Omega$  a  $R3$  je vstupní odpor velikosti 2 k $\Omega$ .

Pracovní rozsahy teplot jsou tedy například od 19,2 °C, kdy OZ začne zesilovat a ventilátory začnou dostávat výkon z tranzistoru, který roste až do maximální teploty, kdy začnou ventilátory běžet na plný výkon viz. rozlišovací schopnost:

$$U_{LM35} = \frac{U_{MAX}}{A_{741}} = \frac{5}{51} = 0,098 \doteq 0,1 \text{ V}, \quad (2.6)$$

kde  $U_{LM35}$  je změna napětí na LM35,  $U_{MAX}$  maximální napětí z OZ a  $A_{741}$  zesílení OZ.

To znamená, že operační zesilovač zesiluje do teploty:

$$T_{MAX} = T_{REF} + \frac{U_{LM35}}{G_{LM35}} = 19,5 + \frac{0,1\text{V}}{10\text{mV}/\text{C}^\circ} = 19,5 + 10 = 29,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (2.6)$$

kde  $T_{REF}$  je referenční teplota dána napěťovým děličem,  $U_{LM35}$  změna napětí na senzoru a  $G_{LM35}$  rozlišovací schopnost senzoru.

To znamená že OZ zesiluje v rozsahu 10 °C, tento rozsah se dá zvětšit snížením zesílení operačního zesilovače změnou odporu  $R3$  nebo  $R4$ .

Odpor  $R5$  je zde pouze jako ochranný rezistor, aby čip neodebíral moc proudu tekoucího do báze tranzistoru. Jako tranzistor jsem použil typ BD139-16, který má parametr zesílení od 100 do 250, v průměru tak  $h_{FE} = 175$ , což znamená že pro dva 110 mA ventilátory na plný výkon musí téct do báze proud o velikosti 1,25 mA. Z tohoto důvodu postačí odpor  $R5$  o velikosti daný následujícím vztahem:

$$R5 = \frac{U - U_{BE}}{I_B * 5} = \frac{5 - 0,7}{6,28 * 10^{-3}} = 684 \text{ } \Omega, \quad (2.7)$$

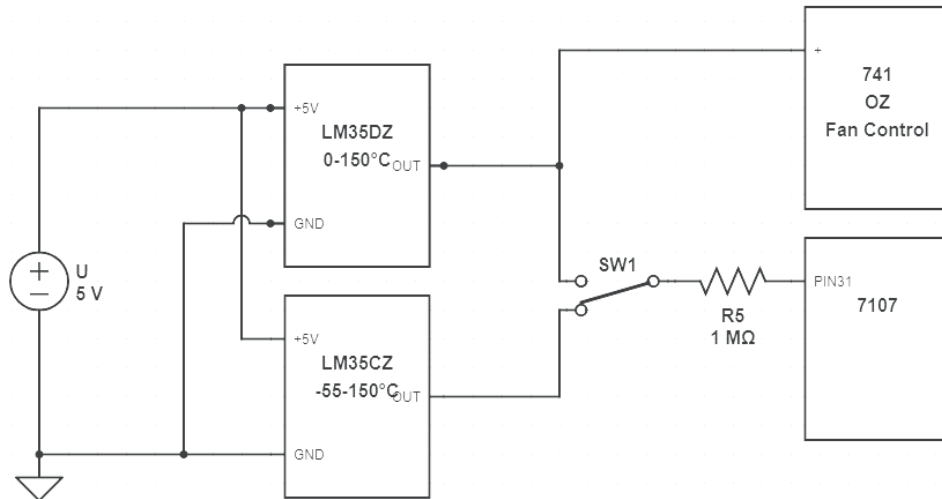
kde  $U_{BE}$  je napětí mezi bází a emitorem,  $U$  maximální napětí z OZ,  $I_B$  proud pro otevření tranzistoru.

Nejbližší hodnota pro  $R5$  z řady ESN je 1 k $\Omega$ , ale dá se nakombinovat i kombinací dvou odporů.

Dioda  $D1$  je zde pouze jako ochrana proti tomu, aby indukčnost cívky ventilátoru při rozepnutí proudu vygenerovanou napěťovou špičkou neprorazila tranzistor.

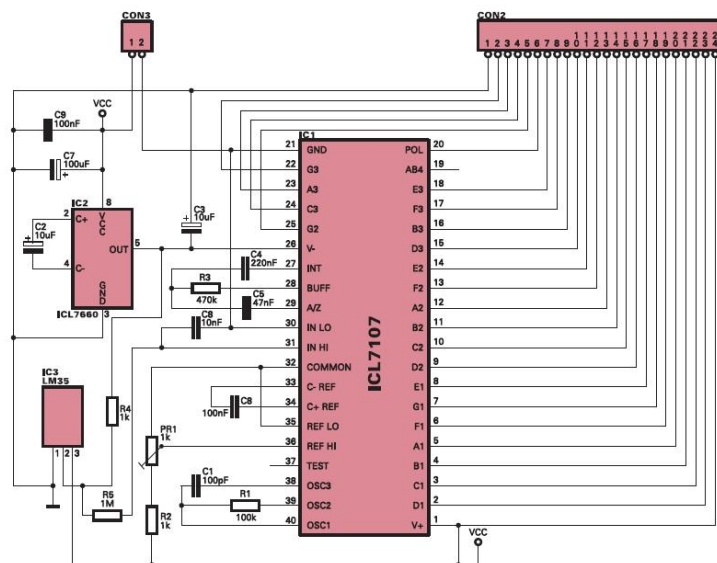
## 2.1.3 Zobrazení teploty

Pro zobrazení teploty jsem zvolil převodník typu ICL7107, který převádí vstupní napětí senzoru LM35 na digitální hodnotu, kterou zobrazí šestice 7 - segmentových displejů. Jeden ze senzorů je umístěný uvnitř boxu a druhý na jednom z chladičů. Uživatel si tak může pomoci přepínače SW1, který přepíná výstupy ze senzorů, vybírat mezi teplotou uvnitř a vně boxu viz následující zapojení:



Obrázek 14: Zapojení senzorů teplot. Vytvořeno v [19].

Schéma zapojení čipu vychází ze zapojení pro milivoltmetr s rozsahem od 0 do 1 V. Z důvodu měření záporných hodnot teplot musíme obvod doplnit o čip 7660, vytvářející záporné napětí na pin 26 a na výstup senzoru přes odpor  $R_4$ . Dvojice nejdůležitějších pinů jsou IN LO/IN HI, které snímají napětí a REF LO/REF HI na kterých nastavujeme referenční hodnotu napětí. Horní hranici reference nastavujeme pomocí napěťového děliče tvořen odporů  $R_2$  a nastavitelného trimru  $R_1$ .



Obrázek 15: Zapojení převodníku 7107. Převzato z [6].

Hodnotu  $R_2$  jsem zvolil 25 k $\Omega$  a trimr s označením PR<sub>1</sub> taky 25 k $\Omega$ , poměr děliče tak zůstává zachovalý.

Zbytek zapojených součástí je v původních hodnotách převzata z dokumentu od výrobce. Volný pin 19 je pro zobrazení číslovky v řádu stovek, v našem případě, kdy budeme zobrazovat teploty přibližně v rozsahu -50 °C až 99 °C může, ale nemusí být použit.

Odpor  $R_5$  o velikosti 1 M $\Omega$  je v zapojení proto, aby do „napěťového“ vstupu netekl žádný proud, který je v tomhle případě k ničemu.

Čip 7660 má přiřazenou kapacitu 10  $\mu$ F pro jeho správný chod. Přivedeme-li 5 V na vstupní svorku, na výstupní svorce se nám objeví stabilních -5 V.

## 2.2 Realizace návrhu

Před vytištěním DPS a umístění na box, byly obvody zapojeny a otestovány na nepájivém poli pro jejich funkčnost a kompatibilitu navzájem. Prvním problémem, který se objevil byl při vysokém odběru proudu z polovičně nabitě autobaterie. Stabilizátor nedokázal udržet stabilních 5 V, tím pádem veškeré prvky jako byli napěťové děliče změnili své výstupní napětí a obvody se tak nechovali tak jak měli. U aut to ale není problémem, jelikož se zde nachází alternátory a baterie jsou tak většinou plně nabitě. Celý systém je chráněn 10 A pojistkou (POJ) v zadní části víka. Na přední stranu jsem umístil 7 - segmentové displeje do rámečku a opatřil ho svítícím spínačem pro zapnutí. V pravé části se nachází již zmíněný spínač SW1 pro změnu zobrazované teploty a hned vedle něj je potenciometr, kterým měníme výkon chlazení.

### 2.2.1 Plošný spoj DPS

Navržená deska se vleze na jednovrstvý fotocuprexit typu FR4, na kterém jsou veškeré součástky z jedné strany a na druhé vodivé cesty. Hotovou desku naleznete v příloze.

Připojení 7 – segmentových modulů je řešeno drátky, ale dali by se řešit i páskem. Taková montáž by byla, ale obtížná, protože moduly mají pinové vývody tak by se museli hodit zvlášť na malou desku, kde by se následně připojil propojovací pásek.

Rezistory jsou klasické 2 W a většina kondenzátorů je keramická až na 2 elektrolytické.

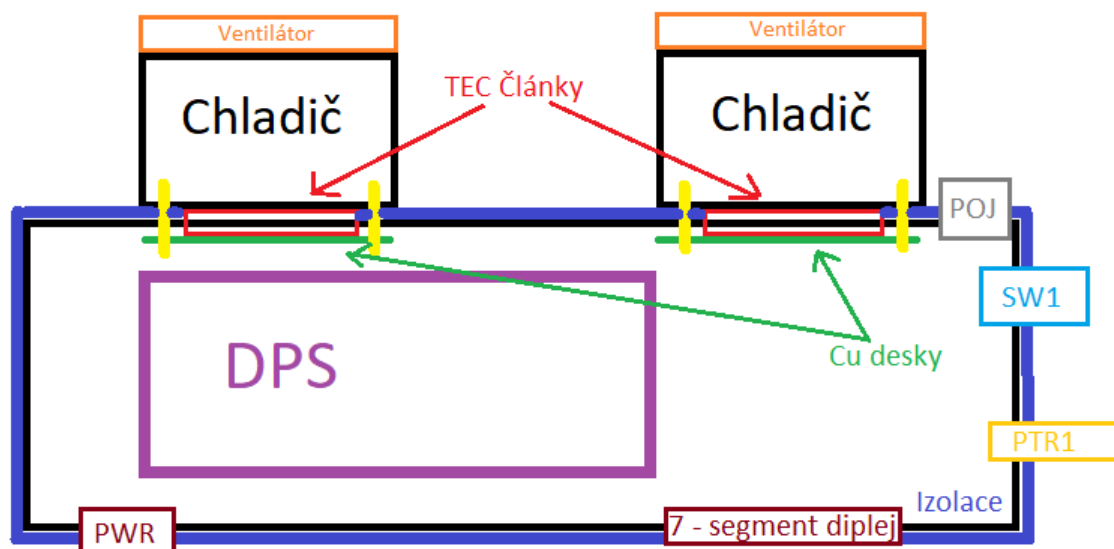
Potenciometr PR1 je připájen drátky na piny desky. Moduly v pouzdru TO220 jako je stabilizátor 7805 a tranzistory IRFZ24N jsou opatřeny chladiči do profilu U, aby u nic nedošlo k přehřátí.

Všechny integrované obvody jsou opatřeny paticemi pro snazší výměnu.



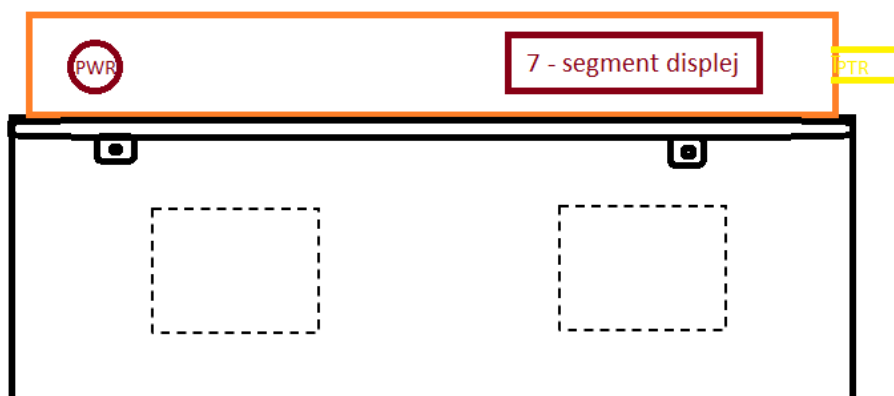
## 2.2.2 Rozložení mechanický části boxu

Box o rozměrech 26,3x10,2x8,7 cm má stěny zaizolované od vnějšku za pomoci izolačního materiálu Thermoflex, který odráží 90 % tepla do okolí a dobře drží vnitřní teplotu uvnitř boxu. U této izolace je dán součinitel tepelné vodivosti pouhých 0,038 W/mK a dá se dobře přilepit i oboustrannou lepicí páskou k plastu. Objem tohoto boxu vyjde na 2,23 dm<sup>3</sup>, běžně se do něj vleze láhev, nebo plechovka. Peltierovy články jsem zvolil 2 x 36,5 W s rozměrem 30x30x3,2 mm, které budou umístěné v zadní části boxu a budou z teplé strany chlazeny dvěma masivními chladiči s připevněnými ventilátory.



Obrázek 16: Uspořádání boxu – pohled shora.

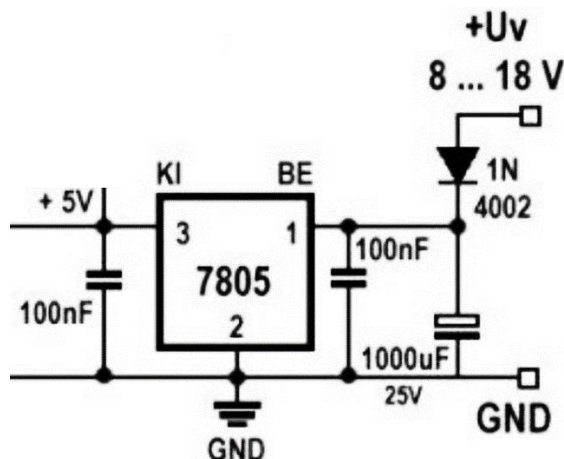
Ze studené strany jsou přitlačeny přes vodivou pastu měděné destičky a přichyceny na spodní stranu chladičů pomocí polykarbonových šroubů. Desku DPS jsem umístil na horní stranu víka a připevnil šrouby přes izolaci k víku. Ventilátory mají velikost 4,5x4,5 cm o výkonu dohromady 2,64 W, takže by měli dostatečně odebírat přebytečné teplo. Horní víko je vyzdviženo o 4 cm sklotexovými deskami, které zakryjí elektroniku a důležité součástky a jsou v nich umístěné ovládací a zobrazovací moduly.



Obrázek 17: Uspořádání boxu – pohled z boku.

### 2.2.3 Napájení

Pro napájení veškerých integrovaných obvodů je použit lineární stabilizátor typu 7805 ze řady 780X, kde X značí velikost výstupního napětí z čipu. Pro napájení celého systému se dá použít jakýkoliv zdroj schopný dodávat proudy až 10 A.



Obrázek 18: Zapojení stabilizátoru 7805. Převzato z [11].

Kondenzátor mezi piny 1 a 2, který má 100 nF slouží jako filtrace šumu a rušení ve vedení. Zbylé dva kondenzátory fungují jako kompenzátory při rychlé změně zatěžovacího proudu v obvodu. Vstupní kondenzátory musí být dimenzovány minimálně na 25 V, aby se jeho jejich struktura nepoškodila. Dioda 1N4002 je na vstupu jen jako 1 A usměrňovač, lze ji nahradit modelem 1N4007, který se dá snáze sehnat na trhu.

## 2.3 Měření vlastností

Senzor LM35 měří teplotu s přesností  $\pm 0,25$  °C, což znamená že jejich relativní chyba měření je zanedbatelná. Proudů a napětí jsou měřeny multimetrem MASTECH typu MAS830L s přesností 0,5 až 2 %. Čas byl měřen za pomoci mobilního telefonu. Napájení je řešeno ze spínaného zdroje LPB-100-12 schopné dodat 12 V/8,5 A.

### 2.3.1 Rychlost chlazení v čase

Měření probíhalo za pomoci teplotního senzoru LM35 ve vzdálenosti 1 cm od jedné měděné desky, přilepené k studené straně. Chlazení bylo otestováno v polovičním i plném výkonu článků. Pro oba tyto testy jsem zvolil interval od 0 až po 250 s, které nám pro přehled postačí. Jak můžeme vidět v Tabulce 1 teplota se u plného výkonu do minuty stabilizuje na hodnotu 8,2 °C, kdy dosahuje svého minima. Poté mírně roste do 9 °C a nadále se snaží svou hodnotu udržet. V tomto měření se dokázala teplota snížit až o 16,1 °C oproti teplotě okolí.

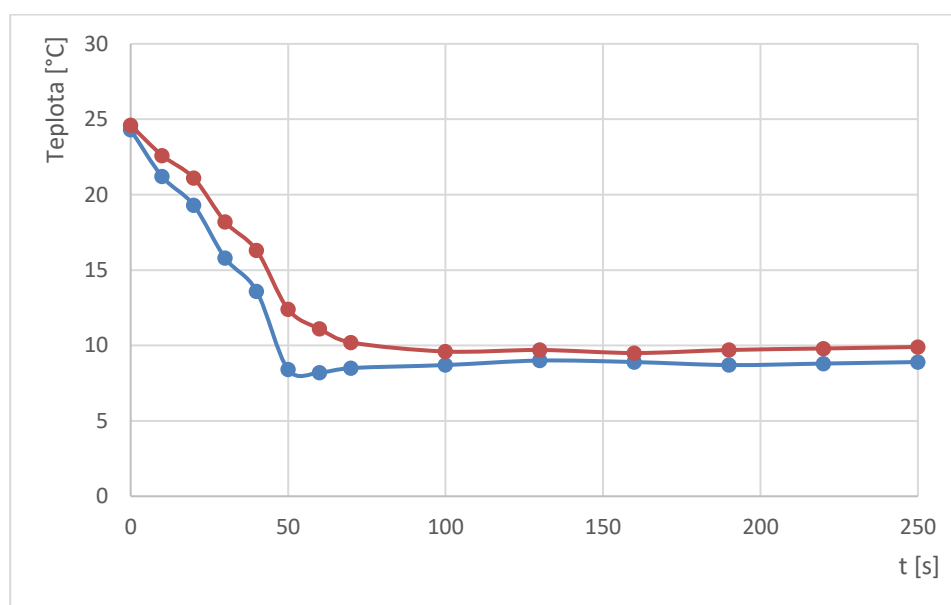
U polovičního výkonu je patrné, že článkům trvá delší dobu k ochlazení měděné destičky. Minimální teploty tak dosáhne při dvojnásobném čase, než je tomu při plném výkonu článků. Zde

však minimální teplota dosáhla pouhých 9,5 °C a pak se drží pod teplotou 10 °C.

Tabulka 1: Měření vnitřní teploty.

Teplota okolí = 24,5 °C			
Plný výkon		Poloviční výkon	
Čas [s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Teplota [°C]
0	24,3	0	24,6
10	21,2	10	22,6
20	19,3	20	21,1
30	15,8	30	18,2
40	13,6	40	16,3
50	8,4	50	12,4
60	8,2	60	11,1
70	8,5	70	10,2
100	8,7	100	9,6
130	9	130	9,7
160	8,9	160	9,5
190	8,7	190	9,7
220	8,8	220	9,8
250	8,9	250	9,9

Z grafu lze vydedukovat, že při zapnutí článků teplota lineárně klesá až po svou minimální dosažitelnou teplotu. Při lepším odvádění tepla z teplé strany článku, by se tato teplota ještě snížila. Zde je patrné že ventilátory nestíhají odebrat přebytečné teplo z chladičů.



Obrázek 19: Chlazené peltierovy články v čase t.

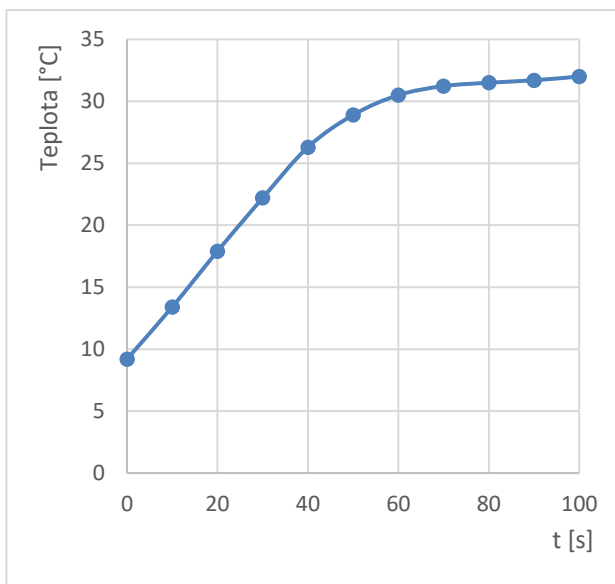
Články během minuty dokázali snížit svou teplotu, teoreticky tak vytvořili na teplé straně teplotu o velikosti kolem 50 °C. Při dotyku chladiče tomu tak i odpovídalo. Zde je vidět, jak teplota okolí závisí na dosažitelnosti nižších teplot. Články samy o sobě produkují na teplé straně hodně tepla, z toho důvodu je nutností odvádět teplo jinak než jen pasivními chladiči.

### 2.3.2 Udržení teploty po vypnutí

Při vypnutí soustavy se zastaví tekoucí proud do článků i ventilátorů a dojde k tomu, že článek se snaží vyrovnat rozdíl teplot mezi teplou a studenou stranou. Měření zde probíhalo ve vzdálenosti 1 cm od měděné destičky, uvnitř boxu.

Tabulka 2: Měření vnitřní teploty po vypnutí.

Čas [s]	Teplota [°C]
0	9,2
10	13,4
20	17,9
30	22,2
40	26,3
50	28,9
60	30,5
70	31,23
80	31,5
90	31,7
100	32



Obrázek 20: Udržení teploty v komoře.

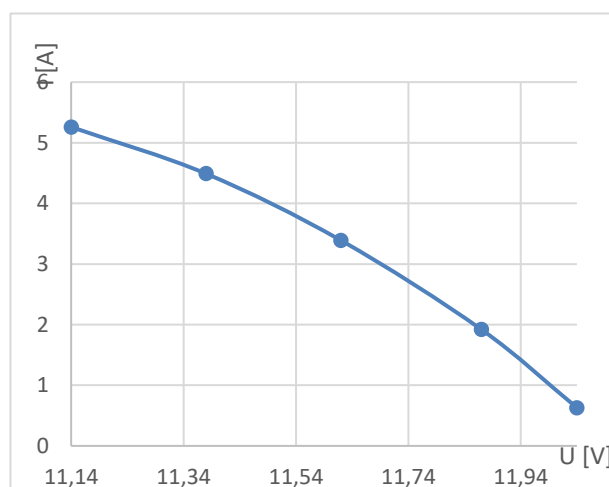
Náhly lineární nárůst teploty, jak můžeme vidět v Obrázek 20, překročí teplotu okolí, která v tomto případě je kolem 25 °C. Teplota se vrátila na teplotu okolí jen něco málo po minutě. Tento čas závisí na velikosti a šířce měděných destiček přilepené ke studené straně článku.

### 2.3.3 Spotřeba v čase

Celkové hodnoty jsou průměrované v závislosti na čase, neboť výkon do článků je řízen pomocí PWM a články tak jedou v době  $t_0$  na maximální výkon a v době  $t_L$  jsou vypnuté. Proud a napětí by se tak nacházeli v maximálních a minimálních hodnotách.

Tabulka 3: Měření spotřeby výkonu.

Výkon [%]	U [V]	I [A]	P [W]
0	12,04	0,63	7,59
25	11,87	1,92	22,79
50	11,62	3,39	39,39
75	11,38	4,49	51,10
100	11,14	5,26	58,60



Obrázek 21: Měření spotřeby výkonu.

## 3. Ekonomická rozvaha

### 3.1 Cena

Veškeré ceny jsou uvedeny včetně DPH, která v ČR činí 21 % za spotřební zboží. Zakoupené komponenty jsou z více různých prodejních míst. Samozřejmě jsou čipy a tranzistory vyráběné z různých firem jako jsou například STMicroelectronics, Texas Instruments nebo International Rectifier a každá tato firma nabízí odlišné ceny. Ceny jsou rozděleny do dvou velkých skupin v závislosti na typu materiálu a použití. V elektronické části je obsažen veškerý materiál, který je zapotřebí pro elektronickou část a oživení jako jsou například součástky pro DPS a články. V druhé části jsou naopak neelektrické materiály. Podrobnější seznam součástek spolu s DPS je dodán jako elektronická příloha k této práci.

#### 3.1.2 Elektrické části

*Tabulka 4: Cena za elektrické části*

Komponent	Cena
Rezistory, trimry, kondenzátory, diody	96,-
Tranzistory	40,-
Integrované obvody	171,-
Fotocuprexit FR4 jednovrstvý 160x80x1,5	75,-
Chemie pro výrobu DPS	150,-
7 - segmentové displeje	44,-
Cín, kalafuna, lak	60,-
2xPeltierův článek TES1-127040	398,-
Senzor teploty LM35CZ -40~110 °C	98,-
Senzor teploty LM35 0~100 °C	35,-
Svorkovnice, sockety 3xDIP8, DIP40	61,-
Celkem	1228,-

Je třeba si dávat pozor při výběru peltierových článků, některé jsou totiž opatřené keramickou vazbou pro lepší tepelnou pevnost. Před umístěním desky do víka je dobré si odzkoušet funkčnost všech modulů.

### 3.1.2 Mechanické části

Tabulka 5: Cena za mechanické části

Komponent	Cena
Tepelně izolační folie Thermoflex	80,-
Oboustranná lepicí páska	60,-
Plastový box 2,21dm <sup>3</sup>	59,-
Chladiče TO220	23,-
2xChladič V68-50SA	196,-
Spínač P-R932BT	10,-
Teplovodivá pasta EXTRÉM	105,-
2xVentilátor SUNON ME45101V1-000U-A99	178,-
Spínač PWR SW1 12 V/10 A	20,-
3xkabel Sif 1x0,25 mm <sup>2</sup> -Red, Blue, White	72,-
2xkabel Cya 1x0,5 mm <sup>2</sup> -Red, Blue	48,-
Tabule Sklotex	100,-
Šroubky, matky, polykarbonové šroubky	50,-
Autovidlice	16,-
Celkem	1017,-

Celková cena za veškerý materiál je 2245,- a je spíše orientační. Prototyp je postaven z běžně dostupných materiálů a cena se může lišit v závislosti na použitých materiálech. Celková doba při sestavování boxu byla den a dala by se zkrátit při hromadné výrobě až na šestinu. Předpokládejme, že při výrobě n-kusů ročně, nám výrobní náklady spadnou na 1900,-. V tomto případě by nám spád pokryl zisk při prodeji boxu za 2300,-. Velkou roli zde ale hraje poptávka a hodnocení boxu, při používání ze stran třetí strany.

## 4. Závěr

Teoretická část popisuje základy pohybů elektronů a děr v pásovém modelu atomu, kde se dopodrobna zaměřuji na polovodiče a jejich základní vlastnosti. V této části se nadále zaměřuji na principy a jevy, na kterých fungují TE články v praxi.

Cílem této práce byl návrh přenosné auto ledničky napájené z automobilové zásuvky se zobrazováním teploty. Řídící elektronika je řešena na jednovrstvém plošném spoji, kde jsou periférie připojené pomocí svorkovnic a jsou zde piny pro napojení 7 – segmentových displejů pro zobrazení teplot. Tato deska je skryta ve vyvýšeném víku, kde se dá horní strana odnímat, pro rychlý zásah do elektroniky.

Při sestavování jsem zvolil rozměry auto ledničky tak, aby byl navržený obvod schopen uchladiť prostor uvnitř. Celkový teoretický chladicí výkon systému je 73 W, ale jak můžeme vidět z testů dosahuje pouze okolo 60 W. Tento výkon je možno zvětšit záměnou výkonnějších peltierových článků spolu s tranzistory v koncovém stupni obvodu.

Box je odizolován za pomoci teplo odolné folie a peltierovy články se nachází mezi chladiči a měděnými destičkami uvnitř, které ochlazují vnitřek komory. Ventilátory jsou připevněné k chladičům a při měření docházelo k problému, že slabé ventilátory nedokázali odebrat veškeré přebytečné teplo a vnitřní teplota tak nedosahovala nízkých teplot.

Systém celkově po elektronické stránce splňuje požadavky, ale články nedokážou vyvinout tak nízkou teplotu na studené straně, a proto se spíš hodí jen pro laboratorní účely. Toto lze částečně řešit výměnou výkonnějších ventilátorů, nebo za pomoci větších chladičů.

Zapojení by se dalo doplnit o obvod se zapojením Lithiových akumulátorů, který by se staral při zapojení do automobilové zásuvky o jejich nabíjení a při odpojení sloužit jako záložní zdroj energie na cesty. Box může být také samozřejmě větší, ale musí se počítat s tím, že doba k ochlazení celé komory se zvýší.

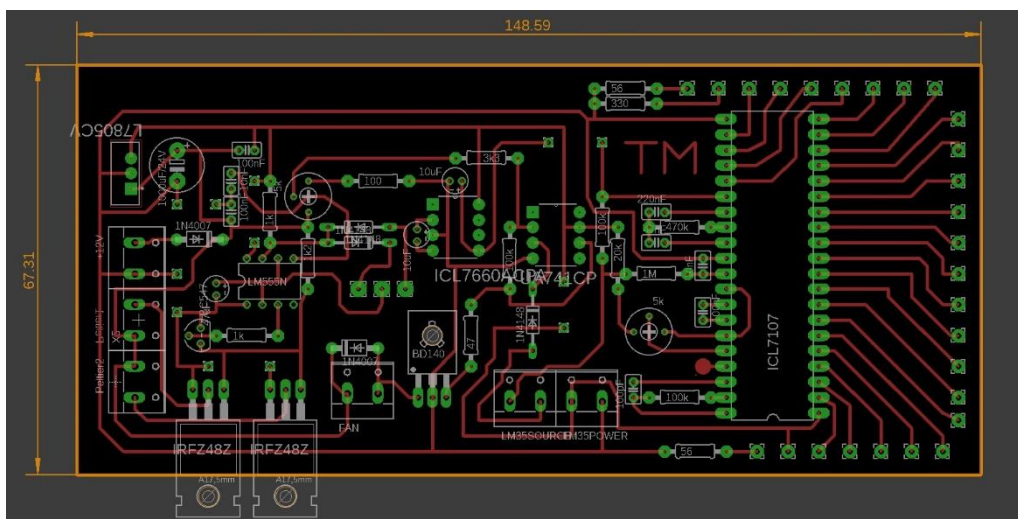
# Literatura

- [1] J. Koller, „Aldebaran,“ 2006. [Online]. Available: <http://aldebaran.feld.cvut.cz/>.
- [2] „GM Electronic,“ 1990. [Online]. Available: <https://www.gme.cz/>.
- [3] M. Babor, „Elektrické vlastnosti pevných látek,“ 2017. [Online]. Available: [http://uchpel.vscht.cz/files/uzel/0022888/vlastnosti%20PL\\_elektricke%20l.pdf](http://uchpel.vscht.cz/files/uzel/0022888/vlastnosti%20PL_elektricke%20l.pdf).
- [4] L. Polák, „Polovodiče typu N a P,“ [Online]. Available: [http://www.trivis.cz/editor/image/stranky3\\_soubory/polovodice-typu-n-a-p\\_-dioda.pdf](http://www.trivis.cz/editor/image/stranky3_soubory/polovodice-typu-n-a-p_-dioda.pdf).
- [5] M. Rotter, „Změna elektrického odporu s teplotou,“ [Online]. Available: [http://vnuf.cz/sbornik\\_old/rozsirene/Rotter/Rotter.html](http://vnuf.cz/sbornik_old/rozsirene/Rotter/Rotter.html).
- [6] F. ú. A. ČR, „Termoelektrický jev,“ 2008. [Online]. Available: <https://www.fzu.cz/oddeleni/oddeleni-magnetik-a-supravodicu/vyzkumna-temata/termoelektricky-jev>.
- [7] K. U. Department of Applied Physics and Physico-Informatics, „Observation of the spin Seebeck effect,“ 2008. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/23307722\\_Observation\\_of\\_the\\_spin\\_Seebeck\\_effect](https://www.researchgate.net/publication/23307722_Observation_of_the_spin_Seebeck_effect).
- [8] C. doc. RNDr. Světlá Vacková, „Termoelektrické jevy v polovodičích a rostlinných produktech,“ 2011. [Online]. Available: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/termoelektricke-jevy-v-polovodicich-a-rostlinnych-produktech--10069>.
- [9] Andy70707, „ICL7107 and LM35 based 7-segment thermometer,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.instructables.com/topics/ICL7107-and-LM35-based-7-segment-thermometer/>.
- [10] Z. P. Labs, „555 (NE555) Astable Circuit Calculator,“ [Online]. Available: <http://www.ohmslawcalculator.com/555-astable-calculator>.
- [11] SnapEDA, „All Electronic Components,“ 2013. [Online]. Available: <https://www.snapeda.com/parts/>.
- [12] G. N. Services, „PC Temperature Controlled Fan Interface,“ 1999. [Online]. Available: <http://www.gbnetwork.co.uk/circuits/fan/index.html>.
- [13] E. Tutorials, „Transistor as a Switch - Using Transistor Switching,“ 2018. [Online]. Available: [https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran\\_4.html](https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_4.html).
- [14] N. Eletronica, „Control circuit using PWM,“ [Online]. Available: <http://blog.novaeletronica.com.br/en/circuito-de-controle-de-motor-dc-pwm-usando-555/>.
- [15] Petan, „Zapojení časovače 555,“ 2006. [Online]. Available: <https://www.mylms.cz/text-zapojeni-casovace-555/>.
- [16] Z. Raabe, „Elportal,“ 2016. [Online]. Available: [https://elportal.pl/pdf/k07/38\\_13b.pdf](https://elportal.pl/pdf/k07/38_13b.pdf).
- [17] M. J. Montágová, „Polovodiče - úvod,“ 2013. [Online]. Available: <http://slideplayer.cz/slide/2467117/#>.
- [18] CircuitLab, „CircuitLab,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.circuitlab.com/>.
- [19] B. M. návody, „Zapojení stabilizátoru 78xx,“ 2018. [Online]. Available: <https://blog.myarduino.cz/zapojeni-stabilizatoru-78xx>.
- [20] M. Brázdil, 2009. [Online]. Available: [https://dSPACE.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9794/BP\\_Brazdil\\_Marian.pdf?se](https://dSPACE.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9794/BP_Brazdil_Marian.pdf?se).



# Přílohy

## 1. Výsledná deska DPS



Obrázek 22: Deska DPS spolu se součástkami.

## 2. Výsledný vzhled auto lednice



Obrázek 23: Výsledná auto lednice.

# Elektronické přílohy

- |                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| 1. BP_morcitom                     | .pdf soubor    |
| 2. Šablona pro vytištění DPS       | .pdf soubor    |
| 3. Seznam součástek                | .pdf soubor    |
| 4. Navržené schéma a deska v EAGLE | Složka souborů |
| 5. Měření                          | .xls soubor    |