

# **Návrh a realizace zařízení pro měření teplotní závislosti voltampérových charakteristik polovodičových diod**

Milan Mojžiščák

---

Bakalářská práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Milan Mojžiščák**  
Osobní číslo: **A18220**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Návrh a realizace zařízení pro měření teplotní závislosti volt-ampérových charakteristik polovodičových diod**  
Téma práce anglicky: **Design and implementation of a device for measuring the temperature dependence of volt-ampere characteristics of semiconductor diodes**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši vztahující se k tématu práce.
2. Z dostupných prostředků navrhnete a sestavte vyhřívanou komoru s možností regulace teploty.
3. Ve vhodném programovacím prostředí vytvořte software pro uživatelsky pohodlné ovládání a nastavení experimentu.
4. Provedte měření volt-ampérových charakteristik u vybraných polovodičových diod v závislosti na teplotě.
5. Výsledky zpracujte a vhodně prezentujte.
6. Odhadněte meze použitelnosti sestaveného zařízení.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
2. DVOŘÁK, Leoš. *Polovodiče a jejich aplikace: vzdělávací modul fyzika : výukový a metodický text: Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA*. Vyd. 2. Praha: P3K, 2012. ISBN 978-80-87343-08-1.
3. HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. *Elektrická měření: Přístroje a metody*. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-01717-6.
4. Regtien, P. P. L., Heijden, F. van der, Korsten, M. J., & Otthius, W.. *Measurement science for engineers*. Oxford, England: Hermes Penton. 2004. ISBN 9781903996584.
5. TRAVIS, Jeffrey a Jim KRING. *LabVIEW for everyone: graphical programming made easy and fun*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, c2007. ISBN 0131856723.
6. ESSICK, John. *Hands-on introduction to LabVIEW for scientists and engineers*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, c2013. ISBN 0199925151.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Navrátil, Ph.D.**  
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2021**

**doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2021

**Meno, Priezvisko: Milan Mojžiščák**

**Názov bakalárskej práce: Návrh a realizácia zariadenia pre teplotnú závislosť volt-ampérovej charakteristiky polovodičových diód**

**Prehlasujem, že**

- beriem na vedomie, že odovzdaním bakalárskej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Zb. o vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších právnych predpisov, bez ohľadu na výsledok obhajoby;
- beriem na vedomie, že bakalárska práca bude uložená v elektronickej podobe v univerzitnom informačnom systéme dostupná k prezenčnému nahliadnutiu, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude uložený v knižnici Fakulty aplikovanej informatiky Univerzity Tomáša Bati v Zlíne;
- bol / a som oboznámený / a s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon) v znení neskorších právnych predpisov, hlavne. § 35 ods. 3;
- beriem na vedomie, že podľa § 60 ods. 1 autorského zákona má UTB v Zlíne právo na uzatvorenie licenčnej zmluvy o použití školského diela v rozsahu § 12 ods. 4 autorského zákona;
- beriem na vedomie, že podľa § 60 ods. 2 a 3 autorského zákona môžem užiť svoje dielo - bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu len ak pripúšťa tak licenčná zmluva uzatvorená medzi mnou a Univerzitou Tomáša Bati v Zlíne s tým, že vyrovnanie prípadného primeraného príspevku na úhradu nákladov, ktoré boli Univerzitou Tomáša Bati v Zlíne na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky) bude tiež predmetom tejto licenčnej zmluvy;
- beriem na vedomie, že ak bolo k vypracovaniu bakalárskej práce využité softvéru poskytnuté Univerzitou Tomáša Bati v Zlíne alebo inými subjekty iba na študijné a výskumné účely (teda iba na nekomerčné využitie), nemožno výsledky bakalárskej práce využiť na komerčné účely;
- beriem na vedomie, že ak je výstupom bakalárskej práce akýkoľvek softvérový produkt, považujú sa za súčasť práce takisto aj zdrojové kódy, popr. súbory, z ktorých sa projekt skladá. Neodovzдание tejto súčasti môže byť dôvodom na neobhájenie práce.

**Prehlasujem,**

- že som na bakalárskej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval. V prípade publikácie výsledkov budem uvedený ako spoluautor.
- že odovzdaná verzia bakalárskej práce a verzia elektronickej nahraná do IS / STAG sú totožné.

V Zlíne, dňa 19.04.2021

.....  
Milan Mojžiščák

## **ABSTRAKT**

Obsahom tejto práce je návrh a realizácia zariadenia pre reguláciu teploty. Zariadenie ma slúžiť na meranie volt-ampérovej charakteristiky polovodičových diód. Súčasťou práce je stručná rešerše teplotných senzorov a vyhrievacích telies, návrh riadiaceho systému, regulácie teploty, programovanie hardvéru Arduino, grafického zobrazenia nameraných dát v prostredí MATLAB. V praktickej časti je popis realizácie výroby zariadenia a následne meranie polovodičových diód.

Kľúčové slova:

Vyhrievacie telesá, teplotný senzor, spínanie PWM, regulácia teploty, Arduino, MATLAB

## **ABSTRACT**

The content of this work is the design and implementation of equipment for temperature control. The device is intended for measuring the volt-ampere characteristic of semiconductor diodes. Part of the work is a brief search of temperature sensors and heating elements, design of control system, temperature control, programming of Arduino hardware, graphical display of measured data in the MATLAB environment. The practical part describes the implementation of the production of equipment and subsequent measurement of semiconductor diodes.

Keywords:

Heating elements, temperature sensor, switching PWM, temperature control, Arduino, MATLAB

## **POĎAKOVANIE**

Rád by som poďakoval Ing. Milanovi Navrátilovi, PhD. za odborné vedenie práce a podporu. Ďalej by som chcel poďakovať doc. RNDr. Vojtěchovi Křesálkovi, CSc. a prof. Ing. Vladimírovi Vaškovi, CSc, za podnetné návrhy k téme bakalárskej práce.

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>ANALÝZA TRHU</b> .....	<b>10</b>
<b>1 VYHRIEVACIE TELESÁ</b> .....	<b>11</b>
<b>2 TEPLOTA</b> .....	<b>13</b>
2.1 ROZDELENIE SENZOROV TEPLoty .....	14
<b>3 SENZORY PRE DOTYKOVÉ MERANIE</b> .....	<b>15</b>
3.1 ODPOROVÉ KOVOVÉ SENZORY .....	15
3.2 POLOVODIČOVÉ ODPOROVÉ SENZORY .....	16
3.3 POLOVODIČOVÉ MONOKRYŠTALICKÉ SENZORY TEPLÔT .....	17
3.4 MONOKRYŠTALICKÉ PN SENZORY TEPLoty .....	17
3.5 TERMŌELEKTRICKÉ SENZORY TEPLoty .....	18
3.6 DILATAČNÉ TEPELNÉ SENZORY .....	18
<b>4 STATICKÉ VLASTNOSTI DIÓDY</b> .....	<b>20</b>
<b>5 ZÁKLADNÝ POPIS BIPOLÁRNEHO TRANZISTORA</b> .....	<b>22</b>
5.1 SPÍNANIE PWM .....	24
<b>6 REGULÁTOR</b> .....	<b>25</b>
6.1 DVOJBODOVA REGULÁCIA .....	26
6.2 REGULACIA POMOCOU PENALIZAČNEJ KONŠTANTY .....	29
<b>7 ARDUINO</b> .....	<b>32</b>
7.1 SOFTVÉR ARDUINO IDE .....	34
7.2 ZÁKLADNE PRÍKAZY .....	36
<b>8 MATLAB</b> .....	<b>38</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>9 NÁVRH ZARIADENIA</b> .....	<b>40</b>
9.1 NÁVRH TEPELNEJ KOMORY .....	41
<b>10 NÁVRH HARDVÉRU</b> .....	<b>45</b>
10.1 TRANZISTOR AKO SPÍNAČ .....	49
10.2 TEPELNÝ SENZOR DS18B20 .....	52
<b>11 MERANIE TEPLoty</b> .....	<b>55</b>

<b>12 RIADENIE TEPLOTY .....</b>	<b>58</b>
12.1 ALGORITMUS DVOJBODOVEJ REGULÁCIE .....	61
12.2 PROGRAMOVÉ RIEŠENIE DVOJBODOVEJ REGULÁCIE .....	62
12.3 VÝPOČET PENALIZAČNEJ KONŠTANTY .....	63
12.4 ALGORITMUS POMOCOU PENALIZAČNEJ KONŠTANTY .....	66
12.5 PROGRAMOVÉ RIEŠENIE Z PENALIZÁCIOU .....	67
12.6 GRAFICKÝ PANEL V PROSTREDÍ MATLAB GUI .....	68
12.7 TESTOVANIE TEPELNEJ KOMORY .....	70
<b>13 MERANIE POLOVODIČOVEJ DIÓDY .....</b>	<b>72</b>
13.1 PARAMETRE DIÓDY .....	72
13.2 MERANIE VOLTAMPÉROVEJ CHARAKTERISTIKY DIÓDY .....	73
<b>14 FINANČNÁ ANALÝZA .....</b>	<b>74</b>
<b>ZÁVER .....</b>	<b>75</b>
<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY .....</b>	<b>76</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK .....</b>	<b>78</b>
<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>81</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>83</b>
<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>84</b>



## ÚVOD

Obsahom tejto bakalárskej práce je návrh a realizácia zariadenia, ktoré bude slúžiť na meranie a reguláciu teploty. Zariadenie je prispôbené pre meranie volt-ampérovej charakteristiky polovodičových diód. Súčasťou práce je zhotovenie grafického panelu pre zadávanie a zobrazovanie teploty v užívateľsky vhodnom prostredí, ako je napríklad MATLAB GUI. Využitie tohto zariadenia je najmä v laboratóriách, alebo v priemyselnom odvetví.

Práca popisuje teoretické vedomosti o teplote, teplotných senzorov, základných vlastnostiach tranzistorov a diód, vyhrievacích telies, princíp PWM spínania, riadenie teploty, programové riešenie až po návrh a zhotovenie zariadenia.

V praktickej časti je popis postupu pri návrhu, realizácie, ako aj samotného testovania zariadenia. Výsledkom práce je meranie polovodičovej diódy, ktorá ma byť praktickým príkladom využitia. Zariadenie sa skladá z tepelnej komory, ktorá je z teplotne odolného materiálu. Tepelná komora je vložená do izolačnej komory, aby sa zamedzilo tepelným stratám. Okolie tepelnej komory je izolované z dostupných izolačných materiálov. Tepelná komora obsahuje 2 vyhrievacie telesá, senzor teploty, ventilátor na rovnomerne rozloženie teploty v komore. Zariadenie obsahuje regulátor ktorý sa skladá z vývojovej dosky Arduino a dosky plošných spojov na ktorom je spínací mechanizmus založený na princípe spínania tranzistorov. Vo vývojovej doske Arduino je nahraný program, ktorý komunikuje s počítačom, a zároveň reguluje teplotu na požadovanú hodnotu zadanú užívateľom. V prostredí MATLAB GUI je vytvorený grafický panel pre komfortnejšie zadávanie teploty ako aj zobrazenie teploty v reálnom čase. Zariadenie môže mať uplatnenie v laboratórii napr. na školskej fakulte.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

## ANALÝZA TRHU

Po preskúmaní trhu som nenašiel konkrétne zariadenie, ktoré je priamo určené pre meranie charakteristík polovodičových diód. Existuje však široká škála regulátorov určených pre priemysel ako aj pre domáce použitie. Tieto regulátory väčšinou obsahujú senzory teploty, algoritmus pre riadenie teploty, zobrazovací panel, rozlíšenie teploty, počet vstupov a výstupov atď.

Tieto typy regulátorov sa väčšinou implementujú do príslušného zariadenia, kde plnia funkciu regulovania procesov. Príkladom môže byť napríklad regulátor uvedený na Obr.1.



Obr.1.Univerzálny termostat NTC [2]

Medzi často používané patria regulátory pre domáce použitie, kde môžeme regulovať izbovú teplotu alebo vlhkosť vzduchu.



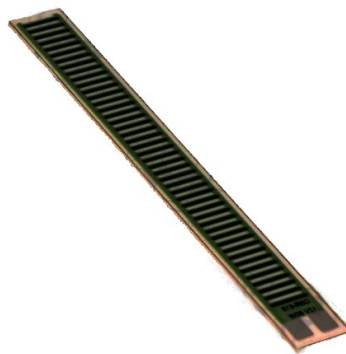
Obr.2. Izbový termostat pre reguláciu teploty [3]

## 1 VYHRIEVACIE TELESÁ

Ako vyhrievacie telesa by mohli poslúžiť rôzne výkonové odpory alebo polovodičové súčiastky napr. tranzistory, alebo tepelné telesá. Použitelnosť týchto súčiastok má svoje výhody, ako aj nevýhody. Výhodou by mohol byť napr. rýchly ohrev alebo nízka tepelná zotrvačnosť. Sú vhodnejšie pre malé priestory. Nevýhodou by mohol byť nedostatočný výkon pre väčší vyhrievací objem alebo neprimeraný odoberaný prúd bez možnosti ho efektívne regulovať.

Vyhrievacie telesá sa môžu pohybovať v radoch W až kW výkonu. Na realizáciu nášho zariadenia si vystačíme aj z nižším výkonom v desiatkach W. V navrhovanom zariadení, potrebujeme telesa prispôbiť vyhrievacej komore tak, aby bola možnosť vhodne manipulovať s meracou diódou a zároveň vyhrievací priestor bol pokiaľ možno čo najmenší. Zároveň je potrebné komoru zhotoviť z dostupných materiálov, ktoré by boli vhodné pre manipuláciu a spracovanie a aby spĺňali tepelné požiadavky. Reguláciu teploty ovplyvňuje veľkosť vyhrievacieho priestoru ako aj tepelné straty alebo zotrvačnosť vyhrievacích telies. Úlohou projektu je navrhnuť a skonštruovať zariadenie pre meranie a reguláciu polovodičových diód, pri ktorej sa vyžaduje určitá presnosť zadanej teploty. Po preskúmaní trhu som našiel niekoľko vhodných variant, ktoré by boli vhodné pre projekt. Jednou z možností sú vyhrievacie telesá 12 alebo 24 V z výkonom približne 100 W. Pri zvyšovaní prúdu sa bude zvyšovať teplota telies. Výhodou je možnosť regulácie prúdu pomocou spínania PWM, kde je možnosť určovať rýchlosť ohrevu ako aj presnosť.

Jednou z variant by mohol byť vyhrievací rezistor, 12 V, 60 W, ktorý má malé rozmery, mohol by sa pripevniť na dno komory a v paralelnom zapojení 2\*60 W by mohol poslúžiť k rovnomernému vyhrievaniu komory. Výhrevnosť odporu je až 300 °C. Je znázornený na Obr.3.



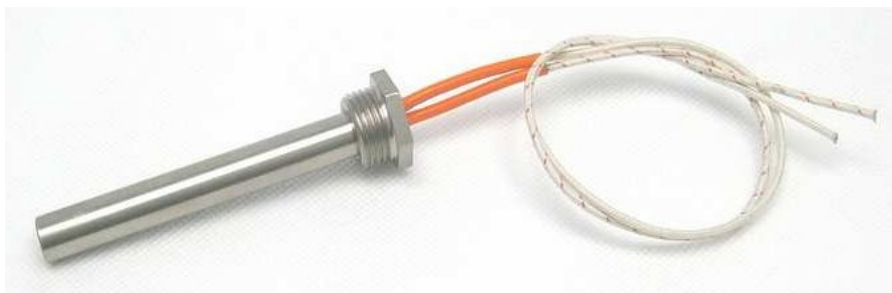
Obr.3.Vyhrievací rezistor 60 W, 12 V [2]

Ďalšou variantnou by mohol byť tepelný modul s parametrami 24 V, 130 W, s výhrevnosťou do 240 °C, z maximálnym prúdom do 6 A. Tento modul by sa dal prispôbiť vyhrievacej komore a poskytoval by dostatočný tepelný výkon. Je znázornený na Obr.4.



Obr.4. Tepelný modul 130 W, 24 V [2]

Tepelné teleso zo závitom je konštrukčne vhodné pre zariadenie, kde sa vyhrieva napr. kovový materiál alebo kvapalina a pri dostatočnom chladení, sa predlžuje jeho životnosť. Tepelné teleso má 24 V, z tepelným výkonom 100 W.



Obr.5. Tepelné teleso 100 W, 24 V [7]

## 2 TEPLOTA

### Termodynamická teplota

Teplota je stavová veličina, ktorú môžeme definovať na základe účinnosti vratného Carnotova cyklu pomocou vzťahu:

$$n = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

(1)

n účinnosť cyklu [%]

$Q_2$  odobrané teplo teplotnou látkou z nádoby s teplotou  $T_2$  [J]

$Q_1$  odovzdané teplo teplotnou látkou do nádoby s teplotou  $T_1$  [J]

Zo vzťahu (1) vyplýva

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

(2)

Ideálny tepelný stroj, ktorý využíva Carnotov cyklus sa nedá zostrojiť. **Teplotná stupnica** je definovaná na základe trojitého bodu vody, tj. na základe rovnovážneho stavu troch skupenstiev (ľad, voda, para). Hodnota teploty trojitého bodu bola stanovená na hodnotu  $T=273,16$  K. Základnou jednotkou termodynamickej teploty je kelvin K. Jednotkou teploty je aj stupeň Celzia [°C], kde  $0$  °C je približne 273,15 K. [1]

## 2.1 Rozdelenie senzorov teploty

Senzor je prvok tvoriaci vstupný blok meracieho reťazca, ktorý je v priamom kontakte s meracím prostredím. Pod pojmom senzor si môžeme predstaviť snímač, prevodník alebo detektor. Meracia časť senzoru sa nazýva čidlo. Senzor sníma fyzikálne, chemické alebo biologické veličiny, a následne je transformuje na meraciu veličinu, napr. na elektrické signály.

Senzory môžeme rozdeliť podľa **meranej veličiny, fyzikálneho princípu, transformácie signálu, výrobných technológií a styku s prostredím.**

**Podľa meranej veličiny** môžeme senzory rozdeliť na senzor tlaku, teploty, prietoku, radiačných veličín, mechanických veličín, elektrických a magnetických veličín .

**Podľa fyzikálneho princípu** : indukčné, kapacitné, magnetické, piezoelektrické, pyroelektrické ...

**Podľa styku senzoru s prostredím** : bezdotykové a dotykové senzory.

**Podľa transformácie signálu** : aktívne a pasívne.

**Podľa výrobných technológií** : elektromechanické, mechanické, pneumatické, elektrické, polovodičové, optoelektronické. [1]

Senzory pre **dotykové merania** teploty sa musia dotýkať objektu, ktorého sa ma merať teplota. Tieto senzory môžeme rozdeliť na:

**Elektrické** - (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN prechodom, termoelektrické...)

**Dilatačné** (kvapalinové, plynové, parné, bimetalové)

**Špeciálne** (akustické, šumové, magnetické, tekuté kryštály,..)

Senzory pre **bezdotykové meranie** teploty sa nachádzajú v určitej vzdialenosti od meraného objektu tak, aby nedochádzalo k ich ovplyvňovaniu. Rozdeľujeme ich na **tepelné** a **kvantové**.

### 3 SENZORY PRE DOTYKOVÉ MERANIE

#### 3.1 Odporové kovové senzory

Princíp odporových kovových teplomerov je teplotná závislosť odporu kovu na teplote.

Pre prevádzkovú teplotu od 0 °C až 100 °C môžeme použiť vzťah  $R = R_0(1 + \alpha\theta)$ ,

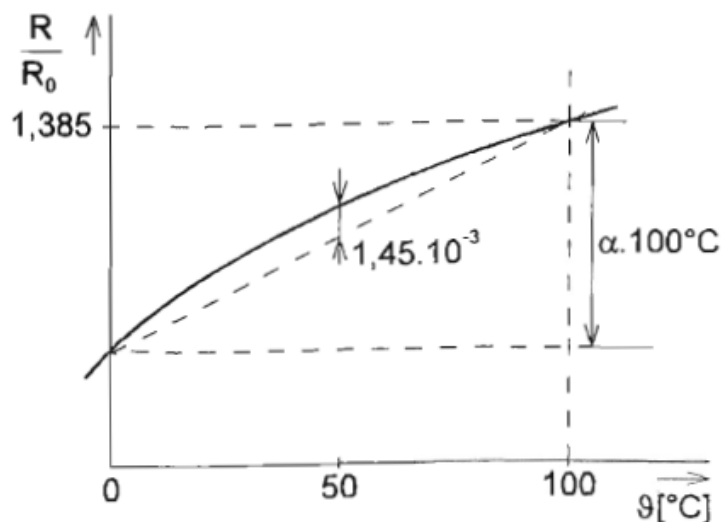
kde  $\alpha$  [K] je teplotní súčiniteľ odporu

$R_0$  odpor teplomeru pri 0 °C, [ $\Omega$ ]

Pre teplotní súčiniteľ odporu platí vzťah

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad (3)$$

$R_{100}$  je odpor teplomeru pri teplote 100 °C .



Obr.6.Závislosť odporu PT senzora pre rozsah teplôt od 0 – 100 °C.[1]

Na obrázku č.6 je znázornený odporový snímač teploty typ Pt 100. Má teplotný rozsah od -200 do +600 °C. Pre väčšie rozsahy teplôt platí nelineárna závislosť. Najčastejšie sa používajú materiály ako Pt, Ni ,Cu ,... [1]



### 3.2 Polovodičové odporové senzory

Polovodičové odporové senzory využívajú teplotnú závislosť odporu na teplote. Využíva sa závislosť koncentrácie nosičov náboja podľa vzťahu

$$n \approx e^{-\frac{\Delta E}{2KT}} \quad (4)$$

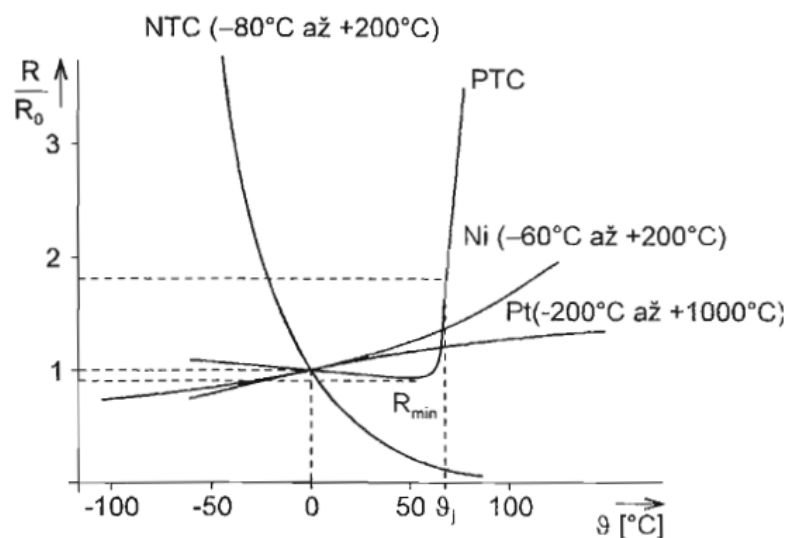
$n$  koncentrácia nosičov náboja [ $\theta$ ]

$\Delta E$  šírka medzery medzi energetickými hladinami v mriežke [m]

$k$  Boltzmanova konštanta [J/K]

### Termistory

Termistory sa podľa štruktúry delia na amorfne a polykryštalické. **Negastory** majú záporný teplotný súčiniteľ odporu. Vyrábajú sa práškovou technológiou zo zmesi kovu napr.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2, \text{MnO} + \text{CoO}$ . Teplotné rozsahy sa pohybujú od  $-50$  do  $+150$  °C až do extrémnych teplôt od 4,2 K až do 1000 °C. **Pozistor** má kladný teplotný súčiniteľ odporu. Vyrába sa z polykryštalickej feroelektrickej keramiky. Odpor so zvyšujúcou sa teplotou najprv mierne klesá a nad Curierovu teplotu prudko narastá v závislosti na teplote. [1]



Obr.7. Teplotná závislosť odporového senzoru. [1]

### 3.3 Polovodičové monokryštalické senzory teploty

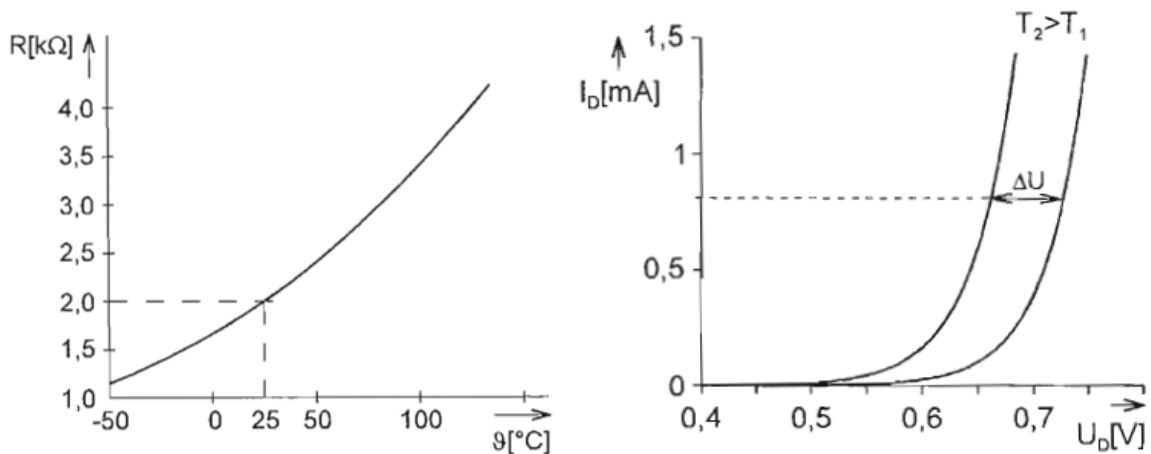
Monokryštalické senzory teploty sa vyrábajú z kremíku, germánia, india a ich zliatin. Používajú sa pre meranie teploty od  $-50$  do  $+150$  °C. Teplotná závislosť rezistivity kremíku je v uvedenom rozsahu teploty daná koncentráciou prímiesí, od ktorej závisí pohyblivosť nosičov náboja. Zo zvyšujúcou sa teplotou, dochádza vplyvom rozptylu nosičov náboja na mriežke polovodiča k zmenšovaniu pohyblivosti týchto nosičov a rezistivita narastá.(Obr.8)

[1]

### 3.4 Monokryštalické PN senzory teploty

PN senzory teploty sú založené na teplotnej závislosti napätia PN prechodu v priepustnom smere. Polovodičové materiály Si a Ge majú pri nízkej teplote veľmi malú vodivosť. Zo zvyšujúcou teplotou sa zvyšuje počet elektrónov, ktoré prechádzajú z valenčnej oblasti do vodivostného pásu a zvyšuje sa vodivosť PN prechodu. Ako senzory teploty používame napr. diódy, tranzistory.(Obr.9)

[7]

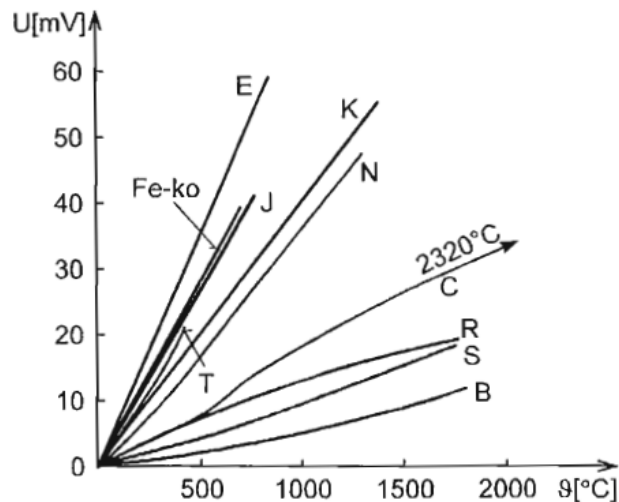


Obr.8.Charakteristika SI senzoru teploty [1],Obr.9.Teplotná závislosť napätia PN diódy [7]

### 3.5 Termoelektrické senzory teploty

Termoelektrické senzory sú založené na Sebeckovom jave, tj. na javu prevodu tepelnej energie na elektrickú v uzatvorenom obvode, kde sú spojené dva rozdielne vodiče. Každý je z rozdielneho materiálu a môže pretekať prúd vtedy, pokiaľ spoje majú rozdielnú teplotu.

[6]



Obr.10 Statická charakteristika vybraných typov termoelektrických materiálov [1]

### 3.6 Dilatačné tepelné senzory

Dilatačné tepelné senzory sú založené na zmene objemu látky vplyvom teploty. Meraný teplomer sa prevádza na meranie dĺžky teploty a tlaku.

**Sklenený teplomer** funguje na princípu tepelnej rozťažnosti ortuti. Pri narastajúcej teplote stúpa ortuť nahor, a podľa výšky v stĺpci sa odčítava hodnota teploty. Pre teploty od -30 do +650 °C sa používa ortuť, pre rozsah od -200 do +20 °C pentan. [6]

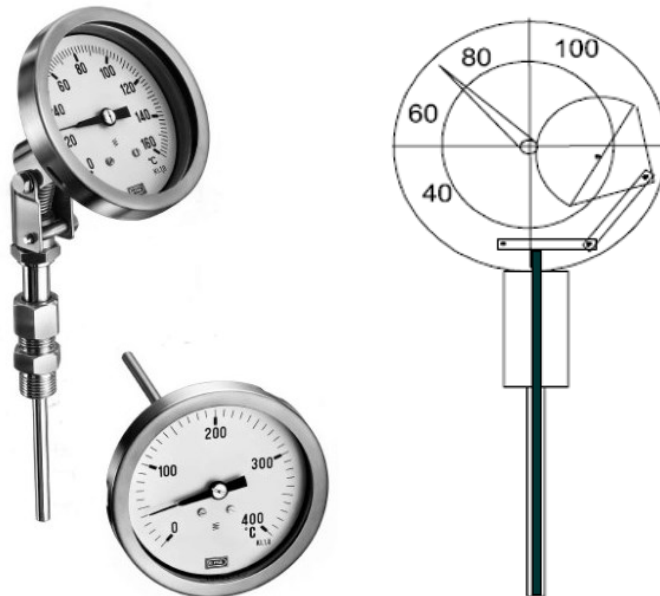
**Tlakový senzor** sa skladá z kovovej nádoby, kovovej kapilarie a deformačného tlakomeru. Tento systém je nerozoberateľný a je vyplnený teplomerovou kvapalinou. Ortuť od -30 do +500 °C, xylén od -40 do +400 °C, metylalkohol od -45 do +150 °C. [7]

**Parný senzor** teploty využíva závislosť tlaku nasýtených par na teplote. Oproti tlakovým sú citlivejšie a presnejšie. Používa sa etyleter (+35 až +190 °C), toluén (+120 až +300 °C).

[8]

**Bimetalový tepelný senzor** sa väčšinou zhotovuje z dvojice pevne spojených materiálov s rozdielnym teplotným súčiniteľom rozťažnosti. Pre zväčšenie účinnosti účinnej latky a citlivosti čidla sa používa bimetal svinutý do špirály. Používajú sa do teploty +400 °C. Vyrábajú sa z materiálov v kombinácii NiFe+ mosadz (CuZn), invar + nikl, atď. [8]

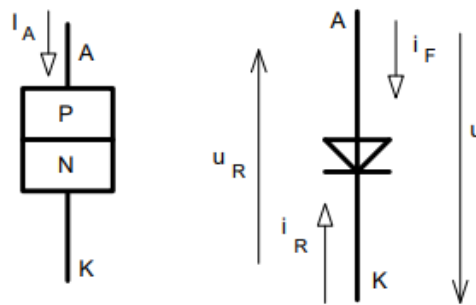
**Kovové senzory** používajú kovovú tyč alebo dvojkový pásik. Tyč je vyrobená z mosadzi, ocele, zinku, hliníku, niklu. Využívajú tepelnú rozťažnosť tyče, ktorá mení svoj objem a prenáša sa pomocou pákového mechanizmu na stupnicu teplomera. Rozsah merania môže byť od -30 až +1000 °C. [7]



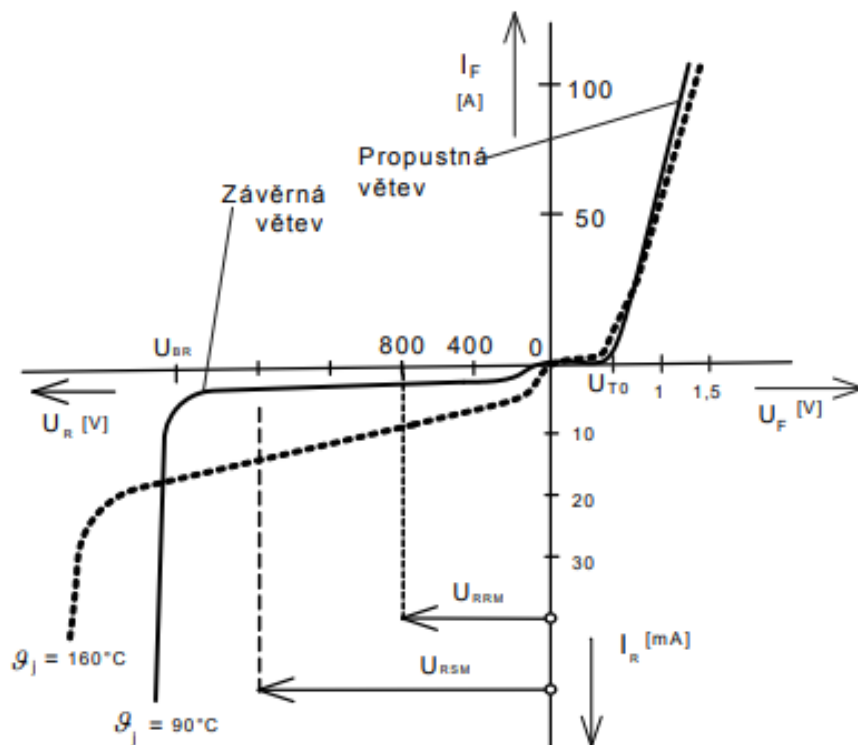
Obr.11. Bimetalový senzor teploty [8] , Obr.12. Kovový senzor teploty [8]

#### 4 STATICKÉ VLASTNOSTI DIÓDY

Polovodičové dióda obsahuje PN prechod, vrstva P je označená ako anóda, vrstva N katóda. Obr.č.13 je znázorňuje štruktúru diódy a schematická značka. Ak je dióda zapojená v priepustnom smere, diódou prechádza priepustný prúd  $I_F$  a priepustné napätie  $U_F$ . Pri opačnej polarite napätia je dióda v závernom smere (je tzv. vypnutá). V nepriepustnom smere je na dióde záverné napätie  $U_R$  a prechádzajúci záverný prúd  $I_R$ . Statická volt ampérová charakteristika je znázornená na Obr.č.14. [18]



Obr.13. Štruktúra diódy a schematická značka [18]



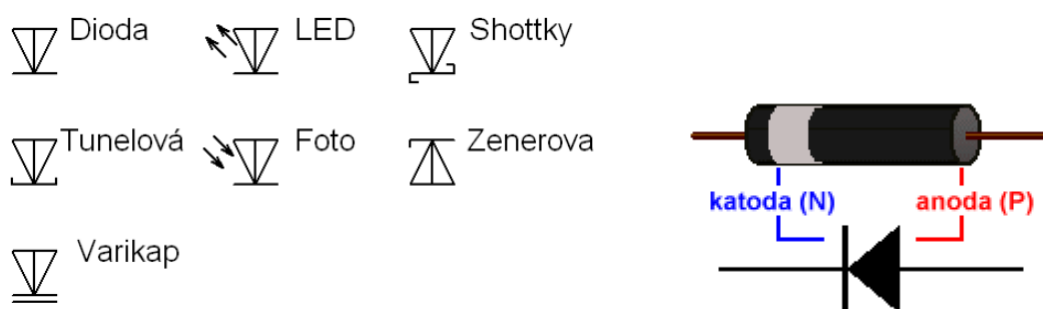
Obr.14. Voltampérová charakteristika diódy [18]

Charakteristika má priepustný a záverný priebeh. Ak je na anóde kladný potenciál, dióda je v priepustnom stave, ktorému odpovedá priepustná časť priebehu. Dôležitým parametrom diódy je prahové napätie  $U_{to}$ . Po prekročení hodnoty (napr. 0,7 V) sa otvorí PN prechod a diódou prechádza prúd v priepustnom smere. V závernom smere diódy odpovedá záverný priebeh charakteristiky. Na dióde je záverné napätie  $U_r < 0$ , určené napätím vonkajšieho zdroja. Diódou prechádza malý záverný saturačný prúd  $I_r < 0$ . Z charakteristiky vyplýva, že prúd diódy v závernom smere je približne konštantný. Ďalším parametrom diódy je diferenciálny záverný odpor a záverné pierazné napätie  $U_{br}$ . Po prekročení hodnoty  $U_{br}$  sa mnohonásobne zmenší odpor v závernom smere. Veľkosť prúdu je obmedzená na veľkosti napätia a odporu obvodu, v ktorom je dióda zapojená. Pri vyššom náraste prúdu, pretekajúci obvodom dochádza k deštrukcii diódy. [18]

Z charakteristiky vyplýva, že priebeh napätia v priepustnom a závernom smere sa mení. V priepustnom smere s rastúcou teplotou klesá prahové napätie  $U_{to}$  a narastá odpor. Táto skutočnosť má nežiaduce účinky pre väčšie hodnoty prúdu, pretože so stúpajúcou teplotou narastá nadmerne výkonová strata.

V závernom smere spôsobuje zvýšenie teploty zväčšenie zvyškového prúdu  $I_r$  spolu s pierazným napätím  $U_{br}$ . Takýto nárast je prakticky nevyužiteľný a vyšší zvyškový prúd zvýši výkonové straty diódy. Zvyšovaním teploty diódy pri jej nedostatočnom chladení, môže viesť k tepelnej nestabilite a prekročením dovolenej teploty prechodu. Princíp priepustnosti v jednom smere sa využíva pri usmernení striedavého prúdu a napätia.

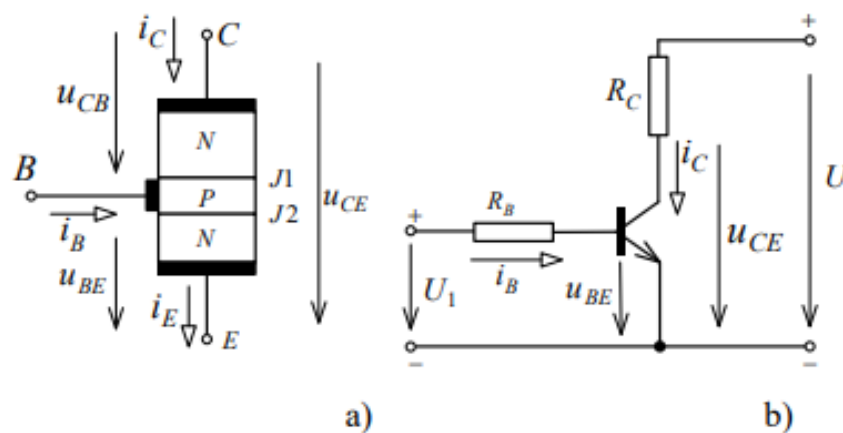
[18]



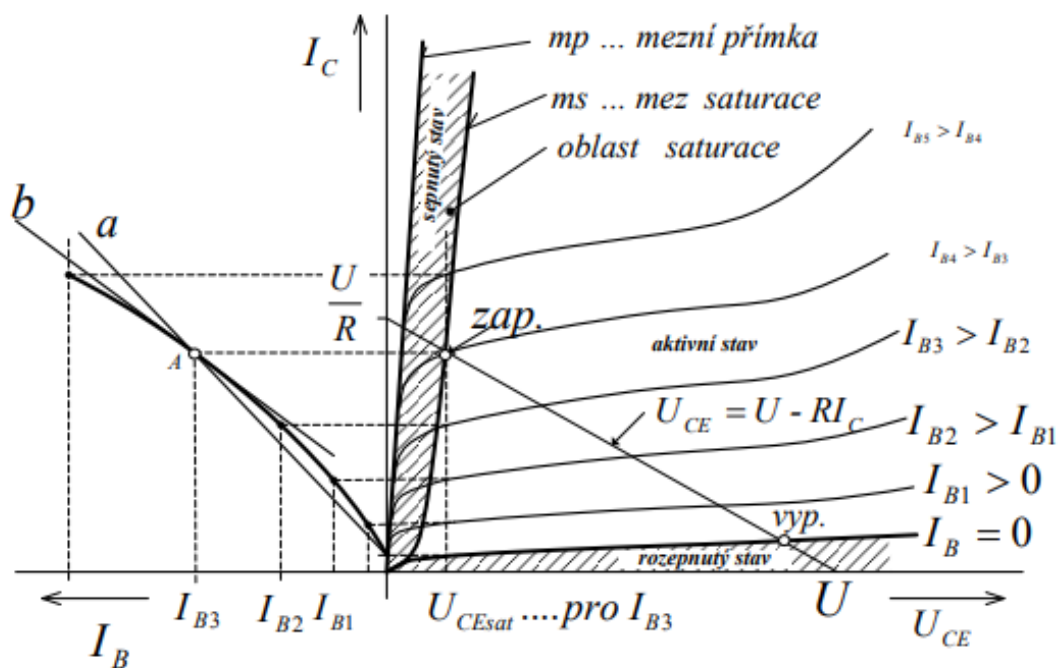
Obr.15. Schematické značky polovodičových diód [18]

## 5 ZÁKLADNÝ POPIS BIPOLÁRNEHO TRANZISTORA

Tranzistor je zesilňovací polovodičový prvok. Rozdeľujeme ich na bipolárne a unipolárne. Väčšinou sú vyrábané na báze kremíku. Skladajú sa z troch vrstiev a tieto vrstvy vytvárajú 2 PN prechody. Vrstva N využíva elektrónovú vodivosť a vrstva P využíva dierovú vodivosť. Podľa usporiadania vrstiev rozlišujeme usporiadanie NPN a PNP. Tranzistor obsahuje tri vývody, emitor, kolektor a bázu. Rozdiel medzi usporiadaním vrstiev je že pri prechode medzi emitorom a kolektorom umožňuje prechod prúdu od kladného do záporného potenciálu alebo opačne. Zobrazenie tranzistora je na obrázku č.16.



Obr.16. Princíp bipolárneho spínacieho tranzistora [18]

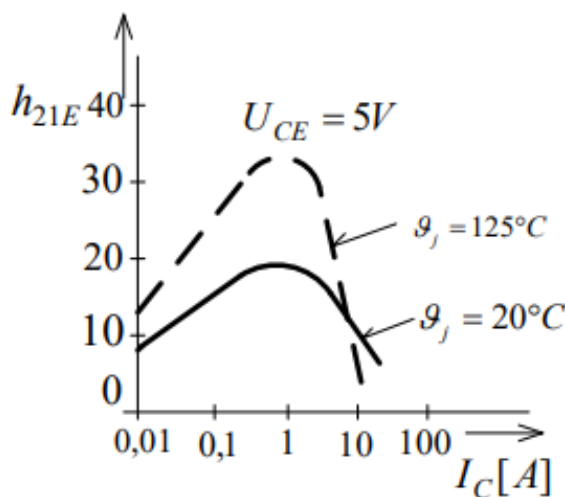


Obr.17. Voltampérová charakteristika tranzistora v zapojení zo spoločným emitorom [18]

Prúd tečúci do baze  $I_b$  umožňuje zapnutie prechodu medzi emitorom a kolektorom a prechod PN zostane otvorený. Malým prúdom tečúcim do báze môžeme spínať veľký prúd tečúci do kolektoru. [8]

Kladným prúdom báze pri zadanom  $U_{ce}$ , môžeme riadiť prúd tečúci kolektorom tranzistora. Podľa veľkosti prúdu  $I_b$ , môže tranzistor pracovať v presytenom stavu, v nasýtenom stavu, tzv. saturácie, v aktívnom stavu, prípadne v stave uzatvorenom. V nasýtenom stavu pri danom prúde kolektoru  $I_c$ , ktorý je určený záťažou, vzniká medzi kolektorom a emitorom úbytok napätia označený ako saturačné napätie kolektoru  $U_{cesat}$ . Je to charakteristický parameter udávaný v katalógoch pri jednom alebo viacerých hodnotách prúdu kolektoru a prúdu báze. Podobným spôsobom je určené aj saturačné napätie báze  $U_{besat}$ . Saturačné napätie  $U_{cesat}$  je dôležitým parametrom spínacích tranzistorov, ktoré udáva úbytok napätia (stratový výkon). Veľkosť tohto napätia s rastúcim prúdom kolektora rastie a jeho veľkosť pri danom  $I_c$  s rastúcim budením tranzistora, tj. rastúcim prúdom bázy  $I_b$ , klesá. Stupeň budenia tranzistora je preto charakterizovaný pomerom, ktorý je všeobecne definovaný ako statický prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so spoločným emitorom  $h_{21E}$ .

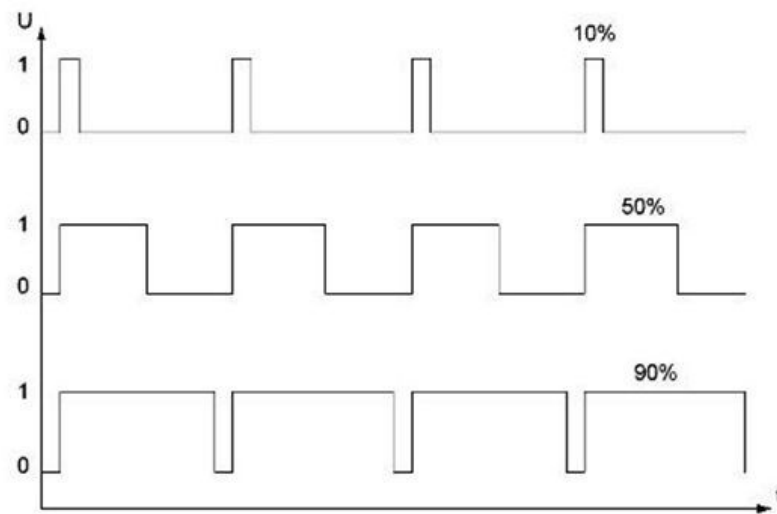
[18]



Obr.18. Priebeh prúdového zosilňovacieho činiteľa [18]



## 5.1 Spínanie PWM



Obr.19.Spínanie pomocou PWM [11]

PWM je skratkou Pulse-Width Modulation (modulácia šírky pulzu).

Modulácia je proces pri ktorom sa menia vlastnosti periodického signálu. V prípade PWM je to šírka pulzu, v ktorom je uložená informácia o veľkosti dodávaného výkonu za jednotku času periódy  $T$ . Spínanie pomocou PWM sa používa najmä pri riadení motorov alebo riadení prúdu. V projekte pri návrhu riadiaceho systému, tepelného telesa využívajú práve PWM spínanie pomocou tranzistora a tak sa docieli regulácia prúdu a následné tepelne účinky. [11]

Ak by sme uvažovali hodnotu prúdu  $I=4.8\text{ A}$ , ktorá prechádza obvodom spínania, môžu hodnoty prúdu nadobúdať hodnoty za jednu periódu  $T$  :

$$10\% \rightarrow I_1 \times 0.1 = 0.48\text{ A}$$

$$50\% \rightarrow I_1 \times 0.5 = 2.4\text{ A}$$

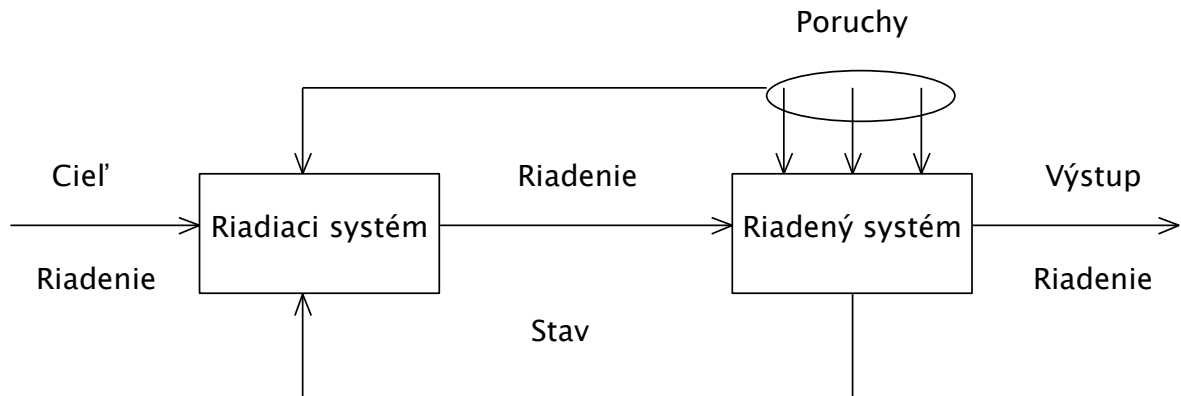
$$90\% \rightarrow I_1 \times 0.9 = 4.32\text{ A}$$

$$100\% \rightarrow I_1 = 4.8\text{ A}$$

(5)

## 6 REGULÁTOR

Teória regulácie sa zaoberá štúdiom riadenia systémov. Obecný systém sa skladá z riadiaceho systému, z riadeného systému, z vstupnej hodnoty, výstupnej hodnoty, spätnej väzby a porúch. (Obr.20).



Obr.20.Obecný riadiaci systém [12]

Riadiaci systém môže byť v praxi napr. regulátor teploty a riadený systém tepelné telesa, uložené v izolačnej komore. Poruchy by mohli predstavovať tepelné straty, odovzdávanie teploty do okolia.

Cieľom systému je nastaviť požadovanú teplotu zadanú užívateľom a výsledkom je riadená teplota. Výsledná teplota sa porovnáva zo zadanou teplotou pomocou spätnej väzby. Spätá väzba predstavuje informáciu o nameranej teplote napr. tepelného senzora. Riadiaci systém môže predstavovať napr. platforma Arduino, v ktorom je napísaný program, ktorí následne vykonáva. Pre porovnávanie teploty a následne riadenie slúži riadiaci systém.

V riadiacom systéme sa riadi a vyhodnocuje veľkosť akčného zásahu riadeného systému. Celý proces vyhodnocovania akčného zásahu do riadeného systému, riadi určitý algoritmus, podľa ktorého sú vykonávané inštrukcie. Algoritmus môže predstavovať určitý systém riadenia regulácie ktoré sú výsledkom matematických modelov. Medzi najčastejšie používané sú systémy z riadením pomocou dvojbodovej regulácie, trojbodovej regulácie, PID systém alebo systém riadenia pomocou penalizačnej konštanty. [12]

## 6.1 Dvojbodová regulácia

Významnú skupinu regulačných členov tvoria tzv. **nespojité regulátory**. Lineárne spojité regulátory sú matematicky popísané lineárnou diferenciálnou rovnicou, obrazovým alebo frekvenčným prenosom, prechodovou alebo impulznou charakteristikou. Hovoríme o tzv. **matematických modeloch** regulátorov. Spojitý vstupný signál regulátora vyvolá odozvu vo forme spojitého výstupného signálu. Súvislosť medzi týmito dvoma spojitými priebehmi je vyjadrená práve matematickými modelmi. Spojitý matematický model obsahuje všetky podstatné informácie o statických a dynamických vlastnostiach regulátora. [13]

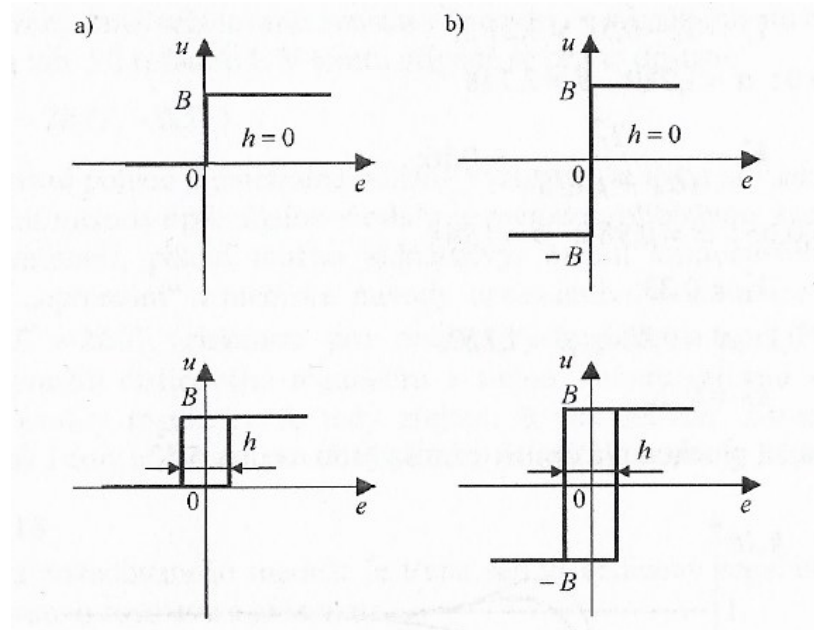
Nespojité regulátory sa vyznačujú tým, že veličina na ich výstupe sa nemení v závislosti na vstupnom signáli spojitou ale nadobúda iba niekoľko hodnôt. Už z tohto faktu vyplýva, že v určitom rozsahu zmien vstupnej veličiny sa na výstupe regulátora žiadna zmena neprejaví. **Nespojité regulátory tvoria samostatnú skupinu regulátorov nelineárnych**. Pre ich popis nie je možné využiť prostriedky, ktoré sú k dispozícii pri práci s regulátormi spojitými.

Najbežnejšími v praxi používanými typmi nespojitých regulátorov sú regulátory **dvojpohové (DR)** a **trojpolohové (TR)**.

DR sa vyznačujú tým, že ich výstupná veličina nadobúda iba dve hodnoty, výstupná veličina TR iba tri hodnoty. [13]

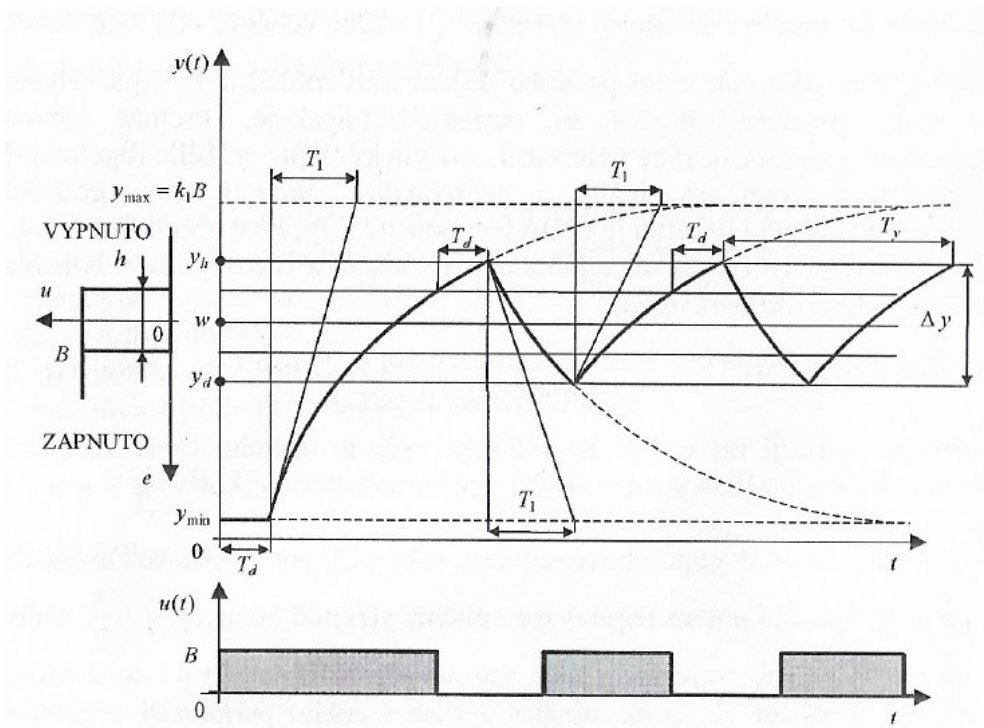
Praktický význam riadiacich členov uvedených typov spočíva v ich jednoduchosti a s tým súvisiacou prevádzkovou spoľahlivosťou a nízkou cenou.

Dvojbodovú reguláciu môžeme nájsť napr. v domácnosti. Môže sa jednať o reguláciu vzduchu v miestnosti, regulácia teploty v chladničke, žehličke alebo ohrievanie vody v práčke. Dvojbodové a trojbodové regulátory sú silne nelineárne. Ich charakteristiky sú na Obr.21.



Obr.21.Charakteristiky dvojbodového regulátora [14]

Obr.14.a) nesymetricky bez hysterezie a z hystereziou, pracuje regulátor v stave zapnutý-vypnutý. (Zapnutý ohrev-vypnutý ohrev). Obr. b) symetrický bez hysterezie a z hystereziou, regulátor pracuje v režime zapnutý ohrev- zapnuté chladienie. [13]



Obr.22.Priebeh regulovanej y(t) a akčnej veličiny u(t) [14]

Na obrázku č.22. je počiatková hodnota regulovanej veličiny  $y(0)=y_{\min}$ ,  $e(0)>h/2$ , a akčná veličina  $u(t)=B$  je vo vypnutom stave. Počiatkový priebeh regulovanej veličiny  $y(t)$  je daný vzťahom:

$$y(t) = y_{\min} + (y_{\max} - y_{\min}) \left(1 - e^{-\frac{t-T_d}{T_1}}\right) n(t - T_d) \quad (6)$$

Ak regulovaná veličina dosiahne hodnotu :  $y(t) = w + h/2$ , akčná veličina  $u(t) = 0$  je vo vypnutom stave, regulovaná veličina  $y(t)$  najprv po dobu dopravného oneskorenia  $T_d$  rastie a potom klesá až do hodnoty  $y(t) = w - h/2$ , akčná veličina  $u(t)=B$  je v stave zapnutom a ďalej bude klesať po dobu dopravného oneskorenia a potom znova rastie. Celý proces sa periodicky opakuje. [13]

Správne navrhnutý obvod dvojpohovej regulácie je, že hodnota žiadanej veličiny je približne rovná:

$$w \approx \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2} \quad (7)$$

Ak na regulačný obvod budú pôsobiť poruchové veličiny, spôsobí to pokles regulovanej veličiny  $y(t)$  pod hodnotu  $w - h/2$ , akčná veličina  $u(t)=B$  je v stave zapnutom, regulovaná veličina  $y(t)$  po dobe dopravného oneskorenia začne stúpať a periodicky cyklus sa začne opakovať. O použiteľnosti rozhoduje šírka pásma kmitania  $\Delta y$  regulovanej veličiny, ktorá môže byť určená vzťahom:

$$y_h = w + (h/2) + (y_{\max} - w - h/2) \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_1}}\right) = y_{\max} - (y_{\max} - w - h/2) e^{-\frac{T_d}{T_1}} \quad (8)$$

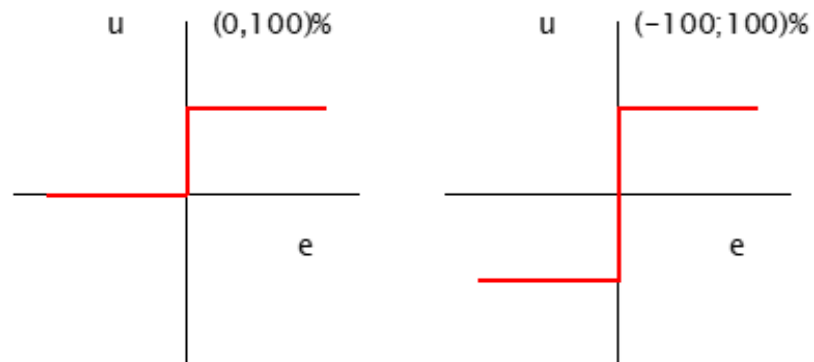
$$y_d = w - (h/2) - (w - (h/2) - y_{\min}) \left(1 - e^{-\frac{T_d}{T_1}}\right) = y_{\min} + (w - h/2 - y_{\min}) e^{-\frac{T_d}{T_1}} \quad (9)$$

Pre výslednú hodnotu po aproximácii bude platiť vzťah:

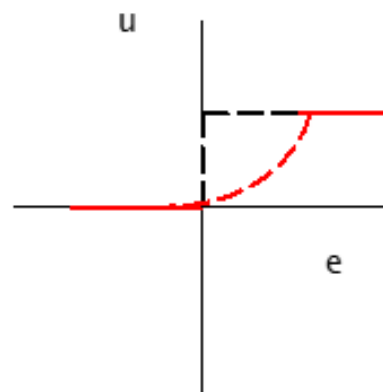
$$\Delta y \approx (y_{\min} - y_{\max}) \frac{T_d}{T_1} + h \quad (10)$$

[13]

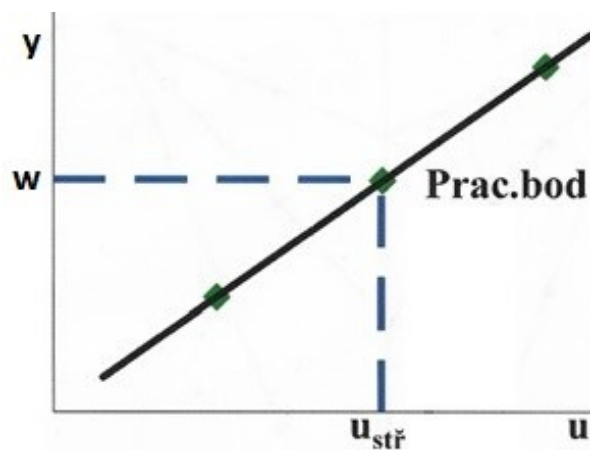
## 6.2 Regulácia pomocou penalizačnej konštanty



Obr.23.Dvojbodový regulátor [12]



Obr.24.Dvojbodový regulátor s penalizáciou [12]



Obr.25. Stanovenie  $K_{pmax}$  zo statickej charakteristiky [12]

$u_{\max}$  maximálna veľkosť akčnej veličiny, napr. napätie [V]

$u$  akčná veličina, akčný zásah do regulovanej sústavy

$u_{str}$  stredná hodnota akčnej veličiny

$K_p$  penalizačná konštanta od 1 do  $K_{p\max}$  v rozsahu  $\delta$

$\delta$  % pôsobnosti  $K_p$

$K_{p\max}$  maximálna hodnota penalizačnej konštanty

$w$  požadovaná hodnota vstupnej veličiny

$y$  výstupná hodnota regulovanej veličiny

Statická charakteristika predstavuje závislosť požadovanej vstupnej veličiny  $w$  od akčnej veličiny  $U$ . Stredná hodnota  $U_{str}$  je aktuálna hodnota akčnej veličiny pri práve nameranej výstupnej regulovanej veličine  $Y$ . [12]

Výpočet aktuálnej hodnoty akčnej veličiny  $U$  platí vzťah:

$$u = \frac{u_{\max}}{K_p} \quad (11)$$

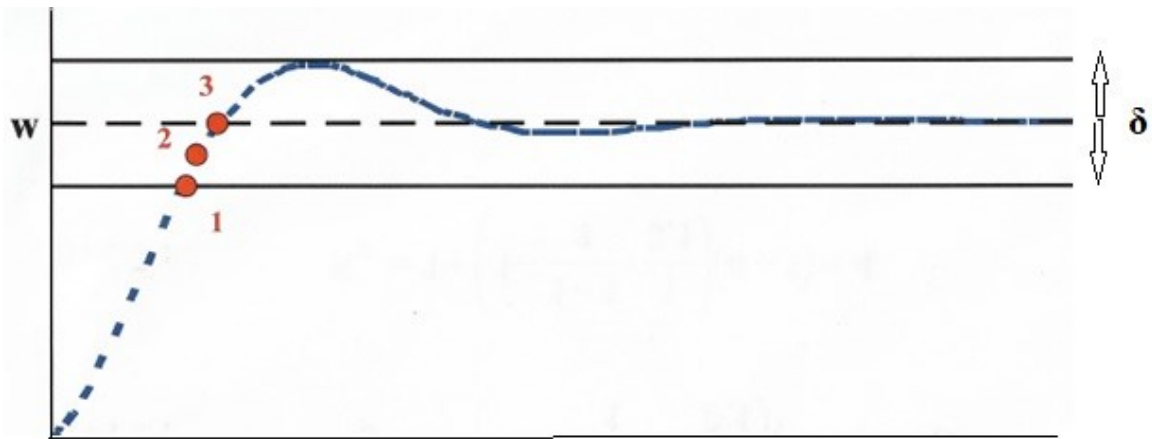
Pre výpočet penalizačnej konštanty  $K_{p\max}$  platí vzťah :

$$K_{p\max} = \frac{u_{\max}}{u_{str}} \quad (12)$$

Pre výpočet penalizačnej konštanty  $K_p$  platí vzťah :

$$K_p = 1 + \left(1 - \frac{w-y}{w} \cdot \frac{1}{\delta}\right)(K_{p\max} - 1) \quad (13)$$

[12]



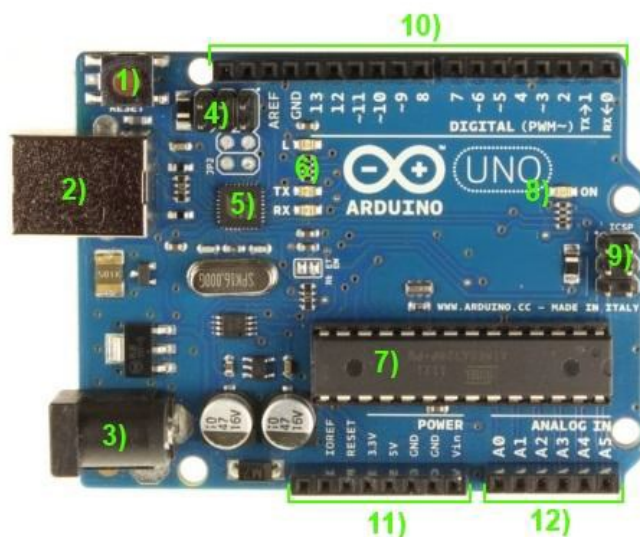
Obr.26.Priebeh regulovanej veličiny pomocou penalizačnej veličiny [12]

Obrázok č.26. znázorňuje priebeh požadovanej veličiny v závislosti šírky pásma  $\delta$ . Čím bude tato oblasť väčšia, tým bude presnejší prepočet na požadovanú veličinu. Pri zväčšenej šírke  $\delta$  dochádza k predĺženiu času k priebehu na požadovanú veličinu  $w$ . Ak sa oblasť  $\delta$  bude znižovať, čas na dosiahnutie požadovanej hodnoty sa zníži, a zároveň sa zvýši prvotný prekmit až sa bude postupne ustáľovať. Ak bude požadovaná hodnota  $w$  postupne približovať nastavenej hodnote, bude sa znižovať akčný zásah do sústavy a tým akčná veličina ( $U$ ) postupne znižovať v krokoch 1,2,3,... spojite až k požadovanej hodnote ( $w$ ) ktorú bude regulátor udržiavať. Veľkosť akčného zásahu vyplýva zo statickej charakteristiky strednej hodnoty  $U_{str}$ . [12]



## 7 ARDUINO

Arduino je open-source elektronická platforma založená na ľahko použiteľným hardvéru a softvéru. Vývoj Arduina započal v roku 2005, v talianskom meste Ivrea, inštitútom Interaction Design. Vývojári vytvorili jednoduchý vývojový set pre študentov, ktorý konkuroval drahým doskám Basic Stamp. Platforma Arduino sa stala medzi študentami veľmi populárnou a tak sa vývojári rozhodli ho sprístupniť širokej verejnosti. Na oficiálnych stránkach je možnosť zakúpiť vývojovú dosku, kde sú dostupne rôzne shiedly, rozšírenia, senzory, vývojove sety. Taktiež je dostupná výuková literatúra, schémy, návody ako aj uvedené reálne projekty. Veľkou výhodou je že tieto projekty sú dostupne a môžu slúžiť ako motivácia, z možnosťou vytvoriť svoj vlastný riadiaci systém, ktorý má praktické využitie a zároveň je finančne dostupný. Pod pojmom Arduino si môžeme predstaviť rôzne typy dosiek, ktoré majú špecifický charakter a možnosti využitia. Najznámejšou doskou je Arduino Uno a existujú aj lacnejšie varianty tzv. klony, ktoré spĺňajú požiadavky na výkon originálnej verzii. [11]



Obr.27.Arduino Uno [11]

1. Pod číslem jedna, je zobrazené resetovacie tlačidlo, ktoré slúži na resetovanie bežiaceho programu, nahraného vo vývojovej doske.
2. USB konektor, typ B, ktorý slúži na komunikáciu počítača z Arduinom. Pomocou USB portu môžeme nahrávať programy do vývojovej dosky a slúži aj na prijímanie a odosielanie dát .
3. Napájací konektor slúži ako externý zdroj. Pomocou konektoru môžeme napájať dosku pre beh programu ako aj napájať prídavné zariadenie, napr. ventilátor, ktorý ma vyššie napájacie napätie ako 5 V.
4. ICSP päťica slúži pre externé programovanie, napr. pre USB - sériový prevodník. Niektoré vývojové dosky sa programujú pomocou externého prevodníka. Arduino Uno ho už obsahuje.
5. USB sériový prevodník. Prevodník komunikuje medzi hlavným čipom a počítačom.
6. Indikačná LED dióda L, Rx a Tx. Dióda slúži na vyskúšanie blikania aj bez pripojenej externej LED diódy. Diódy s popisom Tx a Rx blikajú, ak prebieha komunikácia cez sériovú linku.
7. Vymeniteľný hlavný čip dosky. Niektoré dosky majú tento čip priamo integrovaný v doske a nedajú sa vymeniť.
8. Indikačná LED dióda svieti, ak je pripojené napájanie.
9. ICSP päťica pre externé programovanie hlavného čipu.
10. Digitálne piny môžu nadobúdať stav zapnutý 5 V a vypnutý 0 V. Vývody označené vlnovkou podporujú PWM moduláciu.
11. Napájacie výstupy Arduino.
12. Analógové vstupy. Slúžia pre vstupné hodnoty analógového signálu. Dajú sa využiť aj ako digitálne vstupy a výstupy.

Mikroprocesor	ATmega328P
Prevádzkové napätie	5 V
Vstupne napätie	7-12 V
Limitne vstupne napätie	6-20 V
FLASH pamäť	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kryštál	16 Mhz
Analógové vstupné piny	6x
Digitálne I/O piny	16, z toho 6 PWM
Jednosmerný prúd na pin I/O	20 mA
Jednosmerný prúd pre 3,3 V	50 mA
Veľkosť	54x67 mm

Tabuľka 1. Technické parametre Arduino Uno [16]

## 7.1 Softvér Arduino Ide

Získať najnovšiu verziu softvéru môžeme na oficiálnych stránkach [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Na výber sú dve inštalácie pre operačný systém Windows. Inštalácia pomocou inštaláčného súboru s koncovkou (exe) a inštalácia pomocou zip súboru. Prvá možnosť je výhodná v tom, že po stiahnutí a inštalovaní súboru, sa inštaluje všetko čo je potrebné k použitiu softvéru spoločne s príslušnými ovládačmi. Inštalácia pomocou zip. súboru vyžaduje manuálnu inštaláciu ovládačov. Tato inštalácia je určená ako prenosná inštalácia a po rozbalení archívu je pripravená na použitie. Podrobnejší návod na inštaláciu sa nachádza na oficiálnych stránkach. Pred inštaláciou je potrebné pripojiť Arduino k počítaču pomocou príslušného USB káblu. Po nainštalovaní softvéru si môžeme spustiť vývojové prostredie, kde je potrebné vybrať správny typ vývojovej dosky a príslušný port zapojenia. Na hornej lište v položke s názvom *Tools* je potrebné nastaviť parameter *board* s názvom príslušnej vývojovej dosky (Arduino Uno) a parameter *port* na ktorom je pripojená vývojová doska. Číslo portu nájdeme v správcovi zariadení, kde položka s názvom porty obsahuje informácie o čísle príslušného portu a nazve pripojeného zariadenia. Po vytiahnutí a zasunutí USB do počítača sa zobrazí číslo portu spolu s označením Arduino. Po nastavení softvéru je vývojová doska pripravená na programovanie.

[16]



```
File Edit Sketch Tools Help
27_regulator_serial_input_output

#define topeni 11 //nastavenie pinu pre pwm spinanie tranzistorov pre hod.pru
#include <OneWire.h> // pripojenie knižnice
#include <DallasTemperature.h>
/*****
String receivedChar; //premenna pre serial komunikaciu
float hodnota;
float nastavena_teplota;
float data; //premenna pre odčítanu hodnotu z teplomera
float namerana_teplota=0; //aktualne namerana teplota
float hodnota_prudu;
float pwm_f;
byte pwm_b;
float pwm;
float u_max=4.8;
float u_str=0;
float kp_max=0;
float kp;
float u;
float konstanta;
float konstanta2;
float k3;
const int pinCidlaDS = 12; // nastavení čísla vstupního pinu
OneWire oneWireDS(pinCidlaDS); // vytvorenie inštancie oneWireDS z knihovny OneWire
DallasTemperature senzoryDS(&oneWireDS); // vytvorenie inštancie senzoryDS z knihovny DallasTe
float sygma=0;
/*****

void setup()
{
pinMode(topeni,OUTPUT); //pin 11 nastav na vystup pre spinanie teplotnych telies
analogWrite(topeni,0); //nastav pwm teplotnych telies na 0 hodnotu
Serial.begin(9600); //prenosova rychlost komunikacie
senzoryDS.begin(); // zapnutie komunikacie knihovny s teplotným čidlom
}

/*****

float zmeraj teplotu() //funkcia pre zmeranie teploty //teplomer Ds18b20
< >
```

Obr.28. Softvér Arduino Ide

## 7.2 Základne príkazy

Arduino je možné programovať v jazyku C alebo C++. Najčastejšie sa používa knižnica Wiring. Tá je v súčasnosti pre programovanie Arduino veľmi rozšírená. Kvôli jej komplexnosti sa o nej občas hovorí ako o samostatnom programovacom jazyku. Základný program obsahuje dve funkcie setup a loop. Vo funkcii setup sa po spustení programu spustia príkazy iba raz, vo funkcii loop sa opakujú až do vypnutia Arduina. Dvojité spätné lomítka sa používajú pre komentovanie príkazov. Na nastavenie pinu slúži funkcia pinMode (). Pre svoju činnosť potrebuje dva vstupné parametre. pinMode (číslo\_pinu, input/output). Vo verzii Arduino Uno môžeme používať piny 0 až 13. Príkaz digitalWrite(číslo\_pinu) slúži pre načítavanie digitálnych hodnôt. digitalWrite(číslo\_pinu, input/output) zapína hodnotu napätia +5V na príslušný pin. Pre lepšie zobrazenie je uvedený následný príklad. [11]

```
void setup() {  
  pinMode(12, OUTPUT);           // nastav pin 12 ako výstup  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(12, HIGH);       //na pinu 12 zapni prúd  
  delay(1000);                  //počkaj 1000 ms = 1 s  
  digitalWrite(12,LOW);        //na pinu 12 vypni prúd  
  
  int zapis;  
  byte vstup=13;  
  zapis = digitalRead(vstup);    //ak prúd tečie, do premennej zapis sa uloží hodnota HIGH  
  delay(1000);                  //čakaj 1 sek  
}
```

Ak pracujeme s analógovými hodnotami, pracujeme s príkazmi ako sú **analogRead** a **analogWrite**. Sú limitované iba na použitie v označenom pine vývojovej dosky. AnalogWrite slúži na nastavenie analógovej hodnoty a môžeme ju použiť iba na pine označenom PWM ( Arduino Uno sú to piny: 3, 5, 6, 9, 10, 11). Pre príkaz analogWrite sa používa syntax (číslo\_pinu, hodnota) . Hodnota môže byť v rozsahu 0 až 255. V skutočnosti sa nejedná o žiadne analógové hodnoty, pretože táto funkcia na vybraných pinoch generuje PWM signál. [11]

Funkcia **analogRead ()** slúži na čítanie analógovej hodnoty na vstupoch označených Analog In. Čítanie analógových hodnôt sa využíva pri senzoch (teplota, vlhkosť atď.). Väčšina dosiek Arduino má rozlíšenie 10 bitov, čo zodpovedá hodnotám od 0 do 1023. Syntax je nasledovná : `zapis = analogRead (pin)`.

### **Sériová komunikácia - Serial.begin ()**

Tento príkaz sa používa na zahájenie sériovej komunikácie. V zátvorke je parameter rýchlosti komunikácie, ktorý zodpovedá počtu prenosov za sekundu. Pri komunikácii s počítačom sa používa niekoľko vyhradených hodnôt (300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 a 115200). Najčastejšie sa používa hodnota 9600.

### **Odoslanie dát - Serial.print () a Serial.println ()**

Príkazy slúžia na odoslanie hodnoty z vývojovej dosky Arduino do počítača. Rozdiel je, že funkcia `Serial.print ()` posieľa dáta za sebou v jednom riadku. Funkcia `Serial.println ()` vždy na konci odoslaných dát pridá znak pre zalomenie riadku. V ASCII tabuľke znakov má znak 'a' v desiatkovej sústave hodnotu 97. Príkazom `Serial.print ('a')` sa odošle číslo 97 a až v PC dôjde k jeho prekladu pomocou ASCII tabuľky späť na znak 'a'.

### **Čítanie dát Serial.available() a Serial.read()**

Ak chceme vývojovej doske odoslať znak alebo číslo, môžeme ju odoslať pomocou textového poľa v hornej časti *Serial* monitora. Hodnota sa odosiela pomocou ASCII hodnoty znakov, ktorá má každý znak (i čísla) vlastnej byte pamäte. Funkcia `Serial.available ()` vráti počet bytov, dostupných v bufferu. Funkcia `Serial.read ()`, zoberie prvý byte z bufferu a prečíta ho. Zároveň dôjde k dekrementácii bytu z bufferu, a znižuje sa hodnota uložená v pamäti o jeden byt. Ak by sme odoslali reťazec "hello" z PC do Arduina, budú v bufferi obsadených 5 bytov (za každý znak jeden). Pri viacnásobnom odoslaní reťazca by sa počet bytov v bufferu zvyšoval, pretože stále nedošlo k spracovaniu predchádzajúcich dát. [11]

## 8 MATLAB

MATLAB je interaktívne vývojové prostredie a skriptovací programovací jazyk. Obsahuje editor pre vytváranie skriptov, ktorý sa používa na programovanie matematických operácií a tento spustiteľný kód zobrazuje výsledky, grafy či výstupy. MATLAB poskytuje možnosti pre analýzu dát, grafiky, vývoj algoritmov, vytváranie aplikácií z možnosťou kombinovať programovacie jazyky z pripojeným hardvérom, paralelné výpočty, nasadzovanie webu, plochy a cloudových aplikácií, atď. MATLAB môžeme použiť pre riadiace systémy, strojové učenie, zapracovanie signálu, obrazu, počítačového videnia, robotiky, bezdrôtovej komunikácií a ďalších technologických systémov. Softvér je možné stiahnuť z oficiálnej stránky a využívať jeho bezplatnú verziu po dobu 30 dní. V grafickom užívateľskom rozhraní (GUI), môžeme vytvoriť aplikáciu, ktorá môže poskytovať napr. riadenie technologického procesu bežiacom na príslušnom hardvéri. MATLAB poskytuje tri spôsoby vytvorenia aplikácie:

Prevod skriptu na **jednoduchú aplikáciu**: táto možnosť sa využíva, ak chceme zdieľať skript so študentmi alebo kolegami a umožniť im upravovať premenné pomocou interaktívnych ovládacích prvkov.

Vytvorenie aplikácie **interaktívne**: táto možnosť sa využíva, ak chceme vytvoriť sofistikovanejšiu aplikáciu pomocou prostredia App Designer na vytvorenie používateľského rozhrania.

Vytvorenie aplikácie **programovo**: táto možnosť sa využíva, ak chceme vytvoriť užívateľské rozhranie aplikácie tým, že kód si píšeme sami. [15]

Pre sériovú komunikáciu prostredia MATLAB a vývojovej dosky Arduino je potrebné si nainštalovať rozšírenie **Matlab Support Package for Arduino Hardware** dostupne na oficiálnych stránkach. Inštaláciu rozšírenia nainštalujeme v prostredí MATLAB, klikneme na kartu *HOME*, potom na položku *Add-Ons* a kliknutím na *Get Hardware Support Packages*. Otvorí sa okno *Add-Ons*, kde si užívateľ vyberie požadované rozšírenie a zvolí *Install*. Je potrebné byť prihlásený cez užívateľský účet na stránkach Mathworks. Prostredníctvom rozšírenia je možné čítať a zapisovať dáta senzorov prostredníctvom platformy Arduino a okamžite zobrazíť výsledky v prostredí MATLAB bez kompilovania akéhokoľvek kódu. Ďalej sú dostupné vstavané matematické a vykresľovanie funkcie, ktoré sú súčasťou Matlabu, na analýzu a vizualizáciu dát zhromaždených z vývojovej dosky Arduino.

## **II PRAKTICKÁ ČASŤ**

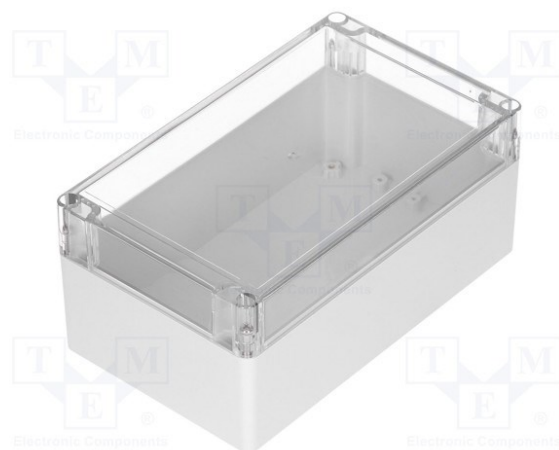


## 9 NÁVRH ZARIADENIA

Izolačná a tepelná komora je vyrobená z polykarbonátu, ktorý je odolný do 150 °C



Obr.29. Izolačná komora 270x220x106 mm [17]



Obr.30. Rozmery krytu pre hardvér 200x120x90 mm [17]



Obr.31. Univerzálny kryt pre tepelnú komoru 125x175x75 mm, polykarbonát [17]

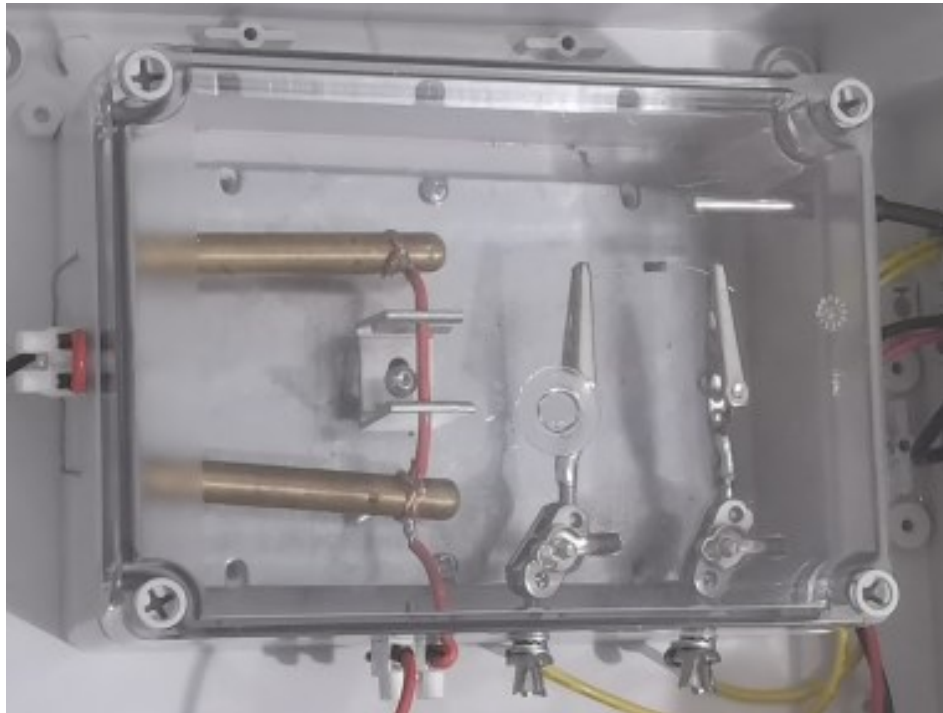
Návrh zariadenia pre meranie a reguláciu teploty si vyžaduje predstavivosť, ako budú umiestnené jednotlivé moduly, tepelná komora, regulátor, zdroj napätia, proces chladenia, prístup a manipulácia. Taktiež si vyžaduje predstavivosť o tom, akým spôsobom budeme manipulovať s diódou, u ktorej sa bude merať volt-ampérová charakteristika. Návrh zariadenia spočíva z niekoľkých krokov.

1. Priestor v akom sa bude regulovať teplota, materiál zhotovenia komory.
2. Charakter vyhrievacích telies, veľkosť, spôsob montáže, výkon telies.
3. Vhodné umiestnenie tepelného senzora a meracej diódy.
4. Zabezpečiť cirkuláciu vzduchu aby bola dostatočne rýchlo ustálená teplota v celom priestore.
5. Vhodné umiestnenie zdroja, meracích káblov, a regulátora.
6. Prístup a obsluha zariadenia, komunikácia regulátora s PC, komunikácia z tepelnými telesami.

## 9.1 Návrh tepelnej komory

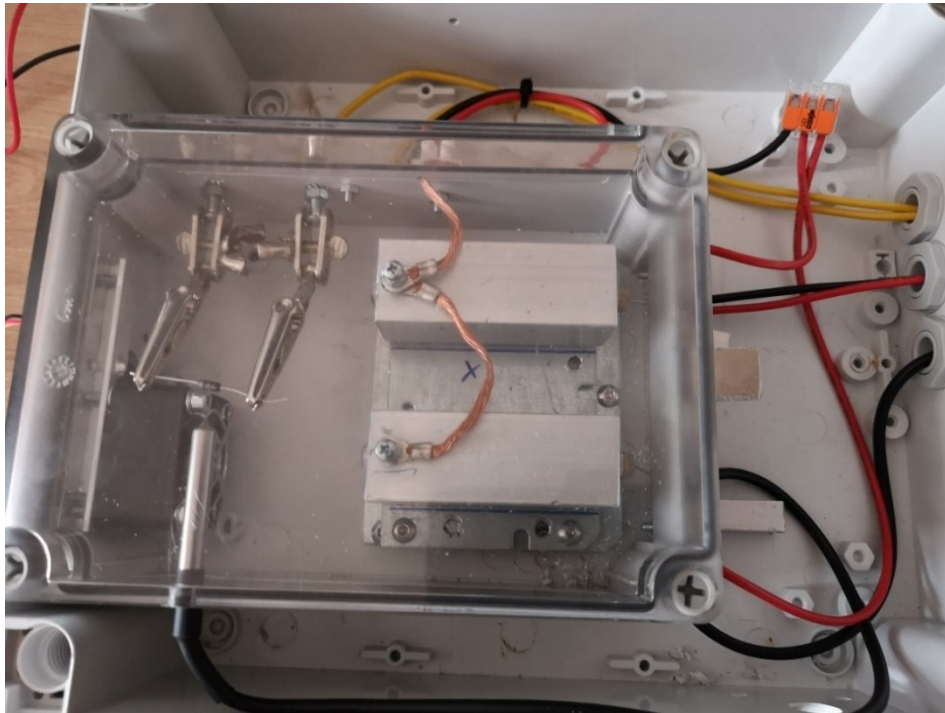
Návrh tepelnej komory spočíva vo veľkosti teploty, akú chceme regulovať. Pre zariadenie nám bude stačiť regulovať teplotu do 100 °C. Navrhnutý materiál by mal byť tepelne odolný a materiál vhodný k ručnému obrábaniu a spracovaniu a zároveň z dostupných materiálov. Pre tento účel bol zvolený materiál polykarbonát určený do pracovnej teploty až 150 °C. Z dostupných teplotných telies boli vybraté tepelné telesá o výkone 60 W, z bezpečným jednosmerným napätím 24 V. Dve tepelné telesá sú vhodnejšie pre rýchlejší nárast teploty a zároveň poskytujú dostatočný tepelný výkon za jednotku času, a pri vyšších teplotách kde dochádza k tepelným stratám poskytujú dostatočný výkon. Taktiež poskytujú dostatočnú kvalitu regulácie vzhľadom na odchýlky merania, ktoré sa zväčšujú pri náraste teploty, v dôsledku tepelnej stabilizácie spôsobene hrúbkou izolácie. Vyhovujúca odchýlka merania by nemala presahovať 0,5 °C. Táto hodnota bola určená na základe vybraného digitálneho tepelného senzora DS18B20, ktorý poskytuje určitú presnosť merania  $\pm 0,5$  °C. Pri jednom vyhrievacom telese by síce výkon mohol byť dostačujúci ale z experimentálneho merania čas ktorý by bol potrebný na nárast požadovanej teploty je podstatne vyšší a kvalita regulácie pri vyšších teplotách by dosahovala väčšiu odchýlku merania. Navyše pri plnom výkone tepelných telies ktoré nemajú dostatočne chladenie, dochádza k ich znižovaniu životnosti.

Vybrané tepelné telesá majú valcovitý tvar a sú zapojene paralelne, aby poskytovali dostatočný tepelný výkon. Z kirchhoffovho zákona  $I = U / R$ , môžeme spočítať prúd, ktorý tečie telesami pri paralelnom zapojení. Zdroj poskytuje 24 V a odpor telesa je  $10 \Omega$ . Vypočítaný prúd je  $I=4,8$  A. Pri sériovom zapojení by sa znížil výkon o polovicu, pretože maximálny prúd, ktorý obvodom preteká je polovičný a to približne 2,4 A. Pri experimentálnom meraní obvodu zapojeného do serie, telesa nespĺňovali očakávanú tepelnú dynamiku. Ich výkon by v tomto prípade bol dostatočný ale predĺžil by sa čas, potrebný na nastavenie požadovanej teploty a to najmä pri vyšších teplotách. Pri sériovom zapojení telies nie je využitý plný potenciál výkonu, z toho dôvodu je zapojenie konštrukčne upravené a zapojené paralelne. Telesá spolu z tepelnou komorou sú znázornene na obrázku nižšie.



Obr.32.Tepelná komora zariadenia

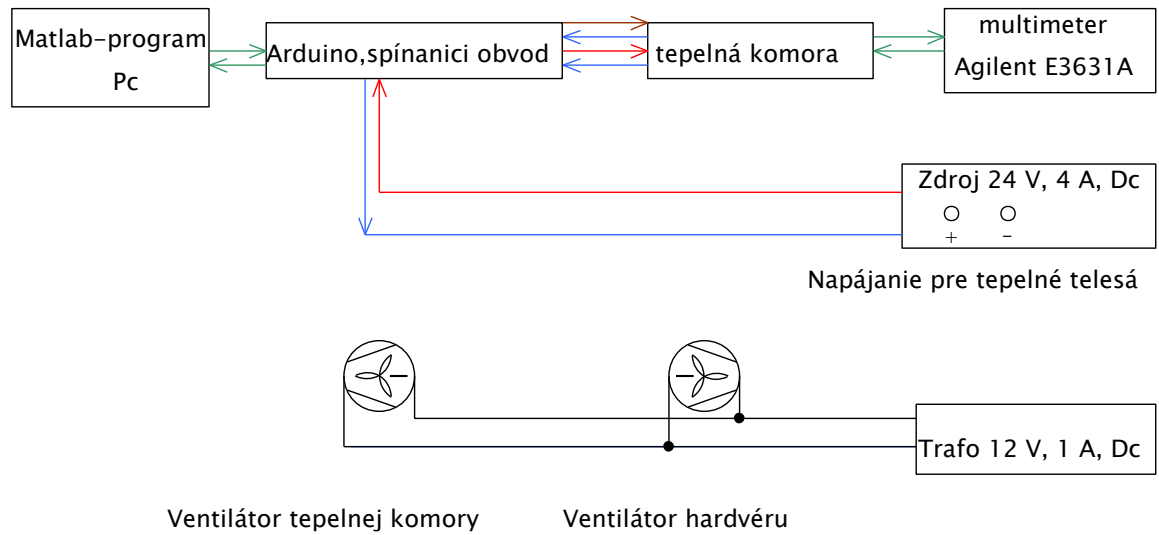
Tepelná komora má vrchný kryt z prehľadného materiálu a je vhodný k pozorovaniu. Z bočnej strany sú navrtané držiaky, ktoré majú možnosť aretovať smer a výšku uchytenej diódy, je to vhodné vzhľadom k manipulácii s diódou a malým manipulačným priestorom. Tepelný senzor je upevnený v hornej časti tepelnej komory. Pri zahrievaní telies teplota stúpa a chladnejší vzduch klesá. Pri uzatvorenom priestore je tento proces pomalší a z výsledkov experimentálneho merania môžeme usúdiť, že rozloženie teploty trvá čas (5-10 min) a zahrieva sa horná časť krytu. Spôsobuje to nerovnomerné rozloženie teploty. V tomto prípade nie sú namerané hodnoty senzora spoľahlivé vzhľadom na celkovú teplotu a spôsobovalo by to problémy pri regulácii, a to v zmysle väčšej odchýlky merania teploty vo vnútri komory. Navrhnuté zariadenie má merať teplotu čo najpresnejšie v rámci možnosti. Pre zlepšenie rozloženia teploty je vhodný ventilátor napr. 24 V, ktorý je zapojený na 12 V zdroj napätia čo spôsobí zmenšenie rýchlosti otáčok a poskytuje tak primeranú rýchlosť cirkulácie teploty vo vnútri komory. Ventilátor bol dostupný do 70 °C. Tento parameter je obmedzujúci a tak v zariadení je možné regulovať teplotu do 70 °C. V prípade vyššej požadovanej teploty je možnosť ventilátor vymeniť a dosadiť typ ventilátora, ktorý by vyhovoval daným požadovaným teplotám. Po aplikovaní ventilátora sa výrazne zvýšila citlivosť senzoru teploty a rýchlosť odozvy na tepelne účinky teplotných telies. Taktiež poskytuje presnejšie namerané výsledky teploty. Ďalším spôsobom ako zvýšiť presnosť merania teploty v priestore je pridať viac tepelných senzorov zapojených paralelne pomocou zbernice 1-wire, odčítať výsledky v danom okamihu zo všetkých senzorov teploty a zpriemerovať namerané hodnoty. Pre navrhované zariadenie vzhľadom na vyhrievací objem je postačujúci 1 senzor teploty za predpokladu cirkulujúceho vzduchu. Pri testovaní tepelnej komory sa začali vyhrievacie telesa zahrievať a pri vyšších teplotách vykazovali známky spálených miest na povrchu telies, zapríčinením nedostatočným odvodom tepla z povrchu telies. Z toho dôvodu boli vyhrievacie telesa zavrtané do hliníkových profilov. Pred zasunutím do profilu boli telesa natreté tepelne vodivou pastou pre lepšie chladenie. Pri opätovnom testovaní tepelnej komory pri vyšších teplotách poskytovali telesa dostatočnú tepelnú výkonnosť. Tepelná komora je zobrazená nižšie na Obr.č.33.



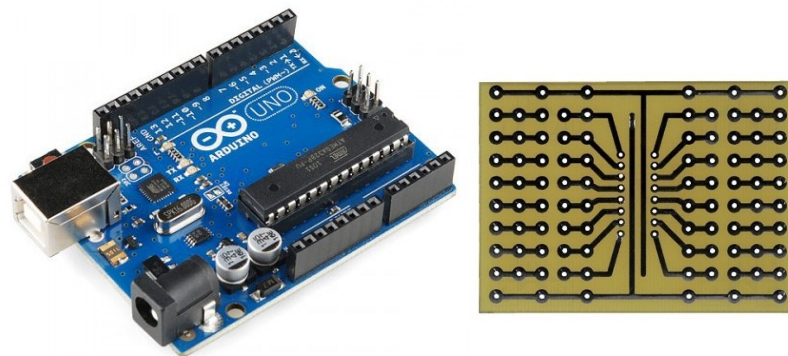
Obr.33.Chladiace profily tepelných telies.

Testovaním komory sa zistilo nepatrné dopravné oneskorenie, a to po dobu nahriatia hliníkového profilu približne 1 minútu. Výhodou predchádzajúceho zapojenia telies bez chladiča je že tepelný účinok vyvolaný prúdom pri prechode telesa sa prejavuje okamžite a tak regulácia je v tomto prípade lepšia v zhl'adom na odozvu systému a presnejšia napr. pri dvojbodovej regulácii. Nevýhodou je ale poškodzovanie telies pri vyššom výkone. Voľba chladiča je ale nevyhnutná pre životnosť telies. Tepelná komora je vložená do izolačnej komory, ktorá je konštrukčne väčšia ako tepelná komora a priestor medzi tepelnou komorou a izolačnou komorou je možné zaizolovať dostupnými izolačnými materiálmi napr. minerálnou vatou. Izolačná komora slúži k teplotnej stabilizácii tepelnej komory a izolácia plní účel čiastočnej eliminácie tepelných strát. Ak by izolačná komora nebola implementovaná v zariadení, dochádzalo by k tepelným stratám a už pri 50 °C by bola zhoršená kvalita regulovanej teploty veľkým prvotným kmitom pri regulovaní napr. dvojbodovej regulácii a poklesmi nad a pod hranicou nastavenej požadovanej teploty. Izolačná komora dostatočne eliminuje tepelne straty do 70 °C. Pri vyšších teplotách dochádza k tepelným stratám. Pre zlepšenie tepelnej stability je možné zariadenie upraviť napr. pridaním izolácie na vrchnú časť tepelnej komory. Kvalitu regulácie ovplyvňuje je aj algoritmus akým spôsobom je teplota regulovaná.

## 10 NÁVRH HARDVÉRU



Obr.34.Celková schéma zariadenia [9]



Obr.35.Arduino Uno, doska plošných spojov

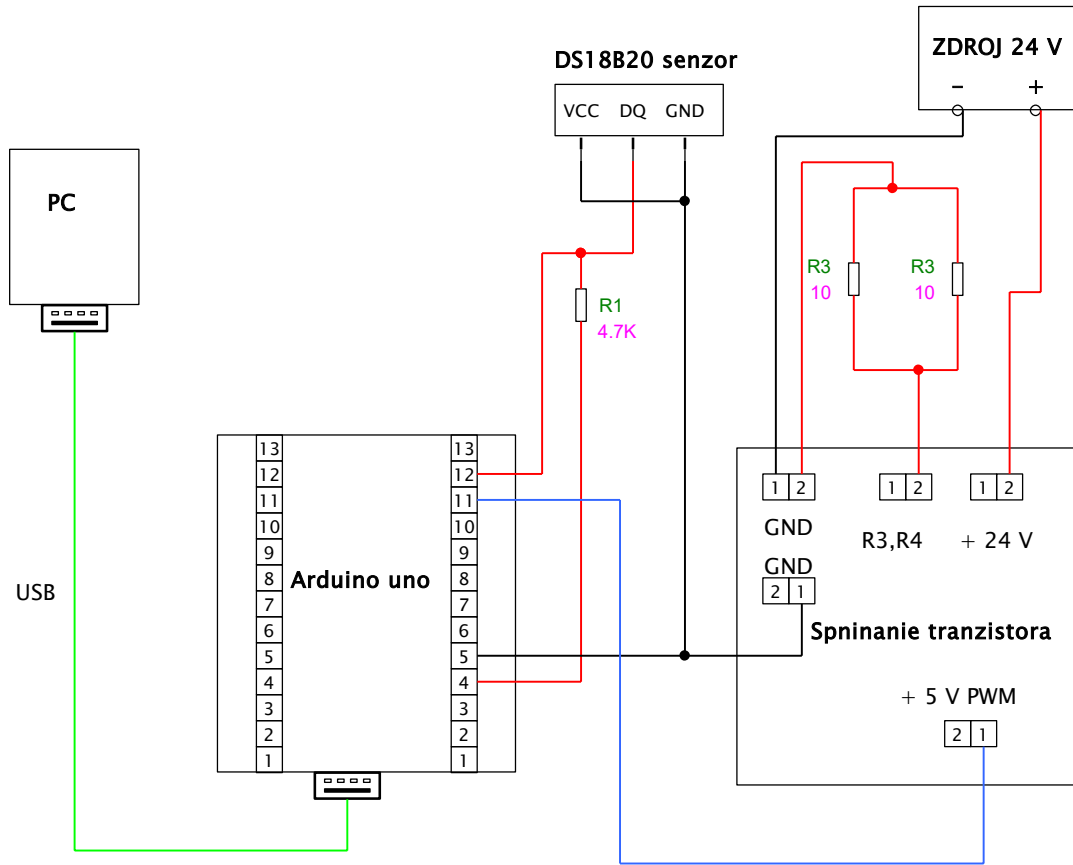


Obr.36.Ventilátor,24V,DC,axialní,40x40x20mm

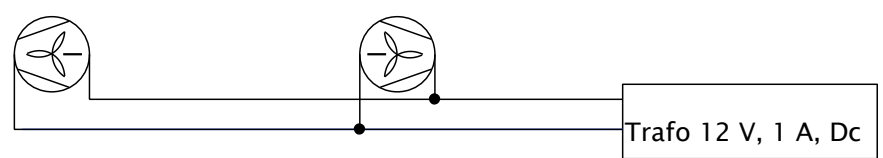
Celková schéma zapojenia popisuje funkčnosť systému. V počítači je nainštalované prostredie MATLAB GUI, v ktorom je vytvorený grafický panel, pomocou ktorého môžeme zadať požadovanú teplotu a zároveň zobrazuje namerane hodnoty teploty. Počítač komunikuje s vývojovou doskou Arduino pomocou sériovej komunikácie. Vývojová doska Arduino požiadavku spracuje a vykonáva sa program ktorý je v mikrokontroléru naprogramovaný a uložený. Arduino začína postupne zvyšovať prúd pomocou PWM modulácie a tak zvyšovať tepelne účinky vyvolané elektrickým prúdom. Tepelný senzor meria teplotu v tepelnej komore a pri požadovanej teplote vypne PWM hodnotu prúdu. Následne po schladnutí teploty pod požadovanú hodnotu sa opäť zapne regulácia a udržuje požadovanú hodnotu teploty. Laboratórny zdroj 24 V, 10 A, slúži na napájanie tepelných telies a zároveň zobrazuje aktuálnu hodnotu tečúceho prúdu. Zdroj 12 V, 1 A, slúži na napájanie dvoch ventilátorov, určených pre jednosmerné napätie 24 V. Jeden je umiestnený v tepelnej komore v ktorej zabezpečuje cirkuláciu vzduchu. Druhý ventilátor zabezpečuje chladenie regulátora. Doska plošných spojov na ktorom je umiestnený výkonový odpor 100 ohm sa zahrieva a potrebuje chladenie. Pre zvýšenie životnosti spínacej časti a vývojovej dosky Arduino je ventilátor umiestnený tak, aby prúd vzduchu v jednom smere chladil vývojovú dosku a dosku plošných spojov. Polovičný výkon ventilátora ma dostatočné otáčky na ochladenie regulátora. Napájanie 12 V zdrojom je výhodné v tom, že sa jedná o nezávislý zdroj, kde nie je potrebná regulácia otáčok. Ak by sme chceli uvažovať o regulácii otáčok, môžeme vyrobiť ďalší spínací obvod pomocou tranzistora. Ďalšou možnosťou je upevniť ventilátor, ktorý priamo podporuje PWM reguláciu otáčok.

Pri pôvodnom návrhu hardvéru bol 12 V ventilátor napájaný pomocou externého zdroja pripojeného do konektora určeného pre externé napájanie dosky Arduino. Napätie je dostupné na pine  $U_{in}=12\text{ V}$  a slúži na napájanie senzorov a elektrických súčiastok s vyšším prúdom ako je 50 mA a napätím 5 V. Pri napájaní pomocou USB portu je doska Arduino napájaná napätím 5 V. Ak chceme komunikovať s Arduino pomocou sériovej komunikácie, musí byť Arduino spojené s počítačom pomocou USB portu. V okamihu spustenia otáčok ventilátora sa Arduino prepína do 12 V režimu, využíva napätie externého zdroja a prestane byť napájané pomocou USB portu. V okamihu vytiahnutia USB konektora sa opäť Arduino prepne do 5 V režimu, čo spôsobí že ventilátoru napájaného z 12 V poklesne napätie na 5 V a dochádza k poklesu otáčok. Po pár pokusoch komunikácie došlo k problému medzi pripojením Arduina a počítača a doska prestala komunikovať. Z toho dôvodu bol ventilátor upravený a pripojený priamo na 12 V nezávislý zdroj, paralelne

s ventilátorom č.2, ktorý je upevnený v tepelnej komore. Vyššie otáčky spôsobujú nadmerný hluk a nie je využitý chladiaci účinok. Pri návrhu regulátora bol vymedzený priestor pre prípadný regulátor, ktorým by sme mohli regulovať otáčky ventilátora.



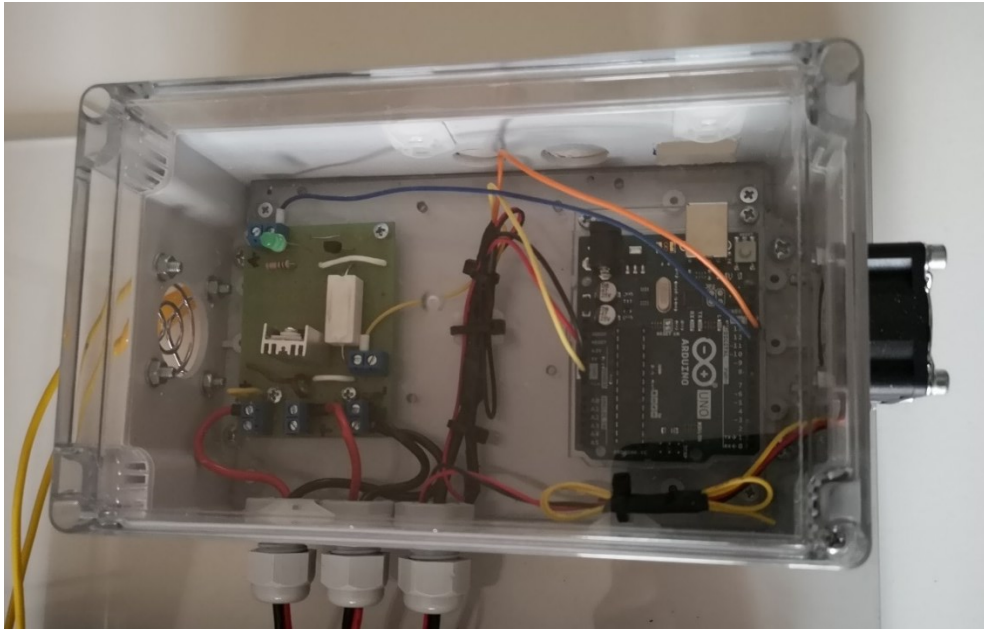
- |                  |                |                                |
|------------------|----------------|--------------------------------|
| 13-8 Digital-PWM | 13-8 Analog in | GND-uzemnovacia svorka         |
| 7-2 Digital pin  | 7-Uin          | R3,R4- tepelne telesa          |
| 1-TX             | 5,6-Gnd        | +24 V- napätie zdroja          |
|                  | 4-5 V          | +5 V- spínanie PWM tranzistora |
|                  | 3-3,3 V        |                                |
|                  | 2-RESET        |                                |
|                  | 1-IOREF        |                                |



Ventilátor tepelnej komory Ventilátor hardvéru

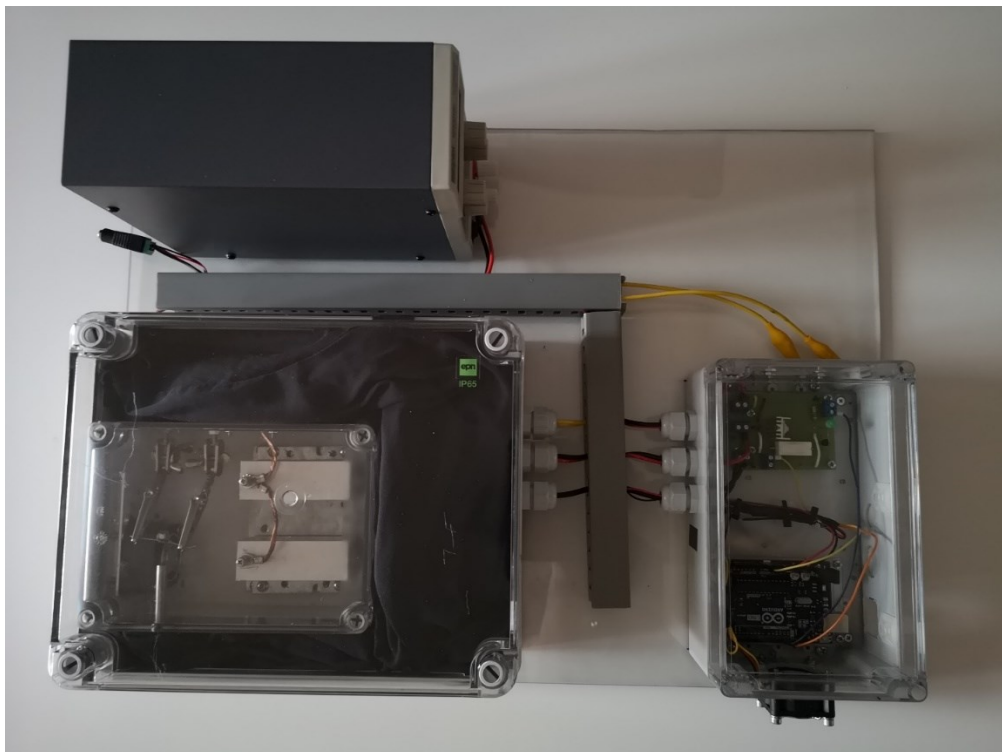
Obr.37.Schéma zapojenia, Arduino a tranzistorový spínací obvod [9]





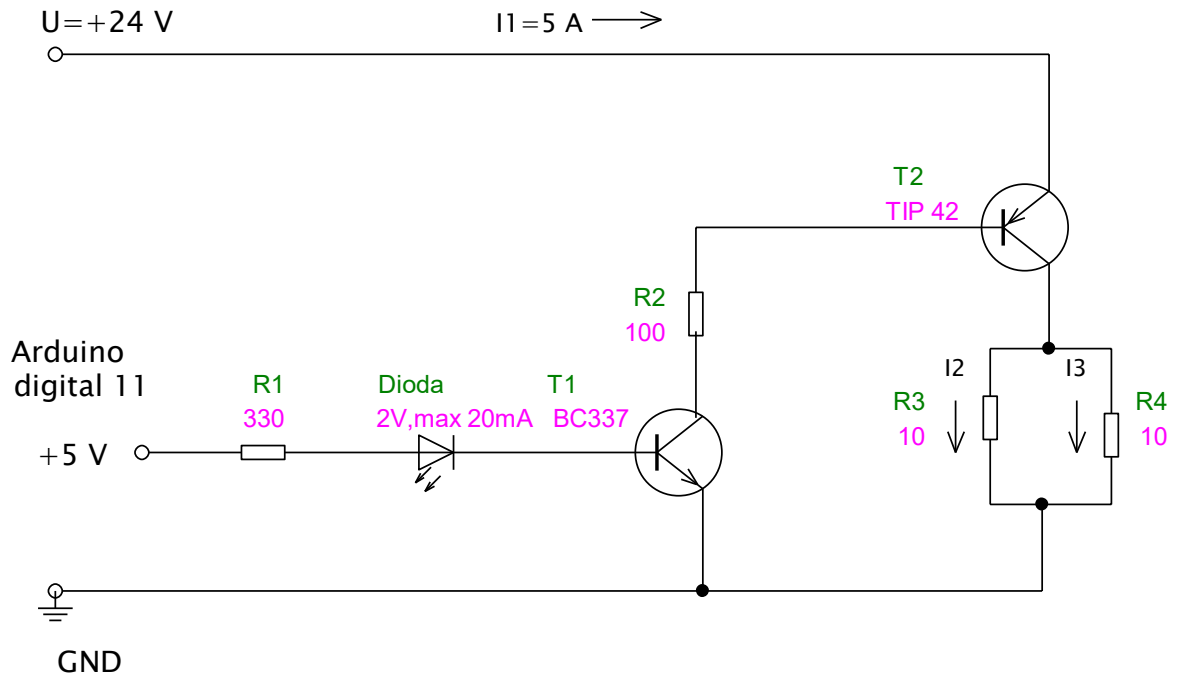
Obr.38.Arduino a tranzistorový spínací obvod

Zariadenie je podložené priehľadným plexisklom pre upevnenie tepelnej komory, zdroja a regulátora. Tepelná komora je vedľa regulátora v ktorom je vývojová doska Arduino a doska plošných spojov určená k spínaniu tepelných telies. Laboratórny zdroj je v blízkosti tepelnej komory a je pripojený pomocou vodičov uložených v elektroinštalačnom kanále. Zariadenie je na obrázku nižšie.



Obr.39.Zariadenie pre meranie a reguláciu teploty

## 10.1 Tranzistor ako spínač



Obr.40.Spínanie pomocou tranzistora NPN a PNP [9]

Na obrázku máme zapojenie pomocou dvoch tranzistorov NPN a PNP. Tranzistor T1 BC 337 ma podľa katalógu napätie medzi emitorom a bázou 5 V a rovnaké napätie ma aj výstup z Arduina z 5 V pinu. Zapnutím a vypnutím digitálneho pinu 11 môžeme zapínať tranzistor T1. Aby sa otvoril prechod baza-emitor musí do bazy tiecť prúd. Z katalógovej hodnoty vyplýva že pri bazovom prúde  $I_b=50 \text{ mA}$  bude kolektorový prúd  $I_c=500 \text{ mA}$ . Hodnota 20 mA odpovedá maximálnej zaťažovacej hodnote odoberanej z 5 V pinu Arduina. Pre výpočet odporu pre led diódu je nutné zistiť hodnoty z katalógu ako napr. maximálny prúd prechádzajúci led diódou a úbytok napätia.  $I_{\text{max}}$  led diódy je 20 mA a napätie je 2 V. [10]

Pre výpočet odporu R1 je použitý vzťah:

$$5 \text{ V} - 2 \text{ V} = 3 \text{ V}$$

$$R_{\text{min}} = 3 / 0,002 = 1500 \ \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 3 / 0,02 = 150 \ \Omega$$

(14)

Z vypočítaných hodnôt sa môžu zvoliť hodnoty odporov od 1500 do 150  $\Omega$ . Led v tomto prípade slúži ako indikácia zapnutého či vypnutého stavu z toho dôvodu bola zvolená najvyššia hodnota odporu, aby led dióda svietila čo najviac. Použitý dostupný odpor pre praktické zapojenie je teda 330  $\Omega$ . Tranzistor tip 42 potrebuje na otvorenie prechodu baza-emitor napätie -5 V čo znamená, že smer prúdu je opačný ako to je v prípade tranzistora Bc337. Tip 42 je PNP tranzistor z kolektorovým prúdom 6 A a napätie medzi C a E je 40 V. Tento tranzistor sa da využiť na spínanie väčšej zát'aže napr. vyhrievacích telies. Rezistory R3 a R4 predstavujú v tomto prípade vyhrievacie telesá ktoré majú výkon každé 60 W. Odpor jedného telesa je 10  $\Omega$ . Podľa ohmová zákona platí vzťah:

$$\begin{aligned}
 R &= U / I \\
 R_{3telesa} &= 10 \Omega \\
 R_{4telesa} &= 10 \Omega \\
 P_3 &= 60 W \\
 P_4 &= 60 W \\
 I_{23} &= U / R \\
 I_{23} &= 24 / 10 = 2,4 A
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

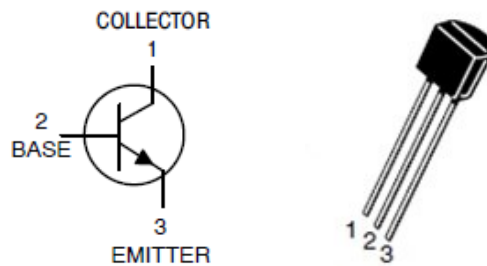
$$I_1 = 4,8 A \tag{16}$$

Pri paralelnom zapojení sa prúdy I2 a I3 sčítajú a tak pri otvorenom priechode tranzistoru T2 bude prechádzať prúd 4,8 A. Hodnota Ic tranzistora T2 je podľa katalógu 6 A. Napájacie napätie zdroja je 24 V. Tranzistor T2 ma teda dostatočne parametre, aby mohol byť použitý ako spínač pre vyhrievacie telesá R3 a R4. Pre obmedzený prúd Ic tranzistoru T1 je potrebné spočítať hodnotu odporu R2. Prúd Ic tranzistoru T1 by nemal prekročiť hodnotu 0,5 A. Pre výpočet odporu R2 bude platiť vzťah:

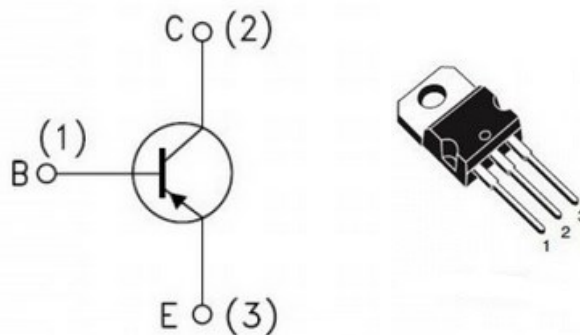
$$\begin{aligned}
 R &= U / I_c \\
 R_2 &= 24 / 0,5 = 48 \Omega \\
 R_{optimum} &= 24 / 0,24 = 100 \Omega \\
 P_{R2} &= 24 * 0,24 = 5,76 W
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Odpor R2 by nemal byť menší než 48 ohm. Pre praktické zapojenie stačí hodnota odporu 100  $\Omega$ , stým že odpor musí byť chladený a musí mať výkon 5,76 W .

Spínanie teplotných telies bude fungovať na základe programu ktorý je nahratý vo vývojovej doske Arduino, kde program bude spínať digitálny pin 11, ktorý bude mať hodnotu napätia 0 alebo 5 V. Prúd  $I_b$  bude tiecť do baze a spínať tranzistor T1, ktorý otvorí prechod E-C. Otvorený prechod T1 umožní prechod prúdu tranzistoru T2 medzi E-B, otvorí sa PN prechod medzi E-C a bude prechádzať prúd  $I_2$  a  $I_3$ . Telesá budú vyhrievané. Podľa počtu zapnutí tranzistora za jednu periódu bude tepelným telesám dodávať energiu a regulovať tak ich tepelný výkon. Pri prechode prúdu tepelnými telesami prechádza prúd aj hliníkovým chladičom, preto je nutné dávať pozor pri manipulácii s diódou tak, aby sa aretovacie držiaky diódy nedotýkali povrchu hliníkových profilov. Napätie prechádzajúce telesami je 24 V a pochádza z iného zdroja ako je zdroj meracieho okruhu multimetra. Pri kontakte s meracou diódou by mohlo dôjsť k poškodeniu meracieho prístroja, ktorý pracuje s meracím napätím.



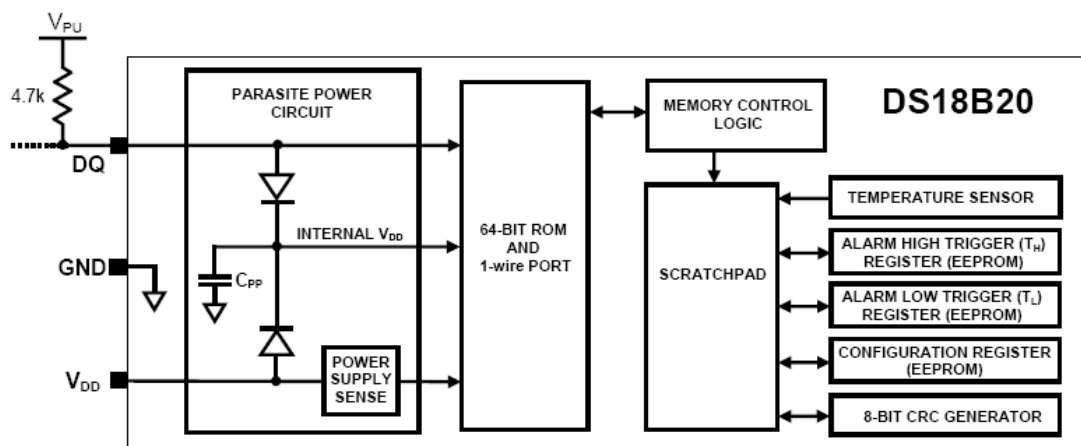
Obr.41. Tranzistor BC337 [10]



Obr.42. Tranzistor Tip 42 [10]

## 10.2 Tepelný senzor DS18B20

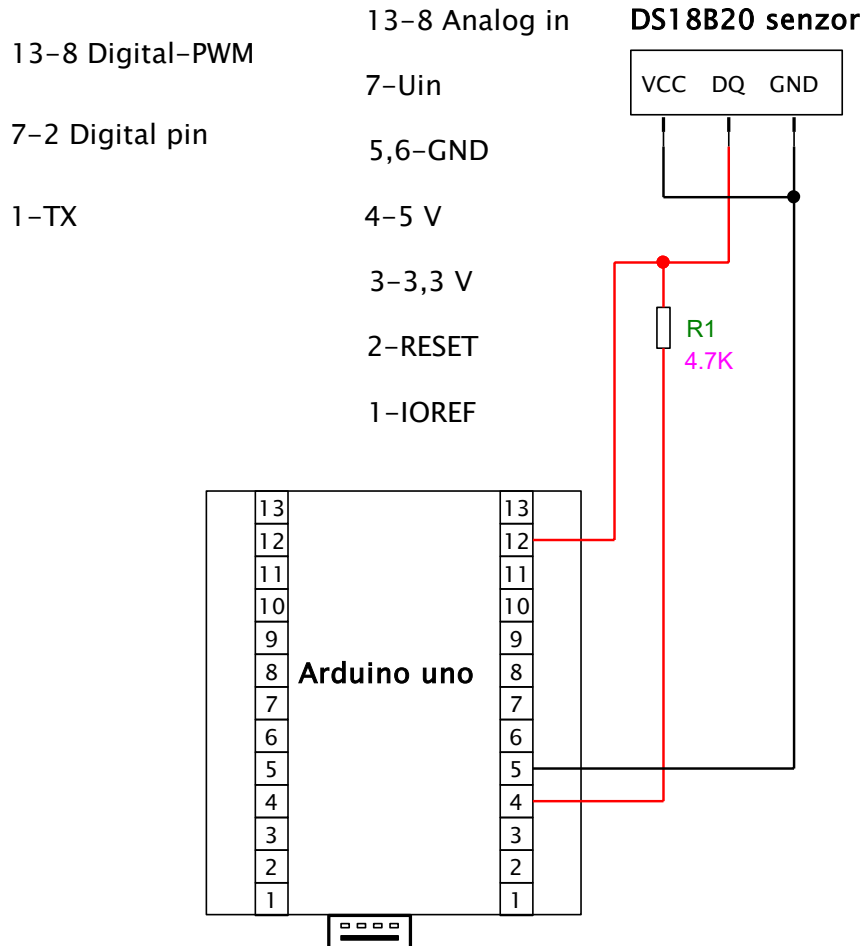
Senzor DS18B20 je digitálny tepelný senzor ktorý pracuje z 9-12 bitovým prevodníkom. Umožňuje merať teplotu od  $-55$  až  $+125$  °C a pri rozsahu teplôt od  $-10$  až  $+85$  °C, pracuje z presnosťou  $\pm 0.5$  °C. V projekte je využitá varianta z vodotesným nerezovým puzdrom. Senzor využíva komunikáciu pomocou zbernice 1-wire. Tato zbernica pracuje z jedným dátovým vodičom proti zemi. Každý senzor z rady DS18B20 pracuje zo 64-bitovou adresou uloženou v pamäti ROM ktorá je pre každý senzor jedinečná a slúži na identifikáciu jednotlivých čidiel zapojených na jednej zbernici. [4]



Obr.43. Bloková schéma DS18B20 [4]

Popis vnútornej štruktúry zobrazuje bloková schéma na Obr.č.43. V pamäti ROM je uložená jedinečná 64-bitová adresa. Scratchpad je pamäť pre zápis nameraných hodnôt teploty. Tento 2 bajtový register umožňuje prístup k registru Alarm Trigger a k konfiguračnému registru. Konfiguračný register slúži k užívateľskému nastaveniu konkrétneho parametru bitovej hodnoty prevodníka 9,10,11,12. Od výrobného nastavenia pracuje z 12 bitovou hodnotou prevodníka. Konfiguračný register je typ pamäti EEPROM. Senzor v našom projekte je zapojený v parazitnom režime, kde sa na prenos informácií z doskou Arduino využívajú dva vodiče. [4]

Na 5 V pin pripojíme 4700 ohmový rezistor a spojíme z prostredným vývodom senzora DQ. Krajne vodiče VCC a GND spoločne spojíme z pinom GND . Vývod senzora DQ pripojíme k pinu 4 na doske Arduino. [5]



Obr.44.Zapojenie senzoru s doskou Arduino [5]



Obr.45.Senzor DS18B20 v nerezovom vodotesnom prevedení [5]

Pre správnu činnosť a komunikáciu z doskou Arduino je potrebné do vývojového prostredia nahráť knižnice DallasTemperature a OneWire. Pre prácu z teplomerom si môžeme spočítať rozlíšenie teploty, ktoré nám bude Arduino zobrazovať. Rozsah napätia na pine Arduina je 0 až 5 V.

Senzor obsahuje 12 bitový prevodník, čo znamená  $2^{12}$  hodnôt, v tomto prípade 4096.

Napäťové rozlíšenie bude  $5/4096=1,22$  mV (18)

Rozsah teplomeru je uvedený od -55 do +125 °C

Celkový rozsah môžeme vyjadriť v tvare  $55+125=180$ .

Rozlíšenie teploty je  $180/4096=0,043$  °C (19)

### Krátka ukážka programu

```
#include <OneWire.h> // Teplotní čidlo DS18B20
#include <DallasTemperature.h> // pripojene knižnic

float namerana_teplota=0; //aktuálne nameraná teplota
const int pinCidlaDS = 12; // nastavenie čísla vstupného pinu
OneWire oneWireDS(pinCidlaDS); // vytvorenie inštancie oneWireDS z knihovny OneWire
DallasTemperature senzoryDS(&oneWireDS); // vytvorenie inštancie senzoryDS z knihovny DallasTemperature
float nastavena_teplota=0; //teplota na ktorú sa ma nastaviť komora
float syigma=0;

void setup()
{
  pinMode(topeni,OUTPUT); //pin 11 nastav na výstup pre spínanie teplotných telies
  analogWrite(topeni,0); //nastav PWM teplotných telies na 0 hodnotu
  Serial.begin(9600); //prenosová rýchlosť komunikácie
  senzoryDS.begin(); // zapnutí komunikácie knihovny s teplotným čidlom
}

float zmeraj_teplotu() //funkcia pre zmeranie teploty
{
  senzoryDS.requestTemperatures();
  // načítanie informácií ze všetkých pripojených čidiel na danému pinu
  // výpis teploty na sériovou linku, pri pripojení viac čidiel
  // na jeden pin môžeme postupne načítať všetky teploty
  Serial.print(senzoryDS.getTempCByIndex(0));
  Serial.println(" stupnu Celsia");
  delay(1000); // pauza pro prehľadnejší výpis
  return (senzoryDS.getTempCByIndex(0));
}
```

## 11 MERANIE TEPLoty

Navrhovane zariadenie ma slúžiť na meranie a regulovanie teploty. Pre meranie charakteristiky diódy, potrebujeme dostatočný tepelný regulovateľný rozsah teploty, aby z nameraných výsledkov bolo možné odčítať namerané výsledky. Pri navrhovaní tepelnej komory sme použili pre cirkuláciu vzduchu ventilátor, ktorý je použiteľný do teploty 70 °C. Teplota okolia je približne 25 °C. Pri meraní volt-ampérovej charakteristiky diódy, môžeme využiť tepelný rozsah od 25-70 °C, a merať pri rôznych teplotách. Meranie je vhodné uskutočniť tak, aby nám zabralo čo najmenej času a aby sme pracovali so stálou teplotou. Potrebujeme preto regulovať teplotu pomerne rýchlo a v krátkom čase a dosiahnuť požadovanú kvalitu regulácie. Výhodne je si pripraviť experimentálne meranie, ktoré by simulovalo predstavovaný regulačný priebeh z ustálením požadovaných hodnôt teploty. Jednoduchým príkazom vo vývojovej doske Arduino môžeme pomocou príkazu `analogWrite` spínať tranzistory T1 a T2 a riadiť prúd, ktorý preteká tepelnými telesami. `Analogwrite` pracuje z rozsahom spínania s hodnotami od 0-255. Hodnota 0 predstavuje 0 prúd a hodnota 255 maximálny prúd  $I_{23}=4,8 \text{ A}$ . Rozlíšenie prúdu pomocou spínania PWM príkazom `analogWrite` je  $4,8 / 255 = 0,0188 \text{ A}$ . Zvyšovaním hodnôt od 0-255 nám bude prúd narastať práve o tieto hodnoty. Faktom je že pre kvalitnejšiu reguláciu pomocou PWM by bol pre tento návrh vhodnejší rozsah aspoň 1024. U vývojovej dosky Arduino Uno to nie je možné, a museli by sme uvažovať o využití podobnej platformy umožňujúci väčšie rozlíšenie. Pre projekt si ale vystačíme z nižšími hodnotami.

Pri zapojenom a skonštruovanom zariadení môžeme postupne zvyšovať prúd. Pri nižších hodnotách sa neprejavujú žiadne tepelné účinky. Tabuľka č.2 zobrazuje zadané hodnoty PWM, prúdu a teploty. Meranie bolo uskutočnené za predpokladu, že chceme merať volt ampérové charakteristiky z postupným zvyšovaním teploty 5 °C. K perióde z ktorou chceme merať nastavené teploty je potrebné počítať s časom, ktorý je potrebný na ustálenie zadanej teploty. Ak bude akčná veličina (hodnota PWM prúdu) vysoká, bude vyšší prvotný prechod a predĺži sa čas potrebný k ustáleniu požadovanej teploty. Pre návrh riadiaceho algoritmu je pre tento projekt vhodnejší pomalší nárast teploty, ktorý ma podstatne dlhší čas kým sa dostaneme na požadovanú hodnotu, ale skráti sa čas ustálenia požadovanej teploty. Pre návrh nábehovej krivky teploty je vhodná perióda merania teploty  $T=5 \text{ min}$ , pri ktorej pravidelne zvyšujeme hodnotu PWM a odčítavame aktuálnu hodnotu teploty v tepelnej komore.



Takýmto spôsobom môžeme určovať strmosť krivky nárastu teploty. Zo zvyšujúcimi hodnotami PWM o hodnotu 10 s periódou  $T=5$  min, by sme dosiahli podstatne strmší a rýchlejší nárast teploty. Pre zariadenie si vystačíme aj z miernejším nárastom teploty, a zvolíme zvyšovanie hodnoty PWM každých 5 minút o hodnotu 5, pomocou príkazu `analogWrite(číslo_pinu,hodnota_PWM)`. Následná tabuľka č.2 znázorňuje priebeh nameraných hodnôt.

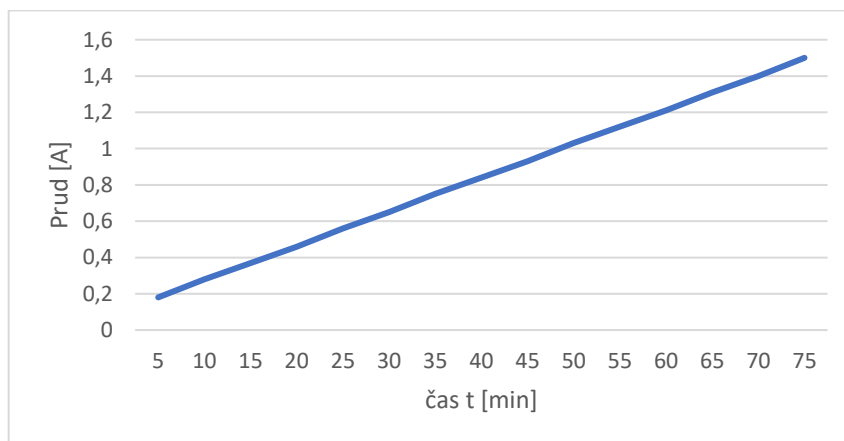
Hodnota PWM[θ]	Nameraný prúd I [A]	Nameraná teplota T[C]	T=[min]
10	0,18	25,5	5
15	0,28	27,75	10
20	0,37	29,56	15
25	0,46	31,56	20
30	0,56	34	25
35	0,65	36,81	30
40	0,75	39,88	35
45	0,84	43,2	40
50	0,93	46,5	45
55	1,03	50,13	50
60	1,12	53,81	55
65	1,21	57,5	60
70	1,31	61,2	65
75	1,4	65	70
80	1,5	70	75

Tabuľka č.2 Namerané hodnoty PWM, prúdu a teploty

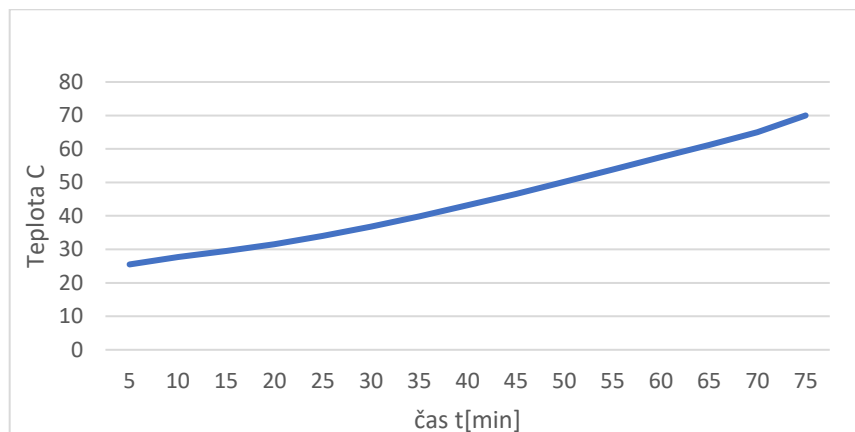
Ak by sme uvažovali aký tepelný účinok vyvolávajú konkrétne hodnoty PWM prúdu a využili to na ustálenie teploty z testovacích meraní vyplýva, že pri počiatočnej teplote napr. 25 °C sme namerali hodnotu prúdu 0,27 A, ktorá sa ustalovala cca 20 minút a postupne teplota v tepelnej komore narastala a prekračovala hodnotu 30 °C.

Takýto spôsob určovania ustálenia teploty pre konkrétne hodnoty PWM prúdu nie je pre zariadenie vhodné z dôvodu dĺžky času, ak by sme chceli uskutočniť viacero meraní. Druhý faktor, ktorý vyplýva z testovacích meraní je, že pri zmene okolitej teploty izolačnej komory regulátora, by dochádzalo k nepresným meraným výsledkom a posunula by sa nám nastavená stupnica prúdu pre požadované hodnoty teploty. Tretím faktorom je tepelná stabilita, ktorá závisí od izolácie tepelnej komory, teploty okolia a tepelnej straty. Štvrtý faktor je že

zo zvyšujúcou teplotou sa pri každej nameranej hodnote mení požadovaná hodnota prúdu a zvyšujú sa tepelné straty do okolia, čo spôsobuje mierny nelineárny priebeh teploty v rozsahu 25-70 °C. Z uskutočnených meraní vyplýva, že prepočet vypočítanej hodnoty prúdu na hodnotu PWM s ktorou pracuje program uložený v Arduine je mierne nepresný, nakoľko rozlíšenie nastavovanej hodnoty prúdu je 0,018 A. Ďalšia nepresnosť vypočítanej požadovanej hodnoty prúdu je, že nameraná hodnota teploty z ktorou pracuje Arduino je typu float a príkaz analogWrite pracuje s dátovým typom byte, ktoré predstavuje celé číslo, a dochádza k zaokrúhleniu. Ak si spojíme všetky fakty z testovacích meraní, tak presnosť požadovanej teploty bude závisieť od týchto faktorov. Niektoré nevýhody pôsobiace na kvalitu regulácie sa dajú eliminovať softvérom alebo v kombinácii algoritmu pomocou penalizačnej konštanty a dvojbodovej regulácie.



Obr.46.Graf závislosti prúdu a času



Obr.47.Graf závislosti teploty a času

## 12 RIADENIE TEPLoty

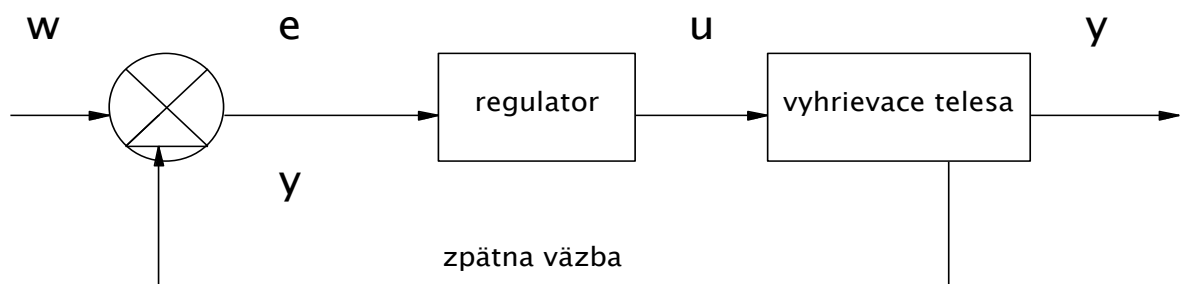
Dvojbodová regulácia funguje na princípe zapni-vypni, zapína a vypína akčnú veličinu. Pri zadanej požadovanej teplote napr. 50 °C zapne regulátor akčnú veličinu. Pri dosiahnutí požadovanej teploty, regulátor vypne akčnú veličinu. Teplota postupne chladne a pri poklese pod požadovanú hodnotu teploty, regulátor sa opäť zapne a cyklus sa periodicky opakuje.

Nastavená teplota  $w$

Nameraná teplota  $y$

Regulačná odchýlka  $e$

Akčná veličina  $u$



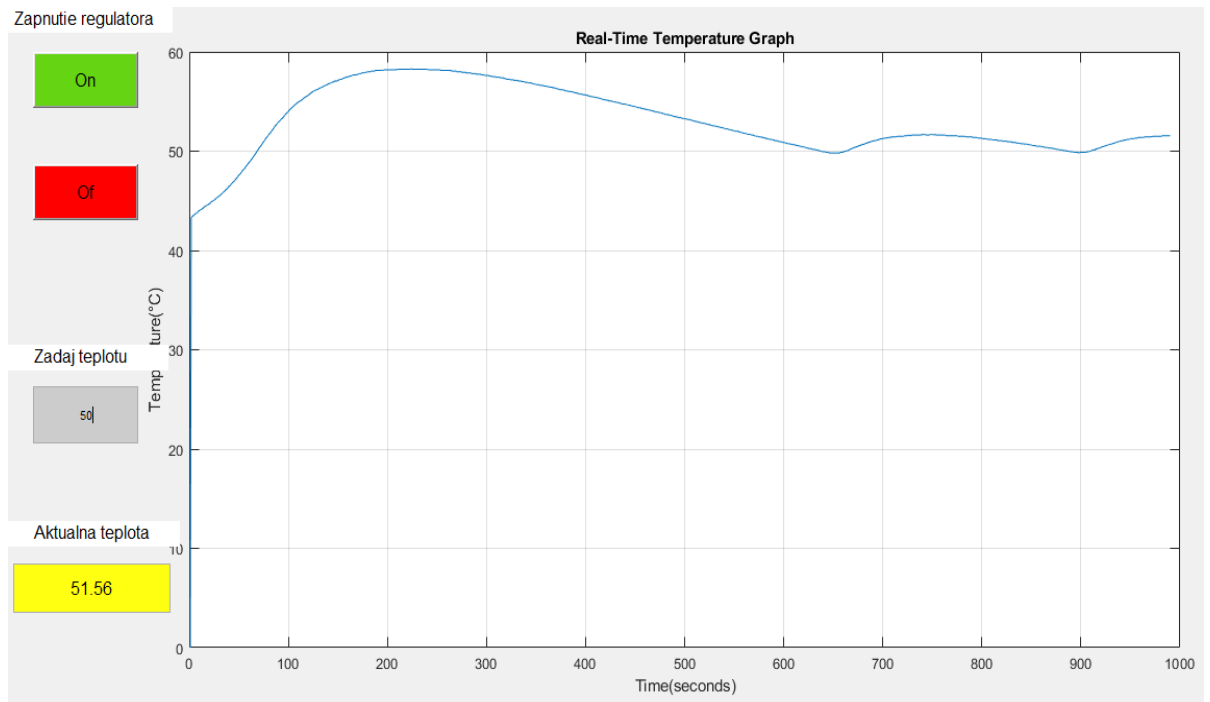
Obr.48.Princip regulácie teploty [12]

Priebeh dvojbodovej regulácie je znázornený na Obr.č.48. Počiatočná teplota tepelnej komory je 44,20 °C. Požadovaná a nastavená teplota je 50 °C. Akčný zásah 100% predstavuje hodnotu prúdu 4,8 A. Čas ustálenia prvého prekmitu je 20 minút. Čas ustálenia druhého prekmitu je 8 min a 18 sekúnd. Namerané hodnoty priebehu sú v tabuľke č.3. [12]

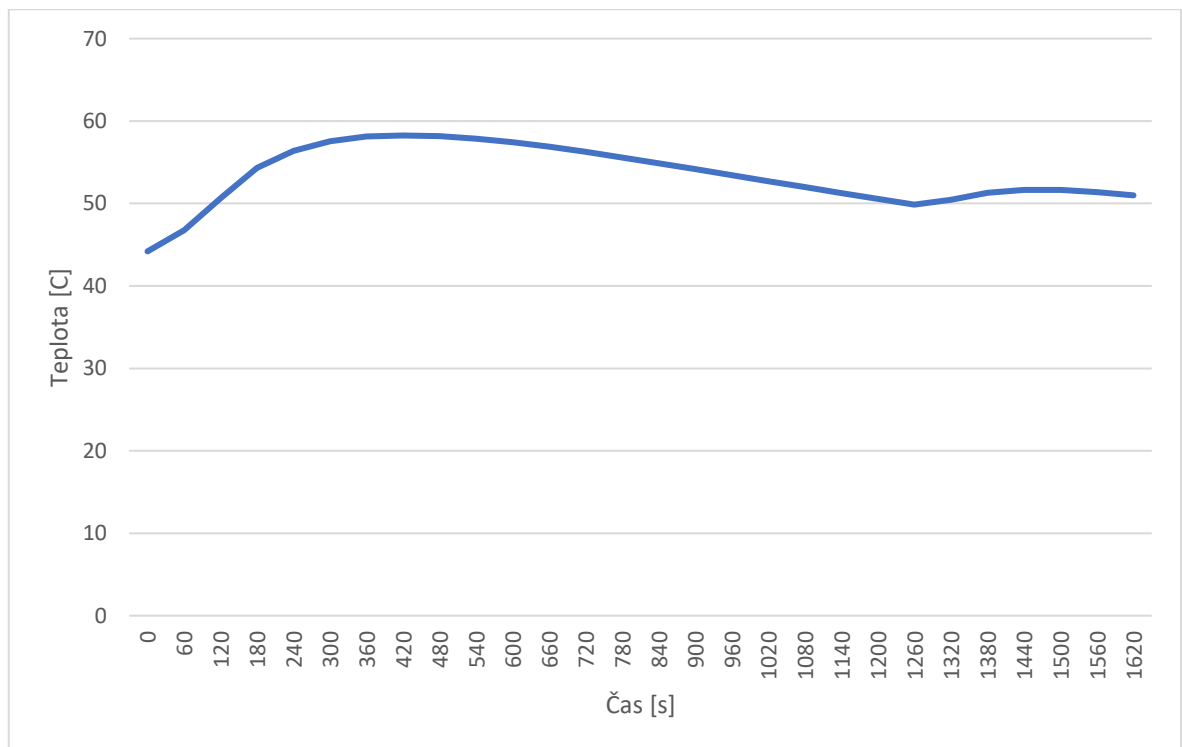
Pre namerané hodnoty teploty platí  $T=(\text{nameraná teplota} \pm 0.5^{\circ}\text{C})$ .

požadovaná teplota T [C]	nameraná teplota T [C]	čas t [s]
50	44,19	0
	46,75	60
	50,63	120
	54,31	180
	56,38	240
	57,56	300
	58,13	360
	58,25	420
	58,19	480
	57,88	540
	57,44	600
	56,88	660
	56,25	720
	55,56	780
	54,88	840
	54,19	900
	53,44	960
	52,69	1020
	52,00	1080
	51,25	1140
	50,56	1200
	49,88	1260
	50,44	1320
	51,31	1380
	51,63	1440
	51,63	1500
	51,38	1560
	51,00	1620
	50,56	1680
	50,06	1740
	50,13	1800
	51,06	1860
	51,50	1920

Tabuľka č.3. Priebeh nameraných hodnôt dvojbodovej regulácie

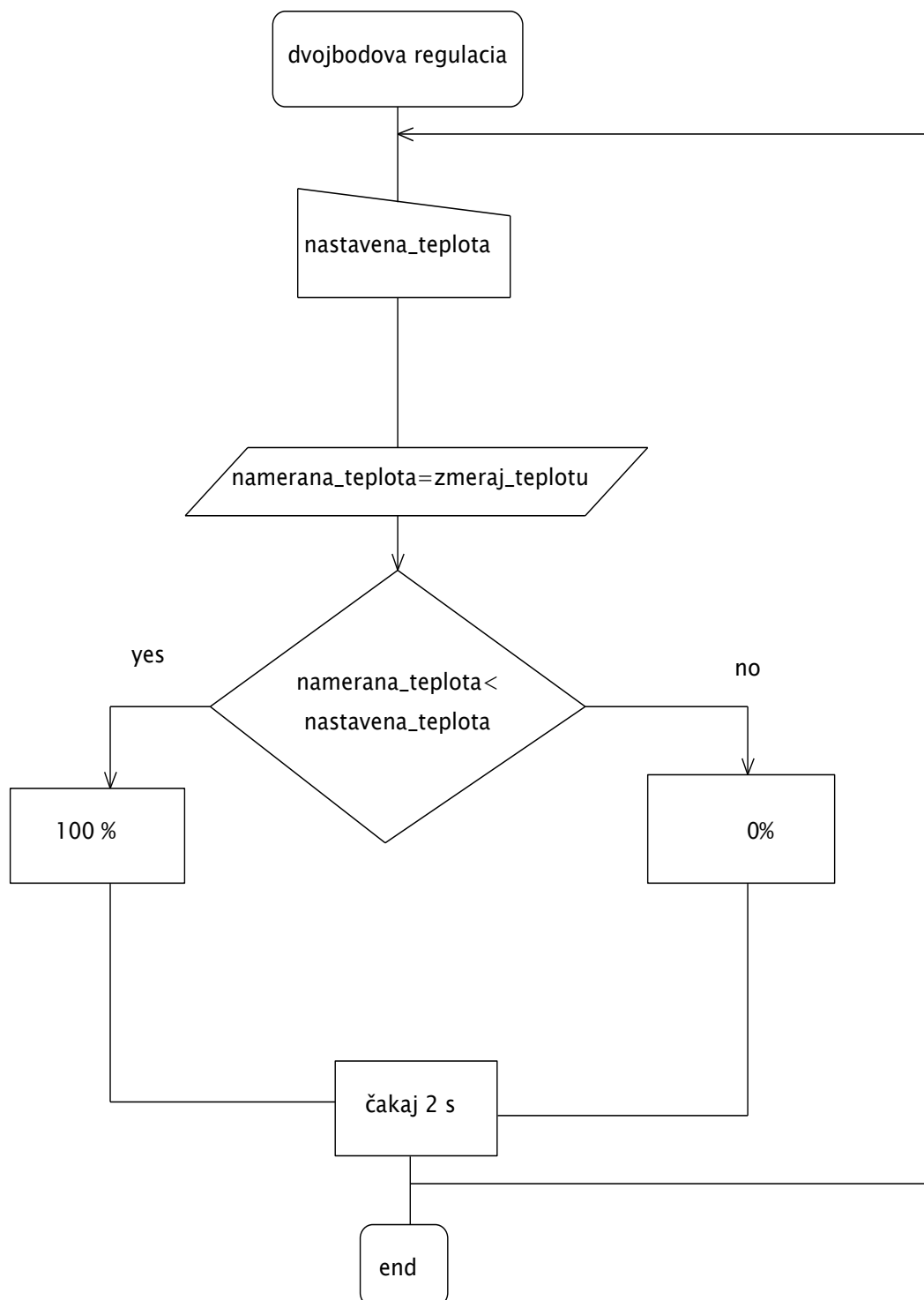


Obr.49. Grafický priebeh teploty v závislosti na čase v prostredí MATLAB



Obr.50. Grafický priebeh teploty v závislosti na čase v prostredí Excel

## 12.1 Algoritmus dvojbodovej regulácie



Obr.51.Algoritmus dvojbodovej regulácie

## 12.2 Programové riešenie dvojbodovej regulácie

### Čiastočná ukážka programu

```

//funkcia pre zmeranie teploty //teploměr Ds18b20
float zmeraj_teplotu()
{
    // načítanie informácií zo všetkých pripojených snímačov na danom pinu
    // výpis teploty na sériovú linku, pri pripojení viac snímačov čidel
    // na jeden pin môžeme postupne načítať všetky teploty
    // pomocou zmeny čísla v zátvorke (0) - poradie podľa unikátny adresy čidiel

    senzoryDS.requestTemperatures();
    data= senzoryDS.getTempCByIndex(0);
    return (data);
}
/*****/

float recvOneString() {
    //sériová komunikácia matlab prijímanie dát
    if (Serial.available() > 0)
    {
        receivedChar =Serial.readString();
        hodnota=receivedChar.toFloat();
    }
    return (hodnota);
}

/*****/

void loop()
{
    nastavena_teplota= 50;
    namerana_teplota=zmeraj_teplotu();
    Serial.println(namerana_teplota);
//zmeraj teplotu

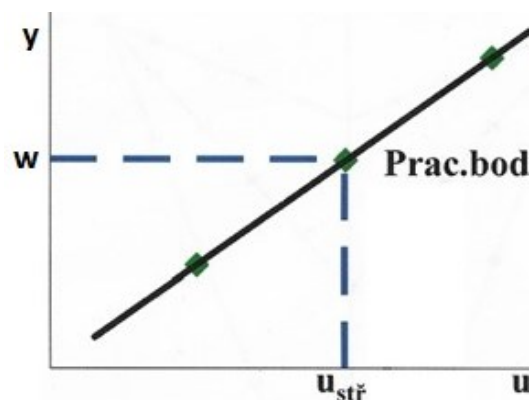
    if ((namerana_teplota<nastavena_teplota)) analogWrite(topeni,255) ;
    else analogWrite(topeni,0) ;

    delay(2000);
}

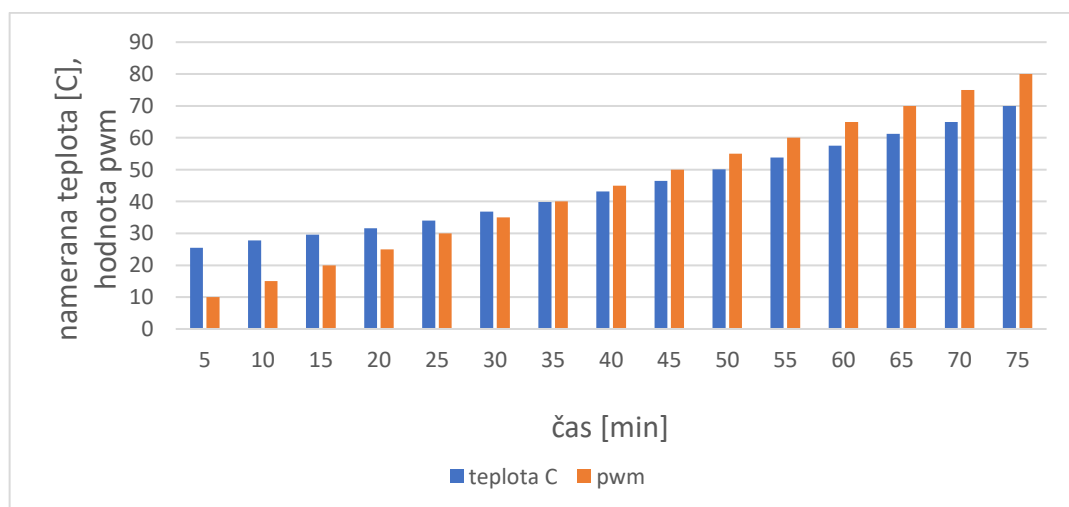
```

### 12.3 Výpočet penalizační konstanty

Algoritmus dvojbodové regulace můžeme upravit pomocí výpočtem penalizace. V algoritmu dvojbodové regulace sme pri kladnej podmienke pracovali z 100% účinnosťou akčného zásahu (hodnotou prúdu). Akčný zásah spôsobil prekmit, ktorý je nežiaduci z dôvodu vyššieho prekročenia teploty a predĺženiu času ustálenia teploty. Následný algoritmus prepočítava akčný zásah pomocou penalizácie, ktorá znižuje akčný zásah spojitě znižovaním hodnoty prúdu v zadanom pásme, v ktorom sa približujeme k požadovanej hodnote teploty. Šírku pásma znázorňuje premenná sigma. Pre použitie penalizační konstanty je potrebná statická charakteristika, ktorá vyjadruje závislosť požadovanej hodnoty teploty od strednej hodnoty akčného zásahu (hodnoty prúdu). Návrh predstavaného modelu regulácie teploty nám predstavuje tabuľka č.2. a grafické znázornenie na Obr.52.



Obr.52.Statická charakteristika požadovanej teploty a akčnej veličiny [12]



Obr.53.Predstavaný model regulácie teploty v závislosti na čase



Pre namerané hodnoty teploty a prúdu je potrebné určiť rozsahy, z ktorými budeme pracovať. Pre teplotu je to rozsah od 25 – 70 °C. Pre spínanie PWM je rozsah hodnôt 10-80. Príkaz analogWrite pracuje z hodnotami od 0-255. Pre 1% výkonu platí (255/100) hodnota PWM 2,55. Hodnota PWM 80 (80/2,55) predstavuje 31,37 % výkonu telies. Pre prúd je to rozsah od 0,18 A do 1.5 A. Následný výpočet určuje priradenie teploty v uvedenom rozsahu hodnotám PWM.

Výpočet prúdu pre zadanú teplotu v rozsahu od 25-70 °C

$$\begin{array}{r}
 1,5 - 0,18 = 1,32 \\
 70 - 25 = 45 \\
 1,32 \dots\dots\dots 45 \\
 \uparrow x \dots\dots\dots (T - 25) \uparrow
 \end{array}
 \tag{20}$$

x = vypočítaná hodnota prúdu pre zadanú teplotu

$$\begin{array}{l}
 \frac{x}{1,32} = \frac{(T - 25)}{45} \\
 x = 1,32 \frac{(T - 25)}{45} + 0,18
 \end{array}
 \tag{21}$$

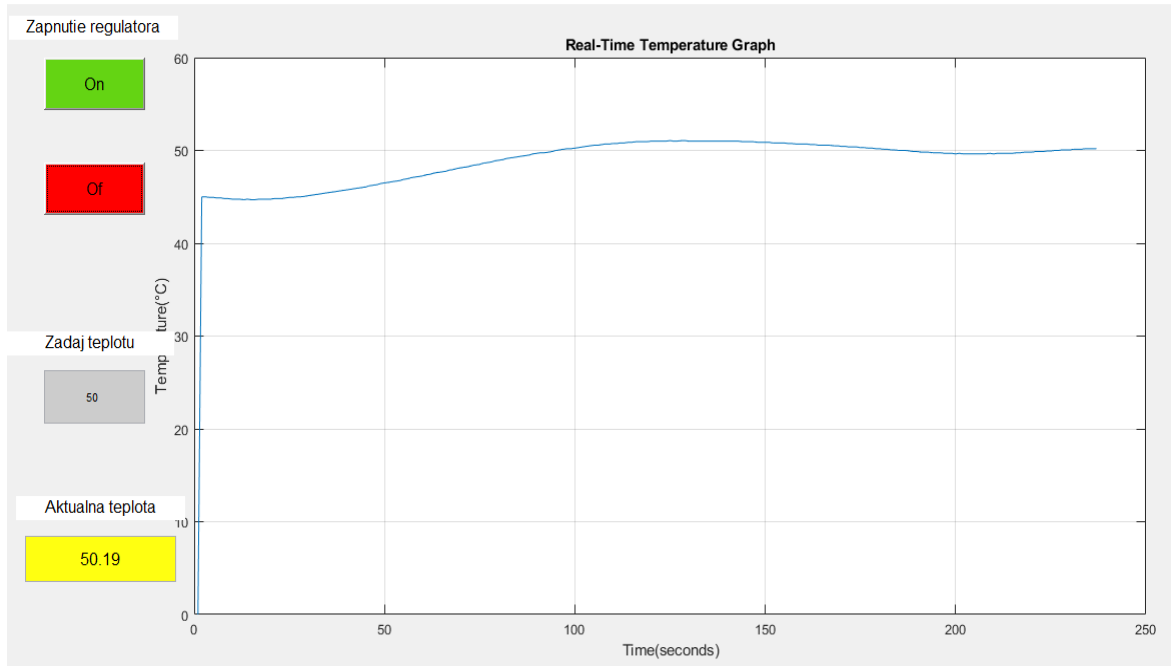
Výpočet PWM hodnoty pre zadanú hodnotu teploty 25-70 °C.

$$\begin{array}{r}
 80 - 10 = 70 \\
 1,5 - 0,18 = 1,32 \\
 1,32 \dots\dots\dots 70 \\
 \uparrow z \dots\dots\dots (PWM - 10) \uparrow
 \end{array}
 \tag{22}$$

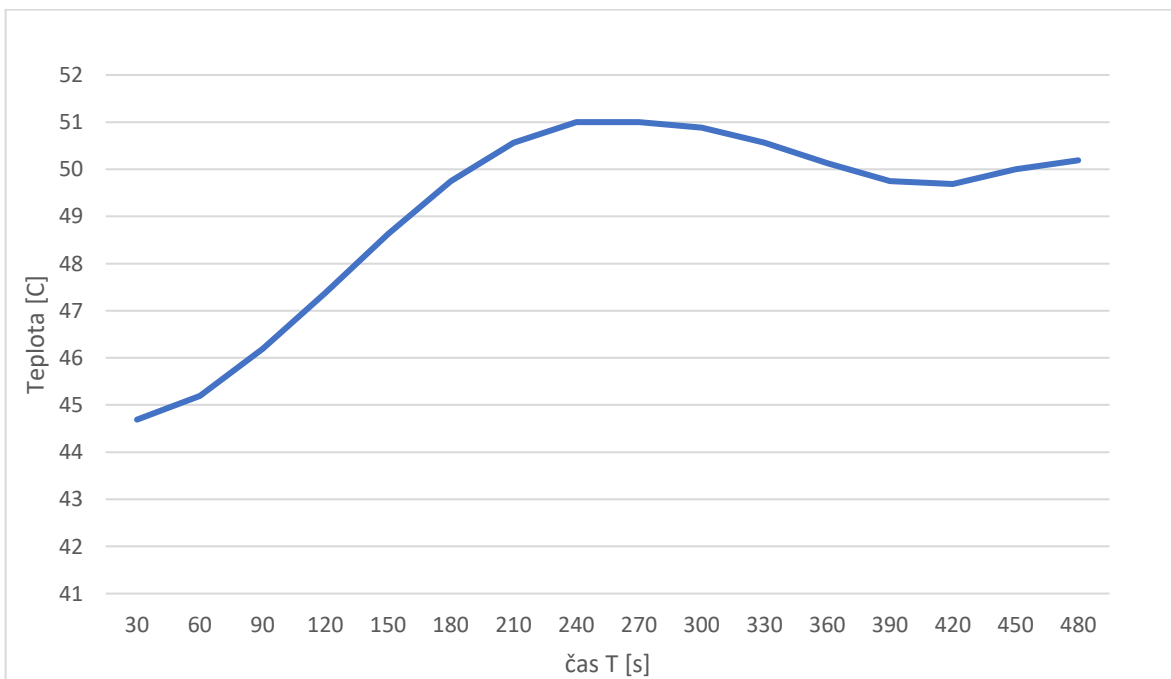
z = vypočítaná hodnota prúdu pre zadanú hodnotu PWM

$$\begin{array}{l}
 \frac{z}{1,32} = \frac{(PWM - 10)}{70} \\
 z = 1,32 \frac{(PWM - 10)}{70} + 0,18
 \end{array}
 \tag{23}$$

Algoritmus dvojbodovej regulácie je upravený výpočtom pomocou statickej charakteristiky a konštantou penalizácie. Doba ustálenia prvého prekmitu je 6 minút a 7 sekúnd. Doba ustálenia druhého kmitu je 1 minúta 20 sekúnd.

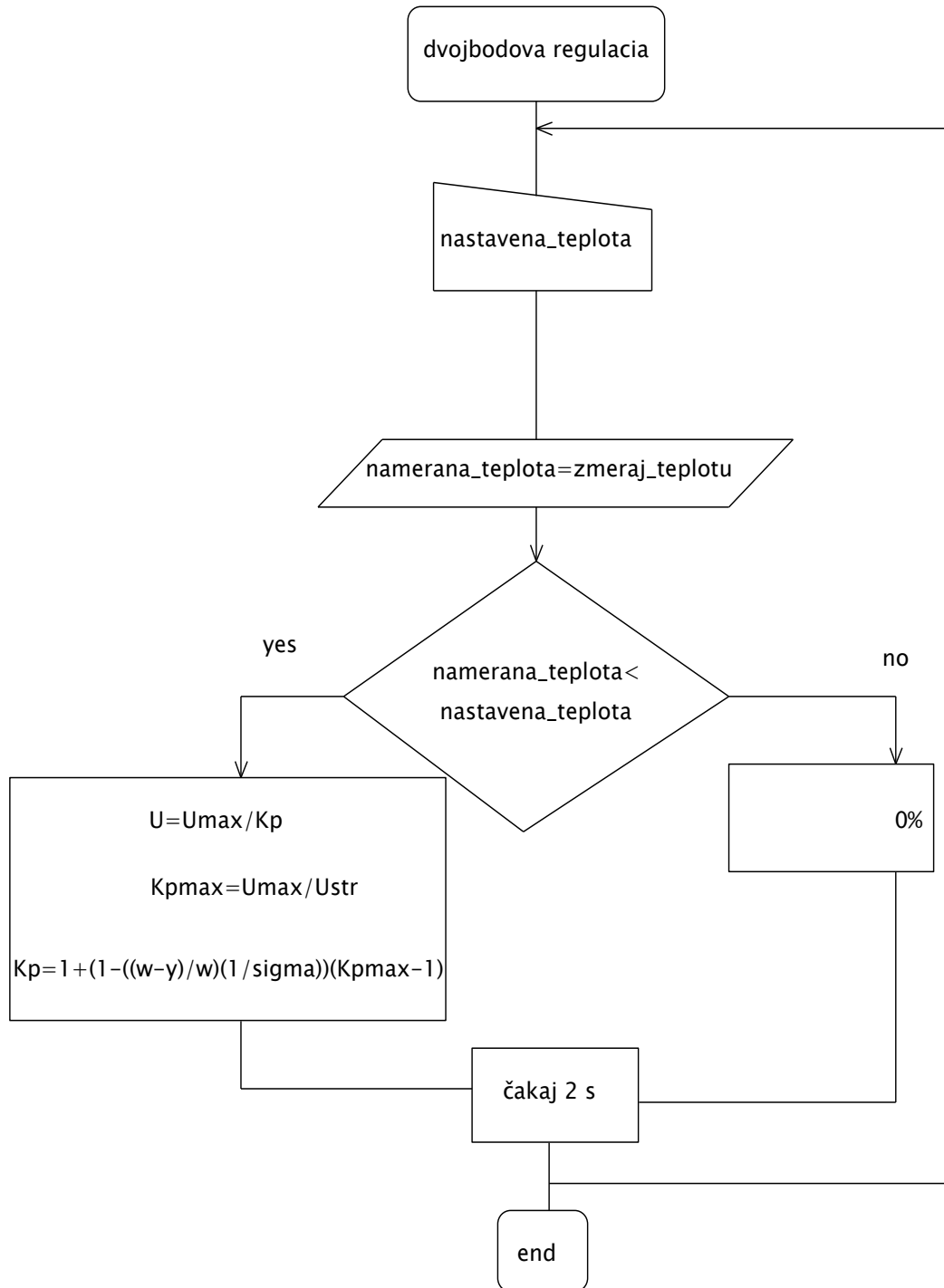


Obr.54. Grafický priebeh teploty č.2 v závislosti na čase v prostredí MATLAB GUI



Obr.55. Grafický priebeh teploty č.2 v závislosti na čase v prostredí Excel

12.4 Algoritmus pomocou penalizačnej konštanty



Obr.56.Algoritmus s penalizáciou

## 12.5 Programové riešenie s penalizáciou

### Čiastočná ukážka programu

```

void loop()
{
nastavena_teplota= recvOneString();           //nastav hodnotu požadovanej teploty
namerana_teplota=zmeraj_teplotu();           //zmeraj teplotu

                                                //výpočet hodnoty prúdu, PWM a konštánt

hodnota_prudu=( (1.32/45)*(namerana_teplota-25) )+0.18;           //aktuálna hodnota prúdu
kp_max=u_max/( (1.32/45)*(nastavena_teplota-25) +0.18 );           //výpočet kp max penalizace

kp=1+ (1- ((nastavena_teplota-namerana_teplota)/nastavena_teplota) )*(1/sigma)
)*(kp_max-1);

u=u_max/kp;

pwm_f=( (70/1.32)*(u-0.18) )+10;           //výpočet hodnoty PWM
pwm_b=pwm_f;
pwm=pwm_f-pwm_b;

if (pwm>0.5) pwm_b=pwm_b+1;           //zaokrúhlenie byte

                                                //on - off

if((namerana_teplota<nastavena_teplota-konstanta)) analogWrite(topeni,pwm_b);

else if ((namerana_teplota>=nastavena_teplota-
konstanta&&namerana_teplota<nastavena_teplota-konstanta2)) analogWrite(topeni,0);

else if ((namerana_teplota>=nastavena_teplota-
konstanta2&&namerana_teplota<nastavena_teplota)) analogWrite(topeni,pwm_b);

else if ((nastavena_teplota==70&&namerana_teplota<=nastavena_teplota))
analogWrite(topeni,pwm_b);

else analogWrite(topeni, 0);

                                                //pošli dáta do pc

Serial.println(namerana_teplota);
delay(5000);           //čakaj 5s

}           //end a znova na štart

```

## 12.6 Grafický panel v prostředí MATLAB GUI

Pre vytvorenie grafického panelu spustíme MATLAB, kde sa nám otvorí prostredie. Do príkazovej riadky napíšeme príkaz *guide* a potvrdíme *enter*. Zobrazí sa panel, v ktorom budeme vytvárať grafické rozhranie. Na ľavej strane vyberieme možnosť *pushbutton* a umiestnime na ľavú stranu panelu. Proces opakujeme ešte raz, pretože potrebujeme dve tlačidlá pre zapínanie a vypínanie komunikácie. Po umiestnení klikneme na prvé tlačidlo dvojklikom, a zobrazí sa nastavovacie rozhranie *inspector*. Položka s názvom *BackgroundColor* umožňuje vybrať farbu. *Frontsize* slúži na zväčšenie písma. *String* umožňuje názov tlačidla. *Tag* umožňuje zobrazovať názov tlačidla v programovom rozhraní. Takto postupujeme aj pri vytváraní druhého tlačidla. Tlačidlu č.1 zmeníme parameter *String* na názov *On* a zmeníme farbu na zelenú. V položke *Tag* upravíme programový názov *pushbutton\_On*, z ktorým budeme pracovať v programovej časti projektu. Po dokončení tlačidla *On* podobne upravíme tlačidlo č.2. Upravíme jeho názov ktorý sa zobrazuje na grafickom paneli na *Off*, upravíme farbu na červenú a zmeníme položku *Tag* na *pushbutton\_Off*. Ak máme tlačidlá dokončené, presunieme sa z kurzorom opäť na ľavú stranu a vyberieme z palety ponúk *edittext* a umiestnime pod vytvorené tlačidlá. Dvojklikom sa otvorí *inspector*, kde nastavujeme farbu, veľkosť a štýl písma, názov a programový názov. Vytvorenie prvého *edittextu* bude slúžiť na zadávanie teploty a druhý na zobrazenie nameraných hodnôt. Vytvorili sme dve tlačidlá s názvami *pushbutton\_On* a *pushbutton\_Off*, editovacie okno s názvom *edit2\_zadaj\_teplotu* a *edit1\_text*. Následne pridáme z hlavného panela z ponuky položku *axes* a vhodne umiestnime na stred. V tomto okne sa nám budú zobrazovať namerané teploty graficky. Po ukončení úprav klikneme na hornú časť hlavného panelu, približne v strede je znázornený zelený trojuholník *run*, alebo klávesovou skratkou *F7*. Následne sa otvorí ďalší panel, kde si môžeme projekt pomenovať a zadáme *enter* pre uloženie. Zobrazí sa úvodná plocha v prostredí MATLAB, a vytvorí sa nový skript s uloženým názvom projektu. Kliknutím na skript uvidíme programové riešenie, v ktorom môžeme upravovať komunikáciu grafického panelu s vývojovou doskou Arduino. Následne prejdeme na riadok 66, kde je nápis *Outputs from this function are returned to the command line*. V tejto časti budeme upravovať program.

```
clear all;

clc;
global a;
a=serial('COM6','BAUD', 9600);
           // pre pripojenie k inému PC, treba najprv zistiť č. portu na danom PC
fopen(a);
```

Príkaz `clc` nám zmaže dáta vygenerované v príkazovom riadku, napr. namerané teploty. Global `a`, je deklarácia globálnej premennej, ktorej hodnota je platná v celom programe.

Príkazom `a=serial()` nastavujeme sériový port, ktorý umožňuje komunikáciu s Arduino. Číslo portu pod ktorým sa Arduino pripojuje, môžeme zistiť v správcovi zariadenia v položke porty.

Hodnota 9600 je rýchlosť komunikácie. Na oboch stranách zariadenia sa nastavuje rovnaká rýchlosť. Príkaz `fopen(a)` otvára daný port s nastavenými parametrami. Pre názorný príklad je uvedená časť programu nižšie.

```

/*****/
global a,hodnota2 ;
x = 0;
S = 'Namerana teplota';
go = true;
hodnota= get(hObject,'value')
i=0;
if hodnota==1

    while go

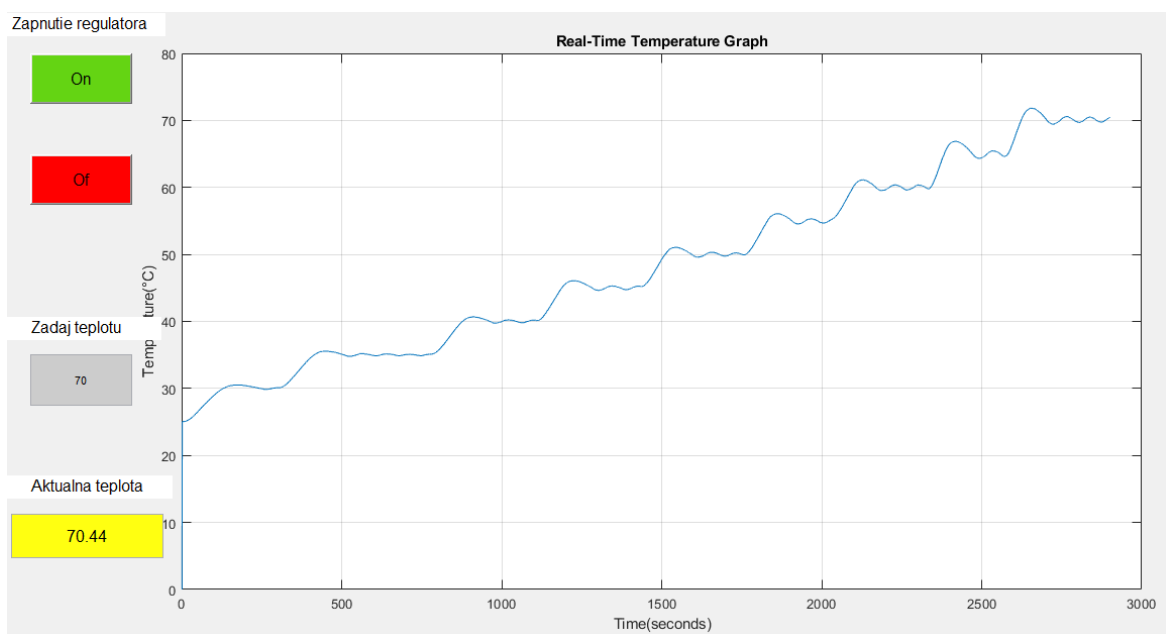
sizeA=[1,1];
temp=fscanf(a,'%f',sizeA);
set(handles.edit1_text,'String',num2str(temp));
disp(S)
disp(temp)
x = [x temp];
plot(handles.axes1,x);
grid on;
xlabel('Time(seconds)')
ylabel('Temperature(°C)');
title('Real-Time Temperature Graph');
drawnow
end
end
/*****/
```

Následný program pracuje s globálnou premennou (a), ktorá pracuje s otvoreným portom. Ak je tlačidlo zapnuté, uloží sa do premennej hodnota číslo 1 a splní sa podmienka a vykoná sa program. Ak stlačíme tlačidlo Off, spustí sa príkaz `fclose(a)`, ktorý uzavrie port a komunikáciu s Arduino.

Arduino posielajú po sériovej linke namerané hodnoty v intervaloch 5 s. Tieto hodnoty sa ukládajú do pamäti a cyklus `while` načítá dáta pomocou príkazu `fscanf()`, ukladá do poľa `sizeA`. Prijímané namerané hodnoty teploty sú pretypované na dátový typ `float`. Príkazom `set(handles.edit_text)` posielame namerané dáta typu `float` do textového editoru `edit1_text`, ktoré sa pretypujú na `string` a zobrazujú sa ako text na grafickom panelu. Z hodnotami typu `float` pracuje graf `axes`, ktorý vykresľuje dáta príkazom `plot`.

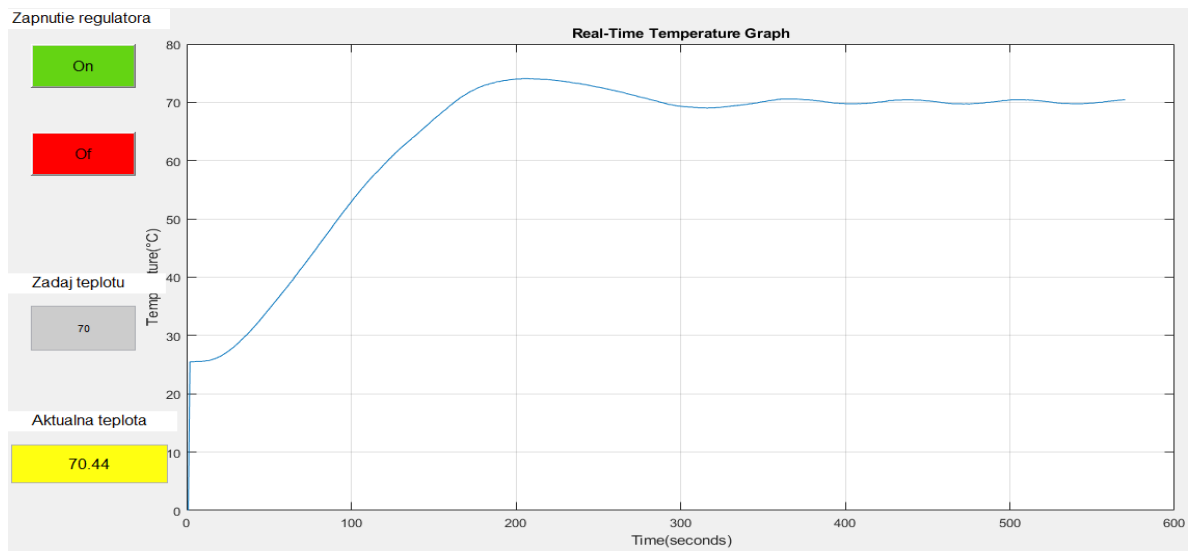
Vo funkcii `function edit2_zadaj_teplotu_Callback`, pracujeme zo zadanými hodnotami panela `edit2_zadaj_teplotu`, ktorý posielajú zadanú teplotu z grafického panela príkazom `fprintf` cez sériovú linku. Číslo je dátového typu `integer`, ktorý sa preloží pomocou `Ascii` tabuľky a vývojová doska Arduino ho načítajú z príslušnej pamäti. Celkový program z prostredia Arduino Ide a MATLAB GUI je uvedený v prílohe práce.

## 12.7 Testovanie tepelnej komory



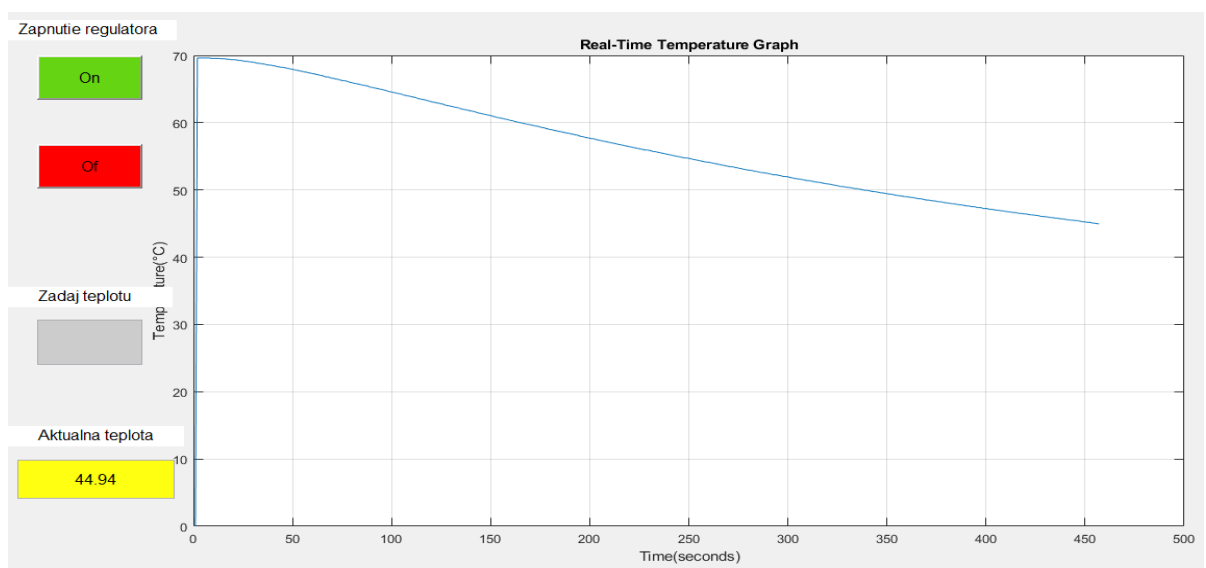
Obr.57.Regulácia teploty v rozsahu 25-70 °C, z postupným navýšovaním o 5 °C

Obrázok č.57, znázorňuje priebeh regulácie teploty, pre teploty 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 °C. Pásmo hysterezie sa postupne so zvyšujúcou sa teplotou zvyšovalo a pri teplote 70 °C dosahovalo hodnoty približne hodnotu  $\pm 0,4$  °C.



Obr.58.Regulácia teploty pri 70 °C

Obr.58, znázorňuje regulovaný priebeh teploty od počiatočnej teploty 25 °C, po zadanú teplotu 70 °C. Proces ustálenia teploty trval približne 15 minút. Obr.59 znázorňuje priebeh chladnutia po dobu približne 30 minút.



Obr.59. Proces chladnutia



## 13 MERANIE POLOVODIČOVEJ DIÓDY

### 13.1 Parametre diódy

Pre meranie volt-ampérovej charakteristiky bola zvolená dostupná usmerňovacia dióda 1N4007. Dióda sa používa na usmernenie striedavého napätia a prúdu na jednosmerné.

Typ diódy	Usmerňovacia
Max. záverné napätie	1.3 kV
Súvislý prúd	1 A
Maximálny súvislý prúd	5.4 A
Štruktúra polovodiča	jedna dióda
Max. impulzný prúd	27 A
Puzdro	DO41
Max. napätie v priepustnom smere	1.1 V
Doba zotavenia	1.5 $\mu$ s
Montáž	THT

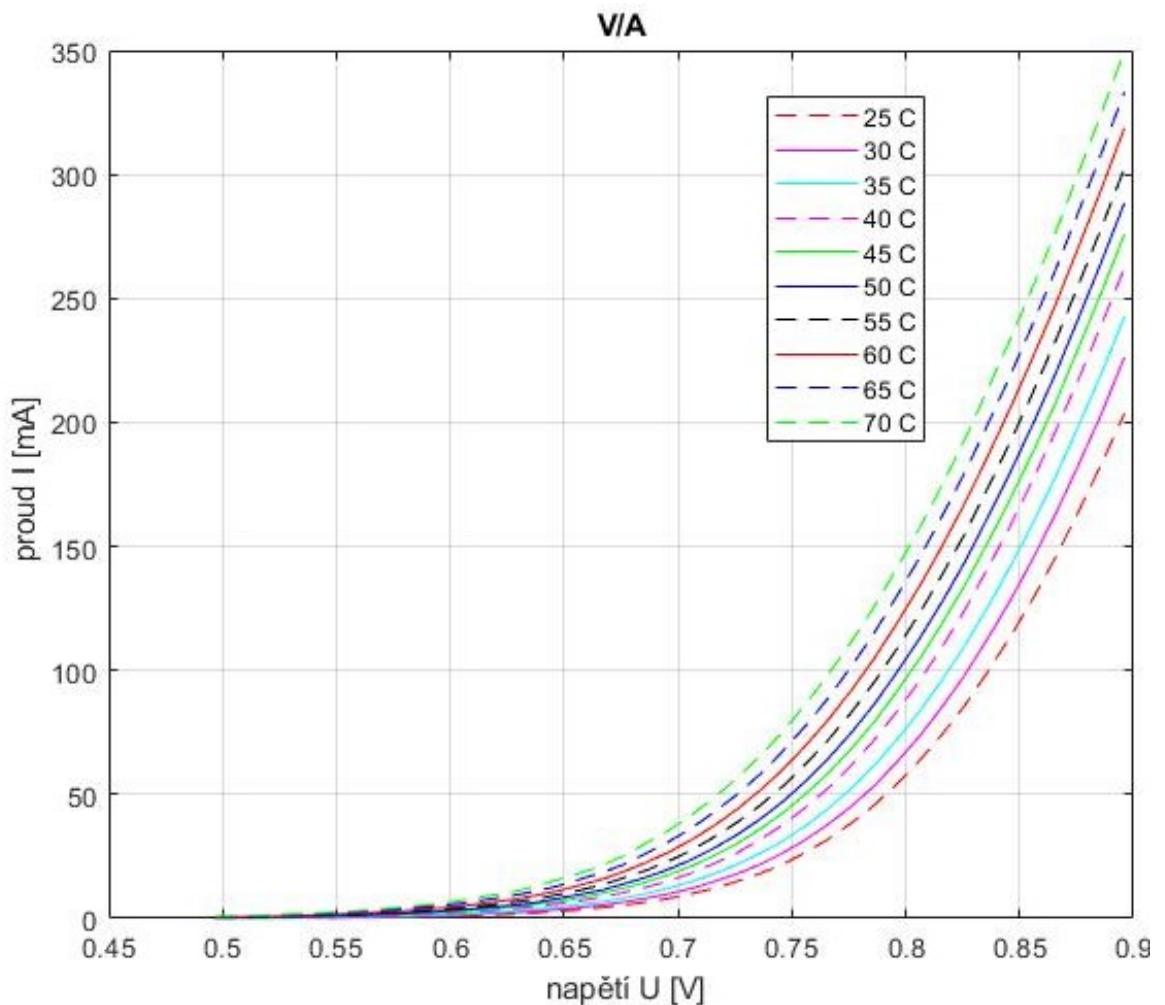
Tabuľka č.4.Parametre meranej diódy



Obr.60. Polovodičová dióda 1N4007

### 13.2 Meranie voltampérovej charakteristiky diódy

Meranie volt-ampérovej charakteristiky bolo merané v laboratórii zdrojom Agilent E3631A. Zdroj poskytuje funkciu napájania diódy ako aj meranie napätia a prúdu. Namerané výsledky napätia a prúdu pre konkrétne teploty sú dostupné v elektronickej prílohe. Meranie prebiehalo v programe Keysight Vee pro, ktorý komunikuje z laboratórnym zdrojom. V programe bol vytvorený grafický panel pre zadávanie teploty, zobrazenie aktuálnych hodnôt napätia a prúdu ako aj určenie meracieho rozsahu napätia. Namerané výsledky sa pre každú teplotu ukladali do textového súboru, kde obsahovali namerané napätie a prechádzajúci prúd v priepustnom smere diódy. Namerané výsledky sú zobrazené na Obr. č.61. Pri zvyšovaní teploty v tepelnej komore diódy, dochádzalo k poklesu prahového napätia. Pri teplote 25 °C, prúde  $I=200$  mA, bola nameraná hodnota napätia  $U=0,9$  V a pri teplote 70 °C približne 0,83 V.



Obr.61. Meranie V/A charakteristiky diódy v priepustnom smere

## 14 FINANČNÁ ANALÝZA

Cena za materiál a súčiastok zariadenia.

Názov	cena Kč	obchod
NPN tranzistor bc337	5	ges.cz
PNP tranzistor tip42	30	ges.cz
Odpor Ax5 W 100 R	15	ges.cz
5 x Svorka KF301-2P 5.08 mm	50	ges.cz
Rezistor 330 R, 0.25 W, 1%	1	ges.cz
LED dióda zelená 5 mm	2	dratek.cz
Univerzálni plošný spoj 40 mm x 60 mm	24	dratek.cz
Napájací adaptér sieťový 12 V, 1000 mA, 5,5/2,1 mm	167	dratek.cz
Laboratórni zdroj 30 V, 10 A	1900	dratek.cz
Vode odolný teplomer Ds18B20	57	dratek.cz
Transparentní číra akrylová doska pre Arduino	120	dratek.cz
Originál Arduino Uno Rev3	680	dratek.cz
Hliníkový profil	100	
Kryt:univerzální; X:220 mm; Y:270 mm; Z:106 mm	320	tme.cz
Kryt:univerzální; X:125 mm; Y:175 mm; Z:75 mm;	350	tme.cz
2 x Ventilátor: DC; axiální; 24 V; 40x40x20 mm;	260	tme.cz
4 x wago svorky	36	tme.cz
Montážna doska pre univerzálny kryt	100	tme.cz
Plexisklo 50*40 cm	100	tme.cz
Kryt:univerzální; X:120 mm; Y:200 mm; Z:90 mm;	300	tme.cz
4 x okrasná mriežka 40*40 pre fan	160	tme.cz
Elektroinštalačný kanál 30*30, 1m	125	tme.cz
2 x Tepelné telesá 24 V,60 W, DC	2000	
Matice,šrobky,podložky,M3,M2	100	
Doprava	500	

Tabuľka č.5.Finančná analýza zariadenia

## ZÁVER

Cieľom práce je návrh zariadenia pre meranie teplotnej závislosti volt-ampérových charakteristík. Zariadenie je skonštruované z dostupných materiálov. Použitelnosť regulácie je obmedzená ventilátorom do teploty 70°C. Zariadenie je možné konštrukčne upraviť do vyššej teploty napr. 100°C výmenou vhodného ventilátora pre vyššiu teplotu. V kryte hardvéru je priestor pre ďalší prídavný spínací okruh, napr. pre riadenie rýchlosti otáčok ventilátora. Kvalitu regulácie je možné vylepšiť prídavnou izoláciou vrchnej časti tepelnej komory.

Teoretická časť práce popisuje analýzu trhu, ktorá má za úlohu nájsť zariadenie daného typu, prípadne podobné zariadenia. Výsledkom bolo zistenie, že zariadenia pre meranie tepelných charakteristík, nie sú bežne dostupné na trhu. Z väčšej časti sa regulátory teploty využívajú v zariadeniach, ktoré riadia rôzne technologické procesy. Príkladom môže byť vyhrievacia pec s reguláciou teploty pre vytvrdenie laku plošných spojov, napr. pri výrobe ponorných senzorov. Ďalšou analýzou trhu bolo nájdenie vhodných tepelných telies pre návrh zariadenia. Na trhu sú dostupné rôzne tepelné telesá, ktoré sú pre projekt vhodné, napr. telesá z bezpečným napätím 24 V. Začiatok práce popisuje rozdelenie tepelných senzorov, ktoré popisujú rôzne princípy merania teploty. Obsahuje charakteristické priebehy, ktoré znázorňujú teplotnú závislosť odporu, napätia alebo prúdu v závislosti od teploty. Riadenie teploty riadi vývojová doska Arduino, ktorá komunikuje s počítačom. V prostredí MATLAB GUI je vytvorený panel, ktorý slúži pre komfortnejšie zadávanie teploty a jej následne meranie. Princíp regulácie je založený na systéme dvojbodovej regulácie, ktorý je vylepšený pomocou penalizačnej konštanty a zariadenie poskytuje dostatočnú kvalitu regulácie.

Praktická časť práce popisuje teoretické a praktické skúsenosti pri návrhu a testovaní zariadenia. Návrh tepelnej komory spočíval vo vhodnom výbere prostredia pre reguláciu teploty a spôsobe regulácie po technickej stránke. Pri konštruovaní a testovaní zariadenia bolo potrebné vysporiadať sa s otázkami, napr. ako riadiť prúd a tepelné účinky, vhodný materiál a umiestnenie komory, manipulácia, umiestnenie a spôsob uchopenia a merania diódy, umiestnenie tepelných telies a tepelného senzora, bezpečnosť zariadenia. Pri konštruovaní bolo potrebné zvoliť aj spôsob montáže a umiestnenie jednotlivých častí zariadenia.

Po skonštruovaní tepelnej komory a jej príslušných časti, bola vyrobená spínacia časť pre spínanie telies. Následne bol vytvorený program pre reguláciu teploty a komunikáciu s PC. Po testovacích meraniach tepelnej komory, prešla niekoľko krát konštrukčnými úpravami ako aj programovou úpravou.

Výsledkom práce bolo meranie voltampérovej charakteristiky diódy, ktorá je ukázkou funkčnosti zariadenia. Návrh zariadenia je aj praktickou ukázkou teoretických znalostí, získaných bakalárskym štúdiom a ich následným uplatnením v praxi.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

[1] Kreidl, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. Praha: Ben - technická literatura, 2005. [cit. 2021-22-04]. ISBN 80-730-0145-4.

[2] *Conrad*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-22-04]. Dostupné z <https://www.conrad.cz/p/elmeko-ter-200-termostat-ntc-50-do-99-c-d-x-s-x-v-75-x-345-x-85-mm-2267231>

[3] *E-pristroje*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-22-04]. Dostupné z <http://www.e-pristroje.cz/termostaty.html>

[4] *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, [online]. Maxim Integrated, 2019, [cit. 2021-23-04]. Dostupný z <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/DS18B20.html#tech-docs>

[5] *Drátek Návodů*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-22-04]. Dostupné z <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-ds18b20.html>

[6] *Kondik*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-24-04]. Dostupné z <https://www.kondik.cz/topny-rezistor-gbr619-12v-60w/>

[7] *Ecoprodukt*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-24-04]. Dostupné z <https://ecoprodukt.cz>

[8] Autorsky kolektiv. *Priručka pre elektrotechnika*, Haan-Gruiten, Germany, technická literatura, 2001. [cit. 2021-22-04]. ISBN 80-86706-00-1

[9] *Proficad* [online], [počítačový program], ©2020, [cit. 2021-24-04]. Dostupné z <https://www.proficad.cz/Stahnout.aspx>

[10] *On semiconductor*, [online], [internetový obchod], [cit.2021-24-04]. Dostupné z <https://www.onsemi.com/>

[11] Zbyšek, Voda. *Průvodce světem Arduina*. SparkFun - technická literatura, 2017. [cit. 2021-22-04]. Arduino Open-Source Community

[12] Prof. Ing. V. Vašek Csc, J. Švejda. *Automatizace*. Univerzita Tomáše Bati, Zlín, 2009. [cit. 2021-25-04], přednášky z predmetu automatizácie.

[13] Baláta, J. *Automatické řízení*. Praha: Nakladatelství BEN, 2003, 654 s. [cit. 2021-25-04], ISBN 80-7300-020-2

[14] Vítečková, M., Víteček, A. *Základy automatické regulace*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava 2006. 198 s. [cit. 2021-25-04], ISBN 80-248-1068-9.

[15] *Mathworks* [online]. ©1994-2020 [cit. 2021-04-2]. Dostupné z <https://www.mathworks.com/>.

[16] *Arduino*. [online]. ©2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z <https://www.arduino.cc/>.

[17] Tme Electronics Components,[online],[internetový obchod],[cit.2021-03-05].  
Dostupné z <https://www.tme.eu/cz/>

[18] Petr,Chlebiš. *Výkonová elektronika I*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. [cit. 2021-04-05]. ISBN 978-80-248-1485-8.

[19] *Maxim Integrated*,[online],[internetový obchod],[cit.2021-24-04].Dostupné z <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK**

°C	Stupeň Celzia
K	Kelvin
k	Boltzmanova konštanta
n	koncentrácia nosičov náboja
$\alpha$	teplotný súčiniteľ odporu
W	watt
kW	kilowatt
GUI	(Graphic User Interface) grafické užívateľské rozhranie
PWM	(Pulse Width Modulation) pulzné šírková modulácia
USB	(Universal Serial Bus ) univerzálna sériová zbernica
DC	jednosmerný elektrický prúd
1-wire	dátová zbernica určená pre komunikáciu
PN	polovodičový prechod
PNP	bipolárny tranzistor
NPN	unipolárny tranzistor
N	elektrónová vodivosť polovodičovej vrstvy
P	dierová vodivosť
C	kolektor tranzistora
E	emitor tranzistora
B	baza tranzistora
V	volt, napätie
A	ampér, prúd
U <sub>ce</sub>	napätie medzi kolektorom a emitorom tranzistora
I <sub>c</sub>	kolektorový prúd tranzistora
I <sub>b</sub>	bazový prúd tranzistora



H21	prúdový zosilňovací činiteľ
U <sub>cesat</sub>	saturačne napätie kolektoru
U <sub>bsat</sub>	saturačne napätie na baze
ROM	pamäť určená na čítanie
EEPROM	elektronicky zmazateľná pamäť
SRAM	statická polovodičová pamäť
u <sub>max</sub>	maximálna veľkosť akčnej veličiny
u	akčná veličina, akčný zásah do regulovanej sústavy
ustr	stredná hodnota akčnej veličiny
K <sub>p</sub>	penalizačná konštanta
δ	% pôsobnosti $K_p$
K <sub>pmax</sub>	maximálna hodnota penalizačnej konštanty
w	požadovaná hodnota vstupnej veličiny
y	výstupná hodnota regulovanej veličiny
y(t)	výsledná hodnota, aktuálna hodnota v čase t
y <sub>d</sub>	dolná hranica hysterezie
y <sub>h</sub>	horná hranica hysterezie
h	hysterezia, pásmo kmitania teploty
T <sub>d</sub>	dopravné oneskorenie
ICSP	(In Circuit Serial Programming) obvod sériového programovania
exe	koncovka spustiteľného súboru v operačnom systéme Windows
zip	označenie archivačného súboru
PC	počítač
ASCII	kódová tabuľka, ktorá definuje znaky anglickej abecedy a znaky používané v informatike.
GND	označenie uzemňovacej svorky alebo pinu

---

VCC	napájacie napätie
DQ	označenie vývodu tepelného senzora
I	označenie prúdu
U	označenie napätia
R	označenie odporu
$I_r$	prúd v zavernom smere diódy
$I_f$	prúd v priepustnom smere
$U_r$	napätie v zavernom smere
$U_f$	napätie v priepustnom smere
$U_{br}$	hodnota prierazného napätie diódy
$U_{rrm}$	maximálne opakovateľná hodnota zavereného napätia
$U_{rsm}$	maximálne neopakovateľná hodnota zavereného napätia

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obrázok 1. Univerzálny termostat NTC.....	11
Obrázok 2. Izbový termostat pre reguláciu teploty.....	11
Obrázok 3. Vyhrievací rezistor 60 W/12 V.....	12
Obrázok 4. Tepelný modul 130 W/24 V.....	13
Obrázok 5. Tepelné teleso 100 W/24 V.....	13
Obrázok 6. Závislosť odporu PT senzora pre rozsah teplôt od 0-100 .....	16
Obrázok 7. Teplotná závislosť odporového senzoru.....	17
Obrázok 8. Charakteristika SI senzora teploty.....	18
Obrázok 9. Teplotná závislosť napätia PN diódy.....	18
Obrázok 10. Statická charakteristika vybraných typov termoelektrických materiálov.....	19
Obrázok 11. Bimetalový senzor teploty.....	20
Obrázok 12. Kovový senzor teploty.....	20
Obrázok 13. Štruktúra diódy a schematická značka.....	21
Obrázok 14. Voltampérová charakteristika diódy.....	21
Obrázok 15. Schematické značky polovodičových diód.....	22
Obrázok 16. Princíp bipolárneho spínacieho tranzistora.....	23
Obrázok 17. Voltampérová charakteristika tranzistora v zapojení zo spoločným e.....	23
Obrázok 18. Priebeh prúdového zosilňovacieho činiteľa.....	24
Obrázok 19. Spínanie pomocou PWM.....	25
Obrázok 20. Obecný riadiaci systém.....	26
Obrázok 21. Charakteristiky dvojbodového regulátora.....	28
Obrázok 22. Priebeh regulovanej $y(t)$ a akčnej veličiny $u(t)$ .....	28
Obrázok 23. Dvojbodový regulátor.....	30
Obrázok 24. Dvojbodový regulátor s penalizáciou.....	30
Obrázok 25. Stanovenie $K_{pmax}$ z statickej charakteristiky.....	30
Obrázok 26. Priebeh regulovanej veličiny pomocou penalizačnej veličiny.....	32
Obrázok 27. Arduino Uno.....	33
Obrázok 28. Softvér Arduino Ide.....	36
Obrázok 29. Izolačná komora 270x220x106 mm.....	41
Obrázok 30. Rozmery krytu pre hardvér 200x120x90 mm.....	41
Obrázok 31. Univerzálny kryt pre tepelnú komoru 125x175x75 mm, polykarbonát .....	41

Obrázok 32. Tepelná komora zariadenia.....	43
Obrázok 33. Chladiace profily tepelných telies.....	45
Obrázok 34. Celková schéma zariadenia.....	46
Obrázok 35. Arduino Uno, doska plošných spojov.....	46
Obrázok 36. Ventilator,24V,DC,axialní,40x40x20 mm.....	46
Obrázok 37. Schéma zapojenia, Arduino a tranzistorový spínací obvod.....	48
Obrázok 38. Arduino a tranzistorový spínací obvod.....	49
Obrázok 39. Zariadenie pre meranie a reguláciu teploty.....	49
Obrázok 40. Spínanie pomocou tranzistora NPN a PNP.....	50
Obrázok 41. Tranzistor BC337.....	52
Obrázok 42. Tranzistor Tip 42.....	52
Obrázok 43. Bloková schéma DS18B20.....	53
Obrázok 44. Zapojenie senzoru s doskou Arduino.....	54
Obrázok 45. Senzor DS18B20 v nerezovom vodotesnom prevedení.....	54
Obrázok 46. Graf závislosti prúdu a času.....	58
Obrázok 47. Graf závislosti teploty a času.....	58
Obrázok 48. Princíp regulácie teploty.....	59
Obrázok 49. Grafický priebeh teploty v závislosti na čase v prostredí MATLAB.....	61
Obrázok 50. Grafický priebeh teploty v závislosti na čase v prostredí Excel.....	61
Obrázok 51. Algoritmus dvojbodovej regulácie.....	62
Obrázok 52. Statická charakteristika požadovanej teploty a akčnej veličiny.....	64
Obrázok 53. Predstavovaný model regulácie teploty v závislosti na čase.....	64
Obrázok 54. Grafický priebeh teploty č.2 v závislosti na čase v prostredí MATLAB GUI.....	66
Obrázok 55. Grafický priebeh teploty č.2 v závislosti na čase v prostredí Excel.....	66
Obrázok 56. Algoritmus s penalizáciou.....	67
Obrázok 57. Regulácia teploty v rozsahu 25-70 °C, z postupným navýšovaním o 5 °C.....	71
Obrázok 58. Regulácia teploty pri 70 °C.....	72
Obrázok 59. Proces schladnutia.....	72
Obrázok 60. Polovodičová dióda 1N4007.....	73
Obrázok 61. Meranie V/A charakteristiky diódy v priepustnom smeru.....	74

**ZOZNAM TABULIEK**

Tabuľka 1. Technicke parametre Arduino Uno .....	35
Tabuľka 2. Namerane hodnoty PWM, prúdu a teploty.....	57
Tabuľka 3. Priebeh nameraných hodnôt dvojbodovej regulácie .....	60
Tabuľka 4. Parametre meranej diody.....	73
Tabuľka 5. Finančná analýza zariadenia.....	75

## ZOZNAM PRÍLOH

1. Program pre riadenie teploty pre platformu Arduino
2. Program v prostredí MATLAB GUI
3. Blokové schéma pre meranie dát v programe Keysight Vee Pro
4. Grafický panel pre meranie dát v Keysight Vee Pro
5. Zariadenie pre reguláciu teploty

## Príloha č.1. Program pre riadenie teploty pre platformu Arduino

```
#define topeni 11 //nastavenie pinu pre pwm spínanie tranzistorov pre hod. prúdu 0-255
#include <OneWire.h> // pripojenie knižnice
#include <DallasTemperature.h>
/*****/
String receivedChar; //premenná pre seriál komunikáciu
float hodnota;
float nastavena_teplota;
float data; //premenná pre odčítanú hodnotu z teplomera
float namerana_teplota=0; //aktuálne nameraná teplota
float hodnota_prudu;
float pwm_f;
byte pwm_b;
float pwm;
float u_max=4.8;
float u_str=0;
float kp_max=0;
float kp;
float u;
float konstanta;
float konstanta2;
float k3;
const int pinCidlaDS = 12; // nastavení čísla vstupného pinu
OneWire oneWireDS(pinCidlaDS); // vytvorenie inštancie oneWireDS z knihovny OneWire
DallasTemperature senzoryDS(&oneWireDS); // vytvorenie inštancie senzoryDS z knihovny DallasTemperature
float sygma=0;
/*****/

void setup()
{
  pinMode(topeni,OUTPUT); //pin 11 nastav na výstup pre spínanie teplotných telies
  analogWrite(topeni,0); //nastav pwm teplotných telies na 0 hodnotu
  Serial.begin(9600); //prenosová rýchlosť komunikácie
  senzoryDS.begin(); // zapnutie komunikácie knihovny s teplotným čidlom
}

/*****/
```

```

float zmeraj_teplotu()                                //funkcia pre zmeranie teploty //teplomer Ds18b20
{
    // pomocou zmeny čísla v zátvorke (0) - poradie podľa unikátnej adresy
    // na jeden pin môžeme postupne načítať všetky teploty
    // výpis teploty na sériovú linku, pri pripojení viac snímačov
    // načítanie informácií zo všetkých pripojených snímačov na danom pinu
    //Serial.print(senzoryDS.getTempCByIndex(0));
    //Serial.println(" stupnu Celsia");

    senzoryDS.requestTemperatures();
    data= senzoryDS.getTempCByIndex(0);
    return (data);
}

/*****/
float recvOneString() {                               //sériová komunikácia matlab prijímanie dát
if (Serial.available() > 0)
{
    receivedChar =Serial.readString();
    hodnota=receivedChar.toFloat();
}
return (hodnota);
}
/*****/

void loop()
{
nastavena_teplota= recvOneString();                    //nastav hodnotu požadovanej teploty
namerana_teplota=zmeraj_teplotu();                    //zmeraj teplotu
//nastavenie sygma pre rôzne teploty

    if (nastavena_teplota==25&& nastavena_teplota<30)
    {sygma=0.4;konstanta=0.6;konstanta2=0.2;}

    else if (nastavena_teplota>=30&& nastavena_teplota<35)
    {sygma=0.3;konstanta=0.8;konstanta2=0.3;}

    else if (nastavena_teplota>=35&& nastavena_teplota<45)
    {sygma=0.3;konstanta=1.1;konstanta2=0.35;}

    else if (nastavena_teplota>=45&& nastavena_teplota<55)
    {sygma=0.2;konstanta=1;konstanta2=0.6;}

    else if (nastavena_teplota>=55&& nastavena_teplota<65)
    {sygma=0.2;konstanta=1;konstanta2=0.6;}

    else if (nastavena_teplota>=65&& nastavena_teplota<=70)
    {sygma=0.1;konstanta=1.5;konstanta2=1;k3=0;}

    else nastavena_teplota=0;

                                                                    //výpočet hodnoty prúdu, pwm a konštánt

```



```

hodnota_prudu=( (1.32/45)*(namerana_teplota-25) )+0.18; //aktuálna hodnota prúdu
kp_max=u_max/( (1.32/45)*(nastavena_teplota-25) +0.18 ); //výpočet kp max penalizácie

kp=1+ (1- ((nastavena_teplota-namerana_teplota)/nastavena_teplota )
*(1/sigma))*(kp_max-1);
u=u_max/kp;

//výpočet hodnoty pwm

pwm_f=( (70/1.32)*(u-0.18) )+10; // dátový typ float
pwm_b=pwm_f; // dátový typ byte-cele číslo ,pretypovanie
pwm=pwm_f-pwm_b;

//zaokrúhlenie byte
if (pwm>=0.5) {
    pwm_b=pwm_b+1;
}

//zapni -vypni telesa, pracuj z nastavenou hodnotou pwm pomocou penalizačnej konštanty
if ((namerana_teplota<nastavena_teplota-konstanta)) analogWrite(topeni,pwm_b);

else if ((namerana_teplota>=nastavena_teplota-
konstanta&&namerana_teplota<nastavena_teplota-konstanta2)) analogWrite(topeni,0);

else if ((namerana_teplota>=nastavena_teplota-
konstanta2&&namerana_teplota<nastavena_teplota)) analogWrite(topeni,pwm_b);

else if ((nastavena_teplota==70&&namerana_teplota<=nastavena_teplota))
analogWrite(topeni,pwm_b);

else analogWrite(topeni, 0);

//pošli data do pc
Serial.println(namerana_teplota);
delay(5000); //čakaj 5s

} //end a znova na štart

```

## Príloha č.2. Program v prostredí MATLAB GUI

```
function varargout = vykreslovanie_teploty(varargin)
% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Apr-2021 20:15:50
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @vykreslovanie_teploty_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @vykreslovanie_teploty_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before vykreslovanie_teploty is made visible.
function vykreslovanie_teploty_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = vykreslovanie_teploty_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
clear all;
clc;
global a;
a=serial('COM6','BAUD', 9600); % Make sure the baud rate and COM port is
fopen(a);
```

```

                                                                    % --- Executes on button press in pushbutton_On.
function pushbutton_On_Callback(hObject, eventdata, handles)
global a hodnota2;
x = 0;
S = 'Namerana teplota';
go = true;
hodnota= get(hObject,'value')
i=0;
if hodnota==1

    while go

sizeA=[1,1];
temp=fscanf(a,'%f',sizeA);
set(handles.edit1_text,'String',num2str(temp));
disp(S)
disp(temp)
x = [x temp];
plot(handles.axes1,x);
grid on;
xlabel('Time(seconds)')
ylabel('Temperature(°C)');
title('Real-Time Temperature Graph');
drawnow
i=i+5;

NewName = {hodnota2 };
NewValues = [temp];
cas=[i];

                                                                    % Check if you have created an Excel file previously or not
checkforfile=exist(strcat(pwd,'\','ExcelFile.xls'),'file');
if checkforfile==0; % if not create new one
    header = {'Nastavena C','Aktualna C','cas [s]'};
    xlswrite('ExcelFile',header,'Sheetname','A1');
    N=0;

                                                                    else % if yes, count the number of previous inputs
    N=size(xlsread('ExcelFile','Sheetname'),1);
end
                                                                    % add the new values (your input) to the end of Excel file

AA=strcat('A',num2str(N+2));
BB=strcat('B',num2str(N+2));
CC=strcat('C',num2str(N+2));
xlswrite('ExcelFile',NewName,'Sheetname',AA);
xlswrite('ExcelFile',NewValues,'Sheetname',BB);
xlswrite('ExcelFile',cas,'Sheetname',CC);
end

end

```

```
function edit1_text_Callback(hObject, eventdata, handles)
    % Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1_text as text
    % str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1_text as a double
```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```
function edit1_text_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

% --- Executes on button press in pushbutton\_Off.

```
function pushbutton_Off_Callback(hObject, eventdata, handles)
global a;
hodnota= get(hObject,'value')
```

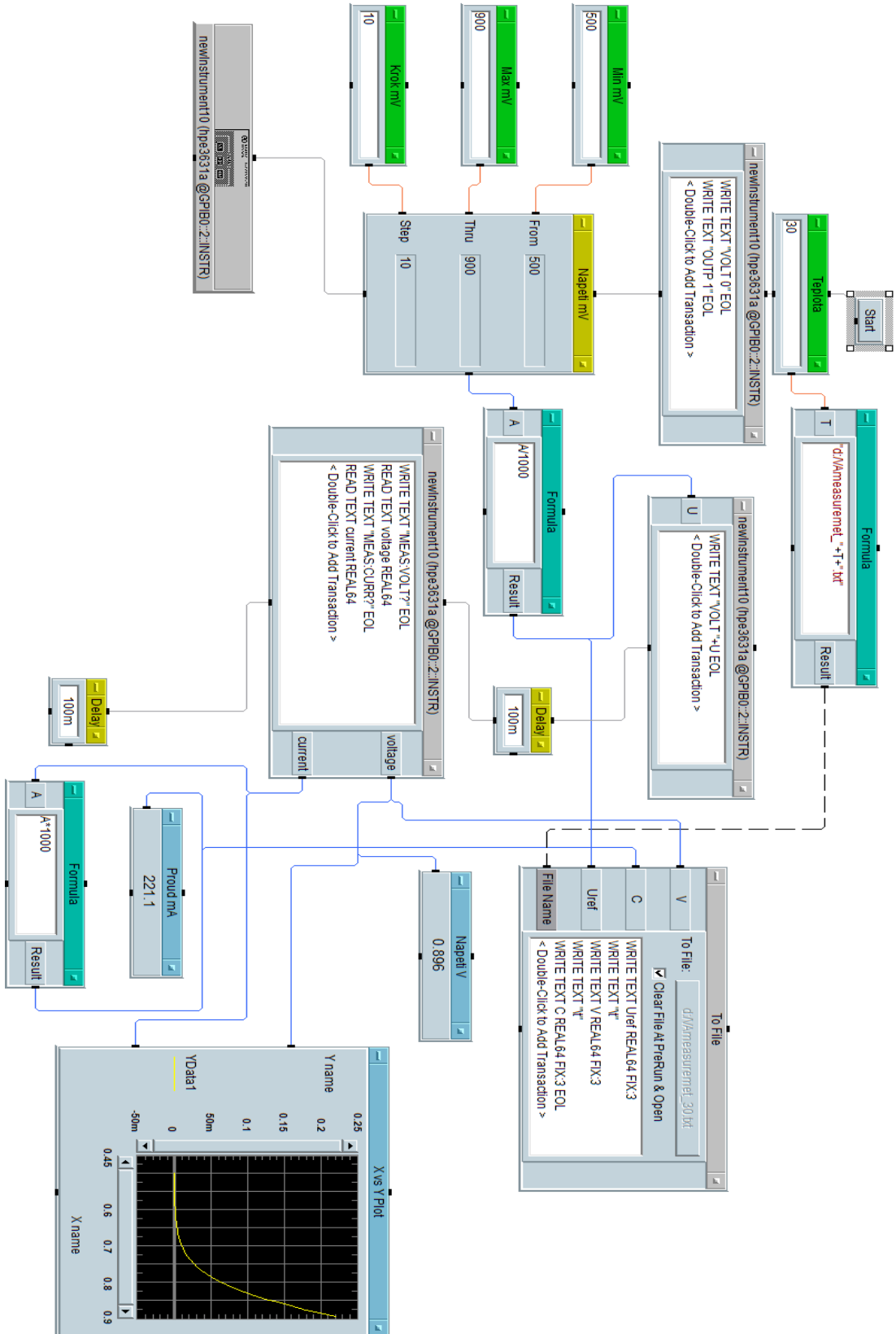
```
S = 'Koniec';
disp(S)
fclose(a);
delete(a);
```

```
function edit2_zadaj_teplotu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2_zadaj_teplotu as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2_zadaj_teplotu as a double
global a hodnota2;
hodnota2=str2double(get(hObject,'String')) ;
S = 'Zadana teplota';
disp(S)
disp(hodnota2)
fprintf(a,'%i',hodnota2);
```

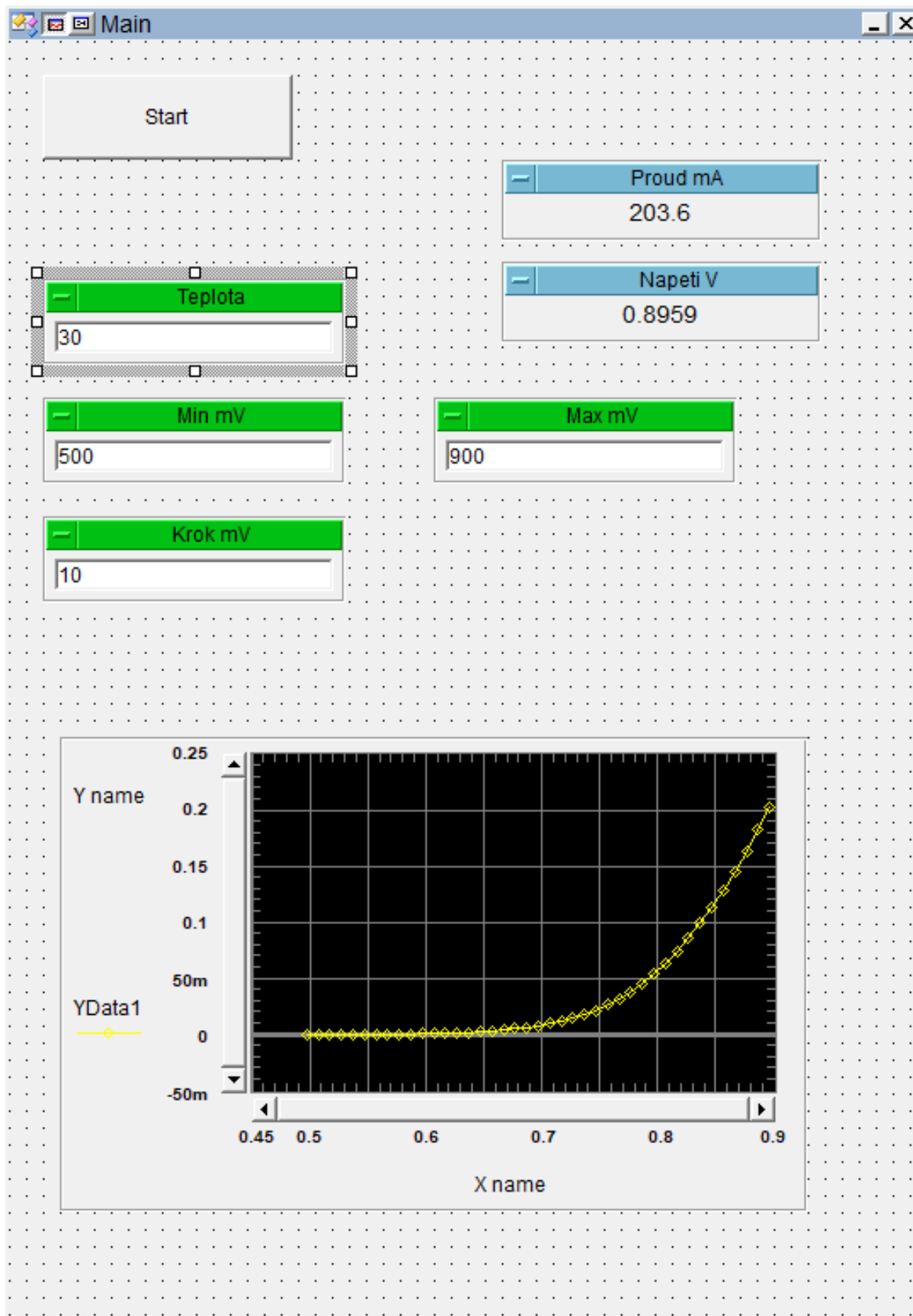
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```
function edit2_zadaj_teplotu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

### Príloha č.3. Blokové schéma pre meranie dát v programe Keysight Vee Pro



#### Príloha č.4. Grafický panel pre meranie dát v programe Keysight Vee Pro



## Príloha č.5. Zariadenie pre reguláciu teploty

