



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# SNÍMÁNÍ TĚLESNÉ TEPLoty S MIKROKONTROLÉREM

MICROCONTROLLER BASED SYSTEM FOR BODY TEMPERATURE SENSING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PAVEL SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO, 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

Student: Pavel Svoboda  
Ročník: 3

ID:134620  
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Snímaní tělesné teploty s mikrokontrolérem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci mikrokontrolérového systému pro měření a přenesení tělesné teploty u osob pro komunikační systémy s extrémně omezeným komunikačním datovým tokem. Systém navrhněte jako miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými rozhraními. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte. Vybavte programovým vybavením, otestujte a předvedte funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6  
Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 27.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.  
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.  
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá tvorbou mikrokontrolérového systému pro měření a záznam teploty. Na začátku práce jsou popisovány požadavky na výsledný produkt, výběr vhodných komponent a výpočet vhodných parametrů konkrétních součástek. V další části je popisován návrh obvodového schémata a desky plošných spojů. Závěrečná část obsahuje popis softwarového vybavení mikrokontroléru, programu určeného pro přenos dat do PC a kalibrace zařízení.

## **Klíčová slova**

Programování, měření teploty, můstkové měření, ATMEL, Pt1000, Ni1000, mikrokontrolér.

## **Abstract**

The dissertation is focused on creating a microcontroller system for measuring and recording temperature. In the opening part of the dissertation the requirements are described for the final product, selection of appropriate components and calculation of the suitable parameters of the specific components. In the following part the design of the circuit diagram and printed circuit board are described. The concluding part includes a description of the software equipment of the microcontroller and the program designed for the purpose of the transfer of data into a PC and the calibration of the equipment.

## **Keywords**

Programming, measuring temperature, bridging measurement, ATMEL, Pt1000, Ni1000, microcontroller.

### **Bibliografická citace:**

SVOBODA, P. *Snímání tělesné teploty s mikrokontrolérem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 54s. Vedoucí bakalářské práce byl doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Snímání tělesné teploty s mikrokontrolérem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: **20. května 2013**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **20. května 2013**

.....  
podpis autora

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Výběr vhodných komponent.....	12
2.1	Teplotní čidlo.....	12
2.1.1	Přehled elektrických dotykových snímačů teploty [1].....	12
2.1.1.1	Kovové odporové snímače.....	12
2.1.1.2	Polovodičové odporové snímače.....	13
2.1.1.3	Monolitické PN snímače teploty.....	13
2.1.1.4	Termoelektrický článek.....	14
2.1.2	Výběr použitého čidla.....	14
2.2	Měřicí obvod.....	16
2.2.1	Návrh měřicího obvodu.....	16
2.2.2	Způsob připojení snímače teploty.....	18
2.2.3	Přístrojový operační zesilovač AD8226ARG[3].....	20
2.2.4	Reference ref5020[4].....	22
2.3	Digitalizace.....	23
2.3.1	A/D převodník ADS8343[5].....	23
2.4	Mikrokontrolér.....	24
2.4.1	ATmega16 [6].....	24
2.5	Paměť.....	25
2.5.1	24LC512-I/SM[7].....	25
2.6	Komunikace s okolím přes USB.....	26
2.6.1	FT245RL[8].....	26
2.7	Zobrazovač.....	28
2.7.1	Philips OM6206[9].....	28
2.8	Ovládání.....	28
3	Praktická realizace.....	29
3.1	Technická realizace.....	29
3.1.1	Schémata.....	29
3.1.1.1	Napájecí obvod.....	29

3.1.1.2	Měřicí obvod .....	30
3.1.1.3	Digitální obvod .....	30
3.1.2	Seznam součástek .....	32
3.1.3	Reálné fotografie .....	33
3.2	Softwarová realizace v mikrokontroléru.....	34
3.2.1	Seznam knihoven a funkcí.....	36
3.2.2	Popis funkce main .....	39
3.3	Softwarová realizace v PC .....	41
4	Porovnání s teplotním normálem .....	44
5	Závěr .....	47
6	Použitá literatura .....	48
7	Přílohy .....	50



## Seznam obrázků:

Obrázek 1.1 Blokové schéma zařízení.....	11
Obrázek 2.1 Graf závislosti odporu snímačů na teplotě[1] .....	13
Obrázek 2.2 Termoelektrický článek[1] .....	14
Obrázek 2.3 Závislost odporu snímače pt1000 na teplotě .....	15
Obrázek 2.4 Závislost odporu snímače Ni1000 (6180ppm) na teplotě .....	15
Obrázek 2.5 Návrh měřicího obvodu.....	16
Obrázek 2.6 Dvouvodičové zapojení snímače.....	18
Obrázek 2.7 Třívodičové zapojení snímače.....	18
Obrázek 2.8 Čtyřvodičové zapojení snímače .....	19
Obrázek 2.9 Zapojení konektoru jack 2,5mm .....	19
Obrázek 2.10 Popis pinů přístrojového zesilovače AD8226[3] .....	20
Obrázek 2.11 Popis vývodů obvodu REF5020[4] .....	22
Obrázek 2.12 Doporučené zapojení obvodu REF5020[4].....	22
Obrázek 2.13 Blokové schéma obvodu ADS8343[5].....	23
Obrázek 2.14 Popis vývodů mikrokontroléru ATmega16[6] .....	24
Obrázek 2.15 Popis vývodů obvodu 24LC512[7] .....	25
Obrázek 2.16 Blokové schéma obvodu 24LC512[7] .....	25
Obrázek 2.17 Popis vývodů obvodu FT245RL[8] .....	26
Obrázek 2.18 Blokové schéma obvodu FT245RL[8].....	27
Obrázek 2.19 Popis vývodů grafického displeje .....	28
Obrázek 3.1 Napájecí a měřicí obvod .....	29
Obrázek 3.2 Schéma měřicího obvodu .....	30
Obrázek 3.3 Schéma digitální části .....	31
Obrázek 3.4 Neosazená deska plošných spojů .....	33
Obrázek 3.5 Osazená deska plošných spojů .....	33
Obrázek 3.6 Stavový diagram pro pohyb v Menu .....	35
Obrázek 3.7 Vizuální vzhled programu v PC .....	42
Obrázek 3.8 Okno Import .....	43
Obrázek 4.1 Výsledek měření odporu v závislosti na teplotě .....	45
Obrázek 4.2 Převodní charakteristiky.....	46

## **Seznam tabulek:**

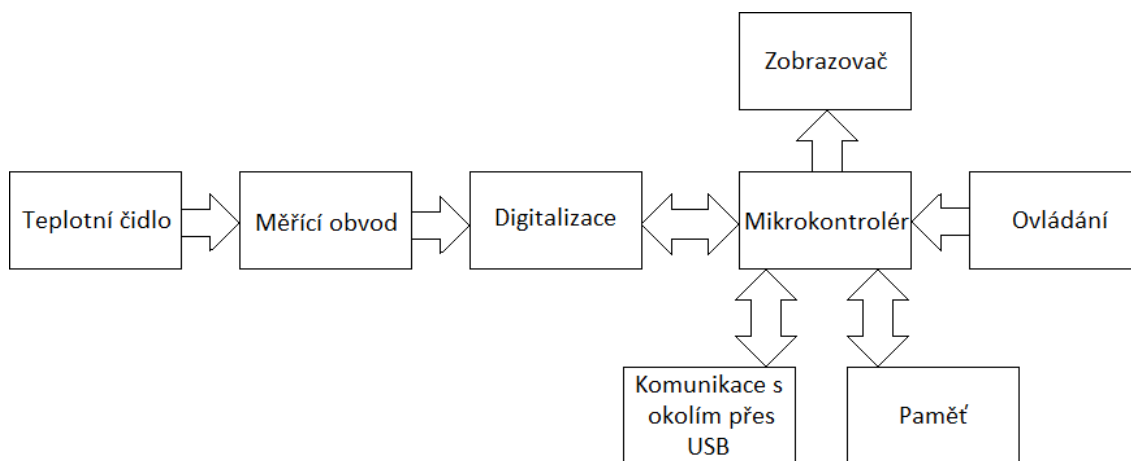
Tabulka 2.1 Přehled základních parametrů odporových snímačů[1] .....	12
Tabulka 2.2 Popis vývodů PZ AD8226[3] .....	20
Tabulka 3.1 Seznam součástí .....	32
Tabulka 4.1 Porovnání s teplotním normálem.....	44
Tabulka 4.2 Konstanty pro výpočet teploty.....	46

# 1 ÚVOD

Cílem práce je vytvoření mikrokontrolérového systému pro záznam měření tělesné teploty. Na následujících stranách bude postupně popsána tvorba výsledného zařízení, postup při návrhu koncepce systému, výběr vhodných komponent, návrh konkrétního obvodového schémata, tvorba desky a popis softwarového vybavení.

Po konzultaci s vedoucím projektu bylo zpřesněno zadání do následující formy: Měření teploty bude možné na více místech těla současně a bude možné měřit i teploty okolí. Jako výchozí měřenou osobu berme hasiče, který může být vystavován extrémním teplotám.

Principiální řešení produktu je zobrazeno v blokovém schématu (Obrázek 1.1 Blokové schéma zařízení). Teplota je měřena pomocí odporového čidla Pt1000, Ni1000 nebo jiného (pokud bude rozsah měřených teplot vyhovovat možnostem vstupního měřicího můstku), v měřícím obvodu dochází k předzpracování analogového signálu pro následný převod do digitální formy pomocí přístrojových zesilovačů. Analogově digitální převod je řešen pomocí 16 bitového A/D převodníku. Ve výsledku se používá pouze 13 bitů. Signál je po A/D převodu nadále zpracováván mikrokontrolérem. Výsledné hodnoty jsou ukládány do externí paměti velikosti 512kb. Informaci o tom, která čidla se budou během měření zpracovávat, bude koncový uživatel volit pomocí ovládacího prvku. Zpětnou vazbu o nastavení, zobrazení a aktuálním stavu zařízení uživatel dostává pomocí grafického zobrazovače. Spojení zařízení s počítačem je zabezpečeno pomocí sběrnice USB. V počítači je vytvořen program v jazyce C#, který zajišťuje komunikaci se zařízením, přesun zpracovatelných dat, jejich grafické a tabulkové zobrazení, načítání i ukládání do souboru.



Obrázek 1.1 Blokové schéma zařízení

## 2 VÝBĚR VHODNÝCH KOMPONENT

V této kapitole bude postupně objasněn výběr vhodných komponent pro můj projekt.

### 2.1 Teplotní čidlo

Prioritní úlohu při zpracování teploty má teplotní čidlo. Nejprve je potřeba stanovit si, jaké požadavky na naše čidlo máme. Z pohledu použití čidla pro měření vnější teploty by bylo vhodné zvolit teplotní rozsah v takovém rozpětí, které odpovídá teplotám, při kterých hasiči běžně zasahují. Přesnost čidla je dostatečná na jednotky nebo poloviny stupně Celsia. Naopak při použití čidla pro měření tělesné teploty nemusí být měřicí rozsah nikterak velký, důraz by měl být kladen spíše na přesnost. Tomuto požadavku musí být přizpůsoben také měřicí obvod. Vzhledem k tomu, že navrhované zařízení je koncipováno tak, aby byla čidla záměnná, měla by být splněna podmínka většího teplotního rozsahu a vyšší přesnost měření v okolí normální tělesné teploty člověka.

#### 2.1.1 Přehled elektrických dotykových snímačů teploty [1]

##### 2.1.1.1 Kovové odporové snímače

Principem odporových čidel je jejich teplotní závislost elektrického odporu. Ionty umístěné v krystalové mřížce s rostoucí teplotou zvyšují amplitudu svých kmitů a kladou odpor procházejícímu proudu. V úzkém rozsahu teplot se převodní charakteristika mezi odporem a teplotou linearizovat, pro větší rozsahy nebo pro získání vyšší přesnosti se charakteristika dá nahradit polynomem vyššího řádu.

materiál	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	teplotní rozsah [°C]
platina	38,5 – 39,1	-50 ÷ 850
nikl	61,7 – 67,5	-70 ÷ 150
Ni-Fe	51,8 – 52,7	-100 ÷ 200
měď	42,6 – 43,3	-50 ÷ 150

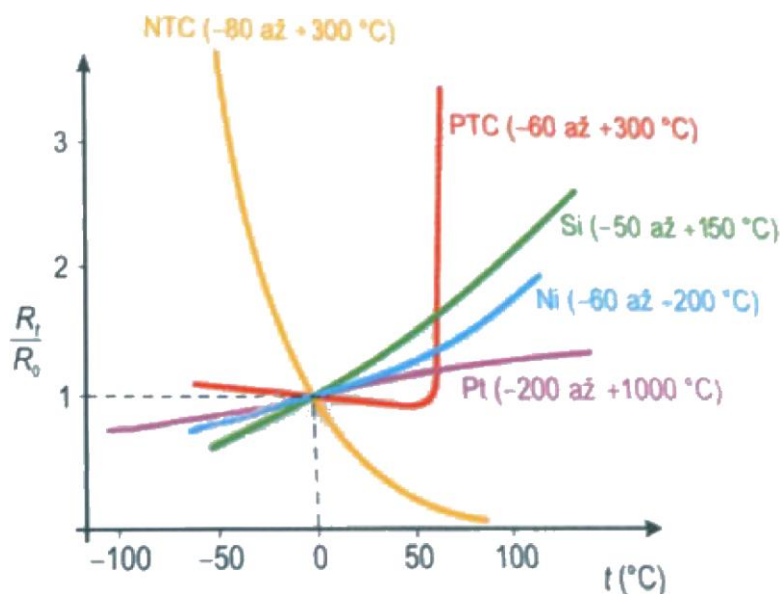
Tabulka 2.1 Přehled základních parametrů odporových snímačů[1]

### 2.1.1.2 Polovodičové odporové snímače

Stejně jako u kovových snímačů teploty se i u polovodičových snímačů využívá změny odporu v závislosti na teplotě. U polovodičových snímačů se ovšem s teplotou zvětšuje koncentrace volných nosičů náboje.

Termistory se rozdělují na:

- termistory
  - negastory (záporný teplotní koeficient)
  - pozistory (kladný teplotní koeficient)
- monokrystalické odporové senzory



Obrázek 2.1 Graf závislosti odporu snímačů na teplotě[1]

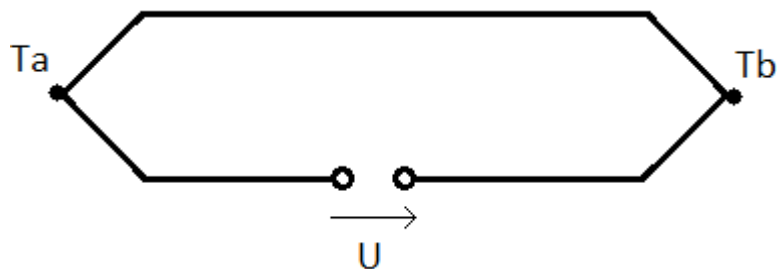
### 2.1.1.3 Monolitické PN snímače teploty

Snímače jsou většinou založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Nejistota měření se pohybuje od 0,6% do 2%. Teplotní rozsah  $-55 \div 150^{\circ}\text{C}$

- Diodové PN snímače teploty
- Tranzistorové PN snímače teploty
- Integrované PN snímače teploty

#### 2.1.1.4 Termoelektrický článek

Jsou založeny na Seebeckově jevu. Termoelektrický článek je složen ze dvou materiálově různých vodičů (typicky polovodičů). Jestliže mají oba spoje rozdílnou teplotu, vznikne na svorkách elektrické napětí. Měřicí rozsah i přesnost jsou velké, ovšem na článku je nutné měřit relativně malá napětí.



Obrázek 2.2 Termoelektrický článek[1]

#### 2.1.2 Výběr použitého čidla

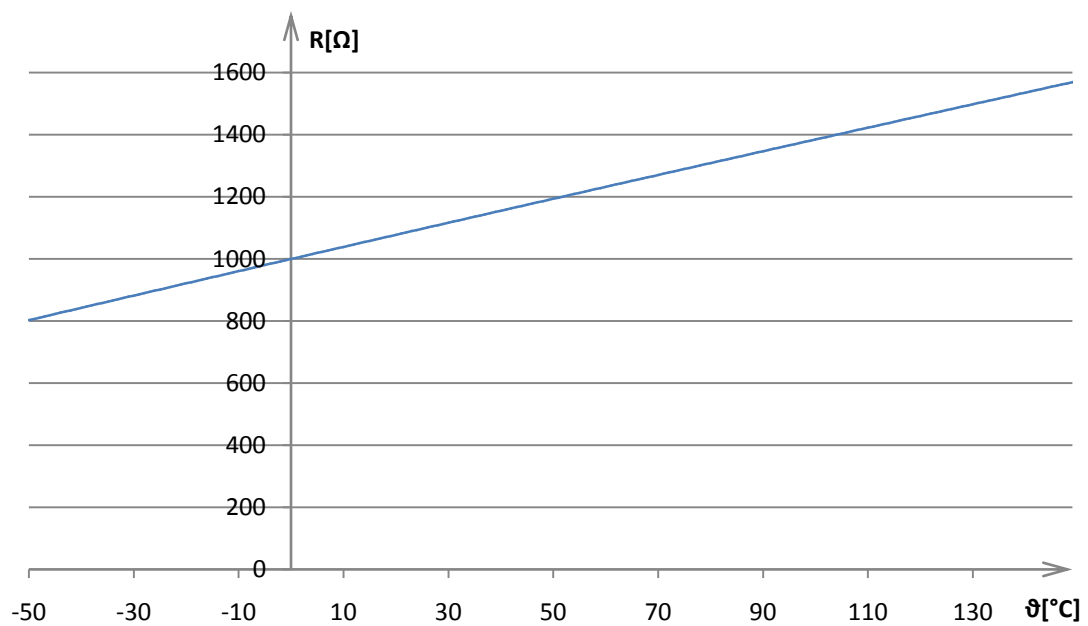
Z výše uvedených informací jsou zřejmé výhody i nevýhody dostupných čidel.

Termoelektrický článek má dobrý rozsah i přesnost, ovšem problémy může způsobovat zpracování nízkých napětí.

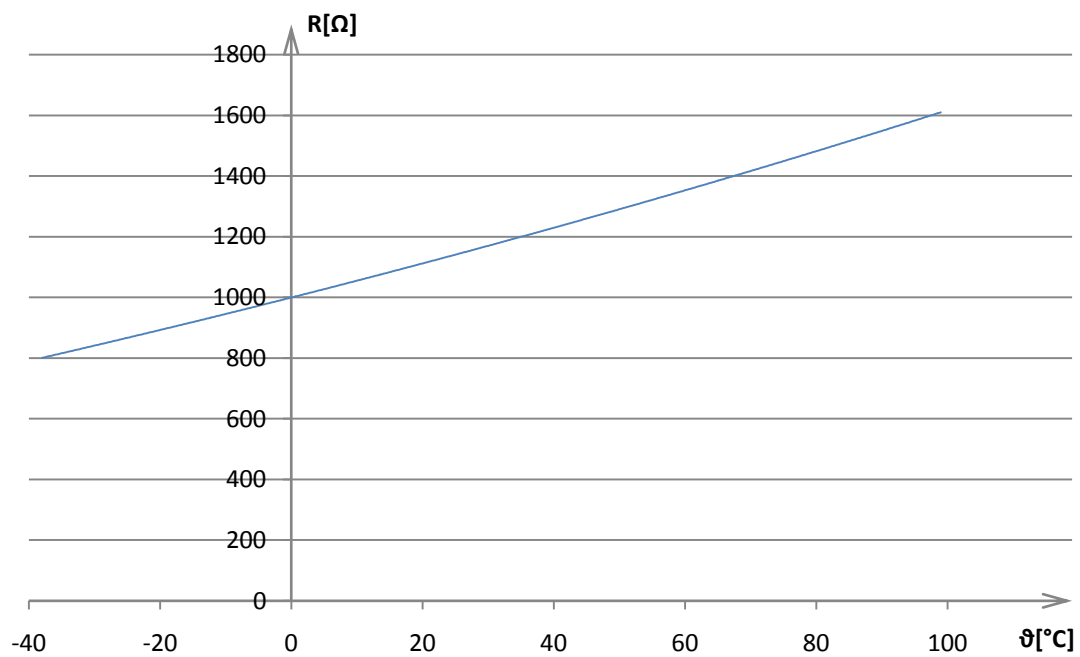
Polovodičové odporové snímače mají dobrý rozsah a výbornou citlivost, potíže může způsobovat jejich nelinearita.

Snímače s PN přechodem, mají dostačující rozsah, ale velkou nejistotu měření.

Vybrán byl odporový platinový teploměr, který má dostatečnou přesnost, rozsah měření (-50÷500) a má dobrou linearitu. Z nabídky dodavatelů byl vybrán snímač Pt1000, tp. B (0,12%). V následujícím obrázku je zobrazena převodní charakteristika našeho konkrétního snímače, údaje získány z katalogu výrobce.



Obrázek 2.3 Závislost odporu snímače pt1000 na teplotě



Obrázek 2.4 Závislost odporu snímače Ni1000 (6180ppm) na teplotě

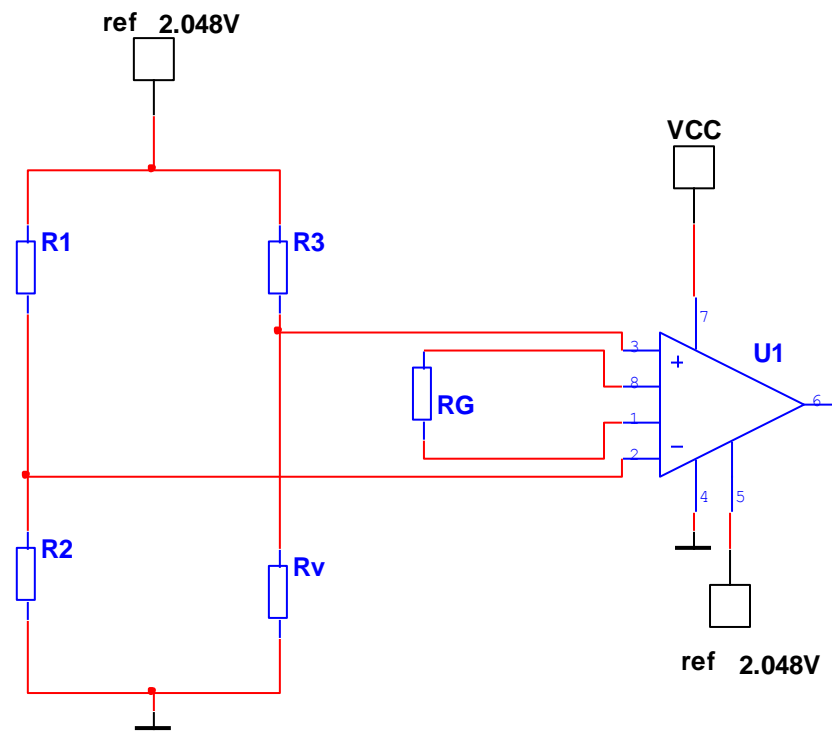
## 2.2 Měřicí obvod

### 2.2.1 Návrh měřicího obvodu

Měřicí obvod musíme přizpůsobit použitému snímači. Koncepce obvodu je zobrazena na Obrázek 2.5 Návrh měřicího obvodu. Rezistory zvolíme tak, aby v polovině rozsahu byl můstek vyvážen. Dostatečný rozsah bude řekněme  $-50 \div 150^\circ\text{C}$ . Můstek vypočítáme pro snímač Pt1000, který bude nejčastější. Při použití snímače Ni bude teplotní rozsah  $-38 \div 93^\circ\text{C}$  [2]. Rezistor v měřící větvi vypočítáme vyřešením rovnice (3). Hodnotu odporu teplotního čidla doplňujeme

$$R_\vartheta(\vartheta = -50^\circ\text{C}) = 803,1\Omega$$

$$R_\vartheta(\vartheta = 150^\circ\text{C}) = 1573,3\Omega.$$



Obrázek 2.5 Návrh měřicího obvodu

Rezistor  $R_3$  a zesílení PZ spočítáme ze vztahů:

$$U_{\text{vst}} = \frac{U_{\text{ref}}}{R_3 + R_\vartheta} R_\vartheta - \frac{U_{\text{ref}}}{R_1 + R_2} R_2 \quad (\text{V})$$

(1)



kde je:

$U_{vst}$ .....vstupní napětí PZ [V]

$U_{ref}$ .....referenční napětí [V]

$R_1, R_2, R_3$ .....odpory rezistorů v můstku[Ω]

$R_\theta$ .....odpor smínače [Ω]

$$G = \frac{U_{vyst}}{U_{vst}} \quad (V/V) \quad (2)$$

kde je:

$G$ .....výsledné zesílení [V/V]

$U_{vyst}$ .....výstupní napětí [V]

$U_{vst}$ .....vstupní napětí [V]

Výpočet  $R_3$  provedeme vyřešením následující rovnice ( $R_1 = R_2 = 1,2k\Omega$ ):

$$U_{vst}(R_\theta = 803,1\Omega) = -U_{vst}(R_\theta = 1573,3\Omega) \quad (3)$$

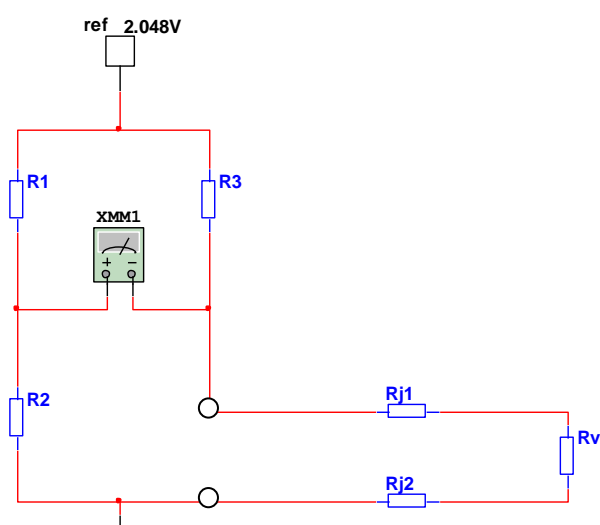
$$\frac{2,048}{R_3 + 803,1} 803,1 - \frac{2,048}{1200 + 1200} 1200 = \frac{2,048}{R_3 + 1573,3} 1573,3 - \frac{2,048}{1200 + 1200} 1200 \quad (4)$$

$$R_3 = 1121.89\Omega \quad (5)$$

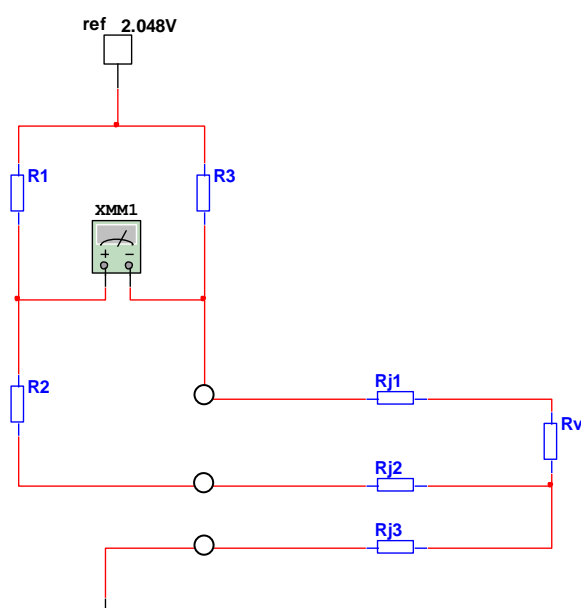
Rezistor v měřicí větvi volím  $1,13k\Omega$ , tolerance  $\pm 0,1\%$ , teplotní koeficient  $\pm 10ppm/^\circ C$ . Výrobce snímače udává, že zaručená přesnost čidla je pouze pokud jím protéká proud maximálně 1mA. Pro obvod je tedy zvolena napěťová reference 2,048V. Rezistory ve srovnávacím děliči volím  $R_1 = R_2 = 1,2k\Omega$ , tolerance  $\pm 0,1\%$ . Referenci použijeme i jako referenční napětí pro přístrojový zesilovač a obvod realizující digitalizaci.

## 2.2.2 Způsob připojení snímače teploty

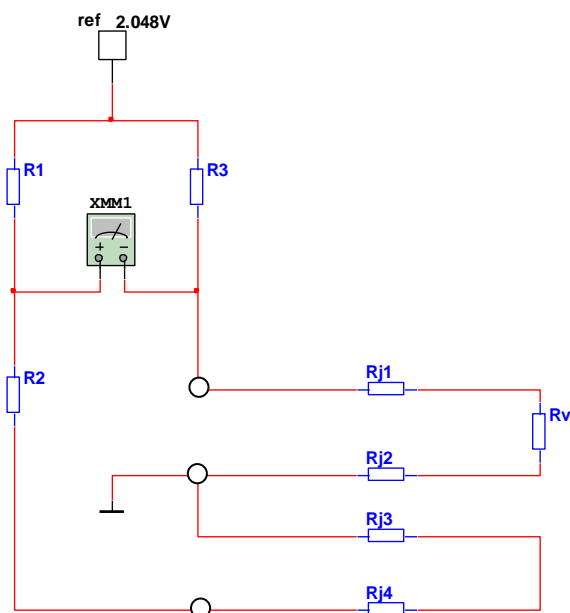
Při návrhu je namístě zamyslet se také nad vlivem odporu přívodních vodičů k čidlu a jeho závislostí na teplotě. Za předpokladu, že usoudíme, že je potřeba vliv přívodních vodičů kompenzovat, nevystačíme si pouze s dvouvodičovým zapojením (Obrázek 2.6), ale musíme použít zapojení třívodičové (Obrázek 2.7) nebo čtyřvodičové (Obrázek 2.8).



Obrázek 2.6 Dvouvodičové zapojení snímače

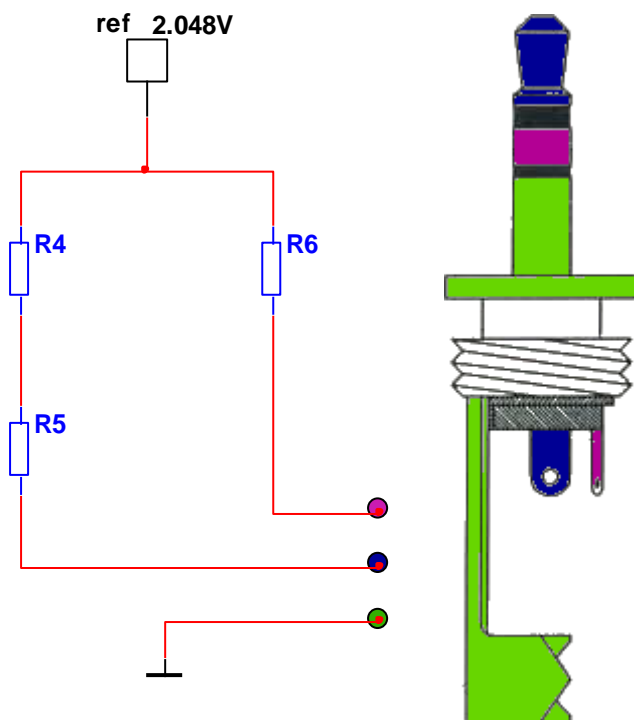


Obrázek 2.7 Třívodičové zapojení snímače



Obrázek 2.8 Čtyřvodičové zapojení snímače

Nutnost použít více než dvouvodičové zapojení bude dáno výsledným použitím zařízení, proto za nejvhodnější považuji vyvedení všech tří svorek. Cílový uživatel pak sám rozhodne, zda použije dva vodiče (svorky v konektoru „proklenuje“), tři nebo čtyři.



Obrázek 2.9 Zapojení konektoru jack 2,5mm

Pro připojení bude použit standardní konektor jack 2,5mm stereo.

Na Obrázek 2.9 Zapojení konektoru jack 2,5 je zobrazeno zapojení konektoru Jack 2,5mm a způsob, jakým bude po připojení zapojen k můstku. Jednotlivé vodivé spoje jsou barevně označeny.

### 2.2.3 Přístrojový operační zesilovač AD8226ARG[3]

Přístrojový zesilovač budeme volit tak, aby to byl rail-to-rail obvod s menší vstupní napěťovou nesymetrií a s tím související i nižší teplotní závislostí parametrů. Napětí na výstupu bude při vyváženém můstku rovno referenci 2,048V. Zesílení je tedy třeba vypočítat tak, aby se změna teploty projevovala na výstupu jako přírůstek k referenci  $\pm 2,048$ .

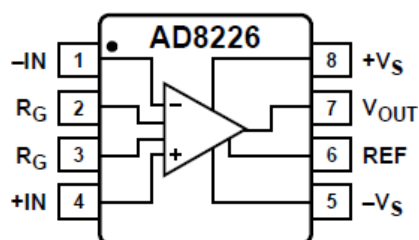
Výpočet zesílení (Podle vzorce (1)):

$$U_{vst} = \frac{2,048}{1130 + 803,1} 803,1 - \frac{2,048}{1200 + 1200} 1200 = -0,1732V \quad (6)$$

$$G = \frac{U_{vyst \min}}{U_{vst \min}} = \frac{-2,048}{-0,1732V} = 11,83V/V \quad (7)$$

Rezistor  $R_G$  budeme tedy volit tak, abychom se přiblížili zesílení 11,83.

Zvolil jsem obvod AD8226ARG, jedná se o rail-to-rail přístrojový operační zesilovač. Maximální vstupní napěťová nesymetrie je max.  $100\mu V$ , teplotní závislost typ  $0,5$  (max.  $2$ )  $\mu V/^{\circ}C$ . Vstupní odpor referenčního vstupu je  $100k\Omega$ .



Obrázek 2.10 Popis pinů přístrojového zesilovače AD8226[3]

číslo pinu	značení	popis
1	-IN	Negativní vstup
2, 3	R <sub>G</sub>	Piny pro nastavení zesílení
4	+IN	Pozitivní vstup
5	-V <sub>S</sub>	Záporný pól napájecího napětí
6	REF	Reference
7	V <sub>OUT</sub>	Výstup
8	+V <sub>S</sub>	kladný pól napájecího napětí

Tabulka 2.2 Popis vývodů PZ AD8226[3]

Výrobce udává vzorec pro výpočet rezistoru  $R_G$  pro požadované zesílení:

$$R_G = \frac{49,4k\Omega}{G - 1} \quad (8)$$

$$R_G = \frac{49,4k\Omega}{11,83 - 1} = 4,56k\Omega \quad (9)$$

kde je:

$R_G$ .....zesilovací rezistor [ $\Omega$ ]

$G$ .....zesílení PZ [V/V]

Byl zvolen rezistor  $4,7k\Omega$ , Hodnota rezistoru byla schválně vybrána nejbližší větší, aby výsledné zesílení nebylo větší a nezmenšoval se rozsah měření.

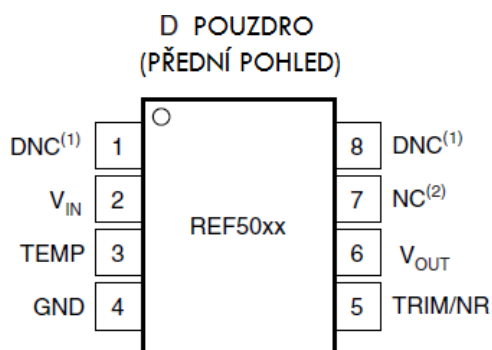
Zpětně vypočítáme skutečnou velikost zesílení:

$$G = 1 + \frac{49,4k\Omega}{R_G} \quad (10)$$

$$G = 1 + \frac{49,4k\Omega}{4,7k\Omega} = 11,51V/V \quad (11)$$

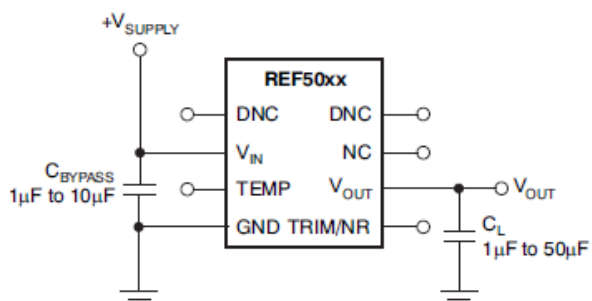
## 2.2.4 Reference ref5020[4]

Napájení můstku je potřeba zmenšit, aby nedocházelo k nepřiměřenému ohřívání snímače a tím k nejistotám při měření. Z údajů výrobce snímače vyplývá, že zaručené parametry jsou docíleny pouze tehdy, kdy snímačem teče proud menší než 1 mA. S referencí 2,048V se tedy dostaneme na teplotu  $-17^{\circ}\text{C}$ . Byla vybrána reference s názvem ref5020 od firmy Texas Instruments.



poznámky: (1) DNC = nepřipojovat  
(2) NC = žádné vnitřní propojení

Obrázek 2.11 Popis vývodů obvodu REF5020[4]



Obrázek 2.12 Doporučené zapojení obvodu REF5020[4]

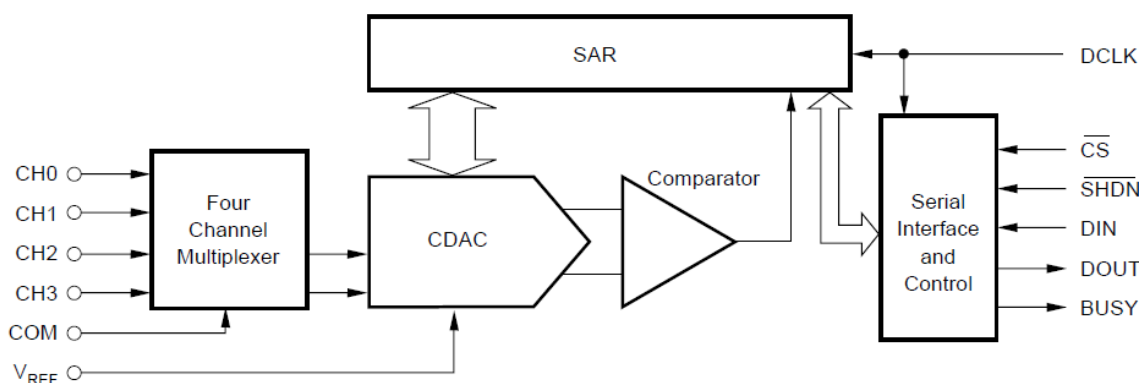
Obvod má maximální proudový odběr 10mA, což je pro naši aplikaci dostačující. Referenční napětí bude přiváděno na měřící můstky, na přístrojové zesilovače a na A/D převodník.

## 2.3 Digitalizace

Proces digitalizace zajišťuje převedení analogové hodnoty napětí na číselný údaj. K tomuto účelu jsou vyráběny A/D převodníky. A/D převodníky jsou elektronické součástky určené k převodu spojitého analogového signálu na diskrétní digitální. V naší aplikaci budeme požadovat rozlišení alespoň  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Rychlost převodu ani rychlost vzorkování není nijak podstatná, jelikož budeme snímat prakticky statické hodnoty a rychlost vzorkování nebude vyšší než 1S/s na jednom kanálu.

### 2.3.1 A/D převodník ADS8343[5]

Byl zvolen převodník ADS8343E od firmy Texas Instruments. Obvod obsahuje čtyřkanálový multiplexer vstupů, 16 bitové rozlišení převodu, reálné rozlišení 13 bitů, maximální rychlost vzorkování je 100kS/s. Komunikaci s okolím zajišťuje jednoduché sériové rozhraní. Bude nutné ho ovšem softwarově implementovat.



Obrázek 2.13 Blokové schéma obvodu ADS8343[5]

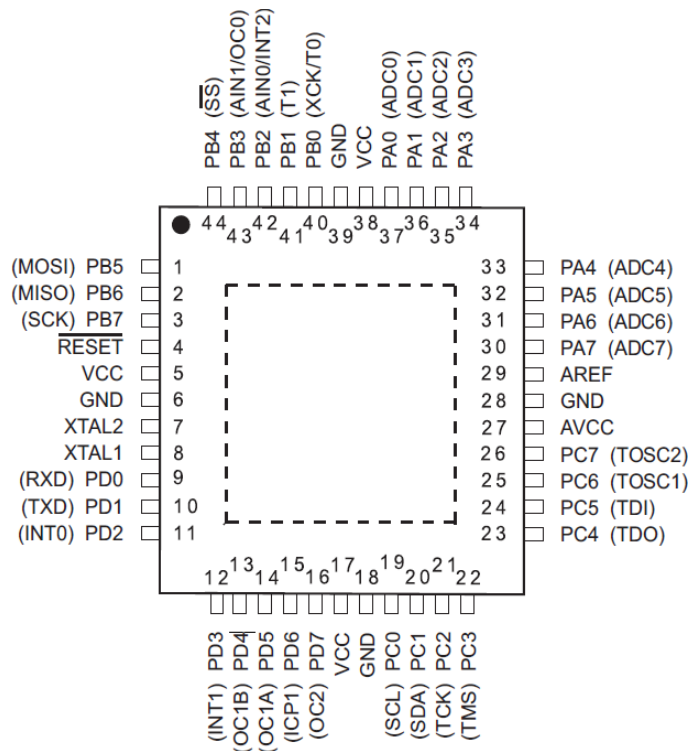
To, že má A/D převodník 4 vstupní kanály je velká výhoda. Představa o výsledném produktu předpokládá zpracování více teplotních snímačů. Z vyráběných vícevstupých A/D převodníků (2, 4, 8 kanálů) je zřejmě nejvhodnější právě čtyřkanálový.

## 2.4 Mikrokontrolér

Mikrokontroléry jsou elektronické součástky, které kromě procesoru obsahují další periferie, jako jsou A/D převodníky, komparátory, sériová rozhraní atp. Pro naši aplikaci nám postačí mikrokontrolér se vstupně-výstupními porty a I<sup>2</sup>C sériovým rozhraním pro EEPROM paměť.

### 2.4.1 ATmega16 [6]

Jedná se o osmi bitový mikrokontrolér se čtyřmi vstupními/výstupními porty (celkem tedy 32 použitelných vývodů). V mém projektu je zapotřebí 27 vývodů, čili počet je dostatečný. Mikrokontrolér má hardwarově implementované TWI rozhraní (kompatibilní s I<sup>2</sup>C). Je možné použít externí krystalový oscilátor až 16MHz.



Obrázek 2.14 Popis vývodů mikrokontroléru ATmega16[6]

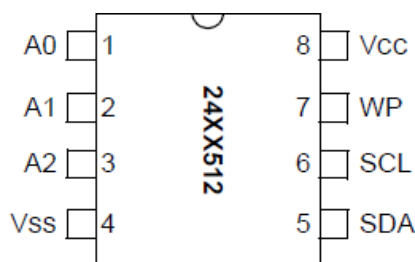


## 2.5 Paměť

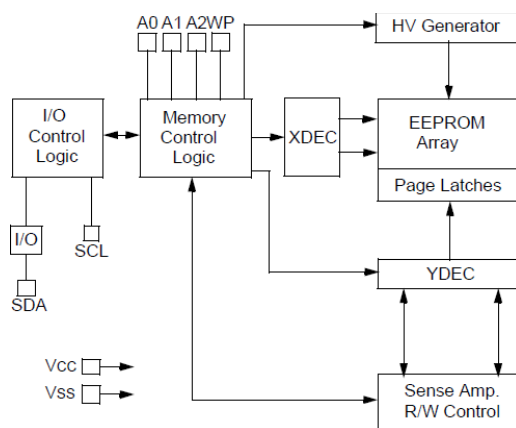
Pro uchování dat pro následné zpracování a odeslání dat do počítače je nutné použití nonvolatilní paměti. Mikrokontrolér ATmega16 obsahuje EEPROM paměť 512B, ta nám ovšem stačit nebude.

### 2.5.1 24LC512-I/SM[7]

Byla zvolena paměť 24LC512. Jedná se o osmibitovou EEPROM paměť s 512 kilobitovou pamětí (16 adresních bitů). Pokud bychom vzorkovali teplotu na všech čtyřech snímačích rychlostí 1Hz, vystačí nám paměť na 2,3 hodiny záznamu. Paměť má omezen počet zapisovacích cyklů na 1 000 000, což není překážka. Komunikaci s okolím zajišťuje I<sup>2</sup>C sběrnice.



Obrázek 2.15 Popis vývodů obvodu 24LC512[7]



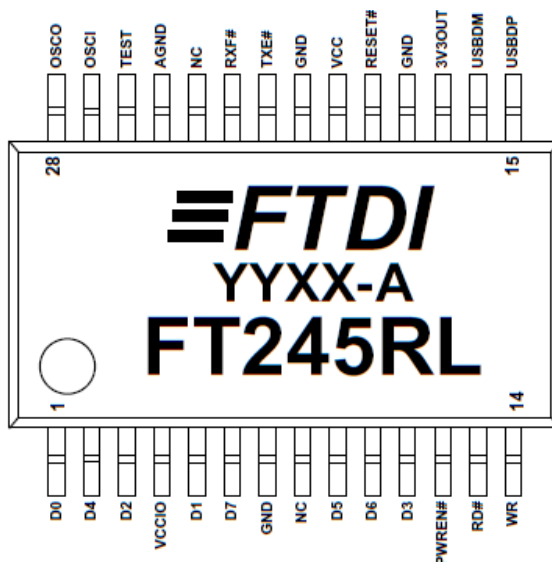
Obrázek 2.16 Blokové schéma obvodu 24LC512[7]

## 2.6 Komunikace s okolím přes USB

Data získaná měřením je potřeba přenést do PC pro následné zpracování. Nejpoužívanější rozhraní pro přenos dat do PC dnes představuje rozhraní USB. Řešení, jak rozhraní využít je několik – použití mikrokontroléru s již implementovaným USB rozhraním, softwarová implementace, použití převodníků... Jako nejsnazší i nejekonomičtější je zřejmě varianta s převodníkem.

### 2.6.1 FT245RL[8]

Jedná se o převodník FIFO  $\leftrightarrow$  USB. Na straně mikrokontroléru je paralelní sběrnice a řídicí signály, na straně PC pak USB signály. V počítači se pak zařízení zobrazí jako sériový port.



Obrázek 2.17 Popis vývodů obvodu FT245RL[8]

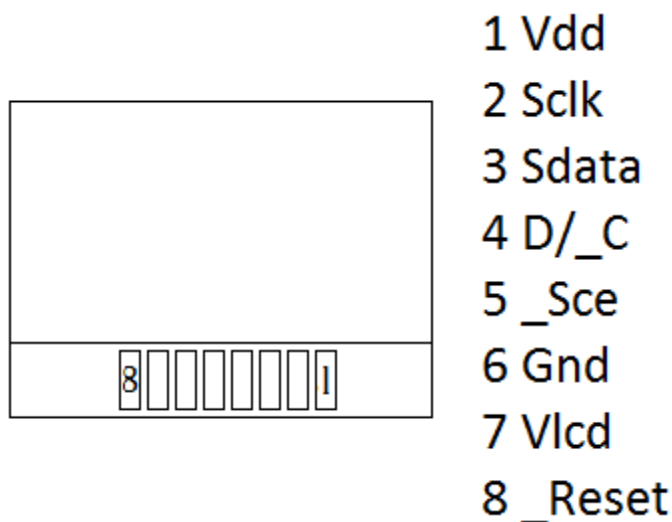


## 2.7 Zobrazovač

Kvůli komunikaci s uživatelem je potřeba do zařízení implementovat display. Bude fungovat jako informační zdroj o aktuálním stavu zařízení a bude zajišťovat zpětnou vazbu při nastavování parametrů.

### 2.7.1 Philips OM6206[9]

Grafický display s rozlišením 102x65 px. řídí řadič Philips OM6206. Zapojení vývodů displeje je na Obrázek 2.19.



Obrázek 2.19 Popis vývodů grafického displeje

## 2.8 Ovládání

Ovládání zařízení je realizováno pomocí tří tlačítek – jedno slouží pro pohyb v menu, funkce dalších dvou jsou určena informacemi zobrazenými na displeji - podobně jako tomu bývá u mobilních telefonů.

## 3 PRAKTICKÁ REALIZACE

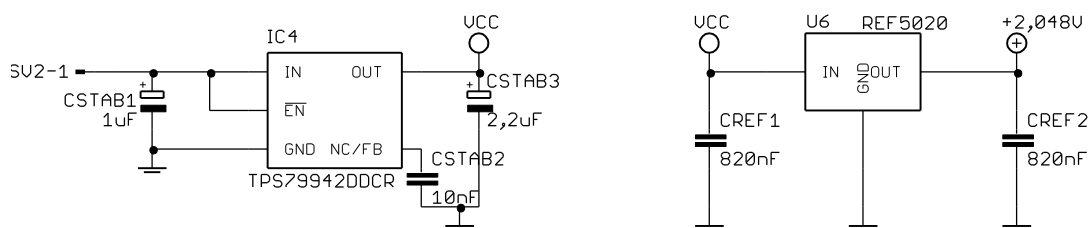
### 3.1 Technická realizace

Zařízení podporuje až čtyřkanálové měření, jednotlivé snímače jsou připojovány prostřednictvím konektoru jack 2,5mm. Snímače jsou připojeny do měřících můstků. Můstky jsou napájeny referencí 2,048V. Diagonála můstku je měřena přístrojovým zesilovačem. Reference přístrojového zesilovače je připojena na referenci 2,048V. Koncepte můstku, velikost zesílení přístrojového zesilovače a posuv výstupu o hodnotu reference je navržen tak, aby v celém rozsahu měření nabývalo výstupní napětí hodnot 0-4,096V. Signál je dále zpracován A/D převodníkem. Jeho referenční vstup je opět přiveden na referenci 2,048V. Použitý A/D převodník měří do napětí  $2 \times U_{ref}$ , čili do potřebných 4,096V. Signál je dále zpracován mikrokontrolérem od firmy ATMEL. Komunikace s A/D převodníkem je implementovaná softwarově. Uložení dat proběhne přenosem dat do vnější paměti 24LC512 přes I<sup>2</sup>C. TWI komunikace (kompatibilní s I<sup>2</sup>C) je zde implementovaná hardwarově. Komunikace s PC je pomocí paralelní sběrnice a komunikace s uživatelem prostřednictvím displeje je pomocí sériové komunikace. Obě rozhraní sou implementována softwarově.

#### 3.1.1 Schémata

##### 3.1.1.1 Napájecí obvod

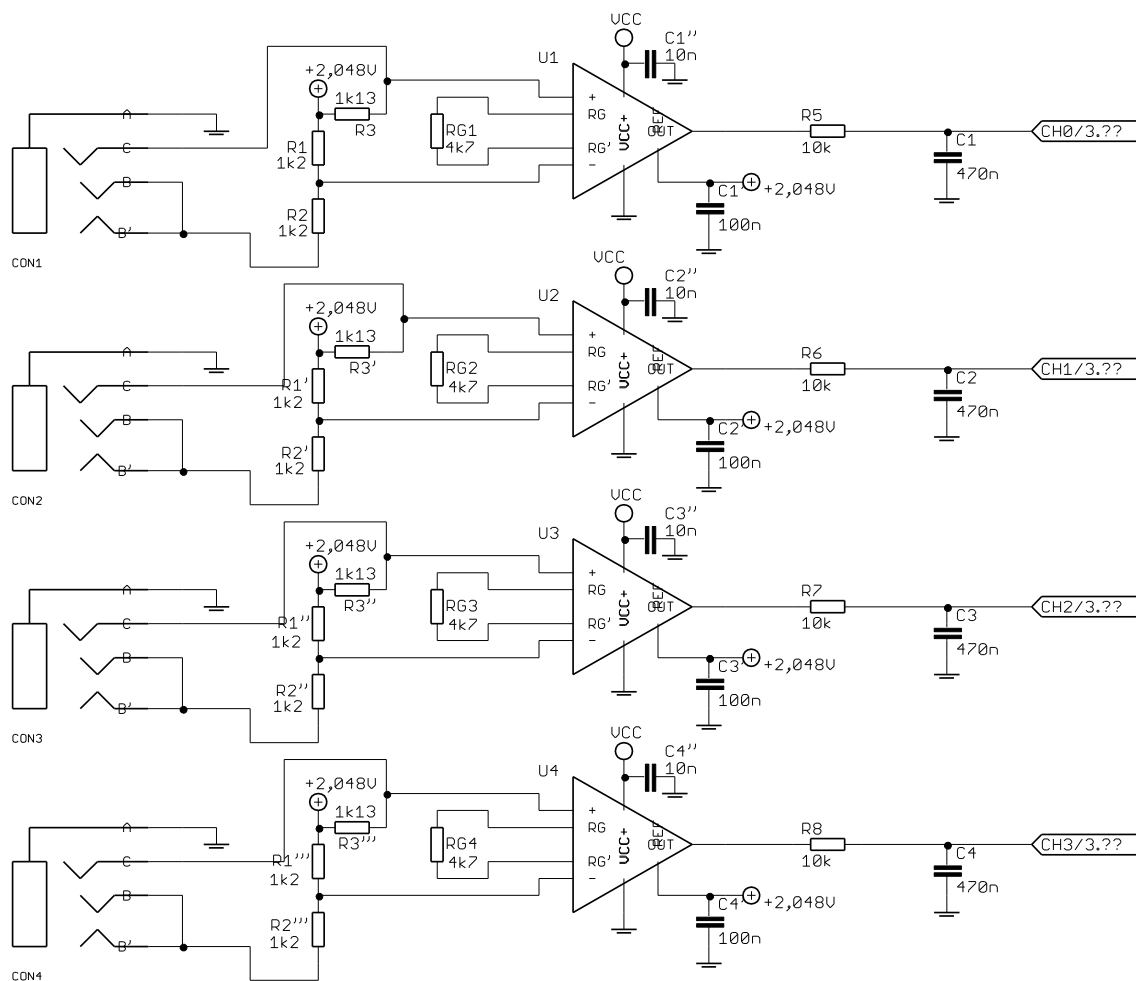
Na následujícím schématu je zobrazeno zapojení stabilizátoru 4,2V pro napájení z baterií, vedle je zobrazeno schéma zapojení použité reference 2,048V.



Obrázek 3.1 Napájecí a měřící obvod

### 3.1.1.2 Měřicí obvod

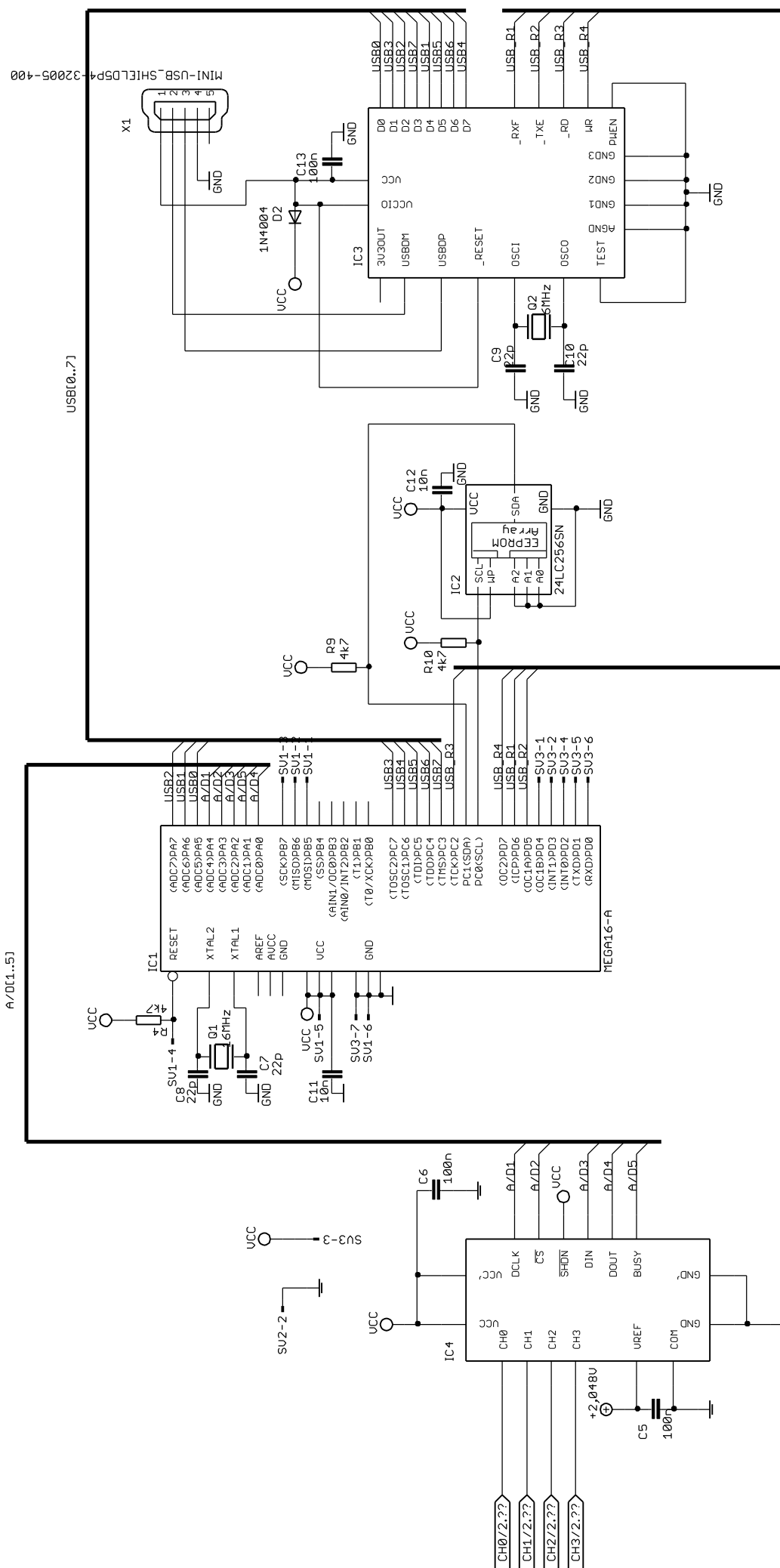
Na následujícím schématu je zobrazen měřicí obvod – konektory 2,5mm Jack, Měřící můstky, přístrojové zesilovače se zesilovacími rezistory, dolnofrekvenční propusti, filtrační a posilovací kondenzátory.



Obrázek 3.2 Schéma měřícího obvodu

### 3.1.1.3 Digitální obvod

Na následujícím schématu je zobrazeno zapojení A/D převodníku, mikrokontroléru ATMEL, externí paměti a převodníku Paralel ⇔ USB.



USB\_R[1..4]

Obrázek 3.3 Schéma digitální části

### 3.1.2 Seznam součástek

Tabulka 3.1 zobrazuje seznam součástek použitých v projektu.

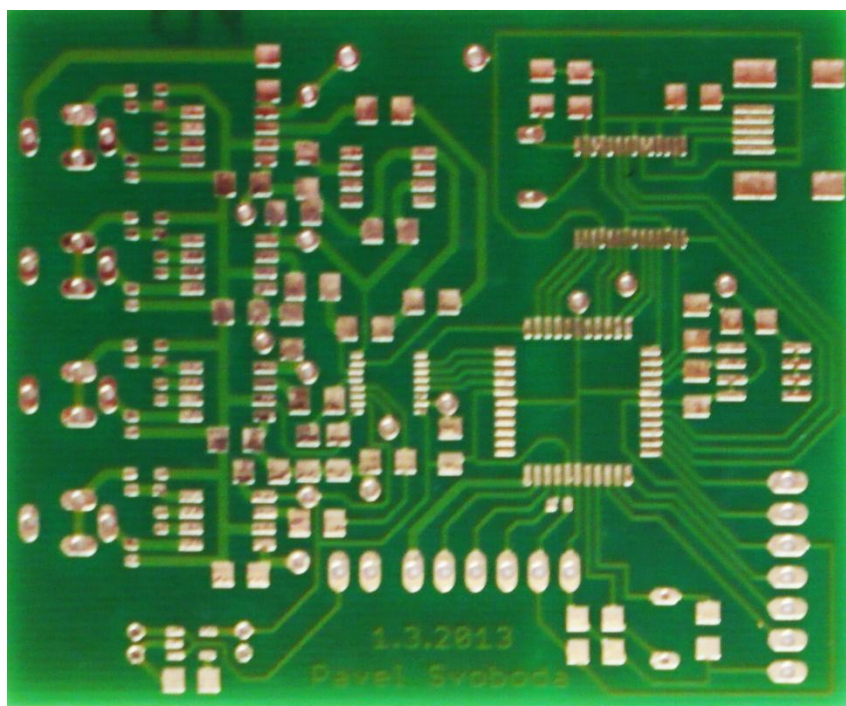
Jméno	Název	Hodnota	Množství
SV1	L06P		1
SV2	L02P		1
SV3	S07P		1
D2	1N4004	1N4004	1
R1, R1', R1'', R1''', R2, R2', R2'', R2'''	R-EU_R0402	1k2	8
R3, R3', R3'', R3'''	R-EU_R0402	1k13	4
R9, R10	R-EU_M1206	4k7	2
R11	R-EU_M1206	0	1
R4, RG1, RG2, RG3, RG4	R-EU_R0402	4k7	5
R5, R6, R7, R8	R-EU_M1206	10k	4
C1', C2', C3', C4', C5, C6, C13	C-EUC1206	100n	7
C1'', C2'', C3'', C4'', C11, C12	C-EUC1206	10n	6
C1, C2, C3, C4	C-EUC1206	470n	4
C7, C8, C9, C10	C-EUC1206	22p	4
CSTAB1	CPOL-EUE1.8-4	1uF	1
CSTAB2	C-EUC1206	10nF	1
CSTAB3	CPOL-EUE1.8-4	2,2uF	1
CREF1, CREF2	C-EUC1206	820nF	2
Q1	XTAL/S	16MHz	1
Q2	XTAL/S	6MHz	1
U1, U2, U3, U4	AD8226	AD8226	4
U6	REF5020	REF5020	1
IC1	MEGA16-A	MEGA16-A	1
IC2	24LC256SN	24LC256SN	1
IC3	FT245RL	FT245RL	1
IC4	TPS79942	TPS79942	1
IC5	ADS8343E	ADS8343E	1
CON1, CON2, CON3, CON4	JACK_2.5DIL	JACK_2.5DIL	4
X1	MINI- USB_SHIELD5P4 -32005-400		1

Tabulka 3.1 Seznam součástek

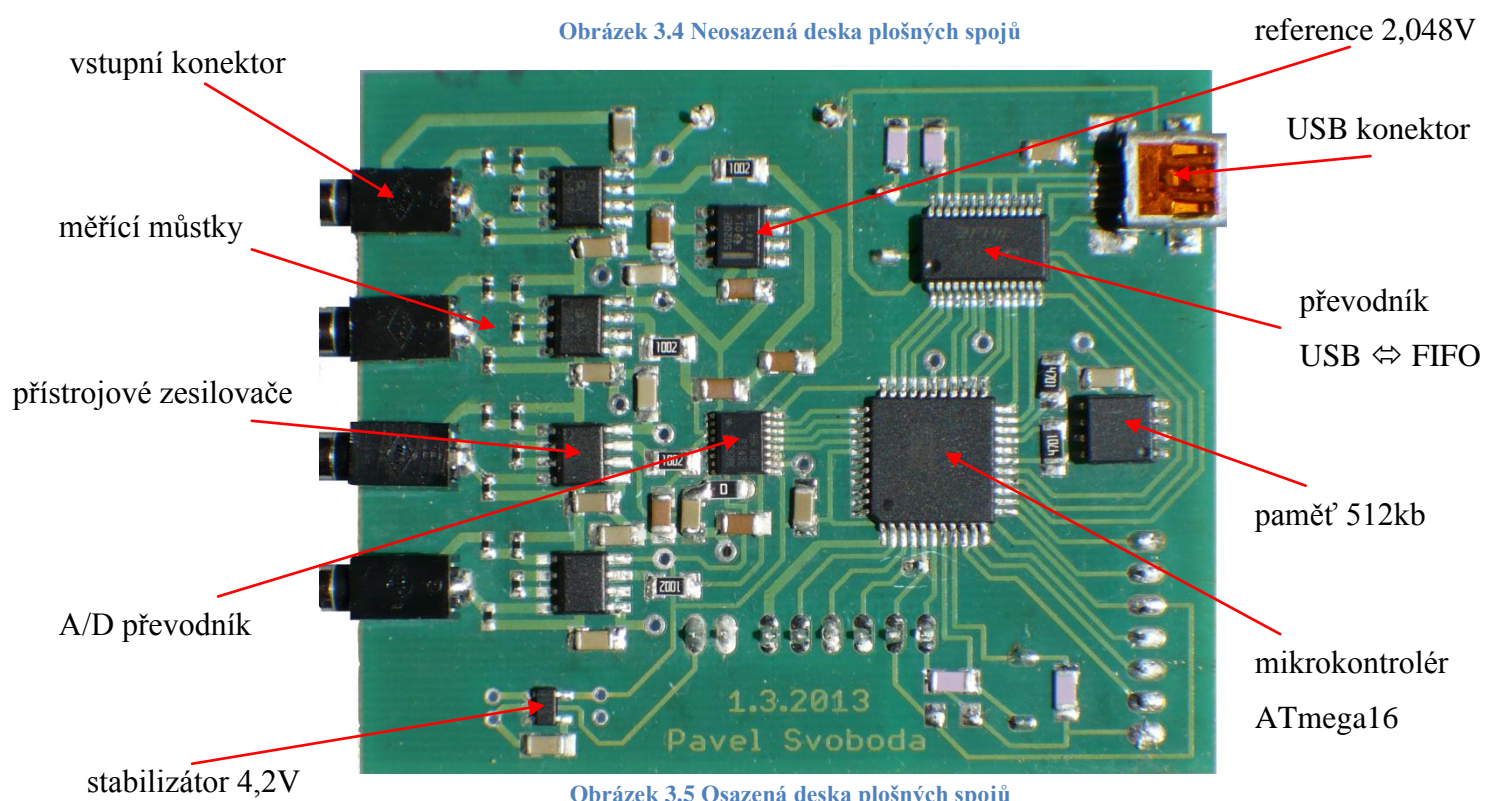


### 3.1.3 Reálné fotografie

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny reálné fotografie výsledného produktu. Návrh desek pro výrobu a osazovací plánky jsou obsaženy v příloze na konci práce.



Obrázek 3.4 Neosazená deska plošných spojů



Obrázek 3.5 Osazená deska plošných spojů

## 3.2 Softwarová realizace v mikrokontroléru

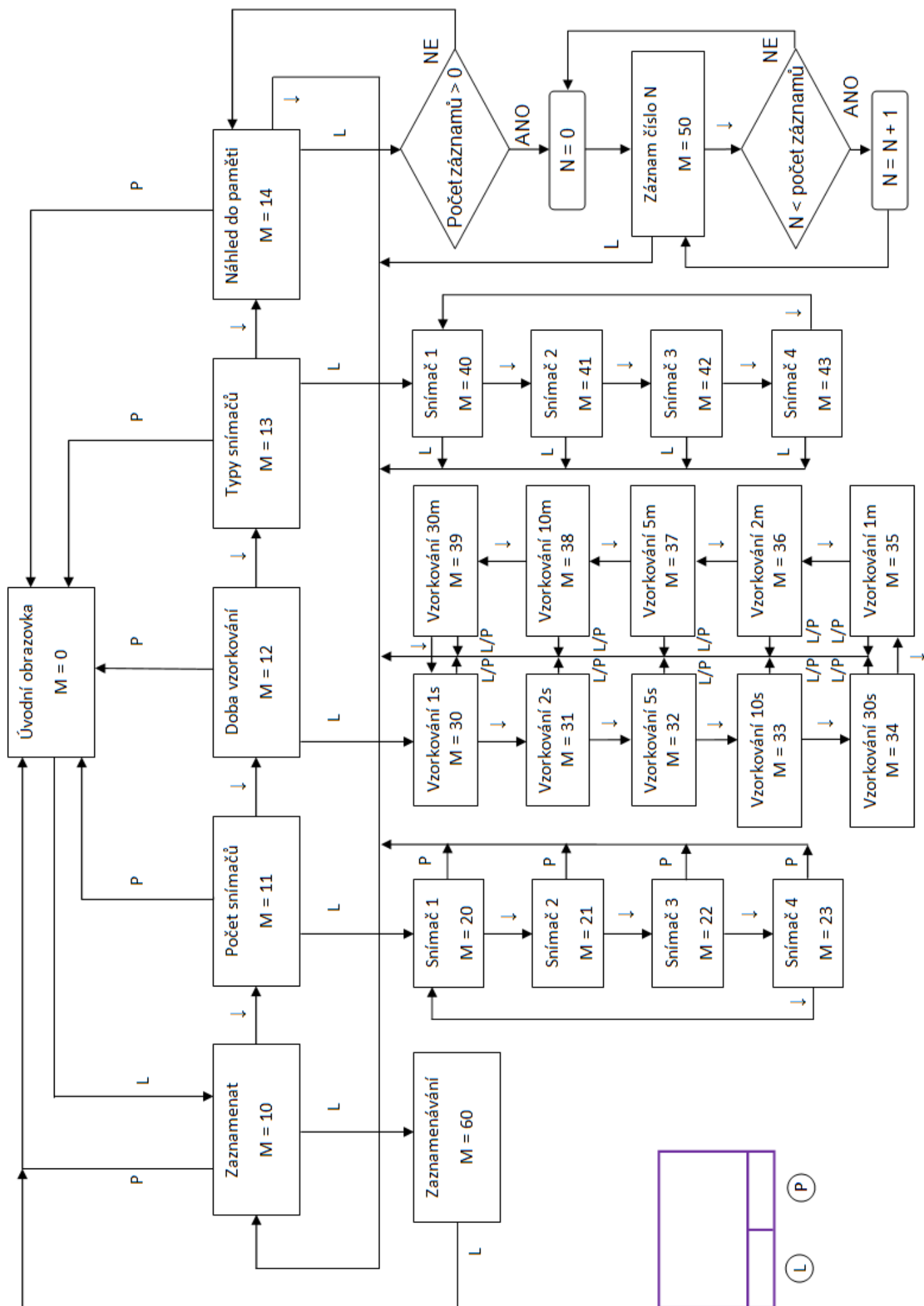
Software pro mikrokontrolér ATmega16-16 byl vytvářen v jazyce C ve vývojovém prostředí AVR Studio 4.0. Pro komunikaci s externími zařízeními (paměť, A/D převodník...) byly vytvořeny knihovny, pro ovládání displeje byla využita knihovna stáhnutá z internetu (využita především 7 bitová ascii tabulka).

Ve funkci main() je inicializace všech portů (I/O), rozhraní (TWI) a výpis úvodní obrazovky. Celý další běh programu probíhá v nekonečné smyčce, kde jsou sledovány změny hodnot vstupů připojených na tlačítka a na převodník FIFO ⇔ USB.

Případné akce související s cyklickým zápisem dat do paměti při záznamu jsou řešeny pomocí přerušení od časovače nastaveného na interval 1s.

Na následující straně je zobrazen stavový diagram pro pohyb v menu. V diagramu nejsou zahrnuty interakce vedoucí ke změně parametrů měření (rozsáhlost a velikost by vedla ke ztrátě hlavního účelu stavového diagramu = čili přehlednosti) ale pouze změny vedoucí pohybu v menu.

Stavová proměnná M, zmiňovaná v diagramu, je proměnná stavového diagramu, která jednoznačně určuje aktuální stav (v kódu pojmenovaná jako Menu).



Obrázek 3.6 Stavový diagram pro pohyb v Menu

### 3.2.1 Seznam knihoven a funkcí

Knihovna: ADC\_interface.h

- `uint16_t ADC_read(unsigned char channel)`  
Přečte hodnotu na vstupu A/D převodníku, vstupním parametrem je převáděný kanál(0-3). Návrátovou hodnotou je číslo získané z A/D převodu (digitalizovaná hodnota v doplňkovém binárním kódu).

Knihovna: internal\_EEPROM.h

- `void internal_EEPROM_write(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)`  
Provede zápis do vnitřní paměti mikrokontroléru. Očekává 2 parametry – šestnáctibitovou adresu a osmibitová data. Návrátová hodnota je typu void.
- `unsigned char internal_EEPROM_read(unsigned int uiAddress)`  
Provede čtení z vnitřní paměti mikrokontroléru. Parametrem funkce je šestnáctibitová hodnota adresy. Návrátová hodnota je neznaménková osmibitová hodnota.

Knihovna: LCD\_display.h

- `void LCD_writeCommand (unsigned char command)`  
Provede zápis příkazu do řadiče LCD displeje. Funkce očekává jako parametr osmibitovou hodnotu příkazu. Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_writeData (unsigned char Data)`  
Provede zápis dat do řadiče LCD displeje. Funkce očekává jako parametr osmibitovou datovou položku (body na displeji). Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_gotoXY (unsigned char x, unsigned char y)`  
Provede přesun kurzoru na danou pozici na displeji. Funkce očekává 2 parametry pro souřadnici x a y. Návrátová hodnota funkce je void.
- `void LCD_clear (void)`  
Provede smazání celého displeje. Funkce neočekává žádný parametr. Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_writeChar (unsigned char ch)`  
Provede výpis jednoho znaku podle sedmibitové ASCII tabulky. Funkce očekává jako parametr znak (např. 'a') nebo ASCII hodnotu. Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_writeString_F (const char *string)`  
Provede výpis textového řetězce na LCD display. Funkce očekává jako parametr textový řetězec. Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_writeNumber(unsigned int cislo)`  
Provede výpis čísla na LCD display. Funkce očekává jako parametr osmi nebo šestnáctibitové neznaménkové číslo. Návrátová hodnota je typu void.

- `void create_frame(void)`  
Provede vykreslení rámečku na LCD displeji. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.
- `void create_menu(uint8_t a, uint8_t b, char *x1, char *x2)`  
Provede výpis textu pro názvy funkcí tlačítek. První dva parametry určují souřadnice X, druhé dva parametry jsou textové řetězce pro výpis. Návrátová hodnota je typu void.
- `void LCD_init ()`  
Funkce provede prvotní inicializaci displeje. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.

Knihovna: TW\_interface.h

- `void TWI_init(void)`  
Provede inicializaci TWI komunikace. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.
- `int EEPROM_write(uint16_t adress, unsigned char data)`  
Provede zápis do vnější paměti. Očekává 2 parametry – šestnáctibitovou adresu a osmibitová data. Návrátová hodnota je typu int (oznamuje případnou chybu).
- `unsigned char EEPROM_read(uint16_t adress)`  
Provede čtení z vnější paměti. Parametrem funkce je šestnáctibitová hodnota adresy. Návrátová hodnota je neznaménková osmibitová hodnota.

Knihovna: USB\_data.h

- `void USB_zapisCislo(unsigned int cislo)`  
Provede odeslání ASCII znaků čísla přes USB. Parametrem je číslo, které je rozloženo na ASCII hodnoty a odesláno. Návrátová hodnota je typu void. Funkce byla využívána při odlaďování programu.
- `void USB_send(uint8_t data)`  
Provede odeslání dat přes sběrnici USB. Parametrem jsou osmibitová data. Návrátová hodnota je typu void.
- `unsigned char USB_read (void)`  
Provede čtení dat z USB sběrnice. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátovou hodnotou jsou přijatá data (před čtením dat je nutné přechíst příznakový bit USB převodníku, zda jsou na sběrnici připravena data!).

Neknihovní funkce:

- `void PORTs_init()`  
Provede inicializaci portů mikrokontroléru (nastaví piny na vstup/výstup, nastaví pull-up rezistory). Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.

- `uint8_t zahajit_zaznam()`  
Provede zahájení záznamu hodnot do paměti. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátovou hodnotou je informace o tom, jestli byl záznam zahájen(0) nebo z důvodu nedostatku místa nebyl(1).
- `void hl_obraz(void)`  
Připraví hlavní obrazovku – vypíše T1 – T4, interval a jednotku měření. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.
- `void zobraz_data(uint16_t poradi)`  
Provede výpis uložených dat. Funkce očekává jako parametr pořadí požadovaného záznamu. Návrátová hodnota je typu void.
- `void inline hl_menu(void)`  
Provede výpis hlavního menu. Jedná se o inline funkci, je použita z důvodu častého opakování v kódu. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.
- `void menuAction(uint8_t button)`  
Provede příslušnou akci při stisku tlačítka. Funkce přebírá jako parametr číslo reprezentující stisknutou klávesu. Návrátová hodnota je typu void.
- `ISR (TIMER1_COMPA_vect)`  
Nejedná se o funkci s funkčním voláním, jedná se o vektor přerušení. Je volán při shodě komparačního registru s hodnotou čítače.
- `void nacteni_promennych(void)`  
Načte pracovní proměnné (intervaly vzorkování atp.), aby byl přístroj ve stejné konfiguraci jako před vypnutím. Funkce nepřebírá žádné parametry. Návrátová hodnota je typu void.
- `int main(void)`  
Vstupní bod do programu. Funkce probíhá v nekonečném cyklu a nikdy neskončí.

### 3.2.2 Popis funkce main

V následujícím textu bude popsána funkce main(), která inicializuje I/O porty mikrokontroléru, nezbytná rozhraní a načte všechny potřebné stavové proměnné, které byly uloženy před vypnutím přístroje. Dále inicializuje časovač přerušení po 1 s a na displeji vytvoří rámeček a úvodní obrazovku.

```
int main(void)
{
    _delay_ms(100);
    PORTs_init();
    TWI_init();
    LCD_init();
    nacteni_promennych();

    TCCR1B = (1<<WGM12)|(1<<CS12);
    TIMSK = 1<<OCIE1A;
    OCR1A = 62500;
    sei();

    create_frame();
    create_menu(10,57,"MENU", "");
    hl_obraz();
}
```

čekat 100 ms pro odeznění přechodových dějů  
nastavit I/O porty, pull-up rezistory  
inicializace TWI komunikace  
inicializace displeje  
načtení proměnných do stavu před vypnutím

předdělička /256, čítat do OCR1A  
povolení přerušení od OCR1A  
číslo, do kterého počítá čítač  
povolit globální přerušení

vytvoří rámeček kolem displeje  
vytvoří tlačítko MENU  
příprava položek na hlavní obrazovce

Po tomto prvotním kódu již celý program běží v nekonečné smyčce, kde se postupně kontrolují všechny změny na vstupech, připojených na tlačítka. Zároveň se kontroluje, zda nejsou na sběrnici data, která přišla z USB. Pokud přijdou smluvená data žádající o navázání trvalé komunikace, zařízení na základě toho, jestli právě měří nebo ne, odpoví kladně a komunikaci naváže nebo odešle informaci o tom, že není na přenos připraveno.



<code>while(1)</code>	základní cyklus
<code>{</code>	
<code>    if (!(PINB&amp;0x20)&amp;&amp;!(tlacitka&amp;0x01)))</code>	Stisknuto levé tlačítko?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka  = 0x01;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        menuAction(1);</code>	akce při stisku
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    else if (PINB&amp;0x20)</code>	Puštěno levé tlačítko?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka &amp;= ~0x01;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    if (!(PINB&amp;0x40)&amp;&amp;!(tlacitka&amp;0x02)))</code>	Stisknuto pravé tlačítko?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka  = 0x02;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        menuAction(2);</code>	akce při stisku
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    else if (PINB&amp;0x40)</code>	Puštěno pravé tlačítko?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka &amp;= ~0x02;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    if (!(PINB&amp;0x80)&amp;&amp;!(tlacitka&amp;0x04)))</code>	Stisknuto tlačítko ↓?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka  = 0x04;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        menuAction(3);</code>	akce při stisku
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    else if (PINB&amp;0x80)</code>	Puštěno tlačítko ↓?
<code>    {</code>	
<code>        tlacitka &amp;= ~0x04;</code>	úprava stavové proměnné
<code>        _delay_ms(30);</code>	ošetření zákmitů
<code>    }</code>	
<code>    if (!(PIND &amp; (1 &lt;&lt; 6)))</code>	jsou data z USB
<code>    {</code>	připravena v zásobníku?
<code>        uint8_t data = USB_read();</code>	přečíst data
<code>        if (data == 0xAA)</code>	0xAA = žádost o ohlášení
<code>        {</code>	
<code>            if (zapis)</code>	//test jestli probíhá měření
<code>            {</code>	
<code>                USB_send(0xAA);</code>	//zařízení není připraveno
<code>            }</code>	
<code>            else{.....}</code>	//komunikace s PC
<code>        }</code>	
<code>    }</code>	
<code>}</code>	
<code>}</code>	

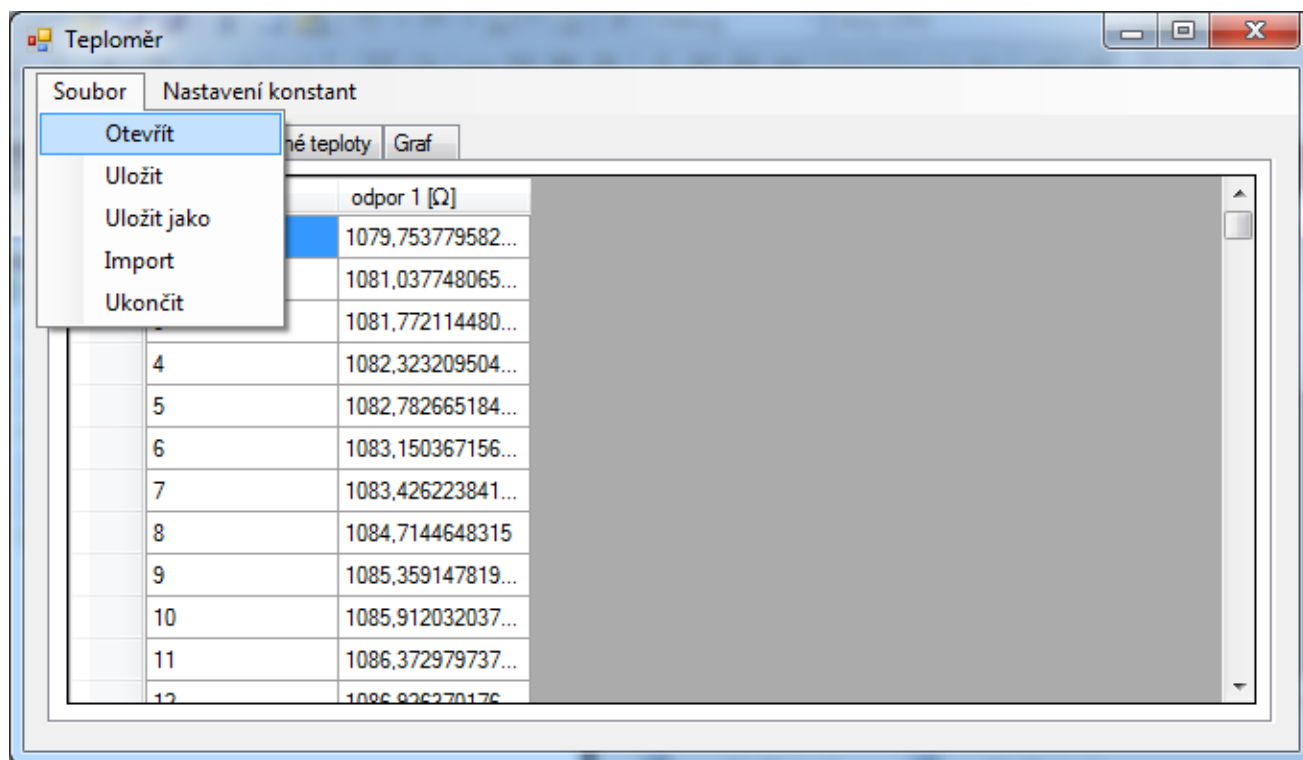


### 3.3 Softwarová realizace v PC

V PC je vytvořen program v jazyce C# určený prioritně pro přenos naměřených dat do PC pro následné zpracování.

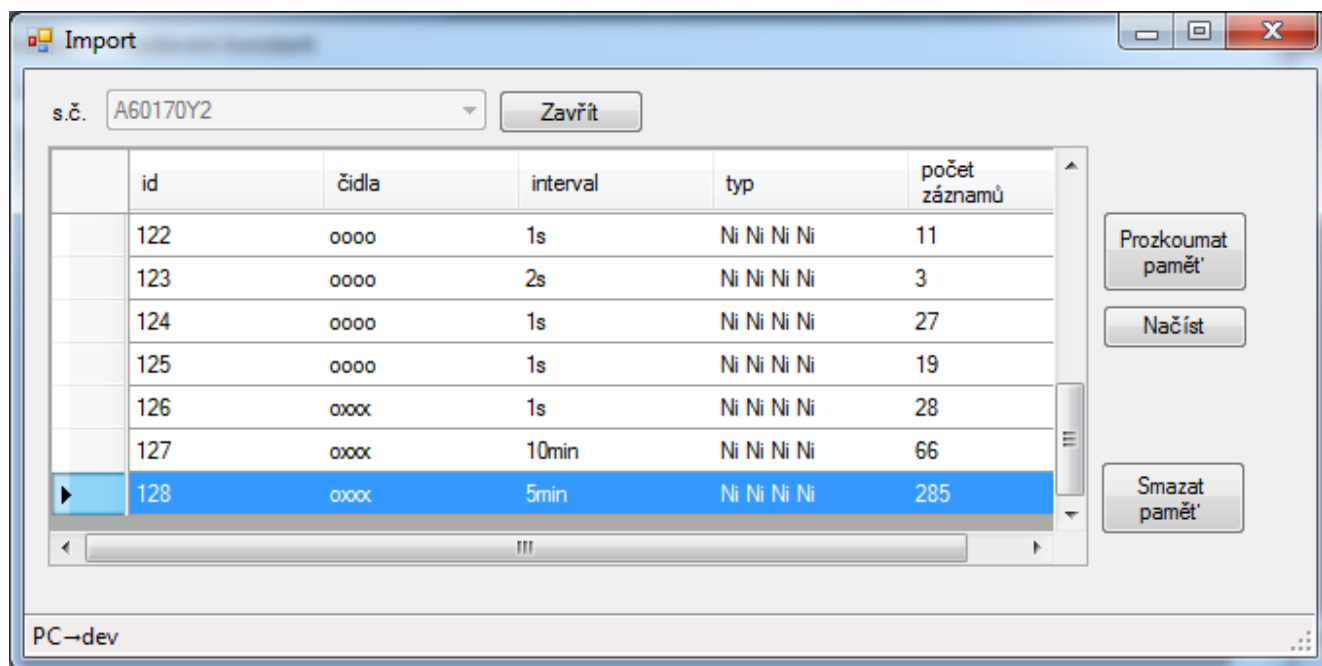
Na Obrázek 3.7 Vizuální vzhled programu v PC je zobrazen náhled na výsledný program v PC určený pro systémy Windows. Program byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual Studio 2010. Pro spuštění je třeba mít nainstalovaný .NET Framework 3.5 nebo vyšší.

Převodník FT245 se v PC implicitně přihlásí jako virtuální sériový port. Problém tedy nastává při psaní programu s komunikací. Za předpokladu, že v PC není kromě převodníku přihlášený žádný jiný sériový port, je situace jednoduchá. V opačném případě uživatele zatěžuje výběr z dostupných sériových portů. Situaci navíc ztěžuje fakt, že Windows instaluje po připojení zařízení do nového USB nové ovladače a porty pojmenovává rozdílně. FTDI chip (výrobce obvodu) dodává pro jazyk C# vyhotovenou knihovnu pro práci s obvodem. Zařízení lze pak oslovovat pomocí jedinečného ID, které je zapsáno v čipu. Byla tedy možnost navrhnout koncepci pro konkrétní ID. To by ovšem znamenalo, že kdyby se zařízení vytvářelo znovu, nekomunikovalo by s programem a byla by nutná softwarová úprava. Koncepce je tedy navržena tak, že v případě přítomnosti jednoho obvodu (existuje metoda, která zjistí počet připojených obvodů) se program snaží k tomuto obvodu připojit. Pokud je zařízení víc, program dá uživateli na výběr z dostupných ID. Dostali jsme se tím do situace, podobné více sériovým portům. ID číslo je ovšem u konkrétního zařízení celou dobu životnosti neměnné a pravděpodobnost připojení více zařízení s obvodem FT245 k PC je nižší než pravděpodobnost přítomnosti více sériových portů.



Obrázek 3.7 Vizualní vzhled programu v PC

Program disponuje načítáním a ukládáním dat do souboru, nastavením konstant aproximace převodní charakteristiky pro získání hodnoty teploty z odporu a importem naměřených dat ze zařízení. V programu jsou 3 záložky. V první jsou zaznamenané hodnoty odporů čidel, v druhé teploty získané přepočtem z polynomu druhého řádu, které se nastavují v položce Nastavení konstant, a v třetí je náhled grafu vytvořeného z vypočtených teplot.



Obrázek 3.8 Okno Import

Na Obrázek 3.8 Okno Import je zobrazeno okno pro import dat ze zařízení do PC. Nahoře je výběr zařízení, tlačítko Prozkoumat paměť provede výpis zaznamenaných měření, tlačítko Načíst importuje vybraný záznam a tlačítko Smazat vymaže celou paměť zařízení.

## 4 POROVNÁNÍ S TEPLOTNÍM NORMÁLEM

U zařízení bylo provedeno srovnání měřených hodnot s údaji uváděnými výrobcem čidla. Cílem byla redukce chyby měření. Měřicí můstky vlivem tolerancí rezistorů vnášejí do měření především aditivní chybu (chybu posunutí nuly). Rezistory  $R_G$  sloužící pro nastavení zesílení přístrojových zesilovačů vnášejí do měření chybu multiplikativní.

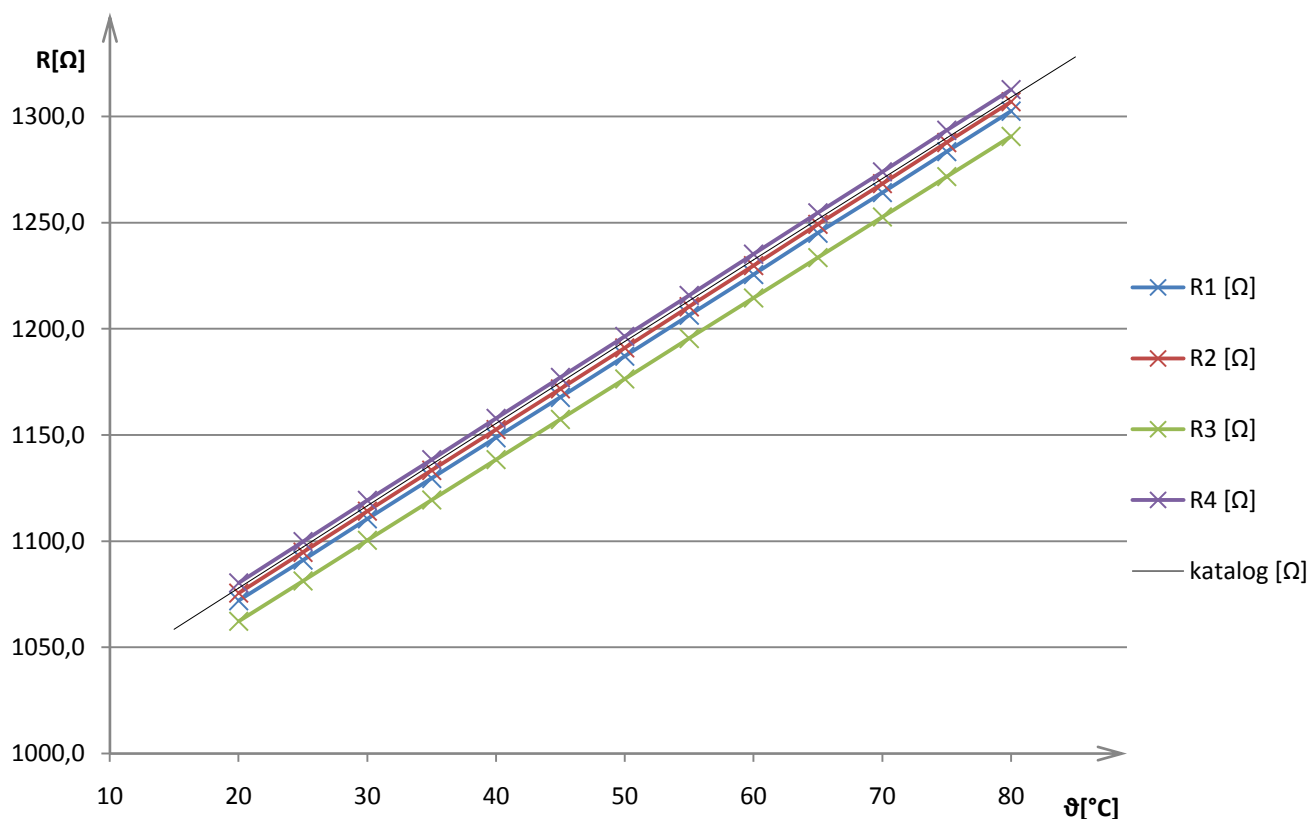
Porovnávací měření bylo prováděno na teplotní kalibrační stanici AOPI Hyperion 936. Tato stanice dovoluje nastavení konkrétní teploty a po ustálení výrobce garantuje stálost a přesnost teploty dalece přesahující možnosti mnou navrženého měřicího systému. Měření probíhalo v rozsahu teplot  $20 \div 80^\circ\text{C}$  s krokem  $5^\circ\text{C}$ .

Hodnoty měření jsou zobrazeny v tabulce Tabulka 4.1 Porovnání s teplotním normálem, v prvním sloupci je zaznamenána skutečná hodnota teploty. V dalších čtyřech sloupcích jsou naměřené hodnoty napětí na diagonále můstku, které byly podle použitých součástek přepočteny na hodnoty odporů čidel. V posledním sloupci je hodnota odporu, kterou uvádí výrobce s přesností na  $1,2\Omega$ .

teplota [ $^\circ\text{C}$ ]	R1 [ $\Omega$ ]	R2 [ $\Omega$ ]	R3 [ $\Omega$ ]	R4 [ $\Omega$ ]	katalog [ $\Omega$ ]
20	1072,0	1075,5	1062,3	1080,4	1077,9
25	1091,1	1094,8	1081,3	1099,8	1097,3
30	1110,5	1114,1	1100,5	1119,2	1116,7
35	1129,6	1133,4	1119,4	1138,5	1136,1
40	1148,8	1152,6	1138,5	1157,9	1155,4
45	1167,7	1171,7	1157,4	1177,1	1174,7
50	1187,1	1191,0	1176,4	1196,4	1194
55	1206,4	1210,4	1195,5	1215,8	1213,2
60	1225,5	1229,8	1214,5	1235,2	1232,4
65	1245,1	1249,2	1233,6	1254,6	1251,6
70	1264,2	1268,4	1252,7	1274,0	1270,8
75	1283,5	1287,7	1271,7	1293,5	1289,9
80	1302,5	1307,0	1290,6	1312,7	1309

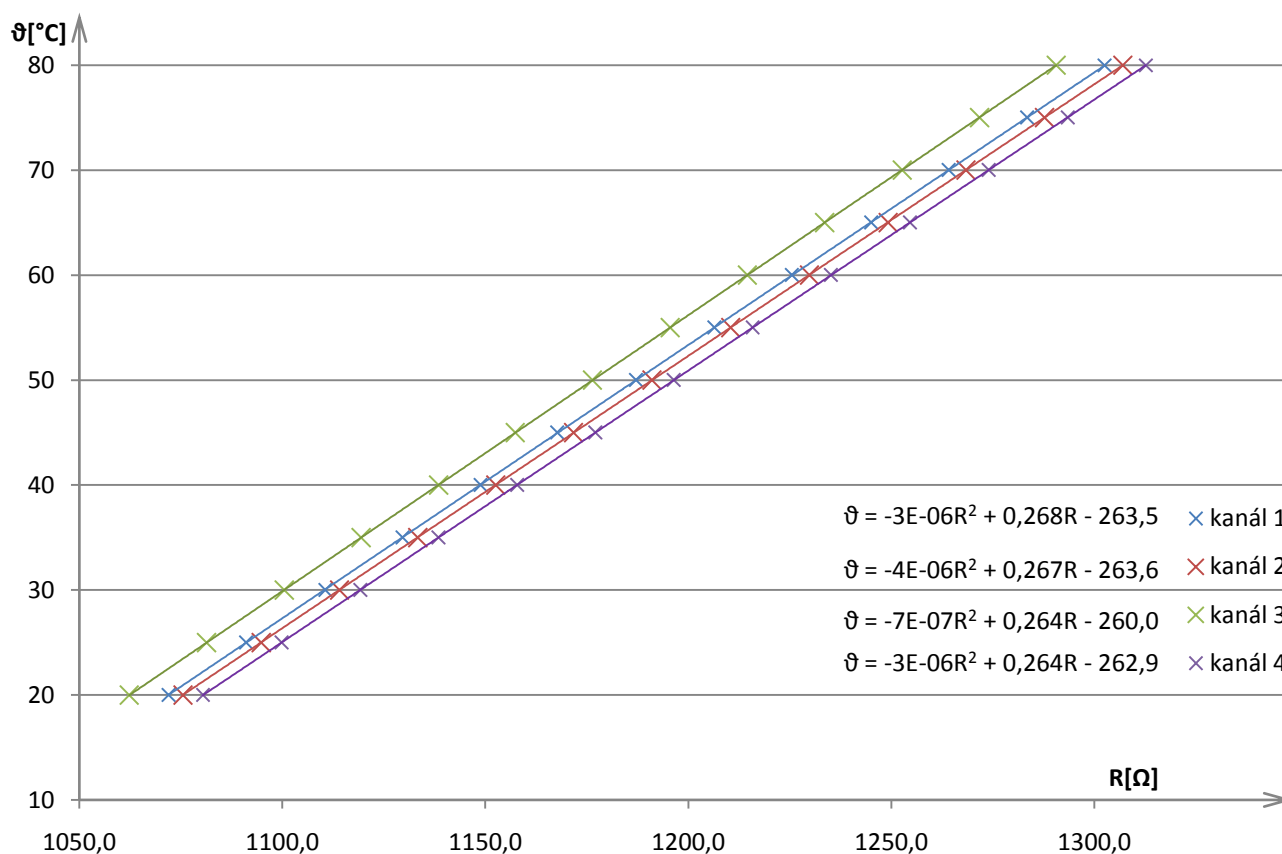
Tabulka 4.1 Porovnání s teplotním normálem

Na následujícím obrázku (Obrázek 4.1) jsou pro představu vykresleny hodnoty z Tabulka 4.1. Jsou to vlastně převodní charakteristiky teplota  $\rightarrow$  odpor, platné pouze v našem zapojení. Z grafů se zdá, že chyba má pouze aditivní charakter.



Obrázek 4.1 Výsledek měření odporu v závislosti na teplotě

Na Obrázek 4.2 je nakreslena převodní charakteristika platná pro konkrétní kanály. Vedle legendy jsou zobrazeny polynomy rovnic, které prokládají dané charakteristiky polynommem druhého řádu podle metody nejmenších čtverců. Konstanty polynomů použijeme v programu pro PC jako převodní charakteristiky v záložce „Nastavení konstant“. Když přihlídneme k tomu, že kvadratické členy jsou o několik řádů nižší než ostatní členy, všimneme si toho, že se jednotlivé členy polynomů liší hlavně v absolutním členu, což napovídá tomu, že chyba měření má skutečně především aditivní charakter.



Obrázek 4.2 Převodní charakteristiky

Vzhledem k tomu, že ze zkušenosti vím, že Microsoft Excel dokáže udávat dosti zavádějící informace, provedeme přepočítání konstant polynomu pomocí programu Matlab. K tomuto účelu slouží funkce  $\text{polyfit}(u,v,n)$ . Kde  $u$  je vektor x-ové osy,  $y$  vektor y-ové osy a  $n$  stupeň polynomu. Výstupem je vektor konstant. Vypočtené konstanty jsou uvedeny v Tabulce 4.2 ve tvaru  $T = a \cdot R^2 + b \cdot R + c$ .

	$a \text{ [}^\circ\text{C}/\Omega^2\text{]}$	$b \text{ [}^\circ\text{C}/\Omega\text{]}$	$c \text{ [}^\circ\text{C}\text{]}$
kanál 1	-3.4550e-06	0.26832	-263.67
kanál 2	-3.2003e-06	0.26679	-263.24
kanál 3	-3.2615e-07	0.26352	-259.57
kanál 4	-2.4454e-06	0.26414	-262.55

Tabulka 4.2 Konstanty pro výpočet teploty

Po odzkoušení kvality proložení na naměřených datech bylo zjištěno, že Matlab udává kvalitnější výsledky.

## 5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh koncepce, návrh desky plošných spojů, technická realizace, osazení, oživení přenosného měřicího systému. V této práci byly postupně popsány všechny klíčové komponenty, které jsou ve výsledném produktu použity. Napájení celého zařízení je realizováno pomocí čtyř baterií typu R06 (4 x 1,5V) nebo pomocí konektoru USB.

Podklady pro výrobu desky plošných spojů jsou uvedeny v příloze stejně jako osazovací plánky. Celé zařízení bylo technicky realizováno a vybaveno potřebným softwarovým vybavením. Jeho ovládání je možné pomocí tří tlačítek. Dále bylo vytvořeno softwarové vybavení do PC, které dokáže navázat komunikaci se zařízením, prozkoumat jeho paměť, potřebná data přenést do počítače, eventuálně celou paměť smazat. Program také dokáže měřené odpory převést pomocí uživatelsky změnitelného polynomu 2. Řádu na teplotu a vytvořit náhled grafu.

Stálost měřených parametrů je dobrá, přesnost už je horší. Nejistota měření je způsobena především nepřesností součástek v můstku, které způsobují aditivní chybu, a nepřesností zesilovacích rezistorů u přístrojových zesilovačů, které způsobují chybu multiplikativní. Tyto chyby byly značně potlačeny provedenou kalibrací. Další možností by bylo k rezistorům v můstku připojit sériově doladovací rezistory, které by umožňovaly následné justování zařízení.

V příloze jsou vykresleny grafy, které jsem měřením teploty na ukázkou pořídil. Na přiloženém CD jsou veškeré zdrojové kódy použité v práci a projekt vytvořený v programu Eagle, který obsahuje schéma a návrh desky plošných spojů.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

[1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. *Senzory neelektrických veličin*. ISBN 80-730-0145-4.

[2] BRZEZINA, Petr. *Charakteristika čidla teploty Ni 1000*. Podniková literatura firmy SENSIT, 2007[cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://www.sensit.cz/ke-stazeni/soubory/Ni1000\\_6180.pdf](http://www.sensit.cz/ke-stazeni/soubory/Ni1000_6180.pdf)

[3] ANALOG DEVICES. AD8226 [online]. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8226.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8226.pdf)

[4] TEXAS INSTRUMENTS. REF5020 [online]. Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265, Duben 2010, Červen 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ref5020-ep.pdf>

[5] TEXAS INSTRUMENTS. ADS8343 [online]. Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265, Leden 2001, Duben 2003 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads8343.pdf>

[6] ATMEL. ATmega16 [online]. Atmel Corporation 2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131 USA, 2010, červen 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

[7] MICROCHIP. 24LC512 [online]. Microchip Technology Inc. 2355 West Chandler Blvd. Chandler, Arizona, USA 85224-6199, 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21754M.pdf>

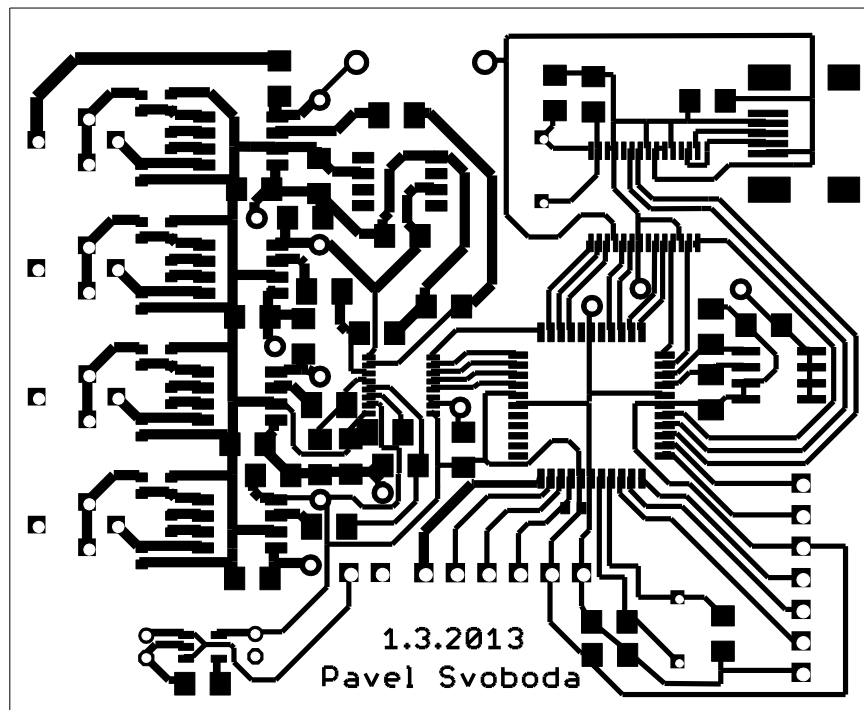
[8] FTDI CHIP. FT245R [online]. Future Technology Devices International Limited Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park Glasgow G41 1HH United Kingdom, 2010 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT245R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT245R.pdf)



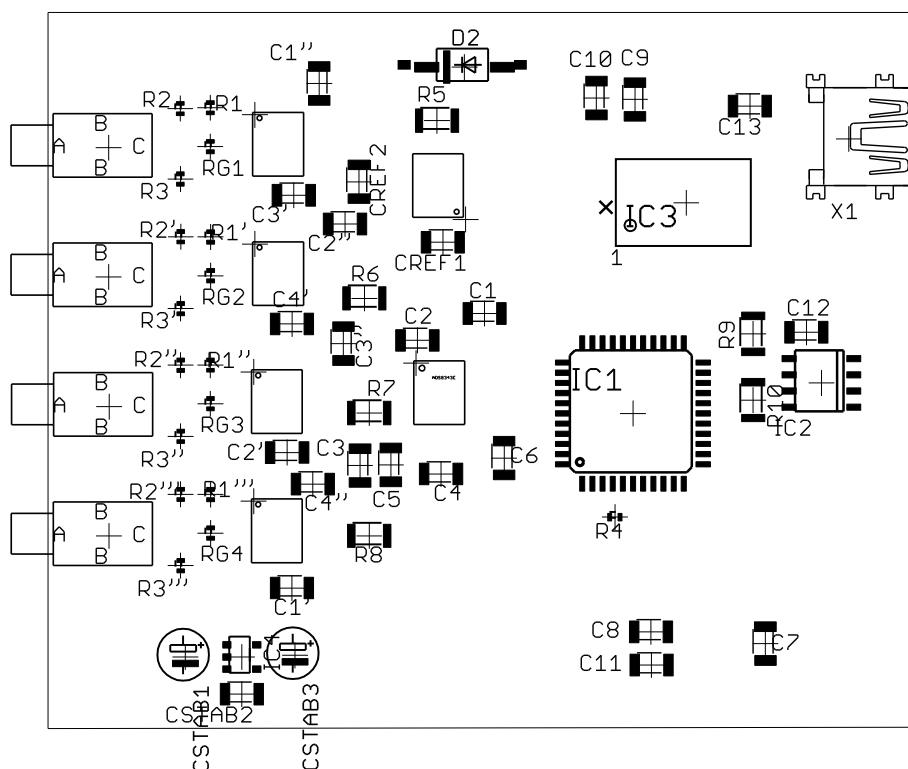
[9] PHILIPS SEMICONDUCTORS. OM6206 [online]. Royal Philips Electronics Amstelplein 2 Breitner Center P.O. Box 77900 1070 MX Amsterdam The Netherlands, 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://doc.chipfind.ru/pdf/philips/om6206.pdf>

## 7 PŘÍLOHY

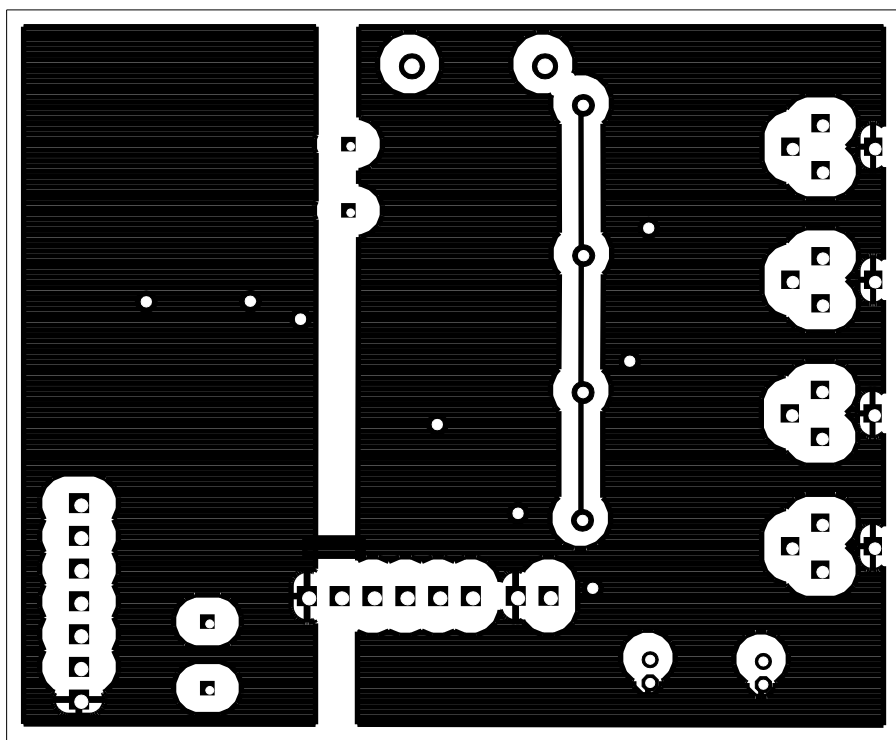
Příloha 1: Vrchní strana, vzor pro výrobu



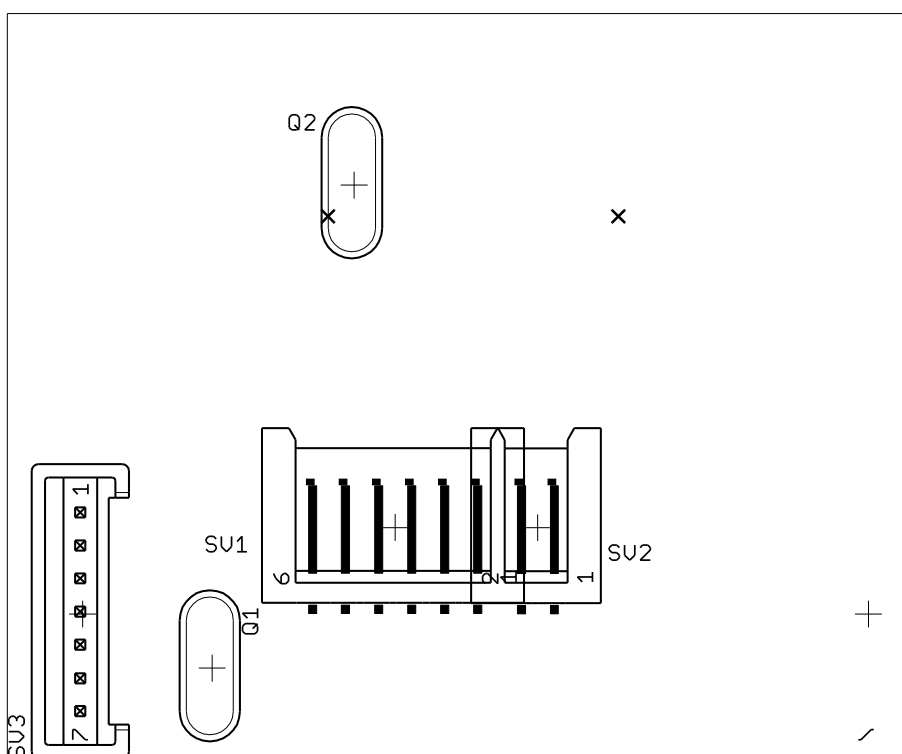
Příloha 2: Vrchní strana, osazovací plán



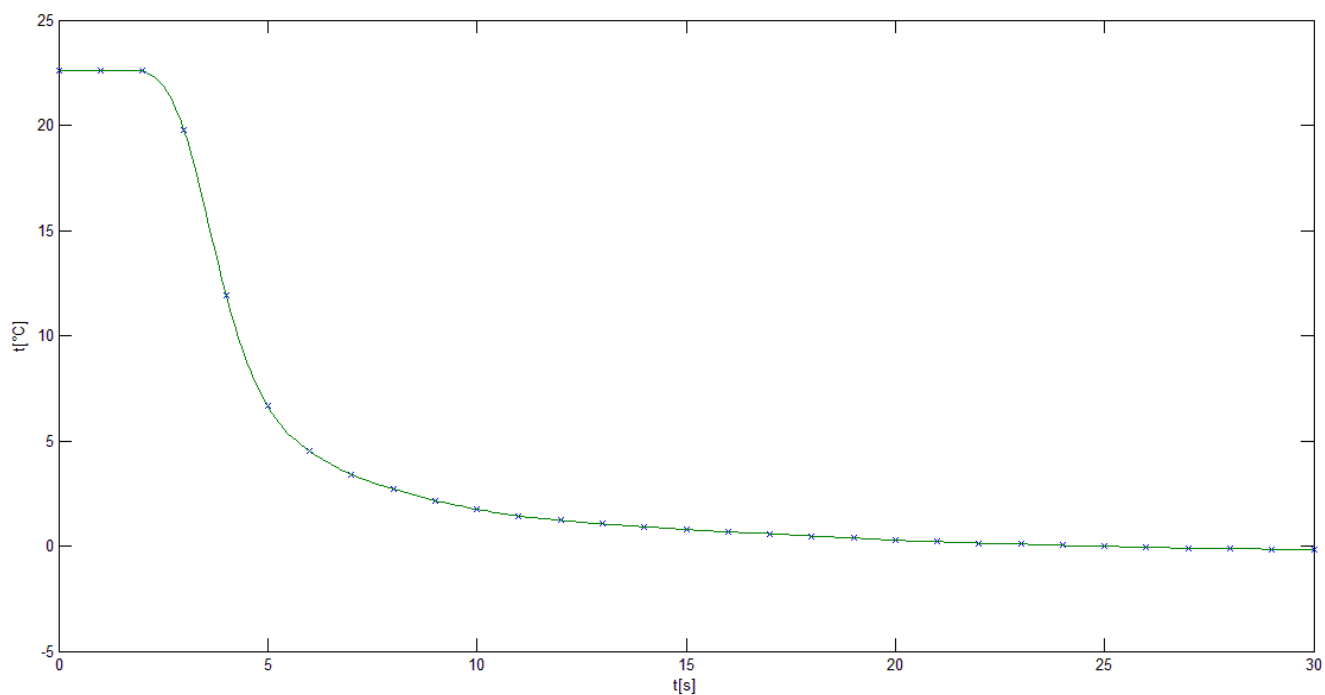
Příloha 3: Spodní stana, vzor pro výrobu



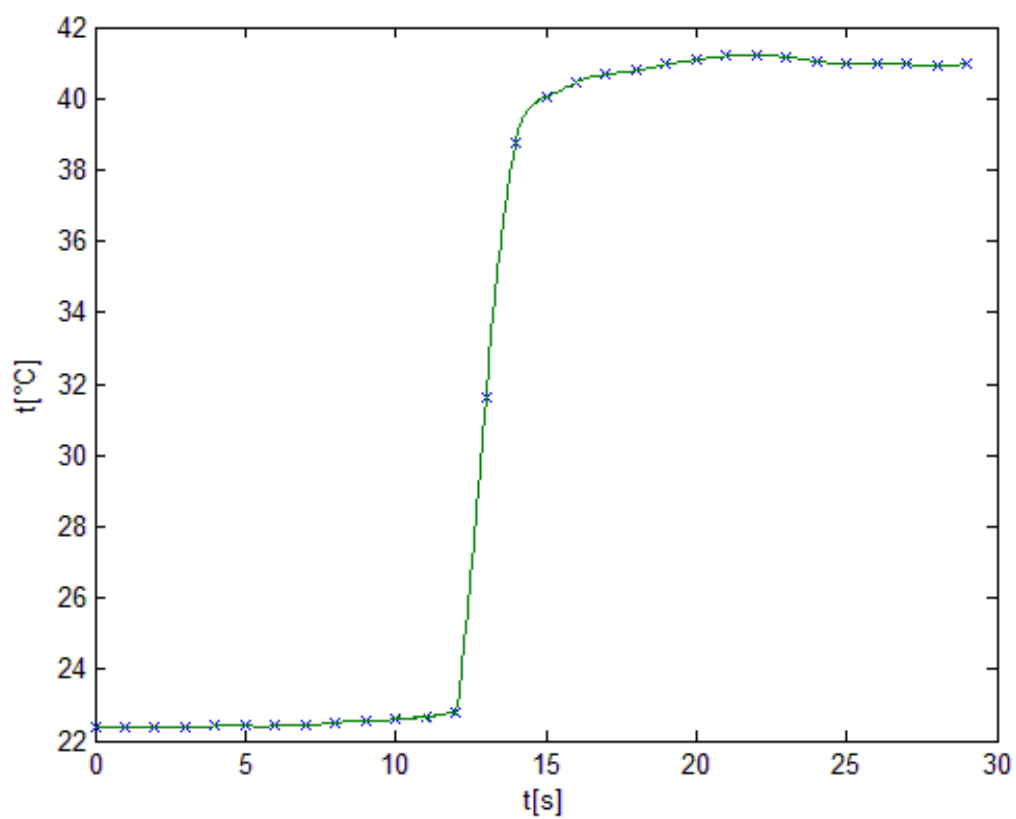
Příloha 4: Spodní strana, osazovací plánec



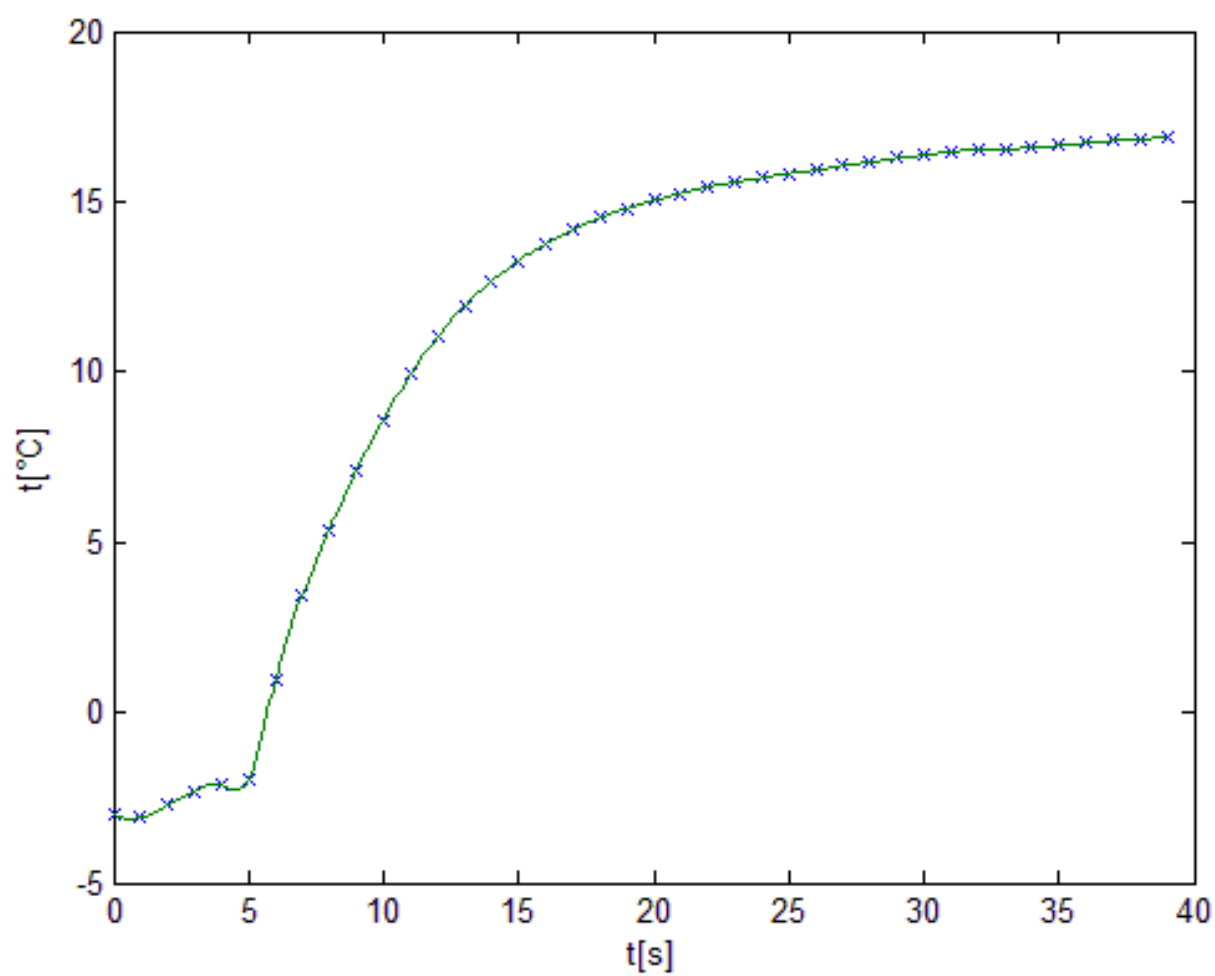
Příloha 5: příklad měření šokové změny teploty (vložení čidla na zmrzlou věc):



Příloha 6: Ohřev snímače v teplém nápoji



Příloha 7: Samovolný ohřev snímače na vzduchu po předchozím zchlazení



Příloha 8: Záznam nočních teplot na parapetu pokoje na kolejích

