



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# METROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY TEPLOMĚRŮ

METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THERMOMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LIBOR KÁHN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Libor Káhn

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Metrologické charakteristiky teploměrů**

v anglickém jazyce:

### **Metrological characteristics of thermometers**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Snad nejčastější veličinou měřenou v technické praxi je teplota. K jejímu měření se velmi často používají elektrické teploměry.

Cíle bakalářské práce:

Pro jednotlivé aplikace je třeba volit teploměry s patřičnými parametry. Významným kritériem je zpravidla dynamika odezvy teploměru. V práci se zaměřte na zjištění vybraných metrologických charakteristik elektrických teploměrů s důrazem právě na charakteristiky dynamické. Navrhněte potřebné experimentální pracoviště a na základě realizovaných testů jednotlivé typy teploměrů zhodnoťte a porovnejte.

Doporučená osnova práce:

1. Měření teploty
2. Metrologické charakteristiky teploměrů
3. Návrh uspořádání experimentálního pracoviště
4. Realizace experimentů a jejich vyhodnocení

Seznam odborné literatury:

CHUDÝ, V.; Palenčár, R.; Kureková, E.; Halaj, M.; Meranie technických veličín : 1.vydání Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.

KREIDL, M.; Měření teploty – Senzory a měřicí obvody : 1. vydání Praha : BEN – technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.

SLÁDEK, Z.; Vdoleček, F.; Technická měření : 1.vydání Brno : Nakladatelství VUT, 1992. 220 s. ISBN 80-214-0414-0.

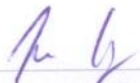
Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 10.2.2014



  
Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan

**ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá měřením dynamických charakteristik teploměrů a návrhem pracoviště, které by v budoucnu mohlo být využito místo stávajícího pracoviště, které využívá již zastaralou technologii.

**ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with measurements of dynamic characteristics of thermometers and workplace design, which in the future might be used instead of existing workplace that uses obsolete technology.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

Teplota, teploměry, měření teploty, dynamické charakteristiky, 3890D

**KEY WORDS**

Temperature, thermometers, measurement of temperature, dynamic characteristics, 3890D



## **PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vytvořil sám s využitím uvedených zdrojů.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KÁHN, L. *Metrologické charakteristiky teploměrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Vdoleček, CSc..



**PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Františkovi Vdolečkovi CSc. za odborné konzultace a rady, které mi pomohly při vypracování této práce.



**OBSAH:**

<b>1. Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Teplota.....</b>	<b>15</b>
2.1 Teploměry .....	15
2.1.1 Teploměry elektrické .....	16
2.1.1.1 Teploměry odporové .....	16
2.1.1.2 Teploměry termoelektrické .....	18
<b>3. Charakteristiky měřících přístrojů.....</b>	<b>19</b>
3.1 Statické charakteristiky měřících přístrojů.....	19
3.2 Dynamické charakteristiky měřících přístrojů .....	19
3.2.1 Přechodová charakteristika .....	20
3.2.2 Rychlostní charakteristika .....	21
3.2.3 Frekvenční charakteristika .....	21
<b>4. Návrh pracoviště .....</b>	<b>23</b>
4.1 Multimetr 3890D .....	23
4.2 Teploměry .....	24
4.3 Nádoba na kapalinu .....	25
4.4 Software .....	25
4.4.1 USB.....	25
4.4.2 Návrh softwaru .....	28
4.5 Zapojení měřícího obvodu.....	31
<b>5. Zkušební měření.....</b>	<b>33</b>
5.1 Postup měření .....	33
5.2 Naměřené hodnoty .....	33
<b>6. Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>39</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>41</b>



## 1. Úvod

Teplota je jedna z nejměřenějších veličin a patří mezi základní veličiny soustavy SI. Udává tepelný stav hmoty a ovlivňuje téměř všechny děje v přírodě. Proto v technické praxi je důležité znát teplotu látky, se kterou pracujeme, a také teploty okolí.

S měřením teploty se setkáváme už v dávné historii, kdy ovšem ještě neexistovalo žádné zařízení použitelné k měření teploty a tak se lidé řídili například vlastním vnímáním teploty nebo barvou tavených materiálů, atd. První teploměry se objevily počátkem 17. století a pracovali na principu teplotní roztažnosti vzduchu. V roce 1631 francouzský lékař Jean Grey vytvořil první teploměr založený na principu teplotní roztažnosti kapalin. Ve svém teploměru použil jako teploměrnou látku vodu, která se ale ukázala nepříliš vhodná a proto se hledaly další možnosti. V roce 1641 sestrojil toskánský vévoda Ferdinand II. první lihový teploměr, který se spolu s teploměrem rtuťovým používá dodnes. Kvůli zvyšujícím se požadavkům v průběhu času vzniklo mnoho dalších typů teploměrů.

V dnešní zrychlující se době je právě rychlost měření důležitá vlastnost. Měření teploty je spojeno s časovým zpožděním, které je dáno využitým fyzikálním jevem, na kterém je teploměr založen. Právě toto časové zpoždění, mimo jiné, nám popisují dynamické charakteristiky.

V této bakalářské práci budeme pracovat s teploměry elektrickými, jejichž výstup je snadno zpracovatelný na PC. Musíme ovšem myslet na to, že převod vstupního signálu na signál zpracovatelný na PC a jeho přepočty nám vnášejí do měření nepřesnosti.



## 2. Teplota

„Teplota je veličina, která charakterizuje, zda látka při tepelném kontaktu s jinou látkou bude či nebude v tepelné rovnováze“ [1], což znamená, že pokud k sobě přiložíme 2 látky a nebudou si předávat teplo, mají stejnou teplotu. Hodnotu teploty ovšem nezjistíme, k tomu potřebujeme přesně definovanou stupnici založenou na teplotní závislosti jiných fyzikálních jevů, např. teplotní roztažnost nebo elektrický odpor, napětí a další.

Teplotních stupnic existuje několik, základní je stupnice termodynamická, která vychází z účinnosti ideálního Carnotova cyklu:

$$\eta = \frac{T - T_0}{T} \quad (1)$$

Kde  $\eta$  je účinnost Carnotova cyklu

$T$  je teplota ohříváče

$T_0$  je teplota chladiče

Jednotka termodynamické stupnice je K – kelvin, podle irského fyzika Williama Thomsona lorda Kelvina, nejnižší teplota je 0K označovaná jako absolutní nula, protože při ní ustává veškerý tepelný pohyb částic a je definovaná jako 273,16-tý díl trojného bodu vody.

Další stupnice je stupnice Celsiova, jednotkou této stupnice je °C – stupeň Celsia, podle švédského matematika a fyzika Anderse Celsia. Tato stupnice je dána teplotní objemovou roztažností rtuti mezi bodem tuhnutí vody 0°C a bodem varu vody 100 °C. Původní bod tuhnutí vody byl později upřesněn na 0,01°C.

Velikostně 1K odpovídá 1°C. Použijeme-li klasické označení  $T$  pro termodynamickou teplotu a  $t$  pro teplotu Celsiovu, mezi stupnicemi platí přepočít

$$T = t + 273,15 \quad (2)$$

V anglosaských zemích se používá stupnice Fahrenheitova s jednotkou °F – stupeň Fahrenheita, podle německého fyzika Gabriela Fahrenheita, která byla původně definovaná jemu nejnižší dosaženou teplotou 0°F a teplotou lidského těla 98°F, později změněno na teplotu tuhnutí vody 32°F a teplotu varu vody 212°F. Použijeme-li označení  $t_F$  pro teplotu Fahrenheita, pak pro přepočty mezi stupnicemi platí vzorec

$$t_F = \frac{9t}{5} + 32 \quad (3)$$

$$t_F = \frac{9T}{5} - 459,67 \quad (4)$$

### 2.1 Teploměry

Přístroje pro měření teploty se nazývají teploměry. Podle využitého fyzikálního principu teploměry dělíme na

- Dilatační
- Elektrické

- Optické
- Speciální

Podle typu teploměrné látky dělíme teploměry na

- Kapalinové
- Kovové
- Polovodičové
- Plynové

A podle styku s měřenou látkou na

- Dotykové
- Bezdotykové

### 2.1.1 Teploměry elektrické

Mezi teploměry elektrické řadíme teploměry, jejichž princip je založený na teplotní závislosti jedné z elektrických veličin - odpor, proud, napětí. Díky jejich výstupu jsou to nejrozšířenější teploměry užívané v automatických systémech.

#### 2.1.1.1 Teploměry odporové

Využívají závislosti odporu materiálu na teplotě. Tato závislost je dána teplotním součinitelem  $\alpha$ , střední hodnota součinitele při teplotách 0°C až 100°C je dána vztahem

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad (5)$$

Tyto teploměry měří v rozmezí teplot -259°C až 961°C, což jsou teploty trojného bodu vodíku a tuhnutí stříbra. Čidla teploměrů se nazývají měřicí odpory a vyrábějí se z těchto materiálů

*Tabulka 1: Parametry odporových materiálů.*

Materiál	$\alpha$ (K <sup>-1</sup> )	Rozsah (°C)
Platina	0,00385 až 0,00391	-200 až 850
Nikl	0,00617 až 0,00675	-70 až 150
Měď	0,00426 až 0,00433	-50 až 150
Termistory	-0,015 až -0,06	-80 až 200
Elektrolyty	-0,015 až -0,10	0 až 100

Základní materiál v této skupině teploměrů je platina, která se používá ve vysoké čistotě 99,9 % až 99,99 %, zbytek tvoří znečištění, např. indium, železo. Díky svým vlastnostem se platinové teploměry řadí mezi nejpresnější a také se používají jako etalony. Dříve byla závislost odporu na teplotě vyjadřována polynomem 3. stupně, to se ovšem změnilo, pro kladné teploty Celsiovy stupnice se používá:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (6)$$

Pro záporné teploty se používá:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + (C - 100)t^3) \quad (7)$$

Kde  $R_t$  je odpor při dané teplotě

$R_0$  je odpor při základní teplotě  $0^\circ\text{C}$

A, B, C, jsou konstanty odporového materiálu

t je teplota v  $^\circ\text{C}$

Pokud se měřené teploty pohybují v malém rozmezí, lze jejich odporovou závislost na teplotě považovat za lineární.

Termistory jsou teploměry odporové polovodičové. Jejich výhoda oproti kovovým odporovým teploměrům je až 10x vyšší citlivost a nízká cena, nevýhodou je jejich velice nelineární odporová závislost a nutnost kalibrovat každý kus samostatně. Vyrábějí se 2 typy

- Negastory, jejich odpor se zvyšující se teplotou klesá
- Pozistory, jejich odpor se zvyšující se teplotou roste

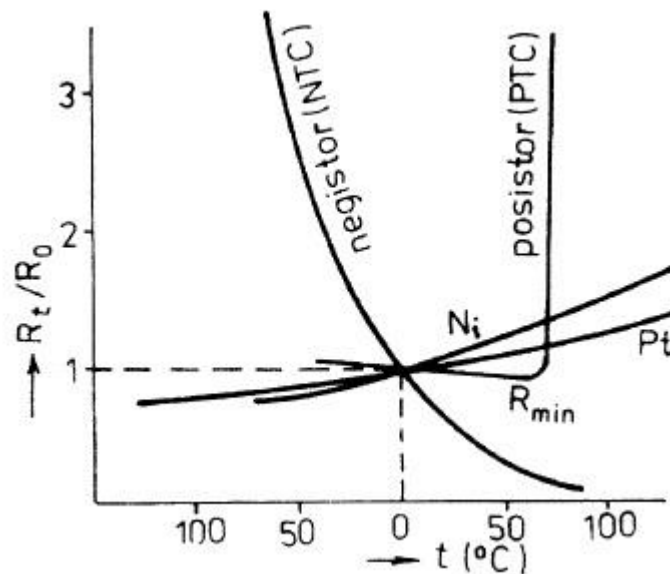
Díky svým rozměrům se většinou používají v místech, kam se jiné teploměry nevejdou. K měření se používají jen negastory, pozistory slouží jako teplotní pojistky. Vztah pro teplotní závislost negastoru je

$$R = R_0 \exp \left[ -B_t \left( \frac{1}{T_0} \right) - \left( \frac{1}{T} \right) \right] \quad (8)$$

Kde  $R$  je odpor při teplotě T

$R_0$  je odpor při teplotě  $T_0$

$B_t$  je materiálová konstanta



Obr. 1 Teplotní závislosti odporu vybraných materiálů.

### 2.1.1.2 Teploměry termoelektrické

Termoelektrické teploměry jsou založeny na principu termoelektrického nebo Seebeckova jevu. Pokud spojíme dva dráty z různých kovů do uzavřeného obvodu a umístíme je do prostředí s rozdílnými teplotami, tak citlivý voltmetr, zapojený do obvodu, zaznamená výchylku. Termoelektrické teploměry tedy slouží jako generátory, jejichž napětí závisí na teplotě podle vzorce

$$U_{te} = \alpha(t_1 - t_2) \quad (9)$$

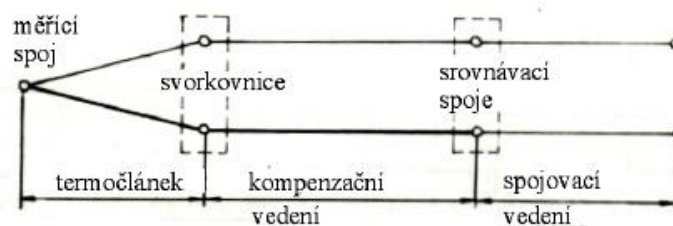
Kde  $U_{te}$  je generované napětí v mV

$\alpha$  je koeficient úměrnosti, tzv. Seebeckův koeficient

$t_1$  je teplota měřicího spoje

$t_2$  je teplota srovnávacího spoje

Spoj umístěný do měřicího prostředí se označuje jako spoj měřící nebo teplý a druhý spoj jako srovnávací nebo studený. Kvůli odporu by měl vodič mít co největší průměr, běžně se volí 0,5 až 4mm, u vodičů z ušlechtilých kovů se volí průměry 0,2 až 0,5mm. Rozsah termočlánků je od  $-270^{\circ}\text{C}$  do  $2320^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 2 Schéma termoelektrického teploměru

### 3. Charakteristiky měřících přístrojů

#### 3.1 Statické charakteristiky měřících přístrojů

Tyto vlastnosti se určují v ustáleném stavu a jsou popsány algebraickými rovnicemi. Nejdůležitější vlastnosti jsou přesnost, citlivost a spolehlivost.

Přesnost je schopnost přístroje udávat veličinu co nejbližší skutečné hodnotě v rozsahu přípustné chyby, která je ve většině případů dána třídou přesnosti. Ta udává maximální přípustnou chybu v celém rozsahu, výsledek se zaokrouhluje na nejbližší vyšší číslo z doporučené řady.

$$T_p = \frac{\Delta_{max}}{M} 100 \quad (10)$$

Kde  $T_p$  je třída přesnosti v %

$\Delta_{max}$  je maximální chyba v celém rozsahu

$M$  je měřící rozsah

„Citlivost je schopnost přístroje reagovat svým výstupem na změnu vstupní veličiny“ [2] a definuje se vztahem

$$c = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} = y' \quad (11)$$

Ideální citlivost má lineární charakteristiku, což znamená, že citlivost je konstantní v celém rozsahu.

Spolehlivost je souhrn vlastností vypovídajících o schopnosti přístroje plnit požadovanou funkci. Nejvýznamnější vlastností je bezporuchovost, která je definována jako „schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období“. V případě měřících přístrojů ji lze chápat jako schopnost přístroje udávat hodnoty v daných mezích přesnosti, v daném časovém období.

#### 3.2 Dynamické charakteristiky měřících přístrojů

Důležitější jsou pro nás charakteristiky dynamické. Měření teploty je spojené s tepelnou kapacitou, setrvačností teploměru a dynamické charakteristiky se určují v přechodovém stavu, což je stav, kdy se výstupní veličina ještě neustálila, to pro nás představuje problém ustálení výstupní veličiny. Často též chceme znát dynamickou chybu, v přechodovém stavu, což je vlastně rozdíl aktuální výstupní teploty a skutečné teploty. Dynamické charakteristiky popisujeme diferenciálními rovnicemi s konstantními koeficienty,

$$a_n y^n + a_{n-1} y^{n-1} + \dots + a_2 \ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_0 y = x \quad (12)$$

Jednodušší případy popisujeme rovnicemi nultého nebo prvního řádu.

Grafickým zobrazením těchto vlastností jsou dynamické charakteristiky:

- Přechodová charakteristika je odezva systému na skokovou změnu vstupní veličiny

- Rychlostní charakteristika je odezva na změnu vstupní veličiny konstantní rychlostí
- Impulzní charakteristika je odezva na změnu vstupu ve formě impulzu
- Frekvenční charakteristika je odezva ukazující chování soustavy při harmonické změně vstupní veličiny

Všechny tyto charakteristiky můžeme zjistit výpočty nebo je můžeme určit experimentálně.

### 3.2.1 Přejchodová charakteristika

Základní je charakteristika přechodová, v případě rovnice 1. řádu má vzorec

$$a_1 \dot{y} + a_0 y = x \quad (13)$$

Rovnici můžeme přepsat

$$T = \frac{a_1}{a_0}, \quad k = \frac{1}{a_0}$$

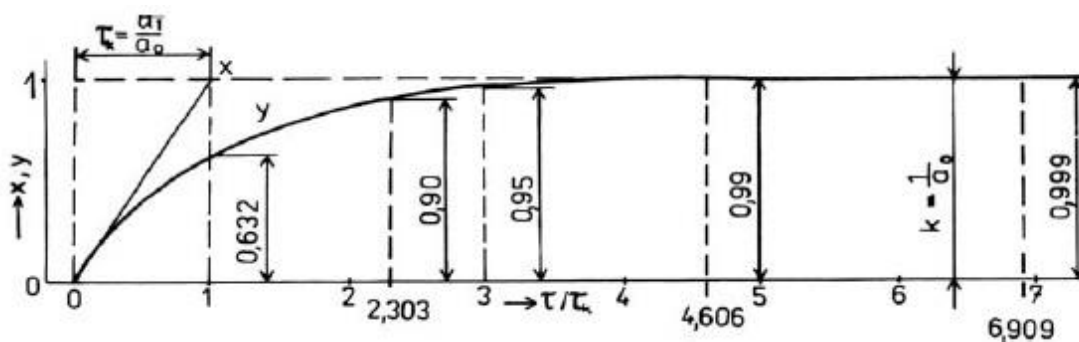
$$T \dot{y} + y = kx \quad (14)$$

$$y = k \left[ 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (15)$$

Kde  $T$  je časová konstanta

$t$  je čas v sekundách

$k$  je zesílení



Obr. 3 Přejchodová charakteristika 1. řádu.

Časová konstanta udává, za jakou dobu dosáhla výstupní veličina 63,2% konečné hodnoty, čemuž na obrázku 3 odpovídá subtangenta  $\tau_k$ , a také dobu, jakou by trvalo teploměru dojít do stavu ustáleného, pokud by byla zachována počáteční rychlost změny výstupní veličiny. Dynamická chyba je dána vztahem

$$y_d = k e^{-\frac{t}{T}} \quad (16)$$

Tabulka 2: Hodnoty dynamických chyb

T	0	1	2,303	3	4,606	6,909
y	0	0,632	0,900	0,950	0,990	0,999
y <sub>d</sub>	1	0,368	0,100	0,050	0,010	0,001

Tabulka 2 udává hodnoty dynamické chyby v násobcích časové konstanty. Za dobu ustálení přístroje se považuje doba  $3T$ , kdy se dynamická chyba sníží na hodnotu 5%.

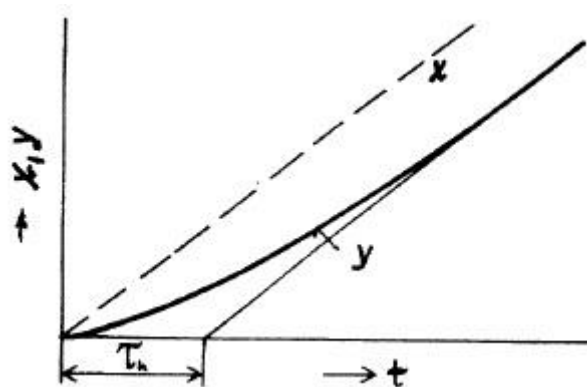
### 3.2.2 Rychlostní charakteristika

Rychlostní charakteristika udává průběh výstupní veličiny při konstantní rychlosti změny vstupní veličiny. Tato charakteristika se používá např. při ověřování teploměrů v lázni, jejíž teplota roste pomalou konstantní rychlostí. Pokud budeme uvažovat měřenou veličinu  $x$  rostoucí rychlostí  $v$ , pak rovnice 1. řádu je

$$y = v \left[ t - T \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] \quad (17)$$

A rovnice pro dynamickou chybu je

$$y_d = vT \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (18)$$



Obr. 4 Rychlostní charakteristika 1. řádu.

### 3.2.3 Frekvenční charakteristika

Frekvenční charakteristika vyjadřuje změnu amplitudy a fázové posunutí výstupního signálu vzhledem k signálu vstupnímu. Toto opět způsobuje dynamickou chybu při měření. Vstupní a výstupní signály jde popsat rovnicemi

$$x = x_0 \sin \omega t = x_0 e^{j\omega t} \quad (19)$$

$$y = y_0 \sin(\omega t + \psi) = y_0 e^{j(\omega t + \psi)} \quad (20)$$

Kde  $x_0$  je amplituda vstupního signálu

$y_0$  je amplituda výstupního signálu

$\omega$  je frekvence harmonického signálu

$\psi$  je fázové posunutí výstupního signálu

Frekvenční charakteristiku můžeme získat pomocí frekvenčního přenosu  $G(j\omega)$ , ten je dán poměrem výstupního signálu k signálu vstupnímu

$$G(j\omega) = \frac{y}{x} = \frac{y_0 e^{j(\omega t + \psi)}}{x_0 e^{j\omega t}} = A e^{j\psi} \quad (21)$$

Kde  $A$  je poměrná amplituda  $A = \frac{y_0}{x_0}$ , zvaná modul

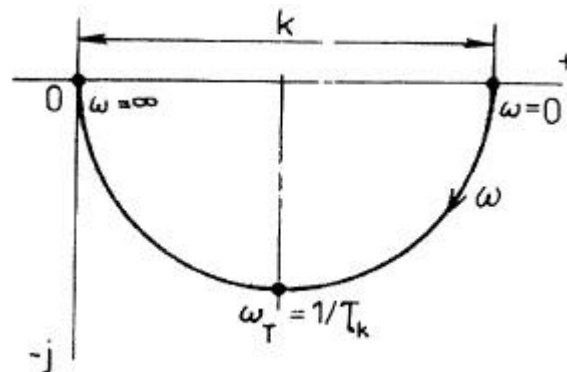
Abychom mohli frekvenční charakteristiku zakreslit, je třeba přenosovou funkci rozdělit na reálnou a imaginární složku

$$G(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) \quad (22)$$

Pro přístroj popsaný rovnicí prvního řádu je pak přenos

$$G(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T} \quad (23)$$

Průběh této charakteristiky pak můžeme vidět na obrázku 5.



Obr. 5 Průběh frekvenční charakteristiky 1. řádu.

## 4. Návrh pracoviště

Technický pokrok je nezastavitelný a vzhledem k tomu, že dosud používané zobrazovací zařízení podporuje staré rozhraní RS-232, je potřeba mít k dispozici i novější řešení, které spočívá v tom, že máme k dispozici multimetr podporující USB rozhraní. Mimo to máme k dispozici také novější verze nejpoužívanějších teploměrů, které je potřeba odzkoušet.

### 4.1 Multimetr 3890D

Jedná se o multimetr od firmy METEX, podporující USB rozhraní, s 3<sup>3</sup>/<sub>4</sub> místným displejem, automatickou kontrolou polarit a rychlostí 3-4 měření za sekundu. Multimetr podporuje automatickou volbu rozsahů a má v sobě paměť na 10 hodnot. K multimetru je dodán USB kabel k propojení např. s PC, měřící vodiče, CD se softwarem, návod k použití v anglickém jazyce a pouzdro, ve kterém se může multimetr i s příslušenstvím přenášet.

Tabulka 3: Měřicí specifikace multimetru METEX 3890D.

Veličina	Měřicí rozsah	Přesnost	Nejmenší rozlišení
Stejnoseměrné napětí	0 - 1000V	±0,5% ±2dgts ±0,8% ±2dgts	100μV
Střídavé napětí	0 - 750V	±1% ±3dgts	1mV
Stejnoseměrný proud	0 - 20A	±0,8% ±2dgts	0,2μA
Střídavý proud	0 - 20A	±1% ±5dgts ±1,5% ±5dgts ±3% ±4dgts	0,2μ
Odpor	0 - 40MΩ	±0,8% ±4dgts ±0,8% ±2dgts ±1% ±4dgts ±1,5% ±5dgts	0,1Ω
Kapacita	0 - 200μ	±2% ±5dgts ±3% ±5dgts ±5% ±5dgts	1pF
Frekvence	0 - 4MHz	±0,1% ±1dgt	1Hz
Test spojitosti	Bzučení pod 80Ω		
Logické úrovně			
Test diod			
Zesílení tranzistorů			



*Obr. 6 Sada multimetru Metex 3890D.*

## 4.2 Teploměry

Teploměry použité v této bakalářské práci patří do sady DIDAKTIK 10 od značky Sensit. Jedná se o sadu 8 teploměrů, redukčního přípravku a informační CD, vytvořené pro studijní účely. Z těchto 8 teploměrů jsme k měření vybrali 4, 3 odporové teploměry – PT100/3850, PT1000/3850, Ni1000/5000 a 1 termočlánek. V případě termočláneku jsem při zkušebních měřeních narazil na problém, který spočíval v nedostatečném rozlišení multimetru, proto jsme se rozhodli jej nepoužít. Parametry teploměrů jsou v příloze.



Obr. 7 Sada didaktik 10.

### 4.3 Nádoba na kapalinu

Při volbě nádoby na kapalinu jsme jako kritéria brali v úvahu velikost nádoby a schopnost omezit únik tepla do okolí. S vedoucím práce jsme se shodli, že vhodnou volbou je termohrněk, který je třeba lehce upravit do použitelného stavu. Dále jsme se rozhodli, vzhledem ke konstrukci teploměrů, použít přípravek, který sice neumožňuje přímý kontakt teploměru s kapalinou, ale zamezuje přímému kontaktu čidla s kapalinou a tím zamezuje jeho předčasnému opotřebením. Jedná se o mosaznou trubičku, do které budeme teploměr vkládat.

### 4.4 Software

Na CD přiloženém k multimetru je k dispozici software, který zobrazuje hodnoty z multimetru, ten ovšem podporuje operační systém Windows XP, případně starší verze. 8. dubna 2014 Microsoft ukončil softwarovou podporu Windows XP, což nás opět vede k tomu, že je potřeba mít k dispozici novější řešení. K multimetru jsem vytvořil software, který podporuje měření s vybranými teploměry, ale nejprve je potřeba si něco říct o USB.

#### 4.4.1 USB

USB – universal serial bus – je univerzální sériová sběrnice, která slouží k připojení periférií k počítači. Byla navržena za účelem sjednocení připojení periférií a v dnešní době je dostupná téměř na každém zařízení, které komunikuje s počítačem a v některých případech může sloužit i jako nabíječka. Výhodou USB oproti starším

přípojkám je technologie Plug and Play, která umožňuje zařízení připojit do počítače bez nutnosti restartovat.

USB bylo navrženo v roce 1995, ovšem rozšířilo se až v roce 1998 verzí USB 1.1, která podporovala přenosové rychlosti 1,5Mbit/s a 12Mbit/s. Pro jednoduché rozlišení se konektor vyráběl v bílé barvě. USB 2.0 přišlo v roce 2000 a nabízí přenosovou rychlost 480Mbit/s. Je zpětně kompatibilní a vyrábělo se v černé barvě. USB 3.0 přišlo v roce 2010, díky většímu počtu vodičů podporuje přenosovou rychlost 5Gbit/s, je kompatibilní s USB 2.0 a má modrou barvu.

Existují 3 typy konektoru s různými velikostmi pro různé účely:

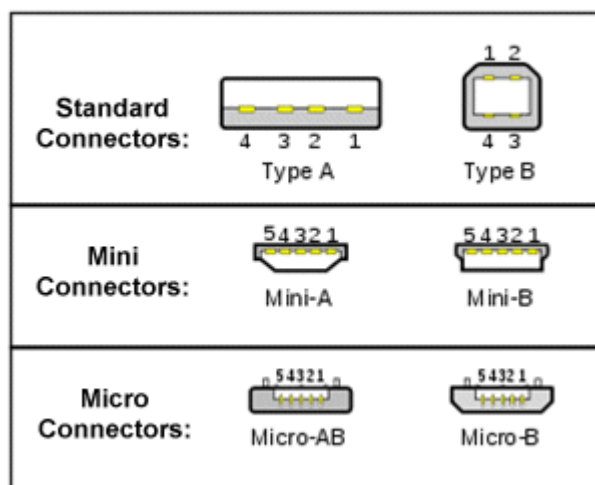
- Starší standardní konektor
- Konektor typu „mini“
- Konektor typu „micro“

Na rozdíl od jiných typů konektorů, jako například HDMI, USB konektory se ještě dělí na typ A a typ B. Toto bylo navrženo jako ochrana proti přetížení a poškození zařízení, proto jen typ A nabízí možnost napájení. V běžné praxi se používá standardní přípojka typ A a typ B podle potřeby. USB on-the-go je novinka vytvořená kvůli rozšiřujícím se zařízením, která mohou sloužit jako USB hostitel, ale i jako klasické zařízení, tato možnost je používána zejména u mobilních telefonů nebo hudebních přehrávačů, které mohou přehrávat z USB flash disku, ale v případě zapojení do počítače slouží jako zařízení.



*Obr. 8 Typy konektoru zleva micro B, UC E6 USB, mini B, zásuvka typ A, typ A, typ B.*

USB sběrnice se skládá ze 4 vodičů, napájecí napětí, uzemnění a 2 datové vodiče. Pin 1 je napájení, piny 2 a 3 jsou datové piny a pin 4 je uzemnění. Na obrázku 3 ovšem můžeme vidět 5 pinů u mini a micro konektorů, který v případě USB on-the-go zařízení slouží ke zjištění, zda je zařízení hostitel nebo zařízení.

**Male Connection Types:**

*Obr. 9 Ukázka pinů USB konektorů.*

Komunikace probíhá pomocí tzv. rour, každé zařízení musí mít alespoň jednu komunikační rouru a jednu řídicí rouru, které musí přistupovat ke koncovému bodu. K řídicí rouře jsou vždy připojeny informace popisující dané zařízení. Tyto informace se dělí na informace

- Standartní, jejichž definice je stejná u všech USB zařízení a obsahuje např. identifikaci výrobce, třídu nebo informace o napájení
- Informace závislé na třídě
- Informace výrobce, které mohou být libovolné

USB je sběrnice řízená, což znamená, že veškeré přenosy dat inicializuje hostitel. Hostitel vyšle tzv. token paket, který popisuje typ a směr přenosu, adresu zařízení a číslo koncového bodu v zařízení. Zařízení na dané adrese se připraví na přenos, zdroj vyšle data nebo oznámí, že nemá co odeslat a nakonec příjemce odešle tzv. handshake paket jako potvrzení o úspěšném přenosu.

USB protokol obsahuje 2 kontrolní součty, jeden pro řídicí pole a jeden pro datová pole. V případě chyby je protokol schopen podle součtu opravit všechny chyby v jednom nebo dvou bitech. Protokol umožňuje řešit chyby hardwarově i softwarově. Hardwarové řešení spočívá v pokusu až 3x opakovat přenos chybných paketů. V případě neúspěchu je chyba předána klientskému softwaru, který ji řeší podle svých možností.

Roury mohou být jednosměrné nebo obousměrné a každá musí být připojena k vlastnímu koncovému bodu, komunikace v rourách je na sobě nezávislá.

USB podporuje 4 typy datových přenosů

- Řídicí přenosy, používají se ke konfiguraci zařízení při jeho připojení
- Bulk přenosy, používají se k přenosu velkého objemu dat
- Interrupt přenosy, používají se k rychlému doručení dat při asynchronních událostech

- Isochronní přenosy, slouží k přenosům v reálném čase

Bulk přenosy se využívají např. u tiskárny nebo scanneru. Přenos je sekvenční, detekce chyb je zajišťována na hardwarové úrovni a šířka datového pásma je závislá na ostatním provozu na sběrnici.

Interrupt přenosy se využívají u malých datových objemů s tím, že mohou proběhnout v libovolnou dobu. Většinou se jedná o oznámení o nějaké události, např. stisk klávesy na klávesnici, změna pozice nebo stisknutí tlačítka na myši.

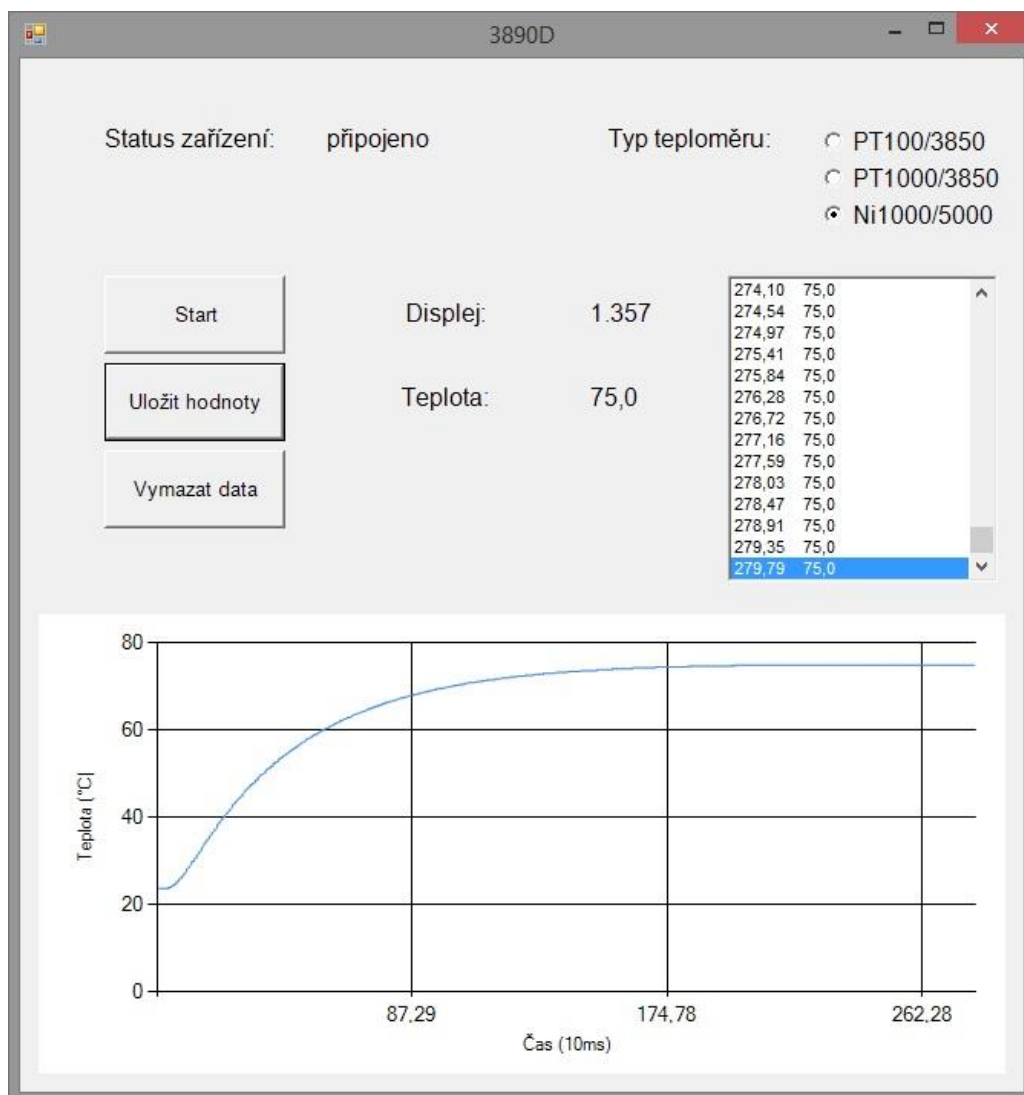
Isochronní přenos je trvalý a zpracování dat probíhá v reálném čase. Rychlost odesílání musí být stejná jako rychlost přijímání, protože data mohou být citlivá na zpoždění. Šířka pásma je závislá na vzorkovací frekvenci zařízení. Typickým příkladem tohoto přenosu je zpracování hlasu, kde se v případě nestejnomyšerného toku dat mohou objevit výpadky. Chyby v tomto typu přenosu nejsou opravovány, protože se předpokládá, že ztráty nebudou natolik velké, aby způsobovaly problémy.

Po připojení je zařízení inventarizováno a je mu přiřazena USB adresa. Inventarizace je v podstatě zjištění specifikací o připojeném zařízení. USB zařízení se dělí do tříd, např. vstupní zařízení, tiskárny, huby, a každé zařízení musí splňovat určité specifikace dané jeho třídou. Podle třídy je mu pak přidělen všeobecný ovladač, který zajišťuje všechny základní funkce pro zařízení dané třídy.

USB HID – Human Interface Device - je třída, která obsahuje například myš, klávesnici, gamepad, atd. Obecně zařízení spadající do této třídy jsou zařízení, která člověk aktivně využívá. Z možných typů přenosu podporuje HID třída pouze řídicí a interrupt přenosy. Vždy se musí vytvořit řídicí roura a komunikační roura podporující přenos od zařízení k hostiteli, opačný směr přenosu není vždy nutný. Komunikace probíhá pomocí reportů, kde každý report obsahuje hodnoty a informace jak tyto hodnoty interpretovat.

#### **4.4.2 Návrh softwaru**

Software jsem tvořil ve Visual Studiu Professional 2013 se studentskou licencí a použil jsem programovací jazyk C#. K vytvoření svého programu jsem využil volně dostupný kód `generic_hid_cs_v62` od Jana Axelsona.



Obr. 10 Grafické prostředí navrženého programu.

Status zařízení udává aktuální status zařízení, mohou nastat 2 možnosti

- Připojeno
- Nepřipojeno

Program udává aktuální stav podle toho, jestli v databázi operačního systému našel nebo nenašel připojené zařízení s odpovídajícími hodnotami vendorID = 0x0925 a productID = 0x1234.

Tlačítko Start/Stop slouží ke spuštění nebo zastavení přenosu dat. Pokud je na tlačítku text Start, přenos je neaktivní a je možné měnit typ teploměru, případně ukládat nebo mazat data. Pokud na tlačítko klikneme, text se změní na Stop, spustí se přenos a ostatní ovládací prvky jsou neaktivní, aby se zamezilo např. nechtěnému smazání dat. Dostupnost tlačítka je dána statusem zařízení.

Tlačítko Uložit hodnoty slouží k uložení naměřených hodnot do souboru, po kliknutí se objeví klasický formulář na uložení souboru, ve kterém si zvolíme název souboru, do kterého chceme data uložit, a složku do které chceme tento soubor uložit. Formát je přednastaven na textový soubor s příponou .txt. Ať už data uložíme nebo neuložíme, vždy se po uzavření formuláře ještě objeví messagebox oznamující jestli jsme data uložili nebo ne. Dostupnost tlačítka je dána aktivitou přenosu.

Tlačítko Vymazat data slouží k vymazání všech dat i grafu, dostupnost tlačítka je dána aktivitou přenosu.

Typ teploměru slouží k výběru zapojeného teploměru, aktivní může být jen jedna volba. Každá volba má jiné přepočty, proto při špatné volbě se nám data nezobrazí nebo se zobrazí ve špatném formátu. Opět volba teploměru je aktivní jen, pokud není aktivní přenos dat.

V listboxu se zobrazuje čas od začátku měření v sekundách, teplota, případně informace v případě problému s přenosem.

Graf zobrazuje naměřená data, abychom měli lepší představu o průběhu měření. Osy automaticky mění velikost podle naměřených dat.

Našel jsem několik zmínek o problému s komunikací s firmou Metex, proto jsem pracoval s tím, co jsem našel na internetu. Popis reportů jsem našel původně v německém jazyce. Zde je popis bytů

#### 1. Byte

Bit 0	znaménko	0 – plus 1 – minus
Bit 1, 2	desetinná čárka	00 – bez desetinné čárky 01 – čárka před první desetinnou číslicí 10 – čárka uprostřed čísla 11 – čárka za nejvyšší číslicí
Bit 3, 4, 5	model	000 – M-3890D
Bit 6, 7	channel	00 – main 01 – sub1 10 – sub2

Displej multimetru má k dispozici 3 čísla, v popisu označené jako channel, hlavní číslo označené jako main, číslo vlevo dole označené sub1 a číslo vpravo dole sub2.

2. Byte popisuje měřenou veličinu a rozsah, tento byt nepovažuji za důležitý vzhledem k tomu, že měříme pouze odpor.
3. Byte udává 2 levé číslice
4. Byte udává 2 pravé číslice

Celý report je rozdělen na 2 části, kde první polovina první části je uvedená výše a udává hodnotu main čísla, druhá polovina první části což jsou byty 5, 6, 7, 8, udává hodnotu sub1 čísla se stejným popisem. První polovina druhé části má opět stejný popis a popisuje hodnotu sub2 čísla.

V případě měření odporu jsou aktivní main a sub2 s tím, že sub2 udává stejné hodnoty jako main jen se zpožděním. Proto v kódu kontroluji jen první polovinu první části reportu.

#### 4.5 Zapojení měřícího obvodu

Pro měření teploty odporovými teploměry je třeba nastavit na multimetru typ měřené veličiny na odpor, který je zde značený znakem  $\Omega$  ( $\llcorner$ ). Toto nastavení slouží k měření jak odporu, tak spjitosti, ovšem odpor je tu základní volba, proto není třeba dále cokoli měnit.

Měřící vodiče zapojíme na multimetru do přípojek označených jako COM a V/ $\Omega$  a do redukčního přípravku do jedné řady s teploměrem, který zapojíme poté.

USB kabelem propojíme multimetr s PC. Status zařízení v programu se aktualizuje v momentě připojení, i když je multimetr vypnutý.



*Obr. 12 Ukázka zapojení měřícího obvodu.*

Po zapnutí multimetru je potřeba chvíli počkat, dokud se hodnota neustálí, poté je obvod připraven k měření.



## 5. Zkušební měření

### 5.1 Postup měření

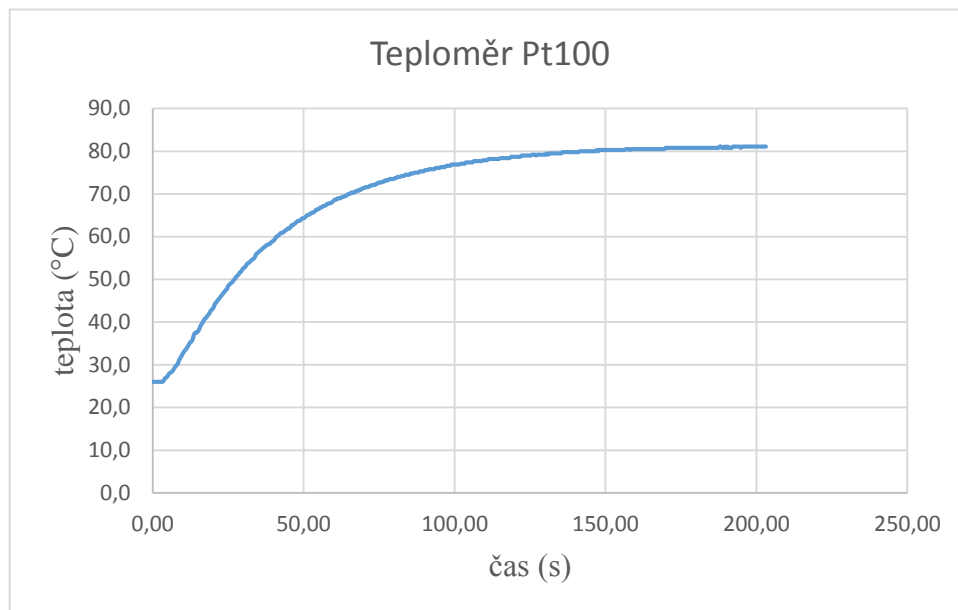
1. Zapojíme měřící obvod, viz. kapitola 4.5.
2. Spustíme měřící software.
3. Nalijeme kapalinu do nádoby a zavřeme víkem.
4. Otvorem ve víku blíž k okraji vložíme do nádoby mosaznou trubičku, druhým otvorem vložíme referenční teploměr a počkáme asi 2 minuty, aby se teploty trubičky a kapaliny vyrovnaly, a aby se ustálila teplota referenčního teploměru.
5. Spustíme měření a teploměr vložíme do mosazné trubičky až na dno.
6. Po obdržení požadovaných hodnot měření zastavíme a naměřené hodnoty uložíme pro další zpracování.

### 5.2 Naměřené hodnoty

Měření teploty teploměrem Pt100/3850

*Tabulka 4: Zkrácená tabulka naměřených hodnot teploměrem Pt100/3850.*

čas	teplota	čas	teplota
0,00	26,0	66,61	70,3
3,61	26,2	72,73	72,1
4,04	26,8	78,85	73,5
4,48	27,0	87,17	75,0
4,92	27,3	87,61	75,0
5,35	27,8	95,92	76,3
5,79	28,1	115,61	78,4
6,23	28,3	125,67	79,2
6,67	28,6	135,73	79,8
10,61	33,3	145,36	80,0
20,66	44,3	155,42	80,3
26,80	49,8	165,48	80,5
33,36	54,8	175,54	80,8
41,23	60,1	185,61	80,8
49,11	64,0	195,66	81,1
56,54	67,2	203,10	81,1

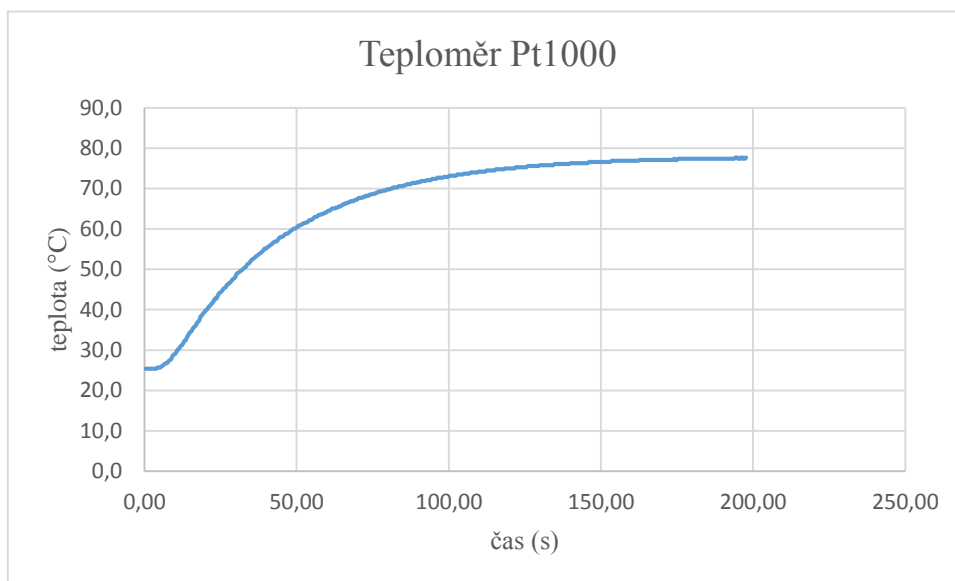


Obr. 13 Graf zobrazující naměřené hodnoty na teploměru Pt100/3850.

#### Měření teploty teploměrem Pt1000/3850

Tabulka 5: Zkrácená tabulka naměřených hodnot teploměrem Pt1000/3850.

čas	teplota	čas	teplota
0,00	25,4	80,06	69,8
4,26	25,7	85,30	70,8
8,31	27,5	90,12	71,6
11,81	31,0	95,37	72,4
16,18	35,7	100,18	73,2
20,12	39,9	105,43	73,7
25,37	44,6	110,24	74,2
30,18	48,8	120,30	75,0
35,43	52,5	130,37	75,8
40,24	55,4	140,43	76,3
45,06	58,0	150,06	76,6
50,31	60,6	160,12	76,9
55,12	62,4	170,18	77,1
60,37	64,5	180,24	77,4
65,18	66,1	190,31	77,4
70,43	67,7	197,74	77,7
75,24	68,7	207,34	77,7

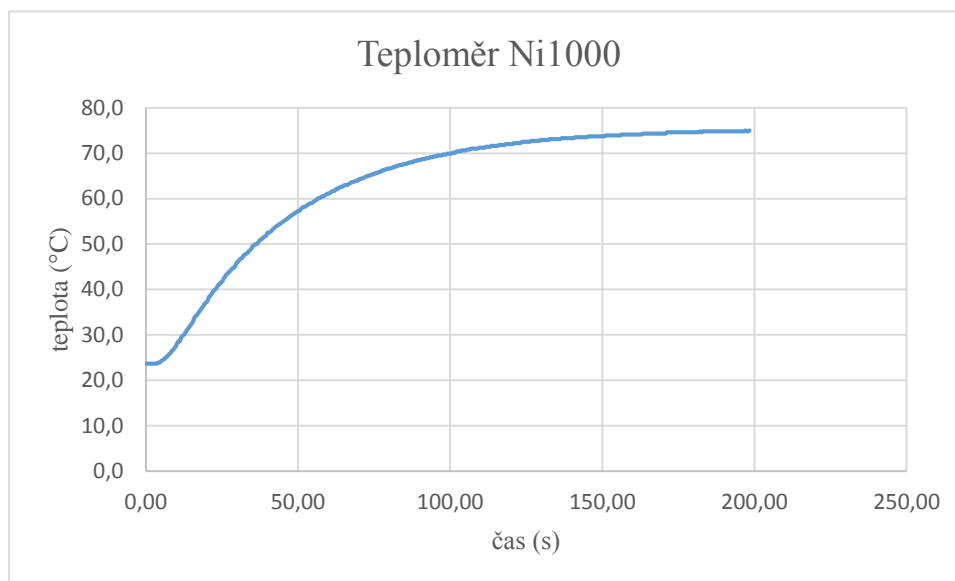


*Obr. 14 Graf zobrazující naměřené hodnoty na teploměru Pt1000/3850.*

#### Měření teploty teploměrem Ni1000/5000

*Tabulka 6: Zkrácená tabulka naměřených hodnot teploměrem Ni1000/5000*

čas	teplota	čas	teplota
0,00	23,7	80,28	66,6
4,05	23,9	85,10	67,6
8,10	26,0	90,35	68,5
11,16	28,6	95,15	69,3
16,41	34,2	100,41	69,9
20,35	37,6	105,22	70,6
25,16	41,8	110,03	71,2
30,41	46,2	115,28	71,6
35,22	49,6	120,10	72,0
40,03	52,5	130,16	72,9
45,28	55,0	140,22	73,3
50,10	57,3	150,29	73,7
55,35	59,4	160,35	74,1
60,16	61,1	170,41	74,3
65,41	63,0	180,03	74,6
70,22	64,3	190,10	74,8
75,03	65,5	198,41	75,0



Obr. 15 Graf zobrazující naměřené hodnoty teploměrem Ni1000/5000.

## 6. Závěr

Bakalářská práce se zabývala teplotou, která je jednou z nejměřenějších veličin. Byla zaměřená na metrologické charakteristiky teploměrů, a to především charakteristiky dynamické. V praktické části se zabývala návrhem jednoduchého laboratorního pracoviště s využitím teploměrů Sensit a jejím výsledkem je jednoduchá laboratorní úloha. Ke čtení hodnot teploměrů bylo využito multimetru Metex 3890D, který umožňuje komunikaci s PC přes USB rozhraní. Pro tuto komunikaci byl napsán jednoduchý program, který zároveň vykresluje graf z naměřených hodnot.

Laboratorní úloha je koncipována tak, aby se pomocí ní mohli studenti v laboratorních cvičeních prakticky seznámit s přechodovými charakteristikami základních odporových teploměrů.

Původní záměr umožnit i sledování dynamické charakteristiky termočlánku se bohužel nezdařil. Jeho výstup, což je změna termoelektrického napětí, je v případě změny teploty o 1°C menší než rozlišení multimetru, takže není možné tuto změnu sledovat v použitelné přesnosti. K měření termoelektrického napětí by bylo potřeba použít přesnější multimetr, případně by se mohl použít teploměr s převodníkem na unifikovaný signál a PC s měřicí kartou.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MAREŠ, Luděk. Teplota a její měření. [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [2] JENČÍK, Josef a VOLF, Jaromír. *Technická měření*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 2000, 212 s. ISBN 80-010-2138-6.
- [3] SLÁDEK, Zdeněk a VDOLEČEK, František. *Technická měření*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 220 s. ISBN 80-214-0414-0.
- [4] Wikipedia: *Teploměr* [online]. naposledy editována 1. 4. 2014 v 13:29. Dostupné z: Teploměr. Wikipedia [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9B>
- [5] Wikipedia: *USB* [online]. last modified on 19 May 2014 at 03:58. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/USB>
- [6] *Stack Overflow* [online]. Dostupné z: <http://stackoverflow.com/>
- [7] *Universal Serial Bus: Device Class Definition for Human Interface Devices (HID)* [online]. Dostupné z: [http://www.usb.org/developers/devclass\\_docs/HID1\\_11.pdf](http://www.usb.org/developers/devclass_docs/HID1_11.pdf)
- [8] MALÝ, Martin. USB 2.0 - díl 1. [online]. 22. 2. 2005. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-1.html>
- [9] MALÝ, Martin. USB 2.0 - díl 2. [online]. 10. 3. 2005. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-2.html>
- [10] FURNIER, Bernd. USB I/O-Kommunikation mit DMM M-3890DT (Fa. Conrad)?. In: [online]. Dostupné z: <https://forum.gsi.de/index.php?t=tree&th=1024&start=0&rid=0&S=6b61b7d8edab1a7adcba6a606cb2e45>



## **PŘÍLOHY**

CD obsahující

- Elektronickou podobu práce
- Parametry teploměrů
- Charakteristiky teploměrů
- Zdrojový kód programu
- Spustitelný soubor programu