

Inovace laboratorní úlohy pro měření tepelné charakteristiky soustavy

Bc.Roman Bat

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

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

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman Bat**
Osobní číslo: **A18406**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Inovace laboratorní úlohy pro měření tepelné charakteristiky soustavy**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se se stávajícím stavem a konfigurací měřicí úlohy v laboratoři 53-304 na FAI UTB pro měření tepelné charakteristiky soustavy.
2. Popište základy práce a principy programování v grafickém programovacím prostředí LabVIEW.
3. Proveďte inovaci úlohy v podobě návrhu alespoň dvou nových různých tepelných soustav, včetně návrhu zapojení a ovládacího uživatelského programu v prostředí LabVIEW.
4. Navržený program umožní vzdálené ovládání a sběr dat z připojených přístrojů, bude obsahovat vhodné grafické uživatelské prostředí s možností reportu naměřených dat.
5. Vypracujte návod k laboratorní úloze, včetně návrhu protokolu o měření.
6. Proveďte měření, zpracujte výsledky a vypracujte vzorový protokol.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN ? technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
2. 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.
3. ESSICK, John. *Hands-on introduction to LabVIEW for scientists and engineers*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, c2013. ISBN 0199925151.
4. FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, c2010. ISBN 9781441964663.
5. LIPTÁK, Béla G., ed. *Instrument engineers' handbook*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, c2012. ISBN 978-1-4398-1776-6.
6. KADLEC, Karel, Miloš KMÍNEK a Pavel KADLEC. *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů*. Ostrava: Key Publishing, 2017. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-283-9.

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

Datum zadání diplomové práce: **20. prosince 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

8.6.2020

Roman Bat, v.r.

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Předmětem předložené diplomové práce je návrh nové měřicí úlohy společně s řídicím programem v software LabVIEW včetně popisu klíčových informací při tvorbě nového programu jakými jsou komunikace s podřazeným systémem, ukládání naměřených dat do souboru, aj. V teoretické části práce jsou rozebrány zejména kontaktní snímače teploty se kterými v laboratoři studenti pracují, dále pak možnosti zpracování signálů a představení softwaru LabVIEW.

V praktické části je nastin konkrétní měřicí aplikace, společně s dynamickým modelem, návrhem a detailně popsáním programem pro ovládání systému. Je zde uvedeno zadání měřicí úlohy a vzorové vypracování protokolu z měření, které se následně musí odevzdat.

Klíčová slova:

Teplota, měření teploty, LabVIEW, programování, termistor, platinový snímač, Matlab, multimetr, tepelná soustava.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design new measuring task in connection with controlling programme in the software LabVIEW including the giving of key information within creating the new programme such as the communication with a subordinate system, saving measuring data into the file, etc. The theoretical part focuses mainly on the overview of the contact sensors of a temperature which the students work with in a laboratory, furthermore, the possibilities of processing the signals and the introduction of the software Labview.

The practical part outlines particular measuring applications along with the dynamic model, the suggestion and the detailed description of the programme for controlling the system. The thesis provides the assignment of the measuring task and the sample elaboration of the measuring protocol which subsequently must be handed in.

Keywords:

temperature, measuring of temperature, LabVIEW, programming, thermistor, platinum sensor, Matlab, multimeter, heating system

Děkuji panu Ing. Milanu Navrátilovi Ph.D. vedoucímu mé diplomové práce za ochotu, obětavost a odborné rady a připomínky, které pro mě byly velikým přínosem při tvorbě této práce.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TEPLO A TEPLOTA	11
2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLoty	13
2.1 DILATAČNÍ SNÍMAČE TEPLoty	13
2.2 TERMOELEKTRICKÉ ČLÁNKY	15
2.3 SNÍMAČE TEPLA S POLOVODIČOVÝMI SENZORY.....	16
2.3.1 Termistorové snímače	17
2.4 SNÍMAČE TEPLA S ODPOROVÝMI SENZORY (RTD).....	20
2.4.1 Platinové snímače teploty	22
3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU	27
3.1 KOMPENZAČNÍ METODA	27
3.1.1 Můstková metoda	27
3.1.2 Modifikace Wheatstonův můstek.....	30
3.2 A/D PŘEVODNÍK	33
3.2.1 Kompenzační převodník	34
3.2.2 Paralelní (flash) AD převodník	35
3.2.3 Integrovaný AD převodník.....	35
3.2.4 Převodník s dvojitou integrací.....	36
3.2.5 Aproximativní AD převodník	37
3.2.6 Sigma-Delta převodník	38
4 SW LABVIEW	39
4.1 OBECNÝ POPIS	39
4.2 ČELNÍ PANEL (FRONT PANEL).....	41
4.2.1 Knihovna Controls	41
4.2.2 Numeric	42
4.2.3 Boolean	42
4.2.4 Data Containers	43
4.2.5 String & Path.....	44
4.2.6 Ring & Enum	44
4.2.7 Graph.....	44
4.2.8 I/O	45
4.2.9 Decorations	45
4.3 BLOKOVÝ DIAGRAM (BLOCK DIAGRAM).....	45
4.3.1 Paleta Functions	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	55
5 NÁVRH NOVÉ ÚLOHY	56
5.1 NÁVRH DYNAMICKÉHO MODELU V SW MATLAB	57
5.2 MĚŘICÍ SET-UP V LABORATOŘI.....	59
5.2.1 Termistor CAREL NTC015WP00	59
5.2.2 RTD LOGITRON Pt100 PIXSYS	60
5.2.3 Agilent A34410	61

6	LABVIEW – UŽIVATELSKÝ PROGRAM	62
6.1	KOMUNIKACE LABVIEW – MULTIMETR AGILIENT 34410A	67
6.1.1	Vytvoření komunikace pomocí driveru	67
6.1.2	Vytvoření komunikace pomocí LowLevel příkazů.....	69
7	LABORATORNÍ ÚLOHA	71
7.1	ZADÁNÍ	71
7.1.1	Úvod.....	71
7.1.2	Cíl.....	73
7.1.3	Schema	73
7.1.4	Postup při měření	74
7.1.5	Vyhodnocení	74
7.2	ZPRACOVÁNÍ.....	75
	ZÁVĚR	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK.....	87
	SEZNAM PŘÍLOH.....	88

ÚVOD

Cílem diplomové práce je seznámit studenty s možnostmi snímání tepla pomocí termistorů a RTD senzorů teploty, následným zpracováním získaných hodnot, tedy převod měřené hodnoty na napětí či proud. Stručné popsání SW LabVIEW, jeho základní palety pro tvorbu programu. Praktická část je zaměřena na seznámení s konkrétní úlohou, kterou je třeba měřit, analýzu daného tepelného systému pomocí návrhu dynamické rovnice a následný návrh modelu v SW Matlab pro teoretickou představu chování a vlastností dané soustavy. Dále je popsána tvorba ovládacího uživatelského programu pro měření tepelné soustavy v SW LabVIEW, možnosti čtení dat ze snímačů NTC a RTD přes altimetr Agilent a archivace dat. Na závěr je vypracovaná vzorová úloha pro měření dvou tepelných soustav pomocí snímačů PT100 a NTC.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPLO A TEPLOTA

Tepllo je veličina charakterizující přenos energie z jedné soustavy do druhé jako důsledek teplotního rozdílu mezi nimi. Takto přenesená energie se značí Q . Tepllo můžeme brát jako kladné, pokud je dodáno do systému z okolí a můžeme tak říci, že bylo systémem pohlceno. Tepllo je i záporné, jestliže přešlo ze systému do okolí a v tu chvíli o něm říkáme, že bylo uvolněno, předáno či vyzářeno. [1]

Teplota je mírou kinetické energie způsobená pohybem molekul. Jednotkou teploty je Celsiův stupeň. Teplotní rozdíl je mírou odlišnosti středních hodnot energie neuspořádaného pohybu molekul. Základní jednotkou tepla je stupeň a je v termodynamické stupnici určen jako $\frac{1}{273,16}$ teplotního rozdílu mezi absolutní nulou a trojným bodem vody, kdy trojný bod vody je teplota, při které existují současně 3 fáze – led, voda, vodní pára.

Měření teploty bylo zpočátku založeno pouze na dilataci tuhých látek, kapalin a plynů, jako např. lihový teploměr použit zpočátku Fahrenheitem a zavedením první reprodukovatelné stupnice. [2]

Termodynamická absolutní (Kelvinova) teplotní stupnice, jejíž jednotlivé teplotní stavy jsou označovány stupni Kelvinovými, je dána nulovým bodem této stupnice, tj. 0K. Ta se nazývá absolutní nulová teplota a odpovídá stavu, při němž by ustal termický pohyb elementárních částic. Druhým bodem absolutní stupnice je zév. Trojný bod vody, což je rovnovážný stav všech tří skupenství vody (led, voda, sytá vodní pára) stanovený hodnotou $T=273,16\text{K}$ (tj. $0,01^\circ\text{C}$) a tlakem $p=609,8\text{Pa}$. Základní jednotkou termodynamické teploty je Kelvin označovaný symbolem (K) a definovaný jako 273,16. Dál teplotního rozdílu mezi uvedenými dvěma teplotami, tj. teplotou trojného bodu vody a absolutní nulou.

Mezinárodní teplotní stupnice (Celsiova), stanovená pro praktické užívání v roce 1927, byla postupně doplňována a editována a poslední znění této stupnice má označení ITS90 (The International Temperature Scale of 1990) a definuje 17 pevných bodů, odpovídajících rovnovážným stavům mezi fázemi (trojné body, body tání resp. Tuhnutí při definovaném tlaku) vybraných látek (He, H₂O, Hg, Ga, In, Ag, Au, Cu). Nahrazuje tím předchozí mezinárodní šestibokou stupnici z roku 1960 určenou body tuhnutí a varu vody, varu kyslíku a síry příp. tlaku $p=101,32472\text{ kPa}$, tání zlata a stříbra. Základní jednotkou mezinárodní stupnice teploty je Celsiův označovaný ($^\circ\text{C}$) a definovaný jako 100. díly teplotního rozdílu mezi teplotou varu a tuhnutí vody při atmosférickém tlaku 101,32472 kPa. Velikost jedno-

tek obou stupnic ($^{\circ}\text{C}$, K) je shodná. Protože bod tání ledu má v absolutní stupnici hodnotu $T=273,15\text{K}$ a v mezinárodní stupnici hodnotu $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$, je v souvislosti obou stupnic dána vztahem:

$$T = \vartheta + 273,15 \quad (1)$$

V anglosaských zemích se užívá navíc stupnice Fahrenheitova ($^{\circ}\text{F}$), v níž teplotě 0°C odpovídá 32°F a teplotě 100°C odpovídá 212°F . [3]

2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLoty

K měření teploty využíváme prvky definované jako senzory teploty. Tyto senzory teploty jsou funkční prvky tvořící vstupní blok měřicího řetězce, tedy blok, který přímo v interakci s měřeným prostředím. Dle fyzikálního principu se senzory teploty dělí na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické a kapacitní či aerodynamické.

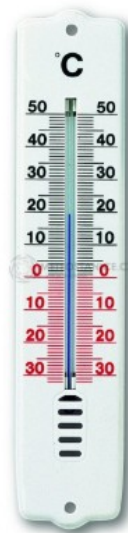
Dle styku s prostředím, které měří, se senzory teploty mohou dělit na dotykové a bezdotykové. Dále můžeme dělit senzory teploty podle transformace signálu na aktivní, které se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie (termoelektrické články) a na pasivní, u kterých s výjimkou chemických indikátorů teplot nutné elektrické napájení pro převod teploty na jinou měřitelnou fyzikální veličinu. [4]

2.1 Dilatační snímače teploty

Dilatační snímače teploty využívají mechanické roztažnosti látek v závislosti na působeném množství tepla, které ovlivňuje délku nebo objem materiálu v senzoru.

Kapalinové dilatační teploměry pracují na základě změny objemu kapaliny v závislosti na působící teplotě. Podle pracovní látky je u nich omezeno použití v závislosti na teplotě tání, či bodě varu použitého materiálu ve snímači.

Pro rtuť je teplota -38 až +365 °C, pro etylalkohol je teplota použití -100 až +60 °C a například pro pentan je teplota -190 až +15 °C.



Obrázek 1 – Kapalinový teploměr [1]

Tyčové dilatační teploměry využívají změny délky pevné látky v závislosti na snímané teplotě, která je dána vztahem:

$$l_2 = l_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (2)$$

kde:

l_2 je délka tyče při teplotě T_2

l_1 je délka tyče při teplotě T_1

α je teplotní součinitel délkové roztažnosti

Bimetalické teploměry jsou založeny na deformaci dvojkolového pásku, kdy dva pásy z různého materiálu s různou mechanickou roztažností v závislosti na teplotě jsou pevně připojeny k sobě a působením tepla dochází k mechanickému vychýlení.

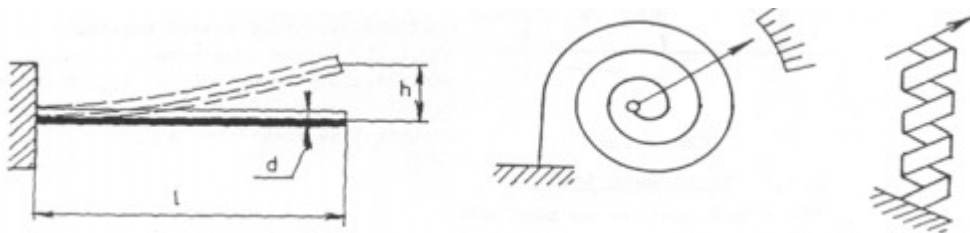
$$h = k \frac{l^2}{d} (T_2 - T_1) \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

kde:

k je součinitel prohnutí dané dvojice kovů

l je délka pásku

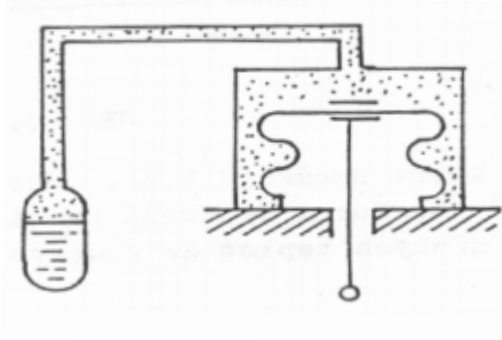
d je tloušťka pásku



Obrázek 2 – Typy dilatačních snímačů teploty [5]

Tlakové snímače teploty se dělí na plynové, parotlačné či kapalinové. Pracují na základě změny tlaku kapaliny, plynu nebo par v uzavřené nádobě při změnách teploty. Principiálně pracují tak, že tlak par, plynu nebo kapaliny se převádí pomocí tlakoměrných čidel např.

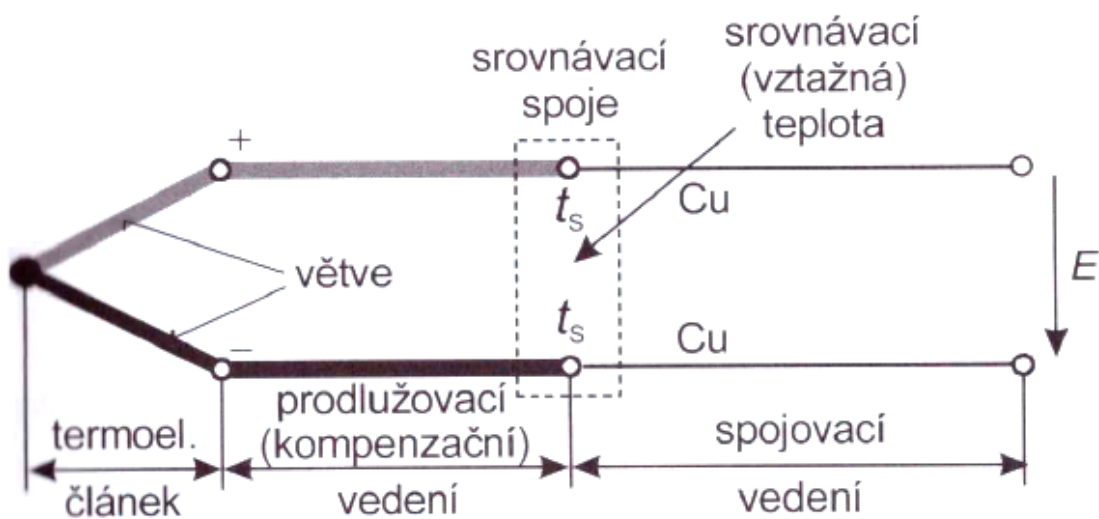
prostřednictvím vlnovce na mechanický pohyb a přepínání kontaktů. Tyto snímače se využívají převážně v termostatech nebo přímočinných regulátorech. [5]



Obrázek 3 – Tlakový snímač teploty [5]

2.2 Termoelektrické články

Takzvané termočlánky jsou založeny na Seebeckově jevu tj. principu převodu tepelné energie na elektrickou. Seebeckův jev vzniká tím, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii (v polovodičích i větší prostorovou hustotu, tj. koncentraci) a proto difundují ve větším množství do chladnějších míst než nositelé z chladnějších míst do teplejších, tím vzniká jednostranná převaha nábojů kladných nebo záporných a vzniká tak elektrické napětí (v řádu μV - mV). [6]



Obrázek 4 – Termoelektrický článek [6]

2.3 Snímače tepla s polovodičovými senzory

U polovodičů je důležitá teplotní závislost koncentrace nosiče náboje. Pro polovodičový jev platí vztah

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

kde

n je počet elektronů v jednotkovém objemu,

E je rozdíl mezi energetickými hladinami mřížky,

K je Boltzmanova konstanta,

T teplota absolutní.

Pro měrnou vodivost polovodičů platí obdobně jako u kovů vztah

$$\delta = n \cdot e^2 \frac{\tau}{m} \quad (5)$$

kde

n počet elektronů v jednotkovém objemu,

e elementární náboj,

τ relaxační čas elektronů,

m hmotnost nosiče náboje

Pro teplotní součinitel platí

$$\alpha = \frac{\delta(\ln n)}{\delta t} \approx \frac{\Delta E}{2kT} \cdot \frac{1}{T} \quad (6)$$

Odporové polovodičové senzory podle druhu použitého materiálu dělíme na:

- polykrystalické (termistory)
- monokrystalické (bez přechodu PN s dotací P, nebo N) [7]

2.3.1 Termistorové snímače

Termistor je teplotní senzor, jehož elektrický odpor je silně závislý na teplotě. Ačkoli počáteční koncept termistoru NTC poprvé objevil v roce 1833 Michael Faraday, když objevil vliv teploty na sulfid stříbra, teprve ve 30. letech 20. století byly vyrobeny první komerční termistory. Od té doby bylo v termistorové technologii provedeno nespočet vylepšení, což vedlo k velmi robustním, extrémně stabilním a vysoce přesným zařízením. [8]



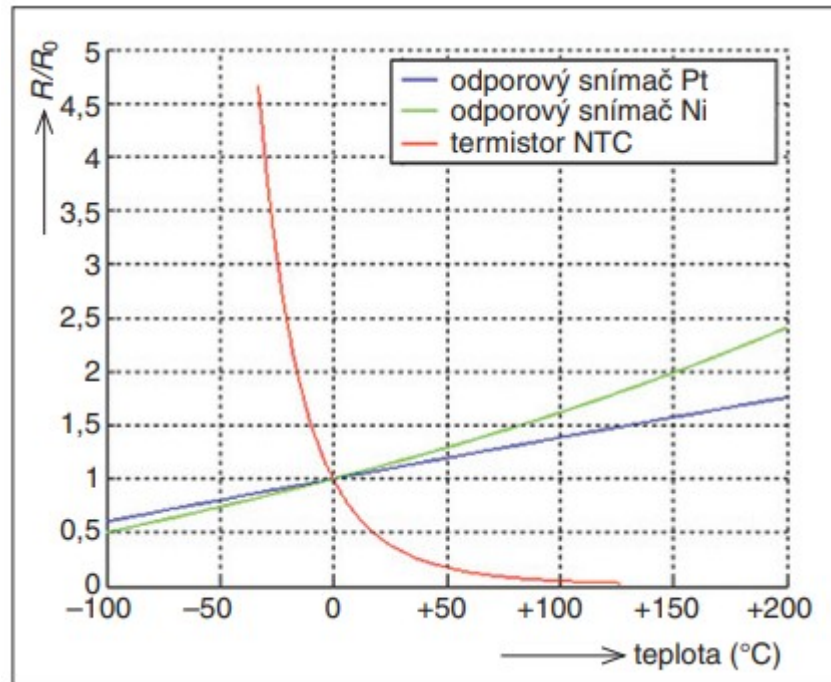
Obrázek 5 – Termistorový snímač [9]

Existují dva typy termistorů, termistory NTC a termistory PTC.

- NTC

Termistory NTC (termistory s negativním teplotním koeficientem) vykazují pokles odporu se zvyšováním teploty. Termistory NTC se vyrábějí za použití práškových oxidů kovů a přesné složení těchto oxidů a stabilizačních činidel určuje elektrické charakteristiky termistoru. Termistory NTC mají nelineární vztah odporu na teplotě a jsou schopny odolat teplotám v rozsahu od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. [9]

Termistory NTC také označované jako negastory, vzhledem k příznivé ceně nacházejí uplatnění v mnoha jednoduchých zařízeních, kde není třeba měřit teplotu s přesností na desetiny či půl stupně. Termistory se liší od odporových teplotních detektorů (RTD) v tom, že materiál používaný v termistoru je obvykle keramika nebo polymer, zatímco RTD používají čisté kovy. Reakce na teplotu je také odlišná; RTD jsou užitečné ve větších teplotních rozsazích, zatímco termistory obvykle dosahují vyšší přesnosti v omezeném teplotním rozmezí [obvykle $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $130\text{ }^{\circ}\text{C}$]. [10]



Obrázek 6 - Porovnání závislosti elektrického odporu na teplotě kovových odporových snímačů teploty Pt, Ni a termistorů NTC [10]

Závislost odporu termistoru na teplotě je silně nelineární a lze ji vyjádřit přibližným vztahem:

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (7)$$

kde

$R[\Omega]$ je odpor termistoru,

$T[\text{K}]$ je teplota,

$B[\text{K}]$ je tzv. teplotní konstanta,

$A[\Omega]$ konstanta závislá na geometrickém tvaru a materiálu senzoru.

Termistor bývá charakterizován odporem R_0 při teplotě T_0 (obvykle uváděn odpor při teplotě 25°C , na rozdíl od kovových odporových snímačů teploty u kterých je základní hodno-

ta odporu uváděna při teplotě 0°C a konstantou B (někdy značenou jako β). Konstanta A není v katalozích uváděna. Vztah je proto vhodné přepsat do tvaru

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (8)$$

kde

R_0 [Ω] je odpor při teplotě T_0 [K],

R [Ω] odpor termistoru při teplotě T [K]

Konstantu B lze určit z katalogu nebo výpočtem z katalogových hodnot závislosti odporu na teplotě (bývají uvedeny v tabulkách), případně změřením odporu termistoru při dvou různých teplotách a dosazením do vztahu

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (9)$$

kde

R_1 [Ω] je odpor termistoru při teplotě T_1 [K],

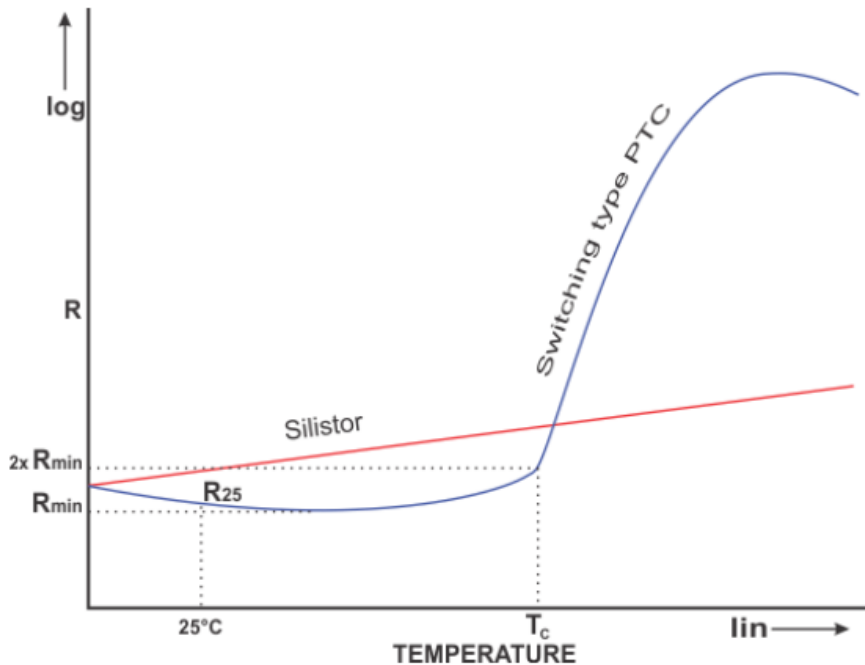
R_2 [Ω] je odpor při teplotě T_2 [K]. [10]

- PTC

Termistory PTC (termistory s pozitivním teplotním koeficientem) pracují na principu zvýšení rezistence při zvyšování teploty. Dva hlavní typy termistorů PTC zahrnují keramický spínací PTC, což je nelineární zařízení, a silikonový PTC, který je vysoce lineární. Teplota přechodu spínacích PTC je obvykle mezi 60°C a 120°C. Termistory křemíku PTC jsou obvykle dimenzovány do 150°C, pokud jsou použity nad touto teplotou, mohou vykazovat záporný teplotní koeficient.

Spínací termistory PTC jsou obvykle vyrobeny z polykrystalických keramických materiálů, které jsou vysoce rezistentní ve svém původním stavu a jsou vyrobeny jako polovodivé přísádkem příměsí. Většinou se používají jako samoregulační ohříváče PTC. Jsou však vyráběna speciální aplikační zařízení, která mohou přepínat až na 0 ° C nebo až na 200 ° C.

Silistory mají lineární charakteristiku odporu a teploty se sklonem, který je po většinu svého provozního rozsahu relativně malý. Silistory mají teplotní koeficienty odporu asi 0,7 až 0,8%°C. [11]



Obrázek 7 – Průběh teploty v závislosti na odporu u NTC a silistoru [11]

2.4 Snímače tepla s odporovými senzory (RTD)

Principem funkce je teplotní závislost odporu kovu na teplotě. Ta je způsobena rostoucím počtem srážek volných elektronů s kladnými ionty v mřížce ve vnitřní struktuře kovu při rostoucí teplotě. Jako kov jsou používány platina, nikl, molybden, výjimečně další kovy. [12]

Závislost odporu senzoru je popsána jako funkce změn měrného odporu ρ a rozměrových parametrů délky průřezu tělíska senzoru podle rovnice:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (10)$$

kde

R je měrný odpor hmoty senzoru [$\Omega \cdot \text{m}$],

A je plocha vodiče [mm^2]

l je délka vodiče. [mm]

Jako materiál slouží především čisté kovy. Požadavkem je konstantní teplotní součinitel v čase, nulová hystereze a dostatečně vysoký měrný odpor.

Historicky významným parametrem pro teplotní závislosti kovových senzorů pro jejich hodnocení je tzv. teplotní součinitel. Pro teplotní součinitel platí vztah

$$\alpha = \frac{\rho_{100} - \rho_0}{100 \cdot \rho_0} \quad (11)$$

kde

ρ_{100} je měrný odpor při 100°C [$1/\text{K}$]

ρ_0 je měrný odpor při 0°C [$1/\text{K}$]

Hodnoty měrného elektrického odporu ρ_{20} a teplotního součinitele α (ppm) pro některé čisté kovy jsou v tabulce 1.

Kov	$\rho_{20} (\Omega\text{m}) \cdot 10^{-6}$	α (ppm)	Kov	$\rho_{20} (\Omega\text{m}) \cdot 10^{-6}$	α (ppm)
Ag	0,0149	4100	Na	0,0434	5460
Al	0,0241	4300	Ni	0,0605	6900
Au	0,0204	3900	Pt	0,098	3920
Cu	0,0155	4330	Re	0,198	3100
Fe	0,10	5600	Rh	0,044	4400
Mo	0,05	4700	W	0,0491	4820

Tabulka 1 – Hodnoty měrného elektrického odporu a teplotního součinitele vybraných čistých kovů [13]

Mezi výhody těchto snímačů se řadí vysoký rozsah měřitelných teplot, dobrá linearita, časová stálost a možnost použít větších hodnot proudů pro snímání odporu.

Nevýhodou je malý teplotní součinitel (tj. malá citlivost = malý výstupní signál) a pomalá reakce na změnu teploty (není vhodné pro systémy s velkou dynamikou změn teplot). [13]

2.4.1 Platinové snímače teploty

Platinové odporové teploměry (PRT=Platinum Resistance Thermometer) nabízejí vynikající přesnost v širokém teplotním rozsahu (od -200 do $+850^{\circ}\text{C}$). Platinového snímače se využívá pro jeho chemickou stálost. Čistá platina, která se používá, obsahuje maximálně 0,07% nečistot.



Obrázek 8 – Platinový snímač teploty [12]

Princip činnosti spočívá v měření odporu platinového prvku. Nejběžnější typ (PT100) má odpor 100 ohmů při 0°C a 138,4 ohmů při 100°C . Existují také snímače PT1000, které mají odpor 1000 ohmů při 0°C .

Vztah mezi teplotou a odporem je přibližně lineární v malém teplotním rozsahu: například pokud předpokládáte, že je lineární v rozsahu 0 až 100°C , chyba při 50°C je $0,4^{\circ}\text{C}$. Pro přesné měření je nutné linearizovat odpor, aby se získala přesná teplota. Poslední definicí vztahu mezi odporem a teplotou je Mezinárodní teplotní standard 90 (ITS-90).

Linearizační rovnice je:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3(t - 100)] \quad (12)$$

kde

R_t je odpor při teplotě t

R_0 je odpor při 0°C ,

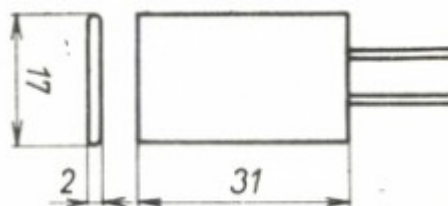
$A=3,9083\text{E-}3$

$B=-5,775\text{E-}7$

$C = -4,183E-12$ ($t < 0^\circ\text{C}$), nebo $C = 0$ ($t > 0^\circ\text{C}$)

U senzoru PT100 způsobí změna teploty o 1°C změnu odporu $0,384$ ohmu takže i malá chyba v měření odporu (např. odpor vodičů) může způsobit velkou chybu v měření teploty. Pro přesné měření mají senzory čtyři vodiče - dva pro přenos snímacího proudu a dva pro měření napětí přes samotný senzor. Je také možné získat třívodičové senzory, ovšem při tomto zapojení se musí (ne však nutně), že všechny tři vodiče mají stejný vnitřní odpor. [14]

Platinové snímače se vyrábějí ve dvou základních typech. K měření nižších teplot v suchém prostředí bez mechanického namáhání se využívá plochých měřicích odporů, kdy je vinutí bifilárně navinuto na ploché pertinaxové nebo slídové destičce. U vložek ZPA na pertinaxové destičce je tento druh měřicích vložek určen pro teploty nejvýše 150°C , na slídové destičce do 350°C . Vinutí může být chráněno izolačním papírem nebo měděnou fólií.

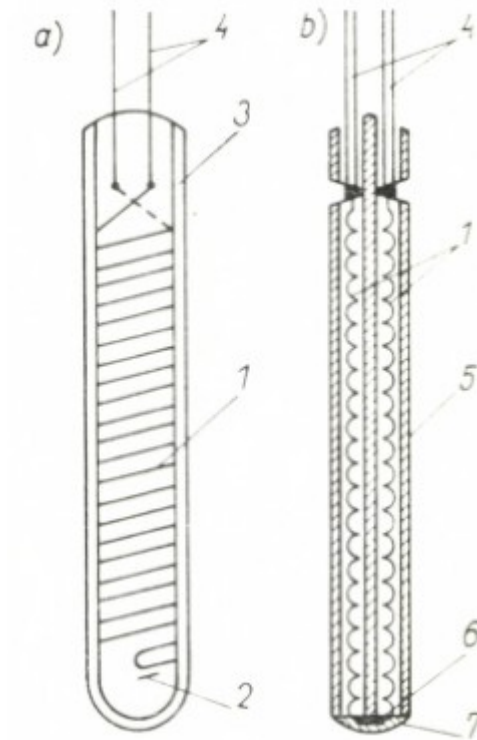


Obrázek 9 – Plochý platinový měřicí odpor ZPA [15]

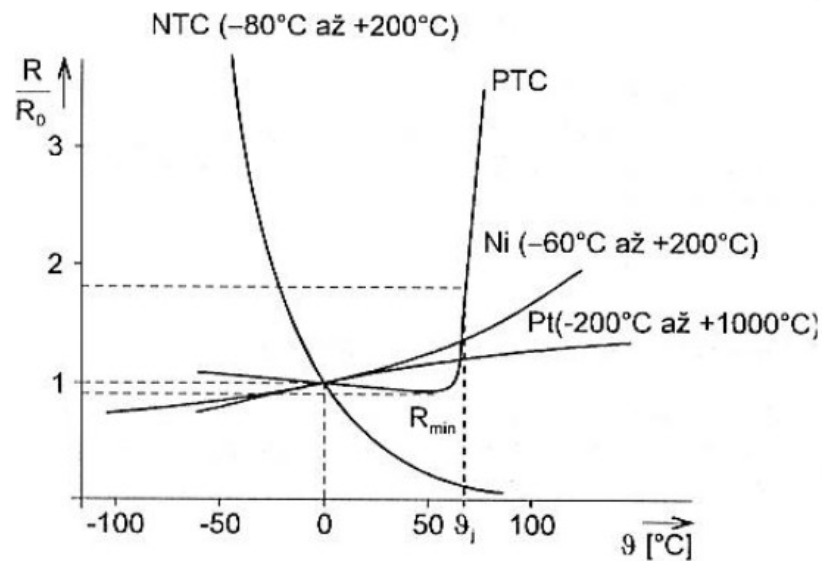
Pro vyšší teploty a pro použití v ochranných jímkách se platinový drát zatavuje do skla, případně keramiky. Sklo se používá do teploty 550°C . Pro vyšší teploty se již stává vodivým a zkresluje výsledky měření. Keramické vložky se mohou použít pro teploty přes 1000°C .

Skleněné odporové teploměry se vyrábějí tak, že se platinový drát bifilárně navine na skleněnou tyčinku a přes vinutí se přetáhne tenká skleněná trubička, která se na vinutí zataví (obrázek 10a). Tímto se dostane dodatečné mechanické odolnosti a ochrany před agresivními vlivy hlavně sloučenin křemíku, fosforu a síry.

Keramické vložky mají keramický váleček se dvěma podélnými kanálky se samonosnými odporovými spirálami vyztuženými a zatavenými do válečku smaltem – obrázek 10b. Obě spirály jsou na jednom konci svařeny a zataveny, na druhém konci jsou k nim připojeny tlustší platinové drátky jako vývody. Přes toto složité řešení se tyto vložky vyrábějí s vnějším průměrem keramického válečku 1,5mm a v délce 50mm. Keramická hmota je z kysličníku hliníku. [15]



Obrázek 10 Zatavené platinové měřicí odpory,
a- skleněný, b- keramický [15]



Obrázek 11 - Převodní charakteristika různých typů dotykových odporových senzorů teploty [12]

- **Třídy přesnosti Pt100**

Norma IEC 60751 definuje třídy přesnosti odporu Pt100 a odpovídající tolerance. Stručně řečeno, třídy tolerance pro drátové vinuté rezistory jsou:

- **Třída A**

platí pro teplotní rozsah $-100 \dots +450 \text{ } ^\circ\text{C}$

$0 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$, $100 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,35 \text{ } ^\circ\text{C}$

- **Třída B**

platí pro teplotní rozsah $-196 \dots +600 \text{ } ^\circ\text{C}$

$0 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, $100 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

- **Třída B 1/3 DIN**

dělená hodnota založená na třídě B, nelze použít v celém měřicím rozsahu

$0 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,3 / 3 \text{ } ^\circ\text{C}$

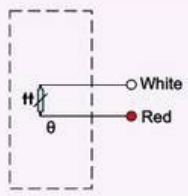
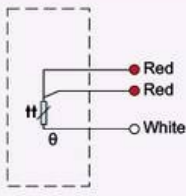
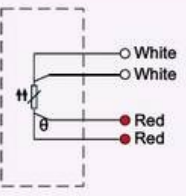
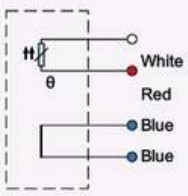
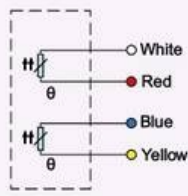
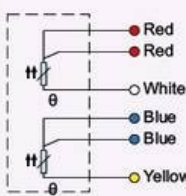
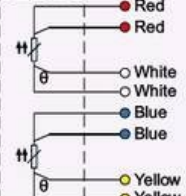
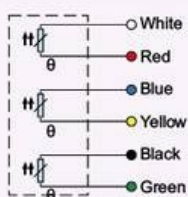
- **Třída B 1/10 DIN**

dělená hodnota založená na třídě B, nelze použít v celém měřicím rozsahu

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = \pm 0,3 / 10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- **Barvy drátu Pt100**

Barvy vodičů připojených k odporu Pt100 jsou definovány v normě EN 60751. Barvy vodičů podle této normy pro 2-, 3- a 4vodičové připojení jsou uvedeny v rámci každého typu senzoru a dále kliknutím na obrázek níže. [16]

	2-wire	3-wire	4-wire	2-wire, with compensation
Pt100				
2 x Pt100				
3 x Pt100				

Obrázek 12 – Barva drátu Pt100 podle EN 60751 [16]

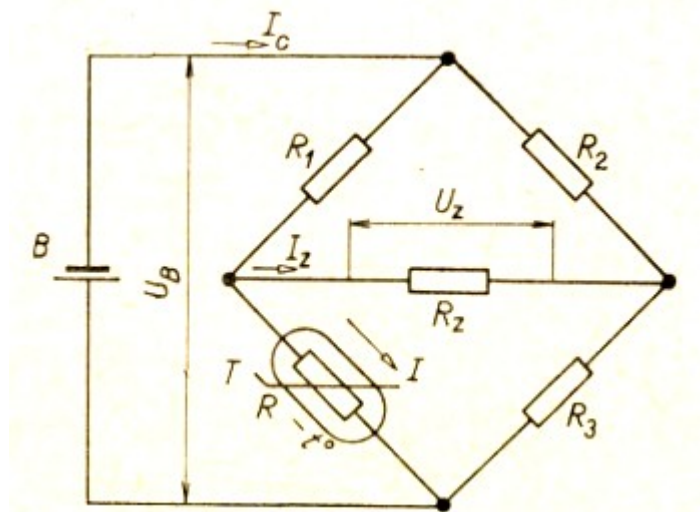
3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Pro následné zpracování signálu ze sledovaného systému do monitorovacího SW musíme převést hodnotu naměřeného odporu na napětí, případně proud (k tomu slouží nejčastěji odporový můstek) a dále tento signál musíme převést do diskrétní podoby pro počítač.

3.1 Kompenzační metoda

3.1.1 Můstková metoda

Odporový, nebo polovodičový senzor sloužící jako snímač neelektrických veličin se řadí do jedné z větví Wheatstonova můstku, napájeného stejnosměrným, popřípadě střídavým proudem. Na obrázku 13 značí R odpor termistoru T ,



Obrázek 13 - Základní schéma můstku
s termistorem [17]

Prochází-li jím proud I , R_z odpor můstkové zátěže a I_c celkový proud procházející můstkem. Proud I_z procházejícímu zátěži R_z vyhovuje obecný vztah

$$I_z = I_c \frac{R_2 R - R_1 R_3}{R_z (R_1 + R_2 + R_3 + R) + (R_1 + R)(R_2 + R_3)} \quad (13)$$

Je-li můstek vyrovnaný, tedy je-li odpor $R_2 = R_1$ a odpor $R_3 = R$, je proud $I_z = 0$. Jelikož vyrovnaný můstek je vzhledem k napájecímu zdroji elektricky souměrný, je proud $I_c = 2I$.

Zvětší-li se vlivem měřené veličiny odpor R termistoru o ΔR , přejde rovnice (13) po úpravě do tvaru

$$I_z = 2I \frac{R_1 \Delta R}{R_z (2R_1 + 2R + \Delta R) + (R_1 + R + \Delta R)(R_2 + R)} \quad (14)$$

Velký zatěžovací odpor R_z můstku nejenže přispívá k dosažení stálého proudu I procházejícího měřicím odporem, avšak současně pomáhá dosáhnout u můstku s odpory $R_1 \gg R$ velkého výstupního napětí U_z . [17]

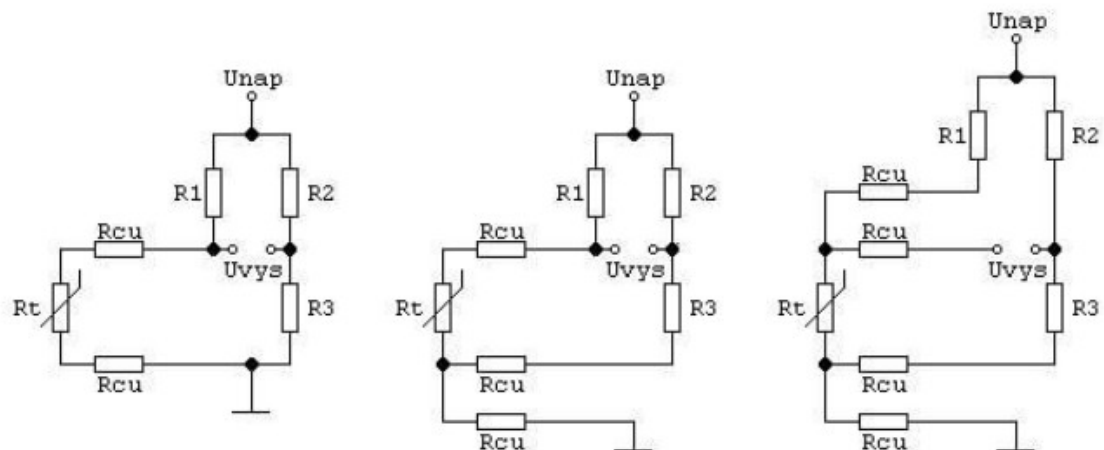
Je-li totiž můstková zátěž $R_z \gg R_1$, platí

$$I_z = I \frac{\Delta R}{R_z} \quad (15)$$

Můstkové výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_z = I_z R_z = I \Delta R \quad (16)$$

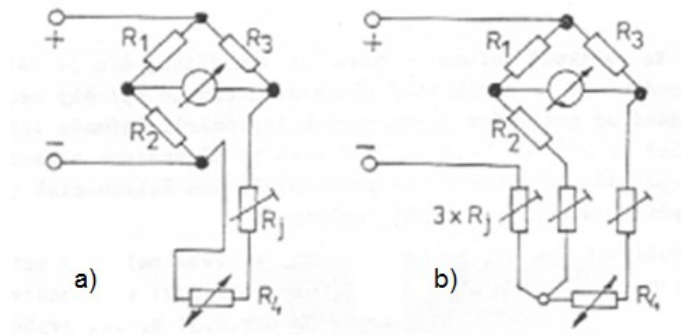
Pro potlačení vlivu odporu přívodů, resp. vedení od samotného senzoru k vyhodnocovacímu obvodu, se využívá tzv. třívodičové, častěji však čtyřvodičového propojení namísto klasického dvouvodičového. Obrázek 14 ukazuje příklad takového připojení senzoru s odporovým můstkem. Jedná se již o desítky let zavedený systém a senzory jsou již od výroby opatřeny daným počtem vývodů.



Obrázek 14 - Tři možnosti připojení senzoru k odporovému můstku, zleva: dvou vodičové, tří a čtyřvodičové propojení [18]

V zapojeních na obrázku odpor R_t představuje samotný senzor a odpory R_{cu} představují odpor vodiče (Cu - měděného) od senzoru k můstku, který v případě délky desítek metrů vytváří již nezanedbatelné hodnoty. Navíc dochází k změně hodnoty odporu s teplotou, i když v případě mědi jde o malé změny. Přesto v přesných měřeních vnášejí nezanedbatelné chyby. Ty se nejvíce uplatní v prvním nejjednodušším dvou vodičovém zapojení a nejméně v případě čtyřvodičového. [18]

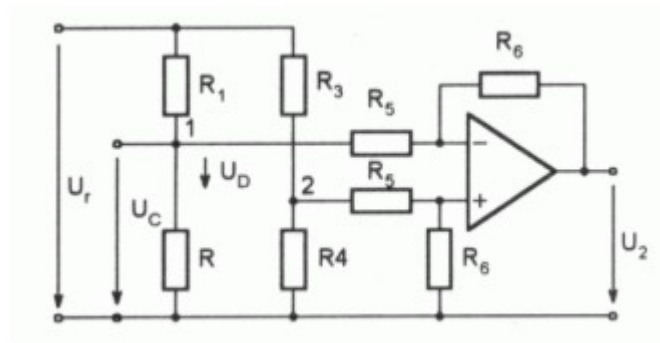
Nejpřesnějších měření dosáhneme použitím obvodu se 4 vodiči. V tomto případě není měření ovlivněno odporem připojovacího vodiče či teplotou v jeho okolí. Schéma dvou vodičového přístroje odporového snímače teploty je na (obrázek 15 a). Jelikož se odpor vedení mezi přístrojem a snímačem vlivem teplotních změn okolí mění, vzniká chyba měření. Tento způsob připojení se proto používá pouze pro kratší vzdálenosti mezi snímačem a přístrojem a pro větší rozsahy teplot, kde je chyba vzhledem k rozsahu relativně menší. Zavádíme proto justovací odpor k vedení, kterým se nastaví konstantní velikost vedení 20Ω . Pro měření v malých rozsazích a delších vzdálenostech volíme třívodičové připojení odporového snímače teploty (obr.:16 b). Třetí vodič je připojen v sousední větvi a změny odporu vlivem změn okolní teploty působí současně v sousedních větvích můstku a tím se navzájem ruší. [5]



Obrázek 15 – dvou vodičové a tří vodičové zapojení [5]

3.1.2 Modifikace Wheatstonův můstek

Jelikož je odporový můstek a jeho modifikace dostatečně známý a hodně využívaný převodník změny odporu senzoru na napětí, najdeme dnes v zapojeních společně využití i s operačními zesilovači.



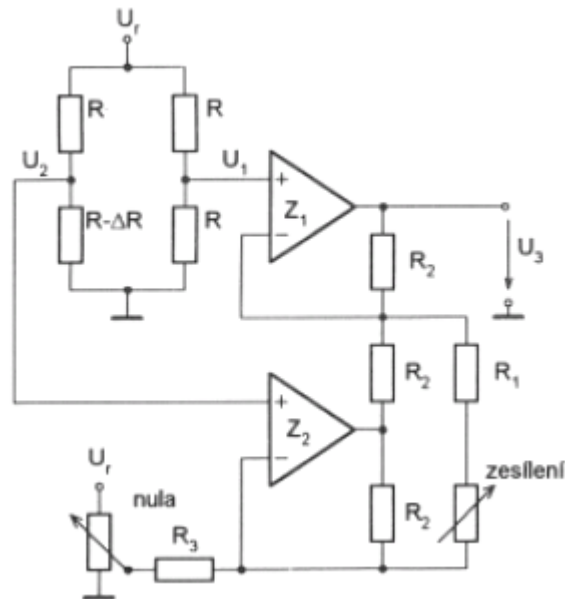
Obrázek 16 - Zapojení s můstkem a rozdílovým zesilovačem [18]

Vstupní napětí, které je závislé na změně odporu $R=R_t$ (teplotní senzor), lze vyjádřit vztahem

$$U_2 = U_r \frac{R_6}{R_5} \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (17)$$

Kde právě poměr odporů R_6/R_5 určuje zesílení rozdílového zesilovače.

Obvykle se využívá složitějších zapojení výstupního zesilovače tak, aby bylo jednoduše možné měnit rozdílové zesílení, kompenzovat nesymetrii rezistorů v můstku, napětovou nesymetrii zesilovačů apod. To poskytuje rozdílový zesilovač na následujícím obrázku 17. Jde o asymetrický přístrojový zesilovač, kde se napětím na rezistoru R_3 kompenzuje nesymetrie rezistorů v můstku, nepřesnost rezistorů R_2 a nesymetrie zesilovačů. Samotný můstek samozřejmě může být zapojen i jako třívodičový nebo čtyřvodičový.



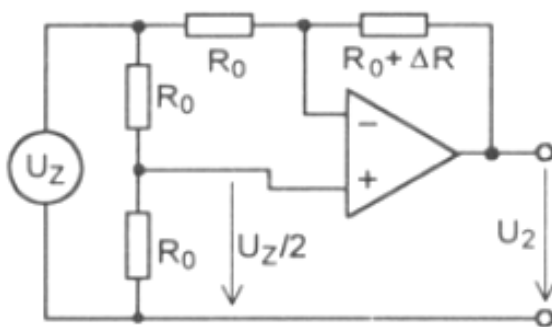
Obrázek 17 - Asymetrický přístrojový zesilovač pro zesílení rozdílového napětí můstku [18]

Zesílení rozdílového napětí můstku $U_2 - U_1$ je dáno vztahem:

$$\frac{U_3}{(U_1 - U_2)} = 2\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (18)$$

Další možností realizace rozdílového zesilovače je velmi známý tzv. symetrický přístrojový zesilovač.

Nevýhodou klasického pasivního odporového můstku (uváděného výše) je nelineární převodní charakteristika $R-U$. Následující zapojení (obrázek 18) využívají tzv. aktivní můstky, kde převodní charakteristika je lineární a při stejných hodnotách odporů vždy nulové výstupní napětí.

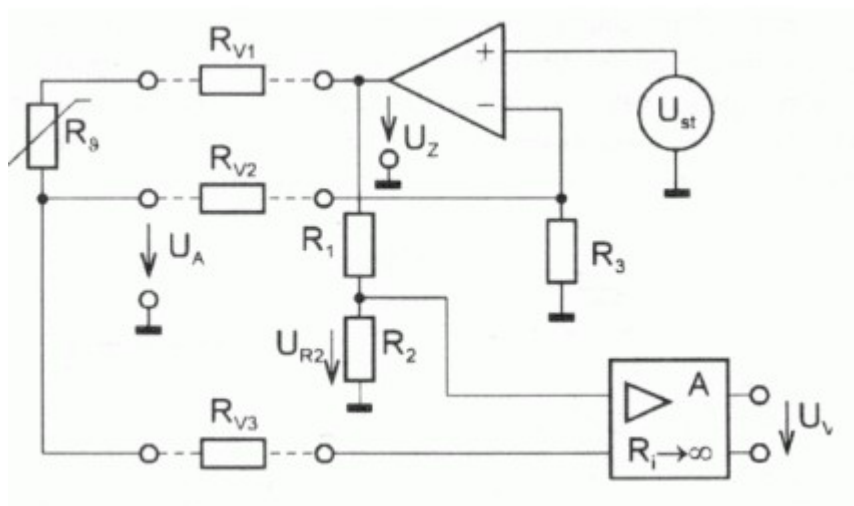


Obrázek 18 - Aktivní odporový můstek.[18]

Odpor $R_0 + \Delta R_0$ reprezentuje proměnný odpor, v tomto případě odporový teplotní senzor. Výstupní napětí U_2 lze vyjádřit:

$$U_2 = -U_z \frac{\Delta R}{2R_0} \quad (19)$$

Jinou modifikaci aktivního odporového můstku lze vidět na obrázku 19



Obrázek 19 - Třívodičové zapojení senzoru v aktivním můstku [18]

Výstupní napětí U_v lze vyjádřit vztahem

$$U_v = A \cdot U_{st} \frac{R_v R_2 - R_v R_1 + R_\theta R_2 - R_3 R_1}{R_3 (R_1 + R_2)} \quad (20)$$

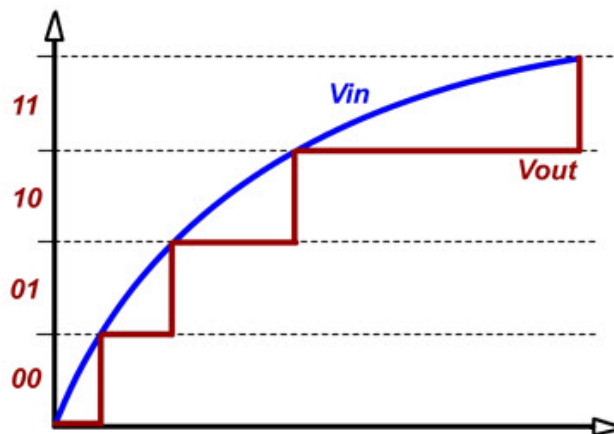
Jestliže $R_1 = R_2 = R_3$ a $R_3 = R_{\theta Z} + \Delta R_\theta$, lze lineární závislost výstupního napětí na teplotě bez vlivu odporu vedení vyjádřit:

$$U_v = A \cdot U_{st} \frac{\Delta R_\theta}{2R_{\theta Z}} \quad (21)$$

Tohoto zapojení poskytuje linearizaci převodní charakteristiky senzoru a tím snížení výsledné chyby měření, omezení vlivu kolísání napájecího napětí a parazitních napětí a proudů apod. [18]

3.2 A/D převodník

Převodníky umožňující transformaci analogové veličiny na informaci a zaujímají v řídicím systému klíčové postavení. Značná část měřených veličin bývá obvykle zaznamenána ve formě časově spojitého průběhu analogového napětí a do číslicové formy se musí převést pomocí převodníku. Převodníky tedy umožňují propojení mezi analogovou a číslicovou částí řídicího systému. Přesnost a rychlost převodu použitých převodníků je jedním z hlavních faktorů určujících použitelnost a kvalitu celého řídicího systému. [19]



Obrázek 20 – Vzorkování spojitého signálu [19]

3.2.1 Kompenzační převodník

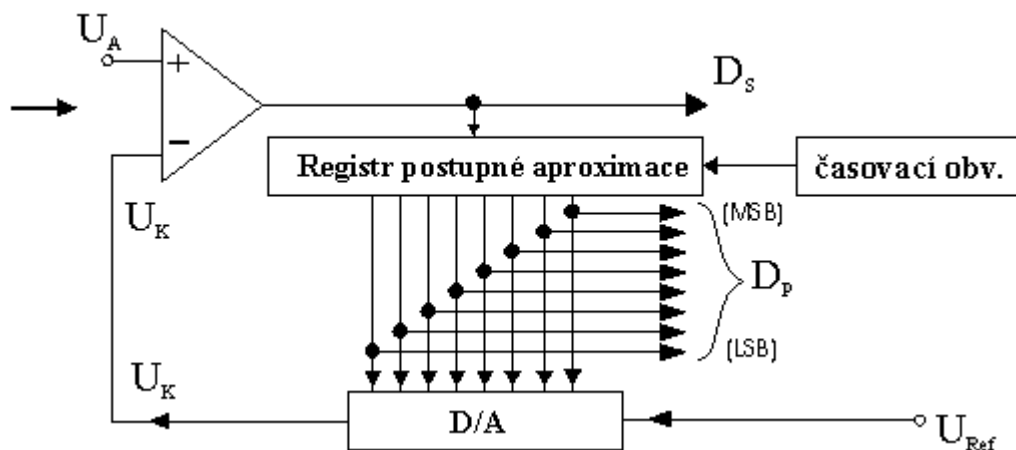
Porovnává a kompenzuje vstupní napětí U_A napětím kompenzačním U_K , jehož zdrojem je D/A převodník, řízený logickým obvodem LO (aproximační registr). Převod je ukončen, je-li splněna podmínka: $U_A - U_K$ je menší než hodnota napětí U_A odpovídající bitu LSB. Činnost aproximačního registru je řízena komparátorem K, který rozhoduje o změně znaménka pro připočtení napěťové úrovně odpovídající dalšímu - nižšímu dvojkovému řádu v následném kroku (změna znaménka napětí U_K). „Náplní práce“ jednoho kroku je tedy porovnání U_A s U_K a generování příslušného „pokynu“ pro LO. Dobu a sekvenci těchto kroků určuje časovací obvod.

Paralelní číslicový signál se tedy na výstupu aproximačního registru mění krok po kroku v průběhu celého převodu až do splnění výše uvedené podmínky. Pak převodník „ohlásí“ platnost výstupních dat na některém „pinu“.

Výstup komparátoru K (signál D_s) pak v průběhu převodu poskytuje sériová data v rytmu taktovací frekvence časovacího obvodu f . Postup komparace je od MSB k LSB, jako první jde z komparátoru po lince sériových dat D_s nejvýznamnější bit. [20]

Současné AD převodníky se dělí na :

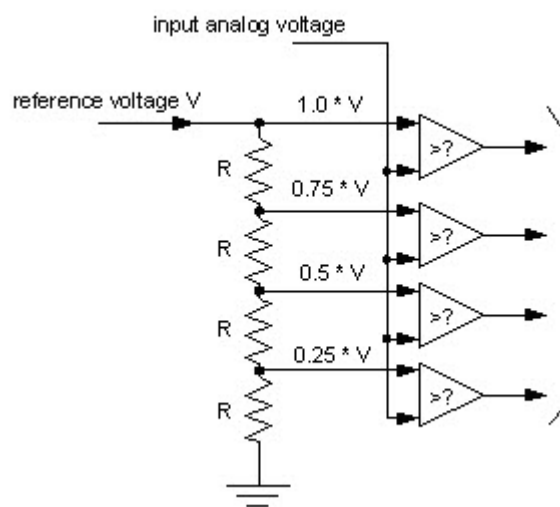
- paralelní
- kaskádní



Obrázek 21 – Kompenzační AD převodník [20]

3.2.2 Paralelní (flash) AD převodník

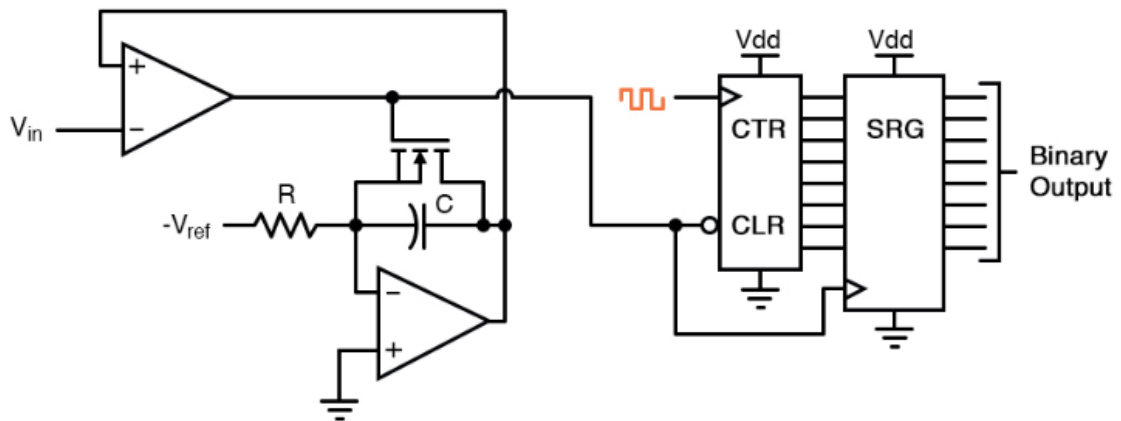
Tento AD převodník se také nazývá paralelní ADC, což je z hlediska rychlosti nejrozšířenější efektivní ADC. Tento obvod analogového a digitálního převodníku typu flash se skládá z řady komparátorů, kde každý porovnává vstupní signál s jedinečným referenčním napětím. V každém komparátoru bude výstup ve vysokém stavu, když analogové vstupní napětí překročí referenční napětí. Tento výstup je dále předán kodéru priority pro generování binárního kódu založeného na aktivitě vstupu vyššího řádu ignorováním dalších aktivních vstupů. Flash převodník se řadí mezi nejrychlejší používané AD převodníky. [19]



Obrázek 22 – Paralelní AD převodník [19]

3.2.3 Integrační AD převodník

Základem funkce integračního převodníku je konverze vstupního napětí na pilovitý průběh napětí. Tento převod vytváří integrátor, který generuje pilovité vlny, které se pak porovnávají s analogovým vstupem pomocí komparátoru. Časová konstanta pro pilový signál se měří pomocí digitálního čítače taktovaného přesnou frekvencí z krystalového oscilátoru.



Obrázek 23 – Integrační AD převodník [21]

Když je výstup komparátoru nízký (vstupní napětí je větší, než výstup integrátoru), může integrátor nabíjet kondenzátor. Když kondenzátor dosáhne hodnoty napětí na vstupu, výstup komparátoru se zvýší a vynuluje vstupní napětí. Vstupní napětí je v dalším cyklu znovu integrováno. [21]

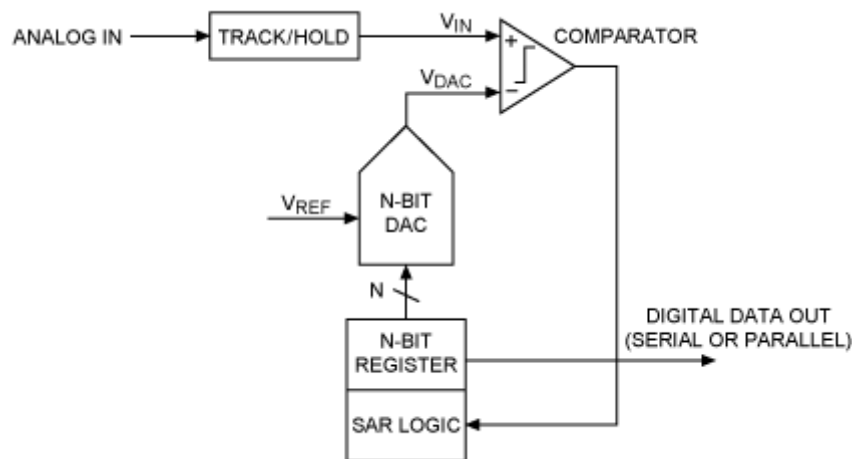
3.2.4 Převodník s dvojí integrací

Výhodou oproti předešlému převodníku je odolnost proti superponovanému rušivému střídavému napětí. Princip činnosti je takový, že v jednom směru rampování je integrátor řízen kladným analogovým vstupním signálem (produkujícím zápornou, proměnnou rychlost změny výstupního napětí) po pevně stanovenou dobu, měřenou čítačem s přesnou hodinovou frekvencí. Poté v opačném směru s pevným referenčním napětím (vytvářejícím pevnou rychlost změny výstupního napětí) s časem měřeným stejným čítačem.

Počítadlo přestane počítat, když výstup integrátoru dosáhne stejného napětí jaké bylo na vstupu. Čas potřebný k tomu, aby se kondenzátor integrátoru vybil zpět na své původní výstupní napětí, měří čítač a hodnota čítače se stává digitálním výstupem obvodu. [21]

3.2.5 Aproximativní AD převodník

Ačkoli existuje mnoho variací pro implementaci SAR ADC, základní architektura je poměrně jednoduchá (viz obrázek 24). Analogové vstupní napětí (V_{IN}) je drženo v bloku track/hold. K implementaci algoritmu binárního vyhledávání je nejprve N-bitový registr nastaven na střední úroveň (tj. 100 ... 0,00, kde je MSB nastavena na log.1). To vynutí výstup DAC (V_{DAC}) na $V_{REF} / 2$, kde V_{REF} je referenční napětí dodávané do ADC. Poté se provede srovnání, aby se určilo, zda je V_{IN} menší než nebo větší než V_{DAC} . Pokud je V_{IN} větší než V_{DAC} , výstup komparátoru je ve stavu log.1 a MSB N-bitového registru zůstává na 1. Naopak, pokud je V_{IN} menší než V_{DAC} , je výstup komparátoru log.0 a MSB registru je nastaveno do log 0. Logika řízení SAR se poté přesune na další bit dolů, nastaví hodnotu log.1 a provede další srovnání. Sekvence pokračuje až dolů k LSB. Po dokončení je převod dokončen a v registru je k dispozici N-bitové digitální slovo. [22]

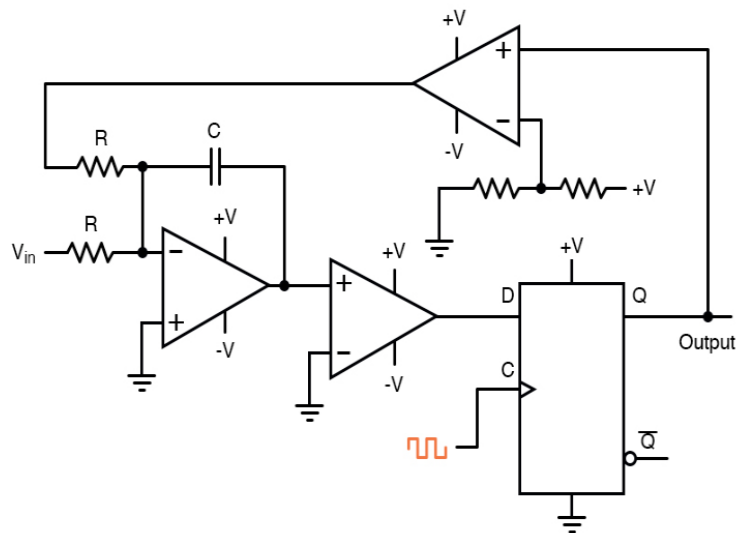


Obrázek 24 – Aproximativní AD převodník [22]

3.2.6 Sigma-Delta převodník

Jednou z vyspělejších technologií ADC je tzv. SIGMA-DELTA neboli $\Sigma\Delta$. V matematice a fyzice představuje velké řecké písmeno delta (Δ) rozdíl nebo změnu, zatímco velké písmeno sigma (Σ) představuje shrnutí, sčítání více prvků dohromady. V konvertoru $\Delta\Sigma$ je analogový vstupní napěťový signál připojen ke vstupu integrátoru, čímž se na výstupu odpovídajícím vstupní velikosti vytváří změna napětí nebo sklon. Toto rostoucí napětí je potom porovnáno s potenciálem země (0 V) pomocí komparátoru.

Komparátor působí jako druh 1-bit ADC, produkující 1 bit na výstupu („high“ nebo „low“) v závislosti na tom, zda je pozitivní nebo negativní výstup integrátoru. Výstup z komparátoru je poté blokován pomocí klopného obvodu typu D, který je taktován na vysokou frekvenci a je přiváděn zpět do jiného vstupního kanálu integrátoru. [23]



Obrázek 25 – Sigma-Delta převodník [23]

4 SW LABVIEW

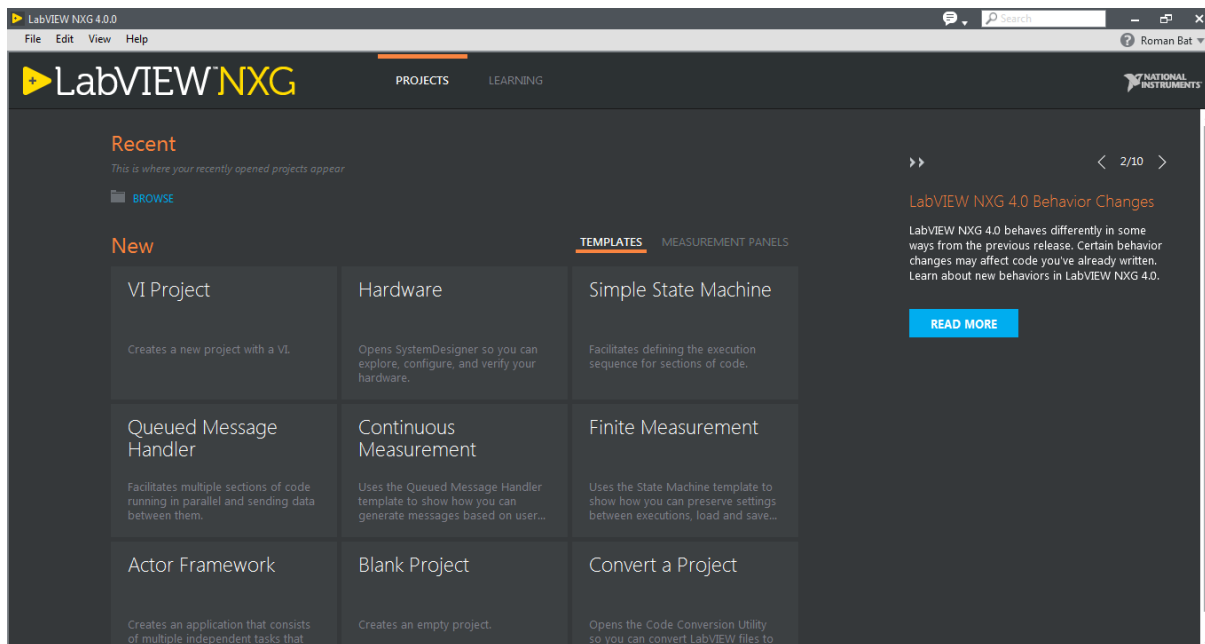
4.1 Obecný popis

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je grafické vývojové programovací prostředí s bohatými možnostmi pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech fázích tohoto procesu, tj. sběru, analýzy a prezentace naměřených dat. Podporuje všechny standardní způsoby sběru dat do počítače (z měřících karet a ze systémů na bázi VXI, PXI/CompactPCI, CAMAC, atd.). Rovněž podporuje možnost komunikace s aplikacemi s pomocí standardních protokolů (TCP/IP, UDP ...), využívání komponent ActiveX, VISA a DDE, či vytváření DLL knihoven. Uživateli je tím poskytnut plnohodnotný programovací jazyk v grafické podobě se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami. Programovací jazyk SW LabVIEW se nazývá G-Jazyk, tedy „grafický“ jazyk. Výsledný produkt tohoto vývojového prostředí se nazývá virtuální přístroj (Virtual Instrument - VI), protože svými projevy a činnostmi připomíná klasický přístroj ve své fyzické podobě. Může reprezentovat buď skutečný měřicí přístroj, prvek měřícího nebo řídicího systému, případně celý měřicí (řídicí) systém.

Vytváření nového VI probíhá ve dvou oknech, v okně čelního panelu (standardně šedě) a okně blokového diagramu (standardně bílé). Každé okno má klasické ovládací prvky dané prostředím Windows (obecně dané platformou), roletové menu, nástrojovou lištu a místo pro ikonu a konektor.

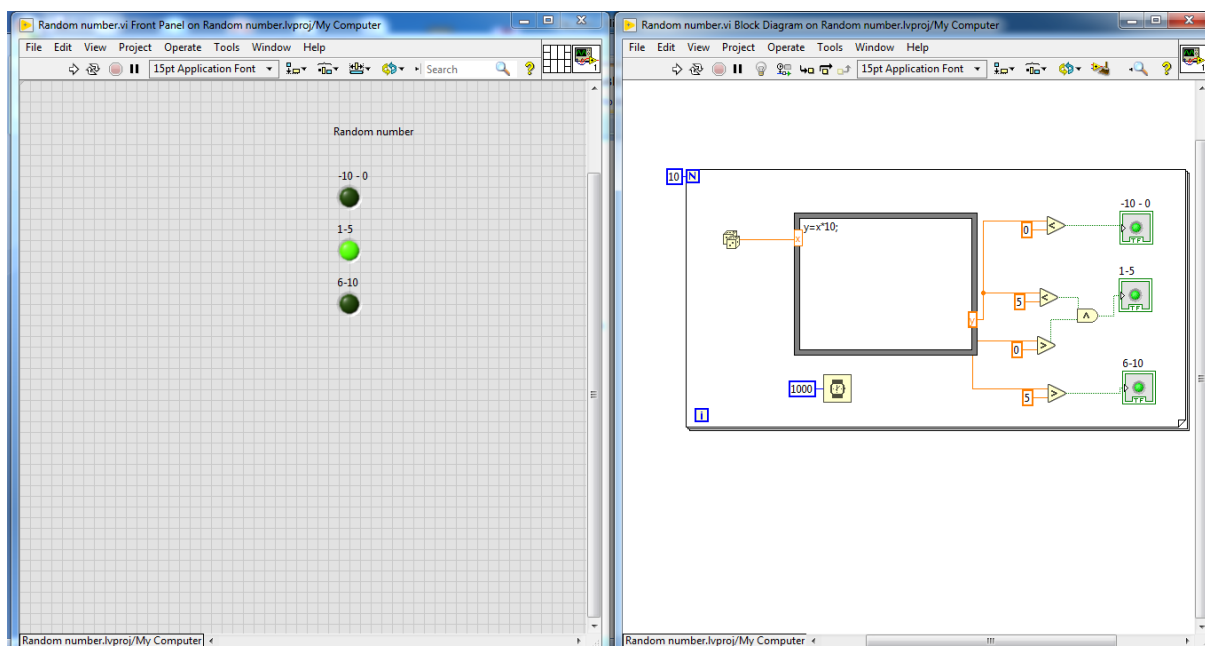
Vývoj VI začíná programátor většinou návrhem čelního panelu, po jeho ukončení pak pokračuje v okně blokového diagramu. LabVIEW podporuje tzv. intuitivní programování.

[24]



Obrázek 26 – Úvodní strana SW LabVIEW NXG [vlastní zdroj]

Uživatelské rozhraní programu v LabVIEW mívá obvykle podobu čelního ovládacího panelu určitého měřicího přístroje. To je také jeden z důvodů, proč se program v LabVIEW nazývá pojmem virtuální přístroj (VI). Každé VI se skládá ze dvou sdružených oken: z uživatelského rozhraní (Front Panel) a z blokového diagramu (Block Diagram), který je zdrojovým kódem VI. [24]



Obrázek 27 – Ukázka programu v SW LabVIEW [vlastní zdroj]

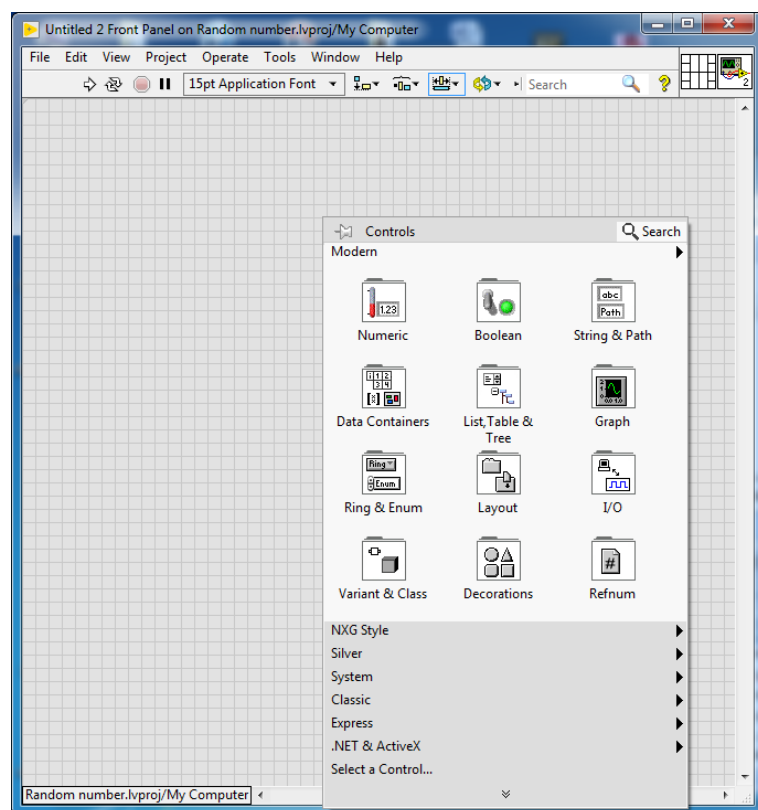
4.2 Čelní panel (Front panel)

Čelní panel tvoří uživatelské rozhraní zvolené aplikace a určuje její vzhled a chování. Přes jeho objekty lze řídit běh aplikace, zadávat proměnné a získávat informace o výsledných hodnotách, případně výsledných datech.

Veškeré objekty je možné libovolně editovat, programově nastavovat, využívat změny velikosti okna. V okně čelního panelu lze pracovat s širokou škálou prvků, které jsou součástí LabVIEW, jako vstupy, výstupy, které mohou být ve formě textové nebo otočného potenciometru (i posuvného). Výstupy taktéž umožňují textovou podobu či graf. [24]

4.2.1 Knihovna Controls

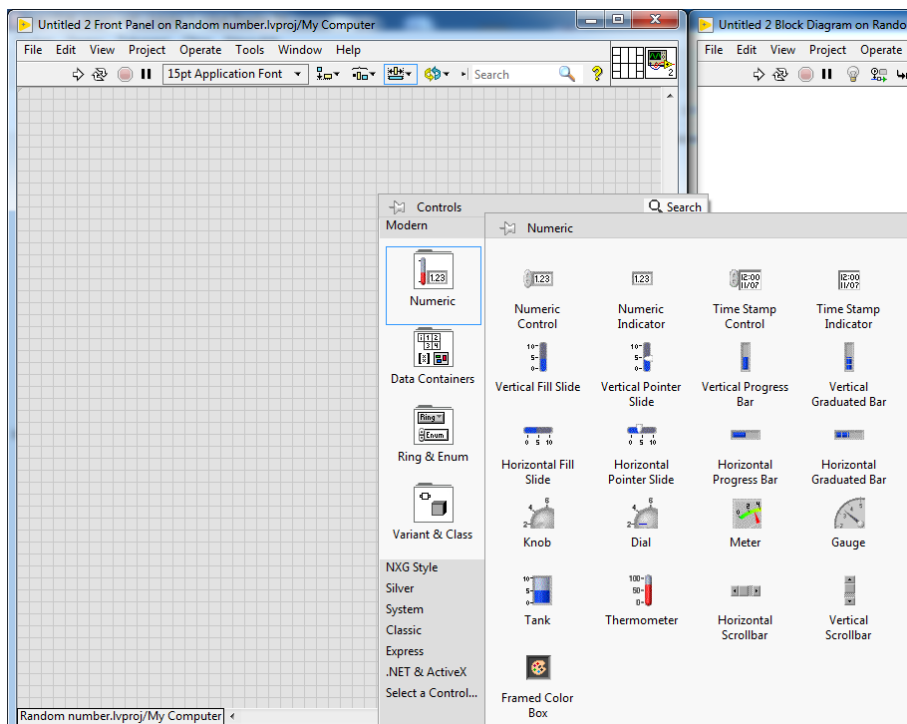
Na obrazovce čelního panelu vytváří uživatel vzhled aplikaci, který stylizuje pomocí ovládacích prvků, umístěné na panel, nastavením jejich chování, i vzhledem. Konkrétní prvek pro čelní panel se vybírá z nabídky palety Controls. Následným vybraným blokem (vstupy, výstupy, aj) se lze dostat do subpalety nabídek pro specifičtější výběr prvku. [24]



Obrázek 28 – Knihovna controls v čelním panelu [vlastní zdroj]

4.2.2 Numeric

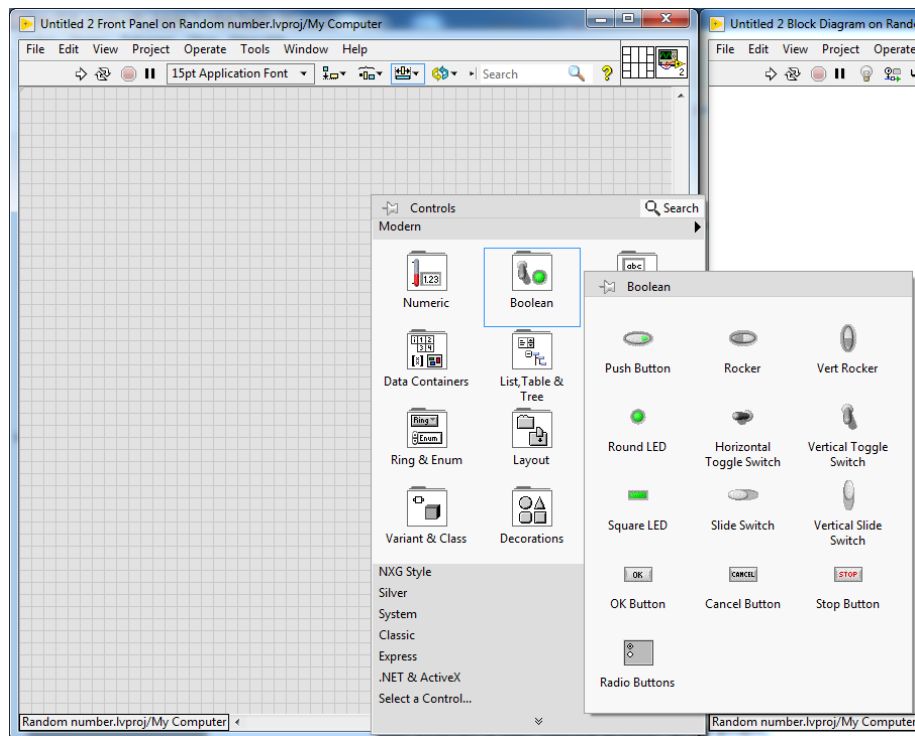
V této skupině se nachází grafické i čistě numerické prvky pro zadávání vstupních číselných hodnot nebo zobrazování číselných hodnot výstupních. U numerických prvků je vždy potřeba zkontrolovat přednastavený datový typ a případně tento typ změnit na požadovaný. [24]



Obrázek 29 – Skupina numeric [vlastní zdroj]

4.2.3 Boolean

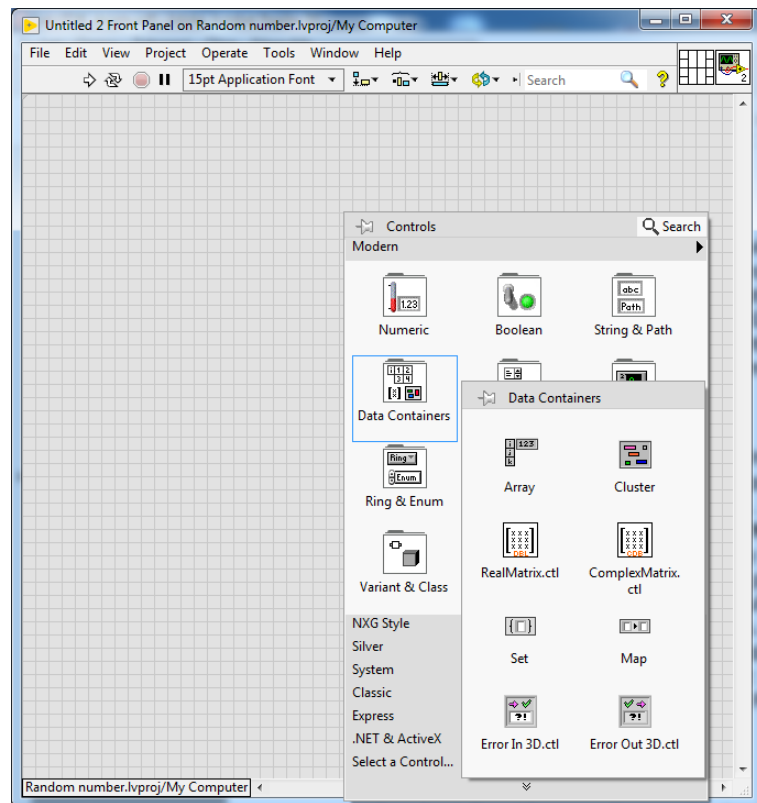
Skupina Boolean sdružuje různá tlačítka a ledyky pro volbu repce. Detekci stavů procesu (True/False) – datový typ Boolean. U vkládaných tlačítek je nutno zvolit mechanickou akci dle funkce, kterou chceme aby tlačítko vykonávalo (Switch when Pressed, Switch when Released, aj.). [24]



Obrázek 30 – Skupina boolean [vlastní zdroj]

4.2.4 Data Containers

Skupina obsahující Pole, matice a klastry. Matice můžeme doladit nejméně jako dvourozměrné. Pole sdružuje vstupy i výstupy tvořené 1D i 2D se soubory hodnot stejného datového typu. Klastř obsahuje sdružení polí různých velikostí i různých datových typů, např. Integer, Boolean, obrázek, aj. [24]



Obrázek 31 – Skupina data containers [vlastní zdroj]

4.2.5 String & Path

Vstupní a výstupní prvky tvořené znaky jsou sdruženy v této skupině. Jsou k nim ještě přidruženy prvky pro zadávání a zobrazování umístění souborů. Volbou Path vložíme prvek pro vložení/zobrazení cesty k souboru. V základním nastavení se vedle okna pro vepsání cesty objeví i tlačítko pro vyhledávání souboru v adresáři. [24]

4.2.6 Ring & Enum

V této skupině najdeme prvky pro tvorbu různých typů vstupních uživatelských menu. Všechny tyto prvky mají jednu věc společnou, na straně uživatele se snažíme o co nejsrozumitelnější popis výběru, na straně vstupu do programu si většina programátorů pak může volit místo textových popisů jen celá čísla, která se používají pro rozhodování a další akce v procesu během programu. [24]

4.2.7 Graph

Skupina Graph obsahuje mnoho předpřipravených grafů pro zobrazování dat a to jako v průběhu programu, tak i až po jeho dokončení. [24]

4.2.8 I/O

Skupina sdružuje vstupy pro různé komunikační sběrnice, nejčastěji používané standardy pro práci s LabVIEW, dále různé hojně využívané I/O pro zařízení firmy NI. [24]

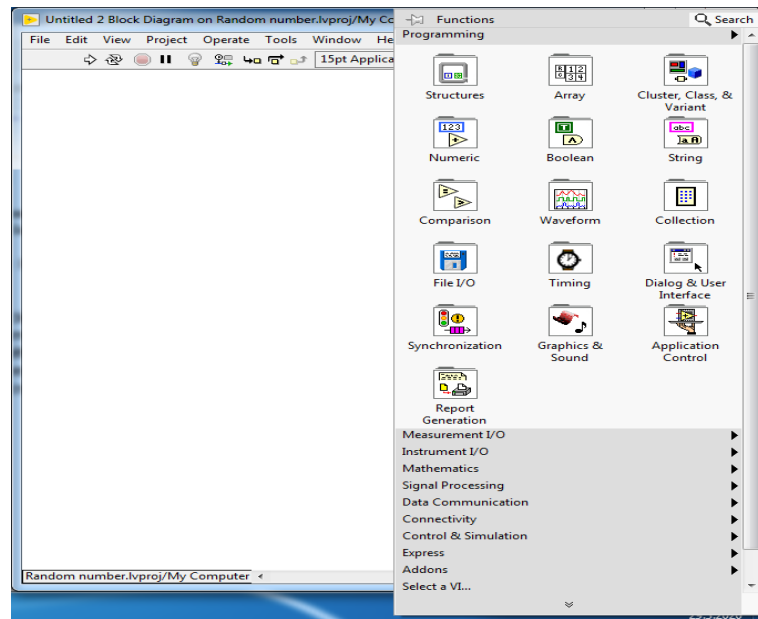
4.2.9 Decorations

Dekorace obsahují ve všech skupinách hlavního menu grafické, resp. Geometrické prvky vhodné pro dotváření uživatelského rozhraní. Práce s nimi je podobná práci s grafickým prostředím Malování nebo Photoshopu. Prvky umožňují změnu barvy, nanášení textur a také rovnání a vrstvení prvků. [24]

4.3 Blokový diagram (Block Diagram)

Okno blokového diagramu je druhým sdruženým oknem každé aplikace. V okně blokového diagramu se definuje posloupnost vyhodnocení jednotlivých složek programu – samotný algoritmus programu, jejich propojení a parametry. Každá komponenta obsahuje vstupní a/nebo výstupní připojovací body. Jednotlivé připojovací body lze propojit s prvky na panelu pomocí propojovacího nástroje.

Na obrazovce blokového diagramu uživatel definuje vlastní algoritmus programu, propojení prvků z čelního panelu s parametry a dalšími strukturami. Programátorsky nejdůležitější je zde paleta functions, která obsahuje nástroje pro práci s parametry z čelního panelu, simulační struktury, komunikační prvky a možnost tvorby programové struktury s dalším zpracováním vstupů a následné předání k výstupům. [24]



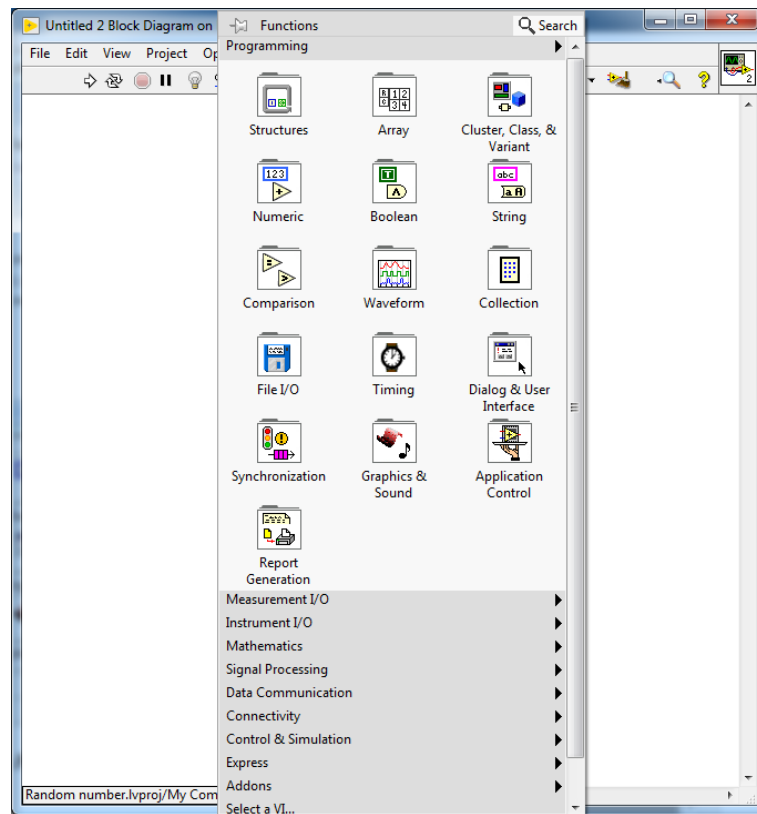
Obrázek 32 – Blokový diagram a otevřená paleta functions [vlastní zdroj]

4.3.1 Paleta Functions

Paleta Functions je vázána na blokový diagram. Zobrazí se pravým tlačítkem myši v blokovém diagramu. Nabídka prvků se liší podle verze SW LabVIEW a nainstalovaných knihoven. Paleta Function je rozdělena do několika subpalet. Každé menu subpalety je identifikováno příznačnou ikonou. [24]

- **Programing**

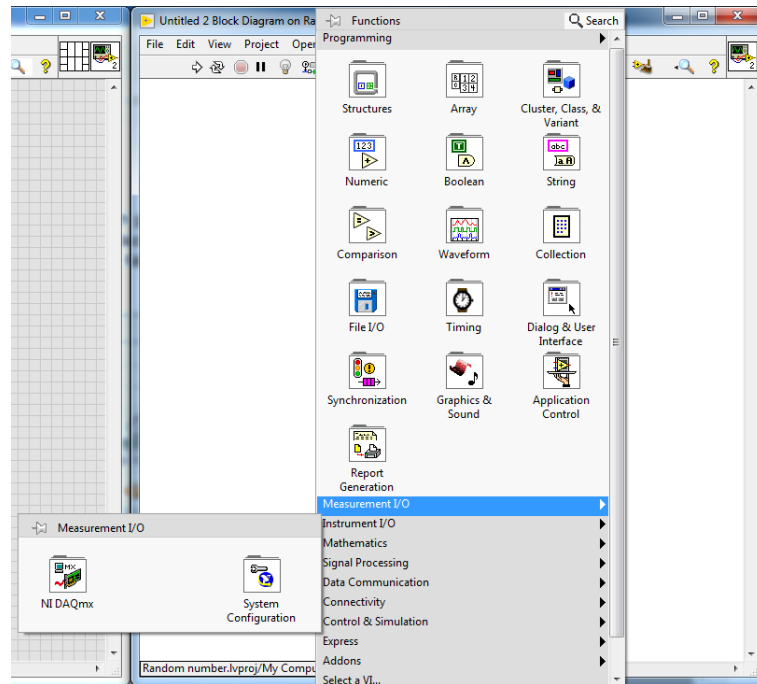
Subpaleta obsahuje ikony skupiny prvků, které jsou při vytváření VI používány nejčastěji, najdeme zde struktury, funkce pro různé datové typy, časovače apod. [24]



Obrázek 33 – Skupina functions [vlastní zdroj]

- Measurement I/O

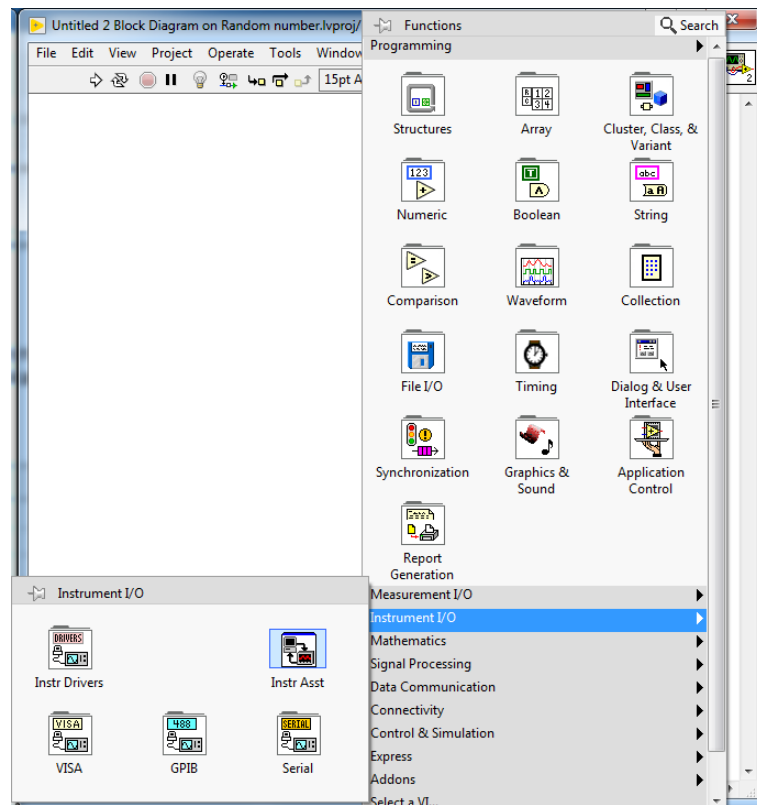
V subpaletě jsou obsaženy skupiny ovládacích prvků všech externích zařízení firmy National Instruments pro měření včetně ovládacích prvků některých sběrnic (CAN) a konfigurace systému (System Configuration). [24]



Obrázek 34 – Skupina measurement [vlastní zdroj]

- Instrument I/O

Ovládací prvky externích zařízení ostatních výrobců včetně ovládacích prvků pro další komunikační sběrnice PC a externí komunikační sběrnice. [24]



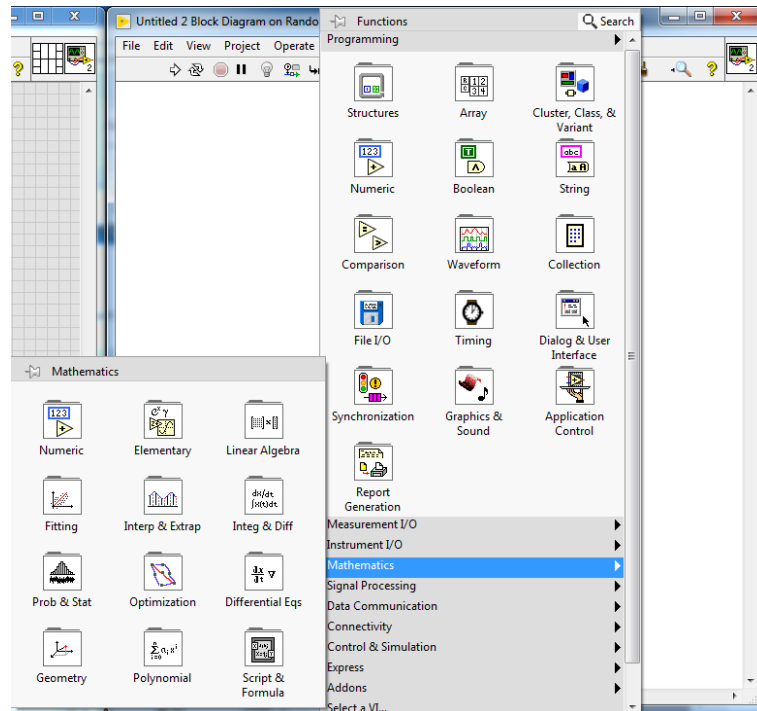
Obrázek 35 – Skupina I/O [vlastní zdroj]

- Mathematics

Skupiny matematických funkcí, konstant a procesů. Které obsahují ještě subpalety – Numeric, elementary, geometric, aj

Např. v subnabídce numeric se skrývají funkční bloky pro sčítání, odečítání, násobení, dělení, mocniny, inkrementaci/dekrementaci, operace s komplexními čísly, aj.

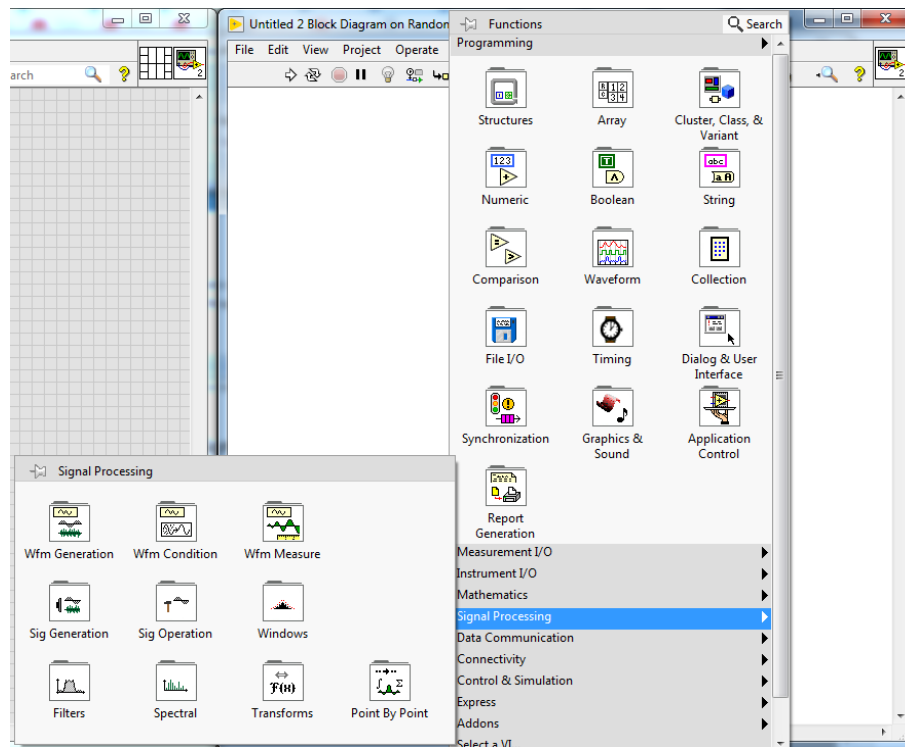
Např. další subblok „Elementary & Special function“ sdružuje skupiny základních a speciálních funkcí jako jsou goniometrické funkce, exponenciální funkce, hyperbolické funkce, funkce diskretní matematiky (faktoriál, permutace) a různé typy dalších funkcí. [24]



Obrázek 36 – Skupina mathematics [vlastní zdroj]

- Signal Processing

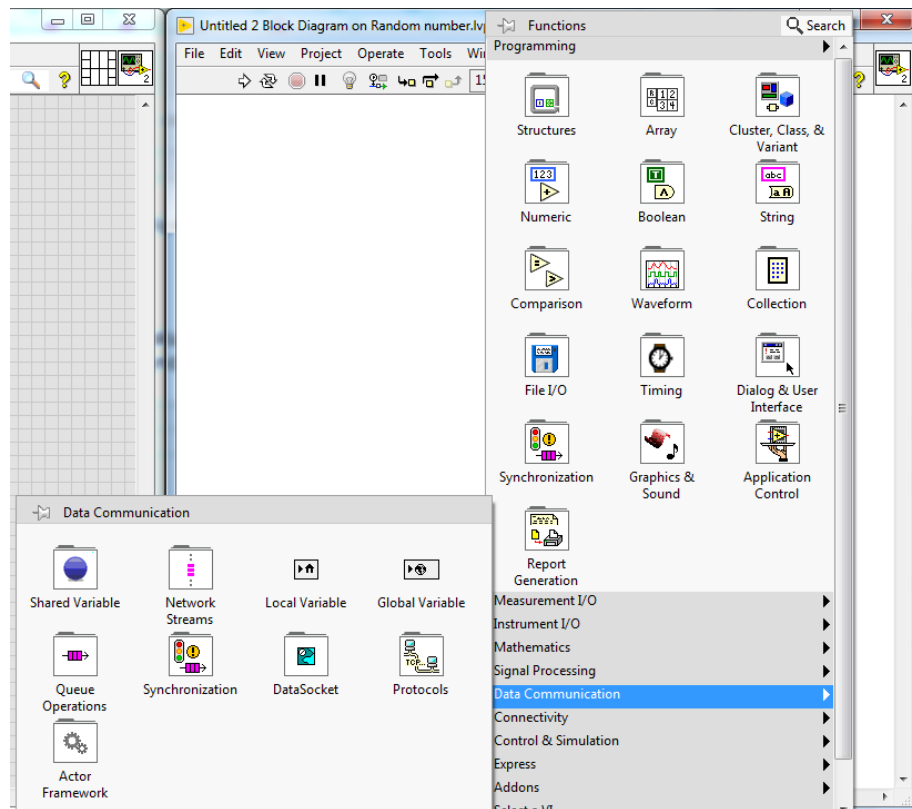
Zpracování signálů, kde najdeme skupinu funkcí věnovaných generování signálů, filtrací, operacím se signály či spektrální analýze. [24]



Obrázek 37 – Skupina signal processing [vlastní zdroj]

- Data Communication

Tato Subpaleta obsahuje skupiny prvků věnované nastavování a předávání dat mezi aplikacemi VI a k jejich synchronizaci. [24]



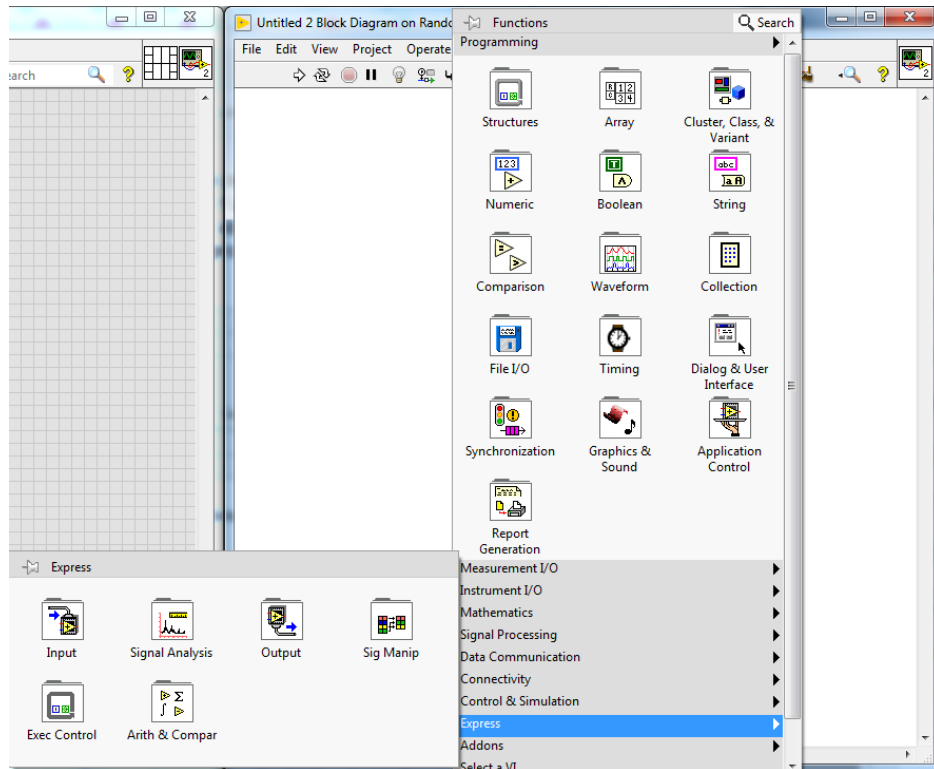
Obrázek 38 – Skupina data communication [vlastní zdroj]

- Control & Simulation

Tvorba dynamických modelů regulačních systémů, jejich návrhy, analýza, případně simulace. [24]

- Express

Všechny expresní funkce jsou obsaženy v této subpaletě. Jsou zde rozděleny do skupin podle nejčastějšího použití. Expresní funkce jsou označeny modrou barvou pozadí a jsou vytvořeny pro programátory, aby jim usnadnily práci. [24]



Obrázek 39 – Skupina express [vlastní zdroj]

- Input

Obsahuje expresní funkce pro shromažďování dat, získávání a simulování signálů z předem definovaných zařízení nebo obecně. Je zde také expresní funkce pro čtení dat ze souboru. [24]

- Signal Analysis

Sdružuje expresní funkce vytvořené pro provádění měření a analýzu křivek, funkce pro generování křivek a pro analýzu zpracování signálů. [24]

- Output

Obsahuje expresní funkce pro ukládání dat do souborů, kde můžeme zvolit i typ souboru, pro generování zpráv, výstupních signálů, posílání zpráv uživatelům, atp. [24]

- Signal Manipulation

Sdružuje expresní funkce pro práci se signály (např. korekce, vymazání hodnoty ze signálu, slučování signálů apod.) a pro konverze dat. [25]

- Exec Control

Obsahuje struktury a expresní funkce pro řízení a časování programů. Obsahuje předdefinovanou strukturu While Loop, která již má implementované ukončovací tlačítko STOP. Obsahuje také expresní funkce Time Delay jenž určuje o kolik sekund se odloží spuštění volané Vi a expresní funkce Elapsed Tim, která udává čas, který uplynul od určeného času zahájení měření času. [25]

- Arithmetic & Comparison

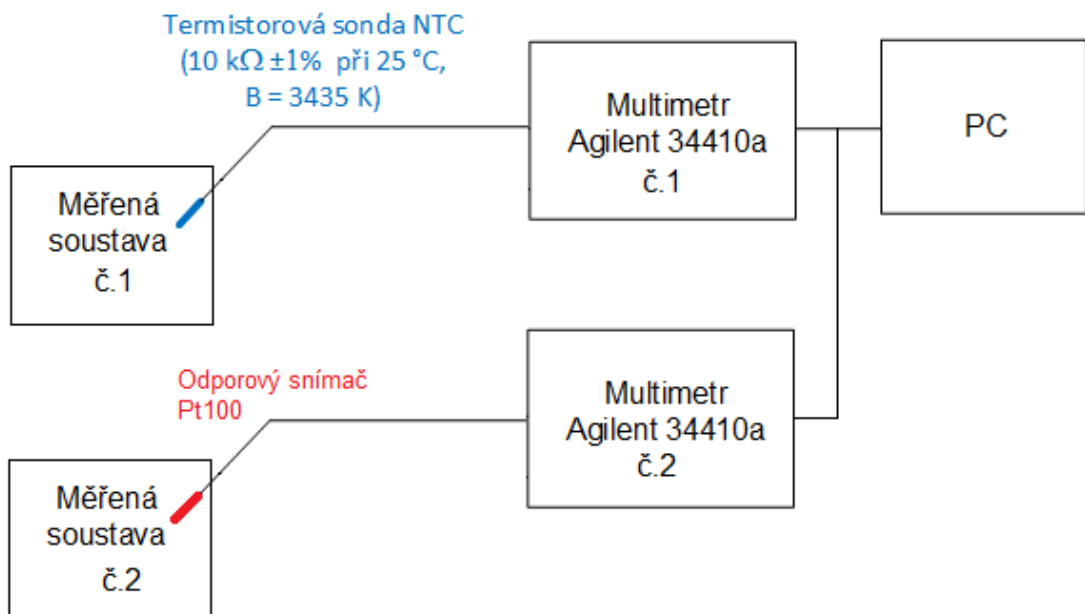
Sdružuje expresní funkce pro provádění aritmetických funkcí a porovnání. Skupina obsahuje i vnořené skupiny Math, Numeric, Boolean a Comparison. [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH NOVÉ ÚLOHY

Cílem nové úlohy bude měření dvou tepelných soustav dvěma různými typy teplotních snímačů – NTC typ CAREL NTC 015 WP00 a PT100 typ LOGITRON Pt PIXSYS.

Obě měřené soustavy představují hrníček naplněný vodou o teplotě 100°C do kterých budou nezávisle vloženy snímače RTD a NTC, každý snímač je zapojen do vlastního multimetru Agilent 34410. Z těchto multimetrů jsou data sbírána do PC pomocí USB/GPIB Interface fy Agilent (typ 82357B) a zpracována uživatelským programem v SW LabVIEW.



Obrázek 40 – Blokové schéma měřené úlohy [vlastní zdroj]

5.1 Návrh dynamického modelu v SW Matlab

Vychází se z dynamického popisu systému pro chlazení kapaliny v nádobě a její obecné bilanční rovnice

$$VSTUP + ZDROJ = VÝSTUP + AKUMULACE \quad (22)$$

kdy pak vyjádříme dynamickou část rovnice na levou stranu a zbytek na pravou a získáme tak následný popis:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{\pi * d * h * \alpha (T_{cs} - T_{vs})}{V * \rho * c_p} \quad (23)$$

kde

α je koeficient přestupu tepla [KJ/m².K]

ρ je hustota kapaliny [kg/m³]

c_p je měrné teplo kapaliny [KJ/K.kg]

T_{vs} – vstupní teplota kapaliny [°C]

T_{cs} – teplota okolí [°C]

Počáteční podmínka $T_s(0) = T_{vs}$

Skript v SW Matlab:

```
% Reseni chladnuti nadoby s vodou teploty 100°C
clear all; close all; clc;
alfa = 43.5; % koeficient prestupu tepla z do okoli [KJ/(m^2.K.min)]
ro = 985; % hustota proudici kapaliny [kg/m^3]
cp = 4.05; % merne teplo kapaliny [KJ/(K.kg)]
Tvs = 80; % vstupni teplota kapaliny [°C] 80
Tcs = 26; % teplota okoli[°C] 26
pi = 3.14;

h=0.078; %[m]
d=0.072; %[m]
r=d/2; %[m]
V=pi*r^2*h;
F=pi*d*h;

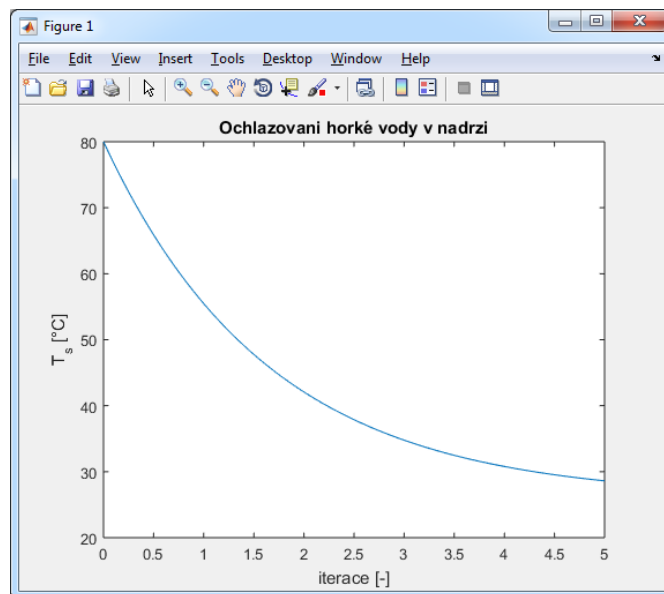
% vyres analyticky danou DR pro danou poc. podm. a misto v promenne
"t"
% vrat vysledek v promenne "z" (prostorova souradnice)
Ts = dsolve('DTs = (F*alfa*(Tcs-Ts))/(V*ro*cp)', 'Ts(0) = Tvs', 'z')

%pretty(Ts) % "hezci" zobrazeni
z = linspace(0, 5); % generuj vektor od 0 do 10

% vypocti teplotu pro vsechny prvky vektoru z
teplota = eval(Ts);

plot(z, teplota); % zobraz vysledek...

xlabel('iterace [-]'); ylabel('T_s [°C]');
title('Ochlazovani horké vody v nadrzi');
```



Obrázek 41 – Graf ochlazení kapaliny v SW
Matlab [vlastní zdroj]

5.2 Měřící set-up v laboratoři

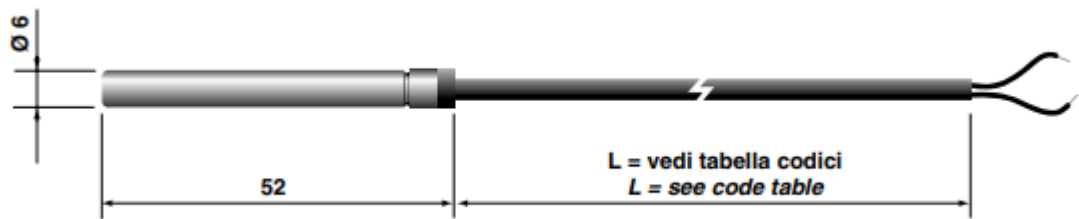
Měřící souprava k zadané úloze se sestává ze 2 multimetrů Agilent A34410, 2 senzorů teploty a 2 hrníčků představující dvě na sobě nezávislé tepelné soustavy, které jsou zdrojem měření. Zároveň potřebujeme PC se SW LabVIEW a vytvořeným programem pro tuto konkrétní úlohu.



Obrázek 42 – Měřící set-up v laboratoři [vlastní zdroj]

5.2.1 Termistor CAREL NTC015WP00

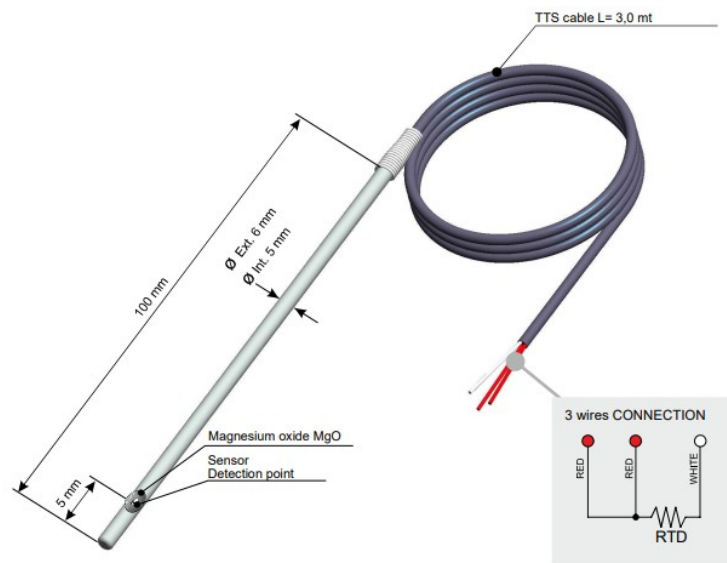
Teplotní senzor s vysokým stupněm ochrany s odolností IP68. Tento senzor se dá instalovat přímo do měřené soustavy nebo se dá používat i bez zapouzdření. Operační teplota je v rozsahu $\langle -50; 105 \rangle$ °C a vnitřní odpor senzoru je $10\text{k}\Omega \pm 1\%$ při 25°C. Teplotní konstanta je udávána kolem 30s a vodič je dvoupólový, dvojitý izolační plášť, AWG22 z pocínované mědi s elektrickým odporem $\leq 63 \Omega / \text{km}$ - Izolace: typ TPE specifikovaný ponořením do vody na vnějším plášti, PPcop. [26]



Obrázek 43 – Technické parametry NTC senzoru Carel [26]

5.2.2 RTD LOGITRON Pt100 PIXSYS

Čidlo Pt100 s měřicím rozsahem -40°C až $+250^{\circ}\text{C}$ a přesností $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ při 25°C . Pouzdro platinového snímače je tvořeno z nerezového materiálu o průměru 6mm a délce 300mm [27]



Obrázek 44 – Technické parametry Pt100 fy Pixsys [27]

5.2.3 Agilent A34410

Laboratorní multimetr pro měření *st* a *ss* proudu, odporu (podporuje 2 nebo 4 vodičové zapojení), lze zde měřit kapacitu, testovat diody, měření teploty pro termistory a RTD snímače, automatické přepínání rozsahu. Podporuje také matematické funkce (dB, limity, statistické funkce). Umožňuje zaznamenávat data do paměti přístroje. Splňuje komunikační standardy GPIB (IEEE-488), USB a LAN pro dálkové ovládání přístroje, dálkový záznam dat. Je kompatibilní s SCPI pro snadné programování nástrojů. Lze jej synchronizovat s dalšími přístroji fy Agilent. [28]



Obrázek 45 – Čelní strana multimetru Agilent 34410 [28]

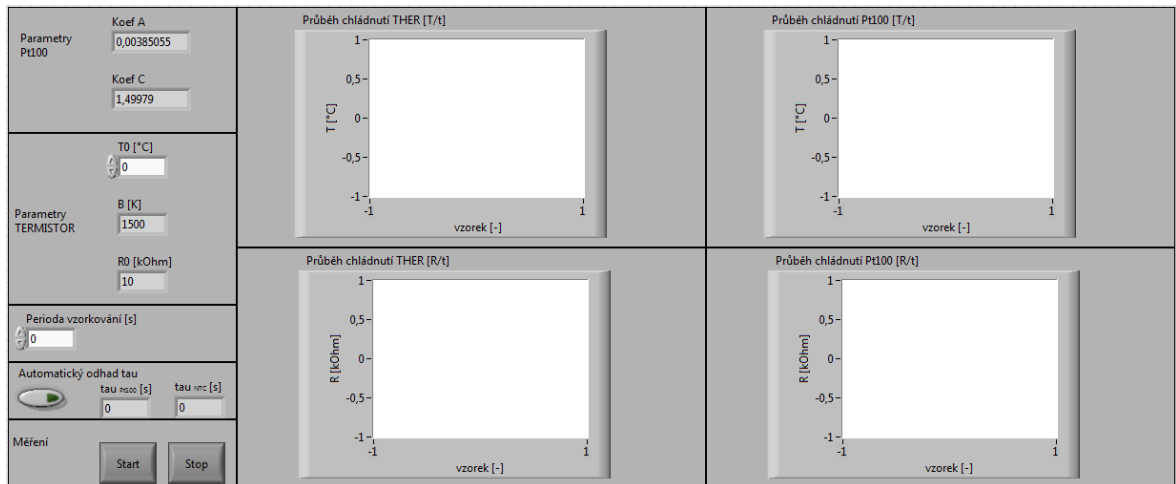
6 LABVIEW – UŽIVATELSKÝ PROGRAM

Uživatelský program jsem vytvořil v LabVIEW verze 2019, která se mi jeví mnohem přehledněji než např. verze NXG a zároveň nemá omezenou programovou výbavu pro komunikaci s řízenými jednotkami.

Operační panel (*FrontPanel*) obsahuje ovládací část, pro zadávání parametrů obou teplotních čidel (NTC a Pt100) a ovládní samotného měřicího procesu. Nejprve se musí zadat parametry pro platinový senzor Pt100 (parametry koeficient A a koeficient C), které udává výrobce snímače a najdeme je v datasheetu přiloženém k snímači. Zde jsou parametry zadány již jako konstanty, které nelze měnit, ovšem není problém předělat z *numeric constant* na *numeric control* a při změně typu snímače (např. jiného výrobce) definovat do operátorského panelu odlišné hodnoty. Stejně tak se musí zadat parametry pro termistorový snímač teploty a to koeficient B (který je výrobcem udáván, případně lze vyjádřit z rovnice 7). Pro následný vnitřní přepočítání odporu na teplotu je nutno zadat teplotu okolí T_0 ve °C a odpor R_0 , který bývá taktéž udáván výrobcem. Při nezadání přesných hodnot může docházet k značným odchylkám ve výsledcích měření a naměřená data by byla bezpředmětná.

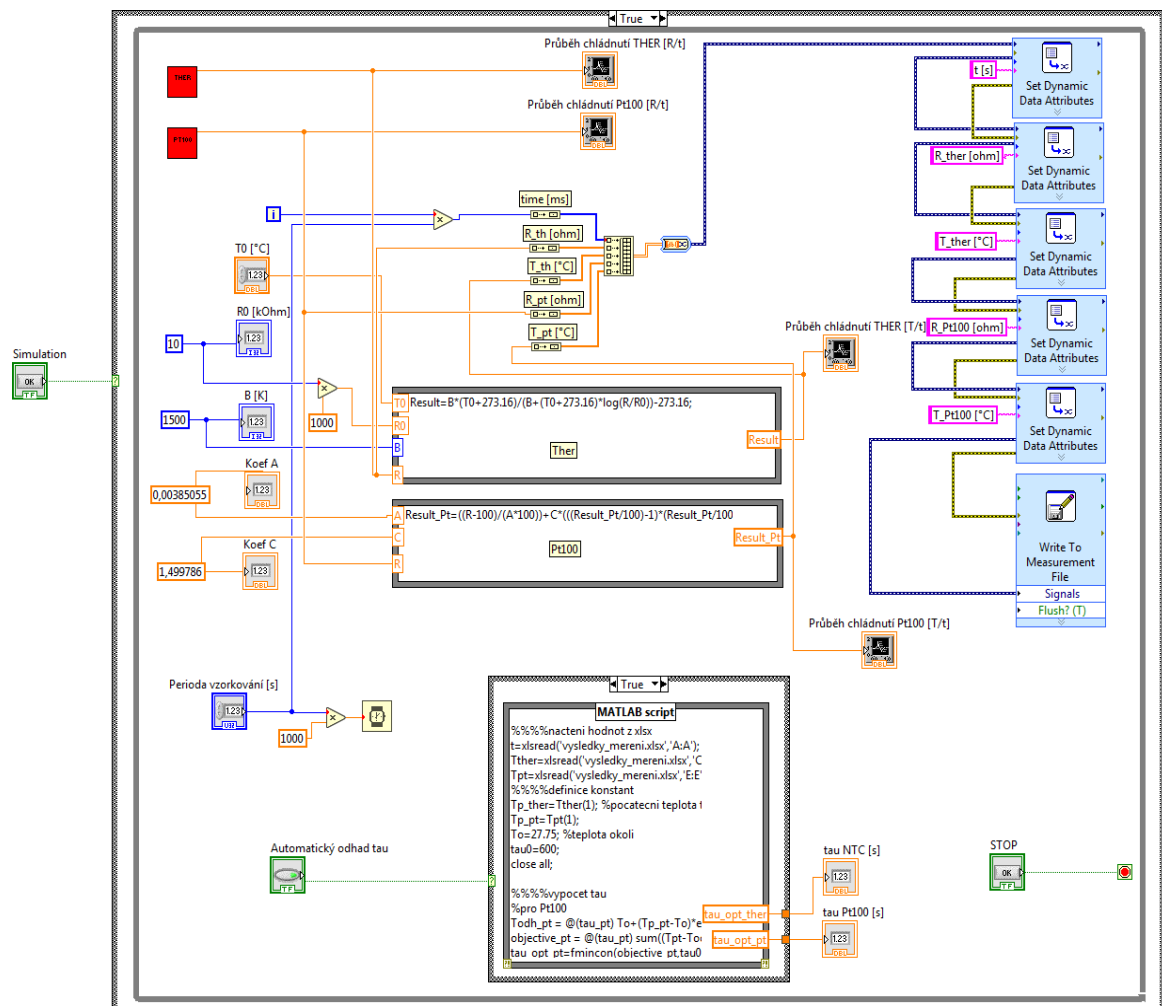
Posledním volitelným polem je zde perioda vzorkování, kde se zapisuje hodnota v sekundách a značí čas, za který bude z měřicího systému odečtena jedna hodnota teploty (pro oba multimetry stejná hodnota).

Nachází se zde i tlačítko pro volbu automatického odhadu charakteristické konstanty systému τ . Při sepnutí tohoto tlačítka se zároveň s měřením bude v programové části LabVIEW volat *MatlabScript*, jenž vynese při každé periodě graf s naměřenou hodnotou, společně s odhadem τ a namodelovaným ideálním průběhem, který by tato soustava měla mít. Pro ovládní celého měřicího procesu slouží tlačítka *START* a *STOP*, která spustí, případně přeruší celý programový cyklus.



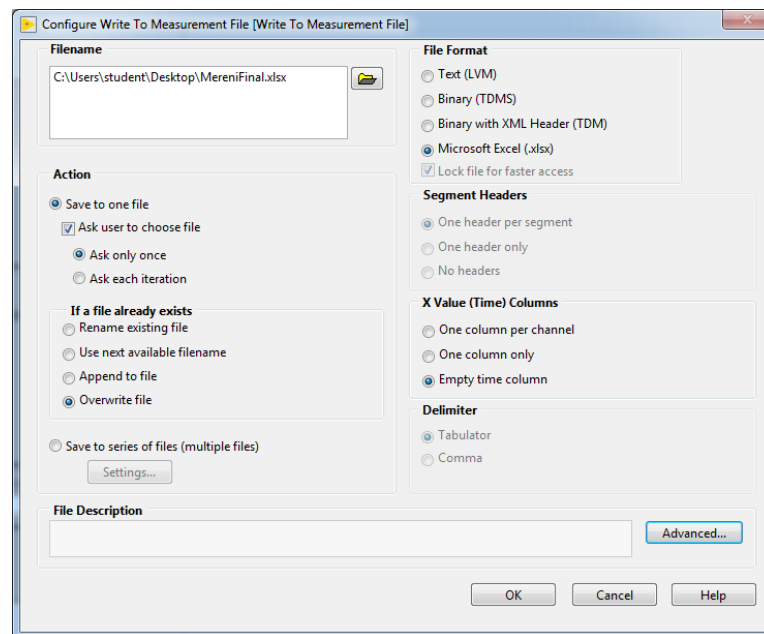
Obrázek 46 – Vizualizace uživatelského programu [vlastní zdroj]

Samotné chování operátorského panelu je dáno *main* programem v *block diagramu*. Hlavní schránkou je *case* struktura, která dokud nedostane na vstup hodnotu *true*, nespustí měřicí *while* smyčku nacházející se v těle této struktury.



Obrázek 47 – Programová část uživatelského programu [vlastní zdroj]

Základem spuštění je tlačítko *Start*, které na operátorském panelu značí *START* button, pokud je tento prvek v log.1, tedy je spuštěn měřicí cyklus, blok *case* umožní vykonávat *while* cyklus a začne měření, kdy v prvním kroku je obsluha dotázána, kam se mají archivovat naměřená data v souboru XLS a pod jakým jménem.



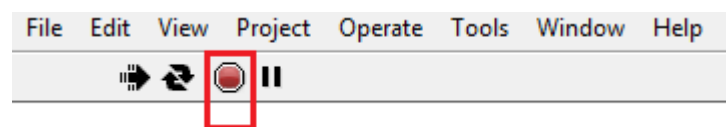
Obrázek 48 – Potvrzovací okno pro zápis dat do tabulky [vlastní zdroj]

Po zadání těchto informací a potvrzením stiskem tlačítka *OK* se spustí *subVI*, což je obdoba podprogramu v textových programovacích jazycích a inicializuje se zde komunikace s multimetrem a čtení hodnot z přístroje. Z přístroje je čtenou hodnotou odpor ze senzoru, který je rovnou vykreslen do prvního grafu Průběh chladnutí THER [R/t] a Průběh chladnutí Pt100 [R/t]. Dále jsou hodnoty odporu přivedeny na vstup bloku *formula node*, který umožňuje matematické operace v rámci tohoto bloku. Vstupují zde i hodnoty zadané jako parametry z operačního panelu (koeficienty senzorů udávané výrobcem). Výstupem tohoto bloku jsou hodnoty teplot pro termistor i RTD a následně jsou vykresleny v grafu Průběh chladnutí THER [T/t] a Průběh chladnutí Pt100 [T/t]. Hodnoty odporů ze snímačů i hodnoty přepočtených teplot společně s iteračním krokem bloku *while*, který zadáváme jako periodu vzorkování, jsou přivedeny na blok *build array*, který z čísla vytvoří pole, které se dále převede na 2D skalární pole s jehož pomocí můžeme ukládat přehledně data do Excelu v bloku *Write to Measurement File*.

	A	B	C	D	E
1	t [s]	R_ther [ohm]	T_ther [°C]	R_Pt100 [ohm]	T_Pt100 [°C]
2	0,00	1935,46	77,99	129,93	77,74
3	10,00	1949,76	77,73	129,79	77,37
4	20,00	1967,69	77,40	129,66	77,03
5	30,00	1981,86	77,15	129,56	76,76
6	40,00	2002,91	76,77	129,48	76,56
7	50,00	2019,74	76,48	129,39	76,32
8	60,00	2038,45	76,15	129,25	75,96
9	70,00	2055,81	75,85	129,16	75,74
10	80,00	2074,22	75,54	129,08	75,53
11	90,00	2086,27	75,33	128,97	75,23
12	100,00	2101,29	75,08	128,84	74,91
13	110,00	2120,54	74,76	128,74	74,64
14	120,00	2140,90	74,43	128,64	74,39
15	130,00	2163,84	74,05	128,53	74,10

Tabulka 2 – Naměřená data archivovaná v souboru *xlsx* [vlastní zdroj]

Ze smyčky *while* je možno vyskočit pouze ukončením celého procesu měření v horní liště „Abort execution“, nebo tlačítkem *STOP* na operačním panelu. Po přerušení měřicího cyklu je nutno znovu spustit celý cyklus i s přejmenováním a opětovným vybráním cesty pro soubor XLS do kterého se budou měřená data zapisovat a archivovat.



Obrázek 49 – „Abort execution“ v horní liště [vlastní zdroj]

Nadstandardním prvkem je zde možnost automatického odhadu časové konstanty systému, který, pokud je zvolen, spustí *MatlabScript* zapouzdřený v *case* struktuře, zde se začne vykonávat kód vytvořen v Matlabu, jehož hlavní funkcí je odhad τ pomocí minimalizace odchylek součtu čtverců pomocí příkazu *fmincon*. Data se kterými skript pracuje jsou načítána z *XLSX* souboru, do kterého LabVIEW archivuje měřená data. V každém kroku je pak počítána a zároveň vykreslena, společně s měřenými daty, teplota *Tmodel*, podle vzorce 26, která ukazuje optimální průběh chladičové soustavy. Výstupem z tohoto bloku jsou hodnoty τ pro měřenou soustavu 1, kterou měří senzor NTC, proto značení τ_{NTC} a hodnota τ pro měřenou soustavu 2, kterou měří senzor Pt100, proto označení τ_{Pt100} . Pokud možnost automatického odhadu není zvolena, je na *numeric indicator* přivedena konstanta 0.

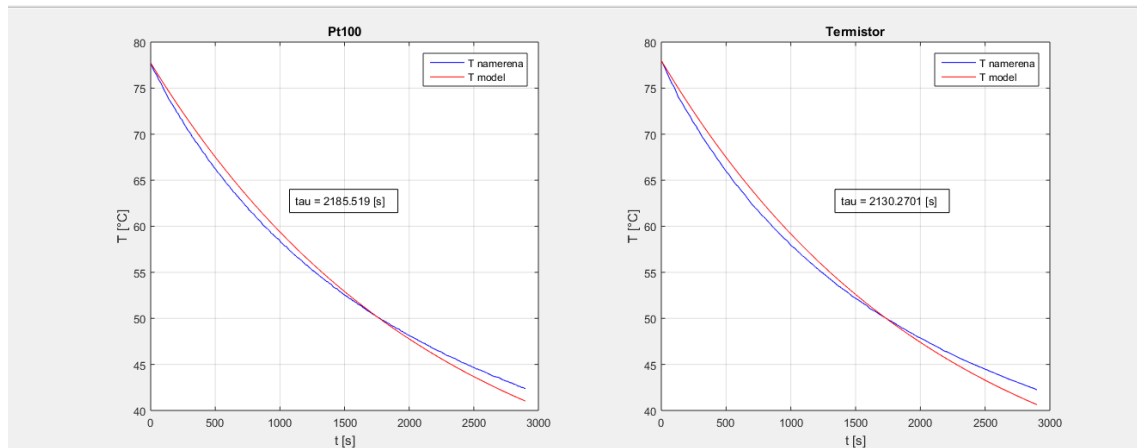
```
%%%nacteni hodnot z xlsx
t=xlsread('vysledky_mereni.xlsx','A:A');
Tther=xlsread('vysledky_mereni.xlsx','C:C');
Tpt=xlsread('vysledky_mereni.xlsx','E:E');
%%%definice konstant
Tp_ther=Tther(1); %pocatecni teplota termistoru
Tp_pt=Tpt(1);
To=27.75; %teplota okoli
tau0=600;
close all;

%%%vypocet tau
%pro Pt100
Todh_pt = @(tau_pt) To+(Tp_pt-To)*exp(-t/tau_pt);
objective_pt = @(tau_pt) sum((Tpt-Todh_pt(tau_pt)).^2);
tau_opt_pt=fmincon(objective_pt,tau0);

%pro NTC
Todh_ther = @(tau_ther) To+(Tp_ther-To)*exp(-t/tau_ther);
objective_ther = @(tau_ther) sum((Tther-Todh_ther(tau_ther)).^2);
tau_opt_ther=fmincon(objective_ther,tau0);

%%%Vykresleni grafu
%Pt100
figure;
subplot(2,2,[1 3]);
set(gcf, 'Units', 'Normalized', 'OuterPosition', [0, 0.04, 1, 0.80]);
plot(t,Tpt, 'b')
hold on
plot(t,Todh_pt(tau_opt_pt), 'r')
legend('T namerena', 'T model')
xlabel('t [s]')
ylabel('T [°C]')
title('Pt100');
grid on
annotation('textbox', [0.25,0.5,0.1,0.1], 'String', ['tau = '
num2str(tau_opt_pt) ' [s]']);

%NTC
subplot(2,2,[2 4]);
plot(t,Tther, 'b')
hold on
plot(t,Todh_ther(tau_opt_ther), 'r')
legend('T namerena', 'T model')
xlabel('t [s]')
ylabel('T [°C]')
title('Termistor');
grid on
annotation('textbox', [0.72,0.5,0.1,0.1], 'String', ['tau = '
num2str(tau_opt_ther) ' [s]']);
```

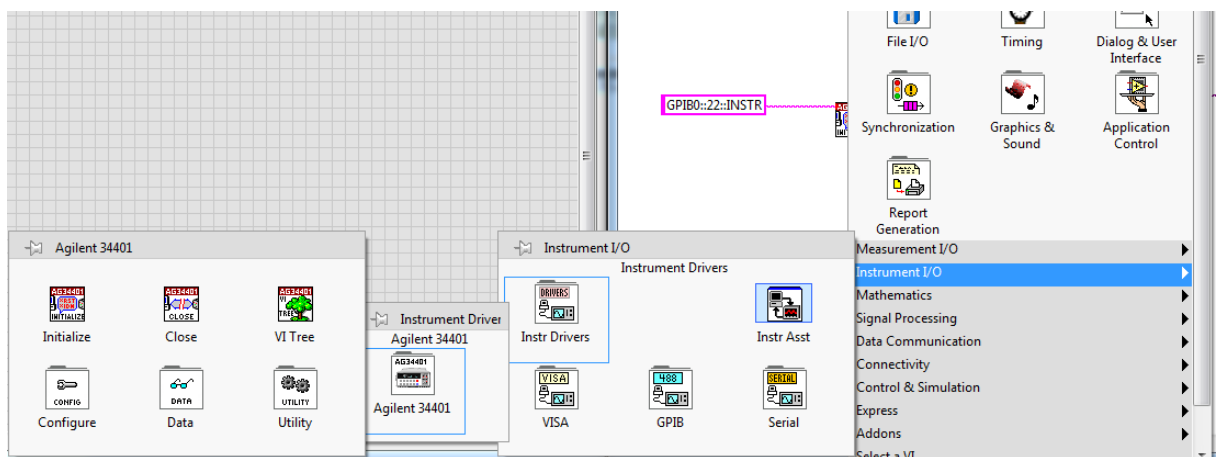


Obrázek 50 – Výsledný graf při volání Matlab skriptu v LabVIEW [vlastní zdroj]

6.1 Komunikace LabVIEW – Multimetr AGILIENT 34410A

6.1.1 Vytvoření komunikace pomocí driveru

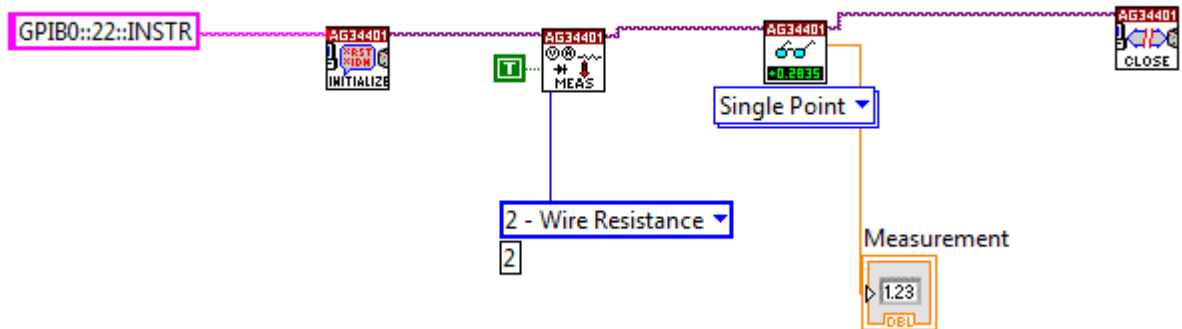
Vybrání Instrument I/O pro vytvoření komunikace s podřazeným systémem a výběr nainstalované sady pro konkrétní multimetr.



Obrázek 51 – Komunikace SW s multimetrem pomocí driveru – volba nástroje [vlastní zdroj]

Seskládáme funkční bloky do následujícího sledu pro možnost navázání komunikace, otevření komunikačního portu, inicializace jednotky – definice ovládání altimetru vzdáleně (tzv. *Remote*), nastavení druhu měření a dílčích parametrů pro správné měření, následně

načtení dat z přístroje, jeho zpracování v SW LabVIEW a ukončení komunikace s jednotkou (*close*).



Obrázek 52 – Komunikace SW s multimetrem pomocí driveru – bloky pro komunikaci [vlastní zdroj]

Základem komunikace je vybrání názvu jednotky se kterou chceme komunikovat– buď zadat přímo název jednotky jako *string* a zapojit ji na vstup „*VISA resource name*“ do inicializačního bloku nebo je zde možnost vytvoření vstupu „*control*“ kde se nachází list box se všemi aktivními připojenými jednotkami, přes rozhraní *GPIB* a vybereme *AGILIANT*. Dalším blokem je již zmíněný inicializační, který nastaví komunikaci „*remote*“, dalším blokem je *MEAS*, v kterém specifikujeme co chceme měřit, nabízí se zde možnosti:

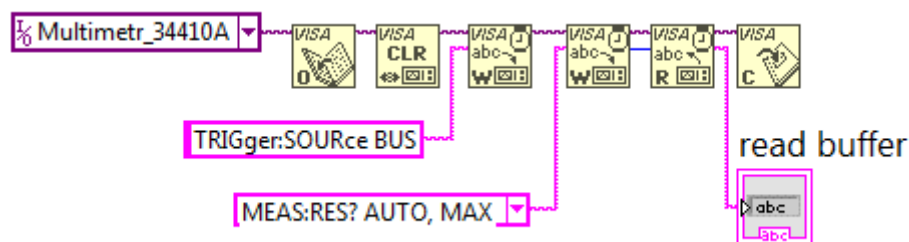
- DC Voltage
- AC Voltage
- 2 – Wire Resistance
- 4 – Wire Resistance
- DC Current
- AC Current
- Frequency
- Period
- Continuity
- Diode Checking
- VDC:VDC Ration
- Temperature
- Capacitance

Pro náš účel, kdy máme zapojen senzor RTD, dvou vodičově zvolíme *2-Wire Resistance*

Dalším Blokem je „Read“ pro čtení hodnoty z přístroje. Nemusíme posílat dotaz na přístroj, tento blok vše řídí automaticky a výstupem je indikátor „Measurement“. Posledním blokem v tomto schématu je „close“, který ukončí komunikaci.

6.1.2 Vytvoření komunikace pomocí LowLevel příkazů

Zvolíme z Instrument I/O -> Visa (Virtual Instrument Software Architecture).



Obrázek 53 - Komunikace SW s multimetrem pomocí LowLevel příkazů

[vlastní zdroj]

Prvním blokem s označením D je prvek pro otevření komunikace, zde se zadá „Visa resource name“. Zde se také může zadán název zařízení přímo pomocí „string“ nebo volbou ListBoxu a vybráním připojené jednotky. Dalším blokem je „CLR“ pro vymazání registrů a připravení pro novou komunikaci. Další blok pro zápis, „VISA Write“ umožní zapsat příkaz (query) pro multimetr. Multimetr agilent 34410A umožňuje širokou paletu příkazů pro nastavení přístroje na dálku, např.:

Pro RTD:

```
[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FRTD:OCOMpensated
{OFF|0|ON|1}

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FRTD:OCOMpensated?

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FRTD:RESistance[:REFerence]
{<reference>|MIN|MAX|DEF}

[SEN-
Se:]TEMPerature:TRANsducer:FRTD:RESistance[:REFerence]?
[{MIN|MAX}]

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FRTD:TYPE
```

Pro termistor:

```
[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FThermistor:TYPE
{2252|5000|10000}

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:FThermistor:TYPE?

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:THERmistor:TYPE
{2252|5000|10000}

[SENSe:]TEMPerature:TRANsducer:THERmistor:TYPE?
```

Pro měření:

```
MEASure:RESistance?[{<range>|AUTO|MIN|MAX|DEF}
[, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}] ]

MEASure:TEMPerature? {FRTD|RTD|THERmistor|DEF},
{<type>|DEF} [,1 [, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}] ]

MEASure[:VOLTag]:AC?[{<range>|AUTO|MIN|MAX|DEF}
[, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}] ]

MEASure[:VOLTag][:DC]?[{<range>|AUTO|MIN|MAX|DEF}
[, {<resolution>|MIN|MAX|DEF}] ]

Temperature Configuration Commands

CONFigure:TEMPerature
```

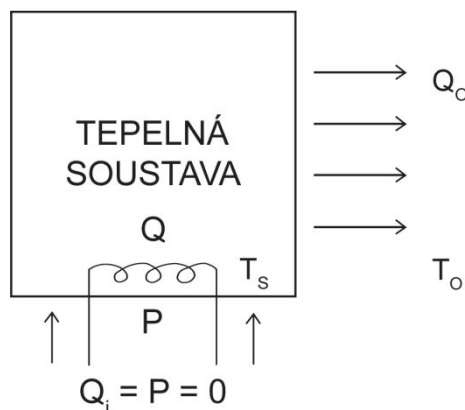
7 LABORATORNÍ ÚLOHA

7.1 Zadání

7.1.1 Úvod

Teplo Q [J] je energie vyměněná mezi systémem a okolím jako důsledek teplotního rozdílu mezi nimi. Pokud je systém s okolím v teplotní rovnováze, pak přenášené teplo je rovno nule. Je-li ovšem teplota okolí a systému rozdílná, nastává přenos tepla. Při $T_o > T_s$ (T_o – teplota okolí, T_s – teplota systému) mluvíme o teple dodaném do systému, pohlceném systémem. Při $T_o < T_s$ je teplo vyzářené ze systému uvolněné do okolí.

Pro potřeby laboratorní úlohy si definujeme soustavu a teplo, které ji ovlivňuje při procesu chlazení.



Obrázek 54 – Tepelná soustava [vlastní zdroj]

Pro získání rovnice chlazení vyjdeme ze vztahu pro tepelnou bilanci

$$dQ = dQ_i - dQ_o \quad (24)$$

kde Q [J] je teplo systému,
 Q_o [J] teplo vyzářené systémem,
 Q_i [J] teplo dodané do systému.

Je zřejmé, že při procesu chlazení naší soustavy (hrnek horké vody) do systému nedodáváme žádné teplo ($Q_i = 0$) a naopak systém teplo uvolňuje. Pro Q_o lze psát rovnici

$$Q_o = H \cdot t \quad (25)$$

$$H = S \lambda (T - T_0) = S \frac{T - T_0}{R} \quad (26)$$

kde H [Js^{-1}] je tepelný tok (množství tepla za jednotku času),
 S [m^2] plocha vedení,
 λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] tepelná vodivost,
 R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] tepelný odpor.

Pro tepelný odpor R respektive tepelnou vodivost λ platí vztah

$$\lambda = R^{-1} = \frac{k}{d} \quad (27)$$

kde k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti,
 d [m] síla přechodu mezi systémy.

Pokud přejdeme na řešení problému tepla Q soustavy, narazíme na pojem tepelná kapacita, nebo přesněji měrná tepelná kapacita c [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$].

Můžeme psát

$$Q = c m \Delta T \text{ [J]} \quad (28)$$

kde m [kg] je hmotnost soustavy,
 ΔT [$^{\circ}\text{C}$] rozdíl počáteční a koncové teploty systému.

Jinými slovy řečeno, teplo, které se z našeho systému uvolňuje, je dáno mechanismem přenosu tepla vedením. Teplo systému je dáno jeho materiálem, hmotností a gradientem teplot.

Ze vztahu pro tepelnou bilanci jsme pak schopni odvodit rovnici pro proces chladnutí

$$T(t) = T_o + (T_p - T_o) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (29)$$

kde	τ [s]	je časová konstanta systému (charakteristický čas systému),
	t [s]	čas
	T_0 [°C]	teplota okolí,
	T_p [°C]	počáteční teplota vody.

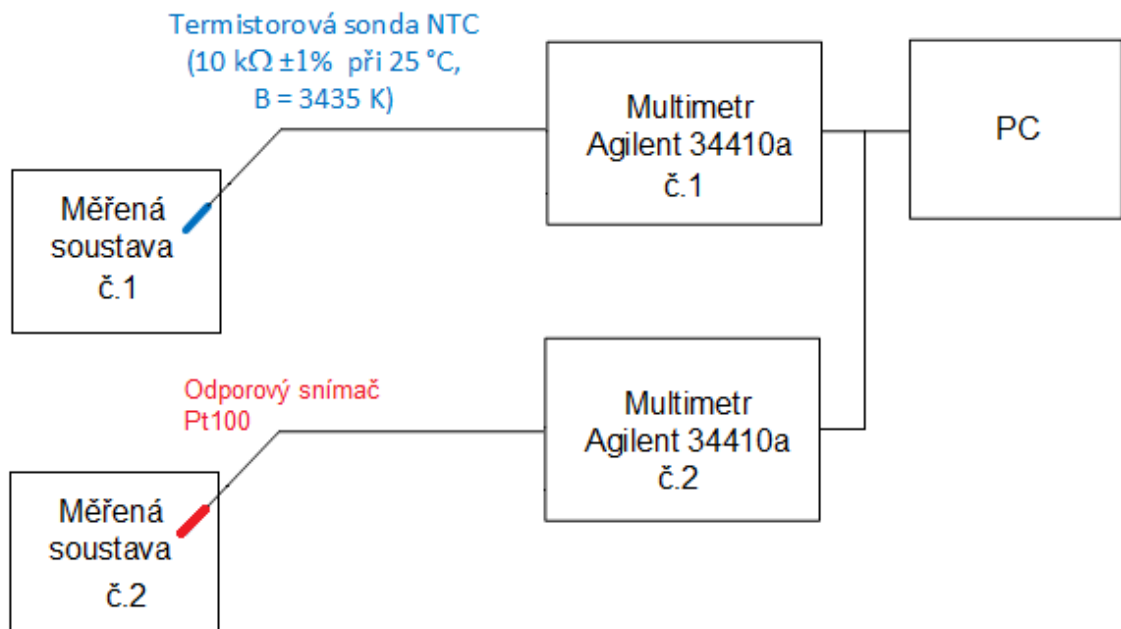
Časovou konstantu systému τ [s] lze analyticky vyjádřit:

$$\tau = \frac{c m}{\lambda S} \text{ [s]} \quad (30)$$

7.1.2 Cíl

Cílem úlohy je zaznamenání průběhu chladnutí vody v hrníčku pomocí termistorové a odporové sondy, z naměřených hodnot určení časové konstanty systému a následné porovnání s teoretickým modelem.

7.1.3 Schéma



Obrázek 55 – Blokové schéma měřené úlohy [vlastní zdroj]

7.1.4 Postup při měření

Dle schématu sestavte automatizované měřicí pracoviště, případně ověřte jeho správné zapojení. Zkopírujte si soubor „C:_Úloha č. 3\Úloha č. 3.vi“ do vašeho adresáře na disku D, kde máte právo zapisovat a tento program si v prostředí LabVIEW otevřete a spusťte. Program umožňuje automatizované měření procesu chladnutí tepelné soustavy. Dle definované periody vzorkování probíhá měření odporu v čase, přepočítání na teplotu dle zadáných parametrů a záznam těchto dat do souboru. V programu si dle potřeby upravte název souboru.

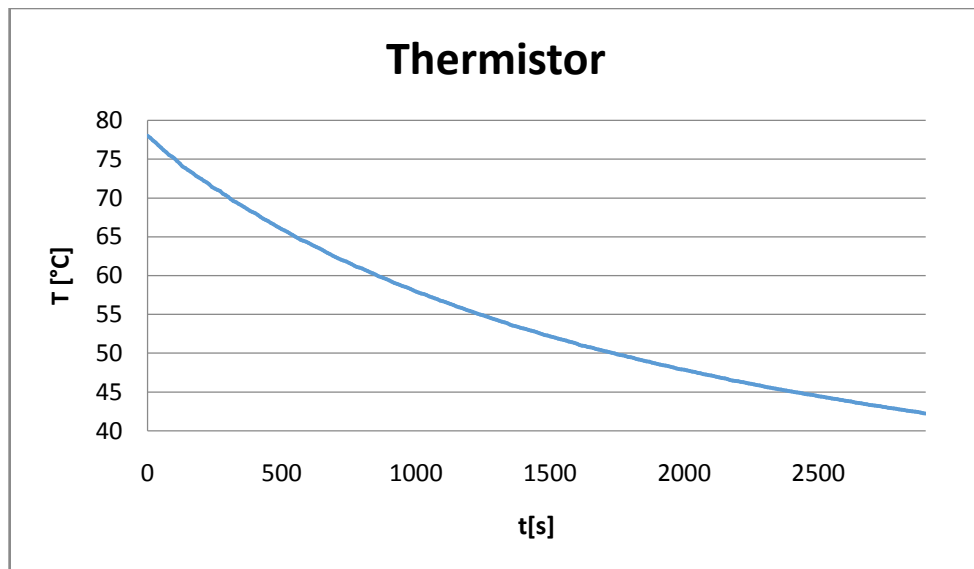
Z technické dokumentace termistorové sondy zjistěte vztah pro přepočítání elektrického odporu na teplotu. Změřte teplotu v laboratoři (teplota okolí). Ve varné konvici uvařte vodu, kterou pak nalijte do soustavy č.1, kterou představuje hrníček bez tepelné izolace a do soustavy č.2, kterou interpretuje identický hrníček jako soustavu č.1. Do vody v hrníčku ponořte teplotní sondu (PT100 do soustavy č.1, NTC do soustavy č.2, případně naopak, ne však 2 sondy do 1 hrníčku), v programu stiskněte tlačítko pro start simulace a zaznamenávejte pokles odporu (a přepočítané teploty) s časem s periodou vzorkování, kterou Vám určí vyučující. Samovolné chladnutí vody v hrníčku měřte až do doby, kdy dojde k poklesu přibližně na teplotu okolí.

7.1.5 Vyhodnocení

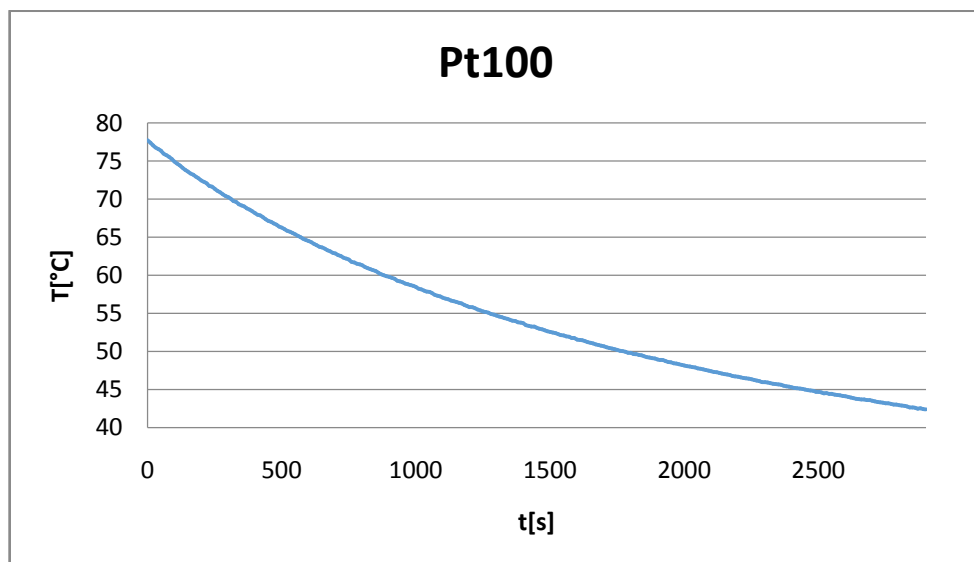
- 1) Z naměřených hodnot získáte pomocí regresní analýzy odhad časové konstanty τ (použijte matematický model - viz rovnice č. 29). Využijte k tomu např. MS Excel (doplněk řešitel), Matlab, Mathematicu či jiný vhodný softwarový nástroj.
- 2) Reálně naměřená data i data získaná z matematického modelu zobrazte jak formou přehledné tabulky, tak i formou grafického znázornění.
- 3) Vypočítejte na základě matematického modelu za jak dlouho od počátku chladnutí by teplota poklesla na teplotu, kterou Vám zadá vyučující. Vypočtený čas porovnejte s Vaším reálným měřením a případné rozdíly zdůvodněte v závěru.
- 4) Součástí odevzdání protokolu bude i použitý soubor XLS, XLSX.

7.2 Zpracování

- 1) Z naměřených hodnot získajte pomocí regresní analýzy odhad časové konstanty τ (použijte matematický model - viz rovnice č. 26). Využijte k tomu např. MS Excel (doplněk řešitel), Matlab, Mathematicu či jiný vhodný softwarový nástroj.
 - a) Pro termistorový snímač $\tau=2129,61$ s



Obrázek 56 – Naměřené hodnoty termistoru [vlastní zdroj]



Obrázek 57 – Naměřené hodnoty Pt100 [vlastní zdroj]

2) Reálně naměřená data i data získaná z matematického modelu zobrazte jak formou přehledné tabulky, tak i formou grafického znázornění.

a) Termistor

```

Tp=Tther(1); %pocatecni teplota
To=27.75; %teplota okoli
Tz=40; %zadaná teplota vyučujícím, na kterou se má soustava ochladit
clc;
tau0=600;

Todh_ther = @(tau) To+(Tp-To)*exp(-t/tau);
objective = @(tau) sum((Tther-Todh_ther(tau)).^2);
disp(['Suma cvtercu: ' num2str(objective(tau0))])

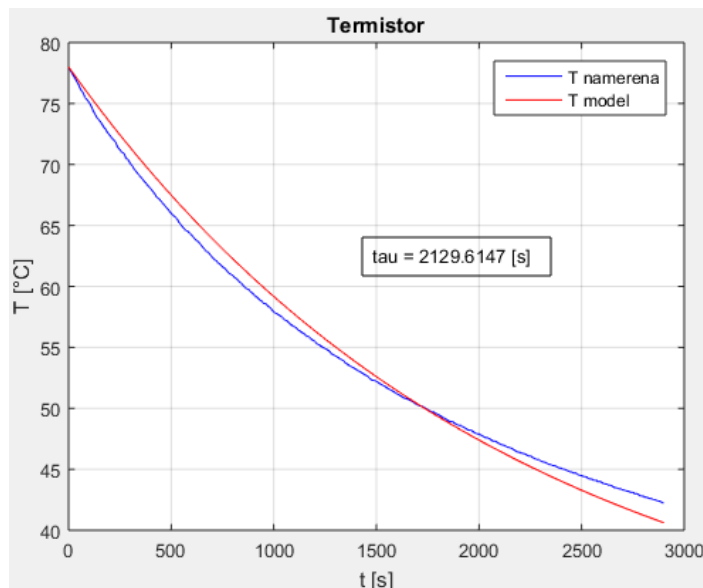
tau_opt=fmincon(objective,tau0);

disp(['Suma ctvercu opt: ' num2str(objective(tau_opt))])
disp(['tau_opt: ' num2str(tau_opt)])

%za jak dlouho se soustava ochladí na zadanou teplotu Tz
tz=-tau_opt*log((Tz-To)/(Tp-To));
disp(['tz: ' num2str(tz)])

plot(t,Tther, 'b')
hold on
plot(t,Todh_ther(tau_opt),'r')
legend('T namerena', 'T model')
xlabel('t [s]')
ylabel('T [°C]')
title('Termistor');
grid on
annotation('textbox', [0.5,0.5,0.1,0.1], 'String', ['tau = '

```



Obrázek 58 – Výsledný graf chlazení soustavy měřené senzorem NTC a odhadu časové konstanty tau [vlastní zdroj]

b) Pt100

```

Tp=Tpt(1); %pocatecni teplota
To=27.75; %teplota okoli
Tz=40; %zadaná teplota vyučujícím, na kterou se má soustava ochladit
clc;
tau0=600;

Todh_ther = @(tau) To+(Tp-To)*exp(-t/tau);
objective = @(tau) sum((Tther-Todh_ther(tau)).^2);
disp(['Suma cvtercu: ' num2str(objective(tau0))])

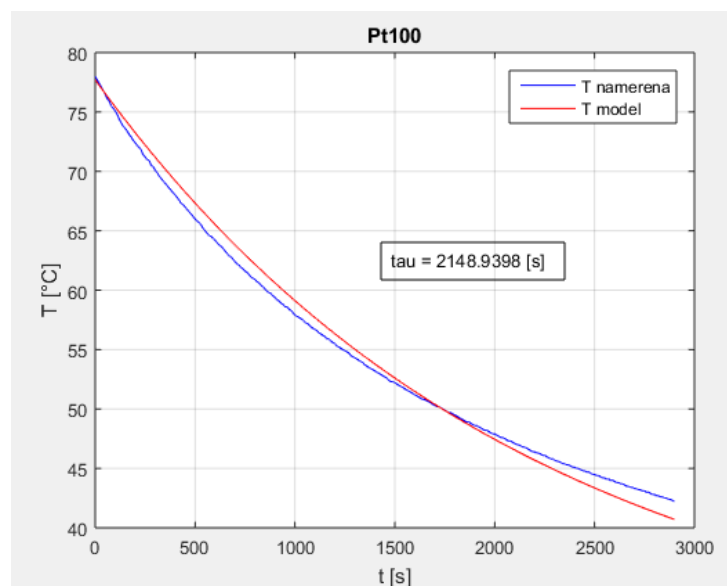
tau_opt=fmincon(objective,tau0);

disp(['Suma ctvercu opt: ' num2str(objective(tau_opt))])
disp(['tau_opt: ' num2str(tau_opt)])

%za jak dlouho se soustava ochladí na zadanou teplotu Tz
tz=-tau_opt*log((Tz-To)/(Tp-To));
disp(['tz: ' num2str(tz)])

plot(t,Tther, 'b')
hold on
plot(t,Todh_ther(tau_opt),'r')
legend('T namerena', 'T model')
xlabel('t [s]')
ylabel('T [°C]')
title('Pt100');
grid on
annotation('textbox', [0.5,0.5,0.1,0.1], 'String', ['tau = '
num2str(tau_opt) ' [s]']);

```



Obrázek 59 - Výsledný graf chladnutí soustavy měřené senzorem Pt100 a odhadu časové konstanty τ [vlastní zdroj]

3) Vypočítejte na základě matematického modelu za jak dlouho od počátku chladnutí by teplota poklesla na teplotu, kterou Vám zadá vyučující. Vypočtený čas porovnejte s Vaším reálným měřením a případné rozdíly zdůvodněte v závěru.

Hodnota zadaná vyučujícím, na kterou se má soustava ochladit byla $T_z=40^\circ\text{C}$.

Teplota soustavy by klesla za 3005,54 sekund u NTC a za 3020,32 sekund u soustavy s RTD senzorem.

Závěr měření

Hlavním cílem bylo připravit měřenou soustavu, bylo tedy nutno ohřát vodu v rychlovarné konvici a spustit program *uloha_c_3.vi*. Prioritně jsem si však musel zjistit z teploměru v laboratoři teplotu okolí, která je potřebná pro přepočet odporu termistorového snímače na teplotu. V mém případě byla $T_o=27,75^\circ\text{C}$. Po dovaření konvice byly naplněny hrnky představující dvě nezávislé měřené soustavy, do nichž se vložil RTD a NTC senzor, zadaly se potřebné parametry operačním panelu a následně jsem spustil měřící cyklus v SW LabVIEW, stiskem tlačítka „start“ a výběrem cesty, kam se má uložit XLS soubor s naměřenými daty. Po asi 50 minutách byla teplota ustálena na cca 40°C , což je průběh dostačující pro a hlavně chladnutí teplejšího systému bylo ze začátku „rychlejší“ (za 0s 500s byl $\Delta T 12^\circ\text{C}$ a třeba z 1000s na 1500s byl pokles pouze o 5°C).

Z naměřených dat jsem vykreslil grafy přímo v SW Excel. Následně jsem v SW Matlab vytvořil pole t , T_{ther} , T_{pt} , kam jsem nakopíroval naměřená data XLS souboru a udělal skript pro výpočet parametru chladnutí τ . V hlavičce skriptu se zadávaly parametry pro nutné následující výpočty. Vzala se tedy hodnota počáteční teploty a zadala se zde hodnota okolní teploty a odhad parametru tau. Využil jsem anonymní funkce $@$, kterou Matlab nabízí, kam se zadávaly argumenty pro tau. Vycházelo se z informací, že máme naměřená data chladnoucí kapaliny a znal jsem rovnice popisující model.

$$T(t) = T_o + (T_p - T_o) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (31)$$

Z tohoto modelu jsem v každém kroku vypočítal hodnotu teploty a sumu čtverců odchylek teplot a s využitím optimalizační funkce *fmincon* jsem zjistil neoptimálnější tau pro daný systém.

Teplota, na kterou se měl ochladit systém a určit tak čas v kterém dosáhne systém zadané teploty, byla vyučujícím zadána na $T_z=40^\circ\text{C}$.

Teplotu jsem odvodil z rovnice (1) do následujícího tvaru

$$t = -\tau \cdot \ln\left(\frac{T_z - T_o}{T_p - T_o}\right) \quad (32)$$

Hodnota času pro soustavu měřenou termistorem byla cca 3005 sekund a pro soustavu měřenou platinovým senzorem byla 3020 sekund. Z toho lze usoudit, že v soustavě č.2, která byla měřena RTD senzorem bylo větší množství vody, než v první identické nádobě.

Obecně můžeme k snímačům teploty říci, že platinový senzor má lineárnější průběh měření a pravděpodobně bude měřit přesněji, jelikož je brán jako standart pro měření teplot v průmyslových podmínkách a platina nepodléhá tak silné degradaci materiálu jako polovodičový senzor NTC.

Oproti platině se jeví NTC jako mnohem dynamičtější a rychleji reaguje na změnu teploty než platina. Offset mezi hodnotami teplot se pohyboval v průměru kolem $0,25^\circ\text{C}$.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo seznámit se stručně s dvěma nejvyžívanějšími typy kontaktních snímačů teploty: RTD senzory a termistorové senzory, nastínit celkovou problematiku kolem snímání teploty z okolí, případně snímaného systému, zpracování těchto hodnot a možnosti SW LabVIEW pro tvorbu programu pro archivaci naměřených dat a grafické znázornění měřených průběhů.

V teoretické části je rozepsána teorie principiální funkce kontaktních senzorů teploty, převod změny odporu na jinou dále zpracovatelnou veličinu, jako je napětí či proud a následnou další možnost převodu do diskrétního tvaru a následnou možnost zpracování v PC. Je zde také úvod prostředí programování v LabVIEW, jeho možnosti, jak v operátorském panelu, tak v programovací části.

V praktické části je návrh inovace stávající laboratorní úlohy a uveden souhrn nástrojů potřebných pro měření této konkrétní soustavy. Je zde definován dynamický matematický model chladnoucí tepelné soustavy v SW Matlab pro upřesnění představy toho, co se má měřit a návrh celého programu pro měření, včetně grafického uživatelského prostředí s možností reportu dat do SW Excel, popis funkčních bloků, možnost nastavení komunikace s podřazeným systémem, kterým byl v této situaci multimetr Agilent.

Představení SW LabVIEW a konkrétní program pro zadanou úlohu s rozepsáním jeho dílčích částí a funkcí umožní studentům vytvářet nové programy v tomto grafickém programovacím jazyce s již vyřešenou problematikou týkající se komunikace s ostatními zařízeními, archivace naměřených hodnot, grafické zobrazení, zápis dat do pole, aj.

Zároveň jsou zde konkrétní ukázky možností komunikace v SW LabVIEW s podřízeným systémem, pomocí LowLevel příkazů, které patří mezi nízko úrovněvé příkazy a je zde nutno znát sadu instrukcí definovanou výrobcem, nebo naopak ovládání podřízeného systému pomocí instalovaných a v SW rozpoznávaných driverů, díky kterým je komunikace s podřízenou jednotkou mnohem více uživatelsky přívětivá, než LowLevel.

Samotná nová měřící úloha ukáže studentům zásadní rozdíly mezi hojně využívanými odporovými snímači teploty, jejich výhody a nevýhody a zároveň praktickou aplikaci v měření, nutnost čtení v příloženém datasheetu výrobce, pro vyčtení parametrů definující chování samotného senzoru, které poté využijí nejen na akademické půdě, ale především v praxi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, DUB, Petr, ed. Fyzika. 2., přeprac. vyd. Přeložil Miroslav ČERNÝ. Brno: VUTIUM, 2013. Překlady vysokoškolských učebnic. 500 s. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [2] JENČÍK, Josef a Jiří VOCETKA. Měření tepelných veličin v automatizaci. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1967. Knižnice automatizace. 12 s.
- [3] BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika. Vyd. 2. Brno: Computer Press, 2003. 76 s. ISBN 80-7226-248-3.
- [4] KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. 19 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [5] Snímače teploty [online]. ISS Nová Paka [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [6] KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. 89 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [7] HRUŠKA, František. Technické prostředky pro řídicí a informační systémy. UTB ve Zlíně, 2017. 24 s. ISBN 978-80-7454-700-3.
- [8] What is a Thermistor. EI sensor Technologies [online]. 2020 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.ei-sensor.com/what-is-a-thermistor/>
- [9] NTC Thermistor [online]. Micro-Chip TECH, 2010 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: http://www.microchiptechno.com/ntc_thermistors.php
- [10] JANÍČEK, Jan. Polovodičové snímače teploty - Termistory. Automa [online]. 2015, 2015(1),2[cit.2020-07-19].Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53323.pdf
- [11] PTC Thermistor [online]. EETech Media, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: http://www.resistorguide.com/ptc-thermistor/#What_are_PTC_thermistors
- [12] Přehled principů el.měření teploty - 1. díl [online]. automatizace.hw.cz, 2014 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>

[13] HRUŠKA, František. Technické prostředky pro řídicí a informační systémy. UTB ve Zlíně, 2017. 20 s. ISBN 978-80-7454-700-3.

[14] PT100 platinum resistance thermometers [online]. England: Pico Technology, 2020 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.picotech.com/library/application-note/pt100-platinum-resistance-thermometers>

[15] ŠULA, Oldřich. Snímače a převodníky měřicích a regulačních přístrojů. Praha: SNTL, 1968. Knižnice automatizace. 138 s.

[16] How does a Pt100 sensor work? [online]. Finland: Epic Sensors, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.epicsensors.com/en/faq/how-does-a-pt100-sensor-work/>

[17] VEPŘEK, Jaroslav. Termistory. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Knižnice automatizace. 44 s.

[18] Teorie zpracování signálu platinových teplotních senzorů [online]. automatizace.hw.cz, 2014 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>

[19] How to Convert the Analog Signal to Digital [online]. India: elprocus.com, 2016 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/analog-to-digital-adc-converter/>

[20] Převodníky [online]. e-automatizace.cz, 2015 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Prevodniky.html

[21] Slope ADC [online]. UK: All About Circuits, 2020 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-13/slope-integrating-adc/>

[22] UNDERSTANDING SAR ADCS [online]. USA: Maxim Integrated, 2001 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z:

<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1080.html>

[23] Delta-Sigma ADC [online]. UK: All About Circuits, 2005 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-13/delta-sigma-adc/>

[24] KRETSCHMEROVÁ, Lenka a Jaroslav VLACH. *Programování v LabVIEW v příkladech*. 1.vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7494-167-2.

[25] TRAVIS, Jeffrey a Jim KRING. *LabVIEW for everyone: graphical programming made easy and fun*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006. ISBN 0131856723.

[26] Carel USA. Carel NTC015WP00 datasheet. [online].carelusa.com. 2013 [cit.2020-07-27]. Dostupné z:

<https://datasheet.octopart.com/NTC015WP00-Carel-datasheet-15499833.pdf>

[27] PixSys Electronic. PixSys PT100B datasheet. [online].pixsys.net. 2000

[cit.2020-07-27]. Dostupné z:

<https://www.logitron.cz/data/user-content/dokumenty/navody/Pixsys/pt100b-2000.90.036.pdf>

[28] Agilent Technologies, Inc. Agilent 34410A User's guide. [online].agilent.com. 2012

[cit.2020-07-27]. Dostupné z:

http://www.sophphx.caltech.edu/Lab_Equipment/34410%20User%20Guide.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SW Software

RTD Resistance temperature detector

NTC Negative temperature coefficient

PTC Positive temperature coefficient

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 – Kapalinový teploměr</i>	13
<i>Obrázek 2 – Typy dilatačních snímačů teploty</i>	14
<i>Obrázek 3 – Tlakový snímač teploty</i>	15
<i>Obrázek 4 – Termoelektrický článek</i>	15
<i>Obrázek 5 – Termistorový snímač</i>	17
<i>Obrázek 6 - Porovnání závislosti elektrického odporu na teplotě kovových odporových snímačů teploty Pt, Ni a termistorů NTC</i>	18
<i>Obrázek 7 – Průběh teploty v závislosti na odporu u NTC a silistoru</i>	20
<i>Obrázek 8 – Platinový snímač teploty</i>	22
<i>Obrázek 9 – Plochý platinový měřicí odpor ZPA</i>	23
<i>Obrázek 10 Zatavené platinové měřicí odpory, a- skleněný, b- keramický</i>	24
<i>Obrázek 11 - Převodní charakteristika různých typů dotykových odporových senzorů teploty</i>	25
<i>Obrázek 12 – Barva drátu Pt100 podle EN 60751</i>	26
<i>Obrázek 13 - Základní schéma můstku s termistorem</i>	27
<i>Obrázek 14 - Tři možnosti připojení senzoru k odporovému můstku, zleva: dvou vodičové, tři a čtyřvodičové propojení</i>	29
<i>Obrázek 15 – dvou vodičové a třívodičové zapojení</i>	30
<i>Obrázek 16 - Zapojení s můstkem a rozdílovým zesilovačem</i>	30
<i>Obrázek 17 - Asymetrický přístrojový zesilovač pro zesílení rozdílového napětí můstku</i>	31
<i>Obrázek 18 - Aktivní odporový můstek</i>	32
<i>Obrázek 19 - Třívodičové zapojení senzoru v aktivním můstku</i>	32
<i>Obrázek 20 – Vzorkování spojitého signálu</i>	33
<i>Obrázek 21 – Kompenzační AD převodník</i>	34
<i>Obrázek 22 – Paralelní AD převodník</i>	35
<i>Obrázek 23 – Integrovaný AD převodník</i>	36
<i>Obrázek 24 – Aproximativní AD převodník</i>	37
<i>Obrázek 25 – Sigma-Delta převodník</i>	38
<i>Obrázek 26 – Úvodní strana SW LabVIEW NXG</i>	40
<i>Obrázek 27 – Ukázka programu v SW LabVIEW</i>	40
<i>Obrázek 28 – Knihovna controls v čelním panelu</i>	41

<i>Obrázek 29 – Skupina numeric</i>	42
<i>Obrázek 30 – Skupina boolean</i>	43
<i>Obrázek 31 – Skupina data containers</i>	44
<i>Obrázek 32 – Blokový diagram a otevřená paleta functions</i>	46
<i>Obrázek 33 – Skupina functions</i>	47
<i>Obrázek 34 – Skupina measurement</i>	48
<i>Obrázek 35 – Skupina I/O</i>	49
<i>Obrázek 36 – Skupina mathematics</i>	50
<i>Obrázek 37 – Skupina signal processing</i>	51
<i>Obrázek 38 – Skupina data communication</i>	52
<i>Obrázek 39 – Skupina express</i>	53
<i>Obrázek 40 – Blokové schéma měřené úlohy</i>	56
<i>Obrázek 41 – Graf ochlazování kapaliny v SW Matlab</i>	58
<i>Obrázek 42 – Měřící set-up v laboratoři</i>	59
<i>Obrázek 43 – Technické parametry NTC senzoru Carel</i>	60
<i>Obrázek 44 – Technické parametry Pt100 fy Pixsys</i>	60
<i>Obrázek 45 – Čelní strana multimetru Agilent 34410</i>	61
<i>Obrázek 46 – Vizualizace uživatelského programu</i>	63
<i>Obrázek 47 – Programová část uživatelského programu</i>	63
<i>Obrázek 48 – Potvrzovací okno pro zápis dat do tabulky</i>	64
<i>Obrázek 49 – „Abort execution“ v horní liště</i>	65
<i>Obrázek 50 – Výsledný graf při volání Matlab skriptu v LabVIEW</i>	67
<i>Obrázek 51 – Komunikace SW s multimetrem pomoci driveru – volba nástroje</i>	67
<i>Obrázek 52 – Komunikace SW s multimetrem pomoci driveru – bloky pro komunikaci</i>	68
<i>Obrázek 53 - Komunikace SW s multimetrem pomoci LowLevel příkazů</i>	69
<i>Obrázek 54 – Tepelná soustava</i>	71
<i>Obrázek 55 – Blokové schéma měřené úlohy</i>	73
<i>Obrázek 56 – Naměřené hodnoty termistoru</i>	75
<i>Obrázek 57 – Naměřené hodnoty Pt100</i>	75
<i>Obrázek 58 – Výsledný graf chladnutí soustavy měřené senzorem NTC a odhadu časové konstanty tau</i>	76
<i>Obrázek 59 - Výsledný graf chladnutí soustavy měřené senzorem Pt100 a odhadu časové konstanty tau</i>	77

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 – Hodnoty měrného elektrického odporu a teplotního součinitele vybraných čistých kovů</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 2 – Naměřená data archivovaná v souboru xlsx</i>	<i>65</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-ROM

PŘÍLOHA P I: CD-ROM

Obsahuje diplomovou práci ve formě *.doc a *.pdf, složku zadání_úlohy obsahující zadání měřicí úlohy, její vzorové vypracování, vše ve formátu *.doc. Složku matlab, kde jsou uloženy skripty *.m pro vypracování úlohy bez automatického odhadu časové konstanty τ a skript pro SW LabVIEW pro automatický odhad časové konstanty τ . Hlavní program měřicí úlohy ve formátu *.vi.