

Odbor:	
Trieda:	
Skupina:	
Laboratórium:	
Meno a priezvisko žiaka:	

Dátum merania:		
Dátum odovzdania:		
Vyučujúci: doc.RNDr.Juraj Pančík, PhD.		
Klasifikácia:	Známka:	Podpis:

LABORATÓRNE CVIČENIE č. 36 Meranie teploty s platinovým snímačom

OBSAH:

1. Názov cvičenia a jednotlivých úloh.
2. Súpis prístrojov a pomôcok pri meraní.
3. Popis meracej metódy a schéma merania.
4. Tabuľky a grafy nameraných a vypočítaných hodnôt.
5. Vyhodnotenie merania.

1. NÁZOV CVIČENIA:

Meranie teploty v priemysle s platinovým snímačom typu Pt100

- Úlohy
- a) Oboznámte sa s hardvérovým a softvérovým riešením meracieho prípravku
 - b) Vykonajte merania závislosti odporu R_{RTD} tepelného snímača Pt100 od teploty vody
 - c) Overte prostredníctvom výpočtu teploty vody T pre jednotlivé R_{RTD} podľa príslušného polynómu
 - d) Overte lineárnu závislosť odporu snímača Pt100 od teploty a určite parametre lineárnej závislosti
 - e)

2.SÚPIS POUŽITÝCH PRÍSTROJOV

	Prístroj – pomôcka	Typové označenie a rozsah	Výrobca	Inventárne číslo
1.	Referenčný snímač teploty - digitálny teplomer	TP101 (chyba merania 1°C)	Čína	
2.	Merací prípravok	MER.č.36	SPŠJM BB	
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

Nedostatky pri hodnotení (zapíše vedúci merania učiteľ):

3 Popis meracej metódy a schéma merania

3.1 Snímač Pt100

Dôležitou súčasťou mnohých zariadení na riadenie procesov sú odporové detektory teploty Platinum 100 alebo Pt100. Presné a opakovateľné meranie teploty je požiadavkou pri mnohých procesoch vrátane ohrevu a chladenia, chemických reakcií, pasterizácie a mnohých ďalších. Odporové snímače teploty alebo odporové snímače teploty sú triedou snímačov, ktoré menia svoj odpor, keď sa mení teplota média, do ktorého sú vložené. táto zmena odporu je úmerná teplote a mení sa do určitej miery lineárne s teplotou. to znamená, že s rastúcou teplotou sa zvyšuje aj odpor odporového snímača teploty. Ak teda dokážeme zmerať odpor odporového snímača, môžeme určiť teplotu. Prečo je to tak? Je to spôsobené výlučne fyzikálnymi vlastnosťami materiálu, z ktorého je RTD vyrobený. Hoci odporové snímače teploty možno vyrobiť z mnohých kovov vrátane niklu a medi, platina vykazuje fyzikálne vlastnosti, ktoré ju predurčujú na použitie v odporových snímačoch teploty.

3.1.1 Fyzikálne vlastnosti platiny sú nasledovné :

3.1.1.1 Základný prvok

Pozrime sa na fyzikálne vlastnosti platiny. Po prvé, platina je základný prvok s chemickou značkou Pt. To je prvá časť označenia odporového snímača teploty Pt100. Platina má molekulovú hmotnosť 195, čo z nej robí pomerne ťažký kov s voľnými elektrónmi, vďaka ktorým je dobrým vodičom elektrickej energie, hoci nie tak dobrým ako meď alebo striebro.

3.1.1.2 Lineárna móda

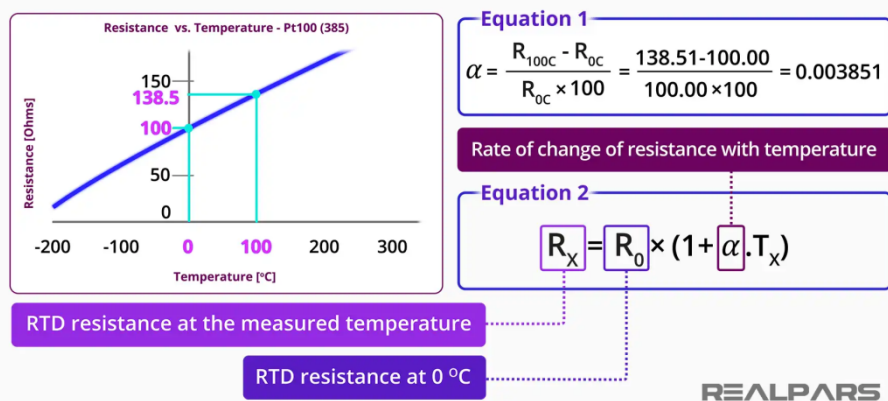
Platina vykazuje elektrický odpor, ktorý sa mení takmer lineárne s teplotou a pri nula stupňoch Celzia má odpor presne 100,00 ohmov. Odtiaľ pochádza druhá časť označenia Pt100.

3.1.1.3 Inertná vlastnosť

Ďalšou vlastnosťou platiny, ktorá ju robí veľmi cennou pre meranie teploty, je to, že je celkom inertná. Vo väčšej miere nereaguje s inými zlúčeninami.

3.1.2 Koeficient alfa

Ako veľmi sa teda mení odpor platiny s teplotou? Čistota použitej platiny ovplyvňuje zmenu odporu pri zmene teploty. najbežnejší odporový snímač Pt100 používaný v priemysle je taký, ktorý mení odpor rýchlosťou približne 0,385 ohmu na každý stupeň Celzia zvýšenia teploty. Vieme, že odpor snímača Pt100 pri nula stupňoch Celzia je 100 ohmov, takže odpor, ktorý by sme očakávali pri 100 stupňoch Celzia, by bol 138,5 ohmov. Faktor 385 pochádza z rovnice, ktorá aproximuje odpor odporového snímača na základe jeho fyzikálnych vlastností. rovnica sa vzťahuje na odpor odporového snímača pri meranej teplote a odpor pri nula stupňoch Celzia. Koeficient alfa v tejto rovnici opisuje rýchlosť zmeny odporu s teplotou. Pre Pt100 RTD sme opisovali, že ak nahradíme hodnoty odporu Pt100 RTD pri teplote nula a pri teplote 100 stupňov Celzia, zistíme, že hodnota alfa je 0,00385. Ak poznáme hodnotu alfa, môžeme vypočítať približný odpor, ktorý bude odporový snímač vykazovať pri akejkoľvek teplote v rámci svojho rozsahu. Odporový snímač Pt100 sa často označuje ako odporový snímač Pt100 (385). Existujú platinové odporové snímače, ktoré vykazujú rôzne hodnoty alfa, a tie sa označujú príslušnými hodnotami alfa, ako napríklad snímač Pt100 (391).



Obrázok 1 Lineárna charakteristika závislosti odporu tepelného snímača Pt100(385) od meranej teploty (RealPars, 2024)

3.1.3 Konštrukcia odporového snímača Pt100

Odporový snímač Pt100 je zvyčajne skonštruovaný navinutím tenkého platinového drôtu okolo nevodivého jadra, ktoré pomáha podoprieť tenký drôt. Celá zostava je obalená plášťom, ktorý chráni snímač a zabezpečuje jeho stabilitu. V priemyselných aplikáciách sa odporové snímače bežne umiestňujú do ochranných kovových trubíc. Dĺžka odporového snímača a konštrukcia termočlánku sú konštrukčné parametre, ktoré určuje konštruktér prístroja.

3.1.4 Pripojenie snímača Pt100 k elektronike

Dvojvodičový odporový snímač Pt100

Na určenie odporu odporového snímača sa používa špeciálny mostíkový obvod, ktorý sa nazýva Wheatstoneov mostík. Na tejto schéme sú štyri rezistory. Rezistory A, B a C majú rovnakú hodnotu. Štvrtý rezistor je samotný odporový snímač a jeho odpor možno odvodiť z napätia nameraného na dvoch ramenách mostíka. Táto dvojvodičová konštrukcia odporového snímača nie je veľmi presná, pretože samotné platínové vodiče majú elektrický odpor spôsobený dĺžkou vodiča a miestami pripojenia, okrem odporu z teploty zistenej v mieste merania.

Trojvodičový odporový snímač Pt100

Na kompenzáciu tohto pridaného odporu pripojovacích vodičov sa k snímaču pridá tretí vodič. Tento tretí vodič sa použije na určenie odporu samotného vodiča a odpor sa odpočíta od celkového meracieho odporu, aby sa získal skutočný odpor spôsobený len zmenou teploty. (RealPars, 2024)

Hardvérové zapojenie meracieho prípravku

Na spracovaní signálu bol použitý špecializovaný obvod MAX31865 (Analog Devices, 2024) a to v zapojení trojvodičového snímača Pt100 – viď túto konfiguráciu na Obrázok 3. Na tomto obrázku vidieť referenčný odpor R_{REF} a samotný snímač teploty Pt100 RTD. Vnútorne zapojenie obvodu MAX31865 je na Obrázok 4 a zobrazuje pripojenie obidvoch odporov R_{REF} a R_{RTD} na 15 bitový ADC prevodník typu Sigma Delta (Analog Devices, 2024). Komunikačný kanál obvodu MAX31865 je typu SPI (Serial Parallel Interface) a v našom meracom prípravku ho využíva riadiaci jednodoskový počítač ARDUINO UNO. Hardvérové riešenie elektroniky zosilňovača bolo vyrobené spoločnosťou ADAFRUIT (ADAFRUIT, 2024), ktorá poskytla aj softvérovú knižnicu (ARDUINO, 2024)

3.1.5 Výpočtové spracovanie nameraných signálov

Meraná veličina RTDval

Riadiaci počítač ARDUINO číta hodnotu z registra RTDval, ktorá zodpovedá 15 bitovej hodnote ADC (ADC Code) a reprezentuje pomer odporov R_{REF} a R_{RTD} . Vzťah (1) vyjadruje výpočet pre hodnotu odporu snímača R_{RTD} , hodnotu referenčného odporu R_{REF} (430 Ohm) (Analog Devices, 2024).

$$R_{RTD} = (\text{ADC Code} \times R_{REF}) / 2^{15} \quad (1)$$

Numericky vypočítavaný odpor platínového snímača v závislosti od teploty $R_{RTD}(t)$

Prenosová funkcia platínového odporového snímača (t.j. závislosť odporu $R_{RTD}(t)$ od teploty okolia) je opísaná dvoma rôznymi polynomičnými rovnicami: jednou pre teploty pod 0 °C a druhou pre teploty nad 0 °C. Tieto rovnice (Callendar - Van Dusen) (ANALOG DEVICES, 2024) sú:

$$R_{RTD}(t) = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})t^3] \quad (\text{pre } t \leq 0^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$R_{RTD}(t) = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (\text{pre } t \geq 0^\circ\text{C}) \quad (3)$$

kde:

t = teplota RTD [$^\circ\text{C}$]; $R_{RTD}(t)$ = odpor RTD ako funkcia teploty RTD (t)

R_0 = odpor RTD pri 0 $^\circ\text{C}$ (najčastejšie 100 Ohm)

A = (ALFA 385) $3,8510\text{E-}03$ alebo (ALFA 391) $3,9083 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

B = $-5,775 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$

C = $-4,183 \times 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$

Všimnite si, že zápis sa zmenil z R_{RTD} na $R_{RTD}(t)$

Numericky vypočítavaná teplota prostredia z odporu platínového snímača $R_{RTD}(t)$

$$T_{RTD}(r) = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{r}{R_0}\right)}}{2B}$$

where A , B , and R_0 are defined previously (in the F Transfer Function section) and r is the RTD's resistor. Because this function will be solved in real time, it is beneficial to change it to the following form:

$$T_{RTD}(r) = \frac{Z_1 + \sqrt{Z_2 + Z_3 \times r}}{Z_4}$$

where:

$$Z_1 = -A = -3.9083 \times 10^{-3}$$

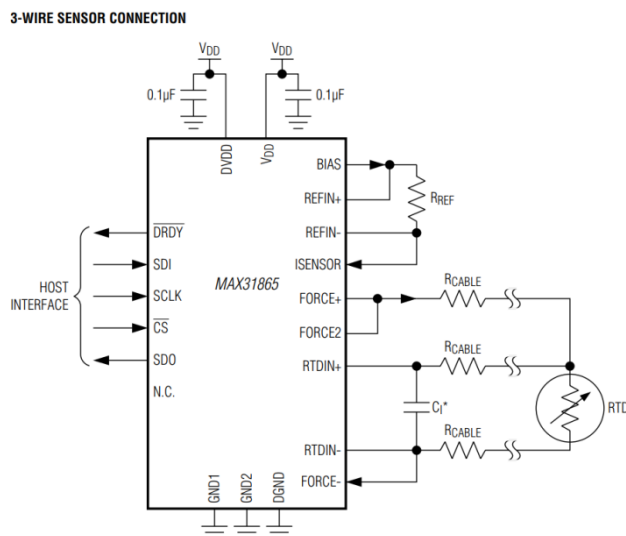
$$Z_2 = A^2 - 4 \times B = 17.58480889 \times 10^{-6}$$

$$Z_3 = \frac{4 \times B}{R_0} = -23.10 \times 10^{-9}$$

$$Z_4 = 2 \times B = -1.155 \times 10^{-6}$$

Obrázok 2 Rovnica výpočtu teploty T_{RTD} v závislosti na zmeranej hodnote $R_{RTD}(t)$ – tu je to uvedené ako malé „r“. (ANALOG DEVICES , 2024)

Hodnota zmeranej teploty bola získaná na základe výpočtu uvedeného na Obrázok 2. Kde je uvedená rovnica výpočtu teploty T_{RTD} v závislosti na zmeranej hodnote $R_{RTD}(t)$ – tu je to uvedené ako malé „r“.



Obrázok 3 Pripojenie snímača teploty Pt100 v zapojení trojvodičového snímača Pt100 (na obrázku označený ako RTD) v našom meraní teploty

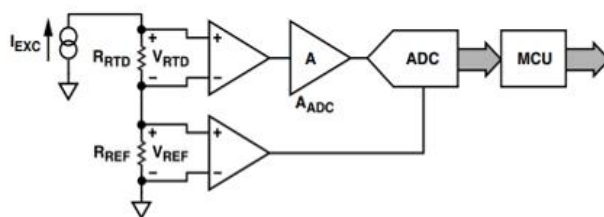
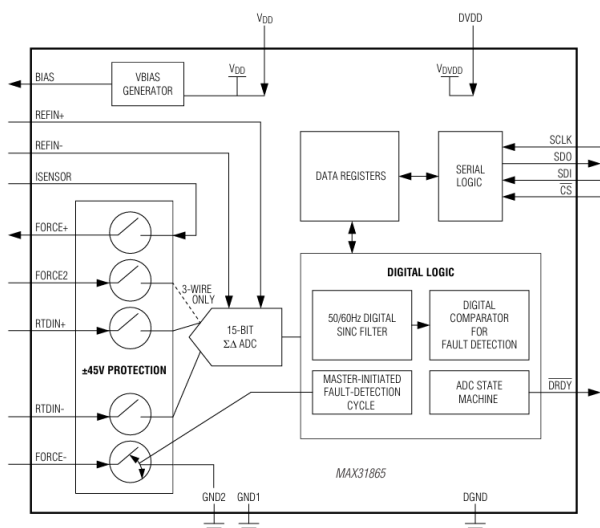


Figure 1. RTD Interfacing Hardware Configuration

Obrázok 4 Vnútročné zapojenie obvodu MAX31865 a náhradné zapojenie merania obidvoch odporov R_{REF} a R_{RTD} pomocou merania diferenciálnych napätí na nich (pri konštantnom prúde cez ne I_{EXC}) 15-bit ADC prevodníkom.

4 Tabuľky a grafy nameraných a vypočítaných hodnôt

Meracia zostava merania teploty vody kontaktným spôsobom s referenčným teplomerom je na Obrázok 5. Hodnoty teploty vody získané z referenčného digitálneho teplomera TP101 a v ARDUINO vypočítané hodnoty spolu s hodnotou pomeru odporov R_{REF} a R_{RTD} (Ohm) – (hodnota RTD_{val} (ADU)) sa zapisovali do tabuľky na hárku „RAW DATA“ v sprievodnom Excel súbore ZDROJ. Po ukončení merania sa zmerané údaje prepísali do tabuľky Tabuľka 1. Údaje namerané pri meraní (hárk „Meranie c.36 OVEROVACI VYPOCET“). Potom sme stĺpce B-E skopírovali do Tabuľky 2 do tých istých stĺpcov. Následne prebehli automatické výpočty (viď. Běžové stĺpce v Tabuľka 2). Boli tak vypočítané hodnoty odporu platiny R_{RTD} v závislosti na teplote vody T podľa rovnice (1) (viď. Stĺpec „Podporný EXCEL calculation of Pt Resistance = Ratio x R_{REF} (430 Ohm , 0,01%)“). Teplota vody T na základe odporu Pt100 R_{RTD} bola vypočítavaná podľa rovnice (3) a je uvedená v stĺpci (viď. stĺpec „EXCEL calculation: Výpočet teploty podľa rovnice Callendar -Van Dusen“). Získané hodnoty teploty vody T sú porovnávané so zmeranými hodnotami teploty pomocou referenčného digitálneho teplomera TP101 a teplotami vypočítavanými v ARDUINO pomocou softvérovej knižnice ADAFRUIT. Výsledná závislosť zmeraného odporu R_{RTD} od teploty vody T je na



Obrázok 5 Meracia zostava merania teploty vody kontaktným spôsobom s referenčným teplomerom

5 Vyhodnotenie meraní

Po nami vykonaných meraniach a ich vyhodnotení môžeme uviesť nasledovné závery oproti zadaným úlohám v časti 1 protokolu :

5.1 Oboznámte sa s hardvérovým a softvérovým riešením meracieho prípravku

Merací prípravok pozostával z dosky s integrovaným obvodom MAXIM MAX31865 (výrobca Analog Devices) s integrovaným SIGMA-DELTA 15 bit AD prevodníkom. Dosku s MAX31865 vyrobila spoločnosť ADAFRUIT a riadiaci počítač bol ARDUINO UNO (výrobca ARDUINO).

5.2 Vykonajte merania závislosti odporu R_{RTD} tepelného snímača Pt100 od teploty vody

Na zmenu odporu Pt100 snímača R_{RTD} v 3-vodičovom usporiadaní sme použili rôzne teploty vody. Referenčný teplomer bol TP101 s chybou 1 st. Celzia. Výsledky z meraní sme zapísali do tabuľky 1. Vypočítali sme hodnoty odporu Pt100 R_{RTD} v závislosti na teplote vody T – do veľkej miery zodpovedajú numericky vypočítaným hodnotám pre priemyselný štandard teplotného snímača Pt100 (385).

5.3 Overte prostredníctvom výpočtu teploty vody T pre jednotlivé R_{RTD} podľa príslušného polynómu

Po určení odporu Pt100 R_{RTD} sme vypočítali teplotu vody podľa polynomickeho vzťahu Callendar - Van Dusen. Maximálny rozdiel medzi vypočítanou teplotou týmto spôsobom a meraním s teplomerom TP101 sme určili na **0.6 st.Celzia**. Rozdiel si vysvetľujeme nedostatočným premiešavaním vody pri meraní a aj jej chladnutím.

5.4 Overte lineárnu závislosť odporu snímača Pt100 od teploty a určite parametre lineárnej závislosti

Lineárna závislosť odporu snímača Pt100 R_{RTD} na teplote vody T je zrejmá z

Obrázok 6. Vzhľadom na definíciu koeficientu ALFA na Obrázok 1 a približná rovnica je $y = 0,3867x + 99,903$ (y zodpovedá hodnote odporu Pt100, x teplote vody T) a koeficient linearity je $R^2 = 0,9997$. Absolútmy rozdiel hodnoty koeficientu ALFA v nami zistenej lineárnej závislosti (0,003867) oproti referenčnej hodnote 0,003851 je 0,000015.

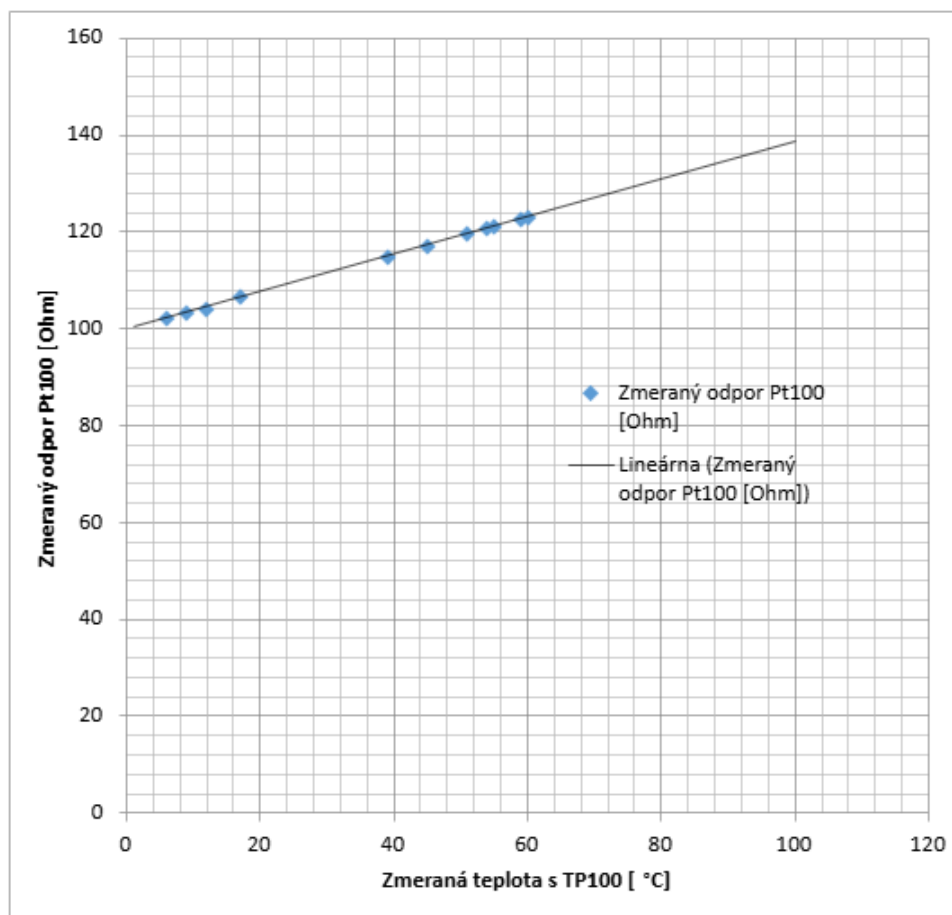
Tabuľka 1. Údaje teploty: namerané a overené výpočtom

n.	Referencny digitalny teplomer TP101[°C]	ODCITANE Z ARDUINO: RTDval [°C]	Vypocitana teplota v ARDUINO: TEMP [°C]	EXCEL calculation: Vypocet teploty podľa rovnice Callendar -Van Dusen [3][4][5]	Difference between measured temperature by TP101 and calculated temp. by EXCEL	Difference between measured temperature TP101 and calculated temp. by ARDUINO	Podporný EXCEL calculation: Ratio = RTDval/32768 [1] str.22	Podporný EXCEL calculation of Pt Resistance = Ratio x RREF (430 Ohm , 0,01%) [1]
1	6,3	7804	6,2016	6,2600	0,0400	0,0984	0,23815918	102,4084473
2	6,3	7804	6,2016	6,2600	0,0400	0,0984	0,23815918	102,4084473
3	6,4	7809	6,3362	6,4307	-0,0307	0,0638	0,238311768	102,4740601
4	6,5	7813	6,4709	6,5672	-0,0672	0,0291	0,238433838	102,5265503
5	9,0	7882	8,7927	8,9239	0,0761	0,2073	0,240539551	103,4320068
6	9,8	7900	9,3989	9,5390	0,2610	0,4011	0,241088867	103,6682129
7	9,9	7909	9,7353	9,8466	0,0534	0,1647	0,241363525	103,7863159
8	11,6	7942	10,8469	10,9746	0,6254	0,7531	0,242370605	104,2193604
9	17,3	8121	16,814	17,0999	0,2001	0,4860	0,247833252	106,5682983
10	17,2	8119	16,746	17,0314	0,1686	0,4540	0,247772217	106,5420532

Tabuľka 2. Konštanty použité v overovacom výpočte teploty v ARDUINO

refResistor		430	Ohm
RTDnominal		100	Ohm
RTD_A		3,9083E-03	°C
RTD_B		-5,7750E-07	°C

Obrázok 6 Výsledné hodnoty zmeraného odporu Pt100 R_{RTD} v závislosti na teplote vody T a priamka lineárneho trendu



6 Bibliografia

- ADAFRUIT. 2024.** Adafruit MAX31865 RTD PT100 or PT1000 Amplifier. [Online] 2024. [Dátum: 9. 12 2024.] <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-max31865-rtd-pt100-amplifier.pdf>.
- Analog Devices . 2024.** MAX31865 . [Online] 2024. [Dátum: 9. 12 2024.] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max31865.pdf>.
- ANALOG DEVICES . 2024.** RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC8xx MicroConverter, AN-709 APPLICATION NOTE. [Online] 2024. [Dátum: 9. 12 2024.] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN709_0.pdf.
- ARDUINO. 2024.** Adafruit MAX31865 library. [Online] 2024. [Dátum: 9. 12 2024.] <https://docs.arduino.cc/libraries/adafruit-max31865-library/>.
- RealPars. 2024.** Pt100 Sensor Explained | Working Principles. *RealPars*. [Online] 2024. [Dátum: 9. 12 2024.] <https://www.realpars.com/blog/pt100>.