

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

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

LABORATÓRNE CVIČENIE č. 31 Meranie teploty s termistorom typu NTC a snímačom TMP036

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 s termistorom typu NTC a snímačom TMP036

- Úlohy
- a) Oboznámte sa s hardvérovým a softvérovým riešením meracieho prípravku
 - b) Vykonajte merania teploty vody pri jej rôznych hodnotách
 - c) Stanovte koeficienty pre Steinhart-Hart model prevodovej charakteristiky použitého NTC termistora
 - d) Stanovte koeficienty pre BETA model prevodovej charakteristiky použitého NTC termistora
 - e) Overte lineárnu charakteristiku snímača teploty TMP036

2.SÚPIS POUŽITÝCH PRÍSTROJOV

	Prístroj – pomôcka	Typové označenie a rozsah	Výrobca	Inventárne číslo
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

Nedostatky pri hodnotení (zapiše vedúci merania učiteľ):

3. Popis meracej metódy a schéma merania

Termistor je polovodičový typ rezistora, ktorého odpor je silne závislý od teploty, a to viac ako v prípade štandardných rezistorov. Slovo termistor je zloženina zo slov „termický“ a „rezistor“. Termistory sa delia na základe ich vodivostného modelu. Termistory so záporným teplotným koeficientom (NTC) majú pri vyšších teplotách menší odpor, zatiaľ čo termistory s kladným teplotným koeficientom (PTC) majú pri vyšších teplotách väčší odpor[1]. NTC termistory sa široko používajú ako obmedzovače nábehového prúdu, snímače teploty, zatiaľ čo PTC termistory sa používajú ako samonastavovacie nadprúdové ochrany a samoregulačné vykurovacie prvky. Prevádzkový teplotný rozsah termistora závisí od typu sondy a zvyčajne sa pohybuje medzi -100 °C a 300 °C.

Steinhartova-Hartova rovnica

V praktických zariadeniach je lineárny aproximačný model presný len v obmedzenom rozsahu teplôt. V širších teplotných rozsahoch poskytuje komplexnejšia funkcia prenosu odporu na teplotu vernejšiu charakteristiku výkonu. Steinhartova-Hartova rovnica je široko používaná aproximácia tretieho rádu:

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c (\ln R)^3 \quad (1)$$

kde a, b a c sa nazývajú Steinhart-Hartove parametre a musia byť špecifikované pre každé zariadenie. T je absolútna teplota a R je odpor.

B alebo rovnica parametra β

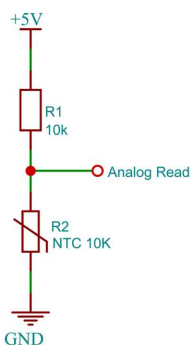
NTC termistory možno charakterizovať aj pomocou rovnice parametra B (alebo β), čo je v podstate Steinhartova-Hartova rovnica s $a = 1/T_0 - (1/B) \ln R_0$, $b = 1/B$ and $c = 0$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R}{R_0} \quad (2)$$

kde merana teplota T a parameter B sú v kelvinoch a R0 je odpor termistora pri referencnej teplote T0 (25 °C = 298,15 K).

Meraci systém

Na obrázku dole kľúčová časť meracieho systému na báze odporového deliča, tvorená referenčným odporom R1 (ďalej počítame R1 = 9800 Ohm, hodnota R1 v našom meracom prípravku), NTC termistorom R2 s nominálnou teplotou 10kOhm. Hodnota napätia „Analog Read“ je digitalizovaná 10 bitovým ADC v ARDUINO UNO (digitalizačný krok = 5V/1023). Treba povedať že napájacie napätie pre odporový delič bolo pripájané len počas merania teploty (odporu termistora) – zabránilo sa tak jeho samoohrevu [4].



Platia nasledovné rovnice – R2 je hodnota odporu termistora, R1 je spomínaný referenčný odpor :

$$V_{out} = V_{in} * [R2 / (R1 + R2)] \quad (3)$$

$$R2 = (V_{out} * R1) / (V_{in} - V_{out}) \quad (4)$$

Program pre ARDUINO meral napätie Vout a vypočítaval teplotu z BETA modelu na základe odhadnutého parametra BETA (3950K). Program ďalej spracovával signál z ďalšieho snímača teploty TMP036 [11].

4. Tabuľky a grafy nameraných a vypočítaných hodnôt.

Merala sa rôzna teplota vody v 5 litrovej polystyrénovej nádobe s krytom (dodávateľ: www.suchylad.eu). Referenčné meradlo teploty bol kontaktný teplomer TP101 (<https://techfun.sk/produkt/tp101-teplomer-hrotovy/>) s presnosťou $\pm 1^{\circ}\text{C}$ a rozsahom teploty: $-50^{\circ}\text{C}\sim+300^{\circ}\text{C}$. Program v ARDUINO [4]. zmerané a vypočítavané hodnoty posielal na sériovú linku a tieto boli čítané terminálovým programom (napr. PUTTY). Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 1. Odpor termistora (stĺpec: **NTC odpor, vypoč. [Ω]**) sa vypočítaval z hodnoty zmeraného napätia v jednotkách ADU (stĺpec: **Napätie NTC, výstup [ADU]**). Tu výpočet počítal s teplotou referenčného odporu 10 K Ω m – reálna hodnota tohto odporu bola 9800 Ohm.

ARDUINOM vypočítavaná hodnota teploty (stĺpec: **NTC teplota vypoč.[$^{\circ}\text{C}$]**) bola na základe modelu BETA s odhadovanou hodnotou konštanty BETA 3950 K. ARDUINOM Vypočítavaná hodnota odporu termistora bola korigovaná (opravená) na reálnu hodnotu referenčného odporu $R_1 = 9800$ Ohmov a je uvedená v tabuľke č.2 (stĺpec: **NTC odpor, vypoč. v EXCEL-i [Ω] pre $R_1=9800 \Omega$).**

Následne sa vzali tri dvojice hodnôt odporu termistora (stĺpec: **Teplota, ref. teplomer TP101[$^{\circ}\text{C}$]**) a teplôt (stĺpec: **Teplota, ref. teplomer TP101[$^{\circ}\text{C}$]**) z tabuľky 2 a vložili sa do webovej kalkulačky [10]. Výsledok je na obázku č.2 – vidieť vypočítané koeficienty pre oba modely závislosti priebehu odporu termistora na teplote. Získaná hodnota koeficientu BETA (3732,48 K) bola použitá pre výpočet teploty a je uvedená v tabuľke 2 (stĺpec: **NTC teplota vypoč. V EXCEL-i [$^{\circ}\text{C}$] pre meraním zistene BETA a pre $R_1=9800 \Omega$).**

Vypočítavaný odpor

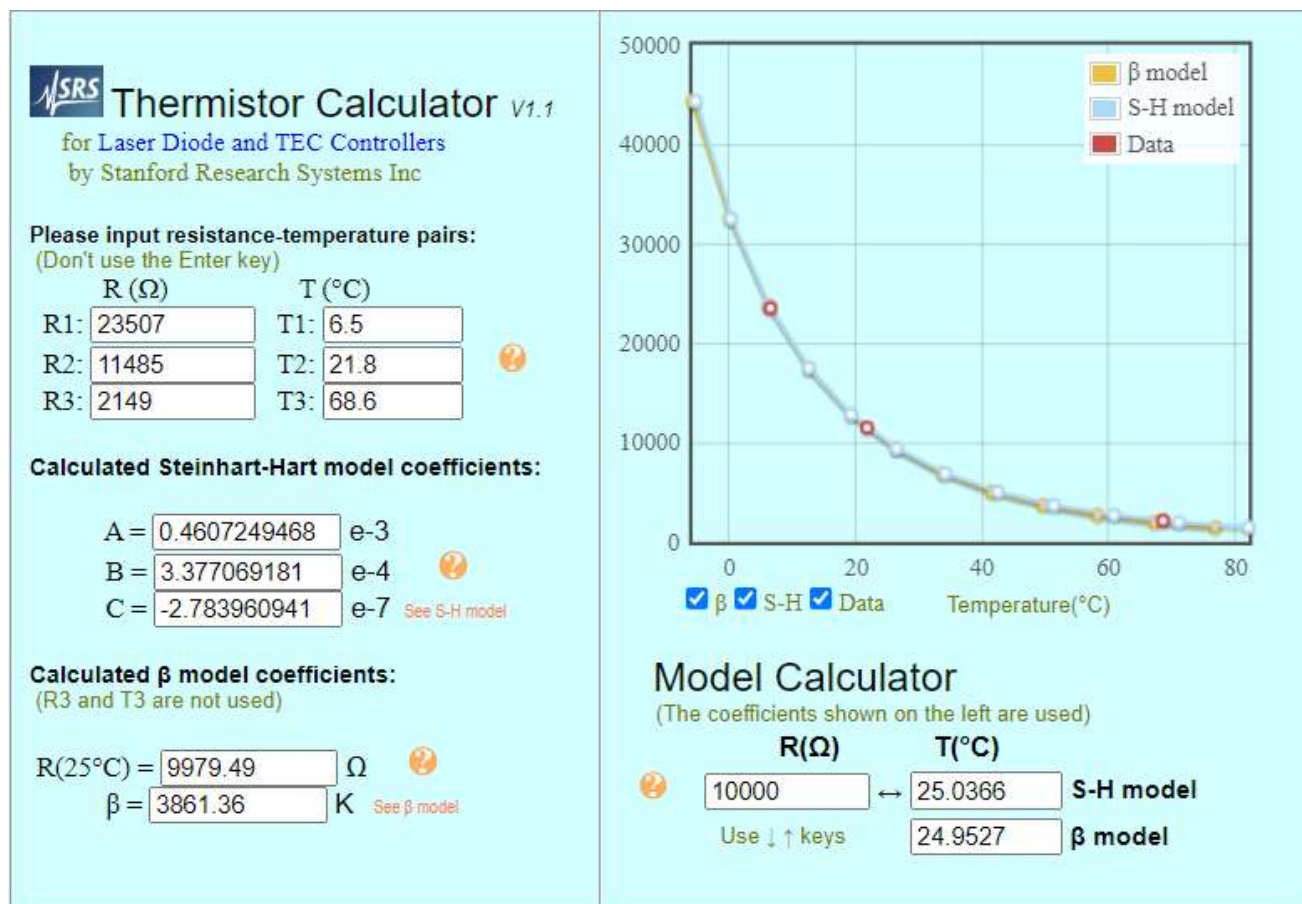
Tabuľka 1 Vstupné hodnoty z MERANIE č.31 S PRÍPRAVKOM č.1

Meranie č.	Teplota, ref. teplomer TP101[$^{\circ}\text{C}$]	Napätie NTC, výstup [ADU]	NTC odpor, vypoč. [Ω]	NTC teplota vypoč.[$^{\circ}\text{C}$]	Snímač TMP036, výstup [V]	Snímač TMP036, výpočet [$^{\circ}\text{C}$]
1	6,5	722	23 980	6,53	0,54	4,2
2	7,4	695	21 189	9,01	0,56	6,15
3	21,8	552	11 750	21,47	0,69	19,34
4	29,3	482	8 909	27,62	0,78	27,64
5	68,6	184	2 193	63,56	1,15	64,75

Tabuľka 2 Dovoľované hodnoty MERANIE č.31 S PRÍPRAVKOM č.1

Meranie č.	Teplota, ref. teplomer TP101[$^{\circ}\text{C}$]	Napätie NTC, výstup [ADU]	NTC odpor, vypoč. v ARDUINO [Ω]	NTC odpor, vypoč. v EXCEL-i [Ω] pre $R_1=9800 \Omega$	NTC teplota vypoč. V ARDUINO [$^{\circ}\text{C}$] pre BETA=3950 K	Vypočítaný koeficient BETA [K] (Obrazok 1)	Vypočítaný koeficient R_0 [Ohm] (Obrazok 1)	NTC teplota vypoč. v EXCEL-i [$^{\circ}\text{C}$]	Rozdiel medzi zmeranou teplotou TP101 a vypočítanou podľa BETA modelu	Snímač TMP036, výstup [V]	Snímač TMP036, výpočet [$^{\circ}\text{C}$] v ARDUINO
1	6,5	722	23 980	23507	6,53	3861,34	9979,49	6,5	0,0	0,54	4,2
2	7,4	695	21 189	20765	9,01	3861,34	9979,49	9,0	-1,6	0,56	6,15
3	21,8	552	11 750	11485	21,47	3861,34	9979,49	21,8	0,0	0,69	19,34
4	29,3	482	8 909	8731	27,62	3861,34	9979,49	28,1	1,2	0,78	27,64
5	68,6	184	2 193	2149	63,56	3861,34	9979,49	65,1	3,5	1,15	64,75

Obrázok 1 Určenie kalibračných koeficientov pre Steinhart-Hart model a pre BETA model termistora z nameraných údajov v Tabuľka 1



ZDROJE: Thermistor Calculator
Thermistor (wikipedia)
Thermistor Calibration for High Accuracy Measurements

<https://www.thinksrs.com/downloads/programs/Therm%20Calc/NTCCalibrator/>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>
<https://dataloggerinc.com/resource-article/thermistor-calibration/>

5. Vyhodnotenie merania.

Overili sme aproximačný model BETA pre NTC termistory. Porovnaním údajov o zmeranej teplote – referenčným teplomerom TP101 (Tabuľka 2, stĺpec: **Teplota, ref. teplomer TP101[°C]**) a vypočítanou teplotou vody na základe našich meraní získaných kalibračných koeficientov BETA a R_0 (Tabuľka 2, stĺpec: **NTC teplota vypoč. v EXCEL-i [°C]**). Môžeme vidieť, že chyba merania teploty je v rozsahu chyby TP101 $\pm 1^\circ\text{C}$ okrem vyššej teploty vody, kde sa prejavila nelinearita snímača – jej hodnotu nepoznáme alebo sme dobre nerozmiešali namixovanú vodu z teplej a studenej vody. Bolo by užitočné použiť kvalitnejší teplomer na meranie teploty vody (s vyššou presnosťou merania teploty).

Chyba aproximácie Steinhartovej-Hartovej rovnice je vo všeobecnosti menšia ako $0,02^\circ\text{C}$ pri meraní teploty v rozsahu 200°C (<https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-06789/application-notes/5965-7822.pdf>). Táto vysoká presnosť tejto S-H aproximácie umožňuje vyrábať veľmi presné snímače teploty povrchu ľudského tela ako napríklad AS6221 Temperature Sensor, URL: <https://ams.com/as6221> (presnosť (accuracy) $\pm 0.09^\circ\text{C}$ (20°C to 42°C))

Možné opravy a doplnenia programu pre ARDUINO

Domnievame sa, že do programu ARDUINO [4] (URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-Thermistor-with-arduino>) by sme mohli v jeho nasledujúcej verzii prepísať hodnotu referenčného odporu R1 z 10 000 Ohm na nami zmeraných 9800 Ohmov. Ďalej by sme mohli nahradiť v tomto programe odhadovanú hodnotu konštanty BETA namiesto 3950 K zmeranou hodnotou 3732.48.

Program by mal vysielat na sériovú linku aj hodnoty ADC v jednotkách ADU získané pri meraní napätia zo snímača TMP036 – doteraz vypisované hodnoty napätia sú príliš hrubé (len 2 platné číslice)

Program pre ARDUINO by sa ďalej mohol doplniť výpočtom teploty podľa modelu S-H (URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-thermistor-interfacing-code-circuit>) - mohli by sme tak získať presnejšie výsledky teploty.

Poznámky k výpočtu kalibračných koeficientov

Výpočet koeficientov pre BETA model a S-H model z troch meraní je dobre popísaný v zdroji Thermistor Calibration for High Accuracy Measurements, URL: <https://dataloggerinc.com/resource-article/thermistor-calibration/>. Ešte presnejší výpočet kalibračných koeficientov je uvedený v zdroji Measure and Model a Thermistor, URL: <https://www.instructables.com/Measure-and-Model-a-Thermistor/> kde sa kalibračné konštanty vypočítavajú z 10 vstupných meraní dvojíc teplota a odpor termistora. Táto téma prekračuje ciele nášho cvičenia. K určeniu kalibračných koeficientov pre model S-H a BETA pomocou webovej stránky [10] chceme poznamenať, že opakovaný výpočet pre tie isté vstupné parametre dáva rôzne výsledky koeficientov – dôvod je zrejme v spracovaní numerických hodnôt v behovom prostredí webového prehliadača (treba si zrealizovať vlastný výpočet koeficientov pre oba modely).

Možné doplnenie meraní

Z dôvodu nedostatku času sme už kvantitatívne nevyhodnotili linearitu získaných hodnôt teploty snímača TMP036 (Tabuľka 2, stĺpce **Snímač TMP036, výstup [V]**, **Snímač TMP036, výpočet [°C] v ARDUINO**).

6. Informačné zdroje

1. Wikipedia: Thermistor [1]
2. Dodavateľ termistoru: NTC senzor teploty termistorový modul KY-013 [2]
3. Informácie o module KY-013 ANALOG TEMPERATURE SENSOR MODULE [3]
4. Interfacing NTC Thermistor with Arduino [4]
5. Elektrické zapojenie meracieho prípravku [5]
6. Zdrojový kód programu pre merací prípravok (platforma ARDUINO UNO)[6]
7. Popis postupu kalibrácie termistora: Measure and Model a Thermistor [7], LOCAL [8]
8. Excel k bodu 7 s výpočtom koeficientov [9]
9. On line kalkulačka pre výpočet koeficientov [10]
10. Datasheet k TMP036 [11] LOCAL: [12]

ZDROJE:

[1]<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>

[2]<https://techfun.sk/produkt/ntc-senzor-teploty-termistorovy-modul-ky-013/>

[3]<https://arduinomodels.info/ky-013-analog-temperature-sensor-module/>

[4]<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-Thermistor-with-arduino>

[5] ... \Predmet_ELM_cvicenia\1_NEVEL_Neranie_neelektrickych_velicin\WORK_1 Meranie teploty NTC a TM036\230822 MERACI PRIPRAVOK c.1 NTC Thermistor,TMP36 & LCD ver.A.pdf

[6] ... \Predmet_ELM_cvicenia\1_NEVEL_Neranie_neelektrickych_velicin\WORK_1 Meranie teploty NTC a TM036\sketch_230915_MER_1_NTC_Test.ino

[7] <https://www.instructables.com/Measure-and-Model-a-Thermistor/>

[8] ... \Predmet_ELM_cvicenia\1_NEVEL_Neranie_neelektrickych_velicin\WORK_1 Meranie teploty NTC a TM036\Measure-and-Model-a-Thermistor.pdf

[9] ... \Predmet_ELM_cvicenia\1_NEVEL_Neranie_neelektricky_ch_velicin\WORK_1 Meranie teploty NTC a TM036\Thermistor Modeling.xls

[10]<https://thinksrs.com/downloads/programs/therm%20calc/ntccalibrator/ntccalculator.html>

[11]URL https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf

[12] ... \Predmet_ELM_cvicenia\1_NEVEL_Neranie_neelektricky_ch_velicin\WORK_1 Meranie teploty NTC a TM036\Datasheet TMP35_36_37.pdf