

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

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

LABORATÓRNE CVIČENIE č. 32 Meranie teploty s termočlánkom typu K

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 termočlánkom typu K

- Úlohy
- a) Oboznámte sa s hardvérovým a softvérovým riešením meracieho prípravku
 - b) Vykonajte merania teploty vody termočlánkom pri jej rôznych vstupných hodnotách meraných referenčným teplomerom
 - c) Overtvorte výpočet teploty z výstupného bitového reťazca interfejsového obvodu MAX6675
 - d) Overtvorte lineárnu závislosť výstupu termočlánku na zmenách vstupnej teploty vody
 - e) _____

2. SÚPIS POUŽITÝCH PRÍSTROJOV

	Prístroj – pomôcka	Typové označenie a rozsah	Výrobca	Inventárne číslo
1.	Snímač teploty - dig. teplomer	TP101	CHN	
2.	Snímač teploty termočlánok typu K	nemá		
3.	Merací prípravok pre meranie č. MER32			
4.				

Nedostatky pri hodnotení (zapiše vedúci merania učiteľ):

3. Popis meracej metódy a schéma merania

Termočlánok

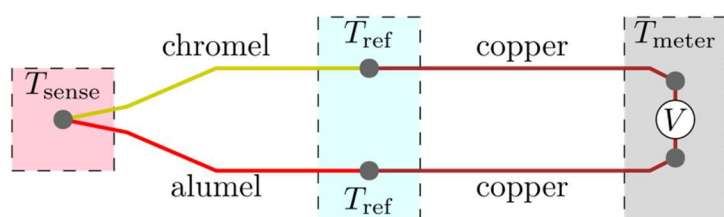
Termočlánok, tiež známy ako "termoelektrický teplomer", je elektrické zariadenie pozostávajúce z dvoch rôznych elektrických vodičov tvoriacich elektrický spoj. Termočlánok vytvára v dôsledku Seebeckovho efektu napätie závislé od teploty a toto napätie možno interpretovať ako meranie teploty. Termočlánky sú široko používané ako snímače teploty. Na rozdiel od väčšiny iných metód merania teploty sú termočlánky samonapájacie a nevyžadujú žiadnu externú formu budenia. Hlavným obmedzením termočlánkov je presnosť; systémové chyby menšie ako jeden stupeň Celzia ($^{\circ}\text{C}$) môžu byť ťažko dosiahnuteľné. Termočlánky sú široko používané vo vede a priemysle. Aplikácie zahŕňajú meranie teploty pre pece, výfukové plyny z plynových turbín, dieselové motory a iné priemyselné procesy. Termočlánky sa tiež používajú v domácnostiach, kanceláriách a podnikoch ako snímače teploty v termostatoch a tiež ako snímače plameňa v bezpečnostných zariadeniach pre plynové spotrebiče. Zdroje: [1][2][3][4][5][6]

Seebeckov efekt

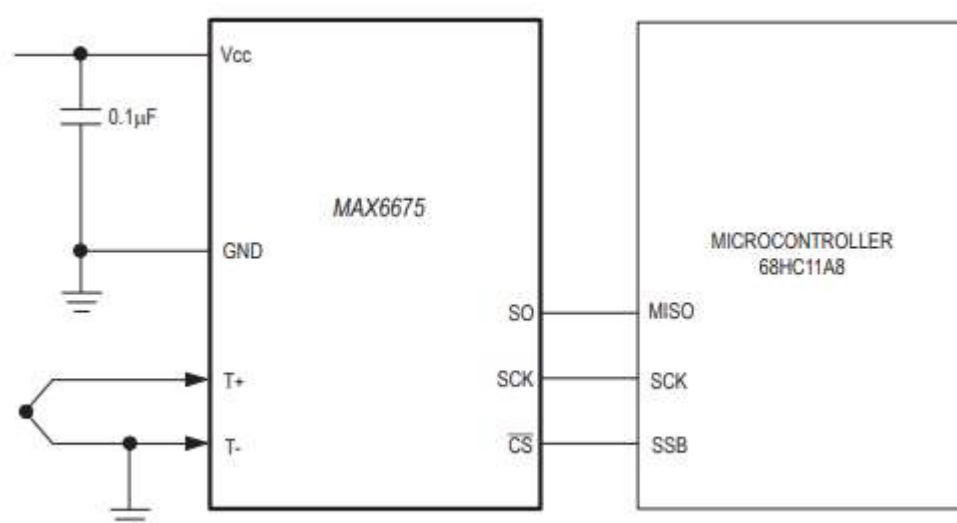
Seebeckov efekt sa týka generovania elektromotorickej sily cez dva body elektricky vodivého materiálu, keď je medzi týmito dvoma bodmi teplotný rozdiel.

Termočlánok typu K (chromel – alumel)

Termočlánok typu K (chromel – alumel) v štandardnej konfigurácii merania termočlánkom je na obrázku . Namerané napätie V možno použiť na výpočet teploty T_{sense} za predpokladu, že teplota T_{ref} je známa. Typ K (chromel – alumel) je najbežnejší univerzálny termočlánok s citlivosťou približne $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Je lacný a k dispozícii je široká škála sond v rozsahu -200°C až $+1350^{\circ}\text{C}$.



Obrazok 1 Termočlánok typu K (chromel – alumel). Zdroj: [1]



Obrázok 2 MAX6675 termočlankovo - digitálny prevodník so zabudovaným 12-bitovým analógovo-digitálnym prevodníkom a komunikačným rozhraním SPI (Serial Parallel Interface). Termočlánok je pripojený na vstupy T+ a T- obvodu MAX6675. Zdroj: [3]

Podrobný opis MAX6675

MAX6675 je sofistikovaný termočlankovo - digitálny prevodník so zabudovaným 12-bitovým analógovo-digitálnym prevodníkom (ADC) [4][5]. MAX6675 obsahuje aj snímanie a korekciu kompenzácie studeného spoja, komunikačné rozhranie kompatibilné so štandardom SPI (Serial Parallel Interface) a súvisiacu riadiacu logiku. MAX6675 je navrhnutý na spoluprácu s externým mikrokontrolérom (μC) - vid'. obrázok 2 - v termostatických, procesných alebo monitorovacích aplikáciách.

Konverzia teploty

MAX6675 obsahuje hardvér na úpravu signálu na konverziu signálu termočlanku na napätie kompatibilné so vstupnými kanálmi analógovo digitálneho prevodníka (ADC, Analog Device Converter). Vstupy T+ a T- sa pripájajú k vnútornému obvodu MAX6675, ktorý znižuje vnášanie chýb šumu z termočlankových vodičov. Pred prevodom termoelektrických napätí na ekvivalentné hodnoty teploty je potrebné kompenzovať rozdiel medzi stranou studeného spoja termočlanku (teplota okolia MAX6675) a virtuálnou referenciou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (korekciu kompenzácie studeného spoja). Pre termočlánok typu K sa napätie mení o $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, čo aproximuje charakteristiku termočlanku pomocou nasledujúcej lineárnej rovnice:

$$V_{\text{OUT}} = (41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}}) \quad (1)$$

Kde:

V_{OUT} je výstupné napätie termočlanku (μV).

T_{R} je teplota vzdialeného prechodu termočlanku ($^{\circ}\text{C}$).

T_{AMB} je teplota okolia ($^{\circ}\text{C}$).

Kompenzácia studeného prechodu

Funkciou termočlanku je snímať rozdiel teplôt medzi dvoma koncami vodičov termočlanku. Teplý spoj termočlanku možno snímať v rozsahu od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+1023,75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Studený koniec (teplota okolia dosky, na ktorej je MAX6675 namontovaný) sa môže pohybovať len v rozsahu od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zatiaľ čo teplota na studenom konci kolíše, MAX6675 naďalej presne sníma teplotný rozdiel na opačnom konci. MAX6675 sníma a koriguje zmeny okolitej teploty pomocou kompenzácie studeného spoja. Zariadenie prevádza teplotu okolia na napätie pomocou diódy snímajúcej teplotu. Na vykonanie skutočného merania teploty termočlanku meria MAX6675 napätie z výstupu termočlanku a zo snímacej diódy. Vnútorné obvody zariadenia odovzdávajú napätie diódy (snímanie teploty okolia) a napätie termočlanku (snímanie vzdialenej teploty mínus teplota okolia) konverznej funkcii uloženej v ADC na výpočet teploty horúceho spoja termočlanku. Optimálny výkon MAX6675 sa dosiahne, keď termočlánok studeného spoja a MAX6675 majú rovnakú teplotu. V blízkosti MAX6675 neumiestňujú zariadenia alebo komponenty generujúce teplo pretože to môže spôsobiť chyby súvisiace so studeným spojom. Zdroj [12].

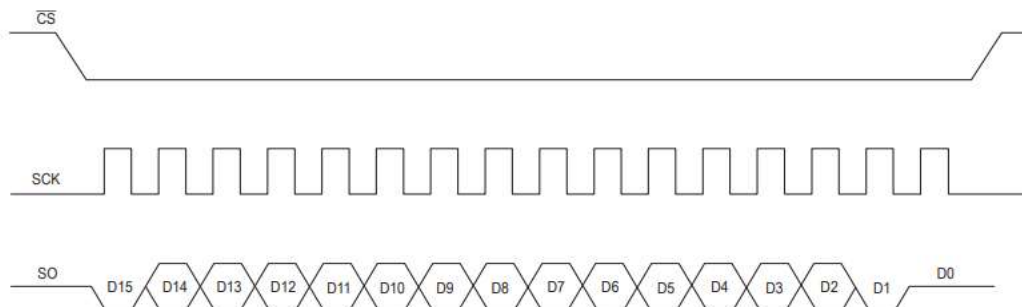
Digitalizácia pomocou ADC

Digitalizácia pomocou ADC sčíta meranie teploty diódy studeného spoja so zosilneným napätím termočlanku a odčíta 12-bitový výsledok na pin S_{O} . Postupnosť všetkých núl na výstupe SPI znamená, že údaj termočlanku je $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Postupnosť všetkých jednotiek na výstupe SPI znamená, že hodnota termočlanku je $+1023,75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sériové rozhranie SPI (Serial Parallel Interface)

Typické aplikačné zapojenie SPI ukazuje prepojenie MAX6675 (komunikačná rola SLAVE) s mikrokontrolérom - v našom prípade je to jednodoskový počítač ARDUINO (komunikačná rola MASTER) – vid'. aj obrázky 2 a 3. V tomto príklade MAX6675 spracováva údaje z termočlanku a prenáša ich prostredníctvom sériového rozhrania SPI do ARDUINO . Počítač v roli MASTER (tu ARDUINO) na začiatku komunikácie svoj nastaví výstupný signál $\text{CS} = \text{LOW}$ a

aplikujte hodinový signál na SCK tak, aby sa výsledky konverzie teploty čítali na výstupe MAX6675 SO. Vynútením CS LOW sa okamžite zastaví akýkoľvek proces konverzie. Vynútením CS na vysokú hodnotu sa spustí nový proces konverzie. Vynútením CS na nízku úroveň sa pripraví prvý bit na pin SO. Kompletne čítanie sériového rozhrania vyžaduje 16 hodinových cyklov SCK . Čítajte 16 výstupných bitov na klesajúcej hrane hodín. Prvý bit, D15, je fiktívny znamienkový bit a je vždy nulový. Bity D14-D3 obsahujú už prepočítanú teplotu T v poradí od MSB (Most Significant Bit) po LSB (Last significant Bit). Bit D2 je normálne nízky a pri otvorenom vstupe termočlánku je vysoký. D1 je nízky, aby poskytol identifikátor zariadenia MAX6675, a bit D0 je trojstavový. Na obrázku 3 je protokol sériového rozhrania a na obrázku 4 je výstup SO s umiestnením MSB a LSB bitu.



Obrazok 3 Sériové rozhranie SPI (Serial Parallel Interface) je tvorené troma vodičmi a dvoma komunikačnými stranami (MASTER - SLAVE). Signály CS a SCK generuje MASTER (ARDUINO) a SO vytvára SLAVE (MAX6675) [4]

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

Obrazok 4 Štruktúra 16 bitov na výstupe SO MAX6675 s umiestnením MSB a LSB bitu po konverzii teploty pomocou ADC [4]

4. Tabuľky a grafy nameraných a vypočítaných hodnôt



Zostava merania teploty je na obrázku 5. Sú zobrazené dva meracie prípravky na meranie teploty kontaktnou metódou (MER.č.31 a MER č.32 [6]) (snímače: K-termočlánok, odporový snímač teploty typu termistor NTC a TMP036). Na obrázku vidieť meraciu polystyrenovú nádobu na vodu (rôznej teploty), vložené sondy so snímačmi teploty a do tejto nádoby vložený aj referenčný digitálny teplomer. V tabuľke 1 sú zaznamenané nami namerané údaje teploty K-typtom termočlánku, kde dáta boli spracované obvodom MAX6675. Referenčný digitálny teplomer bol TP101 a s presnosťou merania +-1st.C. v rozmedzí teplôt -50 ... 300 st.C. Arduino

v meracom prípravku vypisovalo na počítači text so získanými hodnotami teplôt. V pravom stĺpci **Termočlánok K - typ, výst.bit stream [Hex]** sme zaznamenali aj surový „raw“ bitový stream na výstupe obvodu MAX6675.

Tabulka 1 : Vstupné hodnoty z MERANIE č.32

Meranie	TP101, ref. teplomer [°C]	Termočlánok K - typ, vypoč. [°C]	Termočlánok K - typ, výst.bit stream [Hex]
1	19	19,75	0x278
2	19	19,75	0x278
3	35,1	35,5	0x470
4	34,9	35,25	0x468
5	42,1	42,25	0x548
6	41,9	41,75	0x538
7	37,8	38	0x4c0
8	37,6	38	0x4c0
9	62,6	62,25	0x7c8
10	62	62	0x7c0
11	47,9	48,25	0x608
12	47,7	48,25	0x608
13	2,5	4,75	0x098
14	2,5	4,75	0x098
15	4,1	4,75	0x098
16	3,9	6,25	0x0c8
17	18,1	19,75	0x278
18	18,1	19	0x260

Tabuľka 2 prezentuje spracovanie nameraných údajov. Stĺpec **Logicky bitovy posun doprava 3x [HEX]** ukazuje výsledok logického posunu vľavo údajov v stĺpci **Termočlánok K - typ, výst.bit stream [Hex]**. V stĺpci **Z bitoveho streamu vypočítaná teplota v EXCEL-i [st.C]** sú vypočítané teploty podľa trojčlenky uvedenej v tabuľke 4.

Tabulka 2 : Vstupné a vypočítané hodnoty z MERANIE č.32

Meranie	TP101, ref. teplomer [°C]	Termočlánok K - typ, vypoč. [°C]	Termočlánok K - typ, výst.bit stream [Hex]	Rozdiel nameraných teplôt	Logicky bitovy posun doprava 3x [HEX]	Logicky bitovy posun doprava 3x [DEC]	Z bitoveho streamu vypočítaná teplota v EXCEL-i [st.C]
1	19	19,75	0x278	0,75	0x04F	79	19,75
2	35,1	35,5	0x470	0,4	0x08E	142	35,5
3	34,9	35,25	0x468	0,35	0x08D	141	35,25
4	42,1	42,25	0x548	0,15	0x0A9	169	42,25
5	37,8	38	0x4c0	0,2	0x098	152	38
6	62	62	0x7c0	0	0x0F8	248	62
7	47,7	48,25	0x608	0,55	0x0C1	193	48,25

8	2,5	4,75	0x098	2,25	0x13	19	4,75
9	3,9	6,25	0x0c8	2,35	0x19	25	6,25
10	18,1	19	0x260	0,9	0x04C	76	19

Tabulka 3: Trojčlenka pre výpočet teploty z meracím prípravkom poskytnutý surový „raw“ bitový stream na výstupe obvodu MAX6675 obsahujúcimi hodnoty teploty vyjadrenej v ADU (Analog Digital Units)

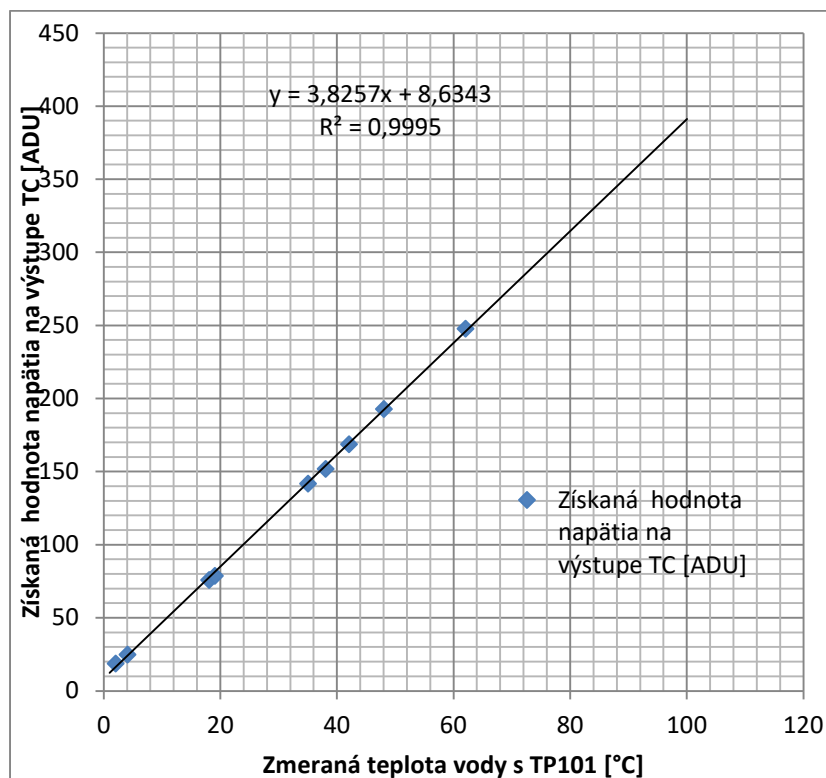
4095	ADU	1023,75	st.C
získaná hodnota z MAX6675	ADU	x	st.C

Výsledná teplota sa vypočítava z bitového streamu (viď. teplota v EXCEL-i [st.C] v tabuľke 2). Výsledná teplota sa vypočítava z trojčlenky uvedenej v tabuľke 3. Z meracieho prípravku bol poskytnutý surový „raw“ bitový stream na výstupe obvodu MAX6675 a tento, po logickom posune doprava, obsahuje hodnoty výslednej teploty vyjadrenej v ADU (Analog Digital Units). Rovnica 2 reprezentuje výpočet podľa spomenutej trojčlenky :

$$\text{zmeraná teplota } x \text{ [st.C]} = \text{získaná hodnota z MAX6675 [ADU]} \times 1023,75 \text{ [st.C]} / 4095 \text{ [ADU]} \quad (2)$$

Pre potrebu vyhodnotiť linearitu závislosti snímača teploty typu K medzi vstupom (teplotou meranej vody) a výstupom (hodnota napätia vyjadrená hodnotou AD prevodníka v ADU jednotkách) sme vytvorili Graf 1. **Lineárna rovnica má koeficient linearity $R^2 = 0,9995$, ktorý hovorí o vysokom stupni lineárnej závislosti snímača typu K pre namerané hodnoty.**

Graf 1. Lineárna závislosť výstupu TC snímača typu K [ADU] pre vstupné hodnoty teploty vody



5. Vyhodnotenie merania

Záver k Úloha a) a k Úloha b): vykonali sme merania teplôt v pomerne úzkom rozsahu vstupných teplôt vody, ktoré boli dané meracími podmienkami (merané médium bola voda) (viď. Tabuľka.1). Pri týchto meraniach sme použili ako referenčný snímač teploty platinový snímač teploty (označenie TP101).

Záver k Úloha c): porovnaním teplôt vody získaných referenčným teplomerom TP101 a teplôt zmeraných K-typtom termočlánku v spolupráci s obvodom MAX6675 použitom v našom meracom prípravku konštatujeme vysokú zhodu referenčných a zmeraných teplôt a správnu činnosť obvodu MAX6675. **Priemerný nameraný rozdiel teplôt bol 0,8 °C (viď. Tabuľka.2).** Vylepšenie nameraných hodnôt by bola možná využitím kompenzácie teplotného offsetu – v ARDUINO použitá softvérová knižnica autora Roba Tillaarta to umožňuje ľahko implementovať [7] [9] [10] [11] .

Záver k Úloha d): Overili sme vysokú lineárnu závislosť výstupu termočlánku typu K na zmene teploty vody viď. Graf 1. Lineárna trendová krivka závislosti sa dá vyjadriť rovnicou **$y = 3,8257x + 8,6343$ s parametrom odhadu linearity $R^2 = 0,9995$.**

6. Informačné zdroje

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>
- [2] | Working Principles – RealPars <https://www.realpars.com/blog/thermocouple>
- [3] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX6675.pdf>
- [4] LOCAL :... \WORK_2 NEVEL Meranie teploty v priemysle\ZDROJE\MAX6675 datasheet.pdf
- [5] LOCAL :... \WORK_2 NEVEL Meranie teploty v priemysle\ZDROJE\Arduino-and-Thermocouple-K-MAX6675.pdf
- [6] LOCAL :... \WORK_2 NEVEL Meranie teploty v priemysle\ZDROJE\230814 MERACI PRIPRAVOK c.2 Thermocouple TC & MAX6675 & LCD ver.B.pdf
- [7] LOCAL :... \WORK_2 NEVEL Meranie teploty v priemysle\ZDROJE\BETA_thermocouple_230916.ino
- [8] Aplikácia vo Windows 11 "calc"
- [9] <https://github.com/RobTillaart/MAX6675/blob/master/MAX6675.h>
- [10] https://github.com/RobTillaart/MAX6675/tree/master/examples/Demo_getRawData
- [11] <https://github.com/RobTillaart/MAX6675/blob/master/README.md>
- [12]
- URL:<https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/measuring-temp-using-thermocouples.html>
- LOCAL : ... \241221 DUFF TOWEY measuring-temp-using-thermocouples Analog Devices 2010.pdf