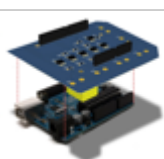


## System pre automatizované meranie teploty

Jurčišin Michal · Elektrotechnika

22.06.2015

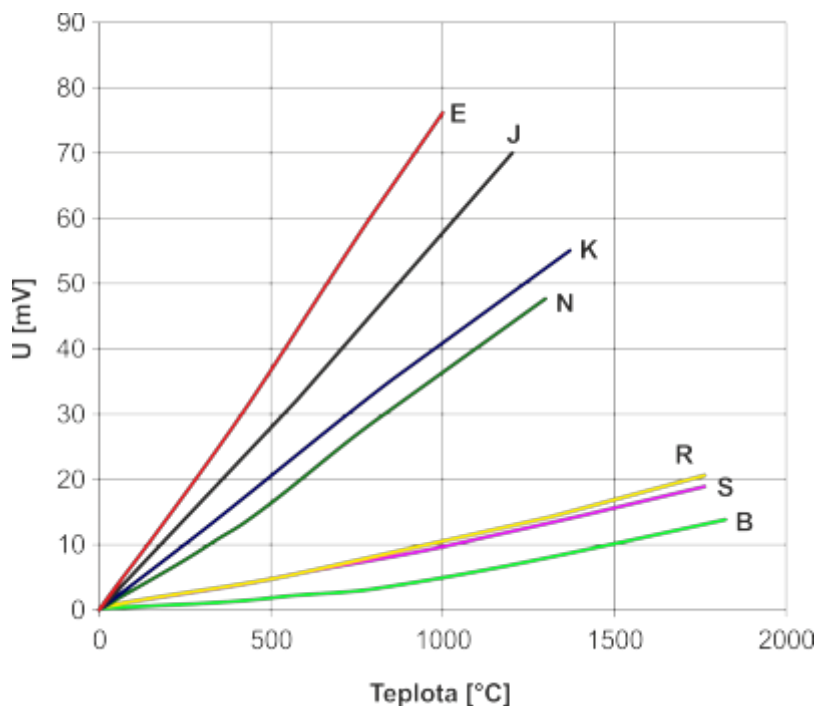


Článok popisuje proces návrhu a konštrukcie systému, ktorý umožňuje meranie teploty v niekoľkých bodoch súčasne. Článok tiež popisuje postup návrhu aplikácie, ktorá poskytuje grafické zobrazenie nameraných údajov s možnosťou ich archivovania. Súčasťou článku sú aj praktické merania, ktorých úlohou je demonštrácia funkčnosti navrhnutého systému.

### Úvod

Teplota je termodynamickou vlastnosťou látky, čiže označuje stav hmoty. Objavuje sa v mnohých fyzikálnych zákonoch a existuje len málo látok, ktorých vlastnosti by neboli teplotne závislé. Najvhodnejším príkladom takejto závislosti je zmena elektrického odporu spôsobená zmenou teploty. Často je táto zmena využívaná pre meracie aplikácie, teda senzory teploty [2]. Teplotné senzory sa môžu deliť podľa viacerých kategórií na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN prechodom, dilatačné, optické, radiačné, chemické, šumové, akustické, magnetické a iné ako napríklad kapacitné, či aerodynamické [3]. Senzory vo všeobecnosti môžeme rozdeliť podľa spôsobu merania na dotykové resp. kontaktné a bezdotykové resp. bezkontaktné.

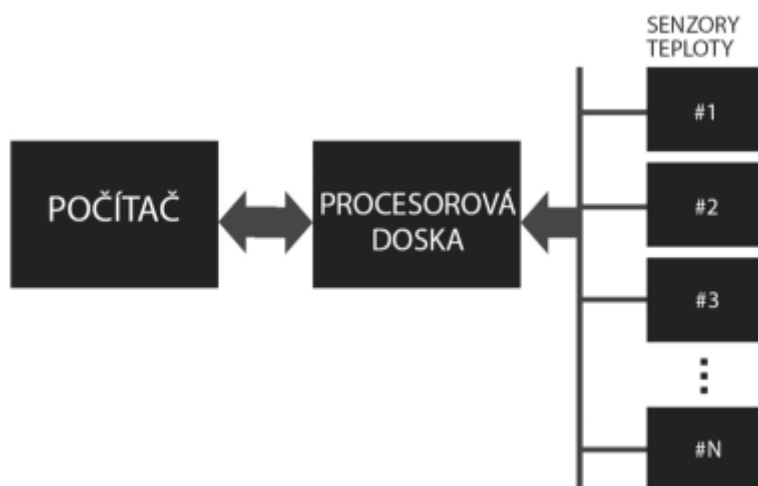
Princíp kontaktných senzorov spočíva v prenose teploty na snímací element dotykcom senzora s meraným prostredím. Takéto senzory sú zvyčajne najdostupnejšie z pohľadu ceny a jednoduchosti výroby. V prípade bezdotykových senzorov teploty sa využíva emisia elektromagnetického žiarenia z meraného objektu v prípade, že je meraná teplota vyššia ako teplota absolútnej nuly. Bezdotykové meranie teploty je veľmi jednoduchý a efektívny spôsob merania teploty. Tento spôsob merania je vhodný aj z hľadiska rýchlosti merania a preto je vhodný do výskumných aplikácií laboratórií, prípadne do testovacej oblasti výroby. Pre priemyselné aplikácie sa pre kontaktné meranie teploty najčastejšie využívajú termočlánky. V závislosti na požitom materiáli resp. teplotnom rozsahu merania sa termočlánky označujú písmenami (K, J, N a podobne) Obr.1.



Obr. 1 Porovnanie charakteristík termočlánkov [4]

## 1. Systém pre automatizované meranie teploty

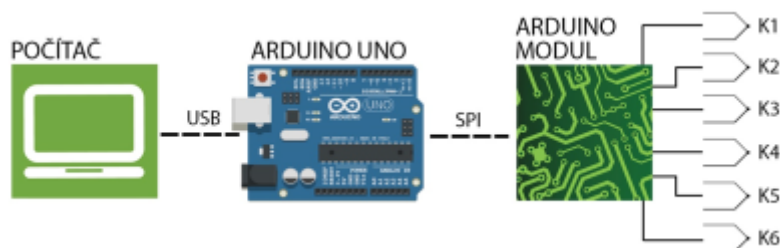
V prípade, že je potrebné meranie teploty na viacerých bodoch súčasne je vhodné použitie automatizovaných systémov, ktoré by umožňovali meranie s dostatočnou presnosťou, a zároveň je vhodné ak daný systém namerané údaje dokáže zobrazovať vo forme grafov. Pre splnenie takýchto cieľov bola navrhnutá koncepcia meracieho systému podľa Obr. 2. Cieľom bolo zostrojenie systému, ktorý bude merať teplotu v šiestich bodoch súčasne v teplotnom rozsahu 0 – 1000°C. Hodnota teploty v týchto bodoch mála byť zobrazená pomocou grafov v počítačovom programe a preto mal byť tento systém schopný komunikovať s počítačom.



Obr. 2 Základná schéma návrhu systému pre meranie teploty

Pre splnenie zadanej úlohy boli použité termočlánky typu K, ktoré umožňujú meranie teploty v požadovanom teplotnom rozsahu a s dobrou citlivosťou na teplotné zmeny. Komunikáciu so senzormi zabezpečuje platforma Arduino, ktorá spĺňa požiadavky kladené na komunikačnú rýchlosť medzi senzormi a počítačom. Arduino je vybavené

sériovým portom USB, ktorým sa môže pripojiť k počítaču a taktiež podporuje komunikačné rozhrania (SPI, I2C a podobne), ktoré je možné využiť pre komunikáciu s termočlánkami. Navrhnuté riešenie je zobrazené na Obr. 3.

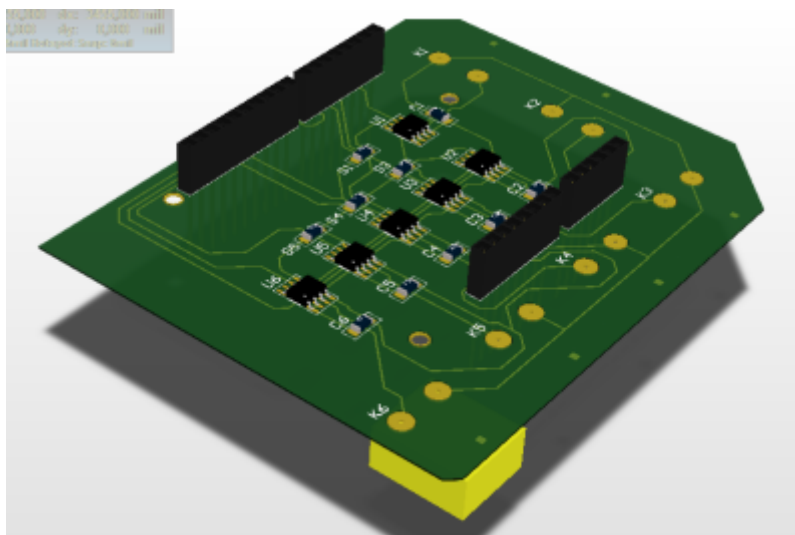


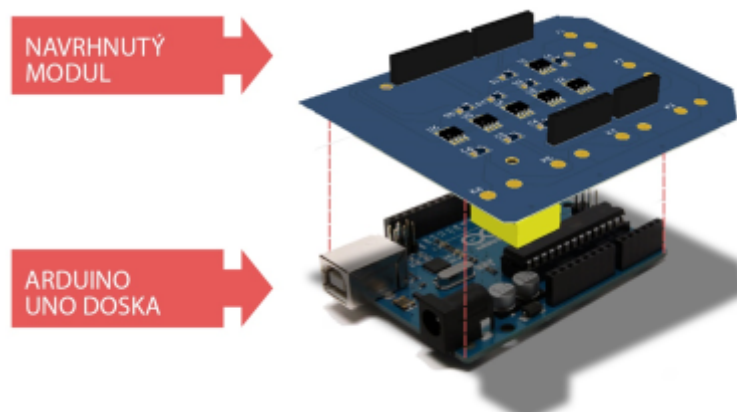
Obr. 3 Systém automatizovaného merania teploty

## 2. Modul pre dosku Arduino

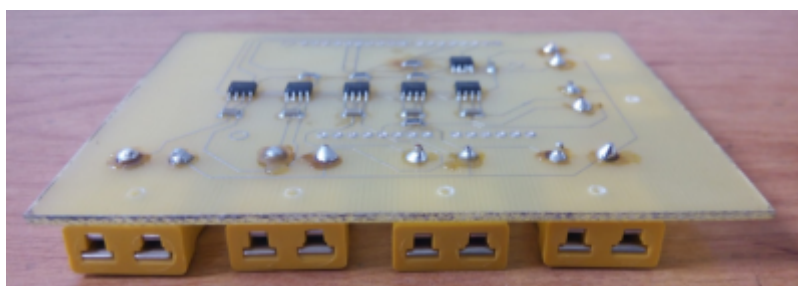
Pre digitálne meranie teploty je možné využiť viacero dostupných obvodov, pričom ako najvhodnejší obvod pre tento navrhovaný systém merania je MAX6675, pretože poskytuje digitálny výstup a teplotnú kompenzáciu. Tento obvod je vhodný hlavne vďaka konverzii hodnoty napätia z termočlánku do digitálnej informácie odosielanej pomocou SPI rozhrania. Každý z termočlánkov musí byť k procesorovej doske pripojený prostredníctvom obvodu MAX6675, pričom komunikáciu s jednotlivými meracími vetvami a zber nameraných údajov ako aj ďalšie spracovanie údajov zabezpečuje doska Arduino.

V prípade potreby použitia termočlánkov iných ako typu K nie je použitie navrhovaného modulu možné nakoľko integrované obvody MAX6675 a pripojené konektory sú určené iba pre použitie s termočlánkami typu K. Na Obr. 4 je zobrazený návrh modulu a jeho koncepčné umiestnenie na procesorovej doske Arduino. Na Obr. 5 je znázornená praktická realizácia navrhnutého modulu automatizovaného meracieho systému pre meranie teploty.





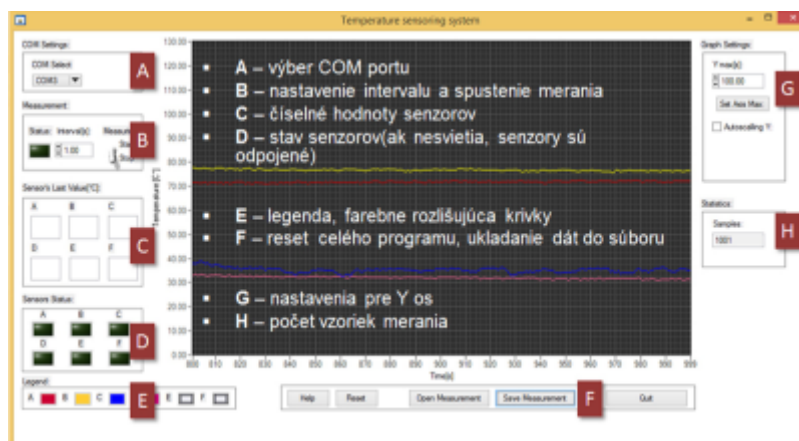
Obr. 4 Trojrozmerné zobrazenie modulu počas návrhu (hore), spôsob pripojenia k procesorovej doske Arduino (dole)



Obr. 5 Praktická realizácia modulu pre systém automatizovaného meracieho systému

### 3. Softvérová časť systému

Pre zabezpečenie prehľadnosti merania bol vytvorený komunikačný softvér, ktorý užívateľovi poskytuje informácie o meraní v grafickej podobe a teda zvyšuje prehľadnosť a uľahčuje manipuláciu s nameranými údajmi. Program bol vytvorený v programovacom jazyku C vo vývojovom prostredí NI LabWindows/CVI, pričom bol braný ohľad najmä na prehľadnosť a taktiež jeho funkcionality.



Obr. 6 Grafické rozhranie programu s popisom

Na Obr. 6 sú vyznačené dôležité súčasti systému. Význam jednotlivých častí je nasledovný:

- A - Nastavenie komunikácie výberom COM portu.
- B - Indikácia stavu merania, numerické nastavovanie intervalu medzi jednotlivými meraniami a samotné spúšťanie resp. zastavenie merania.

- C - Numerický výpis aktuálne nameranej hodnoty teploty z príslušného senzora.
- D - Indikátory stavu pripojenia senzorov.
- E - Legenda popisuje a farebne odlišuje senzory v grafe.
- F - Tlačidlá pre pomoc pri ovládaní programu, ukončenie programu, otvorenie nameraných hodnôt a pre uloženie výsledkov merania do súboru. Reset tlačidlo vymaže graf a nastaví program do pôvodných nastavení.
- G - Nastavenia osi Y v grafe. Je možné nastaviť hodnoty v rozsahu 0 - 1000. Možnosť nastaviť automatické škálovanie osi.
- H - Zobrazuje počet načítaní teplôt zo senzorov od spustenia merania.

Veľmi dôležitou súčasťou návrhu systému bolo navrhnuť spôsob ako by mohol modul s doskou komunikovať so softvérom v počítači tak, aby dokázal súčasne posilať šesť numerických hodnôt teplôt. Keďže Arduino disponuje USB rozhraním pre napájanie aj komunikáciu bolo najvhodnejšie využiť práve USB port. Arduino doska teda spracováva informácie postupne zo všetkých šiestich senzorov a následne ich odošle ako postupnosť znakov po sériovej linke do počítača (Obr. 7).



Obr. 7 Postupnosť znakov v sériovej linke

Interval prijímania rámca z USB rozhrania je nastavený na 250 ms. Táto hodnota bola určená v procese testovania systému a je to hodnota, pri ktorej bola komunikácia stabilná a teploty boli odosielané bez vzniku chyby pri prenose. Pri znížení intervalu pod 200 ms už systém nebol schopný spracovávať teploty a boli odosielané chybné hodnoty. Integrované obvody MAX6675 majú výrobcom stanovenú maximálnu hodnotu konverzného času až na 220 ms, pričom bežná hodnota je približne 170 ms. Program umožňuje namerané údaje zapisovať do textových súborov, v ktorých sú tabuľkovo uložené hodnoty z jednotlivých senzorov (Obr. 8).

#	A[°C]	B[°C]	C[°C]	D[°C]	E[°C]	F[°C]
0	14.750000	16.250000	20.250000	19.500000	-1.000000	-1.000000
1	15.250000	16.000000	20.000000	19.500000	-1.000000	-1.000000
2	15.250000	15.750000	19.750000	19.500000	-1.000000	-1.000000
3	15.250000	15.750000	20.250000	19.250000	-1.000000	-1.000000
4	15.000000	16.250000	20.250000	19.500000	-1.000000	-1.000000
5	14.750000	16.250000	20.000000	19.500000	-1.000000	-1.000000
6	15.250000	16.250000	20.250000	19.250000	-1.000000	-1.000000
7	15.250000	16.000000	20.500000	19.500000	-1.000000	-1.000000
8	14.750000	16.250000	20.250000	19.250000	-1.000000	-1.000000
9	15.250000	16.000000	20.000000	19.500000	-1.000000	-1.000000
10	15.250000	16.000000	19.750000	19.000000	-1.000000	-1.000000

Obr. 8 Obsah výstupu merania zapísaného v súbore

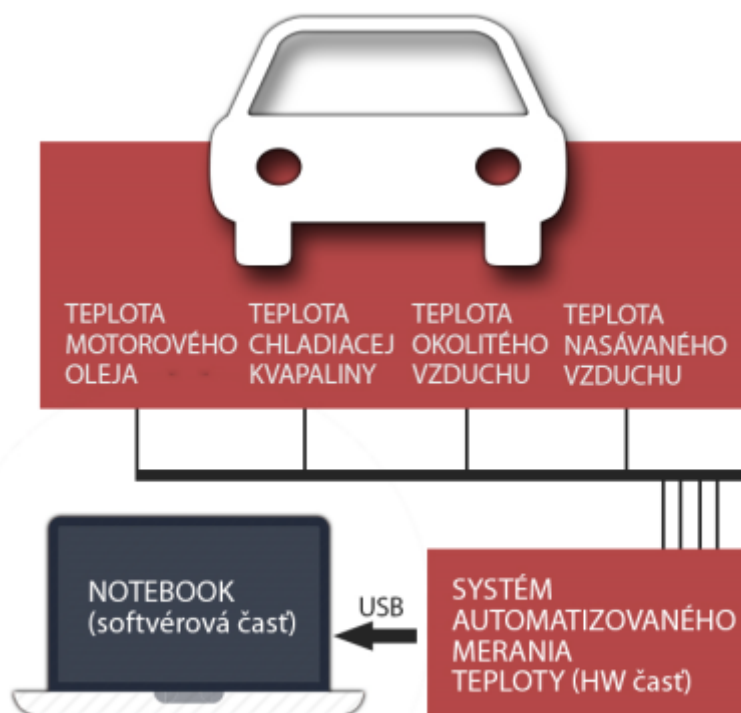
Popis jednotlivých stĺpcov v znázornenom výstupnom súbore na Obr. 8:

- # - Tento stĺpec zobrazuje číslo merania. Dve po sebe nasledujúce čísla znamenajú meranie po uplynutí časového intervalu medzi dvoma meraniami.
- A - Namerané hodnoty zo senzora A. Sú udávané v jednotkách °C.

- B, C, D - Namerané hodnoty zo senzorov B, C, D.
- E, F - Počas merania tieto senzory zapojené neboli a preto je pri nich vypísaná hodnota - 1.

#### 4. Praktické meranie s využitím automatizovaného meracieho systému

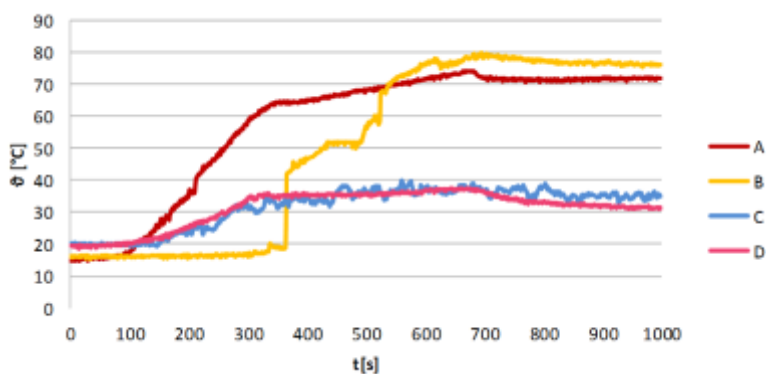
Pre demonštráciu funkčnosti meracieho systému bolo vykonané testovacie meranie podľa schémy znázornenej na Obr. 9. Bolo zvolené meranie s využitím automobilu, pretože chodom motora dochádza k zmenám teplôt v rôznych častiach pracovného priestoru automobilu, napríklad pod kapotou, prípadne zmenou teploty oleja a pod.



Obr. 9 Schéma testovacieho merania na automobile

Meranie prebiehalo v interiéri s využitím automobilu Škoda Fabia 1,4 MPI. Automobil bol pred vykonaním merania v pokoji dostatočne dlhý čas na to, aby došlo k vychladnutiu všetkých meracích bodov na teplotu okolia. Meranie prebiehalo súčasne na štyroch meracích bodoch a to: motorový olej, nasávaný vzduch, teplota chladiacej kvapaliny a teplota okolitého prostredia. Meranie preukázalo funkčnosť systému v rámci definovanej presnosti nie len termočlánkov, ale aj celej meracej zostavy. Výsledok merania vytvorený pomocou nástroja Microsoft Excel z výstupného súboru merania je zobrazený na obrázku č. 10. Meranie preukázalo, že navrhnutý systém funguje spoľahlivo aj pri časovo náročnejších meraniach, napríklad po dobu viacerých hodín.





Obr. 10 Graf nameraných teplôt (A - motorový olej, B - chladiaca kvapalina, C - nasávaný vzduch, D - teplota okolia)

K automobilu bolo tiež pripojené diagnostické zariadenie firmy Bosch - KTS 570, ktoré slúžilo pre kontrolu a porovnanie výsledkov merania. Meranie diagnostikou prebiehalo súčasne s meraním pomocou navrhnutého systému. Porovnanie nameraných teplôt s teplotami z navrhnutého meracieho systému ukázalo, že navrhnutý systém poskytuje výsledky, ktoré sa pohybujú v rámci intervalu  $\pm 1^\circ\text{C}$  od hodnoty ukázanej diagnostickým nástrojom.

## Záver

Systém pre automatizované meranie teploty je navrhnutý pre meranie teploty v šiestich bodoch súčasne s použitím termočlánkov typu K. Systém spracováva informácie o teplotách pomocou analógovo - digitálnych integrovaných obvodov, ktoré sú schopné zároveň spracovať elektrický signál generovaný termočlánkom a zároveň na výstupe poskytnúť informácie v digitálnej forme. Prezentovaný systém je možné využiť pre meranie teploty na rôznych sledovaných bodoch pri praktických aplikáciách, ako aj pri laboratórnych meraniach napríklad pri určovaní priestorového rozloženia teploty pri rôznych vzdialenostiach od tepelného zdroja.

## Použitá literatúra

1. ONDREJKOVIČ, J.: Systém pre automatizované meranie teploty, Diplomová práca, FEI, TUKE, Košice, 2015
2. BUCHDAHL H.A. > 2. Zeroth law. The concepts of classical thermodynamics. Cambridge U.P.1966. ISBN 978-0-521-04359-5,
3. KREIDL M.: Měření teploty. Senzory a měřicí obvody. 1. vydání. Praha 2005: BEN - technická literatúra. ISBN 80-7300-145-4,
4. ENGINEERINGSOLUTION. Voltage vs Temperature relationship for letter-designated thermocouples dostupné na webs: <http://engineeringsolution.blogspot.sk/2014/06/the-operating-principle-of-thermocouples.html#.VUVJZPntmko>
5. MAXIM INTEGRATED. Dokumentácia obvodu MAX6675
6. LabWindows/CVI Reference manual: National Instruments, Austin, USA, 1996

Spoluautorom článku je Peter Balog, Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 2, 040 01 Košice

