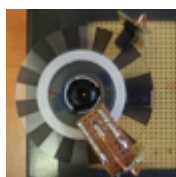


Výukové pracoviská pre elektronické senzory neelektrických veličín

Dolinský Pavol · Elektrotechnika

16.01.2017



Príspevok popisuje návrh a realizáciu niektorých učebných pomôcok, ktoré sú súčasťou výukových pracovísk pre predmet so zameraním, na elektronické senzory fyzikálnych veličín. Realizované pomôcky oboznamujú s vlastnosťami a zapojeniami bežných senzorov pre meranie teploty a meranie polohy a otáčania. Meranie sa vykonáva pomocou navrhnutých meracích prípravkov, DAQ karty a meracieho softvéru vytvoreného v prostredí LabVIEW. Pracovisko obsahuje prípravky pre meranie teploty termočlánkom, termistorom, platinovým sensorom PT100, polovodičovou diódou a tiež prípravok pre meranie polohy a otáčania optickým enkodérom, indukčným a magnetickým snímačom otáčok. Pre budenie senzorov teploty je realizovaný elektrický ohrievač s možnosťou automaticky nastavovať teplotu PID regulátorom.

1. Úvod

Elektronické senzory neelektrických veličín sú veľmi dôležitými prvkami v automatizácii, robotike a používajú sa aj pri rôznych laboratórnych meraniach. Z najčastejšie používaných senzorov sú to napríklad senzory teploty a polohy, s ktorými sa možno stretnúť často aj v bežnej spotrebnej elektronike. Pre uľahčenie pochopenia ich činnosti a oboznámenie sa s nimi je najvhodnejšie prakticky si vyskúšať, ako také senzory fungujú a aké vplyvy je potrebné brať do úvahy alebo je možné zanedbať pri ich prevádzke. Učebné pomôcky sa pre tieto účely takmer nevyrábajú. Úlohou preto bolo navrhnúť a realizovať učebné pomôcky, ktoré budú súčasťou výukového pracoviska v predmete zameranom na senzorové systémy. Cieľom je ukázať vlastnosti senzorov, ich typické zapojenia a spracovanie signálov z nich, pričom by bolo možné niektoré meracie prípravky ovládať diaľkovo.

Opísané budú dve realizované pracoviská: prvé je zamerané na senzory teploty, druhé na senzory polohy a otáčania. Pre meranie teploty je využitý termočlánok typu K, platinový sensor PT100, polovodičová dióda KA267 a NTC termistor 100k. Pre meranie polohy je realizovaný absolútny a inkrementálny optický enkodér s využitím tranzmisívnych a reflexných optočlenov. Meranie rýchlosti otáčania využíva indukčný sensor a Hallov magnetický sensor. K pracoviskám sú zhotovené meracie prípravky, ktoré vhodne upraví výstupné signály senzorov tak, aby sa dali pripojiť k DAQ karte, ktorou sa potom za pomoci meracieho softvéru realizovanom v programovacom prostredí LabVIEW vykonáva meranie. Ako súčasť meracieho pracoviska pre meranie

teploty je zhotovený elektrický ohrievač, ktorý umožňuje nastaviť a udržiavať teplotu v rozsahu 25°C až 60°C pomocou PID regulátora. Regulátor je realizovaný softvérovo a ovláda výkonový budič ohrievača pomocou číslicového výstupu DAQ .

2. Pracovisko pre meranie teploty

Riešenie pracoviska možno vidieť na blokovej schéme Obr. 1. Základnou časťou pracoviska je elektrický ohrev, ktorý slúži na budenie senzorov teploty. Do neho sa vkladá blok, v ktorom je pevne umiestnený jeden referenčný senzor teploty a ďalší senzor teploty, na ktorom vykonávame meranie (meraný senzor), a ktorý možno podľa potreby vymeniť. Ohrev ďalej obsahuje výkonový budič umožňujúci plynulo regulovať jeho výkon pomocou číslicového výstupu DAQ karty. Výstup z meraného senzora sa pripojí do meracieho prípravku, kde sa urobí predspracovanie signálu (zosilnenie, prevod odporu na napätie a pod.), tak aby ho bolo možné pripojiť na analógový vstup DAQ karty, kde je tiež pripojený výstup referenčného senzora. Tento predspracovanie nepotrebuje a pre vlastné napájanie využíva 5V výstup DAQ karty.

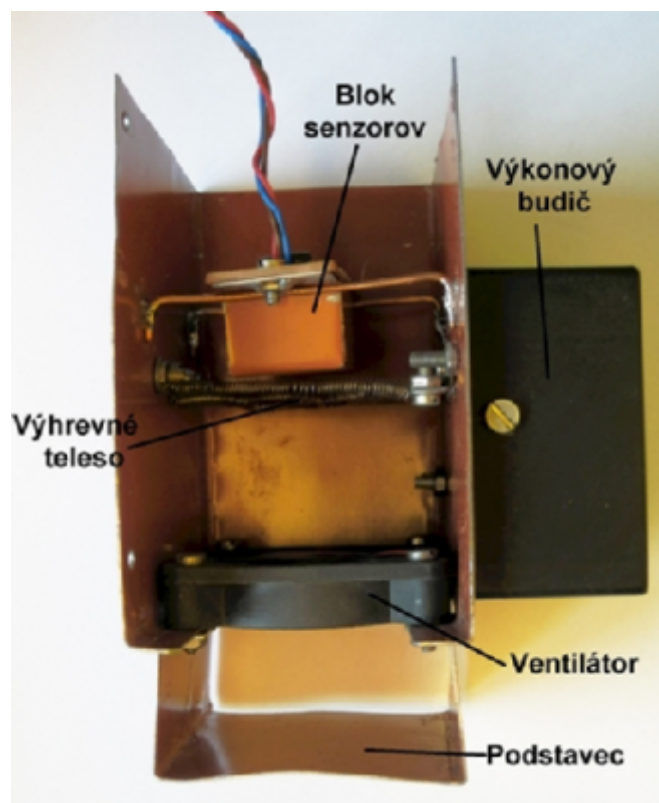
Výkonová časť elektrického ohrevu má vlastný napájací zdroj, rovnako ako merací prípravok. Počíta sa s použitím laboratórnych regulovateľných zdrojov. Ovládanie elektrického ohrevu a zber nameraných dát sa vykonáva pomocou programov vytvorených v programovacom prostredí LabVIEW spustených na PC. Pre pracovisko sú zostavené 2 sady úloh, pre každú sadu slúži samostatný merací prípravok. Jeden teda obsahuje obvody potrebné pre meranie teploty termočlánkom a termistorom, druhý pre meranie pomocou platinového senzora PT100 a diódy.



Obr.1 Blokovaná schéma pracoviska pre meranie teploty

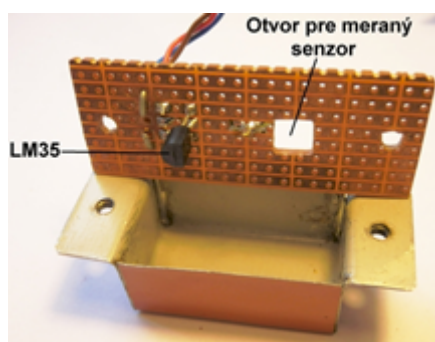
2.1. Elektrický ohrev

Konštrukciu ohrievača možno vidieť po odobratí krytu na Obr.2. Pozostáva z kovovej škatule, kde je umiestnené výhrevné teleso tvorené 4 paralelne spojenými odporovými drôťmi Kanthal a jeho odpor v studenom stave je asi 3,9Ω. Pod ním sa nachádza malý ventilátor. Z vonkajšej strany je umiestnený pod plastovým krytom výkonový budič. Nad výhrevným telesom sa nachádza unášač z medeného drôtu, do ktorého sa vkladá blok senzorov (Obr.3), obsahujúci referenčný senzor LM35. Do pripraveného otvoru sa vkladá senzor, na ktorom sa bude vykonávať meranie. Ak sa ventilátor otáča pomaly zlepšuje prúdenie teplého vzduchu okolo bloku senzorov. Tiež je pomocou neho možné zdanlivo znížiť tepelnú kapacitu bloku senzorov, prípadne tento blok rýchlo vychladiť.



Obr.2 Konštrukcia elektrického ohrievača (s odobratým krytom)

Výkonový budič je navrhnutý tak, že pracuje v spínanom režime a umožňuje plynulo regulovať otáčky ventilátora a výkon ohrevu pomocou PWM signálu na jeho vstupe. Napájacie napätie ohrievača je 12V, príkon výhrevného telesa je 36W. Spínací signál sa generuje pomocou čítačov na číslicovom výstupe DAQ karty. Pre ohrev má frekvenciu 50Hz a pre ventilátor 100Hz. Celkové ovládanie ohrievača je riešené v zhotovenom ovládacom programe, ktorý umožňuje 3 režimy regulácie ohrievača: automatický, manuálny a PID. Pre zistenie teploty v ohrievači sa využíva referenčný senzor v bloku senzorov. Cieľom automatickej regulácie bolo maximálne zjednodušiť ovládanie ohrievača tak, že používateľ si zvolí iba požadovanú teplotu a táto sa na ohrievači automaticky nastaví. Toto riešenie umožňuje tiež pohodlné vzdialené ovládanie. K tomu je využitý PID regulátor [1].

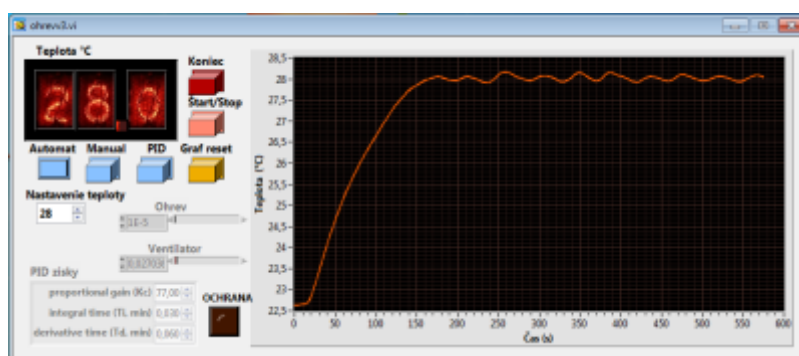


Obr.3 Realizácia bloku senzorov.

Pretože s jediným nastavením konštant pracuje regulácia správne iba v rozsahu asi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ v okolí bodu, kde bol regulátor naladený, bol celý rozsah nastaviteľných teplôt ohrievača 25°C až 60°C rozdelený na rozsahy veľké asi 4°C . Pre každý taký rozsah bol regulátor znova naladený a jeho konštanty zapísané do tabuľky k prislúchajúcemu rozsahu. Na základe tejto tabuľky potom program v automatickom režime nastaví

vhodne PID regulátor. Regulátor bol ladený metódou „pokus-omyl“ [2], pozorovaním tvaru odozvy regulovanej sústavy. Pre nižšie teploty (v rozsahu asi 25°C-35°C) sa dá nastavená teplota dosiahnuť rýchlejšie a presnejšie, ak je spustený ventilátor. So zvyšovaním nastavenej teploty však prestáva byť výkon ohrevu dostačujúci a otáčky ventilátora je potrebné znižovať. Pri vyšších nastavených teplotách (48°C-60°C) je potrebné vypnúť ventilátor úplne.

V manuálnom režime program umožňuje používateľovi ručne nastavovať výkon ohrevu a ventilátora v rozsahu 0 až 100%. Režim PID bol do programu doplnený pre prípadnú možnosť použiť ohrievač aj ako učebnú pomôcku pre ukážku činnosti PID regulátora. Tiež sa využíva pre zistenie vhodných konštánt regulátora, ktoré následne využíva automatický režim.

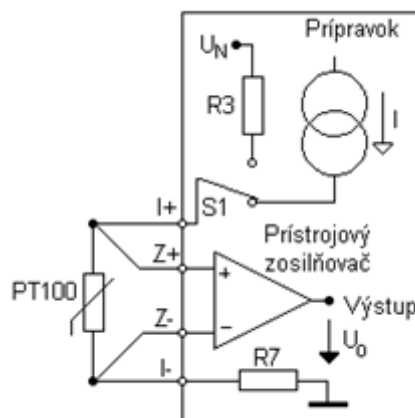


Obr.4 Predný panel programu pre ovládanie ohrevu.

Predný panel programu vidieť na Obr.4. Obsahuje indikátor teploty, ktorá je nameraná na ohrievači. Pribeh teploty na ohrievači v čase (odozva regulovanej sústavy) sa zobrazuje na grafe po pravej strane. Činnosť regulátora možno kedykoľvek pozastaviť stlačením tlačidla štart/stop. V pozastavenom stave sa vypne ohrev aj ventilátor, záznam teploty do grafu však pokračuje. Režim sa volí pomocou tlačidlového prepínača. Na základe neho sa potom užívateľovi povolia ostatné ovládacie prvky prislúchajúce k danému režimu. Program je tiež vybavený ochranou, ktorá sa spustí v akomkoľvek režime, ak teplota na ohrievači presiahne 60°C. Prejaví sa úplným vypnutím ohrevu a spusteným ventilátora na plný výkon, kým teplota neklesne pod 60°C, vtedy znova začne pracovať zvolený režim regulácie.

2.2. Merací prípravok pre PT100 a polovodičovú diódu

Zhotovený prípravok obsahuje prúdový zdroj a prístrojový zosilňovač. Je zostavený na plošnom spoji a umiestnený v malej plastovej škatuli, odkiaľ sú vyvedené svorky výstupu prúdového zdroja a vstupu a výstupu prístrojového zosilňovača. Prípravok môže byť použitý univerzálne pre rôzne senzory, ich štvorvodičovým pripojením ako aj pripojením do wheatstonovho mostíka. V našom prípade bolo využité štvorvodičové zapojenie senzora PT100. Zjednodušenú schému a štvorvodičové pripojenie senzora PT100 k prípravku je vidieť na Obr.5.



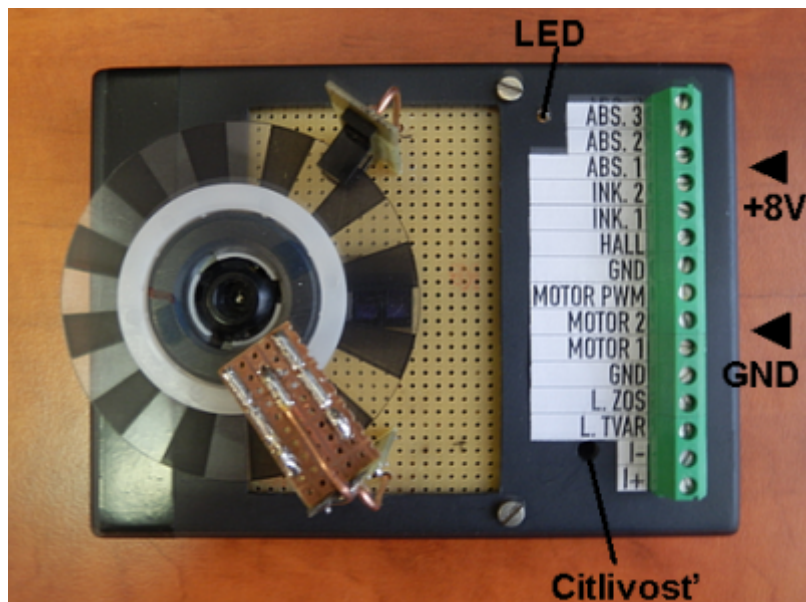
Obr.5 Zjednodušená schéma meracieho prípravku pre PT100 a diódu.

Prístrojový zosilňovač má pevne nastavené zosilnenie rovné 10. Tento bol nastavený výberom z viacerých kusov rezistorov rovnakej hodnoty, aby čo sa čo najviac priblížil k hodnote 10. Nevýhodou štvorvodičového pripojenia je potreba veľkého rozlíšenia meracieho prístroja, ktorým meriame výstupné napätie zosilňovača [3]. Preto je tu vhodné použiť DAQ kartu so 16 bitovým A/D prevodníkom. Výstupné napätie je pomerne veľké vzhľadom na jeho zmenu vplyvom zmeny odporu PT100, preto by bolo možné privedením napätia na referenčný vstup prístrojového zosilňovača odpočítať časť napätia U_o . Riešenie by ale vyžadovalo presný zdroj referenčného napätia (napr. $-1V$) a symetrické napájanie prípravku, čo pre zachovanie jednoduchosti a možnosti demonštrácie uvedenej nevýhody nebolo realizované.

Prípravok je na viac vybavený prepínačom, ktorým možno namiesto prúdového zdroja pripojiť do série so sensorom obyčajný rezistor. Tu je cieľom ukázať, že v tomto prípade výstupné napätie z prípravku už nebude od zmeny odporu senzora závisieť lineárne a na zistenie jeho presného odporu je potreba použiť iný výpočet. Použitý zosilňovač je typu LT1167 a jeho vstupy sú chránené proti prepätiu pomocou zenerových diód. Do série z výstupom je zapojený rezistor, pre jeho ochranu proti prípadnému skratu. V prípade merania teploty pomocou diódy postačuje z prípravku použiť iba prúdový zdroj a napätie na dióde merať priamo pomocou analógového vstupu DAQ karty. V prípade potreby je možné toto napätie zosilňovačom v prípravku zosilniť. Diódu možno použiť akéhokolvek typu, v pracovisku sa využíva typ KA267.

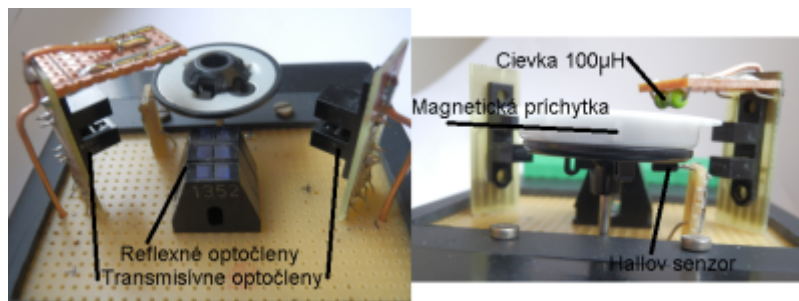
2.3. Merací prípravok pre termočlánok a termistor

Prípravok obsahuje zosilňovač napätia termočlánku, senzor LM35 a prúdový zdroj $50\mu A$, ktorý možno využiť pri meraní pomocou termistora. Prípravok je tiež zhotovený na plošnom spoji a je uzavretý v malej plastovej škatuli. Zjednodušenú schému možno vidieť na Obr. 6. Časť prípravku pre termočlánok bola doplnená o jednoduchý generátor šumu, ktorý možno prepínačom pridať na vstup zosilňovača, a simulovať tak rušenie, ktoré môže v priemyselnom prostredí pri meraní teploty vznikáť. Pridaný šum sa prejaví ako rýchle kolísanie teploty meranej termočlánkom asi o $\pm 1^\circ C$. Cieľom je ukázať ako sa dá tento šum softvérovo odstrániť napríklad počítaním priemeru z niekoľkých vzoriek. Senzor LM35 je umiestnený z vonkajšej strany škatule v tesnej blízkosti svoriek, na ktoré sa pripája termočlánok a meria tak teplotu porovnávacieho spoja termočlánku.



Obr.8 Prípravok pre meranie polohy a otáčania.

Ako vidieť na Obr.8, celý prípravok je vstavaný do plastovej škatule. Časť jej vrchnej steny je tvorená univerzálnym plošným spojmom, kde sú upevnené senzory a motor. Je použitý malý jednosmerný motor (typ. Mabuchi RF-310T-11400) určený pre CD prehrávače, spolu s unášačom CD a jeho magnetickou príchytkou. Tento unášač sa s výhodou využíva pre upevnenie kotúčov enkodéra a umožňuje tiež ich ľahkú výmenu. Pre inkrementálny enkodér je kotúč so značkami vytlačený pomocou laserovej tlačiarne na fóliu určenú pre spätný projektor. Značky sa snímajú dvomi tranzmisívnymi optočlenmi umiestnenými po stranách kotúča.



Obr.9 Rozmiestnenie senzorov prípravku pre polohu a otáčanie

Kotúče pre absolútny enkodér sú vytlačené na tvrdý papier a snímajú sa tromi reflexnými optočlenmi umiestnenými pod kotúčom (Obr.9). Tu boli zhotovené 2 typy kotúčov: jeden má značky usporiadané do binárneho kódu, druhý do Grayovho kódu. Prípravok je vybavený budičom pre motor (H most tvorený integrovaným obvodom L298D), ktorý umožňuje meniť smer a rýchlosť jeho otáčania číslicovým výstupom karty. Rýchlosť sa reguluje pomocou PWM v rozsahu asi 400ot/min až 3800ot/min. Pomalé otáčanie pre zisťovanie polohy enkodéra sa vykonáva rukou.

Magnetická príchytka tu slúži nie len na upevnenie kotúča, ale zároveň ako magnetická značka pre Hallov senzor. Po obvode magnetickej príchytky sa strieda severný a južný magnetický pól. Použitý integrovaný Hallov senzor (UGN3130) obsahuje predzosilňovač s tvarovačom a reaguje iba na jeden magnetický pól. Indukčný senzor sa obyčajne realizuje vo forme cievky navinutej na permanentnom magnetite [3], ktorá sa umiestni do blízkosti hriadele s kovovými značkami po obvode.

Tu bolo ale značne náročné zhotoviť kovové značky, tak aby boli rozmiestnené po obvode hriadeľa presne. Preto bola činnosť takého senzora simulovaná malou cievkou $100\mu\text{H}$ s feromagnetickým jadrom umiestnenou v tesnej blízkosti magnetickej príchytky. Ak sa príchytka otáča, v cievke sa indukuje napätie podobným spôsobom, ako v prípade senzora bežne používaného v praxi.

4. Záver

Pri zhotovení pracovísk a prípravkov bol kladený dôraz na ich univerzálnosť a odolnosť proti ich poškodeniu prípadným nesprávnym zapojením. Je možné ich jednoduchým spôsobom doplniť o ďalšie typy senzorov, čo mechanická konštrukcia prípravkov umožňuje. Navrhnutý ohrievač pracuje s nízkym napätím, preto je vhodný aj z hľadiska bezpečnosti. Pracoviská tiež možno upraviť pre vzdialené ovládanie ich základných funkcií cez internet a v súčasnosti sa prakticky využívajú v rámci cvičení z predmetu „Signálové a komunikačné rozhrania“.

5. Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt“(Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy) (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja“.

Literatúra

1. Denisenko, Viktor Vasilievič. Kompjuterneje upravlenie technologičeskym procesom, eksperimentom, oborudovaniem. Gorjačaja linia - Telekom, Moskva 2009, ISBN 978--9912-0060-8
2. [2] Klán, Petr. Moderní metody nastavení PID regulátorů. In: AUTOMA, roč. 6 (2000), č.9, s. 54-57, ISSN 1210-9592
3. Kester, Walt. Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning. Analog Devices, Inc., Pretince Hall, 1999, ISBN 0-916550-20-6
4. Haasz, Vladimír; Sedláček, Miloš. Elektrická měření, přístroje a metody. Nakladatelství ČVUT, Praha 2005, ISBN 80-01-02731-7
5. Zehnula, Karel. Čidla robotů. SNTL, Praha 1990, ISBN 80-03-00563-9

Katedra elektroniky a multimediálních telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
