

Měření teploty polovodičovými integrovanými obvody

Bohuslav Řezníček

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bohuslav ŘEZNÍČEK

Studijní program: B 3902 Inženýrská informatika

Studijní obor: Automatické řízení a informatika

Téma práce: Měření teploty polovodičovými integrovanými obvody

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte analýzu zadání.**
- 2. Zpracujte literární rešerši dle zadané literatury.**
- 3. Navrhněte prototyp na měření teploty pomocí polovodičových integrovaných obvodů.**
- 4. Realizujte prototyp.**
- 5. Provedte funkční ověření zařízení.**
- 6. Vyhodnoťte výsledky měření.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. HRUŠKA, F. : Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, s 118. ISBN 80-7318-053-7
2. HRUŠKA, F. : Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2001, s 107. ISBN 80-7318-026-X
3. ĎAĎO, S.-KREIDL, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, 1996.
4. CHUDÝ, V. a kol. Meranie technických veličin. Bratislava: STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2
5. Nejistoty v měření. Automa, (2001), č. 7-8, s. 50-53, pokračování v č. 10, 12.
6. Firemní literatura firmy Analog Devices.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Skočík

Ústav elektrotechniky a měření


Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2006

Termín odevzdání bakalářské práce:

16. června 2006

Ve Zlíně dne 14. února 2006


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá výzkumem měření teplot v průmyslových a obytných interiérech při řešení, tzv. tepelné pohody člověka v interiéru budov. Požadavky na toto měření vyžadují specifický přístup z pohledu nerovnoměrného rozložení teploty v průmyslových a obytných prostorech. Bylo proto použito řešení navrhuující prototyp umožňující měření ve více bodech najednou. Pro měření teplot bylo využito moderních integrovaných polovodičových technologií s přímou závislostí změny napětí na teplotě. Prototyp byl sestaven a ověřován s pozitivem linearity V/V charakteristiky, citlivosti, přesnosti a mobility.

Klíčová slova: měření, teplota, polovodiče, PN senzory.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the research of temperature measurement in the industrial and residential interiors, evaluated with the so-called thermal comfort index. The requirements on this kind of measurement insist on the peculiar approach, with regards to the uneven heat distribution in the industrial and residential interiors. I have used the solution based on the pilot project that measures the temperature in several places at the same time. The modern integrated semiconductors with direct dependency of the voltage on the temperature were used. The prototype was assembled and verified with positive linear I/O characteristics, sensitivity and mobility.

Keywords: metering, temperature, semiconductors, PN junction sensors.

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Skočíkovi, za odborné vedení, rady, připomínky a čas, který mi věnoval při zpracování této bakalářské práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé bakalářské práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu a Institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že na celé bakalářské práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně

.....

Bohuslav Řezníček

OBSAH

LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	8
ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PRINCIP MĚŘENÍ TEPLoty.....	13
1.1 DEFINICE TEPLoty A JEJÍ JEDNOTKY	13
1.2 ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TEPLoty	16
2 ÚVOD DO POLOVODIČŮ.....	17
2.1 POLOVODIČE BEZ PŘECHODU PN.....	17
2.2 POLOVODIČE S PŘECHODEM PN	18
3 POLOVODIČOVÉ SENZORY TEPLoty S PN PŘECHODEM	21
3.1 DIODOVÉ PN SENZORY.....	21
3.2 TRANZISTOROVÉ PN SENZORY	23
3.3 INTEGROVANÉ PN SENZORY.....	25
4 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	27
4.1 CHYBY MĚŘENÍ	27
4.2 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 PŘEHLED NABÍDKY NĚKTERÝCH INTEGROVANÝCH POLOVODIČOVÝCH OBVODŮ TEPLoty.....	33
5.1 SENZOR AD592 FIRMY ANALOG DEVICES	33
5.2 SENZOR LM334 FIRMY NATIONAL SEMICONDUCTOR	35
5.3 SENZOR TMP100/TMP101 FIRMY TEXAS INSTRUMENT	37
6 VÝBĚR VHODNÉHO INTEGROVANÉHO POLOVODIČOVÉHO OBVODU TEPLoty	38
7 OVĚŘENÍ SCHÉMA ZAPOJENÍ TEPLotNÍHO SENZORU AD592AN.....	39
8 OVĚŘENÍ FUNKCE TEPLotNÍHO SENZORU AD592AN.....	41
8.1 MĚŘENÍ TEPLoty V PROSTORU PŘED TOPNÝM TĚLESEM	41
8.2 MĚŘENÍ TEPLoty PŘÍMO NA TOPNÉM TĚLESE	43
9 NÁVRH A REALIZACE PROTOTYPU S FUNKČNÍM OVĚŘENÍM.....	45
9.1 NÁVRH KONSTRUKCE PROTOTYPU.....	45
9.2 REALIZACE KONSTRUKCE PROTOTYPU	47
9.3 OVĚŘENÍ FUNKCE PROTOTYPU.....	49
ZÁVĚR.....	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
SEZNAM OBRÁZKŮ	57
SEZNAM TABULEK.....	59
SEZNAM PŘÍLOH.....	60

LITERÁRNÍ REŠERŠE

V této části je zpracována literární rešerše šesti titulů odborné literatury dle zadání bakalářské práce.

1. Hruška, F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, 118 s. ISBN 80-7318-053-7

Odborná a podrobná publikace zabývající se výhradně základními druhy senzorů s typickými principy používanými v praxi. Jsou v ní popsány senzory (používající mechanické, tekutinové a elektrické principy snímání vnějšího podnětu), spolu s úvodem do problematiky sensoriky. K čerpání pro studium je zejména použita kapitola 15. Polovodičové monokrystalické senzory s PN přechodem, která mimo jiné popisuje i senzory teploty.

2. Hruška, F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, květen 2005, 109 s. ISBN 80-7318-274-2

Odborná literatura vedená do tří okruhů, a to na Technické prostředky pro získávání informací (popisující snímače a převodníky pro měření technologických veličin např. teploty, průtoku, atd.), Technické prostředky centrálních jednotek (tj. kompaktních regulátorů, programovatelných automatů, atd.) a Prostředky ovládání (elektrické energie a toku tekutin v potrubí). Zde byla důležitá hlavně kapitola 1.2. Měření teploty, která zaujímá širokou oblast dotykového i bezdotykového měření teploty a popisuje i odporové snímače teploty, mezi které se řadí i polovodičové snímače teploty.

3. Ďad'o, S. -Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, duben 1996, 315 s.

Publikace podrobně pojednávající o senzorech různých veličin (např. tepelných, optických, chemických, elektrických a magnetických, aj.). K prostudování byla obzvláště vhodná a obsáhlá kapitola číslo 3. Senzory tepelných veličin a hlavně podkapitola 3.2.4. Monokrystalické PN senzory teploty, kde byly popsány integrované PN senzory teploty.

4. Chudý, V. a kol.: Meranie technických veličín. Bratislava: STU, 1999, 688 s. ISBN 80-227-1275-2

Odborná publikace popisující aspekty měření různých veličin a jednotek (např. tlaku, teploty, průtoku, délky, aj.), přes prostředky měření, chyby až po zásady zpracování měření. Ke studiu byla zajímavá především kapitola 9 – Meranie teploty, popisující základní terminologii a principy měření. Jednotlivé podkapitoly této kapitoly jsou pak věnovány různým měřidlům teploty.

5. Nejistoty v měření. Automa, (2001), č. 7-8, s 50-53, pokračování v č. 10,12.

Odborný a specializovaný tiskopis Automa, č. 7-8,10,12/01, obsahující i sekci Měřicí techniky, zabývající se způsobem zjišťování a vyjadřování chyb a nejistot v technické praxi. Dále jsou zde publikovány různé metodiky vyhodnocování nejistot z naměřených údajů, tyto postupy jsou děleny do pěti oblastí, a to na vyjadřování nejistot, nejistoty v přímých měření, v nepřímých měření, při kalibraci a ověřování. Ke studiu jsou použity pak zejména statě týkající se chyb a nejistot v měření.

6. Firemní literatura firmy Analog Devices

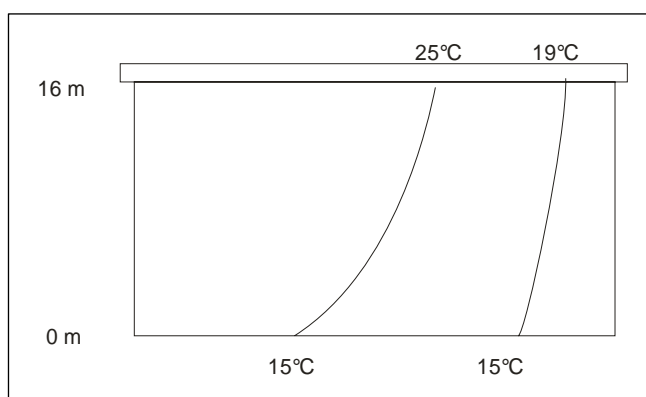
Jedná se především o jednotlivé katalogové listy k senzorům, které výrobce nabízí. Jsou zde popsány funkce senzorů, popis jejich zapojení, jejich možnosti využití, návody na kalibraci, přesnosti jednotlivých typů, aj.

ÚVOD

Jedním z mnoha trendů dnešní moderní praxe je vytvořit optimální prostředí pro pobyt člověka, jak na pracovišti, tak i v domácím kruhu za účelem zlepšení jeho tělesné i duševní rovnováhy. Jedná se především o tzv. problém tepelné pohody člověka v interiéru budov [9].

Tepelnou pohodou člověka v interiéru je myšleno optimální nastavení parametrů vnitřního obytného prostoru po stránce teploty vzduchu, střední radiační teploty, vlhkosti vzduchu, proudění vzduchu, teploty okolních stěn, atd. [9]

Většina těchto základních fyzikálních veličin je dnes běžně měřitelná, ale u některých je nutné řešit specifické problémy související právě s jejich měřením a vyhodnocováním. Takovým specifickým problémem je i měření a vyhodnocování parametrů v interiérech souvisejících s teplotou. Jedná se o problém nerovnoměrného rozložení teploty vzduchu v prostoru, které je zejména patrné ve vyšších halových interiérech, kde rozdíl teplot mezi podlahou a stropem může dosahovat až $\pm 10^{\circ}\text{C}$, viz. (Obr. 1) [9].



Obr. 1. Schéma nerovnoměrného rozložení teploty v halových interiérech.

Je proto nezbytné měřit teplotu v různých výškách a získat tak kompletní přehled o teplotním rozložení vzduchu v celém průmyslovém interiéru.

Dále se předpokládá, že největší vliv na člověka má rozložení teplot v intervalu od 0 do 1,7m od podlahy. Proto je kladen požadavek na měření teplot ve výškách 0,1, 1,1 a 1,7m od podlahy. Kde 0,1m odpovídá výši kotníků u nohou, 1,1m průměrné výšce člověka v sedě a 1,7m průměrné výšce člověka ve stoje. V těchto polohách se očekává, že člověk bude nejvíce náchylný na změny teplot, které je přímo schopen vnímat [9].

Tímto požadavkem, resp. návrhem na měření teplot v uvedených výškách (tj. 0,1, 1,1 a 1,7m od podlahy) a s následnou realizací prototypu s funkčním ověřením se zabývá níže uvedená práce. Na měření jsou dále kladeny požadavky po stránce mobility, linearity V/V charakteristiky, patřičné citlivosti a přesnosti. Pro měření bude využito moderních integrovaných polovodičových technologií s přímou závislostí změny napětí na teplotě.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRINCIP MĚŘENÍ TEPLoty

Při měření teploty daného objektu se využívá možnost měření různých sekundárních veličin, které se mění v závislosti od měřené teploty. Takovou veličinou může být například změna objemu nebo tlaku teploměrné látky, změna elektrických vlastností snímače teploty, či vyzařování měřeného objektu.

Měřiče teploty všeobecně využívají několik základních principů:

1. teplotní roztažnost tuhých, kapalných nebo plyných teploměrných látek. Teplotní roztažnost teploměrné látky, resp. rozdíl teplotních roztažností dvou látek potom představuje míru teploty. Měří se změna objemu teploměrné látky při konstantním tlaku (dilatační teploměry), nebo změna tlaku teploměrné látky při konstantním objemu (tlakové teploměry),
2. změnu elektrických vlastností snímače v závislosti na změně teploty. Využívá se:
 - a) závislost elektrického odporu vodiče nebo polovodiče na teplotě. Takové snímače teploty se nazývají odporové teploměry, resp. termistory,
 - b) vznik termoelektrického napětí v obvodě tvořeném dvěma různými kovovými vodiči, jejichž konce jsou spojené a vystavují se dvěma různým teplotám (Seebeckův jev). Takovéto snímače teploty se nazývají termočlánky,
3. snímače celkové energie záření. Tuhé a kapalně látky vysílají při každé teplotě $T > 0\text{K}$ tepelné záření. Na určení teploty se využívají tepelná závislost záření, kterou měří tepelné detektory,
4. využití spektrální zářivosti měřeného objektu. S růstem teploty měřeného objektu roste i jeho spektrální zářivost [4].

1.1 Definice teploty a její jednotky

Teplota je termodynamická stavová veličina. Definuje se na základě účinnosti vratného Carnotova cyklu. Účinnost vratného Carnotova cyklu, se dá definovat jako nejvyšší teoreticky dosažitelná účinnost oběhu, v němž se přivádí teplo pracovní látce při teplotě T_1 a odvádí při teplotě T_2 . Pro účinnost poté platí vztah [4]:

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (1)$$

kde je η – účinnost Carnotova cyklu,

Q_2 – je teplo odebrané teploměrnou látkou z oběhu s teplotou T_2 ,

Q_1 – je teplo odevzdané teploměrnou látkou do oběhu s teplotou T_1 ,

přičemž platí $T_2 > T_1$.

V případě ideálního Carnotova cyklu ($\eta = 1$) potom ze vztahu (1) plyne

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (2)$$

Teplotní stupnice se takovýmto způsobem může definovat pomocí termodynamických zákonů nezávisle na vlastnostech teploměrné látky. Lord Kelvin definoval termodynamickou stupnici na základě trojného bodu vody, to znamená na základě rovnovážného stavu tří skupenství vody (ledu, vody a nasycené vodní páry). Teplota trojného bodu vody má na termodynamické stupnici hodnotu $T = 273,16$ K. Základní jednotkou termodynamické teploty je Kelvin (K) definovaný jako 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu vody [4].

Ideální tepelný stroj pracující na základě Carnotova cyklu nelze sestavit. Jako teploměrná látka se však dá použít dokonalý plyn. V souladu s Carnotovými cykly platí pro tento plyn termodynamická rovnice

$$p \cdot V = R_m \cdot T \quad (3)$$

kde je R_m – molární plynová konstanta,

V – objem plynu,

p – tlak plynu,

T – teplota plynu.

V případě konstantního objemu V plyne ze vztahu (3) vztah pro tzv. plynovou termometrii

$$p = T \cdot \frac{p_0}{T_0} \quad (4)$$

přičemž $p_0 = 101325$ Pa,

$T_0 = 273,15$ K.

Celsiova teplota (značka t) se definuje jako rozdíl termodynamické teploty T a teploty $T_0 = 273,15$ K

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (5)$$

Podle definice má stupeň Celsia stejnou velikost jako Kelvin ($1 \text{ K} = 1^{\circ}\text{C}$). Hodnoty teplot se mohou vyjádřit v Kelvinech nebo stupních Celsia. Platí:

$$\Delta t = \Delta T \quad (6)$$

V některých zemích se můžeme setkat ještě s Fahrenheitovou stupnicí ($^{\circ}\text{F}$), ve které připadá na teplotu ledu 32°F a varu vody teplota 212°F . Tato stupnice se dělí mezi uvedenými body na 180°F . Převod Fahrenheitovy stupnice na Celsiovu stupnici a naopak se realizuje převodovými vztahy

$$v = \left(\frac{9}{5}\right) \cdot t + 32 \quad (7)$$

$$t = \left(\frac{5}{9}\right)(v - 32) \quad (8)$$

Kde je v – Fahrenheitova teplota,

t – Celsiova teplota [4].

Roku 1989 byla přijata Mezinárodní stupnice ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990). ITS-90 definuje Mezinárodní Jelicinovu teplotu, značka T_{90} a Mezinárodní Celsiovu teplotu t_{90} . Vztah mezi T_{90} a t_{90} je stejný jako mezi T a t , to znamená

$$t_{90}(^{\circ}\text{C}) = T_{90}(\text{K}) - 273,15 \quad (9)$$

Termodynamická teplota T i teplota T_{90} mají stejnou jednotku 1K. Podobně se i v případě Celsiovy teploty t a teploty t_{90} používá stejná teplota 1°C [4].

ITS-90 pokrývá teplotní rozsah od 0,65 K až po nejvyšší teplotu, která se dá prakticky měřit pomocí Planckova vyzařovacího zákona v případě monochromatického vyzařování. Rozděluje se na několik rozsahů a pod rozsahů, ze kterých se některé překrývají. V oblasti těchto překrytí potom existuje několik definic teploty T_{90} , které však mají rovnocenní pravidla. V případě velmi přesných měření se dají zjistit odchylky v číselných hodnotách, získaných při stejné teplotě pomocí různých definičních vztahů. Tyto odchylky se však prakticky ve všech případech dají zanedbat [4].

Mezinárodní stupnice ITS-90 uvažuje čtyři hlavní rozsahy:

1. v rozsahu 0,65 K až 5,0 K se teplota T_{90} definuje pomocí tlaku pár ^3He a ^4He ,
2. v rozsahu 3,0 K až 24,5561 K (trojný bod Neonu) se teplota T_{90} definuje pomocí heliového plynového teploměru,
3. v rozsahu 13,8033 K (trojný bod rovnovážného stavu vodíku) až 961,78 °C (bod tuhnutí stříbra) se teplota T_{90} definuje pomocí platinového odporového teploměru,
4. nad teplotu 961,78 °C (bod tuhnutí stříbra) se teplota T_{90} definuje pomocí definičních pevných bodů a Planckova vyzařovacího zákona [4].

1.2 Zařízení pro měření teploty

Zařízení na měření teploty se nazývá teploměr. Využívají různé měřící principy a existují v množství konstrukčních provedení. Všeobecně se podle umístění snímací části v měřeném prostředí dělí do dvou skupin na dotykové a bezdotykové. Dotykové teploměry mají snímací část umístěnu přímo v měřeném prostředí, resp. dotýkají se měřeného objektu. Bezdotykové teploměry měří teplotu na dálku, teda mají snímací část umístěnu mimo měřené prostředí, resp. se nedotýkají měřeného objektu. Oba způsoby využívají různé fyzikální měřící principy. Mezi základní prostředky pro měření teploty patří odporové snímače, mezi které se řadí kovové senzory, termistory a nebo polovodičové senzory, a termočláňkové snímače [4].

2 ÚVOD DO POLOVODIČŮ

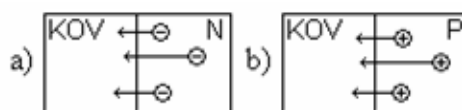
Polovodiče jsou prvky a látky, které z pohledu elektrické vodivosti stojí mezi kovy, které mají měrný odpor 10^{-6} až 10^{-4} $\Omega\cdot\text{cm}$ při 20°C a izolanty, které mají měrný odpor $>10^{10}$ $\Omega\cdot\text{cm}$ při 20°C . Měrný odpor polovodičů je mezi 10^{-3} až 10^{10} $\Omega\cdot\text{cm}$ při 20°C . Tento měrný odpor je závislý na vnějších podmínkách, jako např. na působení elektromagnetického záření, radioaktivní záření, tlaku, teploty nebo na koncentraci různých látek z okolí. Změna elektrické vodivosti je vysvětlována vznikem volných elektronů. Tyto vlastnosti jsou využity u senzorů s polykrystalickými polovodiči, s monokrystalickými polovodiči bez přechodu PN a s přechody PN [1].

2.1 Polovodiče bez přechodu PN

Polovodiče bez přechodu PN se dají charakterizovat jako spojení kov-polovodič, který může mít usměrňovací účinek podobně jako přechod PN nebo může mít charakter pouze odporový.

Usměrňující spojení se nazývá Schottkyho kontakt. K vytvoření dobrého usměrňujícího kontaktu je nutné, aby koncentrace příměsí v polovodiči byla malá a jeho povrch co nejméně mechanicky poškozen. Kontakt vzniká např. přitlačením rtuťové kapky nebo vakuovým napařením hliníku, molybdenu, titanu, platiny nebo paladia na povrch křemíkové destičky nebo na povrch arzenidu galia následným tepelným zpracováním [7].

Smysl potenciálové přehrady je možné určit pomocí Schottkyho pravidla, které říká, že volné nosiče náboje v polovodiči se snadněji pohybují z polovodiče do kovu než obráceně. Polovodiče typu N tedy při styku s kovem ztrácí elektrony a získává kladný potenciál (Obr. 2a), kdežto polovodič typu P ztrácí díry, a tím získává záporný potenciál (Obr. 2b) [7].



Obr. 2. Schottkyho pravidlo[7].

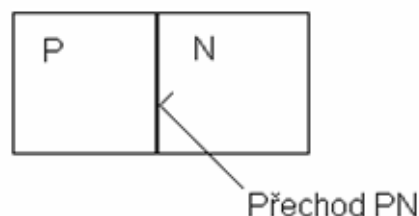
Je zřejmé, že Schottkyho kontakt bude polarizován v přímém směru zrušením potenciálové přehrady, tj. připojením záporného napětí na polovodič typu N nebo kladného napětí na polovodič typu P.

Nejcennější vlastností Schottkyho kontaktu je neobyčejně vysoká rychlost, se kterou kov odsává z místa přechodu volné nosiče náboje. Proto jsou součástky, které tohoto kontaktu využívají, vhodné jako rychlé spínací součástky. Malý odpor Schottkyho kontaktu předurčuje tyto součástky i pro použití při velmi vysokých frekvencích (desítek až stovek giga hertz) [7].

Neusměrňující spojení se používá k vytvoření kontaktních plošek pro připojení vývodů z polovodičových součástek nebo v případech, kdy je nutné polovodičový krystal připájet na kovovou podložku, která zlepšuje odvádění tepla z polovodičového materiálu. Vzniká tehdy, když koncentrace příměsí v polovodiči je tak vysoká, že jde o tzv. degenerovaný polovodičový materiál. (Označuje se N^+ nebo P^+ .) Potenciálová přehrada je v tomto případě tak malá, že ji nosiče náboje překonávají bez velkých překážek, kontakt neusměrňuje a chová se jako odpor.[7]

2.2 Polovodiče s přechodem PN

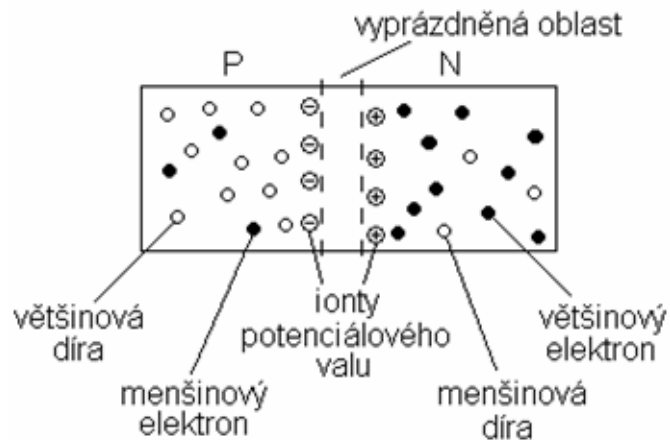
Mějme destičku z monokrystalu polovodiče, jejíž jedna část má nevlastní vodivost typu P a druhá část typu N. Místo, kde se mění vodivost P na N se nazývá *přechod PN* (Obr. 3) [7].



Obr. 3. Přechod PN [7].

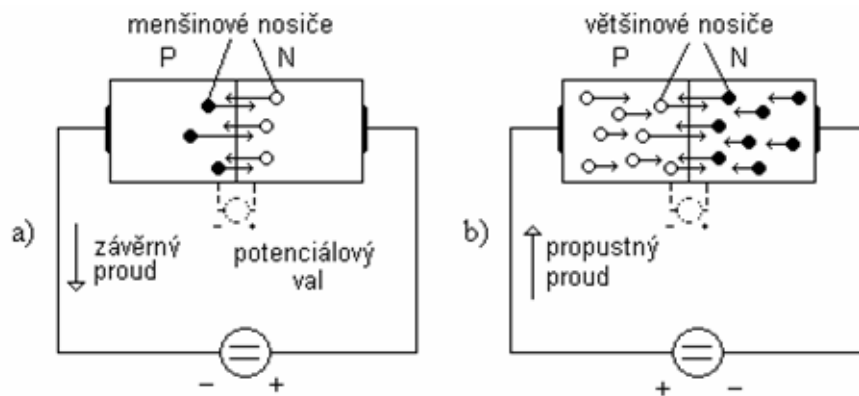
Ihned po vytvoření přechodu působí mezi oblastmi P, kde je přebytek děr a oblasti N, kde je přebytek elektronů přitažlivá elektrostatická síla. V nejbližším okolí přechodu přecházejí díry z oblasti P do oblasti N a elektrony naopak. Současně vzniká v oblasti N nepohyblivý prostorový náboj kladných iontů, zbylých tam po elektronech, které přešly přechodem, a v oblasti P nepohyblivý náboj záporných iontů, zbylých po děrách (Obr. 4). Elektrické pole mezi oběma prostorovými náboji narůstá, až nastane rovnováha mezi přitažlivou silou opačných nábojů v oblastech P a N a elektrostatickou silou prostorového náboje a žádné další většinové nosiče k přechodu nepronikají. V těsném okolí hraniční

plochy mezi oblastmi P a N tak vznikla *vyprázdněná oblast* (bez většinových nosičů). Vzniklé elektrostatické pole nepohyblivých iontů se nazývá *potenciálový val* [6].



Obr. 4. Vznik vyprázdněné oblasti a potenciálového valu [6].

Přechod PN v závěrném směru je realizován tak, že se mezi vývody oblastí P a N zapojí vnější zdroj tak, že jeho záporný pól je připojen k oblasti P a kladný pól k oblasti N, proto se přes přechod mohou dostat pouze menšinové elektrony z oblasti P a menšinové díry z oblasti N. Protože menšinových nosičů je v obou oblastech málo, bude přechodem procházet jen poměrně malý proud. Vnější napětí uzavírá cestu přes přechod většinových nosičů, a mluvíme proto o *závěrném směru* nebo o *závěrné polarizaci* přechodu PN [6].



Obr. 5. Chování přechodu PN; a) v závěrném směru, b) v propustném směru [6].

Přechod PN v propustném směru je realizován připojením vnějšího zdroje tak, že jeho kladný pól je připojen k oblasti P a záporný pól k oblasti N, potom přiložené napětí oslabí vliv potenciálového valu a při určité velikosti vnějšího napětí vliv potenciálního valu pře-

koná. Přechod začne propouštět většinové nosiče, a mluvíme proto o propustném směru nebo o propustné polarizaci přechodu PN. Protože většinových nosičů je v obou oblastech mnoho, proud, který nyní prochází přechodem, může být podstatně větší než proud v závěrném směru [6].

3 POLOVODIČOVÉ SENZORY TEPLoty S PN PŘECHODEM

Polovodičové monokrystalické senzory jsou založeny na teplotní závislosti změn vodivosti PN přechodu. Polovodičové materiály Si a Ge mají při nízké teplotě velmi malou vodivost. Je to dáno tím, že všechny volné elektrony jsou vázány jako valenční elektrony v krystalové mřížce. Se zvyšováním teploty se zvyšuje jejich energie a překonávají bariéru valenční oblasti a přechází do vodivé oblasti. Jako senzory teploty jsou používány diody, tranzistory a integrované obvody [1].

3.1 Diodové PN senzory

Diody jsou elektronické součástky se dvěma elektrodami, které (ve většině případů) pro jednu polaritu přiloženého napětí propouští elektrický proud a pro opačnou polaritu brání jeho průtoku. K dosažení tohoto ventilového účinku se v pevných látkách využívá energetická bariéra na styku dvou oblastí odlišných vlastností, kterou lze přiloženým napětím vhodné polarity snížit a napětím opačné polarity naopak zvýšit. Nejvíce využívanou bariérou je v současnosti PN přechod a přechod kov-polovodič. Tyto přechody mají vedle ventilového účinku využívaného v usměrňovačích ještě další vlastnosti, které se využívají pro nejrůznější elektronické funkce [8].

Dioda je vyrobena z monokrystalu Si nebo Ge. Voltampérová charakteristika diody má při změnách teploty posunutý průběh (Obr. 6). Schéma teplotní diody je na obrázku (Obr. 7). Větší teplota hmoty diody zmenšuje napětí ΔU_D na přechodu v propustné oblasti a zvětšuje zbytkový proud ΔI_0 v závěrné oblasti [1].

Pro napětí na diodě platí:

$$U_D = m \cdot U_T \cdot \ln\left(\frac{I_D}{I_0} + 1\right) \quad (10)$$

Pro závislost difúzního proudu na teplotě platí:

$$I_D = I_0 \cdot e^{\left(\frac{U_D - 1}{U_T}\right)} \quad (11)$$

Pro teplotní napětí na diodě se uvádí vztah:

$$U_T = k \cdot \frac{T}{e} \tag{12}$$

kde je k – Boltzmannova konstanta ($1,38 \cdot 10^{-23}$ (J/K)),

T – absolutní teplota,

e – elementární náboj ($1,602 \cdot 10^{-19}$ (C)).

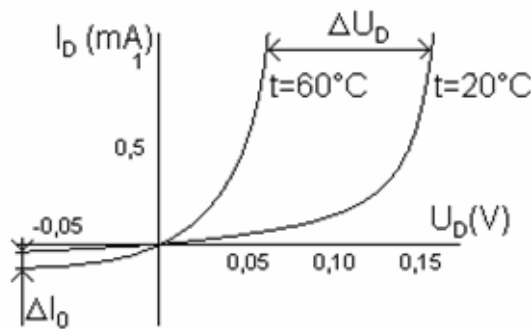
Závislost teplotních změn zbytkového proudu je dána vztahem:

$$I_{0,T} = I_{0,T_0} \cdot e^{(\lambda \cdot (T - T_0))} \tag{13}$$

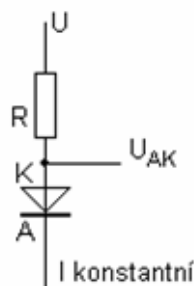
kde je I_{0,T_0} – proud závěrný pro teplotu T_0 ,

λ – teplotní součinitel (pro Ge je 0,09 (1/°C), pro Si je 0,14 (1/°C)),

T, T_0 – absolutní teplota nová a stávající.



Obr. 6. Voltampérová charakteristika diody při změně teploty okolí [1].



Obr. 7. Zapojení polovodičové diody s přechodem PN [1].

3.2 Tranzistorové PN senzory

Tranzistory jsou elektronické součástky (nejčastěji) se třemi elektrodami, které jsou v závislosti na jejich konkrétním zapojení schopny zesilovat buď napětí, nebo proud, nebo obojí současně. Proto je tranzistor považován za aktivní součástku na rozdíl od diody, která nemá zesilovací schopnosti, a je proto pasivní součástkou [8].

Bipolární tranzistor se skládá alespoň ze tří různě dotovaných oblastí tvořících dva přechody PN v těsném uspořádání. Skládá se tedy ze dvou PN přechodů a to báze-emitor B-E a báze-kolektor B-C [8].

U bipolárních tranzistorů využívají teplotní závislost PN přechodu báze-emitor v propustném směru. Schéma je na obrázku (Obr. 8). Zbytkové proudy $I_{BE0,T}$ a $I_{CE0,T}$ se v závislosti na teplotě zvětšují exponenciálně obdobně jako u diod podle vztahu pro $I_{0,T0}$. Změna teploty způsobuje posunutí vstupní charakteristiky k menšímu napětí U_{BE} podle vztahu [1]:

$$\Delta U_{BE} = \pm d(T - T_0) \quad (14)$$

kde je d – teplotní průnik, + pro PNP, - pro NPN, asi 2 mV/°C pro Ge i Si,

T, T_0 – absolutní teplota nová a stávající.

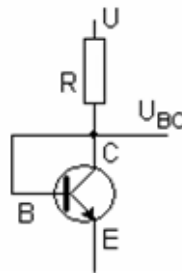
Pro změny kolektorového proudu podle teploty platí:

$$\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B + \Delta I_{CE0} \quad (15)$$

kde je β – proudové zesílení,

ΔI_B – změna proudu báze daná změnou napětí na odporu v bázi ($\Delta U_{BE} / R_B$),

ΔI_{CE0} – změna proudu kolektor-emitor podle vztahu pro diodu.



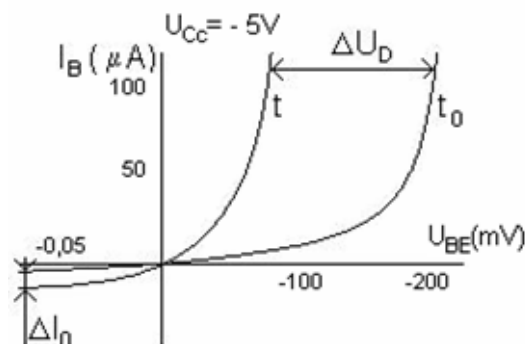
Obr. 8. Zapojení tranzistorové diody s přechodem PN[1].

Změny charakteristik tranzistoru podle změn teploty pro U_{BE} i U_{CE} jsou na obrázku (Obr. 9. resp. Obr. 10).

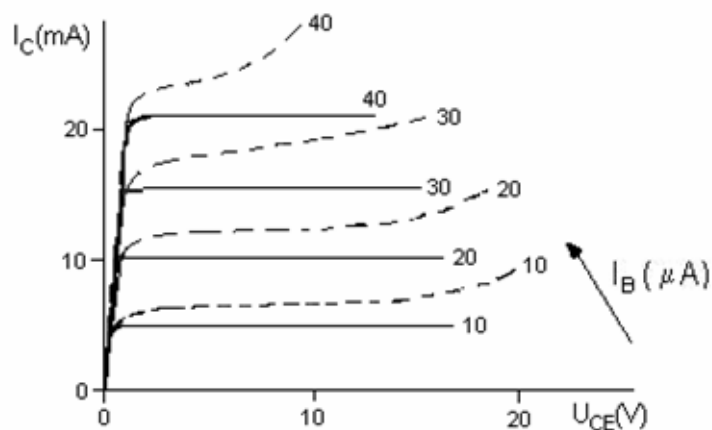
Teplotní závislosti charakteristik tranzistorů JFET je způsobena dvěma jevy:

- při zvyšování teploty se zmenšuje vodivost v důsledku pohyblivosti nosičů náboje v kanále
- při vyšší teplotě ubývá difúzní napětí U_D na přechodech PN a současně se zvyšuje kolektorový proud.

Oba jevy působí proti sobě a proto se vlivy změny teploty prakticky nulují [1].



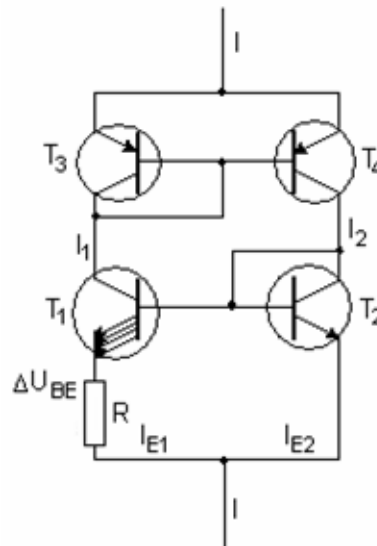
Obr. 9. Vliv teploty na napětí báze-emitor tranzistoru [1].



Obr. 10. Výstupní charakteristiky tranzistoru při teplotě 25°C plně, 35°C čárkovaně [7].

3.3 Integrované PN senzory

Integrované PN senzory teploty vytváří senzor a další polovodičové prvky zapouzdřené v integrovaném obvodu [1]. Princip vyráběných integrovaných senzorů, u nichž senzor a elektronický obvod tvoří jediný monolitický prvek, vychází ze zapojení na obrázku (Obr. 11) [3].



Obr. 11. Zapojení polovodičového integrovaného PN senzoru [1].

Teplotně citlivé PN přechody tranzistorů jsou BE přechody tranzistorů T_1 a T_2 . Tyto tranzistory jsou napájeny dvěma shodnými proudy I_1 a I_2 z tzv. proudového zrcadla tvořeného tranzistory T_3 a T_4 . Proudové zrcadlo T_1 a T_2 má rozdílnou hustotu proudu emitorových přechodů. Tranzistor T_1 je složen z r ($r \leq 10$) paralelně spojených tranzistorů [3]. Výsledná změna je [1]:

$$\Delta U_{BE} = \frac{kT}{e} \cdot \ln r \quad (16)$$

kde je k – konstanta,

T – absolutní teplota,

r – počet emitorů.

Výsledný proud je pak dán vztahem:

$$I = mI_{E1} + I_{E2} = (m + 1) \frac{kT}{e} \cdot \ln r \cdot \frac{1}{R} \quad (17)$$

kde je m – poměr ploch tranzistorů T_3 a T_4 ,

R – odpor obvodu.

Integrovaný PN senzor teploty je zabudovaný např. v obvodech AD590, LM334 a TMP100,101.

Zapojení pro vyhodnocení PN senzorů má specifické podmínky. Nelze používat běžných zapojení pro aktivní nebo pasivní senzory. Vyhodnocení se provádí nejčastěji:

- jako aktivní můstek s operačním zesilovačem pro PN diody a tranzistory v jeho zpětné vazbě,
- zesilovačem na výstupu integrovaného senzoru teploty,
- pulsním výstupem zapojení s oscilačním obvodem [1].

4 NEJISTOTY MĚŘENÍ

4.1 Chyby měření

V praxi nejsou žádná měření, žádná měřicí metoda ani žádný přístroj absolutně přesné. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím procesu vyskytují se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou sledované veličiny. Chyby se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách. Podle jejich působení lze chyby rozdělit na systematické, náhodné a hrubé. Jako absolutní chyba Δ_x se označuje rozdíl mezi hodnotou naměřenou x_m a skutečnou x_s . Podělí-li se absolutní chyba skutečnou hodnotou, dostane se poměrné vyjádření chyby, tj. chyba relativní δ_x . Platí tedy [5]:

$$\Delta_x = x_m - x_s \quad (18)$$

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s} \quad (19)$$

Systematické chyby jsou při stálých podmínkách také stálé co do velikosti i znaménka a svým působením „systematicky“ ovlivňují výsledek měření. Ke stanovení jejich velikosti postačí zpravidla vztah (18). Systematické chyby jsou sympatické tím, že je lze z velké části určit a jejich vliv je možné zmenšit např. pomocí korekcí, kompenzací apod.

Náhodné chyby působí zcela nahodile, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Při opakovaném měření se mění jejich velikost i znaménko. Pro určení jejich velikostí se vychází z opakovaných měření s použitím statistických metod. Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru s , méně často směrodatná odchylka aritmetického průměru $s_{\bar{x}}$, získaného ze vztahů [5]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{xi}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (20)$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (21)$$

Hrubé chyby jsou z předchozího pohledu zcela nevyzpytatelné. Měření zatížená hrubou chybou znehodnotí celý experiment, a proto naměřené hodnoty, které výrazně „vybo-

čují z řady“, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyby, se vyloučí z dalšího zpracování. Omezit riziko jejich výskytu lze důsledným dodržováním příslušných měřicích postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy [5].

Výsledná chyba měření je vyjadřována jako součet systematické a náhodné složky, což lze zapsat

$$\Delta_x = e + \varepsilon \quad (22)$$

kde je $e = \bar{x} - x_s$ - systematická chyba,

$\varepsilon = s$, popř. $\varepsilon = 2s$ - náhodná chyba [5].

4.2 Nejistoty měření

Nejistota měření (značení: nejistota) je označení pro parametr související s výsledkem měření a charakterizující rozsah hodnot, které je možné racionálně přiřadit k měřené veličině. Nejistoty se skládají z několika dílčích nejistot (složek). Ke stanovení jejich velikostí jsou k dispozici následující dvě metody [5]:

- a) statistické zpracování naměřených údajů (metoda typu A)
- b) jiné než statistické zpracování naměřených údajů (metoda typu B)

ad a) Nejistota typu A (metoda typu A)

Tato metoda vychází ze statické analýzy opakované série měření. Nejistota je způsobena kolísáním naměřených údajů. U opakovaných přímých měření jde o běžné statistické zpracování hodnot měřené veličiny získaných opakovanými přímými měřeními, jichž by mělo být alespoň deset. Předpokládá se při tom, že měření jsou navzájem nezávislá a uskutečněná za stejných podmínek. Základní odhad hodnoty měřené veličiny je představován aritmetickým průměrem \bar{x} . Standardní nejistota typu A tohoto odhadu se značí $u_A(x)$ a je rovna směrodatné odchylce aritmetického průměru $s_{\bar{x}}$ tedy:

$$u_A(x) = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (23)$$

Vztah (23) lze k výpočtu nejistoty použít jen tehdy, byl-li vykonán dostatečný počet měření $n \geq 10$. Při malém počtu měření $n \leq 10$, nebude vztah (23) dostatečně spolehlivý [5].

ad b) Nejistota typu B (metoda typu B)

Vyhodnocení standardních nejistot vstupní veličiny typu B je založeno na jiných než statistických přístupech k analýze série pozorování. Nejistotou typu B je možné odhadnout i vliv náhodných chyb. Standardní nejistota se odhaduje pomocí racionálního úsudku na základě všech možných a dostupných informací. Nejčastěji se použijí [5]:

- údaje výrobce měřicí techniky
- zkušenosti z předchozích sérií měření
- zkušenosti s vlastnostmi chování materiálů a techniky a poznatky o nich
- údaje získané při kalibraci a z certifikátů
- nejistoty referenčních údajů v příručkách

Při určování nejistoty metodou typu B se vychází z dílčích nejistot jednotlivých zdrojů u_{Bzj} . Je-li známa maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty z_{jmax} , určí se nejistota u_{Bzj} podle vztahu:

$$u_{Bzj} = \frac{z_{jmax}}{k} \quad (24)$$

kde k je součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistoty řídí. V některých případech však může být známa již přímo hodnota standardní nejistoty u_{Bzj} [5].

Výsledná nejistota se určí metodou typu B pro p zdrojů podle vztahu:

$$u_{By} = \sqrt{\sum_{j=1}^p A_j^2 u_{Bzj}^2} \quad (25)$$

kde u_{Bzj} jsou nejistoty jednotlivých zdrojů a A_j jejich součinitele citlivosti.

V praxi se jen zřídka vystačí s jedním nebo druhým typem nejistoty samostatně. Pak je zapotřebí stanovit výsledný efekt kombinovaných nejistot měření obou typů, tedy A i B. Výsledná kombinovaná nejistota veličiny y se označuje u_{Cy} a určuje se jako odmocnina ze součtu čtverců obou typů nejistot A a B podle vztahu [5]:

$$u_{Cy} = \sqrt{u_{Ay}^2 + u_{By}^2} \quad (26)$$

Jako zdroje nejistot lze označit veškeré jevy, které nějakým způsobem mohou ovlivnit neurčitost jednoznačného stanovení výsledku měření a tím vzdalují naměřenou hodnotu od hodnoty skutečné. Na nejistoty působí výběr měřících přístrojů analogových nebo číslicových, použití různých filtrů, vzorkovačů a dalších prostředků v celé trase přenosu a úpravy měřícího signálu. K nejistotám velmi výrazně přispívají rušivé vlivy prostředí v tom nejširším slova smyslu. Některé ze zdrojů se projevují výhradně či výrazněji v nejistotách vyhodnocovaných metodou typu A, jiné při použití metody typu B. Mnohé zdroje mohou být příčinou obou skupin nejistot, a zde právě číhá největší nebezpečí v podobě opomenutí jedné ze složek, což může mít i velmi výrazný zkreslující účinek [5].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se budu zabývat analýzou polovodičových integrovaných obvodů pro měření teploty od tří světových výrobců:

- Analog Devices
- National Semiconductor
- Texas Instrument

u jednotlivých výrobců budou zvoleny vhodné senzory, které budou analyzovány.

Z těchto senzorů bude následně vybrán jeden, se kterým proběhne konečné měření na prototypu. S vybraným senzorem se provedou kontrolní měření pro ověření funkce a ze získaných dat se budou analyzovat poznatky pro měření na prototypu.

Závěrem se provede konstrukce prototypu, na který jsou kladeny následující podmínky:

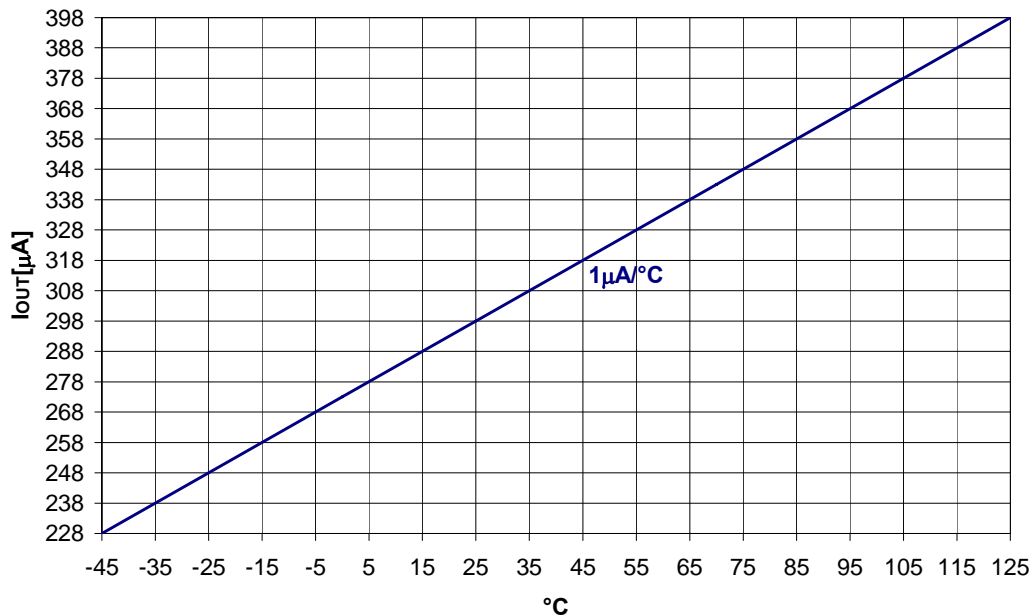
- Senzory musí být umístěny ve výškách 10, 110 a 170cm od podlahy
- Senzory by měly být upevněny tak, aby se dali v případě potřeby vyměnit
- Celá sestava prototypu by měla být mobilní
- Kabeláž jednotlivých senzorů by měla být přehledná pro pozdější manipulaci

Na prototypu se provede závěrečné měření, které ověří jeho funkčnost v laboratorních podmínkách.

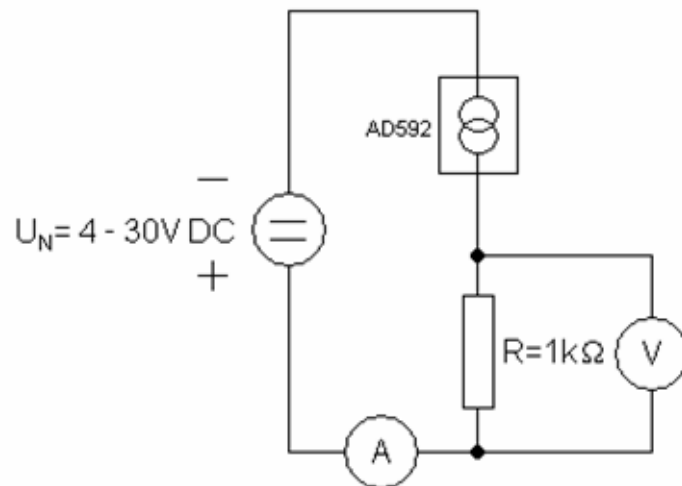
5 PŘEHLED NABÍDKY NĚKTERÝCH INTEGROVANÝCH POLOVODIČOVÝCH OBVODŮ TEPLoty

5.1 Senzor AD592 firmy Analog Devices

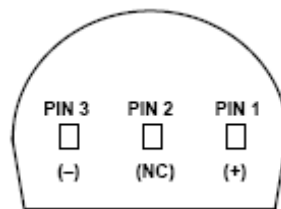
Od firmy Analog Devices jsem zvolil teplotní senzor AD592, který vychází z rodiny senzorů AD590, jedná se však o levnější variantu s plastovým pouzdem. Jedná se o třípólový (Obr. 14) monolitický integrovaný obvod. Napájecí napětí je +4 až +30V. Teplotní rozsah senzoru je -25°C až $+105^{\circ}\text{C}$. Teplota na vstupu je přímo úměrná proudu na výstupu (Obr 12). Má minimální chybu způsobenou vlastním ohřevem a vysokou hladinu výstupu $1\mu\text{A}/\text{K}$. Schéma zapojení je na obrázku (Obr. 13). Snímač vydrží krátkodobé přepólování až do 20V aniž by došlo k trvalému poškození. AD592 je uloženo v plastovém obalu TO-92 dimenzovaného pro teploty od -45°C do $+125^{\circ}\text{C}$ [10].



Obr. 12. Převodní charakteristika teplotního senzoru AD592.



Obr. 13. Základní zapojení s proudovým a napěťovým výstupem.



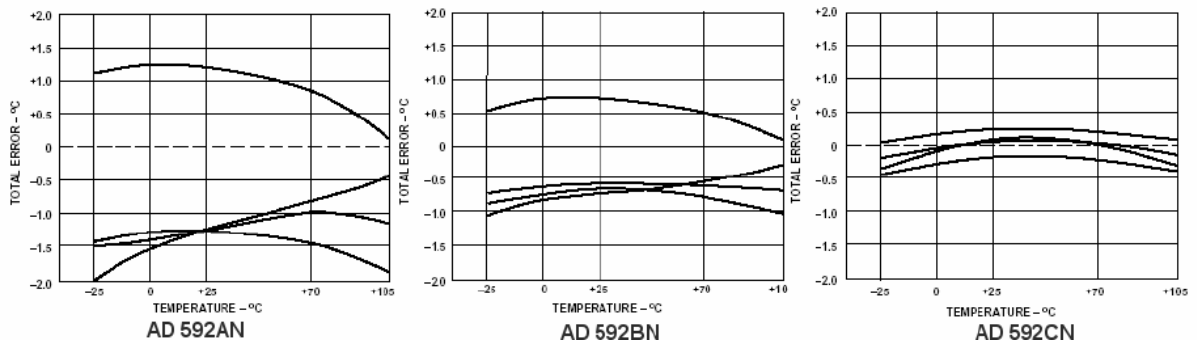
Obr. 14. AD592 ze spo-
du s označením pinů.

AD592 se vyrábí ve třech modifikacích (Tab. I), které se od sebe liší přesností měření a tím také cenou.

Tab. I. Parametry čidla AD592.

Typ	Maximální kalibrační chyba při +25°C [°C]	Maximální nelinearita při +25°C [°C]	Maximální chyba v rozsahu pracovních teplot [°C]	Maximální nelinearita v rozsahu pracovních teplot [°C]	Napájecí napětí [V]	Rozsah pracovních teplot [°C]
AD592AN	2,5	0,35	3,5	0,5	+4 až +30	-25 až +105
AD592BN	1	0,25	2	0,4		
AD592CN	0,5	0,15	1	0,35		

AD592 se používají např. jako teplotní senzory, pro automatická měření a řízení teploty, pro systémy monitorující topení, klimatizace a ventilace, pro průmyslové řízení teploty, kompenzace studeného spoje termočlánu. Obzvláště vhodné jsou v zařízeních snímajících dálkově. AD592 je totiž odolný proti náhlému poklesu napětí a napěťovému úbytku na dlouhém vedení a to díky jeho vysoko impedančnímu napěťovému výstupu [14].



Obr. 15. Závislosti přesností v pracovním rozsahu teplot u jednotlivých typů senzorů.

V tomto teplotním rozsahu jsou obvykle používána teplotní čidla jako např. termistor, RTD, termočlánek, dioda, které jsou při stejných parametrech nesrovnatelně dražší především proto, že je nutné použít pro jejich funkci dalších nákladných prvků jako jsou např. lineární obvody, přesné napěťové odkazy, můstky, odporové měřicí obvody, kompenzátory studených konců, atd. To však není potřeba při použití AD592, a právě to z něj dělá cenově velice efektivní teplotní snímač.

Pro AD592 jsou dány tři základní chybové limity, které umožňují vybrat správný stupeň pro jakoukoliv aplikaci při jakékoliv úrovni přesnosti. Je to nastavitelná přesnost při 25°C, teplotní chyba od 0°C do 70°C a teplotní chyba od -25°C do 105°C. Tyto tři charakteristiky mají vztah k aktuální chybě, kterou uživatel zjistí, pokud proudový výstup AD592 byl přeměněn na napětí přesným odporem. Všimněme si, že maximální chyba při pokojové teplotě, přes komerční IC rozsah teplot nebo rozšířené teplotní pásmo zahrnující bod varu vody, může být vyčtena přímo z tabulky charakteristik. Všechny tři chybové limity jsou kombinací počáteční chyby, změn převodního faktoru a nelineární odchylky od ideálního výstupu 1 $\mu\text{A/K}$ [14].

5.2 Senzor LM334 firmy National Semiconductor

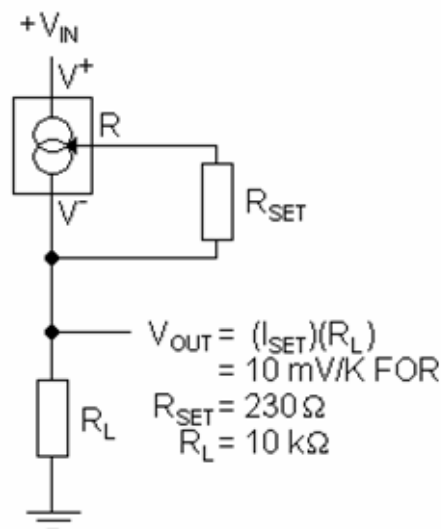
Od firmy National Semiconductor jsem si našel senzory LM134, LM234 a LM334 jsou to třípólové teplotně závislé senzory s rozsahem napájecího napětí +1 až +40 V. Jed-

notlivé typy se mezi sebou liší rozsahem měřené teploty pro LM134 je udáváný rozsah -55°C až $+125^{\circ}\text{C}$, pro LM234 -25°C až $+100^{\circ}\text{C}$ a LM334 0°C až 70°C . Senzor může být vystaven působení opačného napětí až do 20 V na napájecích pinech a odporový pin na snímači napětí až do 5V, aniž by byl nenávratně poškozen [11].

Napětí udávané při $+25^{\circ}\text{C}$ je 64mV a je přímo úměrné absolutní teplotě v Kelvinech. Nejjednodušší zapojení s jedním odporem generuje proud se závislou odchylkou $\pm 0,33\%$ na 1°C . Teplotní čidla mají garantovanou počáteční přesnost $\pm 3\%$. Pro jednodušší odečítání teploty je zapotřebí připojit na odporový pin přesný odpor, který se musí určit pomocí složitých vztahů. Výrobce však hodnoty odporů pro měření teploty udává a to ve velikostech $R_{\text{SET}} = 230\Omega$, abychom dostaly proudovou závislost $1\mu\text{A/K}$ a $R_L = 10\text{k}\Omega$ pro převod na napěťovou závislost 10mV/K . Odpor se poté zapojí podle schéma zapojení pro měření teploty pomocí napětí V_{OUT} (Obr. 16) [11].

Výrobce udává ideální použití svých senzorů ve vzdálených čidlech, neboť předřadný odpor v dlouhém vedení neovlivňuje jejich přesnost. Navíc jsou potřeba pouze dva vodiče.

Senzory jsou dodávány ve třech různých provedeních v hermetickém kovovém pouzdře TO-46 a v plastových TO-92 (LM234 a LM334) a SO-8 (LM334). V prvních dvou případech se jedná o tři vývodové provedení a v třetím o integrovaný obvod s osmi vývody [11].

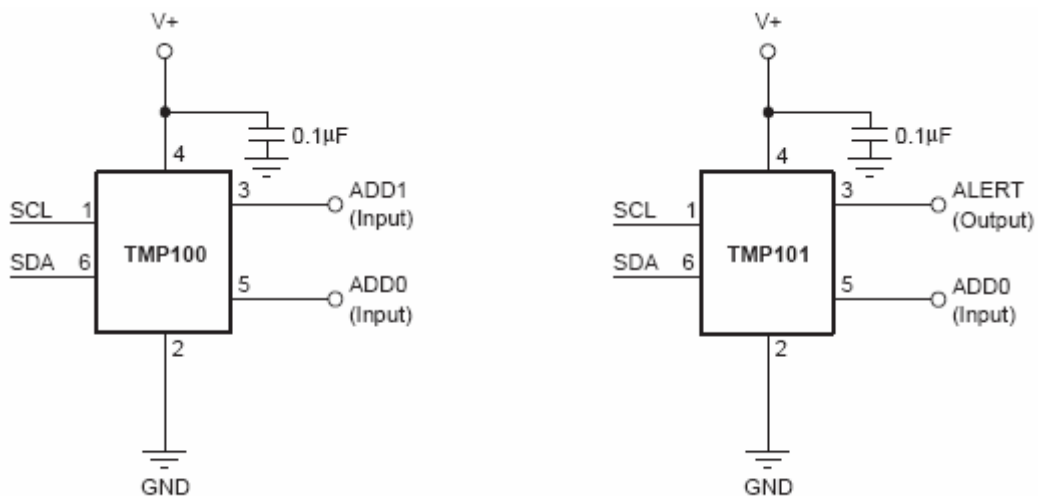


Obr. 16. Zapojení pro měření teploty pomocí napětí.

5.3 Senzor TMP100/TMP101 firmy Texas Instrument

Od firmy Texas Instrument jsem si zvolil senzor TMP100 resp. TMP101. Jedná se o digitální senzor, který je napájen napětím 2,7 až 5,5 V (mezní napětí je 7,5V). Měřicí rozsah teploty je -55°C až $+125^{\circ}\text{C}$ a to s přesností $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (max. $\pm 2^{\circ}\text{C}$) (-25°C až $+85^{\circ}\text{C}$) a $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (max. $\pm 3.0^{\circ}\text{C}$) (zbytek rozsahu) s rozlišením až $\pm 0.0625^{\circ}\text{C}$ (12 bitů). Má velmi nízkou spotřebu, je vybaven A/D převodníkem s nastavitelným bitovým rozlišením a tím i rychlost převodu. Buď tedy potřebujeme velkou rychlost převodu a obětujeme rozlišení nebo naopak. To se volí v 8bitovém řídicím registru senzoru. Výstup ALERT funguje jako teplotní termostat, který lze nastavit v jednom ze čtyř módů. Senzor je umístěn v šesti vývodovém pouzdře SOT23-6 [12, 13].

TMP100 a TMP101 jsou ideální pro vzdálené měření teploty v komunikačních, počítačových a průmyslových zařízeních. Výrobce udává použití senzoru např. k monitorování teploty zdrojů, tepelné ochraně počítačových obvodů, v mobilních telefonech, kancelářských strojích a regulování teploty [12].



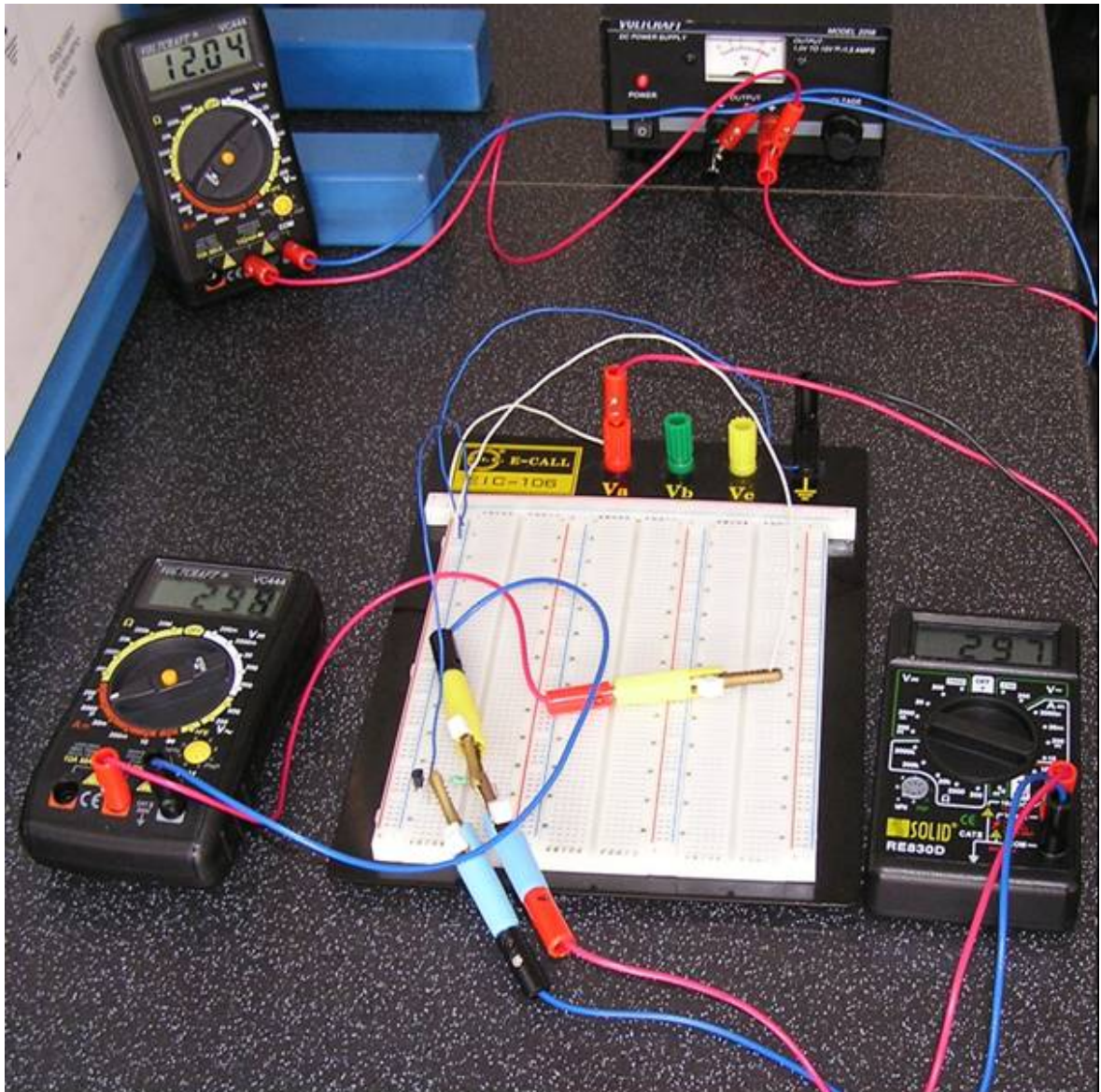
Obr. 17. Zapojení senzoru s označením kontaktů.

6 VÝBĚR VHODNÉHO INTEGROVANÉHO POLOVODIČOVÉHO OBVODU TEPLoty

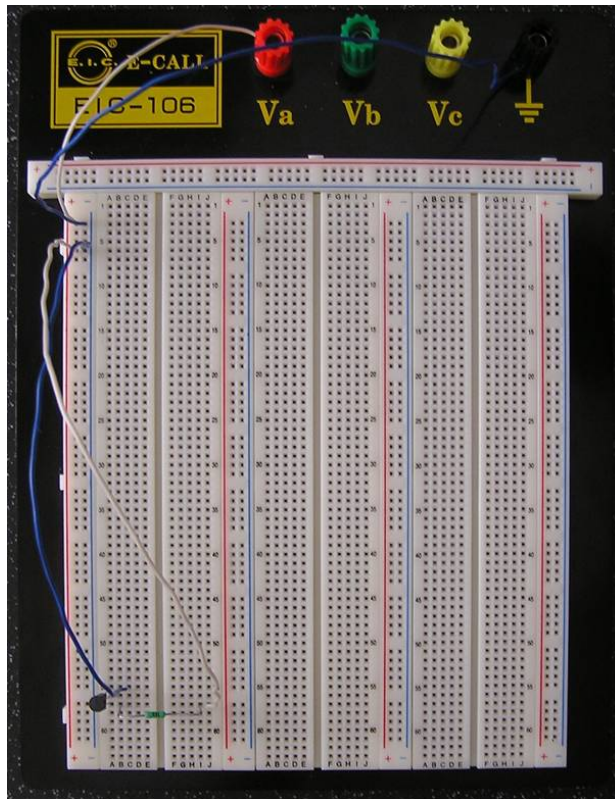
Analyzoval jsem senzory z kapitoly (5) a po pečlivé analýze jsem zvolil senzor od firmy Analog Devices AD592. Pro mé měření byla dostatečná nejlevnější varianta tohoto senzoru a to AD592AN, která plně vyhovovala mému rozsahu měření i svou přesností. Senzor nepotřebuje žádné externí prvky pro přesné odečítání teploty. Teplota je přímo úměrná měřenému proudu, který senzorem protéká po přiložení napájecího napětí a to $1\mu\text{A/K}$. Výrobce udává možnost měření v mV/K přes odpor zapojený do série se senzorem (Obr. 13). Měření napětí je vhodnější pro další zpracování signálu. Stejným způsobem by se teplota měřila i na senzoru od výrobce National Semiconductor LMx34, kde by se však musel použít externí odpor pro nastavení závislosti proudu na teplotě. V tomto případě dochází k dalšímu skreslení měřené veličiny. U AD592 je již tento odpor integrován a závislost je dána přímo výrobcem. Pro senzor firmy Texas Instrument TMP100 nebo TMP101 sem se nerozhodl, protože se jedná o digitální senzor a byly by zapotřebí další prvky pro určení teploty, jako je mikroprocesor, který by provedl zpracování naměřené teploty a poté ji zobrazil na displej.

7 OVĚŘENÍ SCHÉMA ZAPOJENÍ TEPLOTNÍHO SENZORU AD592AN

Při zapojení jsem senzor AD592AN zapojil na desku nepájivého pole EIC-106 spolu s odporem podle schéma zapojení (Obr. 13), které uvádí výrobce ve svém katalogovém listu. Na obrázku (Obr. 18) jsou vidět tři multimetry ve funkci voltmetrů a ampérmetru. Kde jeden z voltmetrů slouží ke kontrole napájecího napětí. Detail senzoru s odporem na desce nepájivého pole je na obrázku (Obr. 19).



Obr. 18. Zapojení sestavy podle schéma zapojení v katalogovém listu.



Obr. 19. Detail zapojení senzoru s odporem na desce nepájivého pole.

Při zkušebním měření jsem chtěl ověřit vliv změny napájecího napětí na výstupní signál, abych mohl určit velikost napájení pro závěrečné měření. Zkoušel jsem tedy měnit velikost napájecího napětí v rozsahu 4-30V DC, který je daným výrobcem, jejímž výsledkem bylo zjištění, že se hodnoty napětí nebo proudu neměnili a zůstaly po celou dobu měření stejné. Díky tomu jsem se rozhodl pro konstantní napájení 24V DC.

Dalším úkolem byl výběr vhodného odporu pro měření výstupu pomocí napětí. Výrobce udává hodnotu odporu od 950Ω do 1050Ω . Zkoušel jsem měnit hodnoty odporů a to z hodnoty $1k\Omega$ na 680Ω a $10k\Omega$. Při hodnotě 680Ω se výstupní napětí snížilo a přepočtená skutečná hodnota by se musel provádět složitým přepočtem poměru hodnot odporů. Při hodnotě odporu $10k\Omega$ se nám hodnota napětí dostala až do řádu Voltů. Rozhodl jsem se tedy pro odpor $1k\Omega$, protože zobrazované napětí bylo přímo úměrné teplotě v Kelvinech.

8 OVĚŘENÍ FUNKCE TEPLOTNÍHO SENZORU AD592AN

Ověření funkce probíhalo v laboratoři podle schéma zapojení (Obr.13) při napájecím napětí $U_N=24V$ DC a odporu $R=1k\Omega$. Ke změně teploty sledovaného okolí sloužila regulovaná topná soustava s číslicovým regulátorem Aposys. Soustava obsahovala vyhřívanou plotničku (topné těleso), snímač teploty PT100, číslicový regulátor a ovládací jednotku napětí. Teplota ze snímače PT100 byla zobrazována na regulátoru.

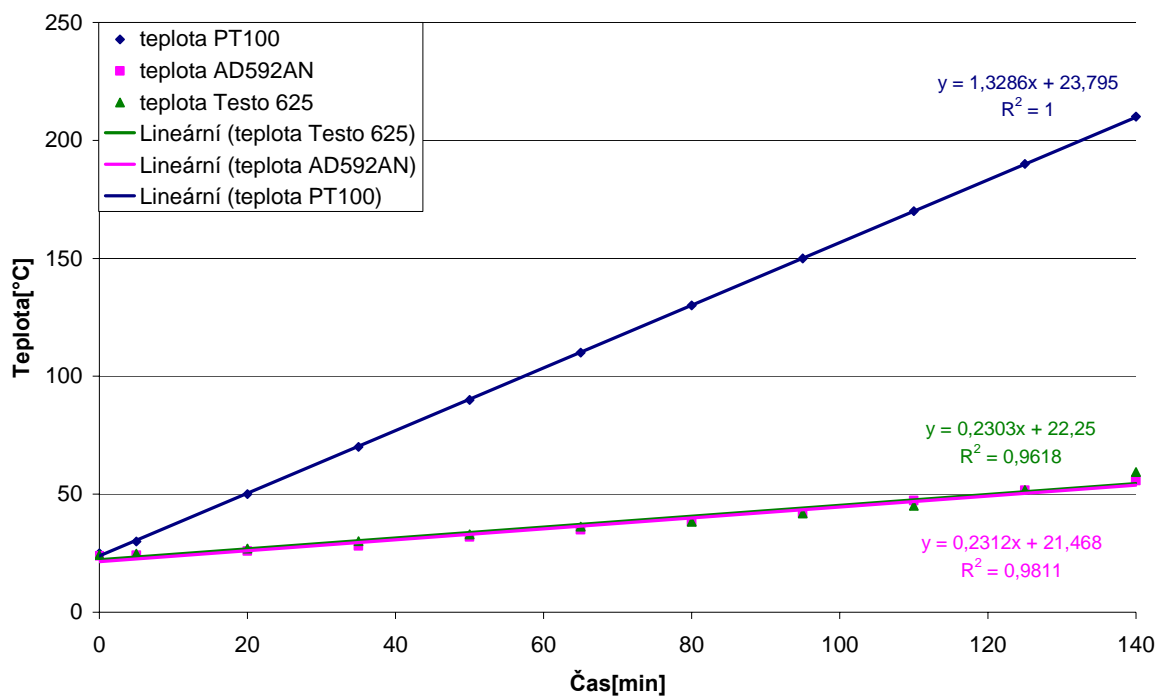
Pro závěrečné měření bylo zapotřebí určit, jak má být senzor umístěn. Proto jsem provedl sérii měření teploty před topnou soustavou a sérii měření dotykem na topné soustavě, abych mohl jednoznačně určit jaký vliv na měření má celý povrch senzoru.

8.1 Měření teploty v prostoru před topným tělesem

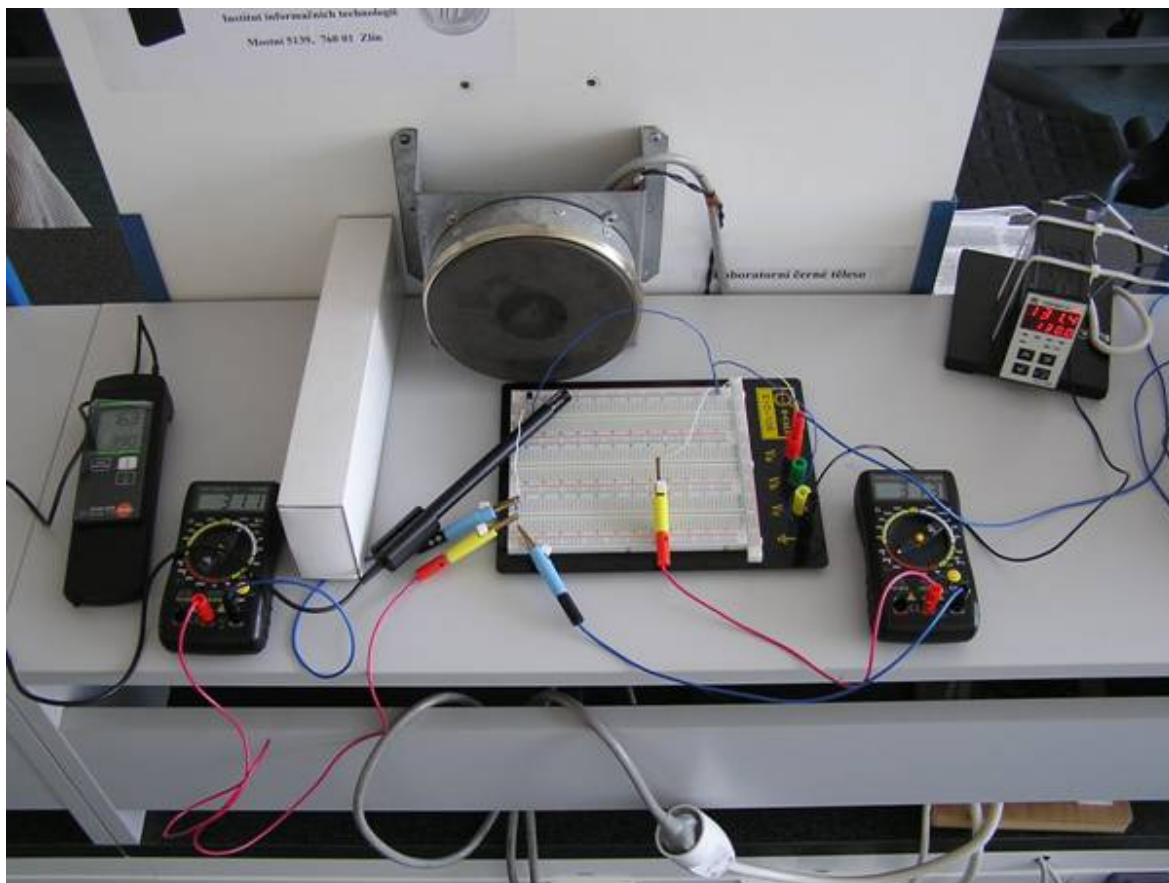
Teplota se měřila v prostoru cca 10cm před vyhřívanou topnou soustavou, jejíž teplota byla regulována pomocí číslicového regulátoru Aposys, teplota topné soustavy byla měřena pomocí zabudovaného snímače teploty PT100. Výsledky z testovacího měření pomocí AD592AN byly porovnávány pomocí termistorového měřícího přístroje teploty Testo 625, pro který je udávaná chyba při $25^{\circ}C \pm 0,4^{\circ}C$. Pro každou teplotu bylo naměřeno 10 hodnot pro přesnější určení. Napájecí napětí senzoru bylo $U_N=24V$ DC a jako voltmetr a ampérmetr byly použity měřící přístroje Voltcraft VC444. Senzor s přesným odporem byl zasazen do desky nepájivého pole typ: EIC-106. Naměřená data jsou uložena v příloze (P I), zde jsem uvedl jen tabulku (Tab. II) průměrných hodnot z každého měření a standardní odchylku k průměrné hodnotě z každého měření. Pro lepší představu jsem tyto data vložil do grafu teplotního průběhu na čase (Obr. 20). Na obrázku (Obr. 21) je vidět sestavení celého zapojení pro měření.

Tab. II. Průměrné hodnoty z naměřených dat měření před topným tělesem.

Čas [min]	Žádaná teplota topné sestavy [°C]	Teplota naměřená z napětí [°C]	Standardní odchylka [°C]	Teplota naměřená přístrojem Testo 625 [°C]	Standardní odchylka [°C]
0	25	23,85	0,00	24,2	0,00
5	30	24,15	0,15	24,8	0,00
20	50	25,85	0,00	26,94	0,03
35	70	28,05	0,13	30,16	0,02
50	90	31,85	0,00	32,97	0,02
65	110	34,85	0,00	36,27	0,03
80	130	38,45	0,16	38,24	0,07
95	150	42,05	0,20	41,81	0,08
110	170	47,25	0,16	45,13	0,14
125	190	51,65	0,25	51,85	0,22
140	210	55,75	0,18	59,38	0,35



Obr. 20. Teplotní průběhy proložené lineární regresí.



Obr. 21. Sestava, na které se měření provádělo.

Z naměřených dat je vidět rozdíl mezi jednotlivými teplotami. Do grafu na obrázku (Obr. 20) byly vyneseny hodnoty teplot určených z naměřených hodnot napětí, teplot naměřených na termistoru a teploty naměřené pomocí snímače PT100. Nejistoty měření mohou být způsobeny umístěním jednotlivých senzorů před topnou sestavou nebo prouděním vzduchu kolem senzorů. Teplota topné soustavy není nikdy ve všech místech stejná. U termistorového senzoru měřicího přístroje Testo 625 záleželo na natočení vzhledem k tepelné soustavě a nemohla být tedy zaručena přesná shoda teplot kolem měřicího bodu.

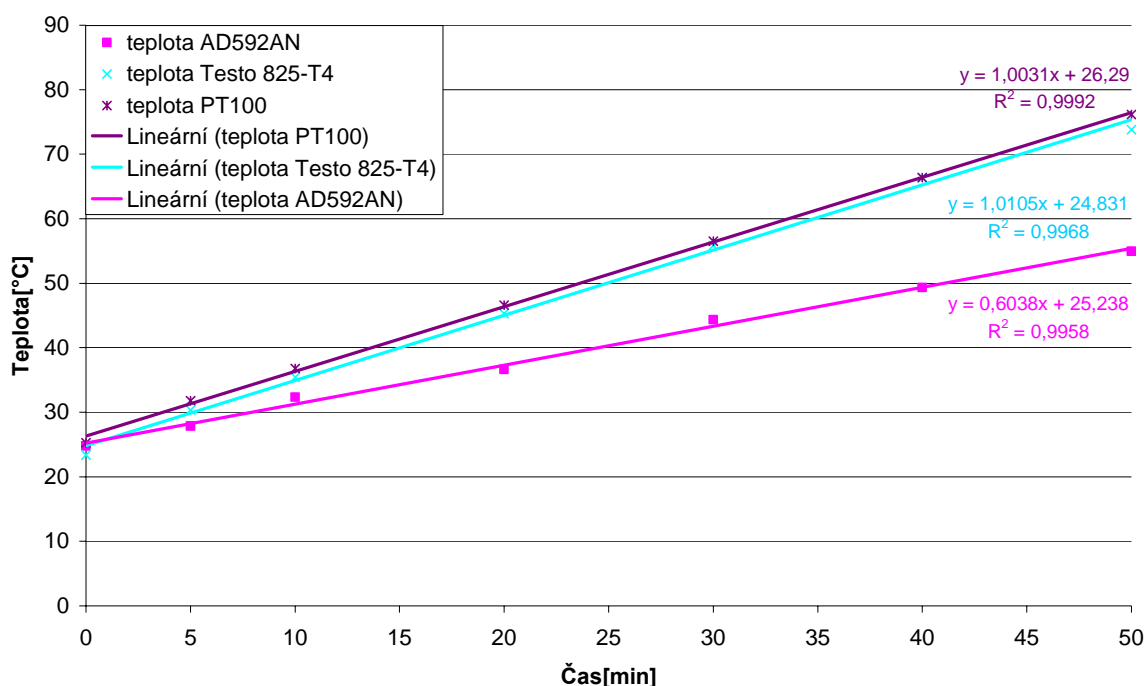
8.2 Měření teploty přímo na topném tělese

Provedl jsem také sérii měření dotykovým způsobem, při stejných laboratorních podmínkách jako v předchozím případě. Senzor AD592AN byl k topné soustavě přiložen horní stranou, tak že se jí dotýkal. Pro kontrolu teploty topné soustavy sloužil snímač teploty PT100 a dotykový termočlánkový teploměr Testo Quicktemp 825-T4, kterým byla měřena teplota topné soustavy na povrchu současně s naším senzorem. Z průměrných naměřených výsledků včetně standardních odchylek k těmto průměrům viz. (Tab. III) a z grafického

průběhu (Obr. 22) je vidět, že senzor používá pro snímání teploty celý svůj povrch, protože naměřená teplota na senzoru neodpovídá zdaleka teplotám na snímači PT100 a teploměru Testo Quicktemp 825-T4. Na teplotu AD592AN mělo tedy vliv i proudění okolního vzduchu o teplotě okolí. Tabulky naměřených hodnot jsou uložena v příloze (P II).

Tab. III. Průměrné hodnoty z naměřených dat měření dotykem na topném tělese.

Čas [min]	Žádaná teplota topné sestavy [°C]	Teplota naměřená z napětí [°C]	Standardní odchylka [°C]	Teplota naměřená přístrojem Testo 825-T4 [°C]	Standardní odchylka [°C]	Teplota topné soustavy měřená PT100 [°C]	Standardní odchylka [°C]
0	24	24,75	0,10	23,36	0,02	25,28	0,01
5	30	27,85	0,00	30,34	0,03	31,8	0,00
10	35	32,35	0,17	35,43	0,03	36,79	0,01
20	45	36,65	0,13	45,3	0,08	46,6	0,00
30	55	44,35	0,17	55,86	0,07	56,5	0,00
40	65	49,35	0,17	66,36	0,08	66,38	0,01
50	75	54,95	0,38	73,79	0,24	76,16	0,02



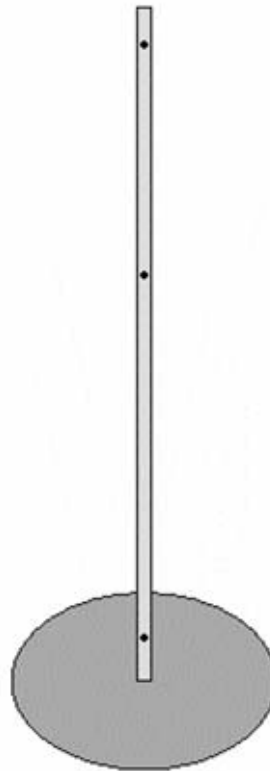
Obr. 22. Teplotní průběhy dotykového měření, proložené lineární regresí.

Z těchto pokusných měření jsem došel k závěru, že snímače musí být při měření proudění vzduchu umístěny tak, aby nebyla některá část senzoru skrytá a vzduch mohl volně proudit kolem celé plochy senzoru.

9 NÁVRH A REALIZACE PROTOTYPU S FUNKČNÍM OVĚŘENÍM

9.1 Návrh konstrukce prototypu

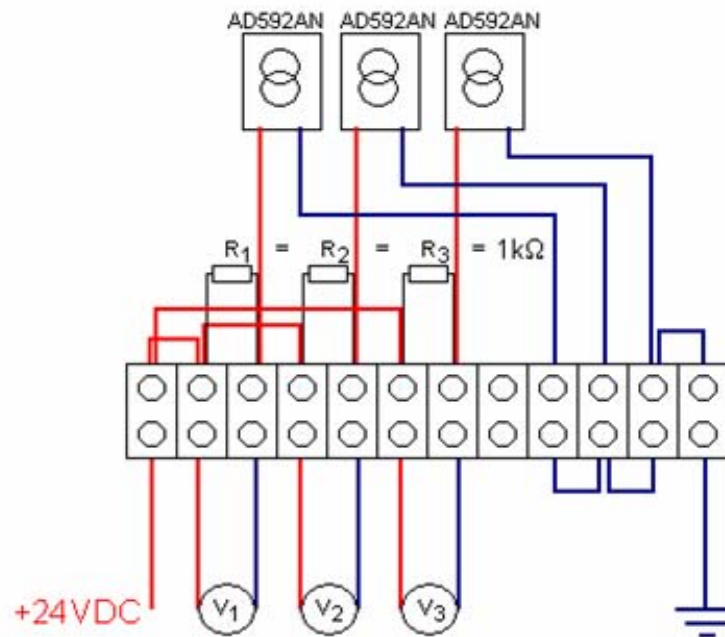
Pro zrealizování měření v daných výškách (10, 110 a 170 cm od podlahy [9]) je zapotřebí umístit naše senzory AD592AN tak, aby kolem nich mohl proudit vzduch všemi směry, což znamená, že musí být vystrčeny nejlépe s částí pinů do prostoru. Senzory jsou umístěny do pevně připevněných konektorů tak, aby se dali jednoduše vyměnit v případě poškození nebo výměny za jiný typ. Kabeláž, která vede k jednotlivým sensorům, by se měla umístit tak aby nemohlo dojít k jejímu poškození během měření. Rozhodl jsem se pro umístění sensorů a kabeláže do elektroinstalační vkladací lišty pro lepší manipulaci s kabeláží a senzory. Pro udržení lišty by se měl použít stojan, na který bude lišta upevněna, aby se zabránilo nežádoucím poryvům. Návrh stojanu je zobrazen na obrázku (Obr. 23). Vyznačené body na obrázku představují senzory v jednotlivých výškách.



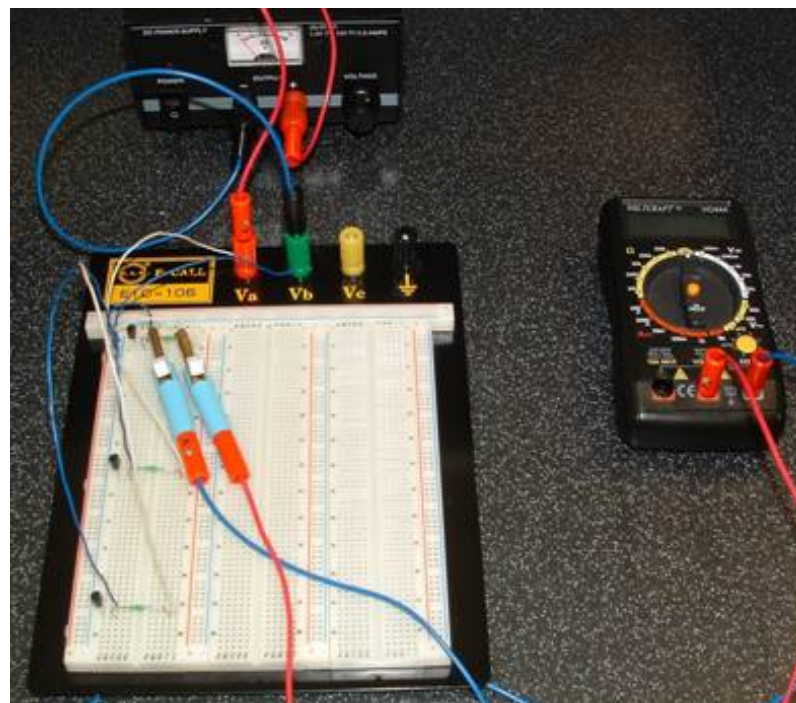
Obr. 23. Návrh stojanu pro měření.

Pro zapojení kabeláže bylo navrženo propojení jednotlivých kabelů pomocí svorkovnice pro jednoduchou manipulaci, do které se dají připojit i odpory a kabely k voltmetrům

podle obrázku (Obr. 24). Na obrázku (Obr. 25) je zkušební zapojení celé soustavy se třemi senzory AD592AN.



Obr. 24. Návrh zapojení svorkovnice.



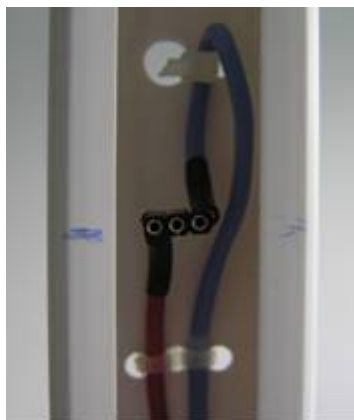
Obr. 25. Návrh celého zapojení na desce nepájivého pole.

9.2 Realizace konstrukce prototypu

Na konstrukci celé sestavy jsem použil klasický laboratorní stojan, ze kterého byla odšroubována kulatá vodící tyč a nahrazena za tyč čtvercového průřezu, na kterou byl navařen šroub. Pomocí tohoto šroubu byla přes dvě matky tyč připevněna ke stojanu. V tyči byly vyvrtány čtyři díry se závitem pro možné upevnění elektroinstalační lišty. Na podstavu stojanu bylo nutné také přišroubovat svorkovnici. Senzory jsem se rozhodl nasadit na konektor. Na konektor jsem napájel kabely a spoje jsem izoloval stahovací bužirkou. Do určených výšek jsem je k vodící tyči připevnil pomocí stahovacích pásek (Obr. 26). Po připevnění dvou spodních konektorů jsem našrouboval elektroinstalační vkládací lištu, kterou bylo nutno přizpůsobit a navrtat do ní díry podle vodící tyče. Třetí konektor jsem připevnil k samotné liště pomocí vyvrtaných děr a stahovacích pásek (Obr. 27).



Obr. 26. Detail konektoru na vodící tyči.



Obr. 27. Detail konektoru na liště.

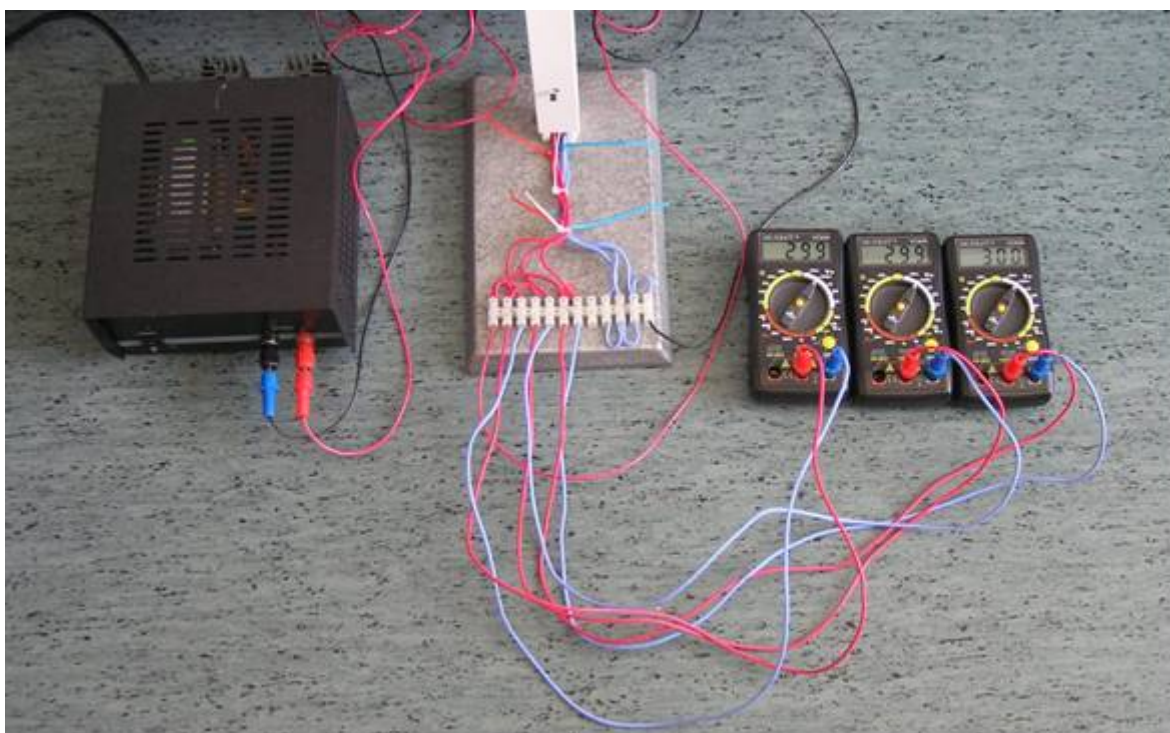
Do krycí lišty jsem navrtal tři díry pro jednotlivé senzory tak aby se daly zasunout a vysunout v případě výměny. Kabeláž jsem stáhnul spodní částí ke svorkovnici. Jednotlivé konce kabelů jsem napájel, aby se kabely netřepily a držely ve svorkovnici. Celé zapojení svorkovnice je podle obrázku (Obr. 24). Na přívodní kabely k jednotlivým voltmetrům a zdroji jsem použil banánky, aby nevznikl problém s připojením jednotlivých komponentů. Všechny kabely jsem barevně odlišil pro lepší přehlednost. Na závěr jsem nasadil senzory do jednotlivých konektorů a zacvakl krycí lištu. Senzory z lišty trčí celou hlavičkou z důvodu přesného měření jak bylo popsáno v kapitole (5.2). Na obrázku (Obr. 28) je vidět celý prototyp v reálném zapojení.



Obr. 28. Reálná podoba celého prototypu.

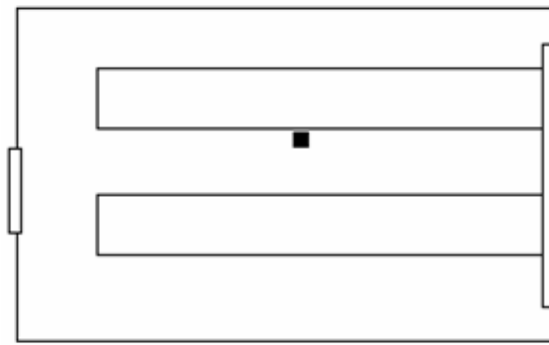
9.3 Ověření funkce prototypu

Zapojení jsem ověřil pomocí jednoduchého zahřátí jednotlivých senzorů a sledoval jsem jestli se mění jednotlivé hodnoty napětí. Ve všech třech případech tomu tak bylo a proto jsem provedl celé zapojení svorkovnice i voltmetrů a zdroje správně a ověřil jsem si tím i správnost návrhu zapojení. Na obrázku (Obr. 29) je zapojení zdroje a jednotlivých voltmetrů. Voltmetry jsou uspořádány zleva podle jednotlivých výšek senzorů (10, 110 a 170 cm od podlahy).



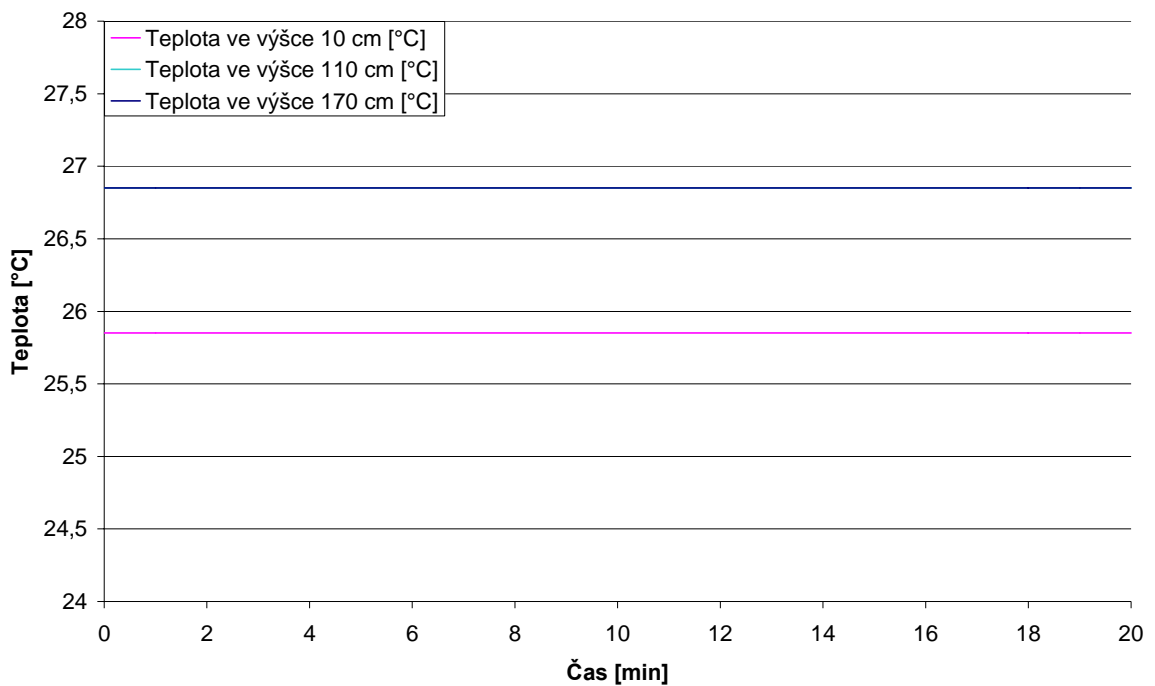
Obr. 29. Zapojení zdroje a jednotlivých voltmetrů ke svorkovnici.

Měření se realizovalo 19.5.2006 na UTB Zlín, Fakultě aplikované informatiky a to v laboratoři Technických prostředků automatizace číslo C306. Místo měření v dané laboratoři je vyznačeno bodem na obrázku (Obr. 30). V laboratoři současně probíhalo i testovací měření biotechnologických procesů, čímž byla v laboratoři zvýšená teplota okolního vzduchu až o 6°C oproti obvyklým laboratorním 17 až 20 °C.



Obr. 30. Místo měření v laboratoři.

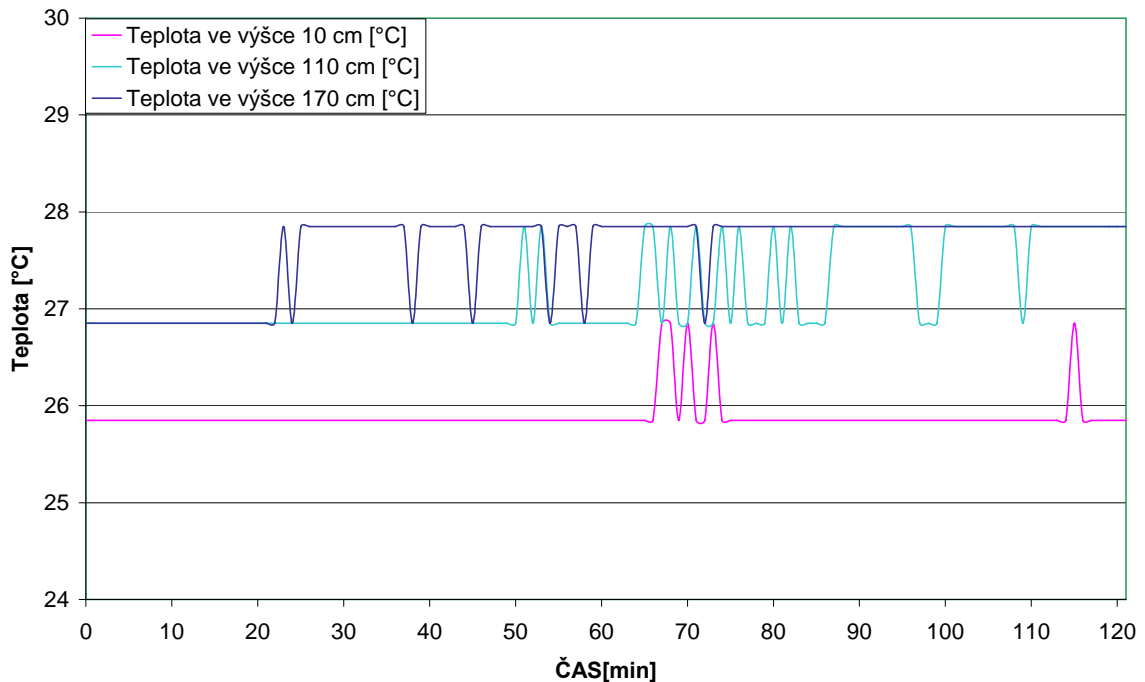
První měření proběhlo v prázdné uzavřené místnosti jehož grafický průběh měření je ukázán na obrázku (Obr. 31), na kterém je vidět, že se teplota v místnosti pohybuje v intervalu od $25,85^{\circ}\text{C}$ ve výšce 10cm (od podlahy) až po $26,75^{\circ}\text{C}$ ve výškách 110 a 170cm (od podlahy). Rozdíl teploty mezi sledovanými body byl tedy 1°C . Po celou dobu měření cca 20 minut byly teploty konstantní.



Obr. 31. Teplota naměřené v prázdné laboratoři.

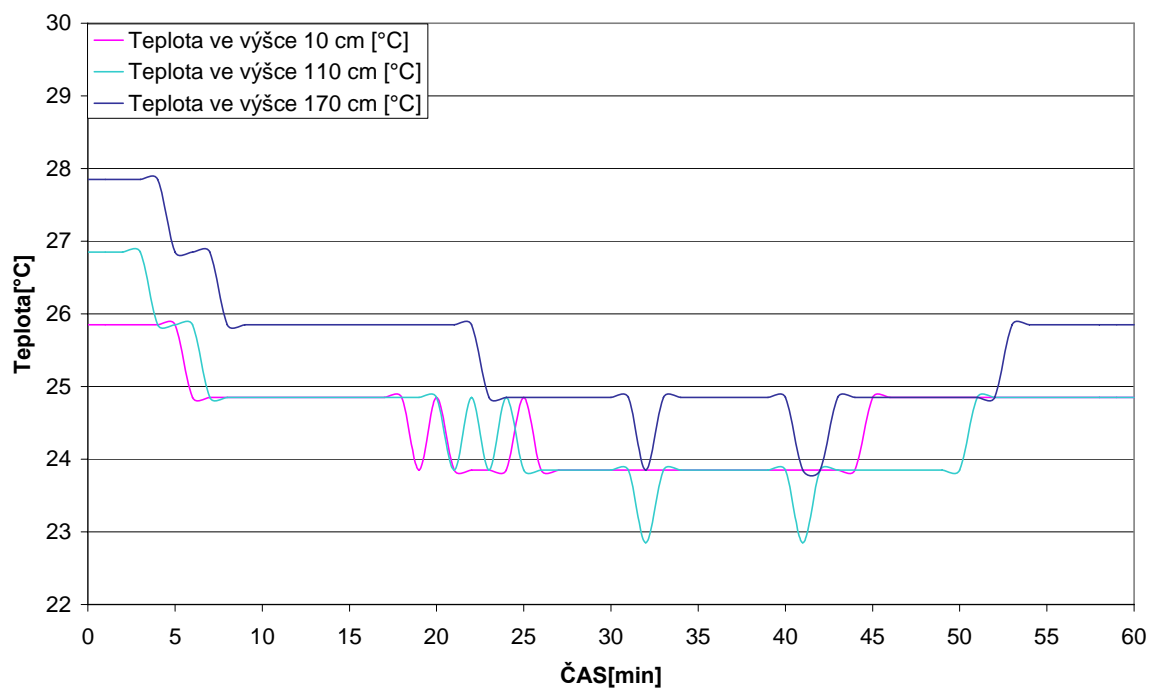
Druhé měření proběhlo při zkoušce z předmětu Technických prostředků automatizace, kdy se v laboratoři v době měření nacházelo 5 studentů. Grafický průběh z měření je zobrazen na obrázku (Obr. 32), jsou na něm vidět malé teplotní výkyvy, které byly způsobeny ohřevem vzduchu od přítomných studentů a studentů, kteří se střídali na zkoušce. Teploty

se oproti prázdné laboratoři postupem času začali zvyšovat a kolísali v rozsahu cca $\pm 1^\circ\text{C}$ pro každou ze sledovaných výšek. Cca po dvou hodinách už byly teploty ustáleny na hodnotě $25,85^\circ\text{C}$ pro výšku 10cm a hodnotě $27,85^\circ\text{C}$ pro výšky 110 a 170cm. Na průběhu je možné pozorovat požadovanou reakci a citlivost použitých senzorů.



Obr. 32. Teplota naměřená v laboratoři při probíhající zkoušce.

Třetí měření jsem provedl při nuceném proudění vzduchu v prázdné místnosti, které bylo vyvoláno vznikajícím průvanem mezi otevřeným oknem a dveřmi do chodby. Měření probíhalo po skočení zkoušky, kdy se teplota vzduchu v místnosti pohybovala v intervalu od $25,85^\circ\text{C}$ do $27,85^\circ\text{C}$. Grafický průběh z tohoto měření je zobrazen na obrázku (Obr. 33) a je na něm vidět postupné ochlazování vzduchu sledovaného prostoru. Teplota se v místnosti snížila až na $22,85^\circ\text{C}$ a to na senzoru ve výšce 110cm. Bylo to zřejmě způsobeno tím, že se senzor nacházel cca ve stejné výšce jako je spodní okraj okna a proudění kolem senzoru bylo zřejmě intenzivnější než v ostatních případech. V polohách 10 a 170cm byla teplota naměřena $23,85^\circ\text{C}$. Cca po 45 minutách jsem opět místnost uzavřel a sledoval jak se změnila teplota v místnosti oproti začátku měření. Po pár minutách se teplota ustálila a pohybovala se v intervalu od $24,85^\circ\text{C}$ do $25,85^\circ\text{C}$. Teplota ve výšce 10 a 110cm byla stejná ($24,85^\circ\text{C}$) a lišila se teplota ve výšce 170cm, která byla o 1°C vyšší.



Obr. 33. Teplota naměřená v laboratoři při nuceném proudění vzduchu.

Všechna naměřená data ke grafickým průběhům zobrazených na obrázcích (Obr. 31, 32 a 33) jsou uložena v příloze (P III).

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá výzkumem měření teplot v průmyslových a obytných interiérech při řešení, tzv. tepelné pohody člověka v interiéru budov. Požadavky na toto měření vyžadují specifický přístup z pohledu nerovnoměrného rozložení teploty v průmyslových a obytných prostorech.

Po analýze nabídky integrovaných polovodičových senzorů teploty, jako mají ve své produkci světoví výrobci Analog Devices, National semiconductor a Texas Instrument jsem zvolil senzor AD592 od firmy Analog Devices. Pro mé měření byla dostatečná nejlevnější varianta tohoto typu senzoru a to provedení AD592AN, která plně vyhovovala přesnosti i mému rozsahu měření. Pro přesnější měření by se dala použít nejpřesnější varianta tohoto senzoru s označením AD592CN.

Při zkušebním měření byl senzor zapojen dle schéma uvedeného výrobcem (Obr. 13). Bylo zjištěno, že změna napájecího napětí (uváděného výrobcem v rozsahu od 4 do 30V DC), nemá vliv na výstupní signál. Pro všechna ostatní měření jsem tedy volil napájecí napětí $U_N = 24V$ DC, které je normované pro napájecí zdroje pro laboratorní měření. Dále jsem zvolil vhodný odpor, na kterém jsem měřil výstupní napětí. Hodnotu odporu jsem volil ve velikosti $R = 1k\Omega$. Výstupní napětí na odporu bylo měřeno v mV, hodnota napětí potom byla přímo úměrná teplotě v Kelvinech.

Z dalších testovacích a ověřovacích měření (kapitola 8.2 a 8.3), které jsem prováděl při nuceném ohřevu vzduchu pomocí topné soustavy, jsem došel k závěru, že senzory musí být při měření umístěny, tak aby nebyla některá část senzoru skrytá a vzduch mohl volně proudit kolem celé plochy senzoru.

Byl tedy sestaven prototyp. Při jeho konstrukci jsem využil všech předchozích poznatků. Celý prototyp byl konstruován s ohledem na jeho jednoduchý možný servis a mobilitu celého zařízení. Sensory byly zasazeny do jednotlivých konektorů a tím byla zajištěna i možná výměna, popř. i náhrada za jiný typ senzoru.

Po ověření správnosti zapojení prototypu proběhla série měření. Naměřená data byla přehledně graficky zpracována v kapitole (9.3), kde jsou také formulovány podmínky měření a konzultace naměřených dat.

- Výsledky z prvního měření jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 31), kdy sledovaný prostor tvořila prázdná uzavřená laboratoř. Teploty po celou dobu měření byly konstantní. Teplota v místnosti se pohybovala v intervalu od 25,85°C do 26,85°C, kdy rozdíl naměřených teplot senzorem umístěným 10cm nad podlahou a senzory umístěnými v polohách 110, 170cm nad podlahou je 1°C.
- Druhé měření je ukázáno na obrázku (Obr. 32), kdy ve sledované laboratoři probíhala zkouška a nacházelo se 5 studentů. Teplota prostoru se zvýšila oproti prvnímu měření cca o 1°C. V průběhu měření teploty kolísala v rozsahu cca +/- 1°C. Příčinou kolísání byli přítomní a pohybující se zkoušení studenti. Změny teploty ukazují na požadovanou reakci a citlivost použitých senzorů.
- Data z třetího měření jsou zobrazena na obrázku (Obr. 33), kdy v laboratoři bylo zajištěno nucené proudění vzduchu, které bylo vyvoláno vznikajícím průvanem mezi otevřeným oknem laboratoře a dveřmi do chodby. Měření probíhalo po skočení zkoušky, kdy se teplota vzduchu v místnosti pohybovala v intervalu od 25,85°C do 27,85°C. Během měření byl zaznamenán největší pokles teploty až o 4°C, který byl naměřen ve výšce 110cm nad podlahou. Tento senzor se nacházel cca ve stejné úrovni jako otevřené okno a proto byl zřejmě vystaven intenzivnějšímu proudění vzduchu.

Tato práce umožnila realizaci a ověření prototypu umožňujícího měření nerovnoměrně rozložených teplot v intervalu od 0 do 1,7m od podlahy a potvrdila tak správnou funkci prototypu snímače.

Dále navrhuji pokračovat v sérii těchto měření a zajistit tak nová data a postřehy nezbytné pro další vývoj a výzkum v této oblasti měření. Dále musím podotknout, že se jedná pouze o prototyp, který vyžaduje modernizaci v oblasti přesnosti a sběru dat.

Také je nutné podotknout, že jsem tuto práci vypracoval dle zásad a jednotlivých bodů daných zadáním této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hruška, F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, 118 s. ISBN 80-7318-053-7
- [2] Hruška, F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, květen 2005, 109 s. ISBN 80-7318-274-2
- [3] Ďaďo, S. -Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, duben 1996, 315 s.
- [4] Chudý, V. a kol.: Meranie technických veličín. Bratislava: STU, 1999, 688 s. ISBN 80-227-1275-2
- [5] Nejistoty v měření. Automa, (2001), č. 7-8, s 50-53, pokračování v č. 10,12.
- [6] Maťátko, J. - Foitová, E.: Elektronika. Elektronické součástky a základní obvody. Praha: SNTL, 1981, 484 s.
- [7] Maťátko, J.: Elektronika. Praha:IDEA SERVIS, 1995, 272 s. ISBN 80-85970-00-7
- [8] Vobecký, J. - Záhlava, V.: Elektronika. Součástky a obvody, principy a příklady. Praha: Grada Publishing, 2000, 180 s. ISBN 80-247-9062-9
- [9] Skočík, P. - Hruška F.: MEASUREMENT AND ACQUISITION IN INDUSTRIAL INTERIORS. *The 16th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM 2005*. Opatija, Croatia : 19. – 22. October 2005, Annals of DAAAM for 2005 & proceedings. ISBN 3-901509-46-1
- [10] Firemní literatura firmy Analog Devices. www.analog.com
- [11] Firemní literatura firmy National Semiconductor. www.national.com
- [12] Firemní literatura firmy Texas Instrument. www.ti.com
- [13] <http://automatizace.hw.cz/view.php?cisloclanku=2006020501>
- [14] <http://dt.fme.vutbr.cz/~measure/Senzor/AD592.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T	Kelvinova teplota
t	Celsiova teplota
υ	Fahrenheitova teplota
Si	Křemík
Ge	Germanium
I	Proud
U	Napětí
Δx	Absolutní chyba
x_m	Naměřená hodnota
x_s	Skutečná hodnota
δ_x	Relativní chyba
s	Směrodatná odchylka
$s_{\bar{x}}$	Směrodatná odchylka aritmetického průměru
e	Systémová chyba
ε	Náhodná chyba
\bar{x}	Aritmetický průměr
u_A	Standardní nejistota typu A
u_B	Standardní nejistota typu B
u_C	Kombinovaná nejistota
n	Počet měření
min	minuty
cm	Centimetr
m	metr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma nerovnoměrného rozložení teploty v halových interiérech.....	10
Obr. 2. Schottkyho pravidlo.....	17
Obr. 3. Přejchod PN.	18
Obr. 4. Vznik vyprázdněné oblasti a potenciálového valu.	19
Obr. 5. Chování přechodu PN; a) v závěrném směru, b) v propustném směru.	19
Obr. 6. Voltampérová charakteristika diody při změně teploty okolí.	22
Obr. 7. Zapojení polovodičové diody s přechodem PN.....	22
Obr. 8. Zapojení tranzistorové diody s přechodem PN.	23
Obr. 9. Vliv teploty na napětí báze-emitor tranzistoru.	24
Obr. 10. Výstupní charakteristiky tranzistoru při teplotě 25°C plně, 35°C čárkovaně.	24
Obr. 11. Zapojení polovodičového integrovaného PN senzoru.....	25
Obr. 12. Převodní charakteristika teplotního senzoru AD592.....	33
Obr. 13. Základní zapojení s proudovým a napěťovým výstupem.....	34
Obr. 14. AD592 ze spodu s označením pinů.	34
Obr. 15. Závislosti přesností v pracovním rozsahu teplot u jednotlivých typů senzorů.....	35
Obr. 16. Zapojení pro měření teploty pomocí napětí.....	36
Obr. 17. Zapojení senzoru s označením kontaktů.....	37
Obr. 18. Zapojení sestavy podle schéma zapojení v katalogovém listu.	39
Obr. 19. Detail zapojení senzoru s odporem na desce nepájivého pole.	40
Obr. 20. Teplotní průběhy proložené lineární regresí.....	42
Obr. 21. Sestava, na které se měření provádělo.....	43
Obr. 22. Teplotní průběhy dotykového měření, proložené lineární regresí.....	44
Obr. 23. Návrh stojanu pro měření.	45
Obr. 24. Návrh zapojení svorkovnice.	46
Obr. 25. Návrh celého zapojení na desce nepájivého pole.	46
Obr. 26. Detail konektoru na vodící tyči.	47
Obr. 27. Detail konektoru na liště.....	47
Obr. 28. Reálná podoba celého prototypu.	48
Obr. 29. Zapojení zdroje a jednotlivých voltmetrů ke svorkovnici.....	49
Obr. 30. Místo měření v laboratoři.	50
Obr. 31. Teplota naměřené v prázdné laboratoři.	50

Obr. 32. Teplota naměřená v laboratoři při probíhající zkoušce. 51
Obr. 33. Teplota naměřená v laboratoři při nuceném proudění vzduchu. 52

SEZNAM TABULEK

Tab. I. Parametry čidla AD592.....	34
Tab. II. Průměrné hodnoty z naměřených dat měření před topným tělesem.....	42
Tab. III. Průměrné hodnoty z naměřených dat měření dotykem na topném tělese.....	44

SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Tabulky naměřených dat z ověřovacího měření před topným tělesem jsou uložena na příloženém CD v souboru Příloha I.xls programu Excel.
- P II: Tabulky naměřených dat z ověřovacího měření na topným tělesem jsou uložena na příloženém CD v souboru Příloha II.xls programu Excel.
- P III: Tabulky naměřených dat z ověřovacího měření prototypu jsou uložena na příloženém CD v souboru Příloha III.xls programu Excel.