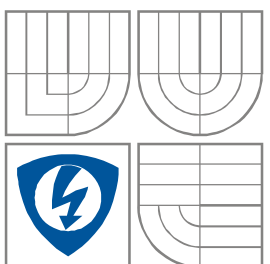


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

Vytvoření měřícího zařízení pro sledování teploty v elektrických strojích

Creating a device for measuring temperature in electric machines

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

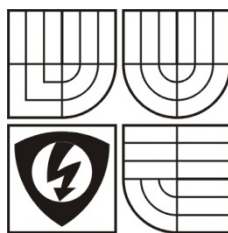
Tomáš Klein

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marcel Janda, Ph.D.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Tomáš Klein

Ročník: 3

ID: 106536

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Vytvoření měřicího zařízení pro sledování teploty v elektrických strojích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s metodami měření teploty v elektrických strojích.
2. Zvolenou metodou proveďte měření oteplovací charakteristiky na elektrickém motoru.
3. Proveďte návrh přípravku pro vzdálené měření teploty.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 1.10.2009

Termín odevzdání: 27.05.2010

Vedoucí projektu: Ing. Marcel Janda, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá způsoby měření teploty v elektrických strojích. Je rozdělená do tří hlavních částí. První část se zabývá shrnutím metod měření teplotních polí. Druhá část aplikace vybrané metody a měření teploty konkrétního elektrického stroje. Poslední část je věnována návrhu přípravku pro vzdálené měření teploty pomocí bluetooth.

Abstract

This thesis deals with ways on how to measure temperature in electric machines. It divided into three main parts: summary of methods of temperature fields measuring, application of chosen measuring method, application on particular electric machine, and design of a device for remote temperature measuring using bluetooth.

Klíčová slova

Oteplení, měřicí přípravek, teplota, termistor, termočlánek.

Keywords

Meter, temperature, thermistor, warming.

Bibliografická citace

KLEIN, T. *Vytvoření měřicího zařízení pro sledování teploty v elektrických strojích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marcel Janda, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vytvoření měřícího zařízení pro sledování teploty v elektrických strojích jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

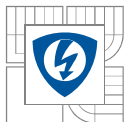
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marcelu Jandovi, Ph.D za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

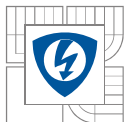
V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

1. ÚVOD	10
2. OTEPLENÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ.....	11
2.1. MECHANICKÉ ZTRÁTY.....	11
2.2. ELEKTRICKÉ ZTRÁTY	11
2.3. MĚŘENÍ OTEPLENÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ.....	12
2.4. OTEPLOVACÍ ZKOUŠKY.....	13
2.4.1. ÚČEL ZKOUŠKY	13
2.4.2. PROVEDENÍ ZKOUŠKY	14
3. TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ.....	15
3.1. ROZDÍL MEZI TEPEM A TEPLOTOU	15
3.2. MĚŘENÍ TEPLoty	15
3.2.1. TEPLOMĚRY.....	16
3.2.2. ROZDĚLENÍ TEPLOMĚRŮ PODLE FUNKČNÍHO PRINCIPU	16
3.3. TEPLOTNÍ STUPNICE	17
3.3.1. DEFINICE TEPLOTNÍCH STUPNIC	17
3.3.2. PŘEPOČET MEZI STUPNICEMI POUŽÍVANÝMI V SOUČASNOSTI.....	18
3.3.3. VYBRANÉ TEPLoty V JEDNOTLIVÝCH STUPNICÍCH	18
3.4. SROVNÁNÍ METOD MĚŘENÍ TEPLoty	19
4. TERMOELEKTRICKÉ JEVY	19
4.1. KONTAKTNÍ NAPĚTÍ.....	20
4.2. SEEBECKŮV JEV	20
4.3. PELTIERŮV JEV	21
4.4. THOMSONŮV JEV.....	22
5. TEPLOTNĚ ZÁVISLÉ ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY A ZAŘÍZENÍ	23
5.1. TERMISTOR (NTC, NEGATIVE TEMPERATURE COEFFICIENT).....	23
5.2. POZISTOR (PTC, POSITIVE TEMPERATURE COEFFICIENT)	23
5.3. MONOKRYSTALICKÝ SNÍMAČ TEPLoty BEZ PN PŘECHODU.....	23
5.4. TERMOČLÁNEK	24
5.5. TERMOKAMERA	25
6. MĚŘENÍ NA ELEKTRICKÉM STROJI.....	26
6.1. ZADÁNÍ.....	26
6.2. POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	26



6.3.	ÚDAJE O MĚŘENÉM MOTORU.....	26
6.4.	MÍSTA MĚŘENÍ NA MOTORU	26
6.5.	TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT	27
6.6.	GRAF OTEPLENÍ	28
6.7.	VÝPOČET ABSOLUTNÍ A RELATIVNÍ CHYBY MĚŘENÍ.....	28
6.8.	ZÁVĚR	30
7.	NÁVRH MĚŘÍCÍHO PŘÍPRAVKU	31
7.1.	TABULKA POUŽITÝCH SOUČÁSTEK.....	31
7.2.	MIKROKONTROLÉR ATMEGA8-16PU	31
7.2.1.	BLOKOVÉ SCHÉMA VNITŘNÍHO ZAPOJENÍ.....	32
7.3.	BLUETOOTH MODUL BMT 112.....	33
7.3.1.	BLOKOVÉ SCHÉMA VNITŘNÍHO ZAPOJENÍ.....	33
7.4.	TEPLOTNÍ ČIDLO AD22100	34
7.4.1.	BLOKOVÉ SCHÉMA.....	34
7.4.2.	USPOŘÁDÁNÍ VÝVODŮ.....	34
7.5.	SCHÉMATA NÁVRHU MĚŘÍCÍHO PŘÍPRAVKU	35
7.5.1.	BLOKOVÉ SCHÉMA.....	35
7.5.2.	SCHÉMA ZAPOJENÍ	35
7.5.3.	POPIS ZAPOJENÍ.....	36
7.5.4.	ZAPOJENÍ NA DESCE.....	37
7.6.	SHRNUTÍ VÝHOD A NEVÝHOD.....	37
7.7.	EKONOMICKÁ ROZVAHA.....	38
8.	ZÁVĚR	39
	LITERATURA	40



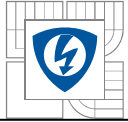
SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Kapalinový teploměr	16
Obr. 2 - Bimetalový teploměr	17
Obr. 3 - Princip Seebeckova jevu	21
Obr. 4 - Měření teploty pomocí Seebeckova jevu	21
Obr. 5 - Měřená místa na motoru	26
Obr. 6 - Graf průběhu oteplení	28
Obr. 7 - Mikrokontrolér Atmega8-16PU	31
Obr. 8 - Blokové schéma vnitřního zapojení mikrokontroléru Atmega8-16PU	32
Obr. 9 - Bluetooth modul BMT 112	33
Obr. 10 - Blokové schéma bluetooth modulu BMT 112	33
Obr. 11 - Blokové schéma teplotního čidla AD22100	34
Obr. 12 - Uspořádání vývodů teplotního čidla AD22100	34
Obr. 13 - Blokové schéma měřícího přípravku	35
Obr. 14 - Schéma zapojení měřícího přípravku	35
Obr. 15 - Uspořádání součástek měřícího přípravku na desce	37



SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Naléhavost odstranění závad podle změny teploty	13
Tabulka 2 - Definice teplotních stupnic	17
Tabulka 3 - Přepočítání teplot mezi stupnicemi používanými v současnosti	18
Tabulka 4 - Vybrané teploty v jednotlivých stupnicích	18
Tabulka 5 - Použité přístroje	26
Tabulka 6 - Naměřené hodnoty	27
Tabulka 7 - Absolutní a relativní chyby měření	28
Tabulka 8 - Seznam použitých součástek	31
Tabulka 9 - Ceny jednotlivých součástek	38



1. ÚVOD

Současná situace ve vývoji elektrotechnického průmyslu klade daleko vyšší nároky jak na konstrukci elektrických strojů a zařízení, tak na sledování jejich základních funkčních parametrů. Jedním ze sledovaných parametrů je teplota a oteplení. Dodržování jejich předepsaných maximálních hodnot je jednou z podmínek bezpečného a spolehlivého chodu zařízení po co nejdelší dobu.

Měření teploty zařízení je důležité pro zjišťování průběhu oteplení, zjištění provozní teploty, nebo zjištění případných závad, které by mohly zapříčinit nečekané chování elektrického zařízení. V případě elektrických motorů by zvýšení teploty nad maximální dovolenou hodnotu mohlo mít za následek například poškození izolace.

Jednou z často využívaných metod měření teploty je bezkontaktní diagnostika pomocí termokamery. Pomocí ní lze monitorovat teplotu na obtížně dostupných místech. Díky termokameře můžeme sledovat oteplení celého pozorovaného objektu, včetně rozdílného oteplení jeho různých částí. Prostřednictvím dalších přídavných zařízení můžeme průběh teplotních změn zobrazovat a zaznamenávat. Pro spolehlivou diagnostiku provozu strojů a elektrických zařízení je výhodné celoplošné měření povrchové teploty a následné zobrazení teplotního pole. Kamera snímá infračervené záření vyzařované v problémové oblasti. Umožňuje nám tedy získat viditelnou informaci o rozložení teploty, a to na základě vyhodnocování velikosti zářivého toku vyzařovaného z povrchu měřeného zařízení. Další nezanedbatelnou výhodou je fakt, že tato metoda je nedestruktivní a lze provádět za provozu.

Samozřejmě existují i jiné metody zjišťování a sledování teploty zařízení, ale výše uvedená metoda je nejprogresivnější. Náklady na pořízení tohoto diagnostického zařízení jsou sice poměrně vysoké, ale jejich návratnost je rychlá.

Pro účely sledování teploty elektrických strojů bylo navrženo i měřicí zařízení popsané v této bakalářské práci.



2. OTEPLENÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ

Účinnost elektrického motoru je měřítkem, jak přeměňuje motor elektrickou energii na užitečnou práci. Ztráty v tomto procesu způsobují oteplování motoru. Účinnost motoru tedy závisí na jeho ztrátách.

Oteplení elektrického stroje je omezeno zejména oteplením jeho jednotlivých částí. Nežádoucí teplo vzniká v důsledku elektrických a mechanických ztrát.

2.1. Mechanické ztráty

Vznikají u točivých strojů třením v ložiskách a třením rotoru o vzduch. Tyto ztráty se označují i jako ztráty ventilační. Ztráty třením v ložiskách jsou u zaběhaného motoru a při stálé teplotě lineárně závislé na otáčkách, ventilační ztráty jsou úměrné druhé mocnině počtu otáček

2.2. Elektrické ztráty

Představují ztráty v železe (v magnetickém obvodu) a ztráty v mědi (ve vinutí). Ztráty v železe zahrnují ztráty hysterezní a ztráty vířivými proudy. Výpočet ztrát v železe je méně přesný, protože magnetizační charakteristiky materiálů používaných na výrobu magnetických obvodů motorů nejsou lineární.

Hysterezní ztráty představují energii spotřebovanou k přemagnetování feromagnetického materiálu. Tato energie je úměrná ploše hysterezní smyčky. V praxi platí úměrnost:

$$P_h \sim f B^2 \quad [\text{W}; \text{Hz}; \text{T}] \quad [1.1]$$

P_h ... hysteresní ztráty

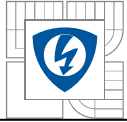
f ... frekvence

B ... elektromagnetická indukce

Ztráty vířivými (Foucaultovými) proudy. Vířivé proudy vznikají při magnetování feromagnetického materiálu časově proměnným střídavým tokem. Ten budí elektrické pole, jehož siločáry tvoří uzavřené dráhy kolem magnetického toku. Tyto siločáry obepínající magnetický tok leží v rovinách kolmých ke směru magnetické indukce. Protože je prostředí elektricky vodivé, vznikne v něm elektrické pole. Indukované proudy působí proti příčině, která je vyvolala a zeslabují budící magnetický tok. Největší zeslabení vzniká uprostřed průřezu, protože jej obepínají všechny indukované (vířivé) proudy. Zeslabení celkového magnetického toku vířivými proudy a zmenšení magnetické indukce ve střední části průřezu se projeví jako zmenšení poměrné permeability feromagnetického materiálu. Průchodem jakéhokoliv proudu vodiče vznikají tepelné ztráty, tedy i průchod vířivých proudů vyvolává ztráty. Tyto ztráty jsou závislé na frekvenci podle vztahu:

$$P_v \sim f^2 B^2 \quad [\text{W}; \text{Hz}; \text{T}] \quad [1.2]$$

P_v ... ztráty vířivými proudy



- f ... frekvence
 B ... elektromagnetická indukce

Ztráty vířivými proudy lze omezit:

- Použitím navzájem izolovaných plechů, čímž dojde k rozdělení jádra.
- Použitím materiálu s velkým elektrickým odporem.
- Snížením indukovaného napětí.

Vířivé proudy mají i své využití v praxi, např. v metalurgii, u indukčních brzd, elektroměrů a k tlumení ručky měřicích přístrojů.

Častěji je ale teplo vzniklé vířivými proudy nežádoucí proto, že zahřívá části elektrických strojů a tím omezují pracovní režim.

Celkové ztráty ve feromagnetických materiálech lze vyjádřit vztahem:

$$P_{Fe} = P_h + P_v \quad [W] \quad [1.3]$$

- P_{Fe} ... celkové ztráty ve feromagnetických materiálech
 P_h ... hysterezní ztráty
 P_v ... ztráty vířivými proudy

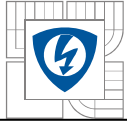
Ztráty v mědi jsou tepelné ztráty ve vinutí statoru a rotoru. Ztráty ve vinutích můžeme určit z proudové hustoty v drážce, proudu procházejícího vodiči drážky, z geometrického uspořádání drážky, z počtu závitů v drážce, z měrného odporu materiálu vinutí a délky vinutí.

Další skupinu ztrát tvoří přídavné ztráty. Ty mají většinou vířivý charakter a jsou způsobovány rozptylovými toky prostorových harmonických, nerovnoměrnostmi ve vzduchové mezeře a pulzním charakterem toku. Definovat tyto ztráty je poměrně složité.

2.3. Měření oteplení elektrických strojů

Podle normy ČSN EN 600 34-1 lze měření provádět těmito způsoby:

- Teploměry
- Z přírůstku odporu vinutí (tato metoda je vhodná pro měření středních hodnot). Odpor vinutí se měření nepřímou metodou, buď Ohmovou nebo můstkovou. U vinutí napájeného stejnosměrným proudem lze oteplení měřit v průběhu celé zkoušky, u vinutí napájených střídavým proudem a u stejnosměrných kotev měříme pouze počáteční a konečnou hodnotu teploty.
- Sondami (odporovými teploměry, termoelektrickými články)
- Barvami citlivými na světlo
- Termovizní měření, které umožňuje bezkontaktní měření dynamického teplotního pole. Rozložení a průběh teploty se snímá a zobrazuje pomocí termovizní kamery



a dalšího příslušenství. Měření povrchové teploty tělesa na celém povrchu současně a zobrazení takového teplotního pole se uplatní při diagnostice provozu strojů a elektrických zařízení, při požární prevenci, při optimalizaci konstrukce (např. výměníky, kompresory, potrubí chladicích systémů, mrazicí boxy aj.), při energetických auditech apod. Termovizní měření se v elektrotechnice využívají také při elektrických kontrolách zařízení. Neocenitelnou předností je skutečnost, že lze kontrolu provádět za normálního provozu bez zásahu do zařízení. Při měřeních na elektrických zařízeních se snímá infračervené záření vyzařované v místě nedokonalého spojení vodičů. Rozhodující není absolutní teplota spoje, ale teplotní rozdíl oproti ostatním spojmům.

Měření oteplení svorek, spojů a elektrických zařízení se provádí nejméně při 50% zatížení. Svorka nebo spoj, které jsou v pořádku, by neměly mít vyšší teplotu než vodič, na který jsou připojeny. Spoje s vyšší teplotou než má vodič jsou podle míry oteplení a potřeby odstranění závady rozděleny do čtyř stupňů.

Tabulka 1 - Naléhavost odstranění závad podle změny teploty [11]

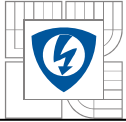
Stupeň klasifikace	Rozmezí teplot	Opatření
I. stupeň	$0\text{ °C} < \Delta t < 10\text{ °C}$	žádné opatření
II. stupeň	$10\text{ °C} < \Delta t < 35\text{ °C}$	opravit při plánované revizi
III. stupeň	$35\text{ °C} < \Delta t < 100\text{ °C}$	opravit do jednoho měsíce
IV. stupeň	$100\text{ °C} < \Delta t$	opravit okamžitě

2.4. Oteplovací zkoušky

Oteplovací zkouška je jedna z nejdůležitějších zkoušek, protože výkon elektrického stroje je omezen oteplením. To nesmí překročit mez danou ČSN 600 34-1, v opačném případě by mohlo dojít ke zkrácení doby životnosti izolace a snížení bezpečnosti chodu zařízení. Izolace elektrických strojů jsou rozděleny do teplotních tříd dle IEC 6114.

2.4.1. Účel zkoušky

- Zjistit, zda oteplení některé části stroje při jmenovitém zatížení nepřekročilo povolené oteplení (dáno ČSN EN 6198) a stanovit oteplení jednotlivých částí, z něhož by bylo možné stanovit pravděpodobné rozložení ztrát a navrhnout účelnou ventilaci.

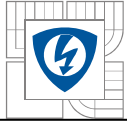


- b) Stanovit, o kolik lze překročit jmenovitý výkon stroje, aniž by bylo překročeno povolené oteplení. Takto stanovenému výkonu říkáme mezní tepelný výkon stroje. Tento závisí především na způsobu chlazení. Mezní tepelný výkon stroje je podstatně nižší než maximální výkon stroje, jímž lze stroj zatížit pouze krátkodobě.

Největší povolená oteplení závisí na typu stroje, na tom, o kterou funkční část stroje se jedná, jakým způsobem byla měřena a v neposlední řadě na typu použité izolace.

2.4.2. Provedení zkoušky

Oteplovací zkouška se provádí při trvalém zatížení stroje jmenovitým výkonem, tzn. při jmenovitém napětí, jmenovitém proudu a jmenovité rychlosti otáčení. Zkoušku provádíme tak dlouho, dokud se oteplení neustálí na určité hodnotě. Za ustálenou považujeme hodnotu, která se nezvýší o více než 2 teplotní stupně za hodinu, při stálé teplotě okolí. Vzhledem k tomu, že oteplovací zkouška může trvat i několik hodin, přistupuje se někdy k tzv. zkrácené oteplovací zkoušce.



3. TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ

3.1. Rozdíl mezi teplem a teplotou

Teplo je fyzikální veličina, která popisuje změnu termodynamického stavu soustavy, nikoli stav samotný. Je to v podstatě část kinetické energie, kterou předávají částice jednoho tělesa částicím druhého tělesa, aniž by se vykonala práce. Výměna tepla mezi tělesy se projevuje pouze změnou jejich vnitřní energie.

O práci se jedná v případě, že změna energie lze vyjádřit jako součin fyzikálních veličin. Pokud se změna nedá takto vyjádřit, hovoříme o teple.

Fyzikální podstatu tepla vyjadřuje definice vycházející z úvah o Brownově pohybu částic a jeho závislosti na teplotě. Je všeobecně známým jevem, který byl i experimentálně potvrzen, že při zpomalování pohybu částic třením nebo odporem prostředí se tělesa zahřívají. Nemůžeme ale tvrdit, že snížení viditelného pohybu částic zákonitě vyvolá snížení mechanické energie. Jedná se pouze o změnu viditelného pohybu částic hmoty v neviditelný. Jinými slovy: uspořádaný pohyb molekul se mění v neuspořádaný. Tato teorie, kterou nazýváme kinetická a nahradila starší fluidovou teorii, která říkala, že teplo je množství fluida v látce.

Teplo jako fyzikální veličina se značí Q s jednotkou Joule [J].

Teplota je charakteristika tepelného stavu tělesa. Je to jedna z vlastností, kterou jsme schopni vnímat.

Teplota je jednou ze sedmi základních fyzikálních veličin mezinárodní soustavy jednotek SI, značí se písmeny t , T nebo pomocí písmen řecké abecedy ϑ a ϱ . Její jednotka v soustavě SI je stupeň Kelvina [K]

1 Kelvin je definován jako 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu vody.

Trojný bod vody udává hodnotu teploty a tlaku, při které nastane rovnováha mezi všemi třemi skupenstvími vody, tedy mezi ledem, vodou a párou.

Kromě jednotky Kelvin se používají ještě další jednotky, které nepatří do mezinárodní soustavy jednotek. Jsou to stupeň Celsia a stupeň Fahrenheita. Platí tyto převodní vztahy $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$

$$1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.2. Měření teploty

Měřením teploty se zabývá obor zvaný termometrie.

Metody pro měření teploty jsou metody porovnávací, kdy porovnááme známou teplotu srovnávacího tělesa a teplotu měřeného tělesa. Tělesa uvedeme do styku a po vytvoření tepelné



rovnováhy (vyrovnání teplot těles) odečteme hodnotu teploty. Srovnávací tělesa jsou obvykle teploměry.

K určování teploty se využívá jedné z teplotních charakteristik materiálu a to teplotní roztažnosti látek. Tato vlastnost je jednou z nejlépe pozorovatelných teplotních jevů a lze ji poměrně snadno převést na měření jiné fyzikální veličiny.

3.2.1. Teploměry

Teploměry jsou přístroje pro přesné, rychlé a spolehlivé měření teploty pevných, kapalných i plyných látek.

Správný název tohoto přístroje by měl znít teplotoměr / měří teplotu/, ale název teploměr se ujal lépe.

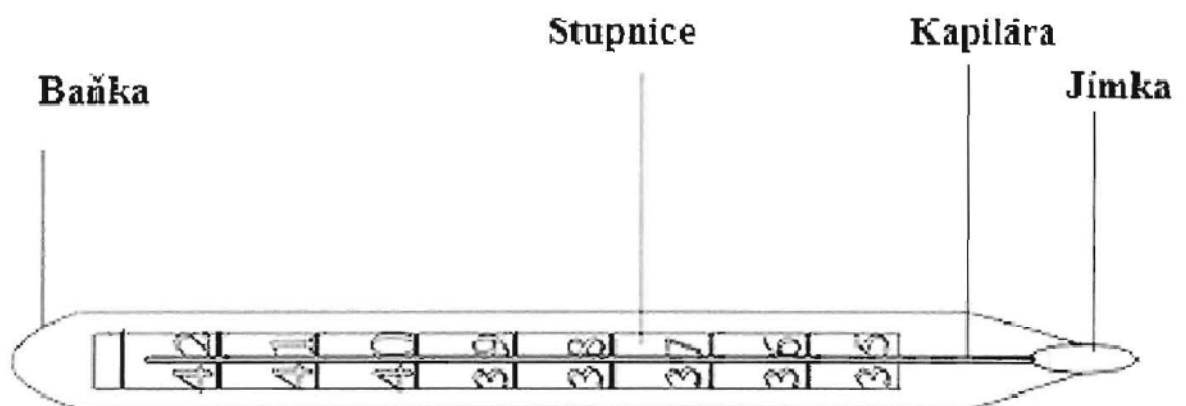
3.2.2. Rozdělení teploměrů podle funkčního principu

Podle druhu tepelného styku teploměru s měřenou látkou (objektem) můžeme teploměry rozdělit do dvou základních skupin:

a) Dotykové teploměry - ty se ohřívají při přímém styku s měřeným objektem. Patří zde:

- Kapalinový teploměr

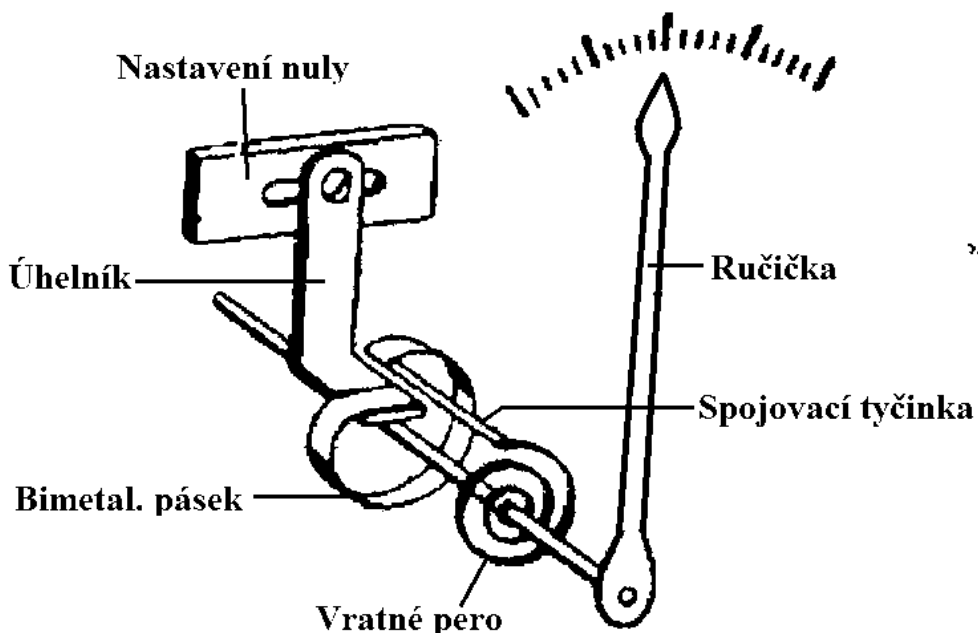
Ten pracuje na základě roztažnosti kapalin. Z tohoto hlediska se jako nejlépe vyhovující kapalina jeví rtuť a líh, a to z důvodu jejich velké roztažnosti.



Obr. 1 - Kapalinový teploměr [7]

- Bimetalový teploměr

Tyto teploměry využívají rozdílné roztažnosti kovů. Jsou konstruovány jako 2 kovové pásy z různých materiálů o různé roztažnosti, které jsou k sobě slisovány. při změně teploty se potom ručička teploměru vychýlí.



Obr. 2 - Bimetalový teploměr [13]

b) Bezdotykové teploměry - jsou neinvazivní.

- Termokamera

3.3. Teplotní stupnice

3.3.1. Definice teplotních stupnic

Tabulka 2 - Definice teplotních stupnic [7]

Stupnice	Kelvinova	Celsiova	Fahrenheitova	Rankinova	Delisleova	Newtonova	Réaumurova	Romero va
Jednotka	Kelvin	stupeň Celsia	stupeň Fahrenheita	stupeň Rankina	stupeň Delisla	stupeň Newtona	stupeň Réaumura	stupeň Romera
Značka	K	°C	°F	°Ra, °R	°De, °D	°N	°Ré, °Re, °R	°Ro
Dolní ref. teplota	T_0	T_t (H ₂ O)	T (chlad)***	T_0	T_t (H ₂ O)	T_t (H ₂ O)	T_t (H ₂ O)	T_t (sol.) ****
Hodnota	OK	0°C **	0°F	0°Ra	150°De	0°N	0°Ré	0°Ro



Horní referenční teplota	T_{tr}	$T_v(H_2O)$	$T_{těl}^{***}$	$1^\circ Ra = 1^\circ F$	$T_v(H_2O)$	$T_v(H_2O)$	$T_v(H_2O)$	$T_v(H_2O)$
Hodnota	273,16K *	100°C **	96°F		0°De	33 °N	80°Ré	60°Ro
Navrhl	W. Thomson lord Kelvin	Anders Celsius	Gabriel Fahrenheit	William Rankine	J.-N Delisle	Isaac Newton	R.-A. Ferchault de Réaumur	Ole Romer
Rok vzniku	1848	1742	1714	1859	1732	Asi 1700	1730	1701
Oblast používání	Celý svět	Celý svět	USA	USA	Rusko (19. stol)		Západní Evropa do konce 17. stol.	

T_0 - absolutní nula

T_t - bod tání

T_{tr} - trojný bod

T_v - bod varu

$T_{těl}$ - tělesná teplota

* - původně definovaná pomocí celsiovy stupnice (teplotní rozdíl $1K = 1^\circ C$)

** - referenční body byly v původním návrhu obrácené; dnes definována pomocí Kelvinovy stupnice

*** - teplota chladicí směsi ledu, vody, salmiaku, nebo mořské soli ($-17,8^\circ C$) a tělesná teplota zdravého člověka ($35,6^\circ C$)

**** - bod tání nasyceného roztoku seli ve vodě ($-14,3^\circ C$)

3.3.2. Přepočítání mezi stupnicemi používanými v současnosti

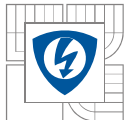
Tabulka 3 - Přepočítání teplot mezi stupnicemi používanými v současnosti [7]

DO/Z	Kelvinova T [K]	Celsiova t [°C]	Fahrenheitova t [°F]	Rankinova T [°Ra]
Kelvinova T [K]	T[K]	$t + 273,15$	$(t + 459,67) * 5/9$	$T * 5/9$
Celsiova t [°C]	$T - 273,15$	t	$(t - 32) * 5/9$	$T * 5/9 - 273,15$
Fahrenheitova t [-F]	$T * 1,8 - 459,67$	$T * 1,8 + 32$	t	$T - 459,67$
Rankinova T [°Ra]	$T * 1,8$	$t * 1,8 + 491,67$	$t + 459,67$	T

3.3.3. Vybrané teploty v jednotlivých stupnicích

Tabulka 4 - Vybrané teploty v jednotlivých stupnicích [7]

	Kelvinova	Celsiova	Fahrenheitova	Rankinova	Delisleova	Newtonova	Réamurova	Romerova
Značka	K	°C	°F	°Ra, °R	°De, °D	°N	°Ré, °Re, °R	°Ro
Absolutní nula	0	-273,15	-459,67	0	559,73	-90,14	-218,52	-135,9
Nejnižší	184	-89	-128,2	331,47	283,5	-29,37	-71,2	-39,23



zaznamenaná teplota na zemi (Antarktida)								
Fahrenheitova směs ledu a soli	255,37	-17,78	0	459,67	176,67	-5,87	-14,22	-1,83
Tání ledu (běžný tlak)	273,15	0	32	491,67	150	0	0	7,5
Průměrná teplota povrchu země	288	15	59	518,67	127,5	4,95	12	15,38
Průměrná teplota lidského těla	309,95	36,8	98,24	557,91	94,8	12,144	29,44	26,82
Nejvyšší zaznamenaná teplota na zemi (Libye)	331	58	136,4	596,07	63	19,14	46,4	37,95
Var vody (běžný tlak)	373,13	99,98	211,97	671,64	0	33	80	60
Tání titanu	1941	1668	3034	3494	-2352	550	1334	883
Povrch slunce	5800	5526	9980	10440	-8140	1823	4421	2909

3.4. Srovnání metod měření teploty

Jako nejpřesnější metoda měření se jeví měření termočlánkem, popřípadě termistorem. Důvodem je to, že se jedná o kontaktní měření a u termočlánku pro jeho citlivost, která se pohybuje v řádech $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, u termistoru máme zase přesně daný teplotní součinitel odporu pro danou teplotu.

Termokamera má oproti termočlánku a termistru nevýhodu v tom, že k udání přesné teploty potřebuje emisivitu měřeného materiálu. Její výhoda spočívá v tom, že na snímcích je dobře vidět, ve kterých místech je měřený objekt nejteplejší a nejchladnější.

4. TERMOELEKTRICKÉ JEVY

Pojmem termoelektrické jevy označujeme procesy, při kterých dochází k přeměně tepelné energie na elektrickou. Zařízení, v nichž k této přeměně dochází označujeme jako termoelektrické zdroje nebo také termoelektrické články, zkráceně termočlánky. O termoelektrických článcích bude pojednáno v kapitole 5.4 - Termočlánek.

Termoelektrické jevy úzce souvisí se vznikem elektrického potenciálu (napětí) na nerovnoměrně zahříváných koncích kovů nebo polovodičů a se zánikem tepla na styku dvou kovů nebo polovodičů při průchodu elektrického proudu.



4.1. Kontaktní napětí

Italský vědec a fyzik Alessandro Volta zjistil v roce 1795, při objasňování jevů pozorovaných při pokusech dalšího italského vědce, lékaře Luigiho Galvaniho, že při styku dvou různých kovů vzniká na jejich rozhraní elektrický potenciál - kontaktní napětí. Voltu upoutal fakt, že při pitvání žabích stehýnek se občas stehýnko zachvěje. Nejdřív tomuto projevu nevěnoval pozornost ani Volta, ani Galvani. Teprve později zjistili, že k záškubu dojde při kontaktu kovového skalpelu s kovovou podložkou.

Velikost kontaktního napětí není u všech dvojic materiálů stejná, ale závisí jednak na jejich chemickém složení a také na jejich teplotě. Četnými pokusy a výpočty dospěl A. Volta k sestavení prvků do tzv. řady elektrochemických potenciálů kovů, v níž má každý kov při styku s dalším kovem vždy kladný potenciál. Sestavení kovů bylo následující

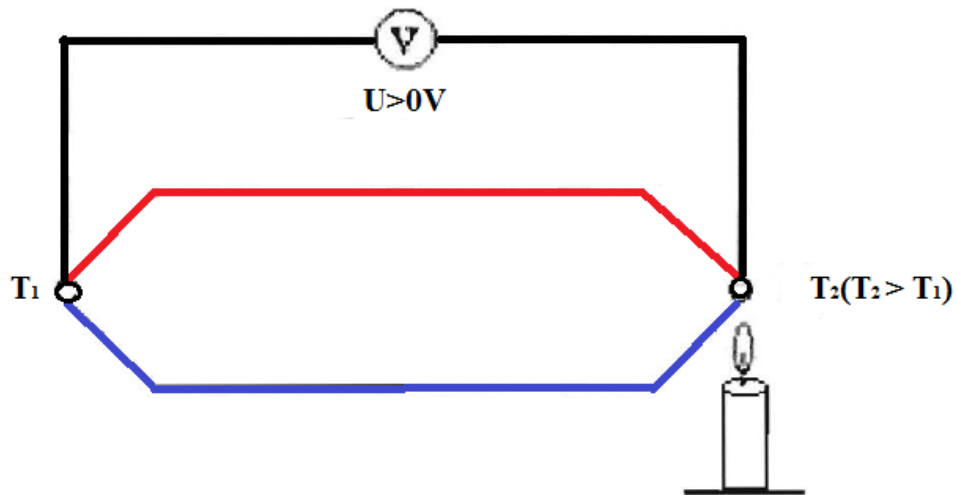
+ Al, Zn, Pb, Sn, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd -

Tohoto jevu nelze využít jako zdroje elektrického proudu, protože v uzavřené soustavě, kde je teplota obou konců kovu stejná se kontaktní napětí vyruší.

4.2. Seebeckův jev

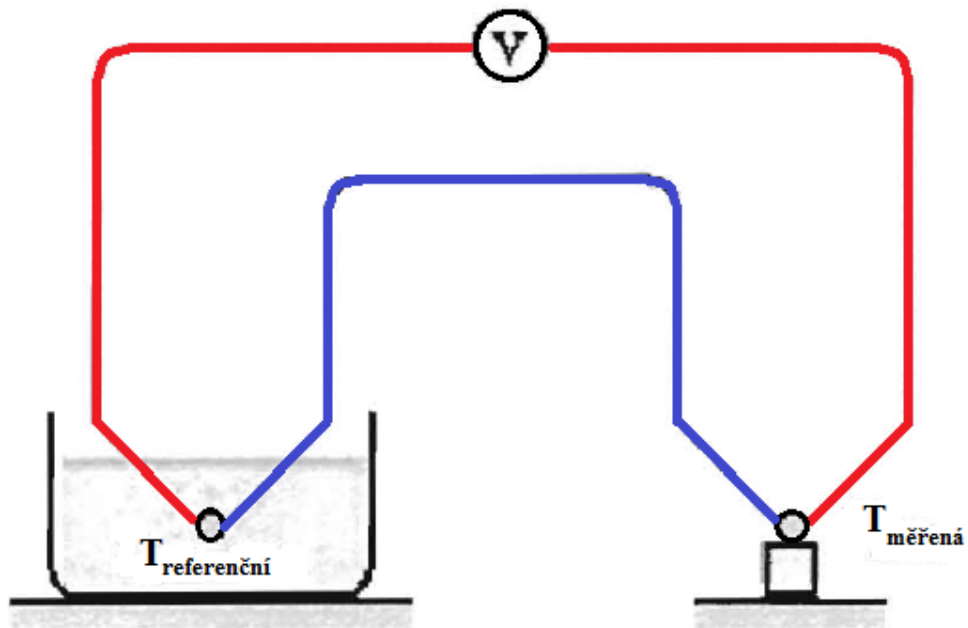
Jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů tak, že tvoří termočlánek a mají-li rozdílnou teplotu, jsou také jejich kontaktní napětí různá a rozdíl potenciálů je nenulový. Termočlánek lze v tomto případě použít jako zdroj elektrického napětí. Tento jev se nazývá po svém objeviteli Thomasi Johannovi Seebeckovi. Ten výsledek svého bádání formuloval takto:

V neuzavřeném obvodu lze mezi oběma spoji dvou kovů naměřit termoelektrické napětí ΔU , které je dáno rozdílem kontaktních napětí vznikajících na obou spojích. Tato formulace byla přejata z encyklopedie fyziky.



Obr. 3 - Princip Seebeckova jevu [9]

Pomocí Seebeckova jevu lze měřit teplotu. Jeden konec termočláнку má referenční teplotu, kterou udržujeme s největší možnou přesností. Druhý konec má měřenou teplotu. Pomocí voltmetru měříme termoelektrické napětí, ze kterého jsme schopni určit rozdíl teplot a tedy i teplotu druhého konce.



Obr. 4 - Měření teploty pomocí Seebeckova jevu [9]

4.3. Peltierův jev

Peltierův jev je inverzním jevem k Seebeckovu jevu. Nese název po svém objeviteli, jímž se stal v roce 1834 francouzský fyzik Jean Charles Athanase Peltier.

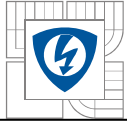


Peltier zjistil, že protéká-li stejnosměrný proud rozhraním dvou různých kovů, tak se kontaktní plocha těchto kovů ohřívá, nebo ochlazuje a to podle toho jakým směrem proud protéká.

Peltierovy články se využívají jako chladiče pro zesilovače, mikroprocesory, přenosné ledničky a chladicí boxy.

4.4. Thomsonův jev

Třetí termoelektrický jev objevil a experimentálně potvrdil W.Thomson (1824-1907) následujícím experimentem. Jestliže dlouhou kovovou tyč zahříváme v jejím středu, vznikne na obě strany teplotní spád. Oba konce budou mít stejnou teplotu. Jestliže současně tyčí prochází jedním směrem elektrický proud, zjistíme, že jedna strana tyče se proti předchozímu stavu ochladí a druhá ohřeje. Rozdělení teploty je nesouměrné.



5. TEPLOTNĚ ZÁVISLÉ ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY A ZAŘÍZENÍ

Tyto součástky a prvky se vyznačují změnou svých parametrů v závislosti na teplotě. Nejčastěji se používají následující součástky.

5.1. Termistor (NTC, Negative Temperature Coefficient)

Neboli negativní termistor je polovodičová součástka bez přechodu PN. Její nejdůležitější vlastností je velký záporný teplotní součinitel odporu α , díky čemuž dochází k výraznému poklesu odporu se vzrůstající teplotou. Hodnota teplotního součinitele odporu není konstantní při všech teplotách, proto ani teplotní závislost odporu není lineární. Hodnoty teplotních součinitelů odporu lze vyhledat v tabulkách.

Využití termistorů je především v automatizační a řídicí technice, kde slouží jako snímače teploty.

Termistory se vyrábějí práškovou technologií ze směsi oxidů a karbidů kovů, nejčastěji manganu, železa, niklu a kobaltu, a z křemíku. V závislosti na použití mohou mít různé tvary:

- Tyčinkové
- Destičkové
- Perličkové

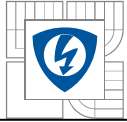
5.2. Pozistor (PTC, Positive Temperature Coefficient)

Neboli pozitivní termistor je, stejně jako termistor, symetrická nelineární součástka se značnou teplotní závislostí odporu. Na rozdíl od termistoru má ale kladný teplotní součinitel odporu α . Jeho odpor při nízkých teplotách zvolna vzrůstá a při určité teplotě prudce vzroste o několik řádů. Při dalším zvyšování teploty k mírnému postupnému poklesu odporu. Právě kvůli této vlastnosti jsou pozistory využívány jako teplotní čidla.

Materiálem pro jeho výrobu je polykrystalická ferroelektrická keramika (titaničitan barnatý).

5.3. Monokrystalický snímač teploty bez PN přechodu

Pracuje na principu kuželovitého rozptylu elektrického proudu mezi dvěma elektrodami. Rozptyl nosičů je přímo úměrný jejich pohyblivosti a ta zase je úměrná teplotě.



Monokrystalické snímače se vyrábějí z polovodiče s nevlastní vodivostí typu N (z křemíku), jejich teplotní rozsah je od -50°C do $+150^{\circ}\text{C}$.

5.4. Termočlánek

Neboli termoelektrický článek je zdroj elektrického proudu, používaný především jako teplotní čidlo pro teploty v řádech stovek $^{\circ}\text{C}$. Citlivost se pohybuje v řádech desítek $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Jejich velkou výhodou je že přímo dodávají elektrický signál, který lze přenášet na dálku po vedení. Využívá principu termoelektrického jevu. Může být případně používán také jako spolehlivý zdroj elektrického proudu, ale jeho účinnost a výkon jsou malé.

Skládá se ze dvou kovů zapojených do série se dvěma spoji (kov A - spoj AB - kov B - spoj BA - kov A). Mají-li spoje navzájem různou teplotu, vzniká na každém ze spojů rozdíl potenciálů - kontaktní potenciál, který je zdrojem proudu. Příčinou vzniku tohoto potenciálu je difúze elektronů z jednoho kovu do druhého. Kontaktní potenciál pro různé dvojice kovů různé hodnoty a jeho velikost se zvyšuje s teplotou. Teplotní závislost je téměř lineární.

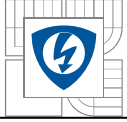
Termoelektrický článek má dva konce - měřicí a porovnávací. Při rozdílných teplotách obou konců naměříme na článku termoelektrické napětí, které je dáno rozdílem kontaktních potenciálů na měřicím (teplém) a porovnávacím (studeném) konci.

Termočlánky dělíme dle použitých kovů a maximální teploty:

- Typ B: $0 - 1700^{\circ}\text{C}$
- Typ C: $0 - 2300^{\circ}\text{C}$
- Typ D: $0 - 2300^{\circ}\text{C}$
- Typ E: $-200 - 950^{\circ}\text{C}$ (Chromel - Konstantan)
- Typ G: $0 - 2300^{\circ}\text{C}$
- Typ J: $0 - 750^{\circ}\text{C}$ (Železo - Konstantan)
- Typ K: $-200 - 1300^{\circ}\text{C}$ (Chromel - Alumen)
- Typ N: $-270 - 1300^{\circ}\text{C}$
- Typ R: $0 - 1450^{\circ}\text{C}$, krátkodobě až 1600°C (Platinarhodium - Platina)
- Typ S: $0 - 1400^{\circ}\text{C}$
- Typ E: $-250 - 350^{\circ}\text{C}$
- Typ T: $-200 - 400^{\circ}\text{C}$, krátkodobě až 600°C (Měď - Konstantan)

V elektrotechnické praxi se nejčastěji používají termoelektrické články s kombinací kovů:

měď - konstantan (Cu-Ko)	s termoelektrickým napětím $4,25 \text{ mV}/100^{\circ}$
železo - konstantan (Fe - Ko)	s termoelektrickým napětím $5,37 \text{ mV}/100^{\circ}$
niklchrom - nikl (NiCr - Ni)	s termoelektrickým napětím $4,04 \text{ mV}/100^{\circ}$
platinarhodium - platina (PtRh - Pt)	s termoelektrickým napětím $0,64 \text{ mV}/100^{\circ}$



5.5. Termokamera

Je to speciální přístroj, který na principu infračerveného záření zaznamená na fotografii teplotní pole povrchu látek. Patří k nejprogresivnějším metodám měření teplotních polí. Jedná se o metodu zjišťování teplotních polí na povrchu materiálů pomocí měření intenzity infračerveného záření. Termovizní systém zaznamená tuto energii bezkontaktním měřením a převede ji na elektrické signály pomocí citlivého infračerveného detektoru. Výstupem je dvourozměrný barevný, nebo monochromatický obraz tepelného pole. Měření pomocí termokamery je bezkontaktní a umožňuje snímání dynamického teplotního pole. Měření povrchové teploty těles na celém povrchu současně a možnost zobrazení tohoto pole má široké uplatnění ve stavebnictví, elektrotechnice, průmyslu, lékařství, při diagnostice provozu strojů a strojních zařízení, v protipožární technice a při optimalizaci strojních konstrukcí.

6. MĚŘENÍ NA ELEKTRICKÉM STROJI

6.1. Zadání

- Zvolenou metodou proveďte měření oteplení na motoru.

6.2. Použité přístroje

Tabulka 5 - Použité přístroje

Přístroj	Výrobce	Typ
Termočlánek T_1 - statický		T
Termočlánek T_2 - dotykový		T
Diferenciální teploměr	Extech	HD200

6.3. Údaje o měřeném motoru

Výrobce: BOYANG

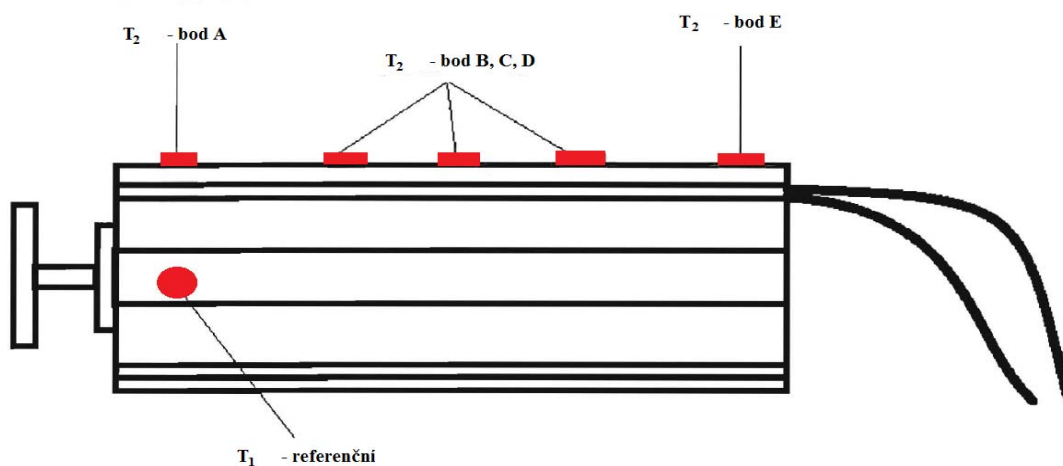
Typ: BY92BL48 - 40000 - 2200

Další údaje: 48V DC; 4000RPM; 2200W;

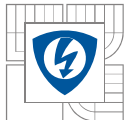
Motor bez zátěže

Napájení: 29,8V; 4A

6.4. Místa měření na motoru



Obr. 5 - Měřená místa na motoru

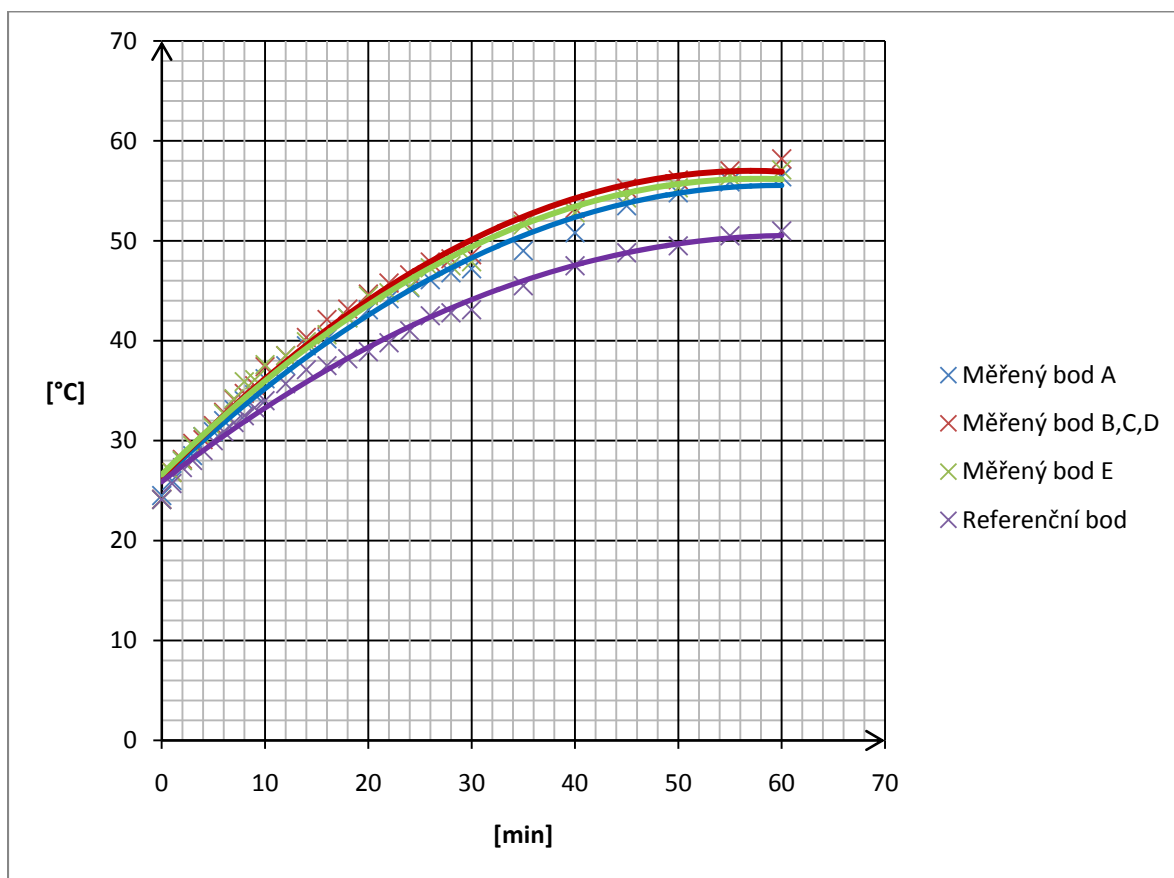


6.5. Tabulka naměřených hodnot

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty

Čas	Termočlánek 1	Termočlánek 2		
		A	Průměr BCD	E
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	24,1	24,5	24,13	24,1
1	25,7	26	26,83	26,8
2	27,3	28	28,13	28
3	28	28,5	29,73	29,5
4	29	30,4	30,1	30,4
5	30	30,9	31,5	31,3
6	30,9	32	32,83	32,7
7	31,8	33,1	34,1	34,2
8	32,5	34	34,73	35,9
9	33,3	34,6	35,5	36,1
10	34	36,2	37,4	37,6
12	35,7	37,5	38,5	38,5
14	37,1	39,5	40,33	39,9
16	37,5	40,2	42,13	40,6
18	38,2	42,3	43,17	42,3
20	38,9	43,1	44,67	44,5
22	39,8	44,2	45,77	44,8
24	41	45,3	46,6	45,4
26	42,5	46,1	47,87	47,3
28	42,8	46,8	48,2	47,5
30	43,1	47,2	48,6	47,9
35	45,5	49	51,97	51,6
40	47,5	50,8	53,23	52,8
45	48,8	53,5	55,27	54,3
50	49,5	54,8	56,1	55,3
55	50,5	55,9	57	56,5
60	51	56,4	58,2	57,1

6.6. Graf oteplení



Obr. 6 - Graf průběhu oteplení

6.7. Výpočet absolutní a relativní chyby měření

Tabulka 7 - Absolutní a relativní chyby měření

Absolutní chyby			Relativní chyby		
$\Delta\vartheta_A$	$\Delta\vartheta_{BCD}$	$\Delta\vartheta_E$	$\delta\vartheta_A$	$\delta\vartheta_{BCD}$	$\delta\vartheta_E$
[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]
0,4	0,03	0	1,66	0,12	0,00
0,3	1,13	1,1	1,17	4,40	4,28
0,7	0,83	0,7	2,56	3,04	2,56
0,5	1,73	1,5	1,79	6,18	5,36
1,4	1,1	1,4	4,83	3,79	4,83
0,9	1,5	1,3	3,00	5,00	4,33
1,1	1,93	1,8	3,56	6,25	5,83
1,3	2,3	2,4	4,09	7,23	7,55
1,5	2,23	3,4	4,62	6,86	10,46



1,3	2,2	2,8	3,90	6,61	8,41
2,2	3,4	3,6	6,47	10,00	10,59
1,8	2,8	2,8	5,04	7,84	7,84
2,4	3,23	2,8	6,47	8,71	7,55
2,7	4,63	3,1	7,20	12,35	8,27
4,1	4,97	4,1	10,73	13,01	10,73
4,2	5,77	5,6	10,80	14,83	14,40
4,4	5,97	5	11,06	15,00	12,56
4,3	5,6	4,4	10,49	13,66	10,73
3,6	5,37	4,8	8,47	12,64	11,29
4	5,4	4,7	9,35	12,62	10,98
4,1	5,5	4,8	9,51	12,76	11,14
3,5	6,47	6,1	7,69	14,22	13,41
3,3	5,73	5,3	6,95	12,06	11,16
4,7	6,47	5,5	9,63	13,26	11,27
5,3	6,6	5,8	10,71	13,33	11,72
5,4	6,5	6	10,69	12,87	11,88
5,4	7,2	6,1	10,59	14,12	11,96

Příklady výpočtů pro 2. řádek měřeného bodu A:

Absolutní chyba:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{naměřená}} - \vartheta_{\text{referenční}} \quad [^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}] \quad [6.1]$$

$$\Delta\vartheta A = 26 - 25,7 = 0,3^{\circ}\text{C}$$

,kde

$\Delta\vartheta$... rozdíl teplot

$\vartheta_{\text{naměřená}}$... naměřená hodnota teploty

$\vartheta_{\text{referenční}}$... referenční hodnota teploty

Relativní chyba:

$$\delta\vartheta = \frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_{\text{referenční}}} \cdot 100 \quad [\%, ^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}] \quad [6.2]$$

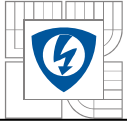
$$\delta\vartheta = \frac{0,3}{25,7} \cdot 100 = 1,17$$

,kde

$\delta\vartheta$... relativní chyba měření

$\Delta\vartheta$... rozdíl teplot

$\vartheta_{\text{referenční}}$... referenční hodnota teploty



6.8. Závěr

Z měření jsme zjistili, že měřený motor má poměrně značné tepelné ztráty. Na začátku měření bylo nejteplejší místo na přívodních kabelech. Při dalších měřeních už bylo v přímo na těle motoru. Absolutní a relativní chyby se se vzrůstající teplotou zvětšovaly. Nejvyšší hodnota absolutní chyby byla $7,2^{\circ}\text{C}$ v čase $t = 60$ min, referenční teplotě 51°C a v bodě BCD. Nejvyšší hodnota relativní chyby byla $14,12\%$. Nejnižší hodnota obou chyb byla na začátku měření v bodě E a její hodnota byla 0.

7. NÁVRH MĚŘÍCIHO PŘÍPRAVKU

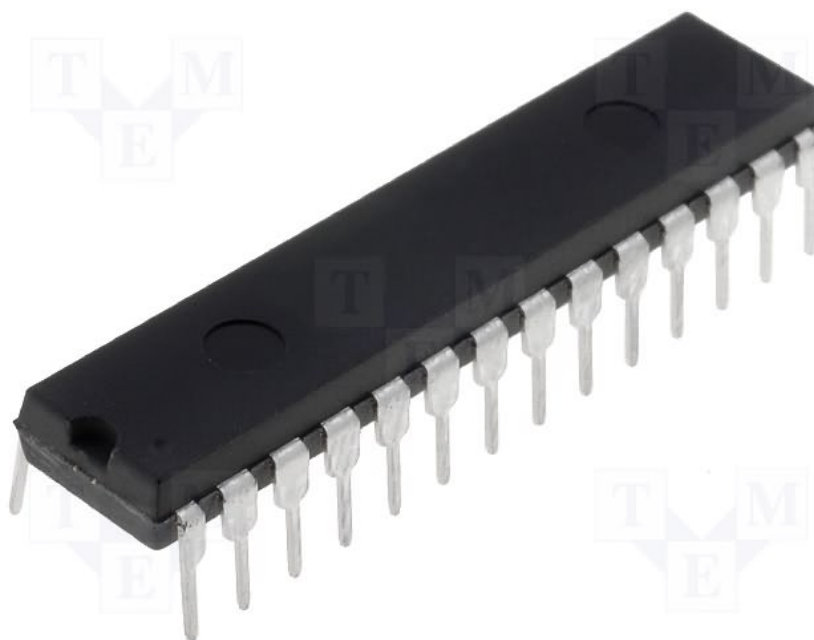
Zde jsme navrhli měřicí přístroj na bezdrátové měření teploty stroje. Čidlo AD22100, které posílá analogový signál do mikrokontroléru Atmega8-16PU. Ten analogový signál digitalizuje a dále vysílá pomocí USART (Universal asynchronous receiver/transmitter) do bluetooth modulu BMT 112. Modul vysílá signál bezdrátově na další přijímač. Viz obr. 13 - Blokové schéma měřícího přípravku.

7.1. Tabulka použitých součástek

Tabulka 8 - Seznam použitých součástek

Součástka	Výrobce
Mikrokontrolér Atmega8-16PU	Atmel
Bluetooth modul BMT 112	Rayson
Teplotní čidlo AD22100	Analog devices

7.2. Mikrokontrolér Atmega8-16PU

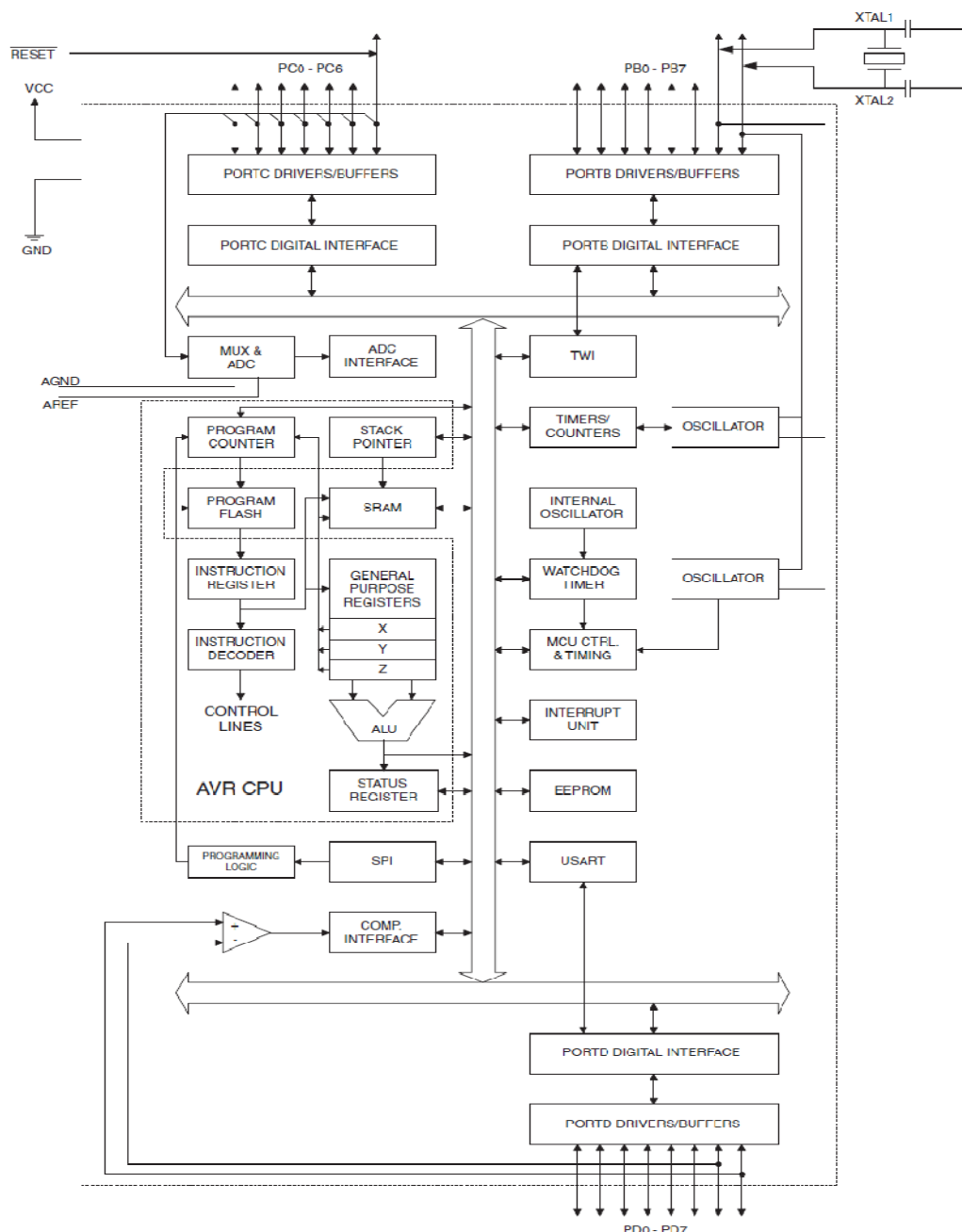


Obr. 7 - Mikrokontrolér Atmega8-16PU [16]

Jedná se osmibitový procesor, obsahující 8 kbitovou programovatelnou flash paměť, 512 bajtů EEPROM a 1 kbajt Sramm. Dále obsahuje dva 8 bitové a jeden 16 bitový časovač / čítač. Další částí je oscilátor pracující v reálném čase / "realtime" s odděleným oscilátorem / . Součástí jsou tři kanály pulzní šířkové modulace, 6-ti kanálový A/D převodník. Další částí je programovatelný USART, Master/Slave SPI – rozhraní, programovatelný Watchdog-časovač s odděleným časovačem a integrovaný analogový komparátor.

Toto provedení má 28 nožek, z toho je 23 programovatelných vstupů/ výstupů . Napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí od 4,5 do 5,5V. Rychlost taktu je 16 MHz. Tento mikrokontrolér obsahuje tato sériová rozhraní: SPI; TWI; USART.

7.2.1. Blokové schéma vnitřního zapojení



Obr. 8 - Blokové schéma vnitřního zapojení mikrokontroléru Atmega8-16PU [16]

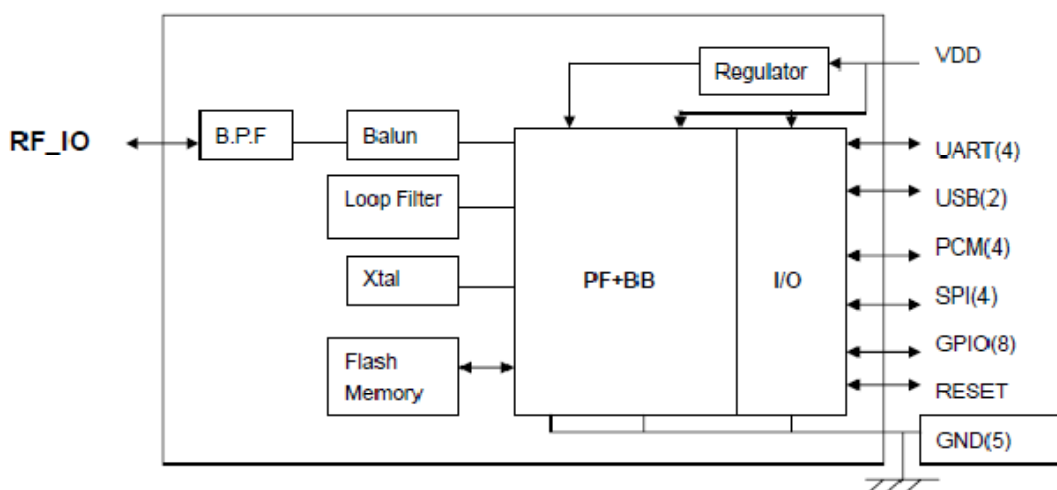
7.3. Bluetooth modul BMT 112



Obr. 9 - Bluetooth modul BMT 112 [16]

Tento modul obsahuje bluetooth standard 2.0. Napájení modulu se může pohybovat v mezích od 3.0 do 3.6V. Podporuje komunikační rozhraní USB, UART a PCM. Frekvence síťe je v mezích od 2,402 do 2,48 GHz.

7.3.1. Blokové schéma vnitřního zapojení

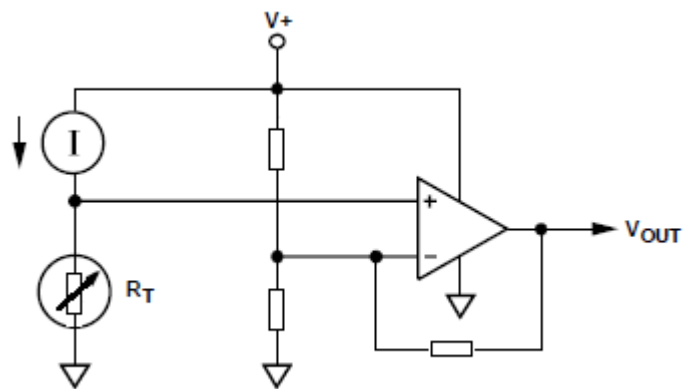


Obr. 10 - Blokové schéma bluetooth modulu BMT 112 [16]

7.4. Teplotní čidlo AD22100

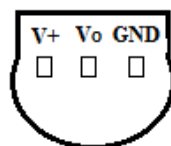
Toto čidlo pracuje na principu termistoru a obsahuje převodní čip signálu. Operační teplota je od -50°C do 150°C . Čidlo je konstruováno jako 3 pinové (napájecí pin, uzemnění a výstupní signál).

7.4.1. Blokové schéma



Obr. 11 - Blokové schéma teplotního čidla AD22100 [16]

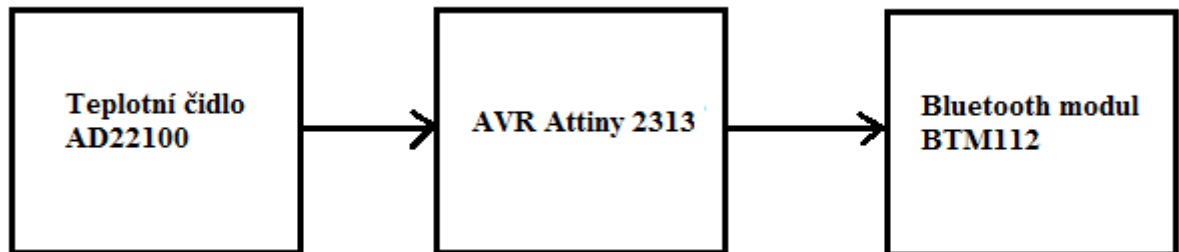
7.4.2. Uspořádání vývodů



Obr. 12 - Uspořádání vývodů teplotního čidla AD22100 [16]

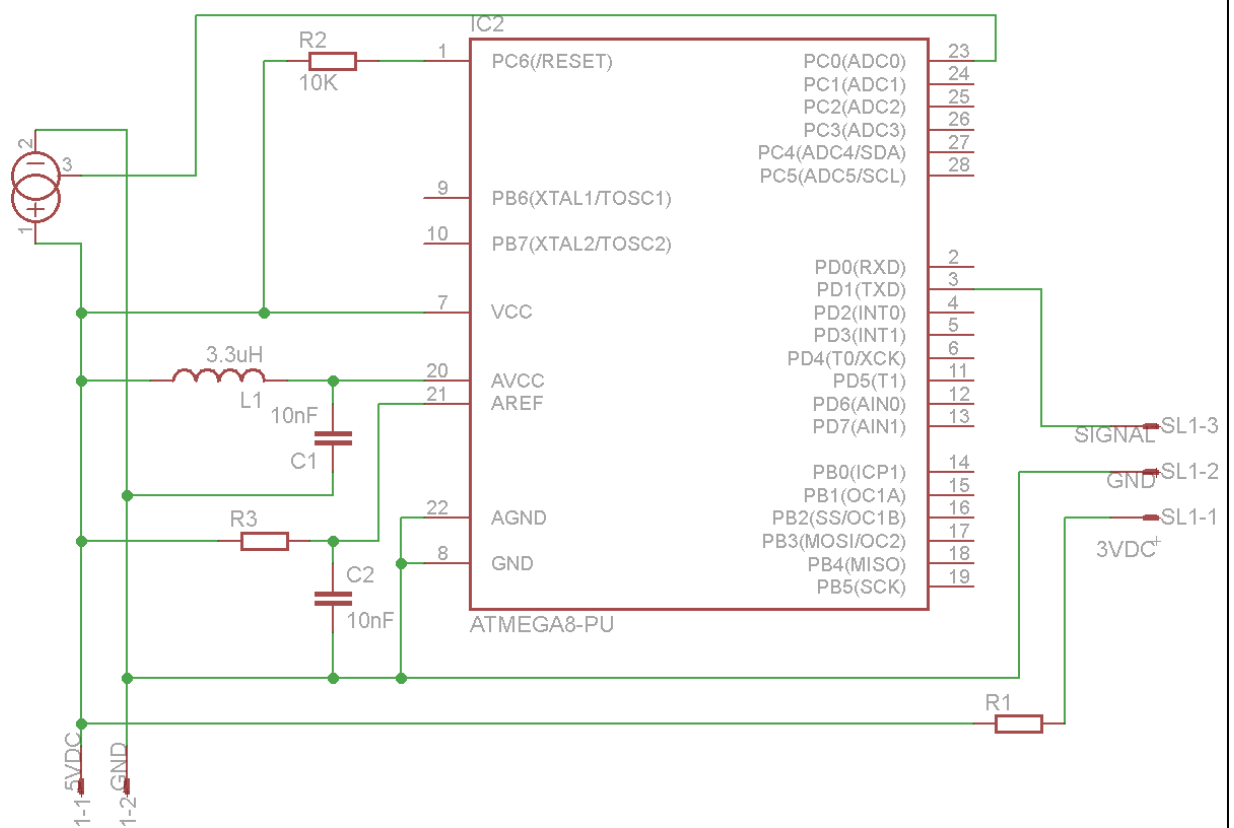
7.5. Schémata návrhu měřicího přípravku

7.5.1. Blokové schéma



Obr. 13 - Blokové schéma měřicího přípravku

7.5.2. Schéma zapojení



Obr. 14 - Schéma zapojení měřicího přípravku



7.5.3. Popis zapojení

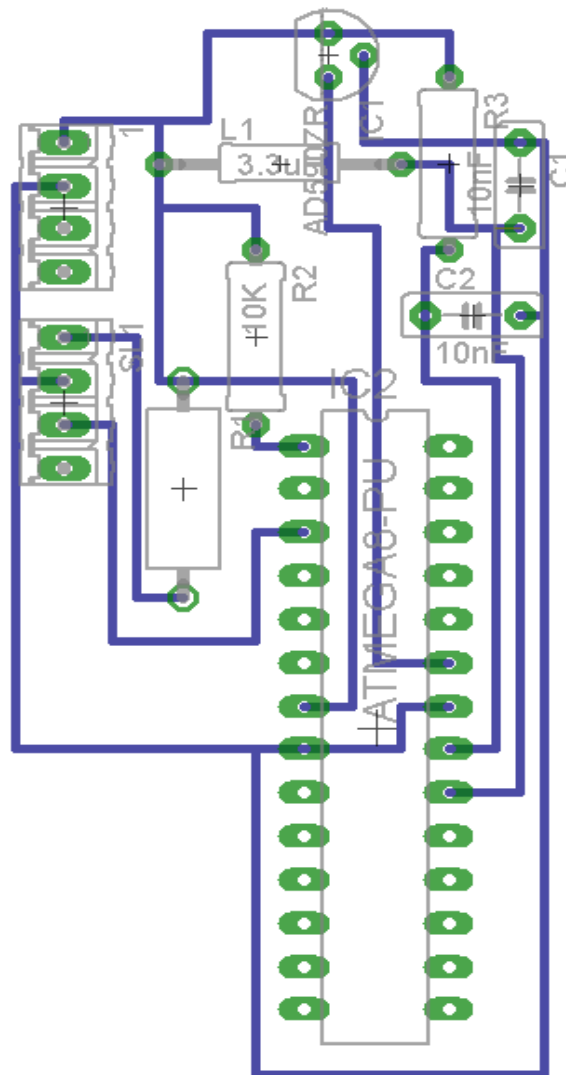
Základem celého přístroje je jednočipový mikrokontrolér ATMEGA8 pracující na frekvenci 16MHz, která je řízená vnitřním RC oscilátorem. Napájecí napětí mikrokontroléru je 5V a z důvodu dobře pracujících nulovacích obvodů není nutné používat napěťový Watchdog a vývod Reset mikrokontroléru stačí uvést do logické 1. Napájení analogové části mikrokontroléru je odděleno tlumivkou L a kondenzátorem C. Na vývod AREF je přivedeno vnitřní referenční napětí 2,56V se kterým pracuje vnitřní 10-ti bitový A/D převodník.

Na vývod PC0 je přiveden analogový signál z čidla. Tento signál je zpracován a dále vysílán z vývodu PD1 do bluetooth modulu.

Hodnoty odporů R_1 a R_3 se zvolí v závislosti na hodnotě napájecího proudu.

Jako zdroj lze využít akumulátor, nebo pevný zdroj.

7.5.4. Zapojení na desce

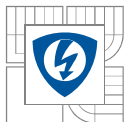


Obr. 15 - Uspořádání součástek měřicího přípravku na desce

7.6. Shrnutí výhod a nevýhod

Výhodou návrhu je malá velikost a bezdrátový přenos dat, tudíž se dá teplota pozorovat například z jiné místnosti a to vše v reálném čase. Další výhodou je cena a nezávislost na speciálním přijímači.

Nevýhodou může být závislost na zdroji napětí (v případě využití stacionárního zdroje místo akumulátoru).

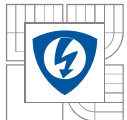


7.7. Ekonomická rozvaha

Tabulka 9 - Ceny jednotlivých součástek

Součástka	Cena/ks	Počet součástek	Celková cena
Atmega8-16PU	35 Kč	1	35 Kč
AD22100	71 Kč	1	71 Kč
BMT 112	293 Kč	1	293 Kč
Rezistor	0,5 Kč	3	1,5 Kč
Kondenzátor	50 Kč	2	100 Kč
Práce	700 Kč	1	700 Kč
Konečná cena		1200,5 Kč	

Cena obdobného přípravku od firmy Omega typ UWTC-1 je 3500 Kč a cena přijímače od stejné firmy model UWTC-REC1 je 6300 Kč. Tyto ceny jsou uvedeny bez DPH.



8. ZÁVĚR

V rámci této práce jsem se seznámil s různými druhy měřících zařízení teploty. Z hlediska měření teploty se mi jeví jako nejvhodnější termočlánek a termistor. Pozistor je vhodný spíše k indikaci dosažení určité teploty (použití například jako tepelná pojistka), než k jejímu kontinuálnímu měření. Dále se pro měření teploty používá například bimetalový teploměr, jenž pracuje na základě rozdílné roztažnosti různých kovů, nebo kapalinový teploměr, jehož náplň tvoří rtuť, nebo jiná tepelně roztažná kapalina.

Při měření oteplení jsem použil termočlánek typu T, což je nejpoužívanější typ termočlánek. Materiál, z něhož je vyroben je měď - konstantan (Cu-Ko) a jeho termoelektrické napětí je $4,25 \text{ mV}/100^\circ$. Jeho měřicí rozsah je -200°C až 400°C (krátkodobě 600°C) a vzhledem k teplotě okolí a provozní teplotě motoru je tento teplotní rozsah zcela dostačující. Tyto termistory mohou mít různé provedení. Dle mého názoru se nejpřesnějšího měření dosáhne fixně připevněným termočlánkem. Při použití příložného termočlánek se mohou vyskytnou chyby měření v důsledku přikládání pod různými úhly, což má za následek rozdílnou velikost kontaktní plochy mezi termočlánkem a měřeným motorem.

Návrh bezdrátového měřícího přípravku je popsán v kapitole 7. Z důvodu přesnosti měření jsme použili termistor. Dále jsme použili A/D převodník k digitalizaci signálu a bluetooth modul k bezdrátovému přenosu signálu.



LITERATURA

Knihy

tištěný zdroj

- [1] BENEŠ, P., A KOL.: Automatizace a automatizační technika - Prostředky automatizační techniky, Praha: 1999.
- [2] BRÝDL, Z.: Elektronická zařízení - Řídící a měřící technika, Praha: SNTL 1985.
- [3] HORÁK, Z., KRUPKA, F.: Základy technické fyziky I, Praha: ČVUT.
- [4] LEPIL, O., BEDNAŘÍK, M., HÝBLOVÁ, R.: Fyzika pro střední školy, Praha: Prometheus 1993.
- [5] RYCHLÝ, R.: Automatické řízení I, Praha SNTL 1987.
- [6] SYROVÝ, A.: Fyzika IIA, VUT Brno 1970.

www stránky:

- [7] <http://cs.pandapedia.com/wiki/Teplota>
- [8] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fyzika>
- [9] <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=910>
- [10] <http://knaufinsulation.cz/termokamera>
- [11] <http://pro-pasiv.cz/oblasti-pouziti/elektro>
- [12] <http://www.etm.cz/rubriky/meraky/385-mereni-teploty>
- [13] <http://www.palba.cz>
- [14] <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>
- [15] <http://www.svetelektrotechniky.ic.cz>
- [16] <http://www.tme.cz>
- [17] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=925&h=2&th=56>
- [18] <http://www.vosost.cz>