



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘENÍ VELIČIN PRO METEOROLOGII

MEASUREMENT OF METEOROLOGICAL VARIABLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Škorpík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Daniel Škorpík

ID: 155606

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Měření veličin pro meteorologii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Prostudujte, které veličiny se měří v meteorologii a jaká je jejich důležitost. Rozeberte principy metod pro jejich měření. 2) Stanovte požadavky na přesnost snímačů jednotlivých veličin, požadavky na umístění snímačů z hlediska minimálního nežádoucího ovlivnění získaného údaje. 3) Navrhněte možnosti dálkového přenosu meteorologických dat na kratší vzdálenosti s cílem použít tato data pro další vyhodnocení. 4) Navrhněte blokové schéma anemometru s termistory a definujte vlastnosti dílčích bloků. 5) Navrhněte měřič síly větru s bateriovým napájením, používající pro měření rychlosti větru termistorové čidlo. 6) Měřič realizujte a ověřte jeho funkci. 7) Výsledky zhodnoťte a proveďte diskuzi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HUDEC, F. , Základy meteorologie, geologie a klimatologie, dostupné na: www.balon.cz/download/meteo/LM-01.ppt

[2] BEDNÁŘ, J., KOPÁČEK, J., Jak vzniká počasí, Nakladatelství Karolinum 2005, 228 s. ISBN 80- 246-1002-7.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 27.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o základních meteorologických veličinách, zejména o proudění vzduchu a teplotě. Tyto veličiny jsou měřeny za pomoci anemometru, který využívá odporových senzorů, konkrétně se jedná o dva termistory typu NTC. Následně je popsána technologie, provoz, metody snímání a umístění čidla. Dále je navrženo blokové schéma a schéma obvodu. Měřidlo je realizováno, jsou popsány jednotlivé komponenty a je následně kalibrováno a testováno. Na závěr je zhodnoceno pro využití v lékařství.

KLÍČOVÁ SLOVA

Meteorologie, vítr, teplota, anemometr, odporový senzor, termistor, termočlánek, NTC, PTC, A/D převodník, displej LCD, displej LED, zesilovač, tranzistor, měnič, stabilizátor, dioda, tlumivka, digitální panelový voltmetr, Baterie.

ABSTRACT

This bachelor thesis discusses about the basic meteorological variables, especially temperature and airflow. These magnitudes are measured using an anemometer which uses resistive sensors, namely, two thermistors of NTC type that described technology, operations, methods of scanning, sensor placement and implementation of such a device. After that was designed block diagram and circuit diagram. The meter is realized, than we describe the individual components and then is calibrated and tested. In conclusion, it is evaluated for use in medicine.

KEYWORDS

Meteorology, wind, temperature, anemometer, resistive sensor, thermistor, thermocouple, NTC, PTC, A/D converter, LCD display, LED display, amplifier, transistor, converter, stabilizer, diode, inductor, digital panel voltmeter, battery.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

ŠKORPÍK, D. *Měření veličin pro meteorologii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Chmelař, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Měření veličin pro meteorologii vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, 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 práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

Daniel Škorpík

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSs. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

Daniel Škorpík

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 2.1: Synoptická mapa Evropy. Převzato z [2].....	12
Obr. 2.2: Snímač směru proudění vzduchu. Převzato z [4].....	14
Obr. 2.3: Teplotní stupnice. Převzato z [6]	15
Obr. 3.1: Miskový anemometr. Převzato z [6].....	16
Obr. 3.2: Anemometr se žhaveným drátkem. Převzato z [6].....	18
Obr. 4.1: Závislost odporu na teplotě u termistorů PTC a NTC. Převzato z [7].....	20
Obr. 4.2: Princip termočlánku. Převzato z [7].....	21
Obr. 5.1: Druhá metoda – jeden termistor. Převzato z [8]	23
Obr. 5.2: První metoda – dva termistory. Převzato z [8].....	24
Obr. 5.3: Druhá metoda – jeden termistor. Převzato z [8]	24
Obr. 5.4: Dva termistory. Převzato z [8]	25
Obr. 6.1: Blokové schéma anemometru.	26
Obr. 6.2: Zapojení ICL7106 k displeji LCD . Převzato z [10].....	27
Obr. 6.3: LCD displej. Převzato z [10]	27
Obr. 7.1: Schéma obvodu termistorového anemometru.....	28
Obr. 7.2: Graf závislosti odporu na teplotě pro termistor R8 (220 Ω).....	30
Obr. 7.3: Graf závislosti odporu na teplotě pro termistor R1 (12k Ω).....	30
Obr. 7.4: Termistorová čidla R1 a R8. Převzato z [12].....	32
Obr. 7.5: Zesilovač LMP741. Převzato z [12]	32
Obr. 7.6: Schéma obvodu napájecího zdroje.....	34
Obr. 7.7: Blokové schéma stabilizátoru IC4. Převzato z [12].....	36
Obr. 7.8: Blokové schéma MC34063AP. Převzato z [12]	36
Obr. 7.9: Princip zapojení zvyšujícího měniče. Převzato z [12].....	37
Obr. 7.10: Graf napěťových špiček. Převzato z [12].....	38
Obr. 7.11: Příklad zvyšujícího měniče. Převzato z [12].....	39
Obr. 7.12:Měnič DC1. Převzato z [12]	41
Obr. 7.13: Digitální panelový voltmetr. Převzato z [12].....	42
Obr. 8.1: Realizované zařízení – pohled shora.....	43
Obr. 8.2: Realizované zařízení – pohled zespodu.	44
Obr. 8.3: Signál rušený napěťovými špičkami.....	45

Obr. 8.4: Filtrovaný signál	45
Obr. 8.5: Výstupní napětí	46
Obr. 8.6: Blokové schéma zpracování naměřených dat.	46

SEZNAM TABULEK:

Tab. 2.1: Beaufortova stupnice.	14
Tab. 4.1: Výhody a nevýhody jednotlivých senzorů.....	21
Tab. 7.1: Názvy a hodnoty součástí termistorového anemometru.....	29
Tab. 7.2: Názvy a hodnoty součástí napájecího zdroje.	34
Tab. 0.1: Rozpis součástí.....	51

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	METEOROLOGIE	12
2.1	Vítr	13
2.1.1	Měření směru proudění vzduchu	13
2.1.2	Měření rychlosti proudění vzduchu	14
2.2	Teplota	14
2.2.1	Měření teploty vzduchu	15
3	ANEMOMETRY	16
3.1	Miskové anemometry.....	16
3.2	Lopátkové anemometry	17
3.3	Tlakové anemometry	17
3.4	Tepelné anemometry	17
3.4.1	Anemometr se žhaveným drátkem.....	17
3.4.2	Anemometr s tepelným senzorem.....	18
3.5	Speciální anemometry	18
4	SENZORY	19
4.1	Kovové odporové senzory	19
4.2	Polovodičové odporové senzory	20
4.2.1	Termistory	20
4.3	Termočlánky	20
5	TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ANEMOMETRŮ	22
5.1	Provoz tepelných anemometrů	23
5.2	Teplotní kompenzace	23
5.3	Správné umístění čidla a jeho realizace.....	25
6	BLOKOVÉ SCHÉMA ANEMOMETRU	26
6.1	Rozbor součástí.....	26
7	SCHÉMA OBVODU	28
7.1	Termistorový anemometr.....	28

7.1.1	Popis termistorového anemometru.....	29
7.1.2	Rozbor součástí termistorového anemometru:.....	31
7.2	Napájecí zdroj.....	33
7.2.1	Popis napájecího zdroje	34
7.2.2	Rozbor součástí napájecího zdroje.....	35
8	REALIZACE.....	43
8.1	Pohled shora.....	43
8.2	Pohled zespodu.....	44
8.3	Kalibrace	44
8.4	Testování.....	45
8.5	Zpracování naměřených dat	46
8.6	Využití anemometru v lékařství.....	46
9	ZÁVĚR.....	47
	LITERATURA	48
	SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	49
A	NÁVRH ZAŘÍZENÍ.....	50
A.1	Obvodové zapojení termistorového anemometru	50
A.2	Obvodové zapojení napájecího zdroje	50
B	ROZPIS SOUČÁSTEK.....	51
	SEZNAM PŘÍLOH NA CD	53

1 ÚVOD

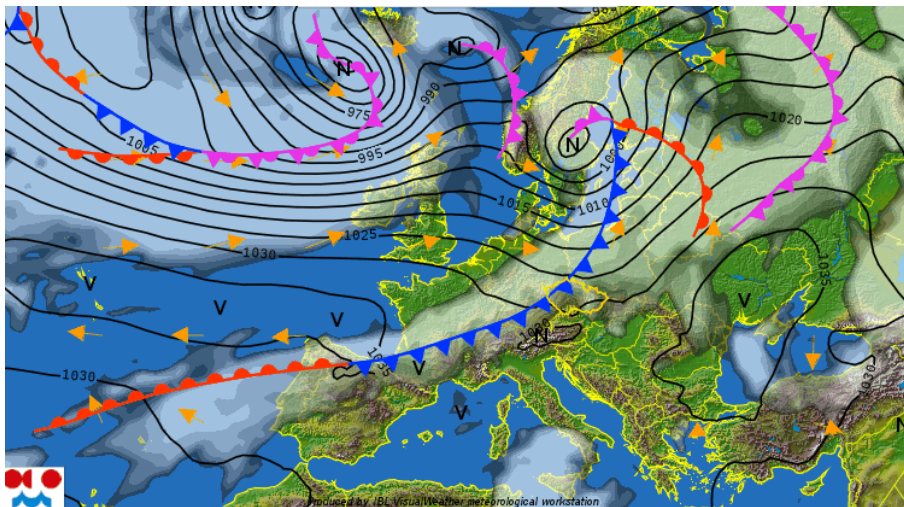
Cílem bakalářské práce bylo seznámení se s problémy měření veličin v meteorologii, konkrétně se zaměřit na měření rychlosti proudění vzduchu, a to v oblastech farmacie a medicíny. Zde jde například o měření rychlosti proudění vzduchu v laminárních boxech nebo v okolí operačních stolů, kde je zapotřebí vytvoření sterilnějšího prostředí okolo pacienta. Následně jsou jednotlivé metody související s měřením proudění vzduchu podrobně popsány. Nadstavbou práce je popsání také jiné veličiny a to je teploty, kterou lze v případě tepelných anemometrů měřit společně s rychlostí proudění vzduchu. V teoretické části jsou také popsány výhody a nevýhody jednotlivých anemometrů a jejich umístění snímačů z hlediska minimálního nežádoucího ovlivnění získaných údajů. Hlavním cílem pak byla samotná realizace anemometru pro měření rychlosti proudění vzduchu s následnou možností přenosu informací na kratší vzdálenost pro využití dat pro další zpracování. Bylo navrženo měření s využitím NTC termistorů. NTC termistor je levným a dostupným prvkem. Pokud se využije kompenzovaný můstek, nejsou velké problémy ani s linearitou stupnice anemometru. Schéma obvodu jsou rozdělena na část měřicí a část napájecí, kde jsou u každého komponentu popsány jejich hodnoty. Dále jsou rozepsány principy jednotlivých součástí, které jsou součástí zařízení. V poslední části je provedena příslušná kalibrace, následné testování a zhodnocení výsledku s následným využitím v lékařství.

2 METEOROLOGIE

Tento vědecký výzkum atmosféry se začal výrazně využívat až v polovině 20 století, kdy se začaly zdokonalovat počítače. Meteorologie se zabývá složením, stavbou, vlastnostmi a fyzikálními ději zemské atmosféry. Pro pozorování dějů v zemské atmosféře využíváme meteorologické stanice. Ta nám vyhodnocuje reprezentativní a použitelné výsledky nejméně jednoho meteorologického prvku, které nám následně slouží například pro předpovědi počasí, kde se pracuje s modely, u nás známe například Aladin nebo Medard, které jsou nezbytně důležité v letectví, hospodářství a dalších odvětvích [1][2].

Meteorologii rozdělujeme podle odlišných oblastí v závislosti na časové působnosti a prostorovém zájmu na mikro, střední, synoptickou a globální. Nejvíce používaná je synoptická mapa, která souhrnně zobrazuje rychlost větru, tlakové útvary (výše, níže, hřebeny, brázdy) a atmosférické fronty (teplé, studené, okluzní) [1][2].

Na obrázku 1. nám oranžové šipky znázorňují směr větru, čím jsou delší, tím vyšší rychlost větru představují. Černé čáry zobrazují izobary neboli tlakové pole, jejichž hodnoty bývají uváděny v hPA (hektopascalech). Písmeno “V” je zkratka pro vysoký tlak, písmeno “N” je nízký tlak. Modré čáry představují studené fronty, červené teplé fronty a fialové fronty okluzní, to znamená rozhraní mezi studenou a teplou vzduchovou hmotou [1][2].



Obr. 2.1: Synoptická mapa Evropy. Převzato z [2]

Meteorologie je velmi obsáhlé téma, avšak my se budeme zaměřovat pouze na meteorologické veličiny, které budeme snímat, a to rychlost větru a teplotu. Konkrétní pojem meteorologické veličiny jsou pozorovatelné výkyvy počasí v určitém čase. Mimo výše zmíněné veličiny známe také například atmosférický tlak, vlhkost vzduchu, radioaktivitu, oblačnost, délku slunečního svitu, srážky nebo stav sněhové pokrývky [1][2].

2.1 Vítr

Vítr je jedna ze základních meteorologických veličin, která nám popisuje pohyb vzduchu v určitém místě atmosféry v daném časovém okamžiku vzhledem k zemskému povrchu. Vzniká nám působením rozdílných atmosférických tlaků, které vznikají důsledkem různých teplot a různých hustot vzduchu. Vzduch nám proudí z míst o vyšším tlaku do míst nižšího tlaku a tím přímo ovlivňuje rychlost vzduchu v závislosti na rozdílu tlaků. Vítr je popisován podle jeho síly a směru, ze kterého vane. Krátké a výrazné nárůsty rychlosti větru jsou označovány jako nárazy větru, v případě delšího trvání zhruba jedné minuty je označován jako bouře, pokud je délka trvání delší, jsou označeny jako vichřice nebo hurikán [3][4][5][6].

Vítr se vyskytuje v celé řadě měřítek od bouřky trvající desítky minut až po místní větry generované vlivem ohřevu zemského povrchu trvající několik hodin. Známe také globální větry vyplývající z rozdílu absorpce sluneční energie mezi klimatickými pásmy na Zemi. Vlivem teploty vzduchu se nám ovlivňuje jeho hmotnost v případě, že je vzduch chladnější má tendenci klesat k zemi, protože je těžší než teplý vzduch, který naopak stoupá [3][4][5][6].

Měření proudění vzduchu

Při měření proudění vzduchu sledujeme dvě základní charakteristiky:

- Směr
- Rychlost

2.1.1 Měření směru proudění vzduchu

Pro venkovní prostředí nám směr větru vyjadřuje, odkud vítr vane. Udává se nejčastěji v úhlových stupnicích (např.: 180° = jižní vítr, 270° = západní vítr) nebo v jednotkách azimutu, kde jeden azimut je roven 10° , celkem se tedy rozlišuje 36 směrů větru. Určení směru větru je nejčastěji určováno větrnou směrovkou, která se umísťuje dostatečně daleko od okolních překážek, které mohou ovlivnit přesnost měření vlivem turbulencí. Věrná směrovka obsahuje otočnou část, která se vlivem větru nastaví podle směru proudění vzduchu. Poloha směrovky je vyjádřena dvěma způsoby: vizuálním pomocí pevné větrné růžice, anebo dálkovým přenosem polohového úhlu, který se odečítá z indikační nebo registrační části přístroje. Určení směru proudění vzduchu v uzavřených prostorech je velmi složité odhadnout, protože může docházet k různým turbulencím, které vznikají například větráním [3][4][5][6].



Obr. 2.2: Snímač směru proudění vzduchu. Převzato z [4]

2.1.2 Měření rychlosti proudění vzduchu

Rychlost větru je vzdálenost, kterou urazí pohybující se vzduch za jednotku času, nejčastěji se udává v metrech za sekundu a měří se pomocí anemometru [3][4][5][6].

Orientačně lze odhadnout rychlost proudění vzduchu pomocí Beaufortovy anemometrické stupnice síly větru (0-12 stupňů). Při odhadu síly větru se orientujeme podle následků, které zanechává na krajině (pohyb vodní hladiny, stromů, kouře, pohybu prach a jiných částic apod.) [3][4][5][6].

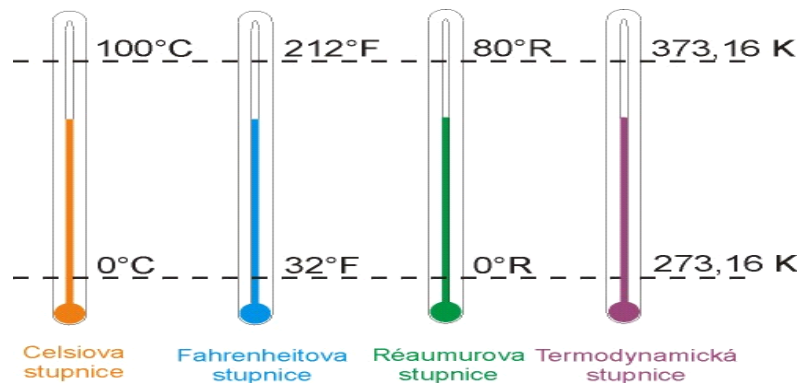
Tab. 2.1: Beaufortova stupnice.

stupeň	vítr	[km/h]	[m/s]	znaky
0	bezvětří	< 1	< 0,5	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	1-5	~ 1,25	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	6-11	~ 3	listy stromů šelestí
3	slabý vítr	12-19	~ 5	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	20-28	~ 7	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	29-39	~ 9,5	listnaté keře si začínají hýbat
6	silný vítr	40-49	~ 12	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný vichr	50-61	~ 14,5	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý vichr	62-74	~ 17,5	chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný vichr	75-88	~ 21	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
10	plný vichr	89-102	~ 24,5	vyvrací stromy, škody na obydlích
11	vichřice	103-114	~ 29	působí rozsáhlá pustošení
12-17	orkán	> 117	> 30	ničivé účinky (odnáší střechy)

2.2 Teplota

Každé těleso nebo hmota jsou charakterizovány určitou teplotou, ta souvisí s kinetickou energií základních stavebních částic látky. Je to termodynamická veličina, která je skalární a charakterizuje tepelný stav hmoty. Tato veličina patří mezi základní fyzikální veličiny soustavy SI s jednotkou kelvin (K). Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly, ta je

rovna 0 K nebo $-273,15^{\circ}\text{C}$, avšak v České republice je nejčastěji používána veličina stupně Celsia ($^{\circ}\text{C}$), kterou v roce 1742 vytvořil švédský astronom Andres Celsius. Celsius stanovil dva pevné body: 0°C pro teplotu varu vody a 100°C pro teplotu tání vody (obojí při tlaku vzduchu $1013,25\text{ hPa}$). Carl Linné stupnici později otočil, a proto je dnes bod tání 0°C a bod varu 100°C . Dnes je Celsiova stupnice (jako vedlejší jednotka soustavy SI) definována pomocí trojného bodu vody, kterému je přiřazena teplota $0,01^{\circ}\text{C}$ a tím, že absolutní velikost jednoho dílku teplotní stupnice (1°C) je rovna 1 K [6][7][8][9].



Obr. 2.3: Teplotní stupnice. Převzato z [6]

Nás ovšem zajímá teplota vzduchu ta je v meteorologii vyjádřena jako teplota ve výšce dvou metrů nad zemským povrchem v zastíněném prostředí, dále se měří také minimální teplota vzduchu 5 cm nad zemským povrchem a to z důvodu velkého teplotního gradientu, který ovlivňuje rozdíly teplot. My však budeme měřit teplotu v okolí anemometru, kde si především musíme dát pozor na nežádoucí ohřev čidla vlivem jednotlivých součástí zařízení [6][7][8][9].

2.2.1 Měření teploty vzduchu

Teplota vzduchu se měří pomocí teploměru. Princip teploměru je založen na tepelné roztažnosti jednotlivých látek, kdy je objem měrné látky závislý na její teplotě, to platí v případě teploměrů nazývaných dilatační. Máme však i jiné typy, které jsou založené na bázi elektrických veličin. Nejdůležitější částí teploměru je pak jeho senzor, k jehož podrobnějšímu popisu se dostaneme. Měření teploty je označováno jako měření nepřímé, to znamená, že naměřenou hodnotu musíme převést na veličinu vyjadřující teplotu [6][7][8][9].

3 ANEMOMETRY

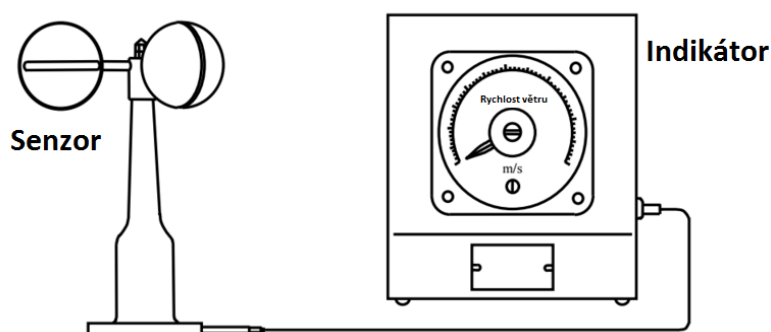
Jsou to přístroje, které nám slouží pro měření rychlosti a případně směru větru. Název anemometr je odvozen z řeckého slova anemos, který v českém jazyce znamená vítr, proto se v České republice obecně nazývá jako větročteč nebo větroměr. Anemometry se nejčastěji využívají v meteorologii, jsou však také hojně využívány i v jiných odvětvích [6][7][8][9].

Anemometry rozdělujeme na:

- Miskové anemometry
- Lopatkové anemometry
- Tlakové anemometry
- Tepelné anemometry
- Speciální anemometry

3.1 Miskové anemometry

Miskové anemometry jsou nejpoužívanějším typem. Mají schopnost měřit rychlost proudění, a v některých případech i směr. Máme velké množství typů, které se od sebe odlišují počtem misek, jejich velikostí a tvarem. Nejznámější je Robinsonův kříž, ten byl vynalezen v roce 1846 Thomasem Romney Robinsonem. Je tvořen čtyřmi polokulovitými miskami namontovanými na čtyři horizontální ramena, mezi kterými je úhel 90°. Tato ramena se mohou volně otáčet vlivem proudění vzduchu, které působí na konkávní kulovou plochu jednotlivých misek. Tento jev je způsoben větším odporem na konkávní straně než na konvexní. Směr otáčení tohoto anemometru je jednosměrný a to ve směru orientace konvexní plochy misky. Hřídel je připojena k elektrickému generátoru. Velikost proudu se následně převede na rychlost větru [6][7][8][9].



Obr. 3.1: Miskový anemometr. Převzato z [6]

3.2 Lopatkové anemometry

Proudění vzduchu přímo ovlivňuje lopatkové kolo, které vlivem pohybu roztáčí horizontální osu. Pro správné měření skutečné rychlosti proudění vzduchu je zapotřebí směrového stabilizátoru, který nám udržuje stejnou orientaci jako směr proudění. Převod otáček na rychlost proudění nám zajišťuje elektronika, která zobrazuje konkrétní hodnoty. Tento anemometr je v porovnání s miskovými anemometry přesnější [6][7][8][9].

Miskové a lopatkové anemometry se řadí do skupiny mechanických anemometrů, mezi které patří například kyvadlové, kde je hlavní částí kyvadlo, u kterého sledujeme jeho vychýlení a tím je možnost určení rychlosti proudění. Převod je závislý na velikosti, tvaru a hmotnosti kyvadla [6][7][8][9].

3.3 Tlakové anemometry

Rychlost proudění vzduchu se měří pomocí porovnávání rozdílů tlaků, které je způsobeno prouděním vzduchu. Nejpoužívanější je Pitotova trubice, která se využívá v leteckém průmyslu, kde měří rychlost letu. Tato trubice obsahuje dvě části, mezi kterými je rozdílný tlak a to dynamický a statický. Z rozdílů tlaků lze vypočítat rychlost proudění vzduchu, dalším známým tlakovým anemometrem je Venturiho trubice, ta pracuje na porovnávání statického tlaku ve dvou částech o různém průměru [6][7][8][9].

3.4 Tepelné anemometry

Pro naši práci je to nejdůležitější kapitola, neboť pouze jeden z typů tepelných anemometrů má schopnost měřit ve stejnou chvíli rychlost proudění vzduchu a teplotu okolí. Další výhody jsou například vysoká přesnost měření a malé rozměry [6][7][8][9].

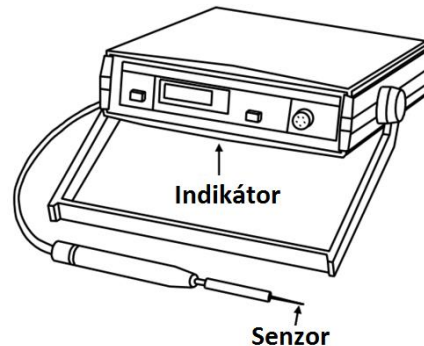
Konkrétní typy tepelných anemometrů jsou:

- Se žhaveným drátkem
- S tepelným senzorem

3.4.1 Anemometr se žhaveným drátkem

Pracuje na principu ohřevu tenkého drátku, který má průměr několik mikrometrů na teplotu vyšší, než je okolní teplota. Ohřívání drátku je prováděno průtokem elektrického proudu. Tento drátek je nejčastěji vyráběn z wolframu a to díky jeho dobrým vlastnostem, především obtížná tavitelnost a odolnost vůči nežádoucím okolním vlivům, jako je působení vody. Vlivem proudění vzduchu okolo drátku dochází k jeho ochlazení, tím dojde k úbytku elektrického odporu. Konkrétní změny odporu se dají vypočítat z Ohmova zákona, kde I je proud procházející vodičem a U je úbytek napětí na drátku. V praxi však sledujeme hodnotu

dodané energie do drátku a ta slouží k zachování konstantní teploty. Nevýhodou tohoto systému je jeho drátek, který má velmi křehkou konstrukci a při špatných podmínkách, jako je například vyšší tlak nebo teplota, může dojít k jeho poškození [6][7][8][9].



Obr. 3.2: Anemometr se žhaveným drátkem. Převzato z [6]

3.4.2 Anemometr s tepelným senzorem

Tento anemometr obsahuje místo drátku dva tepelné senzory. První z těchto senzorů nám slouží jako referenční, a to tím že udržuje svoji teplotu stejnou, jako teplota okolí musí tedy být chráněn před prouděním vzduchu, které by senzor ochlazovalo nebo zahřívalo. Referenční senzor nám tedy přímo ovlivňuje druhý senzor, který za pomoci řídicího obvodu udržujeme na vyšší teplotě než je teplota okolí. Vlivem obtékání vzduchu se teplota senzoru snižuje nebo zvyšuje a tím dochází vlivem vlastní vodivosti polovodičů ke změně elektrického odporu. Tyto změny jsou úměrné rychlosti proudění [6][7][8][9].

Pro naši práci je to ideální typ, který využijeme, především má schopnost měřit současně rychlost proudění a teplotu okolí. Je však celá řada senzorů, které můžeme použít, proto se na ně v následující části zaměříme a zvážíme jejich výhody a nevýhody [6][7][8][9].

3.5 Speciální anemometry

Kromě výše popsaných anemometrů existuje i celá řada jiných druhů anemometrů například Laser Dopplerovy anemometry, které jsou široce využívány pro měření plynů a kapalin více než třicet let. Za pomoci laserového paprsku měříme rychlost proudění v průhledné nebo poloprůhledné tekutině. Další anemometry jsou třeba ultrazvukové nebo rezonanční [6][7][8][9].

4 SENZORY

Senzory obecně jsou snímací jednotky, které mají schopnost měřit určitou fyzikální veličinu v našem případě rychlost proudění vzduchu. V následujících kapitolách si rozebereme jednotlivé druhy senzorů, které lze využít pro snímání této veličiny a budeme hledat takovou variantu, která bude pro naši práci nejlepší, konkrétně nás zajímá především rychlost odezvy, vysoká citlivost a nízká cena [6][7][8][9].

Senzory dělíme především podle měřené veličiny. V našem případě hledáme senzor pro měření rychlosti proudění a případně pro měření okolní teploty. Takové senzory rozdělujeme na:

- kovové odporové senzory
- polovodičové odporové senzory (termistory)
- termočlánky

4.1 Kovové odporové senzory

Jejich princip je založen na teplotní závislosti odporu určitého kovu. Elektrický odpor kovu se s teplotou mění podle vztahu:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_t) \quad (1)$$

kde R_0 je odpor čidla při 0°C

Tento vztah lze však použít pouze v rozsahu $0^\circ - 100^\circ\text{C}$, pro jiné hodnoty je velmi obtížné zjistit teplotní součinitel odporu, proto lze využít vzorce pro stanovení střední hodnoty teplotního součinitele odporu α takto:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \quad (2)$$

kde R_{100} je odpor čidla při 100°C

Dalším základním parametrem odporových snímačů teploty je poměr odporu čidla R_{100} při teplotě 100°C a R_0 při teplotě 0°C . Tento poměr je vyjádřen pomocí písmena W dle vztahu:

$$W = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (3)$$

Nejpoužívanější materiály pro odporová čidla jsou platina, nikl, měď a molybden [6][7][8][9].

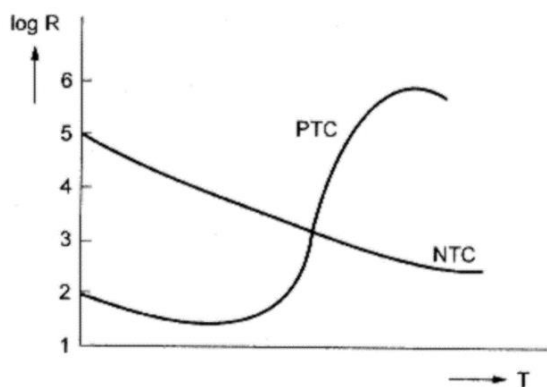
4.2 Polovodičové odporové senzory

Polovodičové senzory využívají stejně jako kovové snímače teploty, teplotní závislost odporu. U polovodičových senzorů je dominantní závislost koncentrace nosičů náboje na teplotě [6][7][8][9].

4.2.1 Termistory

Termistor je elektrotechnická součástka, jejíž elektrický odpor je závislý na teplotě. Jedná se o polovodičovou součástku, která se používá jako teplotně citlivá součástka. Jeho odpor klesá s teplotou, přičemž změna odporu s teplotou je daleko rychlejší než u kovů [6][7][8][9].

Rozlišujeme je na dva druhy a to NTC a PTC termistor. NTC je termistor s negativním teplotním koeficientem, což znamená, že vlivem zahřátí součástky odpor klesá. U PTC termistoru odpor naopak roste při zahřátí. NTC termistory mají velice malé rozměry, díky tomu mají rychlou odezvu vlivem malé tepelné setrvačnosti, jsou proto vhodné jako teplotní čidla. PTC termistor lze využít například k omezení proudu obvodem, kdy průchod většího množství vyvolá ohřátí součástky, které mají díky tomu vyšší odpor [6][7][8][9].

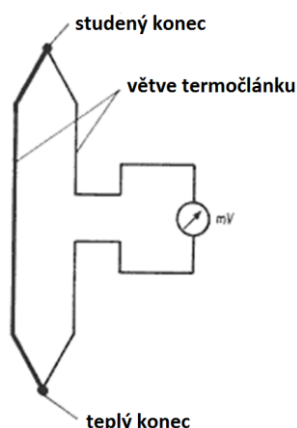


Obr. 4.1: Závislost odporu na teplotě u termistorů PTC a NTC. Převzato z [7]

4.3 Termočlánky

Termočlánky jsou založeny na termoelektrickém jevu objeveném Seebeckem v roce 1821. Termočlánek je tvořen dvojicí elektricky vodivých drátů různého chemického složení. Je-li spoj těchto drátů (teplý konec termočlánku) zahřátý na teplotu vyšší, než je teplota opačného konce drátů / studený konec) vzniká elektromotorická síla – termočlánekové napětí. Mají schopnost měřit v širokém rozsahu teplot a může být relativně robustní, jsou proto často

využívány v průmyslu. Máme nejrůznější typy, jako jsou například drátové termočlánky svařené do kuličky nebo různé termočlánekové sondy [6][7][8][9].



Obr. 4.2: Princip termočlánku. Převzato z [7]

Volba senzoru

Při volbě senzoru je zacíleno především na vysokou citlivost a rychlou odezvu, které jsou pro přesné a rychlé měření nezbytně důležité [6][7][8][9].

Tab. 4.1: Výhody a nevýhody jednotlivých senzorů.

	Kovové odporové senzory	Termistory	Termočlánky
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> - vysoká stabilita - vysoká přesnost - lepší linearita než u termočláneků 	<ul style="list-style-type: none"> - vysoká citlivost - rychlá odezva - dvou vodičové zapojení - nízká cena 	<ul style="list-style-type: none"> - aktivní snímač - jednoduchý - široce použitelný - široký teplotní rozsah - odolný
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> - vysoká cena - malá změna odporu - nízká hodnota odporu - zahřívání proudem 	<ul style="list-style-type: none"> - nelineární - křehký - potřeba stabilizovaného napětíového zdroje - zahřívání proudem - omezený teplotní rozsah 	<ul style="list-style-type: none"> - nízká citlivost - nízká stabilita - nízká úroveň signálu - potřeba referenčního signálu - nelineární

Z následující tabulky vidíme, že nejlepší volbou bude termistor, který má také výhodu malé velikosti, tím se minimalizuje jeho poškození vlivem nežádoucích účinků. Jak už víme termistory máme typu NTC a PTC. Pro naši práci bude lepší využít NTC typ díky jeho vlastnostem přesného měření, lepší stability a menší velikosti. Zaměříme se tedy podrobněji na termistory NTC [6][7][8][9].

5 TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ANEMOMETRŮ

Je založen na principu detekce rychlosti proudění měřením malého vytápěného tělesa, jako je drát, film nebo termistor, který se nachází v toku proudění. Rychlost, kterou se teplo odvádí, přímo souvisí s rychlostí proudění kolem snímače. Zařízení udržuje konstantní teplotu nad teplotou okolí a je chlazeno průchodem vzduchu. Výkon, který je zapotřebí pro udržení konstantní teploty se následně použije pro výpočet rychlosti proudění vzduchu. Tento princip měření je přesný, flexibilní, a téměř zcela automatizovaný. Může být aplikován na téměř každou situaci vyjma měření kontaminujících látek, které by mohly čidlo poškodit. Výhradně se hodí především pro aplikace, kde je zapotřebí rychlé odezvy na změnu průtoku a v případech, kde jsou omezené náklady na realizaci [8].

Vyhřívané anemometry jsou nejlépe charakterizovány rychlostí přenosu tepla, který popisuje tepelné ztráty v závislosti na několika faktorech: teplota, tlak, obsah plynu, vlastnosti průtoku. Ne všechny výše uvedené mají stejný vliv na měření, ale každou z nich bychom měli brát v potaz pro dosažení přesného měření [8].

Teplota

Tepelné anemometry požadují dodávku tepla z důvodu přenosu tepla v závislosti na rychlosti proudění a rozdílem mezi vyhřívaným snímačem a okolním vzduchem. Čím větší je teplotní rozdíl, tím větší je ztráta tepla a v důsledku toho bude i větší snímaný signál. Musíme také brát v potaz, že vlivem horkého zařízení může okolní teplota stoupat a tím může dojít k nepřesnosti měření [8].

Tlak

Vlivem změny tlaku dochází k ovlivnění počtu molekul, které jsou nosiči tepla. Pokud bude hodnota tlaku při měření pod úroveň standardního tlaku (101.3kPa), který se vyskytuje ve vyšších nadmořských výškách nebo ve vakuové komoře, dojde ke snížení počtu molekul a tím k horšímu přenosu tepla, senzor nám bude vykazovat nižší hodnoty, než ve skutečnosti jsou. Stejný princip platí i v případě vyššího tlaku, kdy senzor bude ukazovat vyšší hodnoty a proto je zapotřebí tlak kompenzovat [8].

Obsah plynu

Tepelné anemometry jsou obvykle kalibrovány pro vzduch v měřeném prostředí. V případě, že senzor bude použit v prostředí o různém obsahu média, může dojít k rozdílům v tepelné kapacitě a mohla by se tím zásadně ovlivnit přenosová rychlost, také v přítomnosti agresivních chemikálií může dojít k poškození sondy. Mohou vznikat i usazeniny na hlavě sondy, které ovlivňují aerodynamiku. Dalším faktorem je vlhkost, která nemusí nutně měnit

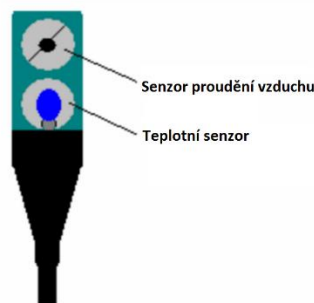
přenosovou rychlost. Studie ukazují, že pravděpodobnost ovlivnění rychlosti čtení je pouze 3% v případě relativní vlhkosti v rozmezí od 5% do 95% při pokojové teplotě, nicméně vodní kondenzace na senzoru může způsobit chyby kalibrace [8].

Vlastnosti průtoku

Vzduch vykazuje různé charakteristiky v důsledku různého prostředí, mohou vznikat různé turbulence, volí také cestu nejmenšího odporu. Vzduch je stlačitelné médium, a vzhledem k jeho neviditelnosti může vykazovat nepředvídatelné chování, které by mohlo ovlivnit výsledky měření [8].

5.1 Provoz tepelných anemometrů

Tepelný senzor anemometru je ochlazován vlivem obtékajícího vzduchu. Množství elektrické energie, které je potřeba pro zachování konstantní teploty teplotního anemometru je ekvivalentní k teplotě vzduchu proudícího kolem zařízení [8].

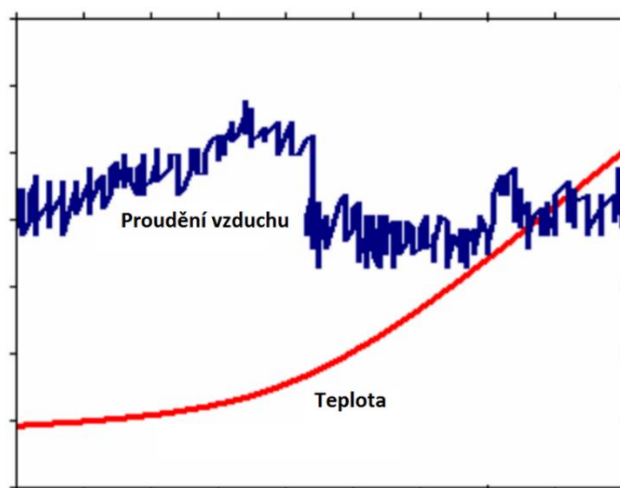


Obr. 5.1: Druhá metoda – jeden termistor. Převzato z [8]

5.2 Teplotní kompenzace

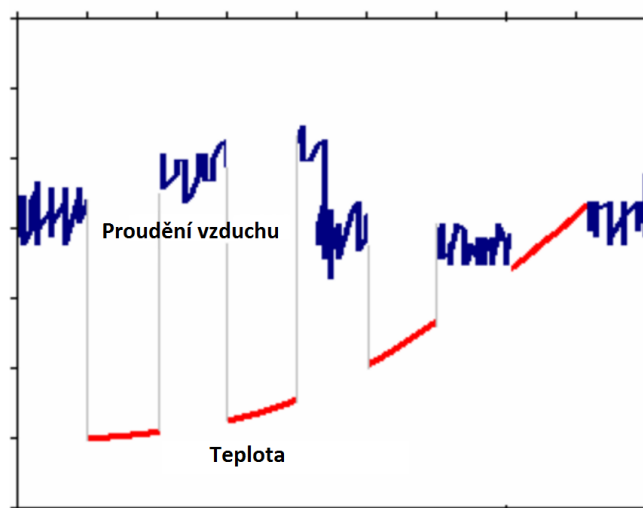
Kalibrace tepelného anemometru je hluboce ovlivněna teplotou okolí. V případě, že kalibrace senzoru byla prováděna při jiné teplotě, než probíhá samotné měření, dojde k chybě měření, proto je nezbytnou součástí zařízení teplotní kompenzátor, který musí být součástí produktu. Tento kompenzátor snímá teplotu proudícího vzduchu a následně je tato hodnota kompenzována na teplotu, při které byl senzor kalibrován. Existují dva způsoby, jak toho lze dosáhnout [8].

První metoda používá dva samostatné termistory pro proudění vzduchu a teploty. Tyto termistory jsou namontovány v těsné blízkosti. Proudění vzduchu a teplotní signály jsou vzorkovány v podstatě ve stejnou dobu a jsou následně načítány do systému. Malý rozestup pozic mezi nimi je irelevantní pro většinu účelů, protože tok snímané oblasti ve většině případů je turbulentní a izotermický (teplota se nemění) [8].



Obr. 5.2: První metoda – dva termistory. Převzato z [8]

Druhá metoda využívá pouze jednoho senzoru jak pro teplotu, tak pro měření proudění vzduchu. Tento senzor rozděluje svůj čas pro snímání mezi teplotu a proudění vzduchu, to znamená, že v určitých časových intervalech měří teplotu a následně proudění vzduchu. Nejprve se tedy senzor zahřeje a poté odebere vzorek pro proudění vzduchu, následuje opět měření teploty. Tento cyklus trvá přibližně 1 až 2 sekundy, což je způsobeno tepelnou časovou konstantou senzoru. To způsobuje, že měřené hodnoty nejsou prezentovány v reálném čase, ale jsou odděleny v segmentech v závislosti na době jednoho cyklu. Část vzduchu, která bude využita pro kompenzaci teploty tedy pro měření teploty se může výrazně lišit od segmentu, kde se měřila rychlost proudění vzduchu. To může mít za následek ztrátu cenných informací oproti metodě první, která zaznamenává oba parametry současně [8].



Obr. 5.3: Druhá metoda – jeden termistor. Převzato z [8]

V porovnání obou metod je tedy mnohem výhodnější metoda 1, která nám poskytne přesné měření s minimální chybou, proto při naší realizaci využijeme metody 1 za použití dvou termistorů [8].

Přijatelný úhel senzoru pro anemometr

Anemometrická čidla jsou vyráběna v nejrůznějších tvarech, to má za příčinu rozdílné rozlišení směru proudění vzduchu, proto je nezbytnou částí kalibrace a určení při jakém úhlu může dojít k chybě měření [8].

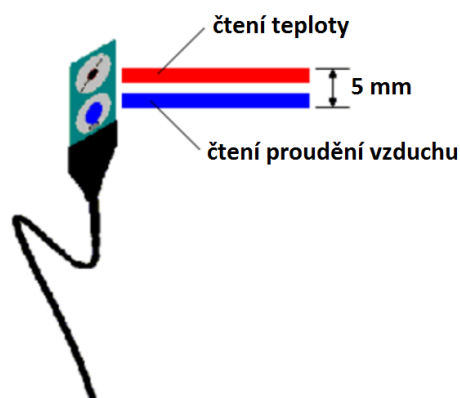
Nevýhoda tepelných anemometrů

Existuje jedna nevýhoda tepelných anemometrů. Při nízkých rychlostech, pod 0,15m/s dochází k stoupání horkého vzduchu směrem vzhůru z vytápěného čidla. To může zvýšit naměřené hodnoty rychlosti proudu než je ve skutečnosti. Tento problém je typický pro všechny vytápěné anemometrické senzory a uživatel by měl do této hodnoty zpochybňovat výsledky měření [8].

5.3 Správné umístění čidla a jeho realizace

Při montáži tepelného anemometrického čidla a jeho realizaci musíme brát v potaz několik důležitých podmínek, aby nedošlo k chybě měření [8].

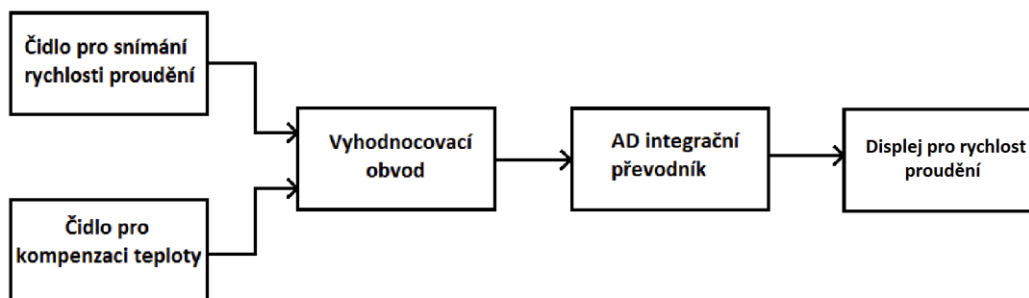
1. Dostatečná vzdálenost termistorů od sebe, aby nedocházelo k jejich vzájemnému ohřívání.
2. Čidlo nesmí být v blízkosti úzkých otvorů nebo překážek, to může mít za následek výraznou chybu měření.
3. Čidlo nesmí být v blízkosti ventilátorů, kde je proudění vzduchu velmi turbulentní a víry mohou způsobit obrácené proudění vzduchu.
4. Čidlo by mělo být umístěno v místě nejmenšího odporu.
5. Čidlo musí být správně kalibrováno na rozsah měření.



Obr. 5.4: Dva termistory. Převzato z [8]

6 BLOKOVÉ SCHÉMA ANEMOMETRU

Blokové schéma nám prezentuje jednoduchou kostru celého zařízení, obsahuje základní komponenty pro správný chod a jeho prezentaci naměřených hodnot na displeji. Výsledný produkt je vytvářen v praktické části, za pomoci podrobnějších schémat.



Obr. 6.1: Blokové schéma anemometru.

6.1 Rozbor součástí

Čidla pro snímání rychlosti proudění a kompenzaci teploty

Tyto součástky byly podrobně popsány v kapitolách 4 a 5, kde bylo rozhodnuto o využití termistorů NTC.

Vyhodnocovací obvod

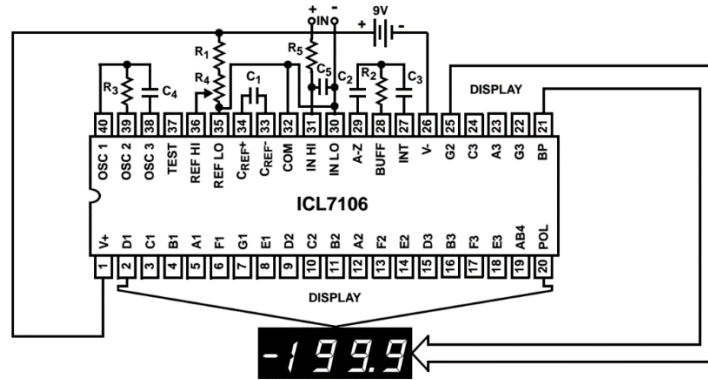
Slouží k převodu změny odporu na změnu napětí zvláště pro každé čidlo. Obsahuje zesilovač a příslušné kalibrační trimry a odpory. V samotném zapojení jsou dvě větve a je zde využito jednotlivých prvků tak, aby naměřené hodnoty odpovídaly skutečnosti [11].

AD integrační převodníky

Je to součástka, která slouží k převodu spojitého (analogového) signálu na signál diskrétní (digitální). Díky tomu, lze lépe pracovat s digitálním signálem, který je snadnější pro prezentaci, tento signál lze také lépe zaznamenat a není ovlivněn šumem. Jednoduše řečeno v AD převodníku nabíjíme kondenzátor a následně měříme dobu vybíjení, kdy klesne na nulu. V blokovém schématu vidíme, že výstup převodníku je zakončen na displeji, proto se budeme zabývat především těmito typy. Nejvíce používané jsou 7106CPL s přímým výstupem na LCD displej a 7107CPL s přímým výstupem na LED displej. Cena jedné této součástky vyjde zhruba na 100 Kč [10][11].

Zapojení pomocí 7106CPL a 7107CPL

Mezi těmito dvěma součástkami je jediný rozdíl a to v dimenzování výkonu na konkrétní typ displeje, aby správně fungoval. Konkrétně pro LCD displej bude hodnota proudu v řádech mikro ampérů. V případě LED displeje bude tato hodnota výrazně vyšší. V realizaci je využito LCD displeje s LED podsvícením pro jeho lepší viditelnost [10][11].

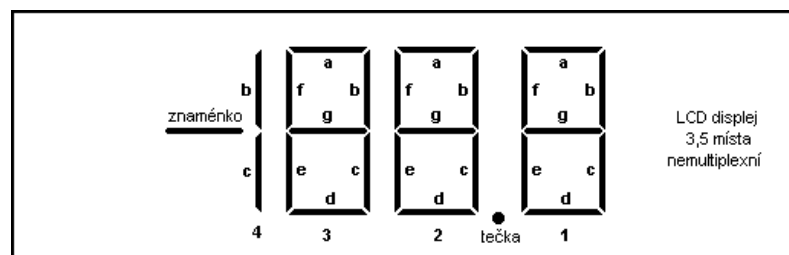


Obr. 6.2: Zapojení ICL7106 k displeji LCD . Převzato z [10]

Displeje

LED displej - tato verze displeje je nejčastěji stavěna pomocí obvodu 7107, který má výstupní proud, avšak vyžaduje symetrické stabilizované napájení. Problém malého proudu je vyřešen vysoce svítivým displejem (1mA). Cena displeje se pohybuje zhruba kolem 40 Kč.

LCD displej – Tento typ displeje má výrazně nižší spotřebu, avšak je hůře čitelný. I když je možno samozřejmě použít pro konstrukci tohoto měřidla příslušné součástky (například převodník ICL7106 + LCD displej), lze zde použít i hotové digitální LCD panelové měřidlo 1,999V WPB5035-DV, které má celkovou spotřebu 15mA, které je navíc i velmi levné a lze použít bateriové napájení [11][12][13].



Obr. 6.3: LCD displej. Převzato z [10]

V samotné realizaci je tedy využito LCD panelové měřidla 1,999V WPB5035-DV, především z důvodu časových, kde samotná realizace takového měřidla by zabrala několik hodin, cena je srovnatelná a provedení je kvalitnější přímo od výrobce [11][12][13].

7 SCHÉMA OBVODU

Schéma obvodu nám vyjadřuje, jak bude celkové zařízení fungovat, z jakých součástek se bude skládat a jaké vlastnosti bude následně mít. Pro vytvoření takového schématu existují dva způsoby: navrhnout celý obvod samostatně nebo využít schémat z odborných publikací. V tomto případě je využito některých odborných publikací, především pro rozšíření vědomostí pro následnou samostatnou realizaci. Všechny součástky jsou navrženy tak, aby vlastnosti zařízení byly co možná nejlepší. Práce byla omezena dostupností jednotlivých komponentů, z důvodů nedostupnosti na českém trhu, čekací lhůty se pohybovaly v řádů měsíců a tak nebylo možné takové komponenty do realizace zařadit.

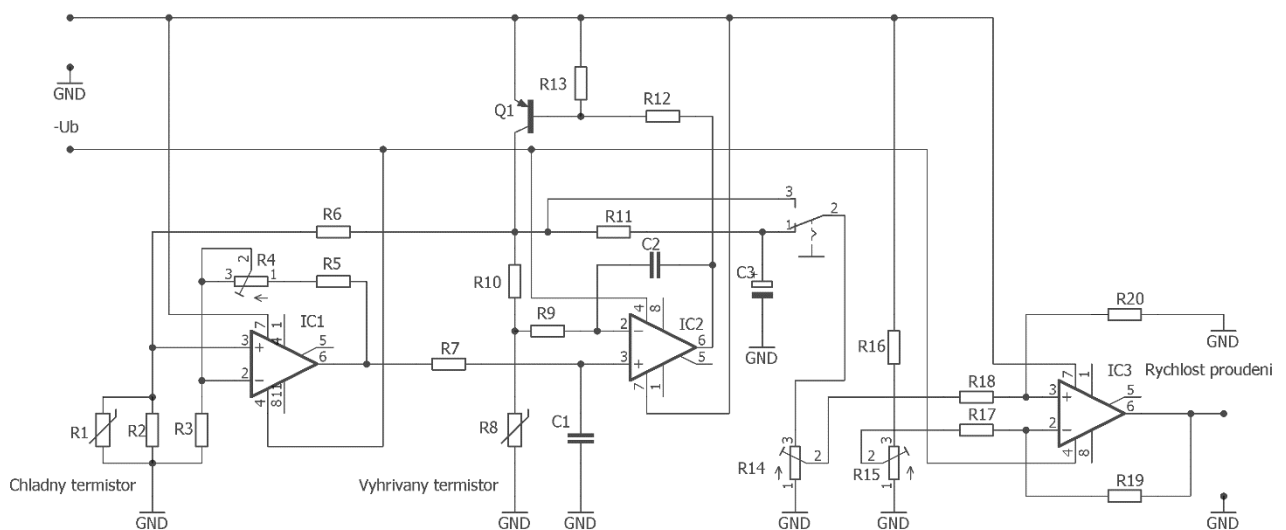
Vlastnosti zařízení:

Zařízení je navrženo tak, aby bylo schopné měřit v desetinách metrů za sekundu a rozsah měření byl v rozmezí 0 až 2 metry za sekundu. Rychlost odezvy je v desetinách sekundy v případě vzduchového proudu o stejné teplotě, pokud má hodnotu jinou odezva bude delší v závislosti na teplotní kompenzaci.

Schéma je rozděleno na dvě části, a to samotný anemometr a napájecí zdroj.

7.1 Termistorový anemometr

Tato část slouží k samotnému měření rychlosti proudění vzduchu. Naměřené hodnoty jsou prezentovány na digitální panelovém voltmetru, který je připojen na výstup zesilovače IC3. Nejdůležitější prvky jsou dva termistory (vyhříváný, chladný), které slouží k samotné detekci.



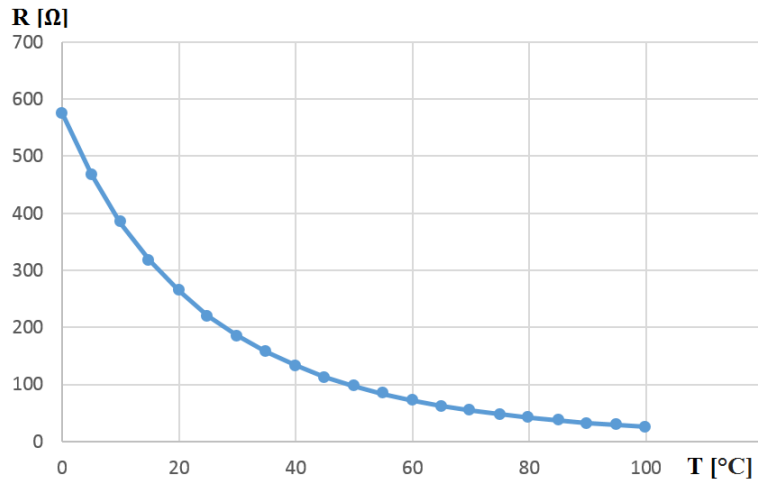
Obr. 7.1: Schéma obvodu termistorového anemometru.

Tab. 7.1: Názvy a hodnoty součástek termistorového anemometru.

Rezistory:		Kondenzátory:
R1 = 12 k Ω	R12 = 18 k Ω	C1 = 1nF / 50 V
R2 = 2,8 k Ω	R13 = 5 k Ω	C2 = 1nF / 50 V
R3 = 2 k Ω	R14 = 50k Ω	C3 = 10 μ F / 63V
R4 = 4,7 k Ω	R15 = 50k Ω	
R5 = 7,5 k Ω	R16 = 10k Ω	Zesilovače:
R6 = 56 k Ω	R17 = 1M Ω	IC1 = LM741P
R7 = 5 k Ω	R18 = 1M Ω	IC2 = LM741P
R8 = 220 Ω	R19 = 1M Ω	IC3 = LM741P
R9 = 5 k Ω	R20 = 1M Ω	
R10 = 120 Ω		Tranzistor:
R11 = 18 k Ω		Q1= BC327

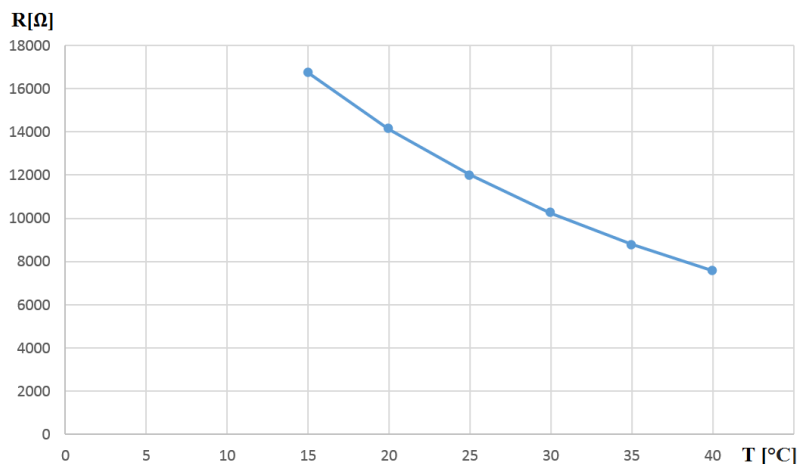
7.1.1 Popis termistorového anemometru

V první fázi bylo testováno, jak je zapotřebí zahřát termistor, aby nedocházelo k chybě měření vlivem malého rozdílu mezi okolní teplotou a teplotou snímače. V případě malého rozdílu by nastal problém v měření rychlosti větru z důvodu špatného ochlazení čidla, tím by změna odporu a tedy napětí byla velmi nízká a špatně detekována. Ideální je zahřát termistor R8 co nejvíce, musíme však brát v potaz maximální pracovní teplotu zařízení. Dalším faktorem je také spotřeba, která bude pro takové zahřátí větší než polovina celkového zapojení. Při samotném testování jsme využili rezistoru R10 do série s termistorem R8, který má hodnotu 120 Ω , samotný termistor má hodnotu 220 Ω , při teplotě 25°C. Zvyšováním napětí ohříváme termistor, až na hodnotu 70°C, kterou detekujeme termokamerou, taková hodnota je dostačující pro správné měření rychlosti proudění vzduchu. Spotřeba zařízení je 80mA a vstupní napětí je rovno 15V. Z katalogového listu výrobce byla zjištěna hodnota odporu při teplotě 70°C, ta se rovná 54 Ω . Pro lepší přehlednost byl vytvořen graf závislosti odporu na teplotě pro termistor R8, která byl vytvořen pomocí hodnot z katalogového listu výrobce [11][12][13].



Obr. 7.2: Graf závislosti odporu na teplotě pro termistor R8 (220 Ω)

V druhé fázi je navržen termistor R1, který snímá okolní teplotu a má schopnost kompenzační pro termistor R8. Hodnoty proudu je zapotřebí mít mnohonásobně nižší než v případě termistoru vyhřívaného a to z důvodu samovolného ohřátí termistoru, který by pak udával větší hodnoty okolní teploty, než ve skutečnosti jsou. Toho docílíme rezistorem R6, který má hodnotu 56kΩ. Samotná hodnota termistoru R1 je 12 kΩ a jeho graf závislosti odporu na teplotě je [11][12][13] :



Obr. 7.3: Graf závislosti odporu na teplotě pro termistor R1 (12kΩ)

Rezistor R2 je připojen za termistor R1 a má funkci linearizace výsledného signálu.

Odpor R2 lze vypočítat pomocí vzorce:

$$R3 = \frac{RT2 * (RT1 + RT3) - 2 * RT1 * RT3}{RT1 + RT3 - 2 * RT2} \quad (4)$$

kde RT1 je odpor termistoru R2 při minimálně teplotě T1 v měřeném pásmu, RT3 je odpor termistoru R1 při maximální teplotě T3 v pásmu a odpor RT2 je při hodnotě T2 tedy:

$$T_2 = \frac{(T_1 + T_3)}{2} \quad (5)$$

V našem případě pro NTC termistor R1 platí: $RT_1 = 16,7\text{k}\Omega$ při 20°C , $RT_2 = 12\text{k}\Omega$ při 25°C , $RT_3 = 10,2\text{k}\Omega$ při 30°C . Výsledkem je $2,8\text{k}\Omega$.

Zesilovač IC1 slouží k zesílení napětí na kompenzačním termistoru R1, kalibrace je provedena za pomoci trimru R4 s využitím odporu R3 a R5 za situace, kdy okolo zařízení neproudí žádný vzduch, který by vyvolával dodatečné ochlazení vyhřívaného termistoru [11][12][13].

Hodnotu zesílení lze spočítat následovně:

$$A = \frac{R_4 + R_5}{R_3} + 1 \quad (6)$$

Výstupní hodnota je následně přes odpor R7, který byl navržen tak, aby hodnota napětí byla přibližně stejná hodnotě z termistoru R8 při teplotě 70°C [11][12][13].

Zesilovač IC2 slouží jako kompenzační prvek, který přímo ovlivňuje tranzistor Q1, buď ho přivírá nebo otvírá v závislosti na rozdílné hodnotě vstupních napětí, která je způsobena změnou odporu na R8 vlivem určité rychlosti proudění a také, teplotou okolí na termistoru R1. Tranzistor Q1 nám tedy ovlivňuje hodnotu proudu, která bude dodána do vyhřívaného termistoru R8 [11][12][13].

Hodnota proudu a tedy i napětí, která je potřebná pro zahřátí je následně filtrována RC filtrem a je přivedena na trimr R14, ze kterého přes rezistor R18 jde na zesilovač IC3, kde je hodnota porovnávána ze vstupním napětím, který je snížen odporem R16 s hodnotou $10\text{k}\Omega$ a nastaven na hodnotu přibližně stejnou hodnotě druhého vstupu na IC3 pomocí trimru R15 a rezistoru R17. Hodnoty rezistorů R17 až R20 jsou stejné, protože výsledný signál není zapotřebí zesilovat, ale pouze ho mít v rozmezí od $0-1,999\text{V}$, ve kterém dokáže digitální panelový voltmetr prezentovat naměřené výsledky [11][12][13].

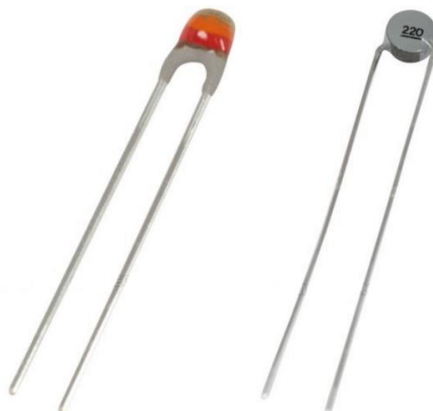
7.1.2 Rozbor součástek termistorového anemometru:

Termistory R1 a R8

Termistory jsou typu NTC - s negativním teplotním koeficientem, což znamená, že vlivem zahřátí součástky odpor klesá [11][12][13].

Hodnota termistoru R1 je $12\text{k}\Omega$ (platí při teplotě 25°C), to je dostatečně vysoká hodnota v součtu s odporem R6 ($56\text{k}\Omega$) pro správné omezení vstupního proudu, který by mohl mít vlivem vyššího proudu nežádoucí účinky na nadměrné ohřátí, způsobující následně chybu výstupního napětí. Rozsah měření je možné provést v rozmezí -40°C až 150°C [11][12][13].

V případě termistoru R8 je naopak zapotřebí malého vnitřního odporu pro správné zahřátí na požadovanou teplotu. Součástku lze zahřát až na hodnotu 125°C, při vyšším zahřátí může dojít k poškození čidla [11][12][13].



Obr. 7.4: Termistorová čidla R1 a R8. Převzato z [12]

Zesilovače IC1, IC2, IC3

Pro všechny zesilovače, zapojené v měřicím anemometru bylo využito typu LMP741. Každý má jinou funkční roli [11][12][13].

Zesilovač LMP741 je vysoce výkonný monolitický operační zesilovač sestaven na jednom křemíkovém čipu. Je využíván pro celou řadu analogových aplikací. Vysoký zisk a široký rozsah provozního napětí poskytuje vynikající výkonné vlastnosti [11][12][13].



Obr. 7.5: Zesilovač LMP741. Převzato z [12]

Tranzistor Q1

Navržený anemometr má v podstatě můstkové zapojení, kde napájecí napětí můstku se mění v závislosti na změnách rozvážení tohoto můstku. Změna rozvážení vyvolaná ofukovaným termistorem vyvolá změnu napájecího napětí můstku. To se řídí pomocí tranzistoru Q1. Pro tento účel byl použit tranzistor BC327, což je PNP tranzistor v pouzdře TO92. Výrobce jej třídí do tří skupin, které se od sebe navzájem liší proudovým zesilovacím činitelem. V našem případě byl použit typ BC327-16, který má hodnotu zesílení v rozmezí 100-250 (střední

hodnota je 160). Tento tranzistor je vhodný jak pro spínací účely, tak i pro zesilování. Z hlediska maximálního trvalého dovoleného proudu pro náš účel plně vyhovuje [11][12][13].

Kondenzátory

Je to pasivní elektrotechnická součástka, jejíž charakteristickou vlastností je kapacita. Kondenzátor se skládá ze dvou vodivých desek oddělených dielektrikem. Na každou z desek se přivede elektrický náboj opačné polarity, ty se přitahují elektrickou silou. Pro zamezení dotyku nabitých částic slouží dielektrikum, také umožňuje umístění většího množství náboje. Vlastnosti kondenzátoru jsou především jeho kapacita, maximální povolené napětí, teplotní stálost, velikost [11][12][13].

Kapacita C kondenzátoru závisí na ploše S jeho desek, d vzájemné vzdálenosti desek mezi sebou a permitivitě ε dielektrika mezi deskami:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (\text{platí pro deskové kondenzátory}) \quad (7)$$

Je-li dielektrikum kondenzátoru lineární, pak pro energii elektrického pole akumulovanou v nabitém kondenzátoru platí:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \quad (8)$$

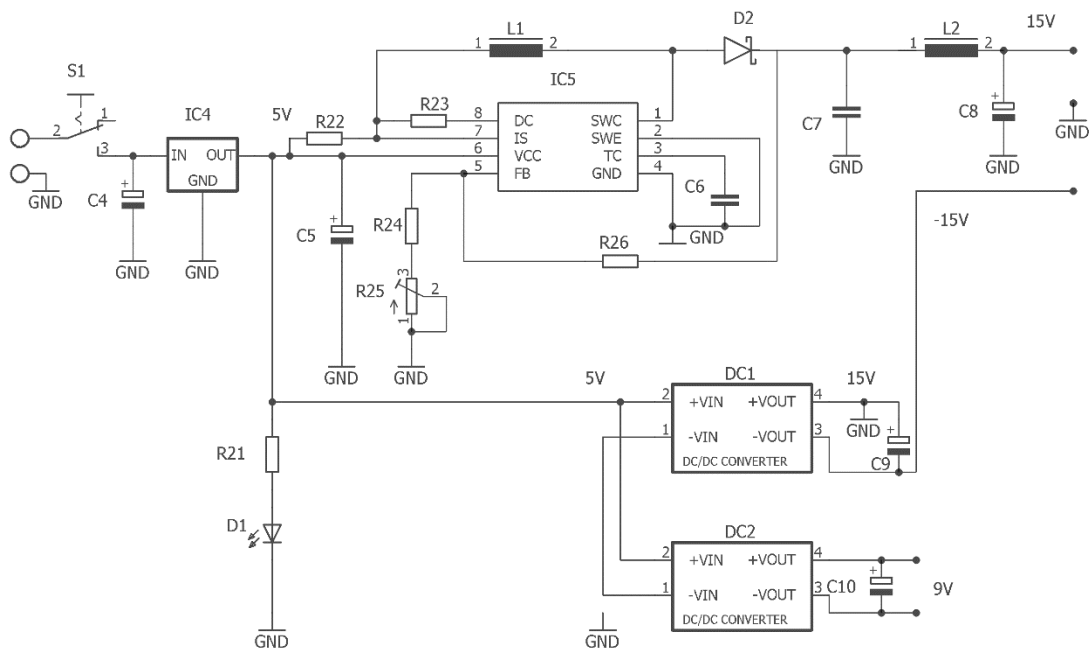
Energie je tedy v kondenzátoru uchovávána v podobě náboje (zatímco u cívky je v podobě elektromagnetického pole) [11][12][13].

7.2 Napájecí zdroj

Při návrhu napájecího zdroje bylo nejprve potřeba znát hodnotu napětí, která je nezbytná pro správné fungování snímací části. Ta nám vyšla při měření pomocí termokamery na $\pm 15V$. Součástí termistorového anemometru je také digitální voltmetr, který je připojen na výstup zařízení a jeho požadovaná hodnota napájení je v rozmezí 9-12V [11][12][13].

Pro návrh takového zdroje bylo rozhodnuto o využití bateriových článků, které jsou cenově i rozměrově přijatelné. Jsou však také problematické, protože nemají konstantní hodnotu napětí, která je nezbytná pro správné fungování měřicí části. Takové konstantní hodnoty dosáhneme za pomoci stabilizátoru s malým úbytkem napětí. Při využití baterií je možnost mít několik článků, kde by celková hodnota napětí byla větší než 15V, to je ale cenově nákladné a proto je lepší využití zvyšujícího měniče, který má schopnost zvýšit hodnotu napětí. V našem případě využijeme měniče z 5V na 15V, z 5V na -15V pro napájení měřicí části a z 5V na 9V pro napájení digitálního panelového voltmetru [11][12][13].

Součástí je také LED dioda, která nám signalizuje jestli je napájení v chodu či nikoliv.



Obr. 7.6: Schéma obvodu napájecího zdroje.

Tab. 7.2: Názvy a hodnoty součástek napájecího zdroje.

Rezistory:	Tlumivky:	Kondenzátory:
R21 = 1,5k Ω	L1 = 470 mH	C4 = 100 μ F / 16V
R22 = 0,3 Ω	L2 = 140 mH	C5 = 100 μ F / 35V
R23 = 180k Ω		C6 = 22nF / 50V
R24 = 6,8 k Ω	Měníče:	C7 = 470 μ F / 35V
R25 = 10 k Ω	DC1 = 5 - 15 V	C8 = 100 μ F / 35V
R26 = 130 k Ω	DC2 = 5 - 9 V	C9 = 100 μ F / 25V
		C10 = 100 μ F / 15V
Baterie :	Zvyšující měnič:	
S1 = +6V	IC5 = MC34063AP	Diody:
		D1 = BL-B2134-L-AT
Stabilizátory :		D2 = SB360
IC4 = LF50CV		

7.2.1 Popis napájecího zdroje

Tato část zařízení je napájena alkalickými bateriemi minimálně o 5,5V a kapacitě závislé na požadované době provozu. Do vstupního napětí je nutno připočíst úbytek napětí na stabilizátoru IC4, který nám napětí stabilizuje na hodnotu 5V, tato hodnota je nezbytně

důležitá pro správné fungování zvyšujících měničů, které by v případě rozdílného napětí vykazovaly nesprávné výstupní hodnoty. Napětí jde také na LED diodu, která slouží pro signalizaci napájecího zdroje, jestli je v chodu či nikoliv. Tato LED dioda má spotřebu 2mA a vstupní napětí má v rozmezí 1,9V až 2,3V, rezistor R21, který nám sníží hodnotu napětí na požadovanou, spočítáme jednoduše z Ohmova zákona kde:

$$R = \frac{U}{I} \quad (9)$$

Většina zbylých součástek je součástí měniče IC5, aby pracoval jako zvyšující měnič. Vzhledem ke složitosti jednotlivých komponentů v napájecím zdroji je v následující kapitole popsána každá součástka samostatně, je zde také uveden princip, využití a vlastnosti [11][12][13].

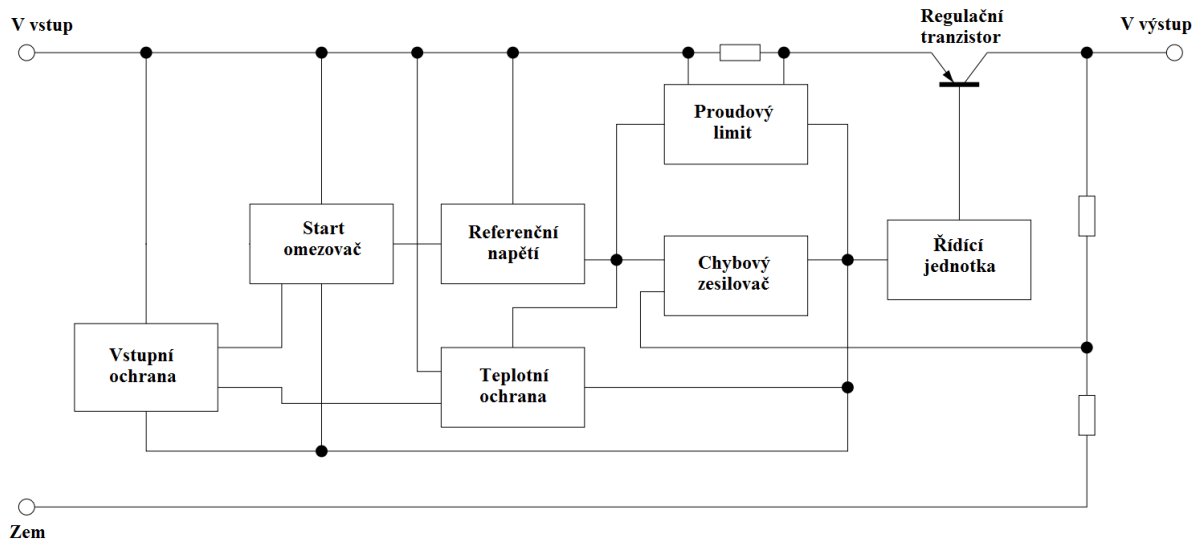
7.2.2 Rozbor součástek napájecího zdroje

Stabilizátor IC4

Napájecí zdroj bude napájen za pomoci bateriového zdroje, u kterého je velkou nevýhodou změna napětí v závislosti na jeho vybití. Takový problém lze vyřešit za pomoci stabilizátoru, v tomto případě typu LF50CV. Tato součástka slouží ke stabilizaci napětí na hodnotu 5V, podmínkou je vstupní hodnota - musí být minimálně 5V + úbytek napětí, který je v našem případě pod hodnotou 200mA roven 0,2 V. Nižší hodnota vstupního napětí není možná, protože má schopnost snižovat nikoliv zvyšovat hodnotu napětí. Princip je založen na jednoduchém modelu využívajícím regulačního tranzistoru, který se buď přivírá nebo otvírá v závislosti na rozdílu hodnot referenčního a výstupního napětí. Další části tohoto zařízení mají především ochranné funkce. Dalším důvodem zvolení typu LF50CV je jeho výstupní proud až 500mA, ten je dostatečný pro správnou funkčnost obvodu [11][12][13].

Vlastnosti:

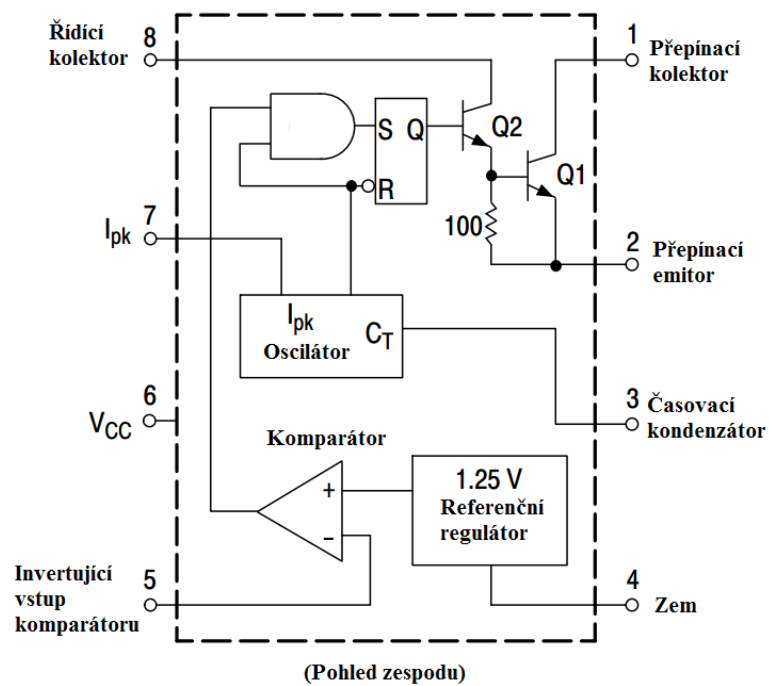
- využití především při bateriovém napájení
- provozní teplota -40°C až 125°C
- nízká spotřeba 500uA je však stále v režimu ON
- pokles napětí 0,45V
- výstupní proud až 500mA
- maximální vstupní napětí 40V
- proudová a teplotní ochrana



Obr. 7.7: Blokové schéma stabilizátoru IC4. Převzato z [12]

Zvyšující měnič IC5

Spínaný regulátor napětí MC34063AP je monolitický řídicí obvod.

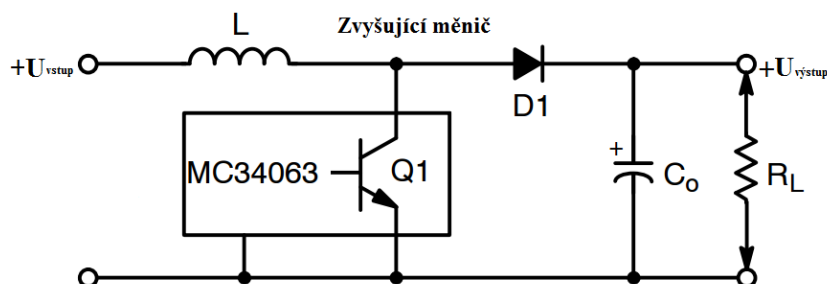


Obr. 7.8: Blokové schéma MC34063AP. Převzato z [12]

Je možné sestavení do tří základních provedení vlivem uspořádání externích součástek:

1. Snižující měnič
2. Zvyšující měnič
3. Invertující měnič

V našem případě je využito zvyšujícího měniče, který má schopnost hodnotu vstupního napětí zvýšit [11][12][13].



Obr. 7.9: Princip zapojení zvyšujícího měniče. Převzato z [12]

Energie se ukládá do cívky L během doby, kdy je tranzistor Q1 zapnutý. Ve fázi vypnutí se energie přenáší na výstup kondenzátoru C_o a zátěž R_L . Tato konfigurace umožňuje nastavení výstupního napětí na libovolnou hodnotu větší než je vstupní hodnota podle následujícího vzorce [11][12][13] :

$$U_{\text{vys.}} = U_{\text{vst.}} \left(\frac{t_{\text{zap.}}}{t_{\text{vyp.}}} \right) + U_{\text{vst.}} \quad (10)$$

Vysvětlení provozu zvyšujícího měniče je následující. Předpokládejme, že tranzistor Q1 je vypnutý, indukční proud je nulový a výstupní napětí je na své nominální hodnotě. V této době je zátěžový proud dodáván pouze do kondenzátoru C_o , tím dojde ke snížení pod nominální hodnotu. Tento deficit bude snímán řídicím obvodem a bude iniciovat zapnutí tranzistoru Q1. Proud tedy začne procházet z $U_{\text{vst.}}$ přes cívku a tranzistor a zvyšuje se vlivem [11][12][13]:

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{U}{L} \quad (11)$$

Napětí na cívce je rovno $U_{\text{vst.}} - U_{\text{sat.}}$ a vrchol proudu lze spočítat pomocí:

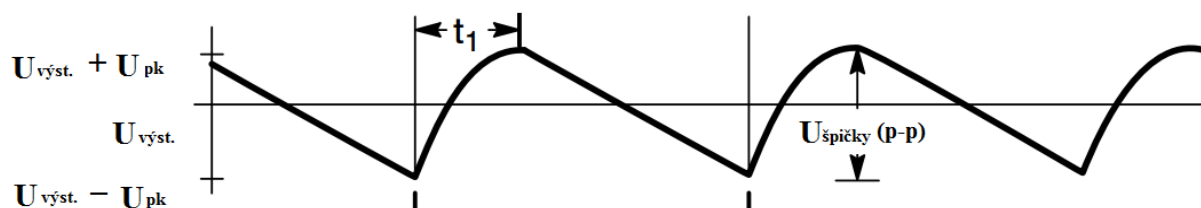
$$I_1 = \left(\frac{U_{\text{vst.}} - U_{\text{sat.}}}{L} \right) \quad (12)$$

Když je tato část u konce, dojde k vypnutí tranzistoru Q1, magnetické pole v cívce se zhroutí a generované napětí půjde přes diodu D1 do kondenzátoru Co a zátěže RL [11][12][13].

Za předpokladu, že zařízení pracuje v přerušovaném stavu, proud na cívce ve fázi vypnutí dosáhne nuly a zvyšuje se pouze v režimu zapnutí. Pro správnou funkci musí tedy měnič pracovat ve spojitém režimu (proud tlumivkou teče neustále), tím dojde ke správné akumulaci energie [11][12][13].

Další důležitou vlastností, na kterou nelze zapomenout, je chyba, vznikající při tomto procesu a nazýváme ji napěťovými špicemi. Hodnotu špiček, které nám ruší výstupní signál lze spočítat pomocí vzorce [11][12][13]:

$$U_{\text{špičky(p-p)}} = \left(\frac{I_{\text{vys.}}}{C_o} \right) * t_{\text{zap.}} \quad (13)$$



Obr. 7.10: Graf napěťových špiček. Převzato z [12]

Pro snížení chyby lze použít LC filtr, který tvoří cívka L2 a kondenzátor C7. Rychlost spínání nastavujeme časovacím kondenzátorem vlivem jeho kapacity [11][12][13].

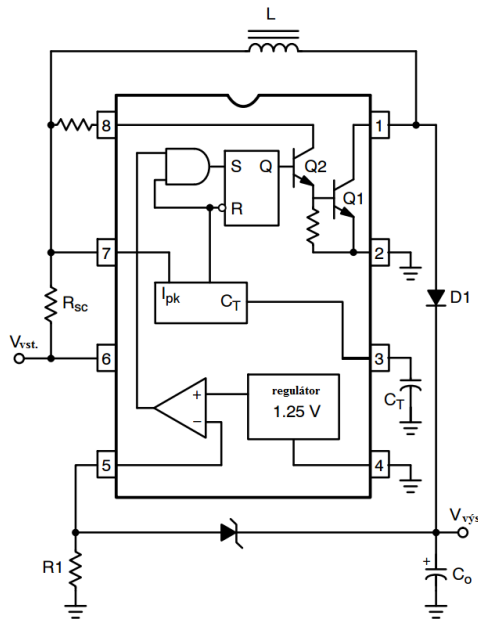
Ochrannou funkci tohoto zařízení zajišťuje rezistor R22, který je mezi piny 6 a 7 a chrání tranzistor Q1, který má maximální pracovní hodnotu 1,5 A (garance nepoškození součástky), zároveň tranzistorem Q2 nesmí procházet větší proud než 100mA [11][12][13].

Podmínky pro správnou funkčnost:

Napájecí a výstupní napětí musí být menší než 40V, napájecí napětí musí být větší než 3V, proud tranzistorem Q1 musí být menší než 1,5 A. Rezistor R23 musí být menší než $U_{\text{vst.}}/I_{\text{pk}}$ a zároveň R23 musí být menší než $100 * U_{\text{vst.}} - 100$ [11][12][13].

Vlastnosti:

- pracuje v rozmezí 3-40 V vstupního napětí.
- pracovní kmitočet oscilátoru do 100kHz
- nastavitelné výstupní napětí
- proudové omezení
- funguje při nízkých hodnotách proudu



Obr. 7.11: Příklad zvyšujícího měniče. Převzato z [12]

Tlumivky L1 a L2

Tlumivka obecně vychází z Faradayova zákona. Tento zákon pojednává o vzniku elektrického napětí v uzavřeném elektrickém obvodu (tlumivka), který je způsoben změnou magnetického indukčního toku. Slouží pro eliminaci vyšších frekvencí a blokování rychlé změny proudu. V jejím magnetickém obvodu dochází k akumulaci elektrické energie. Průběh závislosti magnetického toku je téměř lineární v celém rozsahu. Indukčnost cívky je lineární jen do oblasti plného nasycení. Požadavky na tlumivku jsou především minimální odpor vynutí a dobrá akumulace energie [11][12][13].

Tlumivka L1 při zapnutí fázi bude hodnotu proudu zvyšovat vlivem indukčnosti na cívce, hodnota napětí bude rovna napájecímu napětí tedy 5V. V případě vypnutí se hodnota napětí zvýší a energie z tlumivky přes Schottkyho diodu nabije kondenzátor C6 [11][12][13].

Tlumivka L2 je součástí LC filtru, který nám potlačuje velikosti napěťových špic [11][12][13].

Diody D1 a D2

Dioda D1 je typu B2134-L-AT, neboli elektroluminiscenční dioda. Je to polovodičová součástka, jejíž vlastností je vyzařovat světlo. Prochází-li přechodem P-N diody elektrický proud v propustném směru dochází k emisi světla o určitém spektru, které je ovlivněno chemickým složením polovodiče. Její nespornou výhodou je práce s malými hodnotami proudu a napětí. Slouží k signalizaci zařízení, jestli je v chodu [11][12][13].

Vlastnosti :

- svítivost 4 mcd (Kandel jednotka svítivosti) při 2mA a 1,9 V
- maximální propustný proud 7mA
- průhlednost pouzdra : difúzní
- barva pouzdra : zelená
- vlnová délka 560nm

Dioda D2 je typu SB360 je známá jako Schottkyho dioda. Pracuje na principu využití usměrňujících účinků styku polovodiče a kovu, kde při vedení proudu přes diodu dochází k účasti pouze majoritních nosičů a při difúzi nevznikají žádné minoritní nosiče , tím usměrní vyšší frekvence . Polovodičem bývá nejčastěji křemík, kovem zlato nebo hliník. Oproti diodám s PN přechodem má menší úbytek napětí v propustném směru, konkrétně 0,3 V a vyšší proud v závěrném směru až stovky nA. Další výhodou je také vyšší mechanická odolnost a zotavovací doba menší než 1ns, to znamená rychlost přechodu z vodivého stavu do nevodivého [11][12][13].

Vlastnosti :

- nehořlavý plastový obal
- materiál křemík pro lepší vodivost
- kroužek pro přepět'ovou ochranu
- nízká ztráta energie a vysoká účinnost
- vysoká proudová zatížitelnost

Měniče DC1 a DC2

Tyto měniče jsou ve své podstatě stejné jako zvyšující měnič IC5, jsou to však hotové součástky, které mají předepsané hodnoty, při kterých budou správně fungovat a nelze je využít jako snižující nebo invertující měniče jako v případě IC5. Jejich nespornou výhodou je ušetření místa a času při realizaci. Cena těchto součástek je zhruba stejná jako v případě IC5, avšak dostupnost na českém trhu je velmi omezena. Podařilo se sehnat pro realizaci pouze typ SMU01L-15 – DC1, nikoliv však SMU01L-09 – DC2 [11][12][13].

DC1 měnič SMU01L-15 slouží ke změně vstupního napětí na výstupní, konkrétně nám převádí 5V na 15V při výkonu 1W [11][12][13].

Vlastnosti:

- rozsah vstupního napětí $5 \pm 10\%$ V
- rozsah výstupního proudu $0 \sim 67\text{mA}$
- účinnost 78%
- pracovní teplota $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- hmotnost 1,3 g, rozměry 12x6x10mm
- chlazení volným prouděním vzduchu
- nízké náklady a vysoká spolehlivost



Obr. 7.12: Měnič DC1. Převzato z [12]

DC2 měnič pro napájení digitálního panelového voltmetru je v realizaci nahrazen bateriovým článkem z důvodů nedostupnosti na českém trhu [11][12][13].

Digitální panelový voltmetr

Tento panelový voltmetr je typu WPB5035-DV pro rozsah měření do 1,999 V. Zařízení slouží k prezentování naměřených výsledků. Napájení měřicího přístroje je 9-12V, je však nezbytné mít toto napájení odděleno od měřeného napětí. Spotřeba zařízení je 15mA, tato hodnota je vysoká z důvodu podsvícení, které nám slouží pro lepší čitelnost z displeje. Zařízení obsahuje čtyři svorky, dvě pro napájení a zbylé dvě pro naměřené hodnoty napětí [11][12][13].

Vlastnosti:

- napájení 9 – 12 V
- podsvícení bílé
- rozsah měření 0 – 1,999V
- tolerance napájení $\pm 0,2\%$ při stejnosměrném napětí
- rozměry 80 x 42,5 mm



Obr. 7.13: Digitální panelový voltmetr. Převzato z [12]

Baterie pro napájení anemometru

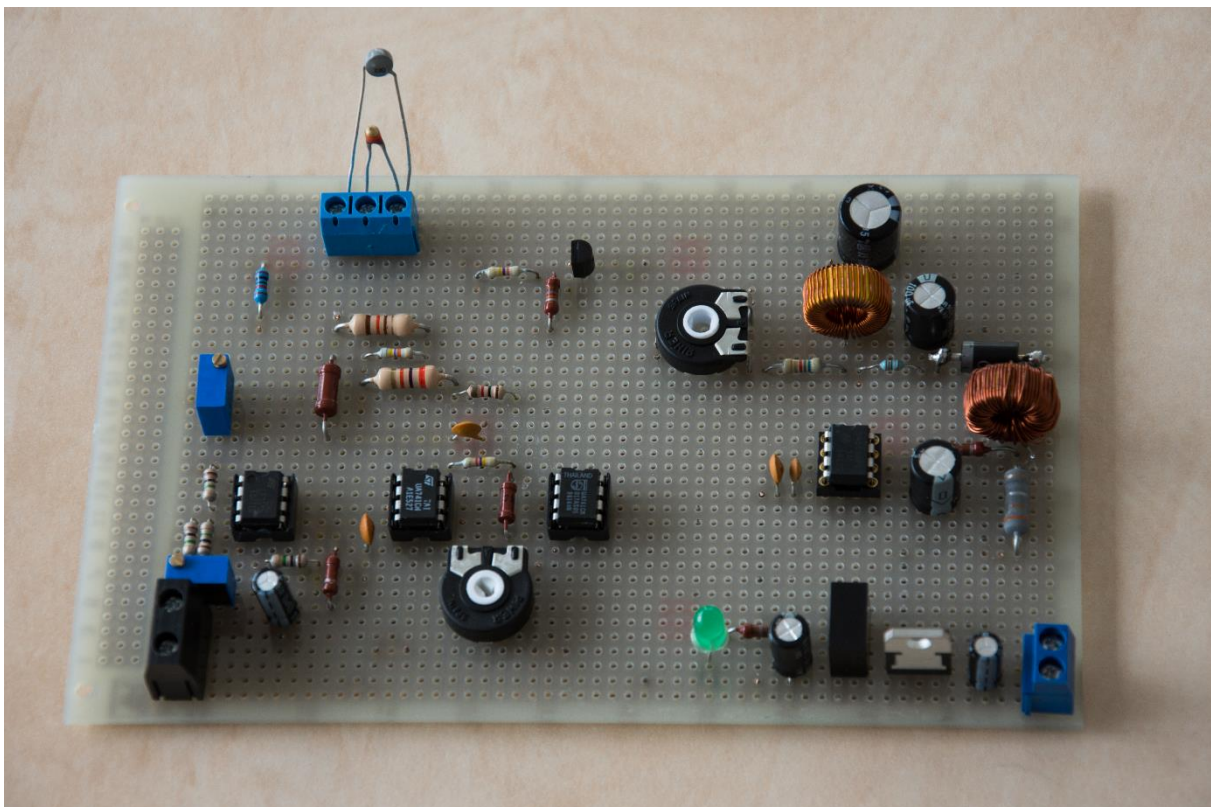
Zdrojem pro tento anemometr je baterie z NiMh akumulátorů. Elektronika anemometru používá napájecí napětí $\pm 15V$. Toto napětí je získáváno pomocí dvou pulzních měničů z výchozího napětí 5V. Pro stabilizaci je užit 5V stabilizátor s nízkým úbytkem napětí (0,2V). Znamená to, že baterie musí obsahovat 5 článků. Minimální napětí, na které mohou být jednotlivé články baterie vybity je 1,1V. Při 5 článcích bude mít tedy baterie ve vybitém stavu napětí 5,5V. Při tomto napětí bude ještě stabilizátor pracovat. Zdroj obsahuje i měnič 9V, který slouží pro plovoucí napájení panelového měřidla, na kterém se zobrazuje rychlost proudění. Tento měnič nebyl k dispozici. Proto jsme tento plovoucí zdroj při ožívání anemometru nahradili 9V destičkovou baterií[11][12][13].

8 REALIZACE

Při využití jednotlivých schémat byla provedena samotná realizace zařízení. V první fázi byly jednotlivé součástky zapojeny na nepájivé pole, aby se ověřila správnost zařízení. Především hodnoty některých odporů bylo třeba pozměnit, aby se nezhoršila citlivost měřidla. Také se nastavovaly hodnoty součástek použité pro filtry RC a LC, v případě špatných hodnot dochází k příliš velkému filtrování naměřeného signálu, to může způsobit ztrátu naměřených dat. Následně byly vytvořeny návrhy pro ideální umístění součástek na pájivou destičku, aby bylo co nejméně využito spojovacích drátků a celkově bylo využito celé plochy destičky. V případě cívek L1 a L2 byl návrh vytvořen tak, aby nebyly tyto součástky v bezprostřední blízkosti, to by mělo za příčinu vzájemné rušení vlivem vlastní indukčnosti. Dále bylo zapotřebí navrhnout pozice svorek pro vstupní napájení a výstup na digitální panelový voltmetr na okraji zařízení pro lepší přístup. Svorky byly využity i v případě termistoru R1 a R8 pro následné budoucí vylepšení samotného měřicího zařízení [11][12][13].

8.1 Pohled shora

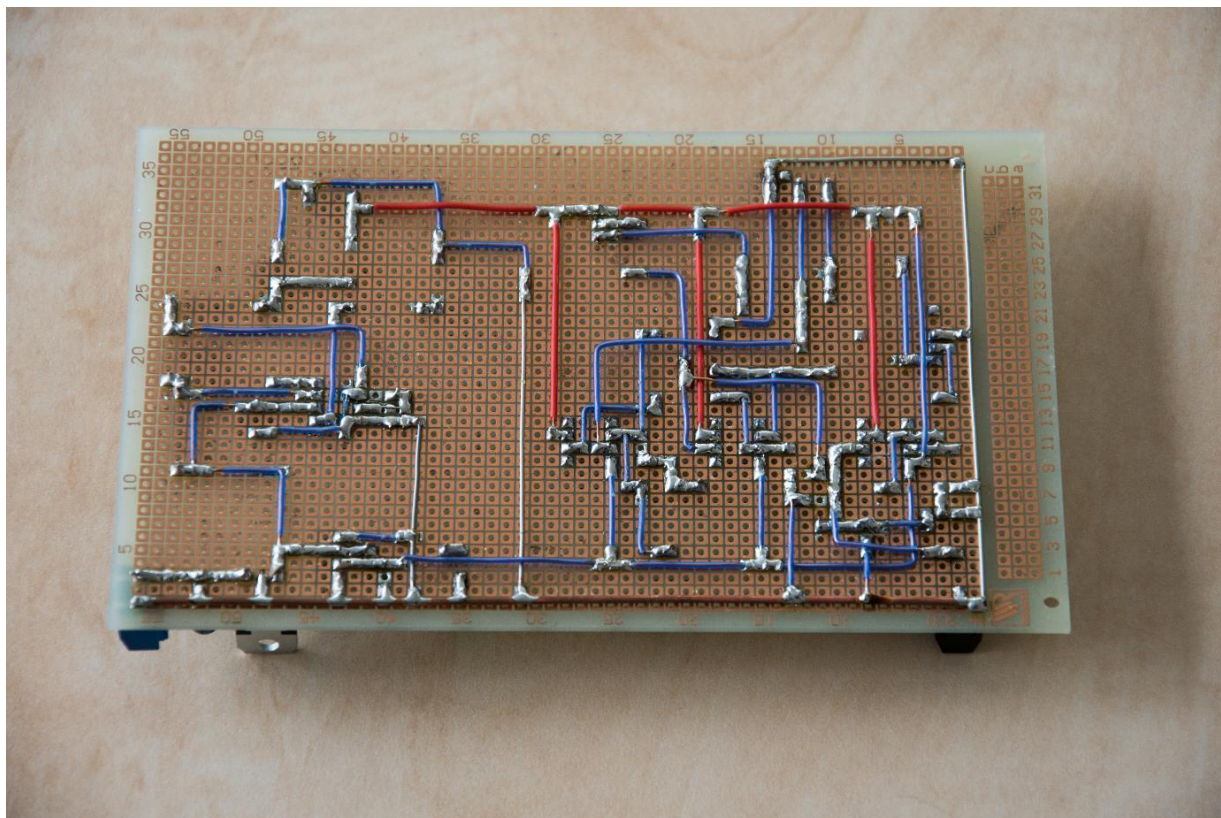
Termistory R1 a R8 jsou v provizorním provedení, jejich poloha lze jednoduše změnit. Pro lepší přehled je pravá část napájecí zdroj a levá samotné měřicí zařízení. V pravé dolní části je vstup pro napájení a v levé dolní části výstup na digitální panelový voltmetr.



Obr. 8.1: Realizované zařízení – pohled shora

8.2 Pohled zespodu

Při zapojování funkčního vzorku bylo pro přehlednost využito dvou barev silikonových bužírek, kde modrou jsou označeny vodiče pro záporné napětí a vodiče zemnicí. V červené bužírce jsou vodiče vedoucí kladné napětí. Pro základní zemnicí spoje byl použit silný neizolovaný měděný drát. Pro dílčí spoje mezi částmi obvodů, kde netečou velké proudy byly použity vodiče tenké. Silikonová bužírka byla použita proto, že snese i vyšší teploty a nehrozí nebezpečí, že by při pájení vodič uvnitř bužírky se přes její stěnu prořízl.



Obr. 8.2: Realizované zařízení – pohled zespodu.

8.3 Kalibrace

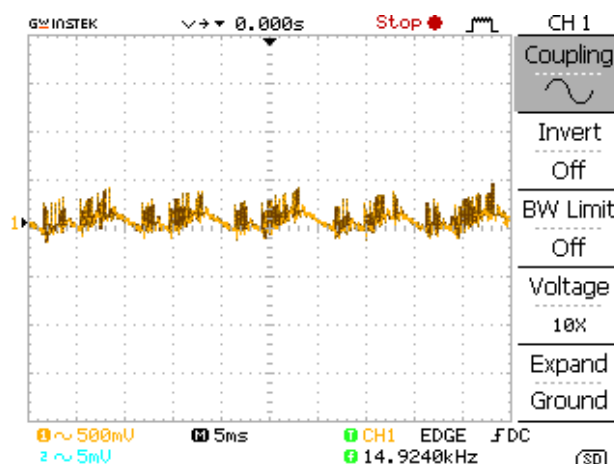
Při prvním spuštění je nejprve nutné provést příslušnou kalibraci, aby výsledné hodnoty byly správné. Samotná kalibrace se provádí za pomoci 4 trimrů, které v obvodu máme. Trimr R25 slouží k nastavení zvyšujícího měniče IC5, aby výstupní hodnota byla +15V. Trimr R4 slouží pro nastavení hodnoty k zesílení získaného signálu z kompenzačního termistoru R1. Trimry R14 a R15 nastavujeme na hodnotu 0V, při podmínkách, kdy vyhřívaný termistor není ochlazován obtékáním vzduchu kolem senzoru. Výstupní napětí nám tedy v případě nulové rychlosti větru bude na digitálním panelovém voltmetru ukazovat také nulu. V případě změny rychlosti proudění vzduchu dojde k rychlejšímu ochlazování a tím ke změně rozdílu napětí,

které se projeví na výsledném signálu. V potaz je nutné brát rozsah měření 0-1,999V [11][12][13].

Pro ocejchování přístroje je zapotřebí provést příslušnou kontrolu anemometru, k tomu využijeme ventilátoru o patřičném výkonu a přesný měřič rychlosti proudění vzduchu. Testování provedeme při různých teplotách okolí [11][12][13].

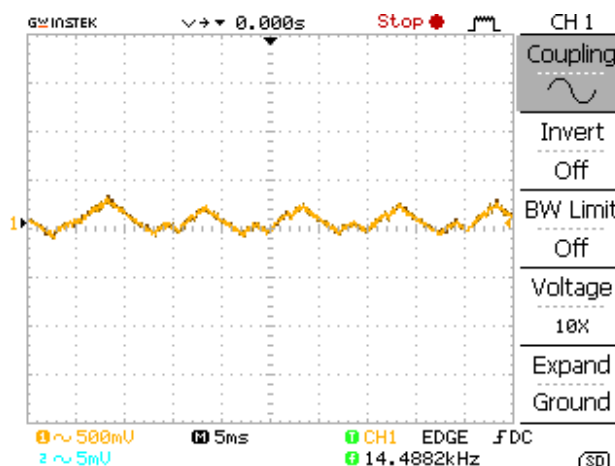
8.4 Testování

Pro kontrolu funkčnosti zařízení byla provedena řada měření pomocí osciloskopu. Na obrázku [Obr. 8.3] je hodnota napětí naměřená za zvyšujícím měničem. Signál je rušen vlivem napěťových špiček, podrobněji popsáno u zvyšujícího měniče IC5.



Obr. 8.3: Signál rušený napěťovými špičkami

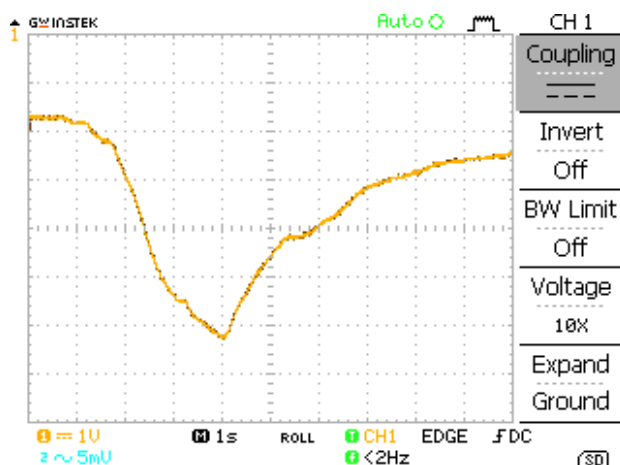
Pro filtraci takového signálu využijeme LC filtru, který nám eliminuje rušivé jevy. Výsledek vidíme na obrázku [Obr. 8.4].



Obr. 8.4: Filtrovaný signál

Na následujícím obrázku [Obr. 8.5] je naměřeno napětí na výstupu zařízení, které je vyvedeno na digitální panelový voltmetr. Tento graf nám konkrétně vyjadřuje subjektu výdech v blízkosti termistorových čidel. V první fázi nám napětí klesá vlivem ochlazení

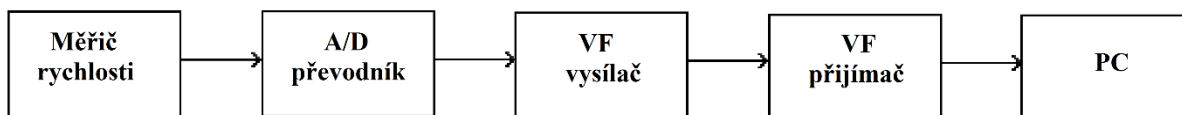
termistoru proudícím vzduchem a následně napětí stoupá, protože již čidlo není dále ochlazováno.



Obr. 8.5: Výstupní napětí

8.5 Zpracování naměřených dat

Naměřená meteorologická data, která budeme chtít dálkově přenášet, musíme nejprve zpracovat. Existují dva způsoby, jak toho dosáhnout. Prvním způsobem je digitalizace a přenos analogového signálu pomocí sériového kódu. Druhá možnost, která je jednodušší je převést analogové napětí na impulzy za pomoci převodníku napětí/kmitočet. Oba případy lze přenášet díky vysokofrekvenčnímu modulu, který obsahuje vysílač a přijímač. Taková součástka je běžně k dostání a umí většinou přenášet jenom impulzní signál. Lze však také nahradit tyto vysokofrekvenční moduly kabelem na určitou vzdálenost.



Obr. 8.6: Blokové schéma zpracování naměřených dat.

8.6 Využití anemometru v lékařství

Navržený anemometr je určen pro měření rychlosti proudění do 2m/s, tedy v rozsahu, kde již anemometry určené pro měření síly větru příliš nepracují. Může být užitečný například na operačních sálech, kde se usměrněný proud vzduchu v některých případech používá pro snížení počtu částic prachu v operačním poli, nebo v laminárních boxech, které se běžně používají v laboratořích lékáren. Z hlediska konstrukce zařízení je předpokládáno, že se k elektronice připojí z vnějšku čidlo s přiměřeně dlouhým přívodem, které bude obsahovat jak kompenzační, tak i měřicí termistor. Velikost vlastní elektroniky zde tedy nehraje žádnou roli.

9 ZÁVĚR

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. Teoretická část popisuje metody měření meteorologických veličin, především rychlosti proudění vzduchu a teploty, také jsou v této části podrobně rozepsány jednotlivé typy anemometrů. Dále detailně popisuje jednotlivé části anemometru, které jsou nezbytné pro správnou funkčnost, především je podrobně rozepsána volba vhodného senzoru. Následně je popsána technologie, provoz, metody snímání, umístění čidla a realizace zařízení, které využívá dvou termistorů. Je zde také vytvořeno blokové schéma, u kterého jsou popsány jednotlivé součástky. Pro měření rychlosti proudu vzduchu bylo použito zapojení s kompenzovaným můstkem. Toto zapojení není vhodné pro současné měření teploty.

V praktické části je samotná realizace anemometru s dvěma termistorovými čidly, které mají schopnost měřit rychlost proudění vzduchu. Na závěr bylo uvedeno jeho možné využití v oblasti medicíny. Elektronika anemometru byla oživena a je funkční.

Zařízení je možné dále vylepšovat. Je možnost navrhnutí desky plošných spojů pro zmenšení velikosti měřiče a vytvoření příslušného softwaru pro další zpracování a využití dat.

LITERATURA

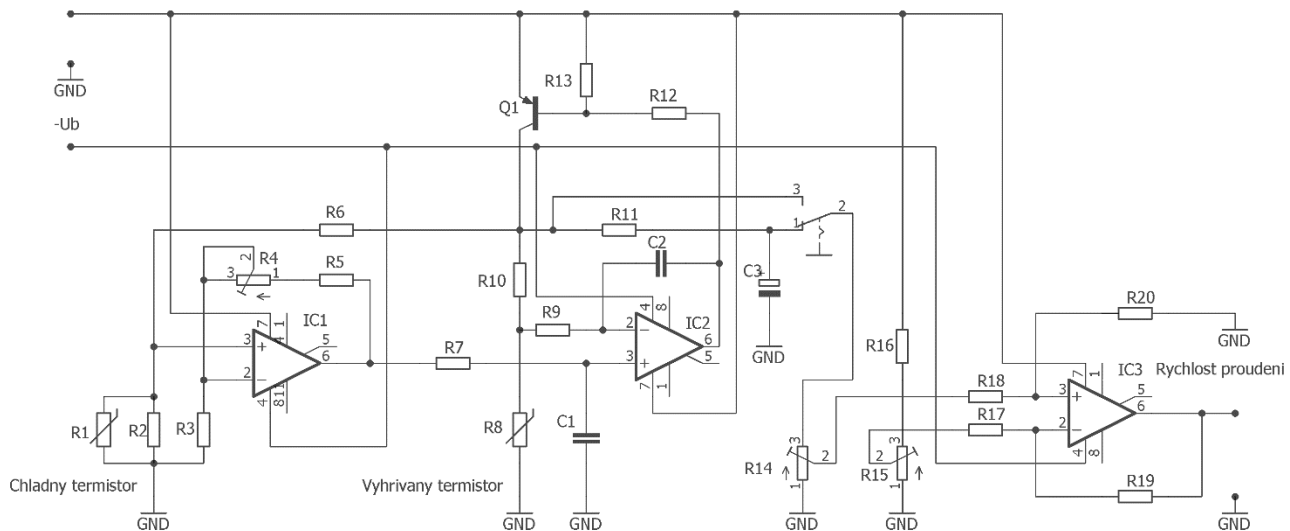
- [1] DVOŘÁK, Petr. *Letecká meteorologie: meteorolog* Odboru letecké meteorologie ČHMÚ. ISBN: 80-86808-09-7. [Cit. 15. října 2015]
- [2] Předpovědi. CHMI. [Online]. [Cit. 29. října 2015]. Dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/predpovedi/predpovedi-pocasi/evropa/synopticka-situace>>.
- [3] CHLOUPEK J., SUCHÝ P.: *Mikroklimatická měření: Proudění vzduchu*. [Online]. [Cit. 4. listopadu 2015]. Dostupné z: <<http://cit.vfu.cz/mikroklima/www/5%20Proudeni.htm>>.
- [4] Wind speed. Measurement. [Online]. [Cit. 4. listopadu 2015]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_speed#Measurement%22>.
- [5] Katedra letecké technické přípravy: Sensorika. Letecká fakulta. [Online]. [Cit. 12. listopadu 2015]. Dostupné z: <<http://www.sensorika.leteckafakulta.sk/?q=node/133>>.
- [6] Measurement of Surface Wind. Lecture notes. [Online]. [Cit. 28. listopadu 2015]. Dostupné z: <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/ric/material/1_Lecture_Notes/CP4-Wind.pdf>.
- [7] Snímače teploty.VOŠ Kutná hora. [Online]. [Cit. 2. prosince 2015]. Dostupné z: <<http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>>.
- [8] PREISS J., RAOUF I., Cambridge AccuSense:Accurate Air Flow Measurement. [Online]. [Cit. 2. prosince 2015]. Dostupné z: <<http://www.degreec.com/downloads/airflow-instruments/atm2400/teltherm-article.pdf>>.
- [9] Sage action. Fluid Mechanics. vidix. [Online]. [Cit. 10. prosince 2015]. Dostupné z: <http://www.vidix.se/Fluid_Mech.htm>.
- [10] Intersil: ICL7106, ICL7107, ICL7107S [Online]. [Cit. 16. prosince 2015]. Dostupné z: <<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl7/icl7106-07-07s.pdf>>.
- [11] BRTNÍK B., MATOUŠEK D. *Elektronické prvky*. ISBN: 978-80-7300-4.
- [12] GM Electronic: Katalogové listy jednotlivých součástí. [Online]. [Cit. 20. února až 15.května 2016]. Dostupné z : <<http://www.gme.cz//>>.
- [13] Electronic Components Datasheet[Online]. [Cit.20.května 2016].Dostupné z : <<http://www.alldatasheet.com/>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

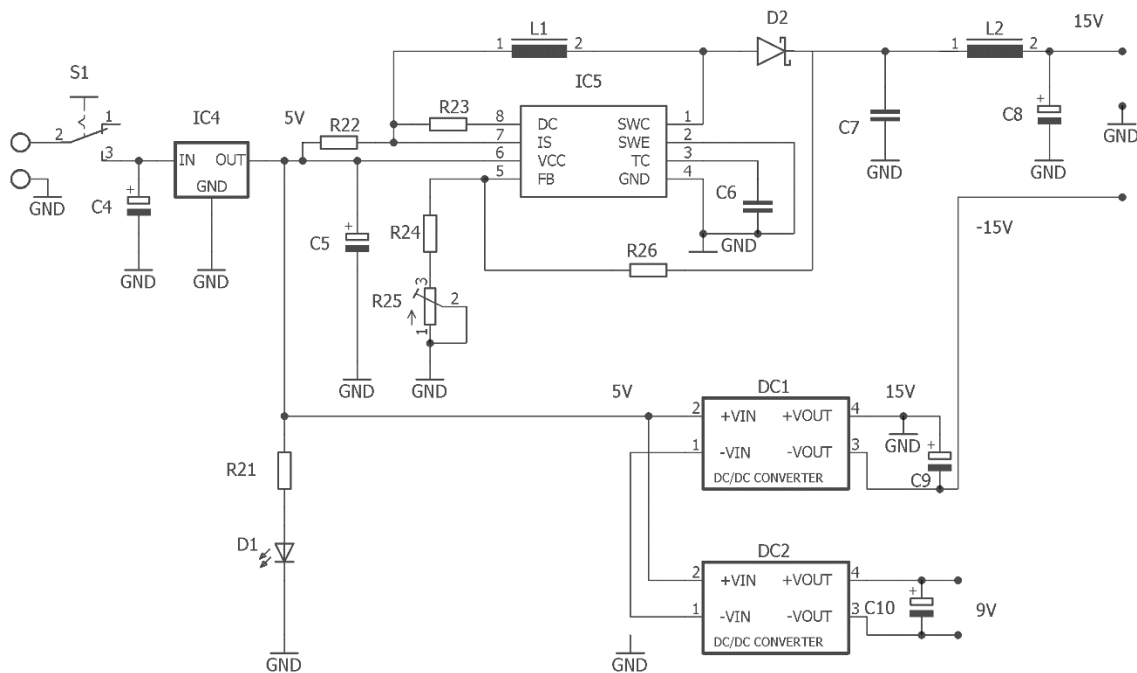
C	Kapacita	[F]
R	Elektrický odpor	[Ω]
L	Indukčnost	[H]
U	Napětí	[V]
A	Zesílení	
t	Čas	[s]
T	Teplota	[$^{\circ}\text{C}$]
S	Plocha	[m^2]
I	Proud	[A]
R_0	Elektrický odpor při 0°C	[Ω]
R_{100}	Elektrický odpor při 100°C	[Ω]
$U_{\text{vst.}}$	Vstupní napětí	[V]
$U_{\text{výs.}}$	Výstupní napětí	[V]
$U_{\text{sat.}}$	Napětí na cínce po nasycení	[V]
α	Teplotní součinitel odporu	
ϵ_0	Permitivita vakua	[F m^{-1}]
ϵ_r	Relativní permitivita	[F m^{-1}]
W	Energie elektrického pole	[J]

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení termistorového anemometru



A.2 Obvodové zapojení napájecího zdroje



B ROZPIS SOUČÁSTEK

V následující tabulce je seznam součástek použitých při konstrukci anemometru. Kódové označení odpovídá značení podle katalogu GM Electronics. Tato firma uvádí u jednotlivých součástek i katalogové listy od jejich výrobců. Informace o použitých součástkách uváděné v této bakalářské práci byly převzaty z těchto katalogových listů. Pokud u součástky není uveden kód, byla obdržena od vedoucího práce.

Tab. 0.1: Rozpis součástek

Součástka	Název	Typ	Hodnota	GME kód
Termistor	R1	NTC 640	12 k Ω	118-044
Rezistor	R2	-	2,8 k Ω	-
Rezistor	R3	-	2 k Ω	-
Rezistor	R4	Trimr	4,7k Ω	112-109
Rezistor	R5	-	7,5 k Ω	-
Rezistor	R6	-	56 k Ω	-
Rezistor	R7	-	5 k Ω	-
Termistor	R8	NTC B57164	220 Ω	118-005
Rezistor	R9	-	5 k Ω	-
Rezistor	R10	-	120 Ω /1W	-
Rezistor	R11	-	18 k Ω	-
Rezistor	R12	-	18 k Ω	-
Rezistor	R13	-	5 k Ω	-
Rezistor	R14	Trimr	50 k Ω	112-245
Rezistor	R15	Trimr	50 k Ω	112-245
Rezistor	R16	-	1M Ω	-
Rezistor	R17	-	1M Ω	-
Rezistor	R18	-	1M Ω	-
Rezistor	R19	-	1M Ω	-
Rezistor	R20	-	1M Ω	-
Rezistor	R21	-	1,5 k Ω	-
Rezistor	R22	-	0,3 Ω /1W	-
Rezistor	R23	-	180 k Ω	-
Rezistor	R24	-	6,8 k Ω	-
Rezistor	R25	-	10 k Ω	-
Rezistor	R26	-	130 k Ω	-
Kondezátor	C1	-	1nF / 50 V	-
Kondezátor	C2	-	1nF / 50 V	-
Kondezátor	C3	-	10 μ F/63V	-
Kondezátor	C4	-	100 μ F/16V	-
Kondezátor	C5	-	100 μ F/35V	-
Kondezátor	C6	-	22nF/50V	-
Kondezátor	C7	-	470 μ F/35V	-
Kondezátor	C8	-	100 μ F/35V	-
Kondezátor	C9	-	100 μ F/25V	-
Kondezátor	C10	-	100 μ F/15V	-

Zesilovač	IC1	LM741P	-	310-017
Zesilovač	IC2	LM741P	-	310-017
Zesilovač	IC3	LM741P	-	310-017
Stabilizátor	IC4	LF550CV	-	330-142
Měnič	IC5	-	-	-
Měnič	DC1	SMU01L-15	-	332-529
Měnič	DC2	SMU01L-09	-	332-527
Dioda	D1	B2134-L-AT	-	511-203
Dioda	D2	SB360	-	223-085
Tlumivka	L1	-	470mH	-
Tlumivka	L2	-	140mH	-
Tranzistor	Q1	LE50ABZAP	-	330-094
D.P.Voltmetr	-	WPB5035DV	0-1,999V	722-464

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

Příloha 1	Schéma obvodu – Termistorový anemometr (PNG)
Příloha 2	Schéma obvodu – Termistorový anemometr (Eagle)
Příloha 3	Schéma obvodu – Napájecí zdroj (PNG)
Příloha 4	Schéma obvodu – Napájecí zdroj (Eagle)
Příloha 5	Realizované zařízení – Pohled shora (JPG)
Příloha 6	Realizované zařízení – Pohled zespodu (JPG)
Příloha 7	Elektronická verze této práce (PDF)