

Snímání tlaku pomocí mikropočítače

Pressure measurement with microcontroller

Libor Odstrčil

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Libor ODSTRČIL**
Osobní číslo: **A10049**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Snímání tlaku pomocí mikropočítače**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte stručný přehled dostupných snímačů pro měření tlaku vhodných pro připojení k mikropočítači.
2. Zvolte snímač a další komponenty pro realizaci jednoduchého měřiče tlaku s možností archivace a následného přenosu údajů do počítače.
3. Navrhněte zapojení obvodu a realizujte funkční prototyp zařízení.
4. Pro zařízení vytvořte programové vybavení a ověřte jeho funkci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HRBÁČEK, J. Komunikace mikrokontroléru s okolím. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, 156 s. ISBN 80-860-5642-2.
2. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-730-0077-6.
3. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0110-1.
4. CATSOULIS, John. Designing Embedded Hardware. Sebastopol: OReilly Media, 2005. ISBN 978-0-596-00755-3.
5. ARDUINO. Arduino Home Page [online]. 2013 [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

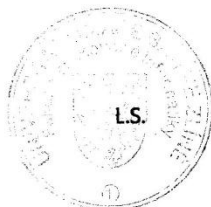
24. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

14. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vytvořit zařízení měřící tlak vzduchu pomocí mikropočítače. Toto zařízení měří atmosférický tlak, teplotu a nadmořskou výšku. Naměřená data posílá přímo do počítače, nebo je může ukládat do paměti pro pozdější přenos. V teoretické části jsou popsány základní metody měření tlaku. V praktické části jsou popsány použité součástky, postup návrhu a programové řešení zařízení.

Klíčová slova: atmosférický tlak, tlakový senzor, mikropočítač, HCS08

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to construct an air pressure measuring device with microcontroller. Device measures atmospheric pressure, temperature and altitude. Measured values are sending to the computer memory or are stored for future transmission. The theoretical section describes basic air pressure measuring methods. The practical section is focused on components used, design procedure and programming solution.

Keywords: atmospheric pressure, pressure sensor, microcontroller, HCS08

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Dolinayovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při řešení problémů. Také bych chtěl poděkovat mé rodině za jejich podporu.

Motto:

„Non schoale, sed vitae discimus.

- Neučíme se pro školu, ale pro život.“

Seneca

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 Tlak.....	11
1.1 Vyjádření tlaku	11
1.2 Měření tlaku	12
1.3 Snímače tlaku	12
1.3.1 Mechanické tlakoměry.....	13
1.3.2 Elektrické tlakoměry	16
2 Přehled dostupných snímačů	18
2.1 Analogové snímače.....	19
2.1.1 Snímače s teplotní kompenzací.....	19
2.1.2 Snímače bez teplotní kompenzace.....	20
2.2 Digitální snímače.....	22
2.2.1 Snímače s rozhraním I ² C.....	22
2.2.2 Snímače s rozhraním SPI.....	24
II. PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 Hardware	27
3.1 Mikropočítač.....	27
3.2 Snímač.....	28
3.3 Bluetooth modul	29
4 Návrh a výroba plošného spoje	30
4.1 Návrh schématu.....	30
4.2 Návrh plošného spoje	32
4.3 Výsledné schéma.....	33
4.4 Výroba plošného spoje.....	34
4 Software	35
4.1 Komunikace přes sériové rozhraní.....	36
4.2 Komunikace přes I ² C	37
4.3 Obsluha snímače	39
4.4 Hlavní program.....	40
Závěr	45

Závěr v angličtině	46
Seznam použité literatury	47
Seznam použitých symbolů a zkratk	49
Seznam obrázků.....	50
Seznam tabulek.....	51
Seznam příloh	52

ÚVOD

Měřením získáváme informaci o stavu a vlastnostech dané oblasti. Proto je měření důležitou součástí automatizace pro sledování systému nebo při regulaci určitého procesu.

Mezi jednu z měřených veličin patří tlak. Tlak sám o sobě je fyzikální veličina, která je dána typem měření. Měřit můžeme pouze atmosférický tlak nebo přejít k měření absolutního tlaku, který má širší využití pro jeho širší rozsahu měření. Samozřejmostí je měření rozdílu dvou tlaků. Uplatnění také nachází měření přetlaku nebo podtlaku, jejich hodnoty jsou určeny na základě atmosférického tlaku. Dá se měřit tlak vzduchu, páry i vody, samozřejmě ale záleží na typu použitého snímače.

Hodnota tlaku je závislá na teplotě, proto pro zjišťování přesných údajů bývá nezbytné, současně s tlakem měřit i teplotu a provést následnou kompenzaci.

V současnosti se vyskytují snímače takového typu, že podávají elektrický výstup. K tomu je poté potřeba AD převodníků a zařízení pro zpracování. S rozvojem mikroelektroniky se do popředí dostávají mikropočítače, čímž se nám usnadňuje zpracování údajů ze snímačů. Díky mikropočítačům lze vytvářet libovolná zařízení a aplikace, které jsou schopné komunikovat s uživatelem.

V teoretické části se budu hlavně zabírat popisem měření tlaku od mechanických principů až k elektronickým. Bude proveden přehled dostupných snímačů, které jsou vhodné pro připojení k mikropočítači.

V praktické části bude popsáno, jak probíhal návrh prototypu zařízení s výběrem součástek a popisu jejich vlastností. Pokračovat bude popis výroby a metody, která byla pro výrobu zvolena. V poslední části bude popsáno, jak bylo zařízení programováno s popisem jeho funkce a ovládání celého zařízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Tlak

[4, 6] Tlak je odvozená fyzikální veličina, která je definována jako síla F působící na povrch S . Tlak ale může působit staticky nebo dynamicky. V případě statického tlaku se jedná o tlak působící v kapalině, která je v klidu. Tlak v této kapalině působí ve všech směrech a je úměrný výšce tlakového sloupce tekutiny o dané hustotě. Tento tlak je definován podle vztahu

$$p_s = h\rho g. \quad (1)$$

Pokud se jedná o proudící kapalinu, jedná se o tlak dynamický.

Nemusíme měřit pouze tlak kapaliny, ale i plynů a páry. V tomto případě je výsledný absolutní tlak stavovou veličinou ve stavové rovnici plynů

$$pV = nRT. \quad (2)$$

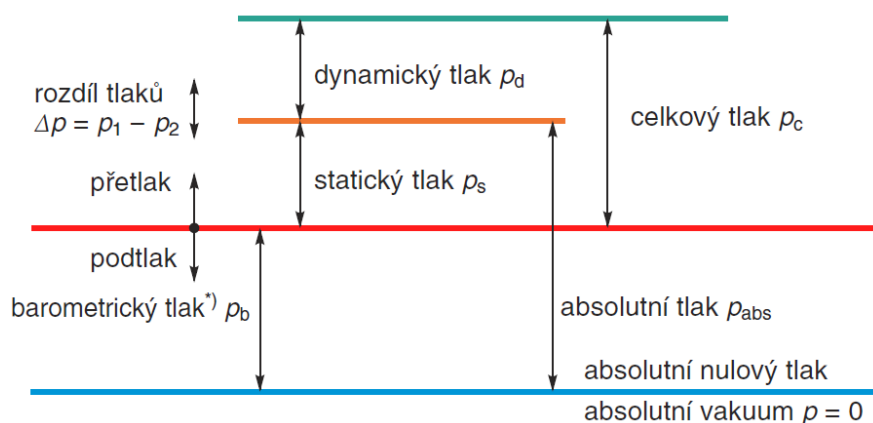
Tlak má jednotku pascal (Pa), který je definován, že tlak o velikosti 1 Pa je takový tlak, který vyvolá síla o velikosti 1 N na rovnoměrně rozložené ploše 1 m^2 , která je kolmá ke směru této síly. Protože jednotka pascal je sama o sobě malá, používají se v praxi násobky, jako je hPa (10^5 Pa), kPa a MPa.

1.1 Vyjádření tlaku

[2] Při měření tlaku se měření vždy vztahuje k určitému tlaku. Nejčastěji se jedná o absolutní nulový tlak, též absolutní vakuum. Přesněji jde o teoretický nulový tlak v uzavřeném prostoru dokonale zbaveném všech hmotných částic. Druhým tlakem je atmosférický tlak, též barometrický, a jde o tlak vzduchu v daném místě při dané teplotě. Například pro nadmořskou výšku 0 mnm a teplotu $0 \text{ }^\circ\text{C}$ je atmosférický tlak 101,325 kPa.

Pokud budeme měřit tlak, který je vztažen k absolutnímu nulovému tlaku, tak dostaneme tlak označující se jako absolutní tlak. Při zvolení atmosférického tlaku jako vztažný tlak, můžeme měřit tlak, který se označuje jako přetlak nebo podtlak.

V podstatě záleží na tom, jaký je rozdíl mezi atmosférickým tlakem a tlakem absolutním. Další možností je měřit rozdíl dvou různých tlaků, z nichž ani jeden není atmosférický. V tomto případě se výsledný tlak označuje jako diference tlaků, nebo obecněji rozdíl tlaků. Přehled jednotlivých tlaků je znázorněn na obrázku (Obr. 1.).



Obr. 1. Grafické znázornění různých vyjádření tlaku. [6]

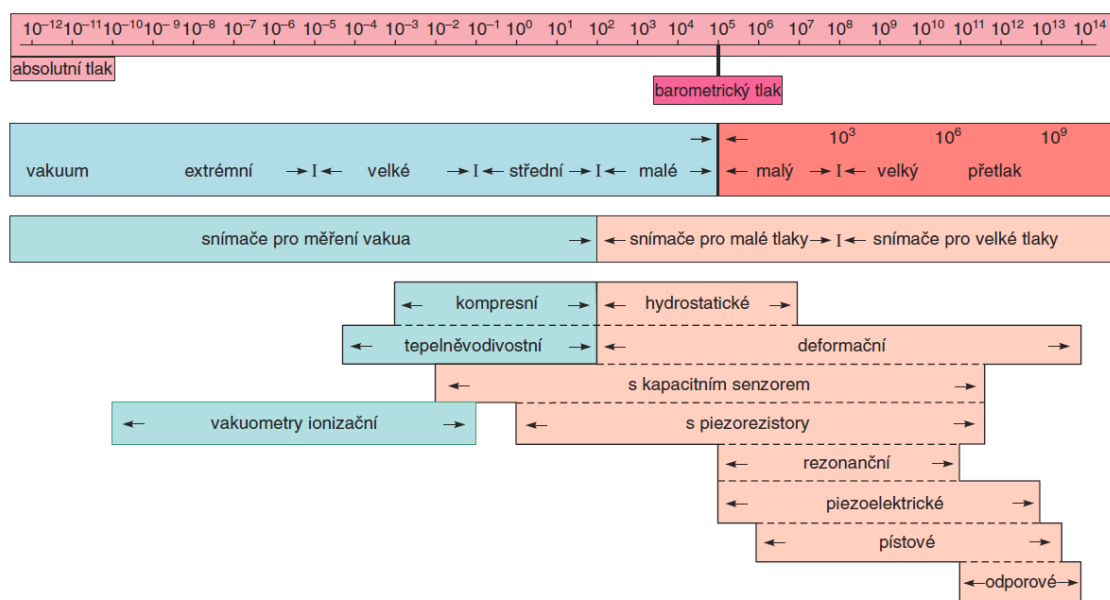
1.2 Měření tlaku

[6] Přístroj pro samotné měření tlaku se označuje jako tlakoměr (manometr), přičemž existuje několik jiných označení, podle toho, co se daným přístrojem měří. Stejně označení, jako je tlakoměr, nese přístroj pro měření přetlaku. Při měření podtlaku se využívá přístroje označeného jako podtlakoměr (vakuometr). Měříme-li atmosférický tlak, tak použijeme barometr. Pro měření rozdílů se daný přístroj označuje jako rozdílový (diferenční) tlakoměr. Z toho vyplývá, že pouze jedním přístrojem nelze měřit vše, ale musíme si vybrat přesně ten přístroj, který pro dané měření potřebujeme.

1.3 Snímače tlaku

[4] Snímače pro měření tlaku jsou založeny na mnoha metodách. Jsou to, jak metody starší, založeny na mechanickém principu, které ale stále fungují a můžeme se setkat se snímači založenými na takovém principu. Důležitější skupinou jsou

snímače založené na elektrickém principu. Každý snímač založený na určitém principu je omezený rozsahem. Důležitá je proto volba snímače, podle toho, v jaké oblasti se při měření budeme pohybovat. Ukázky rozsahů pro různé principy měření, jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 2.).



Obr. 2. Orientační rozdělení snímačů tlaku podle měřícího rozsahu. [6]

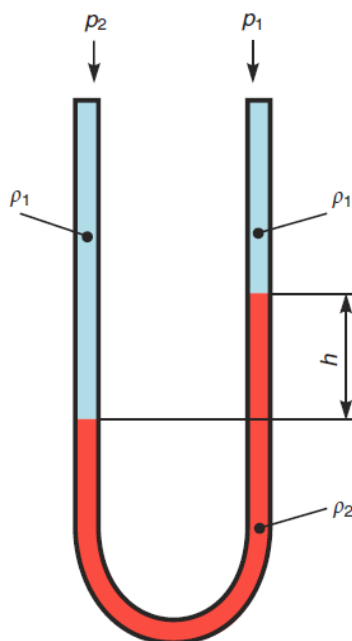
1.3.1 Mechanické tlakoměry

[6] Mechanické tlakoměry patří do skupiny snímačů s neelektrickým principem. Využívají se snímače založené na dvou principech. První z nich je hydrostatický princip, který je založen na definičním vztahu (2). Druhým je deformační princip, kde se využívá deformačních členů. Nevýhodou těchto tlakoměrů je, že jejich přesnost je ovlivněna teplotou, projevující se roztažností materiálu tlakoměru nebo změnou hustoty kapaliny.

Hydrostatické tlakoměry

[2, 6] Typickým hydrostatickým tlakoměrem je U – tlakoměr, který je tvořen skleněnou trubicí ve tvaru U. Uvnitř trubice se nachází kapalina, kterou může být

voda, rtuť, alkohol, toluen. Na jednotlivé vývody trubice jsou přivedeny tlaky a jejich rozdíl je dán na základě výšky, která je rozdílem výšek hladin. Tyto tlakoměry se vyznačují jednoduchostí a díky své přesnosti a spolehlivosti se využívají především v laboratořích.



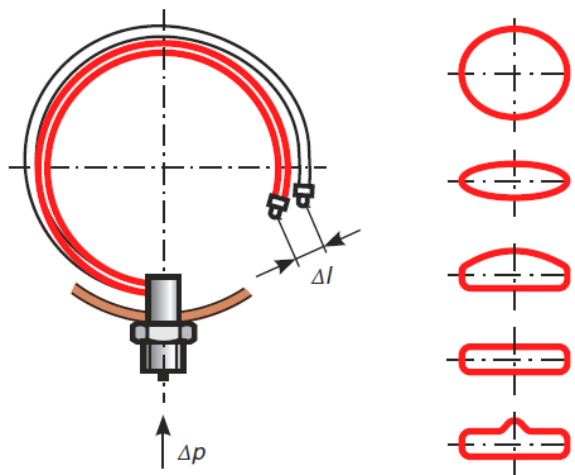
Obr. 3. Schéma U - tlakoměru. [6]

Deformační tlakoměry

[2, 6] U deformačních tlakoměru se využívá deformačního členu, kterým může být Bourdonova trubice, membrána nebo vlnovec. Tlak působí na deformační člen a způsobuje jeho deformaci, čímž se tlak přenáší na mechanické napětí. Tlakoměry působí jednoduchostí a nejsou náročné na údržbu. Nevýhoda těchto tlakoměru je, že může nastat trvalá deformace deformačního členu.

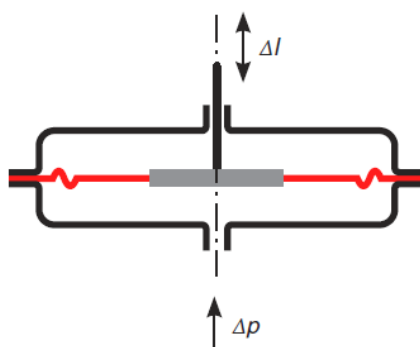
Když zvolíme nejpoužívanější deformační tlakoměr, tak se jedná o trubicový tlakoměr. Tento tlakoměr má deformační prvek Bourdonovu trubici. Tato trubice může mít různé tvary průřezů (Obr. 4.), ale nejčastějším typem je oválný nebo kruhový tvar průřezu. Do trubice stočené do oblouku se pevným koncem přivede

měřený tlak, přitom druhý konec je volný a uzavřený. Měřený tlak způsobí, že se volný konec trubice vychyluje od středu otočení.



Obr. 4. Bourdonova trubice s příklady průřezů. [6]

Za zmínku také stojí membránový tlakoměr. Zde je deformačním prvkem kovová membrána kruhového tvaru. Membrána je v pouzdře, kde je na jednu její stranu přiveden měřený tlak. Tlak způsobí, že se membrána vychýlí. Toto vychýlení se dále přenáší na ukazatel.



Obr. 5. Membránový tlakoměr. [6]

1.3.2 Elektrické tlakoměry

[5, 7] Důležitější skupinou jsou elektrické tlakoměry. Díky poskytování elektrického signálu, který je vhodný pro zpracování v elektrických analogových a číslicových obvodech, jsou tyto tlakoměry vhodnými prvky pro moderní automatizační techniku. U těchto snímačů se neměří tlak přímo, ale přes účinek síly, působící na namáhaný člen. Tato síla způsobí deformaci pružného členu nebo vznik mechanického napětí, čehož se nadále využívá. Elektrický tlakoměr nejčastěji využívá odporového a kapacitního principu, ale existují také principy jako je piezoelektrický a indukčnostní princip.

Odporové tlakoměry

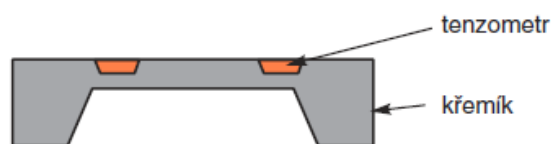
[3, 7] Odporový tlakoměr se zakládá na principu, který je založen na tom, že snímač reaguje na vnější podnět vyvolaný mechanickým napětím. Reakcí je, že snímač mění své geometrické vlastnosti, což vede ke změně elektrického odporu. Elektrický odpor je závislý na délce vodiče a ploše jeho průřezu. Obecně pro elektrický odpor válcového vodiče platí vztah

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

kde ρ je měrný odpor vodiče, l je délka vodiče a S je plocha průřezu. Snímač je tvořen nádobou, ve které je umístěn drát svinutý do cívky. Do této nádoby je přiveden měřený tlak. Takové tlakoměry jsou určeny pro velmi vysoké tlaky, aby bylo možné zaregistrovat deformace drátu.

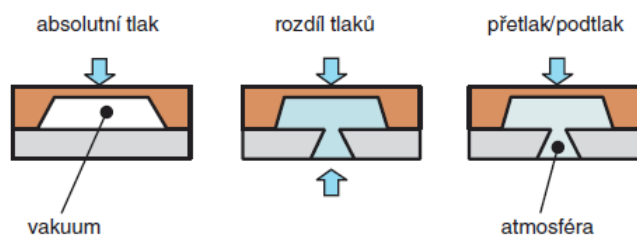
[1] V současné době s rozšířeností polovodičů, jsou velmi často používané polovodičové odporové tenzometry, označované jako piezorezistory, které se vyrábí z monokrystalu křemíku. Tento článek je poté nalepen přímo na měrný mechanický člen, na který působí měřený tlak. Silovým působením tlaku na polovodičový přechod typu PN se mění jeho vlastnosti. Samotný jev je nazýván jako piezoodporový. Hlavní změnou na polovodičovém přechodu je jeho vodivost, tudíž při daném přivedeném napětí se mění velikost proudu procházející přechodem. Moderní snímače používají

tlakoměrné buňky s polovodičovými tenzometry (Obr. 6.). Tato buňka je pružným prvkem pro snímání tlaku, který transformuje na elektrický signál změnou odporu. Podstatnou část této buňky tvoří křemíková membrána, na jejímž povrchu jsou polovodičové tenzometry.



Obr. 6. Tlaková buňka. [7]

Pro účely měření jak absolutního tlaku, přetlaku nebo podtlaku, tak pro měření rozdílu tlaků, se tlakoměrná buňka upravuje (Obr. 7.). Úpravy jsou provedeny tak, aby na druhou stranu membrány, než působí měřený tlak, působil vztažný tlak, ke kterému se má měřit.



Obr. 7. Úpravy pro různá měření. [8]

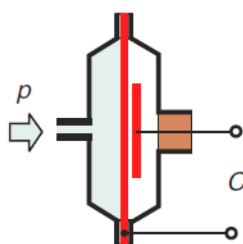
Kapacitní tlakoměry

[1, 5] Pro velikost kapacity platí, že je závislá na ploše elektrod a vzdálenosti mezi nimi (5). Toho se využívá u kapacitních tlakoměrů, kde působící tlak na snímač, který je tvořen dvěma, nebo více elektrodami, se mění kapacita snímače.

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (4)$$

Samotná změna kapacity je dána změnou vzdáleností mezi elektrodami. Proto se jako základ používá pružný člen, který se deformuje při působení měřeného tlaku. Za pružný člen můžeme nejčastěji použít membránu. Současně tento pružný člen tvoří

jednu elektrodu kapacitního snímače. Druhá elektroda je pevně dána a netvoří žádný deformační člen. Tudiž při působení měřeného tlaku na membránu, se tato membrána vychyluje a mezi oběma elektrodami se mění jejich vzdálenost. Vznikl nám kondenzátor s proměnnou kapacitou, závislou na měřeném tlaku. Mezi elektrodami bývá dielektrikum, které může být tvořeno vzduchem, inertním plynem nebo silikonovým olejem. Příklad kapacitního snímače je zobrazen na obrázku (Obr. 8.).



Obr. 8. Princip kapacitního senzoru tlaku. [7]

2 Přehled dostupných snímačů

Snímače tlaku jsou nabízeny v různých provedeních. Mohou se dělit podle toho, jaký typ výstupu poskytují, nebo pro jaké měření jsou určeny. Výstup můžeme rozdělit do dvou základních skupin

- Analogové
- Digitální

Podle toho co daný snímač měří, často výrobci používají tato označení

- Absolute – měření tlaku vztaženého k absolutnímu nulovému tlaku
- Differential – měření rozdílu mezi dvěma různými tlaky
- Gauge – měření tlaku vztaženého k atmosférickému tlaku

2.1 Analogové snímače

U analogových snímačů je výstup dán napětím. Proto při zvolení snímače s takovým výstupem se počítá, že při zpracování se využije AD převodníku. Každý mikropočítač většinou obsahuje AD převodník, proto tato volba je vhodná při volbě tlakového snímače pro připojení k mikropočítači.

Snímače s napěťovým výstupem se dělí podle velikosti výstupu. Výstup může být velmi malý v řádech milivoltů (mV). V tomto případě je nutné použití zesilovače pro jeho zesílení před samotným přivedením tohoto signálu na AD převodník. Druhá skupina je přijatelnější. Zde je výstup v řádech voltů (V). Tento signál je vhodný pro přímé připojení k AD převodníku. Další vlastností snímačů tlaku je, že umožňují teplotní kompenzaci. V případě, že zvolíme snímač bez kompenzace, musíme zařízení rozšířit o další prvek, který by měřil teplotu, a sami musíme provést kompenzaci.

2.1.1 Snímače s teplotní kompenzací

Snímače s teplotní kompenzací většinou obsahují teplotní snímač, při němž je provedena teplotní kompenzace. Odpadá potřeba dalších externích prvků.

[9] Společností je hned několik, za zmínku stojí společnost Freescale Semiconductor. V nabídce je měření absolutního tlaku, přetlaku a podtlaku, nebo rozdílu tlaků s širokým výběrem měřených rozsahů. Pokud budeme vyžadovat měření absolutního tlaku, nabízí se série *MPXx4115*. Snímače jsou založeny na piezorezistorech. Absolutní tlak jsme schopni měřit v rozsahu 15 kPa až 115 kPa. Díky tomuto rozsahu je vhodný pro aplikace měřící atmosférický tlak. Napěťový výstup je v rozmezí 0,2 V až 4,8 V. V tomto případě odpadá potřeba zesilovače, a proto lze výstup přivést rovnou na AD převodník.

[10] Od společnosti Honeywell je velmi široká nabídka snímačů tlaku. Vybírat můžeme snímače jak pro měření tlaku vzduchu, tak i snímače pro měření tlaku ve vodě. Pokud zůstaneme u měření vzduchu, pro měření absolutního tlaku se může

použít snímač SSCDANN005PGAA3. Snímač je založen na piezorezistorech a základní parametry snímače jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 1.).

Tab. 1. Základní parametry snímače SSCDANN005PGAA3. [10]

Operační teplota	-40 °C ~ 85 °C
Typ měření	Absolutní tlak
Rozsah měření	0 ~ 500 kPa
Napájení	3 ~ 3,6 V
Výstupní napětí	2,5 ~ 97,5 % napájecího napětí
Doba odezvy	1,0 ms
Přesnost	±0,25 % Pa



Obr. 9. Snímač
SSCDANN005PGAA3.
[10]

[11] Do této skupiny můžeme zařadit i společnost Sensirion. K dispozici jsou pouze snímače na měření rozdílu tlaků. Volba směřuje k sérii *SDP1000*. Snímače založeny na piezorezistorech. Rozsah měření je 0 Pa až 3,5 kPa a snímač je schopen pracovat i ve vodě. Výstup je v rozmezí 0 V až 4 V.

2.1.2 Snímače bez teplotní kompenzace

Pokud se rozhodneme, že chceme snímač tlaku bez teplotní kompenzace a bez kalibrace, můžeme vybírat ze skupiny nekompenzačních snímačů tlaku. U těchto

snímačů se předpokládá, že použijeme vlastní měření teploty a provedeme následnou teplotní kompenzaci.

[12] Tyto snímače nabízí společnost Freescale Semiconductor. Na výběr jsou pouze snímače na měření přetlaku nebo rozdílu tlaků. Např. série s označením *MPXx53*. Jedná se o snímače založené na piezorezistorech. Tato série umožňuje měřit tlak v rozsahu 0 kPa až 50 kPa. Výstup tohoto snímače je v řádech milivoltů (mV), tudíž je potřeba zesílení před přivedením do AD převodníku. Pokud vybereme jeden snímač ze série, mohl by to být *MPX53DP*. Základní parametry jsou v tabulce (Tab. 2.).

Tab. 2. Základní parametry snímače MPX53DP. [12]

Operační teplota	-40 °C ~ 125 °C
Typ měření	Rozdíl tlaků
Rozsah měření	0 ~ 50 kPa
Napájení	1 ~ 6 V
Výstupní napětí	45 ~ 90 mV
Doba odezvy	1 ms
Hystereze (při změně 0 – 50 kPa)	±0,1 % výstupního napětí



Obr. 10. Snímač MPX53DP. [12]

[13] Nekompenzační snímače také nabízí společnost Silicon Microstructure. Jsou k dispozici snímače pro měření absolutního tlaku v sérii označené jako *SM5420C*.

Jedná se o snímače založené na piezorezistorech. Snímače z této série mohou měřit tlak téměř do 700 kPa. Výstup je dán v milivoltech (mV).

2.2 Digitální snímače

Digitální snímače, často označované jako inteligentní snímače, obsahují dodatečné obvody, které digitalizují naměřenou hodnotu. Pro komunikaci s těmito snímači se používají rozhraní, jako jsou I²C nebo SPI. Mikropočítače s těmito rozhraními pracují, takže není problém v použití těchto snímačů. Výhodou některých je, že umožňují dodatečná nastavení měření.

2.2.1 Snímače s rozhraním I²C

[14] Společnost Freescale Semiconductor nabízí takový snímač, který nese označení *MPL3115A2*. Jedná se kompenzační snímač, který umožňuje přímé čtení výsledných hodnot. Tento snímač měří atmosférický tlak, teplotu a dokonce na základě těchto hodnot určí nadmořskou výšku. Snímač je založen na piezorezistorech. Základní parametry jsou v tabulce (Tab. 3.). Tento snímač splňoval všechny požadavky pro naše zařízení, proto byl také zvolen.

Tab. 3. Základní parametry snímače MPL3115A2. [14]

Operační teplota	-40 °C ~ 85 °C
Typ měření	Absolutní tlak
Rozsah měření (tlak)	50 ~ 110 kPa
Rozsah měření (teplota)	-40 ~ 85 °C
Napájení	1,62 ~ 3,60 V
Výstup	I ² C
Doba měření (speed / resolution mode)	60 / 1000 ms
Přesnost (tlak)	±0,4 Pa
Přesnost (teplota)	±1,0 °C

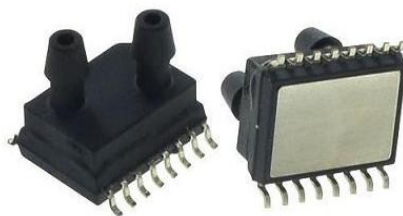


Obr. 11. Snímač MPL3115A2. [14]

[15] Další snímače nabízí společnost Silicon Microstructure. Snímače patří do série *SM5822*. Pokud bychom chtěli snímač, který bude měřit absolutní tlak, mohl by to být snímač *SM5822-015-A-B*. Teplotně kompenzační snímač tlaku, který je založen na piezorezistorech. Základní parametry jsou v tabulce (Tab. 4.).

Tab. 4. Základní parametry snímače SM5822-015-A-B. [15]

Operační teplota	-40 °C ~ 125 °C
Typ měření	Absolutní tlak
Rozsah měření	0 ~ 103 kPa
Napájení	4,75 ~ 5,25 V
Výstup	I ² C
Doba odezvy	2,0 ms
Přesnost	±2 % Pa



Obr. 12. Snímač SM5822-015-A-B. [15]

[16] Společnost Sensirion nabízí snímače, které měří rozdíl tlaků o malých hodnotách. Snímače jsou označeny sérií *SDP600*. Tyto snímače jsou teplotně

kompenzovány a založeny opět na piezorezistorech. Měří se rozdíl tlaků v rozmezí -500 Pa až 500 Pa.

2.2.2 Snímače s rozhraním SPI

[17] Snímače komunikující přes rozhraní SPI se moc často nevyskytují. Přesto pokud by byla taková komunikace potřeba, tak takové snímače jsou k dispozici u společnosti Measurement Specialties. Jedním takovým může být snímač pro měření absolutního tlaku, který by byl vhodný pro měření atmosférického tlaku. Jedná se o snímač *MS5308-02BA*. Snímač má teplotní kompenzaci a je založen na piezorezistorech. Snímač poskytuje údaje o tlaku, teplotě i výšce. Digitalizace je provedena pomocí 24 bitového AD převodníku. Základní parametry jsou v tabulce (Tab. 5.).

Tab. 5. Základní parametry snímače MS5308-02BA. [17]

Operační teplota	-40 °C ~ 125 °C
Typ měření	Absolutní tlak
Rozsah měření (tlak)	1 ~ 110 kPa
Rozsah měření (teplota)	-40 ~ 85 °C
Napájení	1,8 ~ 3,6 V
Výstup	SPI a I ² C
Doba odezvy	0,50 ~ 8,22 ms
Přesnost (při 25°C)	±1,5 Pa



Obr. 13. Snímač MS5308-02BA. [17]

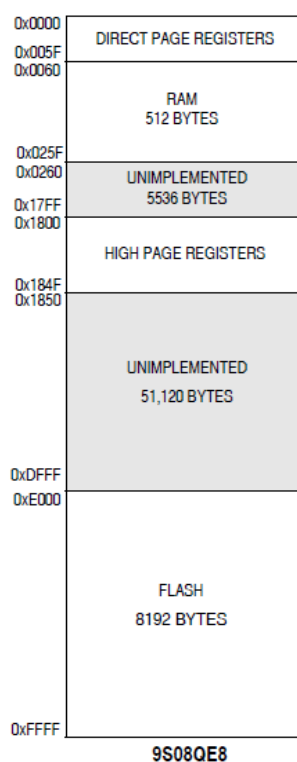
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 Hardware

Použité součástky byly zvoleny tak, aby výsledné zařízení bylo malé, jednoduché a následná výroba nebyla příliš komplikovaná.

3.1 Mikropočítač

Mikropočítač byl zvolen *MC9S08QE8CPG*. Jedná se 8 bitový mikropočítač s procesorem HCS08 od společnosti Feescape Semiconductor. Při napájení 3,3 Vdc je pracovní frekvence procesoru až 20 MHz a mikropočítač je schopen fungovat při teplotách -40 °C až 85°C. Pouzdro je PDIP s 16 piny, z nichž 12 je vstupně výstupních. Uvnitř mikropočítače je FLASH paměť o velikosti 8 kB a paměť RAM o velikosti 512 B. [18]



Obr. 14. Mapa paměti. [18]

3.2 Snímač



Obr. 15. Snímač MPL3115A2.

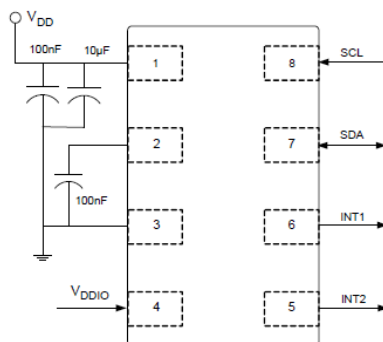
[14]

Snímač byl zvolen *MPL3115A2* od společnosti Freescale Semiconductor. Jedná se o inteligentní snímač, který měří teplotu, atmosférický tlak a na základě těchto hodnot určí i nadmořskou výšku. Snímač komunikuje s mikropočítačem přes rozhraní I²C.

Teplota je měřena v rozmezí -40 °C až +85 °C a snímačem je poskytnuta jako 12 bitová hodnota. Rozlišení teploty je 0,0625 °C.

Atmosférický tlak je měřen v rozmezí 20 kPa až 110 kPa a snímačem je poskytnuta jako 20 bitová hodnota. Rozlišení atmosférického tlaku je 0,25 Pa.

Nadmořská výška je dána na základě teploty a tlaku. Tato hodnota je poskytnuta jako 20 bitová hodnota s rozlišením 0,0625 m. Protože tato hodnota je kolísavá a tudíž není přesná, má měření této hodnoty význam při měření výškových rozdílů, kdy známe počáteční výšku a posléze změříme konečnou výšku (např. při turistice).



Obr. 16. Schéma zapojení snímače. [14]

Snímač byl použit již osazený na plošném spoji s příslušnými součástkami. Z plošného spoje jsou vyvedeny piny pro připojení k mikropočítači.

Pinů je celkem 6. První dvojici tvoří pin pro zem a pro napájení 3,3 Vdc. Další dvojice slouží pro komunikaci přes I²C rozhraní. Jeden z pinů je SDA, který slouží pro přenos dat a druhý je SCL, který slouží pro řídicí signál. Poslední dvojice je tvořena dvěma piny pro libovolně nastavitelné přerušení ze strany snímače.

3.3 Bluetooth modul

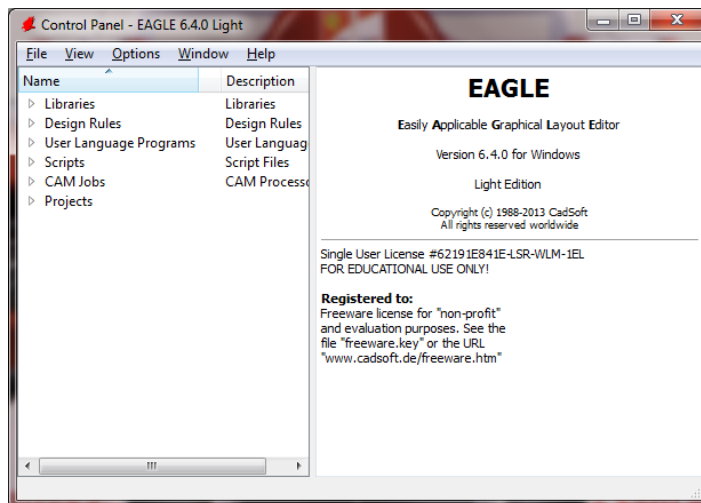


Obr. 17. Bluetooth modul. [19]

Bluetooth modul byl použit od společnosti Connect Blue a nese označení *OEMSPA310*. Jedná se o adaptér, který vytváří sériové rozhraní. K mikropočítači je připojen přes rozhraní SCI. Modul je napájen 3,3 Vdc. Díky tomuto modulu odpadá potřeba mít jakoukoliv kabeláž. Další výhodou je, že je možné zařízení ovládat i přes mobilní telefon s nainstalovanou potřebnou aplikací pro komunikaci přes Bluetooth. [19]

4 Návrh a výroba plošného spoje

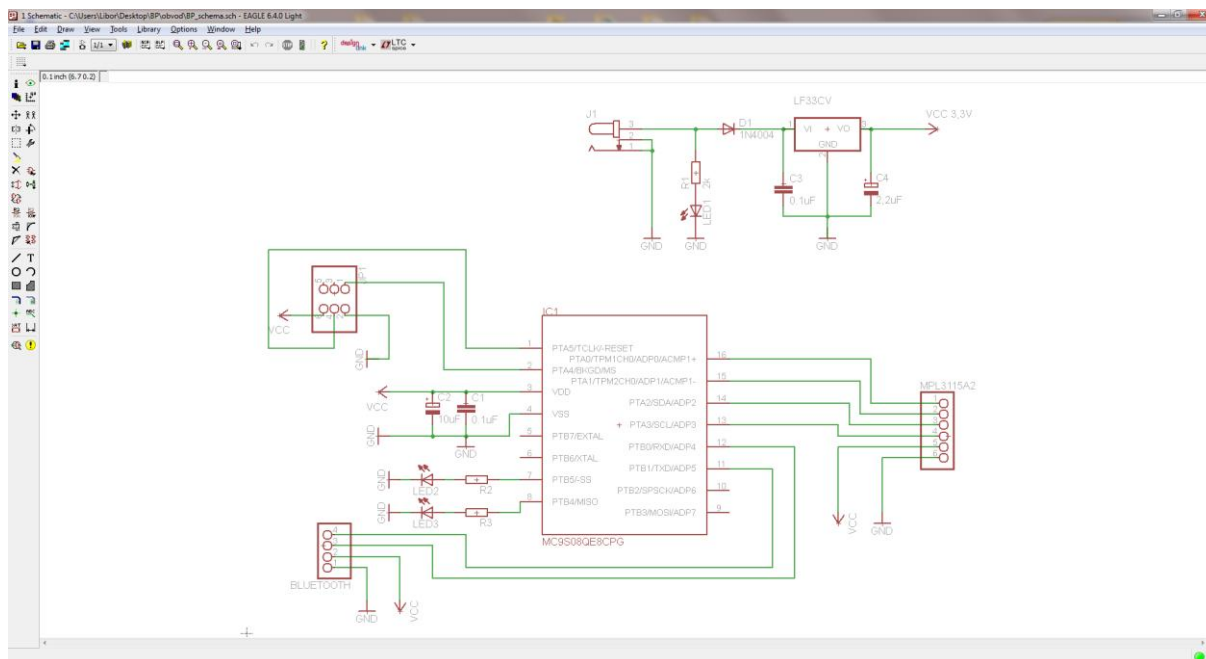
Pro návrh plošného spoje byl použit program Eagle 6.4.0 Light. Je zde možnost vytváření projektů nebo jenom samostatných schémat či plošného spoje. K dispozici je obsáhlá knihovna součástek, přesto je k dispozici možnost si vytvořit vlastní součástku. Při vytváření plošného spoje je zde možnost automatického vytvoření cest.



Obr. 18. Úvodní okno programu Eagle.

4.1 Návrh schématu

Z úvodního okna se přes menu *File – New – Schematic* dostaneme do editoru schémat.



Obr. 19. Editor schémat v programu Eagle.

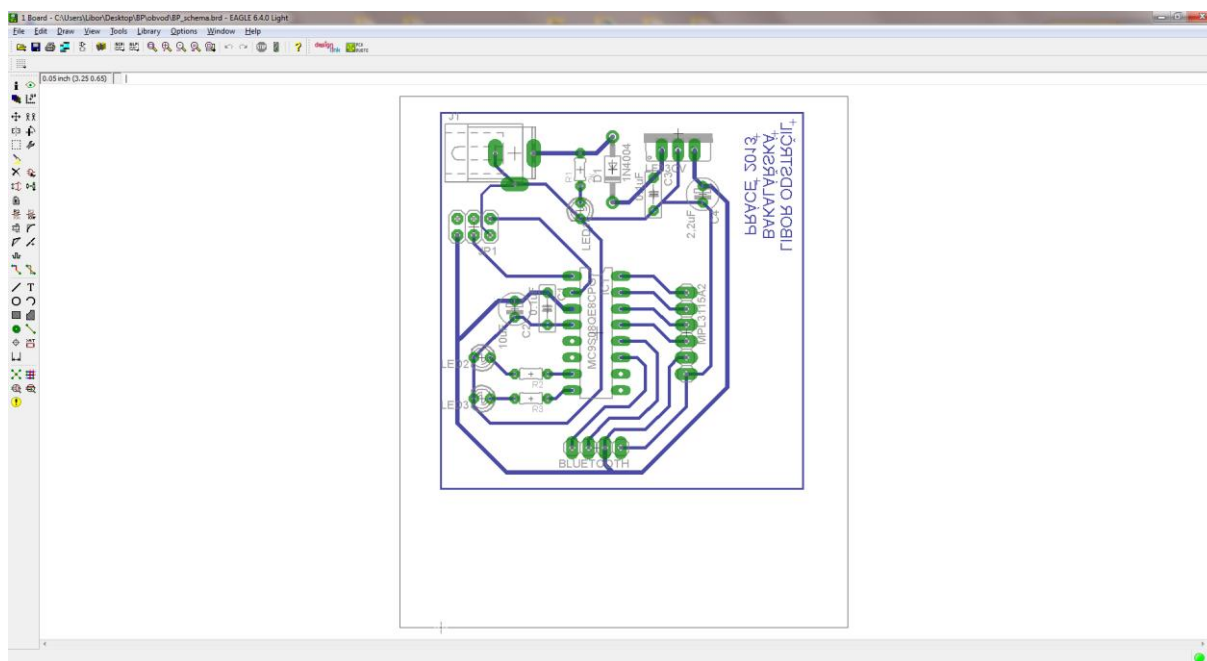
Po levé straně se nachází panel s ovládacími prvky. Při použití příkazu *Add* se dostaneme do knihovny součástek, kde se nachází seznam součástek. K dispozici je také podrobnější vyhledávání. U každé součástky se nachází stručný popis a je k dispozici náhled součástky pro editor schémat a náhled součástky pro editor plošných spojů. Díky tomu máme přehled, o jaké pouzdro se jedná a jaké je uspořádání vývodů (pinů).

Po umístění součástky lze se součástkou libovolně pohybovat, otáčet ji, nebo ji odstranit.

Pro vytvoření cest slouží příkaz *Wire*, kde stačí označit pin jedné a druhé součástky a automaticky se vytvoří cesta, která lze dodatečně upravit.

4.2 Návrh plošného spoje

Pokud již máme vytvořené schéma, tak použijeme příkaz *Board*, který nás přepne do editoru plošných spojů, kde jsou již umístěny součástky s vyznačeným propojením mezi jednotlivými součástkami.



Obr. 20. Editor plošných spojů v programu Eagle.

Potom si stačí součástky uspořádat tak, jak jenom potřebujeme.

K dispozici je velké množství různého nastavení, mezi které patří volba vrstvy. V mém případě byla zvolena volba *Bottom*, neboli spoje na zadní straně oproti součástkám. Druhá volba je *Top*, která značí, že spoje jsou na straně součástek.

Pro vytvoření spoje použijeme příkaz *Route*, kde si můžeme nastavit tloušťku čáry, zda hrany budou kolmé, nebo pod úhlem. Další možností je nechat si spoje vytvořit automaticky. Pro tento účel slouží příkaz *Autorouter*.

Editor plošných spojů je propojen s editorem schémat, pokud provedeme změnu v jednom, projeví se to v druhém, např. změna popisků, hodnot. Pro změnu zapojení musíme změnu provést v editoru schémat.

opačné polaritě, za kterou se nachází regulátor napětí, kde je výstup 3,3 V pro všechny použité součástky v zařízení.

4.4 Výroba plošného spoje

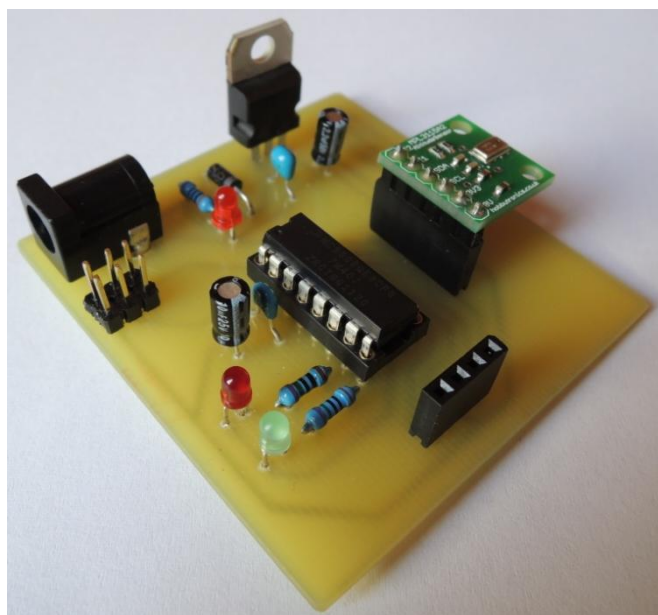
Jak vyrobit plošný spoj existuje mnoho metod, jsou metody s kvalitním výsledkem, ale i metody, které se moc už nedoporučují. Pro tuto práci byla zvolena střední verze a to metodu nažehlování toneru. K tomu, abychom vyrobili plošný spoj, budeme potřebovat:

- Hladký papír s lesklým povrchem
- Laserová tiskárna
- Žehlička
- Jednostranná cuprexitová deska
- Voda
- Leptací roztok (roztok chloridu železitého FeCl_3)
- Ochranný lak

Metoda spočívá v tom, že na lesklý papír se pomocí laserové tiskárny natiskne navržený plošný spoj a volí se co možná nejlepší kvalita tisku. Vytisknutý spoj se přiloží na odmaštěnou a očištěnou cuprexitovou desku na měděnou stranu. Poté desku položíme na měkký podklad mědí nahoru. Následně na desku přiložíme žehličku a necháme asi 1 minutu, aby se deska prohřála. Po uplynulé době začneme žehličkou na desku tlačit a občas žehličku pootočíme po dobu asi 2 minut. Snažíme se, aby se toner přenesl z lesklého papíru na měď. Nakonec desku necháme vychladnout a poté ponoříme do vody. Díky vodě se nám začne odlepovat papír, na kterém byl vytisknut plošný spoj. Po odstranění papíru můžeme přejít k leptání. Desku položíme mědí dolů na hladinu roztoku leptacího roztoku. Doba leptání je závislá na okolní teplotě, v mém případě leptání trvalo 30 minut, než se potřebná měď odleptala. Po vyleptání stačí desku opláchnout vodou a očistit vhodným přípravkem.

Pro tento účel byl použit přípravek Solvina. Nakonec se hodí povrch a měděné spoje ošetřit ochranným lakem.

Následovat může vrtání a osazování součástek. Výsledné zařízení je zobrazeno na obrázku (Obr. 22.). V pravé části se nachází připojený snímač tlaku, vedle kterého je samotný mikropočítač. Pod mikropočítačem je konektor pro připojení Bluetooth modul, který je momentálně odpojen. Horní část se stará o napájení a samotnou regulaci napětí ze vstupního zdroje.



Obr. 22. Výsledné zařízení.

4 Software

Program pro mikropočítač *MC9S08QE8CPG* byl napsán v jazyce C za pomoci vývojového prostředí CodeWarrior 6.3.0. Pro samotné naprogramování byl použit programátor USB Multilink Interface od společnosti P&E Microcomputer Systems. Všechny zdrojové kódy jsou připojeny v příloze na CD.

4.1 Komunikace přes sériové rozhraní

Práce se sériovým rozhraním je v celku jednoduchá. Nejdůležitější je její inicializace, kde byla potřeba nastavit přenosovou rychlost na 57600Bd:

```
void SCI_Init(void)
{
    ICSC2_BDIV = 0;           //nastaveni Baud Rate Divideru na 1
    SCIBDH = 0x00;          //nastaveni Baud Rate na 57600, pro frekvenci 32.768kHz
    SCIBDL = 0x09;
    SCIBDH_RXEDGIE = 1;     //povoleni preruseni
    SCIC1 = 0x00;
    SCIC2 = 0x00;
    SCIC2_TE = 1;          //povoleni vysilani
    SCIC2_RE = 1;          //povoleni prijmu
    SCIC3 = 0x00;
}
```

Pro samotnou práci byla vytvořena funkce `SCI_SendChar(char data)`, která pošle jeden znak, pokud je vysílací datový registr prázdný:

```
void SCI_SendChar(char data)
{
    while (!SCIS1_TDRE) __RESET_WATCHDOG();
    SCID = (byte) data;      //poslani znaku
}
```

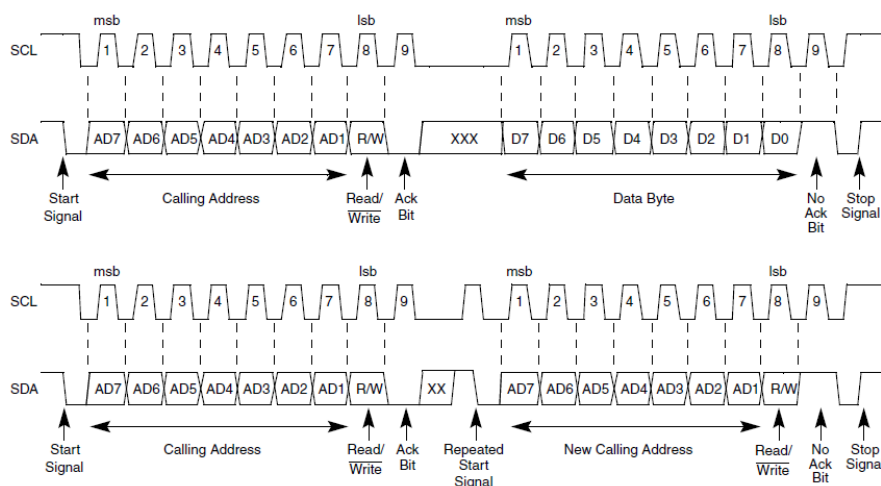
Pro posílání celého řetězce byla vytvořena funkce `SCI_SendString(char* string)`, která prochází po znacích řetězce a volá funkci `SCI_SendChar(char data)`.

Pro příjem jednoho znaku byla vytvořena funkce `SCI_ReadChar()`, která vrátí jeden znak, pokud je přijímací datový registr plný:

```
char SCI_ReadChar(void)
{
    while (!SCIS1_RDRF) __RESET_WATCHDOG();
    return SCID;           //precteni znaku
}
```

Zdrojový soubor včetně hlavičkového souboru *SCI.h* je součástí přílohy na CD.

4.2 Komunikace přes I²C



Obr. 23. Přenosový signál po I²C. [13]

Komunikace přes I²C je zobrazena na obrázku (Obr. 23.). Přenos začne vygenerováním start signálu a pošle se adresa zařízení, kde poslední bit značí (log. 0), zda budeme chtít zapisovat nebo číst (log. 1). Za adresou následuje potvrzovací bit a za ním data. Pro ukončení přenosu je vygenerován stop signál.

Při komunikaci přes I²C opět byla velmi důležitá inicializace s nastavením přenosové rychlosti co nejbližší k 400kbps:

```
void IIC_Init(void)
{
    ICSC2_BDIV = 0;           //nastaveni Baud Rate Divideru na 1
    IICC1_IICEN = 1;        //povoleni IIC
    IICC1_TXAK = 1;         //zruseni generovani ACK po prijeti bytu
    IICC1_MST = 0;          //slave mode
    IICF = 0x01;            //nastaveni IIC baud rate na 381.3kbps
    IICS_SRW = 0;           //slave prijima, master posila na slave
}
```

Pro práci byla vytvořena funkce *IIC_WriteByte(byte reg, byte data)*, která do daného registru zapíše jeden příslušný byte a vrátí 1, pokud byl přenos v pořádku a pokud nastal problém vrátí -1, k tomu byla vytvořena funkce *Error()*:

```

byte IIC_WriteByte(byte reg, byte data)
{
    byte slave = 0xC0;           //slave adresa

    IICC1_TXAK = 0;             //generovani ACK masterem po prijeti bytu
    IICC1 |= 0x30;              //master mode - vygenerovani start signalu; transmit mode

    //-----zacatek presnosu po IIC-----
    IICD = slave | 0x00;        //poslani "write" slave adresy
    while (!IICS_IICIF)         //cekani na preruseni
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error
    IICS_IICIF = 1;             //smazani prerusovaci udalosti
    while (IICS_RXAK)           //cekani na prijem ACK
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error

    //-----ACK prijato-----
    IICD = reg;                  //poslani adresy registru
    while (!IICS_IICIF)         //cekani na preruseni
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error
    IICS_IICIF = 1;             //smazani prerusovaci udalosti
    while (IICS_RXAK)           //cekani na prijem ACK
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error

    //-----ACK prijato-----
    IICD = data;                 //poslani dat
    while (!IICS_IICIF)         //cekani na preruseni
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error
    IICS_IICIF = 1;             //smazani prerusovaci udalosti
    while (IICS_RXAK)           //cekani na prijem ACK
    if (Error() == 0) return -1; //nastal error

    //-----ACK prijato-----
    IICS_IICIF = 1;             //smazani prerusovaci udalosti

```

```
IICC1_MST = 0;           //slave mode - vygenerovani stop signalu
return 1;
}
```

Pro přečtení bytu byla vytvořena funkce *IIC_ReadByte(byte reg)*, která vrací z daného registru hodnotu. Princip funkce je téměř stejný, až na to, že pošleme adresu zařízení pro čtení.

Doplňující funkcí je *IIC_CheckConnection()*, která byla vytvořena pro kontrolu, zda bylo navázáno spojení se snímačem tím, že se přečte registr ve snímači, obsahují továrně nastavenou hodnotu. Pro úspěšné navázání vrací log. 1, pokud nebylo, vrací log. 0.

Zdrojový soubor včetně hlavičkového souboru *IIC.h* je součástí přílohy na CD.

4.3 Obsluha snímače

Pro samotnou obsluhu snímače byly vytvořeny funkce *Temperature()*, *Pressure()* a *Altitude()*. Všechny tyto funkce jsou téměř shodné. Výsledná naměřená hodnota je ve snímači uložena do dvou nebo třech registrů o velikosti 1 byte. Teplota je 12 bitová hodnota, která obsahuje 10 bitovou celou hodnotu, a zbylé 2 bity podle dané tabulky určují zbytek. U tlaku a výšky je to stejné, 20 bitová hodnota, která obsahuje 16 bitovou celou hodnotu, a zbylé 4 bity podle dané tabulky určují zbytek. Proto je nutný určitý přepočítání na jednu hodnotu typu *float*. Funkce vrací hodnotu tlaku je následující:

```
float Pressure()
{
    float pressure = 0;
    byte temp1, temp2, temp3;
    float temp4;

    temp1 = IIC_ReadByte(0x01); //prectu registr obsahujici prvni cast celeho cisla tlaku
    temp2 = IIC_ReadByte(0x02); //prectu registr obsahujici druhou cast celeho cisla tlaku
```

```
temp3 = IIC_ReadByte(0x03); //prectu registr obsahujici desetiny tlaku

temp4 = ((float)temp1) * 1024.0; //prevod obou casti na float
temp4 += ((float)temp2) * 4.0;
temp4 += (float)(temp3 >> 6);

pressure = temp4;

if (temp3 & 0x20) pressure += 0.25; //podle prislusnych log. 1 se pricte prislusna hodnota
if (temp3 & 0x10) pressure += 0.5;

return pressure;
}
```

4.4 Hlavní program

Hlavní program se stará o celkové ovládání zařízení z pohledu uživatele. Přitom využívá již zmíněné funkce. Protože je hlavní program obsáhlý, není zde uveden celý výpis (je možno jej najít v příloze na CD v souboru main.c).

Hlavní program je zobrazen v blokovém schéma (Obr. 29.). Po připojení zařízení ke zdroji napájení je zařízení ve stavu čekání. Čeká se na zadání znaku 's', po kterém se provede kontrola spojení se snímačem. Pokud bylo spojení navázáno, program pokračuje k výpisu uživatelského menu.

```
Spojeni navazano
-----
MENU:
Ukladat do pameti [1]
Vypsati vse z pameti [2]
Posilat pres bluetooth [3]
Typ mereni [4]
Doba mezi merenim [5]
-----
```

Obr. 24. Výpis menu.

Menu tvoří položky jak pro nastavení parametrů měření, tak samotné položky pro měření. Pro nastavení parametrů slouží položka *Typ mereni* a položka *Doba mezi merenim*. V případě zvolení položky první, máme na výběr, zda chceme měřit atmosférický tlak a teplotu nebo nadmořskou výšku a teplotu. Protože snímač pracuje tak, že registr pro hodnotu tlaku je současně registr pro výšku a my musíme určit co zrovna měřit. V případě druhé položky je k dispozici zvolit si dobu mezi jednotlivým měřením. Jako příklad byly použity hodnoty 2, 4 a 8 sekund. Snímač přitom umožňuje měřit s mezidobou až 9 hodin.

```
-----  
TYP MERENI:  
Tlak a teplota [1]  
Vyska a teplota [2]  
-----  
  
-----  
DOBA KROKU:  
2s [1]  
4s [2]  
8s [3]  
-----
```

Obr. 25. Výpis volby měření a doby.

Zbylé položky slouží pro samotné měření. Položka *Posilat na Bluetooth* umožňuje po zvolení přímý výpis naměřených hodnot přes sériové rozhraní. Pro přístup k menu a ukončení menu stačí zadat znak 'm'.

```
Merim ...  
  
Tlak: 98415.00 Pa  
Teplota: 24.2500 C  
  
Merim ...  
  
Tlak: 98420.50 Pa  
Teplota: 24.3125 C  
  
Merim ...
```

Obr. 26. Přímý výpis měření.

Pokud budeme chtít hodnoty archivovat, tak zvolíme položku *Ukladat do pameti*. V tomto případě, se naměřené hodnoty ukládají přímo do pole struktur, které je definované:

```
typedef struct      //datova struktura pro data
{
    float value1;
    float value2;
} strData;

#pragma DATA_SEG __SHORT_SEG MY_ZEROPAGE
strData data[20]; //pole datovych struktur pro ukladani vysledku
```

Z průběhu měření se vrátíme do menu po zadání znaku 'm'.

Můžeme ukládat až 20 posledních naměřených dvojic hodnot od tlaku (výšky) a teploty. Z důvodu omezené kapacity paměti RAM je pole uloženo v Z_RAM. Pro tento účel sloučí příkaz:

```
#pragma DATA_SEG __SHORT_SEG MY_ZEROPAGE
```

Který nám říká, že budeme ukládat do Z_RAM.

Pro výpis naměřených výsledků z paměti slouží položka *Vypsat vse z pameti*. Po jejím zvolení se vypíší všechny naměřené dvojice hodnot.

```
-----
VYPIS Z PAMETI:
1. mereni:
Tlak: 98418.00 Pa
Teplota: 24.3750 C

2. mereni:
Tlak: 98417.50 Pa
Teplota: 24.3750 C

3. mereni:
Tlak: 98416.25 Pa
Teplota: 24.3750 C

4. mereni:
Tlak: 98412.25 Pa
Teplota: 24.3750 C
-----
```

Obr. 27. Výpis z paměti.

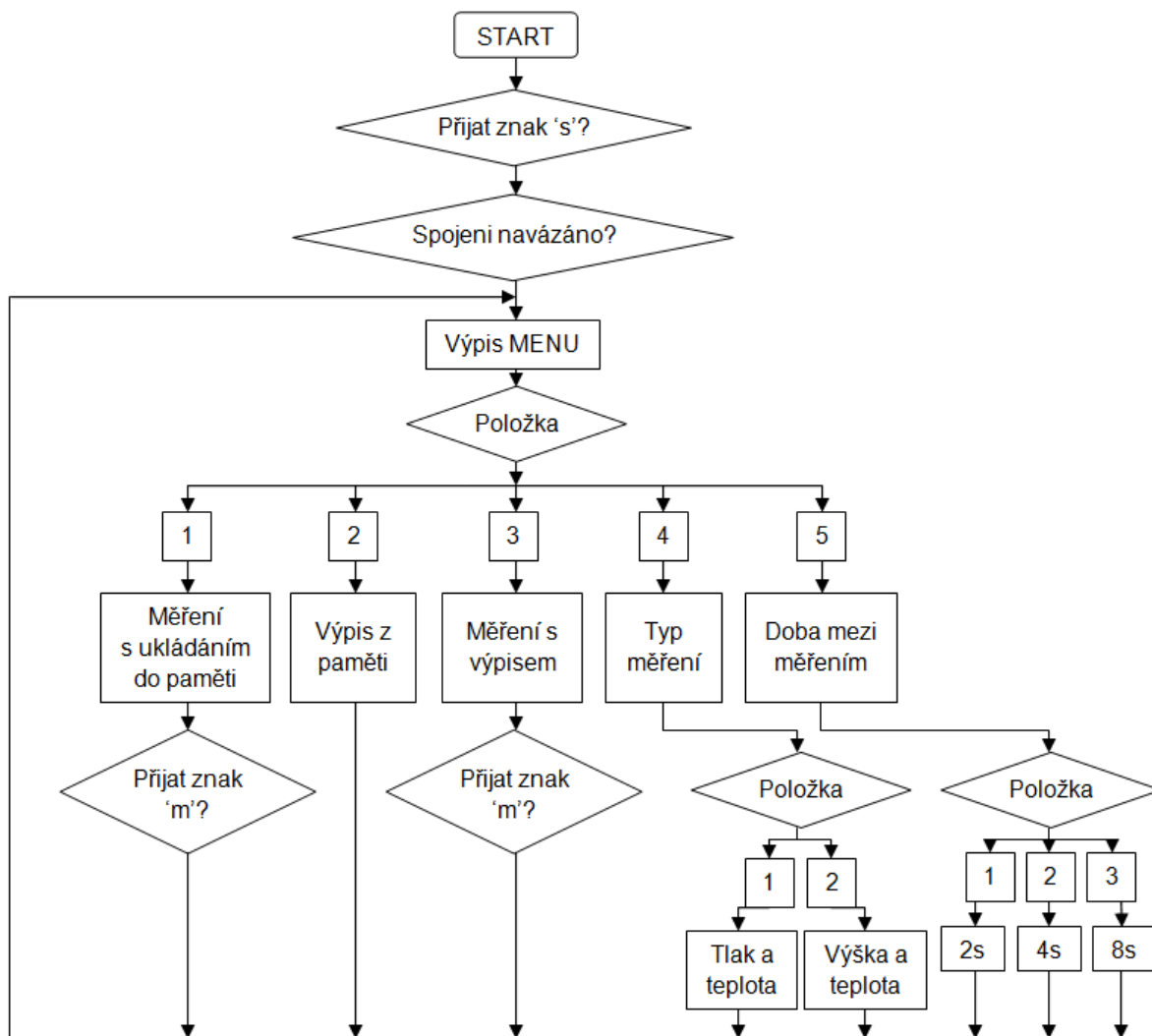
Stav programu je signalizován dvojicí LED diod. V případě, že se nacházíme v menu, tak svítí zelená LED dioda. Pokud se nacházíme ve stavu měření, začne svítit červená LED dioda s průběžným probliknutím.

Pokud nastane jakýkoliv problém v komunikaci se snímačem, začne červená LED dioda rychle blikat.

```
Merim ...
```

```
Problem s komunikaci!  
Zkontrolujte zapojeni snimace!
```

Obr. 28. Problém v komunikaci.



Obr. 29. Blokové schéma hlavního programu.

Závěr

Práce se zabývala měřením tlaku pomocí mikropočítače. Proto na začátku byl proveden popis, jaké existují metody měření tlaku a na jakých principech jsou založeny. Z popsaných typů byly vybrány snímače, které jsou v současné době k dispozici, a jsou vhodné k připojení k mikropočítači. Byly popsány jejich základní parametry.

Na základě těchto snímačů byl vybrán jeden a byl vytvořen prototyp zařízení, který měří tlak, teplotu i nadmořskou výšku. Výslednému zařízení předcházela výběr jak samotného snímače tlaku, tak výběr dalších součástí. Mikropočítač byl zvolen záměrně s pouzdem PDIP, aby byla jednodušší výměna v případě poškození, ale také, aby bylo jednodušší ho připojit. Tato volba měla později za následek určité omezení, protože mikropočítač s tímto pouzdem disponoval oproti jiným mikropočítačům menší pamětí ROM a RAM. Snímač byl zvolen od stejné společnosti a to díky tomu, že disponoval dostupností a slušnými parametry. Protože současné době vládne bezdrátová komunikace, rozhodl jsem se pro komunikaci se zařízením využít Bluetooth. První výhodou je, že se obejdeme bez kabeláže a druhá je, že zařízení je možné ovládat přes mobilní telefon, což se jeví jako větší výhoda.

Zařízení bylo vybaveno programem, aby bylo co nejjednodušší ovládání a přesto umožňovalo jak přímé vypisování, tak archivaci naměřených hodnot. Pro zkvalitnění měření je k dispozici i změna doby mezi měřeními.

Díky této práci, jsem si vyzkoušel vytvořit si vlastní funkční zařízení s mikropočítačem, díky tomu jsem si více osvojil práci s mikropočítači společnosti Freescale Semiconductor a prohloubil znalosti v jejich programování.

Zařízení bylo také přihlášeno do soutěže Freescale Technology Application 2013, kterou pořádala firma Freescale Semiconductor.

Po shrnutí výsledné práce se domnívám, že všechny body zadání byly splněny.

Závěr v angličtině

This thesis deals with pressure measurement with microcontroller. Therefore, at the beginning a description was made of the methods of pressure measurement and the principles they are based on. Several sensors which are currently available and are suitable for connection to a microcontroller were chosen and their basic parameters were described.

From these sensors one was chosen and a prototype of a device that measures pressure, temperature and altitude was created. The microcontroller was chosen deliberately in PDIP package, because that is easier to replace in case of damage and easier to solder. Later this choice proved to be limiting, because the microcontroller in this package contains less memory ROM and RAM than the microcontrollers in other packages. The sensor was chosen from the same company because it was available and it has decent parameters. Because currently wireless communication is commonly used, I decided to use Bluetooth to communication with the device. The first advantage is that it dispenses with the wiring and the second is that the device can be controlled via a mobile phone.

The device was equipped with a program to make it easy to use and allow direct sending to PC and saving of measured values. To improve the measurement it is possible to change the time between measurements.

With this thesis, I tried to create my own functional device with a microcontroller. I deepened my knowledge of microcontrollers and their programming.

With the device I also participated in competition Freescale Technology Application 2013 organized by our university and Freescale Semiconductor company.

After summarizing the results of the final thesis, I believe that all tasks were fulfilled.

Seznam použité literatury

- [1] ZEHNULA, Karel. *Automatizace a regulace: Snímače neelektrických veličin*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1977.
- [2] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace II*. 2006. vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, 2006. ISBN 80-7318-397-8.
- [3] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace III*. 2005. vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, 2005. ISBN 80-7318-315-3.
- [4] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace IV*. 2005. vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, 2005. ISBN 80-7318-274-2.
- [5] BEJČEK, Ludvík a Jan VACULÍK. Snímače tlaku: přehled trhu. *Snímače tlaku: přehled trhu* [online]. 2006, roč. 49, č. 1 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1025>
- [6] KADLEC, Karel. Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (1. část). *Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (1. část)* [online]. 2007, č. 2, s. 4 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au020728.pdf>
- [7] KADLEC, Karel. Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (2. část). *Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (2. část)* [online]. 2007, č. 7, s. 5 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070725.pdf>
- [8] KADLEC, Karel. Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (3. část). *Snímače tlaku: principy, vlastnosti a použití (3. část)* [online]. 2007, č. 10, s. 4 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/automa/2007/au100723.pdf>
- [9] Freescale. *Freescale* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPXx4115
- [10] Honeywell: sensing and control. *Honeywell: sensing and control* [online]. 2011 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://sensing.honeywell.com/product%20page?pr_id=141753

- [11] Sensirion. *Sensirion* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.sensirion.com/en/products/differential-pressure-sensors/differential-pressure-sensor-sdp1000-series>
- [12] Freescale. *Freescale* [online]. 2009 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPXx53
- [13] Silicon Microstructure. *Silicon Microstructure* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.si-micro.com/en/products/view/47>
- [14] Freescale. *Freescale* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPL3115A2
- [15] Silicon Microstructure. *Silicon Microstructure* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.si-micro.com/en/products/view/44>
- [16] Sensirion. *Sensirion* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.sensirion.com/en/products/differential-pressure-sensors/differential-pressure-sensor-sdp600-series>
- [17] Measurement Specialties. *Measurement Specialties* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=8680
- [18] Freescale. *Freescale* [online]. 2011 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=S08QE
- [19] Spezial electronic. *Spezial electronic* [online]. 2008 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/connectblue/bluetooth-seriove-rs232-oem-moduly.html>

Seznam použitých symbolů a zkratk

AD	Analogově digitální
ε_r	Poměrná relativita
ε_0	Permitivita vakua
FLASH	Elektricky programovatelná paměť s libovolným přístupem
I ² C	Inter-integrated circuit (multi-masterová počítačová sériová sběrnice)
LED	Light-emitting diode (světlo emitující dioda)
PN	Rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
PDIP	Plastic dual inline package
SCI	Serial communication interface (asynchronní sériové komunikační rozhraní)
SPI	Serial peripheral interface (synchronní sériové periferní rozhraní)
RAM	Random-access memory (paměť s libovolným přístupem)
ROM	Read-only memory (paměť pouze pro čtení)
Z_RAM	Zero RAM

Seznam obrázků

Obr. 1. Grafické znázornění různých vyjádření tlaku. [6]	12
Obr. 2. Orientační rozdělení snímačů tlaku podle měřicího rozsahu. [6]	13
Obr. 3. Schéma U - tlakoměru. [6]	14
Obr. 4. Bourdonova trubice s příklady průřezů. [6]	15
Obr. 5. Membránový tlakoměr. [6]	15
Obr. 6. Tlaková buňka. [7]	17
Obr. 7. Úpravy pro různá měření. [8]	17
Obr. 8. Princip kapacitního senzoru tlaku. [7]	18
Obr. 9. Snímač SSCDANN005PGAA3. [10]	20
Obr. 10. Snímač MPX53DP. [12].....	21
Obr. 11. Snímač MPL3115A2. [14].....	23
Obr. 12. Snímač SM5822-015-A-B. [15].....	23
Obr. 13. Snímač MS5308-02BA. [17]	25
Obr. 14. Mapa paměti. [18].....	27
Obr. 15. Snímač MPL3115A2. [14].....	28
Obr. 16. Schéma zapojení snímače. [14].....	29
Obr. 17. Bluetooth modul. [19].....	29
Obr. 18. Úvodní okno programu Eagle.	30
Obr. 19. Editor schémat v programu Eagle.....	31
Obr. 20. Editor plošných spojů v programu Eagle.	32
Obr. 21. Výsledné schéma obvodu.....	33
Obr. 22. Výsledné zařízení.	35
Obr. 23. Přenosový signál po I2C. [13].....	37
Obr. 24. Výpis menu.	40
Obr. 25. Výpis volby měření a doby.....	41
Obr. 26. Přímý výpis měření.	41
Obr. 27. Výpis z paměti.	42
Obr. 28. Problém v komunikaci.....	43
Obr. 29. Blokové schéma hlavního programu.....	44

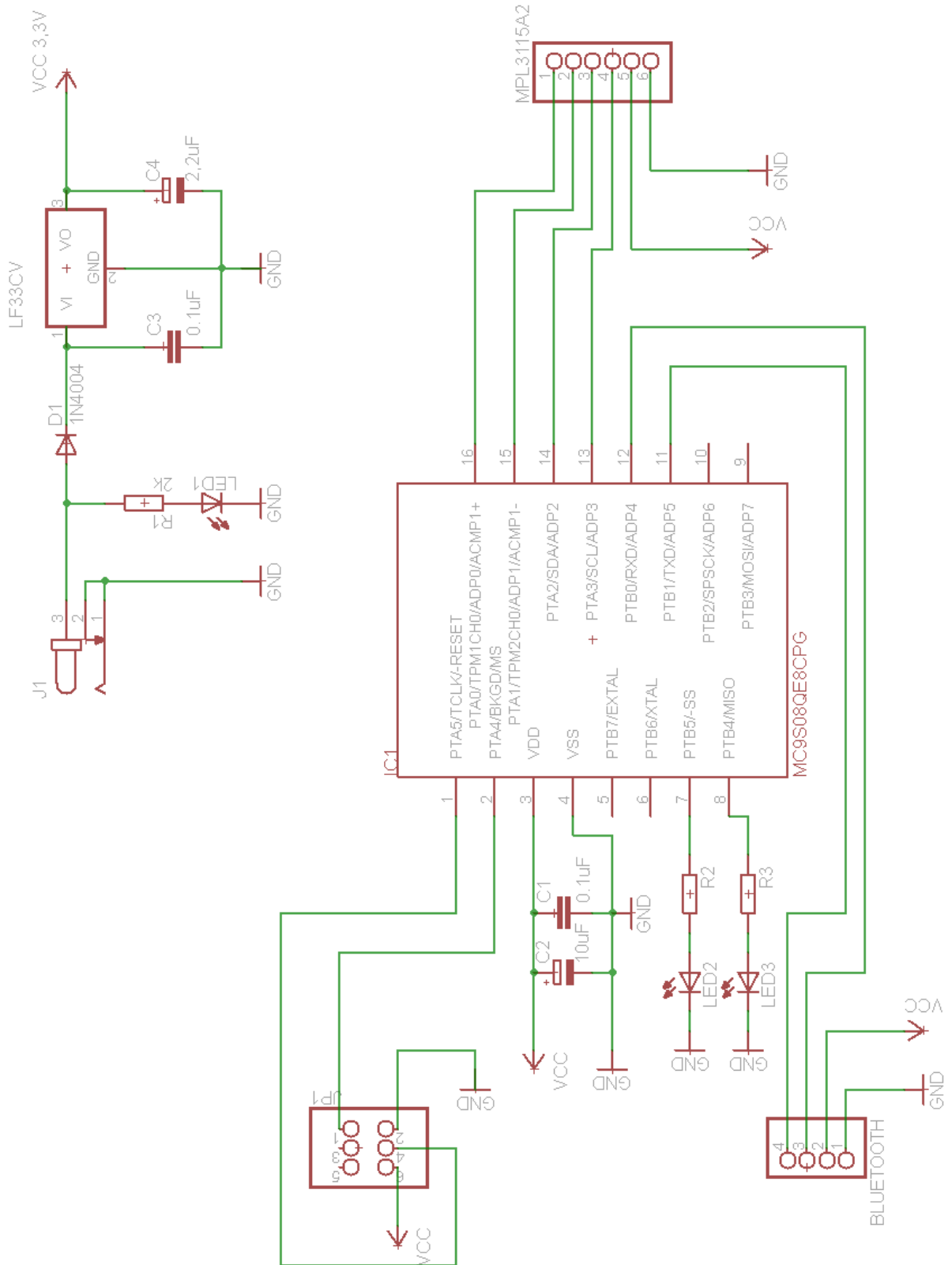
Seznam tabulek

Tab. 1. Základní parametry snímače SSCDANN005PGAA3. [10].....	20
Tab. 2. Základní parametry snímače MPX53DP. [12]	21
Tab. 3. Základní parametry snímače MPL3115A2. [14]	22
Tab. 4. Základní parametry snímače SM5822-015-A-B. [15].....	23
Tab. 5. Základní parametry snímače MS5308-02BA. [17].....	24

Seznam příloh

- P I Schéma zařízení
- P II Plošný spoj zařízení

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAŘÍZENÍ



PŘÍLOHA II: PLOŠNÝ SPOJ ZAŘÍZENÍ

