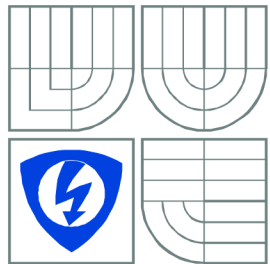


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

BAROMETRICKÝ VÝŠKOMĚR PRO RC MODELY LETADEL

BAROMETRIC ALTITUDE METER FOR RC PLANE MODELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELO'S THESIS

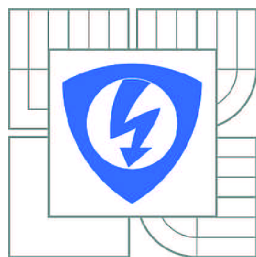
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN DUJÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN PROKOPEC, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Martin Dujíček

ID: 125408

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Barometrický výškoměr pro RC modely letadel

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti realizace výškoměru pro RC modely letadel pomocí barometrických snímačů. Navrhněte koncepci zařízení pro záznam letové hladiny RC modelu. Při návrhu minimalizujte rozměry zařízení a proudový odběr. Data se budou ukládat v letadle a stahovat do PC po ukončení letu. Připravte software pro zařízení a koncept software pro komunikaci s PC pro stahování údajů o letu. Realizujte navržené zařízení, vytvořte software pro komunikaci s PC. Experimentálně ověřte funkci zařízení a sestavte podrobnou dokumentaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BURKHARD, M. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

[2] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J. Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

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

Cílem této práce je návrh barometrického výškoměru určeného pro RC modely letadel. Během letu je zaznamenávána hodnota ze snímacího prvku do paměti. Po ukončení letu a po připojení zařízení k počítači je možné data přečíst nebo smazat. Přijatá data je dále možné zpracovat například do grafické podoby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tlak, výška, výškoměr, RC model

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design barometric altimeter for RC plane models. During the flight the value from sensing element is stored in memory. After the flight and connect to computer it is possible to read or erase data from memory. Received data si possible to proces for example to graph.

KEYWORDS

Pressure, altitude, altimeter, RC model

DUJÍČEK, M. *Barometrický výškoměr pro RC modely letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 38 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Barometrický výškoměr pro RC modely letadel jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	10
1 Měření výšky	11
1.1 Způsoby měření výšky	11
1.2 Barometrické měření výšky	11
1.2.1 Zemská atmosféra	11
1.2.2 Atmosférický tlak	11
1.2.3 Určení výšky	12
2 Návrh výškoměru	14
2.1 Tlakový senzor	14
2.1.1 Integrované senzory tlaku Freescale	14
2.1.2 Použitý tlakový senzor	15
2.2 A/D převodník	16
2.2.1 Rozlišení A/D převodníku	16
2.2.2 Použitý A/D převodník	18
2.2.3 Komunikace s převodníkem ADS1100	18
2.3 Externí datová paměť	19
2.3.1 Velikost datové paměti	19
2.3.2 Požitá externí paměť	20
2.3.3 Zápis do paměti 24LC512	20
2.3.4 Čtení z paměti 24LC512	21
2.4 Mikrokontrolér	21
2.4.1 Režim snížené spotřeby	22
2.5 Obvodové zapojení	23
3 softwarová část	24
3.1 Řídící program mikrokontroléru	24
3.1.1 Měření	25

3.1.2	Komunikace s PC.....	27
3.2	Program na straně počítače.....	29
4	Závěr	32
	Literatura	33
	Seznam příloh	34

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1:	Závislost atmosférického tlaku na výšce podle (1.1), kde je výchozí výškou hladina moře.	12
Obrázek 2.1:	Blokové schéma zapojení navrhovaného výškoměru.	14
Obrázek 2.2:	Ilustrační obrázek tlakového senzoru MPXH6115A6U, [6].	15
Obrázek 2.3:	Blokové schéma vnitřního zapojení tlakového senzoru, [5].	16
Obrázek 2.4:	Znázornění úpravy signálu z tlakového senzoru.	17
Obrázek 2.5:	Průběh na lince SDA při zápisu do konfiguračního registru ADS1100	19
Obrázek 2.6:	Průběh na lince SDA při čtení datového registru ADS1100	19
Obrázek 2.7:	Zjednodušené vyobrazení paměti 24LC512, [10].	20
Obrázek 2.8:	Průběh na lince SDA během zápisu dvou bytů.	21
Obrázek 2.9:	Průběh na lince SDA během čtení sekvence bytů.	21
Obrázek 3.1:	Vývojový diagram, hlavní program.	24
Obrázek 3.2:	Vývojový diagram, hlavní program, měřicí část.	25
Obrázek 3.3:	Vývojový diagram, obsluha přerušení od časovače/čítače 1	26
Obrázek 3.4:	Vývojový diagram, hlavní program, komunikační část.	28
Obrázek 3.5:	Vývojový diagram, obsluha přerušení při dokončení příjmu pomocí USART	28
Obrázek 3.6:	Vývojový diagram, příjem dat z výškoměru	30
Obrázek 3.7:	Příklad grafického zobrazení záznamu	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1:	Tabulka typických hodnot vlastnosti čidla MPXH6115A6U, [5].	15
Tabulka 2.2:	Konfigurační registr převodníku ADS1100.....	19
Tabulka 3.1:	Struktura vnitřní datové paměti mikrokontroléru	26
Tabulka 3.2:	Znázornění ukládání naměřených hodnot do paměti	27

ÚVOD

Cílem této práce je návrh výškoměru pro RC modely letadel. Výškoměr využívá měření barometrického tlaku, který je na výšce závislý a následný přepoččet rozdílu tlaku vůči referenční hodnotě na výšku, pomocí barometrické rovnice. Jako referenční hodnota se používá hodnota barometrického tlaku v místě začátku měření (v místě startu). Další hodnoty jsou získávány každou půl sekundu.

Barometrický výškoměr je určen pro RC modely letadla. Při návrhu zařízení je proto nutné detailně prostudovat předpokládaný rozsah měřené výšky. Maximální výška, které model dosáhne, se předpokládá, že nepřesáhne 2000 metrů nad mořem. Tomuto rozsahu bude zařízení přizpůsobeno.

Při návrhu zařízení bude kladen důraz na minimální rozměry zařízení, aby bylo možné jeho umístění uvnitř modelu.

Minimalizována bude také jeho spotřeba, aby nedocházelo k přílišnému negativnímu ovlivnění délky doby možného letu. Napájení bude zajištěno akumulátory v letadle.

Během letu budou výškoměrem zaznamenávány údaje do paměti. Paměť bude mít dostatečnou kapacitu pro záznam i několik hodin.

Naměřená data bude po připojení k počítači možné vyčíst a dále zpracovat. Uživatel se tak dozví, jaký byl výškový profil letu s jeho RC modelem, jaké maximální výšky dosáhl, atd. Díky tomu může například i zlepšovat svou techniku letu a vést si statistiku svých výkonů.

1 MĚŘENÍ VÝŠKY

1.1 Způsoby měření výšky

Způsobů měření výšky je několik. Každý má své výhody i nevýhody a každý se hodí v různých případech. Následující způsoby jsou převzaty z [1].

Jeden ze způsobů určování výšky je založen na principu vyslání určitého signálu k povrchu a podle doby, kdy je zaznamenán odraz, je určena výška. Jedná se tedy o princip radaru, když je použit signál radiový, sonaru pro signál zvukový. Použit může být i laserový paprsek. Tento způsob měření je velmi přesný, ale pro výškoměr v letadle se nehodí. Letadlo během letu často mění svou polohu vůči zemi a nebylo by možné zajistit, aby byl signál vždy vyslán a přijat kolmo k povrchu.

Dalším ze způsobů měření výšky je pomocí systému GPS. Tento způsob je ale pro určování výšek nepřesný.

V letecké dopravě se používá barometrické určování výšek. Využívá změny atmosférického tlaku s výškou. Tento způsob bude využit u výškoměru, jehož návrhem se tato práce zabývá.

1.2 Barometrické měření výšky

1.2.1 Zemská atmosféra

Zemská atmosféra je vzdušným obalem naší planety, který je tvořen bohatou směsí plynů. Nejvíce je zde zastoupen dusík, který tvoří 78% celkového objemu a dále kyslík (21%). Zbýlé 1% tvoří nejen ostatní plyny (argon, oxid uhličitý, atd.), ale také pevné částice (prach, pyly, ..) a vodní páry. Hmotnost atmosféry představuje jen pouze jednu miliontinu hmoty Země. Atmosféra má největší význam jako ochranný obal a izolační vrstva. Zabraňuje vniku nebezpečného slunečního a kosmického záření a také svou tepelnou setrvačností brání přílišným výkyvům teploty [2].

Nejdůležitější vlastností atmosféry pro tuto práci je závislost atmosférického tlaku na změně výšky.

1.2.2 Atmosférický tlak

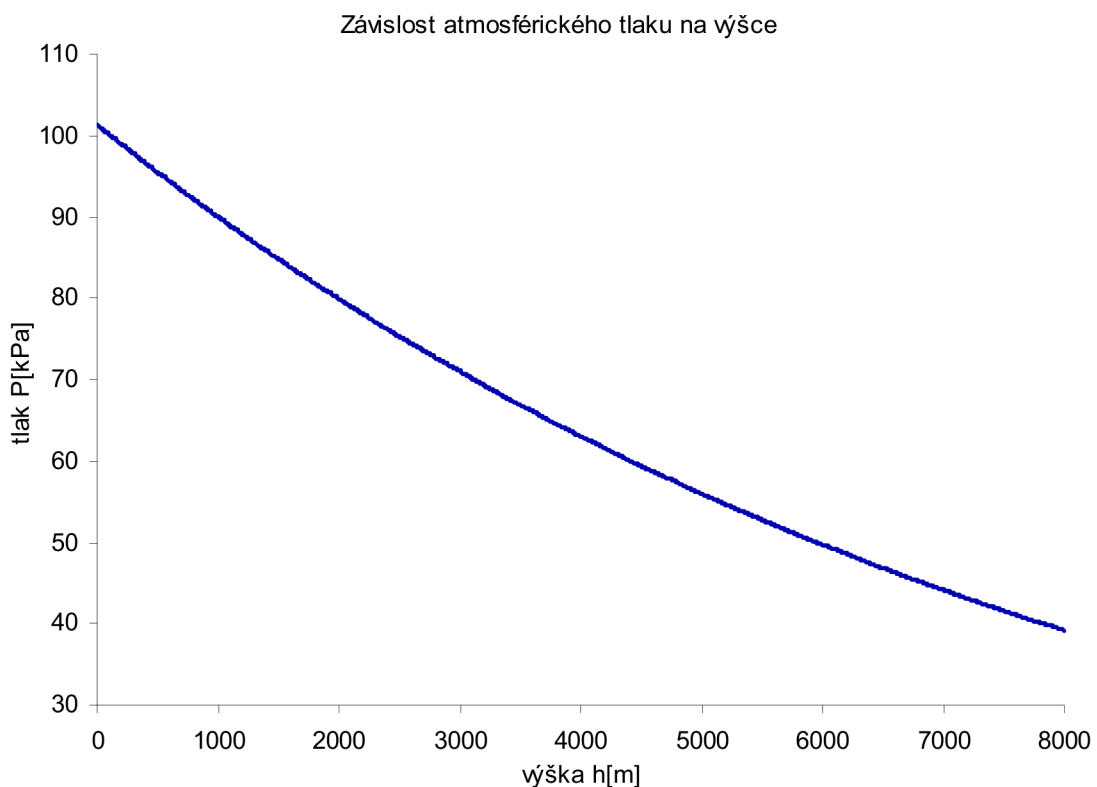
Atmosférický tlak je způsoben tíhou vzduchového sloupce nad určitou plochou. Situaci komplikuje fakt, že je vzduch stlačitelný, nemá s rostoucí výškou stejnou hustotu a s rostoucí výškou vzduch řídne.

Tlak se s rostoucí výškou tedy nemění lineárně, ale exponenciálně klesá. Tuto závislost popisuje barometrická rovnice (1.1), [2], [3].

$$P = P_a \cdot \exp\left(\frac{-g_a \cdot M \cdot (h - h_a)}{R \cdot T_a}\right), \quad (1.1)$$

kde P [Pa] je tlak ve výšce h [m], P_a [Pa] tlak ve výchozí výšce h_a [m], g_a [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] tíhové zrychlení ve výchozí výšce, T_a [K] teplota ve výchozí výšce. Konstanta M je molární hmotnost vzduchu $0,02897 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ a R univ. plynová konstanta $8,31451 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Graficky je tato závislost uvedena na Obrázek 1.1. Pro výpočet byla použita, jako výchozí výška, hladina moře $h_a = 0 \text{ m}$, kde jsou pro tlak, teplotu a tíhové zrychlení dosazeny hodnoty podle mezinárodní standardní atmosféry, [1]. Tedy $P_a = 101,325 \text{ kPa}$, $T_a = 288,15 \text{ K}$ a $g_a = 9,8066 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Obrázek 1.1: Závislost atmosférického tlaku na výšce podle (1.1), kde je výchozí výškou hladina moře.

1.2.3 Určení výšky

Po úpravě barometrické rovnice (1.1) se dostane vztah pro vyjádření výšky (1.2):

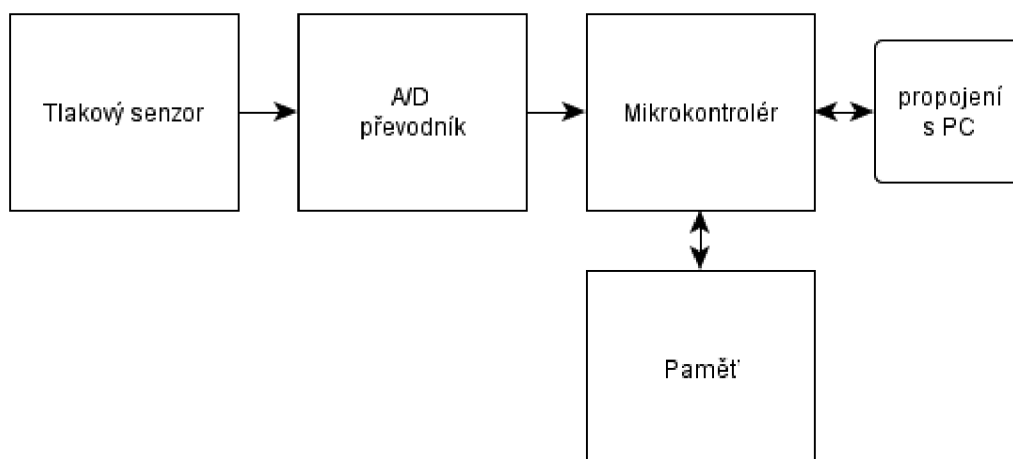
$$(h - h_a) = \Delta h = \frac{-R \cdot T_a}{M \cdot g_a} \cdot \ln\left(\frac{P}{P_a}\right). \quad (1.2)$$

Kde Δh [m] je vzdálenost od výchozí hladiny h_a .

Pro zpracování změřeného tlaku na výšku, by bylo nutné implementovat do poměrně jednoduchého mikrokontroléru výpočet přirozeného logaritmu. S výhodou se může využít toho, že k zobrazení naměřených dat dojde až po připojení k počítači. Nemusí být tedy tento přepočítání realizován ve výškoměru, ale výpočet může provést až počítač v rámci zpracování naměřených dat.

2 NÁVRH VÝŠKOMĚRU

Celé zařízení se skládá z několika bloků, jak naznačuje blokové schéma na Obrázek 2.1. Každý z bloků bude rozebrán v následujících kapitolách.



Obrázek 2.1: Blokové schéma zapojení navrhovaného výškoměru.

2.1 Tlakový senzor

Jak již bylo dříve zmíněno, bude se tato práce zabývat návrhem barometrického výškoměru. K určování výšky je využito změny tlaku s výškou. Tlak, resp. jeho změna v průběhu letu, bude měřen pomocí tlakového senzoru. Na základě doporučení a hlavně díky dostupnosti bude použit tlakový senzor od firmy Freescale.

2.1.1 Integrované senzory tlaku Freescale

Následující odstavce jsou převzaty z [4]. V dnešní době integrované senzory tlaku představují komplexní systém. Obsahují nejen snímací prvek, který je citlivý na tlak, ale také výstupní obvody a elektroniku, která se stará o zpracování naměřeného signálu senzorovou částí. Takto upravený signál dále poskytují na svém výstupu v definované lineární analogové, nebo digitální podobě. Navíc se vnitřní elektronika může postarat o kompenzaci nechtěných vnějších vlivů, v tomto případě nejčastěji o kompenzaci vlivu teploty.

Senzory tlaku mají uplatnění tam, kde se pracuje s plyny, kapalinami, pneumatickými systémy. Např. ve zdravotnictví, měření a regulace, domácí spotřebiče, automobily,... a právě i jako barometry nebo výškoměry.

Podle způsobu měření se tyto senzory dají rozdělit na tři skupiny. Jedna skupina pro měření absolutního tlaku, které měří tlak oproti referenci blízké vakuu. Takovýto senzor s vhodným rozsahem je použit k měření atmosférického tlaku. Další skupinou

jsou diferenční (rozdílové) senzory tlaku. Ty měří rozdíl tlaků dvou prostředí, nezávisle na okolí. A třetí skupinou jsou manometrické senzory tlaku, které jsou obdobou diferenčních a měří rozdílový tlak oproti okolnímu atmosférickému tlaku.

Dalším kritériem pro dělení tlakových senzorů může být struktura a princip fungování snímacích prvků. V každém případě se využívá mechanické deformace nějakého prvku, způsobené rozdílem tlaku dvou prostředí. Tento prvek tímto mění své elektrické vlastnosti. Například **změna kapacity**, kdy se působícím tlakem k sobě přibližují (oddalují) elektrody kondenzátoru. **Změna odporu** tenzometrů (odporové cesty) zapojených do můstku, které mění svůj odpor, když mění svůj rozměr průhybem membrány díky působícímu tlaku. Nebo **piezoelektrický jev**, kdy tlak způsobí vznik elektrického napětí.

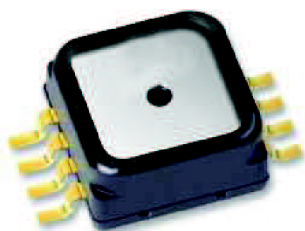
2.1.2 Použitý tlakový senzor

Tlakový senzor pro tuto aplikaci byl vybrán na základě dostupnosti a vhodných parametrů, jako je rozsah měřitelných tlaků, napájení, atd. od firmy Freescale, konkrétně MPXH6115A6U, na Obrázek 2.2. Podle kritérií uvedených výše, tento senzor patří ke skupině měřící absolutní tlak a je založen na principu změny odporu tenzometrů, zapojených v můstku. Obrázek 2.3 znázorňuje vnitřní blokové zapojení integrovaného obvodu na čipu senzoru.

Důležité vlastnosti zvoleného tlakového senzoru jsou uvedeny v Tabulka 2.1. Předpokládané napájecí napětí je 5V, teplota okolí 25°C.

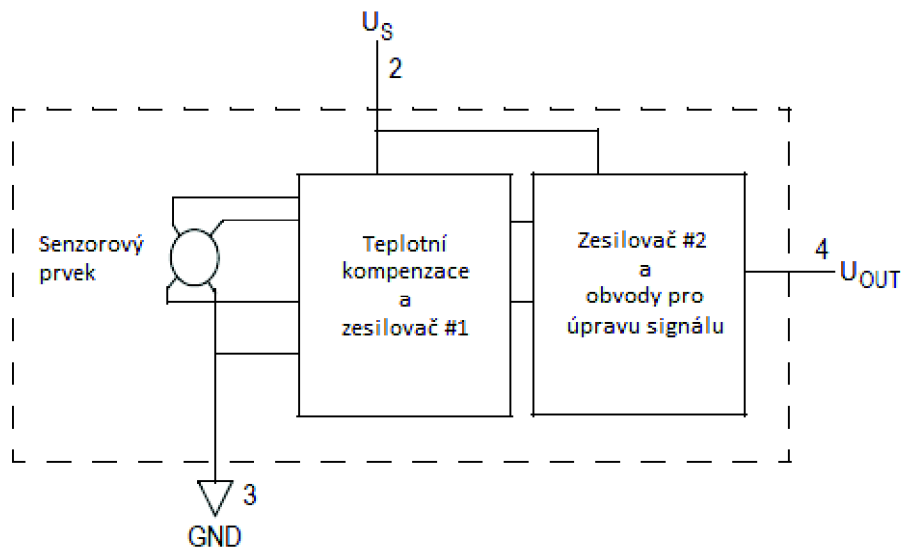
Rozsah měřitelného tlaku	15 - 115	kPa
Napájecí napětí	5	V
Napájecí proud	6	mA
Citlivost	45,0	mV/kPa
Doba reakce na změnu	1	ms
Pracovní teplota	-40 - 120	°C

Tabulka 2.1: Tabulka typických hodnot vlastností čidla MPXH6115A6U, [5].



Obrázek 2.2: Ilustrační obrázek tlakového senzoru MPXH6115A6U, [6].

Rozsah měřitelného tlaku daného senzoru je 15 kPa až 115 kPa. To po přepočtu podle vztahu (1.2) vzhledem k referenční výšce 0 m odpovídající hladině moře, odpovídá výškám od 1067 m pod úrovní hladiny moře až do 16109 m nad mořskou hladinou. Tento rozsah je více než dostačující.



Obrázek 2.3: Blokové schéma vnitřního zapojení tlakového senzoru, [5].

Výstupem tlakového senzoru je analogová hodnota napětí U_{OUT} . Jeho velikost, pro určitou hodnotu změřeného tlaku, je dána následující rovnicí (2.1), [5].

$$U_{OUT} = U_S \cdot (0,009 \cdot P - 0,095), \quad (2.1)$$

kde U_{OUT} [V] je výstupní hodnota napětí, U_S [V] napájecí napětí a P [kPa] změřená hodnota tlaku. Další zpracování této hodnoty bude realizováno číslicově. Bude tedy nutné tuto analogovou hodnotu převést do digitální podoby.

2.2 A/D převodník

Dalším blokem v zařízení je AD převodník, aby bylo možné naměřené hodnoty zpracovat číslicově. Bitové rozlišení převodníku se musí určit takové, aby výškoměr zaznamenával výšku s přesností alespoň na celé metry a pro vnitřní zpracování alespoň na půl metru, aby nedocházelo k přílišným nepřesnostem.

2.2.1 Rozlišení A/D převodníku

Změna tlaku připadající na 1 metr je v našich podmínkách podle (1.1), ve výšce asi 300 m.n.m, 11,6 Pa. Citlivost senzoru je 45mV/kPa. To znamená, že změna napětí na výstupu tlakového senzoru je 522 μ V na jeden metr výšky. Na půl metru potom polovina, tj. 261 μ V, pro jednoduchost 250 μ V. V případě referenčního napětí převodníku 5V je potřebný počet hladin:

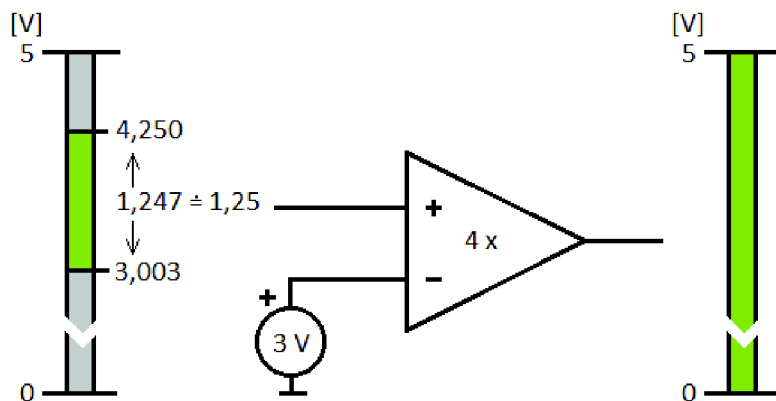
$$poč.hladin = \frac{U_{REF}}{\Delta U_{0,5m}} = \frac{5}{250 \cdot 10^{-6}} = 20000. \quad (2.2)$$

Bitové rozlišení převodníku bude potom potřeba minimálně:

$$\begin{aligned}
 2^n &= 20000 \\
 \log 2^n &= \log 20000 \\
 n \cdot \log 2 &= \log 20000 \\
 n &= \frac{\log 20000}{\log 2} = 14,3 \approx 15 \text{ bitů}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Potřebné bitové rozlišení A/D převodníku je možné snížit, vezmou-li se v úvahu podmínky, ve kterých bude zařízení pracovat. Atmosférický tlak se v našich podmínkách pohybuje v rozmezí 98 kPa až 105 kPa, tyto hodnoty jsou založeny na základě statistik měření amatérské meteorologické stanice v Brně [7]. Dalším předpokladem může být, že výška, ve které se bude model pohybovat nepřesáhne 2 km. V této výšce tlak dosahuje hodnoty asi 77,3 kPa (podle (1.1)), při 98 kPa na hladině moře).

Výškoměr tedy musí být schopen měřit tlak v rozmezí 77,3 kPa až 105 kPa. Tomu na výstupu tlakového senzoru odpovídá, podle (2.1), rozsah napětí 3,003 V až 4,250 V. To představuje z celkového 5 V měřitelného intervalu pouze jednu čtvrtinu. Vhodnou úpravou výstupního signálu senzoru může dojít k lepšímu využití měřících schopností A/D převodníku. Tuto úpravu by mohl zajistit diferenční zesilovač, jak je znázorněno na Obrázek 2.4. Signál z výstupu tlakového senzoru je přiveden na kladnou svorku zesilovače. Přivedením referenčního napětí 3 V na záporný vstup zesilovače dojde k posunutí signálu o tyto 3 V „níže.“ Když se takto upravený signál navíc čtyřikrát zesílí, bude využito celého 5 V rozsahu A/D převodníku.



Obrázek 2.4: Znázornění úpravy signálu z tlakového senzoru

Namísto dalšího samostatného bloku diferenčního zesilovače je využít A/D převodník s diferenčním vstupem a programovatelným zesilovačem. Díky tomu se potřebné úpravy signálu obejdou bez rozšiřování výsledného zapojení o další samostatné bloky.

Díky této úpravě signálu před A/D převodem, tj. čtyřnásobné zesílení, stačí čtvrtinový počet napěťových hladin převodníku a tedy o 2 bity nižší rozlišení, tj. 13 bitů, pro stejnou rozlišovací schopnost.

Hodnota LSB (nejnižší bit) výsledku odpovídá hodnotě napětí :

$$LSB \approx \frac{5}{2^{13}} = 610,4 \mu V .$$

Změna napětí, která odpovídá změně výšky o jeden metr, je po zesílení 2088 μV . Změně napětí o 610,4 μV potom odpovídá výška asi 30 cm. S touto rozlišovací schopností je výškoměr teoreticky schopen měřit.

Použitý mikrokontrolér sice obsahuje AD převodník, ale pouze s 10-bitovým rozlišením. To je bohužel pro tuto aplikaci nedostačující a musí být použita další externí součástka.

2.2.2 Použitý A/D převodník

Ve výškoměru je použit A/D převodník ADS1100 od firmy Texas Instruments, následující odstavce jsou převzaty z [8]. Převodník obsahuje diferenční vstup, zesilovač s programovatelným zesílením 1, 2, 4, nebo 8 a rozlišení až 16 bitů v závislosti na rychlosti převodu. Jako referenci využívá napájecí napětí. Komunikace s ním je zajištěna pomocí sběrnice I²C, která je popsána v [9].

Výstupní číslo N_{OUT} , výsledek převodu, je dáno vztahem:

$$N_{OUT} = -1 \cdot N_{MIN} \cdot PGA \cdot \frac{U_{IN+} - U_{IN-}}{U_{CC}}, \quad (2.4)$$

kde N_{MIN} je maximální záporný výsledek převodu. Ten závisí na zvoleném bitovém rozlišení. PGA je nastavené zesílení programovatelného zesilovače, U_{IN+} [V] je analogová hodnota na kladné vstupní svorce, U_{IN-} [V] je hodnota napětí na záporné vstupní svorce a U_{CC} [V] napájecí napětí, které zároveň tvoří referenční hodnotu.

Vstupní napětí na kladné vstupní svorce, které je tvořeno výstupem z tlakového senzoru se po úpravě (2.4) dá vyjádřit jako:

$$U_{IN+} = \frac{-N_{OUT} \cdot U_{CC}}{N_{MIN} \cdot PGA} + U_{IN-}. \quad (2.5)$$

A/D převodník je použit v režimu, kdy má rozlišení 14 bitů. V našem případě je využita pouze polovina celkového rozsahu, jen jeho kladná část, tedy potřebných 13 bitů. Tomu odpovídá rychlost převodů 32 SPS a maximální záporná hodnota rozsahu N_{MIN} je -8192, [8]. Za U_{CC} se může dosadit napájecí napětí 5 V. Na zápornou vstupní svorku je přivedeno z referenčního zdroje napětí 3 V a zesílení PGA je nastaveno na 4. Tím je dosaženo úpravy signálu, jak je naznačeno v předchozí kapitole a na Obrázek 2.4.

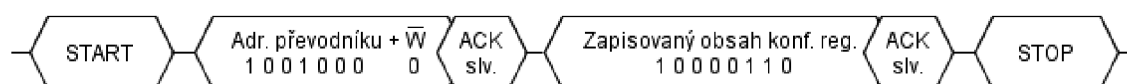
2.2.3 Komunikace s převodníkem ADS1100

Nastavení režimu a požadovaných hodnot se provede zápisem do konfiguračního registru převodníku, ten je spolu z příslušnými hodnotami znázorněn v Tabulka 2.2.

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
jméno	ST/BSY	0	0	SC	DR1	DR0	PGA1	PGA0
hodnota	x	0	0	0	0	1	1	0

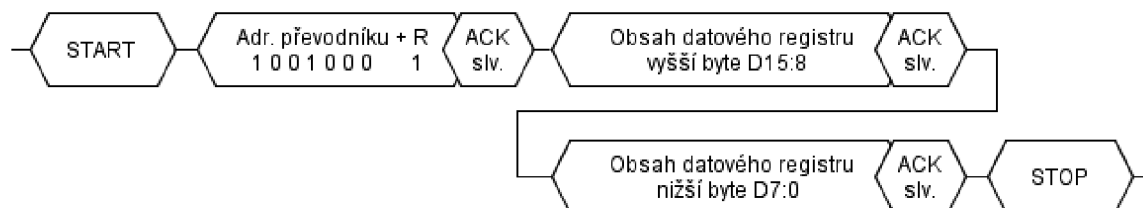
Tabulka 2.2: Konfigurační registr převodníku ADS1100

Bitem SC je nastaven tzv. kontinuální režim, kdy převodník provádí jeden převod za druhým. Bit ST/BSY nemá v tomto režimu žádný význam. DR1:0 je nastavena rychlost převodů 32 SPS a rozlišení 14 bitů. PGA1:0 nastavuje zesílení na 4. Průběh komunikace na lince SDA sběrnice I²C při zápisu do konfiguračního registru, je znázorněna na Obrázek 2.5. Po startovací podmínce „START“ následuje adresa převodníku „1001000“ a bit \bar{W} „0“ určující zápis. Převodník potvrdí že přijal pokyn od řídicího obvodu bitem „ACK.“ Jako další je vyslán obsah pro zápis do registru, potvrzený od převodníku a komunikaci ukončuje „STOP“ ukončovací podmínka.



Obrázek 2.5: Průběh na lince SDA při zápisu do konfiguračního registru ADS1100.

Další registr, který převodník obsahuje, je datový registr, kde se ukládá výsledek převodu. Z tohoto registru je umožněno pouze čtení. Komunikace při čtení je velmi podobná jako při zápisu a je znázorněna na Obrázek 2.6. Adresa převodníku je doplněna o bit R „1“ pro čtení. Přechtením dvou bloků se dostane obsah datového registru, nejprve vyšší potom nižší byte. Přechtením dalšího datového bloku by se dostal obsah konfiguračního registru. Komunikace je opět ukončena ukončovací podmínkou „STOP.“



Obrázek 2.6: Průběh na lince SDA při čtení datového registru ADS1100.

2.3 Externí datová paměť

2.3.1 Velikost datové paměti

Data zaznamenaná během letu bude potřeba ukládat do nějakého paměťového prostoru, aby mohla být po ukončení letu a po připojení k počítači zpracována. Údaje budou ukládány každou půl sekundu a velikostí budou odpovídat datovému registru

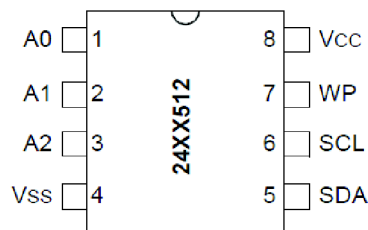
A/D převodníku, tedy 16 bitů (2 Byty). Hodinový záznam (3600 s) bude mít velikost 14400 B. Velice pravděpodobné je, že nebude možné vždy po hodině data stáhnout. Let může trvat i déle nebo uživatel nemá v tu chvíli k dispozici počítač. Paměť tedy musí „pojmout“ větší objem dat. Paměť, která je součástí mikroprocesoru není na tento účel vhodná, pro svou malou kapacitu. Musí být tedy vybrána externí paměť.

Zvolená paměť má kapacitu 64 kB (65536 B). Do paměti bude možné uložit záznam odpovídající asi 4,5 hodinám.

2.3.2 Požitá externí paměť

Použitá paměť je od firmy Microchip, konkrétně 24LC512 [10]. Jedná se o paměť typu EEPROM o kapacitě 64 kB, se strukturou 64k x 8. Komunikace s ní je zajištěna opět prostřednictvím sériové sběrnice I²C.

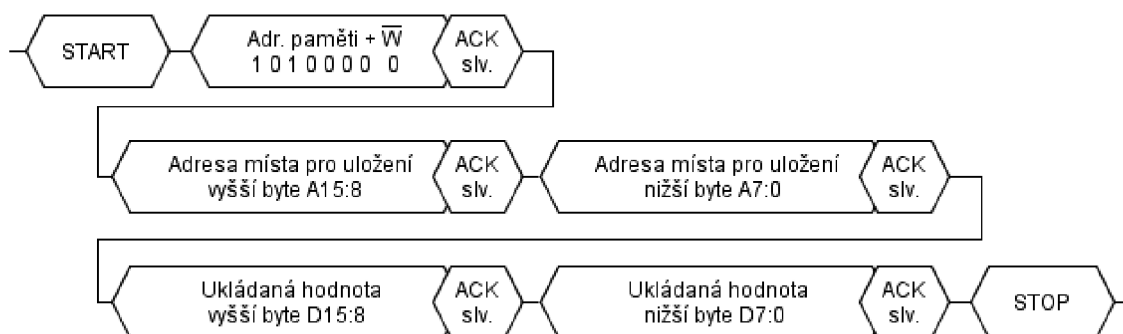
Na Obrázek 2.7 je vyobrazeno zjednodušeně osmi-pinové pouzdro, ve kterém je paměť umístěna. Význam jednotlivých pinů je následující. A0, A1, A2 tvoří spodní tři bity sedmibitové adresy, pomocí které se bude k této konkrétní součástce přistupovat, při komunikaci pomocí I²C. Vcc a Vss (ground) tvoří napájení. WP (write protect) umožňuje zakázat zápis do paměti. Tento pin musí být připojen buďto k pinu Vcc pro zákaz, nebo k Vss pro povolení zápisu. Čtení není nijak ovlivněno. SCL a SDA slouží pro sériovou komunikaci I²C.



Obrázek 2.7: Zjednodušené vyobrazení paměti 24LC512, [10].

2.3.3 Zápis do paměti 24LC512

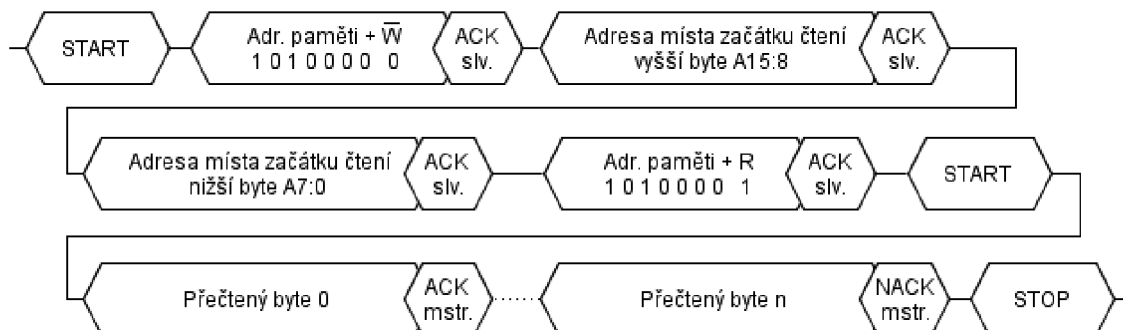
Zápis do paměti může probíhat po jednom bytu, nebo po posloupnosti až 128 bytů. V tomhle konkrétním případě bude zápis probíhat vždy po dvou bytech, které odpovídají vyššímu a nižšímu bytu ukládané hodnoty, odpovídající získané hodnotě z A/D převodníku. Průběh komunikace po lince SDA, při zápisu dat, je naznačen na Obrázek 2.8. Komunikace začíná startovací podmínkou, následuje sedmi bitová adresa zařízení. K ní je přidán bit $\overline{R/W}$ nastaven pro zápis (log. 0) a potvrzovací signál od paměti ACK. Poté se neadresuje místo v paměti, na které se bude zapisovat. Nejprve vyšší byte, opět ACK a nižší byte, ACK. Pak přichází samotná ukládaná data, datový vyšší byte, ACK nižší byte, ACK a nakonec ukončovací podmínka.



Obrázek 2.8: Průběh na lince SDA během zápisu dvou bytů.

2.3.4 Čtení z paměti 24LC512

Čtení hodnot z paměti probíhá sekvenčně. První kroky postupu čtení probíhají podobně jako v případě zápisu. Po nižším bytu adresy jen nenásledují data pro zapsání, ale začíná další startovací podmínka. Za ní je vyslána adresa paměti s bitem $\overline{R/W}$ nastaveným pro čtení, (log. 1). Dále už je možné číst data po bytech, která se nachází od zadané adresy a dál. Adresování vysílaných dat je zajištěno vnitřní logikou paměti. Každý takto přijatý byte je potvrzen signálem ACK tentokrát od řídicího zařízení (mikrokontrolér). Při přečtení posledního bytu mikrokontrolér nepotvrzuje a generuje ukončovací podmínku. Průběh komunikace je znázorněn na Obrázek 2.9.



Obrázek 2.9: Průběh na lince SDA během čtení sekvence bytů.

2.4 Mikrokontrolér

Veškerá činnost výškoměru a práce s daty z převodníku je řízena mikrokontrolérem. Díky již získaným zkušenostem s mikrokontroléry AVR od firmy Atmel, byl vybrán osmi-bitový mikrokontrolér z řady megaAVR. Konkrétně ATmega32U4 [11]. Tato konkrétní součástka byla vybrána, protože obsahuje potřebné vnitřní periferie pro sériovou komunikaci I^2C (u AVR pojmenovaná TWI), potřebné pro připojení A/D převodníku a externí paměti.

Jeden z hlavních důvodů výběru mikrokontroléru ATmega32U4 je také to, že

obsahuje obvody potřebné pro komunikaci pomocí universální sériové sběrnice, USB, přes kterou je možné nahrát uživatelský program. Není tedy potřeba žádný programátor. Nahrání programu se provádí pomocí programu FLIP [12], který je dostupný na stránkách výrobce [13]. V části programové paměti je od výrobce nahrán tzv. bootloader, který se postará o vložení uživatelského programu.

Původním záměrem bylo využití USB rozhraní i pro stahování naměřených dat do počítače. To se bohužel nepodařilo realizovat. Pro přenos dat je nakonec využita jednotka USART, ze které jsou signály TTL převedeny pomocí převodníku MAX232 [14] na sériový port RS-232 počítače. Naštěstí není potřeba přenášet příliš mnoho dat a tak výrazně nižší přenosová rychlost tohoto řešení tolik nevadí.

Část základních parametrů použitého mikrokontroléru ATmega32U4 je uvedena v následujícím seznamu:

- 32 8-bitových všeobecných registrů
- 26 vstupně/výstupních pinů
- 32 kB programové paměti Flash
- 2,5 kB datové paměti SRAM
- 1 kB datové paměti EEPROM
- Sériová rozhraní USART, SPI, TWI (I²C)
- USB rozhraní, low-speed i full-speed
- 4 časovače/čítače, jeden 8-bitový, dva 16-bitové a jeden „rychlý“ 10-bitový s PLL (smyčka fázového závěsu) pro USB
- Několik druhů úsporných režimů

Parametry uvedené výše tvoří jen část informací o použitém mikrokontroléru a jsou převzaty z jeho dokumentace [11].

2.4.1 Režim snížené spotřeby

Mikrokontrolér je jediný prvek, u kterého se dá upravit spotřeba energie. Ostatní součástky toto buď vůbec neumožňují (tlakový senzor) nebo se o to starají samy (A/D převodník, externí paměť).

ATmega32U4 podporuje několik různých úsporných módů, [11]. V této aplikaci bude využit tzv. idle mód. Při jeho aktivování dochází k zastavení systémových hodin a nejsou prováděny žádné instrukce. Periférie procesoru ovšem zůstávají aktivní. To bude nutné kvůli zajištění chodu programu, který využívá jejich přerušení. Z činnosti je ovšem možné vyřadit ty periférie, které nejsou potřeba a tím zase o něco přispět ke snížení odběru. Pro přechod do toho režimu slouží instrukce SLEEP. Nastavení se provádí v registru SMCR (sleep mode control register), zapsáním do bitů SM2:0 hodnotu 000. Povolení přechodu do úsporného režimu se provede zapsáním 1 do bitu SE tamtéž.

Periférie, které nejsou potřeba pro chod výškoměru jsou vypnuty pomocí příslušných bitů v registrech PRR0 a PRR1 (power reduction register). Jsou to časovač/čítač 0, 2, 3 a 4, SPI, A/D převodník, USB. Dále je možné vypnout komparátor

a zabudovaný ladicí systém JTAG v registrech, které slouží pro práci s těmito komponentami.

2.5 Obvodové zapojení

Schéma kompletního obvodového zapojení je uvedeno v příloze této práce. Je vytvořeno z jednotlivých funkčních bloků, zapojených podle příslušné dokumentace uvedené výrobcem.

K napájení výškoměru je využito akumulátorů v letadle. Jejich napětí musí být minimálně 6 V, přivedené na konektor JP1. Komponenty výškoměru využívají k napájení 5 V, které zajišťuje stabilizátor napětí LP2980_5.

Na konektoru JP2 jsou vyvedeny signály jednotky USART, pro připojení k počítači a port B mikrokontroléru, pro testovací účely.

Deska plošných spojů je oboustranná. Její rozměry jsou 78 x 35 mm. Součástky jsou umístěny jen na její horní straně.

3 SOFTWAREVÁ ČÁST

3.1 Řídicí program mikrokontroléru

O řízení činnosti celého zařízení a o komunikaci mezi jednotlivými komponentami výškoměru se stará řídicí program mikrokontroléru. Ten je rozebrán v následujících odstavcích.

Hlavní program, který je naznačen ve vývojovém diagramu na Obrázek 3.1, začíná nastavením používaných periférií pro komunikaci mezi jednotlivými bloky výškoměru. AD převodník je uveden do příslušného režimu. V dalším kroku jsou vypnuty nepoužívané periférie, jako vnitřní AD převodníky, komparátor, atd. To má svůj podíl na snížení spotřeby energie. Následně je zjištěno, kolik je již v paměti uloženo záznamů a najde se konec posledního z nich, aby se nový záznam mohl začít ukládat za něj, nebo aby se zjistilo, kolik dat bude vysláno do počítače. V tomto okamžiku se hlavní program dělí na dvě větve. Jedna obstarává případ, že je výškoměr právě připojen k počítači a bude se očekávat pokyn k vyslání dat nebo smazání paměti. Druhá větev začne měřit a ukládat nový záznam.



Obrázek 3.1: Vývojový diagram, hlavní program.

3.1.1 Měření

V případě, že není počítač připojen, začne se s měřením nového záznamu. Část hlavního programu, která začne měření je znázorněna na Obrázek 3.2. Nejprve je nastaven časovač/čítač 1, jehož přerušení, které se generuje každou 1/32 sekundy. Ten řídí jednotlivé fáze měření. Povolení přerušení od časovače 1 spolu s globálním povolením se provede v dalším kroku. Pro identifikaci jednotlivých záznamů uložených v externí datové paměti slouží informace, kde začínají. Tyto informace tvoří adresy jejich začátku a jsou spolu s počtem uložených záznamů uchovány ve vnitřní datové paměti E2PROM mikrokontroléru. Program poté přechází do nekonečné smyčky, ve které vyčkává na přerušení časovače. V této smyčce je vždy po návratu obsluhy přerušení aktivován jeden z režimů snížené spotřeby, konkrétně „idle mode.“ V tomto režimu je zastaveno jádro procesoru a nejsou vykonávány žádné instrukce. Periférie zůstávají aktivní a případné přerušení, v tomto případě od časovače 1, uvádí procesor opět do aktivního stavu. Po provedení obsluhy přerušení dojde opět k „uspání.“



Obrázek 3.2: Vývojový diagram, hlavní program, měřicí část.

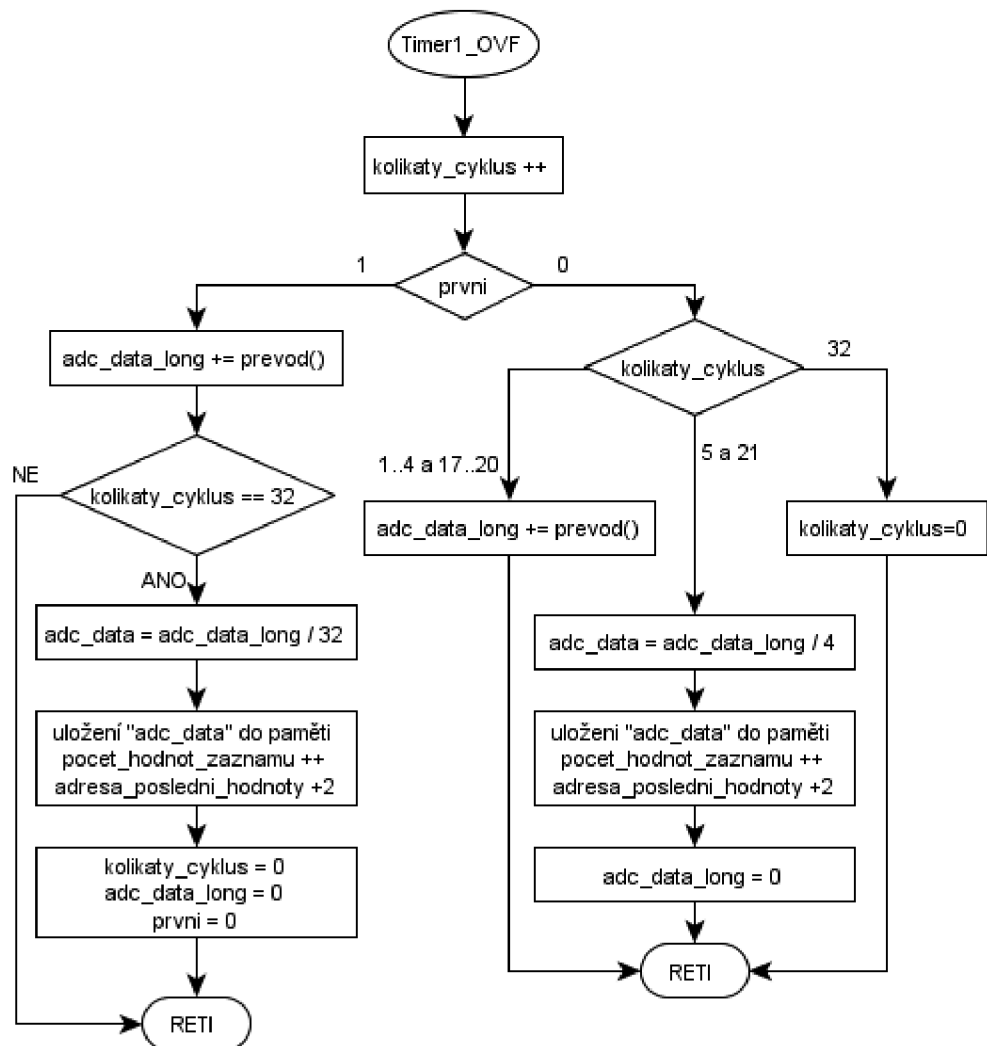
Struktura vnitřní paměti E2PROM je naznačena v Tabulka 3.1. Je zde vyčleněna jedna 8 bitová hodnota pro počet záznamů: „ee_pocet“ a pole „ee_adr_zacatky[]“ 16 bitových hodnot pro adresy začátků pořizovaných záznamů. Počet záznamů, který může být uložen, je 8 bitovou hodnotou „ee_pocet“ omezen na 255.

ee_pocet	M
----------	---

n	0	1	2	...	254
ee_adr_zacatky[n]	adr. záznam 1	adr. záznam 2	adr. záznam 3

Tabulka 3.1: Struktura vnitřní datové paměti mikrokontroléru.

Samotná obsluha přerušení časovače/čítače 1 je naznačena v diagramu na Obrázek 3.3. Zde dochází k samotnému získávání hodnot z A/D převodníku a jejich prvotní zpracování. Počet přerušení, který je časovačem/čítačem vyvoláno za sekundu je 32. To odpovídá rychlosti 32 SPS, se kterou pracuje A/D převodník. Při každém přerušeni je tedy ideálně k dispozici nová převedená hodnota.



Obrázek 3.3: Vývojový diagram, obsluha přerušeni od časovače/čítače 1.

Změřený záznam se vždy skládá z první hodnoty, která odpovídá změřenému tlaku ve výchozím bodě, kde bylo zařízení zapnuto. K tomuto údaji jsou poté vztaženy

všechny další hodnoty záznamu a odpovídá výšce 0 m. Výchozí hodnota je získána průměrem hodnot, získaných během první sekundy měření. Předpokládá se, že je zařízení po tuto dobu v klidu.

Další hodnoty záznamu jsou ukládány jednou za půl sekundy. Ty jsou získány z průměru čtyř hodnot, které jsou z A/D převodníku přečteny během 1/8 sekundy. Za tuto krátkou dobu je změna tlaku způsobená pohybem zařízení považována za lineární.

Každá takto získaná hodnota je uložena do paměti. Protože má jeden adresovatelný prvek paměti pouze 8 bitů, je ukládána hodnota, která je představována 16 bity, rozdělena na vyšší a nižší byte. Způsob ukládání je znázorněn v Tabulka 3.2. Nejprve je na nižší adrese uložen vyšší byte „H“ a následně nižší byte „L.“

adr.	obsah		
65535	0xFF		
⋮	⋮		
	0xFF		
	0xFF		
2k+1	hodnota k	L	← adr. konec dat
2k		H	
	⋮		
2n+1	hodnota n	L	← adr. záznam M
2n		H	
	⋮		
5	hodnota 2	L	
4		H	
3	hodnota 1	L	
2		H	
1	hodnota 0	L	
0		H	← adr. záznam 1

Tabulka 3.2: Znázornění ukládání naměřených hodnot do paměti.

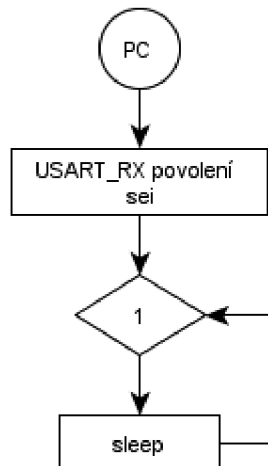
Každý záznam je odlišen adresou své první hodnoty. Ta je uložena hned při spuštění měření, jak je naznačeno na začátku této kapitoly. Měření může být tedy ukončeno kdykoliv a to vypnutím napájení. Při dalším měření je nalezen údaj, že je uloženo „M“ měření, přečte se adresa začátku posledního z nich. Pročítáním paměti od této adresy je nalezen konec dat. Ten je na poslední adrese, kde je hodnota v paměti různá od 0xFF.

3.1.2 Komunikace s PC

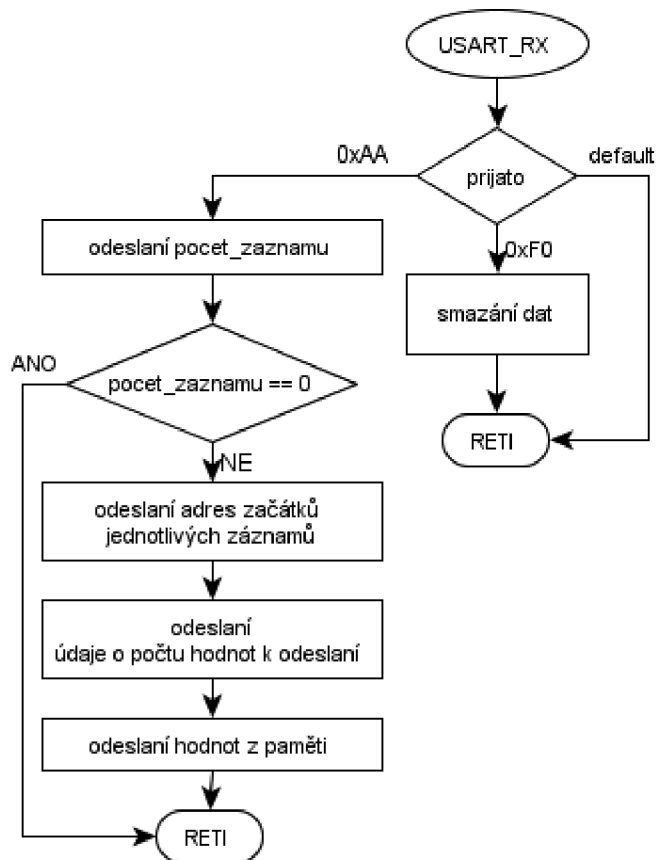
Když je počítač po zapnutí přístroje připojen, je vykonána druhá větev hlavního programu, jak je uvedeno výše. V tomto případě není prováděno žádné měření. Pouze se povolí přerušení od periférie USART, které se vyvolá po dokončení příjmu pokynu od počítače. Procesor poté přechází do úsporného módu, Obrázek 3.4.

V tomto stavu setrvává do doby, než je z počítače vyslán po sériové lince pokyn v podobě 8 bitové hodnoty. V tom okamžiku je vyvoláno přerušení, v jehož obsluze

dojde k vykonání další činnosti, podle obsahu přijatého pokynu. Obsluhu přerušení znázorňuje Obrázek 3.5. Pokud je přijat pokyn reprezentovaný hodnotou 0xF0, dojde k vymazání obsahu externí datové paměti a vynuluje se údaj o počtu záznamů ve vnitřní paměti. Po přijetí hodnoty 0xAA je očekáváno vyslání záznamů, na které je připraven program v počítači.



Obrázek 3.4: Vývojový diagram, hlavní program, komunikační část.



Obrázek 3.5: Vývojový diagram, obsluha přerušení při dokončení příjmu pomocí USART.

Nejprve je vyslán počet uložených záznamů. Pokud je tento údaj nulový, tak obsluha končí. V opačném případě, kdy je v paměti uložen alespoň jeden záznam dojde k jeho vyslání. Před samotným odesláním naměřených hodnot jsou vyslány adresy začátků jednotlivých záznamů, nutné pro jejich rozlišení a údaj o tom, kolik bude vysláno hodnot z paměti. Nakonec jsou z paměti vyslána samotná naměřená data. Po předání všech dat vyčkává zařízení na případný další pokyn, dokud není vypnuto.

3.2 Program na straně počítače

Pro komunikaci mezi výškoměrem a počítačem je využito sériového portu. Program tedy musí být schopen tento port využívat. Dále program musí zajistit zpracování přijatých dat, jejich přepočítání na tlak a poté na výšku. Nakonec tato vypočtená data vykreslit graficky. Jako ideální bylo pro všechny tyto účely vybráno programové prostředí MATLAB [15]. To zajistí všechny zmíněné operace.

V tomto prostředí je nachystáno několik skriptů a funkcí, které se postarají o příslušné operace. Ty, které jsou pro uživatele důležité, jsou:

- `prijem_data.m`
- `smaz_data.m`
- `uloz_data.m`
- `vykresli_grafy.m`

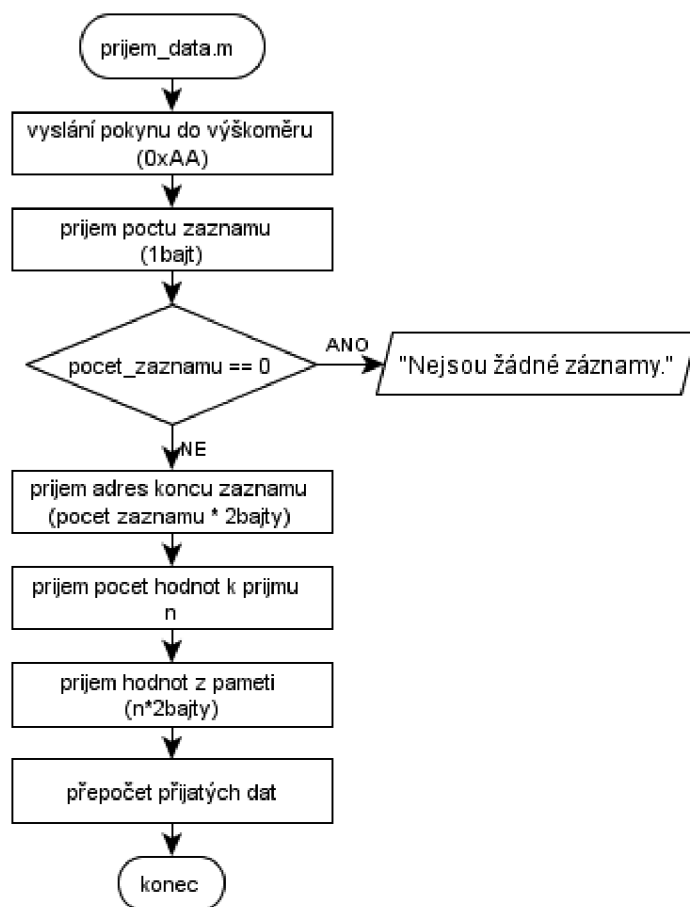
První z jmenovaných, „`prijem_data.m`“, je naznačen v diagramu na Obrázek 3.6. Ten odpovídá činnosti svému protějšku ve výškoměru. Při spuštění tohoto skriptu se předpokládá, že výškoměr je již k počítači připojen a očekává příkaz. Příkaz v tomto případě má podobu odeslaného jednoho bytu s hodnotou `0xAA`. Na ten výškoměr reaguje tak, jak je popsáno v předchozí kapitole a skript postupně přijímá data. Přijaté hodnoty mají podobu vektoru „`data`“, vektoru označující začátky jednotlivých záznamů „`pozice_zacatku`“ ve vektoru „`data`“.

Po dokončení příjmu je proveden přepočítání přijatých záznamů, odpovídajících číslu z A/D převodníku, na hodnotu tlaku podle rovnice (2.5). Tyto hodnoty tlaku jsou v zápětí převedeny na údaj o výšce podle barometrické rovnice (1.2). Výchozí hodnotou tlaku je vždy první hodnota záznamu. Výsledný záznam má potom podobu matice „`zaznam`“.

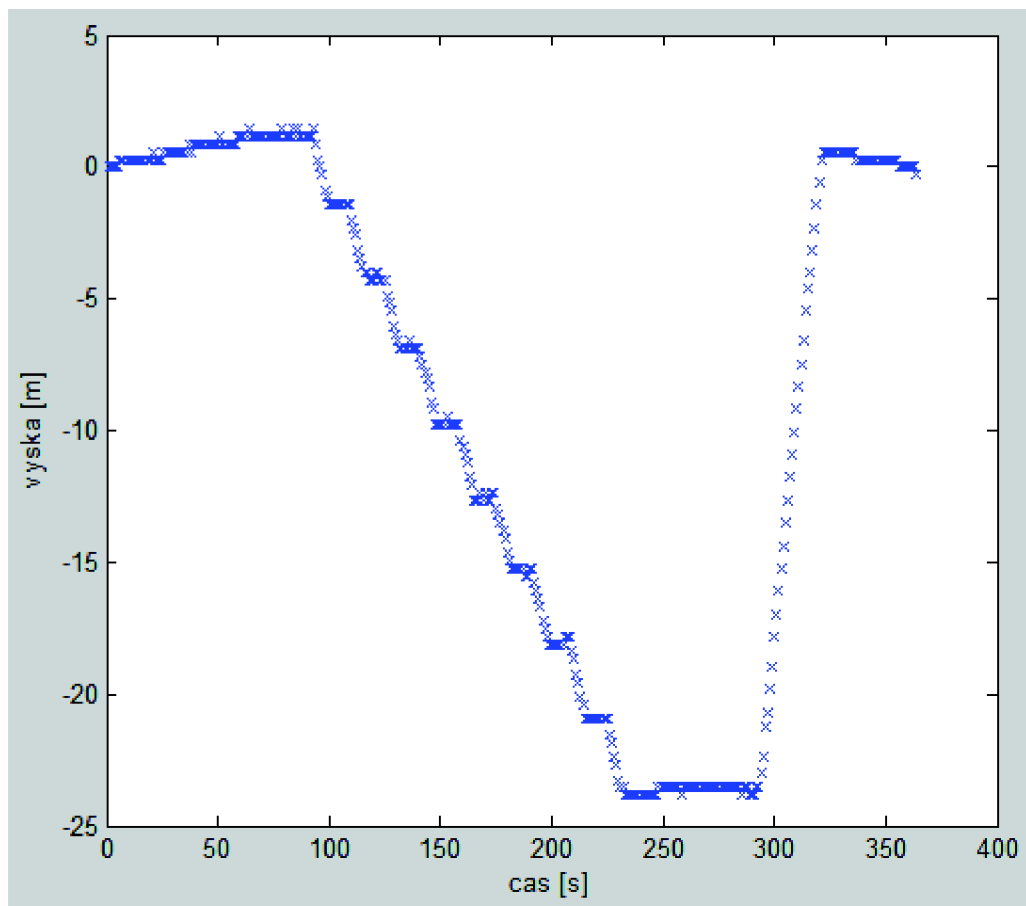
Další skript, „`smaz_data.m`“, obstarává smazání dat ve výškoměru. Při jeho spuštění dochází pouze k odeslání pokynu přes sériový port. Jako v předchozím případě se předpokládá, že je výškoměr připojen.

V případě „`uloz_data.m`“ se jedná o funkci. Jejím parametrem je jméno souboru do kterého dojde k uložení záznamu. Jeho načtení je provedeno příkazem „`load`“.

Poslední z jmenovaných, „`vykresli_grafy.m`“, zobrazí naměřené záznamy graficky. Příklad jednoho průběhu je na Obrázek 3.7.



Obrázek 3.6: Vývojový diagram, příjem dat z výškoměru.



Obrázek 3.7: Příklad grafického zobrazení záznamu.

4 ZÁVĚR

V této práci je navrženo možné řešení koncepce barometrického výškoměru pro RC modely letadel. Byly vybrány dílčí bloky a konkrétní integrované obvody, pomocí nichž jsou realizovány. Důraz je kladen na minimální rozměry výsledného zařízení. Vybrány byly součástky výhradně pro povrchovou montáž, SMD.

Konkrétní použité součástky jsou: tlakové čidlo MPXH6115A6U pro snímání barometrického tlaku. Analogová hodnota napětí na jeho výstupu je převedena A/D převodníkem ADS1100. Řízení jednotlivých bloků, práci s daty a komunikaci s PC zajistí mikrokontrolér ATmega32U4. Data jsou zaznamenána každou půl sekundu a ukládána do paměti EEPROM 24LC512 o kapacitě 64 kB, která vystačí na záznam čtyři a půl hodiny.

Provoz výškoměru je předpokládán do výšky asi 2000 m. V tomto rozmezí se hodnota výstupního napětí tlakového čidla mění jen v úzkém rozmezí. Byla by tedy využita jen malá část měřitelného rozsahu AD převodníku. Signál je proto upraven tak, aby byl využit rozsah co možná nejvíce. Je k tomu využit diferenční vstup převodníku s programovatelným zesilovačem. Citlivost s jakou je možné výšku zaznamenat se pohybuje kolem 30 cm.

Komunikaci mezi jednotlivými bloky zajišťuje mikrokontrolér ATmega32U4. Ke komunikaci je využita sběrnice I²C.

Do paměti lze zaznamenat více měření. Při dalším spuštění a započatém měření je zajištěno ukládání záznamů za sebe. Rozlišeny jsou pomocí adres svých začátků, které jsou uloženy také.

Výškoměr s počítačem komunikuje pomocí sériového portu RS-232. Na straně výškoměru je k tomu využita jednotka UART mikrokontroléru. Převod potřebných úrovní obstarává obvod MAX232.

O přijetí a zpracování dat v počítači se starají skripty vytvořené v prostředí MATLAB. Dochází zde k přepočtu hodnot z A/D převodníku na tlak a poté na výšku. Naměřené záznamy lze zobrazit v grafické podobě a ukládat, pro další pozdější zpracování.

LITERATURA

- [1] Wikipedie. *Článek o výškoměrech* [online]. [cit. 12.listopadu 2011]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/výškoměr>.
- [2] DVOŘÁK, P. *Učebnice pilota: Letecká meteorologie*. vydání první. Cheb: Svět křídel, 2003, s. 105-166. ISBN 80-85280-89-2.
- [3] VAN BRAMER, S.E. *Pressure vs Altitude relationships* [online]. 1998 [cit. 15.října 2011]. Dostupné z: http://science.widener.edu/~svanbram/chem332/pdf/press_alt.pdf.
- [4] VOJÁČEK, A. *Princip a struktura integrovaných senzorů tlaku Freescale*. [online]. [cit. 15.října 2011]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-praxe/art1941-princip-struktura-integrovaných-senzorů-tlaku-freescale.html>.
- [5] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Dokumentace MPXH6115A6U* [online]. [cit. 15.října 2011]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXA6115A.pdf.
- [6] Farnell. *Stránky distributora elektronických součástek* [online]. [cit. 12.listopadu 2011]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/freescale-semiconductor/mpxh6115a6u/ic-sensor-abs-pressure-16-7psi/dp/1457169>.
- [7] Meteorologická stanice Brno-Židenice: *Stránky věnované amatérské meteorologii*. [online]. [cit. 14.února 2012]. Dostupné z: <http://www.meteo.jankovic.cz/rekordy-stanice/>.
- [8] Texas Instruments. *Dokumentace ADS1100* [online]. USA [cit. 14.února 2012]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1389981.pdf>.
- [9] FRÝZA, T. *Mikroprocesorová technika a embeded systémy. Přednášky (ver. 2011-12-09)*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2011.
- [10] MICROCHIP TECHNOLOGY. *Dok. 24LC512* [online]. USA [cit. 12.listopadu 2011]. ISBN 978-1-60932-073-7. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/11037.pdf>.
- [11] ATMEL CORPORATION. *Dokumentace ATmega32U4* [online]. [cit. 12.listopadu 2011]. Dostupné z: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7766.pdf.
- [12] ATMEL CORPORATION. *Dokumentace FLIP* [online]. [cit. 15.března 2012]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc7769.pdf>.
- [13] ATMEL CORPORATION. *Program FLIP* [online]. [cit. 15.března 2012]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/tools/FLIP.aspx>.
- [14] MAXIM. *Dokumentace MAX232* [online]. USA [cit. 15.března 2012]. Dostupné z: http://www.hw.cz/data_ic/max232.pdf.
- [15] MathWorks. *Dokumentace prostředí MATLAB* [online]. [cit. 15.března 2012]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/techdoc/matlab_product_page.html.

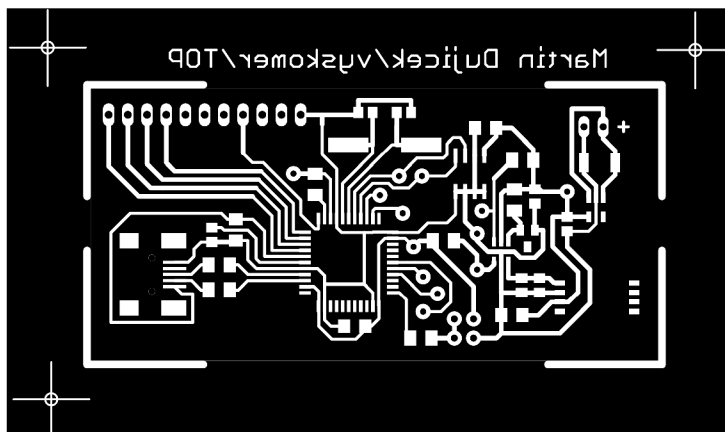
SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh zařízení	35
A.1	Obvodové zapojení	35
A.2	Deska plošného spoje – top	37
A.3	Deska plošného spoje – bottom	37
B	Seznam součástek	38

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

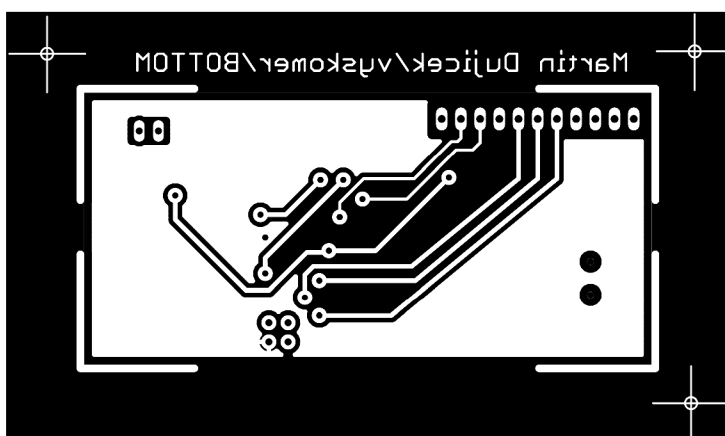
A.1 Obvodové zapojení

A.2 Deska plošného spoje – top



Rozměr desky 78 x 35 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošného spoje – bottom



Rozměr desky 78 x 35 [mm], měřítko M1:1

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
CADC	4u7	0805	Keramický kond.
CIN	10u/16V	B	Tantalový kond.
CLDO	4u7	0805	Keramický kond.
CMEGA	100n	1206	Keramický kond.
CMEM	100n	1206	Keramický kond.
CSO	47p	0805	Keramický kond.
CSS	100n	1206	Keramický kond.
CUCAP	1u	0805	Keramický kond.
CVBUS	10u/16V	1206	Keramický kond.
CXTAL1	22p	0805	Keramický kond.
CXTAL2	22p	0805	Keramický kond.
IO2	ADS1100	SOT-23-6	AD převodník
IO3	24LC512	SOIC8-N_MC	EEPROM
IO4	ATMEGA32U4-AU	TQFP44	Mikrokontrolér
JP1	NAPAJENI	1x2	Konektor
JP2	KONEKTOR	1x11	Konektor
JP3	HWB	2x2	Konektor
Q1	8MHz		Krystal
REF1	LM4040_3	SOT23	Napěťová reference 3V
RHWB	4k7	1206	Rezistor
RRST	220R	1206	Rezistor
RSCL	4k7	1206	Rezistor
RSDA	4k7	1206	Rezistor
RSO	51k	0805	Rezistor
RUSB1	22R	1206	Rezistor
RUSB2	22R	1206	Rezistor
SENSOR	MPXH6115A6U	SSOP8	Tlkový senzor
U1	LP2980-5.0	SOT-23-5	LDO stabilizátor 5V
X1	MINI-USB		Konektor