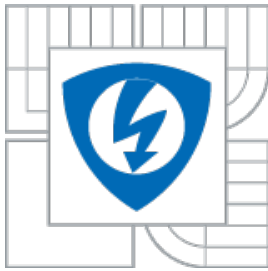




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF

## VÝŠKOMĚR PRO RC MODELY LETADEL ALTIMETER FOR RC AIRCRAFT MODELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN ŠVEC

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JAN PROKOPEC, PH.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Jan Švec

**ID:** 78357

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

### Výškoměr pro RC modely letadel

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti realizace výškoměru pro RC modely letadel. Navrhněte koncepci zařízení pro záznam letové polohy RC modelu. Při návrhu minimalizujte rozměry zařízení a proudový odběr. 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. 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:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 27.5.2011

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

**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.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

1 BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

**ÚSTAV**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**DEPARTMENT OF**

## VÝŠKOMĚR PRO RC MODELY LETADEL

ALTIMETER FOR RC AIRCRAFT MODELS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

JAN ŠVEC

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

ING. JAN PROKOPEC, PH.D.

## **Abstrakt**

Předmětem mé bakalářské práce je návrh výškoměru, který využívá pro záznam letové polohy modelu RC letadla vyhodnocování aktuálního atmosferického tlaku. Údaje jsou po dobu letu ukládány do paměti, odkud je možné je po skončení záznamu přes rozhraní USB uložit v PC. Software na PC zajišťuje komunikaci se zařízením a přepočítá zaznamenaného tlaku na nadmořskou výšku RC modelu.

## **Klíčová slova**

výškoměr, atmel, honeywell, FTDI, atmosferický tlak, USB

## **Abstrakt**

The aim of my bachelor thesis is to design a altimeter, who uses to record the attitude of the model "RC plane" evaluation of the current atmospheric pressure. The data are stored during the flight into memory. Data can be after the recording through the USB transferred to the PC store. The software on the PC communicates with the device and ensuring the conversion of recorded pressure to altitude RC model.

## **Keywords**

altimeter, atmel, honeywell, FTDI, pressure, USB

# Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma Výškoměr pro RC modely letadel jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 2. ledna 2011

.....  
podpis autora

# Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Janu Prokopcovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 2. ledna 2011

.....  
podpis autora

## Obsah

1. Úvod.....	8
1.1 Závislost nadmořské výšky a atmosferického tlaku.....	8
1.2 Výpočet změny výšky při znalosti změny tlaku.....	8
2. Koncepce výškoměru .....	9
2.1 Tlakový senzor.....	9
2.1.1. Výstupní napětí tlakového senzoru.....	10
2.1.2. Rozlišovací schopnosti čidla.....	10
2.1.3. Diferenční zapojení operačního zesilovače.....	11
2.1.4. Výsledné zapojení tlakového senzoru s diferenčním zapojením OZ.....	12
2.2 AD převodník AD7788.....	12
2.3 Řídicí obvod.....	13
2.4 Datová paměť EEPROM.....	15
2.4.1. Předpokládaná datová náročnost záznamu.....	16
2.5 USB řadič.....	16
3. Zapojení obvodu.....	17
3.1 Obvodové schéma zařízení.....	17
3.1.1. Zapojení stabilizátoru obvodu.....	17
3.1.2. Zapojení výškoměru.....	18
3.2 Osazení a návrh desky plošného spoje.....	19
3.2.1. Rozmístění součástek.....	20
3.2.2. Plošný spoj.....	21
4. Program pro MCU.....	22
4.1 Registry MCU pro obsluhu USART.....	22
4.1.1. UDR – Data registr.....	22
4.1.2. UCSRA – Control and Status Register A.....	23
4.1.3. UCSRB – Control and Status Register B.....	23
4.1.4. UCSRC – USART Control and Status Register C.....	24
4.1.5. Registr UBRR.....	25
4.2 Registry MCU pro obsluhu sériového přenosu přes SPI.....	26
4.2.1. USIDR – USI Data Register.....	26
4.3 USISR – USI Status Register.....	26
5. Program pro vyhodnocení záznamu letu.....	27
6. Závěr.....	28
7. Seznam použitých zdrojů .....	29
8. Seznam součástek.....	30

## Seznam obrázků

Obr. 2.1: blokové schéma výškoměru pro RC modely letadel.....	9
Obr. 2.2 Diferenční zapojení OZ.....	11
Obr. 2.3 Výsledné zapojení tlakového senzoru s diferenčním zapojením operačního zesilovače.....	12
Obr. 2.4 Blokové schéma převodníku AD7788.....	12
Obr. 2.5 Rozložení pinů mikrokontroleru v provedení SOIC20.....	13
Obr. 2.7 Zapojení pouzdra obvodu 93LC86-I/SN v provedení SOIC.....	15
Obr. 2.8 Blokový diagram obvodu 93LC86-I/SN.....	15
Obr. 2.9 Blokový diagram obvodu FT232RL.....	16
Obr. 3.1 Schéma zapojení stabilizátoru napětí.....	17
Obr. 3.2 Schéma zapojení zařízení .....	18
Obr. 3.3 Návrh a osazení desky plošného spoje.....	19
Obr. 3.4 Rozmístění součástek na desce plošného spoje.....	20
Obr. 3.5 Deska plošného spoje.....	21
Obr. 4.1 Blokový diagram programu mikrokontroléru.....	22
Obr. 4.2 Bitová organizace registru UDR.....	22
Obr. 4.3 Bitová organizace registru UCSRA.....	23
Obr. 4.4 Bitová organizace registru UCSRB.....	23
Obr. 4.5 Bitová organizace registru UCSRC .....	24
Obr. 4.6 Bitová organizace registru UBRR.....	25
Obr. 4.7 Bitová organizace registru USIDR.....	26
Obr. 4.8 Bitová organizace stavového registru USISR.....	26
Obr. 5.1 Ukázka hlavního okna programu.....	27
Obr. 5.2 Ukázka okna programu s letovým záznamem.....	27

## Seznam tabulek

Tab. 2.1 Katalogové údaje výrobce k senzoru XPX15A.....	9
Tab. 2.2 Závislost výstupního napětí senzoru na nadmořské výšce.....	10
Tab. 4.1 Nastavení parity.....	24
Tab. 4.2 Nastavení počtu datových bitů v přenosovém rámci .....	25
Tab. 7.1 Seznam součástí.....	30



# 1 Úvod

Tématem mé bakalářské práce je realizace výškoměru pro RC modely letadel. Zařízení je založeno na záznamu atmosferického tlaku, jehož hodnoty po dobu letu zaznamenává do vnitřní paměti. Po ukončení záznamu lze data přes USB načíst do počítače, kde dojde k samotnému vyhodnocení výškového průběhu letu.

## 1.1 Závislost nadmořské výšky a atmosferického tlaku

Atmosferický tlak vzniká primárně tíhou svislého sloupce vzduchu sahajícího od zemského povrchu vzhůru skrz celou atmosféru. Na velikosti atmosferického tlaku v konkrétním místě má vliv nadmořská výška, zeměpisná šířka, teplota vzduchu a obsah vodní páry v atmosféře.

Vztah těchto veličin je patrný v barometrické rovnici [1]:

$$P_h = P_0 \cdot e^{\frac{-mgh}{kT}} \quad (1)$$

kde:

- $P_h$  atmosferický tlak ve výšce  $h$  [Pa]
- $P_0$  normální atmosferický tlak [ $p_0=101325\text{Pa}$ ]
- $h$  nadmořská výška [m]
- $k$  Boltzmannova konstanta [ $k = 1,3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $T$  termodynamická teplota [ $^{\circ}\text{K}$ ]
- $g$  tíhové zrychlení [ $9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $m$  hmotnost molekul [amu]

## 1.2 Výpočet změny výšky při znalosti změny tlaku

Neboť cílem práce není zaznamenávat přesnou nadmořskou výšku, ale relativní výšku v rámci letu po dobu několika desítek minut, je možné využít zjednodušenou rovnici [7], která po úpravě pro výpočet výšky vypadá takto:

$$h = \frac{rT}{g} \cdot \ln \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

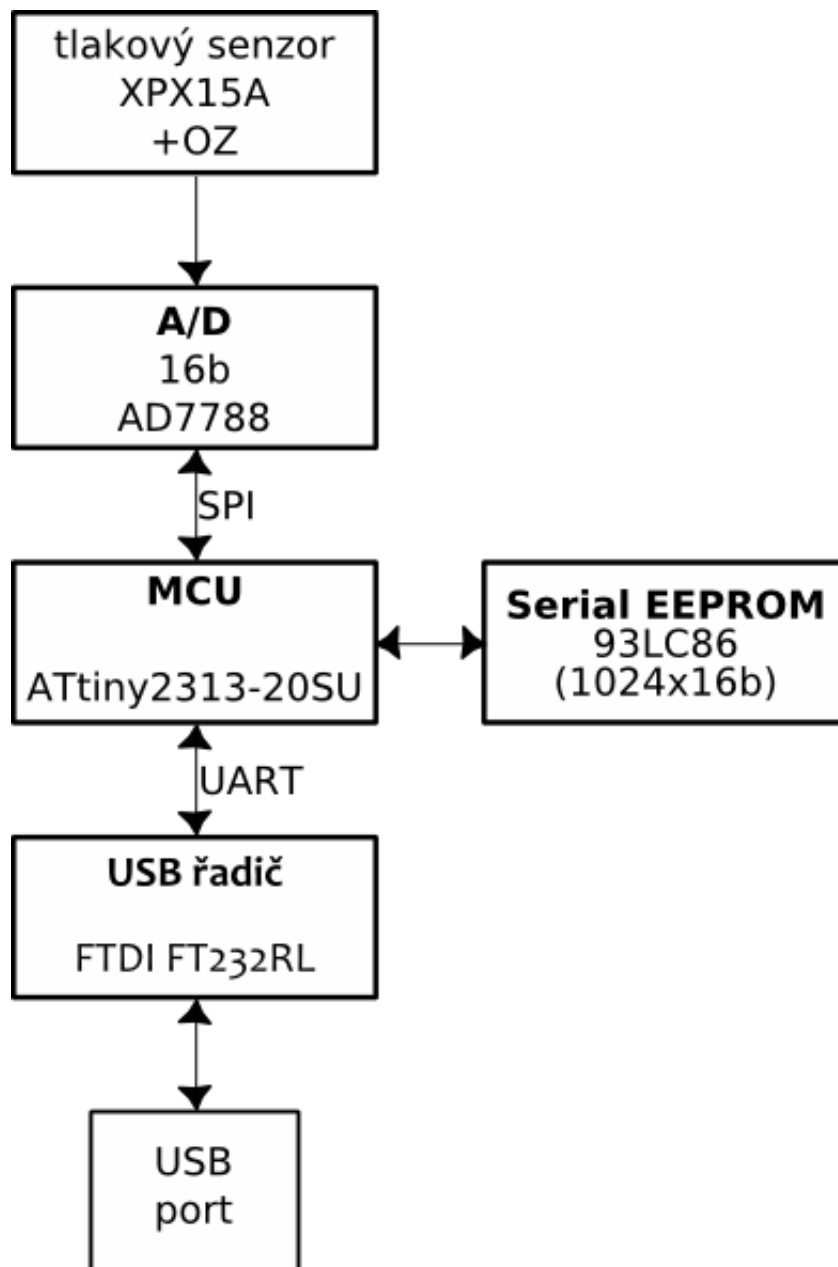
kde:

- $h$  nadmořská výška [m]
- $r$  měrná plynová konstanta vzduchu [ $r=287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $T$  termodynamická teplota [ $^{\circ}\text{K}$ ]
- $g$  tíhové zrychlení [ $9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $p_0$  normální atmosferický tlak [ $p_0=101325\text{Pa}$ ]

Úprava pro výpočet výšky  $h_1$  RC letadla, kde  $p_1$  značí atmosferický tlak v místě startu a  $p_2$  atmosferický tlak v aktuálním místě letadla je pak jednoduchá:

$$h_1 = \frac{rT}{g} \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (2)$$

## 2 Koncepce výškoměru



Obr. 2.1: blokové schéma výškoměru pro RC modely letadel

### 2.1 Tlakový senzor

K měření tlaku je v zařízení použito tlakové čidlo XPX15A od firmy Honeywell [5].

Citlivost:	42 mV/psi typ.
Pressure Range	2 psi to 15 psi
Supply Voltage	3.0 Vdc min., 12.0 Vdc typ., 16.0 Vdc max.

Tab. 2.1 Katalogové údaje výrobce k senzoru XPX15A

Z principu použití bylo by vhodné, aby zařízení bylo schopno zaznamenat změny výšky alespoň o 1m.

### 2.1.1. Výstupní napětí tlakového senzoru

Základní rovnice pro výpočet napětí tlakových senzorů je dle aplikačních poznámek:

$$U_{OUT} = S \cdot P \quad (3)$$

kde:  $U_{OUT}$  je výstupní napětí [V]  
S senzitivita senzoru  
P působící tlak

Poznámka: v případě potřeby znalosti přesné hodnoty atmosferického tlaku by bylo v rovnici třeba zohlednit offsetovou chybu senzoru (jejíž hodnota je v řádu jednotek mV). Neboť ale vliv ofsetové chyby je na výslednou hodnotu výstupního napětí lineární a pro aplikaci ve výškoměru není zásadní přesná hodnota tlaku (výpočet výšky vychází z poměru hodnot atm. tlaku ve dvou různých výškách), lze ofsetovou chybu tedy zanedbat.

Nadmořská výška [m]	tlak [kPa]	tlak[spi]	$U_{OUT}$ [V]
100	100,610	14,592	0,613
200	99,924	14,493	0,609
300	99,244	0,000	0,605
400	98,567	14,296	0,600
500	97,896	14,199	0,596
600	97,229	14,102	0,592
700	96,566	0,000	0,588

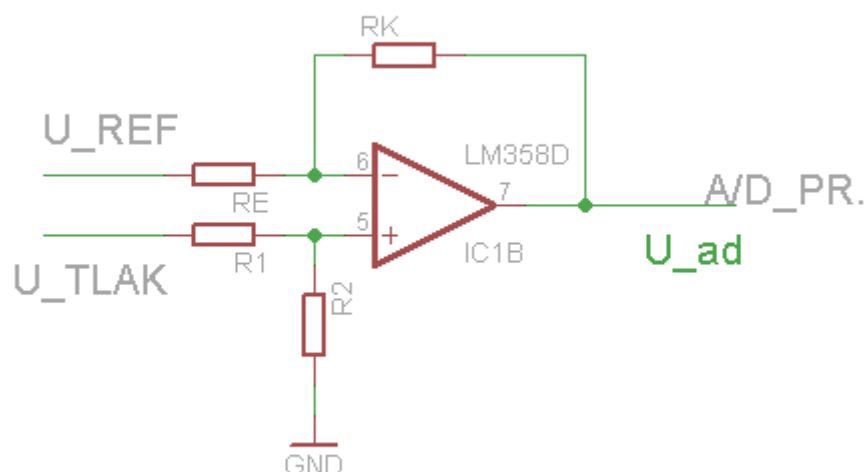
Tab. 2.2 Závislost výstupního napětí senzoru na nadmořské výšce

$$U_{out} = S \cdot P = 42 \cdot 10^{-3} \cdot 14,592 = 612,86 \text{ mV}$$

### 2.1.2. Rozlišovací schopnosti čidla:

V nadmořském pásmu 300 – 400 mnm změně výšky o 1m dochází ke změně tlaku o 11,1Pa. Citlivosti senzoru 42mV/psi odpovídá  $6,0916 \cdot 10^{-6} \text{ V/Pa}$ . Při změně výšky o 1 metr tedy dojde na svorkách senzoru ke změně napětí o 0,0676mV. Neboť je tato hodnota pod rozlišovací schopností 16bitového A/D převodníku, použijeme operační zesilovač v diferenčním zapojení pro zesílení a napěťové posunutí výstupního napětí z tlakového senzoru.

### 2.1.3. Diferenční zapojení operačního zesilovače



Obr. 2.2 Diferenční zapojení OZ

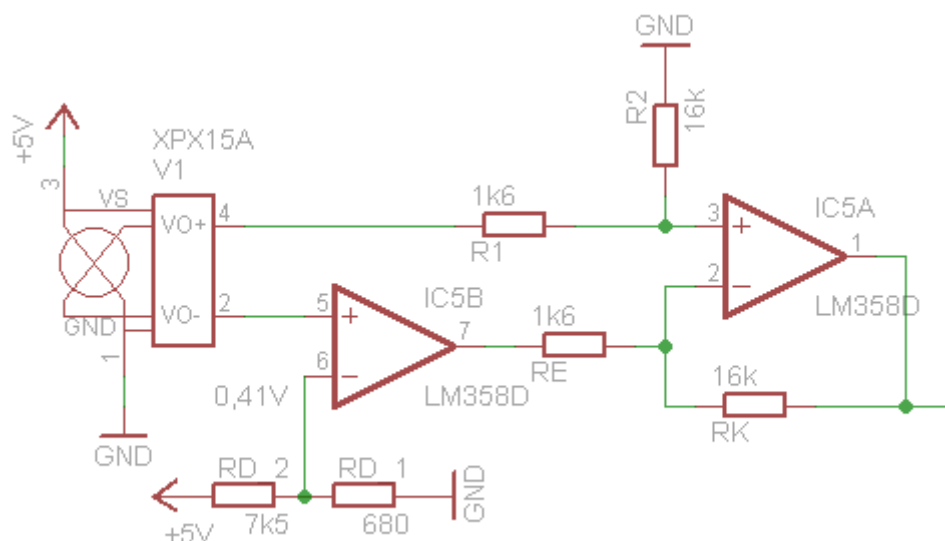
Na zapojení lze pohlížet tak, že invertující zesilovač zesiluje napětí  $U_{ref}$  a neinvertující zesilovač zesiluje  $U_{tlak}$ . Výsledná hodnota výstupního napětí diferenčního zapojení operačního zesilovače je pak dána vztahem:

$$U_{ad} = (U_{tlak} - U_{ref}) \cdot \frac{R_k}{R_e} \quad (3)$$

Aby bylo zajištěno stejné zesílení pro oba vstupy, volí se hodnoty rezistorů  $R_1 = R_E$  a  $R_2 = R_K$ .

Pokud bych chtěl zaznamenávat polohu v rámci Česka, tj. prostor od Labe u Hřenska (115 m n. m.) až po Sněžku (1602 m n. m.), znamenalo by to zaznamenávat zhruba tlak 99,98kPa – 84,40kPa (14,50psi – 12,24psi). Tomu odpovídá na tlakovém senzoru napětíový rozsah 0,672 – 0,454mV. Referenční napětí pro diferenční zapojení operačního zesilovače proto bylo nastaveno na hodnotu  $U_{ref}=0,4V$ .

## 2.1.4. Výsledné zapojení tlakového senzoru s diferenčním zapojením OZ



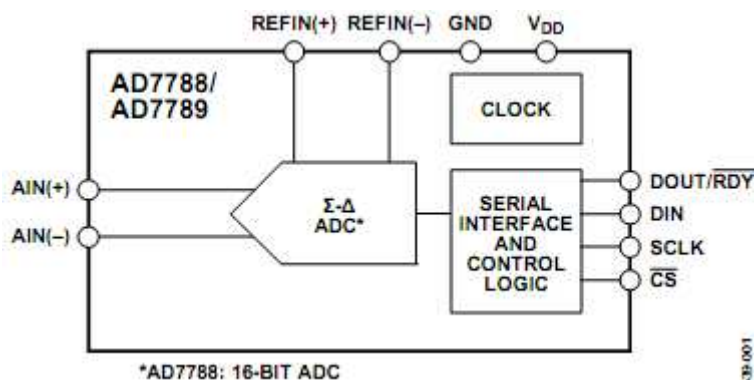
Obr. 2.3 Zapojení tlakového senzoru s diferenčním zapojením operačního zesilovače

Posunutím výstupního napětí z tlakového čidla o 0,41V došlo ve výsledku ke snížení pracovního rozsahu tlakového čidla a to z původních hodnot 2 – 15psi (13,79 – 103,421kPa) na 9,5 – 15 psi (65,5 – 103,421kPa). Při zanedbání parazitních a šumových veličin se tak z pohledu nadmořské výšky jedná o omezení na nadmořské pásmo přibližně 0 – 3500mm (pro normalizované hodnoty tlaku).

Rezistory v zapojené operačního zesilovače mají hodnoty  $R_E=1,6k\Omega$  a  $R_K=16k\Omega$ . Z rovnice (3) poté tedy vyplývá, že na výstupu operačního zesilovače bude diferenciální napětí 10x zesíleno a výsledný napěťový rozsah bude 0 – 2,2V.

## 2.2 AD převodník AD7788

AD7788 [7] je šestnáctibitový, nízkopříkonový analogově digitální  $\Sigma$ - $\Delta$  převodník od společnosti Analog Devices, určený pro aplikace s nízkým kmitočtem měření a vyznačující se nízkým šumem.



Obr. 2.4 Blokové schéma převodníku AD7788

Pro komunikaci s mikrokontrolérem využívá převodník sériový interfejs periférií SPI. Přestože AD převodník obsahuje i diferenciální vstup, v zařízení není využit.

Referenční napětí má převodník nastaveno na hodnotu 3,3V. Při počtu 65536 vzorkovacích hladin by potom rozlišení převodníku na LSB mělo být 50,3 $\mu$ V.

V nadmořském pásmu 300 – 400 mnm odpovídá změně výšky o 1m změna tlaku o 11,1Pa. Na výstupu tlakového čidla tato změna vyvolá změnu napětí o 67,6 $\mu$ V, která se po zesílení v operačním zesilovačem projeví na vstupních svorkách AD převodníku jako změna 676 $\mu$ V.

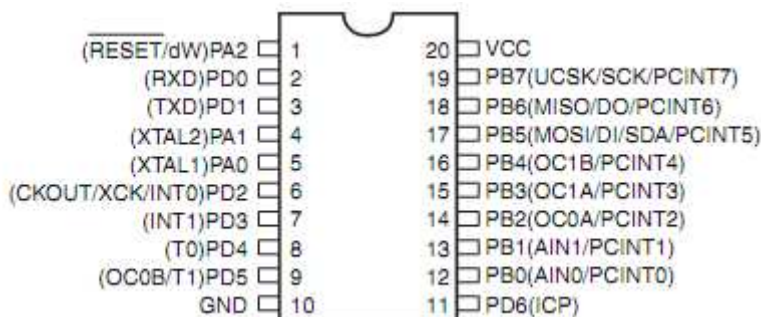
Pro záznam letu v jednotkách metrů by tedy rozlišení AD převodníku na LSB 50,3 $\mu$ V mělo postačovat.

### 2.3 Řídicí obvod

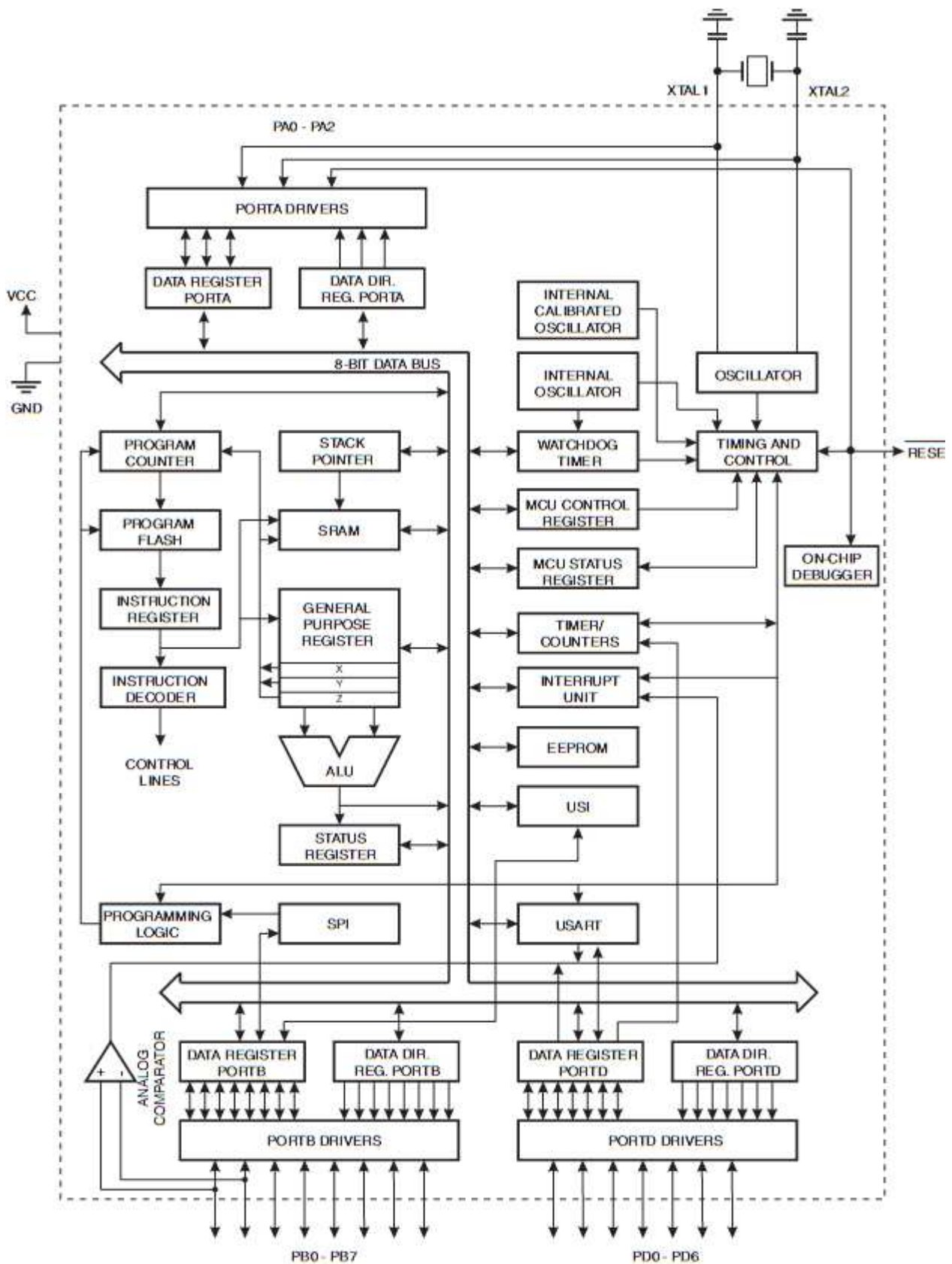
Pro řízení celého obvodu byl vybrán 8bitový mikrokontrolér ATtiny2313 [3]. Jedná se o nízkopříkonový mikrokontrolér s RISC architekturou. Jádro AVR obsahuje 32 pracovních registrů. MCU je programovatelný přes SPI port a pro komunikaci s perifériemi využívá USI (Universal Serial Interface) a plně duplexní USART (The Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter).

Shrnutí technických údajů a vlastností tohoto mikrokontroléru:

- 120 výkonných instrukcí
- 32 osmibitových pracovních registrů
- interní oscilátor s kmitočtem až 20MHz
- programovatelná paměť 2KB Flash
- datová paměť 128B EEPROM
- datová paměť 128B SRAM
- 8 bitový čítač/časovač
- 16 bitový čítač/časovač
- 4 PWM kanály
- analogový komparátor
- USI rozhraní
- plně duplexní USART rozhraní
- 18 programovatelných I/O pinů



Obr. 2.5 Rozložení pinů mikrokontroleru v provedení SOIC20



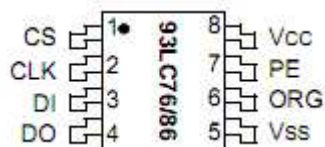
Obr. 2.6 Blokové schéma mikrokontroléru ATtiny2313

## 2.4 Datová paměť EEPROM

Pro záznam naměřených hodnot je zařízení vybaveno obvodem 93LC86-I/SN [4]. Jedná se o CMOS sériovou EEPROM paměť o velikosti 16Kb. Organizace dat může být volitelně 2048 x 8b nebo 1024 x 16b. Výrobce zaručuje 1 000 000 cyklů zápisu.

S okolními obvody komunikuje přes sériový interfejs periferií SPI.

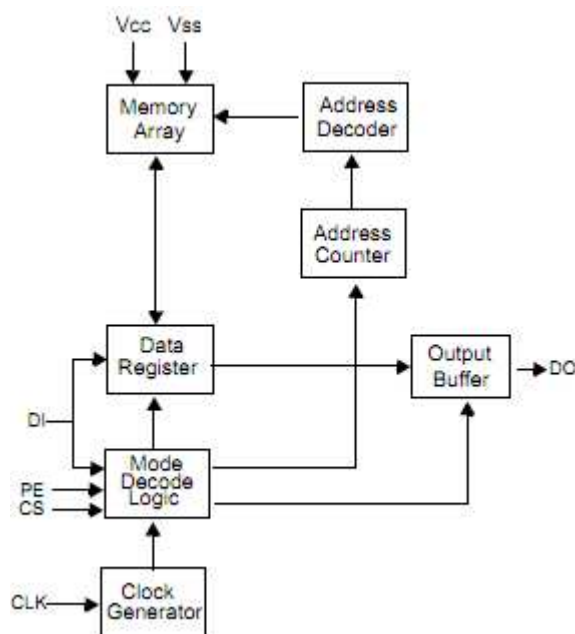
Pro práci s daty paměť pracuje s instrukcemi: READ (čtení dat z paměti), ERASE (vymazání obsahu slova paměti), WRITE (zápis slova do paměti), ERAL (erase all – vynulování celé paměti), WRAL (write all – zápis do celé paměti), EWEN (povolení zápisu) a EWDS (zákaz zápisu).



Obr. 2.7 Zapojení pouzdra obvodu 93LC86-I/SN v provedení SOIC

Význam jednotlivých vývodů:

- CS Výběr obvodu (chip select)
- CLK Hodiny sériových dat (seriál data clock)
- DI Vstup sériových dat (DataInput)
- V<sub>SS</sub> Zem (ground)
- ORG Konfigurace paměti
- PE Povolení programování (Program Enable)
- V<sub>CC</sub> Napájecí napětí



Obr. 2.8 Blokový diagram obvodu 93LC86-I/SN



### 2.4.1. Předpokládaná datová náročnost záznamu

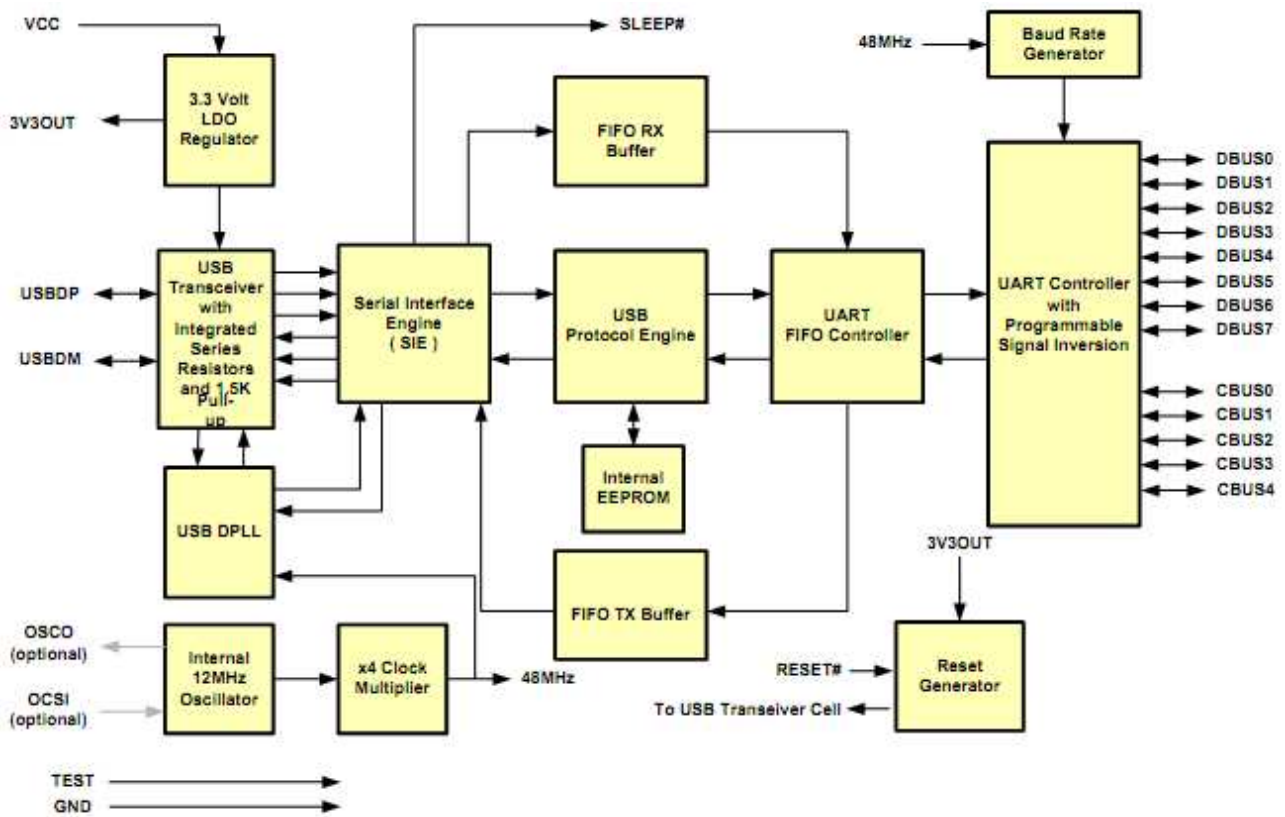
- hodnota atmosferického tlaku bude vzorkována s periodou 1 sekundy
- jeden záznam obsadí v paměti prostor 16b

V zapojení s organizací paměti po 16 bitech zvolený obvod dovoluje zaznamenat 1024 záznamů.

Při periodě 1s to znamená, že zmíněný obvod dovolí zaznamenat přes 17 minut letu RC modelu.

### 2.5 USB řadič

O komunikaci přes USB rozhraní se v zařízení stará integrovaný obvod FT232RL [2] od společnosti FTDI v pouzdře SSOP28. Jedná se o hardwarový převodník mezi UART rozhraním (UART = universal asynchronous receiver/transmitter) a USB rozhraním (USB = universal serial bus).



Obr. 2.9 Blokový diagram obvodu FT232RL

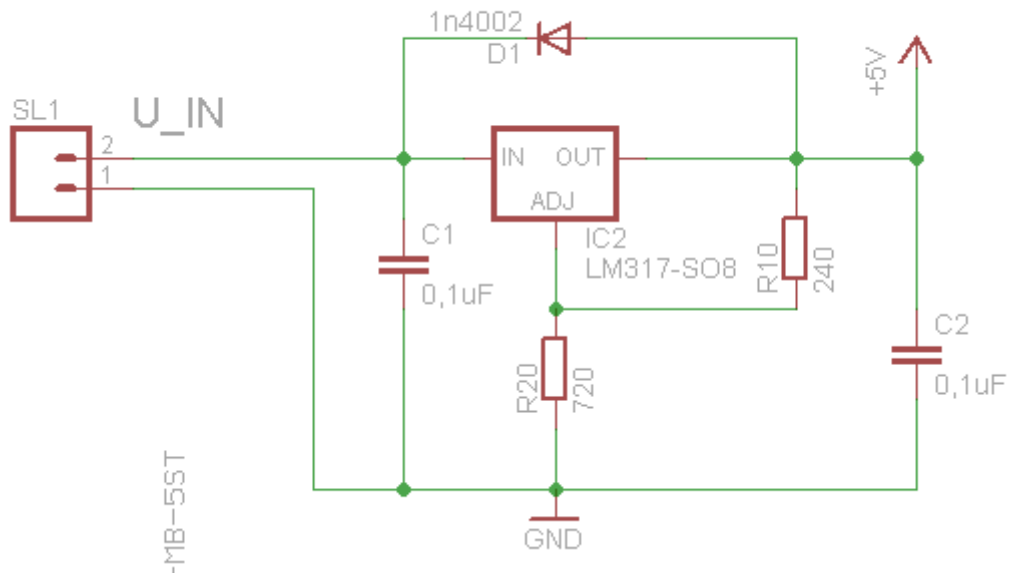
Shrnutí technických údajů a vlastností tohoto obvodu:

- Rozhraní UART, podporuje 7/8 datových bitů, 1/2 stop bity a několik druhů parity
- Přenosová rychlost 300 bit/s až 3 Mbit/s
- Vstupní buffer o velikosti 384 Bytů, výstupní buffer 128 Bytů
- Hardwarového řízení přenosu - signály RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, RI
- Integrovaný obvod Power-On-Resetu
- Napájecí napětí 4,35 - 5,25V
- Kompatibilní s USB 1.1 i 2.0

### 3 Zapojení obvodu

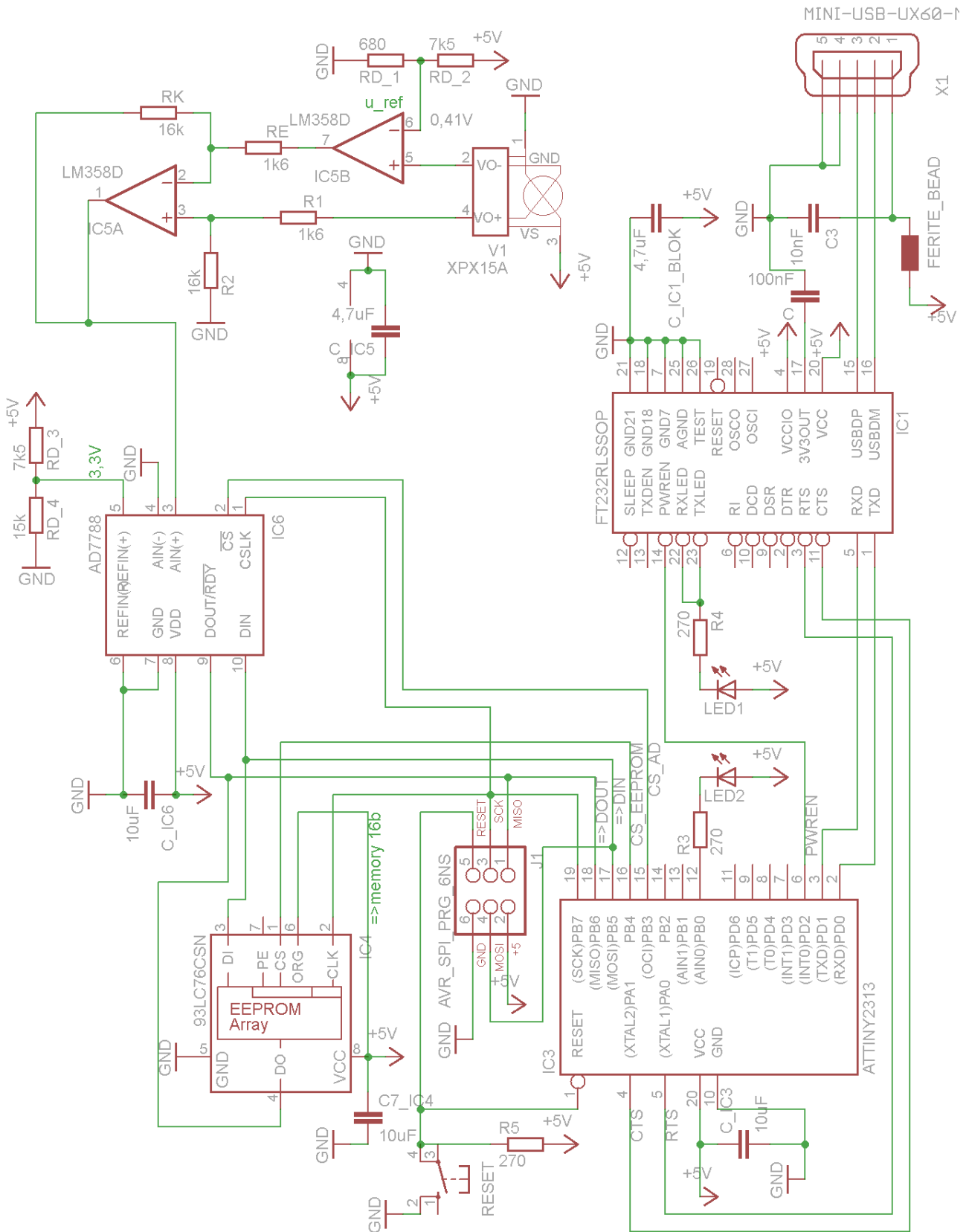
#### 3.1 Obvodové schéma zařízení

##### 3.1.1. Zapojení stabilizátoru obvodu



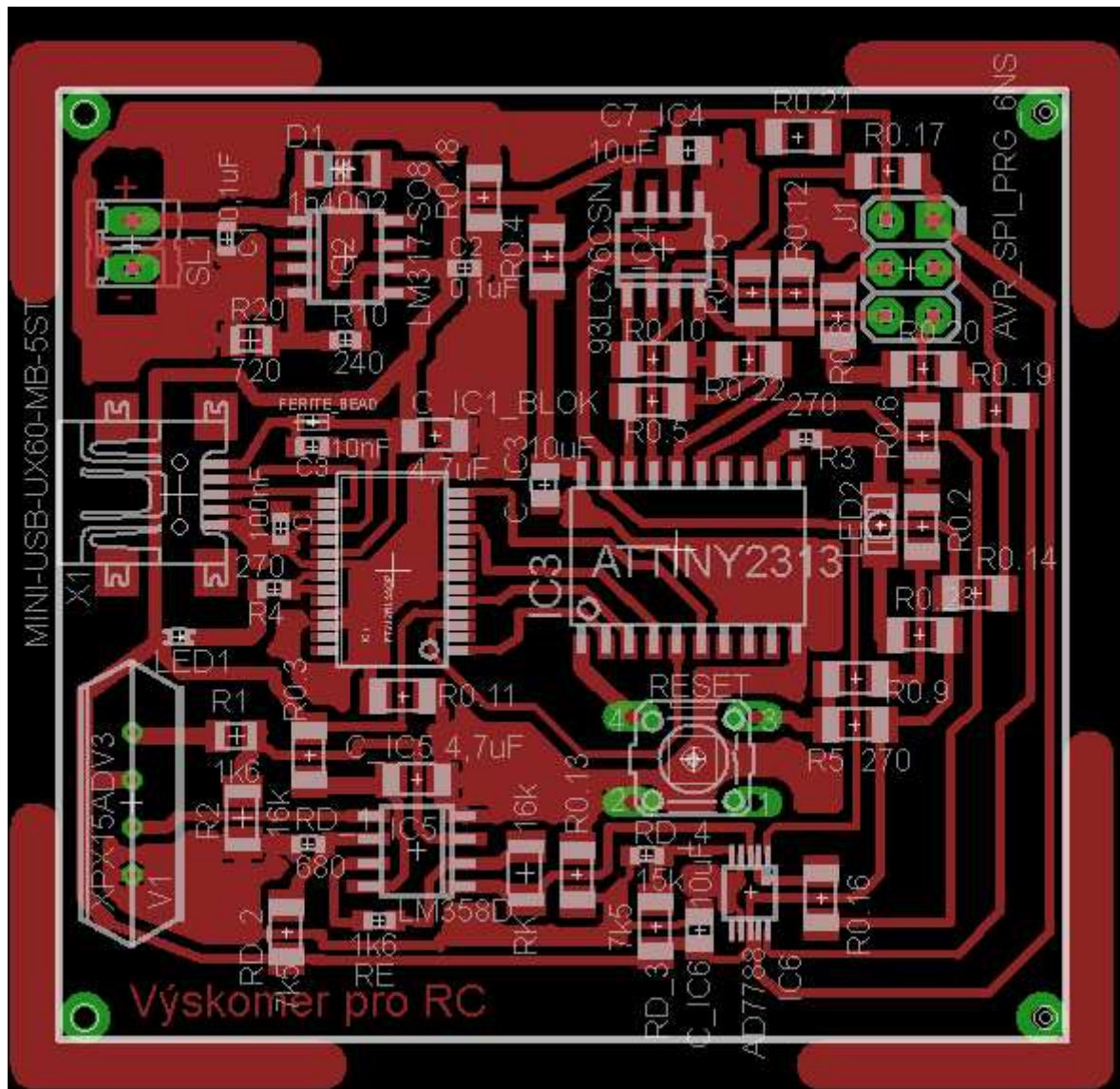
Obr. 3.1 Schéma zapojení stabilizátoru napětí [12]

### 3.1.2. Zapojení výškoměru



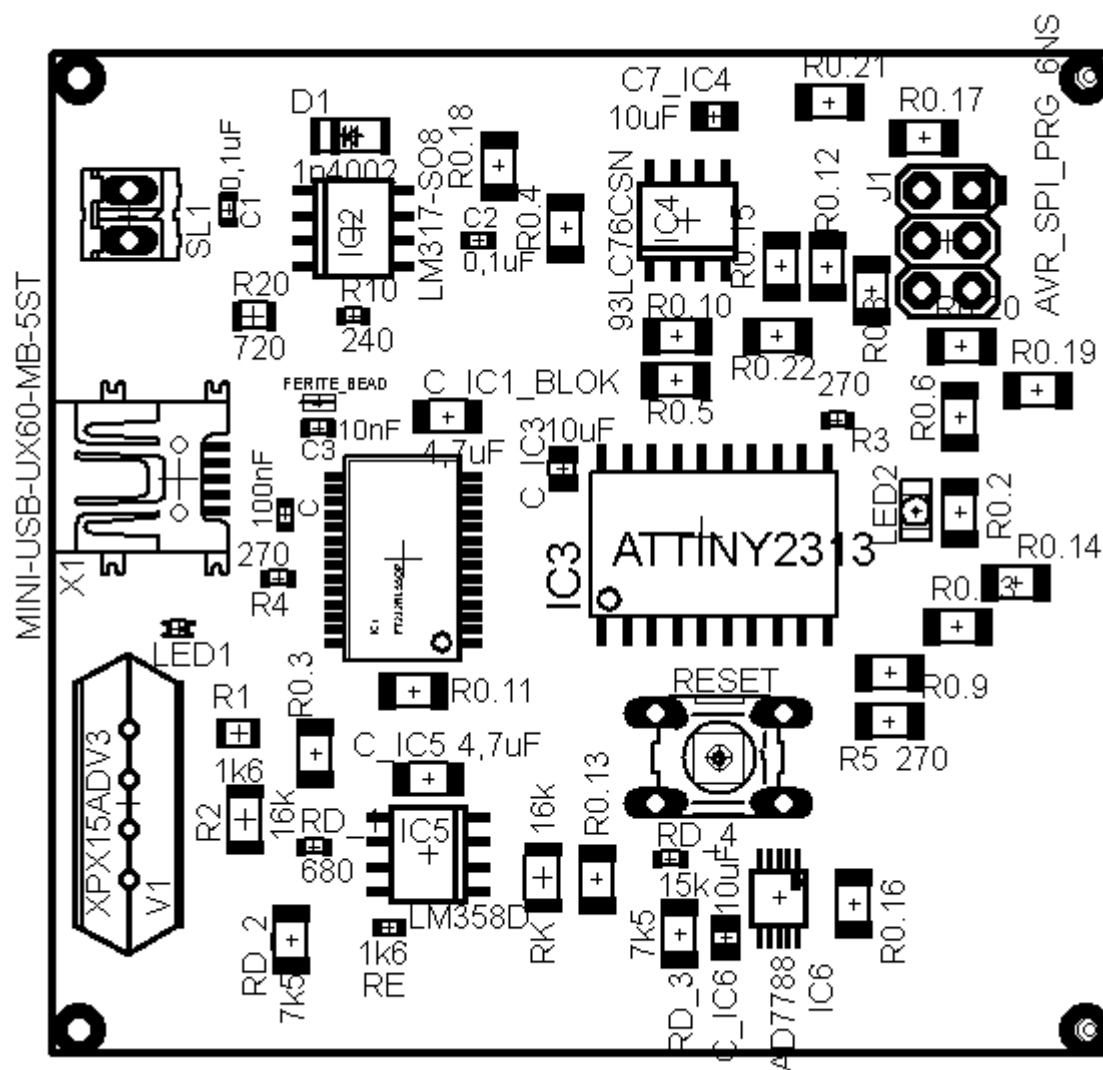
Obr. 3.2 Schéma zapojení zařízení

### 3.2 Osazení a návrh desky plošného spoje



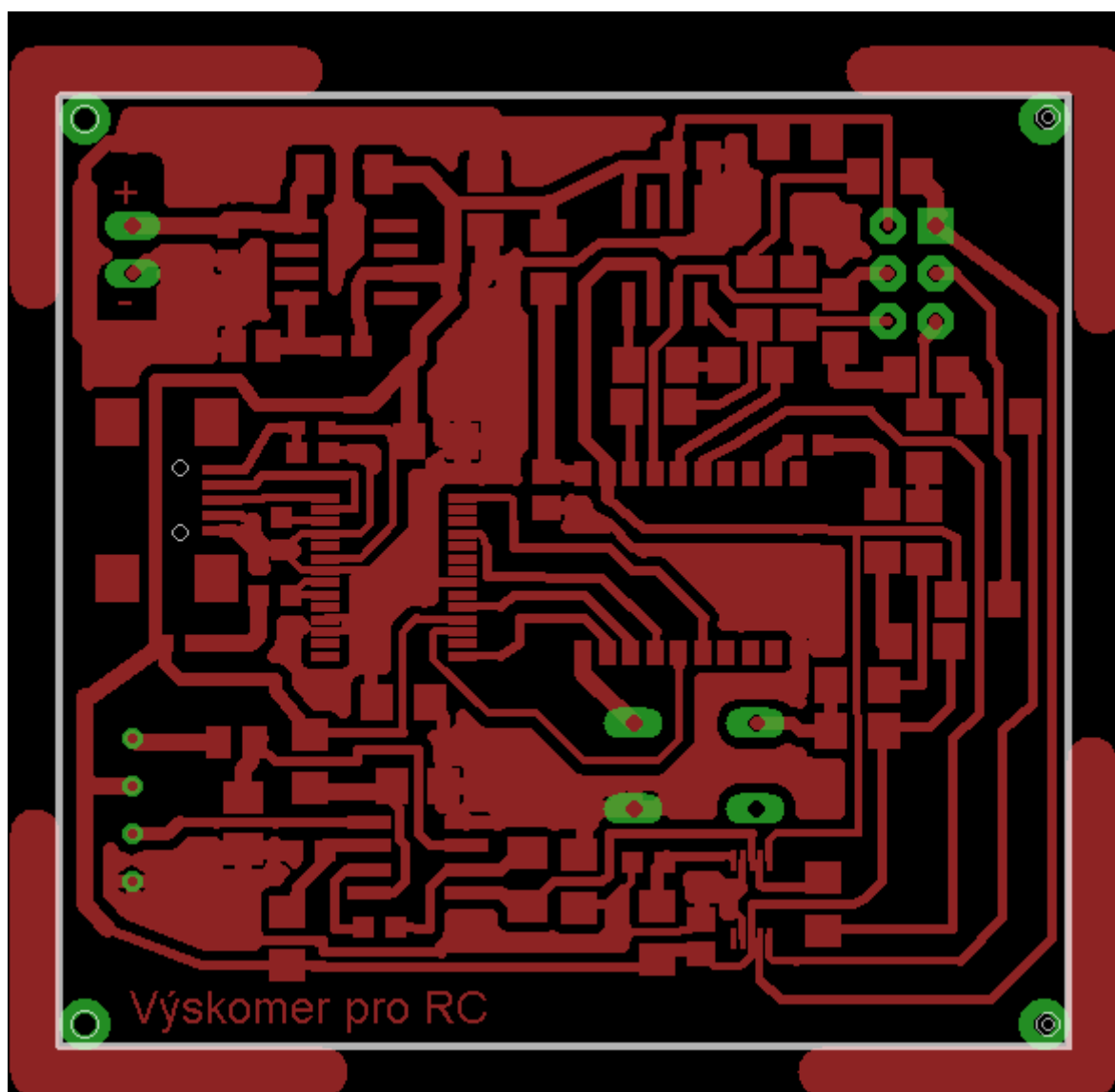
Obr. 3.3 Návrh a osazení desky plošného spoje

### 3.2.1. Rozmístění součástek



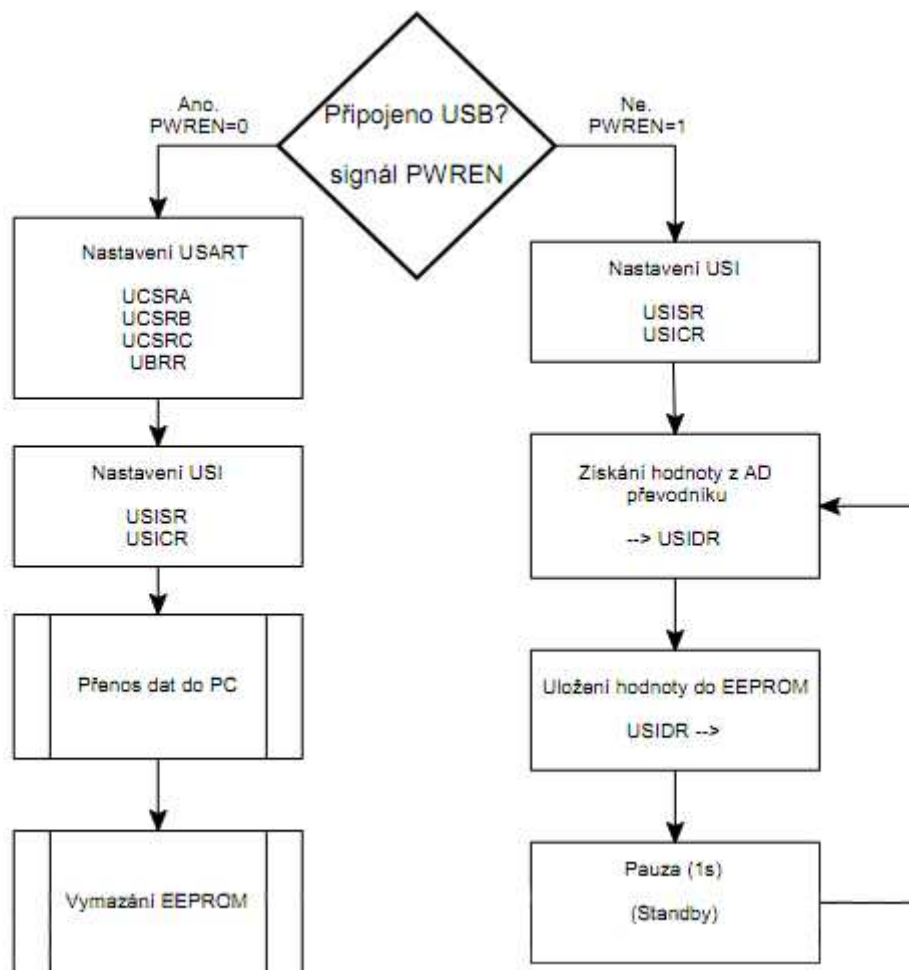
Obr. 3.4 Rozmístění součástek na desce plošného spoje

### 3.2.2. Plošný spoj



Obr. 3.5 Deska plošného spoje

## 4 Program pro MCU



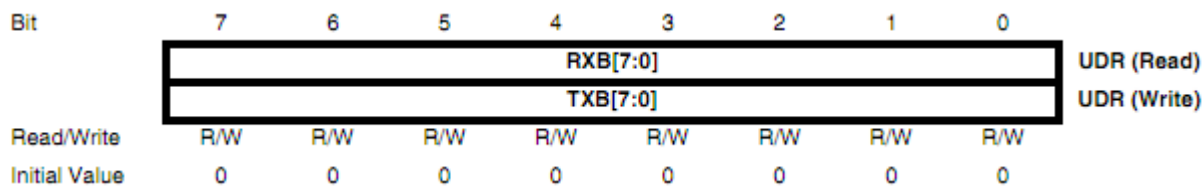
Obr. 4.1 Blokový diagram programu mikrokontroléru

### 4.1 Registry MCU pro obsluhu USART

Mikrokontrolér obsahuje pro obsluhu jednotky USART [10] celkem tři registry:

#### 4.1.1. UDR – Data registr

Jedná se o I/O datový registr určený pro zápis dat při komunikaci přes jednotku USART.



Obr. 4.2 Bitová organizace registru UDR

Při přenosu dat přes USART z mikrokontroléru slouží registr UDR k zápisu dat, naopak při příjmu dat přes USART do mikrokontroléru je hodnota v UDR registru čtena.

### 4.1.2. UCSRA – Control and Status Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	UPE	U2X	MPCM	UCSRA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	1	0	0	0	0	0	

Obr. 4.3 Bitová organizace registru UCSRA

- 7. bit RXC – USART Receive Complete  
Příznakový bit. Příjem dat proběhl v pořádku.
- 6. bit TXC – USART Transmit Complete  
Příznakový bit. Odeslání dat proběho v pořádku
- 5. bit UDRE – USART Data Register Empty  
Příznakový bit. Značí že registr UDR je prázdný a připraven pro nová data.
- 4. bit FE – Frame Error  
Tento bit je nastaven vždy, když by další bit při příjmu vyvolal chybu.
- 3. bit DOR – Data OverRun  
Bit indikuje přetečení zásobníku.
- 2. bit UPE – USART Parity Error  
Tento bit je nastaven vždy, pokud by další bit znamenal chybu parity.
- 1. bit U2X – Double the USART Transmission Speed  
Bit je důležitý pouze pro asynchronní operace, U2X = log.0 při synchronních operacích.
- 0. bit MPCM – Multi-processor Communication Mode  
Bit povoluje mód Multi-processor Communication.

### 4.1.3. UCSRB – Control and Status Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 4.4 Bitová organizace registru UCSRB

- 7. bit RXCIE: RX Complete Interrupt Enable  
Log. 1 povoluje přerušení pro příznak RXC
- 6. bit TXCIE: TX Complete Interrupt Enable  
Log. 1 povoluje přerušení pro příznak TXC
- 5. bit UDRIE: USART Data Register Empty Interrupt Enable  
Log. 1 povoluje přerušení pro příznak UDRE
- 4. bit RXEN: Receiver Enable  
Log. 1 povoluje USART příjem dat přes USART
- 3. bit TXEN: Transmitter Enable  
Log. 1 povoluje USART odeslání dat přes USART



- 2. bit UCSZ2: Character Size  
V kombinaci s bity UCSZ1:0 v registru UCSRC nastavuje počet datových bitů v přenosovém rámci
- 1. bit RXB8: Receive Data Bit 8  
Devátý datový bit při příjmu dat
- 0. bit TXB8: Transmit Data Bit 8  
Devátý datový bit při odeslání dat

#### 4.1.4. UCSRC – USART Control and Status Register C

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	1	1	0	

Obr. 4.5 Bitová organizace registru UCSRC

- 6. bit UMSEL: USART Mode Select  
Bit přepíná mezi synchronním a asynchronní přenosem.  
UMSEL = 0 Asynchronní přenos
- 5:4 bity – UPM1:0: Parity Mode

UPM1	UPM0	Mód parity
0	0	Parita zakázána
0	1	nevyužito
1	0	Sudá parita
1	1	Lichá parita

Tab. 4.1 Nastavení parity

- 3. bit USBS: Stop Bit Select  
Nastavení počtu stopbitů.  
USBS = 0 1-stop bit  
USBS = 1 2-stop bit

- 2:1 bity UCSZ1:0: Character Size

V kombinaci s bitem UCSZ2 z registru UCSRB určují počet datových bitů v přenosovém rámci.

UCSZ2	UCSZ1	UCSZ0	Nastavení velikosti
0	0	0	5
0	0	1	6
0	1	0	7
0	1	1	8
1	0	0	nevyužito
1	0	1	nevyužito
1	1	0	nevyužito
1	1	1	9

Tab. 4.2 Nastavení počtu datových bitů v přenosovém rámci.

- 0. bit UCPOL: Clock Polarity

Bit se využívá pouze při synchronním módu. Určuje platnost dat při nástupné nebo sestupné hraně hodinového signálu.

#### 4.1.5. Registr UBRR

Jedná se celkem o 12 bitový registr, v obvodu MCU rozdělený na UBRRH a UBRR, sloužící k nastavení symbolové rychlosti při přenosu dat.

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	-	-	-	-	UBRR[11:8]				UBRRH
	UBRR[7:0]								UBRRL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 4.6 Bitová organizace registru UBRR

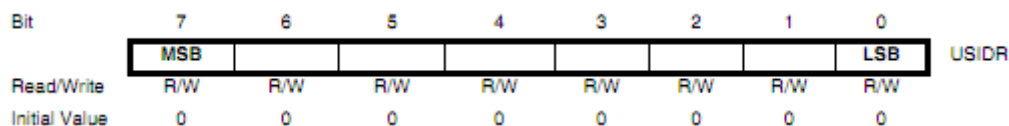
Horní 4 bity registru UBRRH nejsou využívány.

## 4.2 Registry MCU pro obsluhu sériového přenosu přes SPI

Mikrokontrolér ATtiny2313 je pro sériovou komunikaci vybaven jednotkou USI. V tří drátovém módu je její využití použitelné přes SPI (Serial Peripheral Interface) módu 0 a 1, a však s tím, že neobsahuje pin SS (slave select).

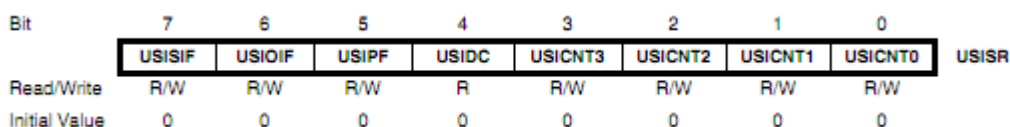
### 4.2.1. USIDR – USI Data Register

Datový registr jednotky USI.



Obr. 4.7 Bitová organizace registru USIDR

### 4.3 USISR – USI Status Register



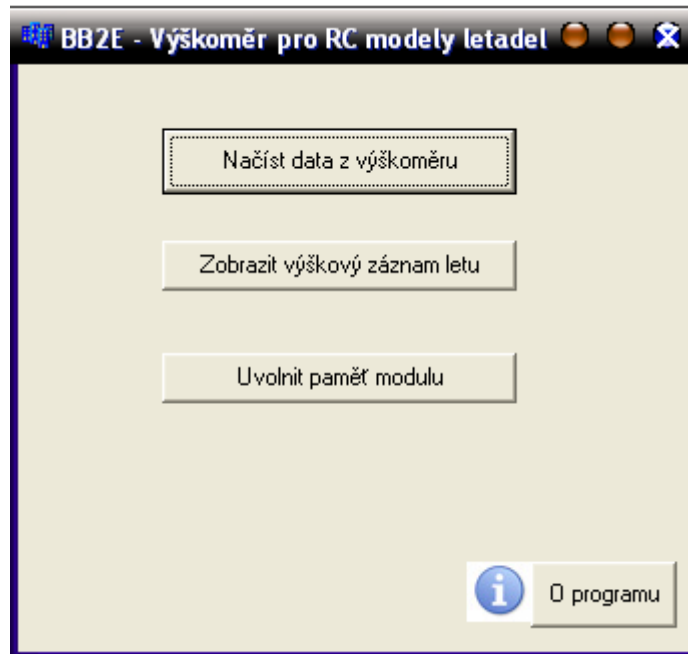
Obr. 4.8 Bitová organizace stavového registru USISR

- 7. bit – USISIF: Start Condition Interrupt Flag  
Příznak značící detekci startovací podmínky při dvoudrátovém módu.
- 6. bit – USIOIF: Counter Overflow Interrupt Flag  
Při přetečení 4 bitového čítače dojde k nastavení příznaku USIOIF na log. 1. a je-li nastaven bit USIOIE v registru USICR, dojde ke generování přerušení a counter overflow interrupt probouzí mikrokontrolér z Idle sleep módu
- 5. bit – USIPF: Stop Condition Flag  
Příznak detekuje stop stav a to při dvoudrátovém módu.
- 4. bit – USIDC: Data Output Collision  
Bit signalizuje kolizní stav – pokud hodnota 7. bitu v Shift registru bude odlišná od fyzické hodnoty na pinu. Příznak má váhu pouze při využití dvoudrátového módu.
- 3..0 byty – USICNT3..0: Counter Value  
Tyto bity reprezentují hodnotu čítače

## 5 Program pro vyhodnocení záznamu letu

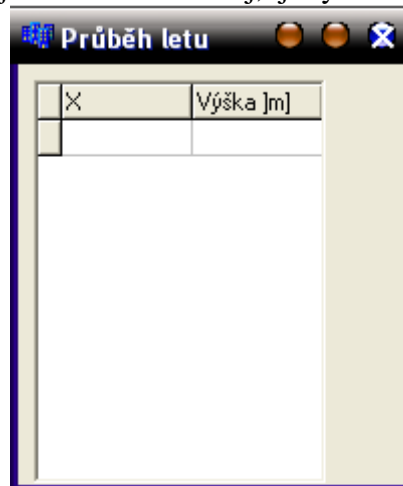
Primárním účelem programu je stažení naměřených dat ze zařízení výškoměru a to přes sběrnici USB. Toho je docíleno použitím obvodu FT232R, který se v PC prezentuje jako RS\_232 – tzv. virtuální sériový port.

Tlačítkem [Uvolnit paměť modulu] je možné vyslat do zařízení příkaz ERAL, který uvolní celou paměť EEPROM pro další záznam.



Obr.5.1 Ukázka hlavního okna programu

Příkazem [Zobrazit výškový záznam letu] dojde k výpočtu výšky z naměřených hodnot, přičemž první naměřená hodnota je brána jako referenční údaj, tj. výška 0m.



Obr.5.2 Ukázka okna programu s letovým záznamem

## 6 Závěr

Předmětem této bakalářské práce byl návrh výškoměru pro RC modely letadel. V této práci je popsán princip činnosti zařízení a jeho fyzický návrh.

Ačkoli jsem zařízení navrhoval s ohledem co nejmenších fyzických rozměrů, prostor pro další zmenšení jistě existuje. Jednou z možností by jistě bylo oddělit část starající se o komunikaci s PC (obvod FT232R) na samostatný modul a ten k hlavní části zařízení připojovat pouze v případě potřeby.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Hyperphysics.phy-astr.gsu.edu [online]. 2011-05-26 [cit. 2011-05-26]. The Barometric Formula. Dostupné z URL: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Kinetic/barfor.html>>
- [2] FT232 Datasheet [online].  
Dostupné z URL: <http://www.ftdichip.com/Products/FT232R.htm>
- [3] ATtiny2313 Datasheet [online].  
Dostupné z URL: [http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?part\\_id=3229](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=3229)
- [4] 93LC86 Datasheet [online].  
Dostupné z URL: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010916>
- [5] XPX15A Datasheet [online].  
Dostupné z URL: [http://sensing.honeywell.com/index.cfm?i\\_id=140301&la\\_id=1&pr\\_id=151370](http://sensing.honeywell.com/index.cfm?i_id=140301&la_id=1&pr_id=151370)
- [6] LM358 Datasheet [online].  
Dostupné z URL:  
[http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00000464.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000464.pdf)
- [7] AD7788 Datasheet [online].  
Dostupné z URL: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD7788\\_7789.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7788_7789.pdf)
- [8] Matematické a chemické tabulky pro střední školy, SPN, Praha 1989
- [9] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J. Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení. Elektronické skriptum. VUT v Brně, 2008
- [10] BURKHARD, M. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN, 2003.
- [11] HRBÁČEK, J, Komunikace mikrokontroléru s okolím 1: BEN, 2002
- [12] LM317L Datasheet [online]  
Dostupné z URL: <http://www.st.com/internet/analog/product/63705.jsp>

## 8 Seznam součástek

Součástka	Označení	Hodnota
Tlakový senzor	XPX15A	XPX15A
Mikroprocesor Atmel AVR	IC3	ATTINY2313-20SU
AD převodník	IC6	AD 7788 BRMZ
IO převodník USB <-> RS232	IC1	FT232RL
Sériová EEPROM 1024x16	IC4	93LC86-I/SN
Operační zesilovač	IC5	LM358 SMD; SO8
Stabilizátor napětí	IC2	LM317L
Usměrňovací dioda	D1	1N4007
Keramický kondenzátor SMD 0603	C	100nF
Keramický kondenzátor SMD 0603	C1	0,1uF
Keramický kondenzátor SMD 0603	C2	0,1uF
Keramický kondenzátor SMD 0603	C3	10nF
Keramický kondenzátor SMD 0805	C7_IC4	10uF
Keramický kondenzátor SMD 1206	C_IC1	4,7uF
Keramický kondenzátor SMD 0805	C_IC3	10uF
Keramický kondenzátor SMD 1206	C_IC5	4,7uF
Keramický kondenzátor SMD 0805	C_IC6	10uF
Usměrňovací dioda SMD	D1	1N4007
Konektor ISP pro Atmel AVR	J1	AVR_SPI_PRG_6NS
LED dioda oranžová	LED1	LEDSMT1206
LED dioda oranžová	LED2	LEDSMT1206
Rezistor SMD R1206	R0.1 - R0.18	0Ω
Rezistor SMD R0805	R1	1k6Ω
Rezistor SMD R1206	R2	16kΩ
Rezistor SMD R0603	R3	270Ω
Rezistor SMD R0603	R4	270Ω
Rezistor SMD R0603	R5	270Ω
Rezistor SMD R0603	R10	240Ω
Rezistor SMD R0805	R20	720Ω
Rezistor SMD R0603	RD_1	680
Rezistor SMD R0805	RD_2	7k5
Rezistor SMD R0805	RD_3	7k5
Rezistor SMD R0603	RD_4	15k

Rezistor SMD R0805	RE	1k6
Tlačítko	Reset	P-B1720A
USB konektor	X1	USB-MINI B F SMD
Vidlice se zámkem	SL1	PSH02-02PG TP VIDLICE
Odrušovací feritová perlička	Ferrite Bead	Ferrite Bead; 0603; 40Ω