

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

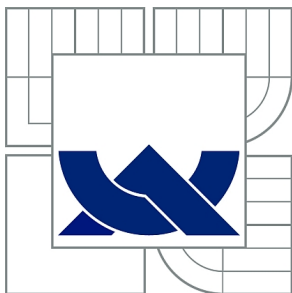
VÝŠKOMĚR PRO RC MODELY LETADEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

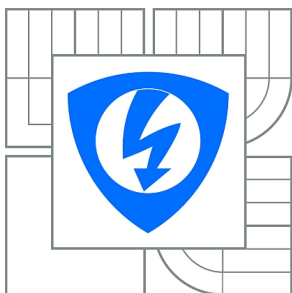
JAN ŠVEC

BRNO 2012



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

VÝŠKOMĚŘ 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 2012



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: 2011/2012

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: 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.

VLOŽIT TITULNÍ LIST

VLOŽIT ORIGINAL ZADÁNÍ

(při odevzdávání více kusů závěrečné práce, obsahuje originál zadání jen jedna z nich, ostatní obsahují pouze jeho okopírovanou kopii)

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, Freescale, FTDI, atmosferický tlak, USB

ABSTRACT

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

KEYWORDS

altimeter, Atmel, Freescale, FTDI, pressure, USB

ŠVEC, J. Výškoměr pro RC modely letadel.. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 12 s., 10 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/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 24.5.2012

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne 24.5.2012

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1.1 Princip činnosti.....	1
2 Návrh zařízení	2
2.1 Posunutí hladiny výstupního napětí tlakového čidla.....	3
2.2 Nastavení referenčního napětí pro AD převodník	4
2.3 USB modul.....	5
3 Výpočet výšky	6
4 Program obvodu	7
5 Struktura závěrečné práce	9
5.1 Povinné části práce.....	9
5.2 Struktura projektu.....	9
6 Základ práce se styly	10
6.1 Členění textu.....	10
6.2 Styly pro text.....	10
7 Obrázky a tabulky	12
7.1 Vkládání obrázků.....	12
7.2 Vkládání tabulek.....	13
7.3 Vkládání rovnic.....	14
8 Závěr	15
Literatura	16
Seznam symbolů, veličin a zkratek	17
Seznam příloh	18

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Blokové schéma výškoměru pro RC modely letadel.....	1
Obr. 2: Graf závislosti výstupního napětí na atmosferickém tlaku [2].....	2
Obr. 3: Operační zesilovač v diferenčním zapojení.....	3
Obr. 4: Nastavení referenčního napětí pro AD převodník.....	4
Obr. 5: Zapojení USB modulu.....	5
Obr. 6: Obr. 4.1 Blokový diagram programu MCU.....	7
Obr. 3.7: Závislost normované střední kvadratické odchylky na bitovou rychlost pro pět testovacích video sekvencí (převzato z [1]).....	12
Obr. 3.8: Vkládání automatické popisky obrázku.....	12

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Závislost výstupního napětí senzoru na nadmořské výšce.....2

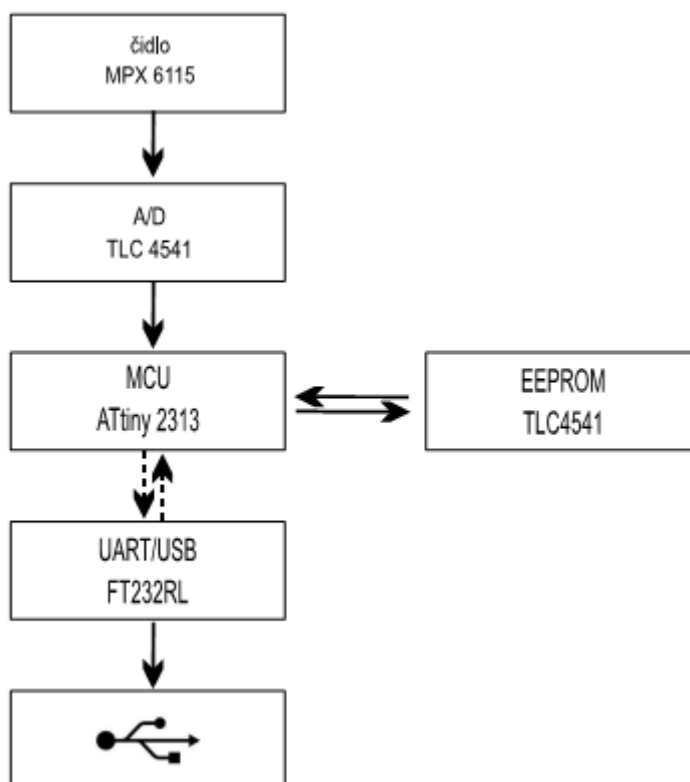
Seznam tabulek

ÚVOD

Tématem mé bakalářské práce je realizace výškoměru pro RC modely letadel. Zařízení je svojí koncepcí určeno pro měření malých výšek během letu uvnitř modelu. Tomuto požadavku jsem se snažil přizpůsobit svůj návrh z hlediska rozměrů, napájecího napětí a hmotnosti. Zařízení pracuje na principu záznamu a vyhodnocení atmosferického tlaku.

1.1 Princip činnosti

Navrhovaný obvod pracuje na principu záznamu atmosferického tlaku. Ten je dán tíhou vzdušné atmosféry a se vzrůstající nadmořskou výškou jeho hodnota klesá. Z dlouhodobého hlediska má atmosferický tlak na konkrétním zemském bodu proměnnou hodnotu, přičemž zásadní vliv na jeho změnu mají denní doba, teplotní změny, či proudění vzduchu. Při krátkodobém záznamu, který se předpokládá i pro použití výškoměru, lze však velikost tlaku považovat za neměnnou a konstantní.



Obr. 1: Blokové schéma výškoměru pro RC modely letadel

2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

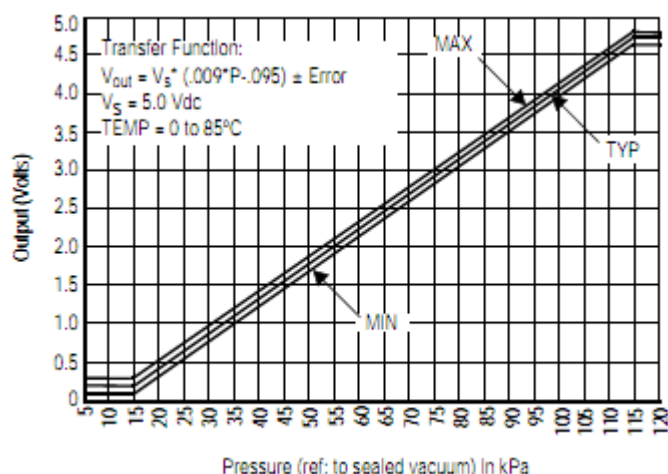
Pro zjištění aktuálního atmosferického tlaku je v obvodu použit senzor MPX 6115 od firmy Freescale. Jedná se tlakový senzor s tlakovým rozsahem od 15 do 115kPa, udávanou katalogovou citlivostí 45,9mV/kPa a teplotní kompenzací v rozsahu od -40°C do 125°C [1].

V nadmořském pásmu 300 – 400 m.n.m., představující většinové české území, odpovídá změně výšky o 1m změna tlaku o 11,1Pa. Takováto tlaková výchylka následně při výše uvedené citlivosti na tlakovém čidle vyvolá posun hodnoty napětí o hodnotu 0,5095mV.

h [m.n.m.]	P [kPa]	U_out [V]
100	100,61	4,05
200	99,92	4,02
300	99,24	3,99
400	98,57	3,96
500	97,90	3,93
600	97,23	3,90
700	96,57	3,87

Tab. 1: Závislost výstupního napětí senzoru na nadmořské výšce

Senzor MPX 6115 má uváděnou citlivost 45,9mV/kPa.



Obr. 2: Graf závislosti výstupního napětí na atmosferickém tlaku [2]

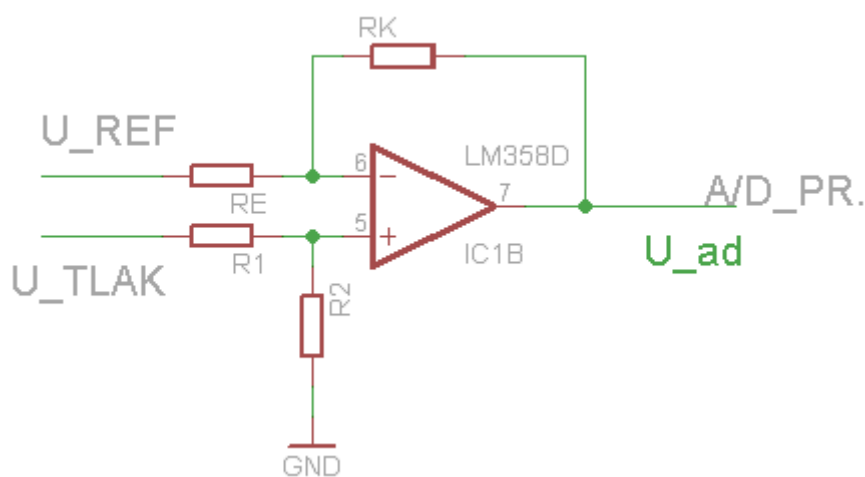
Uvažovaná změna tlaku při změně výšky o 1m je 11,1Pa. Takováto změna na senzoru vyvolá posun výstupního napětí o 0,5095mV.

Při převodu výstupního napětí ze senzoru na diskretní hodnotu v 16 bitovém AD převodníku bude tato hodnota kvantována mezi 65536 kvantových hladin. Při použití referenčního napětí 3,3V by poté hodnota kvantizačního šumu neměla přesáhnout napětí 50,35 μ V. Tato hodnota je o řád nižší, nežli požadovaná citlivost a kvantizační šum by tedy neměl omezit výsledky měření.

2.1 Posunutí hladiny výstupního napětí tlakového čidla

Z důvodu snížení hodnoty šumu a neboť z praktického hlediska není třeba pro potřeby výškoměru využívat celý dostupný tlakový rozsah tlakového čidla (15kPa – 115kPa), byla za použití operačního zesilovače v diferenčním zapojení posunuta hodnota výstupního signálu z napěťového čidla o 0,8V níže.

Touto úpravou sice došlo k praktickému snížení měřitelného tlakového rozsahu na rozsah přibližně 30kPa – 115kPa, ale pro potřeby záznamu hodnot v českých podmínkách jde stále o rozsah s dostatečnou rezervou pro různé klimatické výkyvy.



Obr. 3: Operační zesilovač v diferenčním zapojení

Na zapojení OZ v diferenčním 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:

$$U_{ad} = (U_{tlak} - U_{ref}) \cdot \frac{R_k}{R_e} \quad (2.1)$$

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

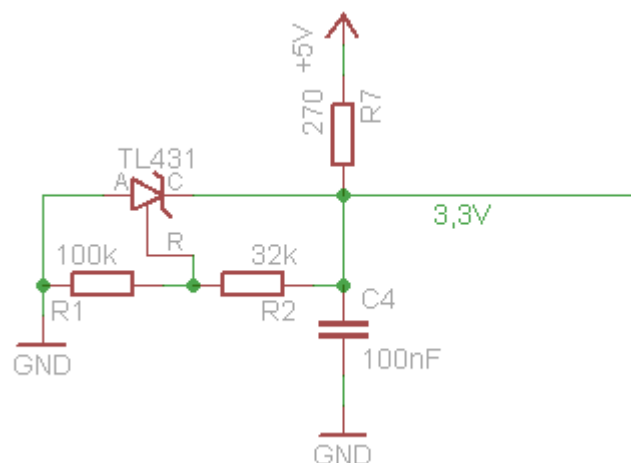
2.2 Nastavení referenčního napětí pro AD převodník

Pro stabilní nastavená referenčního napětí AD převodníku je ve schématu využit obvod TL431. Jedná se o napěťovou referenci s garantovanou teplotní stabilitou, nastavitelnou výstupní hodnotou napětí v rozmezí od 2,5V do 36V a malým výstupním odporem.

Vnitřní referenční napětí obvodu TL431 je 2,5V. Nastavení dalších hodnot je možné za použití dvou rezistorů R_1 a R_2 a výstupní napětí je poté definováno následujícím vztahem:

$$U_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot U_{ref} \quad (2.2)$$

Pro AD převodník bylo nastaveno referenční napětí 3,3V.



Obr. 4: Nastavení referenčního napětí pro AD převodník

Obr. 2.3 Nastavení referenčního napětí pro AD převodník

3 VÝPOČET VÝŠKY

Jak již bylo výše zmíněno, výškoměr pro výpočet výšky využívá přírodní princip poklesu atmosférického tlaku s rostoucí nadmořskou výškou. Tuto závislost detailně vyjadřuje barometrická rovnice (3.1).[3] Ta je využívána v meteorologii pro objektivnější porovnání naměřených hodnot tlaku z míst s rozdílnou nadmořskou výškou.

$$P_h = P_0 \cdot e^{\frac{-mgh}{kT}} \quad (3.1)$$

kde:

- P_h - atmosférický tlak ve výšce h [Pa]
- P_0 - normální atmosférický 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]

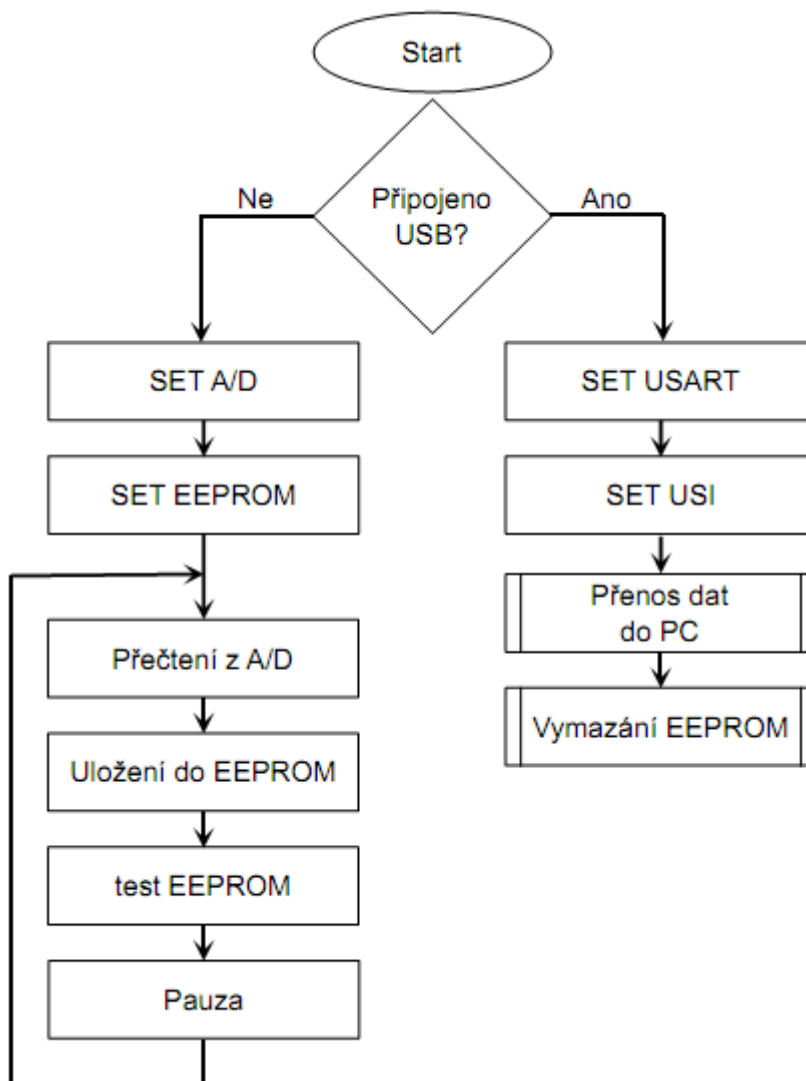
Pro potřeby výškoměru je však naopak třeba z hodnot atmosférického tlaku spočítat hodnotu výšky. Tento výpočet je definována následujícím vztahem:

$$h = \frac{R \cdot T}{g} \cdot \ln\left(\frac{p_0}{p}\right) \quad (3.2)$$

- T - průměrná teplota [K]
- p_0 - atmosférický tlak na “nulové” výšce [Pa]
- p - atmosférický tlak v dané výšce [Pa]
- R - měrná plynová konstanta $286 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
- g - tíhové zrychlení $9.80665 \text{ [ms}^{-2}]$

4 PROGRAM OBVODU

Na následujícím blokovém diagramu programu řídicího mikrokontroléru je názorně vidět struktura běhu programu.



Obr. 6: Obr. 4.1 Blokový diagram programu MCU

Po připojení obvodu k napětí mikrokontrolér nejprve otestuje, není li připojeno USB. To je provedeno ověřením signálu PWREN z obvodu FT232RL, který je k MCU připojen na port D2.

Log 1 na signálu PWREN značí, že USB není připojeno. V takovém případě po nastavení periférií započne periodický záznam hodnot z AD převodníku do EEPROM paměti. Nastavení periférií v tomto případě znamená nastavení komunikace s AD převodníkem přes sériové rozhraní SPI, což konkrétně znamená zápis parametrů sériového přenosu do stavového registru USISR. Po úspěšném sériovém přenosu hodnoty z AD převodníku přes SPI rozhraní bude v MCU údaj uložen do datového registru USIDR. Pro uložení této hodnoty do paměti EEPROM je nejprve nutno povolit zápis do paměti, k čemuž slouží instrukce EWEN. Následně instrukcí WRITE lze zapsat údaj z registru USIDR do EEPROM paměti. Pokud tímto zápisem nedošlo ke konečnému zaplnění EEPROM paměti, vyčká se jednosekundová smyčka a zápis údaje z AD převodníku do EEPROM paměti se opakuje. V případě zaplnění EEPROM paměti dojde k rozsvícení LED diody na portu B0 a MCU zůstane v nekonečné smyčce.

Použitá sériová EEPROM paměť 93LC68 dovoluje organizaci paměti jak v 8b, tak 16b. Pro zachování přesnosti záznamu je třeba paměť nastavit na šestnácti bitovou šířku ukládaného bitového slova. Při této organizaci dovolí obvod uložit 1024 záznamů, což při periodě 1s postačí na záznam o délce 17 minut.

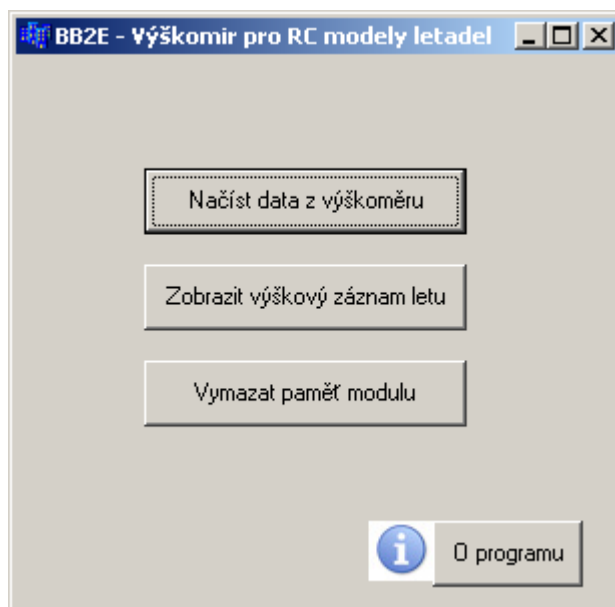
V případě že je signál PWREN v log 0, znamená to, že je obvod připojen k USB. V tomto případě nastavíme registry UCSR pro použití USART rozhraní, potřebné ke komunikaci s obvodem FT232RL. Následně můžeme instrukcí READ číst data z EEPROM paměti a zápisem do registru UDR, patřící rozhraní USART, je lze odeslat díky obvodu FT232 přes USB ke zpracování PC. V případě že došlo k přenosu všech naměřených hodnot z EEPROM paměti, lze ji pomocí operace ERAL celou vymazat.

5 PROGRAM PRO VYHODNOCENÍ ZÁZNAMU LETU

Primárním účelem programu je stažení naměřených dat ze zařízení výškoměru připojeného přes sběrnici USB. Toho je docíleno díky konvertoru FT232R, který funguje jako spolehlivý převodník USB ↔ UART.

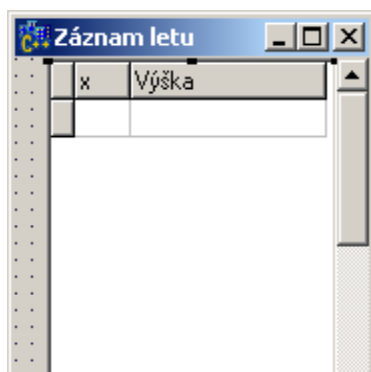
Pro prezentaci naměřených údajů je třeba nejprve naměřené hodnoty stáhnout z paměti obvodu do PC. Je-li obvod připojen kabelem k PC, mělo by se tak stát po stisku prvního tlačítka: [Načíst data z výškoměru].

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



Obr. 7: Ukázka hlavního okna programu

Pokud byly data z výškoměru řádně načtena do PC, dojde po stisku tlačítka [Zobrazit výškový záznam letu] k přepočtení tlakových údajů na hodnoty výšky v metrech.



The image shows a screenshot of a Windows application window titled "Záznam letu". The window contains a table with two columns. The first column is labeled "x" and the second column is labeled "Výška". The table is currently empty, with only the header row visible. The window has a standard Windows XP-style title bar with minimize, maximize, and close buttons.

x	Výška
---	-------

Obr. 8: Ukázka okna programu s letovým záznamem

6 ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce byl návrh výškoměru pro RC modely letadel. Je zde popsán princip činnosti zařízení a jeho fyzický návrh.

S ohledem na určení výrobku pro RC modely, snažil jsem se, aby výsledný produkt byl pokud možno co nejmenší a nejlehčí. To bylo ostatně jedním z důvodů, proč byl oddělen obvod zajišťující USB komunikaci jako samostatný modul. Druhým důvodem této separace byla možnost zmíněný modul použít i v jiných aplikacích, jako převodník mezi sériovou linkou a protokolem USB.

LITERATURA

[1] MPXAZ6115A Datasheet [online].

Dostupné z URL: <http://www.freescale.com/support/>

[2] FT232 Datasheet [online].

Dostupné z URL: <http://www.ftdichip.com/Products/FT232R.htm>

[3] Hyperphysics.phy-astr.gsu.edu [online]. 2011-05-26 [cit. 2011-05-26]. The Barometric Formula.

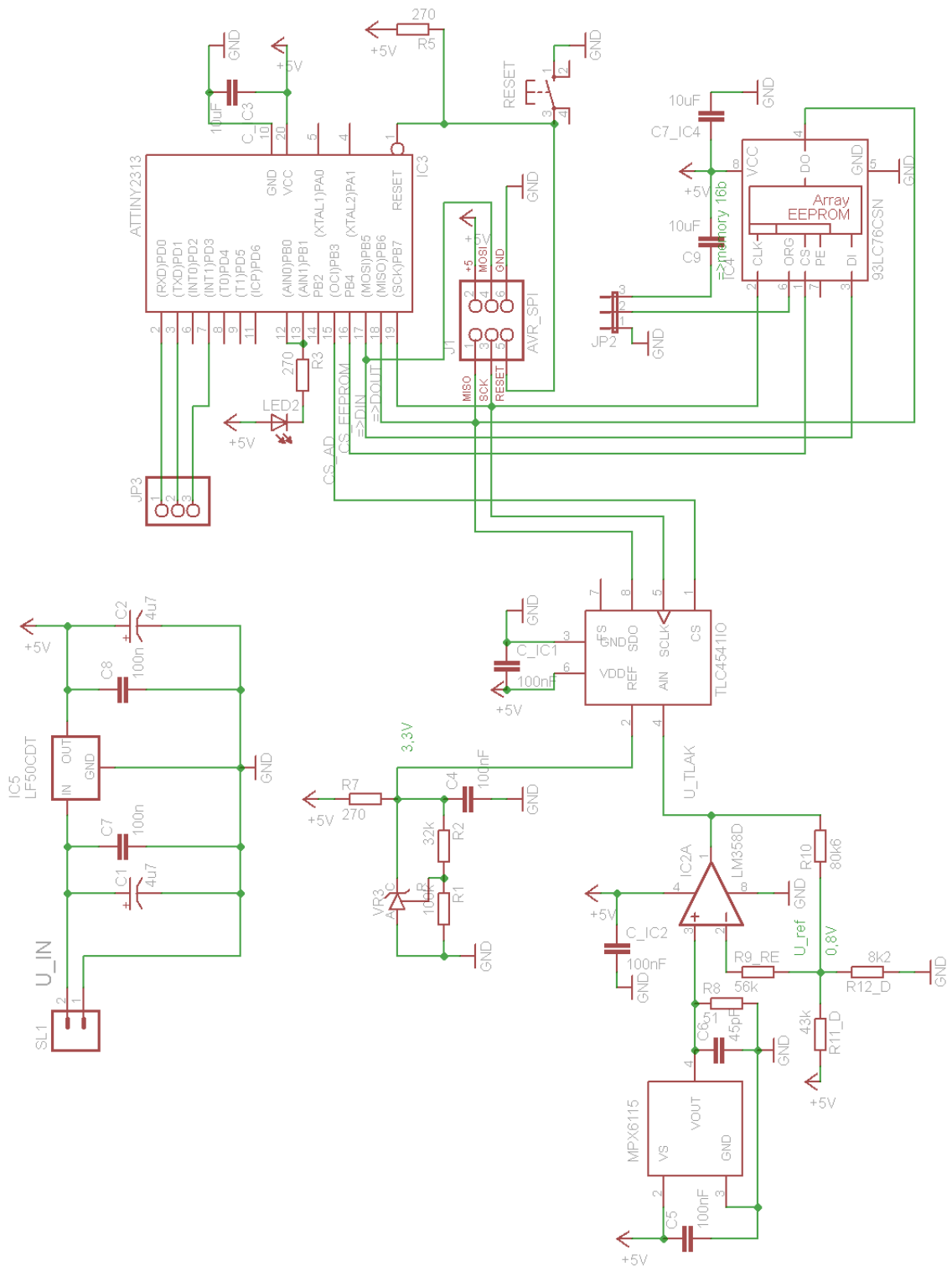
Dostupné z URL: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Kinetic/barfor.html>>

SEZNAM PŘÍLOH

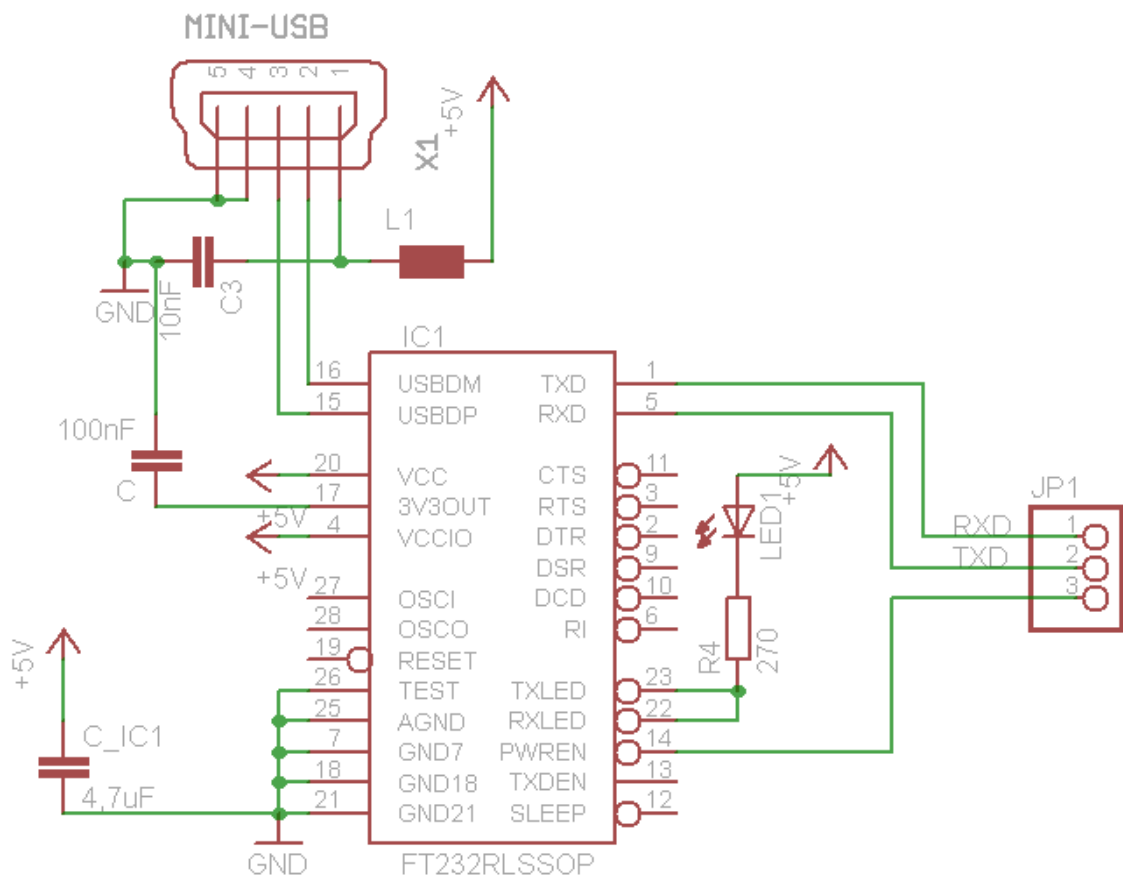
A Návrh zařízení	14
A.1 Obvodové zapojení – modul výškoměru.....	14
A.2 Obvodové zapojení – USB modul.....	15
A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů).....	16
A.4 Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	17
A.5 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů).....	18
A.6 Osazení desky plošného spoje.....	18
A.7 Osazení desky plošného spoje – top (strana součástek).....	19
A.8 Osazení desky plošného spoje – bottom (strana spojů).....	20
B Seznam součástek	21

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení – modul výškoměru

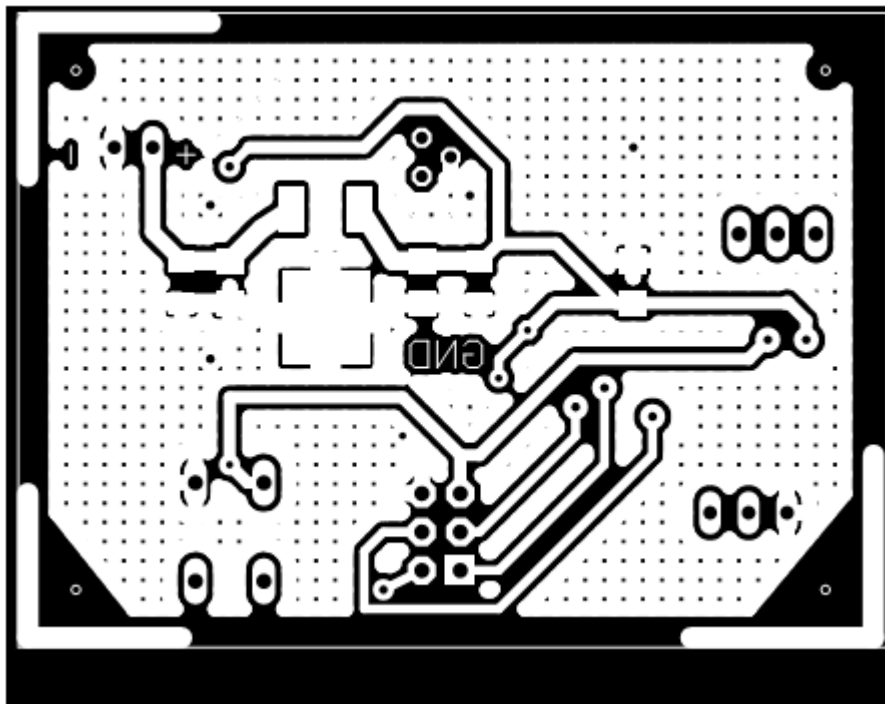


A.2 Obvodové zapojení – USB modul



A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

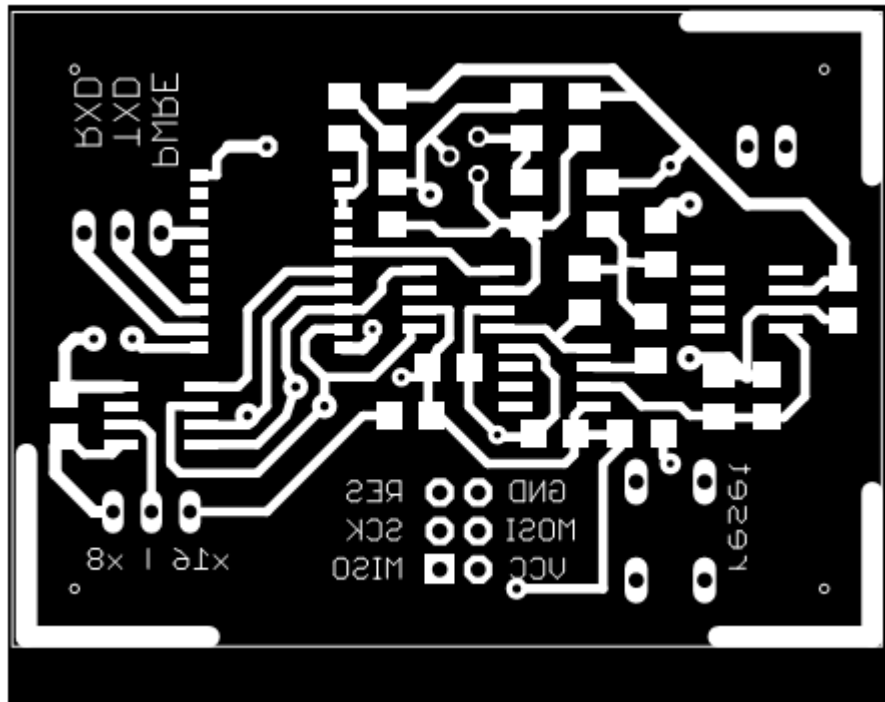
Deska modulu výškoměru



Rozměr desky 55 x 40 [mm], měřítko M1:2.

A.4 Deska plošného spoje – top (strana součástek)

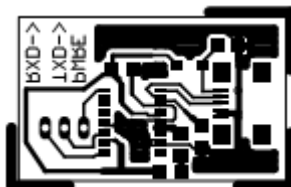
Deska modulu výškoměru



Rozměr desky 55 x 40 [mm], měřítko M1:2

A.5 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

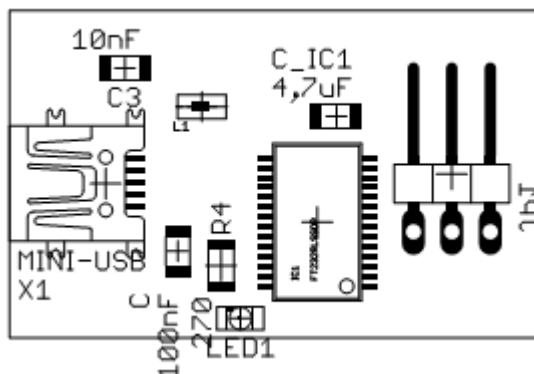
Deska USB modulu



Rozměr desky 35 x 22 [mm], měřítko M1:1

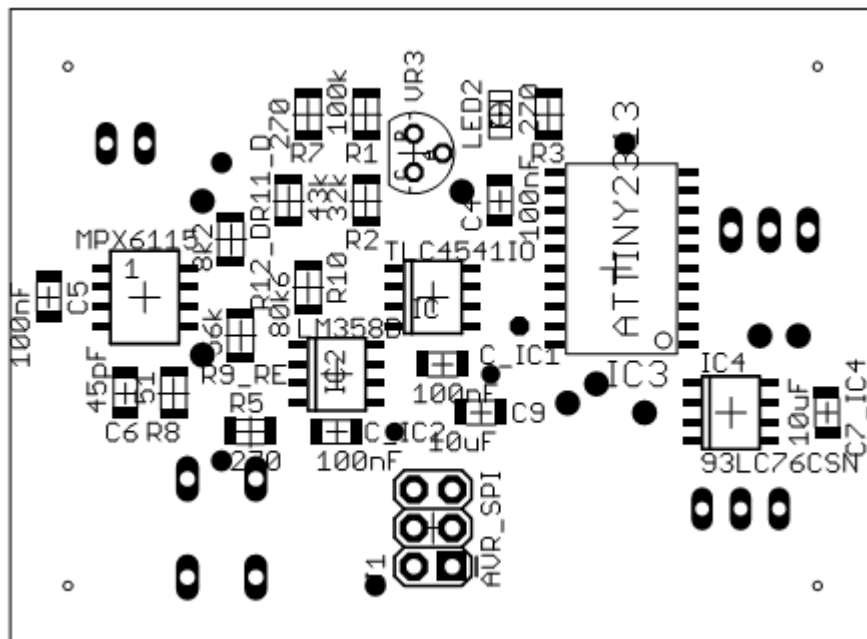
A.6 Osazení desky plošného spoje

Deska USB modulu



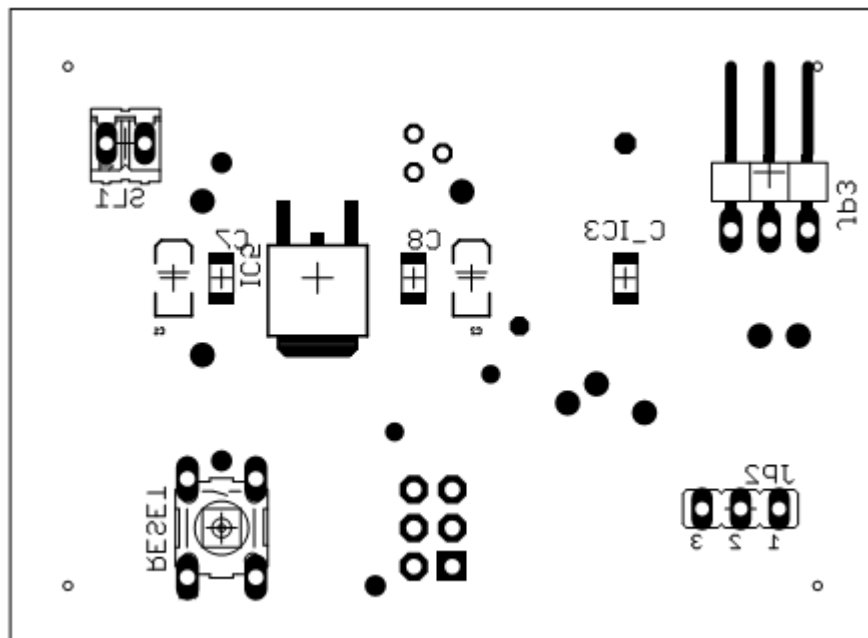
Rozměr desky 35 x 22 [mm], měřítko M1:2

A.7 Osazení desky plošného spoje – top (strana součástek)



Rozměr desky 35 x 22 [mm], měřítko M1:2

A.8 Osazení desky plošného spoje – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 35 x 22 [mm], měřítko M1:2

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Tab. B.1 Seznam součástek - výškoměr

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	4u7F	CTS 4M7/35V C 20%	Tantalový kondenzátor
C2	4u7F	CTS 4M7/35V C 20%	Tantalový kondenzátor
C4	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C5	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C6	45pF	C1206	Keramický kondenzátor
C7	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C7_IC4	10uF	C1206	Keramický kondenzátor
C8	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C9	10uF	C1206	Keramický kondenzátor
C_IC1	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C_IC2	100nF	C1206	Keramický kondenzátor
C_IC3	10uF	C1206	Keramický kondenzátor
IC1	TLC4541IO	SOIC8	A/D převodník
IC2	LM358D	SO08	Operační zesilovač
IC3	ATTINY2313	SO20L	Mikrokontrolér
IC4	93LC76CSN	SO-08	Paměť EEPROM
IC5	LF50CDT	DPACK	Stabilizátor napětí
J1	AVR_SPI	2X3-NS	AVR konektor
JP2		jumper	Propojka
JP3		pinhead	Propojka
LED2	1206	LED SMT 1206	LED dioda
MPX6115	MPX6115	SOP08	Tlakový senzor
R1	100kΩ	R1206	SMD rezistor
R2	32kΩ	R1206	SMD rezistor
R3	270Ω	R1206	SMD rezistor
R5	270Ω	R1206	SMD rezistor

R7	270Ω	R1206	SMD rezistor
R8	51Ω	R1206	SMD rezistor
R9_RE	56kΩ	R1206	SMD rezistor
R10	80k6Ω	R1206	SMD rezistor
R11_D	43kΩ	R1206	SMD rezistor
R12_D	8k2Ω	R1206	SMD rezistor
RESET		B3F-10XX	Tlačítko
SL1		pinhead	Propoj
VR3	TL431	TO-92	Napěťový regulátor

Tab. B.2 Seznam součástek – USB modul

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C	100nF	C-EUC1206	Keramický kondenzátor
C3	10nF	C-EUC1206	Keramický kondenzátor
C_IC1	4,7uF	C-EUC1206	Keramický kondenzátor
IC1	FT232RLSSOP	SSOP28DB	Převodník USB/UART
JP1	PINHD-1X3/90	1X03/90	Propojka
L1	WE-MI_1206	1206	Propojka
LED1	LEDSMT1206	1206	LED dioda
R4	270Ω	R-EU_M1206	SMD rezistor
X1	MINI-USB-UX60-MB-5ST	UX60-MB-5ST	Konektor