

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bezdrátový přenos měřených veličin

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš HAVLÍČEK**
Osobní číslo: **E11B0200P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Bezdrátový přenos měřených veličin**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište různé způsoby připojení měřicích přístrojů a zařízení používaných pro měření elektrických a neelektrických veličin.
2. Z uvedených typů zvolte nejčastěji se vyskytující a pro tento typ vytvořte návrh bezdrátového převodníku.
3. Bezdrátový převodník navrhnete tak, aby pracoval ve veřejně dostupném frekvenčním pásmu.
4. Zvolený návrh realizujte a experimentálně ověřte jeho funkčnost.

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení přenosu dat z měřících přístrojů pomocí bezdrátové komunikace. Vysílací část bude připojena na sériovou sběrnici RS232 a přijímací část pomocí USB k měřicímu počítači. V této práci je popsána praktická realizace obvodů, vysílací a přijímací části a jejich následné programové oživení.

Klíčová slova

RFM12B, ATmega8, mikropočítač, SPI, UART, vysílač, přijímač, bezdrátová komunikace

Abstract

The theme of this Bachelor thesis is focused on solving the data from the measuring devices using wireless communication. The transmitting unit is connected to the serial bus RS232 and receiving part to the measuring computer via USB. The thesis describes practical realization of circuits, transmitting and receiving part and their subsequent program recovery.

Key words

RFM12B, ATmega8, microcomputer, SPI, UART, transmitter, receiver, wireless communication

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Bezdrátový přenos měřených veličin 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 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 Plzni dne 8.6.2014

Tomáš Havlíček

.....

Obsah

OBSAH	6
ÚVOD	7
1 ZPŮSOBY PŘIPOJENÍ MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ	8
2 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	9
2.1 FREKVENČNÍ SPEKTRUM.....	9
2.1.1 Členění frekvenčního spektra.....	9
2.1.2 Pásmo ISM.....	10
2.2 RADIOVÉ MODULY RFM	10
3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY	11
3.1 USB	11
3.2 UART	12
3.3 SPI	13
3.4 RS232	14
3.5 GPIB.....	15
3.6 I2C	16
4 NÁVRH KOMUNIKAČNÍHO MODULU	18
4.1 HARDWARE	18
4.1.1 Bezdrátový modul.....	18
4.1.2 Mikropočítač.....	19
4.1.3 Periferie	20
4.2 ZAPOJENÍ.....	22
4.3 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	22
5 OBSLUŽNÝ PROGRAM	24
5.1 KOMUNIKACE BEZDRÁTOVÉHO MODULU	24
5.2 HLAVNÍ OBSLUŽNÝ PROGRAM	27
5.2.1 Režim vysílače.....	28
5.2.2 Režim přijímače	29
5.2.3 Test dosahu	29
ZÁVĚR	31
POUŽITÁ LITERATURA	32
SEZNAM SYMBOLŮ	33
SEZNAM PŘÍLOH	34

Úvod

Komunikace mezi přístroji a počítači nejdříve začínala metalickým kabelovým vedením a postupně se vyvíjela do dnešních podob. Dnes se stále nejvíce pro komunikaci využívají průmyslové kabelové sběrnice, ale používají se i jiné způsoby komunikace pomocí optických kabelů a bezdrátových sítí.

Proč a kde se bezdrátová technika používá. Hlavní využití nalezne v případech, kdy je potřeba zaručit flexibilitu a mobilitu vysílacího nebo přijímacího zařízení, nebo kde bezdrátové řešení představuje levnější verzi komunikace než metalický spoj.

Pro bezdrátovou komunikaci se může použít více přenosových médií, kterými jsou optické, radiové a zvukové signály. Radiová komunikace spočívá v přenosu dat mezi dvěma zařízeními, která pracují na stejné vysílací frekvenci a se stejnými parametry přenosu, jako jsou modulace, kódování, šířka pásma a další. Velké výhody se nachází například v tom, že vysílacím signálem můžeme pokrýt velkou plochu, na které signál můžeme přijímat. Další výhodou je použití pro velké vzdálenosti, například komunikace s družicemi v kosmickém prostoru.

V dnešní době se pro bezdrátovou komunikaci používá velké množství různých standardů, pracujících v různých frekvenčních pásmech. Některá frekvenční pásma jsou licencovaná a lze v nich vysílat pouze s povolením, ale jsou i bezlicenční pásma označovaná jako amatérská.

Tato práce se bude zabývat bezdrátovou komunikací v ISM pásmu, přes které se budou přenášet data ze sériové napěťové sběrnice RS232.

1 Způsoby připojení měřících přístrojů

Měřicí zařízení, jakou například multimetry, osciloskopy, laboratorní měřicí přípravky, různé analyzátory, ale i inteligentní snímače elektrických a neelektrických veličin nebo programovatelné automaty je možné připojovat k počítači. Připojování těchto zařízení se provádí přes určitá rozhraní, která se řídí podle určitých standardů. Tím je zaručena kompatibilita. Nejvíce rozšířenými rozhraními jsou RS232, RS485, USB a GPIB. Každé rozhraní má své výhody i nevýhody použití.

Připojování k počítačům se provádí pro lepší práci s naměřenými daty, která je možno ukládat a archivovat. Většina výrobců přikládá ke svým výrobkům i software, ve kterém jde s naměřenými daty lehce pracovat.

2 Bezdrátová komunikace

Bezdrátové vysílání je řízeno Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ), který má na starost přidělování frekvenčních pásem a kontrolování jejich dodržování. Plán přidělení je řízen vyhláškou 105/2010 Sb., a podle § 150 odst. 2 zákona č. 127/2005 Sb., zákon o elektronických komunikacích. ČTÚ pracuje v souladu se závazky Mezinárodní telekomunikační unie (ITU).

2.1 Frekvenční spektrum

Všechny elektromagnetické vlny se dělí do základních skupin podle vlnové délky:

- Velmi dlouhé vlny 3 – 30 kHz
- Dlouhé vlny 30 – 300 kHz
- Střední vlny 300 kHz – 3 MHz
- Krátké vlny 3 – 30 MHz
- Velmi krátké vlny 30 – 300 MHz
- Ultrakrátké vlny 300 MHz – 3 GHz
- Super krátké vlny 3 – 30 GHz
- Extrémně krátké vlny 30 – 300 GHz.

2.1.1 Členění frekvenčního spektra

Frekvenční pásma jsou přidělována uživatelům, jako jsou rozhlasové a televizní vysílání, armáda, bezpečnostní složky, letectví, námořnictvo, mobilní komunikace. Jsou také stanovena pásma bez nutnosti registrace, která mohou využívat radioamatéři. Dále jsou vyhrazena pásma pro průmysl (např. indukční pece, mikrovlnné trouby).

Ukázka dělení pásma ultrakrátkých vln:

- 230 – 400 MHz - vyhrazené pásmo pro účely obrany státu
- 430 - 440 MHz - amatérské pásmo
- 470 – 790 MHz - pro televizní vysílání, rozdělené do více kanálů
- 863 – 870 MHz - zařízení krátkého dosahu
- 870 – 960 MHz - pro provozování GSM mobilních telefonů
- 0,96 – 1,21 GHz - letecká radiokomunikace a navigační systémy

- 1,16 – 1,3 GHz - družicová navigace GPS, GLONASS, Galileo
- 1,3 – 1,66 GHz - radiolokační a radionavigační
- 2,3 – 2,45 GHz - amatérské aplikace a provoz bezdrátových sítí Wi-Fi.

2.1.2 Pásmo ISM

ISM pásmo je pro vysílání v průmyslových a vědeckých oborech. Jsou to bezlicenční pásma, v kterých lze vysílat homologovanými přístroji. V tomto pásmu není žádná garance proti rušení, nelze zaručit ochranu signálu. Tato pásma jsou nejvíce využívána radioamatéry. V ISM pásmu je také potřeba dodržovat podmínky maximálního vysílacího výkonu. Jednotlivé frekvence také mají své vlastnosti:

- 433 MHz - středně velký dosah i v zastavěných oblastech
- 868 MHz - středně velký dosah, v zastavěné oblasti dosah klesá
- 2400 MHz - menší dosah, velké zatížení pásma.

2.2 Radiové moduly RFM

Radiový modul je zařízení, které umožňuje bezdrátový přenos dat. Moduly můžeme mít ve více provedeních, jako vysílací (transmitter) nebo přijímací (receiver). Kombinace zařízení je (transceiver) a umožňuje obousměrnou komunikaci, režimy se přepínají pomocí řízení, moduly nemohou pracovat v obou režimech zároveň. Při obousměrné komunikaci můžeme kontrolovat druhé zařízení, jestli je aktivní nebo jestli je v dosahu, můžeme taky odesílat požadavky o znovu odeslání dat.

Můžeme vybírat mezi hodně moduly, které mají různé parametry, což jsou frekvence, druh modulace a vysílací výkon, který volíme dle potřebného dosahu.

3 Komunikační protokoly

Komunikační protokol je způsob komunikace s různými pravidly, syntaxí přenosu signálu, přenosovou rychlostí a jinými napěťovými úrovněmi.

3.1 USB

Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus), komunikace probíhá sériově poloduplexně s využitím diferenčního kódování. Na sběrnici lze připojovat do uzlu více zařízení označených jako host.

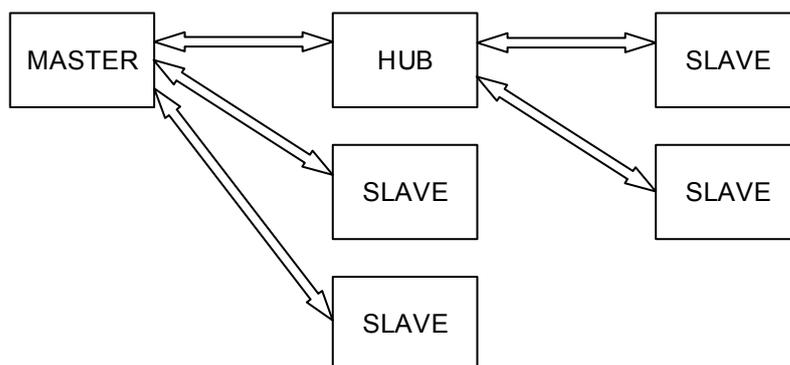
Sběrnice USB je realizována pomocí čtyř vodičů. Dva vodiče slouží pro napájení koncového zařízení (myši, flash disku, nabíječky, atd.), VDD s napěťovou úrovní +5V s proudovou zatížitelností až 500mA a GND (zem). Další dva vodiče jsou datové, ty se označují D+ a D-, jsou vytvořeny kroucenou dvoulinkou s impedancí přibližně 90 Ω . Napěťové úrovně jsou 0 až 0,3V a 2,8 až 3,6 V. Při přenosu log. 1 je na D+ 2,8 V a na D- 0,3V, při přenosu log. 0 je napěťové úrovně vymění.

Sběrnice nemá vodič pro hodinový signál. Přenos je řízen pomocí vysílaných paketů, první popisuje typ, adresu zařízení a směr přenosu. Druhý paket posílá data s délkou 8 až 256 bajtů nebo oznámení, že nejsou žádná data, a poslední paket je pro potvrzení úspěšného přenosu (handshake).

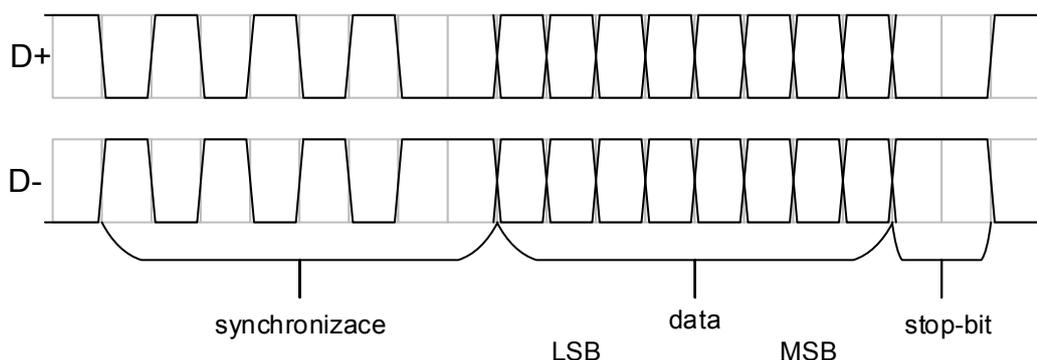
Jsou definovány tři základní přenosové rychlosti, které záleží na použitém vodiči, jeho maximální délce, konstrukci vodiče a použití stínění. Rychlosti jsou Low speed - 192 kB/s, Full speed – 1,5 MB/s a High speed – 60 MB/s.

Rozlišuje se více typů přenosu. První typ přenosu je řídicí, má vysokou prioritu a přenosovou rychlost, používá se k řízení hardwaru. Druhým typem je přenos přes přerušení, který periodicky vysílá data, využívá se u ovládání počítače (myš a klávesnice). Hromadný přenos je třetí typ, který přenáší velké množství dat s nízkou prioritou, ale používá zabezpečení. Čtvrtý typ je také pro přenos velkého množství dat, ale větší rychlostí s vyšší prioritou.

Sběrnice má více druhů připojovacích konektorů různé konstrukce a velikosti. V současné době je asi nejvíce rozšířenou datovou sběrnici u všech osobních počítačů a přenosných zařízení (telefony, fotoaparáty, pevné disky, tiskárny).



Obr. 3.1: Topologie zapojení USB sběrnice



Obr. 3.2: Formát přenosu dat přes USB sběrnice

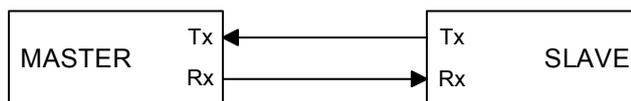
3.2 UART

Univerzální asynchronní přijímač/vysílač (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) je sběrnice, která je realizována pouze dvěma vodiči označenými jako Tx (output) a Rx (input). Na sběrnici je možné připojit pouze dvě zařízení. Komunikace probíhá asynchronně, to znamená, že přijímač i vysílač mají svůj vlastní zdroj hodinového signálu, kterým se řídí. Vysílání začíná start-bitem, za kterým jsou vysílána data v pořadí od nejnižšího bitu LSB do nejvyššího MSB, přenos je zakončen stop-bitem.

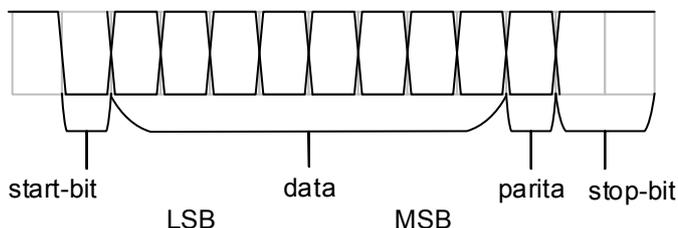
Průběh odeslání byte je takový, že všechny bity jsou zapsány do registru Tx, ze kterého jsou posílány na Tx vodič a zároveň je k nim přiřazen start a stop bit. Registr je efektivně využit tak, že při odesílání dat jsou do něj zároveň načítána nová data.

Způsob přijetí byte je takový, že po detekci start-bit na Rx vodiči se začnou následující data přesouvat do registru a po přijetí stop-bit se data odešlou dál.

Tato sběrnice se nejvíce využívá u mikroprocesorů a ostatních integrovaných obvodů, neslouží jako propojování mezi zařízeními pomocí kabelu.



Obr. 3.3: Topologie zapojení UART sběrnice



Obr. 3.4: Formát přenosu dat přes UART sběrnici

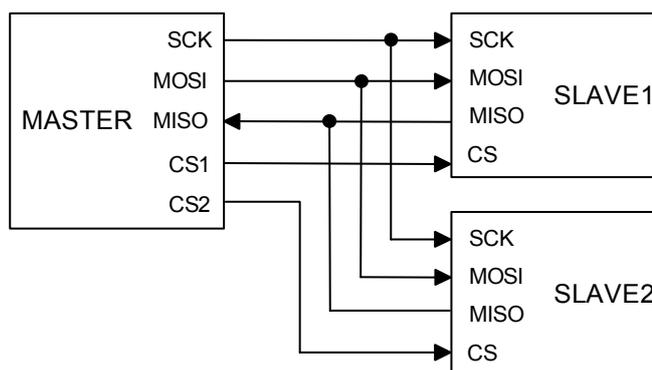
3.3 SPI

Sériová periferní rozhraní (seriál peripheral interface), u nich komunikace probíhá oběma směry zároveň, jedná se tedy o fullduplexní synchronní přenos. Na sběrnici je možné připojit více zařízení najednou, využívá se u nich řízení master/slave.

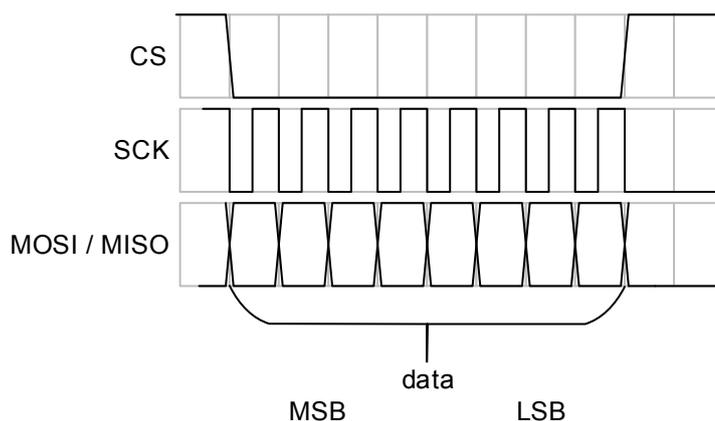
Propojení zařízení je realizováno pomocí čtyř vodičů, dva jsou využívány jako datové. MISO odesílá data z master do slave, druhý vodič MOSI posílá data opačným směrem. Dalším spojením je vodič CS (chip select), kterým vybíráme slave zařízení, se kterým chceme komunikovat. Posledním spojením je SCK, tím se přenáší řídicí hodinový signál, který zařizuje synchronní komunikaci. Maximální hodnota hodinového signálu je 2MHz. Přenos může být vztažen buď na vzestupnou, nebo sestupnou hranu. Napěťové úrovně závisí na použitých technologiích a napájecím napětí zařízení.

Průběh komunikace začíná aktivováním slave obvodu pomocí logické nuly na CS vodiči, dále následuje aktivování hodinového signálu SCK. Nastane obousměrná komunikace s délkou slova 8 až 16 bitů. Přenos bitu probíhá od bitu MSB a končí bitem LSB.

Sběrnice SPI se využívá k propojení mikropočítače s periferiemi různých typů (paměti, LCD displeje, atd.). Taktéž se toto rozhraní hodně využívá při sériovém programování mikropočítačů, jeho výhodou je v jednoduchém připojení pomocí konektoru bez nutnosti vyndávání (odletování) chipu z desky plošných spojů.



Obr. 3.5: Topologie zapojení SPI sběrnice



Obr. 3.6: Formát přenosu dat přes SPI sběrnici

3.4 RS232

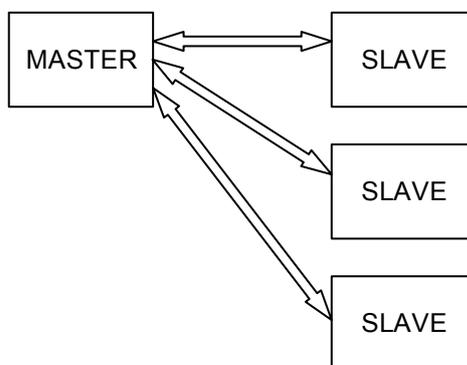
RS232 je sériový port pro přenos dat mezi zařízeními na větší vzdálenosti až 20m. Se sníženou přenosovou rychlostí lze přenosové vedení ještě prodloužit. Přenos je řešen pomocí větších napěťových úrovní než standardních 5 V, větší napěťové úrovně jsou více odolné proti okolnímu rušení. Data jsou přenášena asynchronně, s pevně nastavenou přenosovou rychlostí. Standardní rychlost je 115200bd, další rychlosti jsou z této odvozené pomocí dělení. Synchronizace se provádí pomocí sestupné hrany start-bitu, za kterým následují data.

Napěťové úrovně pro logickou 1 jsou mezi -25 až -3, u logické 0 jsou hodnoty 3 až 25 V. Nejčastěji se vyskytují hodnoty +10V a -10V, to vychází ze zdvojení 5V, se kterým pracují logické obvody.

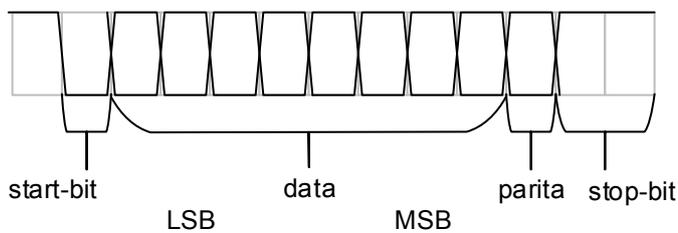
Pro sériovou sběrnici se používají dva typy konektorů: DM-9 a DB-25, kde jsou hlavními miny Tx, Rx a GND. Další piny se využívají při rychlejší komunikaci, pomocí dalších se zajišťuje hardwarové řízení a ještě třeba handshaking. Způsob připojení je podle připojeného zařízení.

Pořadí odesílaných bitů může být rozdílné. Nejdříve se odesílá start-bit, následují

přenášena data s délkou slova 8 bitů, někdy se vyskytuje i 7 nebo 9 bitů. Pořadí odesílání může začínat bitem LSB i MSB, záleží na konkrétním využití. Jako další se odesílá paritní bit, který udává sudou nebo lichou paritu. Parita udává počet odeslaných jedničkových bitů. Existuje i nulová parita, která doplňuje jeden bit 0, aby byla zajištěna kompatibilita například mezi 7 a 8 bitovým systémem. Poslední se odesílá stop-bit, kterých může být i více.



Obr. 3.7: Topologie zapojení sběrnice RS232

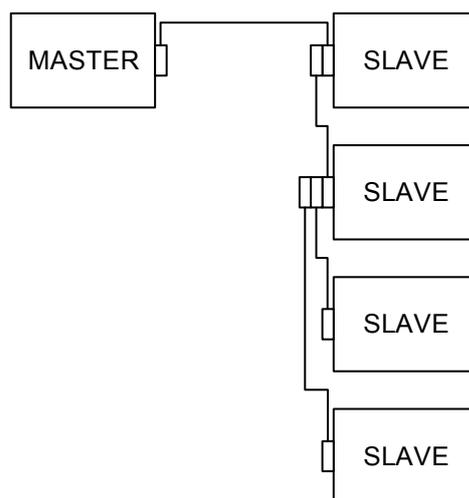


Obr. 3.8: Formát přenosu dat přes sběrnici RS232

3.5 GPIB

Rozhraní GPIB (General Purpose Interference Bus) je paralelní sběrnice pro měřicí a zkušební přístroje. Může na ni být připojeno více přístrojů a počítač, který řídí přenos dat. Maximální počet připojených zařízení je 15 s délkou sběrnice do 20 metrů. Tyto parametry lze ještě zvýšit při použití zesilovačů. Propojení se provádí pomocí 24 žilového kabelu, po kterém se asynchronně přenáší 8 bitová slova. Vodiče jsou rozděleny do čtyř skupin (8 datových, 8 zemnicích, 5 řízení rozhraní, 3 řízení přenosu).

Přenosová rychlost dat se pohybuje do 1 MB/s. Logické úrovně napětí je pro jedničku 2V a pro logickou 0 menší jak 0,8V.



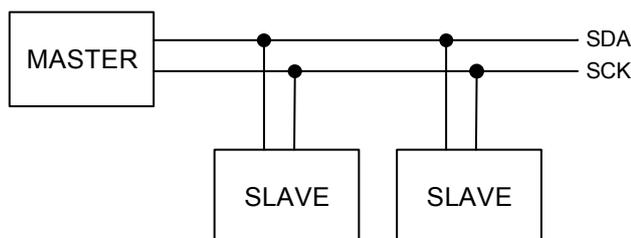
Obr. 3.9: Topologie zapojení sběrnice GPIB

3.6 I2C

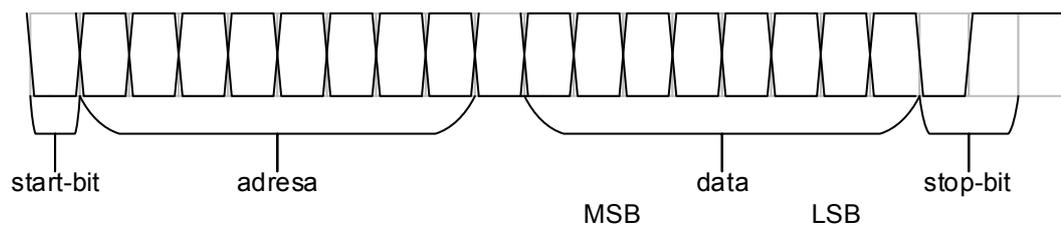
Sériová sběrnice (Inter Integrated Circuit bus) umožňuje propojení více zařízení najednou. Sběrnice má stanovenou strukturu, ve které je jeden řídicí počítač, který ovládá připojené slave zařízení. Na sběrnici je poloduplexní komunikace, v jeden okamžik jsou přenášena jen jedna data a pouze jedním směrem.

Propojení se provádí pomocí tří vodičů, sériový přenos dat oběma směry SDA, hodinový signál SCK a společná zem GND. Na datových vodičích jsou připojeny pull-up rezistory pro případ nečinných vodičů.

Průběh komunikace je řízen pouze master zařízením, které neustále odesílá dotaz všem připojeným slave zařízením, jestli mají nějaká data na odeslání. Struktura komunikačních dat je taková, že master nejdříve nastaví SDA na hodnotu 0 a SCK na krátkou dobu na hodnotu 1. Následuje adresa zařízení, pro které jsou data určena. Data jsou odesílána pomocí osmibitových slov, celý přenos končí odesláním stop bitu. Přenosová rychlost není pevně stanovena, ale má více hodnot dle použitého hardwaru. Přenosová rychlost závisí na frekvenci řídicích hodin, jejichž maximální hodnota se pohybuje okolo 400 kHz.



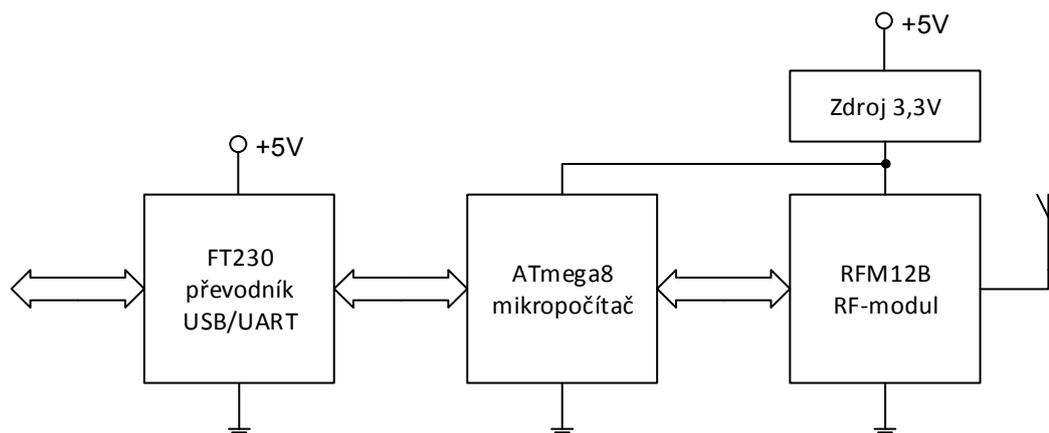
Obr. 3.10: Topologie zapojení sběrnice I2C



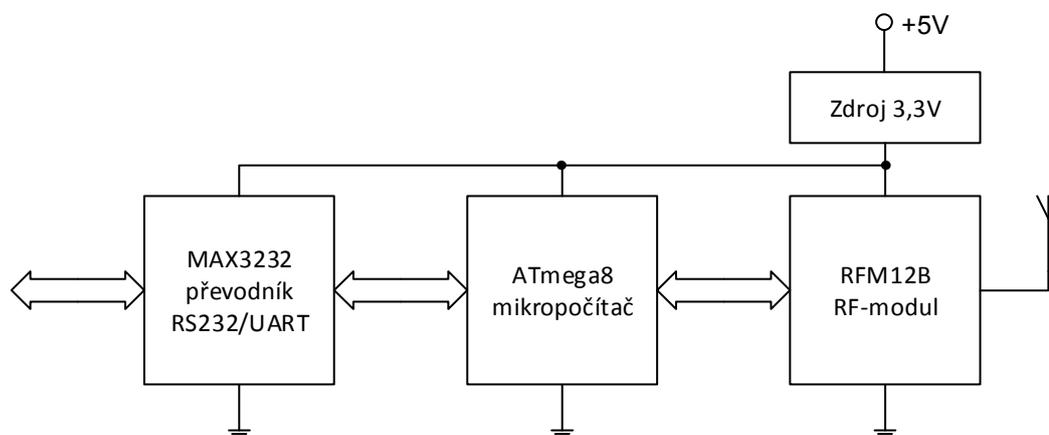
Obr. 3.11: Formát přenosu dat přes sběrnici I2C

4 Návrh komunikačního modulu

Cílem práce je vytvořit dva komunikační moduly pro bezdrátovou komunikaci. První modul má rozhraní pro připojení na sériovou sběrnici RS232, napájení je realizováno pomocí síťového napájecího zdroje s výstupním napětím 5V. Druhý modul se liší převodníkem pro připojení, má pouze USB konektor, přes který je modul napájen, a tímto rozhraním se přenášejí data do měřicího počítače.



Obr. 4.1: Blokové schéma modulu s rozhraním USB



Obr. 4.2: Blokové schéma s rozhraním RS232

4.1 Hardware

4.1.1 Bezdrátový modul

Modul je koncové zařízení pro bezdrátovou komunikaci. V této práci jsou použity moduly od firmy Hope Microelectronics RFM12B. Pracují v bezlicenčním ISM pásmu na frekvenci 868 MHz. Tento typ se může nastavit jako vysílač nebo přijímač, umožňuje

obousměrnou komunikaci. Ve volném prostranství je udáváný dosah modulů až 200 metrů. Modul má sériové rozhraní SPI, pomocí kterého se připojuje na řídicí mikro počítač.

Při komunikaci se využívá FSK modulace pro vysílání sériových dat z mikro počítače. Lze také nastavovat velké množství různých parametrů, jako jsou kmitočet, frekvenční pásmo, přenosové rychlosti, citlivosti přijímačů, práci s vnitřním napětím, hodinové signály a další nastavení.

Modul se vyrábí ve dvou variantách jako SMD a THT, zde je použit ve formě s DIP lištou 2x6 pinů a roztečí 2mm. Tato lišta je výhodné řešení oproti SMD verzi pro možnost vyjmutí a případné jednoduché vyměnění z desky plošných spojů.

Tab. 4.1: Parametry RFM modulů s frekvencí 868 MHz [2]

Napájecí napětí	2,2 - 3,8 V
Výstupní vysílací výkon	4 dBm
Napájecí proud - vysílání	23 mA
Napájecí proud - přijímání	12 mA
Napájecí proud - sleep mode	0,3 mA
Citlivost	-105 dBm
Bitová rychlost	115,2 kbps

Tab. 4.2: Popis pinů RFM modulu [2]

VDD	napájení
nINT/VDI	nINT - vstup, přerušení od mikro počítače VDI - výstup, modul přijal platná data
SDI	vstupní data MOSI
SCK	SPI frekvence (max 2,5MHz)
nSEL	chip select
SDO	výstupní data MISO
nIRQ	výstup, data byla odeslána
FSK/data/nFFS	FSK - přenos vstupních údajů data - odeslaná data byla přijata nFFs - vybrat FIFO
DCLK/CFIL/FFIT	DCLK - hodinový výstup bez FIFO CFIL - připojení externího kondenzátoru jako filtr FFIT - přerušení při naplnění paměti FIFO
CLK	hodinový výstup z oscilátoru modulu
nRES	reset modulu
GND	uzemnění

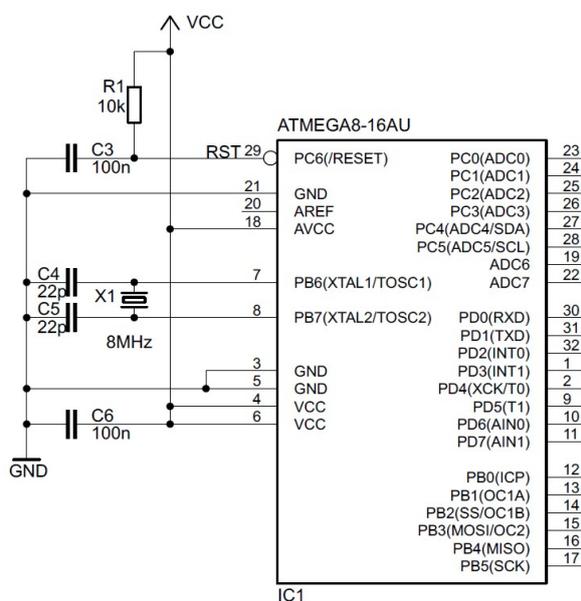
4.1.2 Mikro počítač

Řídicí mikro počítač je od firmy Atmel z rodiny ATmega, s typovým označením ATmega8L-AU. Tyto procesory jsou velmi rozšířené díky své rychlosti, rozšířené softwarové podpoře a multifunkčnosti. ATmega8 je jednočipový osmibitový počítač s architekturou RISC a pracovní frekvencí od 1 do 8 MHz. K ukládání nahraného programu slouží Flash

paměť s velikostí 8kB. Mikroprocesor obsahuje velký počet vnitřních obvodů, mezi kterými jsou čítače/časovače, A/D převodníky, rozhraní SPI a UART, několik kanálů pro PWM řízení, vývody pro externí krystal, watchdog a další. Mikroprocesor také obsahuje vnitřní RC oscilátor, který ale není tak přesný.

Tab. 4.3: Parametry mikroprocesoru ATmega8L-AU [10]

Napájecí napětí	2,7 - 5,5 V
Taktovací frekvence	0 – 8 MHz
Paměť EEPROM	512 byte
Paměť RAM	1 kB
Paměť Flash	8 kB
Rozhraní SPI	1
Rozhraní UART	1
PWM kanály	3
Pouzdro	TQFP32



Obr. 4.3: Návrh procesoru se základním zapojení [10]

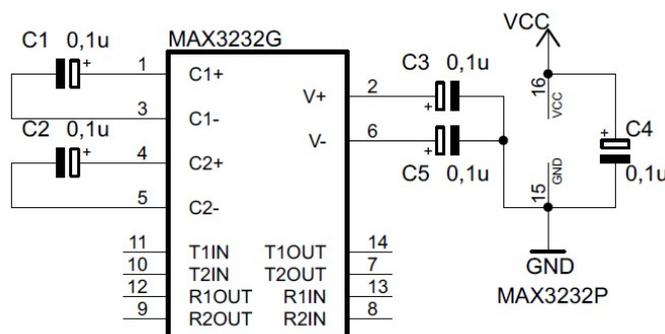
4.1.3 Periferie

K mikroprocesoru je potřeba připojit další obvody pro úpravu přijímaných a vysílaných signálů, napájení obvodů a změny napětíových úrovní.

MAX3232

U vysílače je použit převodník RS232 a TTL napětíových úrovní od firmy MAXIM s typovým označením MAX3232CSE. Je napájen napětím 3,3V, které má na straně mikroprocesoru, zatímco na straně sériové sběrnice je napětí větší. Toto napětí je vytvářeno

pomocí nábojové pumpy, výstupní napětí je ovlivněno kvalitou a kapacitou použitých kondenzátorů. Převodník je připojen k mikropočítači pomocí rozhraní UART, tedy dvěma signálovými vodiči Tx a Rx. Použití tohoto převodníku je výhodné, dokáže sám generovat i záporné napětí potřebné na RS232, odpadá tedy potřeba přivádět více napájecích napětí. Napájecí proud obvodu je 5mA a zvládá převádět data do rychlosti 120kb/s.



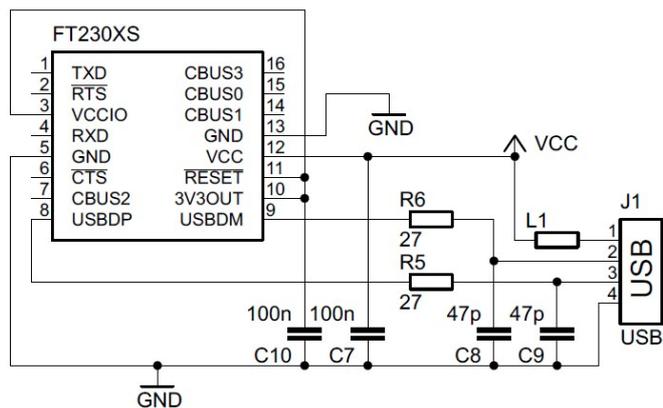
Obr. 4.4: Základní zapojení převodníku [9]

FT230

Na modulu přijímače je použit jiný převodník, který převádí signál z rozhraní UART na USB. Jde o obvod FT230XS od firmy FTDI Chip. Převodník je kompatibilní s USB 2.0 s rychlostí přenosu full-speed až 3Mb/s. Integrovaný obvod je napájen napětím 5V. Napěťové úrovně vstupů a výstupů jsou 3,3V, ale jsou tolerantní i pro napětí 5V. V pracovním režimu je udávaný odběr 8mA. K mikropočítači se také připojuje pomocí UART rozhraní jako MAX3232. Obvod obsahuje vnitřní vyrovnávací paměť a interní oscilátor. Také je v obvodu zabudovaný napěťový stabilizátor na 3,3V, s možností dodávat maximální výstupní proud 50mA. Tento napěťový zdroj nemůže být využit pro napájení celého obvodu, protože spotřeba mikropočítače a modulu by mohla být větší.

Přenos dat na straně USB je pomocí datových paketů v rámci s délkou 1ms. K vyrovnání rozdílů rychlosti mezi USB a UART stranou slouží vnitřní FIFO paměť.

Výrobce na svých stránkách zdarma poskytuje ovladače pro každý typ převodníku, ovladače jsou potřebné k rozpoznání připojeného převodníku. Vytvoří virtuální sériový port, přes který přijímáme potřebná data.



Obr. 4.5: Základní zapojení převodníku [8]

Pro obvody je třeba vytvořit napájecí napětí 3,3V, toto napětí zajišťuje integrovaný stabilizátor AP1117E33G od výrobce DIODES INC., který může mít výstupní proudové zatížení až 1A. Stabilizátor napájí všechny použité součástky.

Dále jsou použity signalizační LED diody, jedna informuje o připojení napájecího napětí. Další diody jsou stavové a jsou řízeny mikropočítačem, informují o běhu programu.

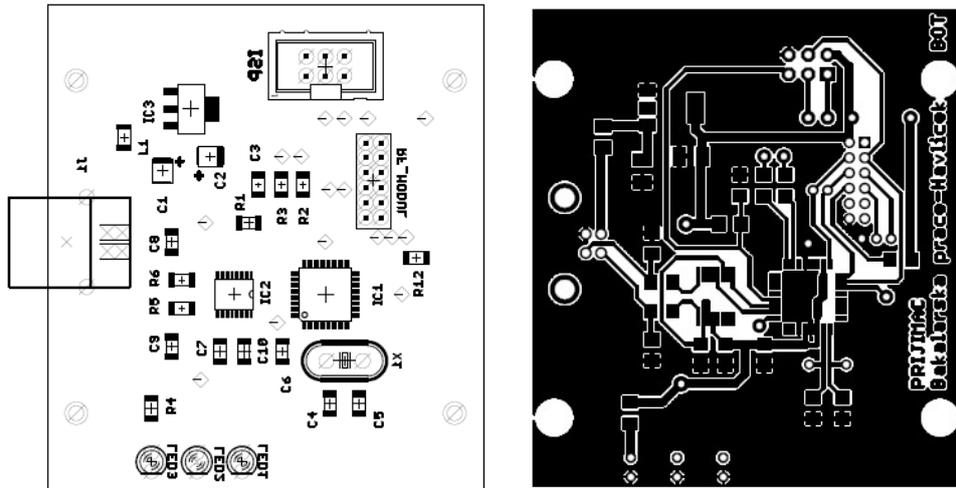
4.2 Zapojení

Zapojení pomocných součástek integrovaných obvodů vychází z datasheetu od výrobců. Kompletní schéma propojení mezi obvody a zapojení všech součástek je umístěno v příloze.

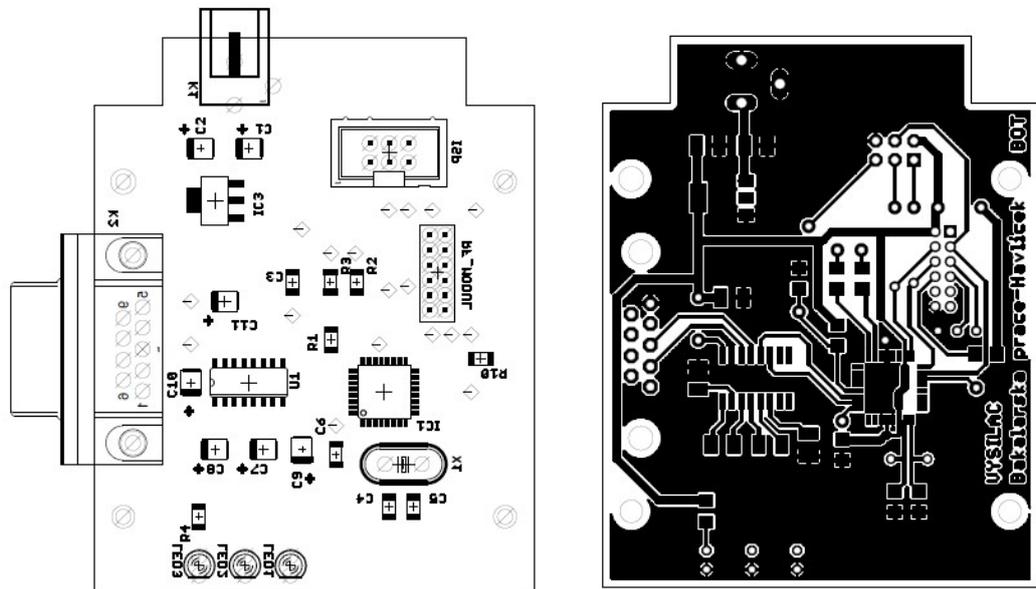
4.3 Deska plošných spojů

Cílem práce bylo moduly vyrobit. Výroba zahrnuje návrh desky plošných spojů, následné vyrobení desky a osazení součástkami.

Plošný spoj je realizován na jednostranné desce, na které jsou THT součástky osazeny z jedné strany a SMD součástky ze strany druhé. Při realizaci pomocí jednostranné desky se nevyhneme použití drátových propojek, které jsou umístěny na méně důležitých spojích. Signálové cesty jsou vedeny pouze na jedné straně, aby nevznikala nějaká možnost zpoždění signálů. Rozměry desky byly navrhovány s ohledem na předem vybrané pouzdro, ve kterém bude modul umístěn.



Obr. 4.6: Rozhraní USB – Rozmístění součástek (vlevo), Plošné spoje (vpravo)



Obr. 4.7: Rozhraní RS232 – Rozmístění součástek (vlevo), Plošné spoje (vpravo)

5 Obslužný program

Obslužný program má za úkol řídit mikropočítač ATmega, který pracuje na frekvenci 8MHz. Mikropočítač přijímá data, buď SPI rozhraní od modulu, nebo přes UART rozhraní od převodníku a posílá je po druhém rozhraní. Také má za úkol správné nastavení komunikačních rozhraní. Zajišťuje inicializaci modulu a řízení dat pro modul.

Program pro mikropočítač je psán ve vývojovém prostředí AVR Studio, v programovém jazyce C.

5.1 Komunikace bezdrátového modulu

Na začátku komunikace je zapotřebí inicializovat RF modul, aby pracoval správně. Pro nastavení modulu slouží konfigurační registry o délce 16 bitů, v kterých se nastavují všechny potřebné parametry. Zde jsou popsány jednotlivé registry, pro nastavování a dopočítávání potřebných hodnot byla využita online kalkulačka pro RFM12B [5].

Konfigurační nastavení

1	0	0	0	0	0	0	0	E1	EF	B1	B0	X3	X2	X1	X0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Pomocí bitu EF se povoluje paměť FIFO. Nastavení základní frekvence se provádí pomocí kombinace bitů B0 a B1. Tato frekvence musí souhlasit s frekvencí uvedenou výrobcem, modul nelze nastavit na jinou. Bity X0 až X3 se nastavuje zatěžovací kapacita krystalového resonátoru.

Použité nastavení – 1000 0000 1101 0111 = 0x80D7

Správa napájení

1	0	0	0	0	0	1	0	ER	EBB	ET	ES	EX	EB	EW	DC
---	---	---	---	---	---	---	---	----	-----	----	----	----	----	----	----

Těmito bity se nastavují režimy modulu a další funkce. ER je bit pro nastavení přijímače a ET pro nastavení vysílače. Další bity povolují funkce jako: EX krystalový oscilátor, Eb detekce nízkého napětí, EW wake-up časovač.

Nastavení vysílače – 1000 0010 0011 1001 = 0x8239

Vypnutí vysílače – 1000 0010 0000 0001 = 0x8201

Nastavení přijímače – 1000 0010 1001 1001 = 0x8299

Vypnutí přijímače – 1000 0010 0001 1001 = 0x8219

Nastavení frekvence

1	0	1	0	F11	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0
---	---	---	---	-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Zde se nastavuje přesná hodnota frekvence, na bity se dosazuje binární hodnota dopočítaná podle vzorce: $f = 860 + F \cdot 0,005$ [MHz]. Tato dvanácti bitová hodnota by měla být v rozsahu od 96 do 3903. Frekvenci lze nastavit od minimální hodnoty 860,48 MHz do maximální hodnoty 879,515 MHz s krokem po 5 kHz.

Použité nastavení – 1010 0100 1011 0000 = 0xA4B0

Rychlost přenosu dat

1	1	0	0	0	1	1	0	CS	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

V bitech R0 až R6 je nastavena binární hodnota přenosové rychlosti v kbit/s. Bitem CS se nastavuje dělení vypočítané rychlosti osmi. Přenosová rychlost se nastavuje v rozmezí 600 bps až 115,2 kbps. Hodnota bitů R se vypočítá pomocí vzorce $R = (10000 / 29 / (1 + cs \cdot 7) / BR) - 1$, kde BR představuje požadovanou hodnotu přenosové rychlosti v kbps.

Použité nastavení – 1100 0110 0010 0100 = 0xC624

Datový filtr

1	1	0	0	0	0	1	0	AL	ML	1	S	1	F2	F1	F0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---	---	---	----	----	----

Nastavením bitu AL povolujeme automatické obnovování frekvence. ML řídí rychlost obnovení. Pomocí S vybíráme typ použitého filtru, lze vybírat mezi digitálním a analogovým, v případě, že vybereme analogový filtr, nelze použít paměť FIFO.

Použité nastavení – 1100 0010 1010 1100 – 0xC2AC

Nastavení FIFO paměti

1	1	0	0	1	0	1	0	F3	F2	F1	F0	SP	AL	FF	DR
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

F0 až F3 slouží pro nastavení počtu bytů pro paměť FIFO. Pozice SP nastavuje počet synchronizačních bitů. Pomocí bitů AL a FF se řídí plnění paměti.

Použité nastavení – 1100 1010 1000 0011 – 0xCA83

Synchronizační byte

1	1	0	0	1	1	1	0	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Zde se nastavuje bytové slovo, podle kterého se modul v průběhu programu

synchronizuje. Synchronizační slovo je nastaveno na 2DD4. Tímto registrem lze původní synchronizační slovo přednastavit. Tento registr nebyl použit.

Automatické řízení kmitočtu

1	1	0	0	0	1	0	0	A1	A0	RL1	RL0	ST	FI	OE	EN
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	-----	-----	----	----	----	----

Konfiguračními bity A0 a A1 se nastavuje offset AFC obvodu. Dalšími bity R0 a R1 se udává odchylka kmitočtu. Ostatními bity na nastavují parametry AFC obvodu, jako jsou přesnost výpočtu, povolení offsetu.

Použité nastavení – 1100 0100 0100 0011 – 0xC443

Nastavení vysílače

1	0	0	1	1	0	0	MP	M3	M2	M1	M0	0	P2	P1	P0
---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	---	----	----	----

MP udává, zda je fázový posun záporný či kladný. Hodnota kmitočtového posunu FSK modulace se nastavuje v bitech M3 až M0. Výstupní výkon modulu se nastavuje v bitech P2 až P0, lze jej měnit v rozmezí od 0dB do -21dB.

Použité nastavení – 1001 1000 0101 0000 – 0x9850

Nastavení přijímače

1	0	0	1	0	P16	D1	D0	I2	I1	I0	G1	G0	R2	R1	R0
---	---	---	---	---	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

V tomto registru se nastavují parametry přijímače. Pomocí P16 nastavujeme pin modulu, vybíráme mezi nINT a VDI. D0 a D1 řídí rychlost odezvy pinu, když je nastaven na VDI. Šířku přijímaného pásma nastavujeme kombinací I2, I1 a I0. Pásmo se nastavuje v hodnotách od 67kHz do 400kHz. Bity označenými jako G se nastavuje zesílení signálu na vnitřním LNA zesilovači a bity R určují minimální úroveň přijímaného signálu.

Použité nastavení – 1001 0100 1010 0000 – 0x94A0

Smyčka PPL

1	1	0	0	1	1	0	0	0	OB1	OB0	1	DDY	DDIT	1	BW0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	-----	---	-----	------	---	-----

OB1 a OB0 nastavuje pracovní frekvenci řídicího procesoru na modulu. Lze nastavit tři rozsahy, menší než 2,5 MHz, 3,3 MHz a od 5 do 10 MHz.

Wake-Up časovač

1	1	1	R4	R3	R2	R1	R0	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	M0
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Zde nastavujeme hodnotu času, kdy bude modul střídat módy s nízkou spotřebou a normální pracovní stav.

Snížený pracovní cyklus

1	1	0	0	1	0	0	R0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	EN
---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tímto registrem lze nastavit pracovní cyklus se sníženou spotřebou.

Detekce nízkého napětí

1	1	0	0	0	0	0	0	D2	D1	D0	0	V3	V2	V1	V0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	---	----	----	----	----

V bitech D0 až D3 se nastavuje hodnota minimálního napájecího napětí.

Odesílání dat

1	0	1	1	1	0	0	0	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	T0
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

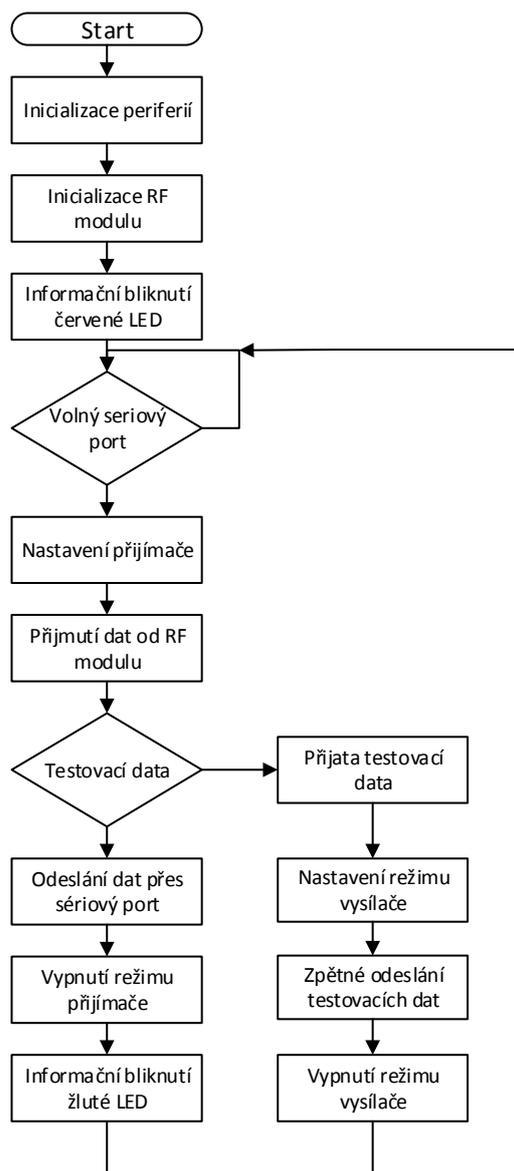
Tento registr slouží pro odesílání dat. První byte s hodnotou B8 slouží jako hlavičkový. Druhý byte v registru, označený písmenem T, jsou data, která modul zpracuje a odešle.

5.2 Hlavní obslužný program

Po startu mikropočítače, který je zajištěn připojením napájecího napětí, se rozběhne program, nejdříve inicializuje komunikační rozhraní. Při nastavování UART je potřeba nastavit správnou přenosovou rychlost. Další nastavení je pro port, na kterém jsou připojeny indikační LED diody. Následuje inicializace RFM modulu dříve popsány konfiguračními registry.

Pro komunikaci mikropočítače s RFM modulem je využita softwarová SPI sběrnice.

Její hlavním úkolem je reagovat na příchozí data po sériové lince nebo USB a odesílat je přes modul. Proto je program modulu řešen tím způsobem, že moduly se po startu a inicializaci dostanou do režimu přijímače, kde čekají na případná příchozí data od modulu.



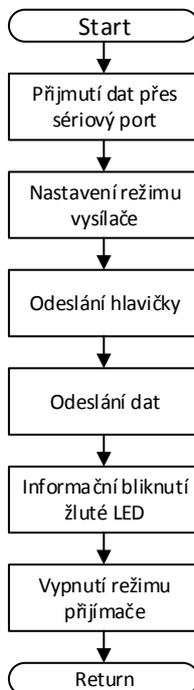
Obr. 5.1: Vývojový diagram hlavní smyčky programu

5.2.1 Režim vysílače

V případě přijmutí dat přes sériovou linku se spustí přerušení mikropočítače. Toto přerušení ukončí režim přijímače a nastaví modul jako vysílač.

Vždy když začíná komunikace mezi moduly, je potřeba nejdříve odeslat synchronizační a adresová data. Synchronizační byte je 0xAA, ve znaku „A“ se pravidelně střídá logická jednička a logická nula v každém bitu. Tento byte se odešle třikrát. Následují dva adresovací byty s hodnotou 0x2D a 0xD4. Po tomto úvodním bloku je možné odesílat data, ve formě jednoho bytu.

Data jsou odesílána pomocí registru, jehož první byte má hexadecimální hodnotu B8, druhý byte v tomto slově je odeslán modulem. Když modul kompletně odešle data, signalizuje to pomocí změny stavu pinu nIRQ na nízkou úroveň. Odesílání probíhá v pořadí od MSB (bit 15) do LSB (bit 0).



Obr. 5.2: Vývojový diagram přerušení od sériového portu

5.2.2 Režim přijímače

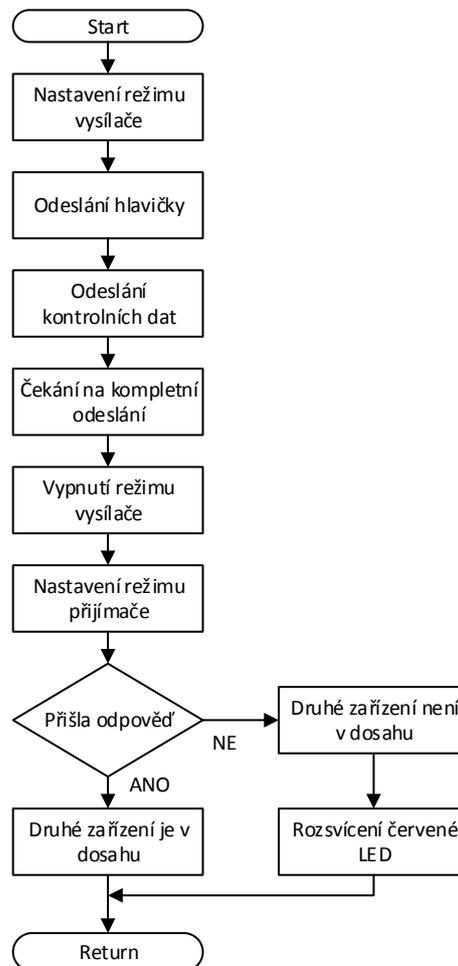
Režim přijímače je nastaven v hlavní nekonečné smyčce programu, v tomto režimu mikropočítač čeká na příchozí data od bezdrátového modulu. V případě obdržení dat jsou mikropočítačem odeslána přes UART sběrnici do převodníku. Kompletní odeslání je signalizováno informačním bliknutím LED diody. Vývojový diagram přijímacího režimu je zobrazen ve vývojovém diagramu hlavní smyčky.

5.2.3 Test dosahu

Tato část programu je řízena od přerušení časovače. Při tomto přerušení se spustí část kódu, který nastaví první zařízení do režimu vysílače a odešle kontrolní data. Poté se přepne zpět na přijímač. Když se nevrátí kontrolní data zpět od druhého zařízení, vyhodnotí modul, že druhé zařízení buď není aktivní, nebo je mimo dosah vysílacího zařízení. V tomto případě

se rozsvítí červená dioda. Tato dioda zhasne při obnovení komunikace z druhého modulu, nebo při opakovaném testu s kladnou odpovědí.

Druhé zařízení přijímá data v hlavní provozní smyčce, při přijetí kontrolních dat od modulu, který odesílá kontrolní požadavek, se změní režim na vysílač a odešle kontrolní data zpět.



Obr. 5.3: Vývojový diagram přerušení od časovače

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo sestavit moduly pro bezdrátové spojení sériové linky pro přenos dat. Pro realizaci byly vybrány bezdrátové moduly RFM12B od firmy Hope, pro řízení byly zvoleny mikropočítače z rodiny ATmega8 od firmy Atmel. Rádiový přenos je realizován v pásmu ISM na méně zatížené frekvenci 868MHz.

Práce je rozdělena na tři hlavní části. První část práce je teoretická, popisuje se v ní problematika rozdělení frekvenčního pásma. Dále jsou zde vysvětleny způsoby připojování zařízení na sběrnice.

Druhá část obsahuje popis hardwarových částí, jejich funkce a zapojení. V této části je návrh plošného spoje. Navržené zařízení bylo zrealizováno a umístěno do krabičky.

Poslední část je zaměřena na softwarovou část a obslužný program mikropočítače. Program je popsán vývojovými diagramy, které zobrazují jednotlivé kroky programu.

Hlavní cíl zadání byl dosažen, zařízení je funkční a pracuje v obousměrném provozu sériové linky. Do obslužného programu se podařilo zabudovat funkci pro zjišťování toho, zda je v dosahu druhý modul a zda je možné s ním komunikovat. Nejdůležitější částí jednotlivých obvodů je jejich programové vybavení, které se dá nazvat srdcem celého systému.

Dalšími náměty práce by mohlo být vypínání napájení modulu v době, kdy RF modul nevysílá, nebo když je druhý modul nedostupný. Tím by bylo možné snížit spotřebu modulů v době jejich nečinnosti a uvést je do režimu spánku.

Hardwarové řešení jednotek lze vylepšit použitím bezdrátových modulů s vyšším vysílacím výkonem, tím by narostl dosah.

Použitá literatura

- [1] MATOUŠEK, David. USB prakticky. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 270 s. ISBN 80-730-0103-9.
- [2] Datasheet RFM12B. [online]. [cit. 2014-03-12].
Dostupné z: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM12B.pdf>
- [3] SPI sběrnice. [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z:
<http://svetelektro.com/clanky/programujeme-avr-v-jazyku-c-9-cast-528.html>
- [4] UART sběrnice. [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z:
<http://svetelektro.com/clanky/programujeme-avr-v-jazyku-c-8-cast-511.html>
- [5] Kalkulačka pro RFM12B. [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z:
<http://tools.jeelabs.org/rfm12b.html>
- [6] Kmitočtová tabulka - ČTÚ. [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z:
http://www.ctu.cz/cs/download/kmitoctova_tabulka/vyhlasaka_105-2010_sb038-10.pdf
- [7] Využití rádiového spektra v ČR. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z:
<http://www.radiospektrum.cz/cze/uvod.html>
- [8] Datasheet FT230XS. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z:
http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf
- [9] Datasheet MAX3232. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z:
<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>
- [10] Datasheet ATmega8. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf

Seznam symbolů

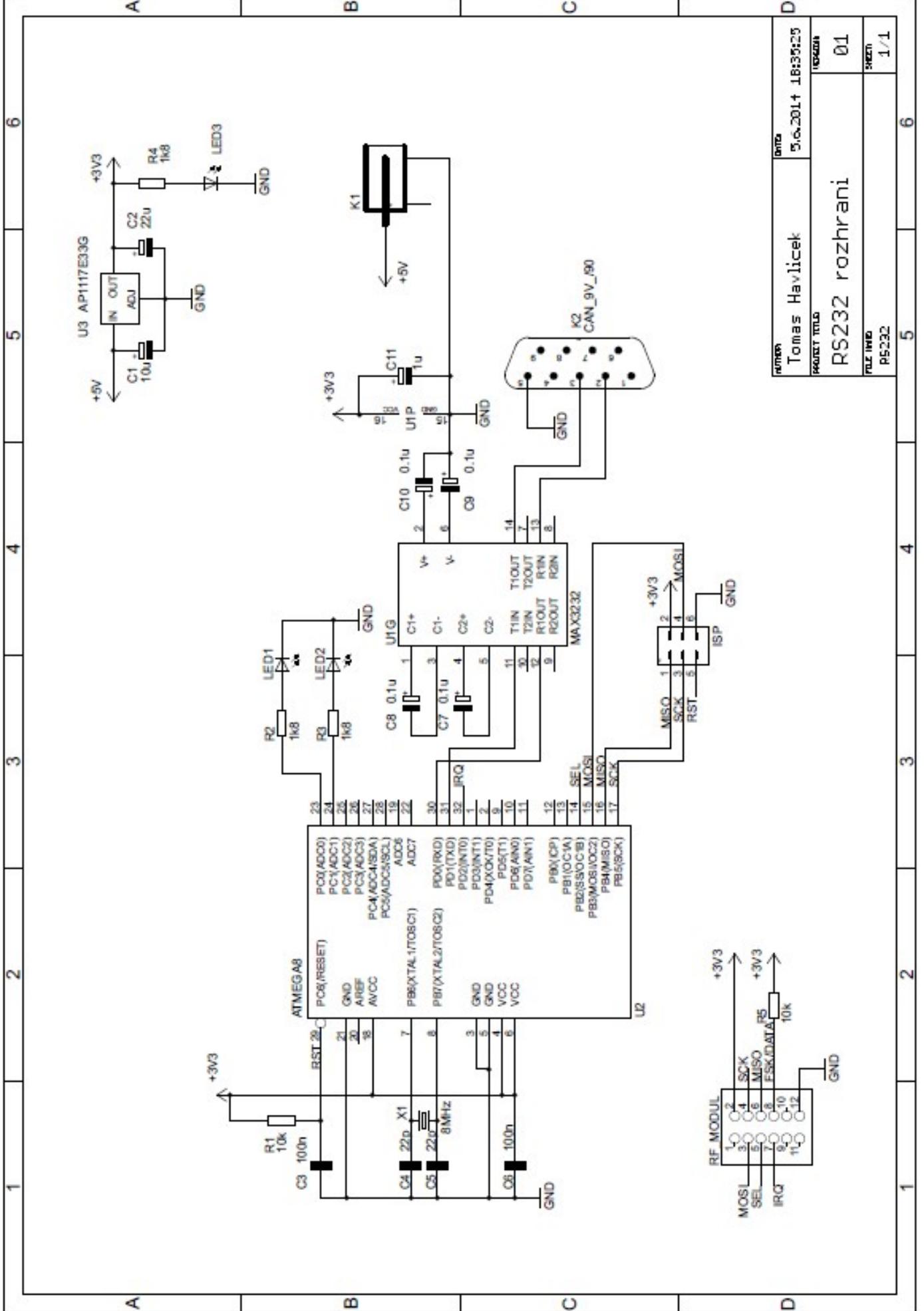
CS	- Chip select
ČTÚ	- Český Telekomunikační Úřad
FIFO	- First In, First Out memory
FSK	- Frequency-shift keying
GND	- Ground
GPIO	- General Purpose Interference Bus
I2C	- Inter-Integrated Circuit
ISM	- Industrial, scientific and medical
ISP	- In System Programming
LED	- Light-Emitting Diode
LSB	- Least Significant Bit
MSB	- Most Significant Bit
MISO	- Master Input, Slave Output
MOSI	- Master Output Slave Input
RFM	- Radio Frequency Module
RS232	- Recommended Standard 232
Rx	- Receive
SCK	- Serial clock
SMD	- Surface mount device
SPI	- Serial Peripheral Interface
THT	- Through-hole technology
TTL	- Transistor-transistor logic
Tx	- Transmit
UART	- Universal asynchronous receiver and transmitter
USB	- Universal serial Bus

Seznam příloh

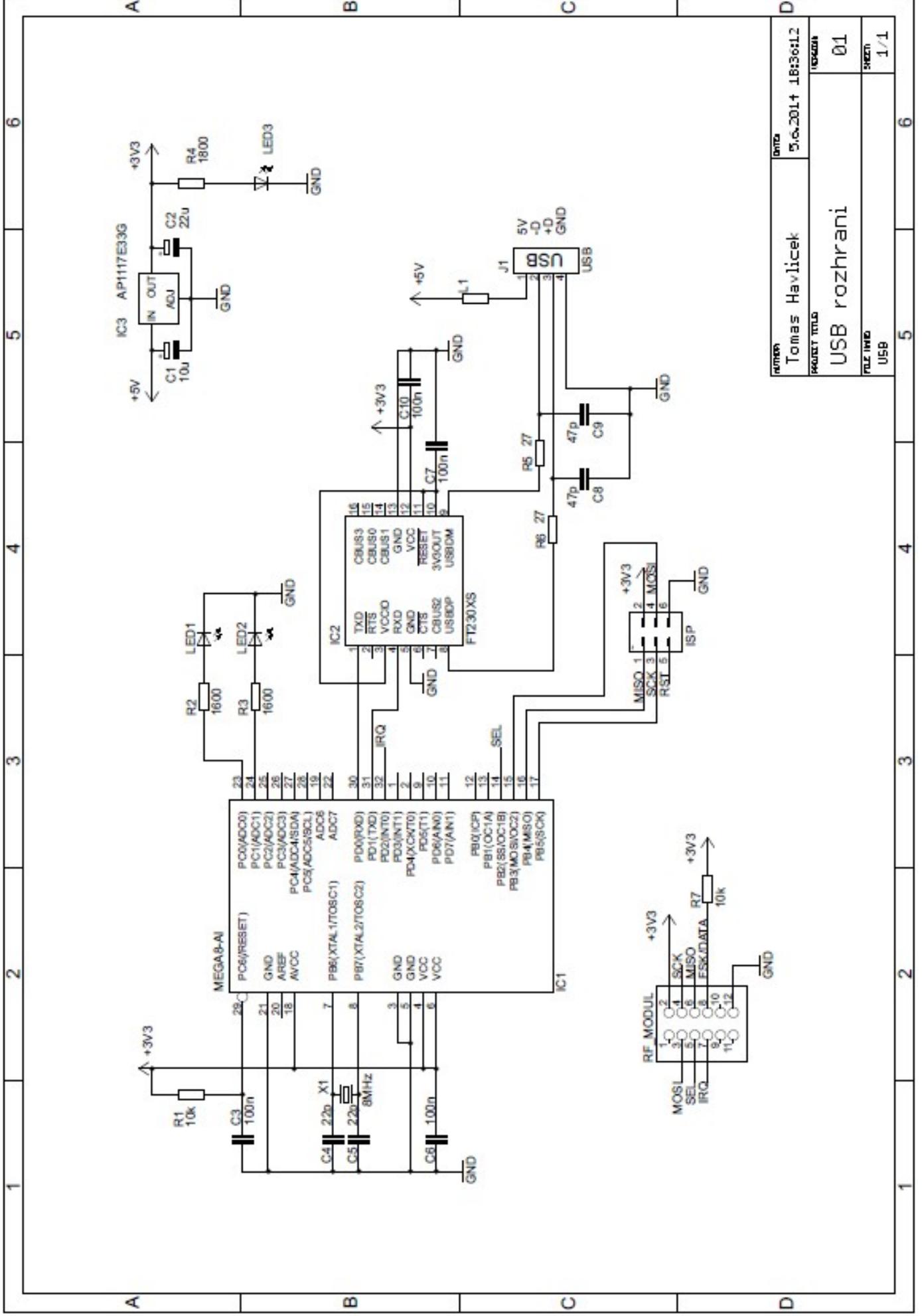
Příloha č. 1: Schéma zapojení RS232 rozhraní

Příloha č. 2: Schéma zapojení USB rozhraní

Příloha č. 3: Seznam součástí



NUMER	01	DATA	5.6.2014 18:35:25
PROJEKT TITUL	RS232 rozhrani		
PLN INHO	RS232	STRAN	1/1



AUTORS	Tomáš Havlíček	DATA	5.6.2014 18:56:12
PROJEKT TITUL	USB rozhraní	VERZE	01
PLZ NÁZEV	USB	STRANA	1/1

Použité součástky

Rozhraní RS232:

Označení	Hodnota	Pouzdro	Počet	Popis
LED1, LED2, LED3		LED 3mm	3	nízkopříkonová LED
ISP		MLW06	1	konektor vidlice
RF MODUL		PINHEAD 2x6	1	konektor zdičky
K1		HEB 2,1mm	1	napájecí konektor
K2		CANON9	1	konektor vidlice
C1	10uF/35V	B	1	SMD tantalový kondenzátor
C2	22uF/35V	B	1	SMD tantalový kondenzátor
C7, C8, C9, C10, C11	0,1uF/35V	B	5	SMD tantalový kondenzátor
C3, C6	100nF	1206	2	SMD kondenzátor
C4, C5	22pF	1206	2	SMD kondenzátor
R1, R5	10kΩ	1206	2	SMD resistor
R2, R3, R4	1,8kΩ	1206	3	SMD resistor
X1	8MHz	HC49/U3H	1	krystal
U1	AP1117E33G	SOT223	1	napěťový regulátor
U2	ATmega8L	TQFP32	1	mikro počítač
U3	MAX3232	SO16	1	převodník logických úrovní

Rozhraní USB:

Označení	Hodnota	Pouzdro	Počet	Popis
LED1, LED2, LED3		LED 3mm	3	nízkopříkonová LED
ISP		MLW06	1	konektor vidlice
RF MODUL		PINHEAD 2x6	1	konektor zdičky
USB		USB-B	1	konektor typ B
C1	10uF/35V	B	1	SMD tantalový kondenzátor
C2	22uF/35V	B	1	SMD tantalový kondenzátor
C3, C6, C7, C10	100nF	1206	4	SMD kondenzátor
C4, C5	22pF	1206	2	SMD kondenzátor
C8, C9	47pF	1206	2	SMD kondenzátor
L1	100nH	805	1	SMD tlumivka
R1, R7	10kΩ	1206	2	SMD resistor
R2, R3, R4	1,8kΩ	1206	3	SMD resistor
R5, R6	27Ω	1206	2	SMD resistor
X1	8MHz	HC49/U3H	1	krystal
U1	AP1117E33G	SOT223	1	napěťový regulátor
U2	ATmega8L	TQFP32	1	mikro počítač
U3	FT230XS	SSOP16	1	převodník logických úrovní