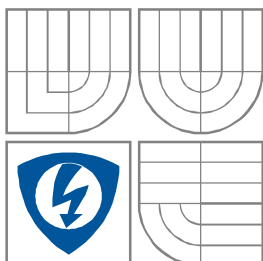


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO LETECKÉ MODELY

THE MONITORING DEVICE FOR AIRCRAFT MODELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S PROJECT

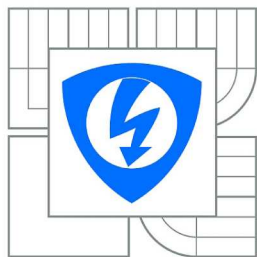
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Belloň

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Václav Růžek

BRNO, 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Michal Belloň

ID: 119355

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Monitorovací zařízení pro letecké modely

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte zařízení umožňující měření a přenos vybraných veličin pro potřeby leteckých modelářů. Navrhovaný systém musí umožňovat měření napětí na bateriích, výšku a rychlost letu, náklon modelu. Veškeré měřené údaje budou z modelu bezdrátově předávány do pozemní přijímací jednotky, která získaná data zobrazí na LCD displeji.

Postudujte možnosti měření uvedených veličin. Vyberte vhodný 8-bitový mikrokontrolér a bezdrátové rozhraní umožňující přenos dat. Navrhněte koncepci zařízení.

Realizujte navržené zařízení. Vytvořte řídicí program v jazyce C, tento odlaďte a zařízení uveďte do chodu. Ověřte správnou funkci zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, B. C pro mikrokontroléry, Praha: BEN - technická literatura, 2003

[2] FRÝZA, T. Mikroprocesorová technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Václav Růžek

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Česky:

Tato práce je zaměřena na bezdrátový přenos dat z leteckého modelu k modeláři během letu, která se budou zobrazovat na LCD displeji umístěném v blízkosti ovládání modelu. Práce obsahuje teoretický návrh zařízení, výběr vhodných součástek, schéma zapojení, návrh plošného spoje a fotografie realizovaného zařízení.

English:

This projekt is focused on wireless transfer of informations from air model to modeller during the flight. These informations will be displayed on LCD placed near controller of model. Project includes theoretical design of device, choosing suitable components, circuit diagram, PCB and photos of realized device.

Klíčová slova

Česky:

telemetrie, bezdrátový přenos dat, letecké modely, monitorovací zařízení

English:

telemetry, wireless data transfer, aircraft models, monitoring devices

Bibliografická citace

BELLOŇ, M. Monitorovací zařízení pro letecké modely. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Václav Růžek

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Monitorovací zařízení pro letecké modely“ 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 bakalářské práce na uvedené téma 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 25. 5. 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Růžkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2011

.....
podpis autora

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	7
1. Úvod	8
2. Telemetrie.....	8
3. Způsoby měření vybraných veličin	9
3.1. Měření výšky	9
3.1.1. Měření výšky pomocí barometru.....	9
3.1.2. Měření výšky pomocí radaru.....	9
3.1.3. GPS.....	10
3.1.4. Princip GPS	10
3.2. Měření náklonu a zrychlení letadla	11
3.2.1. Gyroskop	11
3.2.2. Akcelerometr	12
3.3. Měření rychlosti.....	12
3.3.1. Pitotova trubice.....	13
3.3.2. Radar.....	13
4. Přehled a výběr součástek.....	14
4.1. Volba způsobu měření veličin pro telemetrii	14
4.2. Přehled součástek na trhu.....	14
4.2.1. GPS moduly	14
4.2.2. Akcelerometry.....	15
4.2.3. Mikrokontroléry	15
4.2.4. Grafické a znakové LCD displeje	16
4.2.5. Vf moduly - vysílače 868MHz.....	16
4.2.6. Vf moduly - přijímače 868MHz	17
5. Návrh vlastního řešení	17
5.1. Bloková schémata zařízení	17
5.1.1. Vysílací jednotka.....	17
5.1.2. Přijímací jednotka	18
5.2. Popis hardwarových částí vysílací jednotky.....	18
5.2.1. Napájecí část.....	18
5.2.2. GPS modul	19
5.2.3. Vysílací modul 868MHz	19
5.2.4. Tříosý akcelerometr	20
5.2.5. Řídící procesor vysílací jednotky	20
5.3. Popis hardwarových částí přijímací jednotky	20
5.3.1. Přijímač 868MHz	20
5.3.2. LCD displej	21

5.3.3. Řídící procesor přijímací jednotky	21
5.3.4. Napájecí část přijímací jednotky	22
5.4. Použité protokoly a rozhraní	22
5.4.1. Protokol NMEA0183	22
5.4.2. Rozhraní UART	24
5.4.3. Rozhraní SPI	24
5.5. Software vysílací jednotky	25
5.5.1. Základní struktura a vývojový diagram programu	25
5.5.2. Dekódování a zpracování NMEA zpráv z GPS přijímače	26
5.5.3. Zpracování dat akcelerometru a napětí baterie	29
5.5.4. Uspořádání naměřených dat do paketu	30
5.5.5. Komunikace s vf modulem po SPI a odeslání dat	31
5.6. Software přijímací jednotky	32
5.6.1. Základní struktura a vývojový diagram programu přijímací jednotky	32
5.6.2. Příjem dat vf modulem	33
5.6.3. Zpracování a roztřídění přijatých dat	34
5.6.4. Zobrazení přijatých dat na LCD displeji	34
5.7. Plošný spoj a konstrukce vysílací jednotky	36
5.8. Plošný spoj a konstrukce přijímací jednotky	38
5.9. Celkové parametry a funkce zařízení	39
5.10. Stručný popis prostředí AVR studio + WinAVR	39
6. Závěr	40
7. Použitá literatura	41
8. Přílohy	42
Seznam příloh	42

Seznam obrázků

Obr. 1.	Fotografie přijímací jednotky monitoru leteckých modelů.....	8
Obr. 2.	Ukázka výškoměru letadla , převzato z [2]	9
Obr. 3.	GPS družice, převzato z [3].....	10
Obr. 4.	Umělý horizont v letadle, převzato z [13].....	11
Obr. 5.	Vznik Coriolisovy síly.....	11
Obr. 6.	– Příklad akcelerometru na zkušební desce, převzato z [14]	12
Obr. 7.	Příklad Pitotovy trubice, převzato z [7].....	13
Obr. 8.	Fotografie některých součástek použitých v zařízení.....	14
Obr. 9.	Blokové schéma vysílací jednotky	17
Obr. 10.	Blokové schéma přijímací jednotky	18
Obr. 11.	Schéma napájecí části.....	18
Obr. 12.	GPS modul GPS02, převzato z [8].....	19
Obr. 13.	– Modul RFM12B.....	19
Obr. 14.	Připájené drátky k akcelerometru MMA7341.....	20
Obr. 15.	Displej MC1604B - SYL	21
Obr. 16.	Popis pinů procesoru ATmega16, převzato z [15].....	21
Obr. 17.	Datový rámec rozhraní RS232, převzato z [15].....	24
Obr. 18.	- Příklad SPI komunikace u vf modulu, převzato z [16]	24
Obr. 19.	– Vývojový diagram programu vysílací jednotky.....	25
Obr. 20.	Vývojový diagram programu přijímací jednotky	32
Obr. 21.	Plošný spoj s GPS modulem a připevněnou anténou	36
Obr. 22.	Fotografie zkušebního plošného spoje vysílací jednotky a plošného spoje GPS modulu	37
Obr. 23.	Fotografie konečného plošného spoje vysílací jednotky ještě s nezapájenými součástkami	37
Obr. 24.	Fotografie přijímací jednotky zabudované v krabici	38
Obr. 25.	Fotografie uspořádání přijímací jednotky uvnitř krabice.....	38

Seznam tabulek

Tab.1.	Přehled některých GPS modulů na trhu	14
Tab.2.	Přehled některých akcelerometrů na trhu	15
Tab.3.	Parametry některých mikrokontrolérů na trhu	15
Tab.4.	Parametry některých prodávaných LCD displejů	16
Tab.5.	Přehled některých prodávaných vysílacích a obousměrných vf modulů	16
Tab.6.	Přehled některých prodávaných přijímacích a obousměrných vf modulů.....	17
Tab.7.	Formát výstupního pole dat	30
Tab.8.	Formát datového paketu	30
Tab.9.	Rozmístění naměřených údajů na displeji	34

1. Úvod

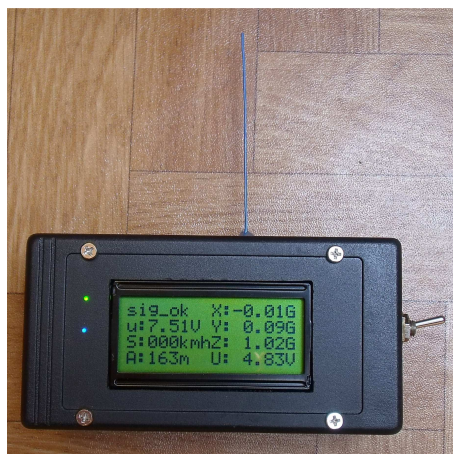
Letecké modelářství se začalo v České republice rozvíjet už od 60. let 20. století, kdy vznikaly první plastikové modely. Protože byla snaha, aby tyto modely mohly létat jako skutečná letadla, začaly se osazovat vrtulí, poháněnou nataženou gumou. Tyto modely ale daleko nedoletěly a navíc nebyla možnost je jakkoli za letu ovládat. S rozvojem radiové techniky a elektroniky se začaly vyrábět dálkově ovládané modely, které už mohly být řízeny za letu a letecké modelářství se stávalo čím dál víc oblíbené.

Při ovládání modelu musí modelář znát alespoň jeho polohu vůči vodorovné rovině, dále rychlost letadla, výšku a také stav akumulátoru. Tyto údaje, kromě stavu akumulátoru, se dají přibližně zjistit i při sledování modelu pouhým okem. Jestliže je ale chceme znát přesněji, např. pro zkoumání chování modelu, při velké vzdálenosti modeláře od modelu nebo jen tak pro zajímavost, je potřeba tyto data během letu nějak přenášet k modeláři a na toto téma je právě zaměřena tato práce.

2. Telemetrie

Telemetrií se nazývá dálkový přenos naměřených dat na velkou vzdálenost. Přenos bývá nejčastěji bezdrátový. Tato technologie se využívá třeba u kosmických družic nebo u závodních aut. V tomto případě je telemetrie využita k přenosu dat z leteckého modelu k pilotovi (modelář). Při řízení letadla potřebuje mít pilot alespoň základní informace o stavu letadla. Mezi ně patří určité výška, náklon, rychlost a případně stav baterie nebo otáčky motoru. Tyto informace je potřeba posílat v reálném čase pilotovi a zobrazovat je na displeji přímo vedle ovládání, aby podle nich mohl provést korekturu letu.

Na trhu již existují podobná zařízení, např. od výrobce HITEC HTS-SS nebo AFHSS, dále pak od výrobce SPEKTRUM-ASTRA telemetrie. Tyto moduly umožňují telemetrický přenos dat z modelu k uživateli v pásmu 2,4GHz. Moduly jsou konstruovány jako jakési ústředny, do kterých se připojují snímače konkrétní veličiny. Nejčastěji se přenáší údaje o teplotě motoru, jeho otáčkách, stavu paliva, ale také je možné připojit k této ústředně GPS modul a měřit výšku, rychlost, polohu v souřadnicích atd. Přenos je v pásmu 2,4GHz a dosah bývá dostatečný, kdy ještě uživatel vidí svůj model (cca 100-200m). Cena těchto ústředí je různá a pohybuje se od 600 - 3000,-Kč, v závislosti na výrobci a na počtu a druhu snímačů. Telemetrické zařízení na které je zaměřena tato práce by mělo umožňovat měřit výšku, rychlost, naklonění letadla a stav akumulátorů modelu. K měření těchto veličin bylo potřeba vybrat vhodný způsob a vhodná čidla.



Obr. 1. Fotografie přijímací jednotky monitoru leteckých modelů

3. Způsoby měření vybraných veličin

3.1. Měření výšky

K měření výšky se dají v podstatě použít 3 způsoby:

- barometr
- radar
- GPS

3.1.1. Měření výšky pomocí barometru

Při použití barometru se využívá toho, že tlak vzduchu je v různých výškách jiný. Tlak získaný z barometru se na jednotky výšky přepočítává pomocí matematického modelu standardní atmosféry. Nevýhodou této metody je, že atmosferický tlak se mění podle počasí a je také závislý na nadmořské výšce. Proto se tento typ výškoměru musí vždy před použitím zkalibrovat na aktuální tlak nebo nadmořskou výšku. V letectví se používají různé referenční úrovně tlaku.

Základní úroveň je tzv. QNH. Hodnota atm. tlaku na určitém místě přepočteného na hladinu moře. Výškoměr tedy ukazuje výšku nad hladinou moře a na letišti ukazuje výšku letiště nad hladinou moře. Někdy se místo QNH používá nastavení QFE úrovně, což je hodnota atm. tlaku na letišti. Potom je tedy zobrazována výška nad tímto letištěm. Při letu letadla na velké vzdálenosti je v různých oblastech různý tlak, a vznikl by požadavek nepřetržité kalibrace výškoměru v závislosti na poloze. Proto se od jisté výšky používá standardní nastavení výškoměru na tlak 1013,25hPa, přestože je skutečný tlak jiný. Výškoměr potom nezobrazuje skutečnou hodnotu výšky, ale tzv. letovou hladinu. Výška se z atm. tlaku dá přepočítat pomocí Laplaceova barometrického vzorce.



Obr. 2. Ukázka výškoměru letadla , převzato z [2]

3.1.2. Měření výšky pomocí radaru

Dalším způsobem jak měřit výšku je pomocí radaru. Radar pracuje na principu odrazu vyslaného signálu od překážky a měřením doby, za kterou se tento signál odrazí zpět do přijímací antény. Na základě této doby se pak vypočítá vzdálenost země od radaru. Tato vzdálenost odpovídá výšce letadla nad zemí. Přesnost této metody je mnohem větší než u barometrického výškoměru. V letadlech se radarový výškoměr někdy používá jako doplňkový k barometrickému, při nízkém letu nad zemí.

3.1.3. GPS

GPS - Global position system je vojenský globální družicový polohový systém, pomocí něhož je možné určit polohu a přesný čas kdekoli na Zemi. Přesnost tohoto systému je v řádu jednotek metrů a provozuje ho ministerstvo obrany USA.

Popis kosmické části GPS: Kolem Země obíhá 24 družic ve výšce 20200km na 6 kruhových drahách se sklonem 55°. Tyto dráhy jsou vzájemně posunuty o cca 60° a na každé z nich obíhá 5 až 6 nepravidelně rozmístěných družic. Na každé z těchto družic jsou troje nebo čtyři cesiové atomové hodiny s přesností miliardtin sekundy, 12 antén pro vysílání kódů v pásmu 1000-2000MHz(L-pásmo), antény pro komunikaci s pozemními stanicemi v pásmu 2200MHz(S-pásmo), antény pro vzájemnou komunikaci družic, dále optické, rentgenové, pulsní elektromag. detektory a solární panely s bateriemi.

Počet viditelných družic v ČR je nejčastěji 8. Maximální teoretický počet viditelných družic je 12. Minimální i maximální počet viditelných družic vychází z polohy jednotlivých družic nad Zemí a z dosahu jejich signálů v oblasti ČR. Družice jsou v průběhu roku několikrát plánovaně odstaveny, kdy se provádí údržba atomových hodin a korekce dráhy družice.

3.1.4. Princip GPS

Jednotlivé družice vysílají zprávy obsahující informaci o přesném čase (každá družice má v sobě atomové hodiny, jejichž čas je mezi družicemi synchronizován.), o své poloze a o přibližné poloze ostatních družic. Na konci každé této zprávy je tzv. C/A kód, což je pseudonáhodná sekvence čísel, vybraná z množiny Goldových posloupností (musí mít autokorelační funkci v podobně peaku). C/A kód slouží ve vysílaných zprávách jako časová značka. Tyto zprávy po přijetí vyhodnocuje GPS přijímač, který porovnává čas vyslání a čas přijetí zprávy.



Obr. 3. GPS družice, převzato z [3]

Pro určení polohy uživatele ve dvou souřadnicích (zeměpisná šířka zeměpisná délka) je potřeba znát data alespoň ze 3 družic a pro určení třetí souřadnice polohy uživatele (nadmořská výška) je potřeba znát data alespoň ze čtyř družic. Pro výpočet polohy uživatele je také potřeba, aby čas v GPS přijímači byl synchronizován s časem družic. Tento způsob určování polohy a času se nazývá kódová metoda a je nejčastěji využívána. Pro dekódování GPS dat se také používá fázová, Dopplerovská nebo úhломěrná metoda. Pro výpočet a zobrazení souřadnic polohy se využívá geografický referenční systém WGS 84, který se skládá z geodetických dat a ze systému zeměpisných souřadnic (zeměpisná šířka a délka).

Přesnost GPS se pohybuje kolem 5m při příjmu C/A kódu. V signálu se ještě přenáší tzv. P(Y) kód, se kterým je možné dosáhnout přesnost až na několik cm. Tento signál je však šifrovaný a je určen výhradně pro armádu.

Pomocí GPS se dá určovat zeměpisná šířka a délka, nadmořská výška, rychlost, čas nebo polohy družic. V letadle je možné systém GPS využít především pro poměrně přesné měření výšky a rychlosti letu.

3.2. Měření náklonu a zrychlení letadla

Aby letadlo nezatáčelo, nestoupalo nebo neklesalo je potřeba, aby letělo rovnoběžně se zemským povrchem v podélné i příčné ose. Kdyby letadlo stálo a bylo pouze libovolně nakloněno, šlo by ke zjištění náklonu využít akcelerometr. Je to poměrně levná součástka, ve které jsou snímače zrychlení ve 3 osách. Velikost zrychlení je úměrná napětí na výstupu akcelerometru. Pokud by letadlo bylo v klidu, působila by na něj pouze gravitační síla a jednoduchým výpočtem pomocí goniometrických funkcí by šlo určit jeho naklonění v prostoru. Za letu ale na letadlo působí více sil, např. odstředivá síla při zatáčení nebo přetížení při stoupání či klesání.

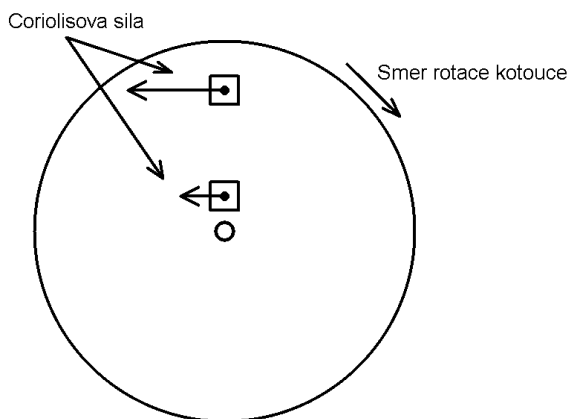
Akcelerometr tady nelze použít, protože měří všechny síly, které na letadlo působí. Proto se k určení náklonu využívá zařízení, které se nazývá gyroskop.



Obr. 4. Umělý horizont v letadle, převzato z [13]

3.2.1. Gyroskop

Gyroskopy jsou určeny původně k měření úhlové rychlosti, což je rychlost otáčení měřeného objektu s jednotkou stupně za sekundu. Gyroskop je v podstatě setrvačník, který se točí vysokými otáčkami. I při působení vnějších sil se snaží zachovat stejnou polohu v prostoru. Pokud se tento setrvačník zavěsí tak, aby osa otáčení byla kolmá k zemskému povrchu, bude udržovat stále stejnou polohu. Toho se využívá v náklonoměrech u letadel. Zde je setrvačník umístěn v kouli, která je zavěšena tak, aby se mohla otáčet ve všech směrech. Tato koule je zavěšena v ocelovém pouzdru, na jejíž přední straně je plexisklo s nakresleným středovým křížem. Na kouli jsou nakresleny rysky s hodnotami stupňů a ryska udávající vodorovnou polohu. Při natáčení tohoto zařízení do různých směrů se zobrazuje úhel naklonění nahoru, dolů nebo naklonění napravo či nalevo. Toto zařízení se nazývá Umělý horizont a bývá zabudováno v letadlech v čelním panelu. Aby se tento údaj mohl zpracovávat v elektronických obvodech, musí se převést na elektrický signál. K převedení úhlu natočení na napětí lze využít potenciometry kterými jsou zakončeny osy, u kterých chceme měřit sklon, dále se dají použít tzv. selsyny nebo optické snímače buď analogové, nebo kódové, které mají na výstupu přímo digitální data.



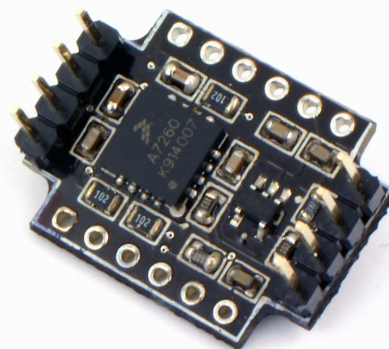
Obr. 5. Vznik Coriolisovy síly

V dnešní době se používají zejména gyroskopy vyrobené technologií MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Technologie MEMS umožňuje integrovat na jeden čip mechanickou i elektronickou část zařízení. U těchto gyroskopů se využívá Coriolisovy síly. Je to pomyslná síla, která působí na libovolný objekt, který se pohybuje rychlostí v v soustavě, která rotuje kolem osy rotace s úhlovou rychlostí ω . Na obrázku 5 je znázorněný vznik Coriolisovy síly. Pokud se kotouč otáčí určitou úhlovou rychlostí, na předmět umístěném na kotouči působí Coriolisova síla. U okraje kotouče je tato síla největší.

Gyroskopy založené na technologii MEMS nejčastěji využívají tzv. Tuning-fork. U této metody je rozkmitáván piezoelektrický krystal ve tvaru H. Horní 2 nožičky jsou rozkmitávány na určitý kmitočet. Na tyto nožičky začne při otáčení působit Coriolisova síla a ta způsobí vibrující torzní moment. Tento moment je detekován na dolních nožkách krystalu jako změna kapacity nebo napětí. Hodnoty úhlového zrychlení nebo rychlosti otáčení gyroskopu mohou být na výstupu ve formě analogového napětí většinou v rozsahu cca 1-4,5V nebo se přenáší digitálně pomocí SPI rozhraní. Pro určení natočení gyroskopu (sklonu) je potřeba znát počáteční úhel. Ten se dá zjistit pomocí akcelerometru, pokud je zařízení v klidu. Jeden ze způsobů jak vypočítat úhel natočení je integrovat úhlovou rychlost gyroskopu. U této metody ale s časem narůstá chyba a je potřeba často provádět kalibraci.

3.2.2. Akcelerometr

Akcelerometr je přístroj měřící zrychlení, které na něho působí. V dnešní době se nejčastěji používají elektronické akcelerometry vyrobené pomocí technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Tyto akcelerometry pracují tak, že se vytvoří kondenzátor ze tří elektrod, z nichž 1 je pohyblivá a je umístěná mezi ostatními dvěma. Při působení zrychlení na pohyblivou elektrodu se přibližuje buď k jedné nebo druhé elektrodě a mění se kapacita kondenzátoru. Prakticky se tento kondenzátor vyrábí vyleptáním do polykrystalického křemíku. Výsledná kapacita se potom dá změřit elektronicky a po převedení na napětí dále zpracovávat. Akcelerometry mohou měřit zrychlení ve všech 3 osách při použití 3 snímačů v jednom čipu. Výstupem může být buď napětí nebo při integraci A/D převodníku a dalších obvodů SPI rozhraní.



Obr. 6. – Příklad akcelerometru na zkušební desce, převzato z [14]

3.3. Měření rychlosti

K měření rychlosti letu letadla se dají použít 3 různé způsoby:

- Pitotova trubice
- GPS (popsáno výše)
- Radar

3.3.1. Pitotova trubice

Vynalezena francouzským fyzikem Henry Pitotem. Původně byla tato trubice využívána k měření rychlosti proudění kapalin, ale po malém vylepšení šla využít i pro měření proudění vzduchu. Pitotova trubice se skládá ze dvou trubic, z nichž jedna má po stranách otvory a na konci je zahnutá pod úhlem 90°. Za tímto záhybem se nachází tlakový senzor, který měří tzv. statický tlak vzduchu. Tato trubice bývá umístěna kolmo na směr proudění vzduchu. Druhá trubice je rovná a je umístěna otvorem proti proudu vzduchu. Na konci je opět tlakový senzor, který ale měří dynamický tlak vzduchu. Na základě rozdílu těchto tlaků se dá vypočítat rychlost proudění vzduchu pitotovou trubicí a tím pádem i rychlost letadla. Při silném větru sice tato rychlost neodpovídá rychlosti letu letadla vůči zemi, ale po zprůměrování několika hodnot, rozdíly nejsou zase tak velké. Pitotova trubice se používá až od určité rychlosti letu, protože při nižších by byla hodně ovlivněna přesnost vlivem větru.



Obr. 7. Příklad Pitotovy trubice, převzato z [7]

3.3.2. Radar

U měření rychlosti radarem se využívá tzv. Dopplerova jevu. Tímto jevem se nazývá změna frekvence a vlnové délky akustického nebo elektromagnetického signálu při vzájemném pohybu vysílače a přijímače. Pokud se přijímač od vysílače vzdaluje, přijímaná frekvence je nižší a při přibližování přijímače k vysílači vyšší. Skutečný přijímaný kmitočet se vypočítá takto:

Při pohyblivém přijímači:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{v}\right) \quad (1)$$

Při pohyblivém vysílači:

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}} \quad (2)$$

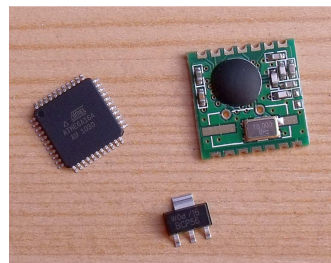
kde v_0 je rychlost přijímače vůči vysílači nebo v_s , r rychlost vysílače vůči přijímači a v je rychlost šíření akustických nebo elektromagnetických vln v daném prostředí.

U letadel bývá na palubě umístěn radar, který vysílá v pásmu mikrovln neptřetřitě nosnou vlnu s určitým kmitočtem soustředěnou do úzkého svazku. Tento svazek je vysílán k zemi pod určitým úhlem. Radar má 2 antény, z nichž jedna je vysílací a druhá přijímací. Vysílaný paprsek se odrazí od země a přijme v přijímači, kde se smísí s vysílanou vlnou. Na základě velikosti výsledného kmitočtu se určí rychlost letadla vůči zemi.

4. Přehled a výběr součástek

4.1. Volba způsobu měření veličin pro telemetrii

Po zvážení možných způsobů měření požadovaných veličin jsem zvolil následující řešení. Pro měření výšky bude použit *GPS modul*, protože při použití barometru by se muselo zařízení před každým letem kalibrovat a také konstrukce s GPS modulem je jednodušší. Pro měření zrychlení bude použit elektronický akcelerometr, který má malé rozměry a hmotnost. K měření rychlosti bude použit opět *GPS modul*. Kvůli malé rychlosti modelu by nešlo použít Pitotovu trubici a také konstrukce by byla složitější a dražší.



Obr. 8. Fotografie některých součástek použitých v zařízení

4.2. Přehled součástek na trhu

4.2.1. GPS moduly

GPS moduly jsou určeny k připojení na plošný spoj a k dalšímu zpracování dat v procesoru. U některých modulů je potřeba vyrobit externí vf zesilovač a anténu.

Tab.1. Přehled některých GPS modulů na trhu

Výrobce	Hope RFelectronic	Hope RFelectronic	ORIGIN GPS	ORIGIN GPS	ORIGIN GPS
Typ	GPS01	GPS02	ORG1315-R01	ORG1301-R01	ORG2012-R01
Nap. napětí [V]	3,3	3,3	3,3-5,5	3,3-5,5	2,8-5,5
Vstupy/výstupy	UART	UART	UART SPI	UART SPI	UART SPI
Citlivost příjm. [dBm]	-143	-145	-142	-142	-145
Poměr C/N [dB/Hz]	-	-	45	40	48
Doplňky	-	SAW,LNA	anténa, SAW,LNA	anténa,THT, SAW,LNA	anténa,SAW, LNA
Protokol	NMEA0183	NMEA0183	NMEA0183 SIRF	NMEA0183 SIRF	NMEA0183 SIRF
Rychlost aktualizace	1Hz	1Hz	1Hz	1Hz	1Hz
Rozměry	15.9x13mm	22.4x17mm	17x17mm	17x17mm	14x14mm
Cena Kč	380	460	920	2700	1044

4.2.2. Akcelerometry

Tab.2. Přehled některých akcelerometrů na trhu

Výrobce	Freescall	Freescall	Freescall	Analog devices	Analog devices
Typ	MMA7361	MMA7455L	MMA7341LC	ADXL335	ADXL346
Nap. napětí [V]	2,2 - 3,6V	2,4 - 3,6V	2,2 - 3,6V	1,8 - 3,6V	1,7 - 2,75
Osy	XYZ	XYZ	XYZ	XYZ	XYZ
Výstup	Analogový	SPI, I2C	Analogový	Analogový	SPI, I2C
Rozsahy	+1,5G	+2/4/8g	+3/11g	+3g	+2/4/8/16g
Citlivost	800mV/g	64LSB/g, 2g a 8g při 10bit	440/118mV/g	300mV/g	max 256LSB/g 10bit A/D
Cena \$	2	3	3	2.38	3

4.2.3. Mikrokontroléry

Tabulka obsahuje přehled mikroprocesorů od výrobců ATMEL a MICROCHIP. Celkem je zde k porovnání 5 typů.

Tab.3. Parametry některých mikrokontrolérů na trhu

Výrobce	Atmel	Atmel	Atmel	Microchip	Microchip
Typ	AVR ATMega16, (L)	AVR ATMega8, (L)	AVR ATMega128,(L)	PIC18F2220	PIC18F2455
Paměť	Flash: 16kB SRAM: 1kB EEPROM: 512B	Flash: 8kB SRAM: 1kB EEPROM: 512B	Flash: 128kB SRAM: 4kB EEPROM: 4kB	Flash: 4kB SRAM: 512B EEPROM: 256B	Flash: 24kB SRAM: 2kB EEPROM: 256B
Funkce	2 x 8bit Timer 1x 16bit Timer 4x PWM, 8x 10bit A/D	2x8bit, 1x16bit Timer, 8x A/D, 3xPWM,	2x8bit, 2x16bit Timer, 8x A/D, 6xPWM,	3x 16bit Timer, 10x A/D, 2x PWM,	3x 16Bit Timer, 10x 10bit A/D, 2x PWM
Kom. rozhraní	USART, SPI, JTAG I2C, ISP	USART, SPI, JTAG, I2C, ISP	2x USART, SPI, I2C, ISP	USART, SPI, I2C	EUSART, SPI, I2C, USB,,
Počet 8bit I/O portů	4	3	6	4	3
Kmitočet	max 16MHz 8MHz (L)	max 16MHz 8MHz (L)	max 16MHz 8MHz (L)	max 25MHz	max 48MHz
Napájecí napětí	4,5 - 5,5V 2,7 - 5,5V(L)	4,5 - 5,5V 2,7 - 5,5V(L)	4,5 - 5,5V 2,7 - 5,5V(L)	2 - 5,5V	2 - 5,5V
cena [Kč]	cca 100	cca 70	cca 180	cca 200	cca 200

4.2.4. Grafické a znakové LCD displeje

V tabulce je k porovnání celkem 5 displejů, od 3 různých výrobců. Jsou zde typy LCD a OLED.

Tab.4. Parametry některých prodáváných LCD displejů

Výrobce	Neznámý	Neznámý	Display Elektronik	Neznámý	Neznámý
Typ	MG12864A, LCD mod. podsvětľ.	ATM12864D, LCD žl. podsvětľeí	DEP128096, OLED,modrý	MC1604B – SYL, LCD, žlutozel. pods.	MC2004E – SYL, žlutozel. pods.
Rozlišení	128 x 64 bodů	128 x 64 bodů	128 x 96	4 řádky, 16 znaků na řádek	4 řádky, 20 zn. na řádek
Řadič	S6B0107	S6B0107	SSD1329	neznámý	neznámý
Napájecí napětí	4,5 - 5,5V	4,5 - 5,5V	3,3V	5V	5V
Rozměry [mm]	93x70x13,5	93x70x13,5	33 x 26,8	87 x 60	98 x 60
Příd. funkce	znaková sada	znaková sada	-	znaková sada	znaková sada
Cena [Kč]	cca 420	cca 550	cca 560	cca 300	cca 500

Pro přenos dat mezi telemetrickým modulem a přijímačem, který je u pilota, je použito pásmo 868MHz. V tabulkách je přehled vysílačích, přijímacích a obousměrných modulů, které pracují v tomto pásmu.

4.2.5. Vř moduly - vysílače 868MHz

Tab.5. Přehled některých prodáváných vysílačích a obousměrných vř modulů

Výrobce	Hope RFelectronic	Hope RFelectronic	Hope RFelectronic	Aurel	Flajzar
Typ	RFM02/868D	RFM42/868D	RFM12B/868S2	TX-SAW 868IA	TX868FSK1
Výkon [dBm]	4	17	7	0	10
Modulace	FSK	FSK,GFSK, OOK	FSK	ASK	FSK
Max. přenos. rychlost [kbps]	256	128	256	3	4,8
Komunikační rozhraní	SPI	SPI	SPI	-	-
Nap. napětí [V]	2,2 - 5,4	1,8 - 3,6	2,2 – 3,8	2,7 - 5	2,2 - 4,4
Cena [Kč]	cca 100	cca 160	cca 130	cca 320	cca 150

4.2.6. Vř moduly - přijímače 868MHz

Tab.6. Přehled některých prodáváných přijímacích a obousměrných vř modulů

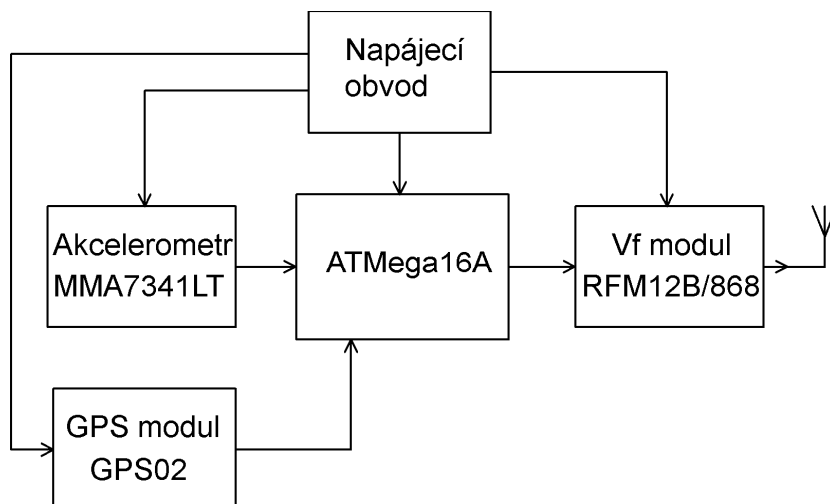
Výrobce	Hope RFelectronic	Hope RFelectronic	Hope RFelectronic	Flajzar
Typ	RFM01/868D	RFM31/868D	RFM12B/868S2	RX868FSK1
Citlivost [dBm]	-105	-118	-102	-104
Modulace	FSK	FSK,GFSK,OOK	FSK	FSK
Max. přenos. rychlost [kbps]	256	128	256	4,8
Komunikační rozhraní	SPI	SPI	SPI	-
Nap. napětí [V]	2,2 - 5,4	1,8 - 3,6	2,2 – 3,8	5V
Cena [Kč]	cca 100	cca 180	cca 130	cca 190

5. Návrh vlastního řešení

Tato kapitola obsahuje kompletní návrh řešení zařízení včetně popisu jednotlivých částí zařízení, popis softwaru a vlastní konstrukce zařízení. Z této kapitoly by mělo být jasné, jak celé navržené zařízení pracuje a mělo by se dát bez problémů zkonstruovat.

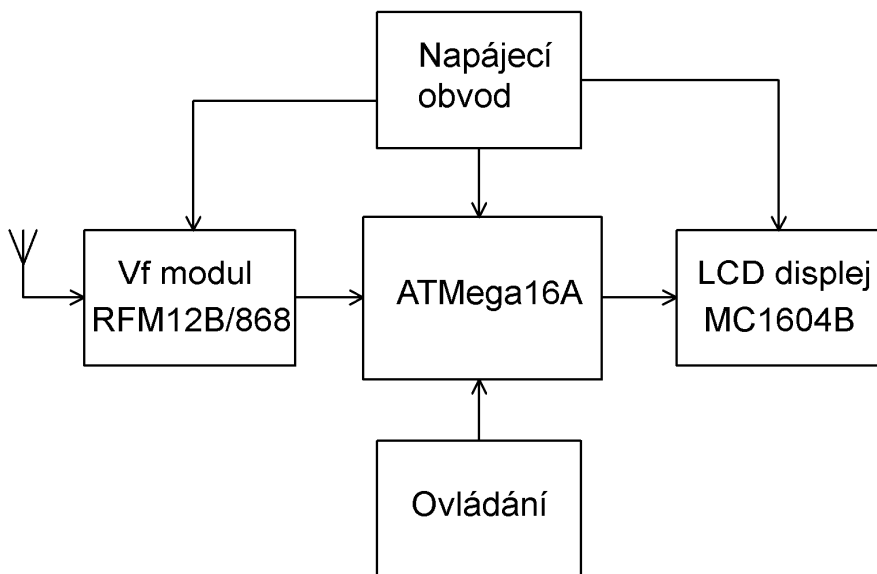
5.1. Bloková schémata zařízení

5.1.1. Vysílací jednotka



Obr. 9. Blokové schéma vysílací jednotky

5.1.2. Příjímací jednotka



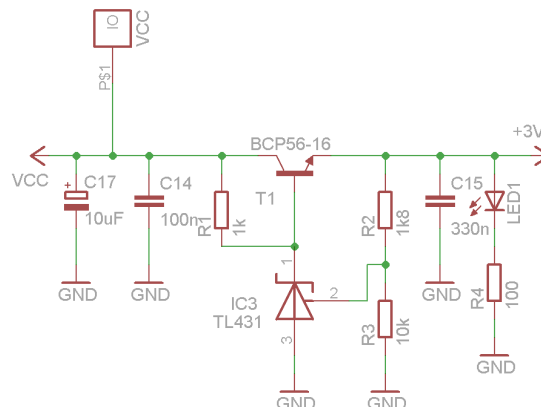
Obr. 10. Blokové schéma přijímací jednotky

5.2. Popis hardwarových částí vysílací jednotky

5.2.1. Napájecí část

Součástky a moduly v tomto zařízení jsou napájeny napětím 3V s maximálním celkovým odběrem cca 150mA. Napájecí obvod musí zabezpečit konstantní výstupní napětí při různém vstupním napětí a různém výstupním proudu. Dále musí obsahovat ochranu proti přepětí na vstupu a na výstupu, aby nedošlo k poškození dalších obvodů.

Jako stabilizátor napětí je použito klasické zapojení s jedním tranzistorem a zenerovou diodou, která je v tomto případě nahrazena obvodem TL431. Tento obvod je v podstatě zdroj proudu, který může mít velikost většinou od 1 - 100mA v závislosti na napětí přivedené na elektrodu R. Pomocí regulace proudu se obvod snaží udržovat na elektrodě R napětí 2,5V. Obvod TL431 je často využíván ve spínaných zdrojích pro regulaci svitu diody ve zpětnovazebním optočlenu. V tomto konkrétním zapojení se výstupní napětí nastavuje odpory R2 a R3 tak, aby napětí na elektrodě R bylo



Obr. 11. Schéma napájecí části

právě 2,5V. Zenerova dioda na výstupu slouží jako přepěťová ochrana. Velikost výstupního proudu je omezena maximálním kolektorovým proudem tranzistoru BCP56, který je 1A. Schéma zapojení napájecí části je na obr.10.

5.2.2. GPS modul

Za modul GPS byl vybrán typ GPS02 od firmy Hope RFelectronic, který má integrovaný nízkošumový zesilovač, filtr SAW a umožňuje napájení zesilovače externí antény po jednom vodiči. Modul se vyrábí pouze v provedení SMD. Samotný modul má na vstupu vf zesilovač, dále směšovač a obvod AGC. Další zpracování probíhá už digitálně. Ke zpracování přijímaných dat je použit signálový procesor neznámého typu a mikroprocesor typu ARM7. Tento modul má citlivost přijímače - 145dBm pro zachycení signálu družic

a -160dBm pro sledování signálu družic. Ke komunikaci využívá rozhraní UART s přenosovou rychlostí 9600 baudů při 8 bitech s jedním stop bitem (formát 8n1). Data se přenášejí pomocí komunikačního protokolu NMEA0183 a rychlost jejich aktualizace je 1Hz. Tyto data jsou odesílána ke zpracování do řídicího procesoru. Napájecí napětí modulu je (3 - 3,3V) a maximální odebíraný proud se pohybuje kolem (50 – 70)mA.



Obr. 12. GPS modul GPS02, převzato z [8]

5.2.3. Vysílací modul 868MHz

Pro bezdrátové vysílání dat byl použit obousměrný modul od firmy Hope RFelectronic RFM12B. Nabízí široké možnosti nastavení jak vysílače tak přijímače (nastavení nosného kmitočtu, kmitočtového zdvihu, vysílacího výkonu, bitratu, šířku pásma signálu atd.). K odesílání dat může být využit buď vyrovnávací FIFO (first in first out) registr o velikosti 2 byty nebo se data mohou posílat na speciální pin (kmitočet je přímo modulován log. úrovní napětí na tomto pinu). Komunikace s modulem probíhá pomocí rozhraní SPI. Modul obsahuje také speciální pin nIRQ, kde log. úroveň napětí na jeho výstupu odpovídá určitému pracovnímu stavu modulu. Napájecí napětí modulu může být v rozsahu 2,2 – 3,8V, spotřeba proudu při vysílání je kolem 25mA. Maximální vysílací výkon modulu může být 7dBm.



Obr. 13. – Modul RFM12B

Nastavení modulu RFM12B ve vysílací jednotce:

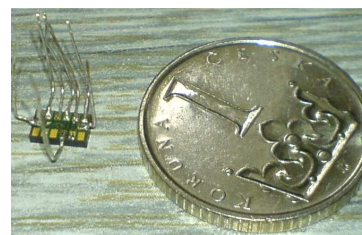
Mód	- TX	Použití FIFO	- ano
Nosný kmitočet	- 868.00MHz		
Frekvenční zdvih	- 45kHz		
Vysílací výkon	- 7dBm		

Bitrate - 9,6kbit/s

5.2.4. Tříosý akcelerometr

Pro zjištění zrychlení ve všech 3 osách byl vybrán akcelerometr MMA7341LT od firmy Freescale. Maximální rozsah zrychlení je ± 3 nebo $\pm 11g$, který se volí log. úrovní napětí na vstupu

G-SEL. Velikost výstupního napětí je úměrná zrychlení s citlivostí 440 nebo 118mV/g. Při $g = 0$ jsou napětí na výstupech rovna polovině maximálního výstupního napětí. Výstup akcelerometru je přímo připojen na A/D převodníky procesoru a dále zpracováván. Spotřeba tohoto obvodu je velmi malá (cca 1mA). Vyrábí se pouze v pouzdru LGA-14, které má pájecí plošky pod pouzdrum a je tedy potřeba použít speciální pájecí techniky nebo připájet drátky k těmto ploškám.



Obr. 14. Připájené drátky k akcelerometru MMA7341

5.2.5. Řídící procesor vysílací jednotky

Jako řídicí procesor byl zvolen AVR ATmega16A od firmy Atmel. Hlavní důvody pro výběr tohoto procesoru jsou poměrně velká flash paměť (16kB), osm analogových vstupů a integrace mnoha různých rozhraní (USART, SPI, I2C, JTAG) a funkcí. Procesor může pracovat na kmitočtu až 16MHz při napájecím napětí 3,3V.

V tomto konkrétním zapojení je použit krystal 4MHz. Analogové vstupy ADC0 - ADC2 jsou využity k měření napětí akcelerometru, dále vstup ADC3 je použit k měření napětí baterie. Skutečné napětí baterie je navíc snižováno děličem z rezistorů R6 a R16, aby bylo možné měřit napětí vyšší než 3V (V_{cc}). Toto napětí se pak přepočítá na skutečnou hodnotu. Rozhraní SPI procesoru je využito k jeho programování a dále ke komunikaci s vf modulem. Sériové rozhraní USART je použito ke komunikaci s GPS modulem. K pinům 7 a 6 portu C jsou připojené indikační LED, z nichž první signalizuje přenos dat přes rozhraní SPI a druhá přenos dat přes rozhraní USART. K pinu 2 portu D je připojen signál z pinu nIRQ vf modulu. Viz příloha 1 - schéma vysílací jednotky.

Základní nastavení procesoru ve vysílací jednotce:

Kmitočet krystalu	- 4MHz
Rozhraní USART	- 9600 baudů, 8n1
Rozhraní SPI	- 250kHz, master, MSB se posílá první
A/D převodník	- Délka konverze 104 μ s, ref. napětí V_{cc} ,
Přerušení	- Příjem znaku přes USART

5.3. Popis hardwarových částí přijímací jednotky

5.3.1. Přijímač 868MHz

Původně bylo uvažováno použití přijímače RFM31 od firmy Hope RFelectronic, ale po praktickém testování se ukázalo, že modul po určité době (cca 5 min) přestává komunikovat s procesorem, zřejmě vlivem přehřívání. Přitom byl

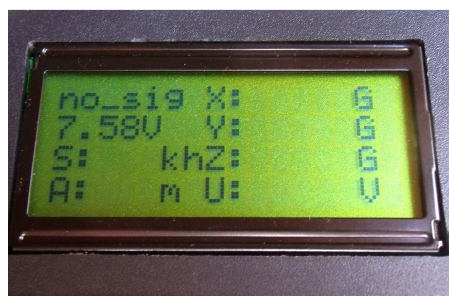
provozován v podmínkách, které jsou udávány v jeho katalogovém listu. Proto je místo tohoto modulu použit obousměrný modul RFM12B, který je použit i ve vysílací jednotce. Stručný popis tohoto modulu je obsažen v bodě 5.2.3. *Vysílací modul 868MHz*. Citlivost modulu je cca -102dBm při bitratu 1,2kbit/s a chybovosti BER(Bit Error rate) 10^{-3} . Modul umožňuje automaticky obnovit hodinový kmitočet přijímaného signálu pomocí synchronizačního slova, dále má funkci detekování signálu až po určitém překročení jeho úrovně.

Nastavení modulu RFM12B v přijímací jednotce:

Mód	- RX
Nosný kmitočet	- 868.00MHz
Šířka pásma vstupního filtru	- 134kHz
Frekvenční zdvih	- 45kHz
Nastavení LNA	- 0dB
Bitrate	- 9,6kbit/s
Nastavení AFC	- není použito
Wake-up-timer	- není použito
Low-duty-cycle	- není použito

5.3.2. LCD displej

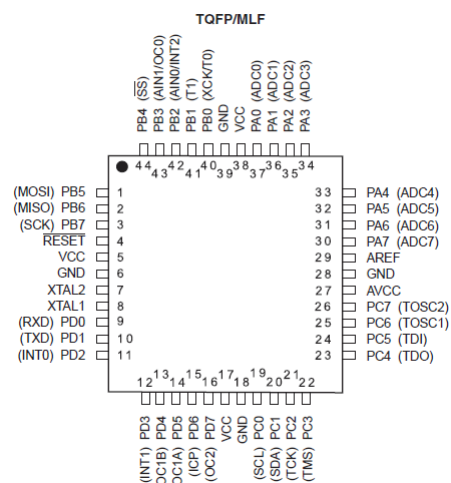
K zobrazení přijatých dat je použit znakový LCD displej MC1604B - SYL, který má 4 řádky po 16-ti znacích. Byl vybrán jako kompromis mezi velikostí a cenou displeje. Displej je řízen běžným řadičem HD44780 a ovládá se pomocí 3 řídících vodičů a 4 datových vodičů (je použit 4-bitový mód displeje). Napájecí napětí displeje je 5V a spotřeba proudu přibližně 50mA. Podsvětlení displeje je žlutozelené.



Obr. 15. Displej MC1604B - SYL

5.3.3. Řídící procesor přijímací jednotky

Byl vybrán opět procesor ATmega16A jako ve vysílací jednotce, nebude proto už znovu popisován. K připojení displeje je využit port C, přijímací modul je propojen pomocí SPI rozhraní, které se nachází na portu B. K pinu 2 portu D je dále připojen signál z pinu nIRQ modulu. Na pin 2 portu A je dodatečně přivedeno napájení akumulátoru přijímače snížené odporovým děličem kvůli potřebě zobrazení tohoto napětí na displeji a k pinu 5 portu A je připojena LED, která indikuje příjem signálu. Odporové děliče u programovacích vstupů slouží k úpravě úrovně napětí z 5 na 3,3V. Taktovací kmitočet procesoru



Obr. 16. Popis pinů procesoru ATmega16, převzato z [15]

je opět 4MHz z důvodu nižší spotřeby, viz příloha 2 - schéma zapojení přijímací jednotky.

Základní nastavení procesoru v přijímací jednotce:

Kmitočet krystalu	- 4MHz
Rozhraní SPI	- 250kHz, master, MSB se posílá první
A/D převodník	- Délka konverze 104μs, ref. napětí Vcc

5.3.4. Napájecí část přijímací jednotky

Ke stabilizaci vstupního napětí je použito stejné zapojení jako ve vysílací jednotce. Procesor a přijímač jsou napájeny napětím 3V a displej napětím 5V, jsou tedy potřeba dva stabilizátory. Přijímací jednotka je napájena ze dvou Li-ion akumulátorů, které při zapojení do série dají napětí kolem 7,5V, což je dostačující na správnou funkci 5V stabilizátoru. Odběr zapojení je ve větvi 3V přibližně 30mA a ve větvi 5V 50mA. Viz příloha 2 – schéma zapojení přijímací jednotky.

5.4. Použité protokoly a rozhraní

5.4.1. Protokol NMEA0183

Protokol NMEA (National Marine Electronics Association) byl vytvořen za účelem vzájemné komunikace vojenských zařízení. Tento standard umožňuje posílání dat z vojenského zařízení do počítače a také do jiných zařízení. Originální kopie standardu NMEA0183 je přístupná na oficiálních internetových stránkách projektu (www.nmea.org). GPS přijímače používají nejčastěji k posílání dat právě tento protokol. Data jsou posílána ve formě zpráv, které mají následující strukturu:

Příklad NMEA zprávy:

`$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39`

\$- Tento symbol je vždy na začátku každé zprávy, aby dekodér věděl, že jde o novou zprávu.

GP - Označuje, že jde o data z GPS přijímače.

GSA - 3 místný kód, který označuje, jaká data jsou v přijímané zprávě

Přehled nejpoužívanějších NMEA zpráv:

Zkratka	Popis
GGA	obsahuje informace o poloze, o výšce, počet používaných satelitů, čas
GLL	geografická poloha, čas
GSA	informace o GPS módu (2D,3D), ident. čísla připojených satelitů
GSV	obsahuje informace o satelitech, počet viditelných satelitů, odstup signálu od šumu každého viditelného satelitu, polohu každého viditelného satelitu.
VTG	obsahuje údaje o rychlosti v uzlech nebo v kilometrech za hodinu.

A,3,04,05,, - jednotlivé hodnoty jsou vzájemně v každé zprávě odděleny čárkami. aby dekódér poznal, kdy začíná a končí konkrétní hodnota.

* - Tento symbol označuje konec zprávy a za tímto symbolem následuje kontrolní součet celé zprávy

Všechny výše popsané NMEA zprávy poskytuje i použitý GPS modul ORG1315.

Zprávy, které budou používány v tomto zařízení a jejich popis:

-GGA

příklad: *\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47*

popis:

123519 -	čas UTC
4807.038N -	zeměpisná šířka
01131.000E -	zeměpisná délka
1 -	kvalita spojení (mód GPS přijímače)
08 -	počet používaných satelitů
0.9 -	horizontální diluce
545.4,M -	nadmořská výška v metrech
*47-	konec zprávy a kontrolní součet

-VTG

příklad: *\$GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K*48*

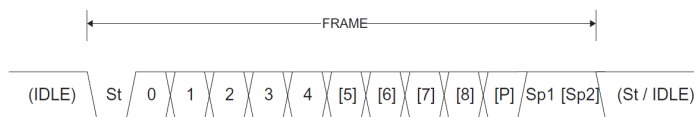
popis:

054.7,T -	True track made good
034.4,M -	Magnetic track made good
005.5,N -	rychlost po zemi v uzlech
010.2,K -	rychlost po zemi v kilometrech za hodinu
*48 -	konec zprávy a kontrolní součet

Přenos dat protokolu NMEA0183 probíhá pomocí rozhraní UART. Standartní přenosová rychlost je 4800 baudů/s při 8 datových bitech, jedním stop bitem a bez parity. U této rychlosti je maximální přenesený počet znaků za sekundu 480. Mnoho GPS modulů ale umožňuje přenosovou rychlost zvýšit.

5.4.2. Rozhraní UART

UART(Universal asynchronous receiver transmitter) rozhraní slouží k jednoduché asynchronní sériové komunikaci mezi zařízeními. K přenosu dat stačí jeden vodič pro každý směr.

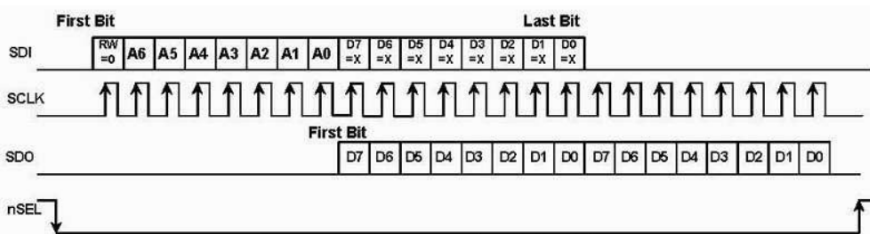


Obr. 17. Datový rámec rozhraní RS232, převzato z [15]

Komunikace může být jednosměrná nebo obousměrná. Datový rámec obsahuje na začátku start bit, dále následuje 5 - 8 datových bitů seřazených od nejméně významného po nejvíce významný, potom paritní bit, pokud je aktivován a 1 nebo 2 stop bity, které ukončují datový přenos. Přenosová rychlost může být nejčastěji od 600 - 115kBaudů/s, kde baud odpovídá jednomu bitu. Jestliže se nepřenáší žádná data, je linka v log. úrovni 1. Při přenosu dat se nejdříve start bitem (bit má hodnotu 0) aktivuje přijímač, který očekává příchod datových bitů. Je-li aktivována parita, přijímač vypočítá hodnotu parity přijatých bitů a následně ji porovná s přijatou hodnotou parity. Pokud parita nesouhlasí, data jsou zahozena. Po paritním bitu přijímač očekává 1 nebo 2 stop bity, které mají hodnotu log. 1. Stop bit slouží především k získání času na zpracování přijatých dat, po kterém může ihned následovat další start bit s novým datovým rámcem. Napěťové úrovně jsou u rozhraní RS232 definované tak, že log.1 odpovídá napětí menšímu než -3V a log. 0 napětí většímu než +3V. U jednočipových mikropočítačů a také GPS modulů jsou používány pro UART napěťové úrovně typu TTL a CMOS, kdy log. 0 odpovídá napětí 0V a log.1 napětí +5V nebo +3,3V. Proto je potřeba při propojení s PC převodník napěťových úrovní např. MAX232.

5.4.3. Rozhraní SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) rozhraní používá pro komunikaci 4 vodiče. Proto se mu někdy říká 4-wire. Tyto vodiče se nazývají SCK (hodinový signál), MOSI (master out, slave in), MISO (master in, slave out) a SS (slave select). Umožňuje nastavit zařízení jako slave nebo master a tím určit, které ze zařízení bude řídit komunikaci. Jestliže je např. mikropočítač nastavený jako master, může určit kdy bude přijímat nebo vysílat data a také s kterým zařízením bude komunikovat. SPI konkrétního modulu se aktivuje, když master zařízení nastaví signál SS



Obr. 18. - Příklad SPI komunikace u vf modulu, převzato z [16]

konkrétního obvodu na log.0. Na pin MOSI se potom zapíše instrukce nebo první bit datového rámce, jehož hodnota určuje jestli se budou data číst nebo zapisovat. Následuje adresa o délce n bitů a po ní nejčastěji 8 datových bitů. Dá se nastavit, jestli se bity budou posílat od nejvýznamnějšího nebo nejméně významného bitu. Platnost bitu na daném datovém výstupu (MISO nebo MOSI) se potvrzuje náběžnou nebo sestupnou hranou hodinového signálu, který vysílá master zařízení.

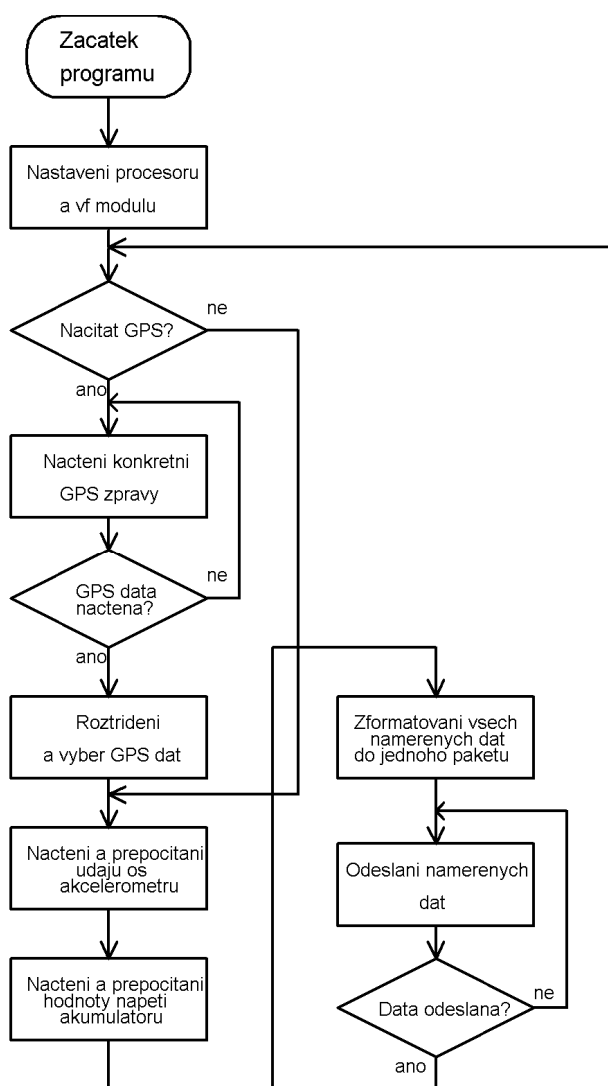
Komunikace se ukončuje přerušením hodinového signálu a přepnutím signálu SS na log.1. Přenosová rychlost je u procesoru ATmega16 a krystalu 4MHz 31,25 - 1000kbaudů/s.

5.5. Software vysílací jednotky

5.5.1. Základní struktura a vývojový diagram programu

Software vysílací jednotky se skládá z několika částí, z nichž každá má svou speciální funkci. Program byl takto rozdělen, aby bylo možné jednoduše deaktivovat některou z funkcí.

Vývojový diagram programu vysílací jednotky:



Obr. 19. – Vývojový diagram programu vysílací jednotky

Při spuštění vysílací jednotky se nejdříve provede nastavení registrů jednotlivých funkcí procesoru a směrových registrů vstupně – výstupních portů procesoru a také nastavení vř modulu. Po těchto nastaveních následuje podmínka „Načítat GPS“, jejíž hodnota se volí spojením nebo rozpojením dvou jumperů na desce. Touto podmínkou lze vypnout načítání GPS dat a připojení nebo odpojení GPS modulu nebude mít vliv na chod programu. Při deaktivaci načítání GPS dat se také zrychlí aktualizace ostatních dat (cca 10x), protože GPS modul poskytuje data pouze 1x/s. Jestliže je čtení GPS dat aktivované, následuje další podmínka „GPS data nactena?“. Dokud podmínka nebude splněna, další funkce se nebudou vykonávat. Nesplnění této podmínky může být způsobeno nepřipojeným GPS modulem nebo vadným datovým vodičem vedoucím z GPS modulu. Po načtení a rozřídění těchto GPS dat následuje načtení a přepočítání dat akcelerometru z velikosti napětí na jednotku přetížení, dále načtení a přepočítání napětí akumulátoru a zformátování všech naměřených dat do jednoho datového bloku. Na konec se tento blok dat odešle vř modulem k přijímací jednotce. Podmínka „Data odeslána?“ závisí na logické úrovni signálu na speciálním pinu (nIRQ) vř modulu. Po splnění této podmínky se celý proces kromě nastavení procesoru a vř modulu opakuje.

5.5.2. Dekódování a zpracování NMEA zpráv z GPS přijímače

Modul GPS02 posílá standardně 6 NMEA zpráv (GGA, GLL, GSA, GSV, VTG). Informace o nadmořské výšce je obsažena ve zprávě GGA a informace o rychlosti ve zprávě VTG. Proto stačí přijímat a ukládat pouze tyto zprávy. Jak bylo výše popsáno tak každá zpráva začíná symbolem \$ za kterým následuje 5-ti místný kód, který označuje druh zprávy. Po tomto kódu následují samotná data za kterými je ukončující znak * a kontrolní součet.

Program pracuje tak, že nejdříve zjistí, jestli jde o zprávu, která se má přijmout a pokud ano, celou zprávu od tohoto kódu začne ukládat do pole typu *char* až po ukončující znak *. Z tohoto pole se potom do dalšího pole nakopírují pouze konkrétní hodnoty ze zprávy. Kontrolní součet zde není využit. Všechny NMEA zprávy GPS přijímače jsou posílány najednou.

Úsek programu pro uložení dané zprávy:

```
ISR (USART_RXC_vect) //určení konkrétní zprávy
{
    if(UDR=='$')// příjem pouze GPGBA dat.
    {
        a=1;
    }
    if(UDR=='G'&a==1)
    {
        a=2;
    }
    if(UDR=='P'&a==2)
    {
        a=3;
    }
    if(UDR=='G'&a==3)
    {
        a=4;
    }
    else
    {
        if(UDR=='G'&a==4)
```

```

{
a=5;
}
}
if(UDR=='A'&a==5)
{
a=6;
b=0;
}

} //konec preruseni

// funkce nactani GPS dat, vypnuti a zapnuti preruseni
void gps(void)
{
    b=1;

    UCSRB|=(1<<RXCIE); //povoleni preruseni
    while(b)
    {
        PORTC=0b01000000;
    }
    UCSRB = 0b00010000;
    c=1;

    while(c)
    {
        if(a==6) // nactani dat GPGGA
        {
            while(!(UCSRA & (1<<RXC)))
            {
            }

            PORTC=0b00000000;

            z=UDR; //prvni cteni UDR

            if(z=='*')
            { // pri prijmu znaku * prestat zapisovat do zasobniku
                a=0;
                idxw=0;
                c=0;
            }

            GGA[idxw]=z;
            idxw++;

        }

    } //konec while(c)
}

```

Program pro příjem a dekodování NMEA zpráv je uložen ve funkci *gps()*. Na začátku této funkce se nejdříve povolí přerušeni při příjmu dat přes rozhraní UART. Jakmile jsou potřebná data přijata, přerušeni se zakáže. Tento bod se vykonává spuštěním a vypadnutím z cyklu *while(b)*, jehož proměnná *b* se nastavuje v obslužné funkci pro přerušeni. Přerušeni nastane vždy při příjmu každého znaku. Pomocí první podmínky se znakem \$ se ověří jestli jde o začátek zprávy, pokud ano *a=1*. Při dalším přerušeni a dalším znaku se první *if* přeskočí, protože podmínka nebude platit, ale další *if* se vykoná protože se očekává příjem znaku G a *a=1* z předchozí podmínky. Po vykonání této podmínky se změní hodnota *a* na 2. Takto vyhodnocování pokračuje až po kompletní ověření druhu zprávy. Protože např. zpráva GGA obsahuje 2 G za sebou, je potřeba zajistit aby se nekryla podmínka s *a=3* s podmínkou *a=4*. Proměnná *a* je použita k ověření, že proběhla předchozí podmínka. Pokud by například byla požadována zpráva GGA a porovnávala by se se zprávou GSA, 4. podmínka by neplatila a hodnota *a* by se nezměnila na 5.

Následující znak už nebude navazovat na předchozí podmínku a čeká se tedy znovu na příchod znaku \$, kdy se provede ověřování od začátku. Po ověření druhu zprávy se zakáže přerušení a následující znaky se ukládají do pole GGA typu *char*. Příjem znaku se ověřuje pomocí bitu RXC v registru UCSRA. Jakmile se přijme ukončující znak *, data se přestanou ukládat. Nyní je celá zpráva GGA uložena v poli GGA. Pro příjem zprávy VTG se předchozí 2 kroky opakují (ověřování druhu zprávy a uložení zprávy). Nyní se ale ověřování zprávy neprovádí pomocí přerušení, ale pomocí příznaku RXC, přestože program pro ověření je stejný a ukládání zprávy se provádí do pole VTG. Přerušení bylo použito k synchronizaci přijímače, protože zpráva GGA se posílá před zprávou VTG. V tomto úseku programu je vynechána definice proměnných, nastavení I/O registrů procesoru a příkaz pro povolení globálního přerušení.

Úsek programu pro vybrání konkrétní hodnoty ze zprávy:

```
int main(void)
{
while(c)
{
a=0;
for(i=0;i<50;i++)
{
if(GGA[i]==' ')
a++;

if(a==9)// vyska
{
i++;
for(b=0;b<5;b++)
{
data[b]=GGA[i];
i++;
}

}
else
{
}
}
}
return 0;
}
```

Jak bylo popsáno výše, tak jednotlivé hodnoty jsou ve zprávě odděleny čárkami. Tento program pracuje tak, že pomocí první podmínky s *if* se počítají čárky. Jakmile se napočítá devátá (nebo jiná podle potřeby) čárka druhá podmínka s *a==9* (kde 9 znamená detekci 9. čárky) bude platit a do pole *data* se začnou kopírovat znaky z pole *GGA*, v němž je uložena zpráva, od pozice 9. čárky. Hodnota výšky zabírá ve zprávě 5 pozic, takže stačí kopírovat pouze 5 znaků. Nyní je hodnota výšky uložena v poli *data*. Stejný algoritmus je použit pro uložení hodnoty rychlosti ze zprávy VTG. Protože je k dispozici pouze informace o nadmořské výšce, je potřeba tuto hodnotu převést na výšku modelu nad modelářem. To je provedeno tak, že se převede hodnota nadmořské výšky z formátu *char* na formát *int* a odečte se od ní hodnota referenční nadmořské výšky. Po té se hodnota převede zpět z formátu *int* na *char*. Referenční hodnota nadmořské výšky se uloží do paměti pomocí stisknutí kalibračního tlačítka (splní se podmínka určité úrovně napětí na pinu 3 portu D procesoru). Definice proměnných zde opět není zobrazena.

5.5.3. Zpracování dat akcelerometru a napětí baterie

Akcelerometr má na výstupu napětí, které je úměrné zrychlení. Toto napětí je přivedeno na vstupy A/D převodníků procesoru a převedeno na binární hodnotu. Hodnota zrychlení je získána výpočtem z naměřeného napětí a z citlivosti akcelerometru, která je získána z jeho katalogového listu. Nejdříve byl program navržen tak, aby každá načtená hodnota zrychlení nezávisela na předchozí. Při testování zařízení v praxi se ale ukázalo, že naměřené hodnoty zrychlení byly velice proměnlivé, zřejmě kvůli otřesům a šumu. Proto bylo pro měření hodnot zrychlení zvoleno řešení, kterým je metoda postupného průměrování několika naměřených vzorků dat. Postupné průměrování v tomto programu pracuje tak, že při každém načtení hodnoty zrychlení dané osy akcelerometru se postupně naplňuje pole o velikosti 20 vzorků. Po naplnění tohoto pole se začne znovu přepisovat od nultého vzorku. Při každém načtení hodnoty vzorku a jeho zapsání do pole se vypočítá průměr ze všech vzorků v poli (z dvaceti hodnot). Výsledkem je stabilnější hodnota zrychlení při stejné rychlosti aktualizace dat na displeji. Metoda postupného průměrování je použita u všech tří os akcelerometru.

Úsek programu pro převod a přepočtení napětí akcelerometru:

```
<a2d.h>

adc_ac=a2dConvert10bit(0); // nacteni hodnoty x akcel.
ac_u=(adc_ac*2.96/1024);
ac_xp[poz] = (ac_u - 1.49)*1000;

for(i=0;i<20;i++) // secteni vsech vzorku v poli
a=a + ac_xp[i];

g = a/(400*20); //vysledne g

ftoa(g,2,ac_x); // prevedeni float na pole znaku
if(g>=0) //zamezeni posunutí čísla v poli doleva nebo doprava vlivem znaménka
{
ac_x[4]=ac_x[3];
ac_x[3]=ac_x[2];
ac_x[2]=ac_x[1];
ac_x[1]=ac_x[0];
ac_x[0]=' ';
}

poz++;
```

Tento úsek programu slouží k načtení a vypočtení zrychlení z výstupu osy x akcelerometru. Hodnota A/D převodníku se ukládá do proměnné *adc_ac*. Tato hodnota se poté přepočítává na skutečné napětí, jehož hodnota se ukládá do proměnné *ac_u*. Protože hodnota napětí akcelerometru je při 0 g rovna 1,49V (0,5 x *Vcc*), je nutné ji převést na nulovou hodnotu pro snadnější vypočítání směru zrychlení a také se převádí na mV pro snadnější pozdější převod na zrychlení. Tato hodnota se uloží do jedné z dvaceti pozic pole *ac_xp*, kde pozice záleží na hodnotě v proměnné *poz*. Dále následuje sečtení všech 20 vzorků, vypočítání průměru a převedení na zrychlení. Podle katalogového listu je citlivost akcelerometru přibližně 440mV/g při *Vcc* = 3,3V. V tomto zařízení je *Vcc* = 3V, čili bylo potřeba citlivost zjistit vyzkoušením (odečtení hodnoty napětí při naklonění akcelerometru, kdy *g* = 1 a *g* = -1). Byla zjištěna citlivost cca 400mV/g u osy x. Výsledná hodnota zrychlení se ukládá do proměnné *g*. Kvůli pozdějšímu odeslání dat se hodnota v proměnné *g* (typ float) převádí pomocí funkce *ftoa* na pole znaků typu *char*. Výsledná hodnota má tvar

„±x.xx“. Výše popsaný postup zpracování dat z jedné osy akcelerometru je použit u všech tří os.

V tomto úseku programu není definováno nastavení A/D převodníku a I/O registrů procesoru. Předpokládá se, že je A/D převodník nastaven na manuální spouštění, s referenčním napětím Vcc (cca 3V), bez zesílení. K ovládání A/D převodníku byla použita knihovna *a2d.h* obsažená v AVR Studio WinAVR.

Napětí baterie se převede na binární a přepočítá na skutečnou hodnotu podobně jako u akcelerometru. Změřené a přepočítané napětí se však musí vynásobit převráceným poměrem odporového děliče, který se nachází před vstupem do A/D převodníku, aby odpovídalo skutečné hodnotě.

5.5.4. Uspořádání naměřených dat do paketu

Po naměření všech dat se tyto data uspořádají do jednoho pole typu *char*, aby bylo možné a jednoduché poslat je najednou. Protože většina dat kromě NMEA zpráv GPS přijímače je typu *float*, je potřeba tyto data převést na typ *char*. Formát výstupního pole dat byl vytvořen podle formátu NMEA zpráv a to z důvodu jednoduchosti a praktičnosti, čili jednotlivé hodnoty mají pevné pozice a počet míst a jsou vzájemně odděleny čárkami.

Tab.7. Formát výstupního pole dat

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
X	X	X	.	X	,	X	X	X	.	X	,	X	.	X	X	,	X	X	.	X	X	,	X	X	.	X	X	,	X	X	.	X	X	,	*
výška					rychlost					napětí akumulá- toru					osa x akceler.					osa y akceler.					osa z akceler.										

Popis jednotlivých řádků tabulky:

1. Pozice v poli
2. Formát jednotlivých hodnot v poli
3. Název hodnoty

Aby bylo možné přijmout data přijímačem, je potřeba vytvořit datový packet, který obsahuje tzv. preambuli (sekvence 10101...), synchronizační slovo (slouží k časové synchronizaci přijímače s vysílačem) a vlastní data příp. kontrolní součet. Modul RFM12 neobsahuje funkci *packet handling* (automatické vytváření paketu), čili je potřeba tento datový packet vytvořit již před odesláním dat do vf modulu.

Tab.8. Formát datového paketu

Preamble	Synchronizační slovo	Data	Koncová preambule
2B	2B	36B	2B

Při odesílání paketu zachytí přijímač preambuli, díky které se připraví na příjem synchronizačního slova (modul RFM12 umožňuje dvoubytové synchr. slovo). Po zasynchronizování přijímače se již posílají a přijímají vlastní data (obsah výstupního pole dat) a nakonec se odešle koncová preambule, aby přijímač přijal všechna užitečná data. Kontrolní součet dat nebo jiná detekce chyb zde nebyla

použita, protože rychlost odesílání dat je poměrně pomalá (1x nebo 10x za sekundu) a při příjmu chybných dat by se rychlost aktualizace ještě více zpomalila vlivem zahození celého chybného paketu. Délka celého paketu je 42 bytů.

5.5.5. Komunikace s vf modulem po SPI a odeslání dat

Komunikace s modulem RFM12 probíhá pomocí rozhraní SPI. Modul je od výroby nastavený jako slave, čili řídicí procesor musí být nastaven jako master. Při komunikaci s modulem procesor posílá vždy 16-ti bitové datové rámce, z nichž první část je adresa konkrétního registru modulu a druhá část jsou data nebo konkrétní nastavení některých funkcí modulu. Před prvním odesláním užitečných dat je potřeba nastavit jednotlivé části modulu (režim TX nebo RX, stavový mód modulu, nosný kmitočet, frekvenční zdvih, vysílací výkon, bitrate atd.) podle katalogového listu modulu RFM12B. Po nastavení těchto částí se již před každým odesláním paketu (jeho struktura je uvedena výše) modul přepne pouze z pohotovostního režimu do režimu vysílání a po odeslání paketu zpět do pohotovostního režimu.

Úsek programu funkce pro posílání jednoho bytu do vf modulu:

```
void spiWrite(unsigned char adr, unsigned char data)
{
    PORTB&=(0<<PORTB4);
    PORTC|=(1<<PORTC7);

    spiTransferByte(adr);
    spiTransferByte(data);

    PORTC&=(0<<PORTC7);
    PORTB|=(1<<PORTB4);
}

void send_data(unsigned char tx_data)
{
    while(PIND&(1<<1));

    spiWrite(0xB8, tx_data);
}
```

Funkce *spiWrite* slouží k umožnění odeslání dvou bytů najednou přes SPI a dále k řízení PINu SS (Slave Select), který musí být při odesílání nebo čtení dat na logické úrovni 0. V této funkci je využita funkce *spiTransferByte*, která je umístěna v knihovně *spi.h* vytvořené pro kompilátor WinAvr. Funkce *send_data* slouží pouze k odesílání užitečných dat vf modulem. Využívá výše popsanou funkci *spiWrite*, která zde již v první části rámce obsahuje příkaz (B8) pro odesílání dat a ve druhé části rámce 1 byte užitečných dat v proměnné *tx_data* typu *unsigned char*. Modul RFM12B obsahuje speciální pin nIRQ, kde logická úroveň napětí na jeho výstupu signalizuje určitý stav modulu (funkce je podobná jako systém přerušení u jednočipových mikropočítačů, akorát je zde pouze 1 přerušovací kanál na všechny události). Tento pin je připojen k pinu 1 na port D řídicího procesoru. Jednou z událostí při které je aktivní přerušení (log. úroveň 0 na pinu nIRQ) je připravenost modulu k přijmutí dalšího bytu do FIFO (first in first out) registru k odeslání, protože předchozí data již byla odeslána. Ověřování stavu pinu nIRQ provádí podmínka *PIND&(1<<1)* v cyklu *while*, který s její použitím nedovolí, aby byla do FIFO registru nahrána další data, aniž by předchozí byla odeslána (na pinu nIRQ musí být hodnota 1). Při vlastním odeslání paketu dat se nejdříve do modulu nahrají 2 byty preamble pomocí funkce *spiWrite* (bez ověřování zda byla data odeslána), dále se pošle příkaz

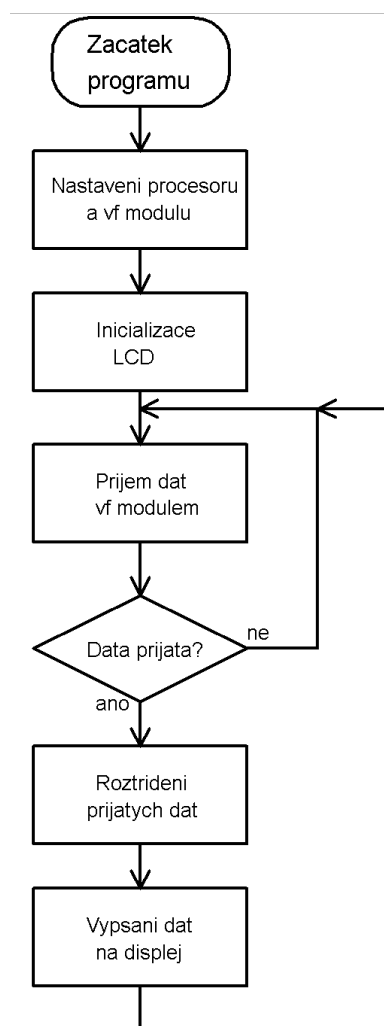
pro přepnutí modulu do režimu vysílání a po té se již odesílá zbytek paketu pomocí funkce *send_data*, který obsahuje synchr. slovo a užitečná data. Po odeslání dat se modul příkazem přepne opět do pohotovostního módu. Při praktickém testování vř modulu se při odeslání preamble pomocí funkce *send_data* při již přepnutém režimu modulu do stavu vysílání neměnil logický stav na pinu nIRQ (byl stále na úrovni 0), čili nebylo možné ověřit zda jsou data odeslána. Zřejmě byl chybný postup naplnění FIFO registru a přepnutí modulu do režimu vysílání.

5.6. Software přijímací jednotky

5.6.1. Základní struktura a vývojový diagram programu přijímací jednotky

Software přijímací jednotky je opět rozdělen do několika částí, což je vidět na následujícím vývojovém diagramu.

Vývojový diagram programu přijímací jednotky:



Obr. 20. Vývojový diagram programu přijímací jednotky

Program provede při spuštění opět nastavení vstupně výstupních registrů procesoru ATmega16 a dále nastavení vř modulu. Následuje inicializace LCD displeje (nastavení druhu komunikace, vymazání displeje, přesunutí kurzoru atd.). Po těchto rutinních nastaveních se již spustí funkce, která očekává příjem dat vř modulem. Jestliže není detekován žádný příjem dat po určitou dobu (cca 3s), přeskočí se proces rozřídění dat a na displeji se vypíše zpráva, že není dostupný signál. Po té se program bude znovu pokoušet přijmout data. Při detekování příjmu se přijatá data uloží a následně se rozřídí. Nakonec se tato rozříděná data vypíší na displej a program se znovu bude pokoušet přijmout nová data.

5.6.2. Příjem dat vř modulem

Pro příjem dat je použit stejný typ modulu jako ve vysílací jednotce (RFM12B). Zde je ale používán v režimu příjmu dat. Při spuštění přijímací jednotky se nejdříve opět provede nastavení jednotlivých částí vř modulu (kmitočet nosné, šířka pásma vstupního signálu, bitrate atd.) po němž stačí pouze posílat příkaz pro čtení dat z FIFO registru. Velikost FIFO registru je 2 byty. Pro čtení dat z vř modulu byla vytvořena následující funkce.

Úsek programu funkce pro čtení jednoho bytu z vř modulu:

```
unsigned char receive_data(void)
{
    unsigned char  rec;

    t=0;
    while((PIND&(1<<2))&&(t<=8000))
    {
        PORTA|=(1<<PORTA4); // ceka na prijem dat
        t++;
    }
    PORTA&=(0<<PORTA4);

    if(t>=7000)
    {
        lcdGotoXY(0,0);
        lcdPrintData("no_sig",6);

        i=49;
    }
    else
        t=0;

    spiWrite(0x00, 0x00); //
    rec=spiTransferWord(0xB000);

    return rec;
}
```

Funkce *receive_data* vrací hodnotu přijatého bytu z přijímače. Pro komunikaci s modulem využívá výše popsanou funkci *spiWrite*, která zde obsahuje příkaz (0x00) pro přečtení tzv. status registru přijímače, aby se deaktivoval stav přerušení (pokud není přerušení aktivní, úroveň napětí na pinu nIRQ je 1). Z praktické zkušenosti se bez přečtení status registru i když byl přečten obsah FIFO přerušení nedeaktivovalo. V katalogovém listu modulu se o tom nic nepíše. Dále je zde využita funkce *spiTransferWord* z knihovny spi.h, pomocí které se čtou přijatá data z přijímače. Funkce umožňuje odeslání a čtení 16-ti bitového rámce. Pro čtení dat z FIFO je potřeba poslat příkaz B0 (první polovina rámce) a následně se během odesílání druhé poloviny rámce (třeba 0x00) posílá jeden byte z FIFO. K ověření, zda jsou nová data k dispozici slouží výše popsaný pin nIRQ, který je připojen k pinu 2 portu

D. Jestliže jsou data k dispozici, logická úroveň je 0. K tomuto ověření slouží cyklus *while* s podmínkou *PIND & (1 < 2)*. Druhá podmínka ($t \leq 8000$) slouží k tomu, aby při nepřítomnosti signálu po delší dobu (cca 3s) byla na displej vypsána zpráva „no_sig“. Toho je dosaženo tím, že během čekání na příchod dat je přičítána hodnota v proměnné *t* do té doby, než přestane platit jedna z podmínek v hlavičce cyklu. Po vypsání zprávy na displej se opakuje čekání na příchozí data. Při přijímání a ukládání celého paketu dat, který byl vyslán vysílací jednotkou se tento proces ukončí při příjmu znaku „*“, který je obsažen na konci užitečných dat v paketu.

5.6.3. Zpracování a roztřídění přijatých dat

Jednotlivé byty paketu, kromě preamble a synchronizačního slova se ukládají do pole znaků, které má po přijetí všech bytů stejný obsah jako výstupní pole dat ve vysílací jednotce. Pole je typu *char*. Nyní se jednotlivé hodnoty z pole roztřídí do svých vlastních polí, aby bylo po té jednodušší zobrazit tyto hodnoty na displeji. Původně bylo uvažováno, že se budou jednotlivé údaje třídit podle pořadí čárky, kterou jsou odděleny. Nakonec se ale ukázalo, že nedochází k předpokládanému náhodnému posunu bytů díky dobré synchronizaci přijímače a data jsou tříděna pouze podle pevného umístění v odeslaném paketu.

Úsek programu s funkcí pro třídění přijatých dat:

```
for(i=0;i<5;i++)
{
    alt[i]=buffer[i];
    spd[i]=buffer[i+6];
    ac_x[i]=buffer[i+17];
    ac_y[i]=buffer[i+23];
    ac_z[i]=buffer[i+29];
}
```

Přijatá data jsou uložena v poli *buffer*, ze kterého se kopírují do jednotlivých menších polí. Cyklus *for* má pouze 5 opakování a při každém proběhnutí cyklu se zkopíruje 1 byte všech hodnot (výšky, rychlosti, zrychlení). Tím je dosažena velká efektivita cyklu.

5.6.4. Zobrazení přijatých dat na LCD displeji

Na LCD displeji se zobrazuje celkem 8 údajů (přítomnost signálu, napětí baterie přijímače, výška, rychlost, zrychlení ve všech třech osách akcelerometru a napětí baterie modelu). Při navrhování rozmístění jednotlivých údajů na displeji byl zvolen kompromis mezi velikostí displeje, délkou zobrazovaných údajů (přesností) a délkou označení a jednotek měřených hodnot. Bylo zvoleno následující řešení.

Tab.9. Rozmístění naměřených údajů na displeji

s	i	g	_	o	k			X	:	±	1	.	0	0	G
u	:	7	.	5	0	V		Y	:	±	1	.	0	0	G
S	:	0	6	0	k	m	h	Z	:	±	1	.	0	0	G
A	:	1	0	0	m			U	:		6	.	3	0	V

Popis zkratk označení měřených veličin:

u	- napětí akumulátoru přijímače
S	- rychlost
A	- výška
X	- zrychlení v ose x
Y	- zrychlení v ose y
Z	- zrychlení v ose z
U	- napětí akumulátoru modelu
sig_ok	- byl zachycen signál vysílací jednotky
no_sig	- nebyl zachycen signál vysílací jednotky (zobrazí se při nepřítomnosti signálu po době cca 3s)

Při spuštění přijímací jednotky a zachycení signálu se na displej nejdříve vypíše zkratky a jednotky měřených veličin, po té se postupně vypíše vlastní naměřené hodnoty. Při vypadnutí signálu se předchozí hodnoty nesmažou, pouze se vypíše informace o vypadnutí signálu (no_sig). Údaj o napětí akumulátoru přijímače je aktualizován a zobrazován neustále. Rychlost aktualizace naměřených dat je při aktivovaném GPS přijímači 1Hz a při deaktivovaném (vysílací jednotka odesílá pouze údaj napětí akumulátoru a zrychlení) je rychlost aktualizace cca 10Hz.

Úsek programu pro odesílání dat na displej:

```
for(i=0;i<5;i++)
{
  if(i<3)
  {
    lcdGotoXY(i+2,2);
    lcdDataWrite(spd[i]);
    lcdGotoXY(i+2,3);
    lcdDataWrite(alt[i]);
  }
  lcdGotoXY(i+9,0);
  lcdDataWrite(ac_x[i]);
  lcdGotoXY(i+9,1);
  lcdDataWrite(ac_y[i]);
  lcdGotoXY(i+9,2);
  lcdDataWrite(ac_z[i]);
}
```

Pro komunikaci s displejem je využita knihovna *lcd.h* vytvořená pro kompilátor WinAvr. Funkce *lcdGotoXY* slouží k nastavení kurzoru na určité místo na displeji a pomocí funkce *lcdDataWrite* se запиše jeden znak na pozici kurzoru. Hodnoty měřených veličin se vypisují postupně po znacích, ale v jednom cyklu se vypíše vždy jeden znak z každé hodnoty. Podmínka *if(i<3)* slouží k vypsání pouze 3 znaků, ze kterých se skládá údaj rychlosti a výšky.

5.7. Plošný spoj a konstrukce vysílací jednotky

Hlavní požadavky byly při návrhu plošného spoje miniaturizace zařízení a odolnost vůči poškození např. při pádu. To se do určité míry splnilo díky použití SMD součástek a snaze navrhnout co nejmenší plošný spoj. Vysílací jednotka obsahuje celkem 2 plošné spoje, z nichž jeden obsahuje řídicí procesor, napájecí obvod, akcelerometr a vf modul a na druhém se nachází GPS modul a GPS anténa. Takto řešeno je to z důvodu možnosti deaktivace čtení dat z GPS modulu a jeho odpojení a zrychlit tak aktualizaci ostatních dat.

Ke správné funkci GPS modulu byla zakoupena externí anténa se zesilovačem neznámého výrobce. Z plastového obalu byla vytažena pouze patch anténa se zesilovačem a pomocí dvojice měděných vodičů připevněna k plošnému spoji. Kvůli nedostatku místa a nutnosti připájet k anténě nechtěně utržený koaxiální kabel bylo nutné sejmut stínící kryt zesilovače. Ukázalo se ale, že bez něj nemůže pracovat, takže zesilovač byl vyřazen z činnosti. Samotná anténa má ale dostatečný zisk ke správné funkci GPS přijímače. Anténa je s GPS modulem propojena pomocí koaxiálního kabelu.



Obr. 21. Plošný spoj s GPS modulem a připevněnou anténou

Plošný spoj s řídicím procesorem obsahuje konektory pro připojení programátoru, GPS modulu a přepínače pro volbu zda má být tento modul použit či nikoliv. K vf modulu bylo potřeba vyrobit anténu pro pásmo 868MHz. Osvědčila se čtvrtvlnná anténa, což může být drátek o délce cca 8,6cm.

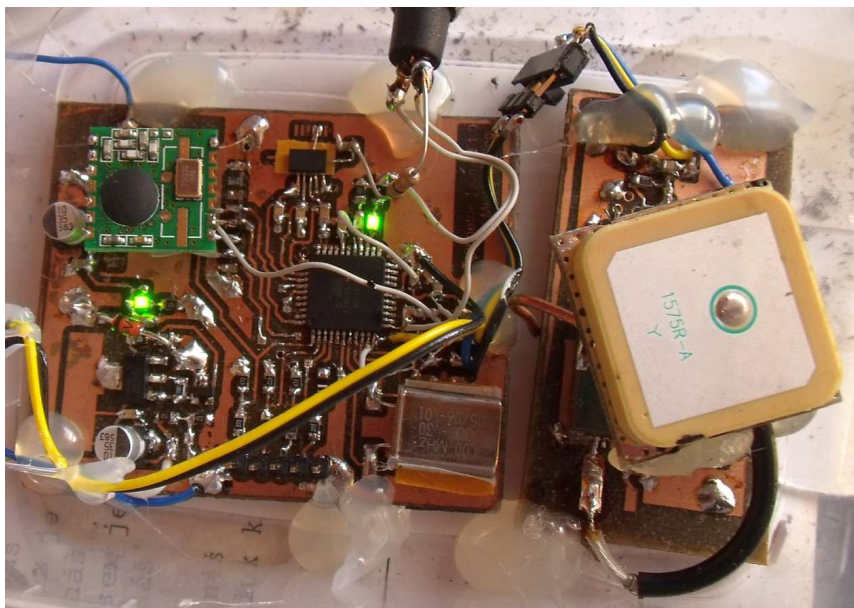
$$\begin{aligned}\text{Výpočet čtvrtvlnné antény:} \quad l &= c/4f \\ l &= 300 \cdot 10^6 / 4 \cdot 868 \cdot 10^6 = \underline{8,64\text{cm}}\end{aligned}$$

Plošný spoj byl navrhnout jako oboustranný a volné plochy jsou zality mědí připojenou k zemi.

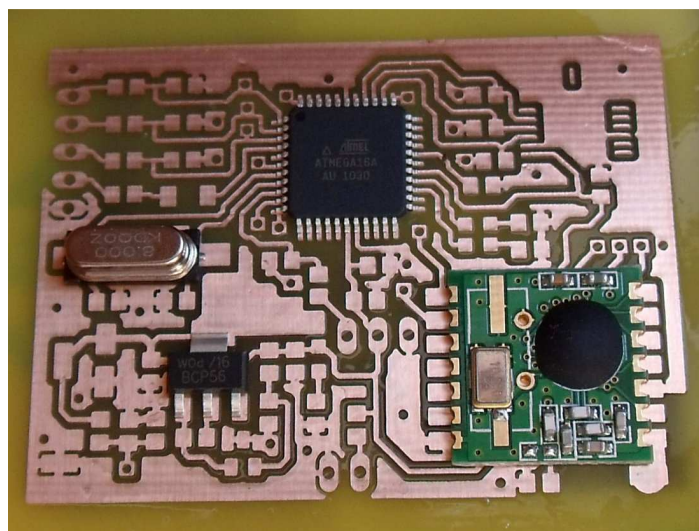
Rozměry plošných spojů vysílací jednotky:

Plošný spoj obsahující řídicí procesor - 54 x 40mm

Plošný spoj obsahující GPS modul - 49 x 30mm



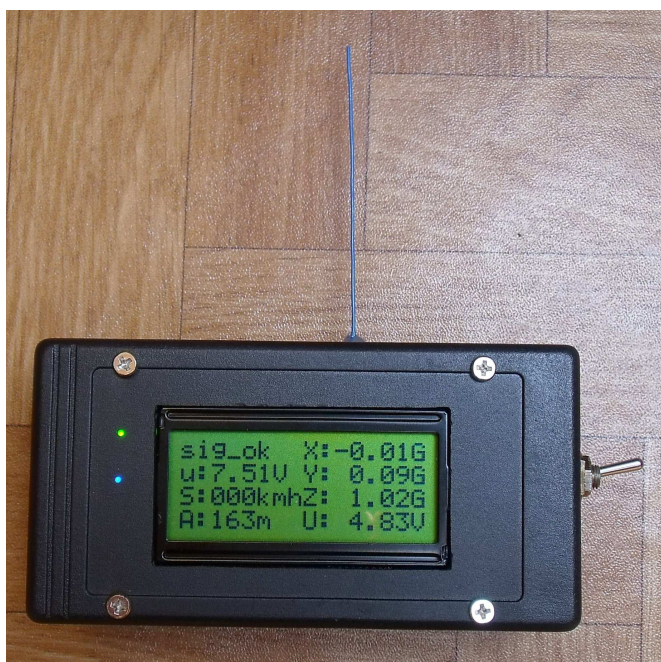
Obr. 22. Fotografie zkušebního plošného spoje vysílací jednotky a plošného spoje GPS modulu



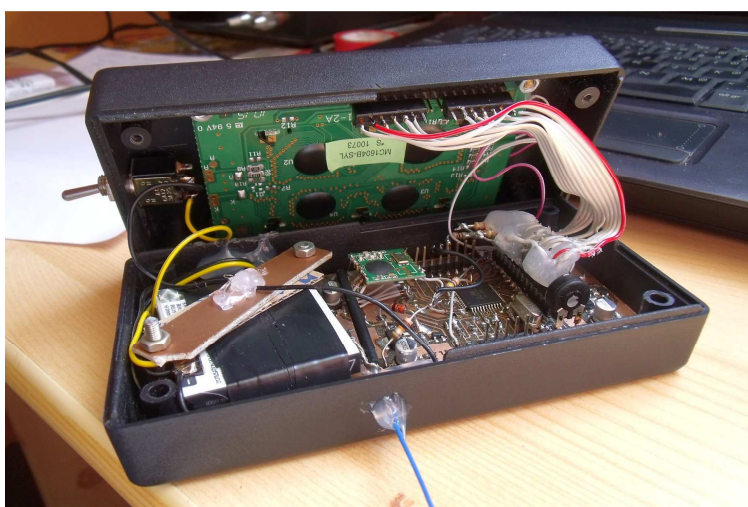
Obr. 23. Fotografie konečného plošného spoje vysílací jednotky ještě s nezapájenými součástkami

5.8. Plošný spoj a konstrukce přijímací jednotky

Na velikost plošného spoje nejsou kladeny takové nároky jako u vysílací jednotky, protože není omezena prostorem poskytnutým v modelu letadla. Přijímací jednotka obsahuje pouze jeden plošný spoj a displej, který je připojen pomocí vícežilového kabelu. Deska plošného spoje obsahuje opět konektory pro připojení displeje a programátoru. K vř modulu je potřeba připojit stejnou anténu jaká byla použita u vysílací jednotky, čili drátek o délce asi 8,6cm. Plošný spoj je oboustranný a volné plochy jsou zality mědí připojenou k zemi. Přijímací jednotka je zabudována do krabičky o velikosti 125 x 65 x 40mm spolu s displejem a dvěma li-on akumulátory.



Obr. 24. Fotografie přijímací jednotky zabudované v krabičce



Obr. 25. Fotografie uspořádání přijímací jednotky uvnitř krabičky

5.9. Celkové parametry a funkce zařízení

Parametry zařízení monitor leteckých modelů:

Napájecí napětí vysílací jednotky	5 – 10V
Proudová spotřeba vysílací jednotky	140mA
Napájecí napětí přijímací jednotky	6 – 10V
Proudová spotřeba přijímací jednotky	70mA
Pracovní kmitočet zařízení	868.00MHz
Dosah zařízení	cca 100m
Rychlost aktualizace dat	1Hz (při zapnutém GPS modulu) 10Hz (při vypnutém GPS modulu)

Zobrazované informace zařízení monitor leteckých modelů:

- napětí akumulátoru modelu
- rychlost modelu
- výška modelu nad zemí (možnost nastavení referenční nadmořské výšky)
- zrychlení v ose x
- zrychlení v ose y
- zrychlení v ose z
- napětí akumulátoru přijímače
- indikace zachycení signálu vysílací jednotky

5.10. Stručný popis prostředí AVR studio + WinAVR

Program, který je použitý v zařízení monitor leteckých modelů, je psaný v aplikaci AVR Studio. vývojové prostředí AVR Studio slouží k programování a odlaďování procesorů od firmy Atmel, především typu AVR. Programování se provádí v jazyce symbolických adres nebo při nainstalování plug - inu WinAVR také v jazyce C. AVR Studio obsahuje simulátor mnoha typů procesorů, umožňuje vytvořený program přímo odsimulovat a částečně odladit. Dále je možné prohlížet si obsah RAM paměti procesoru, EEPROM a hodnoty proměnných. Toto prostředí obsahuje také ovladače pro různé typy programátorů a umožňuje procesor přímo naprogramovat. Aplikace umožňuje otevření několika oken, např. knihovnu, hlavní program, obsah paměti a přehledně je uspořádat. Základní verze AVR Studia bez plug - inů umožňuje programování pouze v assembleru, ale při nainstalování překladače WinAVR je možné programovat i v jazyce C. WinAVR je open source software, který je volně přístupný na internetu. Umožňuje importovat knihovny s funkcemi a ulehčit tak práci při jejich vytváření.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat zařízení pro bezdrátový přenos hodnot vybraných veličin z leteckého modelu k modeláři. Mezi měřené veličiny patří napětí akumulátoru modelu, výška a rychlost modelu a náklon modelu, přičemž všechny zjištěné hodnoty jsou v reálném čase zobrazovány na LCD displeji. Během tvorby bakalářské práce bylo prostudováno mnoho způsobů měření vybraných veličin. Ukázalo se, že měření úhlu náklonu modelu je poměrně složité (návrh umělého horizontu by velmi přesáhl rámec této práce) a proto bylo po dohodě s vedoucím práce rozhodnuto, že místo náklonu modelu bude stačit měřit zrychlení ve všech třech osách. Zadání bakalářské práce se tedy podařilo po malé úpravě splnit. Pro měření výšky a rychlosti modelu byla vybrána metoda použití GPS zejména z důvodu poměrně dobré přesnosti a jednoduchosti. V tomto zařízení je použit GPS modul od firmy Hope RFelectronic GPS02 díky jeho nízké ceně, ale při ještě dostačující kvalitě. K tomuto modulu byla ještě dokoupena externí GPS anténa neznámého výrobce. K měření zrychlení modelu byl vybrán 3D akcelerometr od firmy Freescale MMA7341LT s analogovým výstupem měřené veličiny. Jako řídicí procesor přijímací i vysílací jednotky byl vybrán čip od firmy Atmel typu AVR ATmega16A díky poměrně nízké ceně vzhledem k množství funkcí a dobrých parametrů procesoru. Za zobrazovací jednotku v přijímači byl zvolen znakový displej MC1604B-SYL neznámého výrobce o zobrazovací kapacitě 4 řádky při 16-ti znacích na řádek. Původně bylo uvažováno použití grafického displeje, ale ten vyžaduje k ovládání více vodičů a je cenově náročnější. Použitý displej byl zvolen jako kompromis mezi cenou a zobrazovací kapacitou. K bezdrátovému přenosu dat jsou použity moduly opět od firmy Hope RFelectronic typu RFM12B. Původně bylo zamýšleno použití modulů RFM42 a RFM31, ale při praktickém testování zařízení přestával přijímací modul RFM31 komunikovat s řídicím procesorem zřejmě kvůli přehřívání (po „pofoukání“ modulu začal opět fungovat). Přitom byl provozován za podmínek, které jsou uvedeny v katalogu.

Celková cena zařízení se pohybuje kolem 1700Kč. Provoz zařízení v leteckém modelu nebyl otestován, ale vyzkoušený dosah při přímé viditelnosti se pohybuje kolem 100 – 200m v závislosti na poloze antény. Otázkou je, jak bude pracovat GPS přijímač při různém naklonění antény v závislosti na poloze modelu. Při normálním přímém letu modelu nebo při mírném naklonění se předpokládá, že bude fungovat bez problému.

7. Použitá literatura

- [1] WIKIPEDIE. Telemetrie [online]. [cit. 16. dubna 2011]. Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Telemetrie> >
- [2] WIKIPEDIE. Letecký Výškoměr [online]. [cit. 21. prosince 2010]. Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BD%C5%A1kom%C4%9Br> >
- [3] WIKIPEDIE. Global Positioning system [online]. [cit. 13. prosince 2010]. Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS> >
- [4] WIKIPEDIE. Radiolokátor [online]. [cit. 2. listopadu 2010]. Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Radar> >
- [5] VOJÁČEK, A., Jak pracují nové 3D akcelerometry Freescale? [online]. [cit. 30. dubna 2007]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/Produkty/Nove-soucastky/ART1875-Jak-pracuji-nove-3D-MEMS-akcelerometry-Freescale-.html>>
- [6] VOJÁČEK, A., Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS [online]. [cit. 10. března 2008]. Dostupný z WWW:<<http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/gyroskopy.htm>>
- [7] FYZMATIK. Pitotova trubice [online]. [cit. 15. června 2009]. Dostupný z WWW: < <http://fyzmatik.pise.cz/114610-pitotova-trubice.html> >
- [8] TME. Transfer Multisort Elektronik [online]. [cit. 2. května 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.tme.eu/cz/>>
- [9] DATASHEETCATALOG. Katalogové listy elektronických součástek [online]. [cit. 25. března 2011]. Dostupný z WWW: < <http://www.datasheetcatalog.com> >
- [10] FRÝZA, T., Mikroprocesorová technika, Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008.
- [11] WIKIPEDIE. Protokol NMEA0183 [online]. [cit. 15. prosince 2010]. Dostupný z WWW: < http://en.wikipedia.org/wiki/NMEA_0183 >
- [12] RYDVAL, S., Princip a fungování GPS [online]. [cit. 1. prosince 2005]. Dostupný z WWW: < <http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2005110301> >
- [13] ANDERSON, R., Avionika [online]. [cit. neznámá]. Dostupný z WWW: < <http://www.ronanderson.com/avionics.htm> >
- [14] LIQUIDWARE. 3 – Axis accelerometer [online]. [cit. 2011]. Dostupný z WWW: <<http://www.liquidware.com/shop/show/SEN-3AX/3-axis+Accelerometer+Module> >

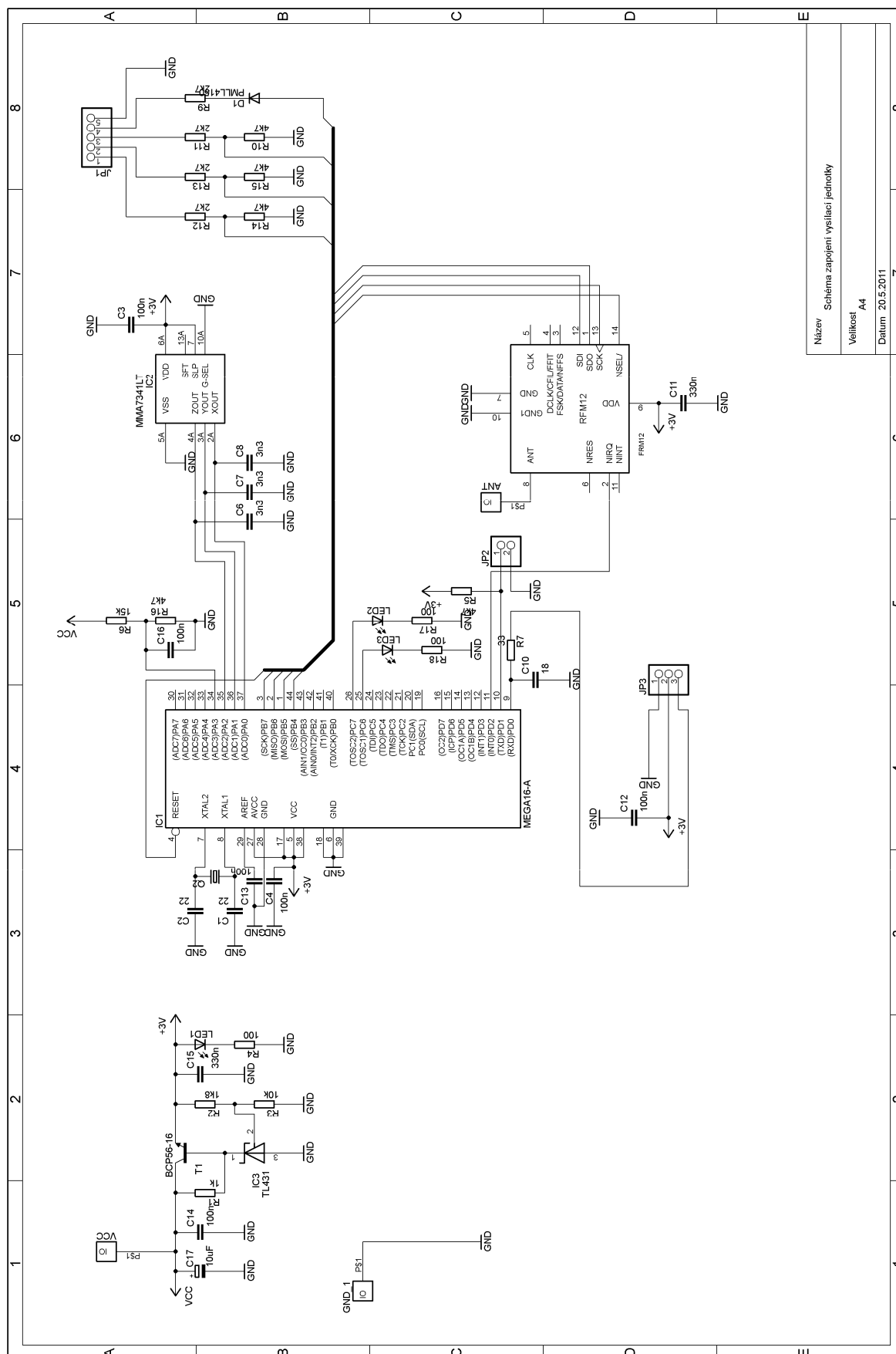
- [15] ATMEL®. Katalogový list procesoru ATmega16A [online]. [cit. červenec 2009]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf>
- [16] HOPERF. Katalogový list vf modulu RFM42 [online]. [cit. 2006]. Dostupný z WWW: <http://www.hoperf.com/upfile/rfm42_43.pdf>

8. Přílohy

Seznam příloh

- Příloha 1: Schéma zapojení vysílací jednotky
- Příloha 2: Plošný spoj a rozmístění součástek vysílací jednotky
- Příloha 3: Schéma zapojení obvodu s GPS modulem
- Příloha 4: Plošný spoj a rozmístění součástek na desce s GPS modulem
- Příloha 5: Schéma zapojení přijímací jednotky
- Příloha 6: Plošný spoj a rozmístění součástek přijímací jednotky
- Příloha 7: Seznam součástek vysílací jednotky
- Příloha 8: Seznam součástek obvodu s GPS modulem
- Příloha 9: Seznam součástek přijímací jednotky

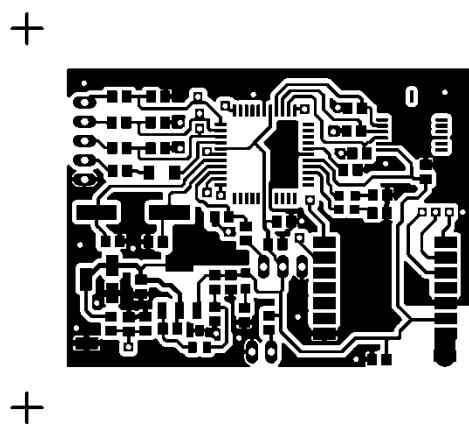
Příloha 1 - Schéma zapojení vysílací jednotky



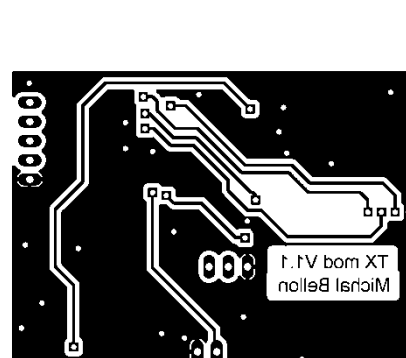
Název	Schéma zapojení vysílací jednotky
Velikost	A4
Datum	20.5.2011

Příloha 2 – Plošný spoj a rozmístění součástek vysílací jednotky

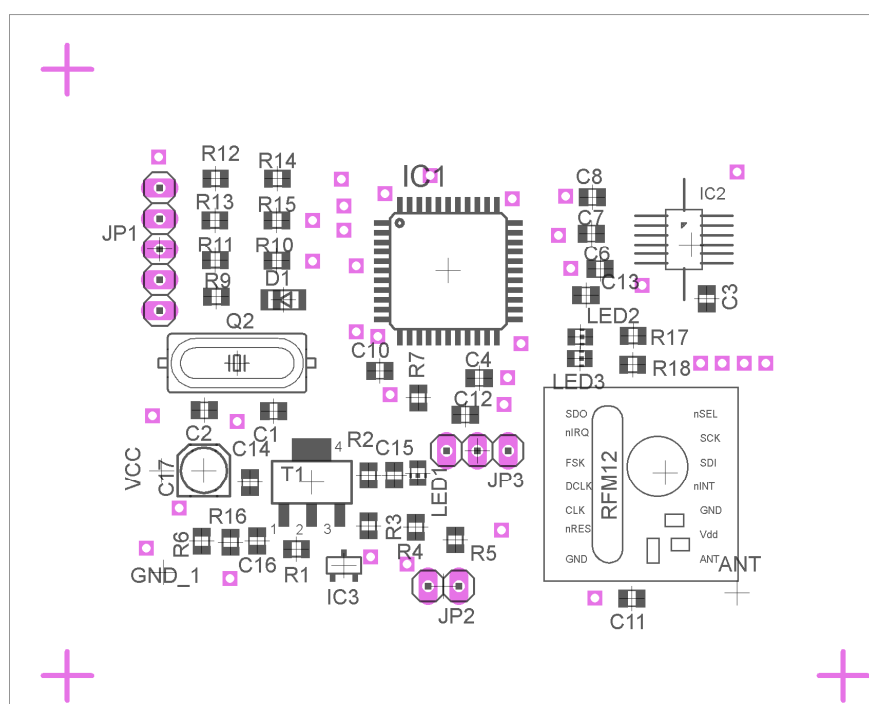
Horní strana



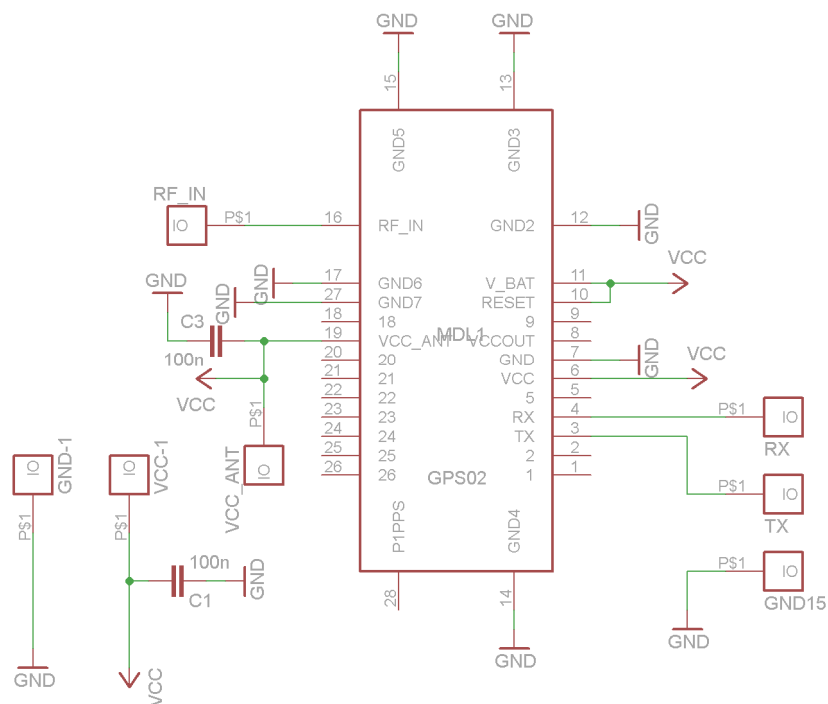
Spodní strana



Rozmístění součástek

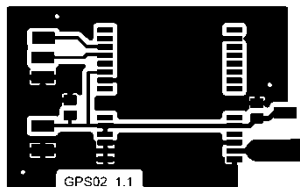


Příloha 3 - Schéma zapojení obvodu s GPS modulem



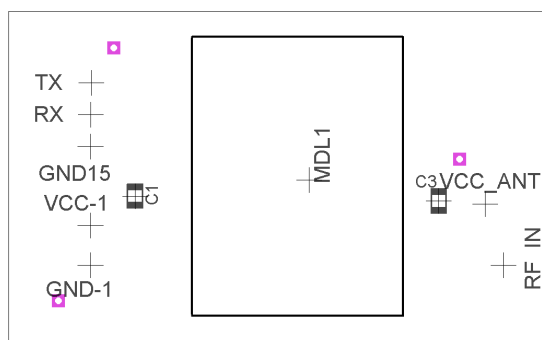
Příloha 4 - Plošný spoj a rozmístění součástek na desce s GPS modulem

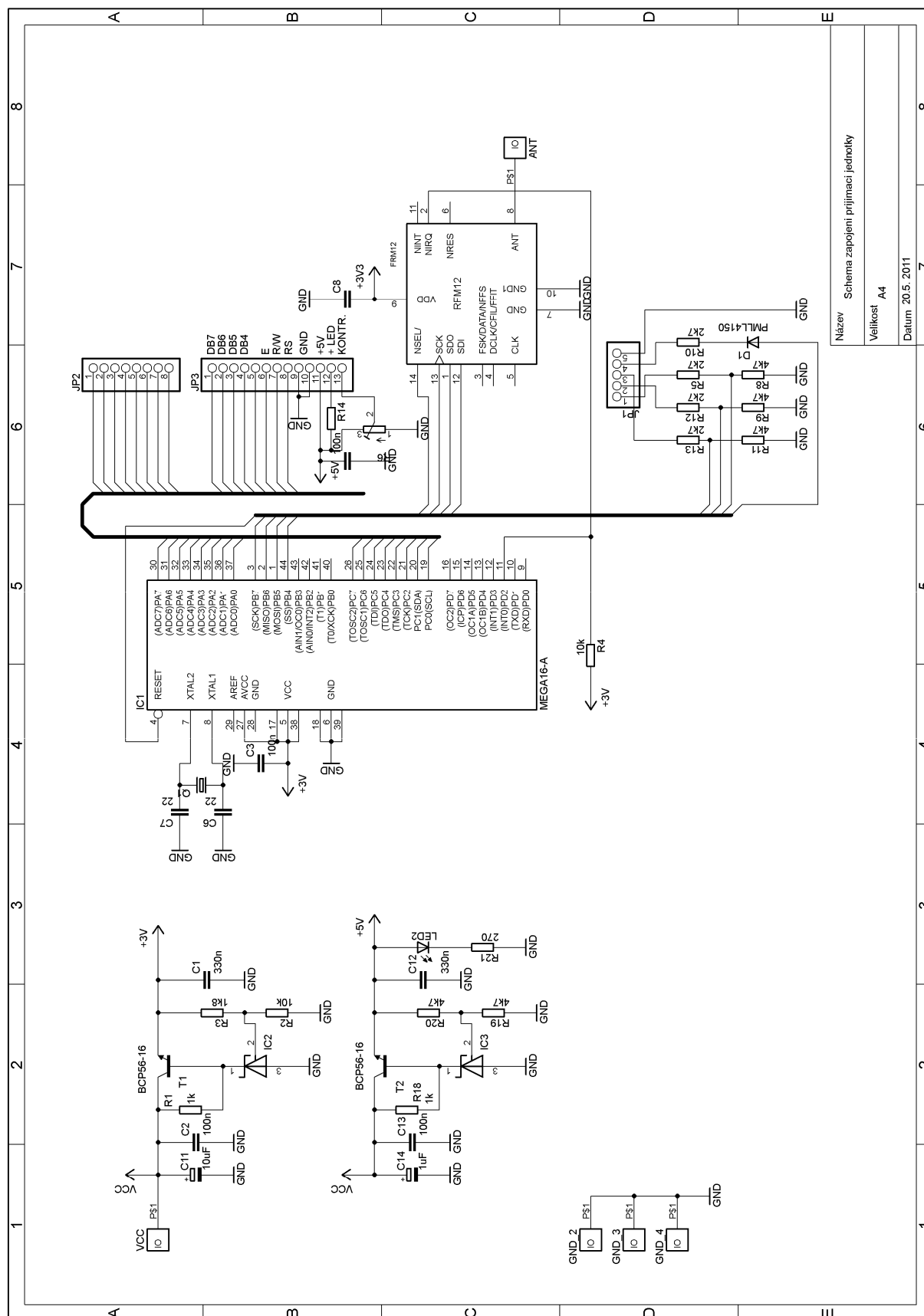
Horní strana



Spodní strana je celá pokryta mědí

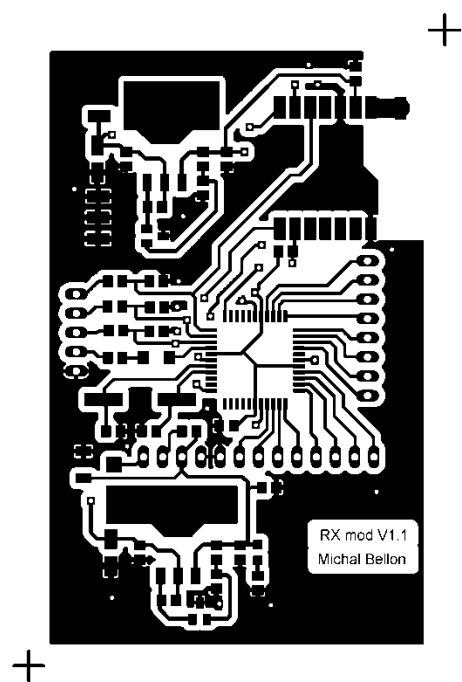
Rozmístění součástek



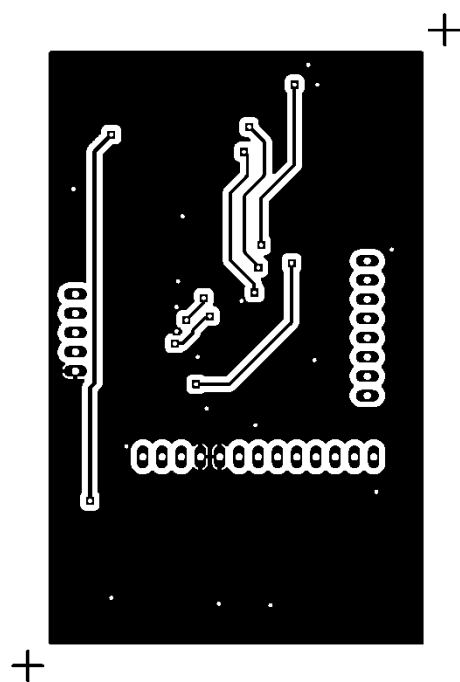


Příloha 6 – Plošný spoj a rozmístění součástek přijímací jednotky

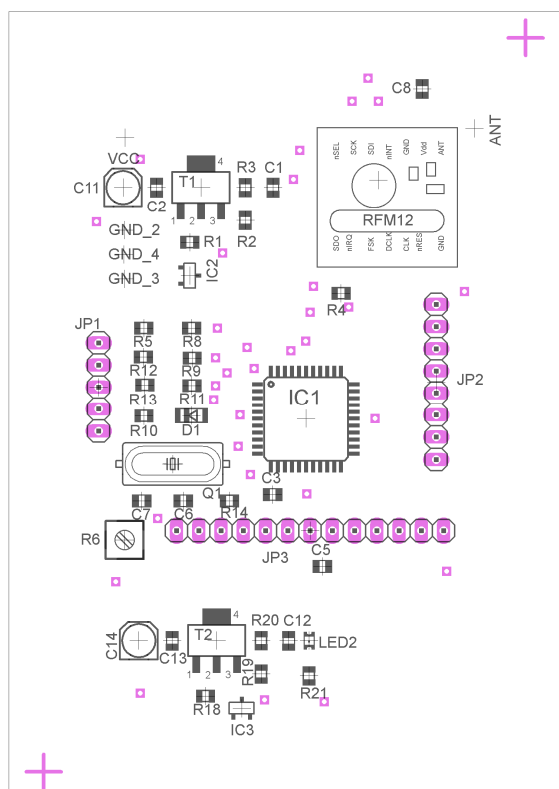
Horní strana



Spodní strana



Rozmístění součástek



Příloha 7 – Seznam součástek vysílací jednotky

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
ANT		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
C1	22	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C2	22	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C3	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C4	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C6	3n3	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C7	3n3	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C8	3n3	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C10	18	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C11	330n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C12	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C13	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C14	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C15	330n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C16	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C17	10uF	CPOL-EU153CLV-0405	153CLV-0405	rcl	1
D1	PMLL4150	PMLL4150	SOD80C	diode	1
GND_1		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
IC1	MEGA16-A	MEGA16-A	TQFP44	atmel	1
IC2	MMA7341LT	MMA7341LT	MMA7341LT	MMA7341LT	1
IC3	TL431	TL431-SOT23	SOT23	transistor-npn	1
JP1		PINHD-1X5	1X05	pinhead	1
JP2		PINHD-1X2	1X02	pinhead	1
JP3		PINHD-1X3	1X03	pinhead	1
LED1		LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805	led	1
LED2		LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805	led	1
LED3		LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805	led	1
Q2		CRYSTALHC49UP	HC49UP	crystal	1
R1	1k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R2	1k8	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R3	10k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R4	100	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R5	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R6	15k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R7	33	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R9	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R10	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R11	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R12	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R13	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R14	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R15	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R16	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R17	100	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R18	100	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
T1	BCP56-16	BCP56-16	SOT223	transistor-npn	1
U\$1	FRM12	FRM12	RFM12	RFM12	1
VCC		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1

Seznam součástek je vygenerovaný programem EAGLE, označení součástek odpovídá příslušným schémátům.

Příloha 8 – Seznam součástek obvodu s GPS modulem

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
C1	100n	C-EUC0805K	C0805K	rc1	1
C3	100n	C-EUC0805K	C0805K	rc1	1
GND-1		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
GND15		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
MDL1		GPS02	MODUL	GPS_02	1
RF_IN		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
RX		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
TX		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
VCC-1		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
VCC_ANT		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1

Seznam součástek je vygenerovaný programem EAGLE, označení součástek odpovídá příslušným schémátům.

Příloha 9 – Seznam součástek přijímací jednotky

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
ANT		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
C1	330n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C2	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C3	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C5	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C6	22	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C7	22	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C8		C-EUC0805	C0805	rcl	1
C11	10uF	CPOL-EU153CLV-0405	153CLV-0405	rcl	1
C12	330n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C13	100n	C-EUC0805	C0805	rcl	1
C14	1uF	CPOL-EU153CLV-0405	153CLV-0405	rcl	1
D1	PMLL4150	PMLL4150	SOD80C	diode	1
GND_2		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
GND_3		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
GND_4		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1
IC1	MEGA16-A	MEGA16-A	TQFP44	atmel	1
IC2		TL431-SOT23	SOT23	transistor-npn	1
IC3		TL431-SOT23	SOT23	transistor-npn	1
JP1		PINHD-1X5	1X05	pinhead	1
JP2		PINHD-1X8	1X08	pinhead	1
JP3		PINHD-1X13	1X13	pinhead	1
LED2		LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805	led	1
Q1		CRYSTALSM49	SM49	crystal	1
R1	1k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R2	10k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R3	1k8	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R4	10k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R5	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R6		R-TRIMM3314J	RTRIM3314J	rcl	1
R8	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R9	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R10	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R11	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R12	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R13	2k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R14		R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R18	1k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R19	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R20	4k7	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
R21	270	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
T1	BCP56-16	BCP56-16	SOT223	transistor-npn	1
T2	BCP56-16	BCP56-16	SOT223	transistor-npn	1
U\$1	FRM12	FRM12	RFM12	RFM12	1
VCC		PAD_1.5X3	PAD_1.5X3	PAD	1

Seznam součástek je vygenerovaný programem EAGLE, označení součástek odpovídá příslušným schémátům.