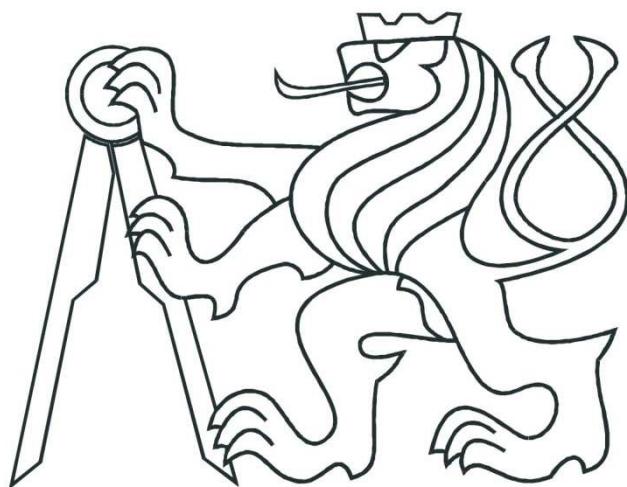


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDÍCÍ TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Telemetrie a zaměřování polohy modelu pomocí GPS

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Špinka

Diplomant: Petr Janků

prosinec 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedeném v přiloženém seznamu.

V Nové Pace dne 9.12.2008

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Ondřeji Špinkovi za jeho cenné rady a připomínky k této práci. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě podporovali během celého studia

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá měřením polohy modelu letadla pomocí systému GPS, měřením zrychlení, teploty vzduchu a tlaku vzduchu. Tyto naměřené hodnoty jsou přenášeny v reálném čase z modelu na zem, pomocí bezdrátového modulu, který pracuje na frekvenci 433MHz. Tato data jsou na zemi uložena do paměťové karty MMC a jsou přímo zobrazena na pozemní stanici. Dále jsou přijatá data posílána z pozemní stanice po sběrnici RS-232 do PC, kde jsou data zobrazena pomocí aplikace Data Receiver. Z naměřených dat je následně vykresleny grafy v programu Matlab.

Abstract

This graduation thesis deals with position measurement of the model using GPS, measuring the acceleration, the air temperature and the air pressure. The measured data are transferred from the model onto the ground in real time with using a wireless 433MHz module. These data are stored in a MMC memory card and are directly displayed in the ground station. In the next step the data are sent from the ground station via the RS-232 bus into PC where the data are displayed by using the Data Receiver application. Then the data are visualized in the graphs generated by the Matlab program.

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Petr Janek

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Telemetrie a zaměřování polohy modelu pomocí GPS

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou zaměřování polohy pomocí GPS a vyberte vhodný GPS modul pro použití v leteckém modelu.
2. Seznamte se s modulem Nordic pro bezdrátový přenos v pásmu 2,4 GHz.
3. Navrhněte a realizujte zapojení pro přenos aktuální polohy modelu letadla na pozemní stanici a realizujte software pozemní stanice.
4. Zařízení důkladně otestujte v provozních podmínkách.

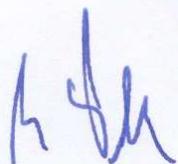
Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ondřej Špinka

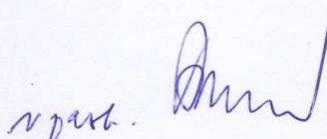
Termín zadání diplomové práce: zimní semestr 2006/2007

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2008

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan


prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Předchozí verze	2
2	Koncepce telemetrického zařízení	4
2.1	GPS modul	5
2.2	USB/UART převodník	6
2.3	RF modul	6
3	Použité moduly a senzory	7
3.1	Rádiové moduly	7
3.1.1	<i>Nordic nRF9E5</i>	7
3.1.1.1	MCU	9
3.1.1.2	Konfigurace paměti	9
3.1.1.3	Transceiver	9
3.1.1.4	Režim ShockBurst™	10
3.1.2	<i>Radiocraft RC1240</i>	10
3.1.2.1	Konfigurace modulu RC1240	11
3.1.2.2	Vysílací módy	13
3.1.3	<i>Hope microelectronics RFM12BP</i>	13
3.1.3.1	Konfigurace RFM12BP	14
3.1.3.2	Typický vysílací cyklus	15
3.1.3.3	Typický přijímací cyklus	15
3.2	GPS moduly	17
3.2.1	<i>Fastax iTrax03-s</i>	17
3.2.1.1	Výpočet charakteristické impedance plošného vodiče	18
3.2.1.2	Konfigurace iTrax03-s	18
3.2.1.3	Napájení modulu	20
3.2.2	<i>ETEK EB85A</i>	21
3.2.2.1	Konfigurace modulu EB85A	22
3.2.3	<i>GPS externí aktivní antény</i>	23
3.2.3.1	<i>GeoHelix-S</i>	23

3.2.3.2	2J400U.....	24
3.3	Akcelerometry.....	25
3.3.1	MMA7260QT.....	25
3.3.2	MMA2201	26
3.4	Senzor tlaku MPXAZ6115A.....	27
3.4.1	<i>Výpočet výšky z naměřeného tlaku.....</i>	28
3.5	Teplotní čidlo DS18B20	29
3.5.1	<i>Princip činnosti.....</i>	29
3.5.2	<i>Komunikace s DS18B20.....</i>	29
3.6	dsPIC30F4013	31
3.6.1	<i>A/D převodník</i>	31
3.6.2	<i>UART kanál.....</i>	32
3.6.3	<i>SPI kanál.....</i>	33
3.7	GLCD displej LGM12864B.....	33
3.8	USB/UART převodník FT232RL.....	34
4	Vysílací modul.....	35
4.1	Popis zapojení.....	35
4.2	Popis programu vysílací stanice	37
5	Pozemní stanice	41
5.1	USB/UART modul	41
5.2	Popis zapojení.....	42
5.3	Popis programu pozemní stanice.....	43
6	Aplikace Data Receiver	46
6.1	Ovládání aplikace Data Receiver	46
6.2	Implementace	47
7	Testování celého zařízení.....	48
7.1	Měření dat.....	49
8	Závěr.....	54
8.1	Budoucí vývoj	55
9	Použitá literatura a zdroje	56

Dodatek A	Návrh modelu Backfire.....	58
Dodatek B	Pravidla kategorie F5B,F5F	65
Dodatek C	Instalace ovladačů pro FT232 a COM Api	68
Dodatek D	Schéma zapojení a výkresy DPS	69
Dodatek E	Seznam použitého HW a SW	81
Dodatek F	Obsah přiloženého CD	82

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Uspořádání letiště F5B, převzato z [1]	1
Obr. 1.2: První verze vysílací stanice.....	3
Obr. 2.1: Blokové schéma vysílací stanice	4
Obr. 2.2: Blokové schéma pozemní stanice.....	5
Obr. 3.1: Obvod nRF9E5 připájený na pomocné desce	7
Obr. 3.2: Blokové schéma obvodu nRF9E5, převzato z [10].....	8
Obr. 3.3: RF transceiver RC1240, převzato z [4]	10
Obr. 3.4: Časový průběh komunikace UART, převzato z[11].....	11
Obr. 3.5: Blokové schéma obvodu RC1240, převzato z [4]	11
Obr. 3.6: Modul RFM12BP převzato z [2]	13
Obr. 3.7: Časový průběh 16ti bitové komunikace SPI, převzato z [2].....	14
Obr. 3.8: Čtení přijatých dat z FIFO paměti, převzato z [2]	16
Obr. 3.9: DPS s GPS modulem iTrax03-s	17
Obr. 3.10: Umístění vodiče na plošném spoji.....	18
Obr. 3.11: Blokové schéma iTrax03-s, převzato [6]	20
Obr. 3.12: GPS modul EB85A	21
Obr. 3.13: Anténa GeoHelix	23
Obr. 3.14: GPS anténa 2J400U.....	24
Obr. 3.15: Výstupní napětí při statickém měření a rozsahu 1,5 g, převzato z [19]	26
Obr. 3.16: Směr senzitivity akcelerometru, převzato z [19]	26
Obr. 3.17: Blokové schéma MPXAZ6115A, převzato z [19].....	28
Obr. 3.18: 1-Wire komunikace.....	30
Obr. 3.19: Analogový vstupní model A/D převodníku, převzato z [11].....	32
Obr. 4.1: Vysílací stanice	35
Obr. 4.2: Ochrana proti přepólování	36
Obr. 4.3: Vývojový diagram vysílací stanice.....	37
Obr. 5.1: UART/USB převodník.....	41
Obr. 5.2: Pozemní stanice	43
Obr. 5.3: Vývojový diagram pozemní stanice	44
Obr. 6.1: Ukázka aplikace Data Receiver	46
Obr. 7.1: Model Backfire.....	48
Obr. 7.2: Umístění vysílací stanice v trupu modelu	48
Obr. 7.3: Měření barometrické (MPX) a GPS výšky, měřeno modulem Etek EB85A	49
Obr. 7.4: Rychlosť GPS a filtrovaná výška, měřeno modulem EB85A	50
Obr. 7.5: Barometrická výška a vario	51
Obr. 7.6: Trajektorie letu 2D	52
Obr. 7.7: Trajektorie letu 3D	52

Obr. 7.8: Měření zrychlení	53
Obr. 9.1: Rychlostní pole profilu při úhlech náběhu od -3 do 12°	59
Obr. 9.2: Poláry profilu pro různá Reynoldsova čísla.....	60
Obr. 9.3: Vztlakové čáry pro různé Reynoldsovy čísla	61
Obr. 9.4: Křivostní analýza profilu	62
Obr. 9.5: Kontrola osazení modelu	62
Obr. 9.6: 3D pohled na celý model	62
Obr. 9.7: Nosník křídla	63
Obr. 9.8: Simulace mechanického napětí nosníku	64
Obr. 9.9: DPS vysílací stanice TOP a osazovací výkres	69
Obr. 9.10: DPS vysílací stanice BOTOM a osazovací výkres.....	69
Obr. 9.11: Schéma vysílací stanice.....	70
Obr. 9.12: DPS přijímací deska TOP	72
Obr. 9.13: Osazovací výkres vysílací stanice TOP	73
Obr. 9.14: DPS přijímací deska BOTTOM	74
Obr. 9.15: DPS USB/UART převodníku TOP	77
Obr. 9.16: Osazovací výkres USB/UART převodníku TOP	77
Obr. 9.17: DPS USB/UART převodníku BOTTOM	77
Obr. 9.18: Osazovací výkres USB/UART převodníku BOTTOM	77
Obr. 9.19: Schéma USB/UART převodníku	78
Obr. 9.20: DPS modulu iTrax TOP	79
Obr. 9.21: Osazovací výkres modulu iTrax TOP	79
Obr. 9.22: DPS modulu iTrax BOTTOM	79
Obr. 9.23: Schéma modulu iTrax	80

Seznam tabulek

Tabulka 1: Příkazy pro konfiguraci RC1240	12
Tabulka 2: Příklad nastavení EEPROM obvodu RC1240	12
Tabulka 3: Formát zpráv posílaných z vysílací stanice	15
Tabulka 4: Základní nastavení parametrů iTrax03-s.....	20
Tabulka 5: Konfigurace v paměti RAM.....	22
Tabulka 6: Konfigurace paměti flash	23
Tabulka 7: Zakódování znaků pro půlbytovou kompresi.....	39
Tabulka 8: Formát dat před komprimací	39
Tabulka 9: Formát zpráv vysílaných z pozemní stanice kanálem UART	47
Tabulka 10: Materiálové konstanty uhlíku	63
Tabulka 11: Instalace knihovny Comm2.0	68
Tabulka 12: Seznam použitých součástek pro vysílací stanici	71
Tabulka 13: Seznam použitých součástek pro přijímací stanici.....	76
Tabulka 14: Seznam použitých součástek pro USB/UART převodník.....	78
Tabulka 15: Seznam použitých součástek pro modul iTrax.....	80

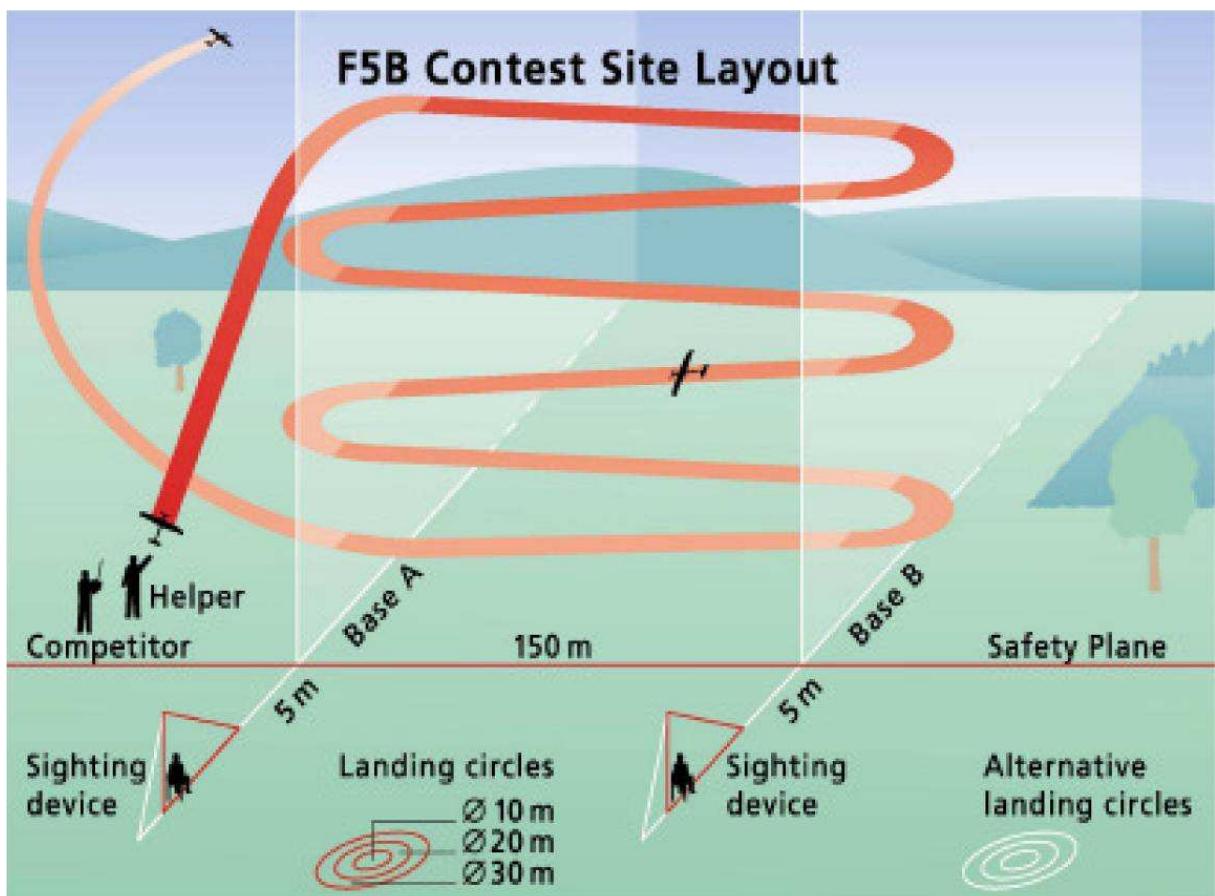
Seznam zkratek

GPS	Global Positioning System
MMC	Multi Media Card
DPS	Deska Plošného Spoje
USB	Universal serial bus
RS232	Recommended Standard 232
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
RF	Radio frequency
MCU	Microcontroller unit
LED	Light-Emitting Diode
DSP	Digital Signal Processor
GLCD	Graphic Liquid Crystal Display
HW	Hardware
SW	Software
TX	Transmit/Transmitter
RX	Receive/Receiver
CRC	Cyclic Redundancy Check
DR	Carriage return
LF	Linefeed
Li-Pol	Lithium-Polymer
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
FAT	File Allocation Table
ADC	Analog/Digital Converter
TTL	Transistor-transistor logic
FIFO	First In First Out
CCITT	Consultative Committee International Telegraph and Telephone
PA	Power Amplifier
RMS	Root Mean Square
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems

FTP	File Transfer Protocol
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
RTC	Real Time Clock
ICSP	In Circuit System Programming
GPIO	General Purpose Input Output
NMEA	National Marine Electronics Association
LDO	Low dropout regulator
RISC	Reduced Instruction Set Computer
LNA	Low Noise Amplifier
STN	Super Twist Nematic
WAAS	Wide Area Augmentation System
SPI	Serial Peripheral Interface
I ² C	Inter-Integrated Circuit
JPEG	Joint Photographic Experts Group
API	Application programming interface
VOP	Vodorovná Ocasní Plocha

1 Úvod

Cílem této práce je monitorování polohy závodního modelu kategorie F5F nebo F5B. Jde o modely kluzáků s pomocným motorem, které jsou řízeny RC soupravou. Soutěžní let se skládá ze tří letových úloh a to „rychlost“, „termika“ a „přistání“. Na úlohu „rychlost“ má pilot 200 sekund po vypuštění modelu z ruky a jejím smyslem je nalétat co nejvíce průletů na 10 nastoupání¹ pomocí motoru mezi dvěma bázemi², které jsou od sebe vzdáleny 150m jak je zobrazeno v Obr. 1.1. V úloze „termika“ je úkolem nalétat 10 minut na co nejkratší spuštění motoru. Blíže jsou pravidla popsány v Dodatek B.



Obr. 1.1: Uspořádání letiště F5B, převzato z [1]

¹ Nastoupání pomocí motoru je možné pouze vně báze A a báze B.

² Bázemi jsou nazývány pomyslné, nekonečné roviny, které jsou rovnoběžné.

Báze jsou zaměřeny pomocí dvou provázků, které jsou v zákrytu a naznačují tak jednu z bází. Bázoměřič, který se na tyto dva povázky musí dívat, tak aby byly skutečně v zákrytu, zmáčkne tlačítka pokaždě, když model protne jeho bázi. Na straně pilota zazní zvukový signál a tak pozná, že má začít otáčet svůj model. Systém samotné detekce průletu modelu danou bází je celkem přesný, ale problémy nastávají při samotném zaměřování bází. Báze se mohou totiž sbíhat a to jak stranově, tak výškově. Může se tedy stát, že je výhodné létat velmi daleko od startovního místa, kde je průletová vzdálenost kratší až o 10 metrů. Proto začal vývoj systému, který by umožnil automatické zaměřování modelu letadla. V prvním projektu bylo rozhodnuto použít elektronických akcelerometrů a gyroskopů, ze kterých se vypočítala daná poloha modelu. Problém toho zařízení byl v nepřímém měření polohy, protože poloha byla počítána integrací zrychlení a úhlového zrychlení. Uspokojivé výsledky daný systém dával do 30 sekund od zapnutí, pak byla chyba již tak veliká, že nebylo možné naměřené výsledky použít. Pro tuto diplomovou práci byl zvolen odlišný přístup a to měření polohy přímo pomocí systému GPS. Tato data jsou v reálném čase posílána na pozemní stanici, pomocí RF modulu pracujícího na frekvenci 433 MHz. Další možností použití tohoto systému je v optimalizaci pohonu modelu, kde není třeba přijímací stanice. Naměřená data mohou být uložena na kartu MMC, která se nachází na palubě modelu.

1.1 Předchozí verze

První verze zaměřovacího systému zbyla zvolena pouze jako vývojová (Obr. 1.2), která měla ověřit základní funkce systému, jako je měření polohy a vysílání naměřených dat na pozemní stanici. Pro tento systém byla navržena čtyřvrstvá DPS, na které byly všechny potřebné součástky umístěny s větším rozestupem než je tomu u finální verze. Tento krok umožnil snadnější měření signálů a logických stavů MCU. Volba této desky byla velmi důležitá pro budoucí návrh systému, protože ukázala nejdůležitější problémy s modelem GPS a s vysílacím modulem. Problémy se projevily až na palubě modelu. Konstrukce závodních modelů F5B a F5F je celouhlíková, protože jedině tak je možné dimenzovat model na přetížení blížící se k 30g, které nastává v zatačkách na bázích. Podstatná nevýhoda celouhlíkového modelu je ve stínění jakéhokoliv signálu, který má být přijat na palubě modelu nebo má být vyslán z paluby modelu. GPS přijímač umístěný na palubě modelu přijímal pouze minimum satelitů a bylo tak nutné anténu umístit vně trupu modelu. Stejný problém byl s vysílací RF anténou, která byla též umístěna vně trupu. Tyto poznatky musel být zhodnoceny do následující verze DPS, kde je umožněna jednoduchá výměna systémů GPS a radiového modulu. Dále bylo potřeba zmenšit DPS umístěnou v trupu na minimum, protože nový model, který byl vyvíjen, má minimální rozměry trupu kvůli nízkému čelnímu odporu. Připojování GPS modulu bylo realizováno pomocí konektorů, aby bylo možné daný modul lehce umístit vně trupu. Pro zmenšení plochy DPS bylo nutné umístit vysílací modul paralelně k modulu, který zpracovává data, tím bylo ušetřeno také hodně místa.

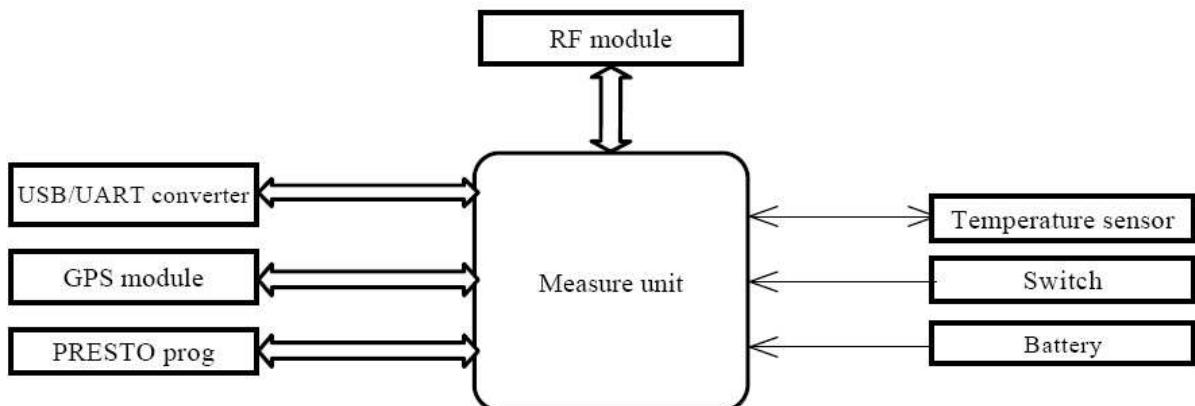


Obr. 1.2: První verze vysílací stanice

2 Koncepce telemetrického zařízení

Na základě první verze telemetrického zařízení bylo rozhodnuto zmenšit vysílací zařízení na minimální rozměry. Jelikož bylo možné vyzkoušet nový rádiový modul RFM12BP [2], který má rozměry 40 x 20 mm bylo důležité, aby rozměr měřící desky byl maximálně 50 x 23 mm. DPS byla dále rozšířena o další konektory, aby bylo možné připojit další externí senzory a zařízení jako je senzor teploty nebo převodník USB/UART.

Vysílací zařízení je rozděleno do několika modulů (Obr. 2.1). Jeho základem je měřící jednotka, která je řízena mikrokontrolérem dsPIC30F4013 od firmy Microchip [3]. Tento MCU/DSP ukládá data na MMC, komunikuje s modulem GPS a s převodníkem UART/USB, kterým je možné přenést naměřená data do PC. Procesor dsPIC30F4013 umožňuje přepnout UART2 na dva různé porty, takže lze připojít až tři zařízení po sběrnici UART. Toho alternativního UART portu se využívá pro komunikace s RF Radiocraft [4]. Napájení vysílacího zařízení může být 2s³ Li-Pol⁴, pokud není třeba využívat RF modul na maximální dosah, nebo ze 3s Li-Pol o jmenovitém napětí 10,8V. V soutěžním modelu letadla je možné vysílací zařízení napájet přímo z pohonných baterií, které musí mít podle pravidel minimálně 3s Li-Pol články.



Obr. 2.1: Blokové schéma vysílací stanice

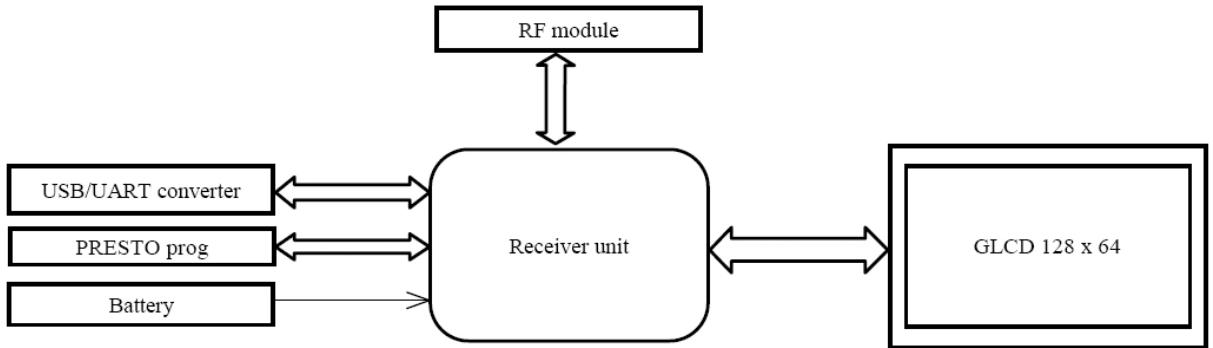
Přijímací zařízení je realizováno na DPS o rozměru 110 x 50 mm a je ovládáno procesorem dsPIC30F4013. Blokové schéma pozemní stanice je na Obr. 2.2. Celá pozemní stanice má rozměr⁵ 115 x 140 x 33 mm. Naměřená data jsou zobrazována v reálném čase na GLCD, který má rozlišení 128 x 64 bodů. Data mohou být zobrazena také pomocí PC v aplikaci Data

³ Modelářské baterie jsou značeny XsYp, kde X je počet sériových článků a Y je počet paralelních článků.

⁴ Při jmenovitém napětí baterie 7,4 V dojde k poklesu vysílacího výkonu o 20 dB pouze u modulu RFM12BP.

⁵ Tento rozměr je bez antény pro RF modul.

Receiver. Výhodou GLCD je dobrá viditelnost i slunečného počasí, kdy jsou údaje z PC těžko k přečtení. Nevýhoda je menší přehlednost oproti zobrazování na PC. Pro komunikaci s PC je využíván stejný USB/UART převodník jako pro vysílací stanici. V pozemní stanici je však umístěn přímo v krabičce, kde je umístěno celé zařízení. RF modul musí být vždy stejný ve vysílací a přijímací stanici. Napájení pozemní stanice zajišťuje baterie 3s Li-Pol o kapacitě 800 mAh.



Obr. 2.2: Blokové schéma pozemní stanice

2.1 GPS modul

Na trhu není mnoho modulů, které by vyhovovali aplikaci v rychlém modelu letadla. Existuje mnoho modulů, které se používají pro klasickou navigaci, kde stačí obnovovací frekvence 1 Hz. Tyto moduly se používají pro navigaci v mobilních telefonech, autech a ručních GPS stanicích. Model F5B stoupá kolmo vzhůru až rychlosťí 80 m/s, ve vodorovném letu se zapnutým motorem dosahuje model mnohem vyšší rychlosti. Při použití GPS modulu se vzorkovací frekvencí 1 Hz může tedy model uletět vzdálenost například 80 m. Bylo tedy nutné vyhledat modul, který by měl vyšší obnovovací frekvenci. Byly nalezeny pouze tři firmy, vyrábějící samotné GPS moduly, které je možné jednoduše aplikovat v modelu letadla. Jedná se o modul EB-85A od firmy ETEK [5], modul iTrax 03-S od firmy Fastrax [6] a TIM-5H od firmy u-blox [7]. V této diplomové byly vyzkoušeny první dva GPS moduly, cena modulu TIM-5H je bohužel 5x vyšší než cena ostatních modulů. Modul EB-85A umožňuje nastavení obnovovací frekvence až na 5 Hz stejně jako modul Itrax 03-S. Po zkušenostech z předchozího modelu letadla, který měl trup vyrobený z aramidové tkaniny využitou čtyřmi uhlíkovými rovingy, bylo rozhodnuto umístit GPS přijímač vně trupu. Drobné uhlíkové výztuhy uvnitř prvního trupu silně stínily a zeslabovaly přijímaný signál z družic. Nový trup již mohl být vyroben jako celouhlíková skořepina, aby bylo dosaženo větší pevnosti trupu. GPS anténa vyžaduje přímou viditelnost satelitů, proto byla umístěna na vrchu modelu tak aby byla po většinu letu ve vodorovné poloze. Princip systému GPS je vysvětlen v [8].

2.2 USB/UART převodník

Tento modul je využíván v pozemní stanici, kde jsou přijatá data z měřící stanice vyslána dále do PC a následně zobrazena v aplikaci Data Receiver. Dále může být využíván ve vysílací stanici, kde je možné jej připojit pomocí MICRO konektoru. Zde může modul posílat do PC naměřená data v reálném čase, stejně jako je tomu u přijímací stanice nebo může posílat data, která jsou uložena na MMC. Celý modul je realizován na DPS o rozměru 35 x 14 mm. Základ tvoří obvod od firmy FTDI Chip [9] FT232-RL. Tento obvod je umístěn v pouzdro SSOP-28, které má rozměry 10 x 7 mm a jedná se o klasické vývodové pouzdro. Rozteč pinů je pouze 0,6 mm ale obecně platí, že vývodové pouzdro se lépe pájí než bez-vývodové pouzdro, proto byl zvolen právě tento typ obvodu. Modul je napájen ze strany UART kanálu, čímž je umožněno připojení tohoto modulu k UART kanálu s logickými úrovněmi od 1,8 V až po 5 V, bez jakýchkoliv dalších propojek nebo tranzistorů. Firma FTDI Chip dodává ovladače pro všechny druhy operačních systémů. Po nainstalování příslušných ovladačů a připojení modulu k PC se v PC vytvoří virtuální COM port, na který se dají data zapisovat a číst. Data je možné uložit pomocí aplikace Data Receiver, nebo pomocí jiného terminálového programu.

2.3 RF modul

Hlavní požadavek radiového modulu byl dosah alespoň 1000 m. Naprostá většina radiových modulů má dosah do 150 metrů na zemi, což stačí pro senzory teploty a různá další zařízení, která mohou být umístěna blízko vysílači, nejčastěji přímo v budovách kde se nachází vysílač. V zadání diplomové práce se předpokládá využití bezdrátového modulu, založeném na obvodu nRF24E1 [10], který pracuje v pásmu 2,4 GHz. Po krátké konzultaci mi výrobce doporučil obvod nRF9E5, který pracuje na nosné frekvenci 433 MHz a má mnohem větší dosah než nRF24E1, což je pro aplikaci v modelu letadla velmi důležité. Další důvod pro použití jiné frekvence než 2,4 GHz, je současný rozmach RC souprav pracujících právě na této frekvenci. Pro RF moduly byla tedy zvolena frekvence 433 MHz, která není v modelářských aplikacích využívána pro samotné řízení modelu.

Všechny vyzkoušené moduly byly provozovány také na frekvenci 433 MHz, aby bylo možné porovnat jejich vlastnosti. Byly testovány následující moduly: nRF9E5 [10], RC1240 [4] a RFM12BP [2]. Obvody nRF9E5⁶ a RC1240 komunikují po sběrnici UART a obvod RFM12BP komunikuje po sběrnici SPI.

⁶ nRF9E5 obsahuje MCU s UART kanálem, který byl využit, ale je možné využít i komunikaci SPI

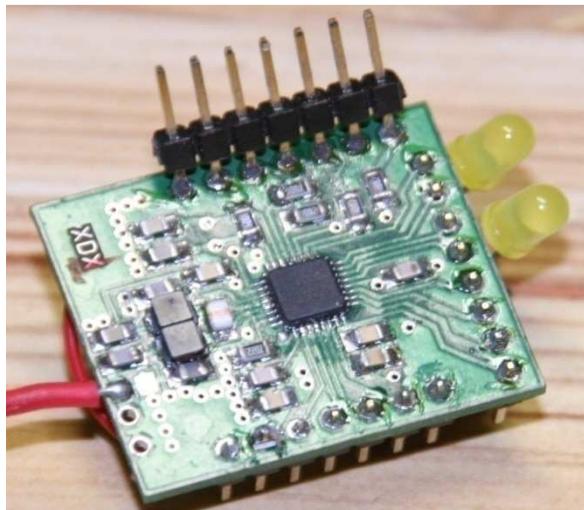
3 Použité moduly a senzory

3.1 Rádiové moduly

Byly zkoušeny tři následující moduly, pracující v pásmu 433 MHz. Obvod nRF9E5 byl testován na pomocné DPS (Obr. 3.1) zakoupené od Ing. Petra Sysaly.

3.1.1 Nordic nRF9E5

Obvod nRF9E5 od Norské firmy Nordic obsahuje MCU založený na jádru 8051 a RF transceiver, který komunikuje s procesorem pomocí vnitřní sběrnice SPI. Samotný obvod nRF9E5 je v miniaturním pouzdře 5x5 mm, ale k plné funkci transceiveru je třeba mnoho externích součástek a hlavně paměť ve které je umístěn program MCU. Pro komunikaci s MCU dsPIC30F4013 byla volena sběrnici UART.

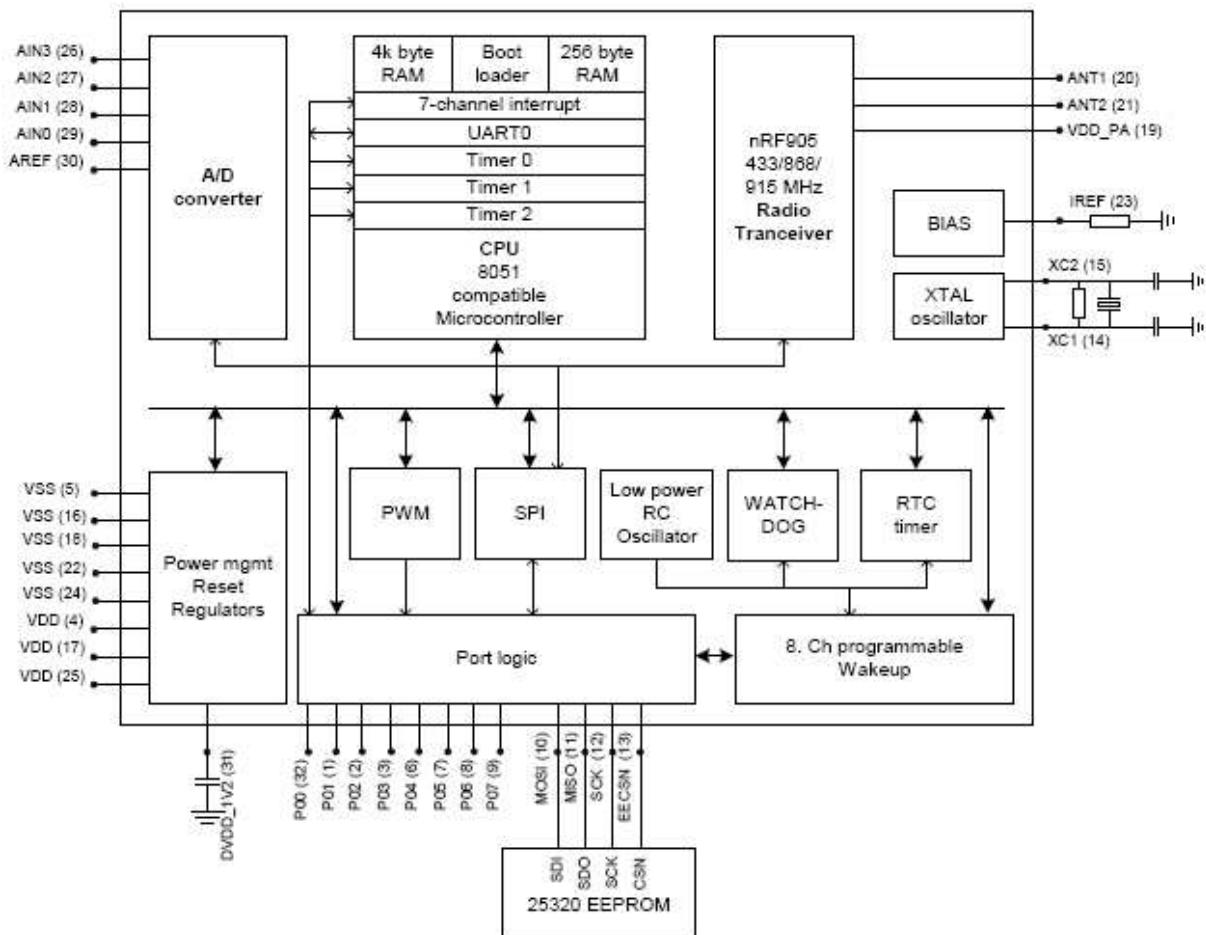


Obr. 3.1: Obvod nRF9E5 připájený na pomocné desce

Základní vlastnosti transceiveru nRF9E5

- 434/868/915 MHz transceiver
- "ShockBurst" režim pro snížení spotřeby
- Napájecí napětí 1.9 V až 3.6 V

- Nastavitelný výstupní výkon do 10 dBm
- Kmitočtový zdvih 50 kHz
- Citlivost přijímače -100 dBm
- Výstupní výkon 10 dBm
- Integrovaný procesor typu 8051
- Vyžaduje externí EEPROM
- Umístění v miniaturním pouzdro QFN32



Obr. 3.2: Blokové schéma obvodu nRF9E5, převzato z [10]

3.1.1.1 *MCU*

MCU je vylepšený typ rodiny 8051. Počet cyklů oscilátoru pro zpracování jedné instrukce se pohybuje od 4 do 20ti, podle vykonávané instrukce. Oproti klasické verzi 8051 obsahuje nRF9E5 4 kanály ADC a SPI sběrnici pro komunikaci se samotným vysílačem a pro načtení programu z externí paměti EEPROM. Dále obvod obsahuje klasický port UART. Podporované hodnoty krystalového oscilátoru jsou tyto: 4, 8, 12, 16 a 20 MHz.

3.1.1.2 *Konfigurace paměti*

Obvod nRF9E5 neobsahuje vnitřní EEPROM. Ta musí být nahrazena externí EEPROM, která komunikuje po sběrnici SPI. nRF9E5 si načte data z externí EEPROM do interní RAM paměť. Po ukončení načítání může být port SPI využíván pro komunikaci s jiným zařízením, nebo může být využíván jako standardní vstupně/výstupní port, protože po nastavení pinu CSN do log. 1 se vstupy/výstupy EEPROM paměti nacházejí ve stavu vysoké impedance. V pokusném modulu používám paměť 25AA640, která má oproti paměti 25320 dvojnásobnou kapacitu a je běžně dostupná.

Paměť EEPROM musí obsahovat informace nutné pro další chod obvodu nRF9E5. Firma Nordic dodává program EEPREP, pomocí kterého je možné HEX soubor, který bude nahrán do paměti 25AA640, nakonfigurovat. Příklad spouštění programu EEPREP uveden v [10].

Toto řešení je výhodné tím, že není potřeba žádný speciální programátor pro obvod nRF9E5. Dnes již ale není problém s podporou programovatelných obvodů u všech slušných výrobců programátorů a pak se může zdát zbytečné umístit nRF9E5 do miniaturního pouzdra QFN 32 o rozměru 5 x 5 mm, když k jeho nezbytnému provozu je třeba další součástky o rozměru 6,5 x 7,0 mm. Obvod nRF9E5 by tedy mohl být rovnou umístěn v pouzdře QFN44, které má rozměr 7 x 7 mm a zabíral by tak méně místa.

3.1.1.3 *Transceiver*

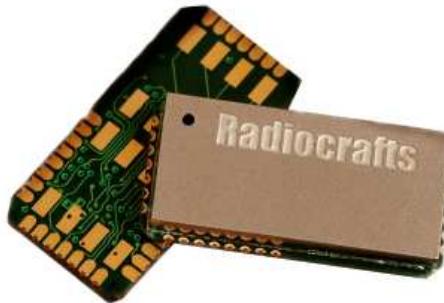
Obvod transceiveru je funkčně stejný s obvodem nRF905, což je pouze samotný transceiver komunikující po sběrnici SPI a je umístěn v pouzdře OFN 32. Obvod je určen pro práci v pásmech 433/868/915 MHz. Transceiver se skládá z integrovaného frekvenčního syntezátoru, výkonového zesilovače, modulátoru a přijímače. Výstupní výkon, kmitočet a další vysokofrekvenční parametry se dají snadno modifikovat přes SPI sběrnici. Proudová spotřeba je cca 11 mA při vysílání (výstupní výkon -10 dBm) a cca 12.5 mA při příjmu. Výstupní výkon se dá řídit ve čtyřech stupních a k nim připadajícím proudovým spotřebám: -10 dBm (11 mA), -2 dBm(14 mA), 6 dBm(20 mA) a 10 dBm(30 mA). Vysílaná data obsahují hlavičku, samotná přenášená data a kontrolní CRC součet, který je možné volit 8-16 bitů.

3.1.1.4 Režim ShockBurst™

Princip ShockBurst režimu je efektivní využití maximální dostupné komunikační rychlosti obvodu nRF9E5. Data s nižší přenosovou rychlosí jsou přenášena po sběrnici SPI do obvodu transceiveru, který je po naplnění vyrovnávací paměti pošle vzduchem rychlostí 100kbps.

3.1.2 Radiocraft RC1240

Tento obvod je od Norské firmy Radiocrafts [4]. Jako první testovací moduly byl testován typ RC1040, který pracuje také v pásmu 433 MHz, stejně jako RC1240 na Obr. 3.3. RC1040 má velmi podobné parametry jako obvod nRF9E5 a má také podobný dosah. Praktické testy v letadle ukázaly, že RC1040 a nRF9E5 spolehlivě fungují do 200 m při různých polohách modelu. Proto byl testován úzkopásmový modul RC1240, který má o 15 dBm větší citlivost než RC1040.



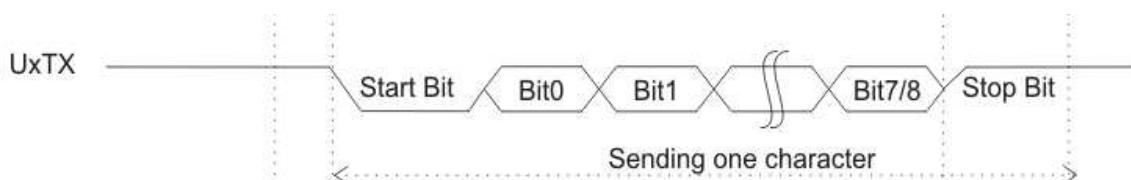
Obr. 3.3: RF transceiver RC1240, převzato z [4]

Základní vlastnosti transceiveru RC1240

- Obvod umožňuje obousměrnou komunikaci po UART lince
- Umístění v malém stíněném pouzdru o rozměrech 12,7 x 25,4 x 3,5 mm
- Modul nevyžaduje žádné další externí součástky pro svoji funkci
- Napájecí napětí 2,8 – 5,5 V, porty jsou 3/5 V tolerantní
- Pracuje v úzkopásmovém režimu 25 kHz
- Obsahuje 128 bytový buffer
- Citlivost přijímače -115 dBm
- Výkon vysílače 8 dBm
- Vyhovuje Evropským normám EN 300 220, EN 301 489 a EN 60950

3.1.2.1 Konfigurace modulu RC1240

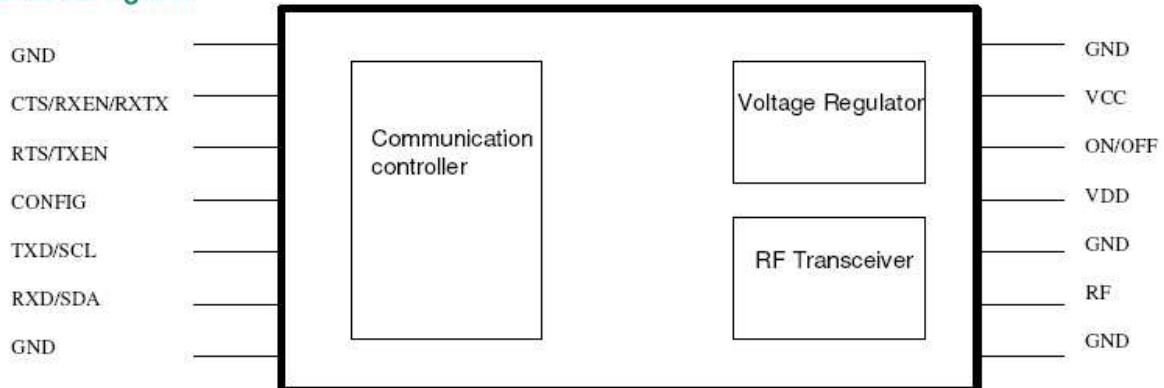
Pro první testy nebylo třeba modul RC1240 konfigurovat. Stačí data poslat na TXD pin s nastavenou rychlosí 19200 Baud, 8 datových bitů, 1 stop bit, žádná parita a žádné řízení datového toku. Na Obr. 3.4 je vidět cyklus vyslání jednoho bytu dat pomocí UART linky. Data jsou vyslána buď po době 2s od poslání posledního znaku data, nebo po překročení délky datového paketu 128 bytů. Tento režim bylo pro přenos dat frekvencí 5 Hz potřeba překonfigurovat.



Obr. 3.4: Časový průběh komunikace UART, převzato z[11]

Pro konfiguraci modulu je nutné nastavit pin CONFIG (Obr. 3.5) do log. 0. Po uvedení modulu do konfiguračního módu, zapíše RC1240 na pin TXD znak '>⁷'. Poté je potřeba pin CONFIG nastavit do log. 1. Nyní je možné konfigurovat data v EEPROM paměti, ve které zůstanou data uložená i po vypnutí napájecího napětí, nebo v paměti RAM, kde jsou po vypnutí paměti ztracena.

Block Diagram



Obr. 3.5: Blokové schéma obvodu RC1240, převzato z [4]

⁷ Mezi apostrofy je znak ASCII tabulky. Tedy ‘>’ je 0x3E hex nebo 62 dec

Paměť RAM je konfigurována zasláním příslušného ASCII znaku, za kterým následuje jeho parametr. Po úspěšném zápisu do paměti RAM je vyslán potvrzovací znak '>'. Po zaslání příkazu 'Z' a 'X' se provede ihned požadovaná operace a potvrzovací znak není vyslán.

Parametr	Příkaz	Argument v dec	Popis
Kanál	'C'	1 - 69	Nastaví kanál
Výstupní výkon	'P'	1 - 5	5 je nejvyšší výkon
Cílová adresa	'T'	0 - 255	RX a TX musí mít nastavenou stejnou adresu
Zápis EEPROM	'M'	(Adresa, Data)	viz tab.2
Sleep mód	'Z'	není	V době spánku musí být CONFIG v log. 0
Konec	'X'	není	Ukončí konfiguraci RAM

Tabulka 1: Příkazy pro konfiguraci RC1240

Zápis do paměti EEPROM je možný po zaslání příkazu 'M' po kterém je vyslán potvrzovací znak '>'. Dále se zapisuje v pořadí: adresa, na kterou se bude zapisovat a zapisovaný byte. Pro ukončení zápisu do paměti EEPROM se zapíše adresa 0xFF a čeká se na znak '>'. Poté je možné zapisovat další příkazy z Tabulka 1. V Tabulka 2 je ukázáno, jak se nastavují základní parametry RC1240. Při zapisování do EEPROM nesmí klesnout napájecí napětí pod kritickou úroveň, jinak dojde ke ztrátě dat EEPROM a modul nebude funkční. V paměti EEPROM jsou uložena další důležitá data, která nejsou uživatelsky přístupná, a při jejich ztrátě může dojít k trvalému poškození modulu.

Parametr	Adresa dec	Argument v dec	Popis
RF_CHANNEL	0	1 - 69	Nastaví kanál
PAKET_END_CHARACTER	16	13, 10, 90	Po přijmutí ukončovacího znaku jsou data v bufferu vyslána pomocí TX
CRC_MODE	21	0, 2	0 – žádné CRC, 2 – 16 bitové CRC
UART_BAUD_RATE	48	0 - 6	6 – 19200 Baud

Tabulka 2: Příklad nastavení EEPROM obvodu RC1240

Pro přenos dat byl zvolen kanál číslo 5, maximální výkon RF modulu, přenosová rychlosť 4,8 kbit, ukončovací znak CR, 16ti bitový CRC, přenosová rychlosť 19200 Baud, bufferovaný mód dat, unikátní adresa 1.

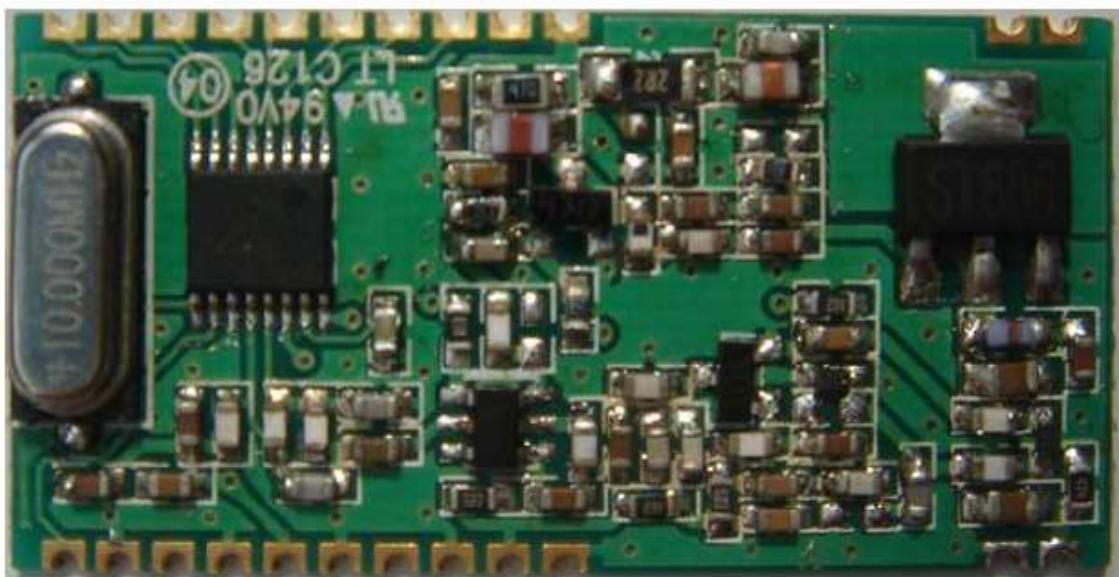
3.1.2.2 Vysílací módy

RC1240 umožňuje data vysílat ve dvou módech. První je transparentní mód, kde jsou data do RC1240 přenášena synchronně. Pomocí pinů TXEN a RXEN se volí, zda budou data vysílána nebo přijímána. Druhý mód je bufferovaný, kdy jsou vysílaná a přijímaná data uložena ve 128mi bytovém bufferu, do kterého se zapisuje/čte pomocí klasické linky UART.

Po přenos dat je používán bufferovaný mód a data jsou vyslána pomocí RF. Po přijetí ukončovacího znaku CR si RC1240 vyzvedne data z bufferu, a podobně jako nRF9E5 je doplní synchronizační hlavičku na začátku paketu a 16ti bitový CRC na konci paketu. 16-ti bitový CRC je generován na konci paketu. RX po přijmutí vypočítá CRC z přijatého paketu a porovná jej s přijatým CRC. Pokud je CRC shodný, vyšle RX přijatá data po UARTu. Pokud se CRC neshoduje, data nejsou z RX vyslána.

3.1.3 Hope microelectronics RFM12BP

Jako poslední zkoušený RF modul je RFM12BP (Obr. 3.6) od firmy Hope microelectronics [2]. Co se týče technických vlastností, není modulu RC1240 co vytknout. Co bylo pro modelářské aplikace nevýhodou, je vysoká cena jednoho tohoto obvodu, která se pohybuje kolem 2000 Kč. Proto byl testován modul RFM12BP, který má podobné technické parametry jako RC1240 a je 5x levnější než tento obvod.



Obr. 3.6: Modul RFM12BP převzato z [2]

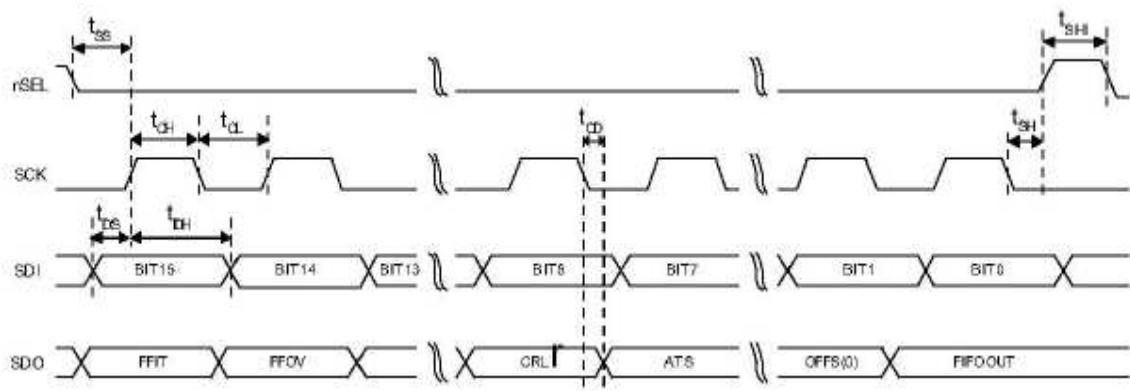
Základní vlastnosti transceiveru RFM12BP

- Obvod komunikuje po SPI sériovém rozhraní
- Umístění v pouzdru 20 x 40 x 4 mm
- Modul nevyžaduje žádné další externí součástky pro svoji funkci
- Napájecí napětí 2,2 – 3,8V pro komunikaci a 10V pro RF
- Přenos rychlostí až 115,2 kbps
- Šířka pásma přijímače 67 – 400 kHz
- Programovatelný frekvenční zdvih 15 – 240 kHz
- Citlivost přijímače -116 dBm
- Výkon vysílače 500 mW (27 dBm)
- 16 bit RX data FIFO buffer

3.1.3.1 Konfigurace RFM12BP

Modul RFM12BP se konfiguruje pomocí 13ti základních příkazů, které jsou popsány na webu výrobce [2]. Konfigurace je uložena v paměti RAM a je tedy nutné po každém resetu RFM12BP modul znova nakonfigurovat. Komunikace s MCU probíhá po 16ti bitovém SPI. Průběh komunikace SPI je synchronní a je zobrazen na Obr. 3.7. Zapsáním log. 0 na pin nSEL je vybíráno obvod RFM12BP pro komunikaci. Pin SCK je hodinový signál, SDI je sériový vstup dat a SDO je sériový výstup dat.

Při samotném vysílání a přijímání dat je třeba je třeba vysílat synchronizační a další nutné příkazy. Jelikož však SPI pracuje na kmitočtu 32 MHz je komunikace s modulem rychlejší než u RC1240 nebo nRF9E5.



Obr. 3.7: Časový průběh 16ti bitové komunikace SPI, převzato z [2]

V prvních čtyřech bitech konfiguračního příkazu je vždy udán typ příkazu a v následujících bitech jsou konfigurační data. Nejprve je nutné definovat, na jaké nosné frekvenci bude obvod pracovat, zapnout krystalový oscilátor, nastavit přesný kmitočet nosné frekvence, určit zda půjde o RX nebo TX, rychlosť kterou bude RF přenášet data, nastavit šířku pásmá, zesílení LNA, FIFO mód, synchronizační znak, kmitočtový zdvih a jako poslední je třeba nastavit výstupní výkon. Jelikož vysílač má maximální výkon 500 mW, musí být pro provozování v ČR snížen o -6 dBm.

3.1.3.2 Typický vysílací cyklus

RFM12BP automaticky negeneruje ani hlavičku ani CRC kód. CRC je nutné doplnit pomocí SW. Je používán 16ti bytový CRC kód a je generován podle [12]. Generační polynom je 0x8408, což je polynom užívaný v komunikaci FTP XMODEM. Výsledný formát přenášených dat je v Tabulka 3. Po vyslání jednoho bytu pomocí RF je nutné čekat, dokud se nastaví bit DATA_VALID do log. 1. Pak je možné vyslat další byte.

Úvodní synchronizační skupina 0xAA	Synchronizační slovo 0x2DD4	Data	Ukončovací znak CR	CRC
[4 B]	[2 B]	[52 - 60 B]	[1 B]	[2 B]

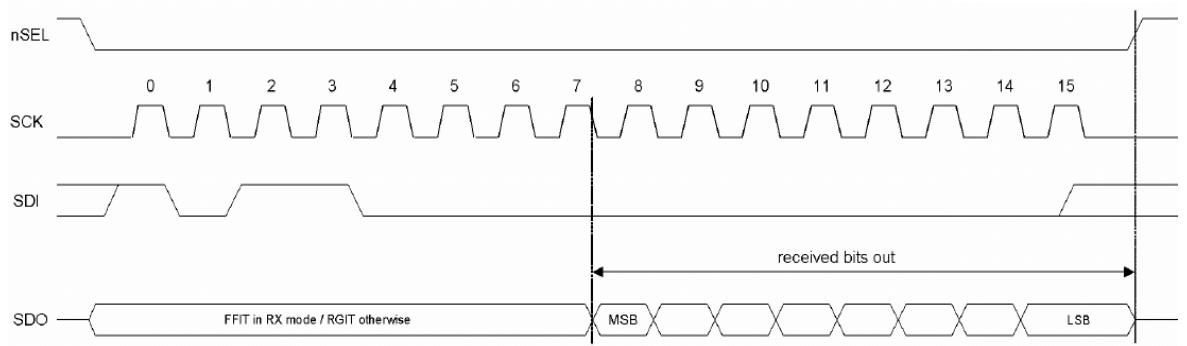
Tabulka 3: Formát zpráv posílaných z vysílací stanice

Vysílací cyklus vypadá takto:

- MCU shromáždí data určená k vyslání do bufferu a spočítá CRC
- Zapsáním 0x8228 začne start RF vysílání
- Zapsáním 0x8238 je zapnut PA
- Zapsáním 0x0000 je vyčten status byte
- Datový paket je vyslán rychlosťí 4,8 kbps
- Zapsáním 0x8208 je vypnuto PA

3.1.3.3 Typický přijímací cyklus

Data přijatá RF jsou umístěna v 16ti bitovém bufferu. Po přijetí jednoho bytu dat je nastaven bit DATA_VALID do log. 1. Po nastavení DATA_VALID do log. 1 mohou data z bufferu vyzvednuta. Vyzvednutí dat provede procesor zápisem příkazu 0xB000 do RFM12BP. Po přijetí prvních čtyř bitů zjistí RFM12BP že jde o vyčtení FIFO paměti a data z FIFO jsou vyslána jako spodní byte. Viz Obr. 3.8



Obr. 3.8: Čtení přijatých dat z FIFO paměti, převzato z [2]

Přijímací cyklus vypadá takto:

- Čekání dokud DATA_VALID není v log. 1
- Vyčtení dat z FIFO
- Zapsáním 0xCA81 a 0xCA83 je resetována FIFO paměť a je možné přijímat další data

Data jsou přijímána do bufferu MCU RX_DATA dokud není přijat znak CR. Následující dva přijaté byty jsou CRC. MCU vypočítá z dat uložených v RX_DATA_CRC a pokud je vypočtený CRC jiný než přijatý, nejsou data platná.

3.2 GPS moduly

Byly testovány moduly EB-85A s integrovanou patch anténou a modul iTrax03-s, který byl testován s anténou 2J400U typu patch a s anténou Geohelix-s typu helix.

3.2.1 Fastax iTrax03-s

Tento modul je od Finské firmy Fastrax [6] a patří do rodiny Itrax03, které je jako jediný ze všech modulů iTrax plně programovatelná a umožňuje nastavit obnovovací frekvenci až na 5Hz. Modul pro svůj provoz vyžaduje externí pasivní nebo externí aktivní GPS anténu. Aktivní antény mají minimálně o 20 dBi větší zisk než pasivní GPS antény, proto byla zvolena právě aktivní anténa. Bylo třeba navrhnut externí modul, který by umožňoval připojení externí antény pomocí konektoru MCX od firmy Samtec[13]. Připojení externí antény umožní skrýt celý modul do trupu modelu a vně trupu je umístěna pouze GPS anténa.



Obr. 3.9: DPS s GPS modulem iTrax03-s

Základní vlastnosti GPS modulu iTrax03-s

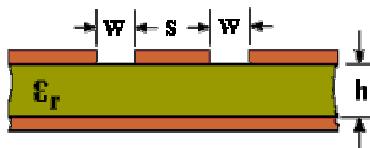
- Obnovovací frekvence až 5 Hz
- Počet kanálů 12
- Napájecí napětí digitální a RF 2,7 – 3,3 V
- Logické úrovně CMOS kompatibilní
- UART rozhraní 600 – 921600 Baud, 8 bitů, žádná parita, 1 stop bit
- Sériová komunikace protokolem NMEA nebo iTALK
- Rozměry pouzdra 16 x 19 x 2,3 mm

- Přesnost pozice 2,9 m 2D RMS
- Přesnost rychlosti 0,1 m/s RMS
- Přesnost času 100 ns RMS
- Čas prvního uzamčení pozice HOT start 4 s, COLD start 36 s
- Spotřeba 35 mA, maximální proud RF 150 mA
- Hmotnost modulu včetně DPS je 7,7 g

3.2.1.1 Výpočet charakteristické impedance plošného vodiče

Anténa GPS modulu a anténa pro RF modul musí být připojena vodičem o charakteristické impedanci 50Ω , jen tak dojde k impediančnímu přizpůsobení a nebude docházet k odrazu napěťové a proudové vlny.

Umístění vodiče na DPS je znázorněno na Obr. 3.10. Vodič pro připojení antény je z boků stíněný zemí a spodní vrstva je také spojená se zemí. Impedance byla počítána pomocí softwaru AppCAD od firmy Agilent [14]. Pro tloušťku materiálu FR4 1,5 mm a izolační vzdálenost spoje a země 0,254 mm vyšla šířka spoje 1,2 mm.



Obr. 3.10: Umístění vodiče na plošném spoji

3.2.1.2 Konfigurace iTTrax03-s

Modul může komunikovat protokolem iTALK [6] nebo pomocí protokolu NMEA, který je popsán v [15]. Jelikož naprostá většina GPS modulů umožňuje komunikaci pomocí protokolu NMEA, byl zvolen právě tento protokol, aby bylo možné jednotlivé moduly zaměnit. Je tedy možné vždy použít jeden parsující algoritmus, který umožní zpracování od všech modulů GPS. Rozdíl v modulech různých výrobců pak může být pouze v pořadí posílaných práv. V této práci je využíváno věty GGA, VTG a ZDA. Z věty GGA používám UTC čas, zeměpisnou šířku, její indikaci, zeměpisnou délku, její indikaci, počet využívaných satelitů a nadmořskou výšku. Z věty VTG používám geodetický kurz a rychlosť v km/h. A jako poslední je využíván UTC datum z věty ZDA.

Konfigurace se provede zasláním zprávy v následujícím tvaru:

\$PFST,<command>,<parameter>,... ,<parameter>,*<checksum><CR><LF>⁸

Checksum se počítá funkcí exklusivní OR mezi jednotlivými byty zprávy, které se nacházejí mezi ASCII znaky \$ a *. Checksum tedy vyjde opět jako byte, ale je nutné jej posílat jako dva ASCII znaky vyjadřující hex hodnotu checksumu. Výpočet checksumu a jeho převedení na ASCII znaky může v jazyce C vypadat takto:

```
void Calc_CS(char *message, char *check_sum){  
  
    int i = 0; char cs = 0;  
  
  
    while(message[i] != '\n') {  
        cs = cs ^ (unsigned char)message[i]; // XOR mezi všemi znaky  
        i++;  
    }  
    check_sum[0] = cs/16; // první číslo  
    check_sum[1] = cs%16; // druhé číslo  
  
  
    if(check_sum[0] <= 9) check_sum[0] = check_sum[0] + 48; // 0-9  
    else check_sum[0] = check_sum[0] + 55; // A-F  
    if(check_sum[1] <= 9) check_sum[1] = check_sum[1] + 48;  
    else check_sum[1] = check_sum[1] + 55;  
}
```

Modul byl konfigurován zápisem do paměti EEPROM, aby zadané parametry zůstaly v modulu uloženy i po vypnutí napájecího napětí a nebylo nutné modul konfigurovat po každém restartu. Zápis do paměti EEPROM se provádí příkazem CONF. Obnovení základních parametrů modulu je možné softwarově pomocí příkazu REBOOT nebo hardwarově když je přepsána FLASH paměť pomocí aplikace iSuiteFlashtool [6]. Konfigurační parametry jsou nastaveny podle Tabulka 4.

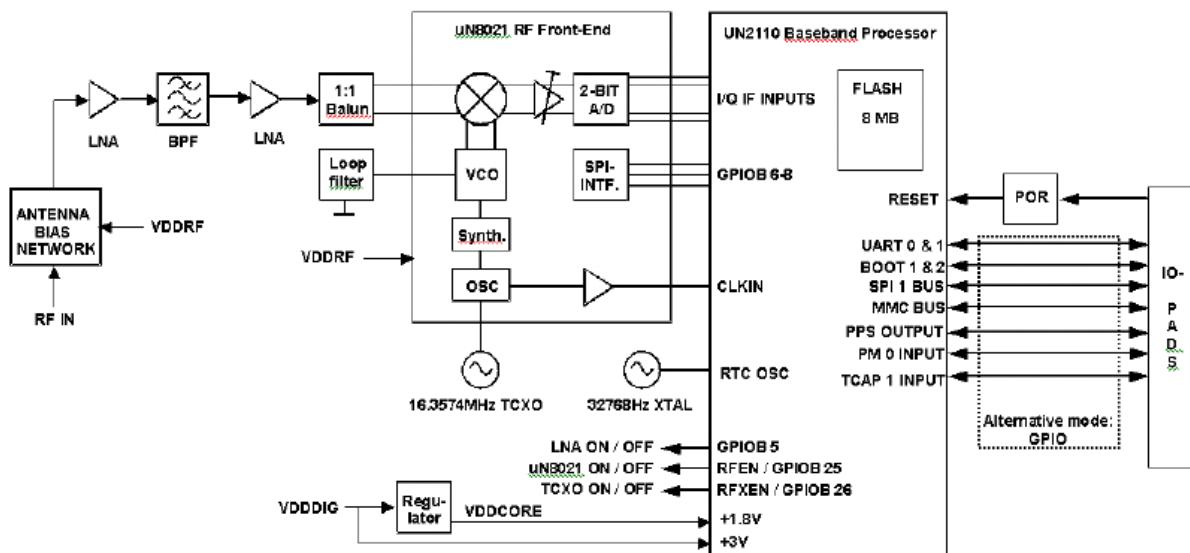
⁸ Znak LF má hodnotu 0x0A hex

Název příkazu	ID příkazu	Nastavená hodnota	Popis příkazu
SYS_NMEA_SPEED	0021	115200	Nastaví rychlosť v Baud
SYS_NMEA_MASK	0022	\$6004 ⁹	Nastavuje vysílané zprávy
TRACK_MEAS_INTERVAL	0420	200	Nastavuje čas měření pozice
TRACK_CHANNELS	041d	8	Pro měření frekvencí 5 Hz je nutné redukovat počet kanálů na 8
NAV_HEAD_FILTER_COEFF	0b0c	0.1	Nastavení low-pass filtru
ANT_ENABLE	0f49	2	Nastavení externí antény

Tabulka 4: Základní nastavení parametrů iTrax03-s

3.2.1.3 Napájení modulu

Z Obr. 3.11 je zřejmé, že modul iTrax03-S má dva napájecí vstupy. VDDDIG je napájecí napětí pro digitální část modulu a VDDRF je napájecí napětí pro analogovou část. Teoreticky je možné použít jedno napájecí napětí, ale na napětí VDDRF jsou kladené vysoké nároky na zvlnění napájení, které musí být maximálně 2 mV RMS. Při chodu digitální části dochází ke zvlnění napájecího napětí v důsledku pulzního odběru proudu. Proto bylo voleno použití dvou stabilizátorů s velmi nízkým zvlněním napájení.



Obr. 3.11: Blokové schéma iTrax03-s, převzato [6]

⁹ Zprávy GGA, VTG a ZDA jsou určeny součtem 0x2000 + 0x4000 + 0x0004

Jako stabilizátor byl zvolen typ LP2985 od firmy National Semiconductor [16]. Tento stabilizátor je typu LDO, má nízkou spotřebu a maximální výstupní proud 150 mA dokáže dodávat již při úbytku 300 mV. LP2985 může být tedy napájen z napětí 5 V, které je na vysílacím modulu. Oproti tomu klasický lineární stabilizátor potřebuje úbytek napětí 1,5-2 V a bylo by nutné napájet celý modul přímo z akumulátoru.

Základní vlastnosti LP2985

- Úbytek napětí 300 mV při zátěži 150 mA a 7 mV při zátěži 1 mA
- Malé rozměry - pouzdro SOT23
- Nízký šum do 30 μ V
- Nízká výstupní impedance, typicky 0,3 Ω

3.2.2 ETEK EB85A

Modul EB85A je od Taiwanské firmy ETEK [5]. Tento modul má integrovanou anténu a není možné připojit jinou externí GPS anténu. Je tedy nutné, aby byl celý modul umístěn mimo trup.



Obr. 3.12: GPS modul EB85A

Základní vlastnosti GPS modulu EB85A

- Obnovovací frekvence až 5 Hz
- Počet kanálů 32
- Napájecí napětí 3,3 – 5 V
- Logické úrovně 2,8 V pro kanál UART, CMOS kompatibilní
- UART rozhraní 4800 – 115200 Baud, 8 bitů, žádná parita, 1 stop bit
- Sériová komunikace protokolem NMEA V3.01

- Rozměry modulu včetně antény 30 x 30 x 8,6 mm
- Přesnost pozice 3,3 m 2D RMS
- Přesnost rychlosti 0,05 m/s RMS
- Čas prvního uzamčení pozice HOT start 1 s, COLD start 41 s
- Spotřeba maximálně 59 mA
- Hmotnost modulu včetně antény je 15 g
- Maximální měřená výška 18000 m
- Maximální měřená rychlosť 515 m/s
- Maximální zrychlení 4 g

3.2.2.1 Konfigurace modulu EB85A

Modul EB85A má jeden vstup pro záložní baterii, která zajišťuje uložení údaje i po vypnutí hlavního napájení a chod RTC oscilátoru. V datasheetu je uvedena i možnost naprogramování flash paměti. V poslední datasheetu je již uvedena poznámka, že tato paměť lze naprogramovat pouze 7x, což je velmi důležitá informace a v předchozím datasheetu nebyla uvedena.

Konfigurace se provede zasláním zprávy v následujícím tvaru:

\$PMTK<command>,<parameter>,..<parameter>,0*<checksum><CR><LF>

Příklad dat, která je možné ukládat do RAM paměti je v Tabulka 5.

Název příkazu	ID příkazu	Nastavená hodnota	Popis příkazu
Baudrate	251	115200	Nastaví rychlosť v Baud
Fixinterval	300	200	Obnovovací čas v [ms]
Mode	301	2	Nastaví WAAS

Tabulka 5: Konfigurace v paměti RAM

Příklad dat, která je možné uložit do flash paměti je v Tabulka 6. ID příkazu je 590.

Název parametru	Parametry zaslané zprávy	Popis parametru
Update_Rate	5	Obnovovací frekvence 1-5 Hz
Baud_Rate	115200	Rychlosť prenosu dat: 4800 – 115200 bps
NMEA_sentence	0,0,1,0,0,1,1,0	Modul bude vysílať pouze zprávy kde je log. 1 GLL, RMC, VTG, GSA, GSV, GGA, ZDA, MCHN
Datum	0	0 WGS84, 1 TOKYO M, 2 TOKYO A
DGPS_mode	1	0 žádný, 1 WAAS, 2 SBAS

Tabulka 6: Konfigurace paměti flash

3.2.3 GPS externí aktivní antény

Externí GPS antény je nutné připojit k modulu iTrax03-s, modul EB85A má GPS aktivní anténu již integrovanou. Byly testovány aktivní antény a to typu patch a helix.

3.2.3.1 *GeoHelix-S*

Jde o aktivní anténu typu helix (Obr. 3.13) od Anglického výrobce Sarantel [17]. Samotná přijímací část je keramická a je chráněna proti poškození pomocí krytu z ABS



Obr. 3.13: Anténa GeoHelix

Základní parametry GPS antény GeoHelix

- Frekvence typicky 1575,42 MHz
- Napájecí proud typicky 15 mA

- Polarizace kruhová
- Impedance $50\ \Omega$
- Zisk typicky +24 dBic
- Napájecí napětí 2 – 3,5 V
- Rozměry¹⁰: průměr 13 x šířka 15 x délka 49 mm
- Hmotnost¹¹ 12 g

3.2.3.2 2J400U

Jde o aktivní anténu typu patch od Slovenské od 2J-antenna [18]. Anténu bylo nutné pro použití v modelu chránit smršťovací folií.



Obr. 3.14: GPS anténa 2J400U

Základní parametry GPS antény 2J400U

- Frekvence typicky 1575,42 MHz
- Napájecí proud typicky 18 mA
- Polarizace horizontální
- Impedance $50\ \Omega$
- Zisk +25 dBic při napájení 3 V a +28 dBic při napájení 5 V
- Napájecí napětí 3 – 5 V
- Rozměry: 22 x 22 x 7 mm
- Hmotnost¹² 10 g

¹⁰ Včetně krytu z ABS

¹¹ Včetně kabelu a konektoru

¹² Včetně kabelu a konektoru

3.3 Akcelerometry

Na měřící DPS bylo místo i pro další součástky, které bylo možné připojit na vstup A/D převodníku, takže bylo rozhodnuto umístit na DPS několik užitečných senzorů. Jedním z nich byl akcelerometr.

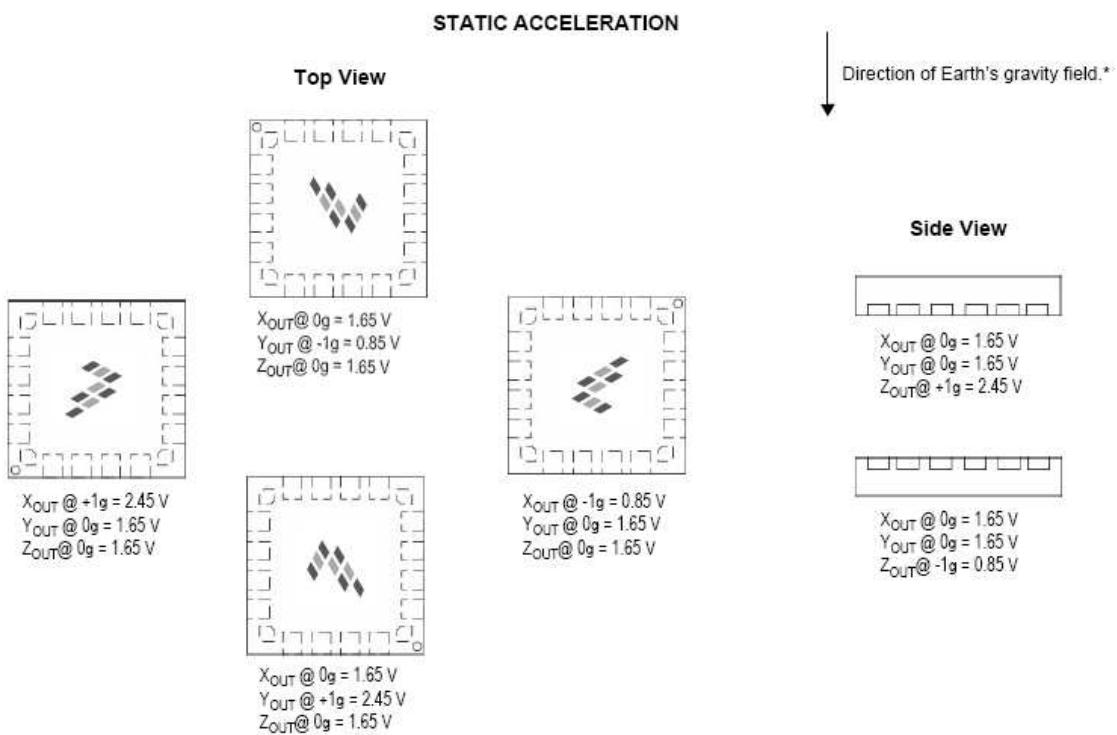
3.3.1 MMA7260QT

MMA7260QT je tříosý akcelerometr od firmy Freescale semiconductor [19]. Jde o levný kapacitní 3D MEMS akcelerometr s integrovaným zpracováním signálů, jednopólovým LOW-Pass filtrem, teplotní kompenzací a externí volbou měřícího rozsahu a citlivosti. Každý senzor má již z výroby nastavenou nulovou hladinu a zlomový kmitočet filtru a k jeho chodu je třeba pouze minimum externích součástek.

Základní vlastnosti MMA7260QT

- Měřící rozsah 1,5 g / 2 g / 4 g / 6 g volitelný 2 vstupy g-Select
- Maximální citlivost 200 mV/g v rozsahu 6 g
- Spotřeba 500 μ A, v sleep módu jen 3 μ A
- Napájecí napětí 2,2 V až 3,6 V
- Pouzdro QFN 6 x 6 x 1,45 mm

Typická výstupní napětí pro rozsah 1,5 g jsou na Obr. 3.15.



Obr. 3.15: Výstupní napětí při statickém měření a rozsahu 1,5 g, převzato z [19]

Na výstupy jednotlivých os se doporučuje zapojit RC filtr typu LOW-Pass, který minimalizuje šum vzniklý z interního spínaného kapacitního filtrov. Doporučené hodnoty jsou $R = 1 k\Omega$ a $C = 0,1 \mu F$.

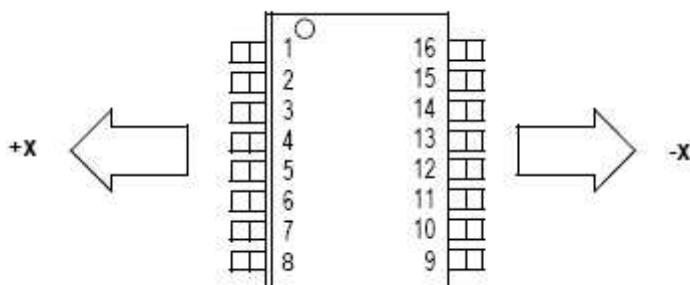
3.3.2 MMA2201

MMA2201 je jednoosý akcelerometr od firmy Freescale semiconductor [19]. Jde o kapacitní 1D MEMS akcelerometr s integrovaným zpracováním signálů, čtyřpólovým LOW-Pass filtrem typu Bessel a teplotní kompenzací.

Základní vlastnosti MMA2201

- Měřící rozsah ± 40 g
- Maximální citlivost 50 mV/g
- Spotřeba 5 mA
- Napájecí napětí 5 V
- Pouzdro SOIC16

Na Obr. 3.16 je patrné v jaké ose pouzdra senzor snímá zrychlení. Senzor MMA2201 byl volen pro měření vysokých přetížení, která mohou nastat na palubě letadla. Na výstupu senzoru je opět LOW-pass filtr pro snížení šumu a odporový dělič, který dělí výstupní napětí v poměru 3,3/5 tak aby jej mohl MCU zpracovat v celém rozsahu. Výstupní proud byl volen $I_o = 1mA$ a maximální výstupní napětí může být $U_o = 5 V$. Celková hodnota rezistorů v děliči bude: $R = U_o/I_o = 5/1 = 5 k\Omega$. Výstupní impedance obvodu MMA2201 je $R_{OUT} = 300 \Omega$. Rezistory v děliči budou tedy $R6 = 1,4 k\Omega$ a $R7 = 3,3 k\Omega$.



Obr. 3.16: Směr senzitivity akcelerometru, převzato z [19]

3.4 Senzor tlaku MPXAZ6115A

Integrovaný senzor tlaku od firmy Freescale [19] je umístěn v miniaturním pouzdru SSO8 a bylo jej tedy možné použít do měřící DPS. Předchozí verze těchto atmosférických senzorů zabíraly až 6x větší plochu a senzor by bylo nutné umístit na další externí modul. První pokusná verze vysílacího modulu umožňovala měřit výšku pouze pomocí GPS senzoru. Při testech v autě a modelu letadla bylo zřejmé, že GPS reaguje na změnu výšky pomaleji než na změnu polohy, ale nebylo možné tuto výšku reálně porovnat se skutečností. Tlakový senzor MPXAZ6115A má dobu odezvy¹³ na změnu tlaku typicky 1 ms a je tedy schopen měřit velmi rychlé změny barometrického tlaku a tedy i výšky. GPS modul měří přímo nadmořskou výšku a je nutné, aby byl ve 3D¹⁴ režimu. Při pomalých změnách polohy, např. při chůzi, bude GPS ukazovat změny výšky velmi přesně a pokud se modul vrátí do určitého referenčního bodu, bude naměřena výška vždy shodná s přesností danou typem GPS modulu. To bohužel neplatí o měření výšky pomocí výpočtu z barometrického tlaku, protože barometrický tlak se neustále mění. Změny výšky při krátkém letu mohou nabývat jednotek metrů. Při velikých změnách tlaku mohou být rozdíly naměřených výšek v řádu desítek až stovek metrů. Tlakový senzor lze tedy použít pouze pro krátkodobé nebo diferenční měření výšky.

Základní vlastnosti MPXAZ6115A

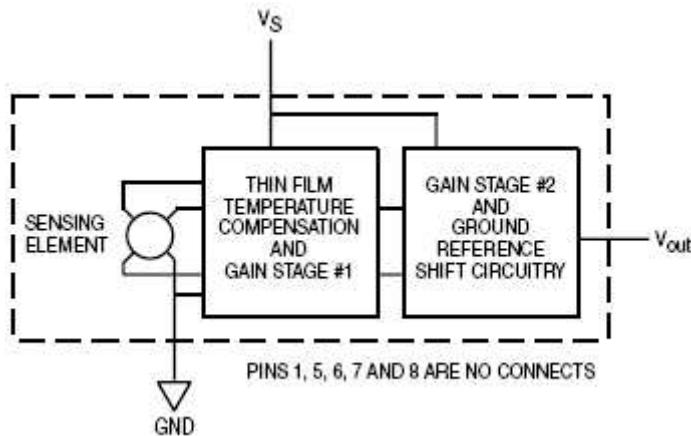
- Měřící rozsah 15 – 15 kPa
- Citlivost typicky 45.9 mV/kPa
- Spotřeba typicky 6 mA
- Napájecí napětí 3.6 V
- Pouzdro SSO8 10,5 x 7,7 x 4 mm
- Maximální výstupní napětí 4,768 V
- Doba odezvy typicky 1 ms
- Operační teplota -40 až +125 °C
- Absolutní přesnost ±1,5%

¹³ Doba odezvy je měřena od 10% do 90% změny tlaku

¹⁴ GPS modul musí mít příjem minimálně ze čtyř satelitů

Jak je patrné z Obr. 3.17 obsahuje MPXAZ6115A blok teplotní kompenzace, která snižuje závislost naměřeného tlaku na teplotě. Obvod je umístěn v 8mi vývodovém pouzdře, ale prakticky jsou používány pouze tři vývody. Jelikož výstupní napětí může být až $U_{oM} = 4,768 V$, bylo opět nutné snížit toto napětí na maximální hodnotu 3,3 V.

Výpočet dělá: Maximální výstupní proud MPXAZ6115A může být $I_{oM} = 0,5 mA$, takže minimální hodnota rezistoru na výstupu může být $R = U_{oM} / I_{oM} = 4,77 / 0,5 = 9,54 k\Omega$. Byly zvoleny rezistory $R8 = 3,5 k\Omega$ a $R9 = 7,2 k\Omega$.



Obr. 3.17: Blokové schéma MPXAZ6115A, převzato z [19]

3.4.1 Výpočet výšky z naměřeného tlaku

Modely letadel se mohou pohybovat do výšky 2000 m nad zemským povrchem a tak je výpočet výšky řešen standardním vztahem pro závislost nadmořské výšky na barometrickém tlaku v troposféře¹⁵. V troposféře platí lineární závislost teploty vzduchu na výšce a tak výpočet využívá konstanty teplotního gradientu $T_{GRAD} = 6,5 K/km$ a není využívána přímo naměřená teplota z externího senzoru. Výška je počítána ze vzorce :

$$h = \frac{T_0}{T_{GRAD}} \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{T_{GRAD} \frac{R}{g}} \right) \quad (1.1)$$

Kde parametry rovnice 1.1 vycházejí ze standardů atmosféry

$$P_0 = 1013,15 Pa$$

tlak v nulové výšce

$$T_0 = 288,15 K$$

teplota v nulové výšce

$$R = 287,052 JK^{-1} kg^{-1}$$

specifická plynová konstanta

$$g = 9,81 ms^{-2}$$

gravitační zrychlení

¹⁵ Troposféra zasahuje do cca 11000 m nad mořskou hladinou

3.5 Teplotní čidlo DS18B20

DS18B20 je integrované 1-Wire digitální čidlo od firmy Maxim [20]. Čidlo 18B20 má rozlišení teploty 12 bitů a vyrábí se také v klasickém pouzdro TO-92, které se hodí pro aplikaci v modelu letadla. Čidlo je připojeno pomocí tří pinového konektoru, pomocí cca 20cm dlouhého tří-žilového krouceného kablíku a na výstupní pin je připojen Pull-Up rezistor $4,7\text{k}\Omega$. Kablík k senzoru lze teoreticky prodloužit až na 100 m, což je garantovaná maximální přípojná délka čidla a není tak problém měřit teplotu v jakékoli části modelu letadla. Čidlo je použito na měření teploty baterií nebo venkovní teploty.

Základní vlastnosti DS18B20

- Měřící rozsah -55 až +125 °C
- Rozlišení¹⁶ 0,0625 °C
- Spotřeba maximálně 1,5 mA
- Napájecí napětí 3 až 5 V
- Pouzdro TO-92, SO8, SS08
- Maximální doba převodu pro rozlišení 12 bitů je 750 ms
- Přesnost 0,5 °C v rozsahu -10 až 80 °C
- Komunikace po 1-Wire rozhraní

3.5.1 Princip činnosti

Čidlo obsahuje dva oscilátory, z nichž jeden je s nízkým teplotním koeficientem a druhý naopak s vysokým teplotním koeficientem. Jakmile přijme po sběrnici čidlo příkaz k zahájení měření teploty, spustí se čítání obou těchto oscilátorů. Čítání těchto pulzů trvá dobu úměrnou rozlišení čidla a pro 12ti bitové rozlišení je to 750 ms. Po ukončení tohoto měření je v čítacím registru 12ti bitová hodnota odpovídající aktuální teplotě. Ta je poté uložena ve vnitřních registrech obvodu a je připravena na vyčtení.

3.5.2 Komunikace s DS18B20

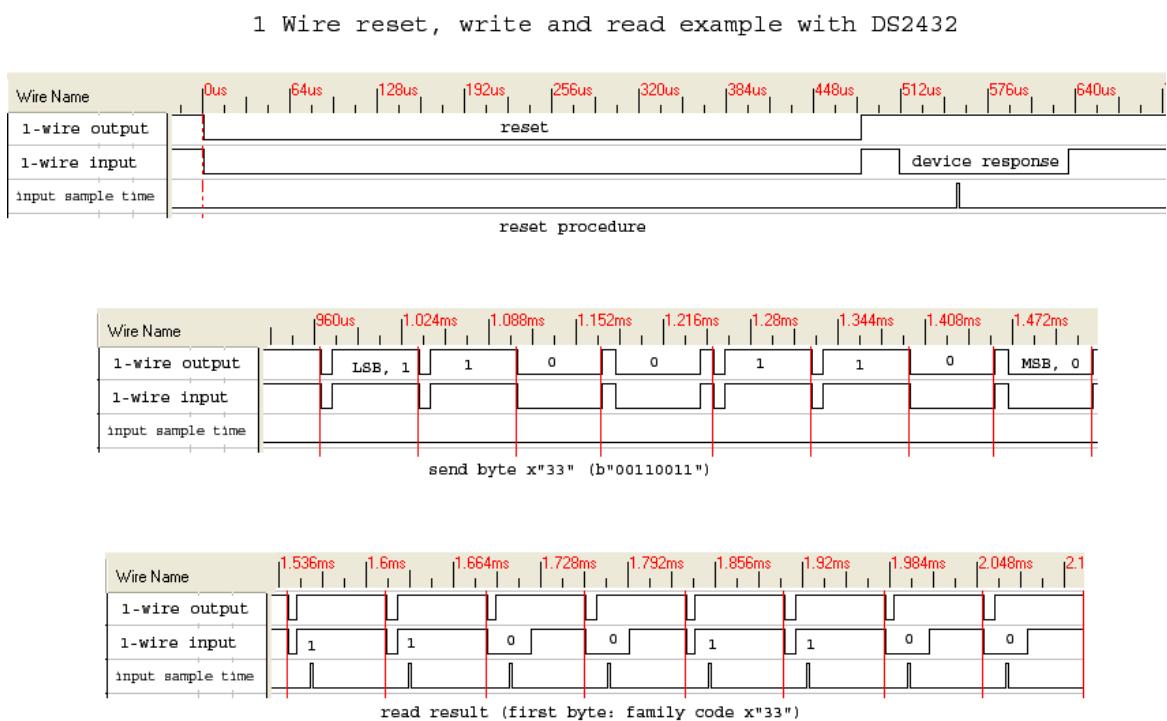
Reset obvodu se provádí zápisem log. 0 po dobu 480 µs. Po této době Pull-Up rezistor nastaví na vývodu DS18B20 log. 1. Pokud je obvod detekován, tak po dalších 60ti µs musí být detekována na výstupu DS18B20 log. 0.

¹⁶ Lze programově snížit až na 0,5 °C

Zápis bitu na sběrnici je prováděn v tzv. „časovém okénku“. Při přenosové rychlosti 16 kbps trvá přenos jedno časového okénka 62,5 ms. Úroveň 1 je přenášena pulzem 1 – 15 μ s do log. 0 na začátku časového okénka. Úroveň 0 je přenášena pulzem trvajícím 60 μ s v log. 0, zbývající 2,5¹⁷ μ s je časové okénko v log. 1. Obvod DS18B20 vzorkuje vždy v čase 30 μ s, po sestupné hraně.

Čtení bitu je opět prováděno v časovém okénku. Za začátku okénka je zapsána log. 0 na dobu minimálně 1 μ s. Pak je sběrnice uvolněna a za dalších 9 μ s je doporučené vzorkovat stav na sběrnici. Úroveň 1 odpovídá log. 1 a úroveň 0 odpovídá log. 0

Všechny tyto případy jsou znázorněny na Obr. 3.18



Obr. 3.18: 1-Wire komunikace

Typický cyklus, ve kterém může být naměřená teplota vyčtena, trvá minimálně 750 ms. Rychlejší vyčítání není pro danou aplikaci potřeba. Jeden komunikační cyklus probíhá tedy následovně:

¹⁷ Minimální doba pulzu v log. 1 je 1 μ s

- Reset DS18B20
- Zápis 0xCC kterým je přeskočena informace o obvodu
- Zápis 0x44 zahájí měření teploty
- Reset DS18B20
- Zápis 0xCC
- Zápis 0xBE – příprava na vyčtení teploty
- Vyčtení spodního bytu
- Vyčtení vrchního bytu

3.6 dsPIC30F4013

Tento MCU 16ti bitový jde o klasický MCU v kombinaci s DPS založený na RISC sadě, která umožňuje zpracovávat všechny strojové instrukce v jednom cyklu. Obsahuje všechny potřebné periferie pro připojení externích modulů a 13ti kanálový A/D převodník.

Základní vlastnosti dsPIC30F4013

- 48 kB Flash programové paměti, 2 kB RAM paměti a 1kB EEPROM.
- Napájecí napětí 2,5 až 5,5 V, CMOS technologie
- 2 kanály UART¹⁸
- SPI rozhraní
- 12ti bitový A/D převodník, 13 kanálů
- Pouzdro 44TQFP
- Programování pomocí ICSP

3.6.1 A/D převodník

dsPIC40F13 obsahuje 12ti bitový A/D převodník s postupnou approximací, který umožňuje měřit napětí až na 13-ti kanálech. Při referenčním napětí 3,3V umožňuje A/D převodník měřit s rozlišením 0,8mV. A/D převodník má vlastní hodinový signál, který je odvozen z taktu hlavního oscilátoru. Hodinový signál pro A/D převodník je generován pomocí 6ti bitového čítače, který po přetečení generuje změnu stavu hodin. Předvolba čítače se nastavuje registru ADCS. Doba odvozeného hodinového cyklu pro ADC je:

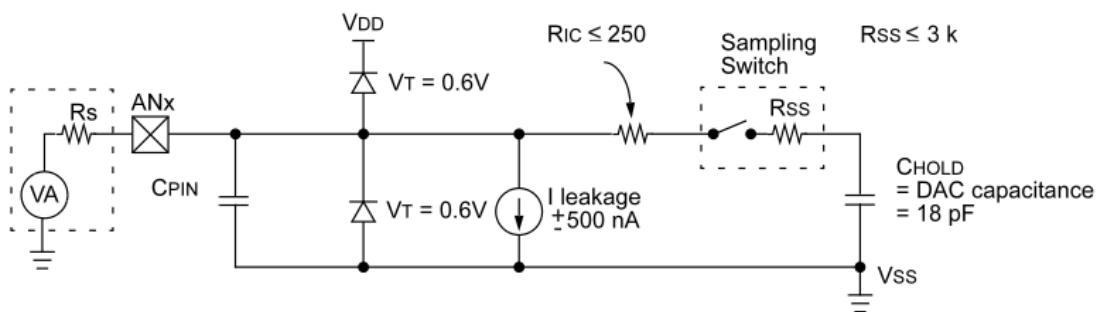
$$T_{AD} = T_{CY} \frac{ADCS + 1}{2} \quad (1.2)$$

¹⁸ Uart1 lze připojit na alternativní piny

Pokud má být výsledek měření správný, je požadováno, aby čas konverze, tedy 14 cyklů T_{AD} byl minimálně 7 μ s. Perioda T_{AD} musí být tedy minimálně 500 ns. Při frekvenci $f_{cy} = 64\text{MHz}$ a $ADCS = 64$, vychází perioda $T_{AD} = 507\text{ns}$. Při maximální zkoušené frekvenci 88,47 MHz však fungoval A/D převodník bez jakýchkoliv rozdílů.

Dále je třeba zajistit dostatečné nabití kondenzátoru C_{HOLD} . Vstupní obvod A/D převodníku je schematicky znázorněn na Obr. 3.19

Pro 12ti bitový převodník a vstupní měřenou impedanci $2,5\text{k}\Omega$ vychází doba vzorkování $1,15\mu\text{s}$. V programu používám vždy dobu $T_{SAMP} = 15T_{AD}$ což je pro frekvenci jádra 64 MHz, $7,6\mu\text{s}$.



Obr. 3.19: Analogový vstupní model A/D převodníku, převzato z [11]

3.6.2 UART kanál

dsPIC30F4013 obsahuje dva kanály UART. Kanál UART1 má možnost využívání na dvou sadách pinů, které se volí přepínáním bitu U1MODEbits.ALTIO. Všechny externí moduly, které používám, pracují v režimu 8mi bitové komunikace, 1 start, 1 stop, žádná parita, žádné řízení toku. UART kanál obsahuje 4 bytový RX a TX buffer.

Všechny externí moduly¹⁹ umožňují komunikovat rychlosť 115200 Baud, což je i maximální rychlosť komunikace pro frekvenci jádra 64 MHz. Rychlosť komunikace se nastavuje v registru BRG.

$$BGR = \frac{f_{cy}}{16 \cdot Baud} - 1 \quad (1.3)$$

Dosazením $f_{cy} = 64\text{MHz}$ a $Baud = 115200$ vyjde $BGR = 33,7222$. Registr BRG je celočíselný a tak je zvoleno $BRG = 34$.

¹⁹ Kromě RC1240, který komunikuje rychlosť 19200 baud

Pro $BRG = 34$ vychází komunikační rychlosť 114285 Baud a chyba je tedy -0,8%, což je v toleranci $\pm 2\%$, které jsou jako povolená chyba.

3.6.3 SPI kanál

SPI je na rozdíl od UARTu synchronní komunikace. Maximální rychlosť přenosu je závislá na frekvenci jádra. Při frekvenci jádra 64 MHz je maximální přenosová rychlosť SPI kanálu 1 MB/s. Tato rychlosť je využívána pouze pro zápis do MMC, konfigurace je prováděna čtvrtinovou rychlosťí. SPI kanál může být nastaven jako 8bitový nebo 16bitový.

SPI rozhraní potřebuje pro obousměrnou komunikaci 4 piny. SCK – hodinový signál, SDI – vstupní datový signál, SDO – výstupní datový signál a SS – výběr obvodu. Při komunikaci s jedním obvodem nemusí být SS za určitých podmínek používán. Dále je možné nastavit interval vzorkování dat, SLAVE/MASTER mód, děličku SCK až do poměru 1:512, IDLE²⁰ stav signálu SCK a hranu hodin, ve které budou data brána jako platná.

3.7 GLCD displej LGM12864B

Klasické LCD displeje se vyrábějí v maximálním počtu čtyř řádků a 20 znaků v řádku, tedy 20 x 4. Jelikož měřených dat z vysílací stanice je hodně a naměřená data by se musela vždy po určitém intervalu přepínat, aby mohly být zobrazena, byl volen raději grafický displej s rozlišením 128 x 64 bodů což při velikosti jednoho znaku 7 x 5 bodů umožňuje zobrazit 8 řádků a 21 znaků v jednom řádku, měl by tedy klasické LCD značení 21 x 8. Displej byl volen s podsvícením, aby byl text dobře viditelný i za šerého počasí.

Základní vlastnosti LGM12864B

- Rozlišení 128 x 64 bodů
- Napájecí napětí 4,7 až 5,5 V, CMOS logické úrovně
- Spotřeba řídící jednotky 8 mA
- Maximální spotřeba podsvícení 170 mA
- Pracovní teplota -15 až 65 °C, technologie STN
- Řadič KS-108

²⁰ V IDLE módu je zařízení nečinné

3.8 USB/UART převodník FT232RL

Jde o integrovaný převodník USB/UART od firmy FTDI chip [9] umístěný v pouzdro SSOP28. Obvod má integrované USB rezistory, podporuje specifikaci USB 2.0 a také USB 1.1. Oproti předchozím verzím tohoto obvodu je v pouzdře umístěn blok oscilátoru a obvod pro svoji funkci vyžaduje minimální počet součástek. Dále je možné konfigurovat piny CBUS, které jsou zde využity pro signalizaci přenosu.

Základní vlastnosti FT232RL

- Přenášená rychlosť od 300 Baud do 3 MBaud
- Napájecí napětí 3,3 až 5,25 V
- Logické úrovně vstupně/výstupních signálů CMOS 1,8 – 2,8 – 3,3 – 5 V
- Konfigurovatelné vstupně/výstupní CMOS piny.
- Integrované USB rezistory, power on reset
- Integrovaná programovatelná EEPROM
- 256 bytů RX buffer a 128 bytů TX buffer
- Pouzdro SSOP28

4 Vysílací modul

DPS byla navržena jako dvouvrstvá místo původní čtyřvrstvé, ale muselo dojít ke zvýšení konstrukční třídy z 5 na konstrukční třídu 6, kde je rozdíl spoje a izolační mezery mezi spoji minimálně 0,15 mm.

4.1 Popis zapojení

Celá vysílací stanice (Obr. 4.1) se nachází na dvouvrstvé DPS, která byla navržena v programu EAGLE. V Dodatek D je celé schéma zapojení a DPS. Pasivní součástky na DPS jsou většinou v pouzdru 0603, pouze kondenzátory s vysokou kapacitou jsou umístěny v pouzdru 0805. Zařízení může být napájeno 2S²¹ nebo 3S Li-Pol baterií, která je pohonná, nebo jiným zdrojem napětí v rozsahu 9 – 13 V. Spotřeba samotné vysílací stanice včetně senzorů, které se na ní nacházejí, je 65 mA.



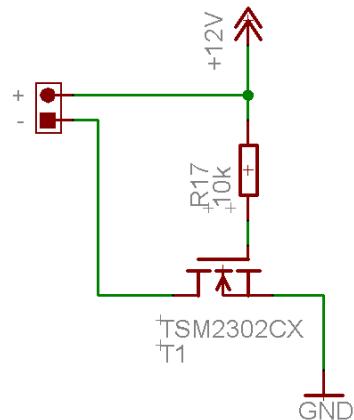
Obr. 4.1: Vysílací stanice

Napájení vysílací stanice

Napájecí napětí je stabilizováno na dvě napěťové úrovně. První je 5 V, ze kterých je napájen senzor tlaku MPXAZ6115A a akcelerometr MMA2201, dále je z tohoto stabilizátoru napájen další stabilizátor a to na 3,3 V. Ten není napájen přímo ze zdroje energie, aby na něm nebyla vysoká výkonová ztráta, protože je umístěn pouze v pouzdru SOT23, které není

²¹ Pokud je používám RF modul RFM12BP a napájení 2S, je snížený dosah na 1/3 maximálního dosahu

schopné odvádět výkonovou ztrátu tak dobře jako pouzdro TO252 použité na 5 V stabilizátoru. Napětí 3,3V slouží pro všechny ostatní senzory, MCU a MMC. Při používání vysílacího modulu RFM12BP je napájení pro PA bráno přímo z hlavního zdroje napětí. Celé zařízení je chráněno proti přepólování. Schéma je vidět na Obr. 4.2. Princip je následovný: Jednak je v propustném směru zapojená body dioda a tranzistor je otevřený vstupním napětím, takže úbytek je pouze na R_{DSon} MOSFETu. V opačném směru je body dioda závěrně polarizovaná a MOSFET má na gatu záporné napětí, takže se neotevře.

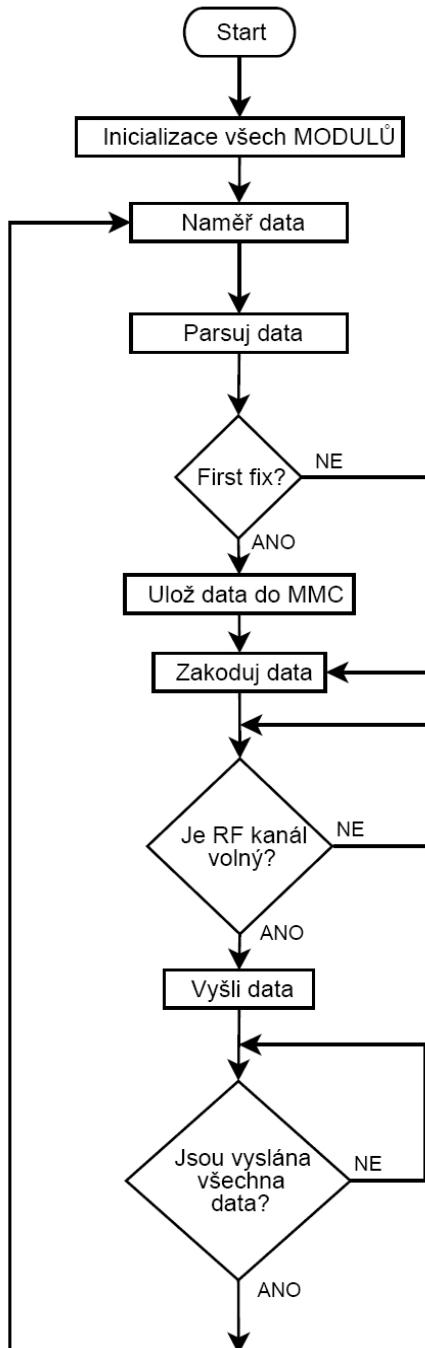


Obr. 4.2: Ochrana proti přepólování

Místo klasického zapojení s usměrňovací diodou bylo použito právě toto zapojení s MOSFET tranzistorem. Rezistor s tranzistorem zabírají méně místa než usměrňovací dioda a to jak křemíková, tak Shottkyho. Odpor tranzistoru TSM2302 je maximálně $R_{DSon} = 100\text{ m}\Omega$ a při maximálním proudu do celého zařízení $I_m = 300\text{ mA}$ je úbytek napětí na tranzistoru pouze 0,03 V.

4.2 Popis programu vysílací stanice

Program byl psán v prostředí Mikro C od Bulharské firmy Mikroelektronika [11]. Pomocí jazyka C bylo jednoduché implementovat samotný výpočet výšky z naměřeného tlaku a tak veškerá data, která jsou posílána na pozemní stanici, mohou být zobrazena bez jakýchkoliv dalších úprav a výpočtů. Vývojový diagram je zobrazen na Obr. 4.3.



Obr. 4.3: Vývojový diagram vysílací stanice

Všechna měřená data jsou synchronizována pomocí GPS modulu. Jelikož modul EB85A, iTrax03-s a MCU umožňují komunikaci maximální přenosovou rychlostí 115200 Baud, byla tato rychlosť volena pro všechny UART kanály. Po inicializačním nastavení použitých modulů se vždy čeká na vyslání dat z GPS modulu. Tato data jsou vysílána frekvencí 5 Hz u všech použitých modulů. Jelikož každý z GPS modulů posílá NMEA věty v jiném pořadí, SW nejprve testuje logický stav na pinu PGD. Pokud je na jeho vstupu log. 0 je připojen modul EB85A, pokud je detekována log. 1 je připojen modul iTrax03-s.

Po prvním přijmutí dat z GPS se zjišťuje, jestli došlo k prvnímu uzamčení pozice (First FIX). Po FF GPS modul přijme první pozici, čas a datum. Před FF jsou na pozemní stanici vyslána buď poslední naměřená data, nebo standardní data, která vysílá GPS po resetu.

Po přijetí NMEA vět jsou tato data parsována a uložena do pole GPSnmea. Dále jsou do tohoto pole připojena naměřená data ze senzorů. A to v pořadí zrychlení z akcelerometru MMA7260Q v ose x, y, z, zrychlení ze senzoru MMA2201, vypočítaná výška ze senzoru MPXZ6115A, naměřená teplota, napětí napájecího akumulátoru a indikátor FF.

Po rozpoznání FF se začnou naměřená data ukládat do MMC. Čas, který se ukládá do MMC je počítán od hodnoty 0 s a při každém dalším přijetí dat je inkrementován o periodu vzorkování, tedy o 0,2 s. Zeměpisná šířka a délka jsou přepočítány z formátu yyymm.dddd kde y jsou stupně, m jsou minuty a d je desetinná část minut na formát yyyy.dddddd kde y jsou stupně a d je desetinná část stupňů. Pro vysílání na pozemní stanici je zeměpisná šířka, zeměpisná délka a čas posílan ve formátu v jakém je přijímán z GPS modulu. Jednotlivé číselné hodnoty jsou odděleny znakem \$, nebo W²² nebo E. Znaky N, S určující zeměpisnou polohu již nemohly být zakódovány a tak jsou nahrazeny znakem \$.

Tato data jsou následně zkomprimována tak, aby zabírala méně místa a mohla být rychleji vyslána pomocí RF modulu. Jelikož se vsemi daty se pracuje jako s ASCII znaky, používají se převážně číselné údaje a několik dalších znaků, jako jsou znaky: \$, W, E, N, S, +, ., -, je výhodné volit půlbytovou kompresi. Příklad kódovaných znaků je v Tabulka 7. 8mi bitový ASCII znak je zkomprimován na 4 bity, komprimace tedy je 2:1

²² W – West, N – North, S – South, E - East

Znak ASCII	Hex reprezentace
0	0x0C
1	0x01
..	..
9	0x09
W	0x0A
S	0x0B
+	0x00
-	0x0D
\$	0x0E
.	0x0F

Tabulka 7: Zakódování znaků pro půlbytovou kompresi

Formát datového paketu před komprimací²³:

\$	Oddělovací znak
hhmmss.ss	Čas UTC ve formátu: hodiny minuty sekundy.desetinná část sekund
ddmm.mmmm	Zeměpisná šířka ve formátu: stupně minuty.desetinná část minut
dddmm.mmmm	Zeměpisná délka ve formátu: stupně minuty.desetinná část minut
0 – 12	Počet satelitů používaných k výpočtu
0.0 – 18000.0	Nadmořská výška v [m]
0.0 – 359.9	Geodetický kurz v [°]
0.0 – 1200.0	Horizontální rychlosť v [km/h]
ddmmyyyy	UTC datum ve formátu: den měsíc rok
-8.00 – +8.00	Zrychlení v ose X [g]
-8.00 – +8.00	Zrychlení v ose Y [g]
-8.00 – +8.00	Zrychlení v ose Z [g]
-40.0 – +40.0	Zrychlení v ose X s rozsahem do 40 g [g]
0 – 10000	Nadmořská výška vypočítaná z barometrického tlaku [m]
-55.0 – +125.0	Měřená teplota v [°C]
\$	Poslední oddělovací znak
\r	Ukončovací znak zprávy

Tabulka 8: Formát dat před komprimací

²³ Za každou položkou datového paketu je znak \$, ale pro přehlednost jej v tabulce neuvádím

Příklad dat před komprimovacím algoritmem (99 znaků):

\$202309.18\$5028.63\$64\$01530.95\$38\$05\$476.4\$0.0\$0.1\$29112008\$+1.68\$+1.03\$+1.09\$+1.81\$497\$+22.9\$7.44\$1\$\r

Příklad zkomprimovaných dat (50 znaků):

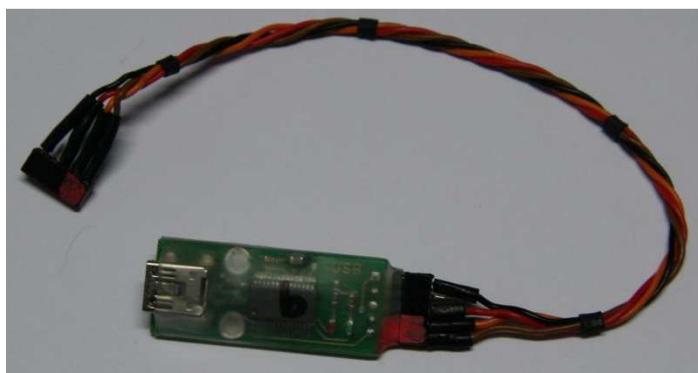
Ze zkomprimovaných dat je vypočítán CRC a všechny tato data jsou vyslána rychlostí 19200 Baud pomocí RF modulu. Nejprve se čeká, zda je RF kanál volný pro vyslání dat. Pokud je volný, jsou všechna nashromážděná data následně vyslána. Po ukončení vysílání jsou opět měřena data z GPS modulu.

5 Pozemní stanice

Z předchozí verze celého zařízení bylo zřejmé, že pozemní se koncepcně osvědčila a není třeba dělat zásadní změny. Pozemní stanice je navržena podobně jako vysílací stanice na dvouvrstvé DPS. Jelikož je rozměr GPS mnohem větší než u vysílací stanice, byla využita konstrukční třída 4, tedy minimální rozměry spoje a izolační mezery spoje pro tuto třídu musí být větší než 0,3 mm.

5.1 USB/UART modul

Tento modul je založen na obvodu FT232RL a je využíván pro přenos zpráv z pozemní²⁴ stanice do PC. FT232RL umožnuje oboustranný přenos dat s využitím HW řízení toku dat. V aplikaci je použito klasické zapojení pro asynchronní přenos dat využívající signály RXD a TXD. V PC, ke kterému bude FT232RL připojen musí být nainstalován ovladače pro daný OS. Ovladače lze zdarma stáhnout na stránkách výrobce [9]. Po jejich nainstalování a připojení převodníku FT232R se v PC vytvoří nový port COM, pomocí něhož je možné přenášet data do/z PC. Podrobný postup instalace je v Dodatek C. U nových PC je problém, že standardní RS232 již neobsahují a je tedy nutné vytvořit virtuální COM port právě pomocí ovladačů pro FT232RL. S virtuálním COM portem je možné pracovat stejně jako s klasickým COM portem.



Obr. 5.1: UART/USB převodník

Na Obr. 5.1 je vidět DPS na které je umístěn FT232RL. Konektor pro připojení USB kabelu je typ mini, aby nezabíral mnoho místa. Celý modul je napájen ze strany UART kanálu a velikost napájecího napětí (v této aplikaci 3,3 V) tvoří i úroveň log. 1 pro signály RXD a TXD. Modul je tedy možné využívat na různá napájecí napětí ze strany UART kanálu. Pin CBUS0 je naprogramován pro RXD diodu a pin CBUS1 je naprogramován pro TXD diodu. Pokud budou

²⁴ Může být používán i pro přenos dat z vysílací stanice

vysílána data z MCU do FT232RL bude blikat zelená dioda a pokud budou vysílána data z FT232RL do MCU, tak bude blikat červená LED dioda. Na DPS jsou patrné dvě díry o průměru 3,1 mm, které slouží k přišroubování převodníku do krabice pozemní stanice.

5.2 Popis zapojení

Schéma zapojení a výkresy DPS jsou v Dodatek D. Displej LGM12864b řízen pomocí 13ti bitové sběrnice. Vývody DB0-DB7 slouží k zasílání a čtení dat, které probíhá paralelní komunikací. Signál RST slouží k resetu obvodu, CS k výběru obvodu, R/W k výběru zápisu do paměti nebo čtení z paměti, EN k potvrzení platnosti dat a D/I je výběr registru. V datasheetu je psána maximální spotřeba GLCD 178 mA, ale mnou měřený GLCD měl při zapnutém podsvícení spotřebu 62 mA, což je méně než klasický podsvícený LCD 16 x 4 displej. GLCD displej je nutné napájet z 5V zdroje a pro jeho řízení je možné využít logické úrovně signálu z MCU $log.0 = 0V$ a $log.1 = 3,3V$. Pro zbytek součástek bylo zvoleno napájecí napětí 3,3 V, protože MCU má při tomto napájecím napětí menší spotřebu a MMC je nutné také napájet z 3,3 V. Pro stabilizaci napětí jsou použity dva LDO stabilizátory napětí. Jeden stabilizuje z napájecího zdroje na 5 V a druhý stabilizuje 5 V na 3,3 V. Jelikož je na DPS hodně volného místa jsou oba stabilizátory v pouzdru D²PAK²⁵ a mohou být zatíženy až do velikosti proudu 1 A. Napájecí napětí může být jako v případě měřící stanice v rozsahu 9 – 13 V. Pro napájení bylo využito 3S Li-Pol s jmenovitým napětím 10,8 V a kapacitou 800 mAh. Při maximální spotřebě pozemní stanice $I_m = 105mA$ vydrží plně nabité baterie až 5 hodin chodu. Pozemní stanice měří napájecí napětí. Pokud napájecí napětí klesne pod hodnotu 10,5 V, což je 3,5 V na jeden článek, vypíše se na displej upozornění o nízké hodnotě napájecího napětí. Po překročení této hranice je v akumulátoru cca 5 – 10% energie a podbíjení na nižší úroveň zkracuje životnost akumulátoru. Akumulátor je připevněn na DUAL LOCK páscce, aby bylo možné jej lehce odjímat viz Obr. 5.2.

Obvod je stejně jako vysílací stanice ochráněn proti přepólování. Tranzistor IRFR3504 je volen v pouzdru D²PAK a odpor v sepnutém stavu je $R_{DSon} = 9m\Omega$. Výkonová ztráta na pouzdru je tedy $P = R_{DSon} \cdot I_m = 0,009 \times 0,1^2 = 0,09mW$.

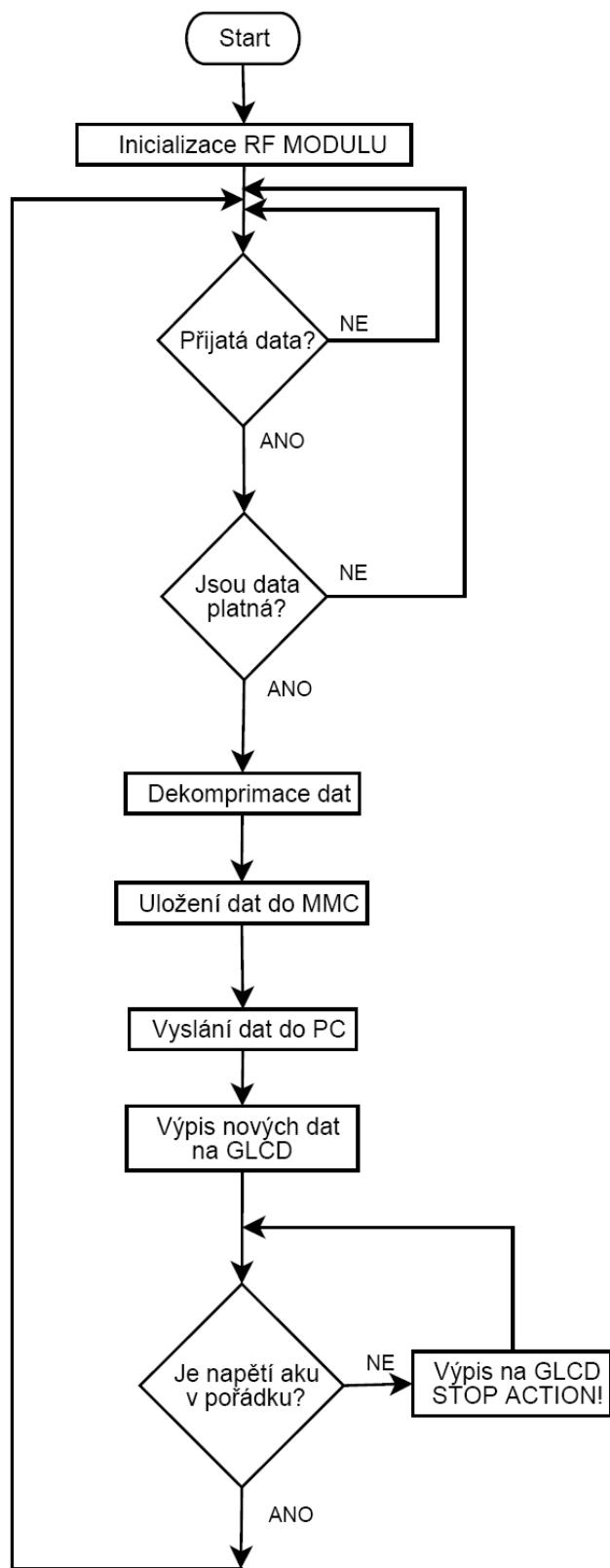
²⁵ Někdy je uváděno jako TO252, TO262 nebo TO263



Obr. 5.2: Pozemní stanice

5.3 Popis programu pozemní stanice

Celý program běží v nekonečné smyčce. Nejprve se na GLCD displej vypíše úvodní okno a pak se čeká 2 s. Po uplynutí této čekací doby je inicializován RF modul a je čekáno na příjem naměřených dat z měřící stanice.



Obr. 5.3: Vývojový diagram pozemní stanice

Z přijatých dat je vypočítán CRC a je porovnán s přijatým CRC. Pokud se CRC neshoduje, jsou data ignorována a nejsou vypisována na GLCD ani nejsou ukládána do paměti. Při dekomprese se čeká na určité znaky, a pokud by byla data chybná, mohlo by dojít ke krátkodobému uvíznutí programu ve „while“ cyklu. Tento cyklus má vždy své omezení a nemůže dojít k trvalému uvíznutí programu, ale data pak budou posunutá a byla by špatně zobrazena. Pokud je CRC v pořádku, mohou být data dekomprimována.

Dekomprimace dat probíhá podle stejného kódovacího klíče jako jejich komprimace. Nejprve se vezme první byte přijatých dat, ten je rozdelen na horní a spodní půl-byte. Horní půl-byte je dekódován podle Tabulka 7 a tím se obdrží první byte zprávy. Dále je podle Tabulka 7 dekódován spodní půl-byte a tím se obdrží další byte zprávy. Takto je postupováno i s následujícími přijatými byty, dokud se neobdrží znak 0x0D. Po přijetí znaku 0x0D dojde k ukončení dekomprimace

Po dekódování zprávy jsou všechna data uložena do MMC. Do MMC se ukládají data ve stejném formátu jako ve vysílací stanici. Porovnáním dat, která jsou uložena v MMC na palubě letadla a na pozemní stanici, je možné zjistit, zda došlo v RF přenosu ke ztrátě dat a je možné zjistit jaké data a v jakém režimu letu byla ztracena.

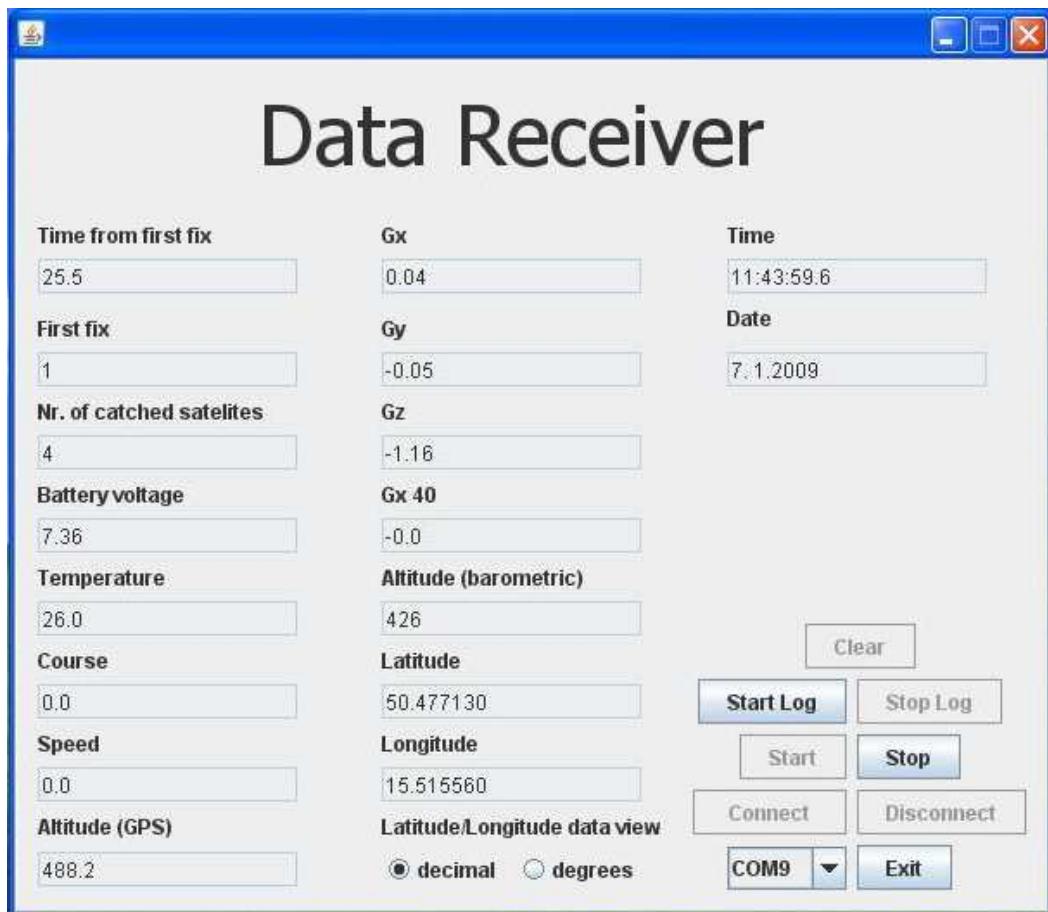
Všechna přijatá data, doplněná o absolutní čas a šedesátkové zobrazení polohy jsou poté vyslána na UART kanál 2. Data mohou být přijímána jakýmkoliv terminálovým programem s nastavením komunikace UARTu 8 bitů dat, 1 start a stop bit, žádná parit, žádné HW řízení toku dat. Pro zobrazení dat byl vytvořen program Data Receiver, na kterém je možné data pohodlně sledovat a ukládat do paměti.

Při prvním přijetí dat jsou vypsána všechna tato data na GLCD. Při dalším přijetí dat se kontrolují aktuální přijatá data s předešlými daty. Pokud jsou data v jednotlivém bloku rozdílná, tak se tato data vypíší. Pokud jsou data shodná, pak vypsána nejsou, aby nedocházelo ke zbytečnému blikání GLCD.

Na závěr se testuje naměřené napětí akumulátoru s předem naprogramovanou hodnotou prahového napětí. Pokud je akumulátor vybit, tedy napětí změřené je menší než prahové napětí, zobrazí se na GLCD blikající nápis STOP ACTION!!! Po zobrazení tohoto nápisu je nutné co nejdříve vypnout celé zařízení a dobít akumulátor. Pokud dojde a absolutnímu podbití akumulátoru, hrozí postupná ztráta jeho kapacity nebo snížení jeho životnosti.

6 Aplikace Data Receiver

Aplikace Data Receiver (Obr. 6.1) slouží k zobrazení dat přímo na obrazovce PC. Na displej LCD jsou zobrazena všechna důležitá data, ale pokud má uživatel na letišti notebook, který je umístěn ve stínu, aby byla obrazovka dobře čitelná, je lepší číst data přímo z obrazovky. Program je implementován v jazyce JAVA 6.1.



Obr. 6.1: Ukázka aplikace Data Receiver

Oproti LCD může uživatel sledovat čas od first fix a může si přepínat zobrazení zeměpisné délky a šířky ve formátu stupňů a jejich desetinné části jako je na Obr. 6.1 nebo klasického formátu z GPS tedy stupně a minuty.

6.1 Ovládání aplikace Data Receiver

Po nainstalování ovladačů pro FTDI232RL a COMM Api (viz. Dodatek C) je po připojení pozemní stanice k PC detekován nový COM port. Tento port je třeba vybrat z combo boxu v aplikaci Data Receiver. Pokud je vybrán port, který není detekován v PC, je na obrazovku

vypsáno Selected port not detected!. Port je inicializován a připojen po stisku tlačítka Connect. Nyní je možné povolit logování naměřených hodnot do souboru, kliknutím na Start Log. Uživateli je umožněno vytvořit a uložit nový²⁶ soubor, do kterého budou naměřená data ukládána. Spustit ukládání do logovacího souboru je možné i při již spuštěném čtení dat z pozemní stanice. Uživatel nyní může spustit zobrazování dat kliknutím na tlačítko Start. Pokud chce uživatel smazat naměřená data, která jsou na obrazovce, stačí stisknout tlačítko Clear.

6.2 Implementace

Základem celého programu je použití Javy verze J2SE 5.0, která obsahuje JRE 6.1 a knihovny COMM.jar Ta umožňuje připojení k sériovému COM portu. Komunikace je nastaven standardně na 8 datových bitů, 1 start bit, 1 stop bit, žádná parita a rychlosť komunikace 115200 Baud. Toto nastavení nemůže uživatel změnit. Po otevření COM portu program čeká, něž přijde znak návratu na začátek řádky CR ('\r'). Ten je vysílan pozemní stanicí na začátku každého bloku dat. Pokud je přijat znak CR začne plnění datového paketu do interního pole. Toto pole je rozděleno na jednotlivé hodnoty pomocí oddělovacího znaku tabulátor HT ('\t'). Po vyslání posledního bytu dat je vysílan ukončovací znak nové řádky LF ('\n'). Přijatá data jsou následně zobrazena v jednotlivých TextField.

CR	94022.19	HT	5028.6629N	HT	1530.9465E	HT	475.8	HT	..	1	LF
----	----------	----	------------	----	------------	----	-------	----	----	---	----

Tabulka 9: Formát zpráv vysílaných z pozemní stanice kanálem UART

Při spuštění logování jsou do vybraného souboru ukládána všechna data, pouze úvodní znak CR není vysílan na začátku dat, ale na konci, aby bylo možné soubor otevřít v programu Matlab nebo Excel.

²⁶ Je možné vybrat i existující soubor, ale předchozí data budou vždy vymazána

7 Testování celého zařízení

Zařízení bylo testováno v modelu Backfire určeném pro kategorii F5F (Obr. 7.1), jehož stručný návrh je pospán v Dodatek A. Model je celouhlíkový, což znamená, že na celém povrchu modelu je uhlíková tkanina. Jelikož se uhlík chová pro vysoké frekvence jako velmi dobrý vodič, bylo nutné všechny antény vyvést z trupu ven (Obr. 7.2).



Obr. 7.1: Model Backfire



Obr. 7.2: Umístění vysílací stanice v trupu modelu

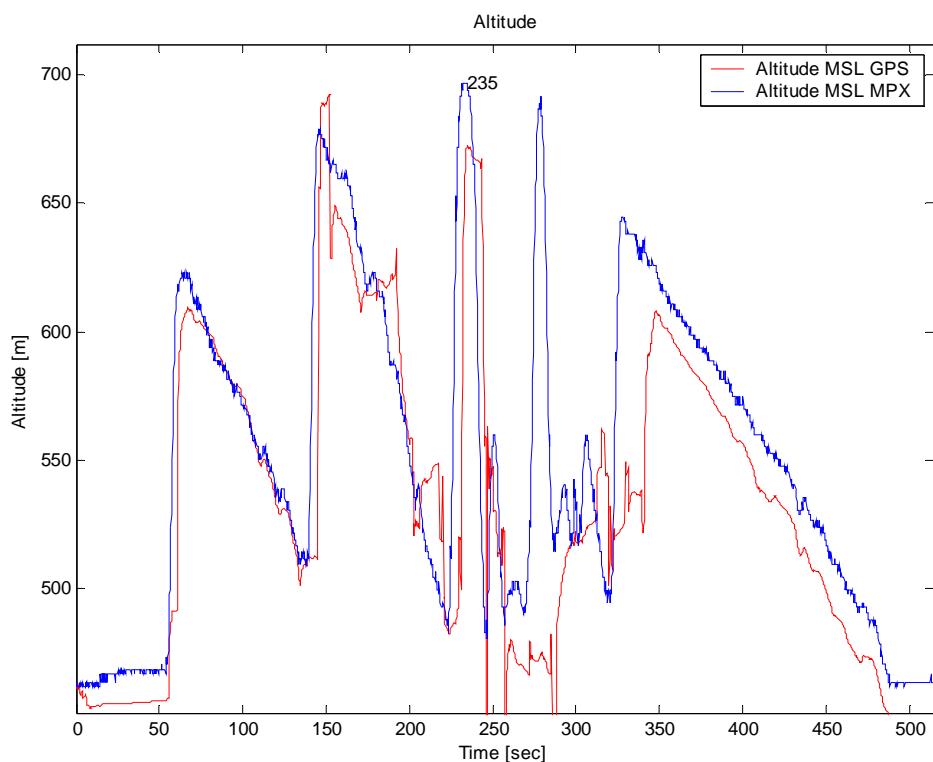
Proud tekoucí do motoru ve špičce dosahuje hodnot 270 A a v ustáleném motorovém letu dosahuje 180 A. Ani při těchto proudových špičkách nedocházelo ke ztrátě RF spojení nebo

zkreslení měřených údajů. GPS modul a anténa RF modulu jsou vyvedeny ven z trupu a jsou dobře odstíněny právě celouhlíkovým trupem.

Dosah komunikace RF modulu byl zkoušen v maximální vzdálenosti 700 m modelu od měřící stanice. Na delší vzdálenost nebyl model dobře viditelný. Na zemi byl dosah cca 300 m. Tyto vzdálenosti jsou dosahovány s RF moduly RC1240 a RFM12BP. S modulem nRF9E5 byl dosah cca poloviční. Při úloze termika nebyl s dosahem problém a v jiném testovaném modelu fungoval přenos s modulem RC1240 spolehlivě z výšky 1200 m nad zemí. Jediné problémy s přenosem se projevily v úloze „rychlosť“. To bylo zapříčiněno stíněním uhlíkového trupu. Pokud byla anténa prodloužena z délky 173 mm na 692 mm a anténa byla natažena úhlopříčně z trupu na konec VOP, byly výpadky přenosu sníženy.

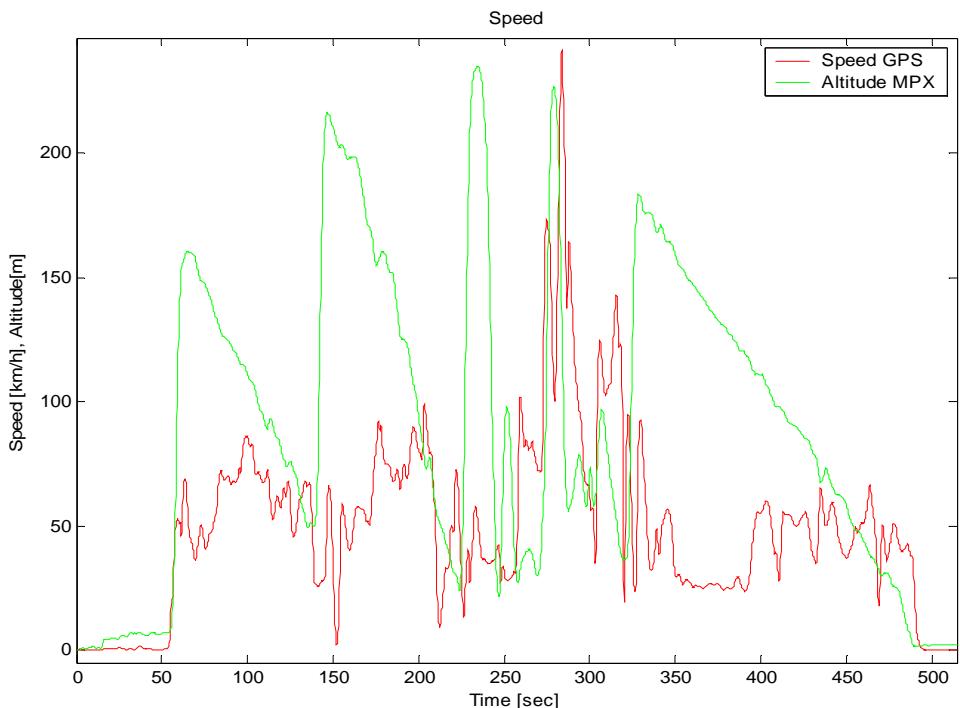
7.1 Měření dat

Data byla ukládána přímo do textového souboru v PC. V Matlabu byl vytvořen skript, který načte data z uloženého souboru a vykreslí grafy, které ukazují průběh letu.



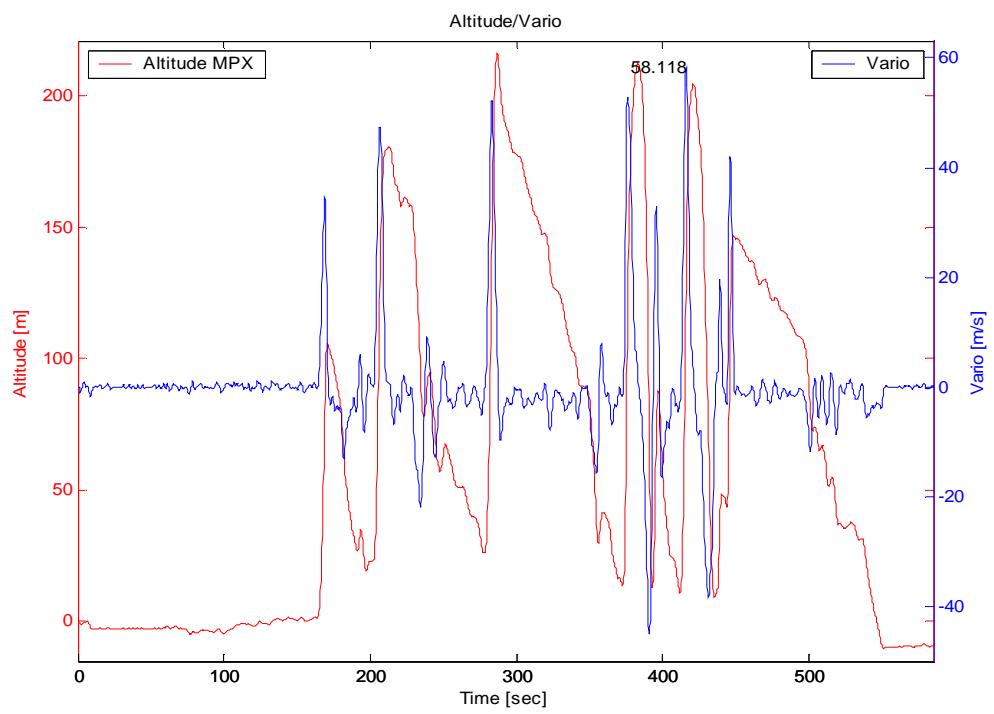
Obr. 7.3: Měření barometrické (MPX) a GPS výšky, měřeno modulem Etek EB85A

Výška letu modelu letadla na Obr. 7.3 je měřena pomocí barometrického senzoru a GPS modulem. MPX výška je není vyfiltrovaná, její rozlišení je 3 m a slouží pouze k referenčnímu měření výšky. Absolutní hodnota výšky není přesná, ale relativní hodnota pro dobu letu do 800 s přesná velmi přesná. Na Obr. 7.3 je jasně vidět, jaké chyby mohou nastat pouze při měření výšky pomocí GPS senzoru. Největší rozdíl je patrný v čase 287 s, kdy model prudce stoupal vzhůru a GPS modul toto stoupání vůbec nezaznamenal. Při pomalejším stoupání/klesání modelu byly dosahované hodnoty výšek prakticky shodné.



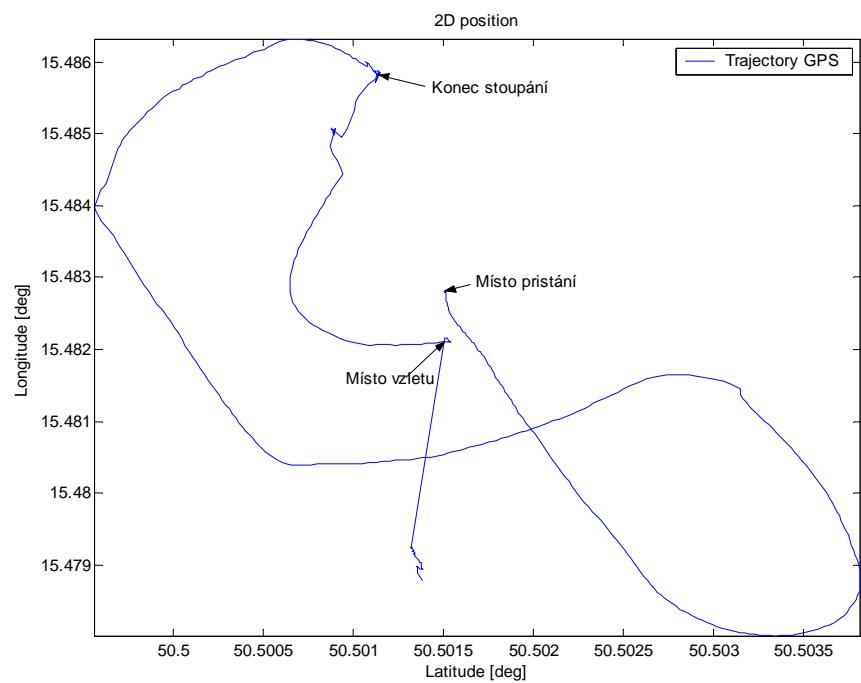
Obr. 7.4: Rychlosť GPS a filtrovaná výška, měřeno modulem EB85A

Na Obr. 7.4 je vidět výška letu modelu, za použití Low-Pass filtru a rychlosť modelu měřená pomocí GPS. Rychlosť modelu v kluzu se pohybuje kolem 55 km/h a jelikož data byla měřena za větru 15-20 km/h tak je vidět, že při této rychlosti ukazuje GPS přesné údaje. V čase 287 s bylo provedeno rychlé nastoupání a následný rychlý sestup. GPS modul výšku měřil velmi špatně, ale naměřená rychlosť odpovídá skutečné rychlosti.

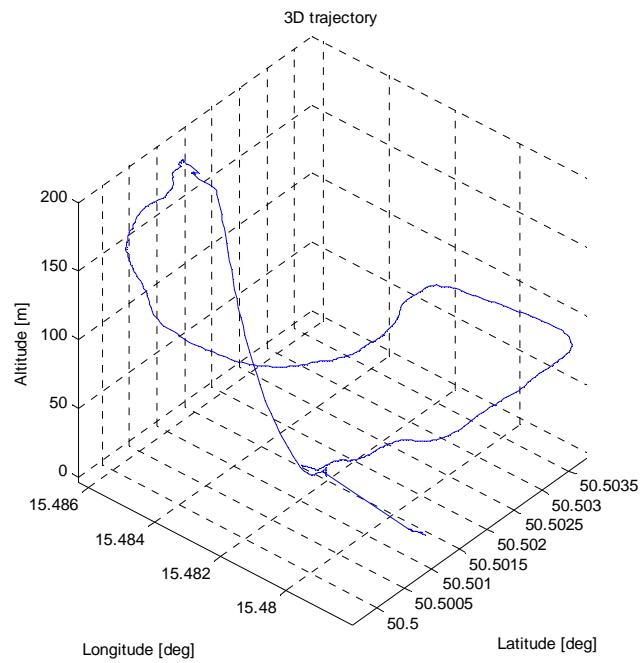


Obr. 7.5: Barometrická výška a vario

Vario, neboli stoupání/klesání modelu bylo počítání derivací výšky podle času. Bylo nutné použít derivaci filtrované barometrické výšky, protože v GPS výšce byly špičky, které maximální hodnoty zkreslovaly.

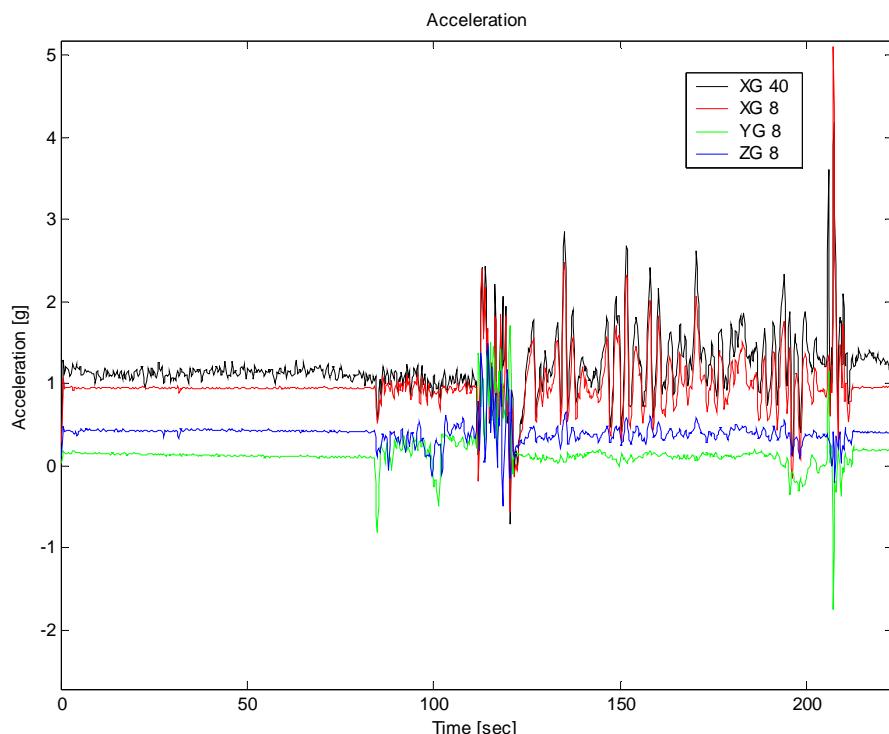


Obr. 7.6: Trajektorie letu 2D



Obr. 7.7: Trajektorie letu 3D

Na Obr. 7.6 a Obr. 7.7 je vykreslena trajektorie krátkého letu. Při delších letech musí být graf vykreslován postupně, nebo musí být vykreslena pouze část letu, aby graf neztrácel na přehlednosti. Z Obr. 7.6 je zřejmé, že naměřená pozice ve stoupavém letu není tak přesná jako při vodorovném letu. Mezi místem vzletu a koncem stoupání by měla být přibližná přímka, protože model stoupal přímo bez jakéhokoliv zatáčení.



Obr. 7.8: Měření zrychlení

Na Obr. 7.8 je naměřené zrychlení modelu. K měření zrychlení v zatáčkách na bázi pomocí senzoru MMA7260QT bohužel nedošlo, protože při posledním letu, kde již byly umístěny všechny senzory zrychlení, byl model silně poškozen. Vzorkování akcelerometrů rychlostí 5Hz je pomalé a není tak možné zachytit špičky, které vznikají při zatáčce na bázi. Právě tyto špičky jsou zajímavé nejvíce, protože umožňují přesnou analýzu přetížení modelu v jednotlivých režimech letu. Podle analýzy skutečného přetížení na palubě modelu je možná úprava nosníku modelu.

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnut zařízení, které umožní monitorování polohy soutěžního modelu a bezdrátový přenos naměřených hodnot na zem. Tato úloha spočívala v navržení vhodné desky plošného spoje, vyzkoušení jednotlivých modulů, implementaci softwaru do jednočipového procesoru dsPIC30F4013 a do PC. Jako zásadní byl výběr jednotlivých modulů.

RF moduly

RF modul Nordic nRF9E5 měl ze všech modulů nejmenší dosah a při létání úlohy „rychlosť“ docházelo často k výpadkům přenosu. Všechny výpadky byly zaznamenány na opačné bázi, než stojí pilot. Modul RC1240 měl vynikající dosah, který byl zhruba stejný s modulem RFM12BP. Při úloze „rychlosť“ docházelo k výpadkům spojení velmi zřídka a v úloze „termika“ nedocházelo prakticky k žádným výpadkům. Ukázalo se, ale velmi problematické v celouhlíkovém modelu umístit anténu, tak aby měla ve všech polohách letu dostatečný dosah.

GPS moduly

Překvapivě se jako horší modul ukázal iTTrax03-s, ačkoliv měl jako jediný možnost programování mnoha parametrů. Jediný pozorovatelný rozdíl byl v programování filtrů, ostatní parametry neměli vliv na výsledek naměřených dat. Při testování iTTrax03-s v automobilu za použití externí patch antény na střeše byla měřená poloha velmi přesná. Problém tohoto modulu tedy nastává při dynamickém chování modelu letadla. Modul velmi špatně zaznamenával rychlé změny polohy, správné výsledky modul měřil do rychlosti cca 100 km/h. Anténa typu patch lépe měřila při vodorovném letu než při kolmém stoupavém letu. Je to dánou umístěním na celouhlíkovém křídle, které se chová jako zemnící plocha a zvětšuje tedy zisk patch antény ve vodorovném letu. V kolmém stoupavém letu křídlo naopak stíní příjem satelitů. Helix anténa fungovala lépe na letadle vyrobeného ze skelné tkaniny, kde byla umístěna vzhůru pod 45ti stupni s osou trupu a měřila spolehlivě i při stoupavém letu. Při použití helix antény, celouhlíkové křídlo pouze stíní satelity a signál nijak nezesiluje. V celouhlíkovém modelu funguje lépe patch anténa.

GPS modul EB85A dává spolehlivější výsledky až do rychlosti cca 150 km/h. Lépe sledoval výšku, ve které model letí a lépe reaguje na rychlé změny polohy. Pro měření v modelu letadla je vhodnější právě tento typ GPS modulu. Tento modul je také celkově příznivější než modul založený na iTTrax03-s.

Nahrazení stávajícího zaměřování průletu modelu bázemi bohužel není s GPS modulem možné. Výstup z GPS modulů není tak přesný, aby signál o přeletu báze byl vyslán vždy ve stejné pozici. Bohužel se nejedná o absolutní přesnost modulu, protože ta jde pro tuto

aplikaci zvýšit použitím dalšího GPS modulu, který by byl referenční, ale jde o odezvu na rychlé dynamické změny. Zařízení nalezne uplatnění v maketách větroňů, které létají trojúhelníkové tratě o straně dlouhé 500 m nebo v optimalizaci seřízení modelu letadla.

Software

Celý software pro jednočipový MCU byl psán v jazyce C, který umožňoval realizovat všechny výpočty přímo ve vysílací a přijímací jednotce. Tím odpadá nutnost použít PC u pozemní stanice a uživateli stačí mít pouze pozemní stanici, což je na letišti výhodné. Pokud má uživatel možnost použití PC přímo na letišti, může si zobrazit data přímo v aplikaci Data Receiver, která byla napsána v jazyce Java. Při uložení souboru je možné z naměřených dat vykreslit grafy letu v pomocí skriptu Matlabu. Jelikož jsou měřeny všechny důležité veličiny, pilot může snadno analyzovat celý let.

Ukázalo se, že měření veličin jako je barometrická výška a zrychlení musí být prováděno větší vzorkovací frekvencí, než je 5 Hz. K tomu bude nutné zvýšit rychlosť přenosu RF dat, protože MCU stráví nejvíce času čekáním, než se přenesou všechna data pomocí RF modulu. Optimální vzorkovací frekvence pro tato data by byla 10 – 20 Hz. Oproti tomu měření teploty může být vzorkováno nižší rychlostí, například periodou 3 s, protože pouzdro TO92 má velikou tepelnou setrvačnost, u které rychlejší vzorkování nemá větší význam.

8.1 Budoucí vývoj

Na trhu je nyní mnoho bezdrátových modulů pro přenos dat. Poslední novinka, která mě zaujala je modul RC1140 od firmy Radiocraft. Oproti modulu RC1240, který byl testován, má RC1140 menší selektivitu a to -110 dBm, ale to by bylo pro tento druh aplikace dostatečné. Modul RC1240 má zásadní nevýhodu kvůli které byl nahrazen modulem RFM12BP a to je vysoká cena. RC1240 stojí kolem 2000 Kč za jeden kus zatímco RC1140 je více než 3x levnější, což je srovnatelné s ostatními výrobci. Ale moduly od firmy Radiocraft jsou stíněné a dosahují při daných parametrech nejmenších rozměrů a také nejmenší spotřeby.

Jako další nutnost se ukazuje měření proudu do motoru. To je nutné pro výpočet aktuálního příkonu a energie spotřebované z pohonného akumulátoru, který se využívá pro omezení doby chodu motoru. Pro měření proudu, který může špičkově dosahovat hodnot 350 A, již není možné použít integrovaný hallův snímač od firmy Allegro, protože ten umožňuje měření proudu do maximálních hodnot 200 A. Pro měření bude nutné použít externí modul, kde bude proud nepřímo měřen pomocí napětí na dvou paralelně řazených bočnících o hodnotě 0,2 mΩ od firmy Vishay Intertechnology.

Jelikož je pozemní stanice připravena pro použití tlačítek, bude doděláno Menu a v něm možná nastavení zobrazení dat na GLCD

9 Použitá literatura a zdroje

- [1] FAI Aeromodelling. [Online]
http://www.fai.org/aeromodelling/meetings_archives/past_meetings.asp.
- [2] Hope Microelectronics. [Online] 2008. [Citace: 5. Červen 2008.]
http://www.hoperf.com/rf_fsk.asp.
- [3] Microchip Technology. [Online] <http://www.microchip.com>.
- [4] Radiocrafts. [Online] <http://www.radiocrafts.com>.
- [5] ETEK. [Online] <http://www.etek.com.tw/>.
- [6] Fastrax. [Online] <http://fastrax.fi>.
- [7] u-blox. [Online] <http://www.u-blox.com>.
- [8] **Hrdina, Z., Pánek, P. a Vejražka, F.** *Radiové určování polohy*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01386-3.
- [9] FTDI Chip . [Online] <http://www.ftdichip.com>.
- [10] Nordic Semiconductor. [Online] 2008. <http://www.nordicsemi.com/>.
- [11] Mikroelektronika. [Online] <http://www.mikroe.com>.
- [12] CRC code. [Online] http://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/group__util__crc.html.
- [13] Samtec. [Online] <http://www.samtec.com>.
- [14] Agilent. [Online] <http://www.home.agilent.com>.
- [15] NMEA. [Online] <http://www.nmea.org/>.
- [16] National Semuconductor. [Online] <http://www.national.com/mpf/LP/LP2985.html>.
- [17] Sarantel. [Online] <http://www.sarantel.com>.
- [18] 2J antenna. [Online] <http://www.2j-antennae.com>.
- [19] Freescale Semiconductor. [Online] <http://www.freescale.com/>.
- [20] Maxim. [Online] www.maxim-ic.com.
- [21] *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification*. Washington, DC : U.S. Department of Defense, 1995.

[22] **Wadell, Brian C.** *Transmission Line Design Handbook*. 1991.

Dodatek A Návrh modelu Backfire

Aerodynamický návrh modelu

Návrh modelu Backfire byl prováděn tak aby model odpovídal kategorii F5F. Jediná podmínka při 3D návrhu aby model odpovídal kategorii F5F je minimální obsah plochy křídel a VOP v průmětu 36 dm^2 . Nejprve bylo nutné nakreslit půdorys modelu a upravovat křivky tak, aby všechny křivky na sebe křivostně navazovaly a obsah plochy byl nejméně 36 dm^2 . Byla volena větší štíhlost křídla λ , než bývá zvykem, což vede k menšímu indukovanému odporu křídla a tím lepším letovým výkonům.

$$\lambda = \frac{l}{b_{SAT}} = \frac{24,45}{1,35} \cong 18 \quad (6.1)$$

Kde rozpětí křídla $l = 2445 \text{ mm}$. Střední aerodynamická tětiva b_{SAT} vypovídá, jak by se chovalo obdélníkové křídlo se stejným rozpětím a stejnou plochou jako původní křídlo, které bude mít hloubku rovné právě střední aerodynamické tětivě křídla a je vypočtena z rovnice 6.2.

$$b_{SAT} = \frac{1}{S} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} b^2 dz \quad (6.2)$$

Kde S je plocha křídla a b je hloubka křídla. V programu Catia nebyla bohužel nalezena možnost získání rovnice křivky náběžné a odtokové hrany, proto byla funkce hloubky křídla b v rovnici 6.2 nahrazena čtyřmi úsečkami. Pro tyto parametry křídla vyšla střední aerodynamická tětiva $b_{SAT} = 135 \text{ mm}$.

Nevýhoda křídla s velikou štíhlostí je obtížné dimenzování křídla. Namáhání křídla roste s druhou mocninou rozpětí a je nutné aby se křídlo v zatačkách na bázích co nejméně prohýbalo a torzně kroutilo, protože jinak model ztrácí rychlosť. Model byl optimalizován pro úlohu „rychlost“ a velikost VOP v průmětu byla zvolena pouze 8,4% z plochy křídla. Samotná plocha křídla tedy byla $S = 33,4 \text{ dm}^2$ a plocha VOP v průmětu $S_{VOP} = 2,8 \text{ dm}^2$. Při hmotnosti modelu $m = 1800 \text{ g}$ je plošné zatížení křídla $Q = 54,5 \text{ g/dm}^2$.

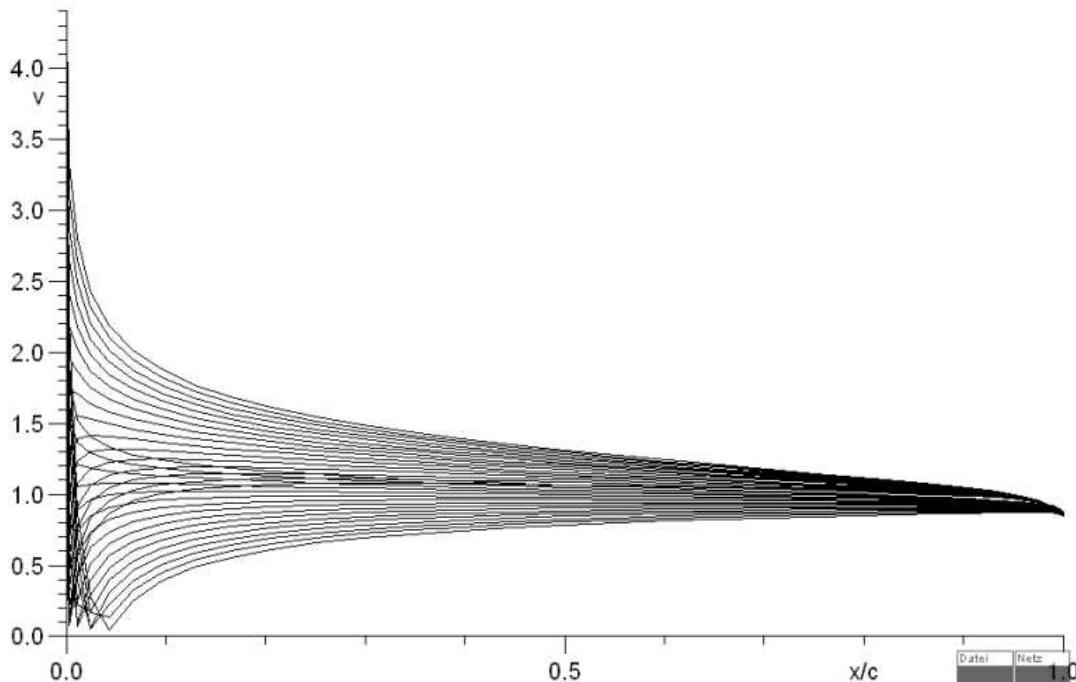
Pro hloubku b_{SAT} je nutné zvolit vhodný profil křídla. Byl vybrán profil od německého specialisty pro tvorbu profilů kategorie F5B a F3B Dirka Pfluga. Profil byl volen tak, aby profil vykazoval minimální odpor při rychlosti $v = 44 \text{ m/s}$ což je průměrná rychlosť modelu F5F při úloze rychlosť.

Reynoldsovo číslo tedy je:

$$Re = \frac{vb}{v} = 69000 \cdot 0,135 \cdot 44 \cong 410 \cdot 10^3 \quad (6.3)$$

Optimální pro tyto parametry je kořenový profil DP 1.64/7.81 a koncový profil DP 1.68/7.78. Číslo před lomítkem znamená prohnutí profilu v procentech a číslo za lomítkem je maximální tloušťka v procentech. Do vzdálenosti 1100 mm od kořene je použit profil DP 1.64/7.81, který ze vzdálenosti 1100 mm do vzdálenosti 1222,5 mm plynule přechází v profil DP 1.68/7.78, což snižuje indukovaný odpor křídla a zajišťuje aerodynamické zkroucení křídla, protože křídlo není geometricky zkrouceno.

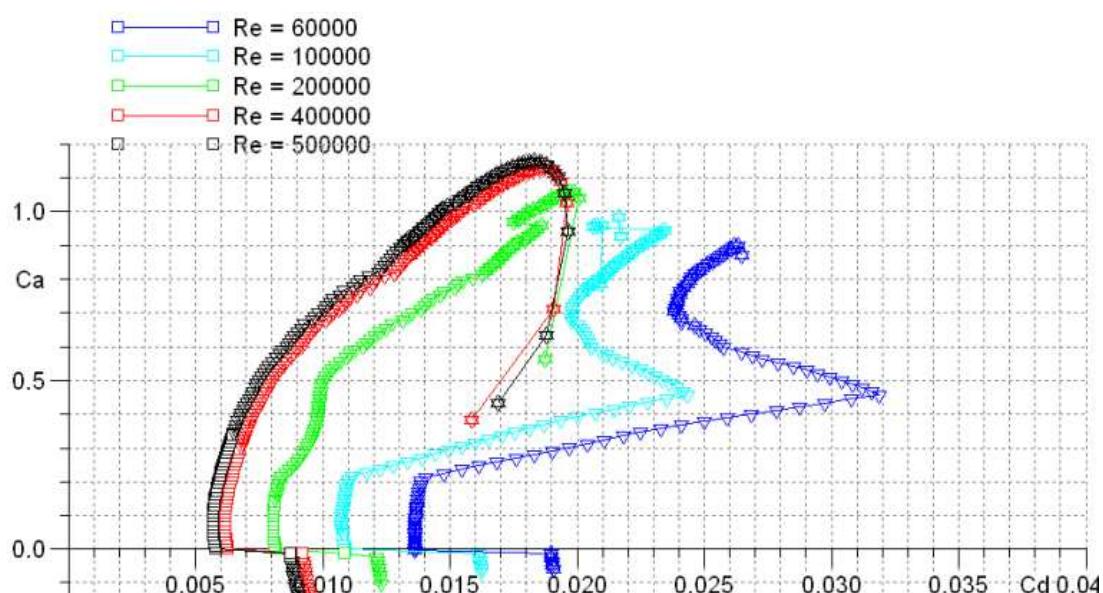
Na Obr. 9.1 je zobrazeno rychlostní pole profilu DP 1.64/7.81 pro úhly náběhu od -3 do 12° s krokem 0,5°. Maximální hodnota vztlaku $Ca = 1.16$ je pro Reynoldsovo číslo $Re = 400000$, což odpovídá rychlosti modelu pro úlohu „rychlost“ kategorie F5F vypočtené z rovnice 6.3. Tato hodnota odpovídá úhlu náběhu 9,5°. Při klesajícím Reynoldsově čísle a klesá i součinitel vztlaku.



Obr. 9.1: Rychlostní pole profilu při úhlech náběhu od -3 do 12°

Na Obr. 9.2 jsou vykresleny poláry profilu pro Reynoldsovo číslo $60 \cdot 10^3$ - $500 \cdot 10^3$. Je zde velmi dobře vidět, že součinitel vztlaku je nejvyšší právě pro Reynoldsovo číslo pohybující se

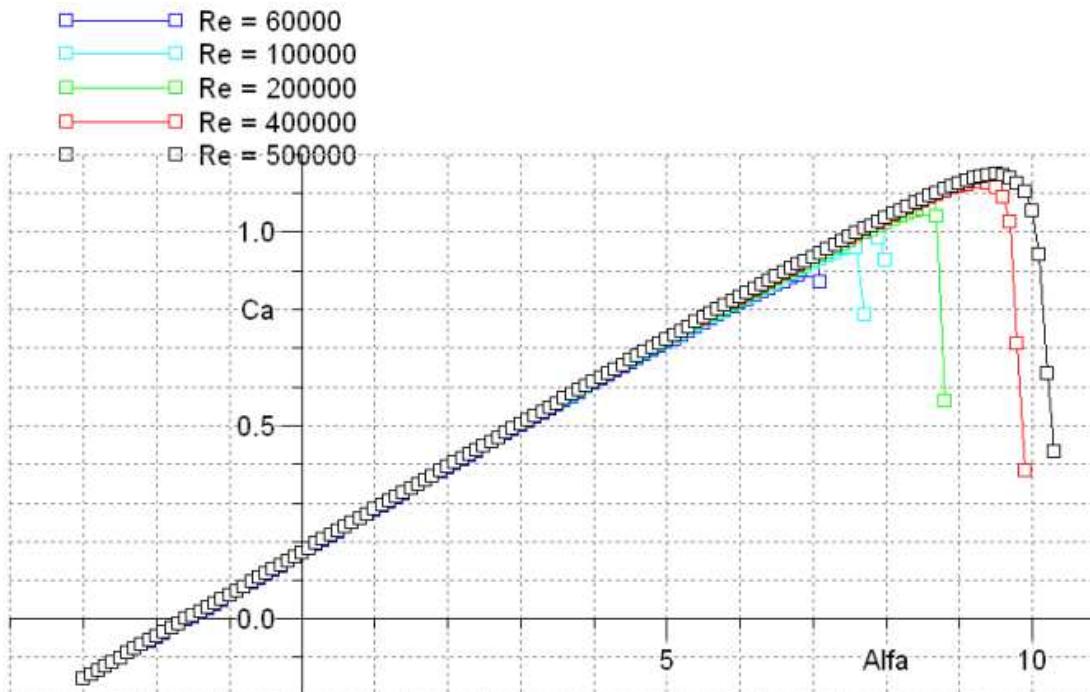
kolem hodnoty 400000. Je také patrné, že při těchto Reynoldsových číslech dosahuje profil nejmenšího odporu, což je velmi důležité pro úlohu „rychlost“, kde je nutné, aby měl model co nejmenší odpor a zároveň v zatáčce na bázi mohl model letět na velikém úhlu náběhu při dostatečném vztlaku. Je nutné poznamenat, že tato modelová situace platí pouze pro model, který by měl obdélníkové křídlo, skutečně bude u kořene křídla větší Re číslo a na konci křídla menší Re. Obě modré křivky odpovídají rychlosti letu při úloze „termika“. Je zde velmi dobře vidět, jak roste součinitel odporu při hodnotách vztlaku $Ca = 0.45$. Jde o oblast, kdy dochází k odtrhávání bublin vlivem malého Re čísla a přechodem laminárního proudění v turbulentní. Kvůli nízké hodnotě součinitele vztlaku je nutné použít pro úlohu termiky zakřivení odtokové části profilu o hloubce 30% od náběžné hrany směrem dolů o úhel 5°



Obr. 9.2: Poláry profilu pro různá Reynoldsova čísla

Profil je tedy vyvinut tak, aby měl minimální odpor při rychlém letu a součiniteli vztlaku $Ca=0.05$. Zvolený úhel seřízení je 0°. Pokud by byl tento úhel dále snižován, rostl by odpor křídla a tím by klesal i počet nalétaných průletů při úloze rychlost. Ze stejného důvodu je nutné minimalizovat výchylky klapek a křidélek, protože jinak dochází opět k nárustu odporu.

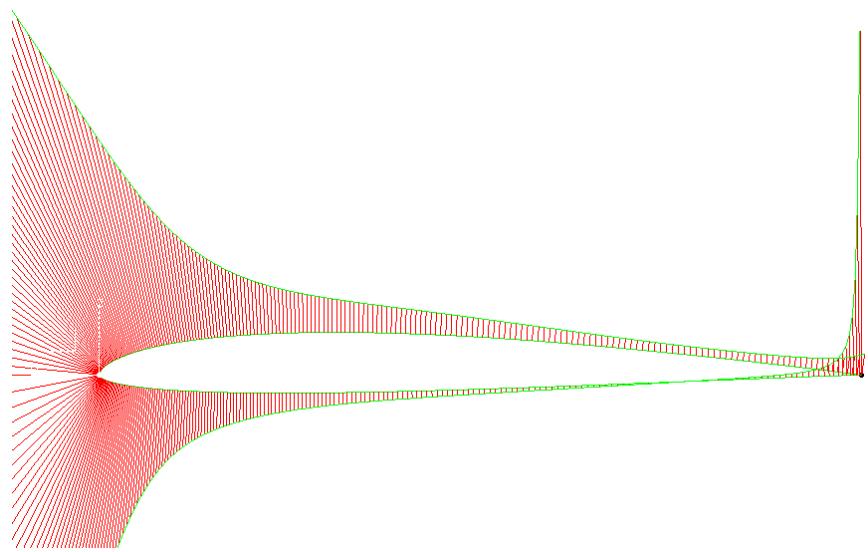
Na Obr. 9.3 je znázorněná vztlaková čára profilu DP 1.64/7.81



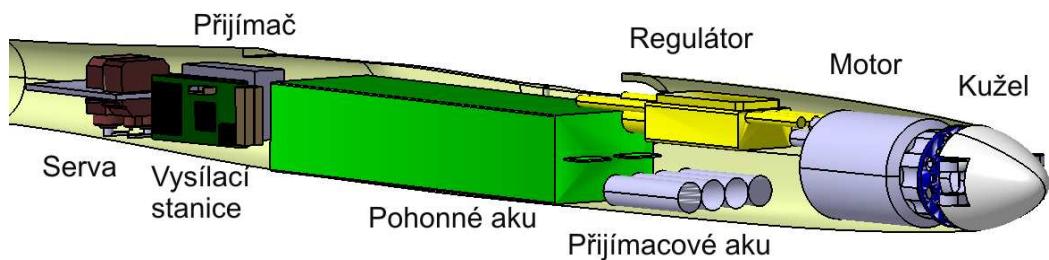
Obr. 9.3: Vztlakové čáry pro různé Reynoldsovy čísla

Konstrukční návrh modelu

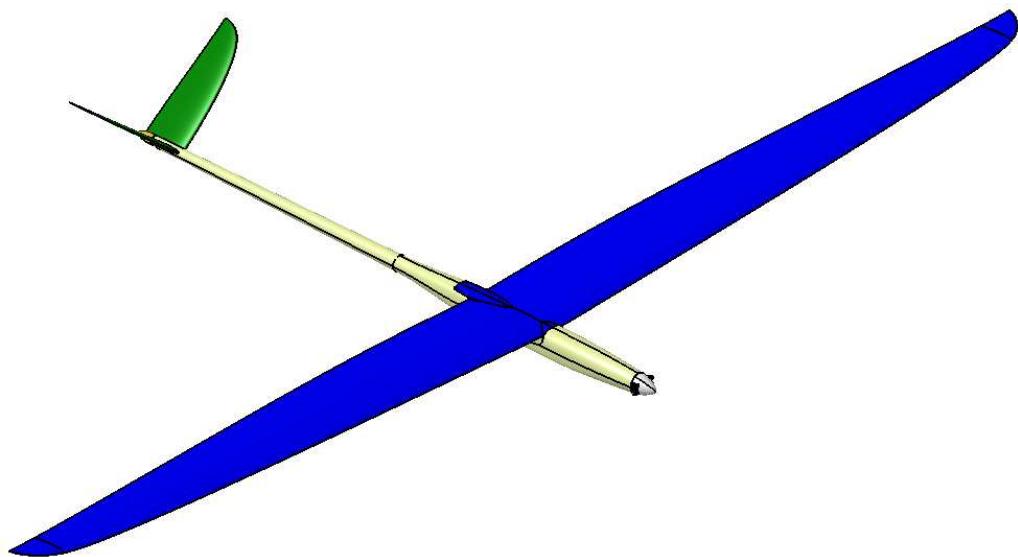
Model byl konturován v programu Catia, který umožnuje 3D vizualizaci a simulaci konstruovaných dílů. Profily, které jsou použity na křídle, byly nejprve vyhlazeny, aby bylo dodrženo co nejlepší křivostní napojení. Nerovnosti profilu v rádu setin milimetru vedou ke zvýšení odporu a tím i snížení rychlosti. Pro vyhlazení byl využit modul Freestyle Obr. 9.4. Samotný model letadla byl tvořený v Generative Shape Designu, ve kterém se modelují plochy Obr. 9.6. Zbytek modelu, jako motor, přijímač, model vysílací stanice a samotné negativní formy byly dělány v Part Designu, ve kterém se modelují objemová tělesa. Výhoda tvorby modelu pomocí 3D softwaru spočívá v kontrole všech použitých dílů a jejich osazení do modelu. Například u trupu je žádoucí, aby měl do nejmenší možné čelní odpór, ale je také nutné, aby se do něj mohly umístit všechny komponenty Obr. 9.5. Modul Freestyle byl použit i pro kontrolu křivosti ploch a to hlavně na trupu, kde se nachází mnoho křivostních přechodů.



Obr. 9.4: Křivostní analýza profilu



Obr. 9.5: Kontrola osazení modelu



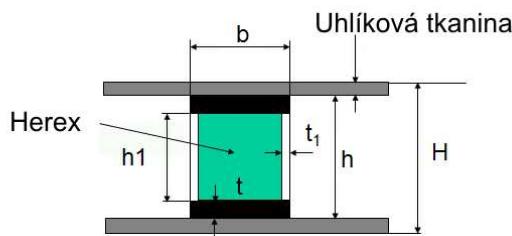
Obr. 9.6: 3D pohled na celý model

Výpočet a simulace nosníku

Nosník je tvořen uhlíkovými rovingy a stojina je sendvičové konstrukce z uhlíku a herexu. Herex je pouze pěna, která slouží k oddálení uhlíkové stojiny. Pevnost herexu je velmi nízká a proto není ve výpočtu ani v simulaci použit.

Materiál	Uhlík
Pevnost v tahu	800 N.m ²
Pevnost v ohybu	1000 N.m ²
Poissonova konstanta	0.38
Hustota	1800 kg.m ³
Prodloužení	1,1 %

Tabulka 10: Materiálové konstanty uhlíku



Obr. 9.7: Nosník křídla

Pro přetížení $n = 30g$ a hmotnost modelu $m = 1.8kg$ bude ohybový moment v nejkritičtějším místě:

$$M_0 = m \cdot n \cdot \frac{l}{2} = 1,8 \cdot 30 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,445}{2} = 578 \text{ Nm} \quad (6.4)$$

Kvadratický moment nosníku je:

$$J = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{12} = \frac{0,028(0,0131^3 - 0,0107^3)}{12} = 2,38 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \quad (6.5)$$

Ohybový moment je:

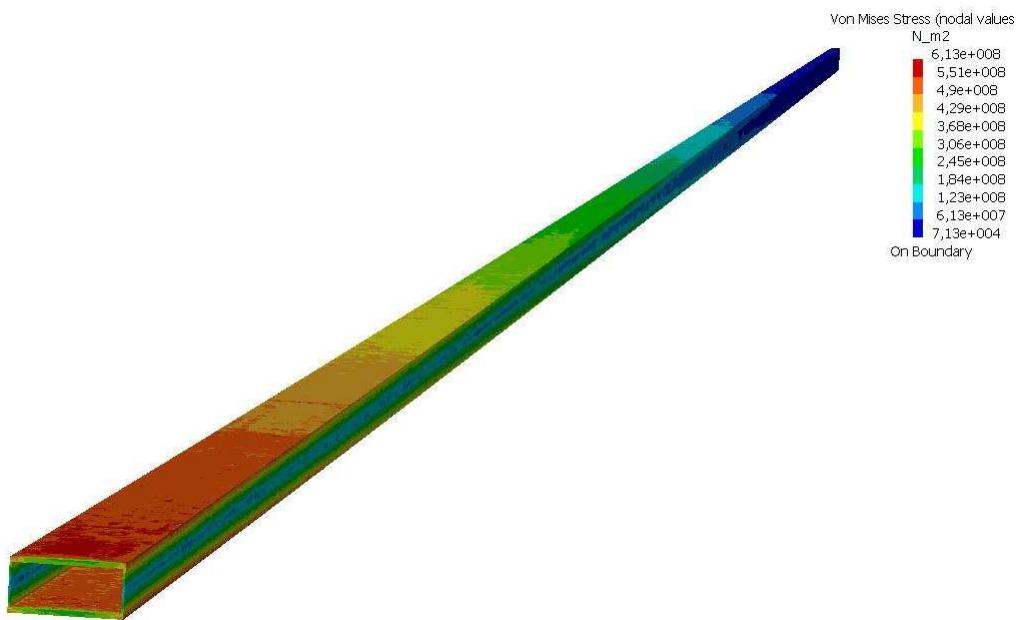
$$W_0 = \frac{2J}{h} = \frac{2 \cdot 2,38 \cdot 10^{-9}}{0,0131} = 3,64 \cdot 10^{-7} \quad (6.6)$$

A maximální napětí v nosníku:

$$\sigma_M = \frac{M_0}{2 \cdot W_0} = \frac{578}{2 \cdot 3,64 \cdot 10^{-7}} = 793 \text{ MPa} \quad (6.7)$$

Pevnost uhlíku 800 MPa a vypočtená pevnost nosníku je 793 MPa. Model tedy snese přetížení 30 g.

Na Obr. 9.8 je simulování mechanického napětí nosníku při zatížení silou 290 N v modulu Generative Structure Analysis. Červeně je vyznačené největší namáhání, které nepřesahuje pevnost uhlíku.



Obr. 9.8: Simulace mechanického napětí nosníku

Dodatek B Pravidla kategorie F5B,F5F

Definice modelu

Model kategorie F5B a F5F je model letadla, u něhož vztlak vniká působením aerodynamické síly na plochy, které musejí být za letu nepohyblivé (kromě ovládacích ploch). Pohon obstarává elektromotor s vrtulí. Nejčastěji je používána sklopná vrtule, která se roztáhne odstředivou silou při svém otáčení. Při kluzu se sklopí k trupu a minimalizuje odpor modelu.

Model **F5F** musí splňovat následující pravidla:

Minimální hmotnost modelu	1300 g
Nosná plocha nejméně	36 dm ²
Maximální plošné zatížení	75 g/dm ²
Pohonná baterie	3 - 4s Li-Pol, paralelní zapojení článků není povoleno
Minimální hmotnost baterie	300 g
Elektronicky omezený výkon na	1300 Watt-minut

Model **F5B** musí splňovat následující pravidla:

Minimální letová hmotnost	1450 g
Nosná plocha nejméně	26,66 dm ²
Maximální plošné zatížení	75 g/dm ²
Pohonná baterie	4 - 6s Li-Pol, paralelní zapojení článků není povoleno
Hmotnost baterie	450 – 600 g
Elektronicky omezený výkon na	1750 Watt-minut

Letová úloha

Samotný let začíná po odhodu modelu pomocníkem a skládá se ze tří úloh. Model se vždy hází směrem dovnitř bází.

Vzdálenost²⁷

²⁷ V kategorii F5B a F5F je tato úloha nazývá též rychlosť

Je to první část letu, kde má pilot za úkol naléhat co nejvíce průletů (tím i největší vzdálenost) mezi bází A a bází B. Na tuto úlohu je pracovní čas 200 s (3 minuty a 20 sekund) a je povoleno zapnout motor maximálně 10krát. Pilot nesmí mít zapnutý motor, pokud se nachází uvnitř bází, jinak se dokončený průlet nepočítá. Model nesmí překročit bezpečnostní linii Obr. 1.1, pokud pilot přeletí tuto linii, uděluje se 0 bodů za celý let. Za každý regulérní průlet pilot obdrží 10 bodů.

Termika

Termika následuje okamžitě po skončení pracovního času pro „vzdálenost“ (model tedy nepřistává, ale pokračuje dál v letu) a pracovní čas pro „termiku“ je 10 minut. Úkolem je naletět přesně 10 minut na co nejkratší spuštění motoru. V praxi se ukončí úloha „vzdálenost“ o cca 2-3 s dříve, než je konec jejího pracovního času a model nastoupe do výšky. Přesně se začátkem úlohy „termika“ se motor vypne. Pokud jsou stoupavé proudy, model naklouže 10 minut. Jinak se musí zapnout motor k dalšímu nastoupání a čas motoru je odečítán od naklouzaného času. Za každou sekundu letu pilot obdrží 1 bod, za každou sekundu zapnutého motoru se 1 bod odečítá a za přelétání času 10 minut se za každou přelétanou sekundu odečítá 1 bod.

Přistání

Jde o zakončení úlohy „termika“, kdy čas kluzu končí zastavením modelu na zemi. Úkolem pilota je přistát přesně v 10té minutě na přistávací bod. Přistání je pak ohodnoceno podle vzdálenosti modelu od přistávacího bodu. Pokud pilot přistane do vzdálenosti 5 m, obdrží 30 bodů, pokud přistane ve vzdálenosti 5-10 m, obdrží 20 bodů a ve vzdálenosti 10-15 m od bodu obdrží 10 bodů. Jinak obdrží 0 bodů. Vzdálenost je měřena od přistávacího bodu ke špici modelu.

Vývoj kategorie F5B/F5F

Podle definice modelů je zřejmé, že modely F5B jsou výkonnější, menší a tudíž i rychlejší. Když tyto kategorie začínaly, létalo se pouze se stejnosměrnými motory, které pohánělo 27 NiCd článků o kapacitě 1100 mAh. Model byl těžší než dnes, ale výkon motoru byl pouze do 2 kW. Postupem se začaly vyrábět výkonnější baterie, které byly schopné dodávat mnohem větší výkon než legendární „jedenáctistovky“. Byl tedy redukován počet článků na 20. S nástupem NiMh baterií dosahovaly modely hmotností až 2250 g, protože baterie NiMh, které se používaly pro pohon, dosahovaly kapacit až 4200 mAh a byly schopné dodávat do motoru proud až 330 A. Při maximálně povolených 16ti článcích byly dosahované výkony motorů kolem 4 kW. Omezení výkonu nebylo žádné a tak byly baterie speciálně upravovány, aby mohly dodat co nejvyšší výkon. To však mělo za následek, že baterie často explodovaly a

jejich životnost byla velmi nízká. Poslední změna pravidel přišla v roce 2008, kdy bylo povoleno použití Li-Pol baterií. Bylo nutné nějakým způsobem redukovat výkon motorů, protože baterie Li-Pol by při stejné hmotnosti jako 16ti článek NiMh umožňovala dosáhnout lehce výkonu přes 8 kW. Byl tedy zaveden tzv. limiter, tedy zařízení, které měří napětí a proud jdoucí z baterie. Na základě těchto údajů je vypočítán výkon. Ten je integrován po celou dobu letu a po překročení hranice 1750 Watt-minut je motor automaticky vypnuty. Je tedy možné používat motor jednu minutu příkonem 1750 W nebo např. 30 s výkonem 3500 W atd. Motor se během letu používá na cca 25 – 35 s. Stoupání dnešních F5B modelů se pohybuje pod 80 m/s a F5F modely stoupají pod 60 m/s. Zavedením limitera je zajištěno, že baterie mají delší životnost a již nezáleží na maximálním výkonu, jako tomu bylo dříve.

Dodatek C Instalace ovladačů pro FT232 a COM Api

Pro používání pozemní a vysílací stanice, která má být připojena k PC pomocí USB/UART převodníku je nutné mít nainstalované ovladače pro operační systém, který uživatel používá na svém PC. Ovladače je možné zdarma stáhnout z internetové stránky: <http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm>. Postup instalace pro OS Windows je následující:

- Stáhnout ovladač 2.02.14
- Rozbalit ZIP soubor do adresáře C:\CDM 2.04.14
- Připojit USB/UART převodník
- Po otevření okna s nalezením nového zařízení vybrat umístění ovladačů ručně
- Dále vybrat umístění ovladače z adresáře C:\CDM 2.04.14
- Vyčkat na dokončení instalace

Po úspěšné instalaci se objeví nově nalezený COM port, připravený pro komunikaci.

Pokud bude chtít uživatel zobrazovat data pomocí aplikace Data Receiver, je nutné mít nainstalované knihovny Java JDK 1.5 a vyšší. Ty je možné stáhnout zde: http://java.sun.com/javase/downloads/index_jdk5.jsp. Po nainstalování knihoven JDK do adresáře c:\jdk1.x²⁸, je nutné instalovat knihovnu Comm2.0. Z přiloženého CD je třeba rozbalit soubor commapi.zip do adresáře c:\commapi\. Následujícím postupem pomocí kopírování jednotlivých souborů ze zdrojového adresáře do cílového adresáře nainstalujeme knihovnu Comm2.0.

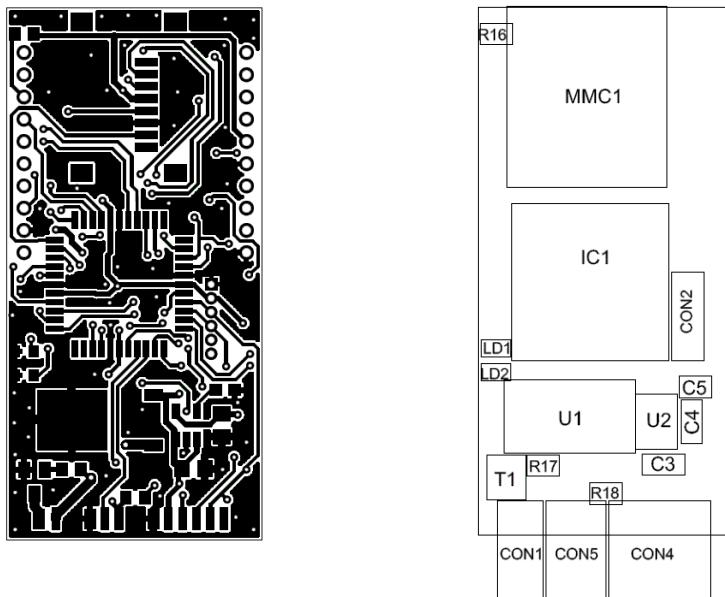
Zdrojový adresář	Cílový adresář
c:\commapi\win32com.dll	c:\jdk1.x\bin
c:\commapi\comm.jar	c:\jdk1.x\lib
c:\commapi\javax.comm.properties	c:\jdk1.x\lib
c:\commapi\comm.jar	c:\jdk1.x\jre\lib
c:\commapi\javax.comm.properties	c:\jdk1.x\jre\lib

Tabulka 11: Instalace knihovny Comm2.0

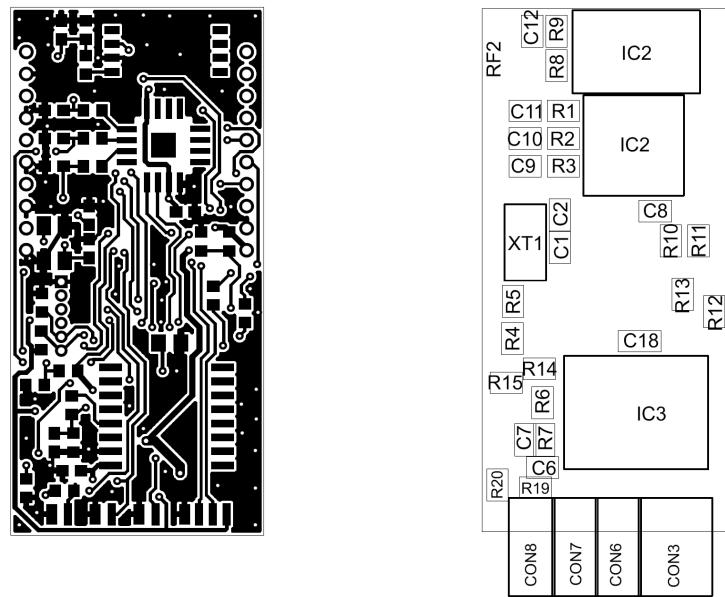
²⁸ x je číslo stažené verze knihoven

Dodatek D Schéma zapojení a výkresy DPS

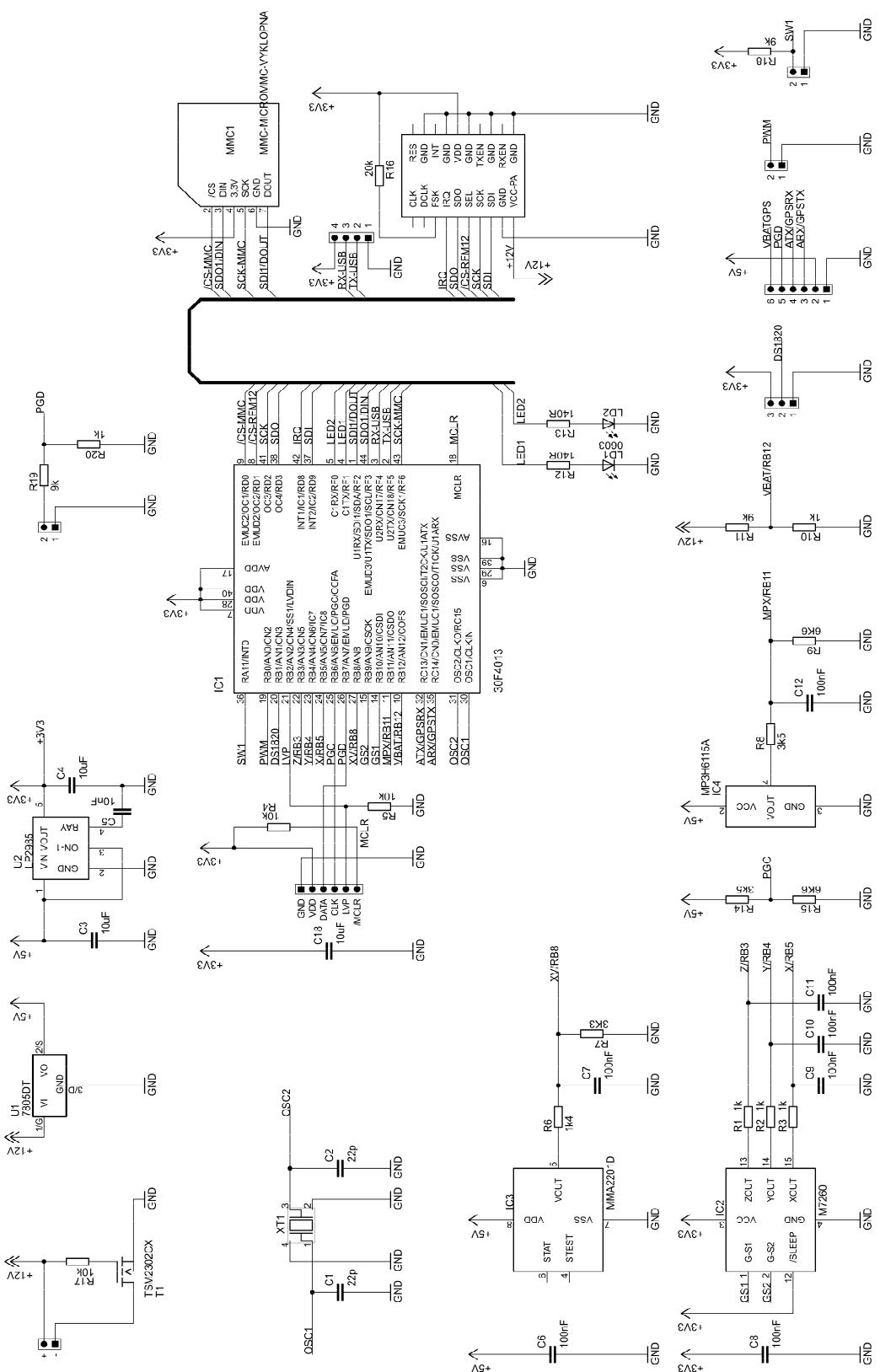
Vysílací stanice



Obr. 9.9: DPS vysílací stanice TOP a osazovací výkres



Obr. 9.10: DPS vysílací stanice BOTOM a osazovací výkres

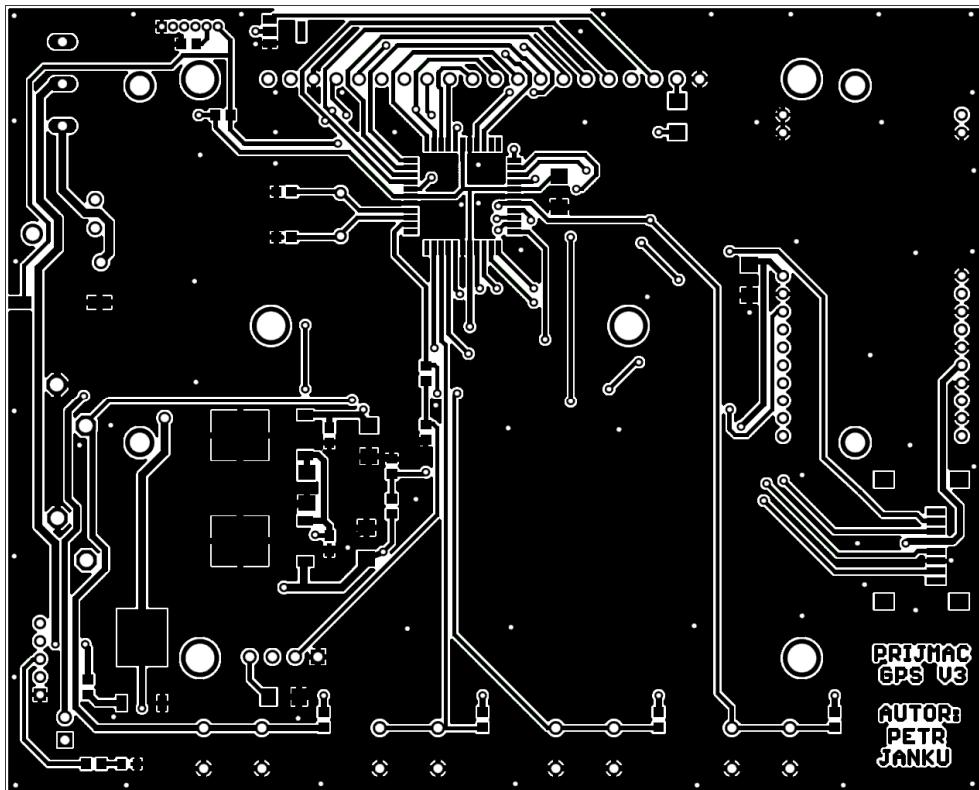


Obr. 9.11: Schéma vysílací stanice

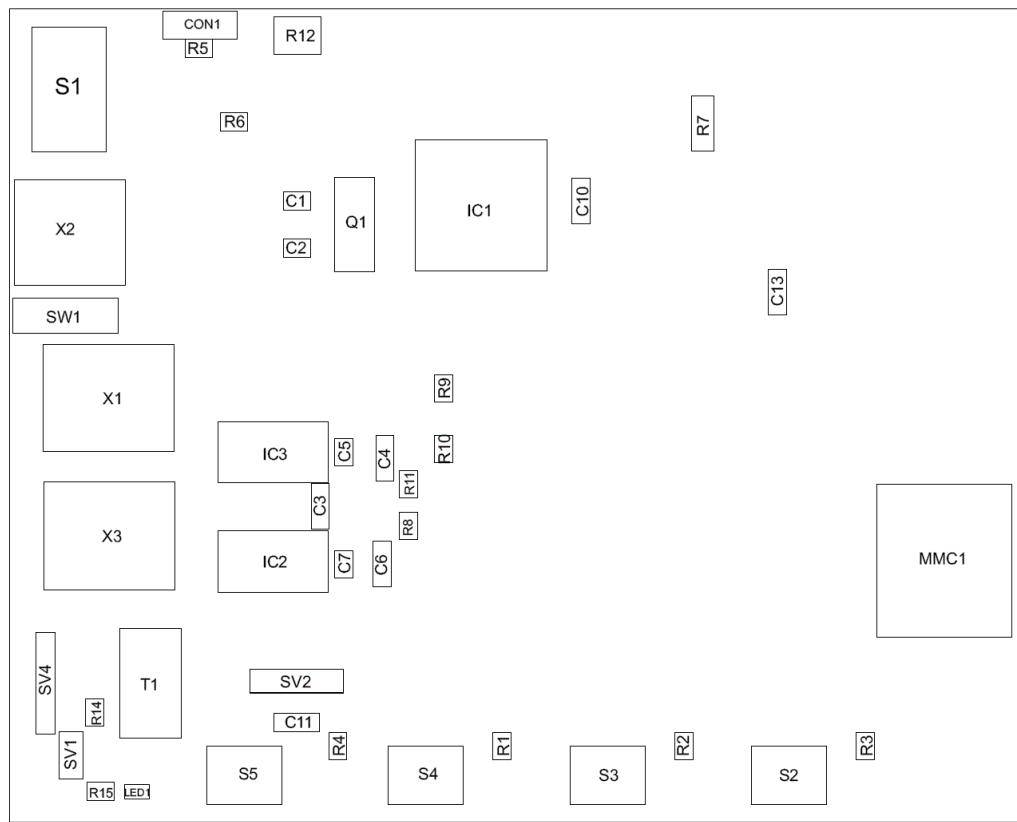
Reference	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	0603
C3, C4, C5, C18	10 µF	0805
C6 – C12	100 nF	0603
CON1, CON6, CON7, CON8		MICRO 2
CON2, CON4		MICRO 6
CON3		MICRO 4
CON5		MICRO 3
IC1	dsPIC30F4013	TQFN44
IC2	MMA7260QT	16QFN
IC3	MMA2201D	16SOIC
IC4	MP3H6115A	SSOP8
LD1, LD2	RED, GREEN	0603
MMC1		MMC-MICRO
R1, R2, R3, R10, R20	1 kΩ	0603
R4, R5, R17	10 kΩ	0603
R6	1,4 kΩ	0603
R7	3,3 kΩ	0603
R8, R14	3,5 kΩ	0603
R9	7,2 kΩ	
R15	6,6 kΩ	0603
R11, R18, R19	9 kΩ	0603
R12, R13	140 Ω	0603
R16	20 kΩ	0603
R17	10 kΩ	0603
RF1	RFM12BP	RFM12-DIP
T1	TSM2302CX	SOT23
U1	L4941BAUDT	TO252
U2	LP2985	SOT23
XT1	16 MHz	FA-23H

Tabulka 12: Seznam použitých součástek pro vysílací stanici

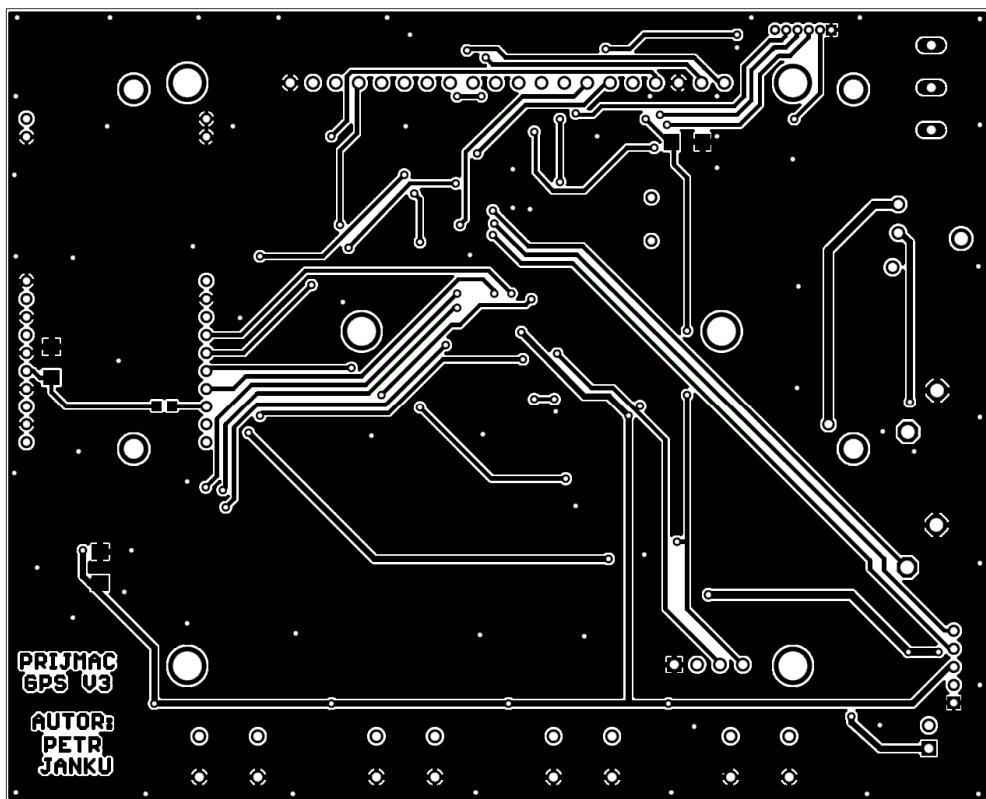
Přijímací stanice



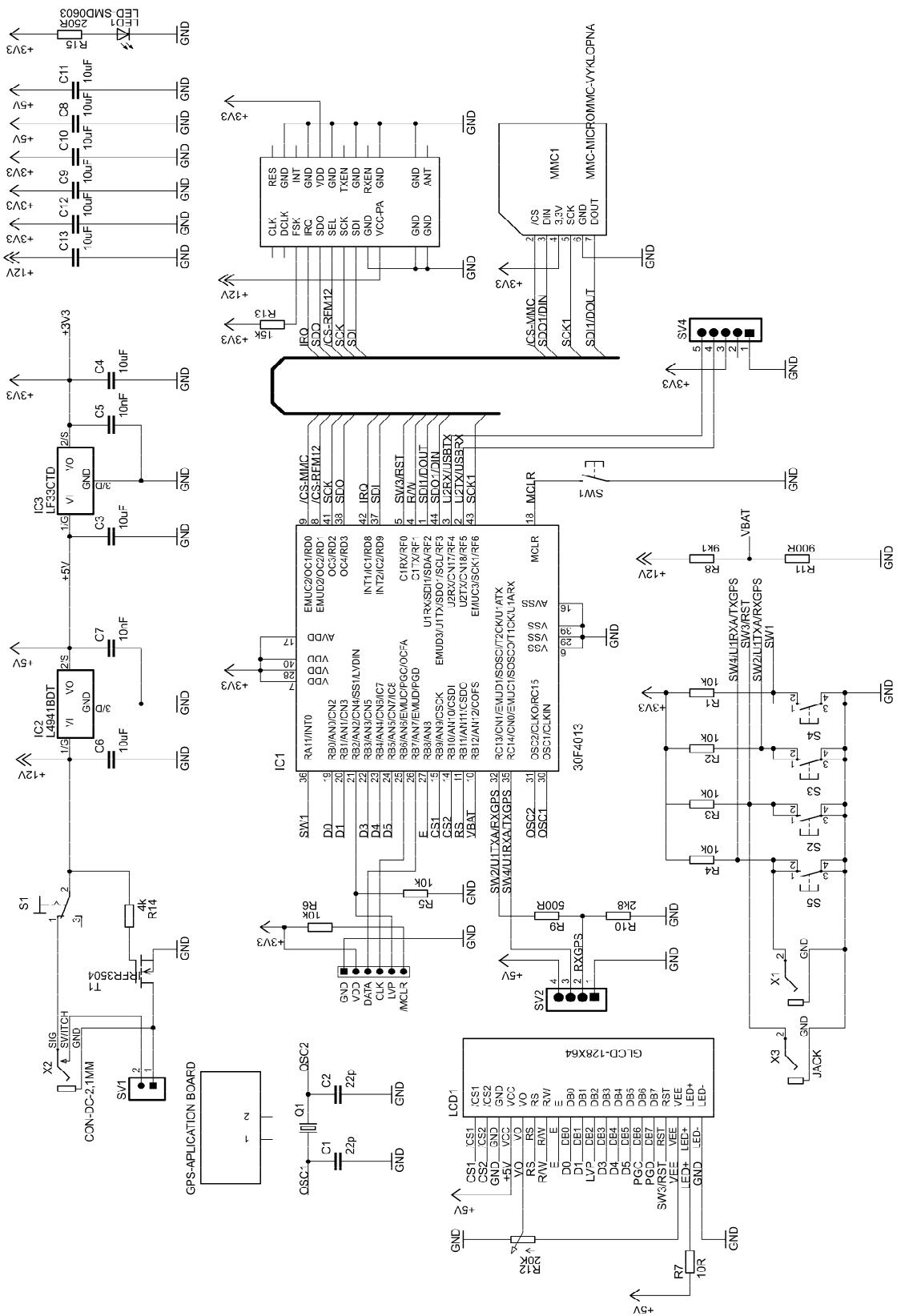
Obr. 9.12: DPS přijímací deska TOP



Obr. 9.13: Osazovací výkres vysílací stanice TOP



Obr. 9.14: DPS přijímací deska BOTTOM

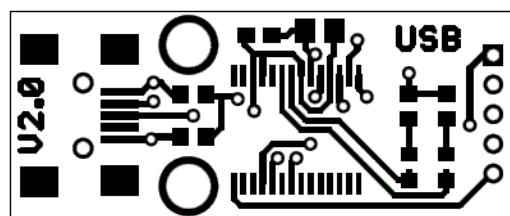


9.15: Schéma pozemní stanice

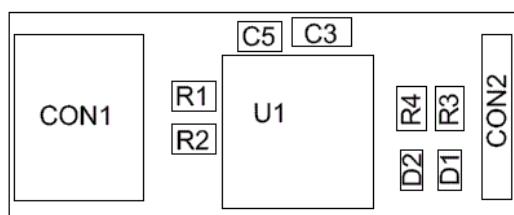
Reference	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	22 pF	0603
C3, C4, C6, C8, C9, C10, C11, C12, C13	10 µF	1206
C5, C7	10 nF	0603
CON1		MICRO 6
IC1	dsPIC30F4013	TQFP44
IC2	L4941BAUDT	TO252
IC3	LF33CTD	TO252
LCD1	LGM12864B	LCD12864
LED1	RED	0603
MMC1	1 GB	MMC MICRO
Q1	16 MHz	HC49/S
R1 – R6	10 kΩ	0603
R7	10R	1206
R8	9,1 kΩ	0603
R9	500 Ω	0603
R10	2,8 kΩ	0603
R11	900 Ω	0603
R12	20 kΩ	0603
R13	15 kΩ	0603
R14	4 kΩ	0603
R15	250 Ω	0603
RF1	RFM12BP	RFM12-DIP
S1	M9040P	
S2 – S5	B3F-1020	
SV1		MA02-2,54
SV2		MA04-2,54
SV3		MA05-2
SW1		S6x3
T1	IRFR3504	TO252
U1	APP Board	
X1, X3		SCJ-0351
X2		DC-2,1

Tabulka 13: Seznam použitých součástek pro přijímací stanici

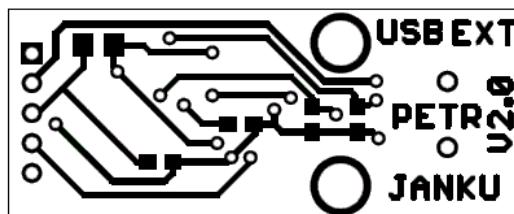
USB/UART převodník



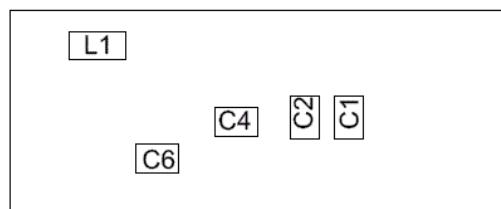
Obr. 9.16: DPS USB/UART převodníku TOP



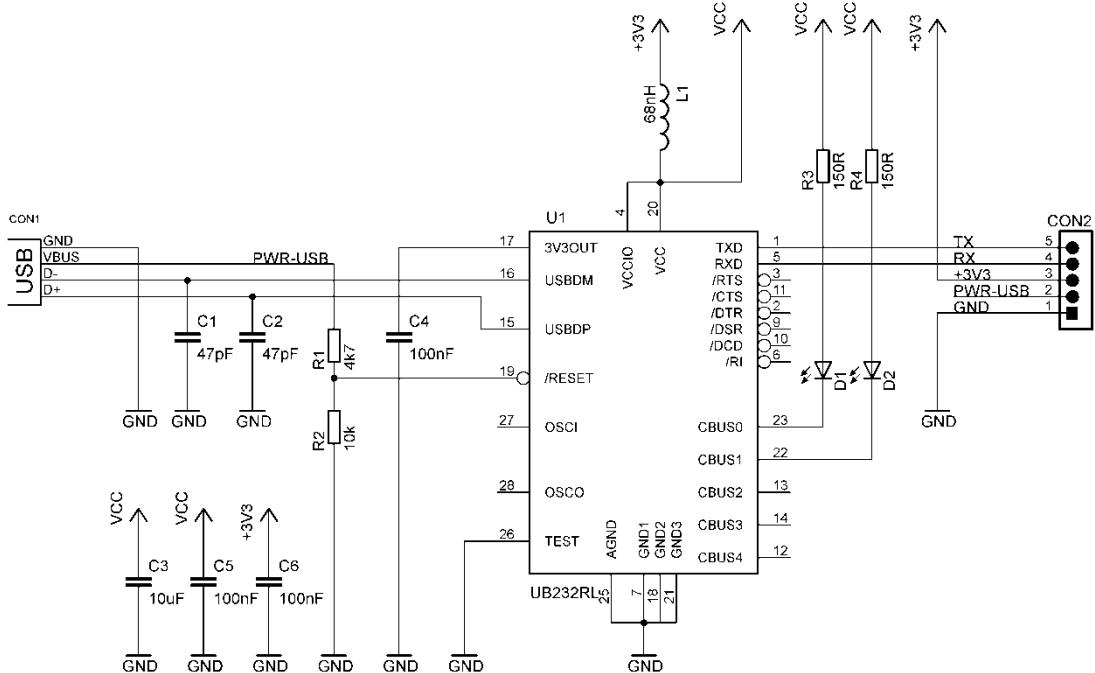
Obr. 9.17: Osazovací výkres USB/UART převodníku TOP



Obr. 9.18: DPS USB/UART převodníku BOTTOM



Obr. 9.19: Osazovací výkres USB/UART převodníku BOTTOM

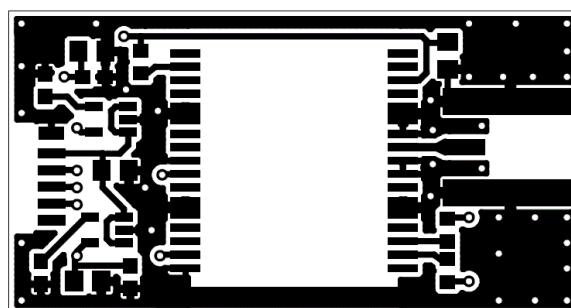


Obr. 9.20: Schéma USB/UART převodníku

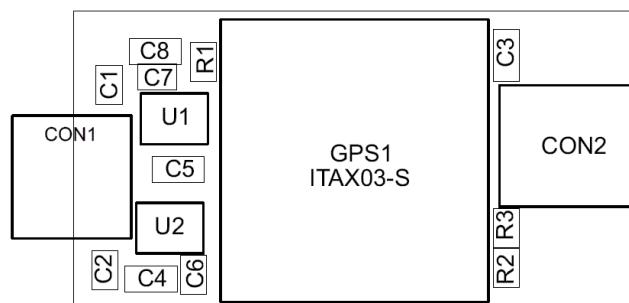
Reference	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	47 pF	0603
C3	10 μ F	0805
C4, C5, C6	100 nF	0603
CON1		USB-MINI
CON2		MA05-2mm
D1, D2	RED, GREEN	0603
L1	68 nH	0805
R1	4,7 k Ω	0603
R2	10 k Ω	0603
R3, R4	150 Ω	0603
U1	UB232RL	SSOP28

Tabulka 14: Seznam použitých součástek pro USB/UART převodník

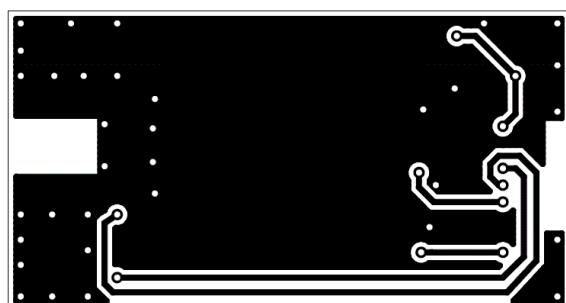
Modul iTrax



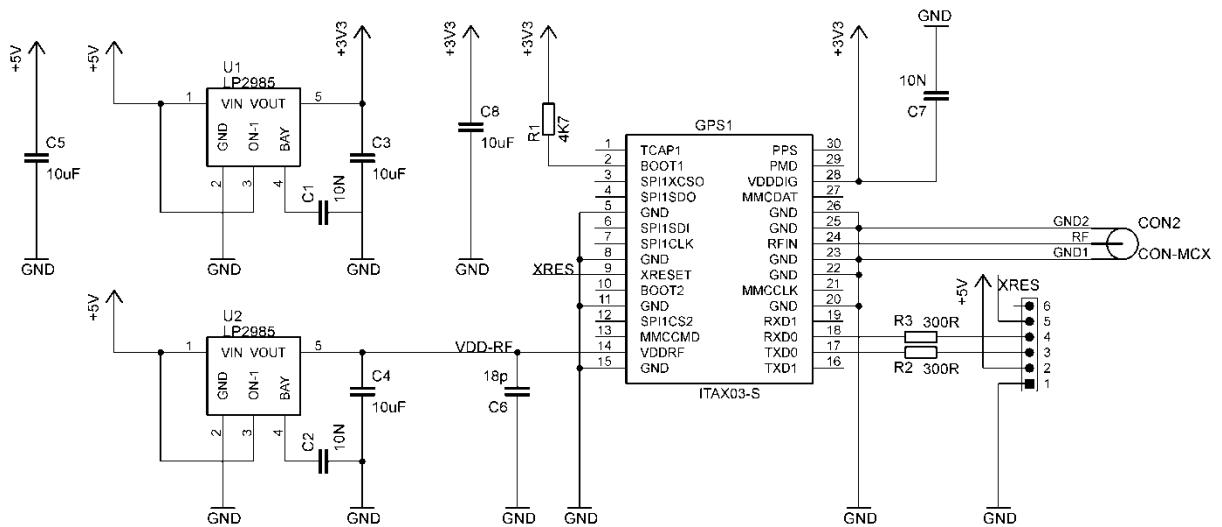
Obr. 9.21: DPS modulu iTrax TOP



Obr. 9.22: Osazovací výkres modulu iTrax TOP



Obr. 9.23: DPS modulu iTrax BOTTOM



Obr. 9.24: Schéma modulu iTrax

Reference	Hodnota	Pouzdro
C1, C2	10 nF	0603
C3, C4, C5, C8	10 μ F	0805
C6	18 pF	0603
C7	10 nF	0603
CON1		MICRO 6
CON2		MCX-DPS
GPS1	ITRAX03-S	
R1	4,7	0603
R2, R3	300	0603
U1, U2	LP2985	SOT23

Tabulka 15: Seznam použitých součástek pro modul iTrax

Dodatek E Seznam použitého HW a SW

Software

mikroC 4.0.0 Kompilátor pro procesory dsPIC 30/33 a PIC 24

<http://www.mikroe.com>

EAGLE 4.15r2 Software pro tvorbu DPS

<http://www.elcad.cz/eagle>

MATLAB 6.5 Matematický software

<http://www.mathworks.com>

Netbeans IDE 6.5 Software pro tvorbu aplikací v jazyce Java

<http://www.netbeans.org/community/releases/65>

Catia V5R16 Software pro tvorbu a simulace 3D modelů

<http://www.3ds.com>

Mini GPS Testovací software pro GPS modul EB85A

<http://www.etek.com>

GPS Workbench Testovací software pro GPS modul iTrax03-s

<http://www.fastrax.com>

Nurflügel Program pro aerodynamické výpočty

<http://www.zanonia.de/ranis.php>

Hardware:

PRESTO Programátor MCU AVR, PIC,PIC24 a dsPIC

<http://www.asix.cz>

UT2002 Multimetr

<http://www.analogmetric.com>

Dodatek F Obsah přiloženého CD

\DATASHEET	Datasheets použitých součástek
\PICTURES	Použité obrázky
\GPS	Jednolivé části projektu
\BACKFIRE	
\COM-Api	
\DATA-RECEIVER	
\GPS-ZEM	
\GPS-MOD	
\MATLAB	
\USB-UART	
\USB-driver	
\Telemetrie-GPS.pdf	Diplomová práce ve formátu PDF