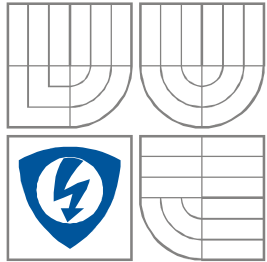


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

FM VYSÍLAČ APRS TELEMETRICKÝCH DAT V PÁSMU 144MHZ

FM TRANSMITTER OF APRS TELEMETRY IN 144MHZ BAND

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

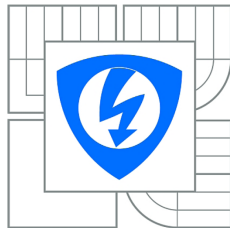
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Martin Sabol

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Martin Sabol

ID: 74599

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

FM vysílač APRS telemetrických dat v pásmu 144MHz

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vyberte vhodný obvod pro FM vysílač s PLL pro AFSK modulaci v pásmu 145MHz a mikroprocesor, který jej bude řídit, sbírat data z A/D převodníku, vytvářet datové rámce a pod. Seznamte se s použitým APRS protokolem. Sestavte schéma zapojení telemetrického modulu.

Vytvořte podklady pro DPS a konstrukci realizujte s maximálním využitím SMD součástek. Napište základní softwarové vybavení pro obsluhu vysílače a potřebných periférií. Ověřte komunikaci s GPS modulem protokolem NMEA.

Realizujte kompletní telemetrický modul včetně potřebného softwarového vybavení pro APRS protokol vysílaný AFSK modulací rychlostí 1200Bd. Realizujte vhodné softwarové vybavení pro PC zajišťující kompletní konfiguraci telemetrického modulu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FREJLACH, K. Paket rádio. České Budějovice: PVT - reprografická sekce, 1994. ISBN 80-900046-3-6

[2] APRS Protocol Specification, Version 1.0 [online]. APRS Working Group, 2000 - [cit.7.5.2008]. Dostupné na [www: http://www.tapr.org/tapr/html/Faprswg.html](http://www.tapr.org/tapr/html/Faprswg.html)

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 21.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Martin Sabol
Bytem: Ant. Dvořáka 4/a, Blansko, 678 01
Narozen/a (datum a místo): 18. února 1985 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: FM VYSÍLAČ APRS TELEMETRICKÝCH DAT V PÁSMU 144MHZ

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 21. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá rozbořem protokolu automatického pozičního systému APRS pro účely telemetrie. Je rozebrána struktura nejdůležitějších rámců a jejich použití. Věnuje se zpracování GPS dat a jejich následné modulaci na zvoleném kmitočtu. Dále jsou popsány a rozebrány použité periferní obvody navrženého zařízení a obslužný firmware.

KLÍČOVÁ SLOVA

APRS, AFSK, Mikropočítač, PLL, VCO, GPS

ABSTRACT

This work deals with analysis of protocol APRS Automatic Positioning System for telemetry. There is analyzed the structure of the most important frames and their application. It discusses the processing of GPS data and subsequent modulation of the selected frequency. This work also describes and discusses the proposed peripheral devices and the used firmware.

KEYWORDS

APRS, AFSK, Microcontroller, PLL, VCO, GPS

SABOL, M. *FM vysílač APRS telemetrických dat v pásmu 144MHz: Diplomová práce.*
Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. 25 s., 6 s. příloh.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci na téma FM vysílač APRS telemetrických dat jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Urbancovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	IX
SEZNAM TABULEK	X
ÚVOD	1
1 APRS PROTOKOL	2
1.1 RÁMEC AX.25	2
1.2 INFORMAČNÍ RÁMEC	3
1.3 FORMÁT TELEMETRICKÝCH DAT	4
1.4 APRS ZPRÁVA	4
1.4.1 <i>Jména kanálů telemetrických dat</i>	5
1.4.2 <i>Jednotky kanálů telemetrických dat</i>	5
1.4.3 <i>Koeficient pro výpočet analogové hodnoty kanálu</i>	5
1.4.4 <i>Jméno telemetrické zprávy</i>	6
1.5 NMEA RÁMEC	6
1.6 ZPRÁVA POZICE A ČASU	6
1.6.1 <i>Formát časového údaje</i>	7
1.6.2 <i>Formát údaje o poloze</i>	7
2 SYSTÉM GPS	7
2.1 PROTOKOL NMEA 0183	8
2.1.1 <i>Příklad věty GGA</i>	8
2.2 POPIS PŘIJÍMAČE SIGNÁLU GPS	9
3 FM VYSÍLAČ TELEMETRICKÝCH DAT	9
3.1 MODULACE AFSK	10
3.2 ŘÍDÍCÍ ČÁST ZAŘÍZENÍ	11
3.3 VYSÍLACÍ ČÁST ZAŘÍZENÍ	13
3.3.1 <i>Obvod PLL</i>	13
3.3.2 <i>Filtr smyčky PLL</i>	14
3.3.3 <i>FSK Modulace</i>	14
3.4 PŘEVODNÍK USB/UART	15
3.5 NÁVRH DPS	16
4 SOFTWARE VYBAVENÍ	16
4.1 NÁVRH FIRMWARE ZAŘÍZENÍ	16
4.1.1 <i>Generátor pilotního signálu</i>	16
4.1.2 <i>Modulace</i>	17
4.1.3 <i>Podprogram pro odesílání dat</i>	18
4.1.4 <i>Cyklické zabezpečení</i>	18
4.1.5 <i>Nastavení registrů obvodu ADF7012</i>	19
4.1.6 <i>Sestavení APRS rámce</i>	20
4.2 SOFTWARE PRO PC	21
4.2.1 <i>Nastavení parametrů obvodu vysílače</i>	21
4.2.2 <i>Nastavení parametrů telemetrických dat</i>	22
4.2.3 <i>Program pro příjem AFSK signálu</i>	25
ZÁVĚR	25
LITERATURA	26
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	27
SEZNAM PŘÍLOH	28

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 2.1:	BLOKOVÉ SCHÉMA GPS PŘIJÍMACÍHO MODULU NAVILOCK NL-501ETTL.....	9
OBRÁZEK 3.1:	BLOKOVÉ SCHÉMA FM VYSÍLAČE TELEMETRICKÝCH DAT.....	10
OBRÁZEK 3.2:	MODULACE AFSK S NRZI KÓDOVÁNÍM.	11
OBRÁZEK 3.3:	VNITŘNÍ ARCHITEKTURA OBVODU ATMEGA88.	12
OBRÁZEK 3.4:	BLOKOVÉ SCHÉMA OBVODU ADF7012.	13
OBRÁZEK 3.5:	OBVOD FÁZOVÉHO ZÁVĚSU.	14
OBRÁZEK 3.6:	FILTR SMYČKY PLL.....	14
OBRÁZEK 3.7:	SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU FT232RL.	15
OBRÁZEK 4.1:	MODULACE AFSK SIGNÁLU.	17
OBRÁZEK 4.2:	CYKICKÉ ZABEZPEČENÍ CRC-CCITT POMOCÍ SČÍTAČEK MODULO 2.	19
OBRÁZEK 4.3:	APLIKACE PRO NASTAVENÍ ŘÍDICÍCH REGISTRŮ OBVODU VYSÍLAČE.	21
OBRÁZEK 4.4:	HLÁŠENÍ O CHYBĚJÍCÍM PŘEVODNÍKU NA PORTU USB.....	22
OBRÁZEK 4.5:	NASTAVENÍ ČASOVÁNÍ TELEMETRICKÝCH DAT.	23
OBRÁZEK 4.6:	NASTAVENÍ MĚŘICÍCH ANALOGOVÝCH KANÁLŮ.	23
OBRÁZEK 4.7:	NASTAVENÍ DIGITÁLNÍCH KANÁLŮ.	24

SEZNAM TABUEK

TABULKA 1.1:	AX.25 UI-RÁMEC.....	2
TABULKA 1.2:	APRS INFORMAČNÍ POLE.....	3
TABULKA 1.3:	FORMÁT TELEMETRICKÉ ZPRÁVY.....	4
TABULKA 1.4:	FORMÁT APRS ZPRÁVY.....	4
TABULKA 1.5:	FORMÁT APRS ZPRÁVY NÁZVŮ KANÁLŮ TELEMETRICKÝCH DAT.....	5
TABULKA 1.6:	FORMÁT APRS ZPRÁVY JEDNOTEK KANÁLŮ TELEMETRICKÝCH DAT.....	5
TABULKA 1.7:	FORMÁT APRS ZPRÁVY KOEFICIENTŮ KANÁLŮ TELEMETRICKÝCH DAT.....	5
TABULKA 1.8:	FORMÁT APRS ZPRÁVY POPISU PROJEKTU A STAVŮ DIGITÁLNÍCH KANÁLŮ.....	6
TABULKA 1.9:	FORMÁT NMEA DAT INFORMAČNÍHO POLE APRS RÁMCE.....	6
TABULKA 1.10:	FORMÁT POZIČNÍ ZPRÁVY.....	7
TABULKA 4.1:	FORMÁT ODESLANÝCH ŘÍDICÍCH DAT.....	22
TABULKA 4.2:	FORMÁT KONFIGURAČNÍCH DAT.....	24

ÚVOD

Tato práce si klade za cíl navrhnout a postavit vysílač v radioamatérské síti paket rádia. Zařízení vysílá data modulované AFSK modulací na kmitočtu 144,8MHz, jak určuje kmitočtový plán ČR pro účely APRS sítě.

Paket rádio je celosvětový digitální komunikační systém sloužící k přenosu zpráv, informací a údajů radioamatérského charakteru. Je to jeden ze způsobů číslicové komunikace pomocí amatérského rádia. Jak napovídá název, jedná se o přenášení dat pomocí paketů, neboli rámcích.

Provozem paket rádia je radioamatérům umožněno pracovat s rozsáhlými zdroji informací, komunikovat prostřednictvím počítače se vzdálenými stanicemi, zasílat a přijímat zprávy. Zařízení v této práci se omezí na kontinuální vysílání telemetrických dat, a předávání informace o poloze prostřednictvím GPS přijímače.

Způsob přenosu dat a průběh komunikace v síti paket rádia jsou definovány protokolem AX.25. Jedná se o převzatý a upravený protokol z počítačových sítí pod označením X.25.

1 APRS PROTOKOL

APRS je zkratka odvozená od anglického názvu „Automatic Position Reporting System“, který lze přeložit jako „systém pro automatické sledování polohy“. Tento systém byl vyvinut Bobem Bruningem a představen na Digital Communication Conference v roce 1992.

Tento komunikační protokol paketového typu je určen pro vysílání dat v reálném čase ke všem uživatelům sítě. Jeho hlavní charakteristika je kombinace systému paket rádio (PR) se satelitní sítí Global Positioning System (GPS), což dovoluje radioamatérům automaticky zobrazovat na PC mapu terénu a na ní polohu rádiové stanice a jiných objektů. Další možnosti, které nejsou přímo spojeny se sledováním polohy stanice, mohou být např. hlášení povětrnostních služeb, elektronická pošta, vysílání telemetrických dat a jiné.

Systém APRS univerzálně dovoluje spojení a přenos informací mezi všemi stanicemi v síti, vylučuje zablokování, systém není limitován co do počtu spojení. Kterákoliv stanice v síti může snadno a rychle rozeslat informaci ostatním účastníkům sítě.

APRS protokol definuje způsob kódování přenášených informací. Takto upravené informační pole je součástí rámce protokolu AX.25. Přenášená informace uspořádána do rámců je zabezpečena cyklickým součtem tak, aby bylo možno detekovat rámce chybně přenesené. V našem případě ovšem nedostaneme žádnou zpětnou vazbu ze strany přijímače dat, jedná se totiž pouze o jednosměrný provoz. Na začátku a na konci každého rámce je vkládán minimálně jeden bajt s hodnotou 7Eh, tzv. návěst. Takováto hodnota se nesmí vyskytnout uvnitř rámce, přijímač by pak nevyhodnotil rámeček korektně. V případě výskytu pěti po sobě jdoucích jedniček v kterékoliv části rámce vyjma návěsti, je automaticky vložena nula. Dekodér pak tuto vloženou nulu odstraní. Rámeček protokolu AX.25 obsahuje několik polí, z nichž nejdůležitější je pro nás informační pole detailněji popsáno v následujícím textu.

1.1 Rámeček AX.25

Rámeček protokolu AX.25 se dělí na číslované a nečíslované, přičemž v APRS síti se komunikuje pouze prostřednictvím nečíslovaných rámců (AX.25 UI-rámce) obsahujících devět polí dat. Rozložení jednotlivých polí je patrné z tab.1.1.

Návěst	Cílová adresa	Zdrojová adresa	Adresa opakovačů	Řídicí pole	Protokol ID	Informační pole	FCS	Návěst
1	7	7	0-56	1	1	1-256	2	1

Tabulka 1.1: AX.25 UI-rámeček.

Druhý řádek tabulky označuje počet bajtů pro dané pole. Dále v textu je popsán význam jednotlivých polí.

- Návěst – označuje začátek a konec rámce. Hodnota je pevně daná a to 7Eh, která odděluje jednotlivé rámce.
- Cílová adresa – pole obsahuje volací značku cílové stanice.
- Zdrojová adresa – volací značka zdrojové stanice.

- Adresa opakovačů – může obsahovat značky opakovačů a jejich sekundární identifikátory, takzvané SSID v rozmezí 0-15.
- Řídicí pole – podle hodnoty pole rozeznáme typ rámce, u dohlížecích rámců obsahuje hodnotu čítače přijatých rámců, u informačních rámců čítač odeslaných. Pro UI-rámec obsahuje hodnotu 03h.
- Protokol ID – označuje typ použitého protokolu, obvyklá hodnota F0h.
- Informační pole – vlastní přenášená informace. První znak specifikuje typ dat.
- FCS – zabezpečovací pole o délce 16 bitů umožňující kontrolu přijatých dat.

Všechna data jsou vysílána od nejnižšího bitu, kromě dvou bajtů cyklického zabezpečení. Dále se každý bajt volací značky posouvá o jeden bit doleva, čehož důsledkem je možnost použití pouze velkých znaků ze sady ASCII. Poslední nejnižší bit na kterékoli pozici v adresném poli udává konec adresného pole a pokračuje se polem řídicím.

1.2 Informační rámec

Informační rámec AX.25 může obsahovat některé nebo všechny z následujících informací obsažených v tab.1.2.

Datový identifikátor	APRS data	Přídavná data	Komentář
1	n	7	n

Tabulka 1.2: APRS Informační pole.

Každý APRS paket obsahuje datový identifikátor určující typ přenášené informace. Pro tuto aplikaci obsahuje identifikátor znak „T“, resp. „@“, kterým vyjadřujeme přenos telemetrie, případně paketu s informací o poloze a času. Protokol APRS lze použít pro několik různých typů dat. Nejčastěji jsou použity tyto typy:

- Pozice,
- objekty a body,
- počasí,
- telemetrie,
- APRS zprávy a další.

Seznam všech typů s přidruženými identifikátory pro APRS přenos lze najít v [3].

Některé typy mohou obsahovat navíc přídavná data. Pro telemetrii, zprávy a některé další nejsou použita.

Informační pole může obsahovat také komentář v textové podobě. Lze použít všechny ASCII znaky kromě „|“ a „~“. Maximální délka vyslaného textového pole závisí na použité zprávě.

1.3 Formát telemetrických dat

Telemetrická zpráva je definována pomocí identifikátoru „T“. Identifikátor je následován pořadovým číslem vyslané sekvence o velikosti tří znaků nebo řetězcem „MIC“. Následuje pět osmi-bitových neznaménkových analogových hodnot. Data jsou vyjádřena ve tvaru decimálního čísla třemi znaky 000-255. Dále pak osmi-bitový digitální údaj reprezentován osmi znaky obsahujícími znak 0 nebo 1. Celé uspořádání je patrné z tab.1.3.

Datový identifikátor <i>T</i>	Číslo sekvence <i>#xxx,</i>	Analogová hodnota 1 <i>aaa,</i>	Analogová hodnota 2 <i>aaa,</i>	Analogová hodnota 3 <i>aaa,</i>	Analogová hodnota 4 <i>aaa,</i>	Analogová hodnota 5 <i>aaa,</i>	Digitální hodnota <i>bbbbbbb,</i>	Komentář
1	5	4	4	4	4	4	8	n

Tabulka 1.3: Formát telemetrické zprávy.

Příklad telemetrické zprávy: *T#001, 199, 000, 255, 073, 123, 01100110*

Odeslaná zpráva v tomto formátu obsahuje pouze hodnoty a příjemce musí mít „klíč“ jak tuto zprávu dekodovat, nebo lze vyslat APRS zprávy definující parametry pro odeslaná data. Celkem jsou k dispozici tyto čtyři parametry:

- Parametr definující jména kanálů
- Parametr definující jednotky pro jednotlivé kanály
- Parametr definující koeficient pro výpočet výsledné hodnoty kanálů
- Parametr definující název a stav digitálních kanálů telemetrické zprávy

Adresa APRS zprávy musí dále obsahovat volací znak vysílací stanice.

1.4 APRS zpráva

Parametry přenášených telemetrických dat se odesílají pomocí APRS zpráv. Jedná se o textový řetězec s uvedením adresáta zprávy. Adresát se definuje pomocí devíti znaků. V případě potřeby, kdy je jméno adresáta kratší, se doplní o mezery. Celá struktura zprávy je znázorněna v tab. 1.4. Samotný text zprávy může obsahovat maximálně 67 znaků, přičemž nelze použít znaky „|“, „~“, a „{“. Dále může následovat identifikátor zprávy sestávající z pěti znaků, který tímto označuje číslo APRS zprávy sloužící k její identifikaci. Zprávu bez identifikátoru nelze potvrdit. APRS zpráva s přiděleným identifikátorem je určena pro potvrzení adresátem. Vysílací stanice opakuje odesílání zprávy dokud nepřijme potvrzení nebo nevyprší časový interval.

:	Adresát	:	Text zprávy (max. 67 znaků)	{	Číslo zprávy <i>xxxxx</i>
1	9	1	0-67	1	1-5

Tabulka 1.4: Formát APRS zprávy.

Příklad APRS zprávy: *:LMSE :Test*

1.4.1 Jména kanálů telemetrických dat

APRS zpráva definující jména (J) kanálů telemetrických dat je označena pomocí řetězce „*PARM.*“ ihned na začátku v poli textové zprávy. Následuje řetězec znaků oddělených čárkou představující názvy pěti analogových a osmi digitálních kanálů. Není nutné vyslat jména všech kanálů, zprávu lze ukončit v kterémkoli poli. Struktura zprávy je zobrazena v tab.1.5, kde druhý řádek představuje počet možných bajtů. Nehomogenní délka jednotlivých polí je dána omezením celkové délky na 67 znaků (viz. kap.1.4). Seznam jmen je možné ukončit v kterémkoli poli.

<i>PARM.</i>	A1 <i>J...</i>	A2 <i>,J...</i>	A3 <i>,J...</i>	A4 <i>,J...</i>	A5 <i>,J...</i>	D1 <i>,J...</i>	D2 <i>,J...</i>	D3 <i>,J...</i>	D4 <i>,J...</i>	D5 <i>,J...</i>	D6 <i>,J...</i>	D7 <i>,J...</i>	D8 <i>,J...</i>
5	1-7	1-7	1-6	1-6	1-5	1-6	1-5	1-4	1-4	1-4	1-3	1-3	1-3

Tabulka 1.5: Formát APRS zprávy názvů kanálů telemetrických dat.

Příklad APRS zprávy: *:LMSE :PARM.Teplota, Napeti, Proud, Svit, Tlak, Cerp*

1.4.2 Jednotky kanálů telemetrických dat

Touto APRS zprávou lze definovat jednotky (J) jednotlivých analogových kanálů a popisy (P) digitálních kanálů. Opět není nutné vyslání pro všechny kanály a zprávu lze tedy ukončit v kterémkoli poli. Struktura zprávy je patrná z tab.1.6.

<i>UNIT.</i>	A1 <i>J...</i>	A2 <i>,J...</i>	A3 <i>,J...</i>	A4 <i>,J...</i>	A5 <i>,J...</i>	D1 <i>,P...</i>	D2 <i>,P...</i>	D3 <i>,P...</i>	D4 <i>,P...</i>	D5 <i>,P...</i>	D6 <i>,P...</i>	D7 <i>,P...</i>	D8 <i>,P...</i>
5	1-7	1-7	1-6	1-6	1-5	1-6	1-5	1-4	1-4	1-4	1-3	1-3	1-3

Tabulka 1.6: Formát APRS zprávy jednotek kanálů telemetrických dat.

Příklad APRS zprávy: *:LMSE :UNIT.Celsius, Volt, Amper, Lux, Pasc, Zap, Otev*

1.4.3 Koeficient pro výpočet analogové hodnoty kanálu

Zpráva obsahující koeficienty pro výpočet hodnot jednotlivých kanálů je určena pouze pro analogová data. Obsahuje tři koeficienty pro každý z pěti analogových kanálů (*a*, *b* a *c*). Výsledná hodnota kanálu je pak určena z výpočtu pomocí vztahu:

$$a.h^2 + b.h + c, \quad (1.1)$$

kde *h* je hodnota vyslaná ve zprávě telemetrických dat.

<i>EQNS.</i>	A1			A2			A3			A4			A5		
	<i>a</i>	<i>,b</i>	<i>,c</i>	<i>,a</i>	<i>,b</i>	<i>,c</i>	<i>,a</i>	<i>,b</i>	<i>,c</i>	<i>,a</i>	<i>,b</i>	<i>,c</i>	<i>,a</i>	<i>,b</i>	<i>,c</i>
5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

Tabulka 1.7: Formát APRS zprávy koeficientů kanálů telemetrických dat.

Příklad APRS zprávy: *:LMSE :EQNS.0, 0.8, 3, 1, 0, 3, 0, 0, 0, 2, 5, 1, 0, 0.5, 1.7*

Příklad výpočtu hodnoty pro kanál A1:

$$a.h^2 + b.h + c = 0.199^2 + 0,8.199 + 3 = 162,2^{\circ}C .$$

1.4.4 Jméno telemetrické zprávy

Další a poslední zprávou doplňující rámec s telemetrickými údaji je řetězec znaků představující jméno, respektive popis celé telemetrické zprávy. Dále představuje prvních osm znaků stav jednotlivých digitálních kanálů korespondujících s popisem těchto kanálů.

BITS.	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	Popis zprávy
5	x	x	x	x	x	x	x	x	0-23

Tabulka 1.8: Formát APRS zprávy popisu projektu a stavů digitálních kanálů.

Příklad APRS zprávy: :LMSE :BITS. 10110000, Diplomova prace

Z příkladu pak můžeme vyčíst stav například pro kanál 1. V případě stavu „1“ indikuje zpráva sepnutí čerpadla.

1.5 NMEA rámec

Pro určení polohy je použit GPS přijímač pracující s protokolem NMEA 0183, popsaném v kapitole 2.1. Převod tohoto formátu do protokolu APRS nijak neupravuje zdrojový rámec NMEA, jak je patrné z tab. 1.9.

Datový identifikátor \$	NMEA přijatá věta
1	25-209

Tabulka 1.9: Formát NMEA dat informačního pole APRS rámce.

Příklad NMEA rámce:

\$GPGGA,102705,5157.9762,N,00029.3256,W,1,04,2.0,75.7,M,47.6,M,,*62

V informačním poli rámce AX.25 je na prvním místě uveden znak „\$“, který určuje, že se jedná o data protokolu NMEA. Dále následuje samotná věta obsahující potřebné údaje k zjištění polohy či jiné tímto formátem podporované informace.

1.6 Zpráva pozice a času

V protokolu APRS je ovšem běžnější použití speciální zprávy informující příjemce o poloze a času v době vyslání zprávy. Identifikátorem takovéto zprávy je znak „@“ na začátku informačního rámce. Za identifikátorem následuje informace o čase v době odeslání ve zvoleném formátu (kap.1.6.1). Dále následuje informace o poloze v pořadí zeměpisná šířka, zeměpisná délka. Mezi tyto údaje se vkládá znak „/“, který představuje zvolenou sadu znaků, resp. ikon zobrazovaných v přijímacím terminálu. Za údaje o poloze se vkládá znak představující konkrétní ikonku ze zvolené sady. Sadu ikon lze nalézt v

[3] v příloze 2. Výše uvedený popis ilustruje tabulka 1.10.

Datový identifikátor @	Čas DHM/HMS t...	Zeměpisná šířka Lat...	Výběr sady ikonok x	Zeměpisná délka Long...	Znak pro ikonku x	Komentář
1	7	8	1	9	1	0 - 43

Tabulka 1.10: Formát poziční zprávy.

Příklad poziční zprávy: @105913/4921.47N/01638.35E>Informace o poloze

1.6.1 Formát časového údaje

Údaj o čase v poziční zprávě lze odesílat ve dvou různých formátech:

- Den/Hodiny/Minuty
- Hodiny/Minuty/Sekundy

Tyto formáty pracují s 24-hodinovým časem. Pro informaci o čase je v informačním rámci vyhrazeno 7 bajtů, poslední bajt určuje výběr světového UTC času, resp. lokálního času. Pro první případ je použitý znak „z“, ve druhém případě pak znak „/“. Zařízení popsané v této práci odesílá druhou variantu formátu času a lokální čas, tzn. *hhmmss/*.

1.6.2 Formát údaje o poloze

Pro údaj o zeměpisné šířce je vyčleněno 8 bajtů v informačním poli poziční zprávy. První dva znaky udávají velikost ve stupních z rozsahu hodnot 0 - 90°. Další dva znaky představují desítky a jednotky minut, následuje desetinná tečka a dva znaky představující setiny minut. Posledním znakem je označení severní „N“, nebo jižní „S“ polokoule.

Údaj o zeměpisné délce má podobnou strukturu, ovšem vzhledem k rozsahu hodnot stupňů v rozmezí 0 – 180° je použit jeden znak navíc. Poslední znak představuje západní „W“, resp. východní „E“ polokouli.

Je důležité zachovávat předepsanou délku a formát řetězce. V případě chybějícího údaje, např. jednotky nebo setiny minut, se prázdné místo nahradí mezerou.

2 SYSTÉM GPS

GPS (Global Positioning System) je dnes velmi rozšířený a populární navigační systém. Jeho funkce je založená na výpočtu vzdáleností mezi uživatelem na Zemi a družicemi obíhajícími na oběžné dráze ve výšce 20200km. Celkově je aktivních 24 navigačních družic. Družice posílají na Zem kontinuálně informace o své poloze na orbitální dráze a o přesném čase. Z libovolného bodu na planetě je pak možné přijímat signál maximálně z dvanácti družic, ostatní se nacházejí na opačné straně polokoule. Aby se dala spočítat poloha, je nutné přijímat signál minimálně ze tří družic, pro určení výšky dokonce ze čtyř. Vzdálenost se určuje na základě měření zpoždění signálu mezi družicí a Zemí, klade se proto velký důraz na časovou přesnost. Každá družice je tedy navíc vybavena atomovými hodinami.

Dnešní dostupnost přijímačů GPS signálu je velmi dobrá a na trhu je jich nepřeberné

množství různých cenových kategorií.

2.1 Protokol NMEA 0183

Protokol NMEA byl vytvořen z důvodu sjednocení komunikace prostřednictvím zařízení různých výrobců. Původně se jednalo především o zařízení pro loďní dopravu, dnes je již rozšířen v mnoha zařízeních spotřební elektroniky, a běžně dostupné GPS přijímače komunikují převážně výhradně pomocí tohoto protokolu. Charakteristickou vlastností je použití pouze ASCII znaků a znaků konce řádku (CR, LF, tedy 0Dh a 0Ah). Data jsou posílána ve formě vět. Každá věta začíná znakem „\$“ a může končit znakem „*“ . Jednotlivé dílčí informace ve větě jsou odděleny čárkou, a délka věty je maximálně 83 bajtů včetně ukončovacího znaku řádku a kontrolního součtu, který je počítán operací XOR všech znaků mezi „\$“ a „*“ . Nejčastěji se používají tyto věty:

- RMC – minimální doporučená informace pro navigaci obsahující informaci o čase, zeměpisné šířce, zeměpisné délce, polokouli, rychlosti nad zemí, azimutu pohybu a datum.
- GGA – obsahující data zeměpisné délky a šířky, geodetické výšky, polokoule, počtu viditelných satelitů apod.
- GSA, GSV a další [10].

Komunikační protokol je kompatibilní se standardem sériové linky RS-232. Pro přenos dat se používá převážně přenosová rychlost 9600 baud, 8 datových bitů, jeden stop bit a bez paritního bitu.

2.1.1 Příklad věty GGA

Pro ilustraci může vypadat zpráva GGA - obsahující základní informace o poloze a čase měření takto:

*\$GPGGA,081625.39,4945.5468,N,01431.6557,E,2,03,5.8,00380,M,,, *20*

- *081625.39*.....čas UTC ve formátu HHMMSS.SS
- *4945.5468*.....zeměpisná šířka ve stupních a minutách
- *N*.....severní polokoule
- *01431.6557*.....zeměpisná délka ve stupních a minutách
- *E*.....východní polokoule
- *2*.....poloha je určena diferenčně
- *03*.....počet použitých družic
- *5.8*.....HDOP – míra nepřesnosti polohové informace
- *00380*.....nadmořská výška
- **20*.....kontrolní součet

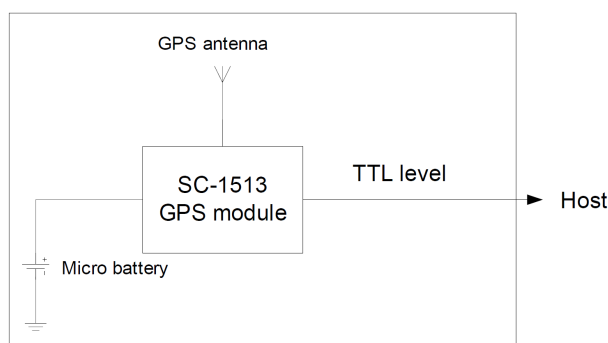
Všechny věty jsou detailně popsány v [10].

2.2 Popis přijímače signálu GPS

Pro tento projekt je použit GPS přijímač od výrobce Navilock s typovým označením NL-501ETTL [9]. Jedná se o modul kompaktních rozměrů 30x30mm s vestavěnou anténou. Modul disponuje těmito parametry:

- Čipová sada SiRF Star III,
- podpora až 20 GPS kanálů,
- vestavěná baterie pro zálohu systémových dat,
- LED indikátor.

Zařízení podporuje protokol NMEA 0183 verze 3.0. Data jsou aktualizována každou sekundu a odesílána sériově úrovní signálu TTL. Výchozí nastavení poskytuje rychlost přenosu 9600bps, 8 datových bitů, bez paritního bitu a jeden stop bit. Podporuje všechny základní typy vět jako jsou GGA, GLL, GSA, GSV, RMC a VTG. Bloková struktura zařízení je na obr. 2.1.



Obrázek 2.1: Blokové schéma GPS přijímacího modulu Navilock NL-501ETTL.

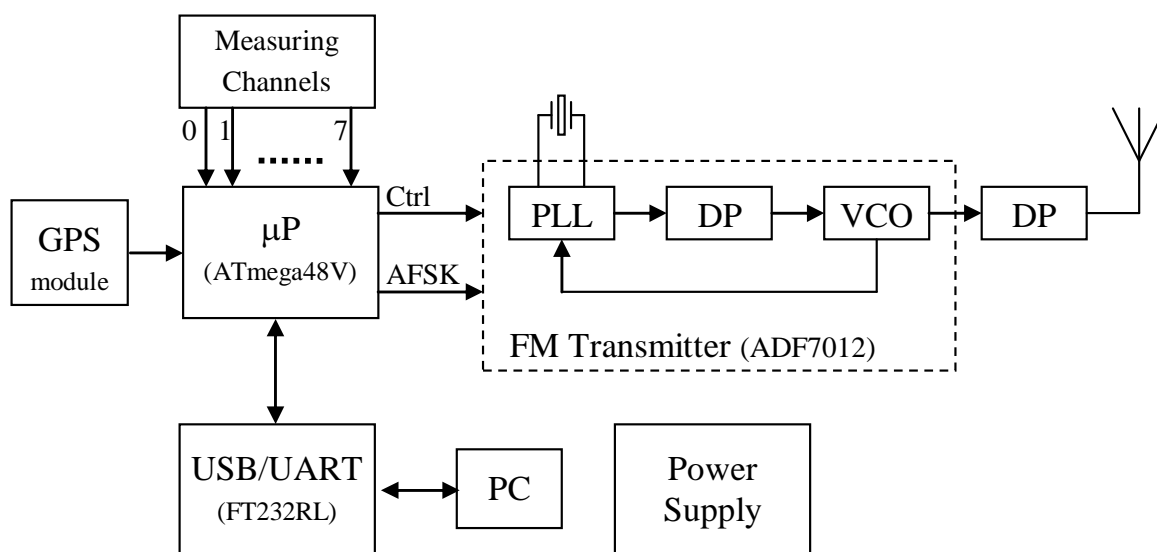
3 FM VYSÍLAČ TELEMETRICKÝCH DAT

Tato kapitola se věnuje návrhu zařízení na zpracování naměřených údajů a jejich vysílání na zvoleném kmitočtu. Pomocí připojení zařízení k PC je možné uživatelsky konfigurovat parametry měření a následně zpracování dat.

Pro měření analogových veličin slouží pět kanálů A/D převodníku integrovaném v obvodu použitého mikropočítače. Analogové veličiny jsou převedeny do digitální podoby a dále zpracované do rámců podle protokolu APRS, který je popsán v kapitole 1. Následným AFSK kódováním jsou data přivedena na vstup obvodu FM vysílače.

Komunikace s PC pro uživatelské nastavení parametrů zařízení probíhá prostřednictvím převodníku sériového rozhraní UART na USB a naopak. K tomu slouží obvod FT232RL výrobce FTDI chip. Jedná se o inovovanou verzi obvodu, který ke své činnosti potřebuje minimum vnějších součástek. Převodník je koncipován jako samostatný modul mezi USB portem počítače a sériovou linkou zařízení.

Vysílání dat probíhá na radioamatérském kmitočtu určeném pro tyto účely, a sice 144,8MHz při modulaci AFSK rychlostí 1200 baud. Zařízení je rozděleno na dva hlavní bloky, řídicí a vysílací. Blokové schéma celého zařízení je zobrazeno na obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Blokové schéma FM vysílače telemetrických dat.

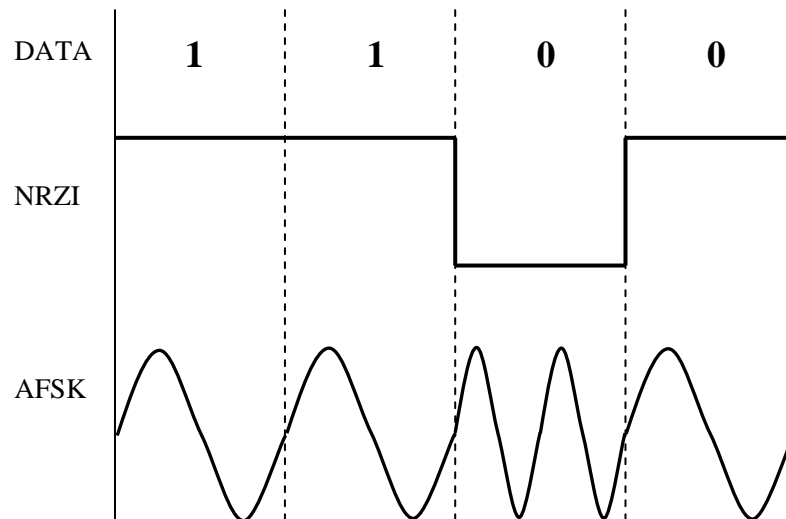
Blokové schéma zařízení (obr.3.1) popisuje základní strukturu obvodu. Použitý mikropočítač slouží mimo jiné jednak pro nastavení parametrů FM vysílače, stejně tak jako zdroj AFSK signálu. Obvod vysílače pracuje jako samostatný celek s integrovaným obvodem fázové smyčky, napětím řízeným oscilátorem (VCO) a modulátorem FSK v jednom čipu. Ke své činnosti potřebuje pouze zdroj referenčního kmitočtu, od kterého se odvíjí celkové nastavení celého obvodu a kmitočtový krok pro doladování výstupního modulovaného signálu. Tento zdroj kmitočtu je rovněž použit pro taktování mikropočítače. Nezbytnou součástí vysílače je omezení vyšších harmonických kmitočtů pomocí obvodu typu dolní propust.

Obvod mikropočítače, převodníku a FM vysílače jsou dostupné v provedení SMD, čímž lze dosáhnout velmi kompaktních rozměrů celého zařízení.

3.1 Modulace AFSK

AFSK (Audio Frequency Shift Keying) vychází ze standardu Bell 202, kdy modulační signály jsou v pásmu slyšitelného spektra. Logické 1 odpovídá periodický signál o kmitočtu 1200Hz a logické 0 pak signál o kmitočtu 2200Hz. Tento způsob modulace je výhodný zejména k přímému připojení modulačního signálu na mikrofonní vstup radiostanice. Takto modulovaná data lze přenášet rychlostí 1200 baud, resp. 1200 bitů/s.

Data jsou před samotným převodem na nízkofrekvenční periodický signál kódována pomocí kódu NRZI (Non-Return To Zero Inverted), kdy logické nule v informaci odpovídá změna úrovně a při logické jedničce zůstává úroveň beze změny. Obrázek 3.2 ilustruje popsané kódování.



Obrázek 3.2: Modulace AFSK s NRZI kódováním.

3.2 Řídící část zařízení

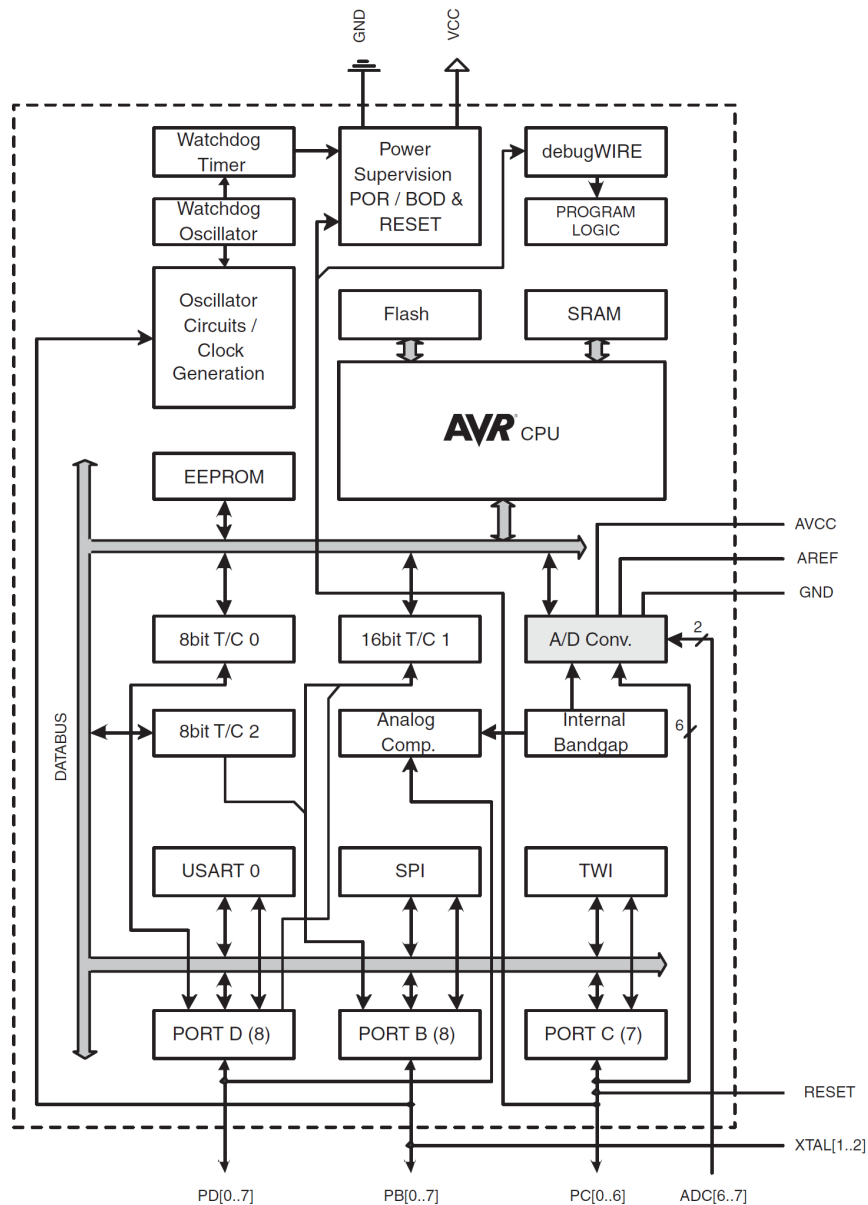
Úkolem řídicího obvodu je měření analogových veličin, převádět je do digitální podoby, zpracovat do rámců podle protokolu APRS a odesílat v podobě nízkofrekvenčního signálu AFSK na výstup pro následnou modulaci.

Všechny tyto požadavky lze splnit vhodným výběrem mikropočítače. Na trhu jsou dobře dostupné mikropočítače řady AVR od firmy Atmel. Pro tuto aplikaci byl vybrán obvod s typovým označením ATmega88V. Jedná se o inovovaný model řady ATmega8, který si zachoval rozložení vývodů i dostupné periferie. Výhodou je nižší pracovní napětí, spotřeba a vyšší pracovní kmitočet. Obvod disponuje těmito parametry:

- Pracovní napětí 1,8 – 5,5V,
- taktovací kmitočet až 20MHz,
- 8 KB Flash paměť programu,
- 1KB interní SRAM,
- 2x 8-bitový čítač/časovač,
- 1x 16-bitový čítač/časovač,
- 8-kanálový 10-bitový A/D převodník,
- 512B vnitřní paměti EEPROM,
- SPI, I2C a UART.

Celková architektura obvodu je znázorněna na obrázku 3.3.

Pro účely celého zařízení jsou využity téměř všechny vstupně/výstupní periferie dostupné v obvodu mikropočítače. Sériové rozhraní SPI slouží ke komunikaci s obvodem vysílače pro nastavení potřebných parametrů. Asynchronní sériové rozhraní UART slouží k připojení s PC prostřednictvím převodníku FT232RL a pro příjem GPS dat, A/D převodník je použitý pro přímé měření analogových veličin. Jsou využity také čítače/časovače k modulování digitálního signálu, a nastavení všech parametrů zařízení jsou uložena v interní paměti EEPROM.



Obrázek 3.3: Vnitřní architektura obvodu ATmega88.

Pro měření analogových veličin je vyhrazeno celkově pět kanálů A/D převodníku. Rozsah vstupního měřeného napětí se pohybuje v rozmezí 0-3,3V. Je proto nutné měřenou veličinu převést na hodnotu napětí v tomto rozmezí, a v případě potřeby také linearizovat. To musí zajistit externí obvody měřícího kanálu, které nejsou předmětem rozboru v této práci.

Vzhledem k typu měřených veličin není vzorkovací kmitočet ani celková doba jednoho převodu nijak kritická. Nejkratší časy se pohybují v řádech μs , přičemž měřený signál jako teplota, tlak či vlhkost se mění v čase daleko pomaleji.

Celkově disponuje zařízení osmi vstupními kanály. Pět je použito jako vstup A/D převodníku a zbylé tři kanály jsou digitální. Slouží k indikaci nějakého logického stavu typu zapnuto/vypnuto.

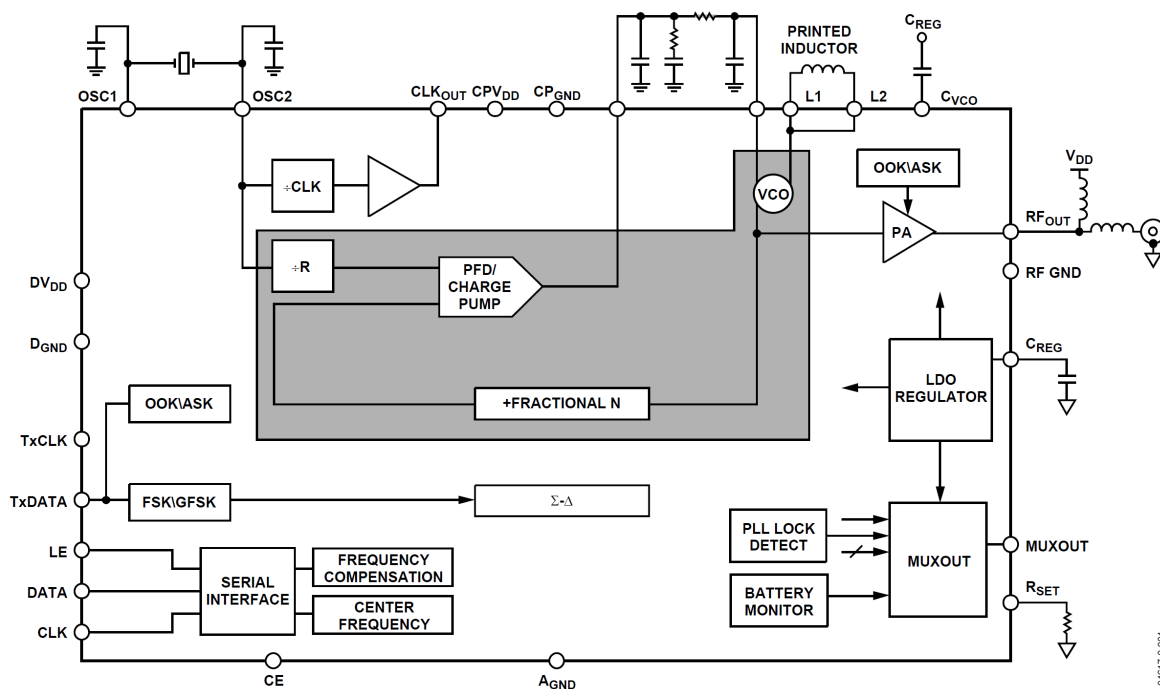
Zdrojem pracovního referenčního kmitočtu pro mikro počítač je předdělička obvodu FM vysílače. Výchozí hodnota po restartu obvodu vysílače je dělení referenčního kmitočtu

dvěma, což při použití 16MHz krystalu představuje zdroj hodin 8MHz. Tím poskytneme dostatečně velkou taktovací rychlost potřebnou pro modulaci AFSK signálu. Celkové zapojení řídicí části je znázorněno ve schématu v příloze A.

3.3 Vysílací část zařízení

Jádrem celého zařízení je především vysílací část, která nízkofrekvenční AFSK signál moduluje FSK modulací na kmitočtu 144,8MHz. Vhodným obvodem pro tyto účely je jednočipový vysílač ADF7012 od společnosti Analog Devices [1].

Jedná se o vysílač v pásmu UHF v rozmezí kmitočtů 75 – 1000 MHz. V obvodu je plně integrován syntezátor, VCO a obvody pro FSK, GFSK a OOK modulaci. Pro nastavení parametrů obvodu slouží čtyři 32-bitové registry, ke kterým se přistupuje prostřednictvím třívodičové sériové sběrnice. Pomocí těchto registrů lze nastavit předděličku pro výstupní referenční kmitočet, kmitočtový krok, citlivost fázového závěsu, typ modulace a další. Minimum použitých externích součástek slouží především jako filtr pro obvod fázového závěsu, nastavení výstupního kmitočtu a jako výstupní dolní propust pro potlačení vyšších harmonických kmitočtů. Vnitřní strukturu obvodu znázorňuje obr. 3.4.



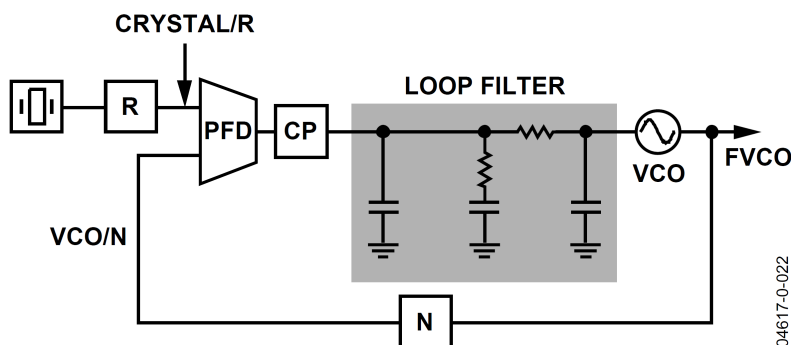
Obrázek 3.4: Blokové schéma obvodu ADF7012.

Hodnoty externích součástek se dají vygenerovat prostřednictvím volně dostupného software ADIsimPLL_Ver3 dostupném v [1]. Po zadání parametrů v průvodci programu se automaticky vygenerují charakteristiky ve frekvenční a časové oblasti navrženého obvodu, jako fázový šum na výstupním kmitočtu, přenos filtru fázové smyčky a další, včetně hodnot externích součástek. Výstup této simulace lze nalézt také v příloze C.

3.3.1 Obvod PLL

Výstupní kmitočet hlídá obvod fázové smyčky, kde se porovnává kmitočet odvíjející

se od referenčního krystalu a signálu VCO děleného předděličkou. Struktura obvodu tohoto závěsu je na obrázku 3.5. Při poklesu kmitočtu VCO/N pod požadovanou úroveň vyše fázový detektor (PFD) sled impulsů pro doladění výstupního oscilátoru. Tím se udržuje kmitočet na požadované hodnotě.



Obrázek 3.5: Obvod fázového závěsu.

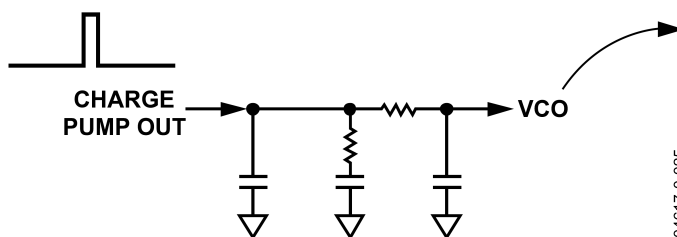
Pomocí nastavení řídicího registru N v obvodu ADF7012 lze nastavit hodnotu výstupního kmitočtu. Při hodnotě referenčního krystalu 16MHz, předděličky R=7, a při nastavení hodnot N-registru pro $N_{INT}=126$ (bity N1-N8), $N_{FRAC}=2867$ (bity M1-M12) pak dostaneme výstupní kmitočet:

$$F_{OUT} = \frac{F_{CRYSTAL}}{R} \cdot \left(N_{INT} + \frac{N_{FRAC}}{2^{12}} \right) = \frac{16 \cdot 10^6}{7} \cdot \left(126 + \frac{2867}{2^{12}} \right) = 144,8 \text{ MHz}. \quad (3.1)$$

Hodnoty pro N-registr se místo výpočtu dají získat programem ADIsimPLL_Ver3.

3.3.2 Filtr smyčky PLL

Obvod filtru fázové smyčky integruje pulsy vysílané fázovým detektorem pro případnou korekci výstupního kmitočtu VCO. Typické zapojení filtru je na obr. 3.6.



Obrázek 3.6: Filtr smyčky PLL.

Pro návrh filtru je výhodné využít zmíněný simulační program ADIsimPLL_Ver3.

3.3.3 FSK Modulace

FSK modulace se vytváří přepínáním kmitočtů na základě hodnoty zapsané v N-registru. Podle hodnoty na vstupu obvodu (TxDATA) se pak k výstupnímu referenčnímu kmitočtu 144,8MHz přičítá, resp. odečítá odchylka kmitočtu nastavená podle vzorce:

$$F_{DEVIATION} = \frac{\frac{F_{CRYSTAL}}{R} \cdot ModulationNumber}{2^{14}}, \quad (3.2)$$

kde *ModulationNumber* je hodnota nastavena bity D1 až D9 v Modulation registru.

Pro požadovaný kmitočtový skok 1200Hz pak dostaneme hodnotu pro zápis do registru:

$$ModulationNumber = \frac{R \cdot 2^{14} \cdot F_{DEVIATION}}{F_{CRYSTAL}} = \frac{7 \cdot 2^{14} \cdot 1200}{16 \cdot 10^6} = 8,6. \quad (3.3)$$

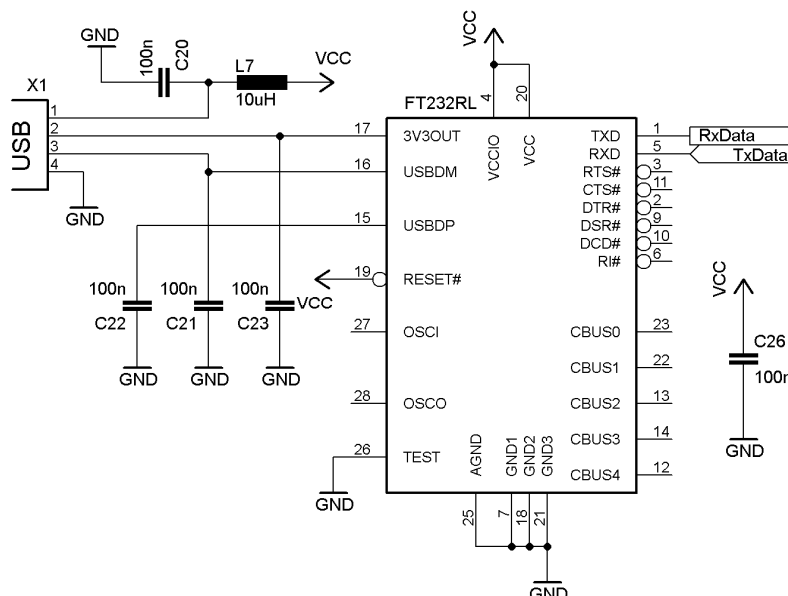
Zapíšeme tedy hodnotu 9, zpětným výpočtem dle vztahu 3.2 pak obdržíme skutečný nastavený kmitočtový skok, a sice 1255Hz.

3.4 Převodník USB/UART

Pro celkové nastavení zařízení bude sloužit uživatelská aplikace běžící pod operačním systémem MS Windows. Jako komunikační rozhraní mezi PC a zařízením je nejvhodnější použít sériové rozhraní USB, které je dnes nejrozšířenější. K tomu slouží obvod převodníku FT232RL [11], který nepotřebuje ke své činnosti téměř žádné externí komponenty. Obvod disponuje těmito parametry:

- všechny potřebné periferie integrované v jednom čipu,
- rychlost přenosu až 3Mbaud,
- integrovaný zdroj hodin,
- velikost přijímacího bufferu 256 bajtů, vysílacího 128 bajtů,
- možnost vytvoření virtuálního sériového COM portu.

Schéma zapojení použitého převodníku je na obr. 3.7.



Obrázek 3.7: Schéma zapojení převodníku FT232RL.

3.5 Návrh DPS

Při návrhu plošného spoje zařízení se klade důraz na maximální využití součástek v provedení SMD. Řídící i vysílací část zařízení je navržena na společné desce velmi kompaktních rozměrů 47x40mm s ohledem na použití vysokofrekvenčního výstupního signálu. Řídící a vysílací část jsou tedy co nejdále od sebe a zemnicí vrstva je jednodílná pod celou řídicí částí zařízení. Tloušťka napájecího spoje je 0,6mm, jinak je použita tloušťka 0,4mm. Deska je navržena v návrhovém systému Eagle ve verzi 4.13 jako oboustranná, s možností uchycení celé desky ve dvou rohových bodech. Návrh jednotlivých vrstev desky včetně rozmístění součástek je k nalezení v měřítku 1:1 v příloze B.

4 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

4.1 Návrh firmware zařízení

Ovládací program pro použitý mikropočítač ATmega88V je napsán v jazyku C v návrhovém nástroji CodeVisionAVR. Tento překladač jazyka C je určen pro mikropočítače společnosti Atmel, jedná se o placený software. Demo verze je omezená velikostí kódu, která ovšem plně postačuje pro tyto účely. Výhodou programu je zjednodušení práce při nastavení řídicích registrů mikropočítače pro použité periferie, které program automaticky generuje, a také velmi přehledné uživatelské prostředí.

Na samotném začátku programu jsou definovány knihovny, makra a globální proměnné. Pak následuje nastavení registrů pro použité periferie, hlavní smyčka programu a požadované podprogramy.

Vysílání rámců probíhá v uživatelem definovaných periodách. Před vysláním dat jsou inicializovány obvody vysílače a sestaveny rámce na vyslání. Po vyslání posledního bitu dat se vysílač vypne a čeká na další inicializaci.

4.1.1 Generátor pilotního signálu

Obslužný program se skládá z několika částí. Především je to generátor signálu o rychlosti 1200baud sloužící jako pilotní signál, za základě kterého probíhá samotná modulace. Generuje se pomocí čítače/časovače2 při přerušení čítače na shodu komparačního registru OCR2. Čítač čítá od nuly a při shodě s komparačním registrem se datový registr automaticky vynuluje a vyvolá obsluhu přerušení, kde se výstupní signál moduluje.

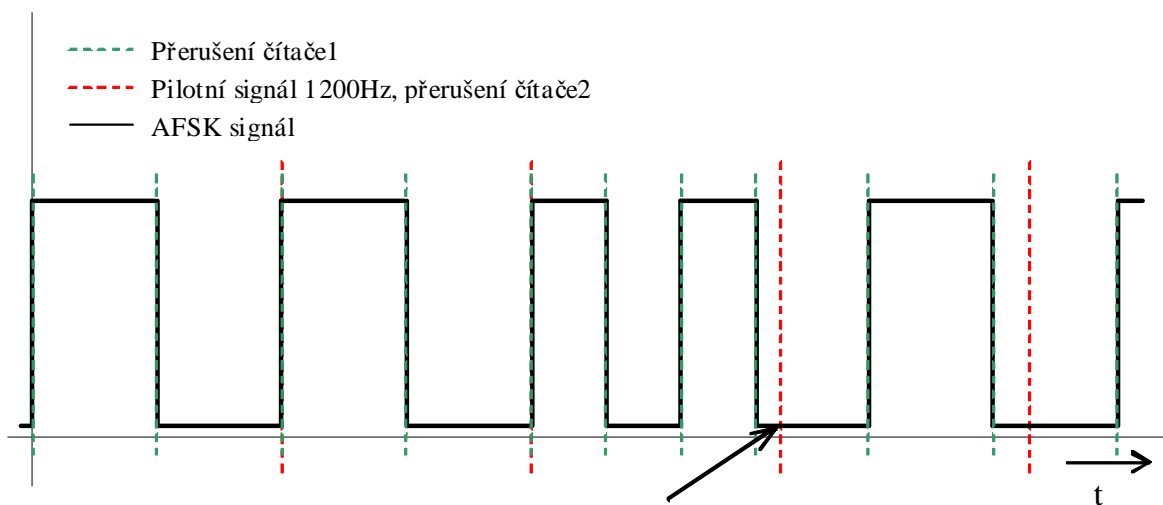
Nastavení předděličky vůči referenčnímu kmitočtu a velikosti komparačního registru je takové, aby byla dosažena délka pulzu 833μs:

```
TCCR2=0x0B; //komparační mód, frekvence čítání 250kHz.  
OCR2=0xD0; //komparační hodnota nastavena na 208 dec.
```

$$délka_pulzu = \frac{1}{250 \cdot 10^3} \cdot 208 = 832 \mu s \quad (4.1)$$

4.1.2 Modulace

AFSK signál je tvořen přepínáním dvou nízkofrekvenčních signálů o kmitočtu 1200Hz a 2200Hz (obr. 3.2). Tyto signály se generují podobně jako v případě pilotního signálu. Zde je použit čítač/časovač1 a přerušení na shodu s párovým komparačním registrem OCR1AH, OCR1AL. Samotná modulace probíhá právě změnou hodnoty tohoto párového registru, čímž dochází ke změně výstupního kmitočtu. Samotné přepínání mezi 1200Hz a 2200Hz ovšem nestačí. Při přechodu z jednoho kmitočtu do druhého je dále nutné zachovat aktuální fázi signálu. Programově je to řešeno odečtením fáze při přerušení čítače pilotního signálu, kterou udává aktuální hodnota datového registru čítače/časovače1. Odečtením z velikosti půlperrody kmitočtu a přepočtem této hodnoty na následující kmitočet naplníme párový komparační registr a dále se již pokračuje v aktuálně nastaveném kmitočtu. Výstupní signál je generován přímo obsluhou přerušení čítače/časovače1, kde se po vstupu do ní překloupí výstupní napěťová úroveň. Výše popsanou modulaci ilustruje obrázek 4.1. a samotný zdrojový kód.



Změna kmitočtu - odečtení hodnoty v registru TCNT1H | TCNT1L, přepočtení fáze, naplnění komparačního registru OCR1AH | OCR1AL, čekání na obsluhu přerušení čítače1.

Obrázek 4.1: Modulace AFSK signálu.

```
// Vektor přerušení, pilotní signál a přepočtení fáze
interrupt [TIM2_COMP] void timer2_comp_isr(void)
{
    unsigned int faze=0; //pomocný registr pro přepočtení fáze

    if(bit2send==0) //jestli je bit=0 pak změna kmitočtu - NRZI
    {
        if(Freq==freq1200) //aktuální frekvence 1200Hz
        {
            //přepočtení fáze
            faze=freq2200-(TCNT1L|(TCNT1H<<8))*phase_1200;
            TCNT1H=0x00; //nulování datového registru
            TCNT1L=0x00;
            OCR1AH=(faze>>8); //naplnění komparačního registru
            OCR1AL=(unsigned char)faze;
            Freq=freq2200; //změna kmitočtu
        }
        else
        {
            faze=freq1200-(TCNT1L|(TCNT1H<<8))*phase_2200;
        }
    }
}
```

```

        TCNT1H=0x00;
        TCNT1L=0x00;
        OCR1AH=(faze>>8);
        OCR1AL=(unsigned char)faze;
        Freq=freq1200;
    }
}
send_enable=1; //povol výpočet dalšího bitu na odeslání
}

// Vektor přerušeni - výstupní AFSK signál
interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr(void)
{
    OCR1AH=(Freq>>8); //naplnění komparačního registru
    OCR1AL=(unsigned char)Freq; //pro aktuální výst. kmitočet
}

```

4.1.3 Podprogram pro odesílání dat

Podprogram vysílá data bit po bitu s ohledem na kontrolu, zda se nejedná o návěst. V případě, že se nejedná o návěst, vloží po pěti po sobě jdoucích jedničkách nulu, dále pak v případě potřeby volá podprogram na výpočet zabezpečovacího 16-bitového registru.

```

void send_byte(char data2send)
{
    unsigned char i=0;

    while(i<8)
    {
        while(send_enable==0){}; //po obsluze přerušeni čítače2
        //proved výpočet bitu na odeslání a čekej na konec obsluhy
        send_enable=0;
        //jestli se nejedná o návěšt a současně 5 jedniček
        if(flag_on==1 && zero_count==5) bit2send=0, zero_count=0;
        {while(send_enable==0){};
        send_enable=0;}

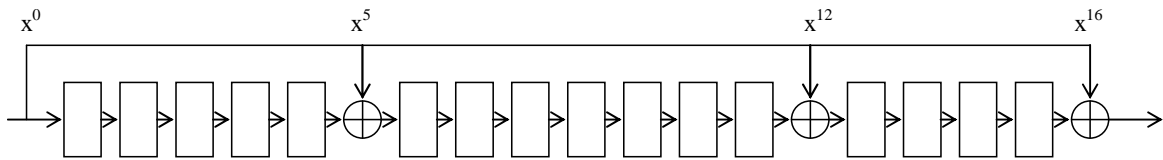
        if(CHECKBIT(data2send,0)) //test nejnižšího bitu
        {
            bit2send=1;
            zero_count++; //jestli „1“ počítej
        }
        else bit2send=0,zero_count=0; //nuluje počítadlo jedniček

        data2send>>=1;
        i++;
        if(no_crc==0) CRC_bit_update(); //aktualizace CRC
    }
}

```

4.1.4 Cyklické zabezpečení

Aby bylo zaručeno čtení korektně přijatých dat, každý odeslaný rámeček obsahuje 16-bitovou informaci o cyklickém zabezpečení. Výpočet se provádí ze všech odeslaných dat vyjma návěsti. Hodnota cyklického zabezpečení obsahuje jedničkový doplněk zbytku po dělení polynomem $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ standardem CRC-16-CCITT, jak ukazuje blokové schéma na obr.4.2.



Obrázek 4.2: Cyklické zabezpečení CRC-CCITT pomocí sčítaček modulo 2.

Podprogram pro výpočet cyklického zabezpečení aktualizuje hodnotu bit po bitu. Při každém novém zahájení výpočtu CRC rámce je nutné nastavit výchozí hodnotu CRC na FFFFh.

```
void CRC_bit_update(void)
{
    bit crc_MSB;    //pomocný bit

    if(CHECKBIT(crc,15)) crc_MSB=1;    //test nejvyššího bitu
    else crc_MSB=0;
    crc <<= 1;    //posuv vlevo
    if(crc_MSB ^ bit2send) crc ^= 0x1021;    //dělení polynomem
}

```

Při samotném vysílání vypočítané hodnoty zabezpečení je nutné vysílat data od nejvyššího bitu. To je rozdíl od všech ostatních odeslaných dat rámce, které se vysílají od nejnižšího bitu. Pro jednoduchost byl napsán samostatný podprogram pro vyslání CRC jako 16-bitového slova.

```
void send_crc(short int crc_data)
{
    unsigned char i;
    crc_data=~crc_data;    //jedničkový doplněk
    for(i=0;i<16;i++)
    {
        while(send_anable==0){};    //po obsluze přerušeni proved'
        //výpočet bitu na odeslání, pak zase čekej na
        //konec obsluhy
        send_anable=0;

        if(zero_count==5)    //5 po sobě jdoucích jedniček
        {
            bit2send=0;    //odešli nulu
            zero_count=0;    //vynuluj počítadlo
            i--;
            while(send_anable==0){};
            send_anable=0;
        }
        if(CHECKBIT(crc_data,15)) bit2send=1,zero_count++;
        else bit2send=0,zero_count=0;
        crc_data<<=1;
    }
}

```

4.1.5 Nastavení registrů obvodu ADF7012

Jak je popsáno v kap.3.3 a v [1], obvod vysílače obsahuje tři 4-bajtové a jeden 3-bajtový konfigurační registr. Přístupuje se k nim prostřednictvím sériové linky SPI. Každý registr obsahuje v prvních dvou bitech svoji adresu podle pořadového čísla. K nastavení registrů slouží vytvořená aplikace běžící pod OS MS Windows popsané v kapitole[4.2.1].

Data pro nastavení obvodu vysílače jsou přijata prostřednictvím sériové linky UART, dekodována a následně prostřednictvím rozhraní SPI odeslána do zařízení. Dále jsou uložena do vnitřní paměti EEPROM, ze které jsou automaticky vyčtena po restartu zařízení a dále využita v případě potřeby nastavení vysílače.

Skript pro odesílání dat linkou SPI:

```

unsigned char spi(unsigned char data)
{
    SPDR=data; //datový registr
    while ((SPSR & (1<<SPIF))==0); //čekej na příjem
    return SPDR; //vrací přijata data, není potřeba
}

void setup_ADF7012(unsigned char *registr7012, unsigned char Lenght)
{
    unsigned char i;
    CLEARBIT(PORTD,LE); //LE -> 0 //povolení přenosu
    for(i=0;i<Lenght;i++) //délka dat
    {
        spi(*(registr7012--)); //vyčítání a odeslání
    }
    SETBIT(PORTD,LE); //LE -> 1 //konec přenosu
}

```

4.1.6 Sestavení APRS rámce

Formát vysílaných dat je popsán v kapitole 1.1. Dle tohoto popisu jsou data sestavena pomocí použitého podprogramu. Nejprve se vyšle sled dvaceti návěstí s binární hodnotou 7Eh sloužících k indikaci začátku rámce a synchronizaci přijímače. Dále se načte a následně odešle zdrojová a cílová adresa a parametrem podprogramu jsou samotná data určena k odeslání. Celý rámec je ukončen opět sledem dvaceti bajtů s hodnotou 7Eh.

```

void aprs_UIframe(char *Inf_field)
{
    //Flag-Destination Address-Source Address-Digipeater Addresses(0-8)-
    //ControlField(UI)-ProtocolID-INFORMATION FIELD-FCS-Flag
    unsigned char i;
    char callsign[10]="\0"; //pomocný řetězec
    flag_on=0; //send flag, nepřidávej nulu!
    no_crc=1; //nepočítej CRC!
    for(i=0;i<20;i++) //pošli 20x
        {send_byte(flag);} // 0x7e
    flag_on=1; //přidej nulu po pěti jedničkách
    no_crc=0; //počítej CRC
    crc=0xffff; //výchozí hodnota pro výpočet CRC
    strncpy(callsign, CALL_message, 6); //prvních 6 znaků v řetězci
    //CALL_message obsahuje cílovou adresu
    send_callsign(callsign); //volací znak volaného
    send_byte(0x00);
    strncpy(callsign, &CALL_message[7], 6); //znaky 7-13 v řetězci
    //CALL_message obsahují zdrojovou adresu
    send_callsign(callsign); //volací znak volajícího
    send_byte(0x01); //bez opakováče, konec adresního pole
    send_byte(0x03); //UI-frame
    send_byte(0xf0); //no layer 3 protocol
    while(*Inf_field)
    {
        send_byte(*(Inf_field++)); //informační pole - data
    }
}

```

```

no_crc=1;    //nepočítej CRC!
send_crc(crc); //pošli výsledný CRC
flag_on=0;   //send flag, nepřidávej nulu!
for(i=0;i<20;i++) //pošli 20x
{
    send_byte(flag); //0x7e
}
}

```

Funkce „send_callsign“ se od funkce „send_byte“ odlišuje tím, že data řetězce jsou před samotným odesláním posunuta o jeden bit doleva kvůli indikaci ukončení adresního pole jak je popsáno v kapitole 1.1.

4.2 Software pro PC

Díky použitému převodníku sériové linky UART na rozhraní USB je možné komunikovat s PC. Pro co nejjednodušší komunikaci byl napsán program pro ovládání a nastavení parametrů samotného vysílače přesně dle katalogového listu výrobce [1], a další aplikace sloužící k nastavení všech parametrů telemetrické zprávy, frekvenci vysílání a podobně. Jako návrhový software byl použit Borland C++ Builder ve verzi 6.0. Zdrojové kódy všech programů jsou k nalezení v příloženém CD.

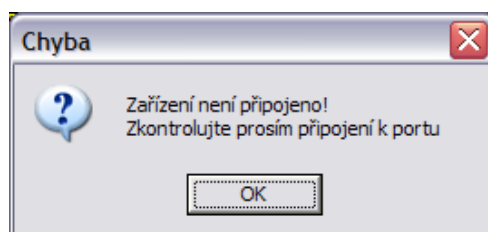
4.2.1 Nastavení parametrů obvodu vysílače

Aplikace pro nastavení řídicích registrů obvodu vysílače vznikla především za účelem testování a sledování změn chování samotného vysílače. Je ovšem vhodné ponechat uživateli možnost změn některých parametrů obvodu, např. doladění nosného kmitočtu, změnu velikosti frekvenčního posuvu FSK modulace nebo výstupní vysílací výkon.

Obrázek 4.3: Aplikace pro nastavení řídicích registrů obvodu vysílače.

Některé parametry není možné uživatelsky měnit prostřednictvím této aplikace, jejich změna by vyvolala nefunkčnost celého zařízení a jsou tedy pevně nastavené.

Program je přehledně rozdělen do čtyř bloků řídicích registrů obvodu vysílače ADF7012 a do bloku sloužícího k odeslání parametrů registru do řídicího obvodu vysílače. V případě úspěšného odeslání se objeví zeleně podbarvený nápis „PASS“, v případě neúspěchu pak červeně podbarvený nápis „FAIL“. Po spuštění programu se automaticky kontroluje, zda je připojen k portu USB převodník na sériovou linku UART. Pokud není, zobrazí se o tom dialogové okno s upozorněním. Stejný test probíhá také při odeslání dat do zařízení.



Obrázek 4.4: Hlášení o chybějícím převodníku na portu USB.

Komunikace se zařízením probíhá rychlostí odesílání dat 9600baud a s těmito parametry - 8 datových bitů, 1 stop bit a bez paritního bitu.

Identifikátor dat	Identifikátor aplikace	LSB...data	data	data	Data...MSB	Ukončení	Checksum
SETREG	0	x	x	x	x	;	x
7	1	1	1	1	1	1	1

Tabulka 4.1: Formát odeslaných řídicích dat.

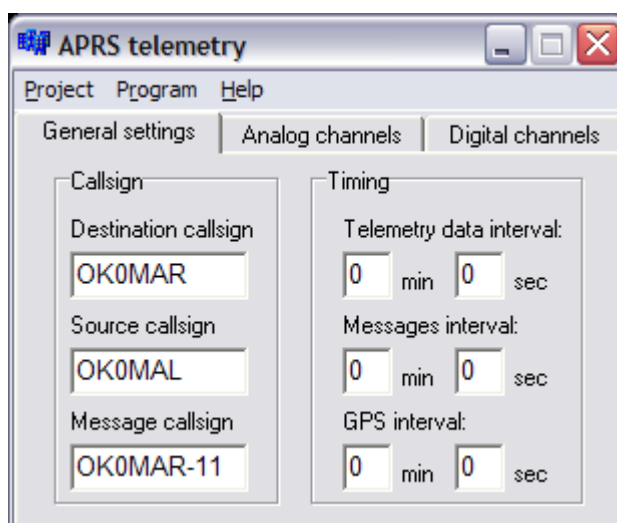
Data jsou odesílána dle výše uvedené tabulky. Nejprve je vyslán řetězec znaků „SETREG“ včetně ukončovacího znaku v celkové délce 7 bajtů. Řídicí obvod se podle tohoto řetězce připraví na příjem dat. Následuje identifikátor aplikace se znakem „0“ určující, zda přijatá data přicházejí od programu pro nastavení řídicích registrů nebo od aplikace pro nastavení parametrů telemetrie (kap.4.2.2). Dále jsou odeslány 4 bajty binárních dat registrů obvodu vysílače od nejnižšího bitu po nejvyšší, ukončovacím znakem je středník „;“ a posledním údajem je binární hodnota kontrolního součtu. Ten je počítán jako funkce XOR čtyř bajtů užitečných dat a ukončovacího znaku. Výchozí hodnota před výpočtem je nula. Po odeslání kontrolního součtu vrátí řídicí obvod binární hodnotu kontrolního součtu zpětně spočítaného podle přijatých dat. Shoda hodnot indikuje korektní příjem.

4.2.2 Nastavení parametrů telemetrických dat

FM vysílač telemetrie popsán v této práci je navržen jako univerzální zařízení, které lze uživatelsky konfigurovat. Pět vstupních kanálů pro měření analogových veličit je možno popsat názvem měřené veličiny, jednotkou, atd. přesně dle popisu APRS protokolu popsaném v kap. 1, resp. v [3]. Dále lze nastavit parametry pro tři dostupné logické vstupy, časování výsledných APRS rámců a také volací znaky.

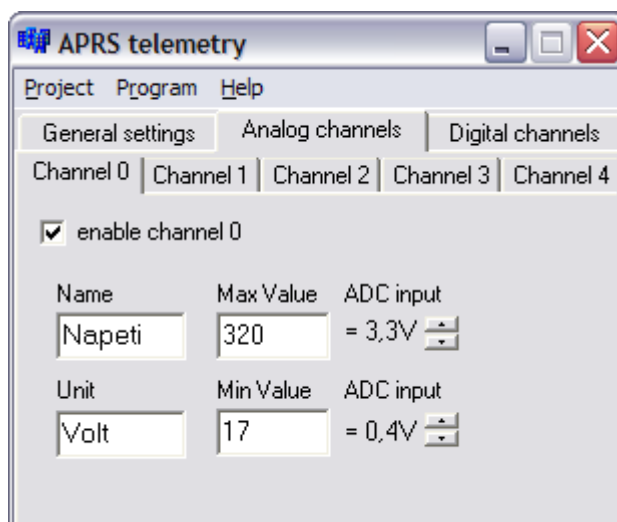
Pro jednoduchost konfigurace byl napsán obslužný program umožňující nastavení

potřebných parametrů telemetrických dat. Program obsahuje tři logicky uspořádané záložky. První záložka slouží k nastavení časování odesílaných rámců a volacích znaků. Maximální odstup vysílání je bez jedné sekundy 100 minut. V případě nulové hodnoty časovače nebude rámeček vysílán.



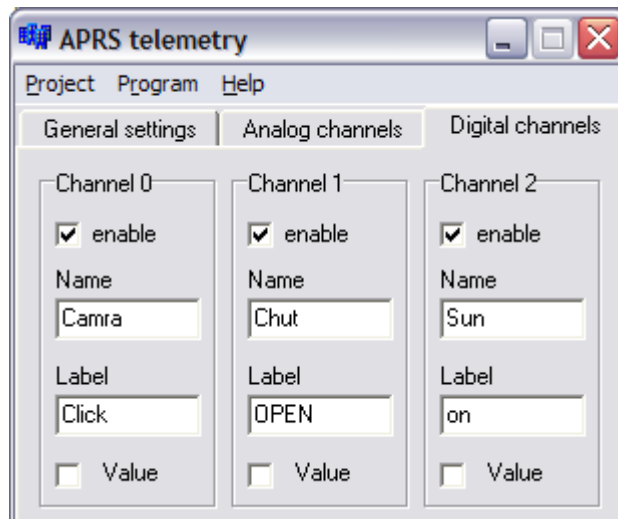
Obrázek 4.5: Nastavení časování telemetrických dat.

Pro nastavení názvů, jednotek a měřících rozsahů je k dispozici záložka „Analog channels“ rozdělena do pěti podzáložek pro každý kanál zvlášť. Minimální a maximální měřené hodnotě lze přiřadit hodnotu velikosti signálu na vstupu AD převodníku. Program převede tyto rozsahy před odesláním do řídicího obvodu vysílače na plný rozsah vstupního signálu AD převodníku a dle protokolu APRS (kap. 1.4.3) spočítá převodní koeficienty.



Obrázek 4.6: Nastavení měřících analogových kanálů.

Poslední záložka slouží ke konfiguraci tří dostupných digitálních kanálů. U každého z nich je možno nastavit výchozí hodnotu v klidovém stavu na vstupu. Po přivedení logické úrovně na vstup digitálního kanálu se tento údaj invertuje.



Obrázek 4.7: Nastavení digitálních kanálů.

Technické parametry pro komunikaci se zařízením jsou stejné jako v případě aplikace pro nastavení řídicích registrů, a tedy bitová rychlost 9600baud, 8 datových bitů, jeden stop bit a bez paritního bitu.

Po nastavení všech parametrů lze odeslat tuto konfiguraci buď přímo do zařízení přes menu programu *Program* → *Load to transmitter*, nebo do textového souboru přes menu *Project* → *Save project*. V obou případech bude nejprve uživatel vyzván k zadání popisu, resp. jména celého projektu. Název se pak vysílá v jedné z telemetrických zpráv. Před odesláním konfiguračních údajů se všechny zadané parametry převedou do jednoho řetězce. Struktura této výsledné posloupnosti je popsána tabulkou 4.2.

Identifikátor dat <i>SETREG</i>	Identifikátor aplikace <i>1</i>	Jména kanálů <i>J1,J2,...;</i>	Jednotky kanálů <i>U1,U2,...;</i>	Převodní koeficienty <i>K1a,K1b,...;</i>	Dig. kanály + popis <i>d1d2...popis;</i>	Volací znaky <i>D,S,M;</i>	Časování <i>Tt,Tm,TG;</i>
7	1	x	x	x	x	24	18

Tabulka 4.2: Formát konfiguračních dat.

Nejprve je vyslán řetězec znaků „SETREG“ včetně ukončovacího znaku. Následuje identifikátor aplikace s hodnotou „1“, který odlišuje data aplikace pro nastavení parametrů telemetrie od aplikace pro nastavení řídicích registrů. Za tímto znakem je vyslán řetězec znaků popisující jména kanálů. Jednotlivé kanály jsou odděleny čárkou a celý řetězec ukončen středníkem. Podobně se vyšlou i jednotky kanálů jako další v pořadí. Převodní koeficienty jsou tři pro každý z pěti analogových kanálů všechny oddělené čárkou. Za poslední se zapíše středník. Další v pořadí jsou hodnoty digitálních kanálů. Použité jsou jen první tři, odešle se tedy hodnota „0“ nebo „1“ a následuje řetězec pěti nepoužitých kanálů „00000“. Dále pak čárka a textový řetězec popisu telemetrické zprávy ukončen středníkem. Po něm se odesílají volací znaky v pořadí odesílatel, příjemce, volací znak použitý ve zprávě telemetrických dat a středník. První dva mají délku 6 znaků, v případě kratších znaků se doplní nulami. Poslední má délku 9 znaků. Posledním konfiguračním řetězcem je údaj o časování v pořadí telemetrie, zprávy a GPS. Data jsou ve formě textového znaku v pořadí minuty, sekundy pro jednotlivé zprávy, všechny oddělené čárkou a ukončené středníkem. Každý časový údaj má pevně danou délku dva znaky. Poslední odeslaný údaj je binární hodnota kontrolního součtu počítaného funkcí XOR ze všech

ochozích bajtů kromě identifikátoru dat a identifikátoru aplikace. Zařízení pak vrátí hodnotu kontrolního součtu přijatých dat vypočtenou stejným způsobem. Tím se potvrdí bezchybný příjem.

4.2.3 Program pro příjem AFSK signálu

AFSK signál je možné přímo připojit na vstup zvukové karty libovolného PC. Stačí mít nainstalovanou vhodnou dekodovací aplikaci, která podporuje použití zvukové karty jako modemu, a pak je možné data přijímat pomocí ní a dále v PC zpracovávat.

Pro dekodování AFSK signálu se osvědčil volně dostupný software AGW Packet Engine [8]. Program umožňuje i sledování signálu na vstupu zvukové karty v několika režimech.

Dále je v případě potřeby možné použít program zobrazující přijímaná GPS data přímo na mapě. Volně dostupná je starší 16-bitová verze programu UI-View ve verzi 2.39 [12]. Lze nakonfigurovat pro komunikaci s aplikací AGW Packet Engine, což umožňuje přímo zobrazit polohu na mapě. Ve formě zpráv jsou přijímaná i telemetrická data. Přednastavené mapy nejsou moc podrobné, nicméně na internetu lze najít a stáhnout i velmi podrobné mapy určené právě pro tento program. Ukázkou komunikace a zobrazení polohy na mapě lze nalézt v příloze D.

ZÁVĚR

Dle zadání byl rozebrán a popsán protokol APRS. Čtenář byl rovněž seznámen s principem použité modulace AFSK a návrhem konstrukce FM vysílače telemetrických dat. Návrh desky plošného spoje byl vyroben s ohledem na maximální využití součástek v provedení SMD, osazen a oživen. Byla úspěšně ověřena implementace použitého APRS protokolu prostřednictvím příjmu odeslaných rámců rádiem.

Díky zhotovenému programu běžícímu pod operačním systémem MS Windows lze uživatelsky jednoduše konfigurovat celé zařízení dle požadavku uživatele.

Výtkou zkonstruovaného zařízení je ne zcela ideální impedanční přizpůsobení výstupu obvodu vysílače na úkor maximálního dosaženého výkonu.

Navržený vysílač telemetrických dat jistě najde uplatnění v ostrém provozu dnes hodně rozsáhlé APRS sítě.

LITERATURA

- [1] ADF7012 Multichannel ISM Band FSK/GFSK/OOK/GOOK/ASK Transmitter. ANALOG DEVICES, 2004, www.analog.com.
- [2] FREJLACH, K., Paket rádio dnes a zítra. PVT reprog. sekce České Budějovice 2002, ISBN 80-238-6268-5.
- [3] APRS Protocol Specification Version 1.0 APRS Working Group, August 31, 2000, www.aprs.org.
- [4] ATmega88/V 8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash. ATMEL Corporation, 2009, www.atmel.com.
- [5] Stensat Transmitter Module, Stensat Group LLC, www.stensat.org.
- [6] VÁCLAVÍK, R., LAJŠNER L., Paket rádio od A skoro až do Z. BEN – technická literatura, Praha, 1996, ISBN 80-901984-8-1.
- [7] FREJLACH, K., Paket rádio. PVT repr. sekce České Budějovice 1994, ISBN 80-900046-3-6
- [8] KC2RLM's Web Site, www.kc2rlm.info.
- [9] Datasheet of GPS smart antenna module, NL-50xE Sirf3 series. Navilock Europe, 2007, www.navilock.com.
- [10] Popis protokolu NMEA, www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm
- [11] FT232R USB UART IC Datasheet Version 2.01. Future Technology Devices International Limited, 2008, www.ftdichip.com.
- [12] The Official UI-View32 Web Site, www.ui-view.org.

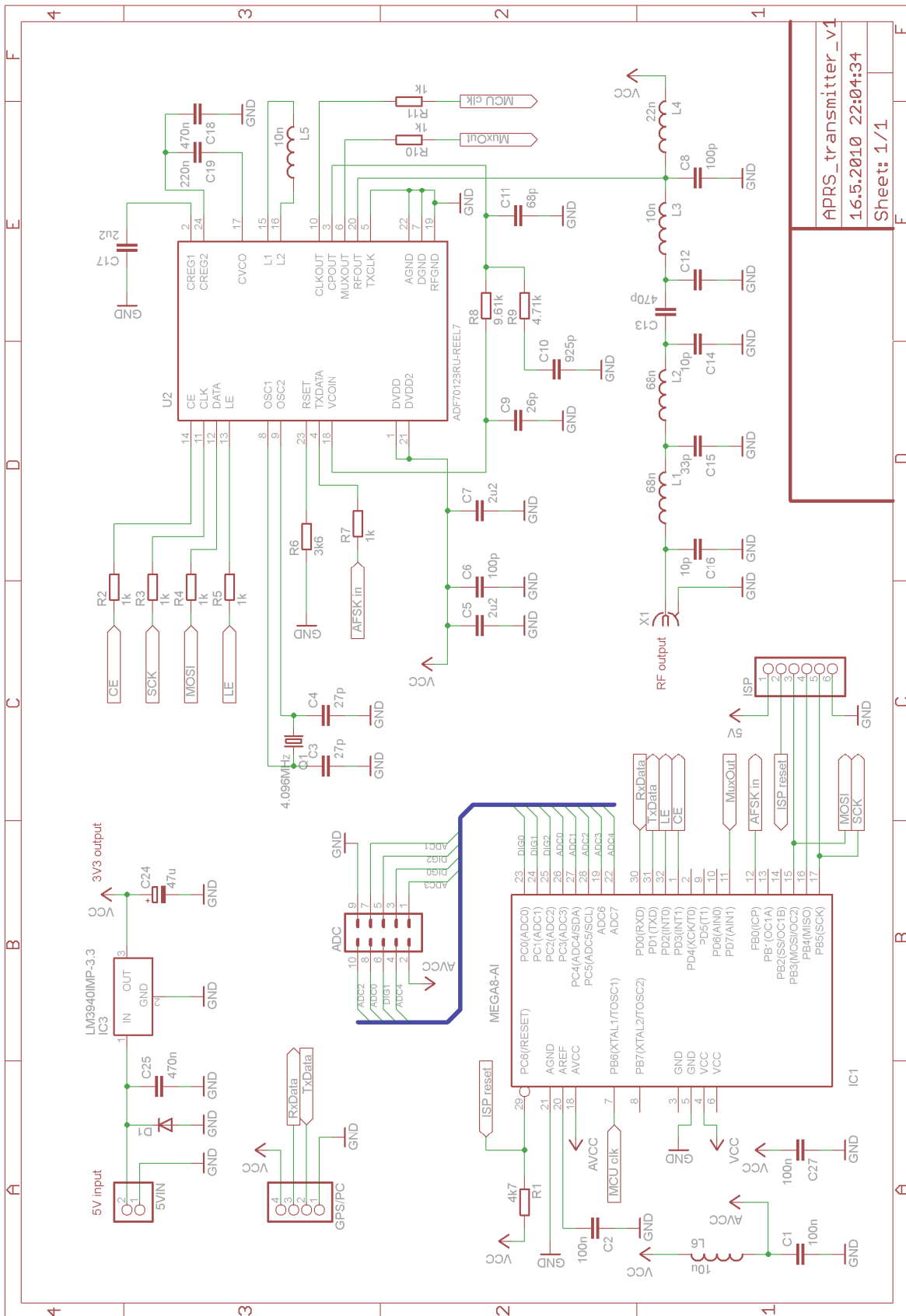
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

F_{OUT}	<i>Výstupní kmitočet FSK vysílače ADF7012.</i>
$F_{CRYSTAL}$	<i>Kmitočet referenčního krystalu obvodu ADF7012.</i>
$F_{DEVIATION}$	<i>Kmitočtový krok FSK modulace obvodu ADF7012.</i>
F_{REF}	<i>Referenční zdroj hodin pro mikropočítač.</i>
F_{AFSK-L}	<i>Periodický nižší AFSK signál.</i>
F_{AFSK-H}	<i>Periodický vyšší AFSK signál.</i>
APRS	Automatic Position Reporting System, systém automatického sledování polohy
NRZI	Non-Return To Zero, bez návratu k nule
AFSK	Audio Frequency Shift Keying, klíčování frekvenčním zdvihem audio signálu
FSK	Frequency Shift Keying, klíčování frekvenčním zdvihem
PLL	Phase Locked Loop, obvod fázové smyčky
PFD	Phase Frequency Detector, fázově frekvenční detektor
VCO	Voltage Controlled Oscilátor, napětím řízený oscilátor
DP	Dolní propust
SPI	Serial Peripheral Interface, sériové periferní rozhraní
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter, univerzální asynchronní vysílač a přijímač
A/D	Analog to Digital Converter, analogově digitální převodník
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
GPS	Global Positioning System, globální poziční systém

SEZNAM PŘÍLOH

A	OBVODOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	29
B	NÁVRH DPS V MĚŘÍTKU 1:1	30
B.1	TIŠTĚNÉ SPOJE	30
B.2	OSAZENÍ	30
B.3	VÝSLEDNÉ PROVEDENÍ	30
B.4	POPIS VÝVODŮ.....	31
C	PROTOKOL SIMULACE VYSÍLAČE.....	31
C.1	SCHÉMA OBVODU VYSÍLAČE.....	31
C.2	VÝSLEDNÉ CHARAKTERISTIKY V ČASOVÉ OBLASTI	32
C.3	VÝSLEDNÉ CHARAKTERISTIKY V KMITOČTOVÉ OBLASTI.....	32
D	UKÁZKA KOMUNIKACE S PC	33
E	ZMĚŘENÉ SPEKTRUM SIGNÁLU	34

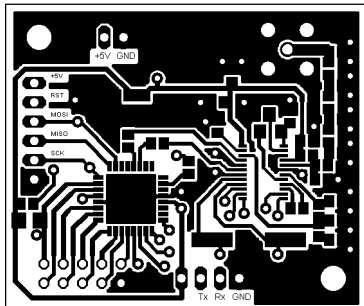
A OBVODOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ



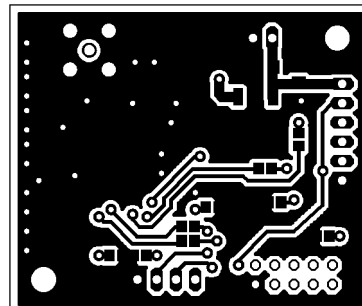
APRS_transmitter_v1
16.5.2010 22:04:34
Sheet: 1/1

B NÁVRH DPS V MĚŘÍTKU 1:1

B.1 Tištěné spoje

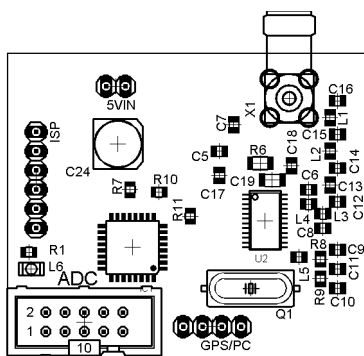


Pohled ze strany „TOP“

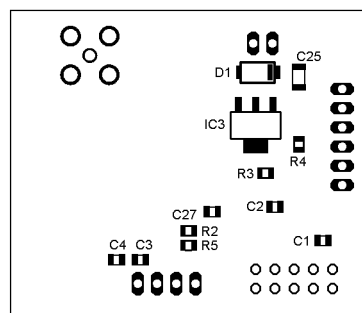


Pohled ze strany „Bottom“

B.2 Osazení



Osazení ze strany „TOP“

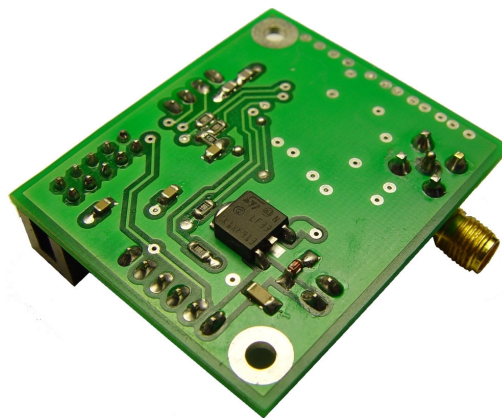


Osazení ze strany „Bottom“

B.3 Výsledné provedení

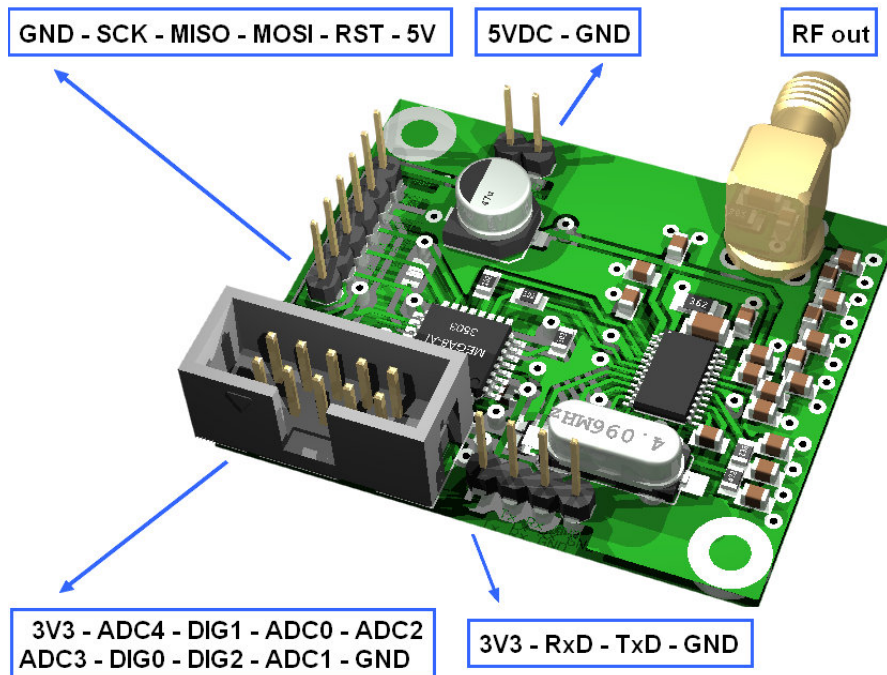


Provedení ze strany „TOP“



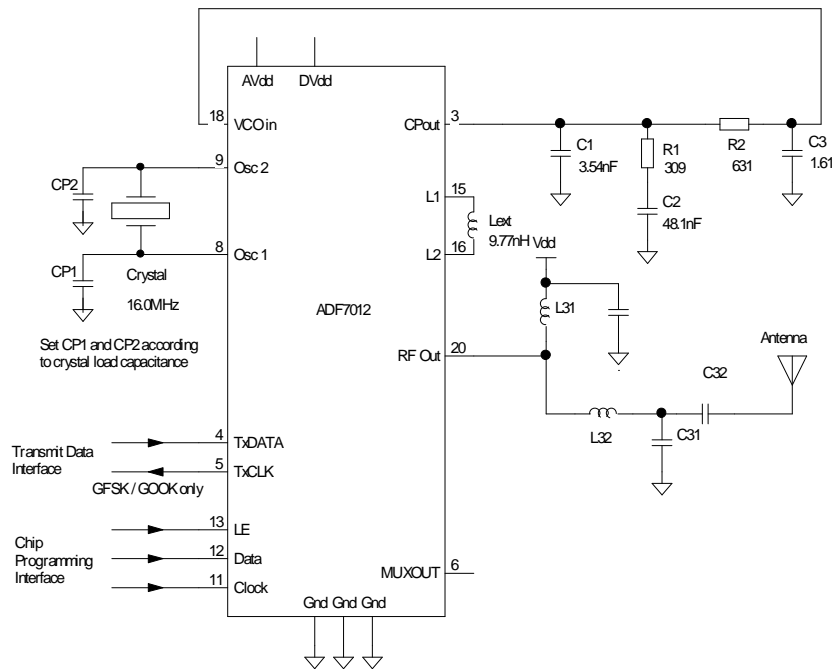
Provedení ze strany „Bottom“

B.4 Popis vývodů



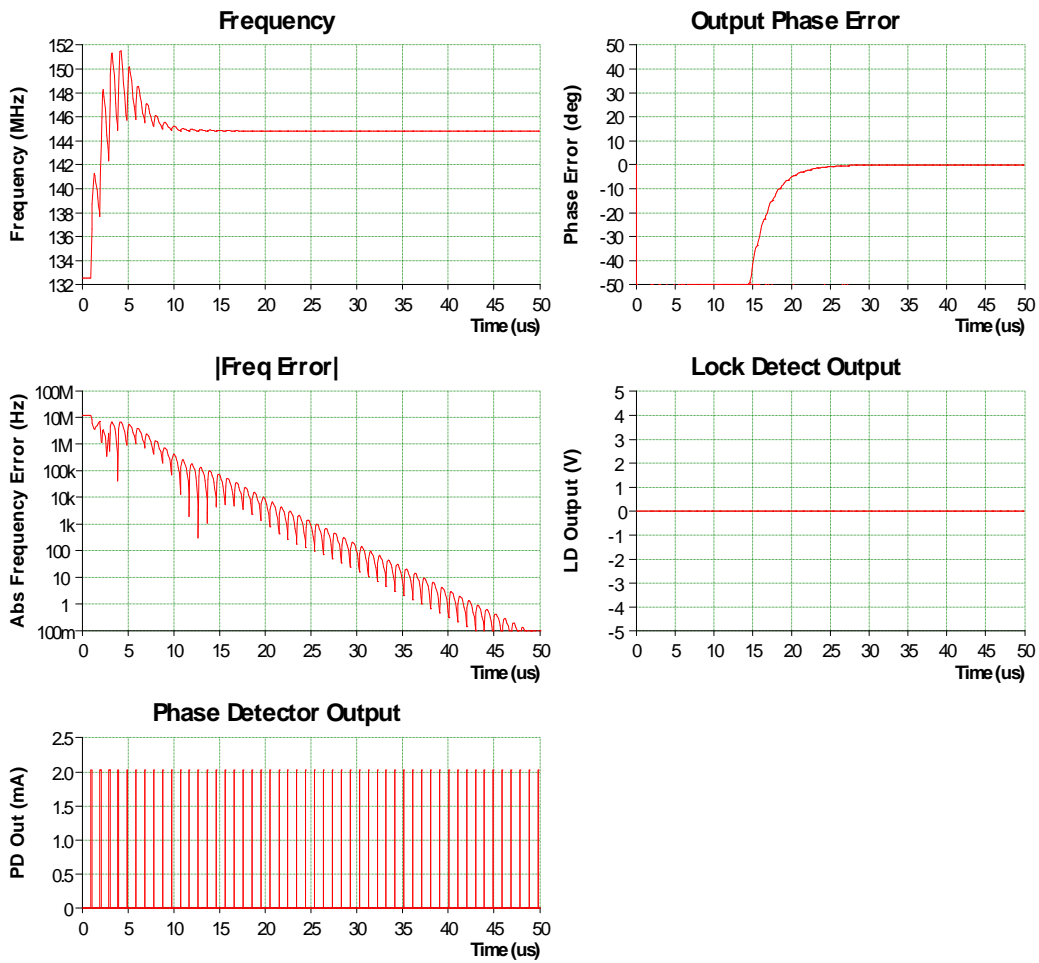
C PROTOKOL SIMULACE VYSÍLAČE

C.1 Schéma obvodu vysílače

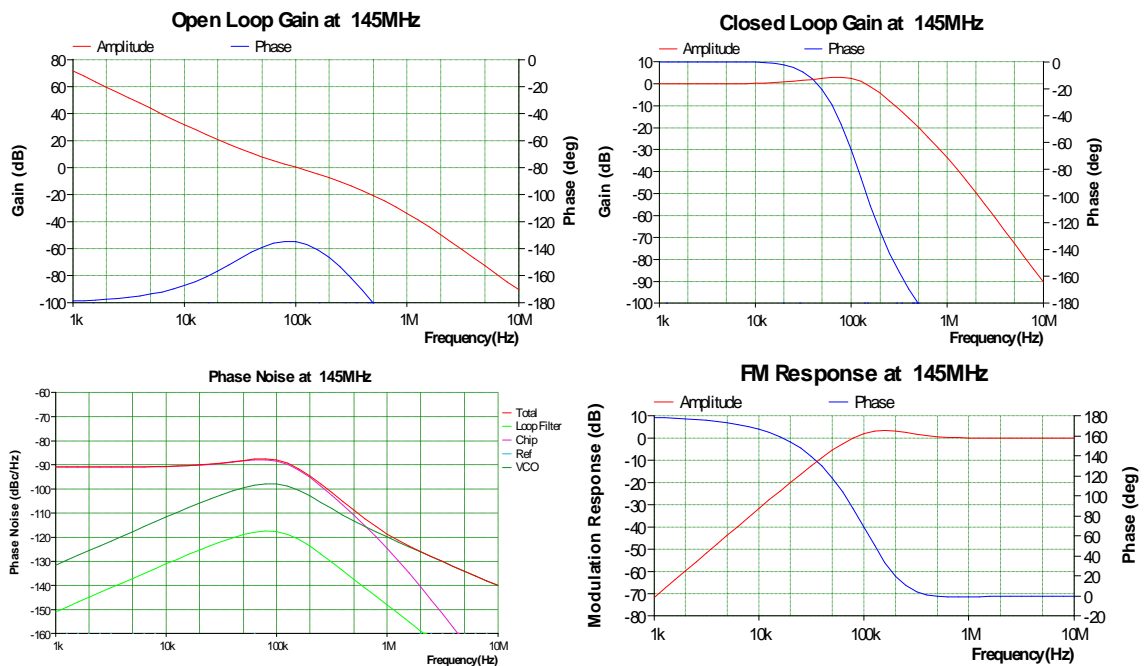


- Notes:
1. Indicative schematic only
 2. All power supply connections not shown
 3. Bypass capacitors and bias resistors not shown
 4. For full details see device data sheet

C.2 Výsledné charakteristiky v časové oblasti



C.3 výsledné charakteristiky v kmitočtové oblasti



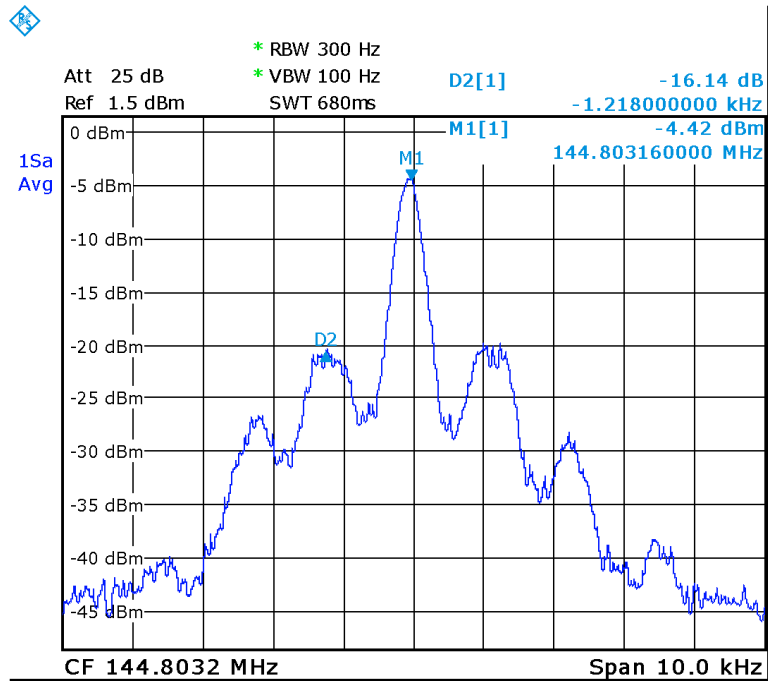
D UKÁZKA KOMUNIKACE S PC

The screenshot displays a software interface with three main components:

- Map:** A topographic map of the Brno region in the Czech Republic, showing cities like Brno, Prostějov, and Břeclav. A red line is drawn across the map, and a red dot is placed near the town of Blatná, labeled "OKOMAR".
- Terminal Window:** A window titled "Terminal" showing a series of communication logs. The logs include timestamps, coordinates, and various data packets such as "OKOMAR-11:UNIT.v/100,deg.F,deg.F,Mbar,Kft,Click,OPEN,on" and "OKOMAR-11:EQNS.0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,1".
- AGW SoundCard Tuning Aid:** A window titled "AGW SoundCard Tuning Aid" with a warning: "This View Consumes a lot of Processor Resources. So keep it open only for the time needed." It features an oscilloscope showing a waveform, a "SoundCard Selection" dropdown menu set to "Realtek HD Audio Input RadioPort1", and radio buttons for "Oscilloscope Style" including "SineWave", "Frequency Spectrum", "Eye Diagram", and "Waterfall Spectrum".

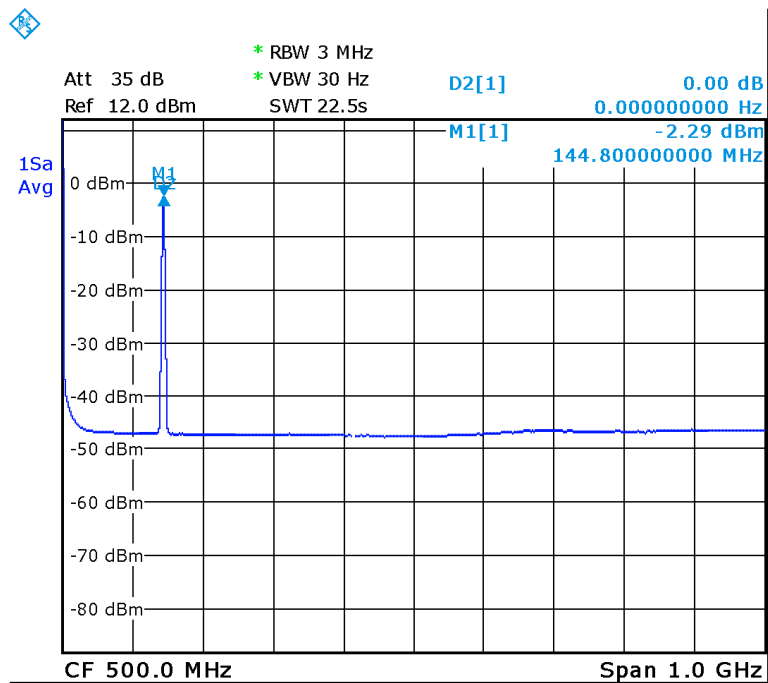
At the bottom of the interface, a status bar shows the call sign "JN89FO" on the left and the frequency "49.35.88N" and "16.26.09E" on the right. The terminal log at the bottom of the window shows: "11:46:34R OKOMAR>OKOMAL Port=1 <UI Len=56>: OKOMAR-11:UNIT.v/100,deg.F,deg.F,Mbar,Kft,Click,OPEN,on".

E ZMĚŘENÉ SPEKTRUM SIGNÁLU



Date: 23.APR.2010 20:48:50

Detail spektra vysílaného FSK signálu



Date: 23.APR.2010 20:56:20

Měření potlačení vyšších harmonických výstupním filtrem