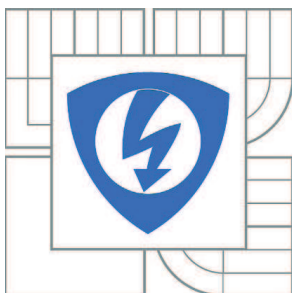


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MONITOROVACÍ PŘIJÍMAČ PRO VKV LETECKÉ PÁSMO

VHF AIR-BAND MONITORING RECEIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

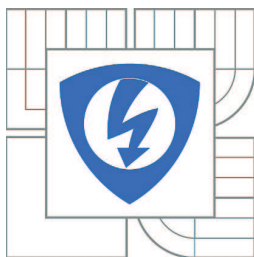
Bc. MARTIN SOBOTKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO 2011



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 Sobotka

ID: 72889

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Monitorovací přijímač pro VKV letecké pásmo

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se architekturami řešení rádiových přijímačů s kmitočtovou syntézou pro letecké pásmo VKV. Navrhněte blokové schéma přijímače ovládaného z PC pomocí USB rozhraní včetně přenosů audiosignálů s vhodným uživatelským rozhraním (tlačítka, displej). Provedte rozbor jednotlivých subsystémů přijímače. Navrhněte kompletní schéma zapojení přijímače a desku plošných spojů, kterou osadíte a provedte základní oživení rádiové části. Provedte rozbor firmware řídicího mikrokontroléru. Setestujte a odladte firmware mikrokontroléru a dokončete oživení celého přijímače. Provedte komplexní měření parametrů přijímače.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŽALUD, V. Moderní radioelektronika. BEN - technická literatura. Praha, 2004.

[2] DANĚK, K. Moderní rádiový přijímač. BEN - technická literatura. Praha, 2005.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem této práce je navržení zapojení monitorovacího přijímače pro letecké pásmo a jeho praktická realizace. Přijímač je ovládán z PC pomocí sběrnice USB, po které je zároveň přenášén digitalizovaný audiosignál. Celé zařízení lze ovládat z PC nebo některé základní funkce pomocí tlačítek.

KLÍČOVÁ SLOVA

letecké pásmo, rádiový přijímač, superthet, kmitočtová syntéza

ABSTRACT

The aim of this work is to propose the involvement of a monitoring receiver for air band and its practical realization. The receiver is controlled from a PC via USB, after which it is transmitted simultaneously digitized audio signal. The receiver can be controlled from a PC, or some basic function by buttons.

KEYWORDS

air band, radio receiver, superthet, frequency synthesis

SOBOTKA, M. *Monitorovací přijímač pro VKV letecké pásmo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 63 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Monitorovací přijímač pro VKV letecké pásmo 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, 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	xi
Úvod	1
1 Rozbor zadání	2
1.1 Letecká radiokorespondence.....	2
1.2 Základní údaje o přijímaném pásmu.....	2
1.3 Koncepce přijímače typu superheterodyn.....	3
1.4 Kmitočtová syntéza.....	3
1.5 Požadavky na přijímač.....	4
2 Řešení přijímače	5
2.1 Blokové schéma.....	5
2.2 Vstupní filtr.....	6
2.3 Řízený předzesilovač.....	6
2.4 Obvod přijímače ML13135.....	6
2.5 Napětím řízený oscilátor.....	7
2.6 Zesilovač výstupu napětím řízeného oscilátoru.....	7
2.7 Obvod fázového závěsu.....	7
2.8 Oscilátor referenčního kmitočtu.....	10
2.9 Obvody úpravy nízkofrekvenčního signálu.....	10
2.10 Obvod AGC.....	11
2.11 Mikrokontrolér.....	11
2.12 AD převodník.....	11
2.13 Uživatelské rozhraní.....	12
2.14 Audio kodek.....	12
2.15 USB HUB.....	13
3 Návrh zapojení a plošného spoje	15

3.1	Schéma analogové části.....	15
3.1.1	Vstupní filtr.....	15
3.1.2	Vstupní zesilovač.....	15
3.1.3	Obvod přijímače.....	16
3.1.4	Zesilovač signálu místního oscilátoru.....	16
3.1.5	Obvod úpravy nízkofrekvenčního signálu.....	17
3.1.6	Obvod AGC.....	17
3.1.7	Obvody napájení.....	18
3.2	Schéma digitální části.....	18
3.2.1	Mikrokontrolér.....	18
3.2.2	Obvod fázového závěsu.....	19
3.2.3	AD převodník.....	20
3.2.4	Digitalizace NF signálu.....	20
3.2.5	USB HUB a obvody napájení.....	21
3.3	Schéma uživatelského rozhraní.....	22
3.4	Plošný spoj analogové části.....	23
3.5	Plošný spoj digitální části.....	23
3.6	Plošný spoj části uživatelského rozhraní.....	23
4	Program mikrokontroléru	24
4.1	Vývojový diagram.....	24
4.2	USB rozhraní.....	25
4.3	Inicializace periferií.....	25
4.4	Hlavní smyčka.....	25
4.4.1	Ovládání umlčovače.....	25
4.4.2	Skenování kmitočtů.....	26
4.4.3	Obsluha tlačítek.....	27
4.4.4	Zpracování povelů.....	27
4.5	Komunikační protokol.....	27
5	Připojení k PC	28
5.1	Ovládací program pro PC.....	28
6	Měření na přijímači	30
6.1	Proudový odběr.....	30

6.2	Přenos vstupního filtru.....	30
6.3	Fázový šum lokálního oscilátoru.....	32
6.4	Měření závislosti generované frekvence na řídicím napětí.....	32
6.5	Měření úrovně přijímaného signálu.....	33
6.6	Měření citlivosti přijímače.....	34
6.7	Měření šířky pásma a chyby naladění přijímače.....	35
7	Shrnutí parametrů	36
8	Závěr	37
	Literatura	38
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	39
	Seznam příloh	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Blokové schéma superheterodynu [3]	3
Obr. 1.2: Zapojení syntezátoru se smyčkou PLL [3]	4
Obr. 2.1: Blokové schéma přijímače	5
Obr. 2.2: Blokové schéma integrovaného obvodu ML13135 [5]	6
Obr. 2.3: Blokové schéma obvodu LMX2306 [6]	8
Obr. 2.4: Průběhy signálů při komunikaci s obvodem fázového závěsu [6]	8
Obr. 2.5: Formát rámce R Counter [6]	9
Obr. 2.6: Formát rámce N Counter [6]	9
Obr. 2.7: Formát rámce Function Latch [6]	10
Obr. 2.8: Blokové schéma obvodu ADC084S051 [8]	12
Obr. 2.9: Průběh komunikace s AD převodníkem [8]	12
Obr. 2.10: Blokové schéma obvodu PCM2900 [9]	13
Obr. 2.11: Blokové schéma obvodu TUSB2036 [10]	14
Obr. 3.1: Výřez ze schématu - vstupní filtr	15
Obr. 3.2: Výřez ze schématu - vstupní zesilovač	16
Obr. 3.3: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor	16
Obr. 3.4: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor	17
Obr. 3.5: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor	17
Obr. 3.6: Výřez ze schématu - obvody napájení	18
Obr. 3.7: Výřez ze schématu - mikrokontrolér	19
Obr. 3.8: Výřez ze schématu - obvod fázového závěsu	20
Obr. 3.9: Výřez ze schématu - AD převodník	20

Obr. 3.10: Výřez ze schématu - digitalizace NF signálu	21
Obr. 3.11: Výřez ze schématu - USB HUB	22
Obr. 3.12: Výřez ze schématu - uživatelské rozhraní	23
Obr. 4.1: Vývojový diagram ovládacího programu	24
Obr. 5.1: Směšovač hlasitosti po připojení přijímače	28
Obr. 5.2: Ovládací program	29
Obr. 6.1: Přenos vstupního filtru přijímače (úroveň výstupu na generátoru -20dBm)	30
Obr. 6.2: Schéma pro simulaci přenosu - reálná jakost cívek	31
Obr. 6.3: Přenos filtru - simulace s reálnou jakostí cívek	31
Obr. 6.4: Závislost frekvence VCO na řídicím napětí	32
Obr. 6.5: Měření úrovně přijímaného signálu	33
Obr. 6.6: Blokové schéma pro měření citlivosti	34
Obr. 6.7: Citlivost přijímače pro různou hloubku modulace	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Rozdělení pásem pro leteckou radiokorespondenci [4]	2
Tab. 2.1: Význam bitů C1 a C2 [6]	8
Tab. 2.2: Hodnoty čítačů pro celé přijímané pásmo	10
Tab. 6.1: Závislost změřeného napětí na úrovni přijímaného signálu	33
Tab. 6.2: Výsledky měření citlivosti	34
Tab. 6.3: Výsledky měření šířky pásma a chyby naladění přijímače	35

ÚVOD

Náplní této práce je návrh a výroba monitorovacího přijímače pro letecké pásmo v oblasti velmi krátkých vln. Přijímač má sloužit pro příjem radiokorespondence mezi řídicím střediskem a letadlem, která probíhá na kmitočtech 118 - 137MHz. V práci je návrh koncepce řešení přijímače, výběr a začlenění jednotlivých obvodů do zapojení, návrh schématu a deskek plošných spojů, popis programu pro mikrokontrolér, popis ovládacího programu pro PC a měření základních parametrů přijímače.

Vysokofrekvenční část přijímače je realizována jako superheterodyn s dvojitým směřováním za použití obvodu MC13135. Na vstupu přijímače je pásmový filtr, který byl realizován pomocí indukčností v SMD provedení. Místní napětím řízený oscilátor je ovládán pomocí obvodu fázového závěsu LMX2306. Celé zařízení řídí mikrokontrolér AT90USB162, který má již integrovanou podporu USB sběrnice. Pro ovládání slouží tlačítka a k zobrazování je použit LED displej. Přijímač umožňuje přenos audiosignálu po sběrnici USB díky využití obvodu PCM2900.

K přijímači byl vytvořen jednoduchý ovládací program pro PC umožňující ovládání všech funkcí.

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Tato část bude zaměřena na popis základních údajů o leteckém pásmu a podrobné rozebrání zadání: popis přijímaného pásma, přehled možných řešení přijímače a výběr vhodné koncepce.

1.1 Letecká radiokorespondence

Letecká radiokorespondence slouží pro komunikaci pilotů s řízením letového provozu. Většina komunikace probíhá na velmi krátkých vlnách v pásmu 118-137MHz. Pro vojenské lety se navíc používá pásmo 137-144MHz a 230-380MHz.

Pro komunikaci je použit výhradně anglický jazyk, jen v případě místních letů, větroňů - tzn. pro lety v malé výšce a na krátké vzdálenosti je používána regionální řeč.

Komunikace v průběhu jednotlivých částí letu probíhá na několika frekvencích (různé služby), kdy každá slouží pro různou fázi letu. Mezi základní služby patří Clearance Delivery - jako poslední povoluje let podle podaného letového plánu, Ground control - řídí pohyb letadel po letišti, Tower - řídí přílety a odlety letadel na letiště, Radar - vede letadla při přiblížení na přistání, Control - řídí lety letadel po letových cestách. Dalšími službami jsou ATIS - aktuální informace o provozu na letišti a aktuální počasí na letišti a VOLMET - aktuální informace o počasí na vybraných letištích. Tyto dvě informace jsou vysílány nepřetržitě ve smyčce. [4][11]

1.2 Základní údaje o přijímaném pásmu

Přijímač má sloužit pro příjem letecké radiokorespondence v pásmu kmitočtů 118 - 137MHz.

Tab. 1.1: Rozdělení pásma pro leteckou radiokorespondenci [4]

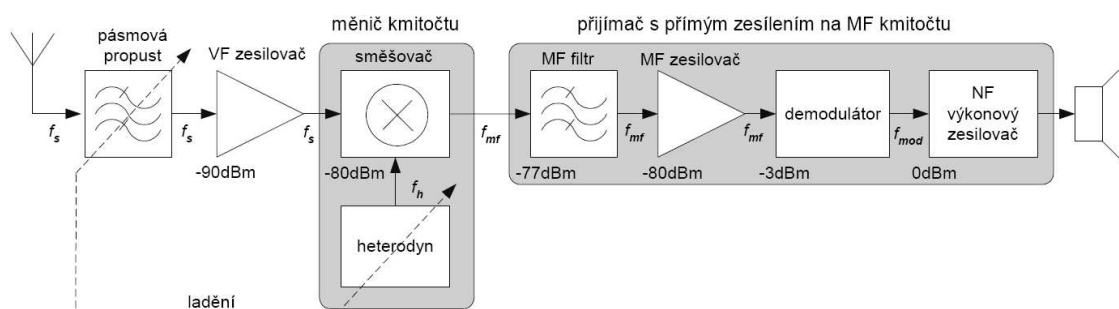
Pásmo (MHz)	Krok (kHz)	Modulace	Uživatelé
108,000 - 117,975	25	AM	Letecká radionavigace-majáky
118,000 - 121,475	25	AM	Letecké pásmo
121,5	25	AM	Letecký nouzový kmitočet
121,600 - 121,975	25	AM	Let.pásmo, provoz po ploše
122,000 - 123,050	25	AM	Let.pásmo, národní přiděl+sportovní
123,1	25	AM	Letecký pátrací a záchranný kmitočet
123,150 - 123,675	25	AM	Let.pásmo, národní přiděl
123,700 - 129,675	25	AM	Let.pásmo, řízení dolní sektor
129,700 - 130,875	25	AM	Let.pásmo, národní přiděl
130,900 - 131,975	25	AM	Let.pásmo, řízení dolní sektor
132,000 - 137,000	25	AM	Let.pásmo, řízení horní sektor

Pro vysílání je použita AM modulace a kmitočtový krok mezi kanály 25kHz, nově je používán i krok třetinový $8,3\bar{3}kHz$. Přibližné rozdělení leteckého pásma různým službám je uvedeno v tabulce 1.1.

1.3 Koncepce přijímače typu superheterodyn

Přijímač pro VKV pásmo lze realizovat mnoha způsoby, jejichž výčet lze nalézt v každé knize zabývající se radiotechnikou (viz např. [3]). Nejjednodušší zapojení používají laděný VF obvod, detektor a NF stupeň. Jejich výhodou je velmi jednoduchá koncepce, ovšem pro zamýšlený účel se zapojení nehodí hlavně kvůli nemožnosti ladění pomocí kmitočtové syntézy a dalším nevýhodným vlastnostem (malá kmitočtová selektivita, kmitočtová stálost apod.).

Ze základních zapojení přijímačů bylo jako nejvhodnější vybráno zapojení superheterodynu (obr. 1.1). Vzhledem k velmi malému kmitočtovému kroku a z toho plynoucího požadavku na kmitočtovou selektivitu bude zvolena koncepce s dvojím směřováním, nejdříve na mezifrekvenci 10,7MHz a následně na 455kHz.



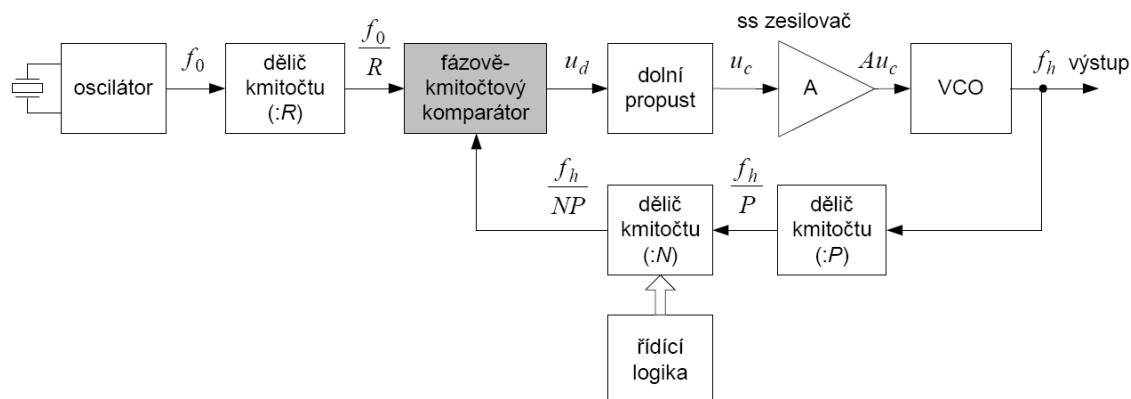
Obr. 1.1: Blokové schéma superheterodynu [3]

Superheterodyn využívá transponování upraveného (filtrovaného a zesíleného) signálu z antény v měniči kmitočtu na takzvaný mezifrekvenční signál (v našem případě 10,7MHz). Ten má pro celé pásmo neměnný kmitočet a výrazně tedy zjednodušuje návrh následujících obvodů. Mezifrekvenční filtr, zesilovač i demodulátor není třeba přeladovat ale pracují se stejnou frekvencí pro všechny přijímané stanice. Vlastní měnič kmitočtu je tvořen směšovačem a místním oscilátorem zvaným heterodyn, který bude realizován pomocí kmitočtové syntézy.

1.4 Kmitočtová syntéza

Kmitočtový syntezátor slouží pro generování harmonických signálů s diskretními kmitočty. Rozdíl dvou sousedních kmitočtů se nazývá kmitočtový krok syntezátoru a je shodný s krokem mezi laděnými frekvencemi. Jednotlivé kmitočty jsou odvozeny od referenčního oscilátoru, který je většinou tvořen krystalovým oscilátorem. Díky tomu lze dosáhnout velké přesnosti kmitočtu. V přijímači bude použit syntezátor s nepřímou koherentní syntézou, jehož základní částí je fázový komparátor, který podle rozdílu

vstupních kmitočtů nastavuje výstup, který po filtraci dolní propustí ovládá napětím řízený oscilátor. Výstup tohoto oscilátoru je spolu s referenčním kmitočtem přes děličky přiveden na vstup fázového komparátoru. Tak je vytvořena zpětná vazba a pomocí děliček lze nastavit široký rozsah výstupních kmitočtů. Blokové schéma viz obr. 1.2. [3]



Obr. 1.2: Zapojení syntezátoru se smyčkou PLL [3]

1.5 Požadavky na přijímač

Přijímač má sloužit pro příjem vysílání s rozestupem frekvencí 25 kHz a s možností zmenšení kmitočtového kroku na $8,3\bar{3}\text{ kHz}$, který je nově používán. To klade zvláštní nároky na obvod fázového závěsu, který musí být schopen vydělit kmitočet z referenčního oscilátoru i kmitočet napětím řízeného oscilátoru na tuto hodnotu kmitočtového kroku. Při výběru je tedy kromě oblasti zpracovávaných frekvencí nutno brát zřetel na dostatečnou velikost čítačů realizujících dělení kmitočtu.

Vzhledem ke kmitočtově nedalekému rozhlasovému pásmu bude vhodné použít vstupní filtr typu pásmová propust, který odstraní vliv silných rozhlasových přijímačů. Pro zvýšení citlivosti a možnosti řízení zisku bude vhodné použití předzesilovače s řízeným zesílením. Tím bude ošetřen i případ velmi silných užitečných signálů, které bude nutno potlačit, aby nebyl přebuzen směšovač.

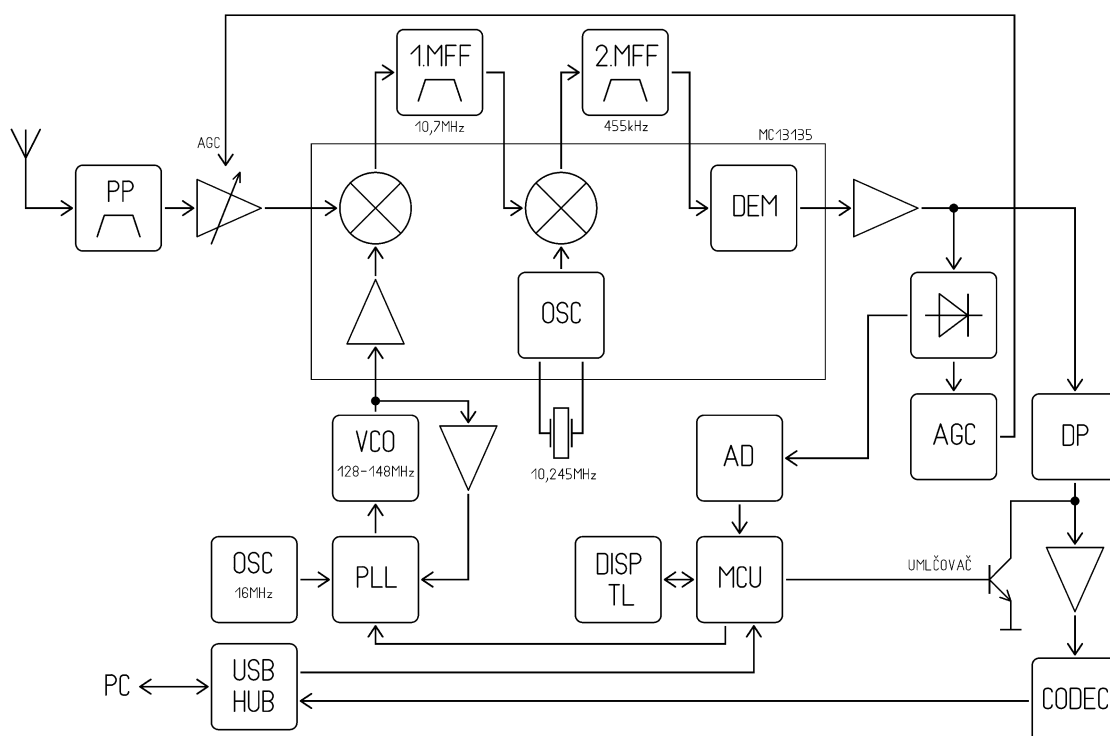
Přijímač má být řízen digitálními obvody a připojen k PC, ze kterého bude ovládán. Současně má být přenášen přijímaný audio signál, to vše po USB sběrnici. Přijímač tedy musí obsahovat vhodný mikrokontrolér, který bude sloužit jako rozhraní mezi PC a všemi ovládacími a kontrolními body přijímače. Zároveň musí být použit vhodný systém digitalizování audio signálu a přenos po USB sběrnici.

Současně s možností ovládat přijímač z PC, je požadováno jednoduché ovládání nejdůležitějších funkcí pomocí tlačítek a zobrazování na vhodném displeji.

2 ŘEŠENÍ PŘIJÍMAČE

V této kapitole je popis řešení všech částí přijímače, výběr vhodného zapojení, popis použitých obvodů a popis blokového schématu.

2.1 Blokové schéma



Obr. 2.1: Blokové schéma přijímače

Význam zkratk v blokovém schématu (obr. 2.1):

- 1.MFF - první mezifrekvenční filtr, 10,7MHz
- 2.MFF - druhý mezifrekvenční filtr, 455kHz
- AD - analogově-digitální převodník
- AGC - automatické řízení zisku
- CODEC - kodek pro převod audio signálu na sběrnici USB
- DEM – demodulátor AM signálu
- DISP – displej
- DP - dolní propust 20kHz pro odstranění rušivých signálů
- MCU – mikrokontrolér
- OSC – oscilátor řízený krystalem
- PLL - obvod fázového závěsu

PP - pásmová propust 118 až 137MHz

TL - tlačítka, ovládání

VCO - napětím řízený oscilátor 128 až 148MHz

2.2 Vstupní filtr

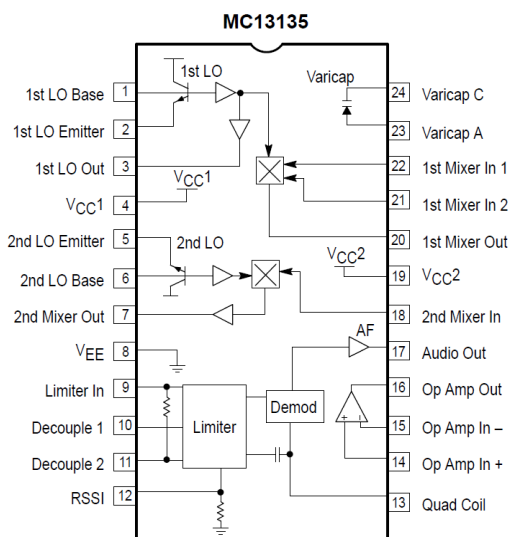
Vstupní filtr je typu pásmová propust a slouží pro výběr přijímaného pásma a potlačení okolních pásem. Jeho pásmo propustnosti je od 118MHz do 137MHz. Je použit filtr 5.řádu a k jeho realizaci jsou využity indukčnosti v provedení SMD, při jejichž výběru byl brán zřetel na co nejvyšší hodnotu činitele jakosti a vysoký rezonanční kmitočet.

2.3 Řízený předzesilovač

Aktivním prvkem řízeného předzesilovače je unipolární tranzistor N-MOSFET BF998 se dvěma řídícími elektrodami. Jedna elektroda je přes vazební kondenzátor připojena ke vstupnímu filtru, druhá elektroda slouží pro nastavení zesílení. Přivedením stejnosměrného napětí na tuto elektrodu lze řídit zisk předzesilovače v rozmezí přibližně -40dB až 20dB.

2.4 Obvod přijímače ML13135

Pro konstrukci přijímače byl zvolen integrovaný obvod MC13135 firmy Motorola (blokové schéma viz obr. 2.2), který po skončení produkce začal dále vyrábět Lansdale pod označením ML13135.



Obr. 2.2: Blokové schéma integrovaného obvodu ML13135 [5]

Jedná se o kompletní FM přijímač s dvojím směřováním, od prvního směšovače až po audio výstup. Navíc obsahuje Colpittsův oscilátor pro generování frekvence pro

první směšovač. Integrovan je i varikap, který ovšem nepostačuje pro přeladění přes celé pásmo, viz kapitola 2.5. Pro demodulaci AM signálu je použit výstup RSSI obvodu.

Hlavní parametry obvodu přijímače:

- napájecí napětí 2-6V
- odběr typicky 3,5mA
- zpracovává frekvence až 200MHz
- citlivost pro 12dB SINAD 1uV (pro FM)

Po prvním směšování vstupního signálu s kmitočtem lokálního oscilátoru je výsledná mezifrekvence 10,7MHz přivedena na externí 1.MF keramický filtr s šířkou pásma 200kHz a útlumem 6dB v propustném pásmu. Dále je signál veden na vstup druhého směšovače, který s pomocí kmitočtu pevného oscilátoru 10,245MHz převádí vstupní signál na druhý mezifrekvenční kmitočet 455kHz. Po filtraci 2.MF filtrem s šířkou pásma 15kHz je signál veden do omezovače, na jehož výstupu je již demodulovaný nízkofrekvenční signál. Obvod obsahuje i operační zesilovač, který je použit pro proudové posílení výstupního NF signálu.[5]

2.5 Napětím řízený oscilátor

Obvod přijímače má integrovaný varikap, ovšem při prvních pokusech se ukázalo, že změna kapacity je nedostatečná vzhledem k šířce přijímaného pásma. Z tohoto důvodu je použit externí varikap BBY40, který již poskytuje dostatečnou změnu kapacity. Místní napětím řízený oscilátor je spolu s varikapem tvořen vzduchovou cívkou o indukčnosti přibližně 50nH, která je tvořena třemi závity na trnu průměru 5mm.

2.6 Zesilovač výstupu napětím řízeného oscilátoru

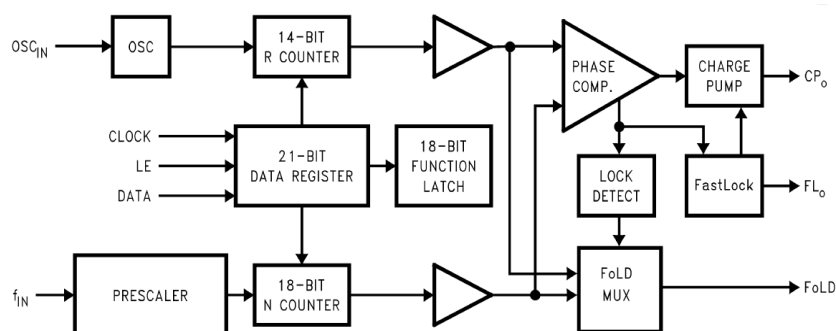
Výstup napětím řízeného oscilátoru není určen pro přímé připojení k obvodu fázového závěsu a je proto nutný zesilovač. K tomuto účelu bude použito tranzistoru BFR93A v zapojení se společným emitorem.

2.7 Obvod fázového závěsu

Pro ovládání napětím řízeného oscilátoru je použit obvod fázového závěsu LMX2306. Jeho blokové schéma je na obr. 2.3.

Základní parametry obvodu LMX2306:

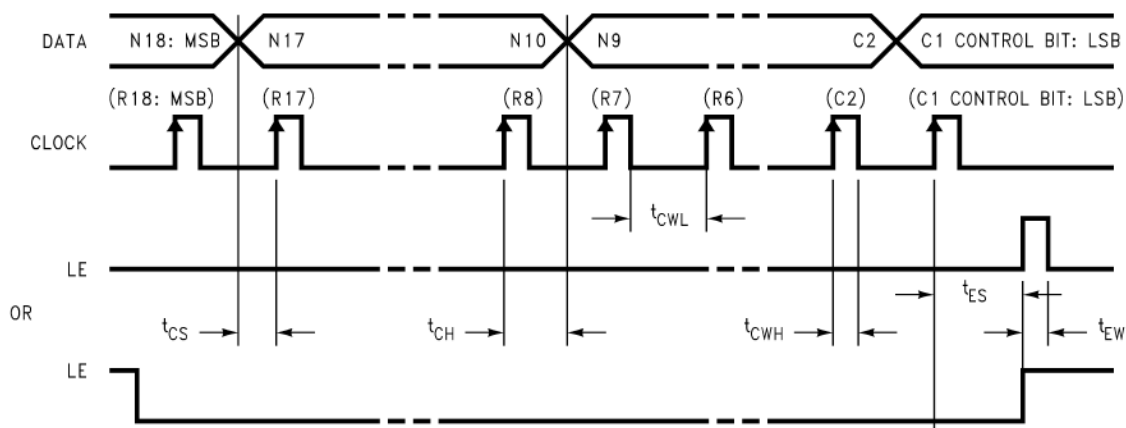
- napájecí napětí 2,3 až 5,5V
- předdělička 8/9
- nastavení pomocí SPI rozhraní
- detekce zavěšení



Obr. 2.3: Blokové schéma obvodu LMX2306 [6]

Obvod obsahuje 14-ti bitový čítač pro dělení referenčního kmitočtu, 18-ti bitový čítač pro dělení frekvence napětím řízeného oscilátoru a jeden logický výstup, na nějž je možno programově připojit výstup některého čítače nebo detekci zavěšení. Filtér smyčky není součástí obvodu a bylo nutné navrhnut externí.

Komunikace s obvodem probíhá pomocí SPI rozhraní. Jsou použity signály DATA, CLOCK a LE, který slouží jako paralelní hodiny (pokyn k zápisu z přijímacího registru do čítačů). Průběhy signálů jsou na obrázku 2.4.



Obr. 2.4: Průběhy signálů při komunikaci s obvodem fázového závěsu [6]

Pro nastavení obvodu jsou definovány čtyři 21-bitové rámce. K jejich odlišení slouží dva první bity nazvané C1 a C2 (Control bits), jejich význam je popsán v tab. 2.1.

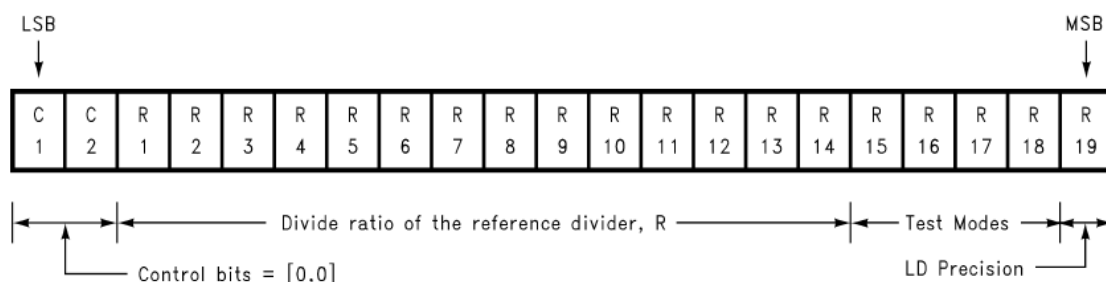
Tab. 2.1: Význam bitů C1 a C2 [6]

Control		DATA Location
C1	C2	
0	0	R Counter
1	0	N Counter
0	1	Function Latch
1	1	Initialization

R Counter (obr. 2.5) slouží pro nastavení dělicího poměru referenčního kmitočtu. Pro jeho nastavení je použito 14 bitů, ostatní bity jsou testovací a musejí být nastaveny na nulu, poslední bit je LD Precision, což slouží pro nastavení detekce zachycení. Referenční kmitočet je roven kmitočtovému kroku, který je třeba $8,3\bar{3} kHz$. Pokud použijeme jako referenční kmitočet hodnotu $16 MHz$ (výběr viz kapitola 2.8), lze snadno spočítat hodnotu tohoto čítače podle rovnice (1):

$$R = \frac{f_{ref}}{f_{krok}} = \frac{16 MHz}{8,3\bar{3} kHz} = 1920 \quad (1)$$

Tato hodnota je po celou dobu provozu zařízení neměnná, kmitočtový krok zůstává stále stejný, změna frekvence nemá vliv na nastavení kroku.

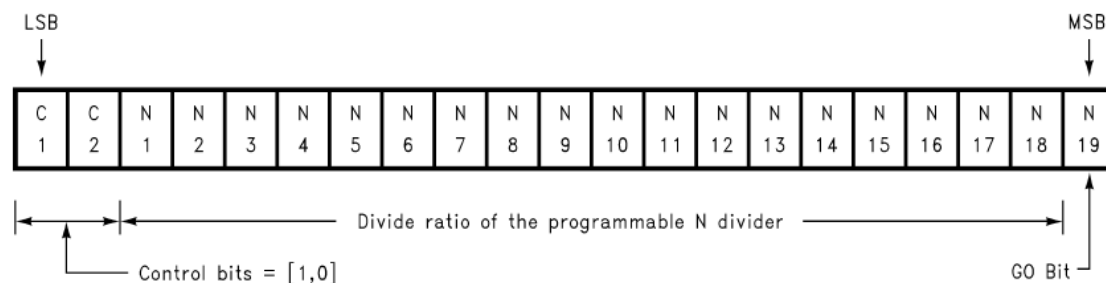


Obr. 2.5: Formát rámce R Counter [6]

Nastavení výstupní frekvence se provádí pomocí rámce N Counter (obr. 2.6). 18 bitů čítače N je ještě rozděleno na 5-ti bitový čítač A a 13-ti bitový čítač B, který je veden přes předděličku. Pomocí těchto dvou čítačů (v součinnosti s čítačem R, který určuje velikost kmitočtového kroku) se nastavuje požadovaná výstupní frekvence podle jednoduchého vzorce (2):

$$f_{VCO} = (8.B + A) \cdot \frac{f_{ref}}{R} \quad (2)$$

kde f_{VCO} je výstupní frekvence systému kmitočtové syntézy, B a A jsou čítače realizující děličku frekvence VCO, f_{ref} je kmitočet referenčního oscilátoru a R je hodnota čítače dělicího referenčního kmitočtu. Z tohoto vzorce lze již snadno určit hodnoty čítačů A a B (N) pro všechny generované frekvence, jejich výpis je v tab 2.2.

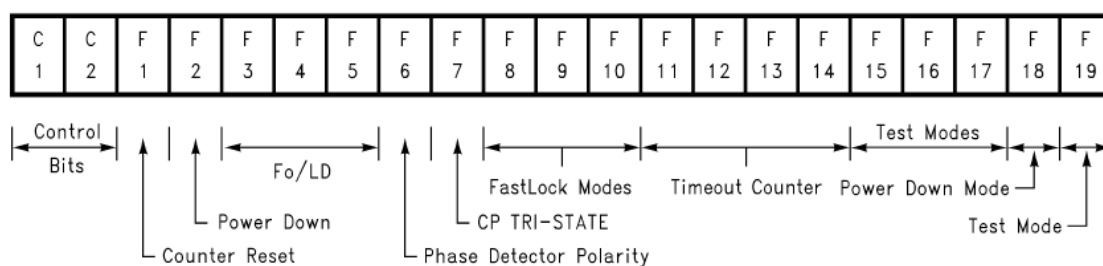


Obr. 2.6: Formát rámce N Counter [6]

Tab. 2.2: Hodnoty čítačů pro celé přijímané pásmo

f prij [MHz]	f vco [MHz]	N	B	A
118,0000	128,7000	15444	1930	4
118,0083	128,7083	15445	1930	5
118,0167	128,7167	15446	1930	6
118,0250	128,7250	15447	1930	7
118,0333	128,7333	15448	1931	0
...				
137,0000	147,7000	17724	2216	0

Formát zbývajících dvou rámců Function Latch a Initialization (obr. 2.7) je stejný, liší se pouze v prvních dvou C bitech. Rámec Initialization slouží k inicializaci obvodu, rámec Function Latch se používá pro změnu funkce během činnosti. Rámec slouží k nastavení výstupního pinu obvodu, polarity fázového detektoru, režimu rychlého zachycení, nebo pro reset čítačů či uvedení obvodu do režimu se sníženou spotřebou. Bližší info lze nalézt v datasheetu [6].



Obr. 2.7: Formát rámce Function Latch [6]

2.8 Oscilátor referenčního kmitočtu

Jako generátoru referenčního kmitočtu je použit krystalový oscilátor o kmitočtu 16MHz. Tento kmitočet byl zvolen kvůli zmenšení vlivu vyšších harmonických - pouze jedna sudá harmonická zasahuje do přijímaného pásma (8. harmonická), žádná lichá harmonická nezasahuje do přijímaného pásma.

2.9 Obvody úpravy nízkofrekvenčního signálu

Audio signál z výstupu operačního zesilovače integrovaného v obvodu přijímače je veden na filtr 2. řádu typu dolní propust s mezním kmitočtem 22kHz, který slouží pro potlačení rušivých neslyšitelných kmitočtů. Dále je signál zesílen na potřebnou úroveň a připraven k dalšímu zpracování v kodeku. Mezi filtr a zesilovač je ještě připojen tranzistor, který umožňuje potlačení signálu, pokud je vyhodnoceno, že žádná stanice nevysílá (tzv. SQUELCH). Tranzistor je řízen mikrokontrolérem podle úrovně přijímaného signálu.

2.10 Obvod AGC

Stejnoseměrná hodnota výstupu RSSI obvodu přijímače odpovídá úrovni přijímaného signálu. Toho je využito k měření úrovně přijímaného signálu a řízení zisku předzesilovače.

2.11 Mikrokontrolér

Pro řízení celého přijímače bude sloužit mikrokontrolér, který bude mít již integrované rozhraní USB pro připojení přijímače k osobnímu počítači. Z dostupných obvodů byl vybrán obvod rodiny AVR AT92USB162.

Důležité parametry mikrokontroléru AT92USB162:

- 16kB programové paměti
- 512B datové SRAM
- 512B datové EEPROM
- USB 2.0 Full-speed rozhraní
- SPI rozhraní
- 22 I/O pinů
- napájecí napětí 2,7 až 5,5V [7]

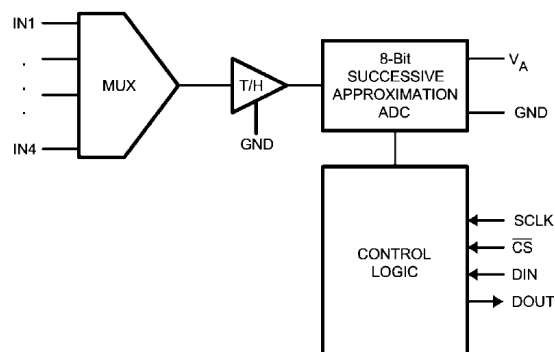
Základní funkcí mikrokontroléru je nastavení přijímané frekvence, což znamená nastavení hodnot čítačů předděliček obvodu PLL. Komunikace s obvodem PLL probíhá po sériovém SPI rozhraní. Dále mikrokontrolér měří úroveň přijímaného signálu, kterou udává napětí na NF výstupu obvodu přijímače. K tomu je třeba A/D převodníku, který je k mikrokontroléru připojen rovněž přes SPI rozhraní. Pokud mikrokontrolér vyhodnotí, že nevysílá žádná stanice, pomocí tranzistoru umlčí NF signál vstupující do audio kodeku. Mikrokontrolér bude také sloužit pro zobrazování jednoduchých sdělení na displeji a pro čtení povelů z ovládacích tlačítek.

Výhodou mikrokontroléru je integrovaná podpora USB rozhraní, takže jeho připojení k osobnímu počítači je s pomocí vhodného programu velmi jednoduché.

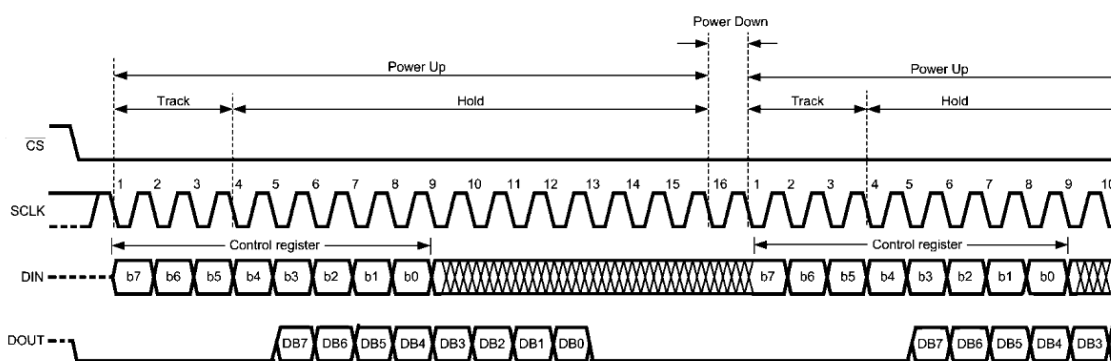
2.12 AD převodník

Pro měření úrovně přijímaného signálu a dalších napětí je použit AD převodník ADC084S051, který má 4 vstupní přepínatelné kanály, využívá aproximační AD převod a má rozlišení 8 bitů. Blokové schéma převodníku je na obr. 2.8.

S mikrokontrolérem probíhá komunikace po SPI rozhraní a využívá všechny jeho signály: CS pro výběr obvodu, SCLK jako hodinový signál, DIN pro vstupní proud dat a DOUT pro data výstupní. Po povolení obvodu signálem CS dojde během 16 aktivních hran signálu SCLK nejprve k zápisu osmi bitů, z nichž jsou dva použity pro výběr kanálu a zbytek nevyužit, a následně k vyčtení osmi bitů odpovídajících naměřené hodnotě napětí zvoleného kanálu. Průběh signálů je zřejmý z obr. 2.9.



Obr. 2.8: Blokové schéma obvodu ADC084S051 [8]



Obr. 2.9: Průběh komunikace s AD převodníkem [8]

2.13 Uživatelské rozhraní

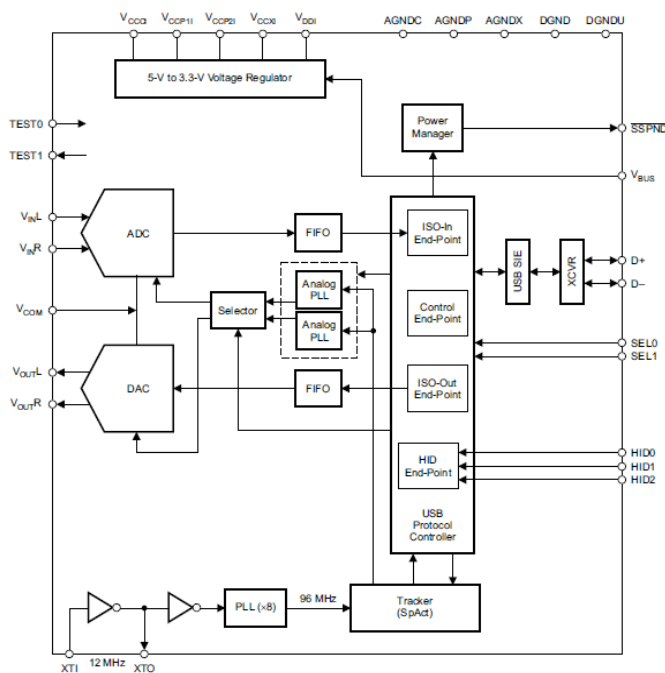
Pro ovládání přijímače je primárně určeno USB rozhraní a PC s obslužným programem, ovšem některé základní funkce bude možné ovládat pomocí čtyř tlačítek. Pro zobrazování naladěné frekvence a jednoduchou indikaci stavu přijímače bude použit displej sestavený ze šestice sedmisegmentových LED zobrazovačů. K buzení každého zobrazovače je použit sériově paralelní registr 74HC595. Tento obvod je pro daný účel velmi vhodný, protože sériový proud dat je schopen převést na paralelní osmibitový výstup, ale zároveň má i sériový výstup, což umožňuje kaskádní řazení obvodů. Výstup navíc obsahuje třístavové výstupní budiče schopné dodat dostatečný proud pro LED zobrazovač.

2.14 Audio kodek

Pro převod NF audio signálu a přenos přes USB rozhraní byl vybrán obvod PCM2900 (blokové schéma viz obr. 2.10), který má stereofonní výstup a vstup a lze jej přes USB rozhraní připojit k PC. Obvod vyžaduje připojení jen několika externích součástek (krystal, blokovací kondenzátory).

Důležité parametry obvodu PCM2900:

- napájecí napětí 5V
- USB rozhraní specifikace 2.0
- 16-ti bitový sigma-delta převodník
- vzorkovací frekvence AD převodu: 8; 11,025; 16; 22,05; 32; 44,1; 48MHz
- vlastnosti AD převodu: poměr signál/šum 89dB, zkreslení (THD+N) 0,01%
- integrovaný antialiasingový filtr [9]



Obr. 2.10: Blokové schéma obvodu PCM2900 [9]

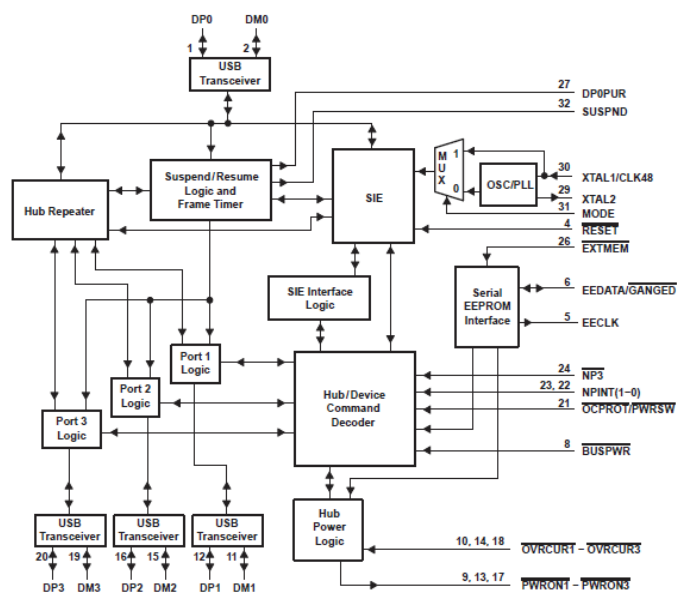
Po připojení k PC s operačním systémem Windows XP a vyšším dojde k automatické instalaci ovladačů a s obvodem lze pracovat jako se standartním LINE-IN a LINE-OUT zvukové karty. Pro dané zařízení je použit jen jeden kanál linkového vstupu.

2.15 USB HUB

Vzhledem k požadavku na připojení mikrokontroléru i audio kodeku přes USB rozhraní byl použit USB HUB realizovaný obvodem TUSB2036, jehož blokové schéma je na obr. 2.11.

Základní parametry obvodu TUSB2036:

- napájecí napětí 3,3V
- 2 nebo 3 výstupní porty USB
- možnost napájení z aplikace nebo z nadřazeného zařízení
- možnost připojení EEPROM pro zadání vlastního VID a PID [10]



Obr. 2.11: Blokové schéma obvodu TUSB2036 [10]

Obvod potřebuje napájení 3,3V, takže je třeba použít stabilizátor pro snížení napětí sběrnice USB. Tento stabilizátor ošem obsahuje mikrokontrolér AT92USB162, takže jej lze s výhodou využít a není třeba další externí součástka.

3 NÁVRH ZAPOJENÍ A PLOŠNÉHO SPOJE

Celý přijímač byl rozdělen na tři části: analogová část, digitální část a část uživatelského rozhraní. Toto rozdělení umožnilo práci na všech částech nezávisle na sobě. Analogová a digitální část byly nejdříve sestaveny jako "předprototyp" pro ověření funkčnosti a odladění nejdůležitějších obvodů a systémů a následně bylo vytvořeno zde předkládané zapojení.

3.1 Schéma analogové části

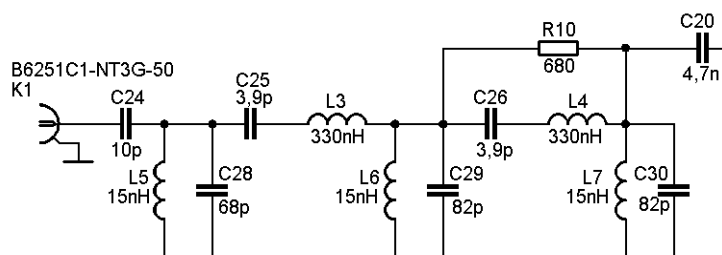
Analogová část obsahuje vše od konektoru antény až po demodulovaný audio signál: vstupní konektor, vstupní filtry, předzesilovač, obvod přijímače, místní napětím řízený oscilátor, obvod úpravy NF signálu a obvod AGC.

Schéma analogové části je umístěno v příloze A.1.

3.1.1 Vstupní filtr

Většina antén a přidavných prvků používaných v oblasti příjmu letecké radiokorespondence je vyráběna s konektory BNC o impedanci 50Ω , z tohoto důvodu byl zvolen tentýž typ konektoru v přímém provedení.

Vstupní filtr typu pásmová propust je 5. řádu a je tvořen indukčnostmi a kondenzátory, jeho schéma je na obr. 3.1. Pomocí změny kapacit C25, C26, C28, C29 a C30 lze jemně doladit pásmo propustnosti, které by mělo být 118 až 137MHz. Kondenzátory C24 a C20 jsou vazební, slouží pro oddělení případné stejnosměrné složky v signálu.

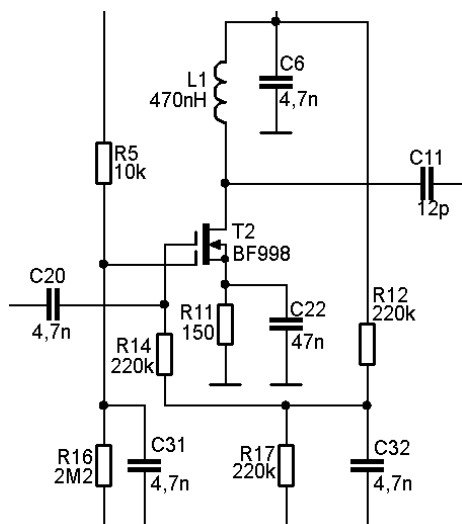


Obr. 3.1: Výřez ze schématu - vstupní filtr

3.1.2 Vstupní zesilovač

Vstupní zesilovač (schéma viz obr. 3.2) je realizován pomocí tranzistoru T2 se dvěma řídicími elektrodami. Na jednu je přes vazební kondenzátor C20 přiveden signál ze vstupního filtru, na druhou přes rezistor R5 napětí z obvodu AGC. R12, R14, R17 a C32 slouží pro nastavení pracovního bodu, R16 a C31 odstraňují možné záškuby na stejnosměrném napětí z obvodu AGC, C6 je blokovací kondenzátor napájecího napětí, L1 slouží k stejnosměrnému napájení zesilovače, R11 pro nastavení zesílení, C22 pro

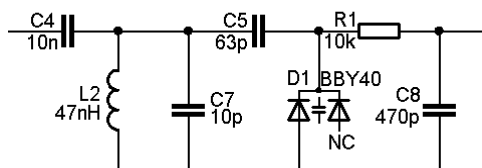
omezení zesílení na nejvyšších nežádoucích kmitočtech a C11 je vazební kondenzátor s dalším stupněm.



Obr. 3.2: Výřez ze schématu - vstupní zesilovač

3.1.3 Obvod přijímače

Zapojení obvodu přijímače IO1 se příliš neliší od katalogového zapojení. Odlišností je zapojení napětím řízeného oscilátoru (obr. 3.3) - nevyužití integrovaného varikapu, ale použití varikapu externího (D1). Kondenzátor C8 slouží k odfiltrování nežádoucího naindukovaného napětí a je součástí filtru smyčky PLL. Rezistor R1 přivádí řídicí napětí na varikap D1, C5 a C7 spolu s varikapem vytváří rezonanční kapacitu a lze pomocí nich doladit rozsah kmitočtů. L2 je rezonanční indukčnost a jedná se o vzduchovou cívku, 3 závity na trnu průměru 5mm. Kondenzátor C4 přivádí generovaný kmitočet do směšovače.



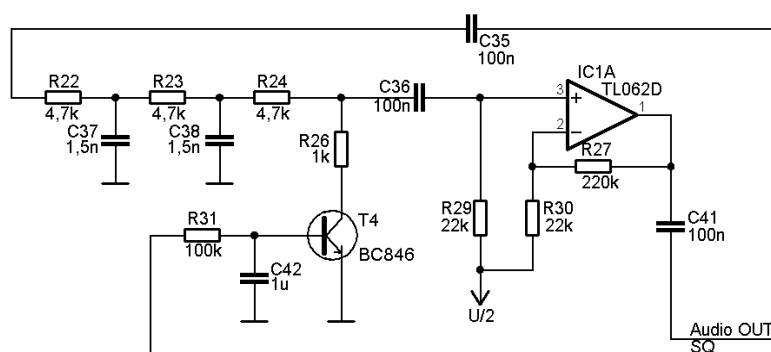
Obr. 3.3: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor

3.1.4 Zesilovač signálu místního oscilátoru

Pro zesílení signálu místního oscilátoru je použit jednotranzistorový stupeň s bipolárním tranzistorem T1. Jedná se o klasické zapojení se společným emitorem. Rezistor R9 slouží jako zátěž výstupu obvodu IO1, C10 je vazební kondenzátor, R4 a R7 slouží k nastavení pracovního bodu, R2 je pracovní zátěž, R8 a C18 nastavuje a omezuje zesílení.

3.1.5 Obvod úpravy nízkofrekvenčního signálu

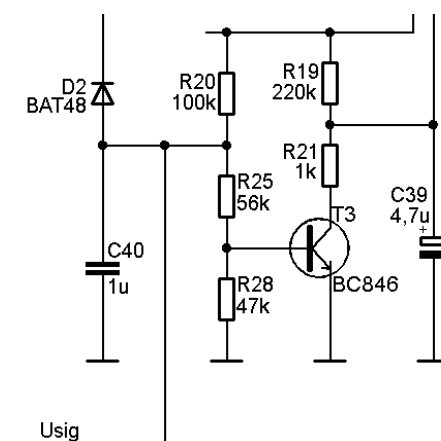
Demodulovaný signál je přes vazební kondenzátor C35 (viz obr. 3.4) přiveden na filtr dolní propust 2. řádu realizovaný pomocí R22, R23, C37 a C38, který slouží pro potlačení neslyšitelných kmitočtů nad 22kHz. Operační zesilovač IC1A zapojen jako neinvertující desetkrát zesiluje signál. Tranzistor T4 uzemňuje přes rezistor R26 nízkofrekvenční signál a vykonává funkci umlčovače. Pomocí R26 lze nastavit míru zeslabení (pro $R26 = 0\Omega$ bude umlčení úplné). Kondenzátor C42 zpomaluje otevírání tranzistoru a odstraňuje nepříjemné lupnutí při poslechu. Rezistor R31 propojuje bázi tranzistoru s příslušným pinem mikrokontroléru.



Obr. 3.4: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor

3.1.6 Obvod AGC

Výstupní signál u pinu RSSI obvodu přijímače je usměrněn přes diodu D2 (viz obr. 3.5) a filtrován kondenzátorem C40, který je nabíjen rezistorem R20. V tomto místě odpovídá velikost stejnosměrného napětí úrovni přijímaného signálu. Napětí je vedeno na konektor (pro měření AD převodníkem). Následujícím děličem tvořeným rezistory R25 a R28 lze nastavit úroveň, při které začne obvod AGC snižovat zesílení vstupního předzesilovače - odpovídá otevírání tranzistoru.



Obr. 3.5: Výřez ze schématu - napětím řízený oscilátor

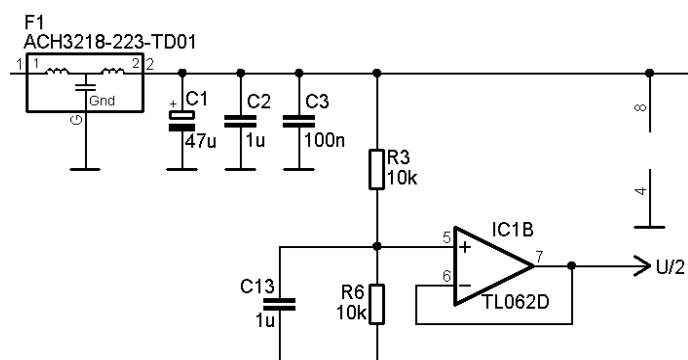
Kondenzátor C39 je při zavřeném tranzistoru nabíjen přes R19 na hodnotu napájecího napětí, pokud se začne tranzistor otevírat, dojde k vybíjení kondenzátoru a snižování napětí přivedeného na elektrodu tranzistoru předzesilovače. Různá hodnota

nabíjecí a vybíjecí časové konstanty má za následek, že v případě příjmu silného signálu je téměř okamžitě sníženo zesílení předzesilovače (dáno R21 a C39), při poklesu úrovně přijímaného signálu je náběh zesílení postupný (dáno R19 a C39).

3.1.7 Obvody napájení

Přivedené napájecí napětí je nejdříve filtrováno LC filtrem F1 (viz obr. 3.6), který účinně potlačuje rušivé kmitočty nad 11MHz, jeho útlum je až 45dB. Následuje trojice blokovacích kondenzátorů C1, C2 a C3.

V zapojení výstupního NF zesilovače je vyžadována polovina napájecího napětí. Toto napětí vytváří operační zesilovač IC1B, který je zapojen jako sledovač napětí na odporovém děliči R3 a R6, na kterém je v nezátíženém stavu právě polovina napájecího napětí.



Obr. 3.6: Výřez ze schématu - obvody napájení

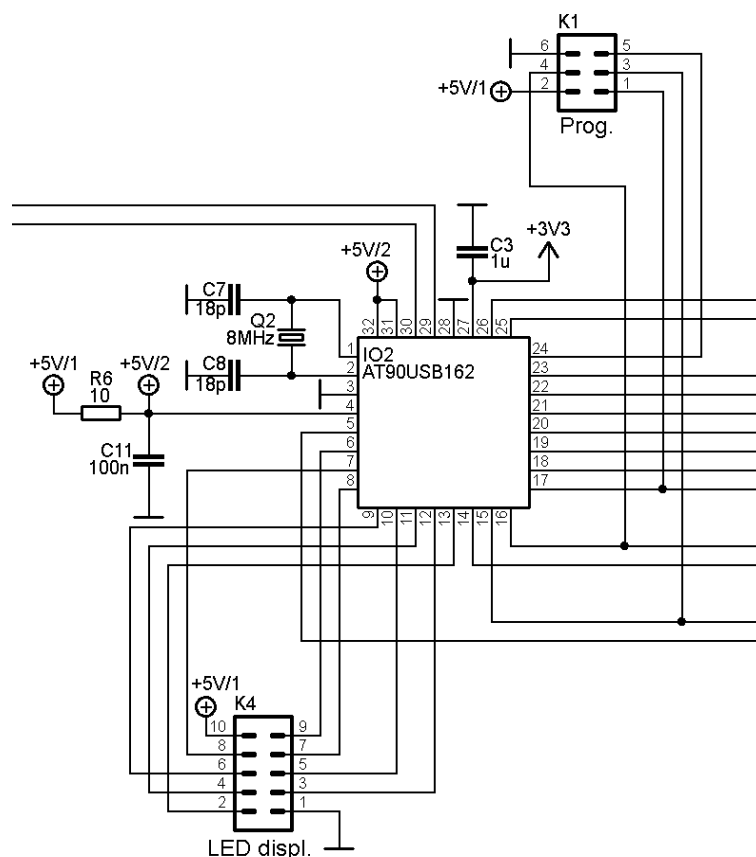
3.2 Schéma digitální části

Hlavním prvkem digitální části je mikrokontrolér, který slouží jako ovládací a měřicí prvek a zároveň vytváří rozhraní mezi povely uživatele (ať již z PC, nebo z tlačítek) a samotným přijímačem. Další důležitou částí je kmitočtový syntezátor, který řídí kmitočet místního oscilátoru a tím mění přijímaný kmitočet. Následují pomocné obvody: AD převodník pro měření úrovně přijímaného signálu, audio kodek pro digitalizování NF signálu a USB HUB pro připojení dvou USB zařízení. Schéma digitální části je umístěno v příloze A.2.

3.2.1 Mikrokontrolér

V zařízení je použit mikrokontrolér AT90USB162 (IO2, viz obr. 3.7), který má podporu sběrnice USB. Pro časování mikrokontroléru je použit krystal Q2 s hodnotou 8MHz (výhodná pro časování signálů USB), který pro správnou funkci oscilátoru potřebuje kondenzátory C7 a C8. Na piny 29 a 30 jsou přivedeny datové vodiče USB sběrnice, na pin 4, 31 a 32 je přivedeno napájecí napětí (po filtraci C11). Mikrokontrolér obsahuje integrovaný regulátor 3,3V, který je nutný pro generování průběhů USB sběrnice, a jeho výstup je vyveden na pin 27. Zde je nutné připojit blokovací kondenzátor (C3) a zároveň je možné toto napětí využít pro jiné obvody do odběru 50mA. Toho je s

výhodou využito pro napájení USB HUBu, čímž došlo k úspoře několika součástek napěťového stabilizátoru.



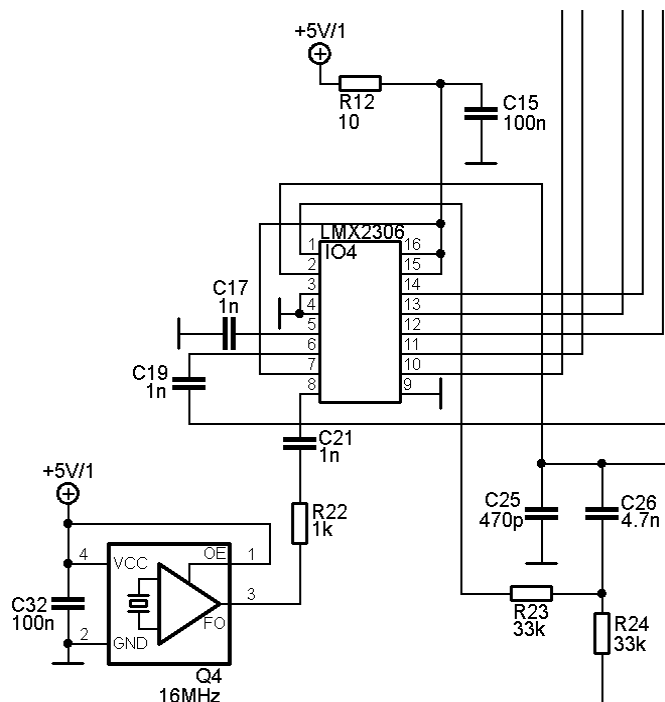
Obr. 3.7: Výřez ze schématu - mikrokontrolér

Programování mikrokontroléru je možné několika způsoby: pro první pokusy pomocí SPI rozhraní, které je pro tyto účely vyvedeno na konektor K1. V případě nahrání vhodného programu (bootloader) je taktéž možné programování přes rozhraní USB. Celý port D je vyveden na konektor K4 a slouží pro připojení uživatelského rozhraní, tzn. displeje se sedmissegmentovými zobrazovači a tlačítek. SPI rozhraní je též využito pro připojení AD převodníku a obvodu fázového závěsu. Ostatní piny slouží pro další potřebné funkce: pomocné komunikační signály a detekce zavěšení pro obvod fázového závěsu, ovládání umlčovače a některé jsou volné pro případné další rozšíření.

3.2.2 Obvod fázového závěsu

Obvod fázového závěsu IO4 (zapojení na obr. 3.8) je realizován pomocí obvodu LMX2306. Napájecí napětí je filtrováno pomocí R12 a C15 a přivedeno na piny 15 a 16. Pin 1 je výstup nábojové pumpy a je připojen k filtru smyčky, který je sestaven ze součástek R23, R24, C25 a C26. Hodnoty součástek a topologie filtru byly navrženy pomocí programu ADIsimPLL. Na pin 6 je přiveden přes vazební kondenzátor C19 sledovaný kmitočet místního oscilátoru a na pin 8 kmitočet referenčního oscilátoru Q4 přes vazební kondenzátor C21 a přes rezistor R22, který slouží k omezení strmosti hran a tím snížení rušení oscilátoru. Referenční oscilátor je napájen napětím 5V, které je

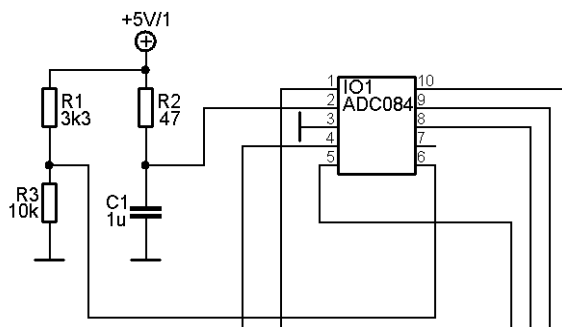
blokováno kondenzátorem C32.



Obr. 3.8: Výřez ze schématu - obvod fázového závěsu

3.2.3 AD převodník

Pro měření potřebných napětí je použit AD převodník ADC084S051, ve schématu na obr. 3.9 se jedná o obvod IO1. Převodník je napájen na pin 2, napětí je filtrováno pomocí R2 a C1. Převodník slouží pro měření úrovně přijímaného signálu na pinu 5, pin 4 je vyveden na konektor K3 a zatím nepoužit a pin 6 měří napětí USB sběrnice, které je upraveno na vhodnou úroveň pomocí děliče tvořeného rezistory R1 a R3.

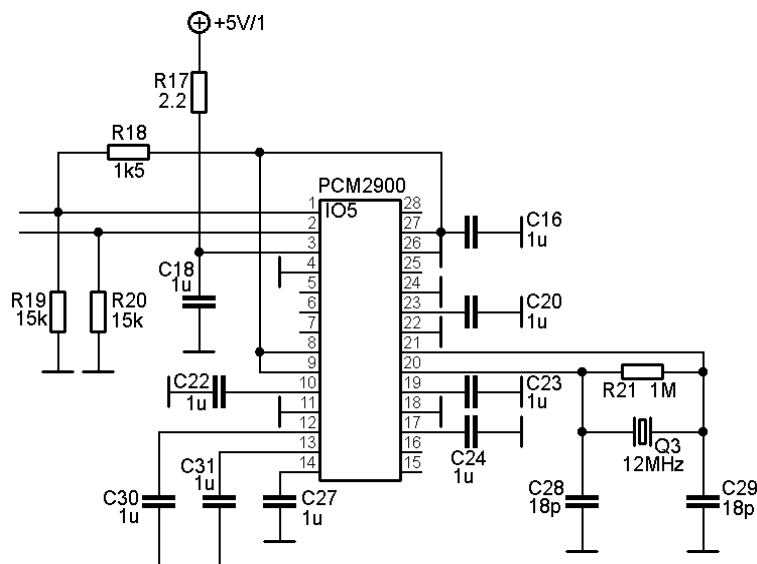


Obr. 3.9: Výřez ze schématu - AD převodník

3.2.4 Digitalizace NF signálu

Pro digitalizaci NF signálu je určen kodek IO5 (viz 3.10) PCM2900. Napájení kodeku je přivedeno přes rezistor R17 a blokováno kondenzátorem C18. Na piny 1 a 2 je připojena sběrnice USB, rezistor R18 slouží jako detekce zařízení specifikace USB 2.00, rezistory R19 a R20 jsou doporučené výrobcem pro optimální přizpůsobení. Na

piny 12 a 13 lze přivést NF signál, oba jsou přes vazební kondenzátory C30 a C31 vyvedeny na konektor K4, jeden je nevyužit. Výstupní piny obvodu jsou 15 a 16, nejsou však využity. Kondenzátory C16, C20, C23, C24 a C27 jsou předepsány výrobcem a slouží pro blokování jednotlivých částí kodeku. Obvod je taktován pomocí krystalu Q3 (o kmitočtu 12MHz), k němu se vztahují i kondenzátory C28 a C29 a rezistor R21.

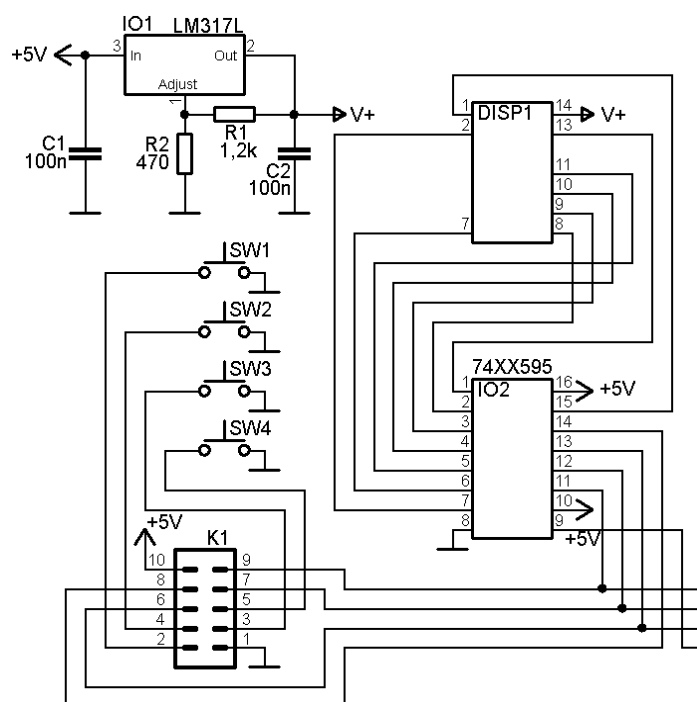


Obr. 3.10: Výřez ze schématu - digitalizace NF signálu

3.2.5 USB HUB a obvody napájení

Kvůli požadavku připojení dvou zařízení USB pomocí jednoho konektoru je v zařízení použit USB HUB. Jeho hlavní částí je integrovaný obvod IO3 (obr. 3.11). Obvod je napájen napětím 3,3V, je zde využito napěťového stabilizátoru integrovaného v mikrokontroléru (bližší popis v kapitole 3.2.1). Na piny obvodu 1 a 2 jsou přivedeny datové vodiče sběrnice USB, rezistory R7 a R8 a kondenzátory C12 a C13 slouží pro správné impedanční přizpůsobení a omezení strmosti hran signálů, R5 indikuje zařízení USB specifikace 2.00. Rezistor R9 spolu s kondenzátorem vytvářejí náběžnou hranu, která se zpožděním po přivedení napájení vyresetuje obvod IO3. Na piny 11 a 12 je připojeno první podřízené zařízení - audio kodek a na piny 15 a 16 je připojen mikrokontrolér. Kondenzátory C9 a C10 jsou blokovací. Krystal Q1 spolu s kondenzátory C2 a C3 a rezistorem R4 tvoří vše potřebné pro správné generování hodinového signálu obvodu IO3.

Napájecí napětí přivedené z konektoru K2 je nejprve upraveno LC filtrem F1 a následně připojenými kondenzátory C4 a C5 jsou odstraněny zbývající zádky. Toto napětí je poté rozvedeno po celém zařízení.



Obr. 3.12: Výřez ze schématu - uživatelské rozhraní

3.4 Plošný spoj analogové části

Obrazec plošného spoje pro analogovou část přijímače včetně osazení součástek je umístěn v příloze B.1 a B.2. Velikost desky plošného spoje je 55 x 41 mm a jedná se o oboustranou prokovenou desku. Většina součástek je umístěna na vrchní straně, některé součástky jsou na spodní straně. Deska je navržena pro použití stínících přepážek z pocínovaného plechu, který je použit pro kompletní odstínění. Ve stínícím krytu jsou pouze otvory pro konektor BNC a konektor propojení s digitální částí.

3.5 Plošný spoj digitální části

Deska plošného spoje je oboustranná a prokovená, velikost desky je 59 x 40 mm. Obrazec plošného spoje s osazením součástek je umístěn v příloze B.3 a B.4. Všechny součástky jsou na vrchní straně desky.

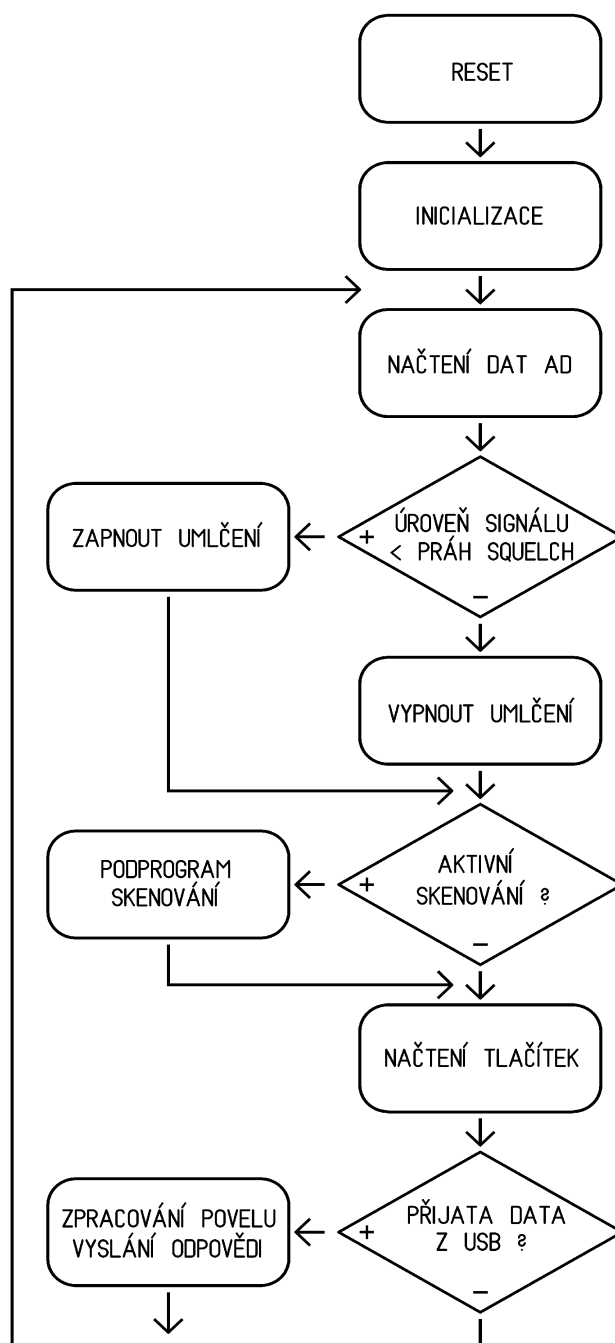
3.6 Plošný spoj části uživatelského rozhraní

Obrazec plošného spoje s rozmístěním součástek je v příloze B.5 a B.6, plošný spoj je oboustranný, prokovený o velikosti 66 x 46 mm. Součástky jsou umístěny z obou stran desky.

4 PROGRAM MIKROKONTROLÉRU

Pro psaní programu pro mikrokontrolér jsem zvolil vývojové prostředí AVR Studio 4 a programovací jazyk C.

4.1 Vývojový diagram



Obr. 4.1: Vývojový diagram ovládacího programu

Vývojový diagram ovládacího programu je uveden na obrázku 4.1. Po resetu mikrokontroléru je nejprve provedena inicializace sběrnice USB a následně všech ostatních použitých částí mikrokontroléru a proměnných. Následně mikrokontrolér pokračuje vykonáváním hlavní smyčky programu. Nejdříve jsou načtena změřená data z AD převodníku a podle hodnoty úrovně přijímaného signálu je aktivován obvod umlčovače. Dále jsou při aktivním režimu skenování průběžně laděny požadované frekvence a v případě nalezení vysílání je toto vysílání sledováno do jeho ukončení. Následuje načtení stavu tlačítek a vykonání jejich funkce. Poslední položkou hlavní smyčky programu je v případě přijatého povelu od PC po sběrnici USB jeho vykonání a odeslání odpovědi o úspěšném či neúspěšném vykonání.

4.2 USB rozhraní

Pro komunikaci mikrokontroléru přes rozhraní USB byla vybrána třída HID, která slouží pro periferie počítače ovládané člověkem s minimálními nároky na přenosovou rychlost. Použití této třídy má velikou výhodu, jelikož není nutné instalovat žádné ovladače pro systém Windows XP a výše.

Ihned po resetu mikrokontroléru je provedena inicializace sběrnice USB a výměna potřebných informací s PC. Způsob přístupu ke sběrnici USB a ukázka použití jsou uvedeny v aplikační poznámce AVR328 [12]. Dále program pokračuje inicializací periférií.

4.3 Inicializace periférií

V podprogramu inicializace jsou nejprve nastaveny jednotlivé piny všech portů (displej, tlačítka, AD převodník, obvod PLL) podle funkce na vstupní nebo výstupní. Následuje nastavení SPI rozhraní pro komunikaci s obvodem PLL a inicializace obvodu PLL vysláním inicializačního rámce. Nakonec je naladěna přednastavená frekvence a ta je zároveň zobrazena na displeji.

4.4 Hlavní smyčka

Hlavní smyčka obsahuje několik podprogramů či bloků programu, které jsou popsány v následujících odstavcích.

4.4.1 Ovládání umlčovače

Na začátku je zavolán podprogram pro změření napětí odpovídajícího úrovní přijímaného signálu. V tomto podprogramu je do AD převodníku vysláno po sběrnici SPI číslo požadovaného kanálu a následně přijata hodnota odpovídající napětí na vstupu tohoto kanálu. Takto získaná hodnota napětí je porovnána s hodnotou prahu, který je uložen v paměti EEPROM. Pokud je úroveň signálu nižší než práh, je na výstup vyslána log. '1', dojde k sepnutí T4 a umlčení signálu, v opačném případě je výstup uvolněn.

4.4.2 Skenování kmitočtů

Pokud je nastaven bit reprezentující aktivní režim skenování, jsou vykonány následující operace, jinak se pokračuje dále v programu.

Z paměti EEPROM je vyčtena hodnota prahu určujícího aktivní vysílání při režimu skenování a tato hodnota je porovnána se změřenou úrovní signálu. Zde se program dělí na dvě části:

Pokud je změřená úroveň signálu menší než nastavený práh, je tato situace vyhodnocena jako neaktivní vysílání. Pokud tomuto stavu předcházelo aktivní vysílání, je odpočítáno zadané zpoždění, pokud ne, pokračuje se na další frekvenci. Z paměti EEPROM je vyčtena další hodnota frekvence a odeslána přes SPI do obvodu fázového závěsu. Následně se čeká na zavěšení fázového závěsu a pokračuje se dále v programu hlavní smyčky.

Pokud je změřená úroveň signálu větší než nastavený práh, je toto vyhodnoceno jako aktivní vysílání. Tato informace je vyslána do PC přes USB a zobrazena na displeji.

Pro lepší pochopení zde uvádím část kódu obsluhujícího skenování:

```
if(ADsig<eeprom_read_byte(&adr_sig_SEEK)){ // pokud je změřena hodnota větší
                                           // než hodnota prahu v EEPROM
    if(bit_is_set(bity0, nalezena_stanice)){ // pokud předcházelo aktivní
                                           // vysílání
        if(!(--zpo_SEEK)){ // pokud vypršel čas čekání na
                           // další vysílání
            clrb(bity0, nalezena_stanice); // ukončeno setrvávání na nalezené
                                           // frekvenci, pokračuje se dále
            z_SCAN(); // zobrazí na displeji -SCAN-
        }
    } else { // nepředcházelo aktivní vysílání
        if(++pocSEEK > (eeprom_read_byte(&adr_pocet_SEEK)-1)) pocSEEK = 0;
                                           // inkrementace počítadla až do
                                           // hodnoty uložené v EEPROM
        frek = eeprom_read_word(&adr_SEEK1+pocSEEK);
                                           // vyčtení frekvence dle počítadla
        vysli_PLL(frek); // zápis frekvence na PLL
        pom8 = 250;
        while(bit_is_clear(PINC, PLL_LD)&(pom8)){
            pom8--; // dokud se PLL nezavěsí čeká
            zpo(200);
        }
    }
} else { // úroveň signálu menší než práh
    if(bit_is_clear(bity0, nalezena_stanice)){
        // pokud nalezena poprvé
        // nastavení bitu
        setb(bity0, nalezena_stanice);

        DV0 = 9; // nachystání zprávy pro PC
        DV1 = frek / 256;
        DV2 = frek & (0b0000000011111111);
        DV3 = ADsig;
        DV4 = 0;
        DV5 = 0;
        DV6 = 0;
    }
}
```

```

DV7 = 0;
...
zobraz(text); // zobrazení frekvence na displeji
...
zpo_SEEK = DOBA_CEKANI_NA_DALSI_VYSILANI;

setb(bity0, vysli_USB); // aktivováno vyslání dat do PC
} else { // již bylo dříve nalezeno vysílání
    zpo_SEEK = DOBA_CEKANI_NA_DALSI_VYSILANI; // obnovení čekací doby
}
}

```

4.4.3 Obsluha tlačítek

Jedná se o jednoduchý podprogram, který čte piny s připojenými tlačítky a pokud vyhodnotí stisk, nastaví příslušné bity. Obsluha probíhá až v další části kódu.

4.4.4 Zpracování povelů

V této části je v případě přijatých dat na sběrnici USB nebo stisknutého tlačítka vykonán příslušný povel. V přepínači **switch** je podle prvního přijatého bajtu program rozdělen do příslušných větví, které vykonají zadané povely.

Například při hodnotě prvního bajtu 10 (odpovídá požadavku na nastavení frekvence, viz komunikační protokol v příloze D) je z dalších bajtů vypočítána frekvence a zapsána do PLL, počká se na zavěšení a poté následuje zobrazení frekvence na displeji, změření úrovně signálu a nachystání zprávy pro PC. Pokud dojde k jakékoliv chybě, je její kód též umístěn do zprávy pro PC. Stejným způsobem jsou zpracovávány všechny další povely. Nakonec je proveden zápis připravené zprávy do PC.

4.5 Komunikační protokol

Komunikační protokol zde není pro jeho rozsah uveden, je umístěn v příloze D.

5 PŘIPOJENÍ K PC

Z pohledu PC přijímač obsahuje USB HUB, přes který je připojen mikrokontrolér AT90USB162 komunikující v třídě HID a kodek PCM2900. Systém Windows XP a novější již obsahují veškeré nutné ovladače a po prvním připojení přijímače k PC dojde k jejich instalaci bez zásahu uživatele. Poté je možné přistupovat k mikrokontroléru jako ke standardnímu zařízení HID pomocí vhodných knihoven nebo programů. Popis ovládacího programu je v další kapitole.

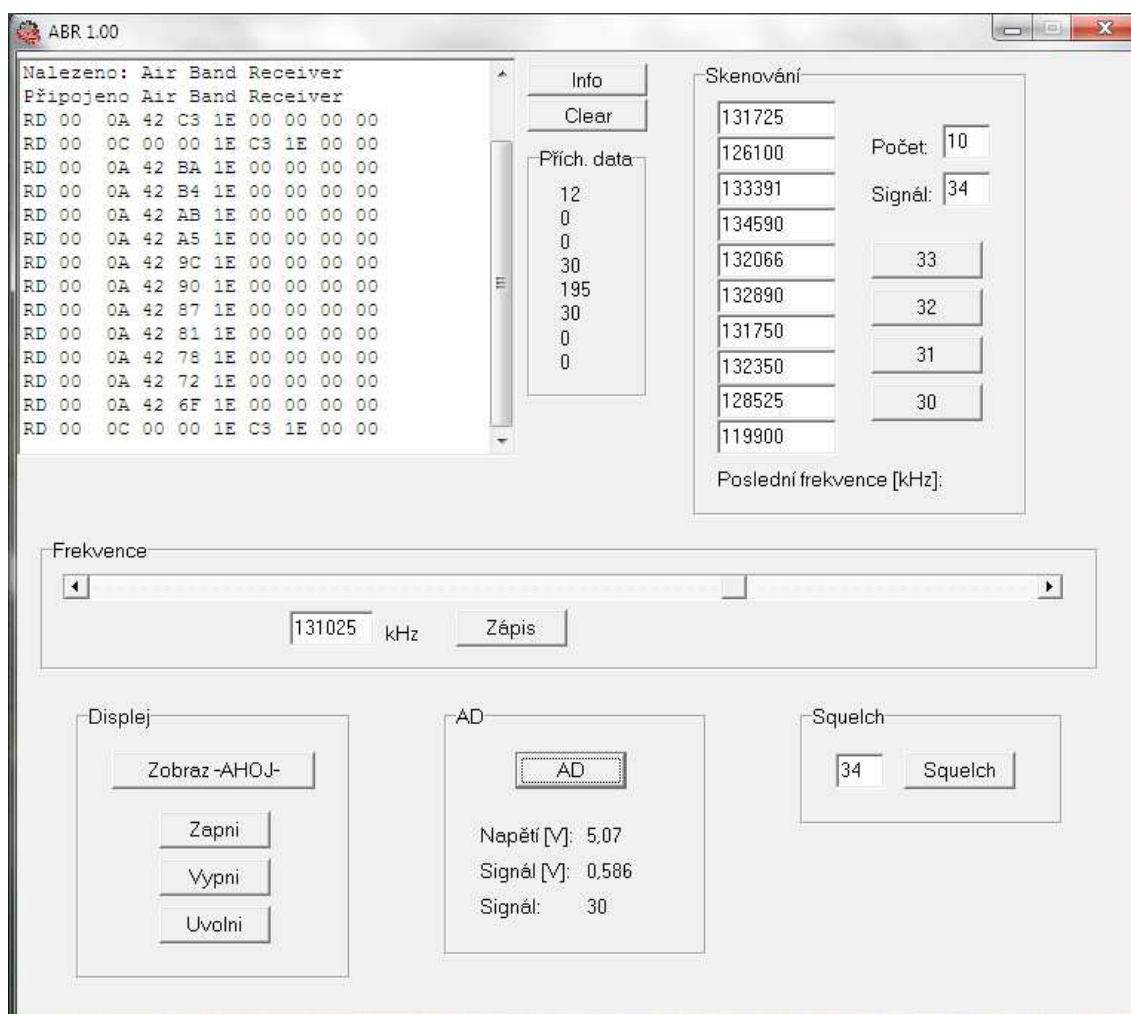
Po připojení zařízení je též nainstalován kodek a je dále dostupný jako další audio vstup. To znamená, že k němu lze přistupovat stejně jako ke vstupu zvukové karty. Na obrázku 5.1 je vidět okno směšovače hlasitosti (v systému Windows 7), připojený kodek je popsán jako Mikrofon (5 - USB Audio CODEC) a audio signál je možno namíchat do signálu pro reproduktory nebo nahrát libovolným programem.



Obr. 5.1: Směšovač hlasitosti po připojení přijímače

5.1 Ovládací program pro PC

Řešení ovládacího programu pro PC není úkolem této diplomové práce, přesto byl vytvořen jednoduchý program pro ověření veškerých funkcí zařízení. Program pro PC je napsán ve vývojovém prostředí Borland Delphi 7 s využitím knihoven JEDI Visual Component Library (více viz [13]). Ovládací program vznikl upravením programu SimpleHIDWrite, který dodává firma Atmel jako ukázkou komunikace s MCU. Hlavní okno programu lze vidět na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Ovládací program

Program umožňuje vyslání povelu nastavení frekvence, ovládání displeje, povelu pro změření napětí, nastavení úrovně Squelch a zadání parametrů režimu skenování. Veškerá probíhající komunikace je vypisována do okna v levé části.

6 MĚŘENÍ NA PŘIJÍMAČI

V této části jsou uvedeny výsledky všech měření provedených na přijímači.

6.1 Proudový odběr

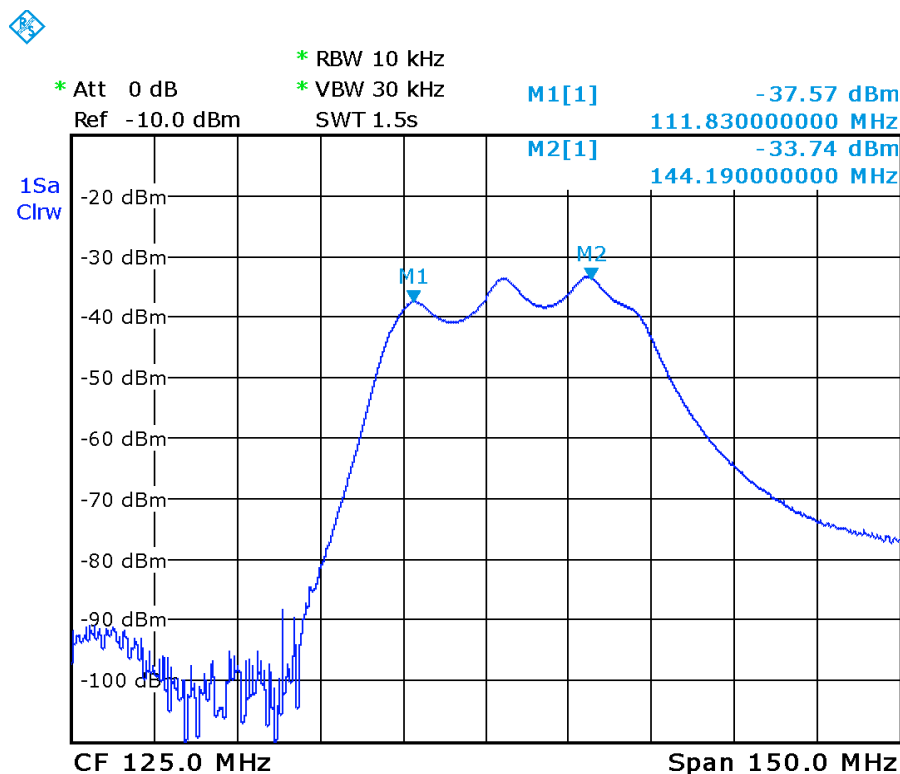
Celé zařízení je napájeno ze sběrnice USB napětím 5V. Proudový odběr je velmi závislý na počtu rozsvícených segmentů displeje.

Změřený odběr je následující:

- $I_1 \leq 100\text{mA}$ bez displeje
- $I_2 = 150\text{mA až } 220\text{mA}$ podle počtu rozsvícených segmentů

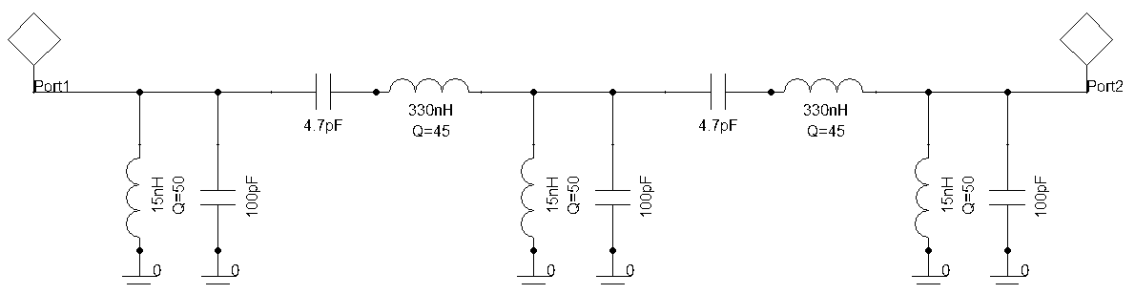
6.2 Přenos vstupního filtru

Vstupní filtr sloužící k výběru požadovaného pásma byl změřen pomocí spektrálního analyzátoru s generátorem. Změřený přenos filtru je na obrázku 6.1. Měření probíhalo na přístroji Rohde&Schwarz FSL3 9 kHz - 3 GHz, ev.č. 624-401.



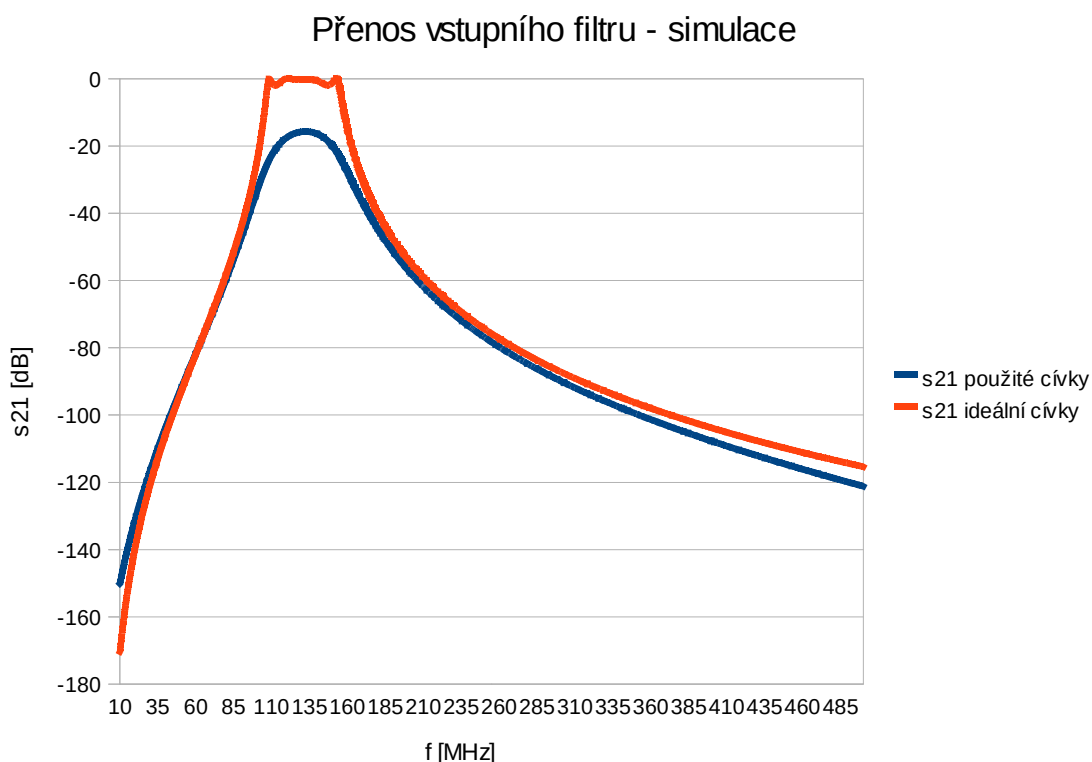
Obr. 6.1: Přenos vstupního filtru přijímače (úroveň výstupu na generátoru -20dBm)

Na generátoru byla výstupní úroveň nastavena na -20dBm, útlum kabelů a svorek byl experimentálně stanoven přibližně na 3dB. I po započítání těchto vlivů lze vidět, že útlum filtru v propustném pásmu je v rozsahu 10 až 20dB, což je velmi nepříznivé. Jako příčina tohoto útlumu byla stanovena nedostačující jakost použitých cívek. Tato příčina byla ověřena simulací s uvažováním reálné jakosti cívek. Použité SMD cívky mají zaručenou jakost min. 45 pro indukčnost 330nH a 50 pro indukčnost 15nH. Schéma simulovaného obvodu je na obrázku 6.2.



Obr. 6.2: Schéma pro simulaci přenosu - reálná jakost cívek

Pro simulaci byl použit program Ansoft Designer. Výsledek simulace je na obrázku 6.3. Použité SMD cívky lze tedy označit za nevyhovující.



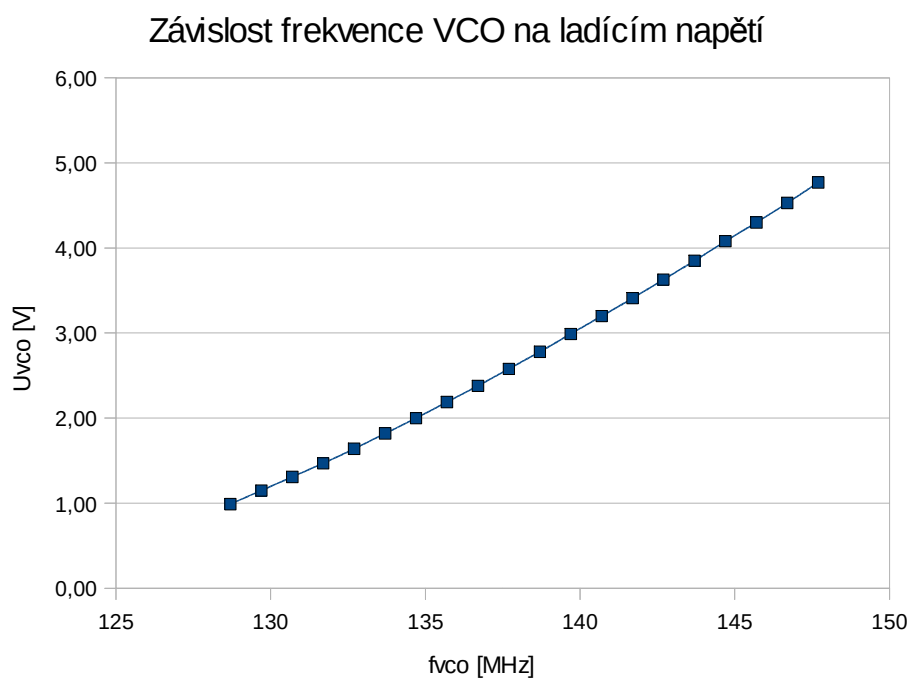
Obr. 6.3: Přenos filtru - simulace s reálnou jakostí cívek

6.3 Fázový šum lokálního oscilátoru

Měření fázového šumu lokálního oscilátoru bylo prováděno na spektrálním analyzátoru s minimální šířkou pásma filtru 300Hz, proto byly výsledky přepočítány na šířku pásma 1Hz. Výsledný fázový šum je -66dBc/Hz na frekvenci 10kHz od nosné, nosná uprostřed přijímaného pásma (128MHz + 10,7MHz). Měření probíhalo na přístroji Rohde&Schwarz FSL3 9 kHz - 3 GHz, ev.č. 624-401.

6.4 Měření závislosti generované frekvence na řídicím napětí

Na obrázku 6.4 je zobrazena závislost frekvence VCO na řídicím napětí. Závislost je téměř lineární, celého rozsahu přeladění je dosaženo napětím 1V až necelých 5V. Měření bylo prováděno na multimetru DT803B.



Obr. 6.4: Závislost frekvence VCO na řídicím napětí

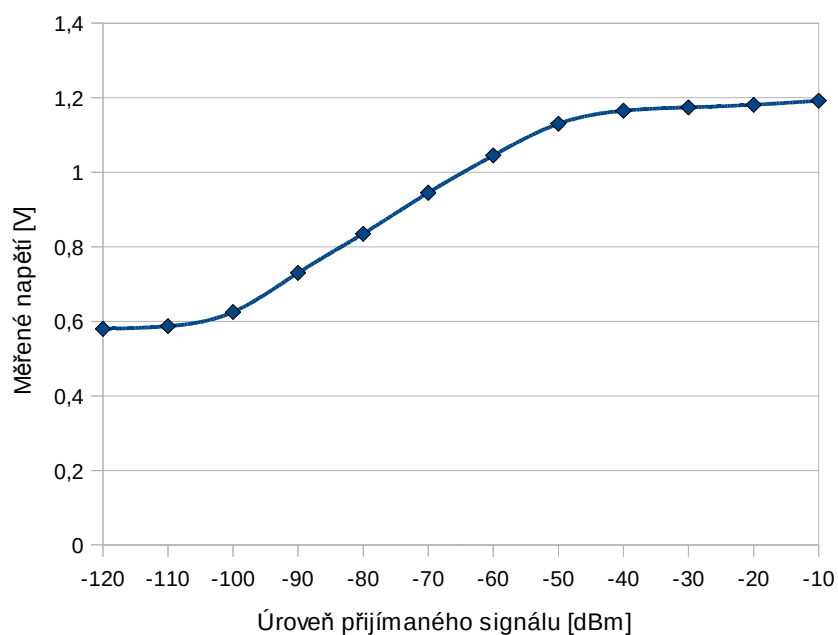
6.5 Měření úrovně přijímaného signálu

Úroveň přijímaného signálu je v přijímači měřena AD převodníkem, je měřena stejnosměrná složka napětí po demodulaci AM signálu. V tabulce 6.1 je změřená závislost změřeného napětí na AD převodníku na úrovni přijímaného signálu, na obrázku 6.4 je tato závislost vynesena graficky.

Tab. 6.1: Závislost změřeného napětí na úrovni přijímaného signálu

Úroveň vstupního signálu U_{in} [dBm]	Měřené napětí U_m [V]
-120	0,58
-110	0,59
-100	0,63
-90	0,73
-80	0,84
-70	0,95
-60	1,05
-50	1,13
-40	1,17
-30	1,17
-20	1,18
-10	1,19

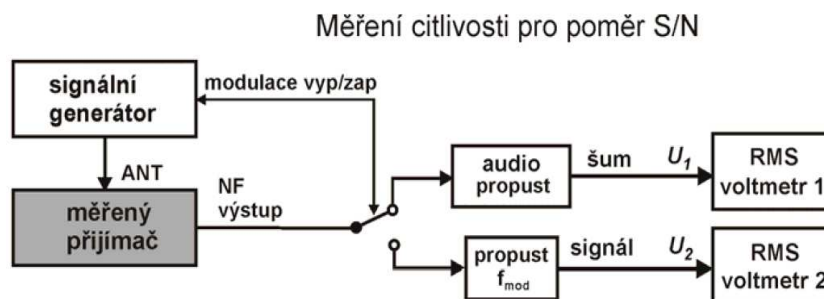
Závislost měřeného napětí na úrovni přijímaného signálu



Obr. 6.5: Měření úrovně přijímaného signálu

6.6 Měření citlivosti přijímače

Citlivost byla měřena na radiokomunikačním servisním monitoru CMS50. Blokové schéma pro měření citlivosti je na obrázku 6.6.



Obr. 6.6: Blokové schéma pro měření citlivosti

Měření bylo provedeno pro následující parametry:

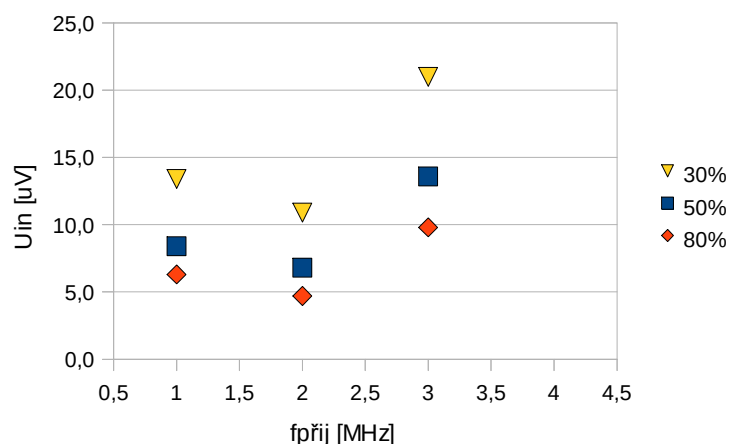
- modulační kmitočet $f_{mod} = 400\text{Hz}$
- poměr signál/šum na výstupu $S/N = 10\text{dB}$
- hloubka modulace $m = 30\%, 50\% \text{ a } 80\%$
- přijímaná frekvence $f_{prij} = 118\text{MHz}, 127\text{MHz} \text{ a } 137\text{MHz}$

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 6.2 a na obrázku 6.7.

Tab. 6.2: Výsledky měření citlivosti

fprij [MHz]	citlivost Uin [uV] pro hloubku modulace m		
	30%	50%	80%
118	13,4	8,4	6,3
127	10,9	6,8	4,7
137	21,0	13,6	9,8

Citlivost přijímače pro různou hloubku modulace



Obr. 6.7: Citlivost přijímače pro různou hloubku modulace

Změřená citlivost kompletního přijímače dosahuje velmi velkých hodnot (nutné velké vstupní napětí na dosažení daného S/N), což způsobuje velmi nekvalitní vstupní filtr (značný útlum v propustním pásmu, viz kapitola 6.2). Citlivost samotného obvodu přijímače je $1\mu V$ (SINAD).

6.7 Měření šířky pásma a chyby naladění přijímače

Šířka pásma a chyba naladění přijímače byla měřena na třech různých kmitočtech. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Tab. 6.3: Výsledky měření šířky pásma a chyby naladění přijímače

$f_{přij}$ [MHz]	B [kHz]	Δf [kHz]
118	34,6	3,5
127	35,1	3,8
137	34,6	4

Šířka pásma přijímače byla změřena přibližně 35kHz. Chyba naladění přijímače je nejvíce 4kHz, je způsobena nepřesností kmitočtu generovaného referenčním oscilátorem.

7 SHRNUTÍ PARAMETRŮ

Napájecí napětí:	5V (odebíráno z USB)
Proudový odběr:	max. 220mA
Anténní konektor:	BNC 50Ω female
USB konektor:	mini USB-B female
Přijímané pásmo:	118 - 137 MHz
Kmitočtový krok:	8,33 kHz
Měření úrovně signálu:	-100dBm až -20dBm
Nastavitelný umlčovač:	-100dBm až -20dBm
Displej:	6x sedmisegmentový LED
Počet skenovaných frekvencí:	14 za sekundu
Doba čekání na další vysílání při skenování:	cca 2,5s (lze nastavit ve firmwaru pro MCU)
Rozměry bez displeje:	60 x 43 x 38mm

8 ZÁVĚR

V této práci byl navržen přijímač pro monitorování radiokorespondence v leteckém provozu. Výsledkem práce je vyřešení všech částí přijímače, výběr vhodných obvodů, jejich vzájemné propojení do kompletního schématu a navržení a oživení desek plošných spojů. Dále byl vytvořen program pro mikrokontrolér, program pro PC a provedeno měření na přijímači.

Vysokofrekvenční část přijímače je postavena na obvodu ML13135, který sdružuje dva směšovače a limiter použitý pro demodulaci AM signálu. Pro generování kmitočtu místního oscilátoru je využit systém kmitočtové syntézy postavený na obvodu fázového závěsu LMX2306.

Digitální část je složena z USB HUBu, který umožňuje připojení dvou USB zařízení: audio kodeku a mikrokontroléru. Mikrokontrolér zajišťuje veškeré ovládání nastavení a měření na přijímači. Z dostupných obvodů byl vybrán AT90USB162. Pro měření úrovně přijímaného signálu je využito AD převodníku ADC084S051.

Schéma a plošný spoj je rozdělen na tři části: analogová část, digitální část a část uživatelského rozhraní. Při návrhu byl brán velký ohled na výslednou velikost a z tohoto důvodu jsou použity téměř výhradně součástky pro povrchovou montáž.

Program pro mikrokontrolér byl napsán za použití jazyka C a vývojového prostředí AVR Studio 4. Program pro PC byl napsán ve vývojovém prostředí Borland Delphi 7.

Na přijímači bylo provedeno měření základních parametrů. Při měření vstupního filtru se ukázalo, že přestože byly vybírány SMD indukčnosti s nejvyšší nabízenou jakostí, nejsou tyto vhodné pro realizaci daného filtru kvůli nedostatečné jakosti a s tím souvisejícím velkým útlumem filtru v propustném pásmu. Kvůli velkému útlumu filtru byla naměřena i malá citlivost přijímače.

V příloze jsou umístěna kompletní schémata, seznam součástek, podklady pro výrobu plošných spojů a popis komunikačního protokolu přijímače.

LITERATURA

- [1] DANĚK, K. *Moderní rádiový přijímač*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 216 s. ISBN 80-7300-142-X.
- [2] MANN, B. *C pro mikrokontroléry*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 280s. ISBN 80-7300-077-6.
- [3] PROKEŠ, A. *Rádiové přijímače a vysílače: Přednášky*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2005. 178 s. ISBN 80-214-2263-7.
- [4] *Tabulka kmitočtů: Tabulka pro začátečníky* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.kmitocty.cz/zaklady/tabulka.html>>.
- [5] *Katalogový list ML13135* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.lansdale.com/datasheets/ml13135_rev0.pdf>.
- [6] *Katalogový list LMX2306* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.national.com/profile/snip.cgi/openDS=LMX2306>>.
- [7] *Katalogový list AT90USB162* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7707.pdf>.
- [8] *Katalogový list ADC084S051* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.national.com/ds/DC/ADC084S051.pdf>>.
- [9] *Katalogový list PCM2900* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?genericPartNumber=pcm2900&fileType=pdf>>.
- [10] *Katalogový list TUSB2036* [online]. [cit. 27. 4. 2010]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tusb2036.pdf>>.
- [11] *O jednotlivých službách* [online]. [cit. 2. 9. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.kolmanl.info/index.php?show=airband_sluzby#za_anotaci>.
- [12] *AVR328: USB Generic HID Implementation* [online]. [cit. 7. 3. 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7599.pdf>.
- [13] *JEDI Visual Component Library* [online]. [cit. 17.3.2011]. Dostupný z WWW: <<http://jvcl.delphi-jedi.org/>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

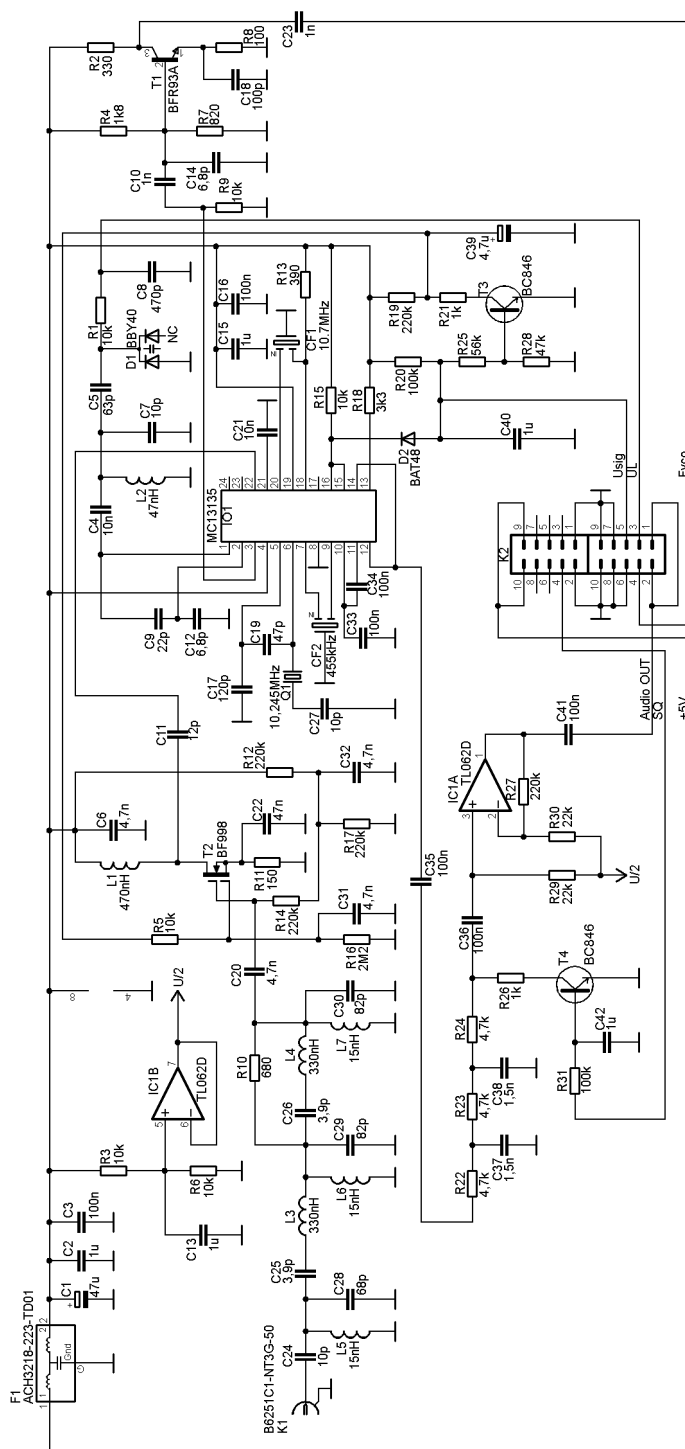
AD	Analogově Digitální
AM	Amplitudová Modulace
DA	Digitálně Analogový
FM	Frekvenční Modulace
HID	Human interface device - zařízení uživatelského rozhraní
HUB	rozbočovač
LED	Light-Emitting Diode - světlo vyzařující dioda
MCU	mikrokontrolér - MicroComputer Unit
PID	identifikace zařízení - Product IDentifier
PLL	smyčka fázového závěsu - Phase-Locked Loop
RSSI	kvalita signálu - Received Signal Strength Indication
SINAD	poměr signál šum a zkreslení - Signal-to-Noise And Distortion
SPI	sériové komunikační rozhraní - Serial Peripheral Interface
USB	Universal Serial Bus
VCO	napětím řízený oscilátor - Voltage Controlled Oscillator
VID	identifikace výrobce - Vendor IDentifier
VKV	Velmi Krátké Vlny

SEZNAM PŘÍLOH

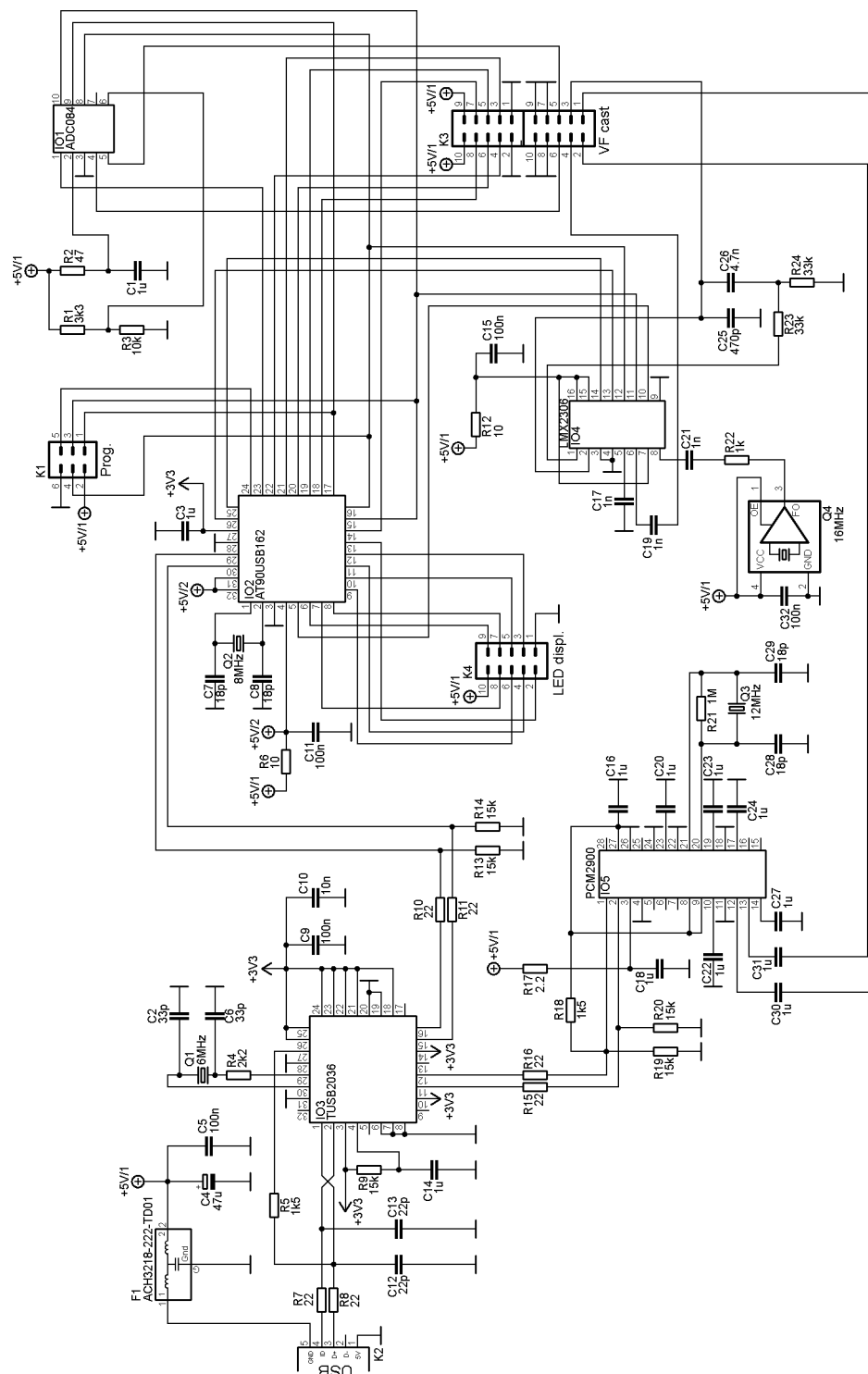
A	Schéma	41
A.1	Analogová část.....	41
A.2	Digitální část.....	42
A.3	Uživatelské rozhraní.....	43
B	Deska plošného spoje	44
B.1	Analogová část - vrchní strana.....	44
B.2	Analogová část - spodní strana.....	44
B.3	Digitální část - vrchní strana.....	44
B.4	Digitální část - spodní strana.....	45
B.5	Uživatelské rozhraní - vrchní strana.....	45
B.6	Uživatelské rozhraní - spodní strana.....	45
C	Seznam součástek	46
C.1	Analogová část.....	46
C.2	Digitální část.....	48
C.3	Část uživatelského rozhraní.....	49
D	Komunikační protokol	51
D.1	Definice pojmů.....	51
D.2	Základní popis komunikace.....	51
D.3	Naladění požadované frekvence.....	52
D.4	Měření napětí a úrovně signálu.....	55
D.5	Nastavení umlčovače.....	56
D.6	Ovládání displeje.....	57
D.7	Režim skenování.....	60
D.8	Chybové hlášení.....	63

A SCHÉMA

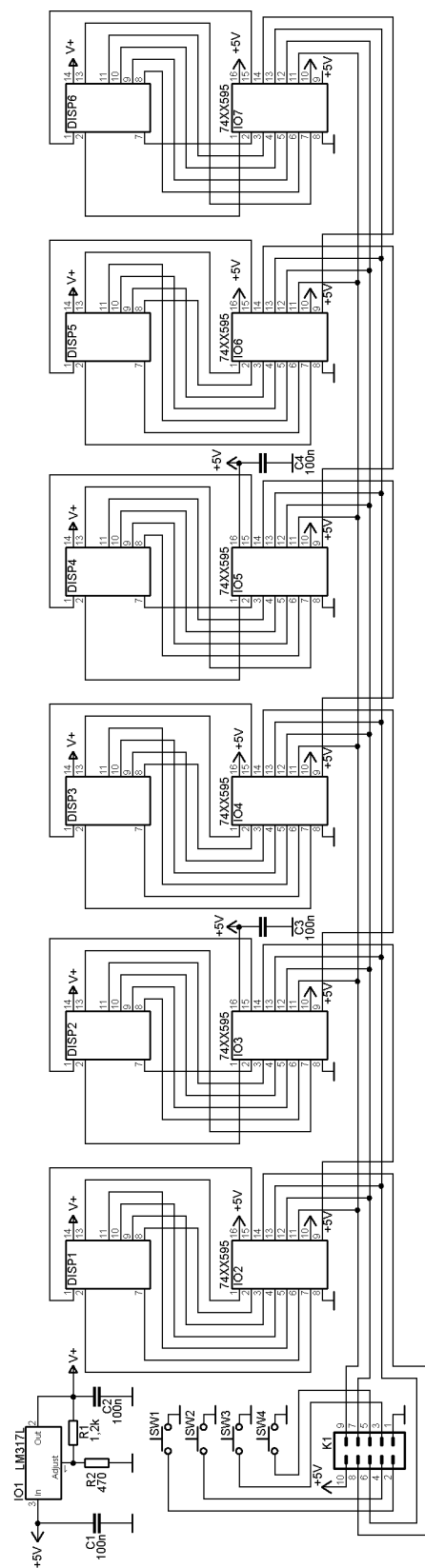
A.1 Analogová část



A.2 Digitální část

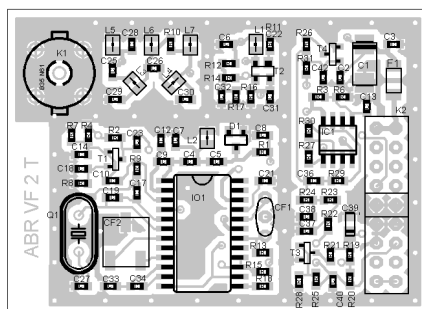


A.3 Uživatelské rozhraní

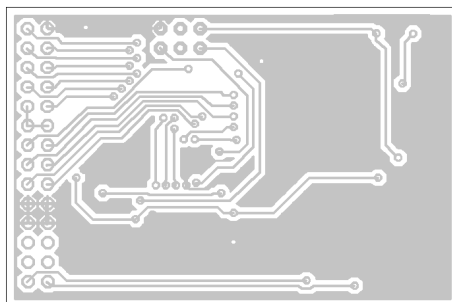


B DESKA PLOŠNÉHO SPOJE

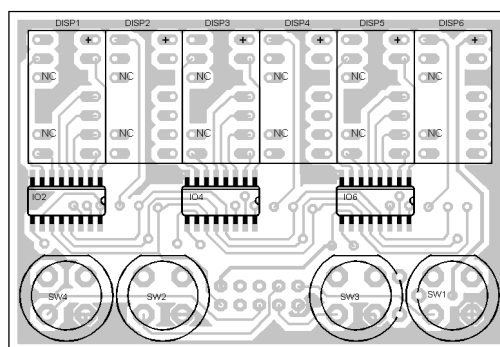
B.1 Analogová část - vrchní strana



B.4 Digitální část - spodní strana

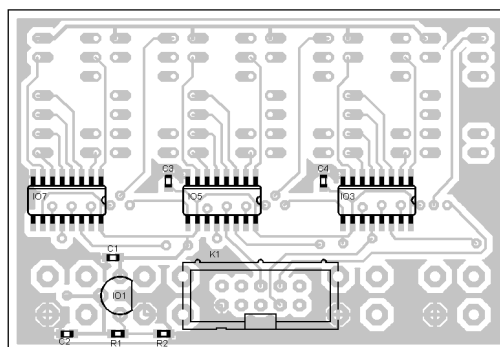


B.5 Uživatelské rozhraní - vrchní strana



Rozměr desky 66 x 46 [mm], měřítko M1:1

B.6 Uživatelské rozhraní - spodní strana



C SEZNAM SOUČÁSTEK

C.1 Analogová část

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	47u/10V	C/6032-28R	Tantalový kondenzátor
C2	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C3	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C4	10n	C0603	Keramický kondenzátor
C5	63p	C0603	Keramický kondenzátor
C6	4,7n	C0603	Keramický kondenzátor
C7	10p	C0603	Keramický kondenzátor
C8	470p	C0603	Keramický kondenzátor
C9	22p	C0603	Keramický kondenzátor
C10	1n	C0603	Keramický kondenzátor
C11	12p	C0603	Keramický kondenzátor
C12	6,8p	C0603	Keramický kondenzátor
C13	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C14	6,8p	C0603	Keramický kondenzátor
C15	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C16	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C17	120p	C0603	Keramický kondenzátor
C18	100p	C0603	Keramický kondenzátor
C19	47p	C0603	Keramický kondenzátor
C20	4,7n	C0603	Keramický kondenzátor
C21	10n	C0603	Keramický kondenzátor
C22	47n	C0603	Keramický kondenzátor
C23	1n	C0603	Keramický kondenzátor
C24	10p	C0603	Keramický kondenzátor
C25	3,9p	C0603	Keramický kondenzátor
C26	3,9p	C0603	Keramický kondenzátor
C27	10p	C0603	Keramický kondenzátor
C28	68p	C0603	Keramický kondenzátor
C29	82p	C0603	Keramický kondenzátor
C30	82p	C0603	Keramický kondenzátor
C31	4,7n	C0603	Keramický kondenzátor
C32	4,7n	C0603	Keramický kondenzátor
C33	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C34	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C35	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C36	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C37	1,5n	C0603	Keramický kondenzátor
C38	1,5n	C0603	Keramický kondenzátor
C39	4,7u/16V	A/3216-18R	Tantalový kondenzátor
C40	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C41	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C42	1u	C0603	Keramický kondenzátor

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
CF1	10.7MHz		Mezifrekvenční filtr
CF2	455kHz		Mezifrekvenční filtr
D1	BBY40	SOT23	Kapacitní dioda
D2	BAT48	MINIMELF	Schottkyho dioda
F1	ACH3218-223-TD01		Filtr napájení
IC1	TL062D	SO-8	Operační zesilovač
IO1	MC13135	SO24L	Obvod přijímače
K1	B6251C1-NT3G-50	B35N61	BNC konektor
K2	S2G20	S2G20	Kolíková lišta
L1	470nH	L0805	Cívka
L2	47nH	L0806	Cívka
L3	330nH	L0807	Cívka
L4	330nH	L0808	Cívka
L5	15nH	L0809	Cívka
L6	15nH	L0810	Cívka
L7	15nH	L0811	Cívka
Q1	10,245MHz	HC49U-V	Krystal
R1	10k	R0603	Rezistor
R2	330	R0603	Rezistor
R3	10k	R0603	Rezistor
R4	1k8	R0603	Rezistor
R5	10k	R0603	Rezistor
R6	10k	R0603	Rezistor
R7	820	R0603	Rezistor
R8	100	R0603	Rezistor
R9	10k	R0603	Rezistor
R10	680	R0603	Rezistor
R11	150	R0603	Rezistor
R12	220k	R0603	Rezistor
R13	390	R0603	Rezistor
R14	220k	R0603	Rezistor
R15	10k	R0603	Rezistor
R16	2M2	R0603	Rezistor
R17	220k	R0603	Rezistor
R18	3k3	R0603	Rezistor
R19	220k	R0603	Rezistor
R20	100k	R0603	Rezistor
R21	1k	R0603	Rezistor
R22	4,7k	R0603	Rezistor
R23	4,7k	R0603	Rezistor
R24	4,7k	R0603	Rezistor
R25	56k	R0603	Rezistor
R26	1k	R0603	Rezistor
R27	220k	R0603	Rezistor
R28	47k	R0603	Rezistor
R29	22k	R0603	Rezistor
R30	22k	R0603	Rezistor
R31	100k	R0603	Rezistor

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
T1	BFR93A	SOT23	Bipolární tranzistor
T2	BF998	SOT143	Unipolární tranzistor
T3	BC846	SOT-23	Bipolární tranzistor
T4	BC846	SOT-23	Bipolární tranzistor

C.2 Digitální část

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C2	33p	C0603	Keramický kondenzátor
C3	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C4	47u/10V	C/6032-28R	Tantalový kondenzátor
C5	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C6	33p	C0603	Keramický kondenzátor
C7	18p	C0603	Keramický kondenzátor
C8	18p	C0603	Keramický kondenzátor
C9	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C10	10n	C0603	Keramický kondenzátor
C11	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C12	22p	C0603	Keramický kondenzátor
C13	22p	C0603	Keramický kondenzátor
C14	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C15	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C16	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C17	1n	C0603	Keramický kondenzátor
C18	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C19	1n	C0603	Keramický kondenzátor
C20	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C21	1n	C0603	Keramický kondenzátor
C22	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C23	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C24	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C25	470p	C0603	Keramický kondenzátor
C26	4.7n	C0603	Keramický kondenzátor
C27	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C28	18p	C0603	Keramický kondenzátor
C29	18p	C0603	Keramický kondenzátor
C30	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C31	1u	C0603	Keramický kondenzátor
C32	100n	C0603	Keramický kondenzátor
F1	ACH3218-222-TD01		Filtr napájení
IO1	ADC084	MSOP10	AD převodník
IO2	AT90USB162	TQFP32-08	Mikrokontrolér
IO3	TUSB2036	TQFP32-08	USB HUB
IO4	LMX2306	TSSOP16	Obvod fázového závěsu
IO5	PCM2900	SSOP28	Audio kodek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
K1	S2G6	S2G6	Kolíková lišta
K2	USB-MINI	USB_MINI	USB konektor
K3	BL220	BL220	Dutinková lišta
K4	BL210	BL210	Dutinková lišta
Q1	6MHz	HC49UP	Krystal
Q2	8MHz	HC49UP	Krystal
Q3	12MHz	HC49UP	Krystal
Q4	16MHz	OSC-SMD-7X5	Krystalový oscilátor
R1	3k3	R0603	Rezistor
R2	47	R0603	Rezistor
R3	10k	R0603	Rezistor
R4	2k2	R0603	Rezistor
R5	1k5	R0603	Rezistor
R6	10	R0603	Rezistor
R7	22	R0603	Rezistor
R8	22	R0603	Rezistor
R9	15k	R0603	Rezistor
R10	22	R0603	Rezistor
R11	22	R0603	Rezistor
R12	10	R0603	Rezistor
R13	15k	R0603	Rezistor
R14	15k	R0603	Rezistor
R15	22	R0603	Rezistor
R16	22	R0603	Rezistor
R17	2,2	R0603	Rezistor
R18	1k5	R0603	Rezistor
R19	15k	R0603	Rezistor
R20	15k	R0603	Rezistor
R21	1M	R0603	Rezistor
R22	1k	R0603	Rezistor
R23	33k	R0603	Rezistor
R24	33k	R0603	Rezistor

C.3 Část uživatelského rozhraní

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C2	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C3	100n	C0603	Keramický kondenzátor
C4	100n	C0603	Keramický kondenzátor
DISP1	SA03-11EWA	DIL14	LED displej
DISP2	SA03-11EWA	DIL14	LED displej
DISP3	SA03-11EWA	DIL14	LED displej
DISP4	SA03-11EWA	DIL14	LED displej
DISP5	SA03-11EWA	DIL14	LED displej
DISP6	SA03-11EWA	DIL14	LED displej

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IO1	LM317L	TO-92	Stabilizátor napětí
IO2	74HC595	SO-16	Posuvný registr
IO3	74HC595	SO-15	Posuvný registr
IO4	74HC595	SO-14	Posuvný registr
IO5	75HC595	SO-13	Posuvný registr
IO6	76HC595	SO-12	Posuvný registr
IO7	77HC595	SO-11	Posuvný registr
K1	S2G10	S2G10	Kolíková lišta
R1	1,2k	R0603	Rezistor
R2	470	R0603	Rezistor
SW1	P-DT6SW	P-DT6	Tlačítko
SW2	P-DT6SW	P-DT6	Tlačítko
SW3	P-DT6SW	P-DT6	Tlačítko
SW4	P-DT6SW	P-DT6	Tlačítko

D KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL

D.1 Definice pojmů

PC – počítač s obslužným programem

MCU – mikrokontrolér, který zajišťuje komunikaci přes USB sběrnici

bajt – jednotka informace skládající se z 8-mi bitů

ND – nedefinováno, v případě komunikace MCU -> PC je většinou vyslána 0

PLL – obvod fázového závěsu – slouží pro nastavení přijímané frekvence

VCO – napětím řízený oscilátor, udává přijímanou frekvenci

D.2 Základní popis komunikace

Komunikace probíhá pomocí rámce o velikosti 9 bajtů, z nichž je 8 využitelných:

RD	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
----	----	----	----	----	----	----	----	----

1.bajt – RD – Report ID – je vždy nastaven na 0

2.bajt – D0 – adresní bajt, udává význam následujících bajtů

3.-9.bajt – data, jejichž význam je určován bajtem D0

V dalším textu bude první bajt (RD) vynechán a budou uvažovány pouze bajty datové (D0 – D9).

Komunikace probíhá obousměrně (PC->MCU, MCU->PC), ve většině případů komunikaci zahajuje PC vysláním povelu. Na tento povel MCU zareaguje a výsledek (povedlo se, chyba, atd.) posílá do PC. V případech, kdy je třeba PC informovat o podmětu „zvenčí“, zahajuje komunikaci MCU, který neočekává žádnou odpověď, ale vyčkává na další povely.

D.3 Naladění požadované frekvence

Příkaz k naladění PC->MCU

Formát datového rámce:

D0 = 10	D1 = HF	D2 = LF	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	----------------	----------------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 10 – zápis frekvence do PLL

D1 – HN – vyšší bajt požadovaní frekvence (horních 8 bitů)

D2 – LN – nižší bajt požadované frekvence (spodních 8 bitů)

D3 až D7 – nepoužito

Obvod fázového závěsu (PLL) řídí frekvenci lokálního oscilátoru (VCO), která udává přijímanou frekvenci: $f_{VCO} = f_{MF} + f_{PRIJ}$, kde f_{MF} je použitý mezifrekvenční kmitočet $f_{MF} = 10,7 \text{ MHz}$.

Pro frekvenci f_{VCO} platí následující vztah: $f_{VCO} = f_{REF} \cdot N$, kde f_{REF} je kmitočtový krok $f_{REF} = 8,33\bar{3} \text{ kHz}$ a N je právě hodnota, kterou lze ovlivnit přijímanou frekvenci a platí pro ni (z předchozích úvah):

$$N = \frac{f_{MF} + f_{PRIJ}}{f_{REF}} = \frac{10700 \text{ kHz} + f_{PRIJ}}{8,33\bar{3} \text{ kHz}}.$$

Pro námi uvažované přijímané pásmo $f_{PRIJ} = (118 \text{ až } 137) \text{ MHz}$ bude tedy hodnota N v rozmezí $N = 15444 \text{ až } 17724$ a k vyjádření bude třeba 16-ti bitů. Jelikož lze přenášet pouze 8-mi bitová čísla, je hodnota N rozdělena do dvou bajtů LN a HN ($LN := N \bmod 256$, $HN := N \div 256$):

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
HN								LN							
N															

Příklad: pro naladění frekvence $f_{PRIJ} = 118,025 \text{ MHz}$ bude mít paket vyslaný do PC následující tvar:

RD = 0,
D0 = 10,
D1 = 60,
D2 = 87,
D3 až D7 = 0.

Ukázka hodnot bajtů LN a HN pro některé přijímané frekvence:

$f_{PRIJ} [MHz]$	$f_{VCO} [MHz]$	N	HN	LN
118,000	128,700	15444	60	84
118,008	128,708	15445	60	85
118,017	128,716	15446	60	86
118,025	128,725	15447	60	87
...				
119,425	130,125	15615	60	255
119,433	130,133	15616	61	0
...				
137,000	147,700	17724	69	60

Odpověď MCU->PC po úspěšném vykonání

Odpovědi MCU na zápis frekvence je v případě úspěšného naladění následující zpráva:

D0 = 10	D1 = LF	D2 = HF	D3 = AD_{sig}	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	----------------	----------------	------------------------------	---------	---------	---------	---------

D0 – 10 – frekvence byla úspěšně nastavena

D1 – LF – nižší bajt nastavené frekvence

D2 – HF – vyšší bajt nastavené frekvence

D3 – AD_{sig} – úroveň přijímaného signálu

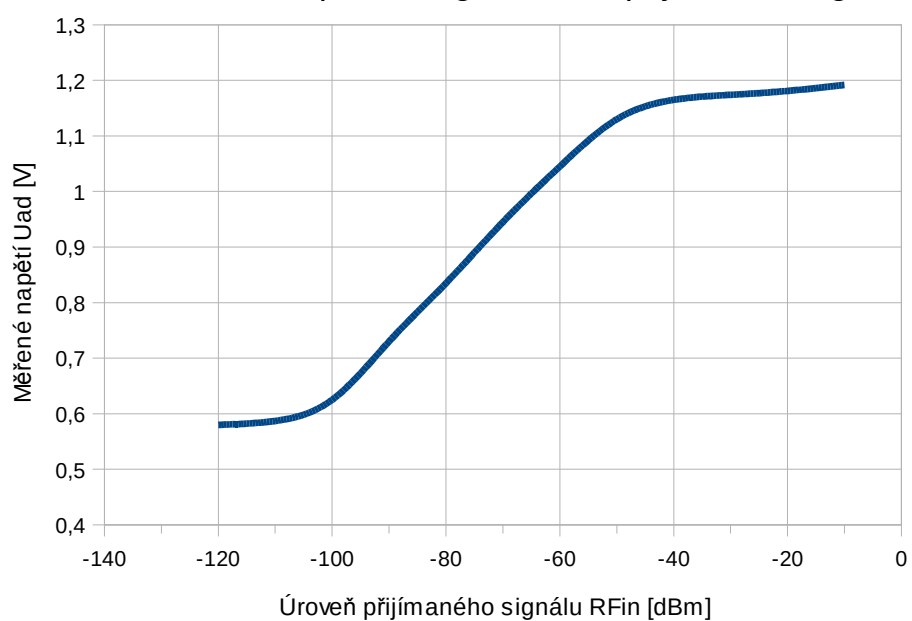
MCU vrací hodnotu naladěné frekvence, kterou lze kontrolovat programem v PC pro případné odhalení chyby při přenosu. Bajt AD_{sig} udává velikost přijímaného signálu, jedná se přímo o hodnotu z AD převodníku, takže odpovídá napětí:

$$U_{ADsig} = \frac{5}{256} AD_{sig} [V]$$

Hodnota měřeného napětí je odebírána z výstupu RSSI obvodu přijímače a dosahuje přibližně následujících hodnot:

Úroveň vstupního signálu $RF_{IN}[dBm]$	Měřené napětí $U_{ADsig}[V]$
-120	0,580
-110	0,587
-100	0,625
-90	0,730
-80	0,835
-70	0,945
-60	1,045
-50	1,130
-40	1,165
-30	1,174
-20	1,181
-10	1,192

Závislost měřeného napětí ADsig na úrovni přijímaného signálu



Odpověď MCU->PC chyba synchronizace PLL

Tato chyba signalizuje, že frekvence nastavená v PLL a frekvence VCO nejsou v synchronismu, tzv. nedošlo k zavěšení.

D0 = 111	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Příčinou je nejspíše nesprávně zadaná frekvence do PLL, která je mimo rozsah VCO. Na chybu lze reagovat opětovným vysíláním správného požadavku na naladění.

Odpověď MCU->PC chyba SPI

Pokud se nepovede MCU naladit frekvenci z důvodu chyby na komunikačním rozhraní SPI, které používá pro nastavování obvodu PLL, odpoví následující zprávou:

D0 = 112	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Pokud došlo k chybě na rozhraní SPI při komunikaci s AD převodníkem, je generována tato zpráva:

D0 = 113	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Na tyto chyby lze reagovat opětovným vysíláním požadavku na naladění.

D.4 Měření napětí a úrovně signálu

Požadavek zaslání dat z AD převodníku PC->MCU

Formát datového rámce:

D0 = 12	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 12 – požadavek na zaslání dat z AD převodníku

D1 až D7 – nepoužito

Odpověď MCU->PC po úspěšném vykonání

D0 = 12	D1 = ND	D2 = ND	D3 = AD_{sig}	D4 = AD_{5v}	D5 = AD _{sig}	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------	---------	------------------------------	-----------------------------	------------------------	---------	---------

D0 – 12 – napětí úspěšně změřeno

D1, D2 – nepoužito

- D3 – AD_{sig} – úroveň přijímaného signálu
- D4 – AD_{5V} – napájecí napětí (napětí z USB)
- D5 – zatím opakuje AD_{sig}, bude sloužit pro měření dalšího napětí
- D6, D7 – nepoužito

Napětí AD_{sig} má stejnou funkci jako v příkazu pro naladění frekvence, viz minulá kapitola. Hodnota AD_{5V} slouží pro výpočet napájecího napětí, které je měřeno přes dělič. Pro výpočet napětí platí následující vztah:

$$U_{AD5V} = 0,026 \cdot AD_{5V} [V]$$

Odpověď MCU->PC chyba SPI

Pokud došlo k chybě na rozhraní SPI při komunikaci s AD převodníkem, je generována tato zpráva:

D0 = 113	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Na tuto chybu lze reagovat opětovným vysláním požadavku na naladění.

D.5 Nastavení umlčovače

Nastavení úrovně umlčovače PC->MCU

D0 = 20	D1 = SQ	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

- D0 – 20 – nastavení úrovně umlčovače
- D1 – SQ – hodnota umlčovače
- D2 až D7 – nepoužito

SQ - hodnota umlčovače je porovnávána s hodnotou AD_{sig}, takže pro její určení je možno využít grafu v kapitole nastavování frekvence. Nastavení bude ležet v oblasti přibližně **SQ = 30 až 40**, kde hodnota 30 je již hodnota šumového pozadí, takže umlčovač téměř nereaguje a hodnota 40 je již vcelku kvalitní signál. Prakticky ověřená hodnota s uspokojivými výsledky je 33 až 35. Pokud má být umlčovač neaktivní, jednoduše lze zadat SQ menší než práh šumu, tzn. **SQ = 0**.

Odpověď MCU->PC po úspěšném nastavení

Po nastavení úrovně je zpět poslána zpráva:

D0 = 20	D1 = SQ	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

- D0 – 20 – umlčovač úspěšně nastaven

D1 – SQ – vrací zpět hodnotu
D2 až D7 – nepoužito

D.6 Ovládání displeje

Přímý výpis znaků na displej PC->MCU

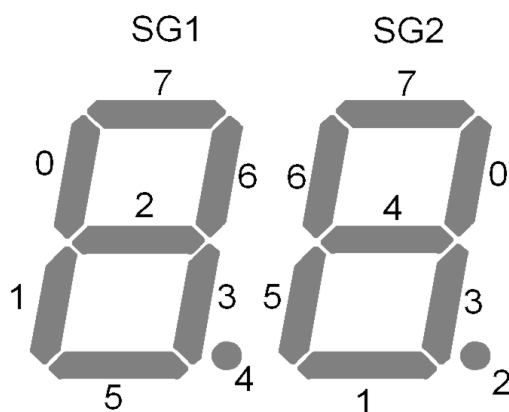
Formát datového rámce:

D0 = 13	D1 = 10	D2 = SG1	D3 = SG2	D4 = SG3	D5 = SG4	D6 = SG5	D7 = SG6
----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

D0 – 13 – práce s displejem
D1 – 10 – zápis znaků na displej
D2 až D7 – znaky pro jednotlivé číslovky

Po vyslání této zprávy přejde ovládání displeje do režimu, kdy displej ovládá PC, tzn. že MCU na displeji nic nezobrazuje, jen znaky a povely z PC.

Znaky pro jednotlivé číslovky jsou přímo vyslány na budič displeje, takže hodnoty jednotlivých bitů odpovídají stavu jednotlivých segmentů. Pokud je hodnota bitu **log.1**, segment **nesvítí**, pokud **log.0**, segment **svítí**. Ovládání je zkomplikováno faktem, že číslovky mají různé zapojení pro liché a sudé, takže hodnota vyslaného bajtu znaku např '0' je různá pro první a druhou číslovku. Více snad napoví obrázek.



SG1 jsou liché číslovky, SG2 sudé. Čísla u jednotlivých segmentů odpovídají bitům, které daný segment ovládají. Bity v bajtu jsou číslovány jako obvykle 7 až 0 (vlevo 7., vpravo 0.).

Příklad: chci zobrazit na první číslovce pomlčku, na druhé číslo 3

Hodnota SG1 v binárním zápisu bude: 11111011 - tzn., že rozsvícený (nastavený na 0) je pouze 2. bit (číslování zleva), v desítkové soustavě to odpovídá číslu 251.

Hodnota SG2 v binární podobě bude: 01100100 - tzn., že svítí 0., 1., 3., 4. a 7. bit, v desítkové soustavě jde o číslo 100.

Odpověď MCU->PC po úspěšném nastavení

D0 = 13	D1 = 10	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 10 – výpis na displej

D2 až D7 - nepoužito

Rozsvícení displeje PC->MCU

D0 = 13	D1 = 1	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 1 – rozsvítit displej

D2 až D7 – nepoužito

Reakcí na tuto zprávu je plynulé rozsvícení displeje. Pokud není displej zhasnut, je indikována chyba, viz popis dále.

Odpověď MCU->PC po úspěšném zadání

D0 = 13	D1 = 1	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 1 – rozsvítit displej

D2 až D7 – nepoužito

Odpověď MCU->PC pokud nastala chyba

D0 = 13	D1 = 111	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 111 – chyba

D2 až D7 – nepoužito

Tuto chybu MCU posílá, pokud se PC pokouší rozsvítit rozsvícený displej, rozsvítit displej, který je právě zhasínán a všechny podobné nesmyslné kombinace.

Zhasnutí displeje PC->MCU

D0 = 13	D1 = 2	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 2 – zhasni displej

D2 až D7 – nepoužito

Reakcí na tuto zprávu je plynulé zhasnutí displeje. Pokud není displej rozsvícen, je indikována chyba (D0 = 13), viz popis výše.

Uvolnění displeje PC->MCU

D0 = 13	D1 = 0	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 0 – předání kontroly nad displejem MCU

D2 až D7 – nepoužito

Po vyslání této zprávy budou údaje zobrazované na displeji v režiji MCU. Na displeji se zobrazí pomlčky po dobu, než bude mít program k dispozici nové údaje (tzn. bude požadavek na přepsání displeje, např. po změně frekvence apod.).

Následuje přehled prvku ovládajícího displej v závislosti na vyslané instrukci. V prvním sloupci je číslo instrukce, v druhém sloupci je buď MCU nebo PC podle toho, kdo po této instrukci má kontrolu nad displejem:

D1 = 0 - MCU

D1 = 1 - PC

D1 = 2 - PC

D1 = 10 - PC

Veškeré instrukce kromě D1 = 0 určují jako ovládací prvek PC. Po vyslání těchto instrukcí může být obsah displeje změněn pouze z PC. Pokud je požadováno ovládání z MCU, je nutno displej uvolnit. Při zhasínání a rozsvěcení displeje zůstávají data na displeji zachována, jen "nejsou vidět".

Odpověď MCU->PC po úspěšném uvolnění

D0 = 13	D1 = 0	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 0 – uvolnění displeje

D2 až D7 – nepoužito

Chyba dekódování zprávy PC->MCU

D0 = 13	D1 = 215	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 13 – ovládání displeje

D1 – 215 – chyba vstupních dat

D2 až D7 – nepoužito

Tato chyba je generována, pokud hodnota D1 nedosáhne žádné z předchozích (při D0 = 13). Pravděpodobně došlo k chybě při přenosu nebo vyslání chybného příkazu a je nutné zprávu zopakovat.

D.7 Režim skenování

Ovládání režimu skenování PC->MCU

D0 = 30	D1 = PS	D2 = SIG	D3 = ND	D4 = S1H	D5 = S1L	D6 = S2H	D7 = S2L
----------------	----------------	---------------------	---------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

D0 – 30 – režim skenování

D1 – PS – počet frekvencí, které se mají skenovat, 0 - skenování vypnuto

D2 – SIG – úroveň signálu, při které je vyhodnoceno vysílání

D3 – nepoužito

D4 – S1H – horní bajt první frekvence

D5 – S1L – dolní bajt první frekvence

D6 – S2H – horní bajt druhé frekvence

D7 – S2L – dolní bajt druhé frekvence

Tento rámec slouží pro nastavení režimu skenování a pro zapsání prvních dvou frekvencí, které se mají skenovat. PS udává počet frekvencí, které bude přijímač prohledávat, pokud je např. roven 3, budou se prohledávat první tři zadané frekvence. Pokud je roven 0, funkce skenování je vypnuta a přijímač je nastaven na běžný provoz (poslech jedné frekvence). Zápisem čísla většího než 0 se zapne režim skenování přes daný počet frekvencí.

SIG udává, při jakém naměřeném signálu je označen provoz na dané frekvenci za vysílání. Pro jeho nastavení platí totéž, co pro nastavení umlčovače (viz kapitola Nastavení umlčovače). Pro optimální provoz by měla být hodnota stejná, jako nastavení umlčovače (přibližně 33).

S1H, S1L jsou bajty udávající první skenovanou frekvenci, pro jejich nastavení platí totéž jako pro zadávání frekvence. S2H, S2L udávají druhou skenovanou frekvenci.

Odpověď MCU->PC po úspěšném nastavení

D0 = 30	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 30 – nastavení skenování

D1 až D7 – nepoužito

Odpověď MCU->PC chyba PS

D0 = 118	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 118 – chyba nastaveného počtu frekvencí

D1 až D7 – nepoužito

Pokud je požadavek na hledání přes více jak 10 frekvencí, je vyslán tento chybový rámec.

Nastavení dalších skenovaných frekvencí PC->MCU

D0 = 31	D1 = ND	D2 = S3H	D3 = S3L	D4 = S4H	D5 = S4L	D6 = S5H	D7 = S5L
----------------	---------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

D0 – 31 – nastavení frekvencí 3 až 5

D1 – nepoužito

S3H, S3L – třetí frekvence

S4H, S4L – čtvrtá frekvence

S5H, S5L – pátá frekvence

D0 = 32	D1 = ND	D2 = S6H	D3 = S6L	D4 = S7H	D5 = S7L	D6 = S8H	D7 = S8L
----------------	---------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

D0 – 32 – nastavení frekvencí 6 až 8

D1 – nepoužito

S6H, S6L – šestá frekvence

S7H, S7L – sedmá frekvence

S8H, S8L – osmá frekvence

D0 = 33	D1 = ND	D2 = S9H	D3 = S9L	D4 = S0H	D5 = S0L	D6 = ND	D7 = ND
----------------	---------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	---------	---------

D0 – 33 – nastavení frekvencí 9 a 10

D1 – nepoužito

S9H, S9L – devátá frekvence

S0H, S0L – desátá frekvence

D6, D7 – nepoužito

Jednotlivé rámce uloží třetí až pátou, šestou až osmou a devátou a desátou frekvenci, na kterých se má prohledávat. Pokud se mají tyto frekvence použít, je třeba daný rámec zapsat ještě před vysláním rámce ovládajícího skenování (D0 = 30), aby bylo spuštěno skenování již s aktuálními frekvencemi.

Reakce na nalezení vysílání MCU->PC

Pokud MCU rozpozná při skenování vysílání na daném kmitočtu, vyšle následující rámec:

D0 = 9	D1 = LF	D2 = HF	D3 = AD_{sig}	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
---------------	----------------	----------------	----------------------------------	---------	---------	---------	---------

D0 – 9 – frekvence, na které je nalezeno vysílání

D1 – LF – nižší bajt frekvence

D2 – HF – vyšší bajt frekvence

D3 – AD_{sig} – úroveň přijímaného signálu

Odpověď MCU->PC nastavení frekvencí

D0 =31- 33	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 31 až 33 – nastavení frekvencí (31 pro rámec 31, 32 pro rámec 32 apod.)

D1 až D7 – nepoužito

Popis chování přijímače v režimu skenování

Po nastavení režimu skenování MCU postupně přepíná frekvence s rychlostí přibližně 14 frekvencí za sekundu. Při tomto skenování je na displeji zobrazen nápis -SCAN-. Pokud najde vysílání na nějaké frekvenci, zobrazí na displeji tuto frekvenci a pošle do PC informaci o nalezení (DV0 = 9). Po ukončení vysílání vyčkává nejprve přibližně 2,5 sekundy (lze nastavit ve firmwaru pro MCU) jestli nedojde k odpovědi, pokud ne, začne znovu vyhledávat (nápis -SCAN-).

D.8 Chybové hlášení

Chyba rozpoznání příkazu MCU -> PC

Pokud nebyl rozpoznán příkaz (D0 nenalezeno), je vyslán následující rámec:

D0 = 215	D1 = ND	D2 = ND	D3 = ND	D4 = ND	D5 = ND	D6 = ND	D7 = ND
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

D0 – 215 – chyba příkazu

D1 až D7 – nepoužito

Možná reakce na chybu je zopakování příkazu.