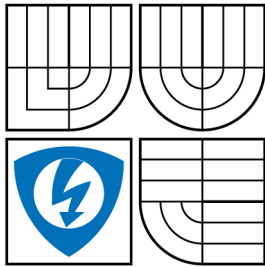


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

OVLÁDACÍ PANEĽ VKV RÁDIA S KMITOČTOVOU SYNTÉZOU

CONTROL UNIT FOR VHF RADIO RECEIVER WITH FREQUENCY SYNTHESIZER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

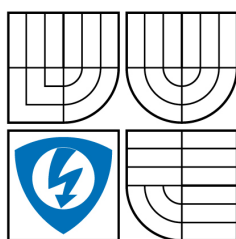
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN SOBOTKA

VEDOUĆÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL VYSKOČIL

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Martin Sobotka

ID: 72889

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Ovládací panel VKV rádia s kmitočtovou syntézou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s technikami kmitočtové syntézy pro účel vytvoření lokálního signálu pro ladění VKV rádia. Zvolte vhodný systém a vypracujte blokové schéma kmitočtové syntézy.

Navrhněte a realizujte ovládací panel VKV rádia s mikroprocesorem, displejem a kmitočtovou syntézou. Pokuste se implementovat automatické vyhledávání stanic rádia, možnost jejich uložení do předvolby a další běžné uživatelské funkce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

[2] HANUS, S., SVAČINA, J. Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2002.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Pavel Vyskočil

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je navržení zapojení ovládacího panelu pro příjem VKV rádia a jeho praktická realizace. Doplněním panelu o vhodnou vstupní tunerovou jednotku vznikne kompletní přijímač pro příjem rádiového vysílání. Mým úkolem je zaměřit se na dvě kmitočtová pásma: pásmo VKVII pro rozhlasové vysílání a pásmo VKV pro leteckou radiokorespondenci. V práci je popsán postup při výběru obvodů, jejich popis a začlenění do kompletního schématu zapojení, popis ovládacího programu pro mikrokontrolér a popis ovládání přístroje. V příloze je umístěno schéma i předloha pro výrobu plošného spoje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kmitočtová syntéza, fázový závěs, napětím řízený oscilátor, rádiový přijímač.

ABSTRACT

The aim of this work is to propose the involvement of the control unit for receiving VHF radio and its practical implementation. Adding a panel on the appropriate tuner unit leads to a complete receiver to receive radio broadcasts. My work is to focus on two frequency bands: VHF band for broadcasting and VHF band for air radio communication. This paper describes a process of selection of component, their description and integration into a complete circuit, a description of the control program for the microcontroller and a description of control device. Scheme and the draft for the manufacture of printed circuit board is attached.

KEYWORDS

Frequency synthesizer, phase-locked loop, voltage-controlled oscillator, radio receiver.

SOBOTKA, M. *Ovládací panel VKV rádia s kmitočtovou syntézou: bakalářská práce.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 67 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Vyskočil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Ovládací panel VKV rádia s kmitočtovou syntézou“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 1. června 2009

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne 1. června 2009

.....
(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Rozbor zadání	12
1.1 Základní údaje o přijímaných pásmech	12
1.1.1 Pásmo VKVII pro rozhlasové vysílání	12
1.1.2 Pásmo VKV pro leteckou radiokorespondenci	12
1.2 Koncepce přijímače typu superheterodyn	12
1.3 Kmitočtový syntezátor	13
1.3.1 Kmitočtový syntezátor s nepřímou koherentní syntézou	13
1.4 Obvod fázového závěsu	14
2 Řešení, výběr obvodů	15
2.1 Blokové schéma	15
2.2 Oscilátor referenčního kmitočtu	15
2.3 Požadavky na obvod fázového závěsu	16
2.4 Obvod fázového závěsu ADF4110	17
2.4.1 Vybrané parametry	17
2.4.2 Popis obvodu ADF4110	18
2.4.3 Návrh hodnot čítačů a předděliče	19
2.4.4 Komunikace s obvodem ADF4110	20
2.5 Požadavky na napětím řízený oscilátor	21
2.6 Napětím řízený oscilátor MAX2606	21
2.6.1 Popis obvodu MAX2606	22
2.6.2 Výstupní zesilovač	23
2.6.3 Konstrukční návrh napětím řízeného oscilátoru	23
2.7 Simulace smyčky fázového závěsu	23
2.8 Ostatní části ovládacího panelu	24
2.8.1 Grafický displej	24
2.8.2 Ovládání	24
2.8.3 Digitálně-analogový převodník MCP4921	24
2.8.4 Demodulátor RDS TDA7330B	24
2.8.5 Tunerová jednotka pro pásmo VKVII	25
2.8.6 Zesilovač MAX2470	25
2.8.7 Audioprocessor a výstupní zesilovač	25
2.8.8 Mikrokontrolér ATmega128	25

3	Návrh zapojení a plošného spoje	26
3.1	Schéma	26
3.2	Popis schématu	26
3.2.1	Obvod fázového závěsu	26
3.2.2	Napájecí část	27
3.2.3	Mikrokontrolér	27
3.2.4	Ovládání	27
3.2.5	LC displej	27
3.2.6	DA převodník	28
3.2.7	Tunerová jednotka	28
3.2.8	Modul VCO	28
3.2.9	Modul RDS	28
3.2.10	Audioprocesor a výstupní zesilovač	28
3.3	Deska plošných spojů	29
4	Program pro mikrokontrolér	30
4.1	Vývojový diagram	30
4.2	Inicializace	31
4.3	Výpis na LCD	31
4.4	Reakce na povel	31
4.5	Nastavení frekvence	32
4.6	Vyhodnocení dat RDS	32
4.7	Přerušení	32
4.7.1	Přetečení čítače TIMER1	32
4.7.2	Dokončení AD převodu	32
4.7.3	Shoda čítače TIMER0 s nastavenou hodnotou	32
4.7.4	Vnější přerušení INT7	33
4.7.5	Vnější přerušení INT6	33
4.8	Podprogramy pro ovládání LCD	33
4.9	Podprogram pro vyhledání stanic	33
5	Ovládání přístroje	34
5.1	Základní zobrazení	34
5.2	Hlavní menu	35
5.2.1	Zvuk	36
5.2.2	Výpis dat RDS	36
5.2.3	Tuner	37
5.2.4	Kmitočtové pásmo	37

6	Měření	39
6.1	Měření tunerové jednotky a DA převodníku	39
6.2	Měření napětím řízeného oscilátoru	40
7	Shrnutí parametrů	42
8	Závěr	43
	Literatura	44
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	46
	Seznam příloh	47
A	Popis bitů rámce při komunikaci s obvodem ADF4110	48
B	Grafický výstup programu ADIsimPLL	49
B.1	Schéma smyčky PLL s navrhnutým filtrem smyčky	49
B.2	Chování obvodu v časové oblasti při změně výstupní frekvence ze 109 MHz na 112 MHz	50
C	Tabulky naměřených dat	52
C.1	Tunerová jednotka VKVII	52
C.2	Modul VCO	53
D	Spektrum generovaného signálu	55
D.1	Spektrum pro 10 MHz až 1 GHz	55
D.2	Spektrum pro krajní a střední generovanou frekvenci	55
E	Schéma	57
E.1	Schéma modulu VCO a modulu RDS	58
F	Obrazec plošného spoje	59
F.1	Obrazec plošného spoje - vrchní strana	59
F.2	Osazení součástek plošného spoje - vrchní strana	59
F.3	Obrazec plošného spoje - spodní strana	60
F.4	Osazení součástek plošného spoje - spodní strana	60
F.5	Obrazec plošného spoje modulu VCO	61
F.6	Osazení součástek plošného spoje modulu VCO	61
F.7	Obrazec plošného spoje modulu RDS	61
F.8	Osazení součástek plošného spoje modulu RDS	61

G	Seznam součástí	62
G.1	Hlavní deska	62
G.2	Modul VCO a RDS	66
H	Obsah přiloženého CD	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Blokové zapojení superheterodynu [3]	13
1.2	Zapojení syntezátoru se smyčkou PLL [3]	14
2.1	Blokové schéma	15
2.2	Funkční blokové schéma obvodu ADF4110 [7]	18
2.3	Časové průběhy při odesílání dat do obvodu ADF4110 [7]	21
2.4	Typické zapojení obvodu MAX2606 [10]	22
2.5	Typické zapojení obvodu MAX2471 [9]	23
3.1	Schéma obvodu fázového závěsu	26
4.1	Vývojový diagram ovládacího programu	30
5.1	Základní zobrazení	35
5.2	Hlavní menu	35
5.3	Zvuk	36
5.4	Výpis dat RDS	36
5.5	Tuner	37
5.6	Kmitočtové pásmo	37
6.1	Závislost přijímané frekvence VCO tunerové jednotky na řídicím napětí	39
6.2	Závislost výstupního napětí DA převodníku na přijímané frekvenci	40
6.3	Závislost přijímané frekvence modulu VCO na řídicím napětí	40
6.4	Spektrum frekvence 10 MHz až 1 GHz	41
A.1	Popis registrů obvodu ADF4110 [7]	48
B.1	Schéma generované programem ADIsimPLL	49
B.2	Výstupní frekvence	50
B.3	Absolutní chyba výstupní frekvence	50
B.4	Chyba fáze výstupní frekvence	51
B.5	Výstup kmitočtově fázového komparátoru	51
D.1	Spektrum frekvence na spodní hranici pásma - nastaveno 118 MHz	55
D.2	Spektrum frekvence uprostřed pásma - nastaveno 128 MHz	56
D.3	Spektrum frekvence na horní hranici pásma - nastaveno 137 MHz	56

SEZNAM TABULEK

1.1	Rozdělení pásem pro leteckou radiokorespondenci [6]	12
2.1	Popis jednotlivých pinů obvodu ADF4110	19
2.2	Hodnoty čítačů pro celé přijímané pásmo	20
2.3	Popis jednotlivých pinů obvodu MAX2606	22
5.1	Popis funkce tlačítek dálkového ovládání v základním zobrazení	34
5.2	Popis funkce ovládacích prvků umístěných na panelu	38
D.1	Velikosti a kmitočty jednotlivých harmonických výstupu VCO	55

ÚVOD

Náplní této práce je navrhnout systém kmitočtové syntézy pro ladění VKV (Velmi Krátké Vlny) rádia a následná realizace ovládacího panelu. Panel by měl být univerzální a měl by umožňovat příjem v celém rozsahu pásma VKV při využití různých tunerových vstupních dílů. V této práci se zaměřím hlavně na dvě pásma: VKVII (pásmo velmi krátkých vln 87.5 - 108 MHz) pro rozhlasové vysílání a pásmo VKV pro leteckou radiokorespondenci.

Použití různých tunerových jednotek vyžaduje značnou univerzálnost ovládací části, některé jednotky již obsahují vlastní napětím řízený oscilátor, jiné vyžadují externí oscilátor a přivedení frekvence do směšovače. Z tohoto důvodu je třeba navrhnout i napětím řízený oscilátor a vhodným způsobem umožnit přepínání jednotlivých VCO (napětím řízený oscilátor – Voltage Controlled Oscillator).

Kvůli velkému rozsahu přijímaných frekvencí bude nutné pečlivě vybrat obvod fázového závěsu, musí umožňovat dosažení daného kmitočtového kroku i v krajních oblastech pásem.

Celý panel bude řízen mikrokontrolérem rodiny AVR a ovládán několika tlačítky. Jako zobrazovací jednotku využiji LCD (displej z tekutých krystalů – Liquid Crystal Display). Rád bych dosáhl kompletního přijímače, takže zapojení doplním o audioprocesor pro ovládání hlasitosti a výstupní výkonový sluchátkový zesilovač. Součástí panelu bude rovněž napájecí část se stabilizátory.

Pro možnosti dalšího rozšíření vyvedu nevyužité piny mikrokontroléru na konektory. Při návrhu budu uvažovat možnost ovládat panel dálkovým ovládaním pomocí infračerveného signálu. Pro dodatečnou možnost dekódování datových informací RDS (doplňkové datové informace v rádiovém vysílání – Radio Data System) z přijímaného signálu vyvedu potřebné vodiče na konektor.

Cílem práce je výběr potřebných obvodů, návrh schématu zapojení, návrh obrazce plošného spoje a výroba a osazení plošného spoje. Po oživení panelu bude spočívat hlavní náplň práce v tvorbě ovládacího programu pro mikrokontrolér, odzkoušení a odladění všech obvodů a funkcí a případně doplnění panelu o další funkce.

1 ROZBOR ZADÁNÍ

1.1 Základní údaje o přijímaných pásmech

1.1.1 Pásmo VKVII pro rozhlasové vysílání

Vysílání v pásmu VKVII probíhá s frekvenční modulací (FM). Kmitočtové pásmo je pro většinu Evropy 87,5 - 108 MHz. Krok mezi jednotlivými stanicemi se nejčastěji používá 100 kHz, výjimečně i 50 kHz. Většina stanic vysílá stereofonní zvuk a doplňkové informace RDS. [5]

1.1.2 Pásmo VKV pro leteckou radiokorespondenci

Rádiová komunikace letecké služby většinou probíhá na kmitočtech 118 - 137 MHz. Při vysílání je použita amplitudová modulace (AM). Krok jednotlivých kanálů je běžně 25 kHz, v současné době se začíná používat i krokování 8,33 kHz. [6]

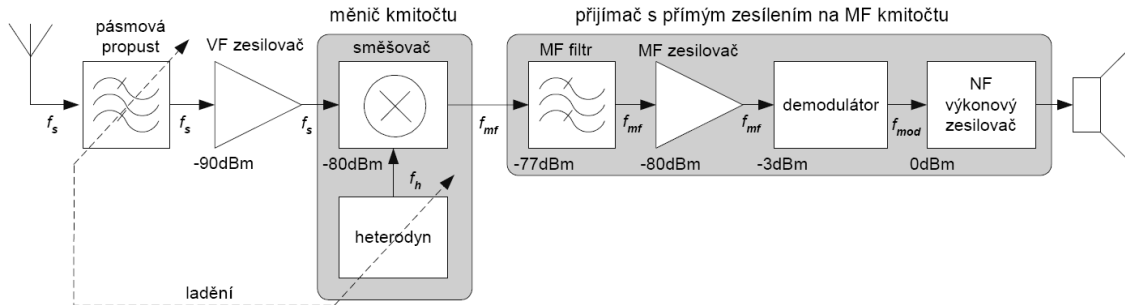
Tab. 1.1: Rozdělení pásem pro leteckou radiokorespondenci [6]

Pásmo [MHz]	Krok [kHz]	Modulace	Uživatelé
108,000 - 117,975	25	AM	Letecká radionavigace-majáky
118,000 - 121,475	25	AM	Letecké pásmo
121,500	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
123,100	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

1.2 Koncepce přijímače typu superheterodyn

Použití syntezátoru pro ladění rádia vyžaduje rádiový přijímač typu superheterodyn. Tato koncepce spočívá v transponování upraveného signálu z antény v měnič kmitočtu na takzvaný mezifrekvenční signál. 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. Návrh a realizace tohoto oscilátoru pomocí kmitočtové syntézy je cílem této práce. [3]



Obr. 1.1: Blokové zapojení superheterodynu [3]

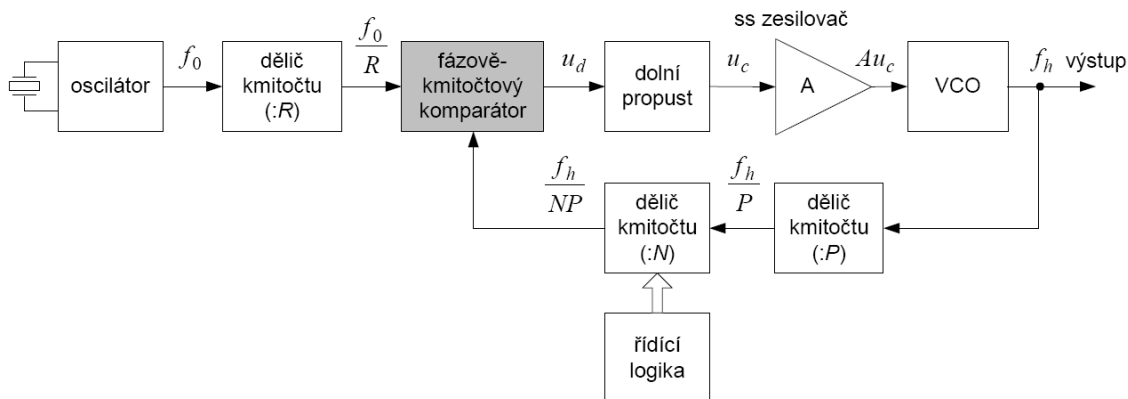
1.3 Kmitočtový syntezátor

Kmitočtový syntezátor slouží pro generování harmonických signálů s diskretními kmitočty. Rozdíl dvou sousedních kmitočtů se nazývá kmitočtový krok syntezátoru. Jednotlivé kmitočty jsou odvozeny od referenčního oscilátoru, který je většinou tvořen krystalovým oscilátorem. Díky tomu lze dosáhnout velké přesnosti kmitočtu.

Pro zamýšlený účel vytvoření lokálního signálu pro ladění VKV rádia použijí syntezátor s nepřímou koherentní syntézou. Využívá pouze jeden základní generátor a díky zpětné vazbě lze generovat kmitočty ve velkém rozsahu i při malém kmitočtovém kroku.

1.3.1 Kmitočtový syntezátor s nepřímou koherentní syntézou

Základním prvkem syntezátoru je kmitočtově fázový komparátor, který porovnává obě vstupní frekvence. První vstupní frekvence je z referenčního oscilátoru s neměnným kmitočtem a většinou bývá snížena děličem. Druhá vstupní frekvence je z napětím řízeného oscilátoru a jak již název vypovídá, bude závislá na napětí na řídicím vstupu tohoto oscilátoru. Je také vydělena pomocí jednoho či několika děliček. Rozdíl těchto dvou frekvencí převedený na napětí či proudové impulzy je filtrován dolní propustí a přiveden na řídicí vstup napětím řízeného oscilátoru. Tím dojde k zavedení zpětné vazby a kmitočtově fázový komparátor bude na výstupu nastavovat takové podmínky, aby frekvence na obou jeho vstupech byly stejné.



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

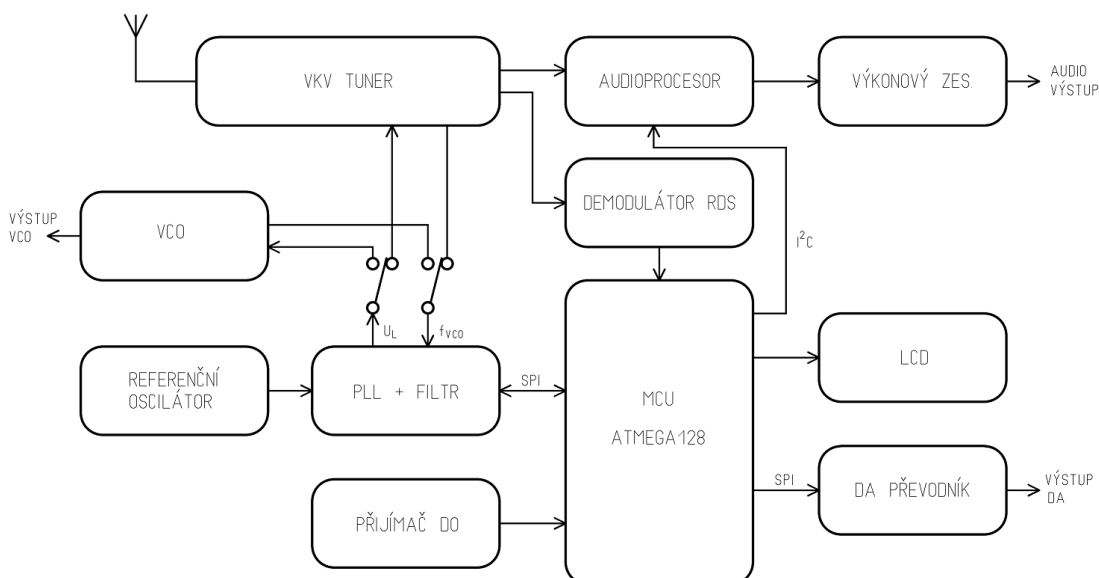
Pomocí děliček kmitočtu lze následně nastavit požadovanou frekvenci. Tento systém umožňuje generovat široký rozsah kmitočtů při vynikající přesnosti odpovídající (v ideálním případě) referenčnímu oscilátoru, který bývá řízen krystalem. Nevýhodou je diskrétní množina výstupních frekvencí, která ovšem při ladění rádia nevádí, jelikož stanice jsou též rozloženy na diskrétních kmitočtech. [3]

1.4 Obvod fázového závěsu

Jako obvod fázového závěsu je označována část kmitočtového syntezátoru, kterou tvoří kmitočtově-fázový komparátor a děliče kmitočtu. Někdy je též součástí obvodu referenční oscilátor a dolní propust. Výběru správného obvodu je třeba věnovat velkou pozornost, jelikož jeho parametry jsou určující pro vlastnosti celého syntezátoru.

2 ŘEŠENÍ, VÝBĚR OBVODŮ

2.1 Blokové schéma



Obr. 2.1: Blokové schéma

Programovatelným prvkem celého zapojení je mikrokontrolér ATmega128, ke kterému jsou připojeny veškeré periferie. K obvodu fázového závěsu je přiveden referenční kmitočet z krystalového oscilátoru. Pokud nebude mít obvod fázového závěsu filtr smyčky integrován, bude nutné jej připojit externě. Ladicí napětí U_L je dále přivedeno buď do samostatného napětím řízeného oscilátoru, nebo přímo do tunerové jednotky (pokud obsahuje vlastní VCO). Frekvence z VCO f_{VCO} je přivedena na vstup fázového závěsu a je tím uzavřena regulační smyčka. Nízkofrekvenční výstup z tunerové jednotky je přiveden do audioprocesoru, kde je upravena hlasitost a případně frekvenční korekce, a dále zesílen v koncovém sluchátkovém zesilovači.

Jako zobrazovací prvek bude sloužit LC displej a k ovládání použijí infračervené dálkové ovládání, rotační enkodér s axiálním tlačítkem (IRC) a čtyři samostatná tlačítka.

Pro větší univerzálnost panelu použijí v zapojení i DA (Digitálně Analogový) převodník pro řízení vstupních filtrů přijímače.

2.2 Oscilátor referenčního kmitočtu

Oscilátor generující referenční kmitočet by měl být v první řadě dostatečně přesný a stabilní. Tomu plně vyhovuje použití oscilátoru řízeného krystalem. Hodnota frek-

vence musí odpovídat kmitočtovému kroku syntezátoru, nebo, pokud obsahuje obvod fázového závěsu dělič, násobku frekvence kroku. Požadované kroky jsou 50 kHz a $8,3\bar{3}$ kHz, z čehož plyne, že lze využít jakýkoliv běžně dostupný oscilátor s frekvencí v násobku 50 kHz. Vybral jsem krystalový oscilátor v kovovém pouzdru s výstupní frekvencí 1 MHz.

2.3 Požadavky na obvod fázového závěsu

Hlavním požadavkem na obvod fázového závěsu je zpracování kmitočtů celého VKV pásma 90 - 150 MHz (zahrnuje přijímanou frekvenci + mezifrekvenční kmitočty) a umožnění kmitočtového kroku $8,3\bar{3}$ kHz i na nejvyšších frekvencích.

Kmitočtový krok je určen referenčním oscilátorem, který bude tvořit krystalový oscilátor. Hodnota kmitočtu $8,3\bar{3}$ kHz není běžně dostupná, proto je nutné, aby obvod fázového závěsu obsahoval dělič pro referenční frekvenci R :

$$R = \frac{1 \text{ MHz}}{8,3\bar{3} \text{ kHz}} = 120.$$

Při použití vybraného krystalového oscilátoru s frekvencí 1 MHz musí být schopen dělič snížit frekvenci 120 krát. Děliče jsou v obvodech fázového závěsu realizovány jako čítače, požadovaný počet bitů čítače tedy bude

$$n(R) = \frac{\log 120}{\log 2} \cong 7 \text{ bitu.}$$

Kmitočtový krok $8,3\bar{3}$ kHz bude nutný na nejvyšších frekvencích kolem 150 MHz. To klade vysoké nároky na dělič frekvence napětím řízeného oscilátoru N :

$$N = \frac{150 \text{ MHz}}{8,3\bar{3} \text{ kHz}} = 18000.$$

Dělič pro frekvenci napětím řízeného oscilátoru musí tuto frekvenci snížit až 18000 krát. Požadovaný počet bitů čítače je

$$n(N) = \frac{\log 18000}{\log 2} \cong 15 \text{ bitu.}$$

Bylo by tedy potřeba 15-ti bitového čítače. To je ovšem problém, protože takto velké čítače se většinou do obvodů fázových závěsů neimplementují. Řešením je použití rychlého předděliče a následně dvou čítačů s menším počtem bitů. Dělicí poměr je potom dán vztahem

$$N = B.P + A,$$

kde P je dělicí poměr předděliče, B a A jsou čítače. Dělicí poměr předděliče bývá většinou 8, 16, 32 atd. Pokud použiji hodnotu 8, je nutná velikost čítače B

$$B = \frac{18000}{8} = 2250.$$

Tomu odpovídá počet bitů čítače B

$$n(B) = \frac{\log 2250}{\log 2} \cong 12 \text{ bitu.}$$

Této velikosti většinou již čítače v obvodech fázového závěsu dosahují, případně lze použít předdělič s vyšší hodnotou (např. 16) a počet bitů čítače se zmenší o jeden. Čítač A musí jemně doladit hrubý krok způsobený součinem $B.P$, jeho počet bitů tedy postačuje pro předdělič s hodnotou 8

$$n(A) = \frac{\log 8}{\log 2} \cong 3 \text{ bity.}$$

Obvod fázového závěsu by měl být schopen nastavit (přeladit) oscilátor v co nejkratším čase. Tato vlastnost bude požadována hlavně pro letecké pásmo, kde bude zapotřebí prohledat celé pásmo velmi rychle, aby bylo zachyceno případné vysílání co nejdříve. Na tento parametr bude mít zásadní vliv zvolení zapojení a návrh filtru ve smyčce fázového závěsu.

2.4 Obvod fázového závěsu ADF4110

Z dostupných obvodů fázových závěsů jsem vybral odvod řady ADF411x firmy Analog Devices. Obvody této řady obsahují rychlý programovatelný předdělič a čítače požadovaných velikostí. Předdělič lze nastavit na několik dělicích poměrů (8/9, 16/17, 32/33, 64/65), čítač A je 6-ti bitový, čítač B 13-ti bitový a čítač R 14-ti bitový. Obvod obsahuje nízkošumový kmitočtově-fázový detektor a nábojovou pumpu s volitelným maximálním výstupním proudem. Obvod je řízen sériovým rozhraním SPI (sériové komunikační rozhraní – Serial Peripheral Interface). [7]

2.4.1 Vybrané parametry

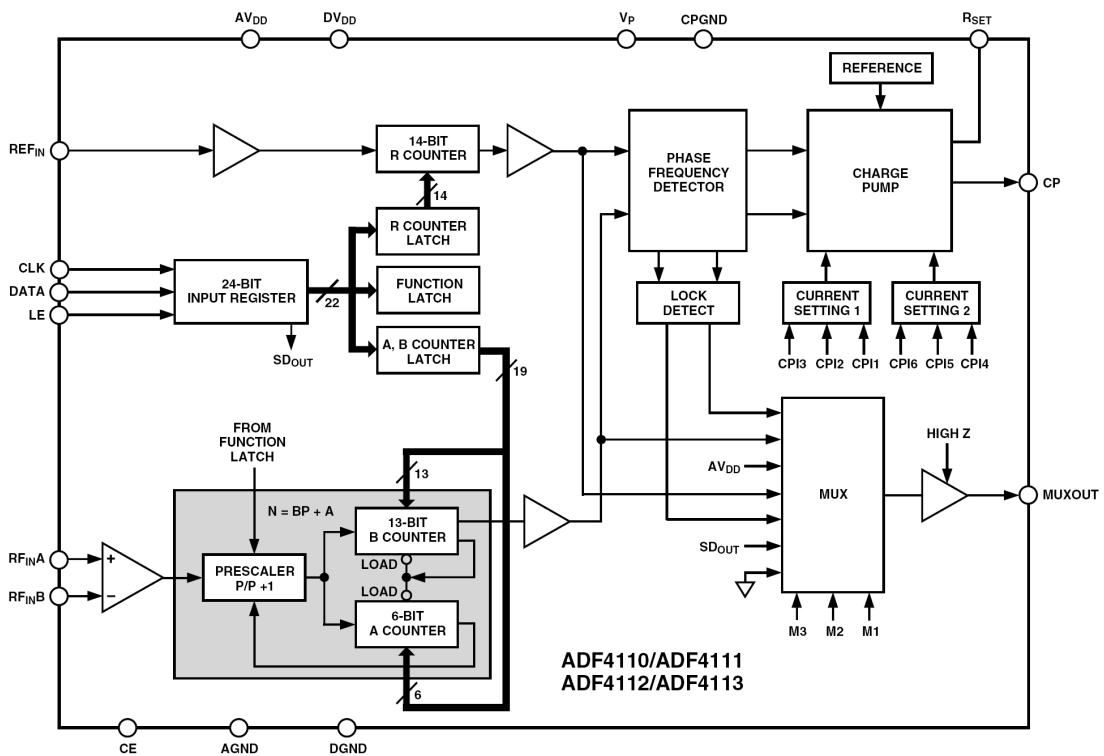
- rozsah frekvencí vstupu RF: 25 - 550 MHz
- rozsah frekvencí vstupu REF_{IN} : 0 - 100 MHz
- maximální pracovní frekvence fázového komparátoru: 55 MHz
- napájecí napětí $AV_{DD} = DV_{DD}$: 2,7 - 5,5 V

- napájecí napětí nábojové pumpy V_P : AV_{DD} až 6 V
- maximální odběr ($AI_{DD} + DI_{DD}$): 5,5 mA
- maximální odběr I_P : 0,5 mA

2.4.2 Popis obvodu ADF4110

Jádrem celého obvodu je kmitočtově fázový komparátor, který porovnává kmitočty vydělené čítači a ovládá nábojovou pumpu. Maximální výstupní proud nábojové pumpy I_{CPmax} je určen velikostí rezistoru připojeného mezi vstup obvodu R_{SET} a GND. Pro návrh rezistoru platí rovnice

$$I_{CPmax} = \frac{23,2}{R_{SET}} \quad [A].$$



Obr. 2.2: Funkční blokové schéma obvodu ADF4110 [7]

Obvod umožňuje mnoho způsobů nastavení chování nábojové pumpy. Lze například nastavit, aby v okamžiku nastavení jiné frekvence bylo použito nastavení s větším výstupním proudem pro rychlejší dosáhnutí požadované frekvence a po určité prodlevě se použije nastavení s nižším výstupním proudem pro jemné doladění frekvence. Díky tomu lze dosáhnout velmi rychlého a přesného nastavení výstupního

kmitočtu. Výstup nábojové pumpy CP je dále nutné přivést na filtr smyčky typu dolní propust, který impulzový průběh filtruje na stejnosměrné napětí ovládací napětím řízený oscilátor.

Na vstup $RF_{IN}A$ je přivedena frekvence z napětím řízeného oscilátoru. Ta je dále zpracována v děliči a přivedena na vstup kmitočtově fázového komparátoru. Referenční frekvence je přivedena na vstup REF_{IN} , vydělena a přivedena na druhý vstup komparátoru.

Pro komunikaci s obvodem slouží hodinový vstup CLK, datový DATA a LE, který potvrzuje zápis do vstupního registru velikosti 24 bitů. Data jsou dále načtena do záchytných registrů jednotlivých čítačů. Obvod obsahuje i jeden výstup MUXOUT, kterému lze přiřadit volitelnou funkci (např. výstup čítačů R , N , sériový výstup dat, třístavový výstup, atd.). [7]

Tab. 2.1: Popis jednotlivých pinů obvodu ADF4110

- 1 R_{SET} - nastavení maximálního výstupního proudu nábojové pumpy
- 2 CP - výstup nábojové pumpy
- 3 CPGND - zem nábojové pumpy
- 4 AGND - zem analogové části
- 5 $RF_{IN}B$ - komplementární vstup předděliče
- 6 $RF_{IN}A$ - vstup předděliče
- 7 A_{VDD} - napájení analogové části
- 8 REF_{IN} - vstup referenční frekvence
- 9 DGND - zem digitální části
- 10 CE - povolení obvodu
- 11 CLK - hodinový datový vstup
- 12 DATA - sériový vstup dat
- 13 LE - načtení dat
- 14 MUXOUT - výstup, možnost volby funkce
- 15 D_{VDD} - napájení digitální části
- 16 V_P - napájení nábojové pumpy

2.4.3 Návrh hodnot čítačů a předděliče

Dělička referenční frekvence obsahuje 14-ti bitový nastavitelný čítač, pomocí něhož je třeba vydělit frekvenci na vstupu REF_{IN} na požadovaný frekvenční krok 8, 33 kHz pro letecké či 50 kHz pro rozhlasové pásmo. To bude zároveň pracovní frekvence

fázového komparátoru. Zvolil jsem referenční frekvenci $f_{\text{REFIN}}=1$ MHz. Hodnoty nastavení čítače R tedy budou následující

$$R_{\text{ROZ}} = \frac{f_{\text{REFIN}}}{\Delta f_{\text{VCO}}} = \frac{1 \text{ MHz}}{50 \text{ kHz}} = 20,$$

$$R_{\text{LET}} = \frac{f_{\text{REFIN}}}{\Delta f_{\text{VCO}}} = \frac{1 \text{ MHz}}{8,3\bar{3} \text{ kHz}} = 120.$$

Blok děličky pro frekvenci z napětím řízeného oscilátoru obsahuje rychlý předdělič $P/(P+1)$ s nastavitelnou hodnotou $8/9$, $16/17$, $32/33$, nebo $64/65$ a dvojici čítačů A a B . Hodnota předděliče postačuje pro celé přijímané pásmo $8/9$.

Rovnice kompletního obvodu fázového závěsu je následující:

$$f_{\text{VCO}} = f_{\text{REFIN}} \frac{P \cdot B + A}{R}.$$

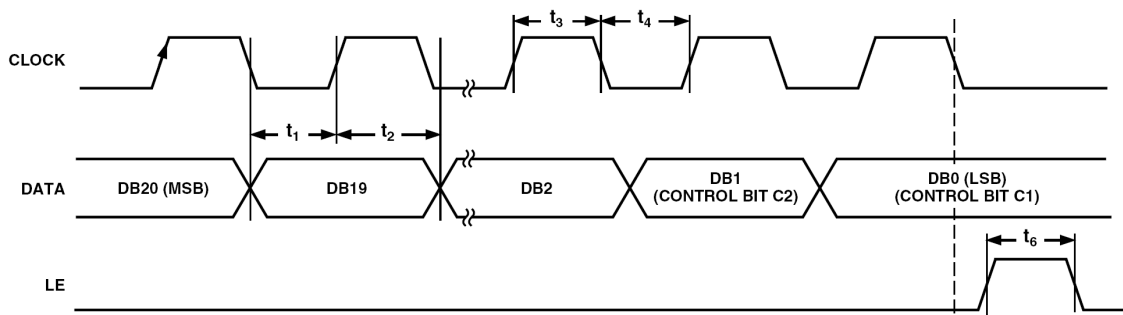
Z této rovnice lze již snadno určit hodnotu čítačů A a B pro všechny generované frekvence, viz tabulka 2.2.

Tab. 2.2: Hodnoty čítačů pro celé přijímané pásmo

f_{PRIJ} [MHz]	f_{VCO} [MHz]	R	B	A
87,50	98,20	20	245	4
87,55	98,25	20	245	5
87,60	98,30	20	245	6
87,65	98,35	20	245	7
87,70	98,40	20	246	0
...				
108,00	118,70	20	296	6
118,0000	128,7000	120	1770	0
118,008 $\bar{3}$	128,708 $\bar{3}$	120	1770	1
...				
137,0000	147,7000	120	2055	0

2.4.4 Komunikace s obvodem ADF4110

Odesílání dat do obvodu fázového závěsu probíhá pomocí třívodičového rozhraní. Data jsou posílána na vstup DATA a jsou přijata do vstupního registru s nástupnou hranou na hodinovém vstupu CLK. Po naplnění registru (24 bitů) je třeba vygenerovat nástupnou hranu na vstupu LE a tím jsou data zpracována a načtena do záchytných registrů jednotlivých čítačů či dalších bloků. [7]



Obr. 2.3: Časové průběhy při odesílání dat do obvodu ADF4110 [7]

Obvod je schopen přijmout čtyři rozdílné rámce o velikosti 24 bitů. K jejich rozeznání slouží dva nejnižší bity. Popis jednotlivých bitů všech čtyř rámců je uveden v příloze A.

2.5 Požadavky na napětím řízený oscilátor

Napětím řízený oscilátor je po obvodu fázového závěsu druhý nejdůležitější prvek obvodu syntezátoru. Kmitočet generovaný oscilátorem bude jednak přiveden ve zpětné vazbě do obvodu fázového závěsu, ale hlavně bude použit pro translaci přijímané frekvence na mezifrekvenci pomocí směšovače. Některé tunerové jednotky již mají vlastní VCO implementován. Stačí tedy pouze přivést napětí z filtru smyčky a odebírat frekvenci pro obvod fázového závěsu. Jiné přijímače vyžadují přivedení frekvence. V tomto případě je nutné sestavit oscilátor s potřebnými parametry.

Základní požadavek je kladen na výstupní frekvenci. Ta musí být pro celé VKV pásmo v rozmezí 90 - 150 MHz (zahrnuje přijímanou frekvenci + mezifrekvenční kmitočet). Dále by bylo vhodné, aby řídicí napětí pro celé přeladění bylo v rozsahu výstupního napětí obvodu fázového závěsu, což je 0 - 6 V. Pokud by nebyl tento předpoklad splněn, bylo by nutné mezi obvody zařadit ještě zesilovač či aktivní filtr smyčky. Samozřejmě bude vyžadována co nejlepší spektrální čistota výstupního průběhu.

2.6 Napětím řízený oscilátor MAX2606

Potřebným parametrům vyhovuje obvod firmy Maxim MAX2606, který je určen přímo pro generování frekvence pro směšovač. Umožňuje generování frekvencí v rozsahu 70 - 150 MHz, napájecí napětí může být 2,7 - 5,5 V a ladící napětí pro celý rozsah je 0,4 - 2,4 V. [10]

2.6.1 Popis obvodu MAX2606

Obvod MAX2606 obsahuje napětím řízený Colpittsovův oscilátor s integrovaným varaktorem a zpětnovazebním kapacitorem a je potřebné připojit jen externí cívku. Tato cívka by měla mít jakost minimálně 30, potom je zaručen velmi malý fázový šum.

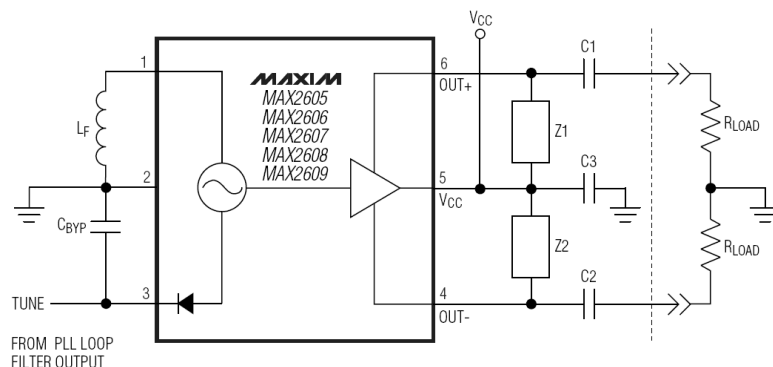
Tab. 2.3: Popis jednotlivých pinů obvodu MAX2606

- 1 IND - připojení indukčnosti pro nastavení základní frekvence
- 2 GND - zem
- 3 TUNE - řídicí vstup napětí
- 4 OUT₋ - komplementární výstup
- 5 V_{CC} - napájení
- 6 OUT₊ - výstup

Indukčnost cívky lze přibližně určit z grafu v katalogovém listu obvodu [10], pro střední frekvenci leteckého pásma kolem $138 + 10,7$ MHz vychází asi $L_F = 330$ nH. Bohužel na našem trhu nejsou dobře dostupné vysokofrekvenční cívky a bude tedy nutné cívku navinout.

Výrobce je předepsané, že mezi vstup TUNE a zem GND je třeba připojit kondenzátor o kapacitě $C_{BYP} \geq 680$ pF, použijí kondenzátor $C_{BYP} = 1$ nF.

Výstup obvodu tvoří komplementární dvojice pinů OUT₋ a OUT₊, které jsou zapojeny jako otevřený kolektor. Vyžadují tedy připojení pull-up článku na výstup. Tímto článkem může být cívka, rezistor či jejich kombinace. Výstup je určen především pro připojení k zesilovači se symetrickým vstupem, či odděleně k směšovači a obvodu fázového závěsu. [10]

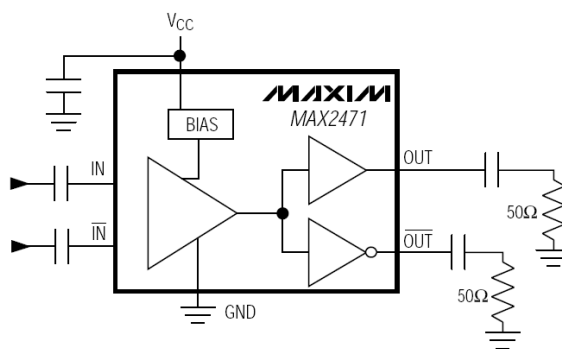


Obr. 2.4: Typické zapojení obvodu MAX2606 [10]

Kondenzátor C_3 slouží pro pokrytí špičkového odběru obvodu a snižuje šum výstupního napětí. Kondenzátory C_1 a C_2 oddělují stejnosměrnou složku.

2.6.2 Výstupní zesilovač

Výstup obvodu MAX2606 je vysokoimpedanční a není vhodný pro připojení obvyklé zátěže $50\ \Omega$. Proto je nutné za napětím řízený oscilátor zapojit ještě posilující zesilovač, který připojení zátěže $50\ \Omega$ umožní. Vybral jsem obvod MAX2471, který má symetrický vysokoimpedanční vstup i $50\ \Omega$ výstup, navíc dosahuje zesílení $A > 14\ \text{dB}$. [9]



Obr. 2.5: Typické zapojení obvodu MAX2471 [9]

2.6.3 Konstrukční návrh napětím řízeného oscilátoru

Napětím řízený oscilátor MAX2606 sice umožňuje generovat výstupní frekvenci 70 - 150 MHz, ovšem přeladění při použití jedné konkrétní indukčnosti je daleko menší, přibližně 25 - 30 MHz, což postačuje jen pro jedno ze zadaných přijímaných pásem. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl napětím řízený oscilátor vyrobit jako samostatný výměnný modul. To umožní v případě potřeby použít více modulů určených pro různé frekvence (s různou velikostí rezonanční indukčnosti). Celý modul umístím do kovové pocínované krabičky kvůli zamezení působení vnějších vlivů.

2.7 Simulace smyčky fázového závěsu

Firma Analog Devices nabízí zdarma program ADIsimPLL pro odsimulování vyráběných obvodů a návrh filtru smyčky. Program po zadání vstupních hodnot vygeneruje optimální hodnoty součástek vybraného druhu filtru a grafické výsledky, viz příloha B.

Vyzkoušel jsem všechny nabízené typy filtrů smyčky a vybral jsem typ, s kterým došlo k nejrychlejšímu ustálení výstupní frekvence. Hodnoty součástek filtru jsou patrné ze schématu B.1.

Chování obvodu v časové oblasti popisují obrázky v části B.2. Z obrázků lze určit, že k ustálení frekvence i fáze dojde přibližně po čase 3,5 ms.

2.8 Ostatní části ovládacího panelu

Řídícím obvodem celého zařízení bude vhodný mikrokontrolér, k němuž budou po různých komunikačních rozhraních připojeny ostatní obvody. Zobrazovacím prvkem bude grafický displej. Ovládat zařízení bude možné pomocí infračerveného dálkového ovládání, případně ještě pomocí několika tlačítek.

2.8.1 Grafický displej

Pro zobrazování údajů jsem zvolil podsvícený grafický LC displej s rozlišením 128x64 bodů a označením ATM12864. Displej je řízen pomocí řadičů KS0107B a KS0108B. Bohužel tyto obvody slouží jen pro obsluhu displeje a neobsahují žádnou znakovou sadu, kterou je nutné umístit do programové paměti MCU (mikrokontrolér – MicroComputer Unit). Komunikace s displejem probíhá po paralelní osmibitové datové sběrnici a je řízena několika signály: E - hodinový signál, RS - instrukce/data, CS1 a CS2 - pro výběr levé či pravé části displeje. Kontrast displeje se řídí pomocí odporového trimru, který přivádí napětí na vstup V0. [4]

2.8.2 Ovládání

Jako nejvhodnější způsob ovládání panelu se mi jeví použití infračerveného dálkového ovládání. Pro příjem povelů ovladače jsem použil kompletní přijímač SFH506.

Dalším možným způsobem ovládání panelu jsou čtyři tlačítka a inkrementální rotační snímač.

2.8.3 Digitálně-analogový převodník MCP4921

Většina vstupních dílů přijímačů obsahuje napětím laditelné selektivní obvody pro výběr pásma. U přijímače s vlastním napětím řízeným oscilátorem je již řízení těchto dvou částí (oscilátoru a vstupního filtru) vhodně propojeno a postačuje tedy přivést napětí z filtru smyčky. Pokud ovšem vstupní jednotka vyžaduje externí napětím řízený oscilátor, je nutné pro správný souběh řídit napětím vstupní laditelné obvody zvlášť. K tomuto účelu slouží 12-ti bitový DA převodník MCP4921 připojený k mikrokontroléru. Následně bude postačovat proměřit selektivní vlastnosti vstupního filtru v celém přijímaném pásmu pro dané napětí, aproximovat je funkcí či zapsat do tabulky a pomocí nich nastavovat výstup DA převodníku. [11]

2.8.4 Demodulátor RDS TDA7330B

Pro demodulování a dekódování doplňkových informací z rádiového vysílání jsem použil obvod TDA7330B. Na jeho vstup je připojen signál z FM tuneru, který je po-

stupně filtrován, demodulován a dekodován. Výstup obvodu tvoří jeden hodinový a jeden datový vodič, na kterých je s hodinovým kmitočtem 1187,5 Hz vysílána datová informace. Ta je dále zpracována v hlavním mikrokontroléru. Jelikož dekodování a zobrazování RDS informací je nad rámec zadání této práce, rozhodl jsem se tento obvod navrhnout jako samostatný rozšiřující modul.[14]

2.8.5 Tunerová jednotka pro pásmo VKVII

Pro příjem rozhlasového vysílání použiji modul tuneru firmy Pioneer. Modul obsahuje kompletní přijímač pásma VKVII: vstupní obvody, směšovač, napětím řízený oscilátor, mezifrekvenční filtr, demodulátor, stereodekodér i nízkofrekvenční zesilovač. Modul má vyveden vstup i výstup napětím řízeného oscilátoru a je přímo určen pro ovládání obvodem fázového závěsu. Zároveň jsou vyvedeny řídicí vstupy pro potlačení automatického řízení zisku vstupního zesilovače při hledání stanic, vypnutí stereodekodéru a výstupy informující o kvalitě příjmu a detekci stanice. Tyto řídicí signály je nutné přivést do mikrokontroléru kvůli umožnění funkce automatického vyhledávání stanic.

2.8.6 Zesilovač MAX2470

Výstup napětím řízeného oscilátoru tunerové jednotky je nutné zesílit pro další zpracování v obvodu fázového závěsu. K tomu slouží zesilovač MAX2470, který má vysokoimpedanční vstup, 50 Ω výstup a dosahuje zesílení $A > 14$ dB. [9]

2.8.7 Audioprocessor a výstupní zesilovač

Pro ovládání hlasitosti použiji audioprocessor TDA7449. Obvod je napájen napětím 6 - 10 V, má dva stereofonní vstupy s nastavitelným ziskem a jeden stereofonní výstup. Umožňuje nastavit hlasitost, vstupní zisk, vyvážení kanálů a korekce hloubek a výšek. Obvod je řízen sběrnicí I²C. [12]

Výstupní výkonový zesilovač TS482 slouží pro přímé připojení sluchátek. Obvod je napájen 5 V a dosahuje výstupního výkonu 100 mW do zátěže 16 Ω . [13]

2.8.8 Mikrokontrolér ATmega128

Pro řízení celého panelu jsem zvolil mikrokontrolér ATmega128. Obsahuje SPI rozhraní, které využiji pro připojení obvodu fázového závěsu ADF4110 a DA převodníku, integrovaný AD převodník, kterým budu měřit úroveň signálu stanice, umožňuje sériové programování, obsahuje 128 kB paměti programu, 4 kB datové EEPROM a 4 kB datové SRAM. [8]

3 NÁVRH ZAPOJENÍ A PLOŠNÉHO SPOJE

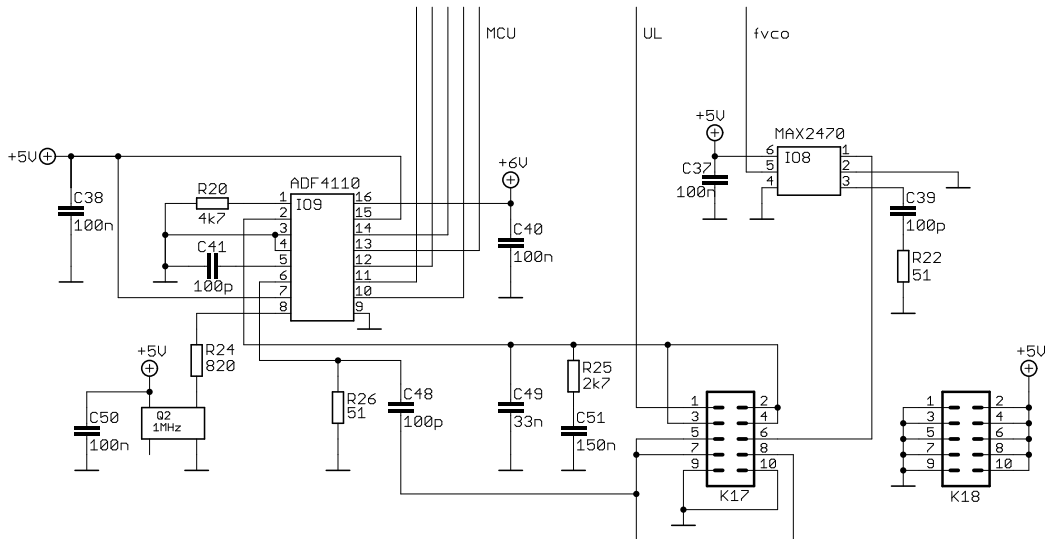
3.1 Schéma

Kompletní schéma je umístěno v příloze E.

3.2 Popis schématu

3.2.1 Obvod fázového závěsu

Obvod fázového závěsu IO9 je napájen ze dvou různých napětí. Digitální část napětím 5 V a obvod nábojové pumpy 6 V. Tím je umožněn větší rozsah výstupního napětí až k 6 V. Rezistor R20 slouží k nastavení maximálního výstupního proudu (nastaven na 5 mA). Krystalový oscilátor Q2 je připojen přes rezistor R24, který slouží k omezení strmých hran a tím ke snížení rušení tunerové jednotky. Filtr smyčky tvoří součástky R25, C49 a C51, jejich hodnoty jsou navrženy programem ADIsimPLL.



Obr. 3.1: Schéma obvodu fázového závěsu

Konektory K17 a K18 slouží pro připojení modulu napětím řízeného oscilátoru a jeho mechanické upevnění. Pokud bude využit VCO tunerové jednotky, budou konektory osazeny propojkou a U_L bude přiveden na ladící vstup VCO a f_{VCO} bude výstupní frekvence VCO. Zesilovač IO8 slouží pro zesílení úrovně signálu o 14 dB. Jelikož má symetrický výstup, je první nevyužitý zakončen charakteristickou impedancí a druhý je přiveden do obvodu fázového závěsu IO9.

3.2.2 Napájecí část

Vstupní napětí je přivedeno přes diodu D1 kvůli zamezení škod při nechtěném přepólování. Následuje filtrační kondenzátor C2 a trojice stabilizátorů. První IO1 stabilizuje napětí 6 V pro nábojovou pumpu, IO2 slouží pro napájení obvodů digitální části a IO4 pro napájení tunerové jednotky a audioprocesoru. Výstupní napětí IO4 je zvýšeno pomocí diody D2 na hodnotu 8,2 V, kterou vyžaduje pro optimální činnost tunerová jednotka. V zapojení jsou oddělené zemní cesty pro analogovou a digitální část spojené pomocí tlumivky L1.

3.2.3 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér IO6 je taktován pomocí vnitřního oscilátoru 8 MHz, protože při použití vnějšího krystalu Q1 o hodnotě 12 MHz docházelo k velkému rušení vstupního dílu přijímače. Analogová část mikrokontroléru je napájena ze stabilizátoru IO2 přes tlumivku L4 a blokována kondenzátorem C47. Referenční napětí AD převodníku mikrokontroléru je vytvořeno pomocí IO10 a je nastaveno na hodnotu 5 V. Programovací vodiče jsou vyvedeny na konektor K4.

3.2.4 Ovládání

Prvním prvkem je rotační snímač označený IRC. Všechny výstupy snímače jsou mechanické kontakty, tudíž je nutné ošetřit zákmity pomocí kondenzátorů C32 až C34.

Dalším prvkem jsou čtyři samostatná tlačítka SW1 až SW4 ošetřená kondenzátory C42 až C45. Jsou připojena přímo k pinům mikrokontroléru s aktivním pull-up rezistorem.

Přijímač dálkového ovládání IO7 je připojen k pinu mikrokontroléru s funkcí vnějšího přerušení. Pomocí D3 a D4 je zajištěno, aby mohl být přijímač případně používán i externím modulem.

3.2.5 LC displej

Displej je připojen k mikrokontroléru pomocí osmibitové sběrnice a pěti řídicích vodičů. Odporovým trimrem PT1 lze nastavit kontrast displeje, rezistor R27 přivádí vysokou logickou úroveň na nevyužitý vstup RST. Rezistor R28 slouží pro omezení proudu LED využitých k podsvícení a lze jím nastavit optimální jas.

3.2.6 DA převodník

DA převodník je připojen k mikrokontroléru na piny SPI rozhraní, reference je použita stejná jako pro AD převodník mikrokontroléru (IO10, 5 V). Výstup převodníku je vyveden na konektor JP3.

3.2.7 Tunerová jednotka

Vstupní jednotka tuneru je napájena napětím 8,2 V. Řídící piny SEK, LCH, SD, ST, MONO jsou kompatibilní s logikou 0 a 5V a jsou připojeny přímo přes ochranné rezistory k mikrokontroléru. Vstup LCL vyžaduje vysokou logickou úroveň 8V, proto je připojen k mikrokontroléru přes ovládací spínací tranzistor T1. Napětí na výstupu FCL je přes dělič přivedeno na vstup AD převodníku mikrokontroléru a udává úroveň signálu stanice. Na FTV je přivedeno řídicí napětí z filtru smyčky. Výstup oscilátoru FVCO je přiveden na zesilovač IO8. Nízkofrekvenční výstupy FMR a FML jsou přes oddělovací kondenzátory C16 a C17 přivedeny do audioprocesoru IO3. Výstup COMP je signál ještě před deemfází a je vyveden na konektor K1 pro připojení k modulu RDS.

3.2.8 Modul VCO

Základním prvkem je napětím řízený oscilátor IO101, jehož výstup je posílen zesilovačem IO102. R102 a R103 jsou pull-up rezistory a přivádí napětí na výstupní tranzistor v IO101. C104, C105 a C107 slouží pro oddělení stejnosměrné složky, C101, C102 a C106 pokrývají špičkový odběr obvodů. L101 je rezonanční indukčnost a jedná se o cívku s feritovým jádrem, kterým lze detailně doladit výstupní frekvenci. K101 a K102 slouží pro propojení modulu s hlavní deskou a mechanickou oporu modulu.

3.2.9 Modul RDS

Demodulátor IO103 je zapojen podle katalogového listu, je taktován pomocí krystalu Q101. Konektor K104 slouží pro propojení s hlavní deskou a mechanickou oporu modulu.

3.2.10 Audioprocesor a výstupní zesilovač

Audioprocesor IO3 je napájen napětím 8,2 V a je řízen po sběrnici I²C z mikrokontroléru IO6. Součástky C10 až C15 a R3, R4 jsou filtry pro frekvenční korekce. Výstup obvodu je přiveden na konektor K2 (2x CINCH) a zároveň do sluchátkového zesilovače IO5. Ten je zapojen jako invertující zesilovač. Rezistory R15 a R17

slouží pro vytvoření „umělé země“ - poloviny napájecího napětí. Výstupní signál je přiveden na konektor K3 (JACK 3,5 mm) pro připojení sluchátek.

3.3 Deska plošných spojů

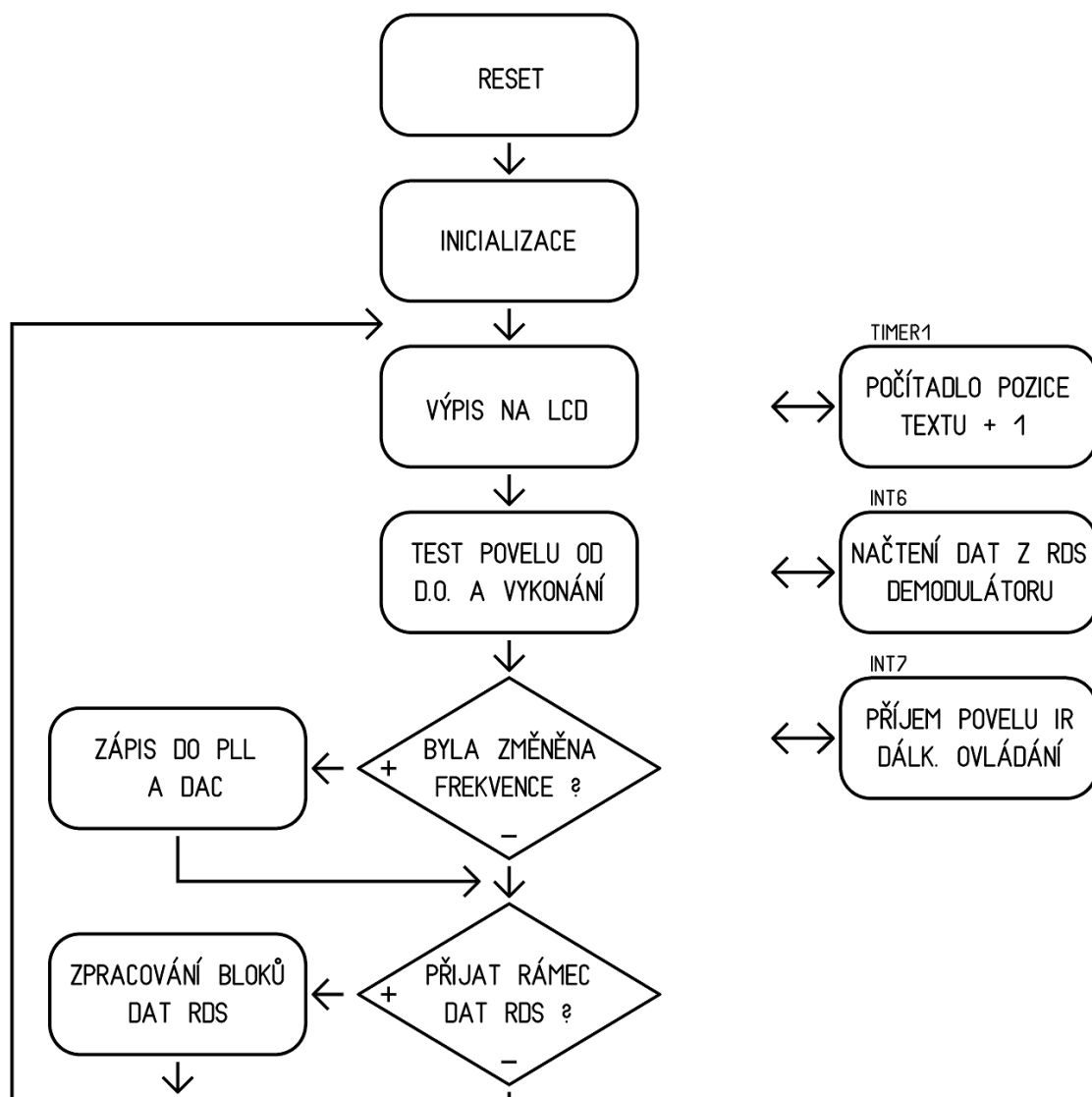
Obrazec desky plošných spojů je navržen jako oboustranný s prokovenými otvory. Na spodní straně jsou umístěny veškeré součástky v provedení s drátovými vývody a na horní straně veškeré součástky pro povrchovou montáž. Výjimku tvoří displej a ovládací tlačítka, které jsou umístěné na horní straně desky. Obvod fázového závěsu s okolními součástkami je umístěn ve stínícím kovovém krytu.

Moduly VCO a RDS jsou zhotoveny z jednostranné desky plošných spojů. Kompletní obrazce plošných spojů jsou umístěny v příloze F.

4 PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR

Pro psaní ovládacího programu pro mikrokontrolér ATmega128 jsem zvolil vývojové prostředí AVR Studio 4 a kód C. Kompletní zdrojové soubory jsou umístěny na doprovodném CD, popis v příloze H. Program zaplňuje 27 kB programové paměti, 833 Bytů SRAM a 100 Bytů paměti EEPROM.

4.1 Vývojový diagram



Obr. 4.1: Vývojový diagram ovládacího programu

Okamžitě po resetu mikrokontroléru dojde k úvodní inicializaci, ve které jsou nastaveny řídicí registry a inicializovány výstupní periferie. Následuje hlavní smyčka,

ve které nejprve dojde k aktualizaci údajů na displeji a následně testu, zda nebyl přijat povel z dálkového ovladače nebo tlačítek. Pokud je požadavek na přeladění frekvence, dojde k vyslání potřebné sekvence dat do obvodu fázového závěsu a nastavení příznaků pro příjem RDS na úvodní hodnoty. Následuje podprogram, který v případě platných dat z dekódéru RDS tyto vyhodnotí.

4.2 Inicializace

Nejdříve jsou nastaveny všechny použité registry ovládající jednotlivé části mikrokontroléru - porty, čítače, SPI rozhraní, I²C rozhraní (označované TWI), vnější přerušování, rozhraní USART a AD převodník. Dále jsou inicializovány připojené periferie: LC displej, obvod fázového závěsu a audioprocessor. Zároveň je z paměti EEPROM načteno uživatelské nastavení a použito k nastavení obvodů do stavu shodného před vypnutím zařízení. Nakonec dojde k naplnění pole znaků pro RDS symboly prázdného znaku a povolení přerušování.

4.3 Výpis na LCD

Pokud uživatel prochází menu, jsou vypsané jednotlivé položky a šipkou označena aktuální pozice, v opačném případě jsou aktualizovány informace v základním zobrazení. Jelikož řadič displeje neobsahuje znakovou sadu, vytvořil jsem ji a uložil do programové paměti MCU. Základní znaky mají velikost 8 bodů, znaky číslic pro zobrazení frekvence 16 bodů. Pro zobrazení kvality přijímaného signálu a kvality příjmu informací RDS jsou použity sloupcové grafy. Ke komunikaci s displejem na nejnižší úrovni jsou na portu generovány průběhy dle katalogového listu [15].

4.4 Reakce na povel

V tomto podprogramu se testuje, zda nebyl přijat povel od dálkového ovladače (příjem povelu je vykonán v obsluze přerušování), nebo nebylo stisknuto tlačítko. Každé tlačítko na ovladači je reprezentováno osmibitovým číslem, které je programem vyhodnoceno a je vykonána příslušná událost. Ta může být odlišná pro základní zobrazení nebo pro menu, proto je testována pozice v menu a podle toho vybrána daná reakce. Pokud došlo ke změně některých parametrů zálohovaných v EEPROM, jsou tyto uloženy.

4.5 Nastavení frekvence

Pokud je v hlavním programu vyhodnoceno, že došlo ke změně nastavené frekvence, je zavolán podprogram obsluhující obvod fázového závěsu. Ten zajistí vyslání tří 24-bitových rámců, ve kterých je umístěno veškeré nastavení obvodu fázového závěsu (kmitočtový krok, frekvence). Zároveň je vyslán šestnáctibitový rámec s nastavením výstupního napětí DA převodníku určeného pro řízení vstupních filtrů přijímače.

4.6 Vyhodnocení dat RDS

Po přijetí kompletní skupiny dat je nejprve zjištěno, o kterou skupinu se jedná. Pokud se jedná o skupinu 0A nebo 0B, je z dat vyhodnocena informace PS (název rozhlasové stanice – Program Service), pokud 2A nebo 2B je uložena informace RT (krátká textová zpráva – RadioText) a pokud jde o skupinu 4A, je načtena informace o aktuálním čase a datu CT (Datum a čas – Clock-Time and date). Všechny informace jsou označeny za správné a použity teprve poté, pokud přijdou v nezměněné podobě dvakrát za sebou. Kompletní popis RDS je v normě [16]. Pro dekódování dat RDS jsem upravil program, který napsal Marc Ketel. Program je volně ke stažení na stránkách [17].

4.7 Přerušování

4.7.1 Přetečení čítače TIMER1

Po přetečení časovače je generováno přerušování, které je použito pro inkrementaci počítadla udávajícího pozici textu RT získaného z RDS. Zároveň je použito pro zpoždění od ztracení synchronizace příjmu RDS do indikace tohoto stavu na displeji.

4.7.2 Dokončení AD převodu

Po skončení převodu hodnoty napětí udávající úroveň přijímaného signálu je hodnota z převodníku přepsána do určené proměnné a zahájen další převod.

4.7.3 Shoda čítače TIMER0 s nastavenou hodnotou

Slouží pro měření délky impulzů z IR demodulátoru. Přerušování se vyvolává po 100us a mezi dvěma sestupnými hranami signálu z demodulátoru jsou počítány tyto časové úseky.

4.7.4 Vnější přerušení INT7

Přerušení je vyvoláno sestupnou hranou na vstupu INT7, který je připojen k IR demodulátoru. Po každé hraně je inkrementováno počítadlo hran. Při první hraně je spuštěn TIMER0 a je měřen interval mezi dvěma sestupnými hranami. Podle jeho délky jsou vyhodnoceny jednotlivé bity (start, log.1, log.0) nebo pokud je interval mimo tolerance jednotlivých bitů, je identifikována chyba a příjem je ukončen.

4.7.5 Vnější přerušení INT6

Přerušovací pin INT6 je připojen na hodinový výstup RDS demodulátoru a při sestupné hraně indikuje platná data na pinu PB4. Po vyvolání přerušení jsou načítány hodnoty z pinu PB4 a jsou ukládány do paměti. Po přijetí bloku 26 bitů (16 bitů data a 10 bitů kontrolní slovo) jsou tyto vyhodnoceny. Pokud se podaří přijmout celou skupinu (4 bloky po 26 bitech) je nastaven příznak příjmu dat RDS.

4.8 Podprogramy pro ovládání LCD

Jedná se o skupinu podprogramů sloužících pro ovládání displeje. Podprogram pro inicializaci vygeneruje sekvenci řídicích impulzů nutných pro uvedení displeje do výchozího stavu, zapne a smaže displej a nastaví automatický posun kurzoru. Dále jsou použity podprogramy pro vyslání instrukce nebo dat na LCD, podprogramy pro vyslání textového řetězce a nastavení pozice textu. Podprogramy využívají znakovou sadu umístěnou v paměti programu dat mikrokontroléru.

4.9 Podprogram pro vyhledání stanic

Ve smyčce FOR jsou postupně generovány všechny hodnoty frekvencí v celém pásmu a je zavolán podprogram pro zápis požadované frekvence do obvodu fázového závěsu. Poté následuje zpoždovací smyčka nutná pro přeladění tuneru a změření úrovně signálu AD převodníkem. Následuje vyhodnocení úrovně přijímaného signálu a v případě kvalitního signálu je stanice uložena na další volnou pozici v EEPROM.

5 OVLÁDÁNÍ PŘÍSTROJE

Panel lze ovládat dvěma způsoby: infračerveným dálkovým ovladačem (popis v tabulce 5.1) nebo tlačítka (popis v tabulce 5.2 na konci kapitoly). Při vývoji byl důraz kladen na ovládání dálkovým ovladačem, protože je pro uživatele příjemnější. Tlačítka slouží jen pro základní operace.

5.1 Základní zobrazení

Do režimu základního zobrazení přejde přístroj ihned po přivedení napájení a resetu mikrokontroléru. Je načteno naposledy použité nastavení uložené v EEPROM - naposledy poslouchaná stanice, úroveň hlasitosti, nastavení korekce zvuku a všechny další parametry nastavované v menu.

Tab. 5.1: Popis funkce tlačítek dálkového ovládání v základním zobrazení

0-9	krátký stisk - přepnutí na uloženou frekvenci
0-9	dlouhý stisk - uložení aktuálně nastavené frekvence
DISPL	vstup do hlavního menu
ENTER	přepnutí sady stanic
VOL -/+	ovládání hlasitosti
CH -/+	ladění frekvence
PICT -/+	přepínání uložených stanic
MUTE	přepnutí STEREO/MONO
SLEEP	dlouhý stisk - automatické vyhledání stanic

Všechny uložené stanice jsou rozděleny do čtyřech sad po deseti stanicích. Mezi jednotlivými sadami se lze přepínat pomocí tlačítka ENTER, mezi stanicemi v jedné sadě lze procházet tlačítka PICT -/+, nebo přímo volbou čísla dané stanice 0-9. Tlačítka CH -/+ lze manuálně ladit frekvenci. Pro uložení stanice je nutno déle podržet jedno z tlačítek 0-9 podle toho, pod kterým číslem má být daná stanice uložena. Automatické hledání stanic lze spustit dlouhým stiskem tlačítka SLEEP. Pro pásmo VKVII trvá hledání přibližně 5 s. Všechny nalezené stanice jsou uloženy postupně do sady 3 a 4. Rozhodovací úroveň signálu pro hledání lze nastavit v menu.

V prvním řádku LC displeje je v případě platných dat RDS zobrazen textový řetězec RT (krátká textová zpráva – RadioText). Řetězec obsahuje až 64 znaků, proto je zobrazován postupně rolováním textu (viz obrázek 5.1: EVROPA 2 - 105,5). V druhém řádku první číslo informuje o zvolené sadě (2) a druhé o právě poslouchané stanici v dané sadě (6). Dále je zobrazena informace PS (název rozhlasové stanice – Program Service), který obsahuje 8 znaků (KATY). Ve střední části displeje je

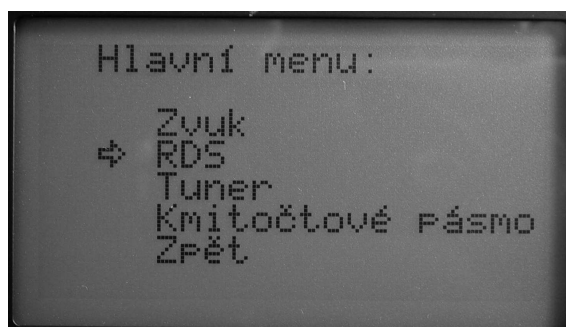


Obr. 5.1: Základní zobrazení

velkým písmem zobrazena aktuálně naladěná frekvence (101,5MHz). V posledním řádku je na prvním místě zobrazena informace o zasynchronizování obvodu fázevého závěsu (OK). Následuje informace Station Detect (SD), což je signál z tuneru informující o nalezení rozhlasového vysílání na dané frekvenci. Nad touto informací je číselný údaj informující o úrovni přijímaného signálu (30). Dosahuje hodnot od 5 do 40, přibližně od úrovně 28 lze kvalitu označit za dobrou, nad 30 za vynikající. Symbol dvou protnutých kružnic slouží pro indikaci stereo příjmu zvuku, v případě monofonního vysílání je zobrazeno MO. Následuje indikace příjmu doplňkových informací (RDS), nad kterou je číselný údaj kvality příjmu RDS. Číselný údaj je v rozmezí 0-31, pro bezchybné dekódování a zobrazení informací je nutná kvalita 31. V posledním řádku je ještě umístěn ukazatel nastavení hlasitosti schodovitého tvaru. V pravé části displeje jsou dva sloupcové grafy. První slouží pro zobrazení kvality příjmu RDS, druhý pro úroveň signálu stanice.

5.2 Hlavní menu

Do hlavního menu lze vstoupit stiskem tlačítka DISP, zpět na základní zobrazení buď stiskem DISP, nebo vybráním položky Zpět. Pohyb v menu je možný pomocí

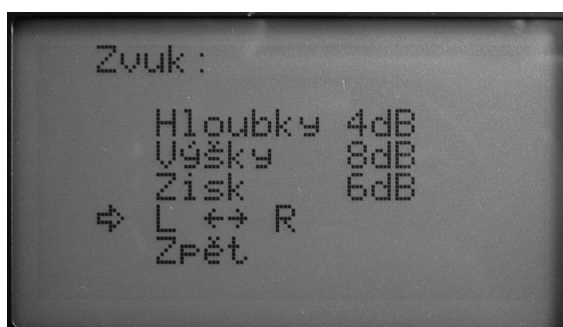


Obr. 5.2: Hlavní menu

tlačítek CH -/+ a vybrání příslušné položky se provede stiskem tlačítka ENTER. Všechna ostatní tlačítka slouží stejnému účelu, jako při základním zobrazení

5.2.1 Zvuk

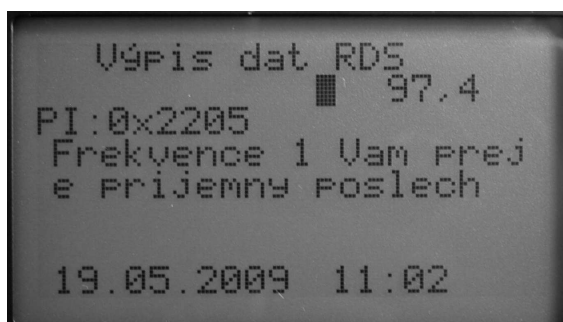
Položka menu Zvuk slouží pro nastavení audioprocesoru. Lze nastavit kmitočtovou korekci hloubek a výšek v rozsahu -14 dB až +14 dB, zisk vstupního zesilovače audioprocesoru 0 až 30dB a lze zaměnit zvukové kanály L ↔ R nebo R ↔ L. Pohyb mezi položkami je možný pomocí CH -/+, změnit jednotlivé položky lze VOL -/+.



Obr. 5.3: Zvuk

5.2.2 Výpis dat RDS

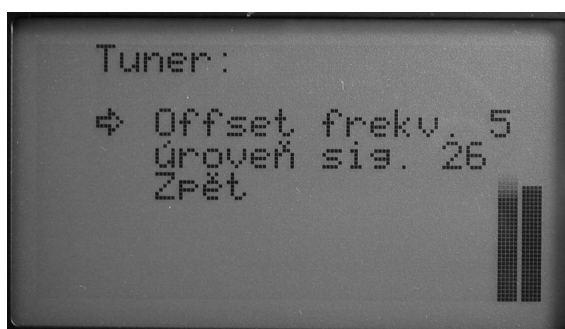
V tomto submenu jsou vypsané nejdůležitější informace získané z RDS. V prvním řádku je název stanice PS (97,4), v druhém je identifikační číslo programu PI (0x2205), následující čtyři řádky jsou určeny pro zobrazení kompletního řetězce RT (Frekvence 1 Vam preje prijemny poslech). V posledním řádku je zobrazen datum a čas (19.5.2009 11:02).



Obr. 5.4: Výpis dat RDS

5.2.3 Tuner

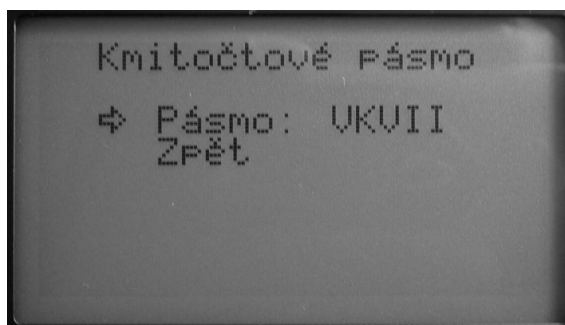
Pod touto položkou se nachází nastavení parametrů pro daný vstupní díl. První řádek Offset frekv. slouží pro korekci generované frekvence v rozsahu 0-20, každá jednotka odpovídá 5 kHz. V pravé části displeje jsou zobrazeny sloupcové grafy kvality signálu, které lze využít pro nalezení nejvhodnější hodnoty. Optimální nastavení použitého tuneru Pioneer je 5, tomu odpovídá generování frekvence o 25 kHz více než nastavená. Položka Úroveň sig. slouží pro nastavení rozhodovací úrovně při automatickém vyhledávání a lze ji nastavit v rozsahu 5 až 40. Stanice nad touto úrovní budou vyhodnoceny jako platné a uloženy do EEPROM. Pohyb mezi položkami je možný pomocí CH -/+ , změnit jednotlivé položky lze VOL -/+ .



Obr. 5.5: Tuner

5.2.4 Kmitočtové pásmo

Submenu kmitočtové pásmo slouží pro výběr mezi rozhlasovým pásmem a pásmem pro leteckou radiokorespondenci. Po této volbě je změněn povolený kmitočtový rozsah a frekvenční krok.



Obr. 5.6: Kmitočtové pásmo

Tab. 5.2: Popis funkce ovládacích prvků umístěných na panelu

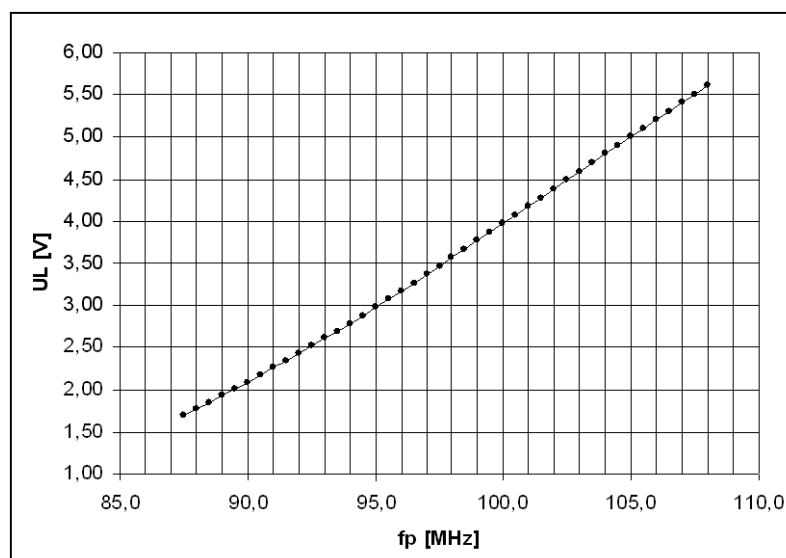
Tlačítko 1	stejná funkce jako CH+
Tlačítko 2	stejná funkce jako CH-
Tlačítko 3	stejná funkce jako PICT+
Tlačítko 4	stejná funkce jako PICT-
IRC \leftrightarrow	stejná funkce jako VOL-
IRC \leftarrow	stejná funkce jako VOL+
Tlačítko IRC	stejná funkce jako ENTER

6 MĚŘENÍ

Měření na ovládacím panelu lze rozdělit do dvou částí. Měření na tunerové jednotce a měření syntezátoru s napětím řízeným oscilátorem. Do části měření tunerové jednotky jsem ještě zařadil měření DA převodníku.

6.1 Měření tunerové jednotky a DA převodníku

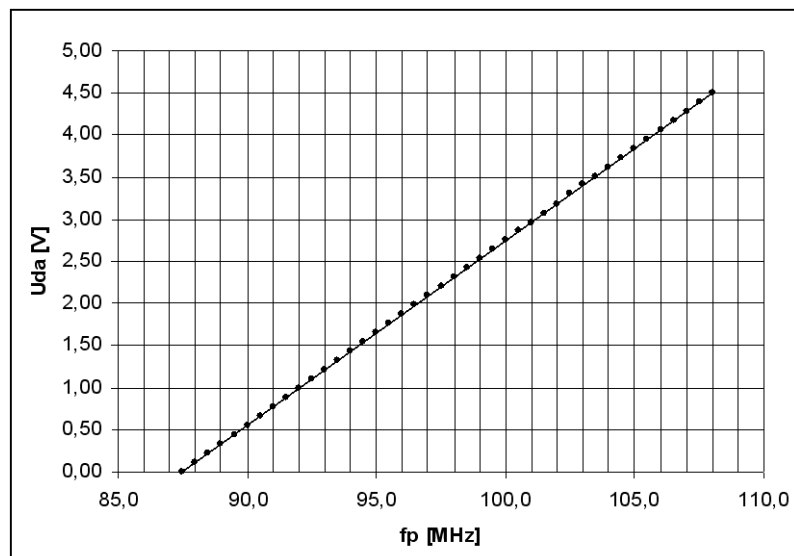
Na tunerové jednotce jsem změřil závislost generované frekvence vnitřního napětím řízeného oscilátoru na vstupním řídicím napětí, viz obrázek 6.1. Závislost je téměř lineární, celého rozsahu frekvencí je dosaženo rozsahem vstupního napětí 1,7 až 5,6 V. Maximální rozsah napětí výstupu nábojové pumpy je 0 až 6 V, takže je dodržena dostatečná rezerva.



Obr. 6.1: Závislost přijímané frekvence VCO tunerové jednotky na řídicím napětí

Jako převodní funkce mezi frekvencí a výstupním napětím DA převodníku je naprogramována lineární závislost, která je použita jen pro ověření funkčnosti. Závislost je zobrazena na obrázku 6.2. Při použití výstupu DA převodníku pro řízení vstupních filtrů přijímače je nutné změřit závislost propustného pásma filtrů na řídicím napětí a aproximovat funkcí, která se následně vloží do programu pro mikrokontrolér. Pokud by nebylo snadné závislost aproximovat, lze hodnoty napětí pro jednotlivé frekvence zapsat do tabulky do paměti programu. Kompletní tabulky naměřených dat jsou umístěny v příloze C.1.

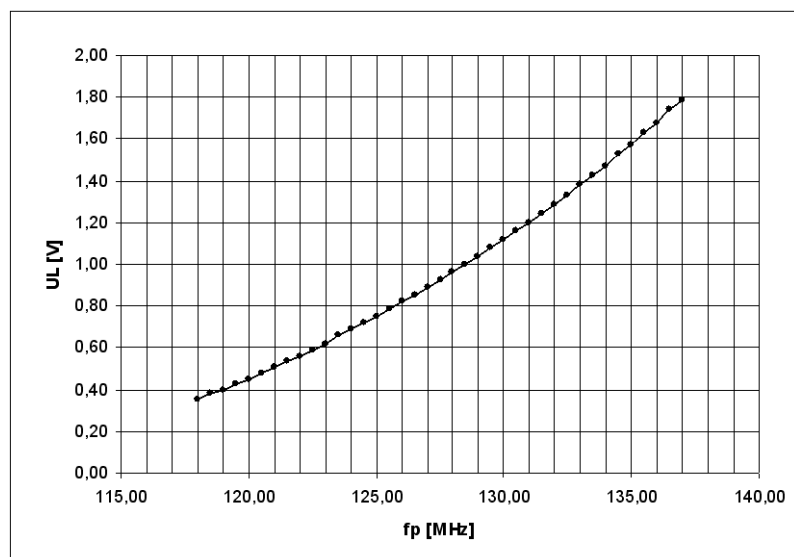
K měření byl použit multimetr M890C.



Obr. 6.2: Závislost výstupního napětí DA převodníku na přijímané frekvenci

6.2 Měření napětím řízeného oscilátoru

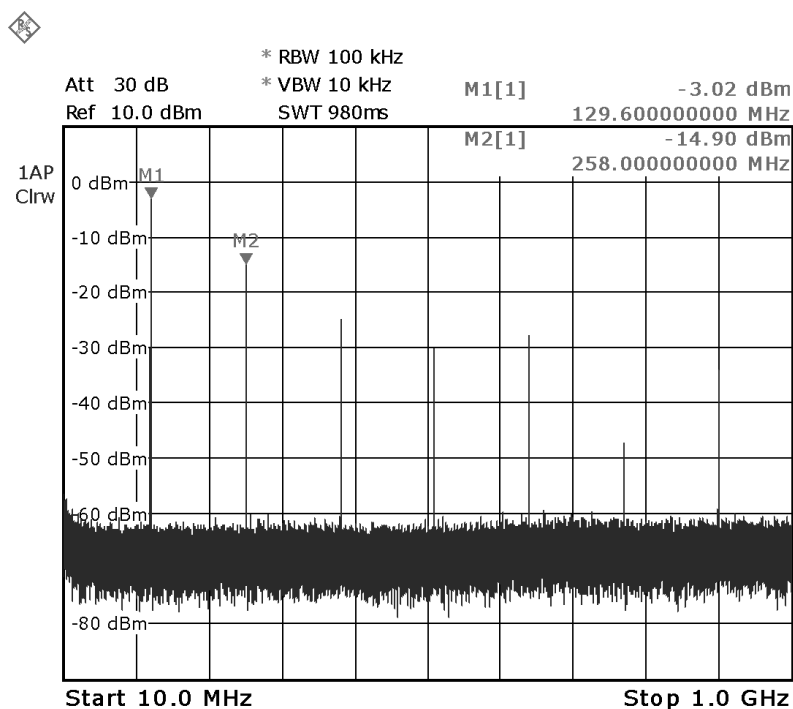
U napětím řízeného oscilátoru jsem změřil závislost výstupní frekvence na řídicím napětí, viz obrázek 6.3. Rozsahu celého pásma je dosaženo ladícím napětím 0,3 až 1,8 V. Kompletní tabulka naměřených dat je umístěna v příloze C.2.



Obr. 6.3: Závislost přijímané frekvence modulu VCO na řídicím napětí

Na obrázku 6.4 je spektrum výstupního signálu modulu napětím řízeného oscilátoru. Na ovládacím panelu je nastavena frekvence 118 MHz, generovaná frekvence je o mezifrekvenční kmitočet vyšší. Spektrum je zobrazeno od 10 MHz do 1 GHz,

rozlišovací šířka pásma spektrálního analyzátoru je 100 kHz.



Obr. 6.4: Spektrum frekvence 10 MHz až 1 GHz

Druhá harmonická základního kmitočtu je o 12 dB nižší, třetí harmonická o 22 dB. Velikosti jednotlivých harmonických jsou v tabulce v příloze D.1. Pokud by velikost vyšších harmonických byla při aplikaci syntezátoru na závadu, bylo by nutné doplnit na výstup filtr typu dolní propust. Obrázky spektra pro střední a krajní kmitočty pásma jsou umístěny v příloze D.2.

Měření spektra probíhalo na přístroji Rohde&Schwarz FSL3 9 kHz - 3 GHz, ev.č. 624-401.

Dále jsem změřil pro zavěšený napětím řízený oscilátor fázový šum, který dosahoval úrovně -65 dBc/Hz na offsetovém kmitočtu 1 kHz a -82 dBc/Hz na offsetovém kmitočtu 10 kHz. Při měření byla nastavena frekvence 128 MHz (+ 10,7 MHz) a rozlišovací šířka pásma spektrálního analyzátoru 1 Hz. Pro měření byl použit přístroj Agilent 4395A network/spectrum/impedance analyzer.

7 SHRNU TÍ PARAMETRŮ

Napájecí napětí	10 - 20 V
Proudový odběr	max 400 mA
Zobrazovač	LCD 128 x 64 znaků
Výstupní výkon	100 mW / 16 Ω
Korekce hloubek	± 14 dB, krok 2 dB
Korekce výšek	± 14 dB, krok 2 dB
Nastavení zisku	0 - 30 dB, krok 2 dB
Nastavení hlasitosti	-47 - 0 dB, krok 1 dB
Přijímané pásmo VKVII	87,5 - 108 MHz
Kmitočtový krok VKVII	50 kHz
Přijímané pásmo letecké	118 - 137 MHz
Kmitočtový krok letecké pásmo	8,33 kHz
Počet předvoleb	40
Zpracování dat RDS	PI, PS, RT, CT
Počet bitů DA převodníku	12
Výstupní napětí DA převodníku	0 - 5 V
Rozměry	150 x 95 x 60 mm

8 ZÁVĚR

V této práci jsem navrhnul kmitočtový syntezátor nahrazující heterodyn rádiového přijímače. Vzal jsem v úvahu dvě zadaná přijímaná pásma a zvolil nejvhodnější součástky pro realizaci kmitočtového syntezátoru: obvod fázového závěsu ADF4110 a napětím řízený oscilátor MAX2606. Pro řízení celého zařízení jsem zvolil mikrokontrolér ATmega128. K ovládání slouží infračervené dálkové ovládání a jako zobrazovací jednotka je použit grafický LC displej. Panel jsem doplnil o audioprocesor a výstupní sluchátkový zesilovač, takže po připojení vstupní tunerové jednotky vznikne kompletní rádiový přijímač. Nad rámec zadání práce jsem se úspěšně pokusil dekodovat data RDS a zobrazil je na displeji.

Ovládací panel umožňuje připojení vstupní jednotky buď s vlastním napětím řízeným oscilátorem, nebo je přímo generován lokální signál pro směšovač pomocí výměnného modulu VCO. Pro příjem pásma VKVII jsem použil vstupní tunerový díl s vlastním VCO. Počítal jsem i s možností řízení vstupních filtrů přijímače a panel jsem za tímto účelem vybavil DA převodníkem. Závislost výstupního napětí DA převodníku na nastavené frekvenci může být libovolná a je zadávána v programu pro mikrokontrolér. Pro navržené zapojení jsem nakreslil, osadil a oživil plošný spoj.

Pro pásmo pro leteckou radiokorespondenci jsem zhotovil modul VCO se zaručeným rozsahem výstupních frekvencí 128,7 - 147,7 MHz (odpovídá rozsahu leteckého pásma plus mezifrekvenční kmitočet). Výkon na výstupu modulu zatíženém impedancí 50Ω je větší než -3 dBm. Výstupní frekvence je vyvedena na konektor SMA.

Po oživení modulu jsem pokračoval psaním programu pro mikrokontrolér. Vytvořil jsem podprogramy obsluhující veškeré periferie na základní úrovni a hlavní řídicí program, který řídí chod celého panelu. Pro zpracování dat RDS jsem upravil již vytvořený program, který volně nabízí autor Marc Ketel (viz literatura [17]). Veškeré ostatní části programu jsem vytvořil samostatně.

Výsledkem práce je kompletní přijímač rozhlasového vysílání VKVII s možností připojení modulu VCO a generování frekvencí pásma pro leteckou radiokorespondenci. Panel nabízí veškeré běžné funkce známé z komerčních produktů: uložení stanic, automatické vyhledávání stanic, příjem a zobrazení doplňkových informací RDS, nastavení korekcí zvuku i některé funkce běžně se nevyskytující: měření úrovně signálu rozhlasové stanice a kvality příjmu RDS.

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. 280 s. 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] MŠLÁN, S. *Ovládání grafických LCD modulů s řadičem KS0108 (S6B0108)* [online]. [cit. 20. 11. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/LCDmatKS0108.html>>.
- [5] KAISLER, R. *Rozdělení televizních a rozhlasových kmitočtových pásem* [online]. [cit. 20. 11. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/rtrkm021015>>.
- [6] *Tabulka kmitočtů: Tabulka pro začátečníky* [online]. [cit. 20. 11. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://www.kmitocty.cz/zaklady/tabulka.html>>.
- [7] *Katalogový list ADF4110* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADF4110_4111_4112_4113.pdf>.
- [8] *Katalogový list ATmega128* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf>.
- [9] *Katalogový list MAX2470, MAX2471* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX2470-MAX2471.pdf>>.
- [10] *Katalogový list MAX2606* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX2605-MAX2609.pdf>>.
- [11] *Katalogový list MCP4921* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21897a.pdf>>.
- [12] *Katalogový list TDA7449* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/6317.pdf>>.
- [13] *Katalogový list TS482* [online]. [cit. 29. 12. 2008]. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/8517.pdf>>.

- [14] *Katalogový list TDA7330B* [online]. [cit. 20. 4. 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/1492.pdf>>.
- [15] *Katalogový list LCD ATM12864D* [online]. [cit. 20. 4. 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.hebeiltd.com.cn/lcm.datasheet/ATM12864D.pdf>>.
- [16] *United states RBDS standard, specification of the radio broadcast data system (RBDS) April 9, 1998.* [online]. [cit. 27. 5. 2009]. Dostupný z WWW: <<ftp://ftp.rds.org.uk/pub/acrobat/rbds1998.pdf>>.
- [17] KETEL, M. *Atmel AVR Atmega168 RDS decoder with serial output.* [online]. [cit. 27. 5. 2009]. Dostupný z WWW: <http://www.atoomnet.net/atmega168_avr_rds_decoder_rs232.php>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AD	Analogově Digitální
AM	Amplitudová Modulace
CT	Datum a čas – Clock-Time and date
DA	Digitálně Analogový
FM	Frekvenční Modulace
IRC	inkrementální rotační snímač
I ² C	sériové komunikační rozhraní
LCD	displej z tekutých krystalů – Liquid Crystal Display
MCU	mikrokontrolér – MicroComputer Unit
PI	identifikace programu – Program Identification
PLL	smyčka fázového závěsu – Phase-Locked Loop
PS	název rozhlasové stanice – Program Service
RDS	doplňkové datové informace v rádiovém vysílání – Radio Data System
RT	krátká textová zpráva – RadioText
SPI	sériové komunikační rozhraní – Serial Peripheral Interface
VCO	napětím řízený oscilátor – Voltage Controlled Oscillator
VHF	velmi krátké vlny – Very High Frequency
VKV	Velmi Krátké Vlny
VKVII	pásmo velmi krátkých vln 87.5 - 108 MHz

SEZNAM PŘÍLOH

A	Popis bitů rámce při komunikaci s obvodem ADF4110	48
B	Grafický výstup programu ADIsimPLL	49
B.1	Schéma smyčky PLL s navrhnutým filtrem smyčky	49
B.2	Chování obvodu v časové oblasti při změně výstupní frekvence ze 109 MHz na 112 MHz	50
C	Tabulky naměřených dat	52
C.1	Tunerová jednotka VKVII	52
C.2	Modul VCO	53
D	Spektrum generovaného signálu	55
D.1	Spektrum pro 10 MHz až 1 GHz	55
D.2	Spektrum pro krajní a střední generovanou frekvenci	55
E	Schéma	57
E.1	Schéma modulu VCO a modulu RDS	58
F	Obrazec plošného spoje	59
F.1	Obrazec plošného spoje - vrchní strana	59
F.2	Osazení součástek plošného spoje - vrchní strana	59
F.3	Obrazec plošného spoje - spodní strana	60
F.4	Osazení součástek plošného spoje - spodní strana	60
F.5	Obrazec plošného spoje modulu VCO	61
F.6	Osazení součástek plošného spoje modulu VCO	61
F.7	Obrazec plošného spoje modulu RDS	61
F.8	Osazení součástek plošného spoje modulu RDS	61
G	Seznam součástek	62
G.1	Hlavní deska	62
G.2	Modul VCO a RDS	66
H	Obsah příloženého CD	67

A POPIS BITŮ RÁMCE PŘI KOMUNIKACI S OBVODEM ADF4110

REFERENCE COUNTER LATCH

RESERVED	DLY	SYNC	LOCK DETECT PRECISION	TEST MODE BITS		ANTI- BACKLASH WIDTH		14-BIT REFERENCE COUNTER, R														CONTROL BITS	
DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
X	DLY	SYNC	LDP	T2	T1	ABP2	ABP1	R14	R13	R12	R11	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	C2 (0)	C1 (0)

X = DON'T CARE

N COUNTER LATCH

RESERVED	CP GAIN	13-BIT B COUNTER													6-BIT A COUNTER						CONTROL BITS		
DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
X	X	G1	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	A6	A5	A4	A3	A2	A1	C2 (0)	C1 (1)

X = DON'T CARE

FUNCTION LATCH

PRESCALER VALUE		POWER- DOWN 2	CURRENT SETTING 2			CURRENT SETTING 1			TIMER COUNTER CONTROL				FASTLOCK MODE	FASTLOCK ENABLE	CP THREE- STATE	PD POLARITY	MUXOUT CONTROL			POWER- DOWN 1	COUNTER RESET	CONTROL BITS	
DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
P2	P1	PD2	CPI6	CPI5	CPI4	CPI3	CPI2	CPI1	TC4	TC3	TC2	TC1	F5	F4	F3	F2	M3	M2	M1	PD1	F1	C2 (1)	C1 (0)

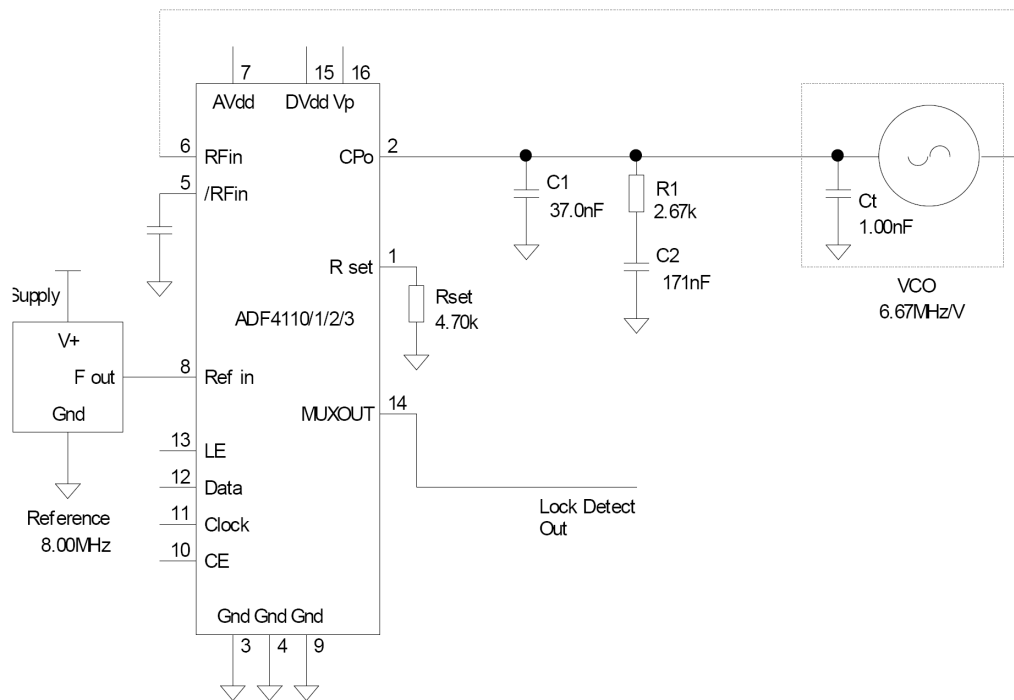
INITIALIZATION LATCH

PRESCALER VALUE		POWER- DOWN 2	CURRENT SETTING 2			CURRENT SETTING 1			TIMER COUNTER CONTROL				FASTLOCK MODE	FASTLOCK ENABLE	CP THREE- STATE	PD POLARITY	MUXOUT CONTROL			POWER- DOWN 1	COUNTER RESET	CONTROL BITS	
DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
P2	P1	PD2	CPI6	CPI5	CPI4	CPI3	CPI2	CPI1	TC4	TC3	TC2	TC1	F5	F4	F3	F2	M3	M2	M1	PD1	F1	C2 (1)	C1 (1)

Obř. A.1: Popis registrů obvodu ADF4110 [7]

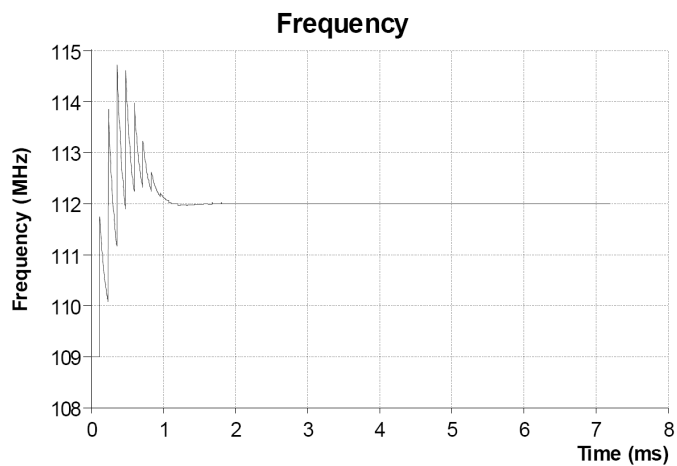
B GRAFICKÝ VÝSTUP PROGRAMU ADISIM- PLL

B.1 Schéma smyčky PLL s navrhnutým filtrem smyčky

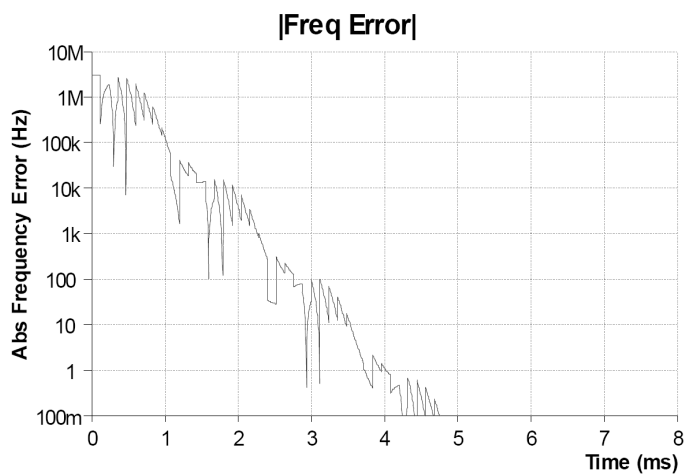


Obr. B.1: Schéma generované programem ADIsimPLL

B.2 Chování obvodu v časové oblasti při změně výstupní frekvence ze 109 MHz na 112 MHz



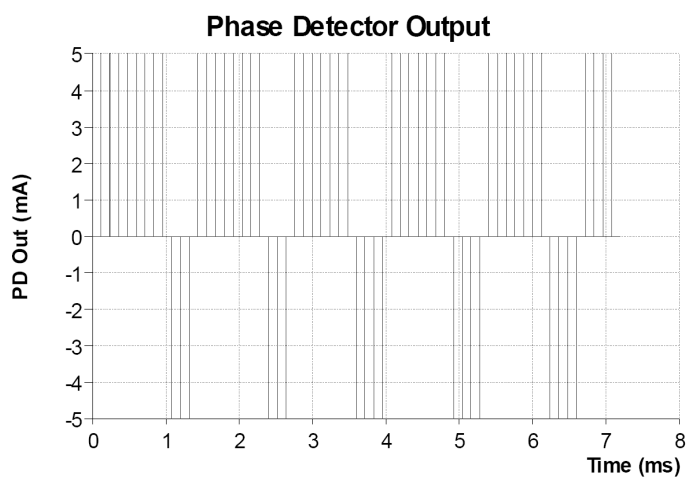
Obr. B.2: Výstupní frekvence



Obr. B.3: Absolutní chyba výstupní frekvence



Obr. B.4: Chyba fáze výstupní frekvence



Obr. B.5: Výstup kmitočtově fázového komparátoru

C TABULKY NAMĚŘENÝCH DAT

C.1 Tunerová jednotka VKVII

Závislost frekvence VCO tunerové jednotky na řídicím napětí a závislost výstupního napětí DA převodníku na přijímané frekvenci:

f_{PRIJ} [MHz]	f_{VCO} [MHz]	U_L [V]	U_{DA} [V]
87,5	98,2	1,69	0,00
88,0	98,7	1,77	0,11
88,5	99,2	1,85	0,22
89,0	99,7	1,93	0,33
89,5	100,2	2,01	0,44
90,0	100,7	2,09	0,55
90,5	101,2	2,17	0,66
91,0	101,7	2,26	0,77
91,5	102,2	2,34	0,88
92,0	102,7	2,43	0,99
92,5	103,2	2,52	1,10
93,0	103,7	2,61	1,21
93,5	104,2	2,70	1,32
94,0	104,7	2,79	1,43
94,5	105,2	2,88	1,54
95,0	105,7	2,98	1,65
95,5	106,2	3,07	1,76
96,0	106,7	3,17	1,87
96,5	107,2	3,27	1,98
97,0	107,7	3,37	2,09
97,5	108,2	3,47	2,20
98,0	108,7	3,57	2,31
98,5	109,2	3,67	2,42
99,0	109,7	3,77	2,53
99,5	110,2	3,87	2,64
100,0	110,7	3,97	2,75
100,5	111,2	4,07	2,86
101,0	111,7	4,18	2,96
101,5	112,2	4,28	3,07
102,0	112,7	4,39	3,18
102,5	113,2	4,49	3,30

f_{PRIJ} [MHz]	f_{VCO} [MHz]	U_{L} [V]	U_{DA} [V]
103,0	113,7	4,59	3,41
103,5	114,2	4,69	3,52
104,0	114,7	4,80	3,63
104,5	115,2	4,90	3,74
105,0	115,7	5,00	3,85
105,5	116,2	5,10	3,96
106,0	116,7	5,21	4,07
106,5	117,2	5,31	4,18
107,0	117,7	5,41	4,29
107,5	118,2	5,51	4,40
108,0	118,7	5,61	4,51

C.2 Modul VCO

Závislost výstupní frekvence modulu VCO na řídicím napětí:

f_{PRIJ} [MHz]	f_{VCO} [MHz]	U_{L} [V]
118,00	128,70	0,35
118,50	129,20	0,38
119,00	129,70	0,40
119,50	130,20	0,43
120,00	130,70	0,45
120,50	131,20	0,48
121,00	131,70	0,51
121,50	132,20	0,54
122,00	132,70	0,56
122,50	133,20	0,59
123,00	133,70	0,62
123,50	134,20	0,66
124,00	134,70	0,69
124,50	135,20	0,72
125,00	135,70	0,75
125,50	136,20	0,79
126,00	136,70	0,82
126,50	137,20	0,85
127,00	137,70	0,89
127,50	138,20	0,93
128,00	138,70	0,96

f_{PRIJ} [MHz]	f_{VCO} [MHz]	U_L [V]
128,00	138,70	0,96
128,50	139,20	1,00
129,00	139,70	1,04
129,50	140,20	1,08
130,00	140,70	1,12
130,50	141,20	1,16
131,00	141,70	1,20
131,50	142,20	1,24
132,00	142,70	1,29
132,50	143,20	1,33
133,00	143,70	1,38
133,50	144,20	1,43
134,00	144,70	1,47
134,50	145,20	1,53
135,00	145,70	1,57
135,50	146,20	1,63
136,00	146,70	1,68
136,50	147,20	1,74
137,00	147,70	1,79

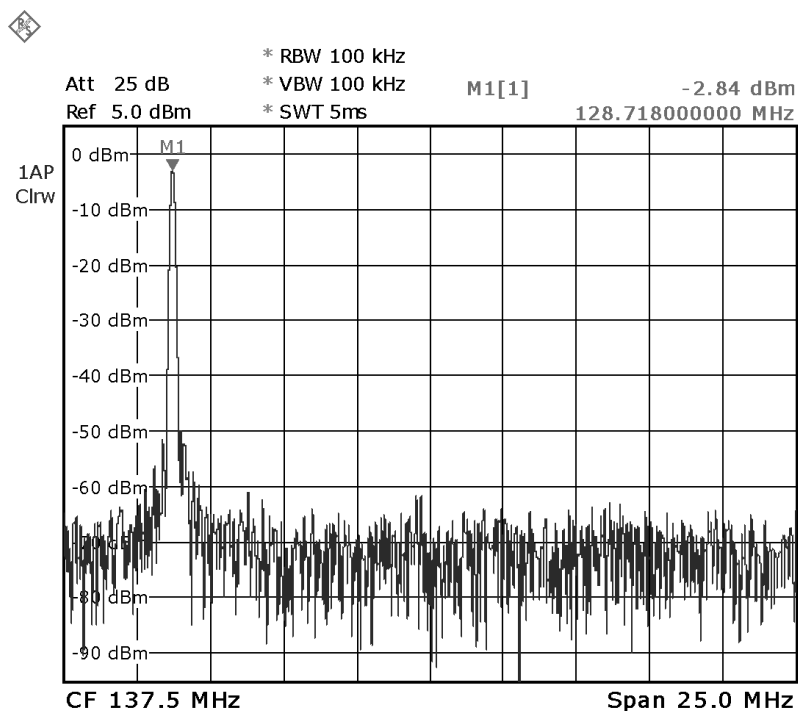
D SPEKTRUM GENEROVANÉHO SIGNÁLU

D.1 Spektrum pro 10 MHz až 1 GHz

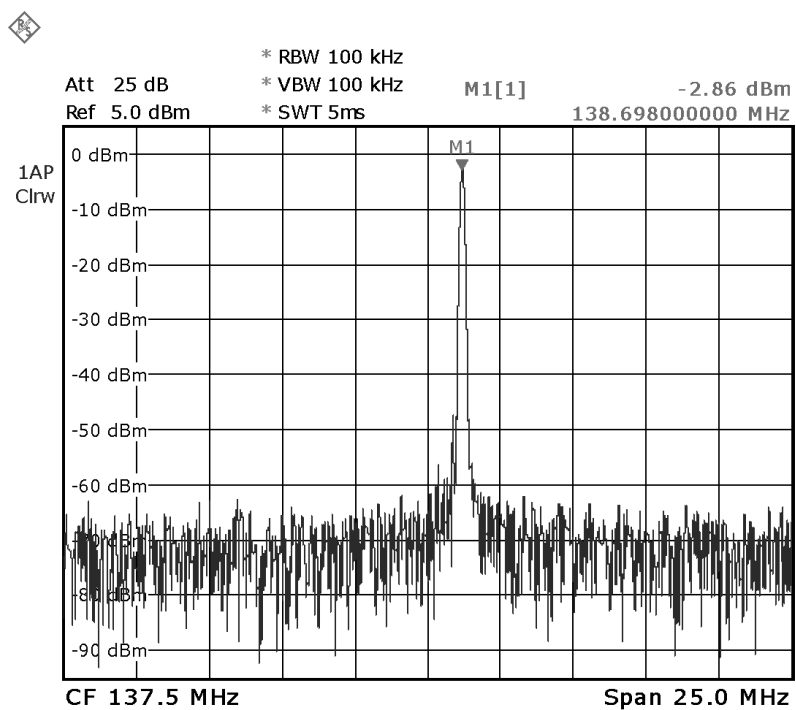
Tab. D.1: Velikosti a kmitočty jednotlivých harmonických výstupu VCO

Harmonická	Frekvence [MHz]	Úroveň [dBm]
1.	129,6	-3,02
2.	158,0	-14,95
3.	386,4	-25,21
4.	514,9	-30,33
5.	643,3	-28,30
6.	771,8	-48,35
7.	900,2	-34,40

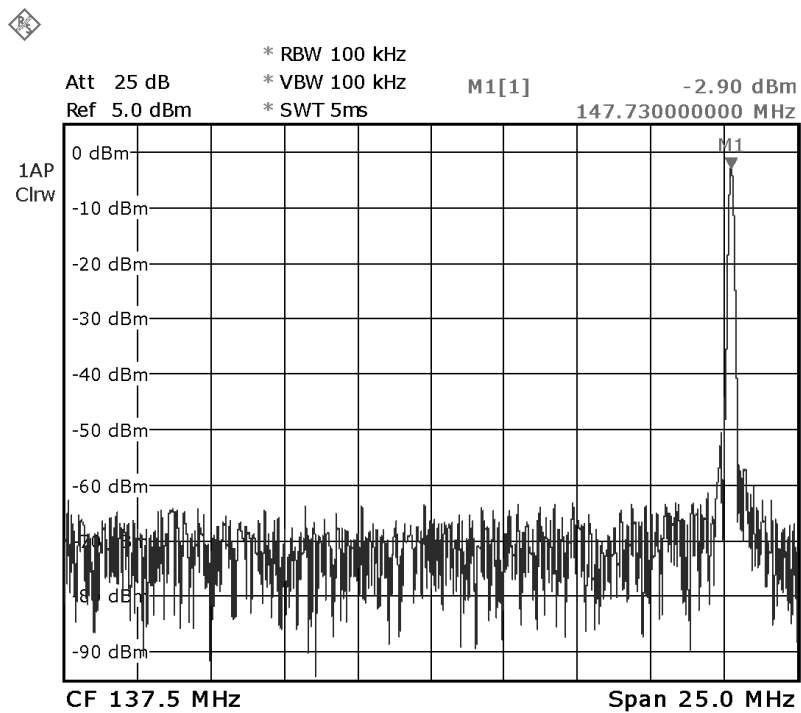
D.2 Spektrum pro krajní a střední generovanou frekvenci



Obr. D.1: Spektrum frekvence na spodní hranici pásma - nastaveno 118 MHz

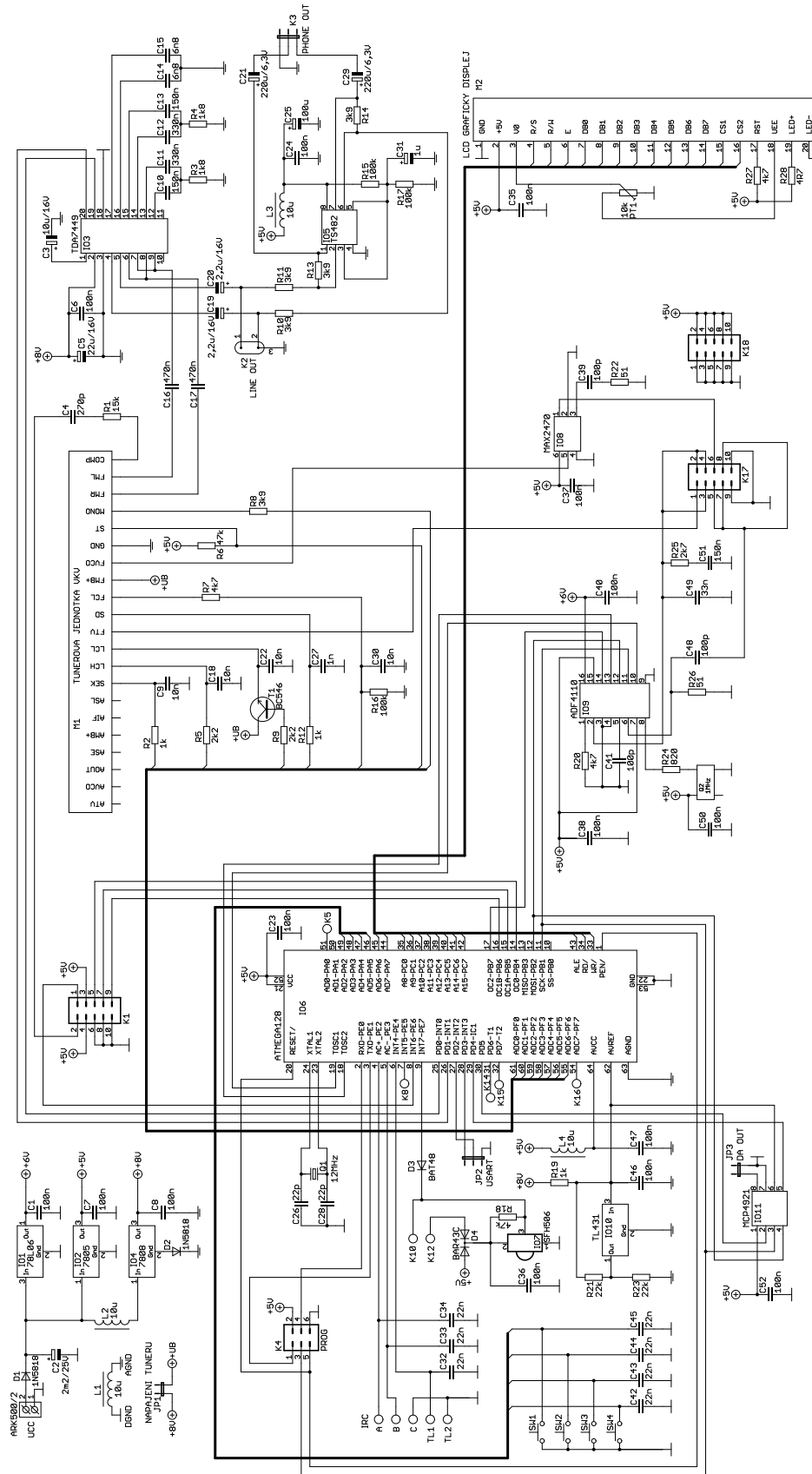


Obr. D.2: Spektrum frekvence uprostřed pásma - nastaveno 128 MHz

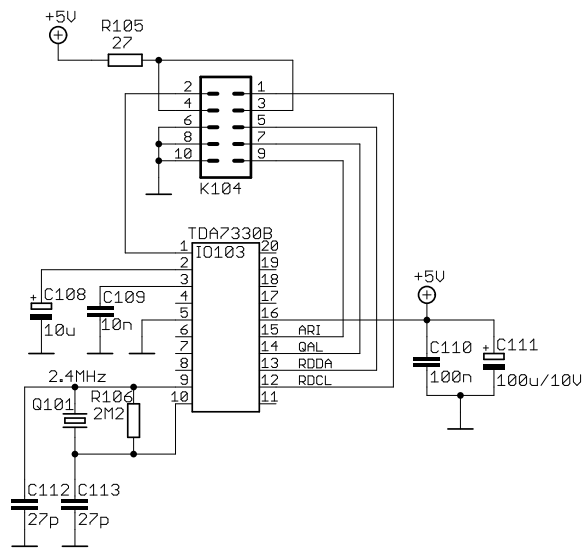
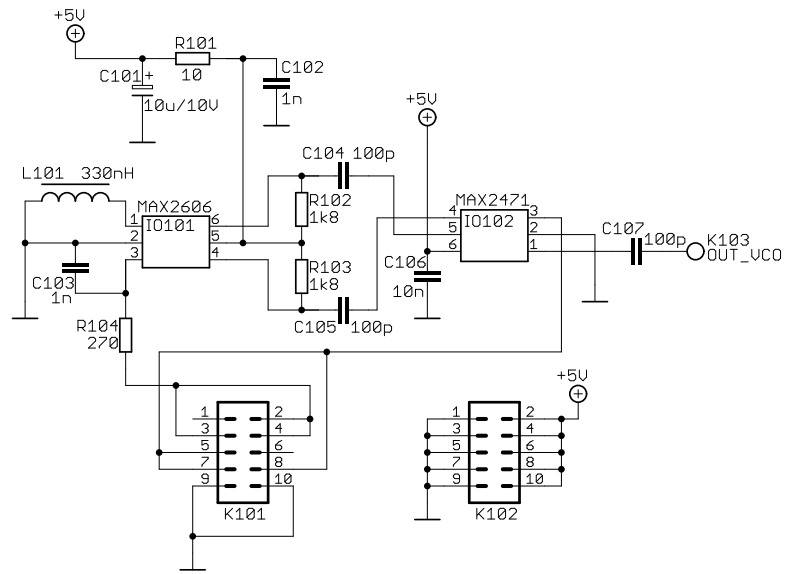


Obr. D.3: Spektrum frekvence na horní hranici pásma - nastaveno 137 MHz

E SCHEMA

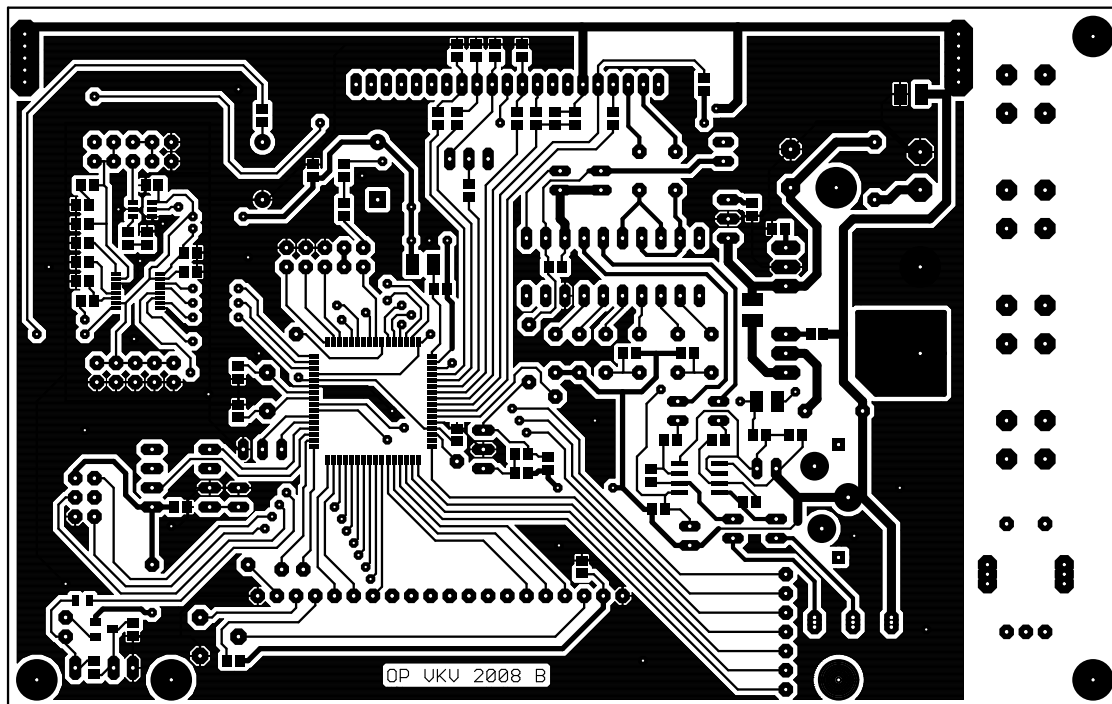


E.1 Schéma modulu VCO a modulu RDS

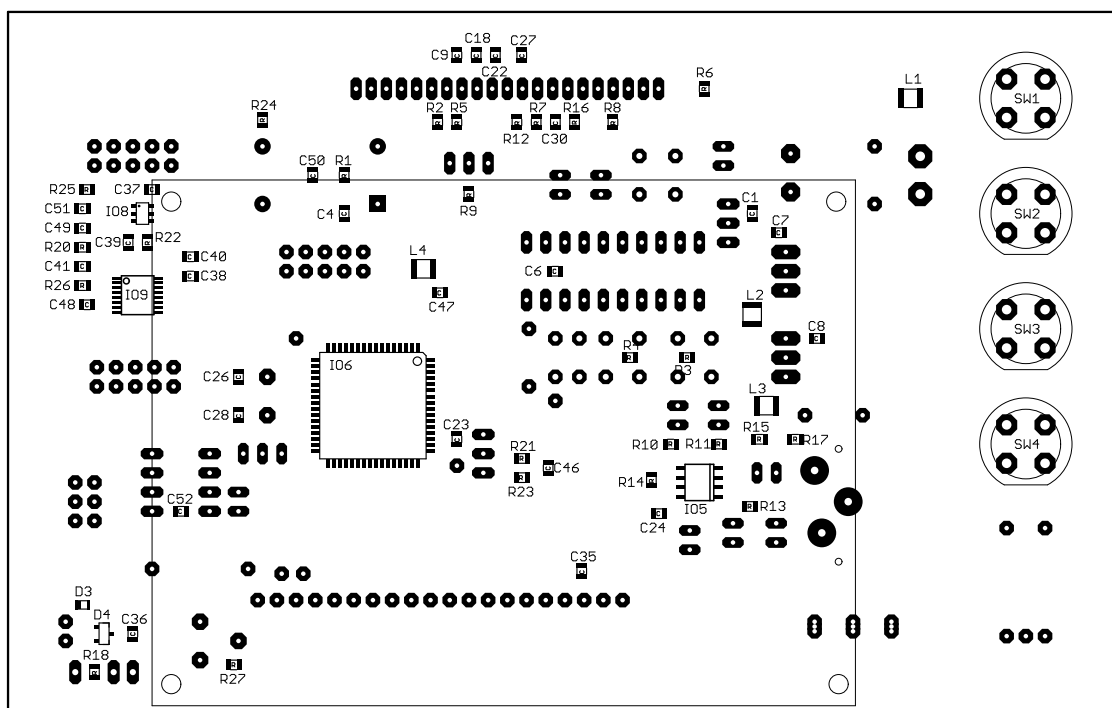


F OBRAZEC PLOŠNÉHO SPOJE

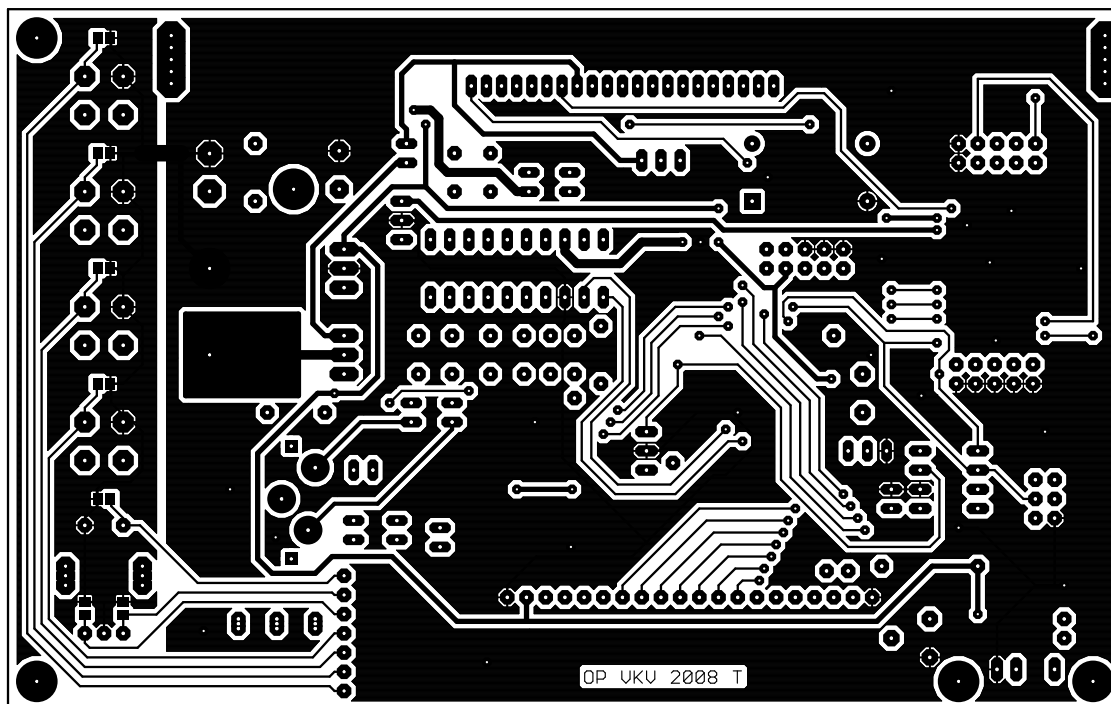
F.1 Obrazec plošného spoje - vrchní strana



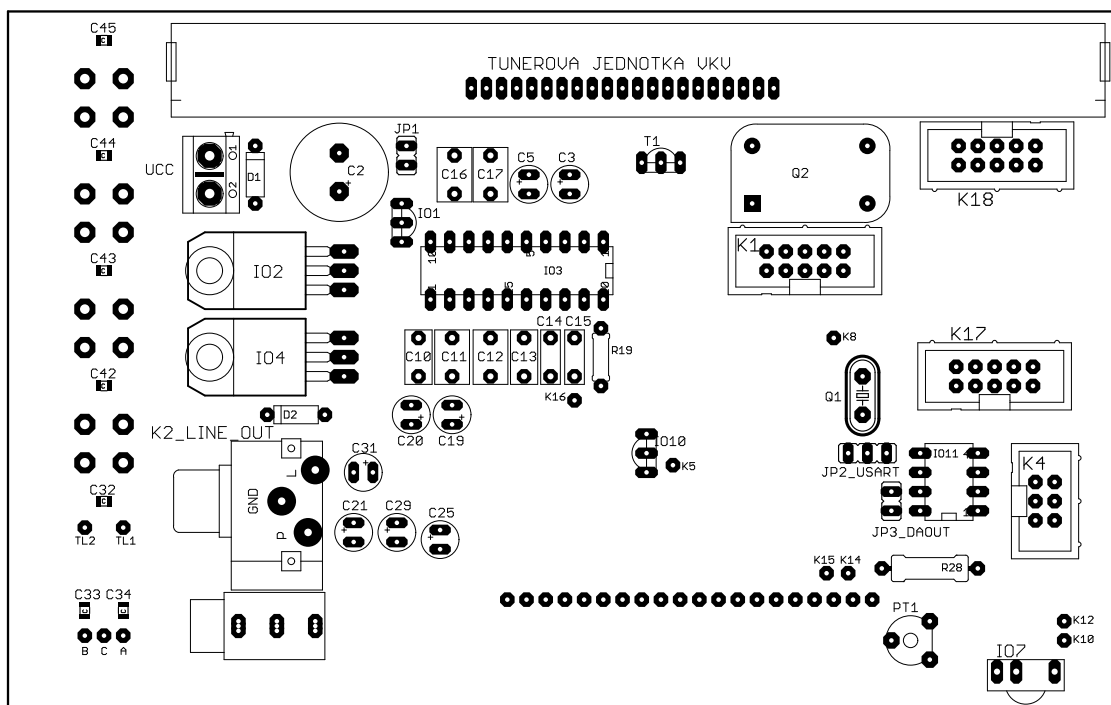
F.2 Osazení součástek plošného spoje - vrchní strana



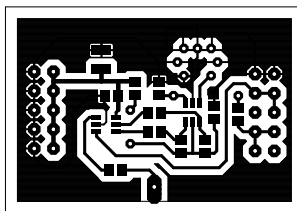
F.3 Obrazec plošného spoje - spodní strana



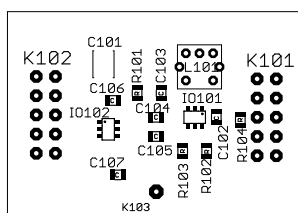
F.4 Osazení součástek plošného spoje - spodní strana



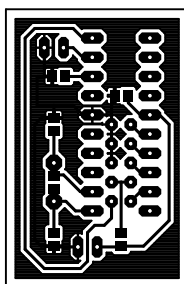
F.5 Obrazec plošného spoje modulu VCO



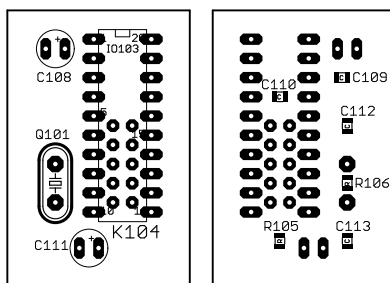
F.6 Osazení součástek plošného spoje modulu VCO



F.7 Obrazec plošného spoje modulu RDS



F.8 Osazení součástek plošného spoje modulu RDS



G SEZNAM SOUČÁSTEK

G.1 Hlavní deska

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	15k	SMD0805	
R2	1k	SMD0805	
R3	1k8	SMD0805	
R4	1k8	SMD0805	
R5	2k2	SMD0805	
R6	47k	SMD0805	
R7	4k7	SMD0805	
R8	3k9	SMD0805	
R9	2k2	SMD0805	
R10	3k9	SMD0805	
R11	3k9	SMD0805	
R12	1k	SMD0805	
R13	3k9	SMD0805	
R14	3k9	SMD0805	
R15	100k	SMD0805	
R16	100k	SMD0805	
R17	100k	SMD0805	
R18	47k	SMD0805	
R19	1k	R0207	
R20	4k7	SMD0805	
R21	22k	SMD0805	
R22	51	SMD0805	
R23	22k	SMD0805	
R24	820	SMD0805	
R25	2k7	SMD0805	
R26	51	SMD0805	
R27	4k7	SMD0805	
R28	4R7	R0312	
C1	100n	SMD0805	Keramický
C2	2m2/25V	RM5/13	Elektrolytický
C3	10u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C4	270p	SMD0805	Keramický
C5	22u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C6	100n	SMD0805	Keramický

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
C7	100n	SMD0805	Keramický
C8	100n	SMD0805	Keramický
C9	10n	SMD0805	Keramický
C10	150n	RM5/3,5	Fóliový
C11	330n	RM5/4,5	Fóliový
C12	330n	RM5/4,5	Fóliový
C13	150n	RM5/3,5	Fóliový
C14	6n8	RM5/2,5	Fóliový
C15	6n8	RM5/2,5	Fóliový
C16	470n	RM5/4,5	Fóliový
C17	470n	RM5/4,5	Fóliový
C18	10n	SMD0805	Keramický
C19	2,2u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C20	2,2u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C21	220u/6,3V	RM2,5/5	Elektrolytický
C22	10n	SMD0805	Keramický
C23	100n	SMD0805	Keramický
C24	100n	SMD0805	Keramický
C25	100u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C26	22p	SMD0805	Keramický
C27	1n	SMD0805	Keramický
C28	22p	SMD0805	Keramický
C29	220u/6,3V	RM2,5/5	Elektrolytický
C30	10n	SMD0805	Keramický
C31	1u/16V	RM2,5/5	Elektrolytický
C32	22n	SMD0805	Keramický
C33	22n	SMD0805	Keramický
C34	22n	SMD0805	Keramický
C35	100n	SMD0805	Keramický
C36	100n	SMD0805	Keramický
C37	100n	SMD0805	Keramický
C38	100n	SMD0805	Keramický
C39	100p	SMD0805	Keramický
C40	100n	SMD0805	Keramický
C41	100p	SMD0805	Keramický
C42	22n	SMD0805	Keramický
C43	22n	SMD0805	Keramický
C44	22n	SMD0805	Keramický

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
C45	22n	SMD0805	Keramický
C46	100n	SMD0805	Keramický
C47	100n	SMD0805	Keramický
C48	100p	SMD0805	Keramický
C49	33n	SMD0805	Keramický
C50	100n	SMD0805	Keramický
C51	150n	SMD0805	Keramický
C52	100n	SMD0805	Keramický
L1	10u	TDR-54	
L2	10u	TDR-54	
L3	10u	TDR-54	
L4	10u	TDR-54	
PT1	10k	PT6V	Odporový trimr
Q1	12MHz	HC49	Krystal
Q2	1MHz	QO105BIC	Krystalový oscilátor DIL14
D1	1N5818	D0207	
D2	1N5818	D0207	
D3	BAT48	MICROMELF-W	
D4	BAR43C	SOT23	
T1	BC546	TO-92	
IO1	78L06	TO-92	
IO2	7805	TO-220	
IO3	TDA7449	DIL20	
IO4	7808	TO-220	
IO5	TS482	SO8	
IO6	ATMEGA128	TQFP64	
IO7	SFH506	SFH506	
IO8	MAX2470	SOT23-6L	
IO9	ADF4110	SSOP16	
IO10	TL431	TO-92	
JP1		JP2X	Propojka napájení tuneru
JP2		JP3X	USART
JP3		JP2X	Výstup DA
K1		MLW10G	Připojení modulu RDS
K2		SCJ-1020-2P	Linkový výstup Cinch
K3		JACK3,5	Sluchátkový výstup
K4		MLW06G	Programátor
K17		MLW10G	Připojení modulu VCO

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
IO11	MCP4921	DIL8	
K18		MLW10G	Připojení modulu VCO
UCC		ARK500/2	Napájení
SW1		P-DT6	
SW2		P-DT6	
SW3		P-DT6	
SW4		P-DT6	
IRC	P-RE20S		Inkrementální rotační kodér
M1			Modul VKV tuneru Pioneer
M2	ATM12864D		Modul LCD 128x64 znaků

G.2 Modul VCO a RDS

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
R101	10	SMD0805	
R102	1k8	SMD0805	
R103	1k8	SMD0805	
R104	270	SMD0805	
R105	27	SMD0805	
R106	2M2	SMD0805	
C101	10u/10V	CTSB	Tantalový
C102	1n	SMD0805	Keramický
C103	1n	SMD0805	Keramický
C104	100p	SMD0805	Keramický
C105	100p	SMD0805	Keramický
C106	10n	SMD0805	Keramický
C107	100p	SMD0805	Keramický
C108	10u	RM2,5/5	Elektrolytický
C109	10n	SMD0805	Keramický
C110	100n	SMD0805	Keramický
C111	100u/10V	RM2,5/5	Elektrolytický
C112	27p	SMD0805	Keramický
C113	27p	SMD0805	Keramický
IO101	MAX2606	SOT23-6L	
IO102	MAX2471	SOT23-6L	
IO103	TDA7330B	DIL20	
K101		BL210	Propojení s hlavním modulem
K102		BL210	Propojení s hlavním modulem
K103		SMA	Výstup VCO, SMA konektor
K104		BL210	Propojení s hlavním modulem
L101	330nH	RFC51K	Cívka s feritovým jádrem
Q101	2.4MHz	HC49	Krystal

H OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Ovladaci_panel_VKV_radia.pdf	- kompletní práce v elektronické podobě
program_pro_MCU	- adresář s programem pro mikrokontrolér
schemata	- adresář se schématy
predloha_DPS	- adresář s předlohami DPS
obsah.txt	- výpis obsahu CD