

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Laboratorní přípravek pro FM rozhlas

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří PETROVIČ**
Osobní číslo: **E13B0211P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Laboratorní přípravek pro FM rozhlas**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce se zabývá konstrukcí jednoduchého vysílače - generátoru definovaného signálu FM - VKV rozhlasu pro laboratorní použití.

1. Prostudování principu funkce dílčích služeb FM rozhlasu a principu tvorby signálu. Dále je třeba prostudovat zapojení a dokumentaci k hotovému modulu generátoru.
2. Návrh a konstrukce generátoru s využitím hotového modulu, doplnění stíněním a rozhraními.
3. Změření všech důležitých parametrů, vyhodnocení a příprava dokumentace.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Richard Linhart, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřená na úpravu malého přenosného vysílače VKV FM signálu. V prvním kroku této práce je integrovaná anténa nahrazena konektorem, který nám poskytne snadný přístup k měření v konečné aplikaci. V další části této práce je ověřeno několik základních parametrů přenosného vysílače pomocí signálů vygenerovaných v digitální a analogové podobě. Jako konečné využití takto upraveného vysílače je jednoduchý generátor VKV FM signálu, který bude používán pro laboratorní měření ve výuce.

Klíčová slova;

VKV FM Transmitter, jednočipový FM vysílač, frekvenční modulace, multiplex FM signálu, modulační parametry, impedanční přizpůsobení antény

Abstract

This thesis is focused on modification of small portable VHF FM broadcast transmitter. In the first step, the integrated antenna is replaced by a connector, which give easy access for measurements and for the final application. Next few basic parameters of the transmitter with digital and analog signals are checked. The final use of the modified transmitter is use as a simple VHF FM broadcast signal generator in the educational laboratory.

Key words

VHF FM Transmitter, single chip FM transmitter, frequency modulation, FM multiplex, modulation parameters, antenna impedance matching.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 29.5.2016

Jiří Petrovič

Obsah

ÚVOD.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 FM ROZHLASOVÉ VYSÍLÁNÍ V PÁSMU VKV.....	11
1.1 FREKVENČNÍ MODULACE.....	11
1.2 STRUKTURA FM MULTIPLEXU.....	12
1.3 VYTVOŘENÍ SIGNÁLU MPX.....	12
1.4 PŘÍPRAVA FM SIGNÁLU.....	13
1.5 RADIOVÝ DATOVÝ SYSTÉM.....	13
1.5.1 Modulace RDS.....	14
1.5.1.1 Kmitočet a fáze subnosné.....	14
1.5.1.2 Modulační metoda.....	14
1.5.1.3 Rychlost přenosu dat.....	14
1.5.1.4 Kódování a zabezpečení proti chybám.....	14
1.6 DOPLŇKOVÉ A SPECIÁLNÍ SLUŽBY PRO FM VYSÍLÁNÍ.....	14
1.7 NĚKTERÉ MODULAČNÍ PARAMETRY.....	15
1.7.1 FREKVENČNÍ ZDVIH.....	15
1.7.2 Odstup signálu od šumu.....	16
1.7.3 VÝSTUPNÍ VÝKONY VYSÍLAČŮ.....	16
1.7.4 VÝSTUPNÍ VÝKONY VYSÍLAČŮ S VEŘEJNÝM OPRÁVNĚNÍM.....	16
1.7.5 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY.....	16
2 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ MALÝCH VYSÍLAČŮ.....	16
2.1 ANALOGOVÉ ŘEŠENÍ ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU.....	16
2.2 Digitální řešení zpracování signálu.....	18
2.3 OBECNÉ PŘÍZPŮSOBENÍ ANTÉNY.....	19
3 ÚPRAVA VYSÍLAČE.....	21
3.1 NAHRAZENÍ ANTÉNY KONEKTOREM.....	21
4 OVĚŘENÉ PARAMETRŮ MALÉHO VYSÍLAČE.....	23
4.1 MĚŘENÍ VÝSTUPNÍHO VÝKONU.....	23
4.1.1 MĚŘENÍ VÝSTUPNÍHO VÝKONU NA JEDNOTLIVÝCH FREKVENCÍCH.....	23
4.1.2 MĚŘENÍ VÝSTUPNÍHO VÝKONU JEDNOTLIVÝCH HARMONICKÝCH PŘI KMITOČTU 108 MHz.....	24
4.2 SIGNÁLY PRO MĚŘENÍ PARAMETRŮ.....	24
4.3 KMITOČTOVÝ ZDVIH.....	26
4.4 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY.....	27
4.5 Odstup pravého a levého kanálu.....	29
4.6 MĚŘENÍ ŠUMU.....	30
4.7 ZKRESLENÍ SIGNÁLU.....	31
ZÁVĚR.....	32
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	33
PŘÍLOHY.....	1
PŘÍLOHA A- TABULKA VÝKONŮ, NA JEDNOTLIVÝCH FREKVENCÍCH.....	1

Úvod

Vzhledem k stálému používání rozhlasového vysílání na pásmu VKV je i nadále zapotřebí jednoduše měřit parametry přijímaných signálů. I když je analogové vysílání postupně nahrazováno vysíláním v digitální podobě, valná část obyvatel nadále používá standardní příjem FM vysílání.

Tato bakalářská práce je věnována úpravě a ověření některých parametrů FM vysílače od firmy SENCOR. Součástí této práce je způsob, jak tento malý vysílač opatřit konektorem místo výstupní integrované drátové antény. Důvodem pro zrušení vzdušné vysílací cesty je méně rušený přenos signálu pomocí konektoru, který lze připojit přímo do měřicí techniky. V práci je dále popsán způsob generování signálů pro měření jednotlivých parametrů.

Cílem práce je ověřit pomocí jednoduše vygenerovaných digitálních a analogových vstupních signálů, zdali tento laboratorní přípravek bude dostačující pro měření dílčích parametrů FM vysílače. Mezi tyto parametry patří výstupní výkon, frekvenční zdvih, frekvenční charakteristiky, odstup pravého a levého kanálu, nežádoucí signály a zkreslení.

Struktura práce je rozdělena do čtyř částí. První část je věnována přehledu FM vysílání, službám zpracování signálu a parametrům FM signálu. Druhá část se věnuje popisu některých z mnoha principů hardwaru samotných transmitterů. V třetí části je řešena realizace úprav pro připojení konektoru místo původní integrované drátové antény. Díky odstranění vzdušné přenosové cesty výsledný signál bude více kvalitnější, protože bude méně rušen nežádoucími signály z okolí. Čtvrtá část je věnována generování měřících signálů a samotnému ověření výstupních parametrů vysílače.

Seznam symbolů a zkratek

Symboly

f.....	Frekvence
$f_i(t)$	Okamžitá frekvence
dBFS.....	Decibely ve vztahu k rozsahu stupnice
$m(t)$	Modulační napětí

Zkratky

FM.....	Frekvenční modulace
L.....	Levý kanál stereofonního signálu
P.....	Pravý kanál stereofonního signálu
L+P.....	Součtový signál levého a pravého kanálu
L-P.....	Rozdílový signál levého a pravého kanálu
VKV.....	Velmi krátké vlny
MPX.....	Frekvenční multiplex neboli kmitočtové dělení
RDS.....	Radiový datový systém
DSB.....	Dvoustranné postranní pásmo
CRC.....	Cyklický redundantní kód
IO.....	Integrovaný obvod

1 FM rozhlasové vysílání v pásmu VKV

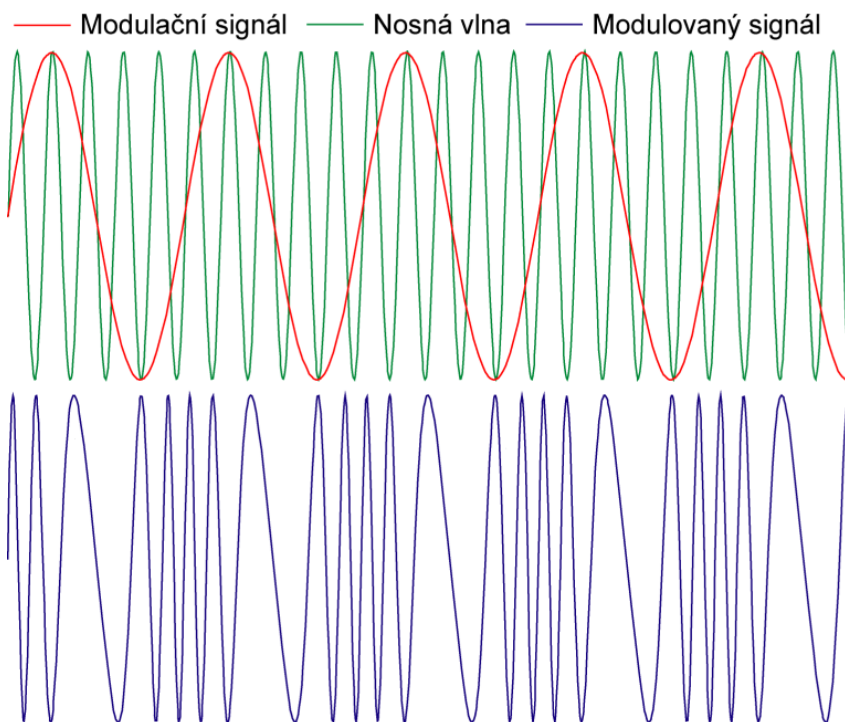
1.1 Frekvenční modulace

FM rozhlas používá frekvenční modulaci, která přenáší multiplex obsahující dílčí signály jednotlivých služeb, které jsou rozebrány dále.

Frekvenční modulace patří do kategorie úhlových modulací, protože modulačním signálem ovlivňujeme fázový úhel nosné vlny, ale amplituda modulované nosné vlny zůstává konstantní.

Okamžitý kmitočet modulovaného signálu $f_i(t)$ lze vyjádřit vztahem (1), je roven součtu kmitočtu nedomulované nosné f_c a časově proměnné složky. Tato časově proměnná složka je přímo úměrná modulačnímu napětí $m(t)$ a konstantě kmitočtové odchylky k_{FM} . Průběhy na Obr. 1.1 znázorňují výstupní signál frekvenční modulace a jednotlivé signály, ze kterých je složen. [1]

$$f_i(t) = f_c + k_{FM} * m(t) \quad (1)$$

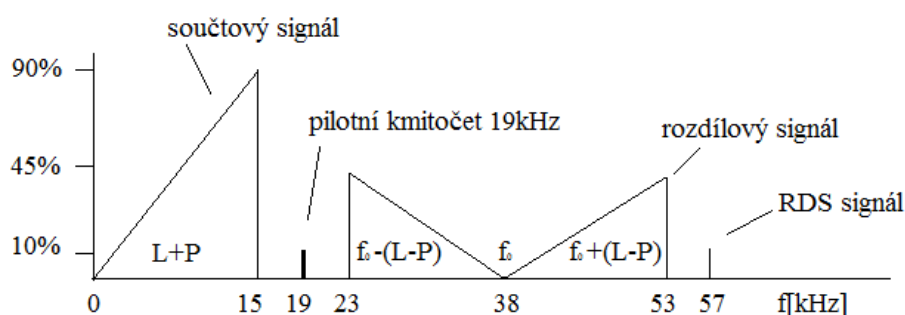


Obr. 1.1: Průběhy signálů frekvenční modulace [2]

1.2 Struktura FM multiplexu

Frekvenční multiplex je princip přenosu více signálů, za pomoci jednoho společného přenosového média. Za pomoci tohoto přenosu je možné přenášet stereofonní signály. Signál multiplexu označovaného MPX tvoří pilotní signál 19 kHz a rozdílové složky pro vytvoření stereofonního signálů. Tyto rozdílové složky jsou tvořeny dvěma dílčími signály, a to rozdílový signál L-P a součtový signál L+P. Díky rozdílovému a součtovému signálu v multiplexu je po výsledném přenosu vyvolán prostorový vjem slyšení.

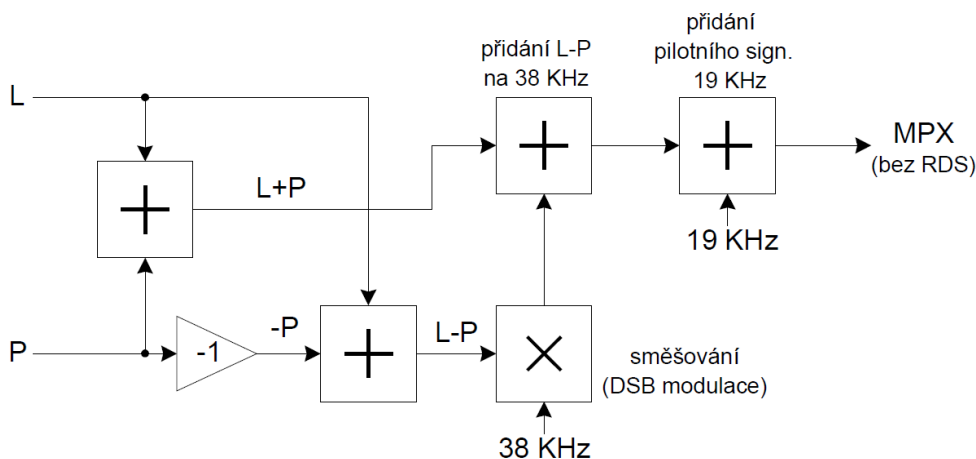
Signály v multiplexu jsou znázorněny na *Obr. 1.2*, kde šířka pásma součtového signálu je 15 kHz a rozdílový signál je zrcadlen okolo potlačené subnosné frekvence, která má kmitočet 38 kHz. Multiplex je také dále doplněn o radiový datový signál, který je na frekvenci 57 kHz. [6,10,13]



Obr. 1.2: Spektrum signálu MPX

1.3 Vytvoření signálu MPX

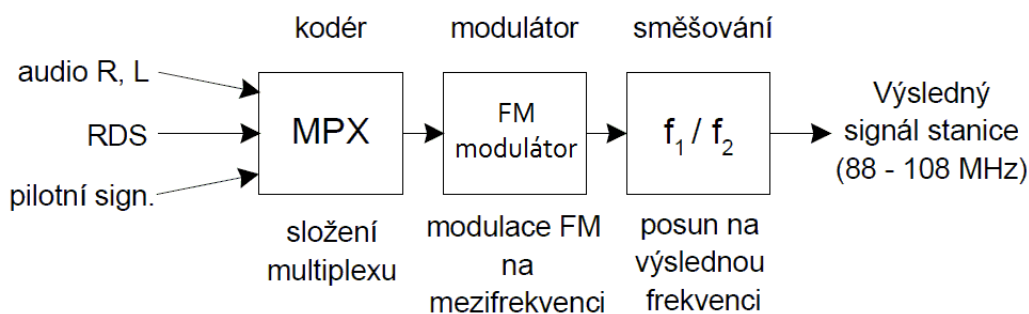
K vytvoření multiplexu potřebujeme zdroj signálů z pravého a levého kanálu. Odečtením pravého kanálu od levého získáme signál L-P, který je namodulován na subnosnou 38 kHz pomocí modulace DSB, přičemž vzniknou dvě postání pásma. Toto celé se sečte se signálem L+P a přidá se pilotní signál 19 kHz, který slouží k identifikaci stereofonního vysílání a také k obnovení subnosné frekvence pro demodulaci L-P. Tento princip lze interpretovat na blokovém schématu *Obr. 1.3*, který popisuje tyto dílčí kroky. [10,13]



Obr. 1.3: Blokové schéma pro vytvoření MPX [13]

1.4 Příprava FM signálu

Příprava signálu k vysílání na Obr. 1.4 se skládá ze 3 bloků. Mezi těmito bloky je kodér, modulátor a směšování. V kodéru zdrojového signálu dojde ke složení MPX z pravého a levého kanálu, a to za pomoci pilotního signálu. Dále do tohoto multiplexu je přiřazen RDS. V modulátoru je signál namodulován na mezifrekvenční kmitočet. Ve směšovači dojde k posunu na výslednou požadovanou frekvenci od 88 MHz do 108 MHz. [10,13]



Obr. 1.4: Způsob přípravy FM signálu [13]

1.5 Radiový datový systém

Cílem RDS je přenášet data, která umožní implementovat nové funkce pro FM přijímače. Tyto funkce jsou například identifikační jméno stanice rozhlasu, nebo název hudební skladby na displeji. Další funkcí je automatické přeladění v autorádiích. Skupiny RDS obsahují 16 datových skupin od 0 do 15 pro každou z verzí A nebo B. [3]

1.5.1 Modulace RDS

Pokud je kmitočtový zdvih FM vysílače 75 kHz, tak RDS subnosná může vytvořit kmitočtový zdvih maximálně od +1 kHz do +- 7,5 kHz. [3]

1.5.1.1 Kmitočet a fáze subnosné

System RDS používá subnosnou frekvenci 57 kHz. Subnosná je v určitém fázovém vztahu k pilotnímu signálu 19 kHz, pokud by tak nebylo, docházelo by k přeslechům. U stereofonního vysílání je subnosná zavěšena buď ve fázi, nebo kvadraturně na 3. harmonické pilotního signálu. [3]

1.5.1.2 Modulační metoda

Subnosná je amplitudově modulována tvarovaným dvoufázově kodovaným signálem.[3]

1.5.1.3 Rychlost přenosu dat

Kmitočet časové základny je získán dělením vysílaného subnosného kmitočtu 48. Přenosová rychlost tedy bude 1187,5 b/s. Tato rychlost nebude nikdy dosažena, protože v přenosu jsou redundantní data CRC a aby byl přenos spolehlivý, jsou data odvysílána několikrát. Skutečná rychlost přenosu nepřevyšuje 200 b/s. [3]

1.5.1.4 Kódování a zabezpečení proti chybám

Základním prvkem kódování všech informací jsou tzv. skupiny, které jsou složeny ze 104 bitů. Skupina je dělena na 4 bloky po 26 bitech. Pro zabezpečení proti chybám se používá cyklický redundantní kód, neboli CRC. Každý blok obsahuje 10bitové kontrolní slovo sloužící k odhalení a opravě chyb, které by mohly vzniknout během přenosu. Kontrolní slovo je právě vypočítáno pomocí CRC s využitím generujícího polynomu (2). [3]

$$G(x) = x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \quad (2)$$

1.6 Doplnkové a speciální služby pro FM vysílání

Základní pásmo FM vysílání lze využít i na jiné věci než na samotný přenos FM rozhlasu. Přidáním dalších služeb, ale vzroste šířka pásma MPX, což má za následek vzrůst

šířky pásma celého kanálu. Aby k tomuto nedocházelo, je zapotřebí snížit kmitočtový zdvih přenastavením modulátoru. Více podrobných informací k této problematice v [3]

Tyto doplňkové služby mohou být například:

- **SCA** (Subsidiary Communications Authorization): Služba určená pro přenos zvukových informací v nižší kvalitě. Mezi její použití je například překlad vysílání do cizího jazyka. Funguje pomocí frekvenční modulace subnosné 67 kHz nebo 92 kHz. Tato služba se využívá v USA.
- **HD Radio** (High Definition Radio): Digitální rozhlasové vysílání pomocí analogových FM vysílačů. Kvůli souběhu s FM vysíláním využívá prostor kolem nosné. Technologie je omezena licencí, která jí činí velice drahou.
- **RDS** (Radio Data System): Pracuje se subnosnou 57 kHz.

1.7 Některé modulační parametry

Jsou to parametry, které ovlivňují kvalitu přenosu, rušení okolních stanic, ale také určují možnosti začlenění do přenosového řetězce. Například na výstupním výkonu záleží, co lze připojit přímo, a co přes útlumový člen, či zesilovač. Je důležité měřit tyto parametry, čímž určíme, jak moc je vysílač kvalitní. [6]

1.7.1 Frekvenční zdvih

Je to rozdíl frekvence nemodulované nosné vlny ku okamžité frekvenci signálu. Tento zdvih je někdy označován jako špičkový zdvih (peak deviation). Tento zdvih by v FM vysílání neměl přesáhnou 75 kHz. Tato hodnota může být v měření i 77 kHz. Toto navýšení je způsobeno vnějším rušením impulzního signálu. Tolerance od 75 khz je 3% a překročením této tolerance je nazýváno přemodulování. [6]

1.7.2 Odstup signálu od šumu

Při měření výkonu požadovaného signálu je důležité také změřit úroveň šumu, který je způsoben rušivými signály z okolí. Rušivé signály může generovat samotný vysílač například vlivem poruch, či konstrukčních chyb. Rušivé produkty mimo jiné vznikají i zkreslením užitečného signálu, a to zejména vyššími harmonickými tohoto signálu. Provádí se změřením úrovně šumu a následně změřením úrovně signálu. Výkonový rozdíl nám udává, jak moc bude vysoká kvalita příjmu.

1.7.3 Výstupní výkony vysílačů

Výstupní výkony běžných FM vysílačů se liší podle aplikace. Pro plošné vysílání rádiových signálů se používají vysílače o výkonech 100 W až 150 kW. Výkony se liší hlavně z hlediska, jak velkou plochu území mají pokrýt. K pokrytí České republiky je používáno několik stovek takovýchto vysílačů. Vysílače jsou polarizovány vertikálně nebo horizontálně. [5]

1.7.4 Výstupní výkony vysílačů s veřejným oprávněním

Veřejné oprávnění VO-R/10/05.2014-3 umožňuje přenos zvuku na FM pásmu. Tento přenos se nejčastěji využívá v aplikacích jako je například bezdrátový mikrofon, sluchátka atd. V tomto veřejném oprávnění je dán maximální vyzářený výkon 50 nW s kanálovou roztečí 200 kHz. [4]

1.7.5 Frekvenční charakteristiky

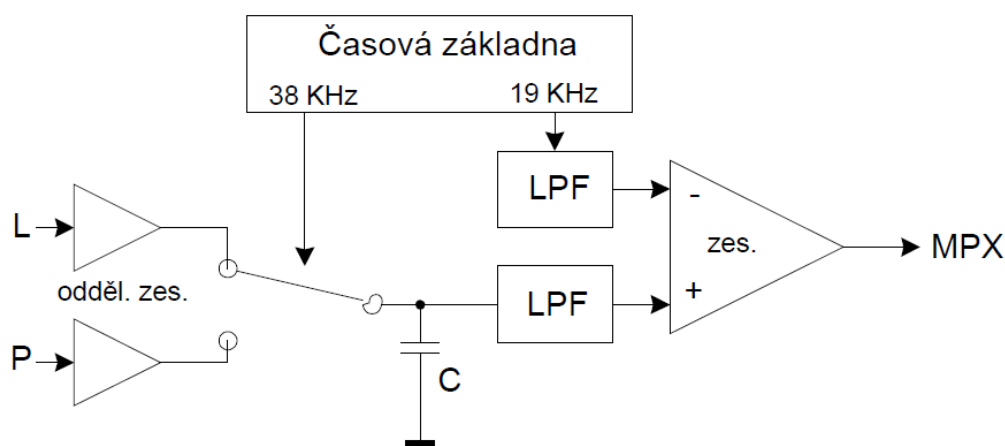
Při měření frekvenčních charakteristik se porovnává amplituda vstupního signálu a amplituda na výstupu vysílače při dané frekvenci. Zajímá nás, jak moc byla amplituda výstupního signálu zatlumena a při jaké frekvenci. [6]

2 Hardwarové řešení malých vysílačů

2.1 Analogové řešení zpracování signálu

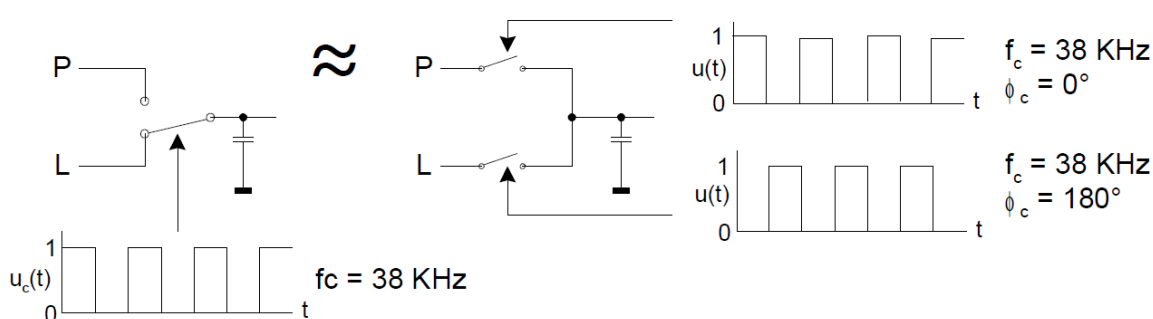
V dnešní době se spíše používají transmittery s digitálním zpracováním signálu, které jsou vysvětleny níže. Fungují na podobném principu jako analogové řešení, ovšem za použití digitálních obvodů.

Jedno z mnoha řešení je multiplex využívající časové přepínání jako je například na *Obr. 2.1*. Princip je založen na sčítání dvou modulovaných signálů s nosnou posunutou o 180° . Do vstupních zesilovačů je přiveden pravý a levý kanálový signál, který je následně zesílen a přepínán obdélníkovým nosným signálem s kmitočtem 38 kHz. Tímto získáme dvě postranní pásma neboli DSB posunuté o 180° . Horní větev na *Obr. 2.1* připojená na „-“ zesilovače dodává pilotní signál 19 kHz. [10,13]



Obr. 2.1: Blokové schéma spínaného kodéru [13]

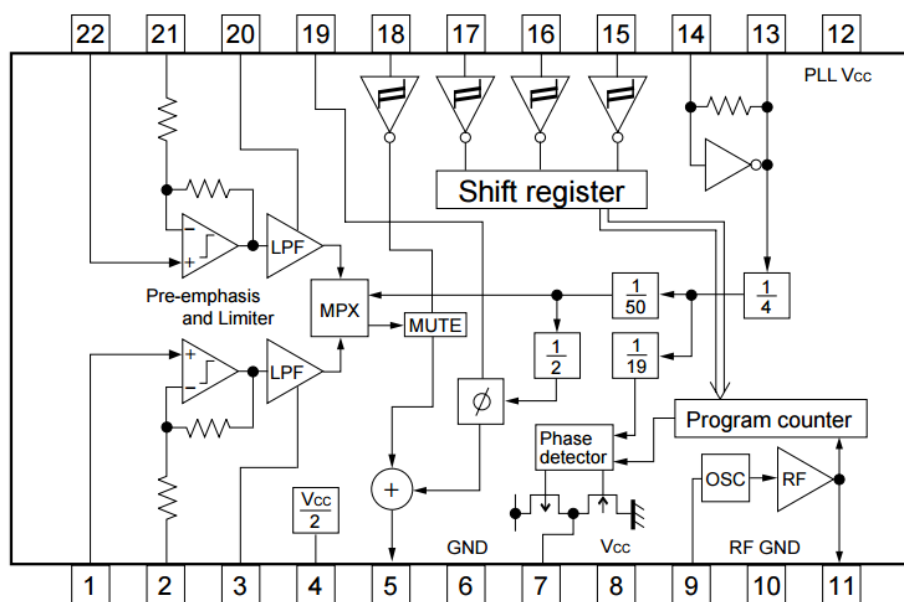
Funkce přepínače v kodéru si lze představit jako dva spínače na *Obr. 2.2*, přičemž každý spíná opačnou polaritou než druhý, a tímto je docílen posun o 180° .



Obr. 2.2: Přepínač [13]

Tento princip je využit například v integrovaném obvodu BH1415F na *Obr. 2.3*, který byl zvolen jako praktická ukázka.

Na pin 1 a 22 přivádíme signál L a P. Pin 21 a 2 slouží jako časová konstanta preemfáze. Pin 20 a 3 slouží jako časová konstanta dolnopropusťního filtru. Signál L a P se přepíná v multiplexoru a posouvá se o 180° , toto celé je řízeno programovatelným řídicím obvodem. Principiálně funguje tedy podobně jako výše uvedený příklad. [11]



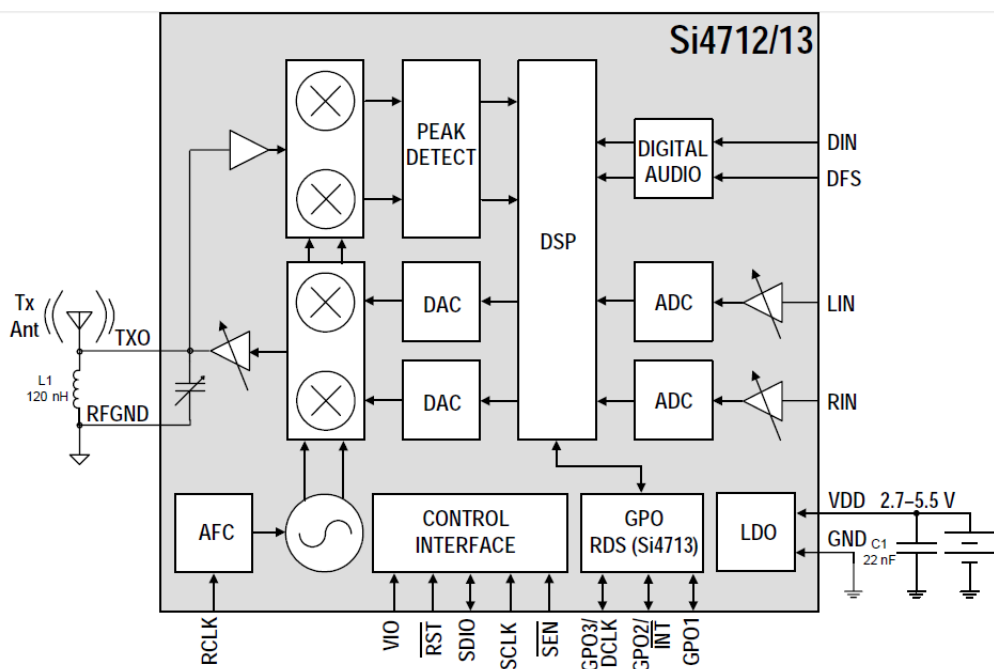
Obr. 2.3: Vnitřní zapojení BH1415F [11]

2.2 Digitální řešení zpracování signálu

Princip činnosti digitálního transmitteru lze popsat z následujícího náhradního schématu Si 4712-13-B30 s jeho vnitřním zapojením na *Obr. 2.4*. Tento konkurenční transmitter je funkcí ekvivalentní s naším a je dobře zdokumentován.

Signály L a P jsou zpracovávány v digitální podobě jádrem DSP, který zajišťuje úpravu modulace a audio dynamický rozsah. Audio dynamický rozsah slouží k regulaci optimální kvality zvuku. Před zahájením vysílání lze zjistit úroveň okolních signálů, k tomuto se používá vysílací anténa, místní oscilátor, směšovač down convertor a špičkový detektor. Transmitter je vybaven pro příjem evropského RDS, tak i americkou verzí datového příjmu RBDS. Výstupní pin TXO je výstup vysílače, který je přímo připojen na anténu s cívkou, která zajišťuje impedanční přizpůsobení antény společně s vnitřním laditelným kondenzátorem. Obvod je ovládán přes sběrnici signálem DIN neboli digitální vstupní data a signálem DFS, který znamená digitální rámcový vstup a synchronizačními

impulzy DCLK. Signálem na RST budou vynulovány všechny registry. [8]



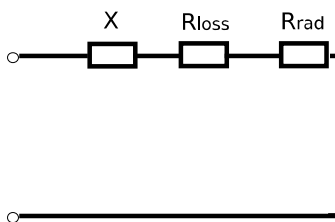
Obr. 2.4: Vnitřní zapojení integrovaného obvodu Si 4712-13-B30 [8]

2.3 Obecné přizpůsobení antény

Anténu lze definovat jako vazbu radiofrekvenčního obvodu a snímače vysílaných elektromagnetických vln, který elektromagnetické vlny převádí na napětí. Toto napětí už lze využít k výslednému zpracování.

Ve funkci antény může být například použit přívodní kabel ke sluchátkům a nebo čipové antény, které mají jiné parametry na rozdíl od běžných antén. K nejlepší přijatelné účinnosti vysílání potřebujeme dosáhnout rezonanční frekvence. Abychom mohli využít celé pásmo FM rozhlasu, je zapotřebí anténu ladit z důvodu zachování rezonančního kmitočtu.

Volba X na Obr. 2.5 je určena topologií antény, kde hodnota reaktance je buď induktivní, nebo kapacitní a vztahuje se k geometrii antény. Odpor R_{loss} představuje vyzářené teplo anténou a odpor R_{rad} je odolnost antény proti napětí generované elektromagnetickou vlnou.



Obr. 2.5: Představuje impedanci antény

Pro maximální využití energie z antény je zapotřebí spočítat rezonanční kmitočet. Rezonanční kmitočet je udán následujícím vztahem (3), při tomto kmitočtu je imaginární složka impedance nulová a systém může kmitat s největší amplitudou.

Pokud máme anténu indukčního charakteru, je pro ni potřeba spočítat kapacitu C_{res} , a tím je docíleno odstranění imaginární složky impedance.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{res}}} \quad (3)$$

Při rezonanční frekvenci anténa nejlépe přijímá elektromagnetickou vlnu. Účinnost antény je dán poměrem R_{rad} / Z_{ant} , kde Z_{ant} je impedance celé antény. Vztah (4) nám udává, jak spočítat impedanci celé antény.

$$Z_{ant} = R_{rad} + R_{loss} + j\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC_{res}}\right) \quad (4)$$

Po spočítání všech těchto parametrů pro rezonanci lze její účinnost vypočítat pomocí vztahu (5)

$$\eta_{res} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}} \quad (5)$$

Pomocí vztahu (6) lze vypočítat účinnost signálu pro jiné frekvence než rezonanční.

$$\eta = \frac{R_{rad}}{\sqrt{(R_{rad} + R_{loss})^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC_{res}}\right)^2}} \quad (6)$$

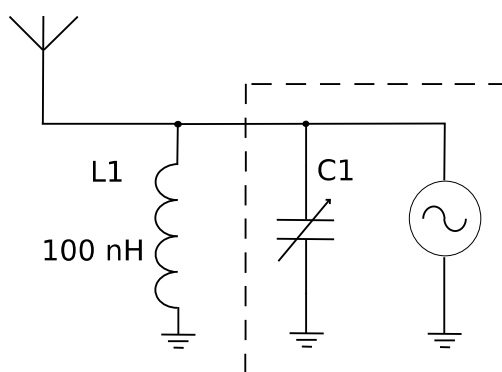
Celou tuto problematiku řeší automatický anténní tuner, který je implementován v integrovaném obvodu. V našem případě je změna reaktance realizována pomocí laditelného kondenzátoru. [7]

3 Úprava vysílače

3.1 Nahrazení antény konektorem

Pro lepší měření modulačních parametrů vysílače bylo nutné nahradit vysílací anténu konektorem. Díky konektoru je možné vysílač připojit na vstup měřících přístrojů, kde můžeme ověřit modulační parametry s menším rušením. Na Obr. 3.1 je původní externí zapojení obvodu pro naladění antény na rezonanční kmitočet.

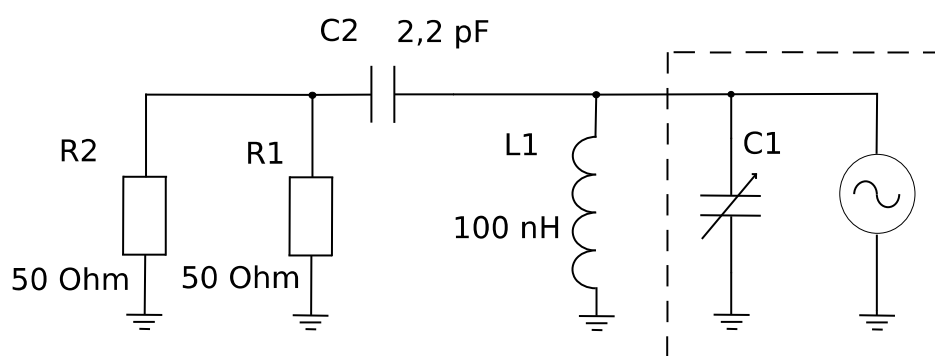
Před nahrazením antény konektorem bylo zapotřebí změřit původní hodnoty ladícího obvodu. Na cívce L1 byla naměřena hodnota 100 nH a kondenzátor C1 představuje vnitřní laditelný kondenzátor, který je uvnitř integrovaného obvodu. Díky tomuto kondenzátoru je dosaženo potřebné rezonanční frekvence.



Obr 3.1: Původní externí zapojení pro ladění rezonančního kmitočtu

Pro představu o funkci zapojení bylo využito externí zapojení anténního obvodu u čipu Si4712/13-B30 [8]. Toto zapojení *Obr. 3.2* je ve shodě s obvodem nalezeným v zapojení SENCOR. Zásadním rozdílem však je, že konkurenční IO je schopen nastavovat kapacitu tuneru v rozsahu 5 až 50 pF, ale náš pouze 5 až 30 pF. Díky těmto rozdílným hodnotám bylo zvolit vhodné hodnoty součástek.

Drátová anténa byla připojena na zem, aby byla vyřazena z obvodu a nahrazena konektorem pro měření. Dále byl připojen terminátorový odpor R1 o velikosti 50 Ω pro přizpůsobení konektoru. Původní induktor byl odpojen a změřením byla zjištěna jeho indukčnost 100 nH. Tento induktor byl nahrazen jiným s velikostí 150 nH. Důvod menší indukčnosti v původním zapojení je ten, že drátová anténa má svojí určitou indukčnost. Obvod byl doplněn kondenzátorem o kapacitě 2,2 pF pro nastavení zatíženého činitele jakosti rezonančního obvodu. Tato hodnota je doporučena výrobcem.



Obr 3.2: Schéma po úpravě pro konektor

Za využití Thomsonova vztahu pro rezonanční kmitočet (7) byly vypočteny v *Tab. 3.1* velikosti kapacit C1, které jsou laděné v tuneru pro krajní frekvence vysílání 87,5 MHz a 108 MHz. Hodnota kapacity v tabulce pro nejnižší frekvenci odpovídá nejvyšší hodnotě kapacity, kterou tuner musí naladit. Pro nejvyšší frekvenci zase hodnota této kapacity bude nejnižší. Z výsledků tabulky bylo zjištěno, že se pohybujeme v rozmezí 5 až 30 pF, které je daný tuner schopen naladit.[7,8,12]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{150\text{ nH} * (C_1 + 2,2\text{ pF})}} \quad (7)$$

f [MHz]	L[nH]	C1[pF]
87,5	150	19,86
108	150	12,27

Tab. 3.1: Hodnoty kapacity tuneru a indukčnosti pro rezonanční kmitočet

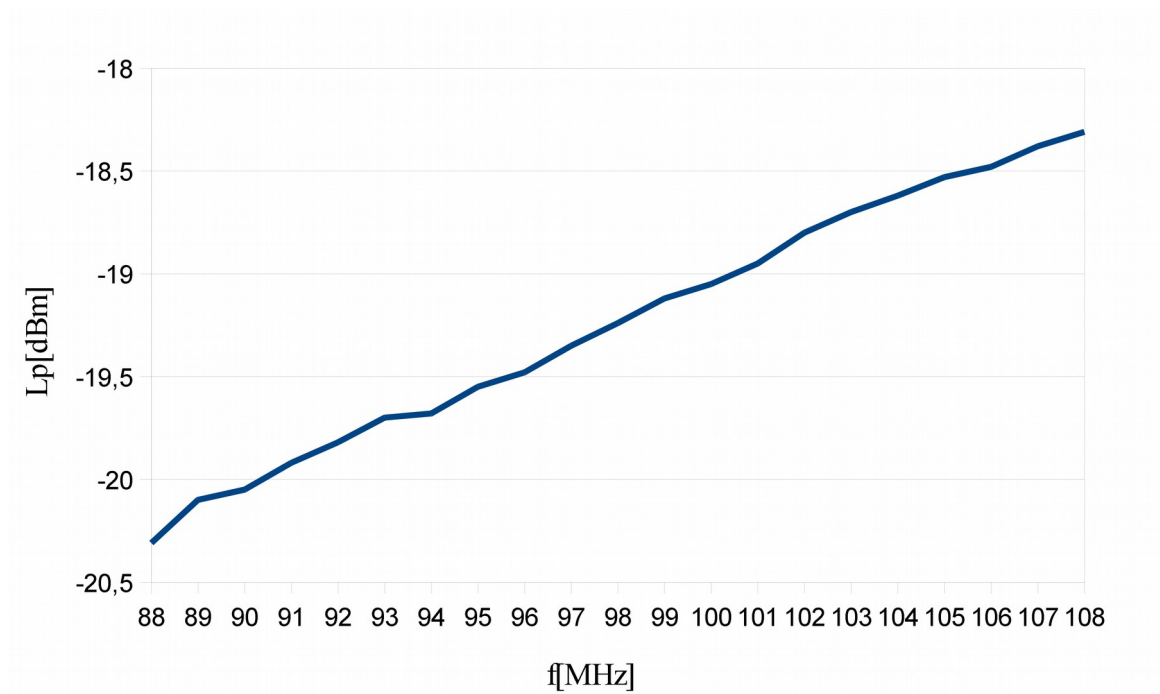
4 Ověřené parametrů malého vysílače

4.1 Měření výstupního výkonu

4.1.1 Měření výstupního výkonu na jednotlivých frekvencích

K tomuto měření výkonů byl použit rozsah frekvencí od 88 MHz až do 108 MHz s šířkou pásma 300 kHz místo standardní šířky 200 kHz. Tato šířka pásma byla použita z důvodu lepšího zobrazení všech užitečných složek vysílaného signálu. Změřené hodnoty výstupní výkonů jsou v příloze A.

Ze změřených údajů vyplývá, že úroveň výkonu výstupního signálu na Obr. 4.1 se lineárně zvyšuje se zvyšující se frekvencí.



Obr. 4.1: Výstupní výkon na jednotlivých frekvencích

4.1.2 Měření výstupního výkonu jednotlivých harmonických při kmitočtu 108 MHz

Měření výstupního výkonu bylo provedeno na nejvyšší možné používané frekvenci, a to 108 MHz. Při této frekvenci, jak bylo zjištěno v minulém bodě, je výkonová úroveň signálu největší.

Nejvyšší změřená úroveň výkonu jednotlivých harmonických v *Tab. 4.2* je 3. harmonická. Takovýto signál nelze vysílat s vyššími výkony bez dostatečné filtrace vyšších harmonických. Při měření bylo také zjištěno, že jednotlivé harmonické při frekvenci 108 MHz zasahují do leteckého kmitočtového pásma.

Harmonická	Výkon [dB]
1.	0
2.	-18,1
3.	-1,21
4.	-15,77
5.	-10,3
6.	-16,29

Tab. 4.2: Výkonové úrovně jednotlivých harmonických signálu při 108 MHz normovaných k -18,7 dB

4.2 Signály pro měření parametrů

Pro následující body měření některých parametrů bylo pro toto měření potřeba vytvořit měřící signály. Na přípravek umožňuje přivést vstupní signály v digitální i analogové podobě.

K získání analogových měřících signálů byl použit audio analyzátor. Při následujících měřeních byl pomocí audio analyzátoru generován sinusový signál o kmitočtu 1 kHz s maximální amplitudou 600mV.

Pro měření za pomoci digitálního vstupního signálu bylo zapotřebí tyto signály nejprve vytvořit. Aby bylo možné za pomoci digitálních signálů získat nějaké informace z měření, byla použita délka trvání signálů 3 minuty. K vytvoření těchto signálů byl použit program SOX nainstalovaný na Linuxu. V Linuxu se signály jednoduše generují pomocí příkazů v příkazové řádce. Tyto vygenerované signály jsou pouze s výstupním

formátem .wav. Jelikož náš transmitter neumí pracovat s těmito formáty, bylo zapotřebí převést signály z formátu .wav do formátu .mp3 pomocí nainstalovaného programu LAME. Pomocí příkazů v příkazovém řádku byly tyto signály vzorkovány s frekvencí 48 kHz s mírou komprese 320 kb/s. Tento program umožňuje generovat stereofonní signály nebo signály pouze v pravém či levém kanále. [9]

Pro to měření bylo zapotřebí vytvořit tyto signály:

- **Signál „Ticho“**

V pravém i levém kanále není nic přenášeno. Vytvořen za pomocí programu Audacity.

- **Rozmítaný signál pouze v pravém kanále od 20 Hz do 16 kHz.**

Tento signál byl vytvořen pomocí příkazů v příkazovém řádku linuxu:

```
sox -n rozmitanypouzepravykanal.wav synth 180 sine 20-16000
```

Pro převod tohoto signálu z .wav do .mp3 byl použit příkaz:

```
lame -m r -b 320 rozmitanypouzepravykanal.wav  
rozmitanypouzepravykanal.mp3
```

- **Rozmítaný signál pouze v levém kanále od 20 Hz do 16 kHz.**

Tento signál byl vytvořen obdobně jako předchozí, pouze s rozdílem v příkazu lame, kdy písmeno „r“ bylo nahrazeno „l“, což znamená levý kanál a samozřejmě s rozdílným názvem

- **Rozmítaný signál od 20 Hz do 16 kHz.**

Opět vytvořen obdobně, ale rozdílný v příkazu lame písmenem „s“, které znamená stereofonní signál.

- **Sinusový signál 1 kHz.**

Signál vytvořen pomocí příkazu:

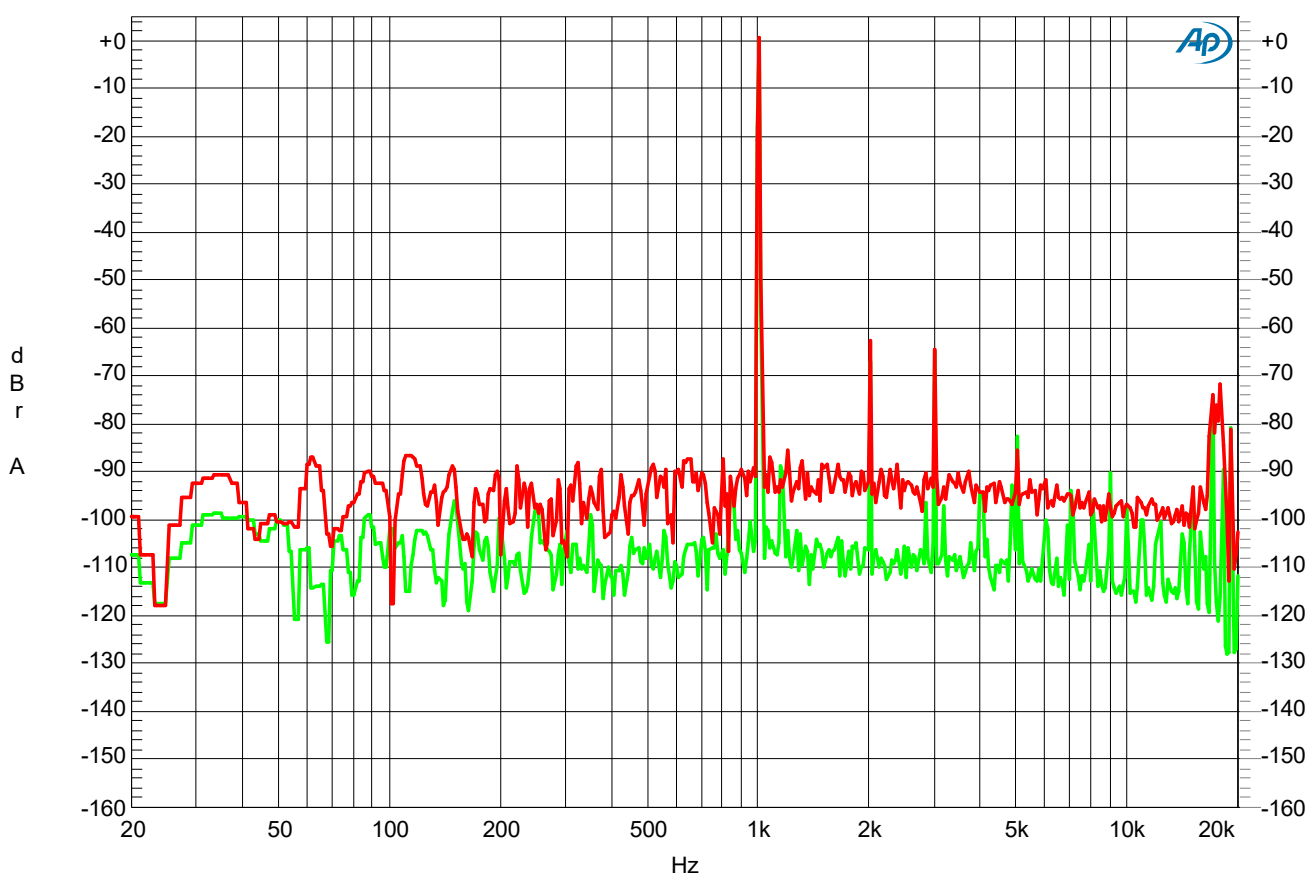
```
sox -n 1kHz.wav synth 180 sine 1000
```

Pro převod tohoto signálu z .wav do .mp3 byl použit příkaz:

```
lame -m s -b 320 1kHz.wav 1kHz.mp3
```


4.3 Kmitočtový zdvih

Měření kmitočtového zdvihu bylo měřeno na frekvenci 1 kHz. K tomuto měření byl použit také normovaný vysílač od firmy Rohde & Schwarz. Tento vysílač má frekvenční zdvih přesně 75 kHz. Díky znalosti tohoto frekvenčního zdvihu stačí porovnat amplitudu první harmonické při kmitočtu 1 kHz s amplitudou stejné harmonické našeho malého vysílače od firmy SENCOR při stejném kmitočtu. Z Obr. 4.2 je patrné, že jsou tyto amplitudy skutečně stejné, a proto je frekvenční zdvih našeho přípravku také 75 kHz, ale i vyšší práh šumu.

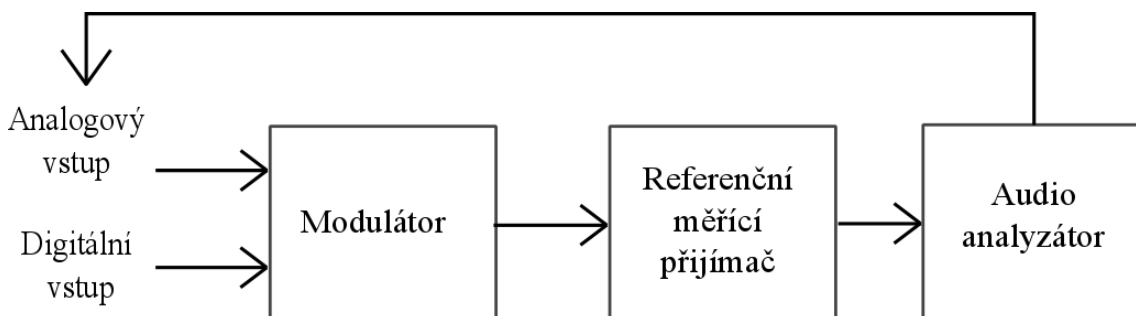


Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Green	Solid	2	Fft.Ch.1 Ampl	Left	RS 1kHz zdvih 75kHz
3	1	Red	Solid	2	Fft.Ch.1 Ampl	Left	Sencor 1kHz 0dBFS

Obr. 4.2: Porovnání signál SENCOR s referenčním Rohde & Schwarz

4.4 Frekvenční charakteristiky

Při měření frekvenčních charakteristik byl použit analogový i digitální rozmítaný signál od 20 Hz do 16 kHz. Jednotlivé bloky pro toto měření byly zapojeny dle *Obr. 4.3*. Na tomto blokovém schématu zapojení jsou následující 3 bloky, kde modulátor představuje náš malý vysílač SENCOR, referenční přijímač Revox B260 FM tuner a audio analyzátor Audio Precision 2700.

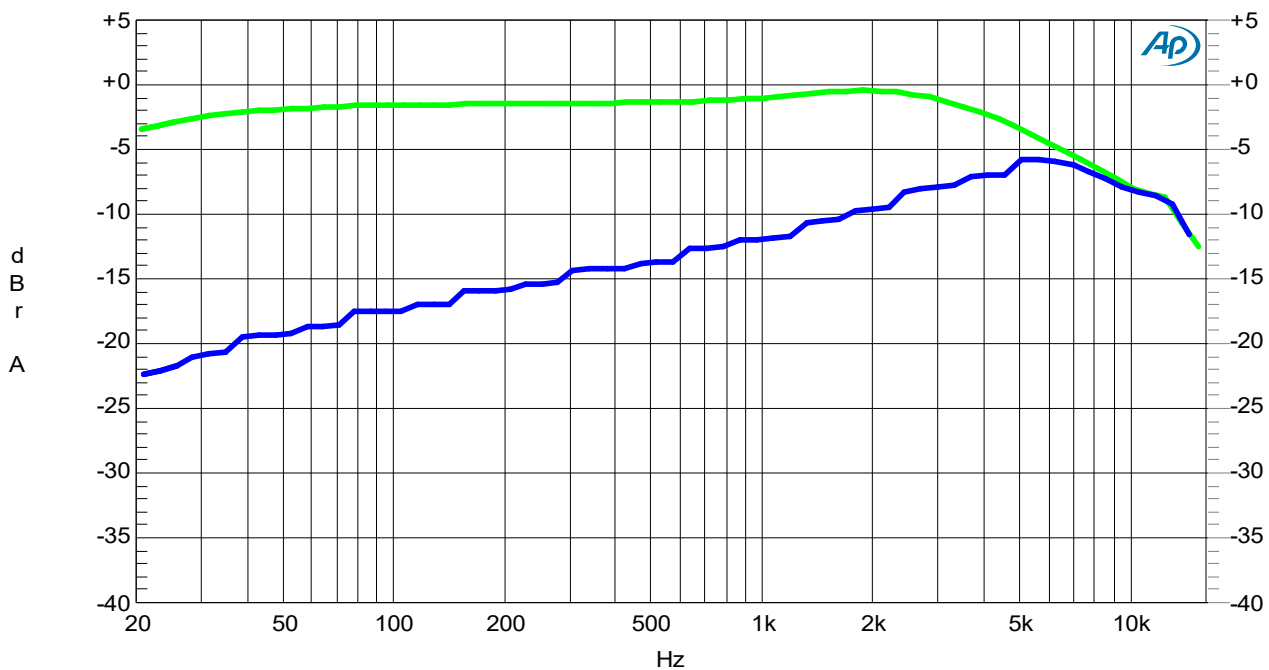


Obr. 4.3: Blokové schéma zapojení pro měření frekvenčních charakteristik

V tomto měření se zjišťovalo ztlumení signálu po přenosové cestě. Měřením signálu přivedeného na digitální vstup *Obr. 4.4* bylo zjištěno, že tento signál je ztlumen na nízkých frekvencích o více jak -20 dB, ale od zhruba 5 kHz je signál ztlumen mnohem méně.

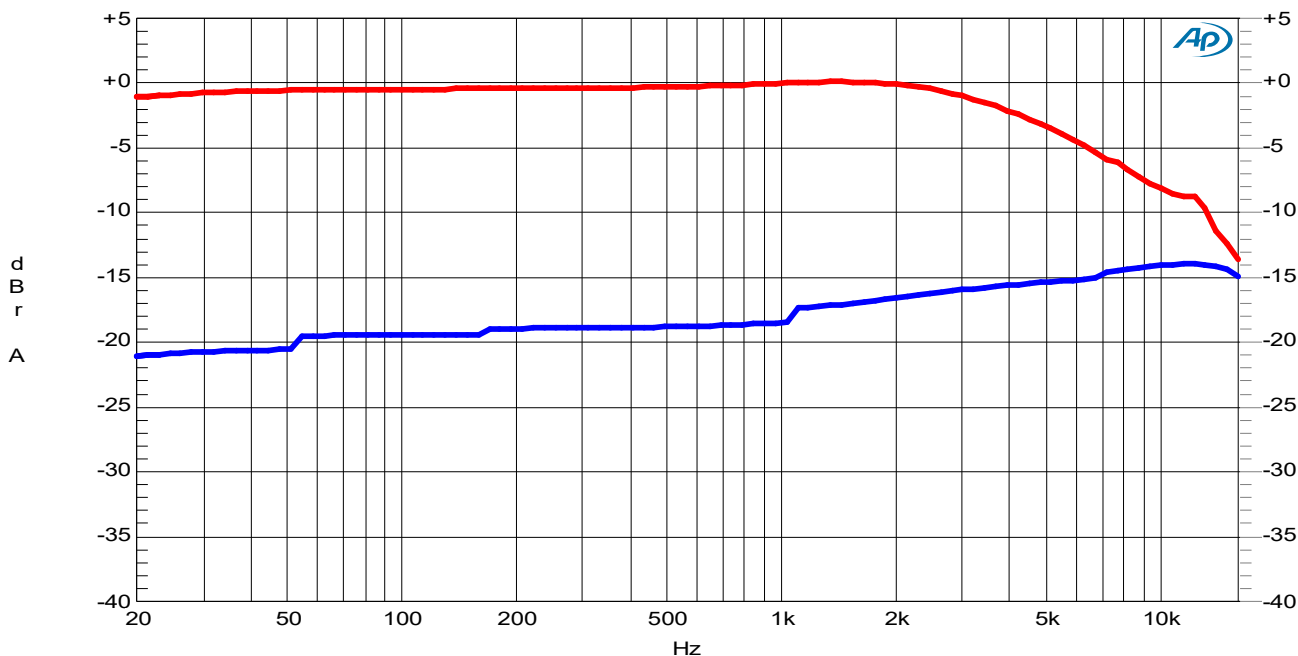
Toto měření bylo provedeno vícekrát s mírně rozdílnými hodnotami. Důvod, proč tomu tak v IO je, není přesně známý.

Stejně měření bylo provedeno pomocí signálu na analogovém vstupu malého vysílače. Výsledný průběh ztlumení signálu na *Obr. 4.5* byl velice obdobný jako u předešlého měření, ale výstupní signál je více ztlumen i na vyšších frekvencích.



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Green	Solid	3	DSP Anlr.Level A	Left	0dBFS
2	1	Blue	Solid	3	DSP Anlr.Level A	Left	-20dBFS

Obr. 4.4: Frekvenční charakteristika pro digitální vstupní signál



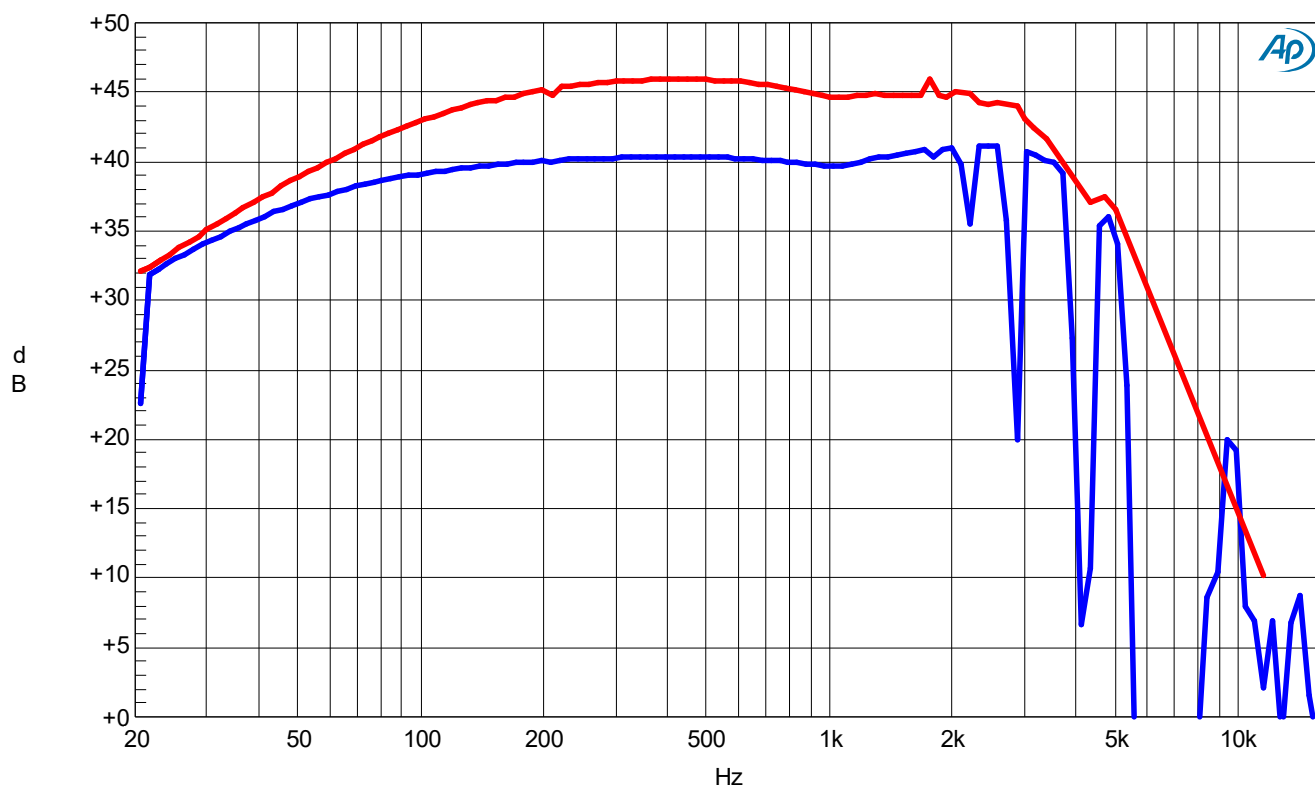
Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Red	Solid	3	Anlr.Level A	Left	0dBFS
2	1	Blue	Solid	3	Anlr.Level A	Left	-20dBFS

Obr. 4.5: Frekvenční charakteristika pro analogový vstupní signál

4.5 Odstup pravého a levého kanálu

Úkolem tohoto bodu měření bylo zjistit, jak veliký výkon se přeneso do kanálu, kde se nic nevysílá, čili velikost přeslechu. Schéma zapojení zůstalo stejné jako v předešlém bodě, ale pouze s využitím signálů na digitálním vstupu. Při tomto měření byly použity rozmítané signály s buď vysílaným signálem pouze v pravém, nebo pouze v levém kanále. Přestože se daným kanálem nic nevysílá, vzniká mírný přeslech a my zde naměříme přibližně stejný, ale ztlumený signál, jako na vysílaném kanále. Důvodem tohoto měření je, že příliš vysokými přeslechy je rušen prostorový vjem posluchače.

Na *Obr. 4.6* jsou průběhy přeslechů jednotlivých kanálů. Z měření vyplývá, že přeslech na pravém kanále je mnohem větší než přeslech na levém kanále. Přeslech na levém kanále od 2 kHz je ale velice nestabilní.

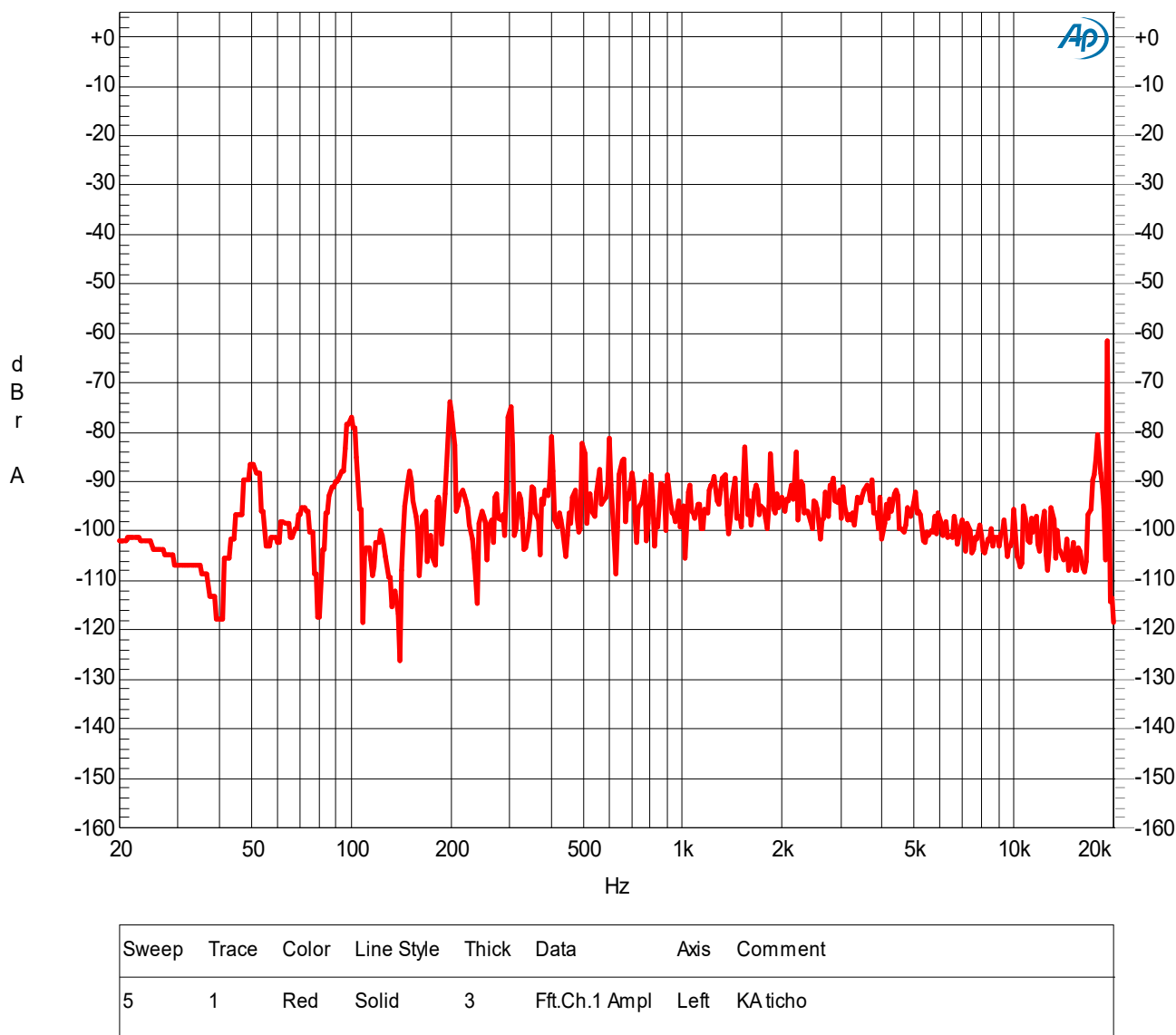


Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Blue	Solid	3	Anl.Crosstalk	Left	preslech levy kanal
2	1	Red	Solid	3	Anl.Crosstalk	Left	preslech pravy kanal

Obr. 4.6: Odstup pravého a levého kanálu

4.6 Měření šumu

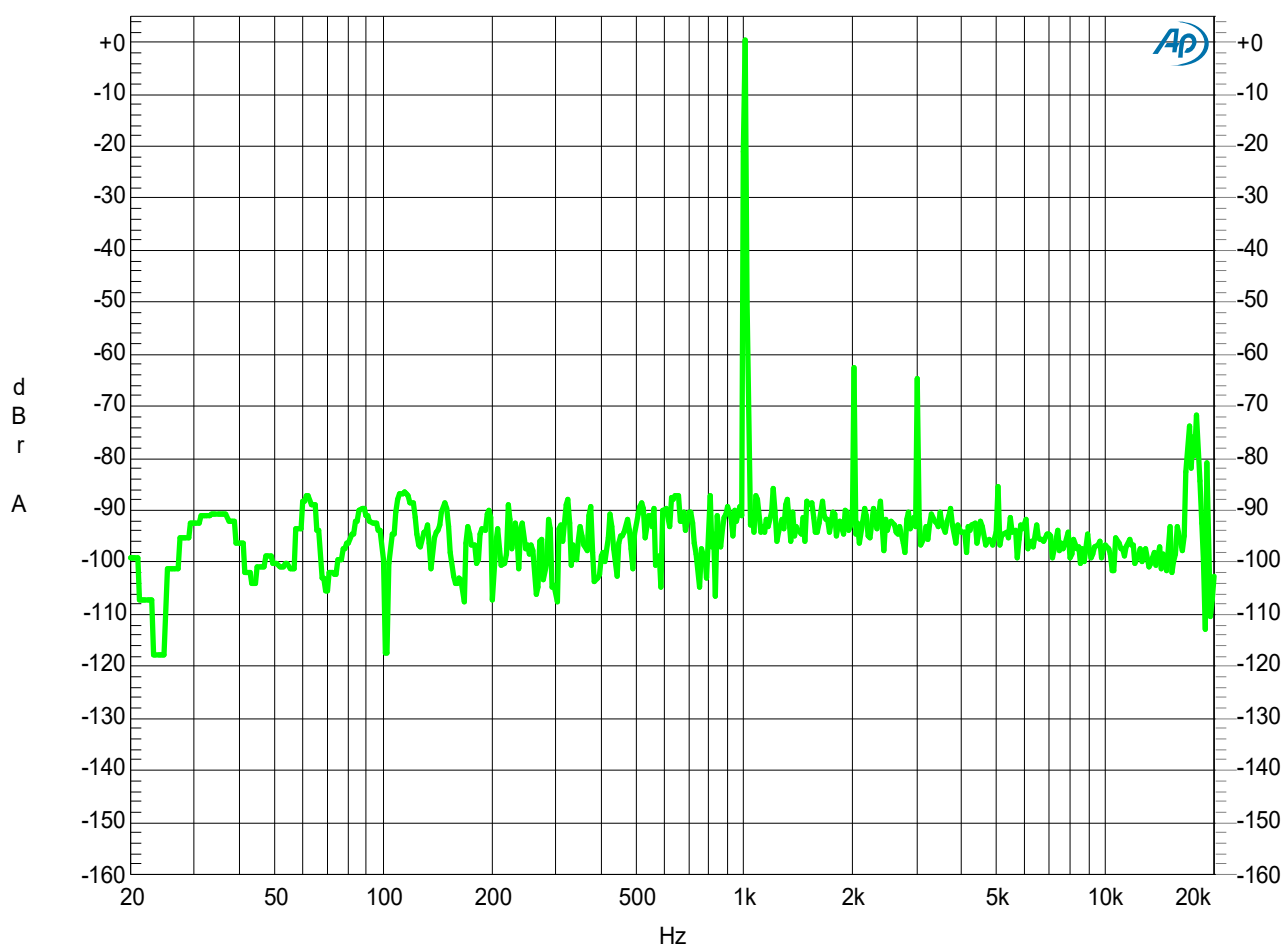
Pro toto měření byl použit signál „Ticho“, ve kterém na obou kanálech není vysílán žádný signál. Díky tomuto nulovému signálu změříme průběh šumového pozadí *Obr. 4.7*. Nejvyšší hodnoty šumu byly změřeny na kmitočtech od 100 Hz do 300 Hz, kdy se tyto hodnoty pohybovaly okolo -75 dB. Rezerva šumu od vlastní techniky byla 17 dB. V obou kanálech byly naměřeny stejné průběhy rušivých signálů.



Obr.4.7: Průběh šumu

4.7 Zkreslení signálu

V tomto bodu měření byly měřeny velikosti rušivých signálů, které vznikají vyššími harmonickými přenášeného signálu. Pokud bude odstup nízký, vyšší harmonické se v poslechu přijímaných signálů začnou projevovat. Pro toto měření byl použit měřicí signál o frekvenci 1 kHz na digitálním vstupu malého vysílače. Odstup rušivých signálů vyšších harmonických činí -62 dB.



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
3	1	Green	Solid	3	Ft.Ch.1 Ampl	Left	Sencor 1kHz 0dBFS

Obr. 4.8: Průběh signálu frekvenci 1 kHz a normovaný k 0 dBFS

Závěr

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo nahradit anténu u přenosného transmitteru konektorem, aby byla odstraněna vzdušná cesta šíření signálů. Pro tuto náhradu bylo použito doporučené externí zapojení antény konkurenčního čipu Si4712/13-B30. Jelikož konkurenční IO má jiné hodnoty kapacit v tuneru než náš IO QN8007B/8007LB, bylo zapotřebí použít jiné hodnoty součástek. Nadále bylo potřeba ověřit, zdali se na vysílaných kmitočtech od 87,5 MHz až do 108 MHz vejde kapacita do rozsahu 5 až 30 pF, kterou je tuner schopen nastavit. Za použití Thomsonova vztahu (3) pro rezonanci bylo ověřeno, že hodnoty kapacity v tuneru se vejde do tohoto rozsahu viz. *Tab. 3.1*.

Dalším bodem této práce bylo ověření některých parametrů vysílače. Toto měření je provedeno v kapitole 4.

Při měření výstupního výkonu, v odstavci 4.1.1, na jednotlivých frekvencích FM vysílání, bylo zjištěno, že výkon se vzrůstající frekvencí lineárně roste. Rozdíl výkonu na celém přenosovém pásmu činní 2 dBm. Při tomto měření také byla použita šířka pásma 300 kHz místo standardní 200 kHz, důvodem bylo zobrazení všech přenášených produktů. Při měření výkonů jednotlivých harmonických na kmitočtu 108 MHz bylo zjištěno, že 3. harmonická má dost vysoký výkon, a tím nám velice zkresluje kvalitu signálu.

U měření kmitočtového zdvihu byl použit normovaný měřicí přístroj od firmy Rohde & Schwarz, který má kmitočtový zdvih 75 kHz. Díky tomuto parametru stačilo porovnat amplitudu z tohoto referenčního vysílače s naším malým vysílačem SENCOR. Amplitudy 1. harmonické při signálu 1 kHz byly naprosto stejné a překrývaly se, z tohoto lze vyhodnotit, že náš vysílač má stejný frekvenční zdvih jako normovaný vysílač.

Měření frekvenčních charakteristik s digitálním i analogovým vstupním signálem bylo provedeno vícekrát. Hodnoty výstupních signálů byly ztlumeny v každém měření trochu jinak díky neznámé funkci IO, který je nějakým způsobem vnitřně přeladován. Výstupní signály byly ztlumeny na nižších kmitočtech okolo -20 dB oproti maximální amplitudě vstupního signálu. V porovnání výsledků s digitálním vstupním signálem oproti

analogovému vstupnímu signálu bylo zjištěno, že výstupní signál u analogového řešení je mnohem více ztlumen.

Změřený odstup mezi pravým a levým kanálem na *Obr. 4.6* od 200 Hz do 2 kHz se pohybuje okolo 5 dB, ale od vyšší frekvence levý kanál vykazuje silnou nelinearitu toho odstupu.

Velikost šumu na *Obr. 4.7* odpovídá přibližně -75 dB od amplitudy přenášených signálů. Tato hodnota je relativně postačující k tomu, aby nebyl přenášený signál rušen.

Z ověření těchto parametrů malého vysílače je patrné, že je tento přípravek použitelný až po doplnění filtru vyšších harmonických. Lze ho použít jako výukový a testovací přípravek pro měření některých z uvedených parametrů, zejména pro měření kmitočtového zdvihu, odstupu signálu od šumu, odstupu pravého a levého kanálu, ale pouze pro frekvence do 2 kHz. Nad tuto frekvenci se parametry zhoršují a měření s tímto přípravkem tak budou vykazovat vyšší chyby.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-86056-47-3.
- [2] *Frekvenční Modulace* [online]. Česká Republika [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Frekven%C4%8Dn%C3%AD_modulace
- [3] ČSN EN 62106: *Specifikace rádiového datového systému (RDS) pro VHF/FM rozhlasové vysílání v kmitočtovém pásmu 87,5 MHz až 108,0 MHz*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [4] VO-R/10/05.2014-3: *všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu*. Praha: Český telekomunikační úřad, 2014.
- [5] PŘEHLED ROZHLASOVÝCH FM VYSÍLAČŮ ČESKÝCH RADIOKOMUNIKACÍ [online]. Česká Republika [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.radiokomunikace.cz/prehled-fm-rozhlasovych-vysilacu>
- [6] ČSN EN 60244-13: *Metody měření rádiových vysílačů. Část 13: Vlastnosti rozhlasového vysílání FM*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [7] ZHAI, Natalian. *Solving FM Antenna Design Challenges in Portable Devices* [online]. Silicon Laboratories Inc. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/FM-Antenna-Design-Challenges-Whitepaper.pdf>
- [8] Si4712-13-B30. In: *Silicon laboratories: FM RADIO TRANSMITTER WITH RECEIVE POWER SCAN* [online]. Texas: Silicon laboratories, 2008 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4712-13-B30.pdf>
- [9] SOX [online]. 2013 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://sox.sourceforge.net/sox.html>
- [10] *Frequency Modulation (FM) Tutorial* [online]. In: Lawrence Der, Ph.D. Silicon Laboratories Inc. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/FMTutorial.pdf>
- [11] BH1415F: *FM stereo transmitter IC for audio systems*. ROHM, 2005.
- [12] QN8007B/8007LB: *High Performance Digital FM Transmitter for Portable Devices* [online]. In: QUINTIC, 2009 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=QN8007B
- [13] LINHART, Richard. *Rozhlasové systémy I*. Plzeň: ZČU FEL Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací, 2011.

Přílohy

Příloha A- tabulka výkonů, na jednotlivých frekvencích

f [MHz]	Lp [dBm]
88	-20,31
89	-20,10
90	-20,05
91	-19,92
92	-19,82
93	-19,70
94	-19,68
95	-19,55
96	-19,48
97	-19,35
98	-19,24
99	-19,12
100	-19,05
101	-18,95
102	-18,80
103	-18,70
104	-18,62
105	-18,53
106	-18,48
107	-18,38
108	-18,31