

# 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

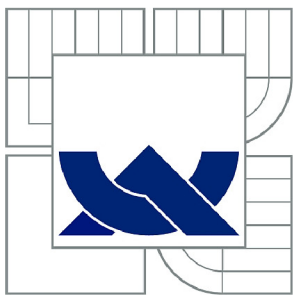
MODUL VYSÍLAČE PRO PROFESIONÁLNÍ MIKROFON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

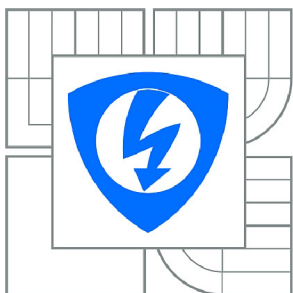
GÁBOR ÁRVA

BRNO 2015



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

## MODUL VYSÍLAČE PRO PROFESIONÁLNÍ MIKROFON

TRANSMITTER FOR PROFESSIONAL MICROPHONE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

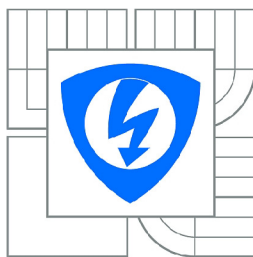
GÁBOR ÁRVA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR KOLOUCH, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Gábor Árva

**ID:** 154671

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

## Modul vysílače pro profesionální mikrofon

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte jednotku bezdrátového mikrofonu (vysílače) připojitelnou pomocí standardního konektoru XLR ke klasickému ručnímu mikrofonu. Kmitočtovou stabilitu zajistěte krystalem nebo SAW rezonátorem (vypracujte i koncept pro PLL kmitočtové řízení). Výkon bude cca 50 mW na zvoleném VHF / UHF kmitočtu. Modul vysílače bude obsahovat vypínatelnou jednotku automatického řízení citlivosti.

Navrženou jednotku realizujte a ověřte její funkčnost.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MALINA, V. Poznáváme elektroniku 5 – Vysokofrekvenční technika. Praha: BEN, 2002.

[2] GIESBERTS, T. Wireless Microphone – Audio in the ISM band. Elektor, 2005, no. 2, p. 20-25.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:** Ing. Ondřej Pavelka, Honeywell

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tento semestrální projekt je zaměřený na návrh vysílacího modulu v bezdrátovém mikrofonovém systému, který se připojí k mikrofonu s XLR konektorem. Obsahuje detailní popis funkce individuálních bloků, které jsou nutné pro zpracování a vysílání signálu získaného z mikrofonu. Rozobí způsoby frekvenční modulace použitím fázového závěsu a porovnává jejich výhody a nevýhody. Jako poslední se zabývá výběrem antény a její adaptací na vhodné rozměry.

## **KLÍČOVÉ SLOVÁ**

mikrofon, bezdrátový mikrofon, vysílací modul, PLL, frekvenční syntezátor, FM, Meander

## **ABSTRACT**

This project deals with the design of a transmitter in a wireless microphone system, which connects to a microphone through an XLR connector. It contains detailed description of the individual blocks, which are necessary for processing and transmitting the signal received from the microphone. It discusses methods of frequency modulation using a phase locked loop and compares their advantages and disadvantages. As the last, it deals with the antenna selection and its shrinking methods.

## **KEYWORDS**

microphone, wireless microphone, transmitter, PLL, frequency synthesiser, FM, Meander

ÁRVA, G. *Modul vysílače pro profesionální mikrofon*: bakalářská práce. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav Radioelektroniky, 2015. 64 s. Vedúci práce bol prof. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Modul vysílače pro profesionální mikrofnn“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znenie neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

BRNO .....

.....

(podpis autora)

## POĎAKOVANIE

Rád bych poďakoval pánovi Ing. Ondřeja Pavelkovi a doc. Ing. Jaromíra Kolouchovi, Csc. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

BRNO .....

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Purkynova 118, CZ-61200 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

BRNO .....

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Mikrofóny, snímanie zvuku</b>	<b>13</b>
1.1 Smerová charakteristika . . . . .	13
1.2 Kmitočtová charakteristika . . . . .	14
1.3 Impedancia mikrofónu . . . . .	14
1.4 Bezdrôtové mikrofóny . . . . .	15
1.4.1 Belt-pack modely . . . . .	16
1.4.2 Ručné modely . . . . .	16
1.4.3 Plug-on (Zástrčkové) modely . . . . .	17
<b>2 Bezdrôtové komunikácie</b>	<b>18</b>
2.1 Vysielače . . . . .	18
2.2 Amplitudová modulácia . . . . .	19
2.3 Frekvenčná modulácia . . . . .	20
2.3.1 Úzkopásmová frekvenčná modulácia (NBFM) . . . . .	21
2.3.2 Širokopásmová frekvenčná modulácia (WBFM) . . . . .	21
2.3.3 Vzťahy medzi PM a FM . . . . .	21
2.4 Povolené kmitočtové pásma v ČR . . . . .	22
2.5 Kmitočtová syntéza - PLL . . . . .	23
<b>3 Návrh modulu</b>	<b>25</b>
3.1 Bloková schéma . . . . .	25
3.2 Mikrofónový predzosilňovač s kompresorom . . . . .	26
3.2.1 Zisk . . . . .	27
3.2.2 Kompresor . . . . .	28
3.2.3 Limitácia a šumová brána . . . . .	28
3.3 Filter dolný priepust . . . . .	31
3.4 Preemfáza . . . . .	32
3.5 Fázový záves . . . . .	34
3.6 Popis funkcie frekvenčného syntezátora . . . . .	35
3.6.1 R counter latch . . . . .	37
3.6.2 N counter latch . . . . .	37
3.6.3 Control latch . . . . .	38
3.7 Metódy modulácie s fázovým závesom . . . . .	40
3.8 Zvolená metóda . . . . .	43
3.9 Slučkový filter . . . . .	44



3.10	Koncový zosilňovač . . . . .	45
3.11	Pi článok . . . . .	46
3.12	Anténa . . . . .	47
3.12.1	Elektrické predĺžovanie antény . . . . .	47
3.12.2	Anténa Meander . . . . .	48
3.13	Napájanie modulu . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Oživenie modulu</b>	<b>50</b>
4.1	Konštrukcia . . . . .	50
4.2	Funkcia mikrokontroléra . . . . .	51
4.3	Výstupný signál . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Záver</b>	<b>54</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>55</b>
	<b>Zoznam symbolov, veličín a skratiek</b>	<b>57</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>59</b>
<b>A</b>	<b>Dokumentácia</b>	<b>60</b>
A.1	Obvodové zapojenie nízkofrekvenčnej časti . . . . .	60
A.2	Obvodové zapojenie vysokofrekvenčnej časti . . . . .	61
A.3	Obvodové zapojenie napájacie časti . . . . .	62
A.4	Deska plošného spoje - top . . . . .	63
A.5	Deska plošného spoje - bottom . . . . .	63
A.6	Deska kontrolného panelu . . . . .	63
A.7	Deska meander antény typ 1 . . . . .	64
A.8	Deska meander antény typ 2 . . . . .	64

# ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Smerové charakteristiky[3]	13
1.2	Kmitočtová charakteristika mikrofónu SM58	14
1.3	Bloková schéma bezdrôtového mikrofónu	15
1.4	Belt-pack model [8]	16
1.5	Ručný model [8]	16
1.6	Plug-on model [8]	17
2.1	Priebeh AM signálu [3]	19
2.2	Priebeh FM signálu [3]	20
2.3	Generovanie FM z PM a opačne [3]	22
2.4	Bloková schéma fázového závesu [4]	23
3.1	Bloková schéma celého zapojenia	25
3.2	Spôsob zapojenia SSM2166 [10]	26
3.3	Závislosť zisku na hodnotu $R_{Gain}$ [10]	27
3.4	Zistenie hodnoty odporov $R_{Gate}$ a $R_{ROTP}$ [10]	29
3.5	Funkcia kompresora [10]	30
3.6	Obvodové zapojenie aktívneho filtra dolnej priepusti 2. rádu	31
3.7	Obvodové zapojenie CR článku	32
3.8	Amplitudovo-frekvenčná charakteristika obvodu Pre-emphasis [7]	33
3.9	Vnútný blokový diagram chipu ADF4360-8 [11]	34
3.10	Časový diagram komunikácie SPI	35
3.11	Časový diagram programovania ADF4360-8 [11]	36
3.12	R counter latch [11]	37
3.13	N counter latch [11]	37
3.14	Control latch [11]	38
3.15	Bloková schéma modulátora	40
3.16	Obvodové zapojenie sčítaču	41
3.17	Obvodové zapojenie sčítaču	41
3.18	Obvodové zapojenie celej slučky PLL	43
3.19	Obvodové zapojenie slučkového filtra	44
3.20	Obvodové zapojenie koncového zosilňovača MAR6+	45
3.21	Obvodové zapojenie Pi článku	46
3.22	(vpravo)Charakter vedenia v závislosti na jeho dĺžky (vľavo) Umies- tenie uzlov a kmitov prúdu a napätia	47
3.23	Možný spôsob usporiadania antény typu Meander [12]	48
3.24	Meander typ 1	48
3.25	Meander typ 2	48
3.26	Obvodové zapojenie LTE3024	49

4.1	Výsledná deska top . . . . .	50
4.2	Výsledná deska bottom . . . . .	50
4.3	Kontrolný panel . . . . .	51
4.4	Overenie funkčnosti SPI komunikácie . . . . .	51
4.5	Obvodové zapojenie mikrokontroléra . . . . .	52
4.6	Predpokladaná živostnosť batérie Industrial . . . . .	52
4.7	Spektrum RF signálu . . . . .	53

# ZOZNAM TABULIEK

3.1	Hodnota $R_{\text{Comp}}$ v $k\Omega$ . . . . .	28
3.2	Umiestenie dát podľa kontrolných bitov . . . . .	35
3.3	Datový tok R counter latch . . . . .	37
3.4	Datový tok N counter latch . . . . .	38
3.5	Možnosti nastavenia úsporného režimu . . . . .	39
3.6	Datový tok Control latch . . . . .	39
4.1	Diódové signalizácie . . . . .	53

# ÚVOD

Zadaním tejto práce bol návrh pripojiteľnej jednotky, fungujúcej ako vysielač v bezdrôtovom mikrofónovom systéme. Modul vysiela audiosignál pomocou frekvenčnej modulácie na zvolený nosný kmitočet. O povolených kmitočtoch rozhoduje Český telekomunikační úrad, podľa toho bola zvolená frekvencia 175 MHz s hlĺbkou modulácie 40 kHz.

Frekvenčnú stabilitu zaistuje frekvenčný syntezátor ADF4360, ktorý s vnútorným napäťovo riadeným oscilátorom pracuje ako fázový záves a frekvenčný modulátor. Nastavenie frekvenčného syntezátora prebieha pomocou naprogramovaného mikrokontroléra, ktorý vysiela určené dátové toky cez sériové rozhranie SPI.

Táto práca sa ďalej zaoberá so zvolením súčiastok a ich impedančným a prispôsobením, návrhom antény s vhodnými rozmermi a nastavením vysielaného výkonu. Okrem toho, je úlohou napísanie zdrojového kódu pre riadenie fázového závesu a monitorovanie stavu batérie.

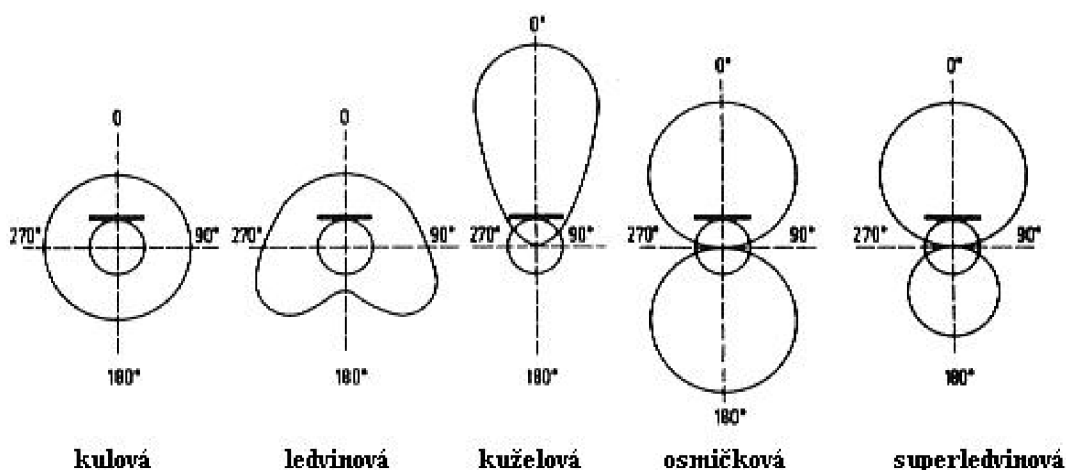
Funkčnosť modulu bude overená pomocou elektrodynamického mikrofóna Shure SM58 a prijímača bezdrôtového mikrofónneho systému Stage Line 130.

# 1 MIKROFÓNY, SNÍMANIE ZVUKU

Mikrofón je reciproký elektroakustický menič, ktorý prevedie zvukové vlny na elektrický signál. Princíp fungovania môžeme napísať tak, že harmonicky meniaci sa hladina akustického tlaku pohybuje membránu, ktorý pozoruje menič. Elektroakustické meniče najčastejšie využívajú elektromagnetické alebo elektrostatické pole, a podľa toho zaradíme mikrofóny do dvoch skupín. Elektromagnetické meniče využívajú elektromagnetické pole, a výstupné napätie je úmerné rýchlosťou zmeny akustického tlaku, preto sú často označované ako rýchlostné meniče. Výstupné napätie elektrostatických meničov, ktoré využívajú elektrostatické pole, je úmerné výchylkou akustického tlaku, kvôli čomu aj dostali meno výchilkové meniče. Čerpané z lit.[2][5][6]

## 1.1 Smerová charakteristika

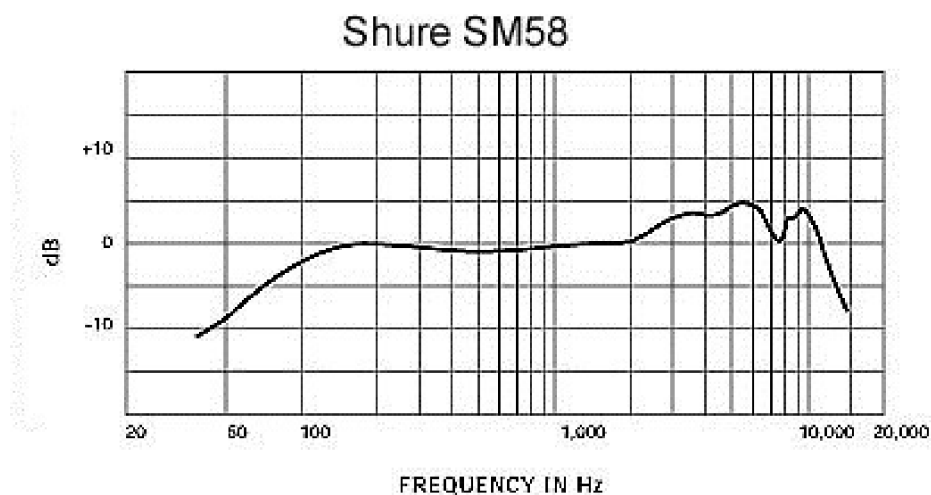
Smerová charakteristika vyjadruje závislosť medzi pozorovanými veličinami a uhlom  $\alpha$ , ktorý vzniká medzi akustickou osou mikrofónu a dopadajúcimi zvukovými vlnami. Charakteristiku sa meria pri konštantnom kmitočte a vzdialenosti od mikrofónu. Najčastejšia sledovaná veličina je citlivosťou mikrofónu a je zobrazovaná v polárnom grafe, ako je viditeľné na obr. 1.1. Podľa smerovej charakteristiky mikrofóny môžeme rozdeliť do troch skupín: všesmerové, osmičkové a smerové. [2][5][6]



Obr. 1.1: Smerové charakteristiky[3]

## 1.2 Kmitočtová charakteristika

Frekvenčná charakteristika je nameraná v akustickej osi mikrofónu pri konštantnej vzdialenosti. Charakteristika sa zobrazí v XY grafu, na vodorovnej osi sú vyznačené kmitočty typické od 20 Hz do 20 KHz. Na zvislej osi sa uvádza úroveň výstupného signálu v dB. Na obr. 1.2 je znázornená kmitočtová charakteristika elektrodynamického mikrofónu Shure SM58.[5]



Obr. 1.2: Kmitočtová charakteristika mikrofónu SM58

## 1.3 Impedancia mikrofónu

Mikrofóny sa konštruujú ako vysokoimpedančné alebo nízkoimpedančné.

**1, Vysokoimpedančné** (5 - 10 k $\Omega$ ) majú väčší výstupný signál, z čoho je zrejmé, že stačí používať jednoduchšie mikrofónové predzosilňovače, ale sú náchylnejšie na externé rušenie, prípadne na kapacitu kábla. Tieto typy sú výhodné pre domáce a komerčné používanie.

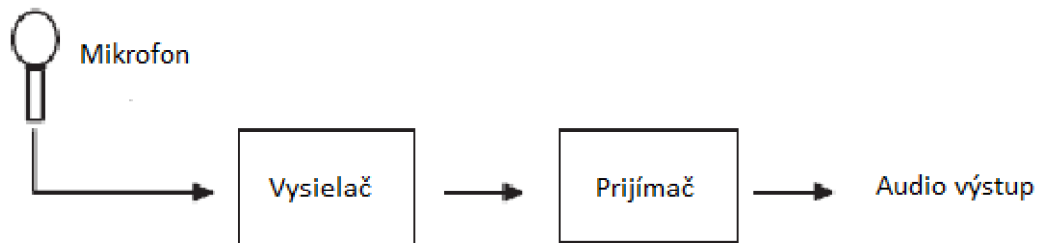
**2, Nízkoimpedančné** (150 – 600  $\Omega$ ) sa používajú v profesionálnej technike. Tieto typy počítajú s pripojením k mixážnemu pultu, kde hlavným účelom je maximálny prenos napätia a nie výkonové prispôbenie.

## 1.4 Bezdrôtové mikrofóny

Bezdrôtové mikrofónové systémy využívajú kombináciu rádiových frekvencií a audio-elektroniku na spojenie mikrofónu k nejakému inému prvku, ktoré spracovávajú zvukový signál. V reťazci bezdrôtového komunikačného systému sa nachádzajú tri prvky:

- 1, Mikrofón
- 2, Vysielač
- 3, Prijímač

Bezdrôtové prijímače sú dostupné v troch konfiguráciách, ktoré sú výhodné pre rôzne aplikácie. [8]



Obr. 1.3: Bloková schéma bezdrôtového mikrofónu



### 1.4.1 Belt-pack modely

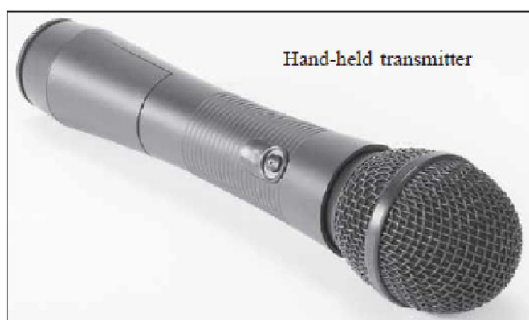
Belt-pack modely sa používajú hlavne s miniatúrnymi klopovými mikrofónmi, ktoré pripínajú k oblečeniu umelca. Tieto modely majú väčšie rozmery ako ostatné typy a obsahujú rovnakú elektroniku ako ručné modely. Existujú typy, ktoré sú vyrobené na využitie mikrofónového kábla ako antény, alebo používajú jednoduchú "whip" anténu. Celý modul sa napája z 9 V batérie. Problém môže spôsobiť nevhodný design sponov na opasok – nedrží sa dobre a spadá. Typický vzhľad je zobrazená na obr. 1.4.



Obr. 1.4: Belt-pack model [8]

### 1.4.2 Ručné modely

Ručné mikrofóny majú bežné mikrofónové elementy zabudované do jednej rukoväti s rádiovým prijímačom a s predzosilňovačom. Tieto modely sú najobľúbenejšie v hudobnom umení. Musia poskytovať potrebnú úroveň signálu a nastavenie frekvencie, riadenie musí byť skryté aby zabránilo prípadnej modifikácii nastavených hodnôt počas používania. Príklad je viditeľný na obr. 1.5.



Obr. 1.5: Ručný model [8]

### 1.4.3 Plug-on (Zástrčkové) modely

Individuálne moduly obsahujúce vysielač, ktoré sú vybavené samčím XLR konektorom. Plug-on modely ponúkajú najväčšiu flexibilitu, umožňujú zlučiteľnosť so všetkými typmi mikrofónov. Obsahujú vnútornú batériu, ktorá zaistí prípadné fantómové napätie pre kondenzátorové mikrofóny a takisto pre vysielajúci modul. Profesionálne modely fungujú na 9 V batérie, a poskytujú širokú škálu nastavenia vstupného napätia, aby uspokojil potreby pre všetky typy mikrofónov. Modul je zobrazený na obr. 1.6.



Obr. 1.6: Plug-on model [8]

## 2 BEZDRÔTOVÉ KOMUNIKÁCIE

Začiatky rádiovkej prevádzky sa datujú od roku 1920. V tomto roku o skutočnom rozhlasu hovoriť ešte nemôžeme, lebo rádiová prevádzka sa viedla pomocou telegrafie. Na území Českej republiky oficiálne pokusy sa začínali až v roku 1922, a v roku 1924 prvýkrát nadväzovali spojenie na krátkych vlnách s Holandskou. V tej dobe ešte nerozdelili krátke vlny od stredných a dlhých vln. Od tých rokov rádiová komunikácia sa veľmi rýchlo rozvinula. Dnešní život bez rozhlasového a televízneho vysielanie predstaviť už nevieme, každodenne používame mobilné a satelitné komunikácie. Veľkosť rádiovkej siete už dávno prerástla veľkosť našej Zeme. Existujú ďalej aj kmitočtové pásma, pri najvyšších kmitočtoch, ktoré využívajú rádioamatéri s vlastnými rádiovými prevádzkami a satelitmi.

### 2.1 Vysielače

Existuje mnoho druhov vysieláčov, ktoré sa líšia výkonom, vysielacím pásmom a spôsobom modulácie. Najjednoduchším komunikačným systémom bola telegrafná abeceda, ktorá fungovala na princípe rytmického prerušovania vysokofrekvenčného signálu. Aby sme boli schopní vysielat obraz či zvuk, potrebujeme inú formu nositeľa informácií. Pretože reč, hudba i obraz padajú do oblasti nízkych frekvencií, ale bez vysokých frekvencií bezdrôtový prenos nezaobíde. Preto by museli vysokofrekvenčné vlny vhodným spôsobom ovplyvniť s nízkofrekvenčným, aby to vysielalo do priestoru. Tento proces sa nazýva modulácia, a na vlne s vysokou frekvenciou hovoríme nosná. Na začiatku pracovali najmä s AM moduláciou ale v dnešnej dobe najpoužívanejšie formy modulácie sú analógové FM modulácie, ale v modernejších prístrojoch sú rozšírené rôzne typy digitálnych modulácií. [1]

## 2.2 Amplitudová modulácia

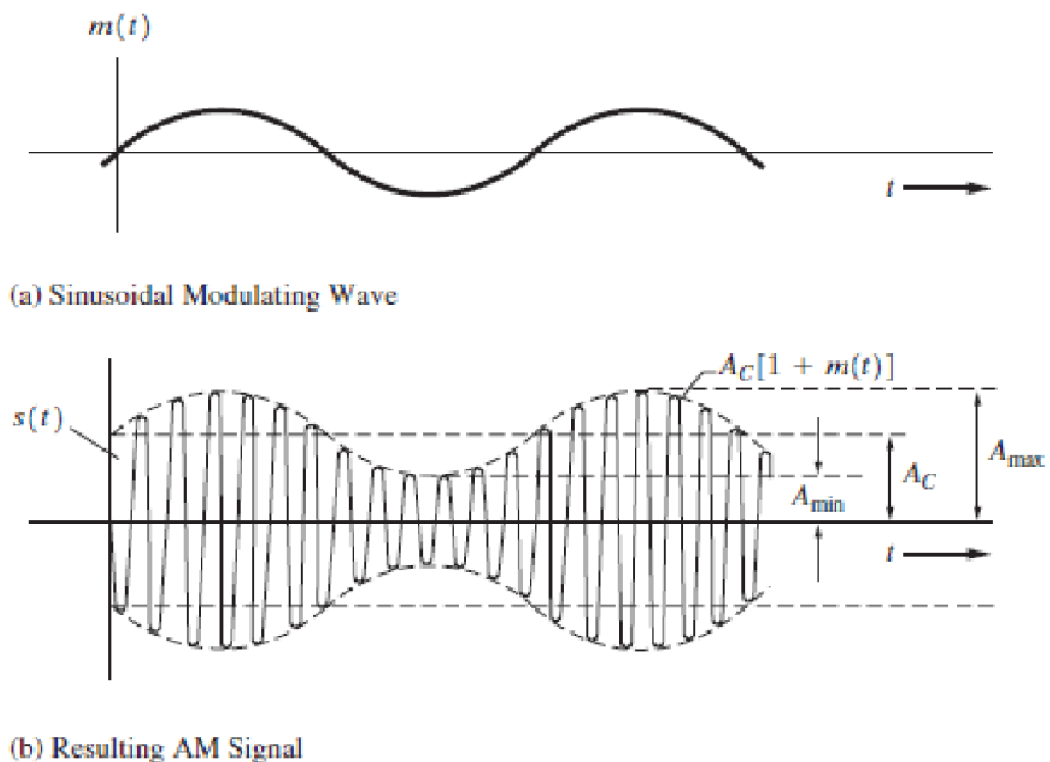
Pri AM modulácii, zmeníme amplitúdu nosného signálu podľa správového signálu. Jeho ostatné parametre ako frekvencia a fáza nezmeníme. Táto technológia sa už v dnešnej dobe nepoužíva. Komplexná obálka amplitudovo-modulovaného (AM) signálu je popísaná vzťahom (2.1).

$$g(t) = A_c[1 + m(t)] \quad (2.1)$$

Konštanta  $A_c$  je zaradená pre stanovenie úrovne signálu a  $m(t)$  je modulovaný signál, ktorý môže byť analógový alebo digitálny. Predchádzajúca rovnica je zjednodušená pre AM signál:

$$s(t) = A_c[1 + m(t)]\omega_c t \quad (2.2)$$

Keď  $m(t)$  má vrcholové hodnoty  $+1$  pre maximum a  $-1$  pre minimum, a vtedy hovoríme, že AM signál je 100 % modulovaný.



Obr. 2.1: Priebeh AM signálu [3]

## 2.3 Frekvenčná modulácia

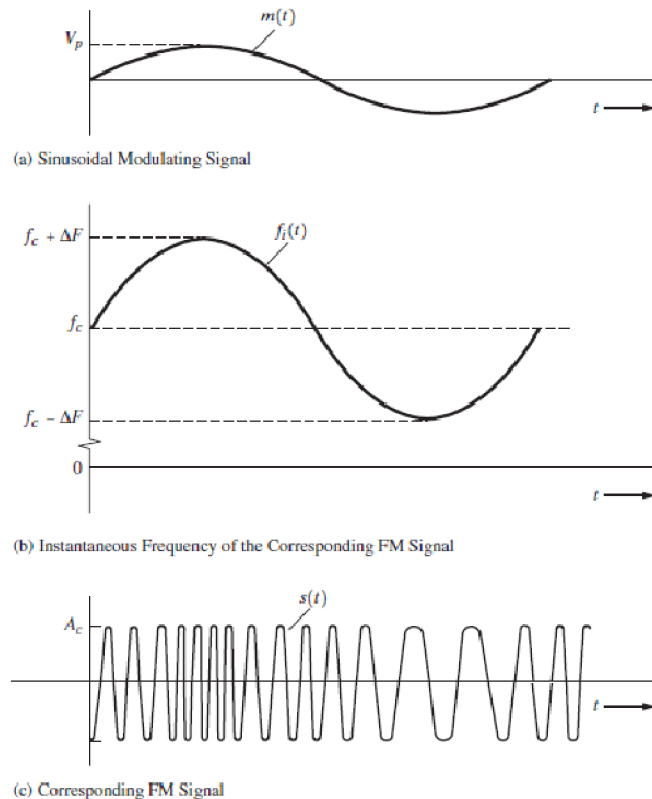
Princípom je to, že úmerne so zmenou amplitúdy modulačného signálu meníme frekvencie nosného kmitočtu, pričom fáza a amplitúda nosnej frekvencie je konštantná. Na charakterizovanie FM signálov používame dva hlavné parametre, index FM modulácie –  $m$ , a pomer odchýlky –  $D$ .

Index modulácie udáva pomer frekvenčnej odchýlky  $\Delta f$  a modulovanej frekvencie  $f_m$ , ktorá sa mení podľa frekvencie, ktorá moduluje vysielaný nosný kmitočet a hodnotu odchýlky. Pre návrh systému však musíme poznať maximálnu dosaditeľnú hodnotu.

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (2.3)$$

Pomer odchýlky (Deviation ratio) udáva pomer maximálnych hodnôt frekvenčnej odchýlky a modulovanej frekvencie.

$$D = \frac{\Delta f(max)}{f_m} \quad (2.4)$$



Obr. 2.2: Priebeh FM signálu [3]

### 2.3.1 Úzkopásmová frekvenčná modulácia (NBFM)

Úzkopásmové FM sa hlavne využívajú v mobilnej komunikácii ktorá používa políciá, ambulancie atď. Maximálna frekvenčná odchýlka je daná ako 5 kHz a najväčší prenášaný kmitočet (modulačné frekvencie) je obvykle 3 kHz. S takými hodnotami modulačný index môže dosiahnuť menšiu alebo trochu väčšiu hodnotu ako 1. Z toho vyplíva že pomer odchýlky bude mať hodnotu okolo 1. U toho typu frekvenčnej modulácie šírka pásma bude podobná ako u AM, takže  $2 \times f_m$ , ale systém je odolnejší voči šumom a brumom.

### 2.3.2 Širokopásmová frekvenčná modulácia (WBFM)

Širokopásmové FM používajú hlavne komerčné rádiové stanice, ktoré využívajú široké pásmo na vysielanie kvalitných signálov a pre stereo kanálov. Index modulácie má vždy väčší ako 1, a pomer odchýlky môže dosiahnuť hodnotu až 2500. Rozsah modulačnej frekvencie je od 30 Hz do 15 kHz, a šírka pásma je až 15 krát väčšia ako pri NBFM. Maximálna frekvenčná odchýlka sa používa v komerčnom vysielaní ako 75 kHz a prenášané pásmo audiosignálu je 15kHz. Pomocou Carlsonovej funkcie je možný vypočítať šírka pásma  $B_T$  podľa rovnici (2.5). Výsledná šírka pásma komerčných kanálov je 180kHz.

$$B_T = 2(\Delta f + f_m(max)) \quad (2.5)$$

### 2.3.3 Vzťahy medzi PM a FM

Fázové a frekvenčné modulácie zahŕňajú do rovnakej skupiny, sú špeciálnym prípadom uhlovo-modulovanej signalizácie. Jejich parametry môžeme matematicky popísať nasledujúcim spôsobom. Komplexná obálka signálov je daná s vzorcom (2.6).

$$g(t) = A_c e^{j\Theta(t)} \quad (2.6)$$

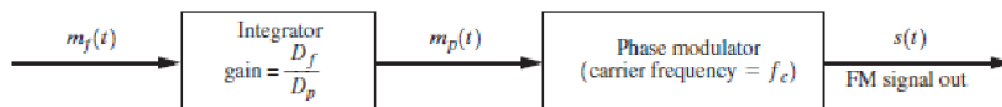
Kde  $|g(t)| = A_c$  sú konštantné a  $\Theta(t)$  je lineárna funkcia modulovaného signálu  $m(t)$ . Pre obidve modulácie platí vzťah (2.7).

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + \Theta(t)] \quad (2.7)$$

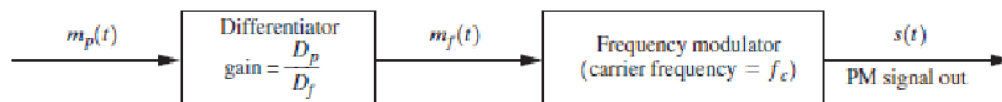
Pre PM priamo platí rovnosť (2.7), v ktorom  $D_p$  a udáva citlivosť fázového modulátoru, z ktorého vyplíva, že  $m(t)$  je napätový priebeh. Pre FM, fáza je úmerná k integrálu  $m(t)$  podľa vzťahu (2.8), z ktorého je zrejmé, že FM signál môžeme generovať z PM signálu a opačne.

$$\Theta(t) = D_p m(t) \quad (2.8)$$

$$\Theta(t) = D_f \int_{-\infty}^t m(\sigma) d\sigma \quad (2.9)$$



(a) Generation of FM Using a Phase Modulator



(b) Generation of PM Using a Frequency Modulator

Obr. 2.3: Generovanie FM z PM a opačne [3]

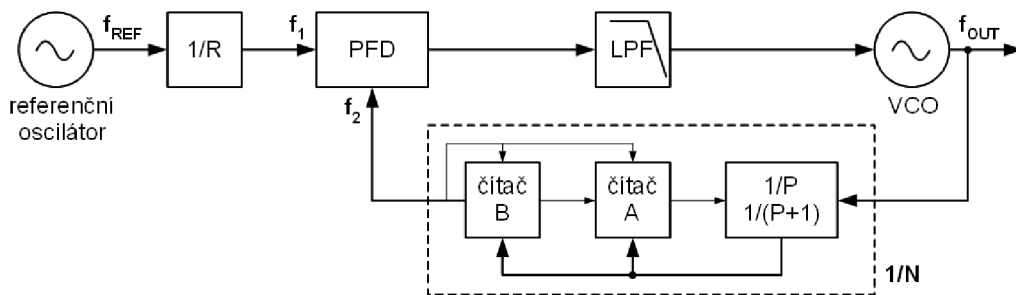
## 2.4 Povolené kmitočtové pásma v ČR

O povolených kmitočtových pásmoch v Českej republiky sa rozhodne Český telekomunikačný úrad, ktorý v každom 5. roku vydáva nový textový dokument, v ktorom definujú povolené a zakázané pásma. S pásmami určené pre bezdrôtové mikrofóny ako pre profesionálne, tak i pre spotrebiteľské využitie sa venuje článok 11. Konkrétne podmienky pre bezdrôtové mikrofóny a slúchadlá [6] v ktorom určujú kmitočtové pásma, ich vyžiarovaný výkon, prípadne kanálový rozteč.

Povolený kmitočet bol zvolený ako 175 MHz s výkonom 50 mW. Funkčnosť modulu bude otestovaná s prijímačom TXS-130SET od firmy Stage line.

## 2.5 Kmitočtová syntéza - PLL

Zaistenie kmitočtovej stability je pre fungovanie bezdrôtových komunikačných systémov vitálny. Nestabilná nosná frekvencia spôsobí chyby v prenose, čo vedie k "nečistému" zvuku na prijímači. Kmitočtové syntetizátory nám umožňujú rýchle nastavenie požadovaných kmitočtov, jeho hodnota sa nemení zmenou teploty, ani stárnutím súčiastok, lebo veľkú stabilitu dostaneme z kremenného výbrusu. Tiež sa zvyšuje jednoduchosť obsluhy zariadenia, lebo na neho sa nadväzujú ďalšie moderné obvody, napr. pamäťové prvky ktorý kedykoľvek nastavia zvolené kmitočty. Základným oscilačným prvkom je kryštálový oscilátor, z ktorého sa s prípadným násobením a delením frekvencie dostávame kvalitný laditeľný oscilátor. Najvýznamnejšiu rolu v dosiahnutí presného kmitočtu hrá tzv. fázová rudiaca slučka (Phase locked loop – PLL) alebo s inými slovami fázový záves. Činnosť systému je pomerne zložitý a stále sa rozširuje, a preto existuje mnoho konceptov, od najjednoduchších až do veľmi komplexných. Typický blokový diagram PLL je uvedený na obr. 2.4.



Obr. 2.4: Bloková schéma fázového závesu [4]



Funkcie jednotlivých blokov:

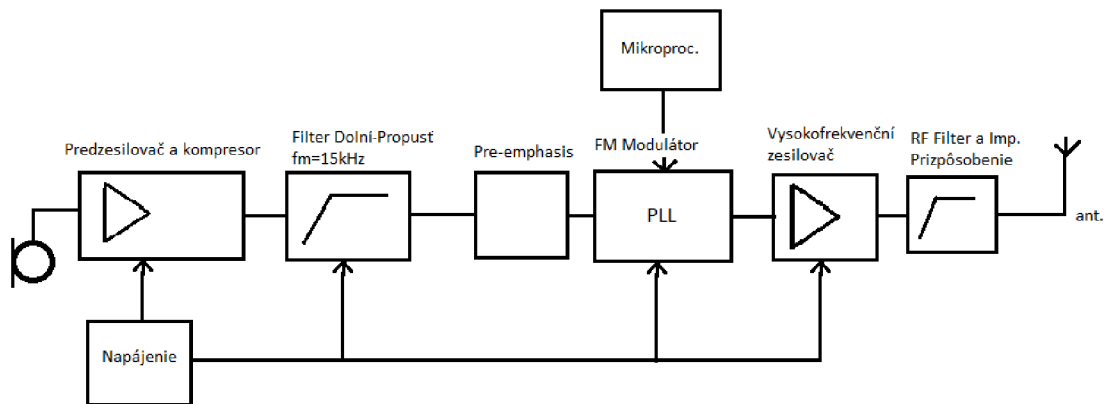
- 1.**Fázový diskriminátor (PFD), ktorý produkuje výstupné napätie, ktoré je úmerné na rozdielu frekvencie a fáze nastaveného kmitočtu a časť výstupného signálu VCO. Hodnota tohto napätia sa závisí od fázového rozdielu signálov.
- 2.** Loop filter(LPF) odstráni každé nežiadajúce vysokofrekvenčné zložky signálov z fázového detektoru, ktoré môžu rušiť VCO a objavujú sa na jeho výstupe. Ďalej, filter ovplyvňuje rýchlosť zmeny vo frekvenciách. Filter s malou medznou frekvenciou spôsobuje pomalé zmeny, ale veľký medzný kmitočet môže prepustiť aj rušivé frekvencie.
- 3.**Programovateľný frekvenčný delič a preddelič – slúžia pre nastavenie na požadovanú frekvenciu.
- 4.**Referenčný oscilátor – najčastejšie kryštálový oscilátor s vysokou presnosťou.
- 5.**Napätovo riadený oscilátor(VCO) - generátor výslednej frekvencie, hlavnou podmínkou je široká, frekvenčná rozladiteľnosť.

### 3 NÁVRH MODULU

Nasledujúca časť sa venuje návrhu modulu vysielača pre profesionálny mikrofón. Sú tu uvedené a podrobne popísané všetky kroky potrebné k realizácii frekvenčnej modulácie pomocou slučky fázového závesu tzv. PLL. Časť sa bude takisto venovať s nastavením pred-zesilňovača a prepínateľného kompresora, ktorý funguje v režimu automatického riadenia citlivosti mikrofónu. Tieto dva bloky do seba zahŕňujú integrovaný čip SSM2166. Pre nastavenie zosilnenia a pomer kompresácie stačia iba pasívne súčiastky. Ako poslednú, obsahuje návrh antény a jeho impedančné prispôbenie. Modul bude navrhovaný na základe parametrov používaného elektrodynamického mikrofónu. Najdôležitejšie parametre sú citlivosť mikrofónu:  $-54,5 \text{ dBV/Pa}$  a impedancia:  $150 \Omega$ .

#### 3.1 Bloková schéma

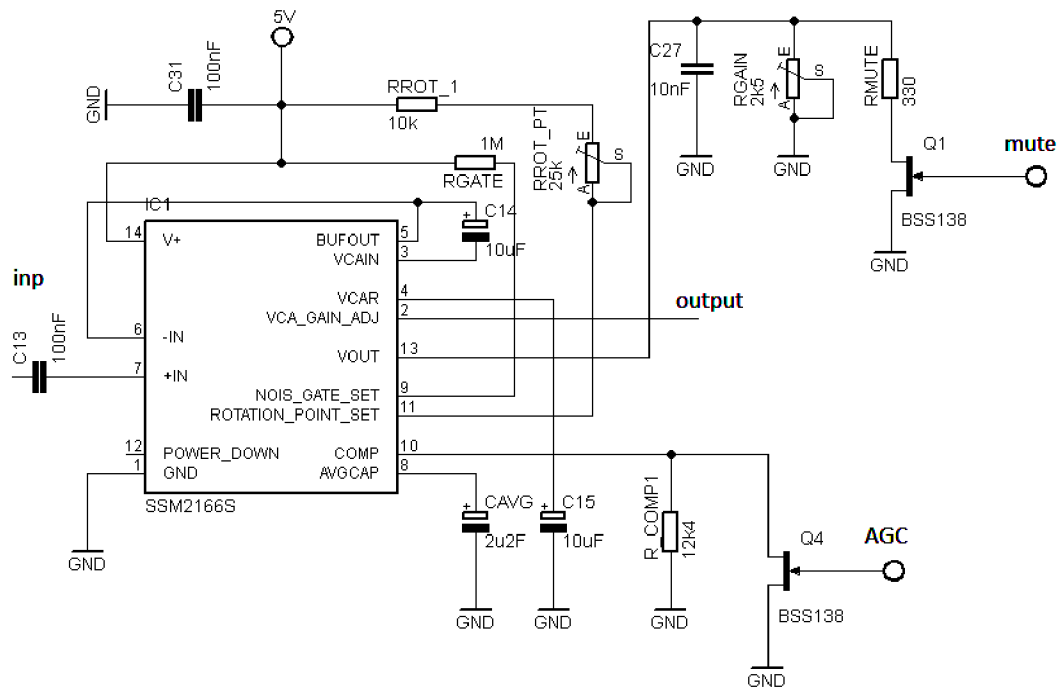
Bloková schéma navrhovaného modulu je zobrazená na obr. 3.1. Modul sa zostáva z jednotlivých blokov, ktoré sú zapojené do kaskády. Jejich činnosť a návrh jednotlivých častí celku sú popísané v nasledujúcich kapitolách.



Obr. 3.1: Bloková schéma celého zapojenia

## 3.2 Mikrofónový predzosilňovač s kompresorom

Ako už bolo na začiatku spomenuté, pre zosilnenie signálu z mikrofónu a riadenie citlivosti bude použitá integrovaný obvod SSM2166 od firmy Analog Devices. Komponent obsahuje kvalitný mikrofónny predzosilňovač s maximálnym možným ziskom až 60 dB, ďalej obsahuje kompresor s nastaviteľným pomerom od 1:1 do 15:1, a šumovou bránou. Integrovaný obvod obsahuje každé dôležité funkcie, ktoré sú potrebné pre ďalšie zpracovávanie audiosignálov. Hodnoty ako zisk a pomer kompresácie sa nastaví s pripojeným externých pasívnych súčiastkov. V tomto prípade kompresor funguje ako automatické riadenie citlivosti a jeho funkcia sa dá vypnúť s prepínačom. Ako prepínač, bol zvolený Enhanced Mode FET tranzistor BSS138 zapojený v spínacom režime. Tranzistor má veľmi malý odpor v zapnutom stave a pracuje s vysokou rýchlosťou. Na obr. 3.2 je uvedený blokový diagram vnútorných usporiadaní chipu a obvodové zapojenie.



Obr. 3.2: Spôsob zapojenia SSM2166 [10]

### 3.2.1 Zisk

Pre nastavenie zisku je treba znáť potrebný úroveň napätie pre maximálnu moduláciu. Časť FM modulátora tvorí napäťovo riadený oscilátor tzv. VCO (Voltage Controlled Oscillator), ktorý obsahuje integrovaný obvod ADF4360-8. Požadovaná maximálna hĺbka modulácie je 40 kHz, citlivosť VCO je 4,1 MHz/V. Pre tieto hodnoty, 10,25 mV skok na vstup VCO vybudí 40 kHz zmenu výstupnej frekvencie. Citlivosť mikrofónu je -54,5 dBV/Pa, alebo 1,85 mV/Pa. Ako referenčnú hodnotu hladiny akustického tlaku, pri ktorej mikrofón vybudí najväčšiu úroveň napätia, bola zvolená 120 dB(SPL), ktorá pomocou vzťahu (3.1) je prevedená na Pa. Maximálna úroveň napätie na svorkách mikrofónu pri hladine akustického tlaku 120 dB(SPL) je vypočítaná podľa vzorca (3.2).

$$L_p = 10^{\frac{L_{dB(SPL)}}{20}} p_0 = 10^{\frac{120}{20}} 20\mu\text{Pa} = 20\text{Pa} \quad (3.1)$$

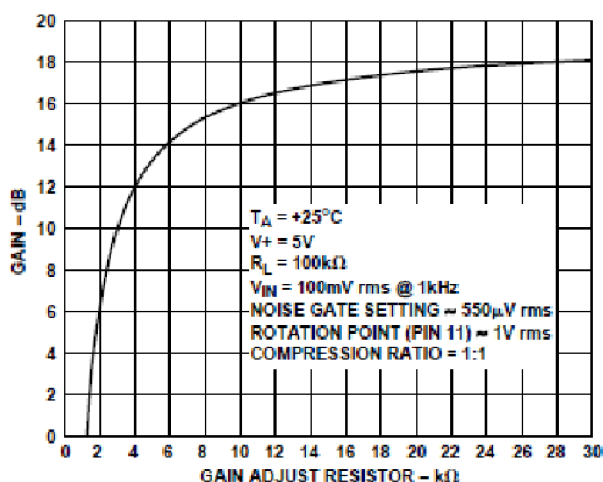
$$u = CL_p = 1,85\text{mV/Pa} \cdot 20\text{Pa} = 37\text{mV} \quad (3.2)$$

Získané napätie je ďalej zosilňované na 50 mV. Výsledný zisk bude mať hodnotu:

$$G = \frac{50}{37} = 1,35 \quad (3.3)$$

$$G_{dB} = 20\log(1,35) = 2,6\text{dB} \quad (3.4)$$

Potrebný zisk nastavíme s pripojením odporu medzi pinom  $R_{\text{Gain}}$  a GND. Jeho hodnota určuje graf na obr. 3.3. Pre zisk dB súhlasí hodnota 1,75 k $\Omega$



Obr. 3.3: Závislosť zisku na hodnotu  $R_{\text{Gain}}$ [10]

### 3.2.2 Kompresor

Pre nastavenie pomeru kompresie je potrebný pripojiť odpor medzi pinmi Compression Ratio Set a GND. Obvyklý pomer v týchto systémov je 2:1, čo znamená, že 2 dB zmenu vstupnej úrovni vyvolá 1 dB zmena vo výstupnom signáli. Hodnota odporu bola zvolená podľa tabuľky 3.1 udávané výrobcom. Pre pomer kompresie 2:1 odpovedá teda hodnota  $R_{\text{comp}} = 12,5 \text{ k}\Omega$ .

ROT PT \ Comp. Ratio	1:1	2:1	5:1	10:1	15:1
100mV rms	0	12,5	96	215	395
300mV rms	0	12,5	96	215	395
1V rms	0	12,5	96	215	395

Tab. 3.1: Hodnota  $R_{\text{Comp}}$  v  $\text{k}\Omega$

### 3.2.3 Limitácia a šumová brána

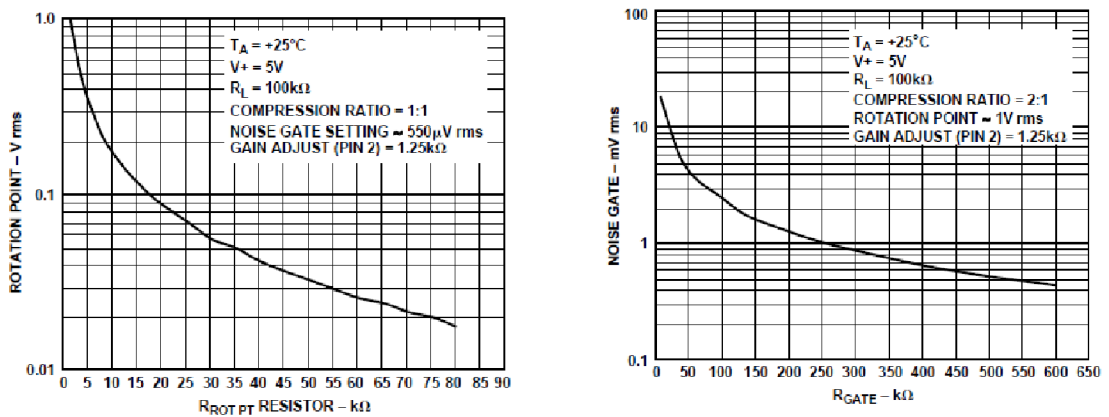
Limitácia udáva najväčšiu úroveň vstupného signálu, pri ktorej kompresor bude pracovať. To znamená, že signály s vyššou úrovňou nebudú zosilňované. Úroveň obmedzovače sa dá zmeniť medzi hodnotami 20 mV až 1 V, s pripojením odporu medzi napájacím napätím a pinom Rotation Point Set. Túto hodnotu treba nastaviť na maximálnu možnú úroveň vstupného signálu, ktoré je požadované pre ďalšie zpracovávanie. Referenčná úroveň bola zvolená ako 120 dB(SPL), ktorá je 20 Pa. Citlivosť mikrofónu je 1,85 mV/Pa, teda najväčšia úroveň bude 37 mV podľa vzťahu (3.2). Podľa grafu 3.4 vľavo, odečítava sa hodnota potrebného odporu  $R_{\text{ROTPT}}$ , ktorý sa rovná 42k.

Šumová brána nastavuje úroveň napätie, pod ktorým systém bude zoslabovať vstupný signál. Úroveň sa opäť nastavuje s pripojeným odporom medzi napájacím napätím a pinom Noise Gate, jej úroveň udáva graf na obr 3.4 pravo. Hladina akustického tlaku 30 dB(SPL), zodpovedá hlasitosti tichej posluchárne, pod ktorou hladinou zvuky súdime ako šum. Použitím vzorca (3.1) je vypočítaná hodnota v Pa.

$$L_p = 10^{\frac{30}{20}} 20\mu\text{Pa} = 0,632\text{mPa} \quad (3.5)$$

Pri ktorom tlaku na svorkách mikrofónu sa objaví napätie:

$$u = CL_p = 1,85\text{mV/Pa}, 632\text{mPa} = 1,17\mu\text{V} \quad (3.6)$$

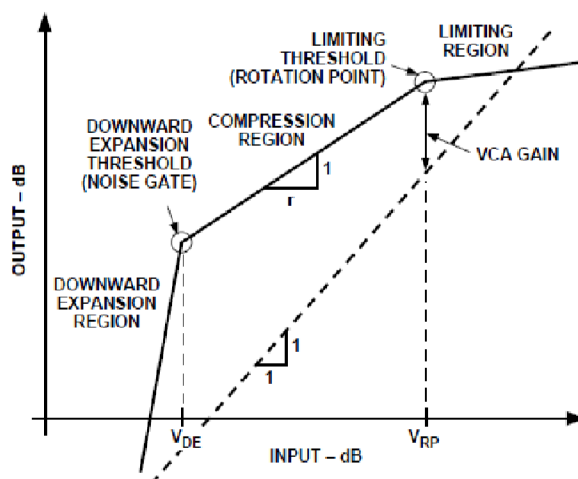


Obr. 3.4: Zistenie hodnoty odporov  $R_{\text{Gate}}$  a  $R_{\text{ROTPT}}$ [10]

Taká hodnota bohužiaľ s takou súčiastkou je nedosiahnuteľná. Najnižšia možná hodnota šumovej brány je 250 uV, pri ktorom hodnota hladiny akustického tlaku bude vypočítaná podľa rovnice (3.7). Pod takou hodnotou systém bude všetko zoslabovať v pomere 3:1.

$$L_{\text{dB(SPL)}} = 20\log\left(\frac{u}{p_0}\right) = 20\log\left(\frac{0,25\text{mV}}{1,85\text{mV}/\text{Pa}}\right) = 77\text{dB(SPL)} \quad (3.7)$$

S takým nastavením kompresovaný signál bude mať dynamický rozsah približne 45 dB. Pre najmenšiu hodnotu šumovej brány je hodnota potrebného odporu  $R_{\text{Gate}} = 1 \text{ M}\Omega$

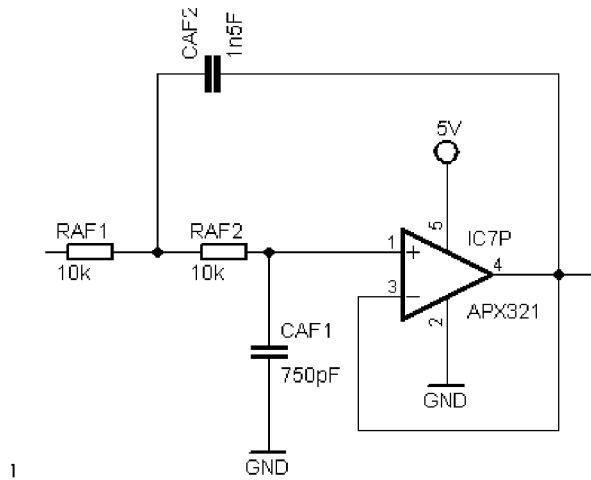


Obr. 3.5: Funkcia kompresora [10]

Na obrázku č. 3.5 je viditeľná funkcia kompresora,  $V_{DE}$  udáva hodnotu napätia, pod ktorým šumová brána je aktívna, a  $V_{RP}$  udáva hodnotu pod ktorým už výstupní signál bude obmedzovaný – aktivuje limiter.

### 3.3 Filter dolný priepust

V bezdrôtových mikrofónových systémoch najvyššia prenášaná frekvencia je daná ako 15 kHz. Každú frekvenčnú zložku väčšiu, ako táto hodnota, je potrebná odfiltrovať. Z toho dôvodu pred modulátorom je pripojený aktívny filter typu dolnej priepusti s medznou frekvenciou 15 kHz. Na túto úlohu bol zvolený Butterworth-ov filter druhého rádu z Sellen-Key topologie, ktorá má minimálne vlnenie v prenosnej charakteristike. Aktívnym prvkom je APX321 nízkonpotrebový rail-to-rail zosilňovač.



Obr. 3.6: Obvodové zapojenie aktívneho filtra dolnej priepusti 2. rádu

Celé zapojenie je na obr. 3.6, hodnoty súčiastok boli vypočítané použitím literatúry [14]. Hodnoty  $a_1$ ,  $b_1$  pre Butterworthov filter 2. rádu sú 1,4142; 1.  $C_{AF1}$  bola zvolená ako 680pF, ostatné hodnoty boli zistené podľa vzorce;

$$C_{AF2} \leq C_{AF1} \frac{4b_1}{a_1^2} \quad (3.8)$$

$$R_{AF1,2} = \frac{a_1 C_{AF2} \pm \sqrt{a_1^2 C_{AF2}^2 - 4b_1 C_{AF1} C_{AF2}}}{4\pi f_c C_{AF1} C_{AF2}} \quad (3.9)$$

Výsledky:

$$C_{AF1} = 680 \text{ pF}$$

$$C_{AF2} = 1,5 \text{ nF}$$

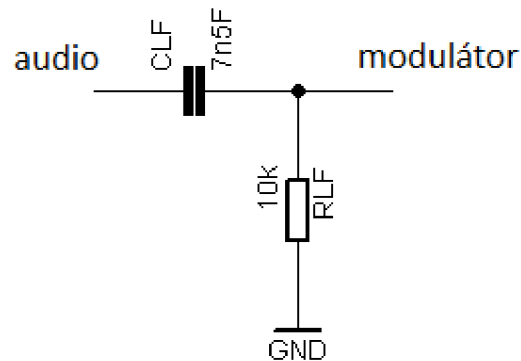
$$R_{AF2} = 7662 \text{ } \Omega$$

$$R_{AF1} = 14,4 \text{ k } \Omega$$



### 3.4 Preemfáza

V FM systémoch je možné zvýšiť pomer signálu k šumu na výstupe, keď úroveň modulácie zosilňujeme v hornej časti spektra. Táto metóda sa nazýva pre-emphasis, ktorá poskytuje plochú výslednú frekvenčnú odezvu a minimalizuje šum systému.



Obr. 3.7: Obvodové zapojenie CR článku

Najjednoduchšie zapojenie je CR článok, ktorý je zobrazený na obr. 3.7. Obvod jednoducho zoslabuje signál od danej medznej frekvencie, ktorá sa definuje ako časová konštanta (3.10). Pre spracovávanie audiosignálov je často používaná konštanta  $t = 75\mu\text{s}$ , a to v Hz:

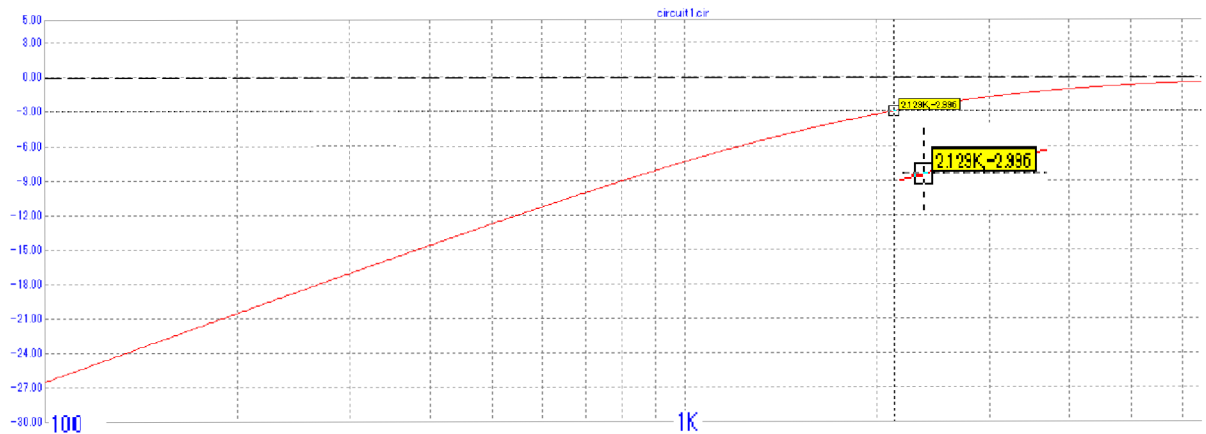
$$f = \frac{1}{2\pi t} = 2122\text{Hz} \quad (3.10)$$

$$t = RC \quad (3.11)$$

Potrebné hodnoty súčiastok je možné vypočítať pomocou vzťahu (3.11) Predzosilňovač musí byť zatažený s kapacitnou záťažou minimálne 2 nF, z tohoto dôvodu bol zvolený kondenzátor s kapacitou  $C = 6,8 \text{ nF}$ .

$$R = \frac{t}{C} = \frac{75 \cdot 10^{-6}}{7,5 \cdot 10^{-9}} = 10 \text{ k}\Omega \quad (3.12)$$

Frekvenčná prenosová charakteristika je zobrazená na obr. 3.8, ktorá bola nasimulovaná v študentskej verzii programu Micro-Cap.

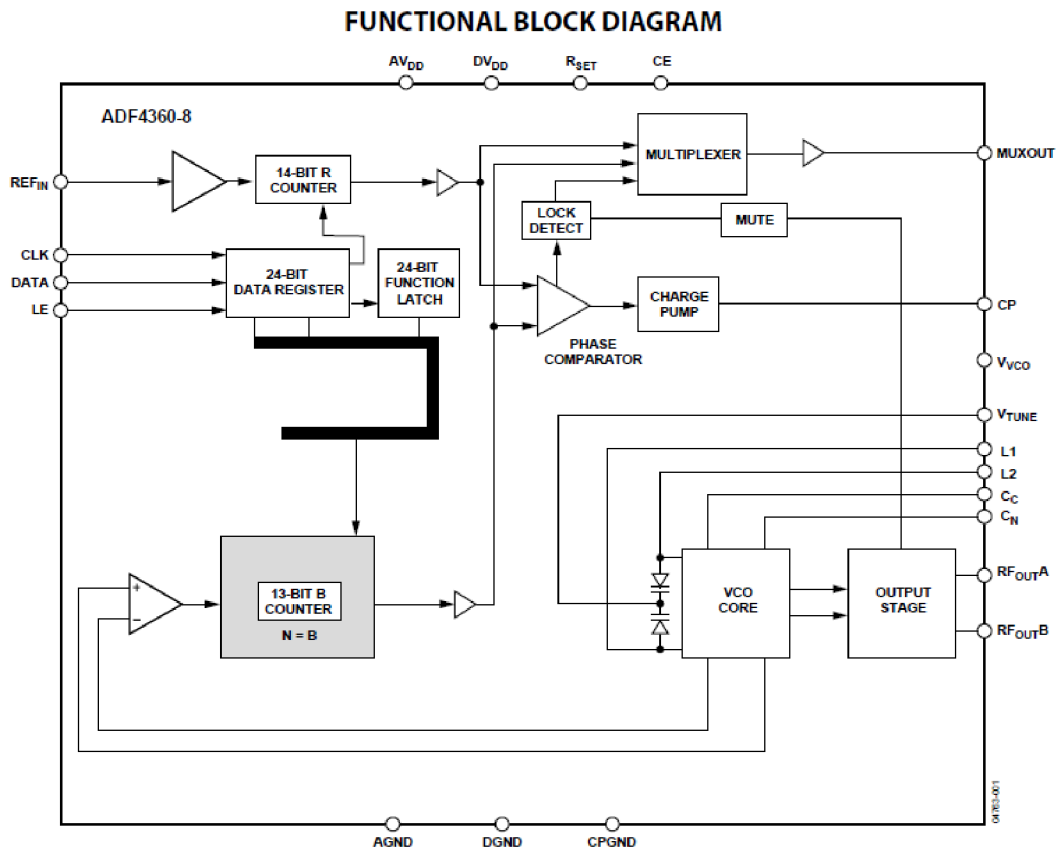


Obr. 3.8: Amplitudovo-frekvenčná charakteristika obvodu Pre-emphasis [7]

### 3.5 Fázový záves

Pre frekvenčné modulácie bude využívaný fázový záves, ktorý zostáva z integrovaného obvodu ADF4360-8 a slučkového filtra. ADF4360-8 je integrovaný frekvenčný syntezátor od Analog Devices, s integer N deličom a s vnútorným napäťovo riadeným oscilátorom. Jeho stredná frekvencia sa dá nastaviť použitím externých cievok, a to umožní využitie frekvenčného rozsahu medzi 65 MHz a 400 MHz.

Kombinovanie s kvalitným referenčným oscilátorom a slučkovým filtrom, ADF4360-8 poskytuje spätnovazebný ladiací signál pre VCO, ktorý generuje lokálny oscilačný signál s malým fázovým šumom. Mikrochip má širokú použiteľnosť v bezdrôtovej technice a je dostupný v 24 pinovom súbore LFCSP na povrchový montáž. Vnútroňný blokový diagram je viditeľný na obr. 3.9.



Obr. 3.9: Vnútroňný blokový diagram chipu ADF4360-8 [11]

### 3.6 Popis funkcie frekvenčného syntezátora

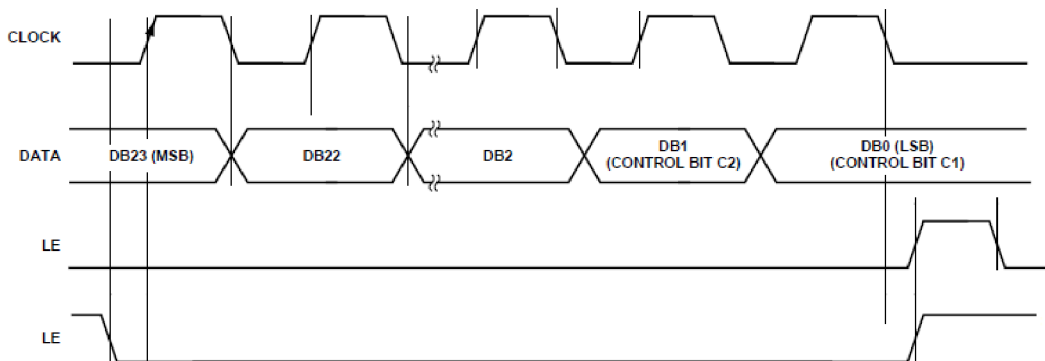
Ako je zobrazený v blokovom diagrame obr. 3.9, integrovaný obvod je vybavený s 24 bitovým data registrom, ďalej obsahuje 14 bitový R Counter, 13 bitový N Counter a 24 bit Function Latch. Dátový tok sa posiela prostredníctvom SPI komunikácií na DATA vstup. Hodnota dát, ako je zobrazená na obr.3.10, sa číta do shift registru počas stúpajúcej hrany hodinového signálu CLOCK, kým hodnota datového signálu zmení počas zostupnej hrany CLOCK. Presun bitov sa začína s najvýznamnejším bitom MSB. Po konci prenosu s pozitívnym impulsom na vstup LE, obsah data registra sa kopíruje do príslušného registru. Kontrolné bity  $C_1$ ,  $C_2$  určujú smerový register, tieto bity sa nachádzajú na konci datového toku, a sú popísané v tabuľke (3.2).

$C_1$	$C_2$	Umiestenie Dát
0	0	R Counter
1	0	N Counter
0	1	Function Latch
1	1	Inicializácia

Tab. 3.2: Umiestenie dát podľa kontrolných bitov

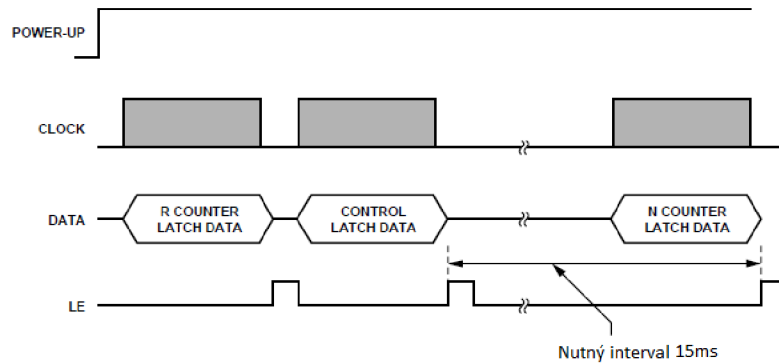
Správna programovaná sekvencia je nasledujúca:

- 1, R counter latch
- 2, Control latch
- 3, N counter latch



Obr. 3.10: Časový diagram komunikácie SPI

Po programovaní Control latch, sa prúd na vstupe VCO sa začíná ustálovať, čím nastavuje strednú frekvenciu pomocou externých cievok. Pred programovaním do N counter latch, je nutné čakať dobu, zatiaľ sa prúd ustáluje. Túto dobu určí hodnota kondenzátora pripojená k pinu CN, ktorá má kapacitu 10 uF. Podľa tabuľky udávaný výrobcom, táto hodnota je 15 ms. Výsledný časový diagram programovania je viditeľný na obr. 3.11.



Obr. 3.11: Časový diagram programovania ADF4360-8 [11]

Ďalej sa vypočíta hodnota deliacich pomerov podľa nasledujúce rovnice;

$$F_{vco} = \frac{N F_{REF}}{R} \quad (3.13)$$

$$\Delta f = \frac{F_{REF}}{R} \quad (3.14)$$

Kmitočet napätovo riadeného oscilátora je naľadený na frekvencie 175 MHz, ktorý je nosný kmitočet, takže  $F_{vco} = 175$  MHz.

Systém je schopný krokovat s predem nastavenou frekvenciou  $\Delta f$ , ale táto funkcia nebude využívaná, lebo nosný kmitočet je pevne zadaný. Modulátor pracuje s hĺbkou modulácia 40 kHz, preto za  $\Delta f$  bola zvolená 50 kHz.

Referenčný signál generuje kryštálový oscilátor SG5032CAN. Oscilátor poskytuje 10 MHz signál na jeho CMOS výstup s vysokou presnosťou.  $F_{osc} = 10$  MHz.

Deliaci pomer N a R sú vypočítané podľa nasledujúce rovnice;

$$N = \frac{F_{vco}}{\Delta f} = \frac{175 \cdot 10^6}{50 \cdot 10^3} = 3500 \quad (3.15)$$

$$R = \frac{N F_{osc}}{F_{vco}} = \frac{3500 \cdot 10 \cdot 10^6}{175 \cdot 10^6} = 200 \quad (3.16)$$

### 3.6.1 R counter latch

V prípade, keď kontrolné bity C1, C2 obsahujú hodnoty [0, 0], dátový tok sa presunie z 24 bitového dátového registru do R counter latch. V tomto registri sa nachádzajú bity slúžiace pre nastavenie R deliča. Ďalšie bity, ako BSC2:1 poskytujú možnosť pre ďalšie delenie referenčného signálu. Ďalej LDP, ktorým sa nastaví precíznosť funkcie Lock-Detect, alebo ABP2:1, ktoré zadávajú šírky Antibacklash pulzu.

RESERVED	RESERVED	BAND SELECT CLOCK		TEST MODE BIT	LOCK DETECT PRECISION	ANTI-BACKLASH PULSE WIDTH		14-BIT REFERENCE 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
RSV	RSV	BSC2	BSC1	TMB	LDP	ABP2	ABP1	R14	R13	R12	R11	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	C2 (0)	C1 (1)

Obr. 3.12: R counter latch [11]

Delič R má hodnotu 200, ktorý binárne reprezentuje dátový tok 11001000, s najvýznamnejším bitom na začiatku. Vysielané bity vyzerajú nasledovne:

$B_{23}$	$B_{22}$	$B_{21}$	$B_{20}$	$B_{19}$	$B_{18}$	$B_{17}$	$B_{16}$	$B_{15}$	$B_{14}$	$B_{13}$	$B_{12}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$B_{11}$	$B_{10}$	$B_9$	$B_8$	$B_7$	$B_6$	$B_5$	$B_4$	$B_3$	$B_2$	$B_1$	$B_0$
0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1

Tab. 3.3: Dátový tok R counter latch

### 3.6.2 N counter latch

N counter pozostáva z 13 bitového B čítača. S nastavením kontrolných bitov na [1, 0], dátový tok sa presune do N counter latch. Bity DB2 až DB7 sú rezervované, s bitom CPG sa nastaví prúd ladiaceho signálu.

RESERVED	RESERVED	CP GAIN	13-BIT B COUNTER													RESERVED					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
RSV	RSV	CPG	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	RSV	RSV	RSV	RSV	RSV	RSV	C2 (1)	C1 (0)

Obr. 3.13: N counter latch [11]

$B = 3500$  binárne: 110110101100 V tabuľky č. (3.4) sú uvedené bity pre posúvanie do N counter.

$B_{23}$	$B_{22}$	$B_{21}$	$B_{20}$	$B_{19}$	$B_{18}$	$B_{17}$	$B_{16}$	$B_{15}$	$B_{14}$	$B_{13}$	$B_{12}$
0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
$B_{11}$	$B_{10}$	$B_9$	$B_8$	$B_7$	$B_6$	$B_5$	$B_4$	$B_3$	$B_2$	$B_1$	$B_0$
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Tab. 3.4: Datový tok N counter latch

### 3.6.3 Control latch

S nastavením kontrolných bitov na hodnotu [0, 1], dátový tok sa posúva do Control latch.

RESERVED	RESERVED	POWER-DOWN 2	POWER-DOWN 1	CURRENT SETTING 2			CURRENT SETTING 1			OUTPUT POWER LEVEL		MUTE-TILLD	CP GAIN	CP THREE-STATE	PHASE DETECTOR POLARITY	MUXOUT CONTROL			COUNTER RESET	CORE POWER LEVEL		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
RSV	RSV	PD2	PD1	CPI6	CPI5	CPI4	CPI3	CPI2	CPI1	PL2	PL1	MTLD	CPG	CP	PDP	M3	M2	M1	CR	PC2	PC1	C2 (0)	C1 (0)

Obr. 3.14: Control latch [11]

Funkcie jednotlivých bitov:

**PC2:1** – **Power control bits** – [0,1] nastavujú výkon jadra na 5mA

**CR** - **Counter reset** – [0] normálny režim

**M3:1** - **Muxout** – [0,1,0] výstup N deliča pre overenie funkčnosti

**PDP** – **Phase detektor polarity** – [1] pozitívna polarita

**CP** – **Charge pump output** – [0] normálny režim

**CPG** - **CP gain** – [0] Current setting 1

**MTLD** - **Mute-till-Lock Detect** - [0] vypnuté

**PL2:1** - **Power Level** – [1,0] výstupný výkon -3 dBm

**CPI6:1** - **Power Level** – [1,1,1,1,1,1] nastavenie prúdu ladiaceho signálu na 2,5mA

**PD2:1** - **Power Down** – [x,0] podľa tabuľky č.(3.5)

CE	PD1	PD2	Mode
LOW	X	X	Asynchronous Power Down
HIGH	0	X	Normal Operation
HIGH	1	0	Asynchronous Power Down
HIGH	1	1	Synchronous Power Down

Tab. 3.5: Možnosti nastavenia úsporného režimu

Výsledný dátový tok pri normálnom režimu je ukázané v tabulke č. (3.6).

$B_{23}$	$B_{22}$	$B_{21}$	$B_{20}$	$B_{19}$	$B_{18}$	$B_{17}$	$B_{16}$	$B_{15}$	$B_{14}$	$B_{13}$	$B_{12}$
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
$B_{11}$	$B_{10}$	$B_9$	$B_8$	$B_7$	$B_6$	$B_5$	$B_4$	$B_3$	$B_2$	$B_1$	$B_0$
0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0

Tab. 3.6: Dátový tok Control latch

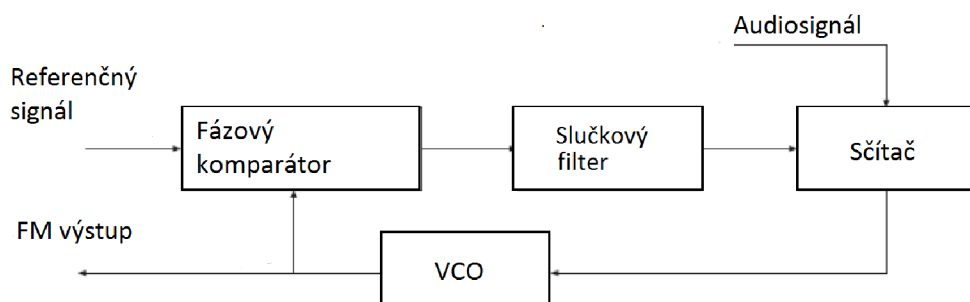


### 3.7 Metódy modulácie s fázovým závesom

Celý postup modulácie je možné riešiť s dvomi spôsobmi, ktoré majú vlastné výhody a nevýhody. Táto kapitola sa ďalej venuje so zvolením a vysvetlením funkcie metód.

**1.** Do fázového závesu medzi slučkovým filtrom a napäťovo riadeným oscilátorom (VCO) je vložený napäťový sčítač podľa zapojenia na obr. 3.15. Takým spôsobom filtrovaný ladiaci signál z fázového komparátoru a spracovaný audiosignál sa sčítavajú a ďalej sa dostávajú na vstup VCO. V závislosti tohto signálu, na výstup VCO sa objaví signál s určitým kmitočtom, ktorý je delený s predurčeným číslom, a čo fázový komparátor porovnáva s referenčnou hodnotou. Vzhľadom na veľkosti diferenciálu fázy týchto signálov, syntezátor zmení úroveň ladiaceho signálu. Keď sa zachytí záves, fázový rozdiel medzi signálov klesá na 0 a ďalej ladiaci signál nemení. S pripojeným audiosignálom na vstup vnútorného VCO, vybudí zmeny na výstupe syntezátora a s takým spôsobom moduluje signál. Ladiaci signál sa filtruje so slučkovým filtrom, ktorý musí mať medznú frekvenciu takú veľkú, aká je najmenšia frekvenčná zložka audiosignálu. Tento krok je dôležitý a slúži na to, aby syntezátor reagoval i na najhlbšie tóny. Najnižšia frekvencia, ktorú systém spracováva a prenáša je 100 Hz.

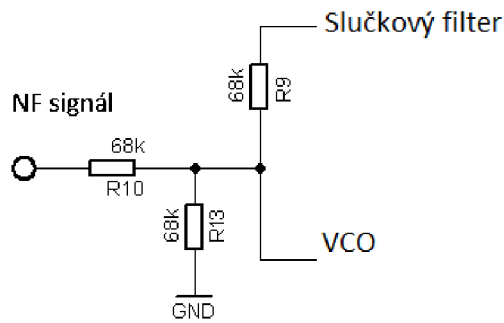
Však malý medzný kmitočet spôsobuje veľmi pomalé zmeny vo výstupnej frekvencii, ale pre účely, pri ktorom nie sú potrebné rýchle zmeny v nosných kmitočtoch, sa vyhovuje.



Obr. 3.15: Bloková schéma modulátora

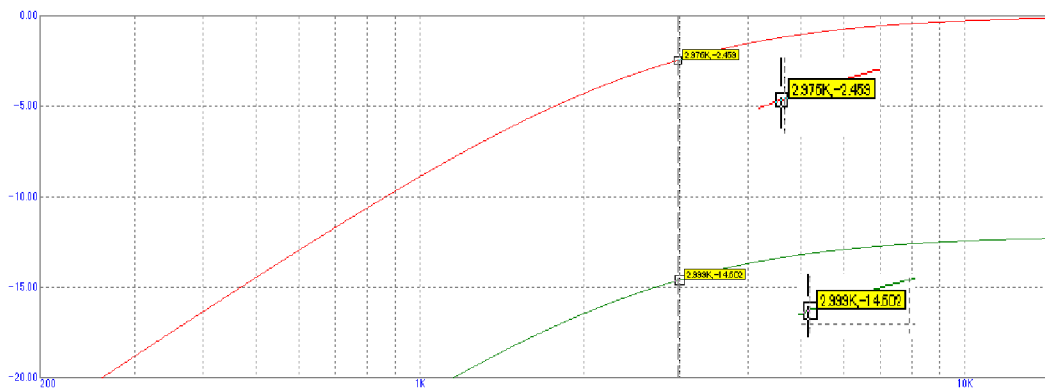
Najväčšia nevýhoda metódy je malý pomer signálu k šumu, ktorý spôsobuje medzný kmitočet slučkového filtra a malá úroveň audiosignálu. Keďže VCO má citlivosť 3,9 MHz/V, pre 40 kHz-ovú moduláciu je potrebné iba 10,25 mV. Maximálne napätie z predzosilňovača je 50mV, ktorá v dôsledku útlumu na filtre klesá na 43mV. Táto úroveň cez napäťového deliča je ďalej znížená na 10,25 mV. Spôsob pripojenia

audiosignálu do slučky fázového závěsu a hodnoty súčastok sú viditeľné na obr. 3.16.



Obr. 3.16: Obvodové zapojenie sčítaču

Napäťová úroveň audiosignála v slučke je zobrazená na prenosovú charakteristiku obr. 3.17, z ktorej je zrejmé že signál klesá 12dB, takže na štvrtinu pôvodnej hodnoty. Takto získané napätie je 10,75, ktoré súhlasí s požadovanou úrovňou pre maximálne modulácie.



Obr. 3.17: Obvodové zapojenie sčítaču

**2.** Druhá možnosť je priama modulácia kryštálu. V tom prípade sa zmení referenčný kmitočet fázového závesu v závislosti audiosignálu. Aby výsledný rádiový signál bol modulovaný s  $\pm 40$  kHz a 10 MHz referenčný kmitočet  $F_{\text{osc}}$  je potrebné modulovať tak, aby mal frekvenčnú odchýlku  $\Delta f_{\text{krystal}} = 2286$  kHz. Hodnota bola vypočítaná nasledovne:

$$\Delta f_{\text{krystal}} = \frac{\Delta f}{F_{\text{vco}}} F_{\text{osc}} = \frac{40\text{kHz}}{175\text{kHz}} 10\text{MHz} = 2,286\text{kHz} \quad (3.17)$$

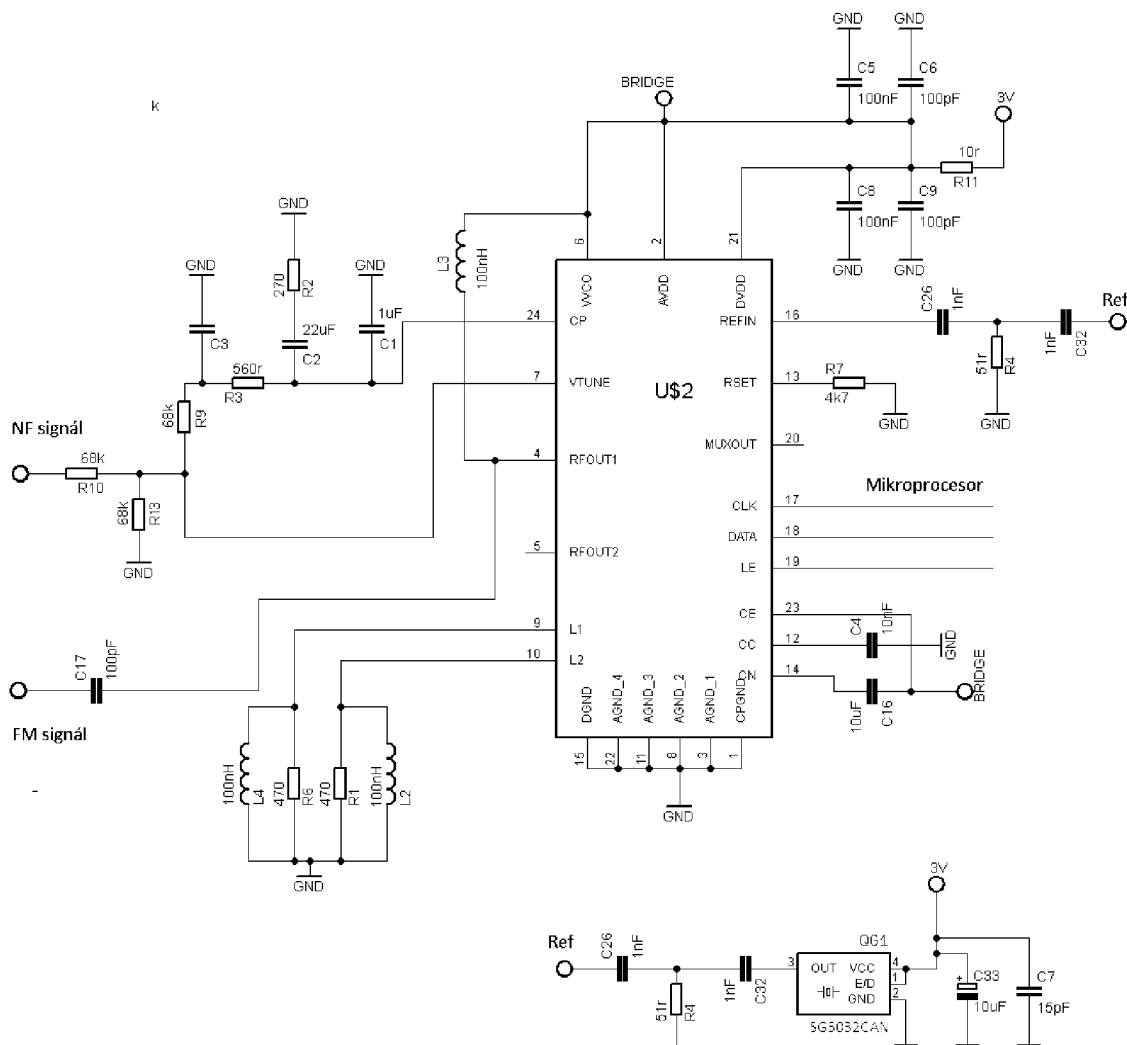
kde  $\Delta f$  je frekvenčná odchýlka modulácie výsledného rádiového signálu,  $F_{\text{vco}}$  je výsledný rádiový signál a  $F_{\text{osc}}$  je kmitočet referenčného oscilátora.

Táto metóda je použiteľná iba pre systémy, ktoré pracujú s pevným výsledným signálom, čo znamená, že nie je možné využitie frekvenčného krokovania vo fázovom závesu. Výhodou metódy je menší šum, lebo pre modulácie kryštálu sú potrebné rádovo V a nie mV.

### 3.8 Zvolená metóda

V tomto projekte bude realizovaný modulátor s funkciou, popísaný v 1. metóde. Zapojenie celej slučky je zobrazený na obr. 3.18.

Kmitočtový syntezátor ADF4360-8 a kryštálový oscilátor SG5032CAN pracujú pod napájaním 3,2 V. Pripojené kondenzátory zabraňujú, aby vysokofrekvenčná zložka dostal späť do napájania. C1, C2, R2, C3, R3 vytvárajú slučkový filter a s ich výpočtom a hodnotou sa zaoberá individuálna kapitola. S odporom R7 sa nastaví výstupný prúd ladiaceho signálu tzv. charge pump current, na 2,5 mA.



Obr. 3.18: Obvodové zapojenie celej slučky PLL

Cievky L2 a L4 slúžia pre nastavenie strednej frekvencie vnútorného oscilátora, ktorá sa vypočíta pomocou vzorca (3.18), L3 pracuje ako vysokofrekvenčná tlmivka, ktorá je potrebná pre optimálne prispôsobenie výstupu.

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{9,3\text{pF}(0,9\text{nH} + L_{\text{ext}})}} \quad (3.18)$$

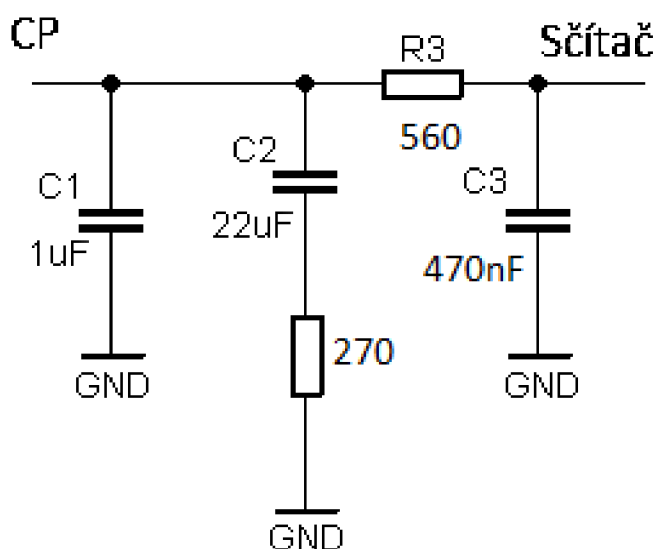
Hodnoty externých cievok sú 100 nH, s ktorým získaná stredná frekvencia je vypočítaná vo vzťahu (3.19).

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{9,3\text{pF}(0,9\text{nH} + 100\text{nH})}} = 145,8\text{MHz} \quad (3.19)$$

Kryštálový oscilátor zabezpečuje 10 MHz referenčnú frekvenciu, ktorú syntezátor ďalej delí na požadovanú hodnotu a porovná s kmitočtom VCO.

### 3.9 Slučkový filter

Ako slučkový filter, bol zvolený filter dolnej priepusti 3. rádu z pasívnych súčiastok. Medzní kmitočet je nastavený na 100 Hz, ktorá je najnižšia kmitočtová zložka audi-osignálu. Pre určenie hodnoty konkrétnych súčiastok bol využitý bezplatný program ADIsimPLL 3.41 od firmy Analog Devices. Štruktúra slučkového filtra a hodnoty súčiastok sú na obr. 3.19, ktorá už obsahuje korigovaných hodnôt, podľa dostupnosti.



Obr. 3.19: Obvodové zapojenie slučkového filtra

### 3.10 Koncový zosilňovač

Na zosilňovanie RF signálu bol zvolený univerzálny monolitický širokopásmový zosilňovač MAR-6+ od firmy Mini Circuits, s vysokým dynamickým rozsahom DC až 2GHz. Vstupné a výstupné impedancie sú vnútorne prispôsobené na 50 Ω. Výstupná úroveň signálu napäťovo riadeného oscilátora je nastaviteľná od -9 dBm do 0 dB. Širokopásmový zosilňovač na kmitočtoch 100 MHz má zisk 22 dB, čo je podľa vzťahu;

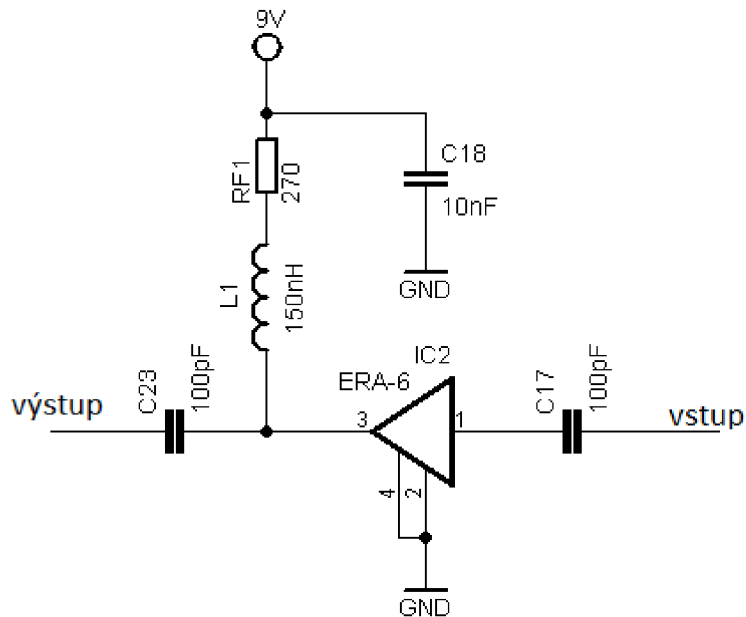
$$G = 10^{\frac{G_{dB}}{10}} = 10^{\frac{22}{10}} = 158 \quad (3.20)$$

Výstupný výkon dostaneme;

$$P_{out}[dBm] = -3dBm + 22dBm = 19dBm \quad (3.21)$$

$$P_{out} = 158 \cdot 0,5mW = 79mW \quad (3.22)$$

Zapojenie je uvedené na obr. 3.20, hodnotu RF1 dostaneme podľa tabuľky uvedené v technickej dokumentácii súčiastky, ktorá závisí od napájania Vcc. Pri 9V napájaní RF1 má hodnotu 270 Ω. Kondenzátory C17 a C23 slúžia na blokovanie jednosmerného napätia, ich hodnotov boli zvolené ako 100 pF.



Obr. 3.20: Obvodové zapojenie koncového zosilňovača MAR6+

### 3.11 Pi článok

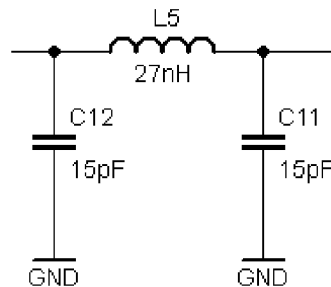
Pi článok sa v module nachádza ako posledný blok pred anténou a má funkciu od-filtrovať vyššie harmonické zložky, ktoré sú nežiaduce pre vysielanie. Ďalšou úlohou je impedančne prispôbiť anténu k výkonovému zosilňovaču. Taký obvod vykazuje rovnaké vlastnosti ako úsek vedenie, ktorá má charakteristická impedancia  $Z_0$  a dĺžku  $\lambda/4$  pri uhlovej frekvencii  $\omega_0$ . Charakteristická impedancia je daná s vzorcom (3.23), kde  $Z_1$  je impedancia výkonného zosilňovača a  $Z_2$  je impedancia antény.

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \quad (3.23)$$

Hodnoty súčiastok sa vypočítajú podľa vzorcov (3.24) a (3.25),  $\omega_0$  je vlastne výstupná nosná frekvencia 175 MHz krát  $2\pi$ , a  $Z_0 = 50\Omega$ . Medzná frekvencia bola zvolená ako 200 MHz, samá štruktúra a hodnoty súčiastok, ktoré boli zvolené podľa dostupnosti, sú zobrazené na obr. 3.21. [4]

$$L = \frac{Z_0}{\omega_0} = \frac{50}{2\pi \cdot 200 \cdot 10^6} = 40 \text{ nH} \quad (3.24)$$

$$C = \frac{1}{Z_0 \omega_0} = \frac{1}{50 \cdot 2\pi \cdot 200 \cdot 10^6} = 16 \text{ pF} \quad (3.25)$$



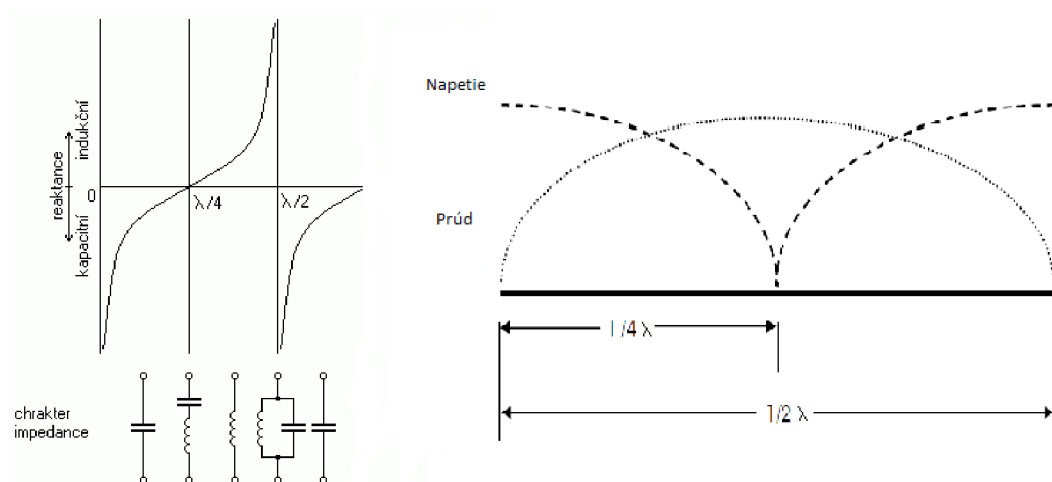
Obr. 3.21: Obvodové zapojenie Pi článku

## 3.12 Anténa

Navrhovanie dokonalej antény je dosť zložitým procesom. Aby anténa vysielala požadovaný kmitočet, jej rozmery musia byť zrovnateľné s vlnovou dĺžkou. Pri frekvencii 175MHz vlnová dĺžka má hodnotu  $\Lambda = 1,714$  m. Pri bezdrôtových mikrofónových modulov je jeden z najdôležitejších parametrov jeho vhodný rozmer. Z toho dôvodu bola zvolená štvrtvlnná anténa, ktorá má dĺžku 42,9 cm. Keďže štvrtina vlnovej dĺžky je stále dlhá a nepohodlná pre používanie modulu, je potrebný jej rozmery zmenšiť. Táto časť sa ďalej bude venovať s metódami zkracovaním antén.

### 3.12.1 Elektrické predlžovanie antény

V tom prípade, keď je používaná anténa s menšou dĺžkou ako štvrtina vlny, napr. 10 cm, vlnenie prúdu nedosiahne maximálnu hodnotu, z čoho vyplýva, že anténa nebude žiariť s najväčším výkonom a jeho charakter bude kapacitný. Charakter vedenia na jeho dĺžky je zobrazovaný na obr. 3.22.a. Aby anténa žiarila najefektívnejšie, elektrická dĺžka antény musí byť zväčšovaná s pripojením cievok v sérii s anténou. Vhodná voľba cievky eliminuje kapacitný charakter, a tak anténa pracuje v sériovej rezonancii. Na obr. 3.22.b, je viditeľné rozloženie kmitov a uzlov prúdu a napätia vo funkcii dĺžky antény.

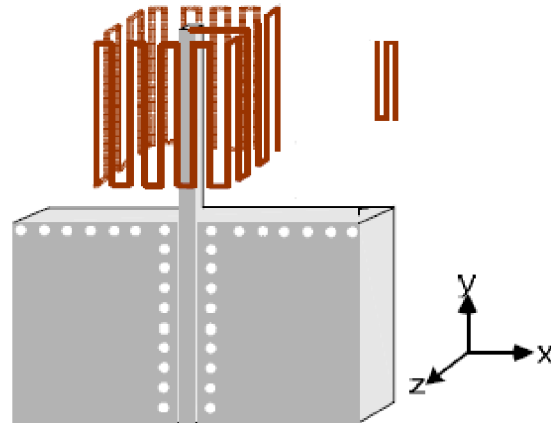


Obr. 3.22: (vpravo) Charakter vedenia v závislosti na jeho dĺžky (vľavo) Umiestenie uzlov a kmitov prúdu a napätia



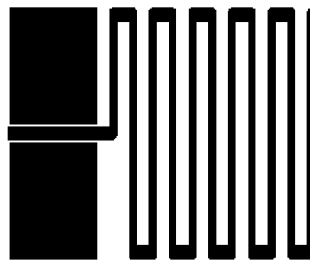
### 3.12.2 Anténa Meander

Typ Meander je štvrtvlnná anténa, ktorá je rozložená v obdĺžnikovom tvare. Keď podľa spôsobu obr. 3.23. s anténou je tvarovaná slučka, výsledok je vertikálne všesmerová anténa s dobrými parametrami. S takou aplikáciou je možné šetriť dĺžku až 92% voči jednoduchej štvrtvlnnej anténe. [12]



Obr. 3.23: Možný spôsob usporiadania antény typu Meander [12]

Možné spôsoby návrhu meander antén sú zobrazené na obrázky 3.24 a 3.25. Tieto sú monopólové planárne antény pre frekvencie 175 MHz, ktoré boli navrhnuté v programu Eagle. Pre návrhu bola využívaná literatúra [14].



Obr. 3.24: Meander typ 1



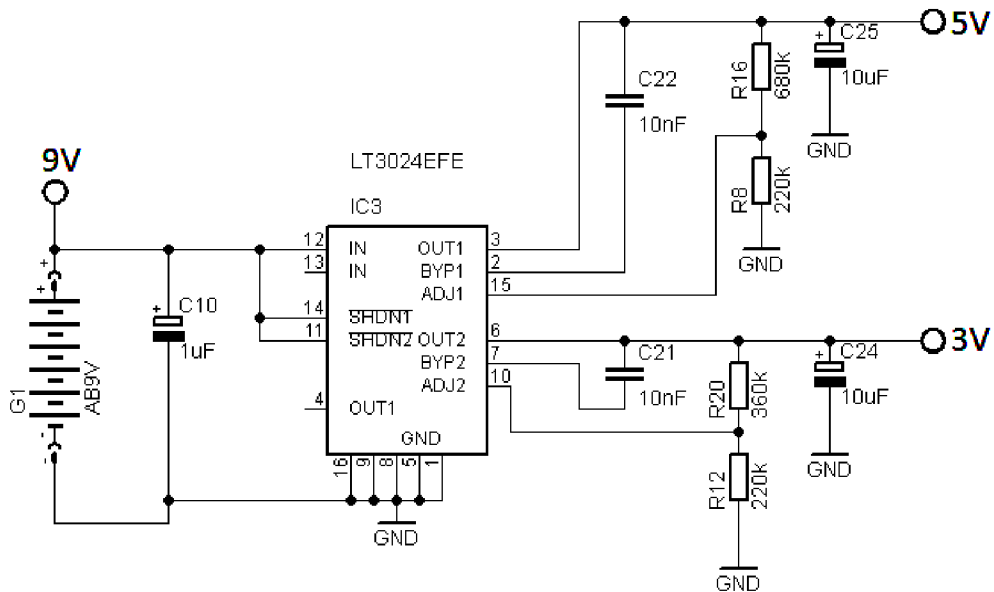
Obr. 3.25: Meander typ 2

### 3.13 Napájanie modulu

Integrované obvody a operačné zosilňovače potrebujú inú úroveň napätia pre správne fungovanie. Z tohto dôvodu bol zvolený duálny napätový regulátor LTE3024. Integrovaný obvod má veľmi malý kludový prúd, rádovo uA, s ktorým nezvyšuje maximálny prúdový odber systému, ktorý je 50 mA spolu s kludovými prúdmi. Výstupné úrovne sa dajú nastaviť cez odporových deličov podľa vzorca (3.26) nájdené v technickej dokumentácii [13], kde  $I_{ADJ}$  má hodnotu 30 nA pri teplote 25°.

$$V_{out} = 1,22\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + (I_{ADJ})(R2) \quad (3.26)$$

So zvolenými odpormi  $R16 = 680 \text{ k}\Omega$  a  $R8 = 220 \text{ k}\Omega$ , napätová úroveň prvého výstupu je 5,01V, a na druhý výstup je nastavené napätie 3,23V s používanými odpormi  $R20 = 360 \text{ k}\Omega$  a  $R12 = 220 \text{ k}\Omega$ . Obvodové zapojenie je zobrazená na obr. 3.26.



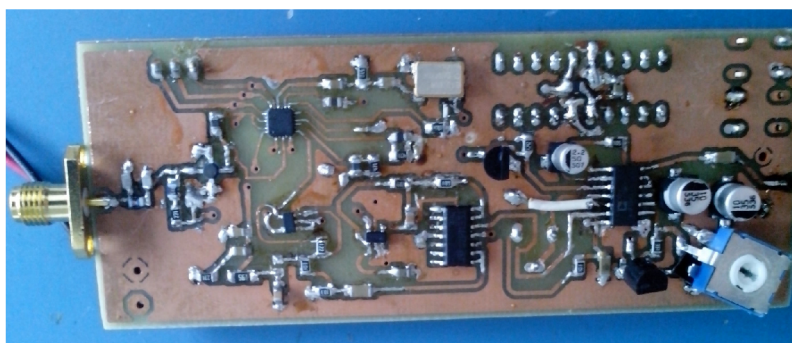
Obr. 3.26: Obvodové zapojenie LTE3024

## 4 OŽIVENIE MODULU

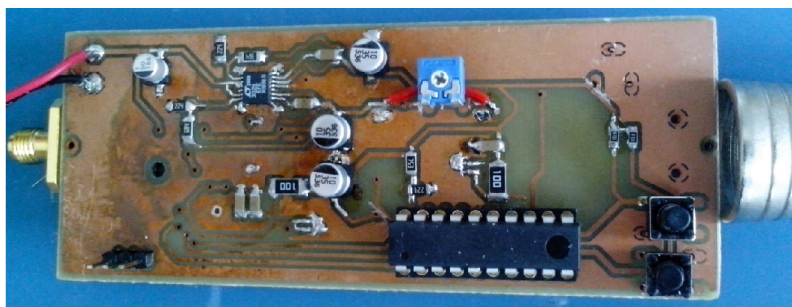
### 4.1 Konštrukcia

K návrhu desky bol využitý program Eagle firmy CadSoft, ktorý je k dispozíci na školských počítačov. Deska bola vyrobená v školskej dielni z 1,6 mm bežného substrátu s prekovenými dierami. Súčiastky boli zvolené v najmenších SMD púzdroch vzhľadom na najmenšie možné výsledné rozmery desky. Osadzovanie súčiastkov prebehlo pomocou ručného pájkovača mimo čipu ADF4360-8. Vzhľadom na jeho malé rozmery 4x4mm, implantácia čipu bolo realizované následovne. V prvom kroku bolo nanesená tenká vrstva cínu na piny čipu a na desku na požadované miesta, potom deska bola položená na horúcy platform pre 15 sekúnd. Nevýhodou metódy je to, že laková vrstva počas tieto doby sa vyparí, preto ostatné súčiastky je treba osadzovať pred oxidáciou desky.

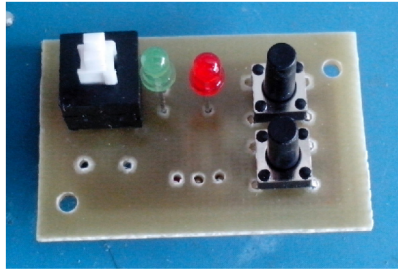
Mikrokontrolér bol programovaný a otestovaný pomocou vývojovej desky STK 500, ktoré je k dispozícii pre študentov v určených laboratóriách. Funkčnosť SPI komunikácie bola overená digitálnym osciloskopom určený na pozorovanie časových priebehov sériovej komunikácie.



Obr. 4.1: Výsledná deska top



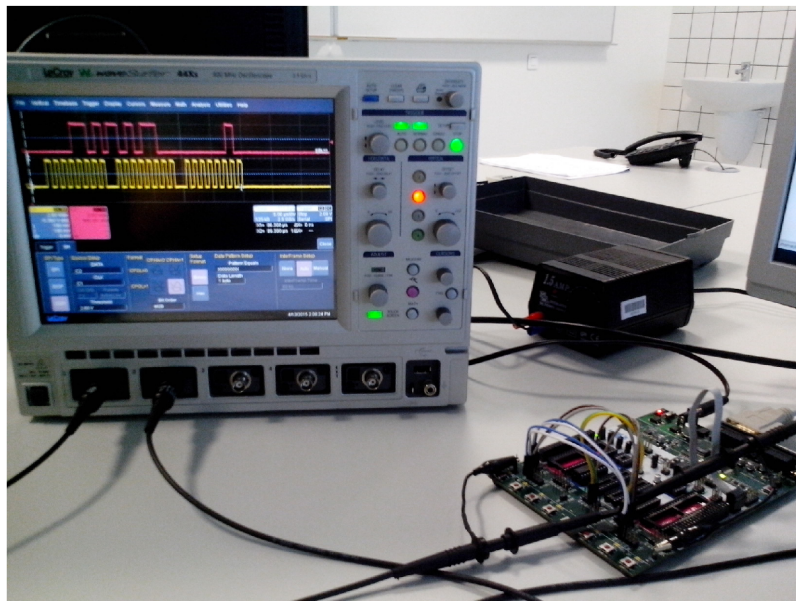
Obr. 4.2: Výsledná deska bottom



Obr. 4.3: Kontrolný panel

## 4.2 Funkcia mikrokontroléra

Ako riadiaci blok modulu, bol zvolený mikrokontrolér ATtiny26L, obvodové zapojenie je znázornené na obr. 4.5. Tento programovateľný integrovaný obvod v tejto práci poskytuje vysielania potrebných datových tokov pre nastavenie vnútornej činnosti frekvenčného syntezátora. Komunikácia sa prebieha pomocou sériového periférneho rozhrania SPI, podľa popísaného spôsobu v predchádzajúcich kapitolách. Na overenie funkčnosti komunikácie bol použitý špeciálny digitálny osciloskop.

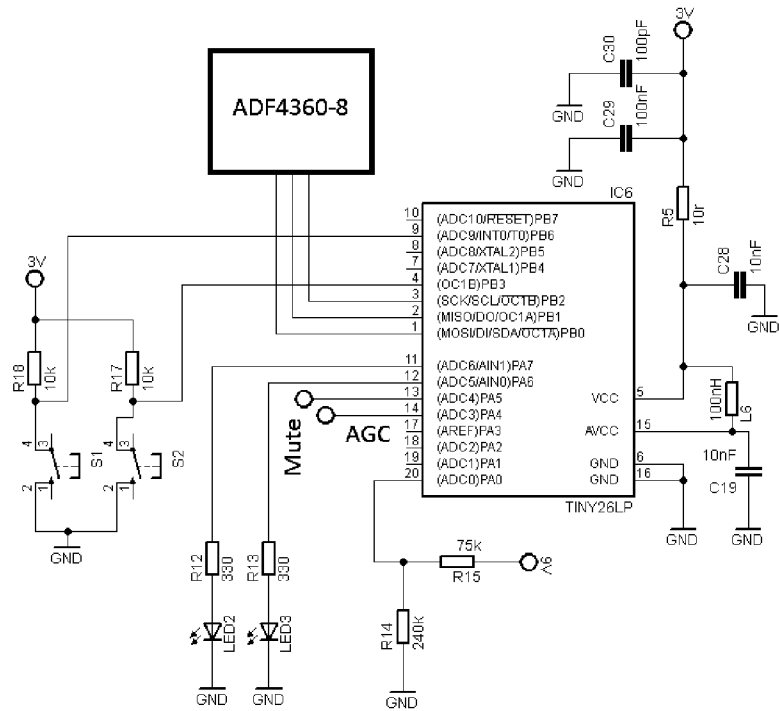


Obr. 4.4: Overenie funkčnosti SPI komunikácie

Ďalšou úlohou má monitorovanie stavu napájacie batérie. Na vstupe vnútorného AD konvertera je privedené 9 V napájacie napätie, ktoré je s odporovým deličom znížené na 2,3 V. Tento úroveň napätie je porovnávaný s vnútorným 2,56 V referenčným napätím a podľa vzorca (4.1) je prevedená na číslicovú hodnotu.

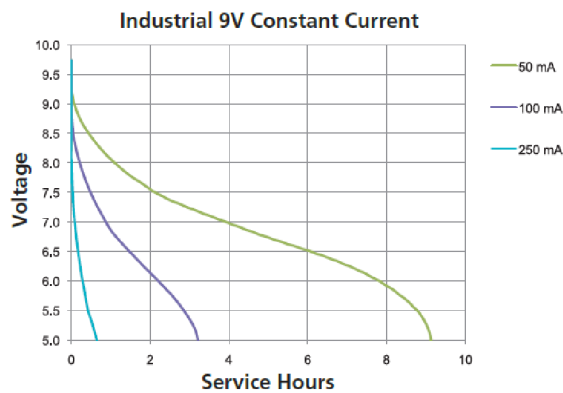
$$ADC = \frac{V_{in} * 1024}{V_{ref}} \quad (4.1)$$

Jedna zelená a jedna červená dioda slúži pre signalizácie. V prípade, že batéria je plne nabitá, zelená dioda bliká jeden krát v každej sekundy. S poklesom napájacieho napätia pod 7 V, dioda bliká rýchlejšie, jeden krát v každom 0,7 s. Pod 6,3 V, predpokladaný životnosť batérie je menej ako hodina, blikat bude červená dioda rovnako rýchlo, ako predtým.



Obr. 4.5: Obvodové zapojenie mikrokontroléra

Napätové úrovne pre odhadnutie životnosti batérie boli odčítané z grafu 4.2, na ktorom je zobrazený predpokladaný pokles napätia alkalického batérie dostupné od firmy Duracell, s určitým prúdovým odberom.



Obr. 4.6: Predpokladaná životnosť batérie Industrial

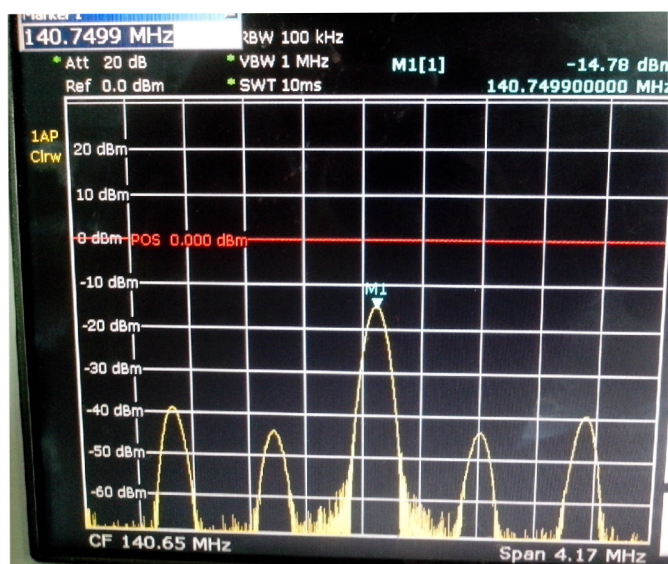
Okrem týchto, mikrokontrolér ovláda funkcie predzosilňovača ako automatické riadenie citlivosti AGC a funkcie Mute. Spínač S1 ovláda AGC a spínač S2 ovláda funkcie Mute. Podľa toho, aký mód je aktívny na predzosilňovač, signalizácie na diodách sú rozličné. Jednotlivé typy signalizácie sú popísané v tabuľke č. 4.1.

Úroveň napätie	AGC	Signalizácia
9 - 7V	ON	zelená, 1x 1s
	OFF	zelená, 2x 1s
7 - 6,3V	ON	zelená, 1x 0,7s
	OFF	zelená, 2x 0,7s
< 6,3V	ON	červená, 1x 0,7s
	OFF	červená, 2x 0,7s
-	Mute	červená, 1x 2s

Tab. 4.1: Diódové signalizácie

### 4.3 Výstupný signál

Z dôvodu vnútorných problémov v čipu ADF4360-8, generuje iba referenčnú frekvenciu 140MHz a slučka ďalej túto frekvenciu neladí na požadovanú hodnotu 175MHz. Spektrum RF signálu je zobrazená na obr. 4.7.



Obr. 4.7: Spektrum RF signálu

## 5 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnutie bezdrôtového modulu pripojiteľnú pomocou XLR konektora. Pre zaistenie frekvenčnej stability som uprednostňoval použitie fázového závesu, ktorý voči SAW rezonátorom vykazuje vyššiu presnosť a stabilitu a je menej citlivý na teplotné zmeny. Ďalej takou metódou je možný preladiť vysieláč na inú nosnú frekvenciu, čo umožňuje výmenu prijímača.

Modul obsahuje funkciu automatického riadenia citlivosti a Mute, pričom mikrokontrolér ovláda činnosť kompresoru a zisk predzosilňovača. Okrem zadania som navrhol monitorovanie stavu batérie, ktorý signalizuje v prípade slabej batérie.

Pri zostavení modulu sa objavilo niekoľko nedokonalostí dosky, ktoré boli opravené aj na dosky aj v Eagle súboroch. Fázový záves na začiatku negeneroval správnu frekvenciu a pri opravách došlo k nefunkčnému stavu. Výmena súčiastky je obtiažny a z dôvodu nedostatku času nerealizovateľný, ostatné časti modulu sú plne funkčné. Možným riešením je výmena chybné súčiastky.

Ako posledné, som navrhol možné typy meander antén, ktoré sú možné využiť v ďalších vývojjoch zariadenia.

# LITERATÚRA

- [1] MALINA, Václav. *Poznáваме Elektroniku V*. 1. vyd. Praha: Kopp, 2001, 344 s. ISBN 80-7232-114-5
- [2] VLACHÝ, Václav. *Praxe zvukové techniky*. 3., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Muzikus, 2008, 257 s. ISBN 978-80-86253-46-5.
- [3] COUCH, Leon W. II. *Digital and Analog Communication Systems*. 8. vyd. UK: Prentice Hall, 2012, 784 s ISBN 978-0132915380
- [4] VÁGNER, Petr, Ing., Ph.D. *Vysokofrekvenční technika* Skriptum. vyd. 2013. Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=83307](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83307)>.
- [5] SCHIMMEL, Jiří, Ing., Ph.D. *Elektroakustika* Skriptum. 1. vyd. 2013, ISB 978-80-214-4716-5 Dostupné z URL: <<https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=250296>>.
- [6] Český telekomunikační úřad. *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu*. [online]. 2012 [cit. 5. 11. 2014] Dostupné z URL: <[http://www.ctu.cz/cs/download/ooop/rok\\_2012/vo-r\\_10-04\\_2012-07.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/ooop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf)>.
- [7] DAENOTES. Technický portál. *Pre-emphasis and De-emphasis*. [online]. 2005 [cit. 5. 11. 2014] Dostupné z URL: <[www.daenotes.com/electronics/communication-system/pre-emphasis-and-de-emphasis](http://www.daenotes.com/electronics/communication-system/pre-emphasis-and-de-emphasis)>.
- [8] LECTROSONICS, Inc. *Wireless Microphone Systems, Concepts of Operation and Design* [online]. 2000 [cit. 25. 10. 2014] Dostupné z URL: <<http://www.lectrosonics.com/US/images/PDFs/wg2000.pdf>>.
- [9] Radio-electronics.com: *Frequency Modulation, FM Modulation Index Deviation Ratio*. [online]. 2000 [cit. 22. 11. 2014] Dostupné z URL: <[www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/fm-frequency-modulation/modulation-index-deviation-ratio.php](http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/fm-frequency-modulation/modulation-index-deviation-ratio.php)>.
- [10] ANALOG DEVICES *Microphone preamplifier with variable compression and noise gate SSM216*. Technická dokumentácia. [online]. [cit. 18. 10. 2014] Dostupné z URL: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/SSM2166.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/SSM2166.pdf)>.



- [11] ANALOG DEVICES *Integrated Synthesizer and VCO ADF 4360 - 8* [online]. Analog Devices 2004 - 2012 [cit. 21.02.2015] Dostupné z URL: <<http://www.analog.com/en/products/rf-microwave/pll-synth/adf4360-8.html#product-overview>>.
- [12] College of Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea *Rectangular Meander Line Loop Antenna for Mic* [online]. 2006 [cit. 21.02.2015] Dostupné z URL: <<http://www.ieee.org/index.html>>.
- [13] LINEAR TECHNOLOGY *Dual 100mA/500mA Low Dropout, Low Noise, Micropower Regulator* [online]. 2004 [cit. 03.04.2015] Dostupné z URL: <<http://www.linear.com/product/LT3024>>.
- [14] Jalil-Agha Rashed Mohassel *Meander Antennas* [online]. 1982 [cit. 10.05.2015] Dostupné z URL: <<http://www.eecs.umich.edu/radlab/html/techreports/RL727.pdf>>.

# ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

AM amplitudová modulácia

FM frekvenčná modulácia

PM fázová modulácia

$g(t)$  komplexná obálka modulovaného signálu ve funkce času

$A_c$  konštanta použitá pre stanovenie úrovne signálu

$m(t)$  modulovaný signál ve funkce času

$s(t)$  hodnota výsledného modulovaného signálu

$\omega_c$  uhlové frekvence signálu  $A_c$

$m$  index modulácie

$D$  pomer odchýlky

$f_m$  frekvenčne modulovaný signál

$\Delta f$  frekvenčná odchylka fm signálu

NBFM Narrow Band Frequency Modulation - úzkopásmová frekvenčná modulácia

WBFM Wide Band Frequency Modulation - širokopásmová frekvenčná modulácia

$\Theta(t)$  lineárna funkcia modulovaného signálu

PLL Phase locked loop - fázový záves

PFD Phase Discriminator - fázový diskriminátor

LPF Loop filter - slučkový filter

VCO Voltage controlled oscillator - napetovo riadení oscilátor

$L$  hladina akustického tlaku

$p_0$  referenčná hodnota tlaku pri 0 dB SPL, 20 $\mu$ Pa

$C$  citlivosť mikrofónu

$G$  zisk

$U_{\text{výst}}$  výstupné napetie článku

$U_{\text{vst}}$  vstupné napätie článku

$K$  prenos článku

$F_{\text{osc}}$  kmitočť oscilátora

$F_{\text{vco}}$  kmitočť napätovo riadeného oscilátora - nosný kmitočť

$\Delta f_{\text{krystal}}$  potrebná frekvenčná odchylka pri modulácii krystalu

$F_0$  stredná frekvencia napätovo riadeného oscilátora

$P_{\text{out}}$  výstupný výkon

$\Lambda$  vlnová dĺžka

AGC Automatic Gain Control - automatické riadenie citlivosti

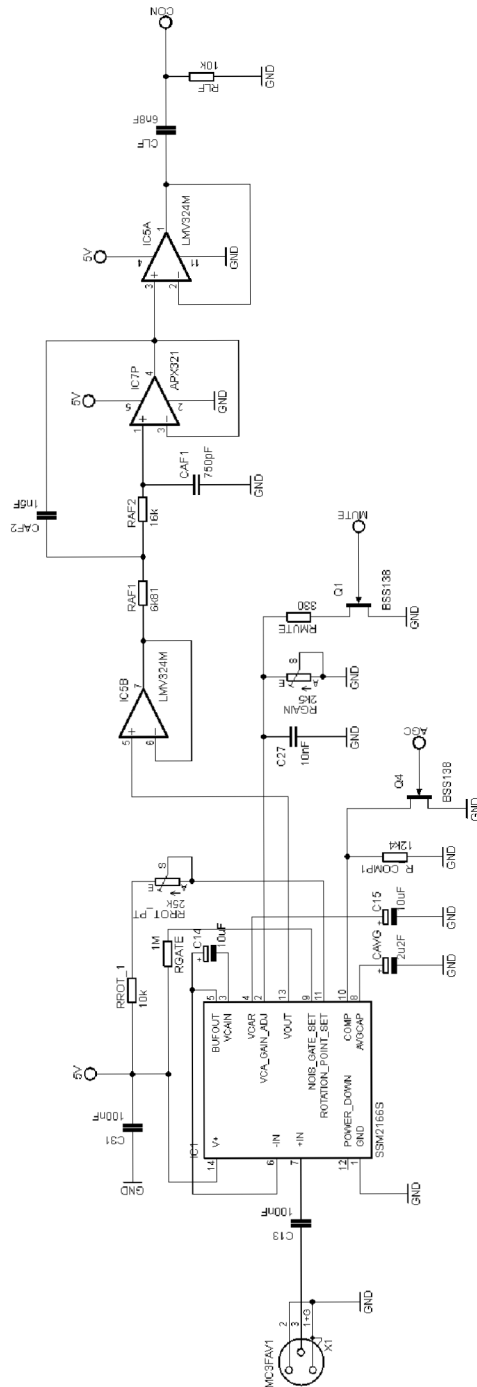
SPI Serial Peripheral Interface - sériové periférne rozhranie

# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A Dokumentácia</b>	<b>60</b>
A.1 Obvodové zapojenie nízkofrekvenčnej časti . . . . .	60
A.2 Obvodové zapojenie vysokofrekvenčnej časti . . . . .	61
A.3 Obvodové zapojenie napájacie časti . . . . .	62
A.4 Deska plošného spoje - top . . . . .	63
A.5 Deska plošného spoje - bottom . . . . .	63
A.6 Deska kontrolného panelu . . . . .	63
A.7 Deska meander antény typ 1 . . . . .	64
A.8 Deska meander antény typ 2 . . . . .	64

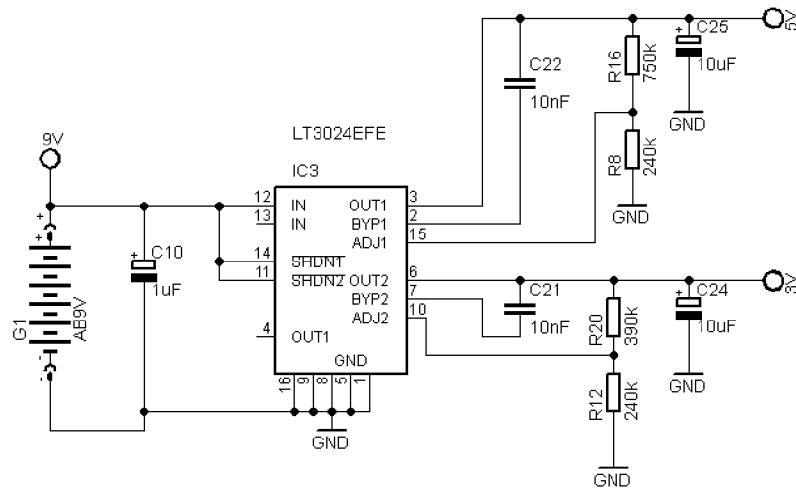
# A DOKUMENTÁCIA

## A.1 Obvodové zapojenie nízko-frekvenčnej časti

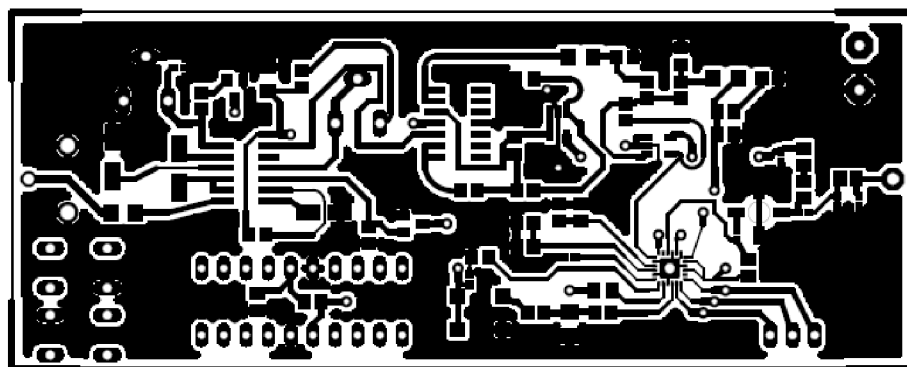




## A.3 Obvodové zapojenie napájacie časti

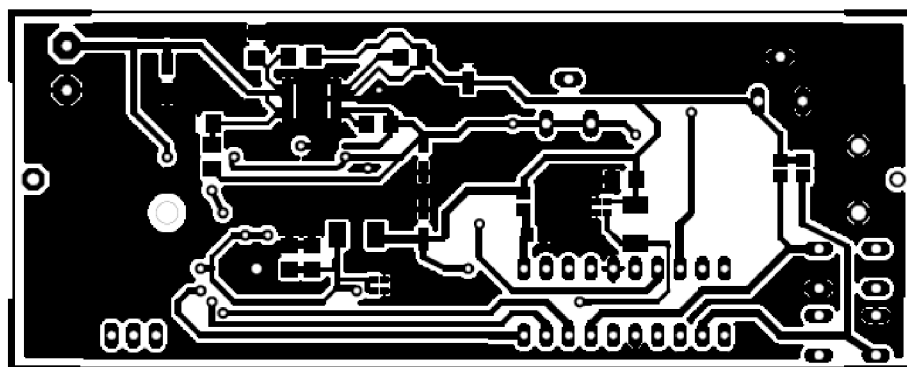


#### A.4 Deska plošného spoje - top



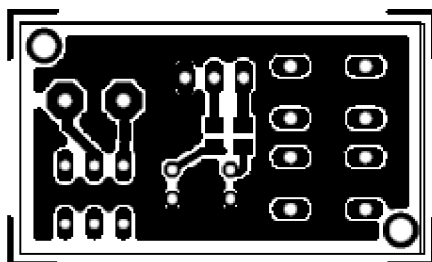
Rozmer desky 40x100mm

#### A.5 Deska plošného spoje - bottom



Rozmer desky 40x100mm

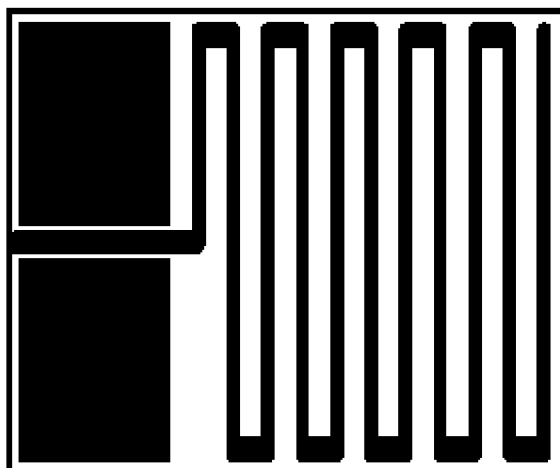
#### A.6 Deska kontrolného panelu



Reozmer desky 20x35mm

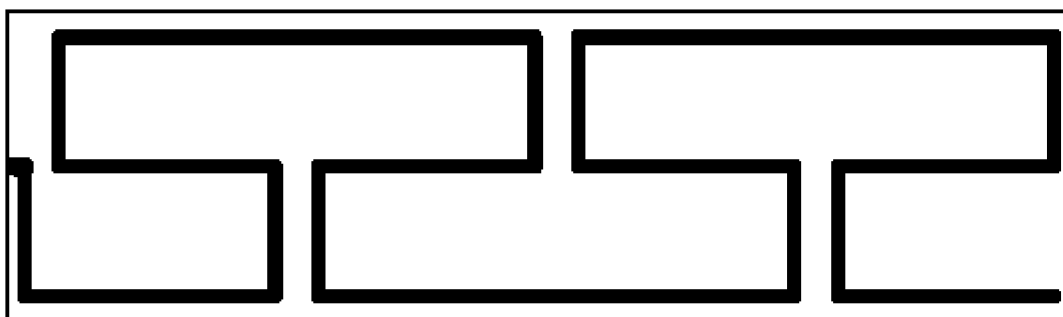


## A.7 Deska meander antény typ 1



Reozmer desky 40x50mm

## A.8 Deska meander antény typ 2



Reozmer desky 35x120mm