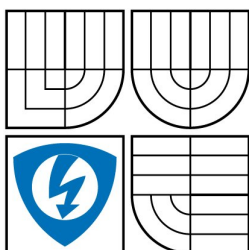


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KONVERTOR PRO SV PÁSMO KE KV PŘIJÍMAČI

MW CONVERTER FOR SW RECEIVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Alena Lejsková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Studentka: Alena Lejsková
Ročník: 3

ID: 73105
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Konvertor pro SV pásmo ke KV přijimači

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte systémový rozbor řešení kmitočtového konvertoru z pásma středních vln do pásma krátkých vln 28 MHz. Předpokládejte použití integrované magnetické smyčkové antény s ručním doladováním. Zaměřte se především na dostatečnou selektivitu a intermodulační odolnost konvertoru. Navrhněte koncepční řešení konvertoru včetně mechanického uspořádání a realizujte smyčkovou přijímací anténu.

Navrhněte celkové schéma zapojení konvertoru, navrhněte desku plošných spojů, konvertor osadte a sestavte mechanickou část systému. Konvertor naladte a oživte. Změřte výsledné parametry konvertoru.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ŽALUD, V. Moderní radioelektronika. Praha: BEN - technická literatura, 2004.
- [2] MATUSZCYK, J. Antény prakticky. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

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

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na syntézu obvodů přijímačů s požadavkem konverze kmitočtu vstupního signálu a následnou realizaci zadaného konvertoru. Nejprve seznamuje čtenáře se základním dělením rádiových vln a součástmi důležitými pro kvalitní přijímač, dále uvádí obecné vlastnosti vstupních obvodů přijímačů, rozdělení součástek a druhů zapojení, které se používají v komunikační technice. Návrh zapojení je určen i laikům, proto krok po kroku popisuje každou vybranou součást obvodu, včetně výpočtu či způsobu řešení a výběru vhodných součástek. Cílem je také představit kmitočtovou konverzi jako důležitou součást při příjmu signálu, který chceme prakticky dále využívat v komunikačních zařízeních.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiokomunikace, pásmo, signál, přijímač, konvertor, konverze, selektivita, filtr

ABSTRACT

This thesis concerns about the network synthesis of receivers with the demand for conversion of the input signal and a following implementation of assigned converter. At first it introduces the readers with the basic division of radio waves and with parts, which are important for a high-quality receiver, then it deals with general properties of input networks of receivers, division of parts and kinds of connection, that are used in the communications. The concept of connection is intended to nonspecialists too, that is why it describes step by step each of parts of the network, including the calculation or possible solution and the choice of convenient parts. The aim is also to present the frequency conversion as an important part of signal receiving that we want to use in communication systems.

KEYWORDS

radiocommunication, frequencies, signal, receiver, converter, conversion, selectivity, filter

LEJSKOVÁ, A. *Konvertor pro SV pásmo ke KV přijímači*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 31 s, 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Konvertor pro SV pásmo ke KV přijímači jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 5. ledna 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ RÁDIOVÝCH VLN A ANTÉNY	9
Dělení radiofrekvenčních pásem	9
Druhy antén.....	9
Smyčkové antény.....	10
2 RÁDIOVÉ PŘIJÍMAČE.....	10
Šumové vlastnosti přijímačů.....	10
Obecné zapojení přijímače.....	11
3 ÚTLUMOVÉ ČLÁNKY	12
Použití útlumových článků.....	12
Výběr útlumových článků a způsob zapojení	12
4 SMĚŠOVAČE.....	13
Princip směšovače	13
Dělení a vlastnosti směšovačů.....	14
Výběr směšovače pro konvertor SV na KV	14
5 OSCILÁTORY.....	15
Definice oscilátoru.....	15
Druhy oscilátorů.....	15
Výpočet frekvence požadovaného oscilátoru.....	15
6 FILTRY.....	16
Použití filtrů	16
Návrh filtrů.....	16
7 ZESILOVAČE	19
Využití zesilovačů	19
Dělení zesilovačů.....	19
Výběr zesilovače pro pásmo středních vln.....	20
8 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ ZADANÉHO KONVERTORU	20
Výroba součástek.....	20
Umístění součástek a obvodové zapojení	20
9 ANALÝZA VLASTNOSTÍ OBVODU	23
Vstupní a výstupní obvody	23
Oscilátorový obvod.....	26
Výstup konvertoru	27
Závislost naměřených úrovní vstupního a výstupního signálu	27
ZÁVĚR.....	29
LITERATURA.....	30
Seznam zkratk	31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Zapojení smyčky	10
Obr. 2: Blokové schéma přijímače	11
Obr. 3: Zapojení pasivních útlumových článků: a) PI-článek, b) T-článek, c) přemostěný T-článek	12
Obr. 4: Navržené zapojení útlumových článků	12
Obr. 5: Diodové směšovače: a) asymetrický, b) jednoduchý vyvážený, c) dvojitý vyvážený ..	14
Obr. 6: Zesilovač se zpětnou vazbou	15
Obr. 7: Transformace normované dolní propusti na pásmovou propust	17
Obr. 8: a) Článek NDP typu T, b) článek NDP typu PI	17
Obr. 9: Úprava výstupního obvodu	19
Obr. 10.: Celkové schéma zapojení konvertoru SV pro KV přijímač	21
Obr. 11: Deska plošných spojů	22
Obr. 12: Osazení desky plošných spojů	23
Obr. 13: Útlum atenuátoru 10dB	23
Obr. 14: Útlum atenuátoru 20dB	24
Obr. 15: Útlum atenuátoru 30dB	24
Obr. 16: Vstupní pásmová propust. Markery vyznačují, kde dochází k poklesu k hranici 3dB.	25
Obr. 17: Výstupní filtr osciluje na frekvenci 28,5MHz	25
Obr. 18: Nosná krystalového oscilátoru leží na frekvenci 29,5MHz	26
Obr. 19: Mezifrekvenční produkt směšování při přijímané frekvenci 800kHz	27

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení rádiových vln	9
Tab. 2: Prvky Butterworthovy NDP, $a_p=3\text{dB}$, $r_1=r_2=1$	16
Tab. 3: Naměřené hodnoty výkonu signálů vstupu a výstupních produktů	28

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost výstupního výkonu užitečného signálu na vstupní úrovni signálu	28
----------------------------------------------------------------------------------------	----

ÚVOD

Radiokomunikace je dnes nedílnou součástí našeho života, vstupuje do každé domácnosti, a řešení na její zlepšení není nikdy dost. Základ každé rádiové komunikace tvoří zdroj informace – vysílač, přenosová cesta a přijímač. Způsoby, jakými se dají informace přenášet jsou různé, může to být vzduchem, pomocí elektrických či optických kabelů, a také existují různé druhy záření k tomu určených. Mezi rádiové vlny spadají tato záření: viditelné světlo, infračervené záření, ultrafialové záření, paprsky X a záření gamma. Jsou to elektromagnetické vlny. Radioelektronika je věda, která se zabývá šířením těchto vln, a také způsobem, jakým jsou elektrické signály přeměňovány na elektromagnetické záření, aby mohly být vůbec přenášeny prostorem. Rádiové vlny se šíří vzduchem i na velké vzdálenosti bez velkého útlumu a toho se právě využívá pro kvalitní přenos. Signály o nižších frekvencích, např. zvuk, chceme také přenášet, vzduch je však velmi pohlcuje a ve vakuu se nešíří vůbec. Zde je přeměna na elektromagnetické vlny důležitá součást komunikace, signál je modulován pomocí vysokofrekvenčních vln a vysílačem vyzářen ve formě rádiových vln, dostane se až ke vzdálenému příjemci a ten jej pomocí přijímače transformuje zpět na elektrický signál a demoduluje na původní zvuk. V současnosti se klade největší důraz na kvalitu takto získaného signálu, a také se neustále rozšiřuje radiokomunikační síť ve všech oblastech. První aspekt je dán především technickými možnostmi a cenou. V posledních letech se české radiokomunikace snaží zavádět postupně novou formu televizního vysílání, tedy přechod z analogového způsobu šíření na přenos digitální. To ovšem znamená úplnou změnu zařízení, které jsou pro přenos potřeba, jak vysílačů, tak přijímačů. Takovéto změny mají rozsáhlý charakter a jsou dalším význačným pokrokem v radiokomunikaci.

Přijímače jsou obvykle konstruovány jen pro určité konkrétní kmitočtové pásmo. Příčina je v tom, že technicky jsou přijímače pro velmi široká pásma (vyhovující našim potřebám) nepraktická, mají nekvalitní výstup a hůře splňují zadané parametry. Pásma se proto rozdělují na menší a poté se přijímače realizují vhodnými obvodovými prvky. Každý přijímač tak můžeme přizpůsobit našim požadavkům. V přijímači projde signál nejprve vstupním obvodem, kde často probíhá konverze vstupních kmitočtů na jiné, lépe zpracovatelné. Cílem této semestrální práce je navrhnout jeden z možných způsobů provedení konverze kmitočtu, tedy návrh vstupního obvodu přijímače, který zpracuje vstupní signál na požadovaný signál, který by bylo možné dále využít.

1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ RÁDIOVÝCH VLN A ANTÉNY

Dělení radiofrekvenčních pásem

Rádiové vlny jsou elektromagnetické vlny, jejichž vlnové délky leží v rozmezí milimetrů až stovek metrů. Základní rozdělení uvádí Tab. 1, přitom frekvence od 3 do 300GHz (SHF a EHF) spadají již do mikrovln. *Mikrovlny* se využívají k ohřevu v mikrovlnných troubách nebo pro Wi-Fi komunikaci. Další druhy vln, od dlouhých až po ultrakrátké, jsou základem pro radiokomunikaci, pro různé typy rozhlasového či televizního vysílání, mobilní komunikaci apod. Velmi dlouhé vlny se uplatňují při námořní a letecké navigaci.

Kmitočet	Délka vlny	Český název	Angl.název	Č.zkr.	An.zkr.
10-30kHz	100-10 km	velmi dlouhé vlny	very long wave	VDV	VLW
30-300kHz	10-1 km	dlouhé vlny	long wave	DV	LW
300-3000kHz	1000-100 m	střední vlny	medium wave	SV	MW
3-30MHz	100-10 m	krátké vlny	short wave, high frequency	KV	SW, HF
30-300MHz	10-1 m	velmi krátké vlny	very high frequency	VKV	VHF
300-3000MHz	10-1 dm	ultra krátké vlny	ultra high frequency	UKV	UHF
3-30GHz	10-1 cm	superkrátké vlny	super high frequency	SKV	SHF
30-300GHz	10-1mm	extrémně krátké vlny	extremely high frequency	EKV	EHF

Tab. 1: Rozdělení rádiových vln

Přesné hranice kmitočtů jednotlivých pásem jsou stanoveny úmluvami, v radiotechnice se uvádí pro pásmo *středních* vln rozsah 150-1800kHz, nebo také 515-1629kHz. Toto pásmo se používá pro přenos rozhlasového vysílání, k radionavigaci a komunikaci na malé a střední vzdálenosti. *Krátké vlny* mají rozsah kmitočtů od 3 do 30MHz, přesněji od 2,310 do 30MHz. Jsou využívány k radiokomunikaci na střední a velké vzdálenosti, rovněž k šíření rozhlasových vysílání, a také pro amatérská pásma. Náš konvertor pro 28MHz bude tedy sloužit například k rádiovému přijímači, ke komunikaci s navigačními zařízeními aj.

Prvkem, který vysílá rádiové vlny do prostoru, je *anténa*. Je to v podstatě upravená část vysokofrekvenčního vedení, která přeměňuje elektrickou energii na energii elektromagnetických vln. Její rozměry a tvar konstrukce určují vysílanou vlnovou délku. Pro příjem se používají rovněž antény.

Druhy antén

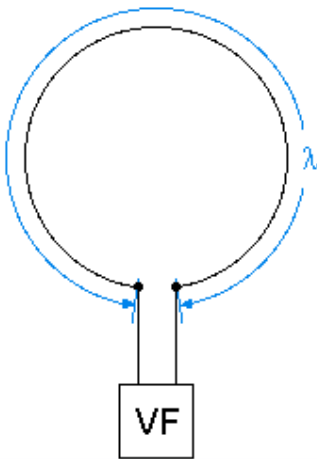
Antény se rozdělují na *laděné* a *neladěné*. Pro příjem DV, SV a KV se používají neladěné antény, zejména drátové či magnetické(rámové, feritové...)(podrobněji v [2]). Další rozdělení antén, do nichž spadají již zmíněné, je dle konstrukce(viz [5]):

- vertikální zářič
- drátová anténa
- rámová anténa
- feritová anténa

- parabolická anténa
- smyčková anténa

Smyčkové antény

Mezi smyčkové antény se někdy řadí magnetické antény. Využití mají zejména u nižších kmitočtů, kde by elektrické antény byly příliš velké. Smyčkové antény jsou tvořeny kruhovým dipólem a jejich délka závisí na přijímané vlnové délce. Účinnost je vyšší než např. u čtvercových nebo trojúhelníkových antén, protože mají vyšší vyzařovací odpor (ten je dán plochou smyčky), a mají i nižší ztráty. Najdeme je mimo jiné v ručních vysílačích pro otevírání garážových vrat nebo k ovládání autoalarmů, právě pro její malé rozměry a jednoduchost. Další výhodou smyčkové antény je, že nejde tak snadno přeladit vlivem držení v ruce a není závislá na ploše země.



Obr. 1: Zapojení smyčky

2 RÁDIOVÉ PŘIJÍMAČE

Šumové vlastnosti přijímačů

Aktivní i pasivní dvojbrany jsou zároveň zdroji šumu, který způsobuje nejrůznější zkreslení přenášeného signálu. U odporů je to zejména tepelný šum, u diod a tranzistorů výstřelový šum. Výsledný šum charakterizuje veličina nazvaná šumový činitel, dále také ekvivalentní šumová teplota a míra šumu.

Šumový činitel F je definován jako podíl vstupního a výstupního poměru signál/šum. Vstupní poměr bývá u reálných dvojbranů větší než výstupní, proto $F > 1$. Pro ideální bezšumový dvojbran platí $F = 1$. Kromě šumového činitele se používá také šumové číslo NF , což je šumový činitel vyjádřený v dB, tedy

$$F [dB] = NF = 10 \log F .$$

Jestliže se hodnota šumového činitele blíží k jedničce, tedy u obvodů s velmi malým šumem (zejména jsou to vysokofrekvenční obvody), potřebujeme lepší rozlišení změn šumových vlastností. K tomu nám slouží *ekvivalentní šumová teplota* T_e , jejíž vztah k šumovému činiteli je následující:

$$T_e = T_0(F - 1).$$

Míra šumu na rozdíl od šumového činitele popisuje i zesilovací vlastnosti dvojbranu. Závisí na šumovém činiteli F , na výkonovém zesílení A_{pa} a je definovaná vztahem

$$M = \frac{F - 1}{1 - A_{pa}^{-1}}.$$

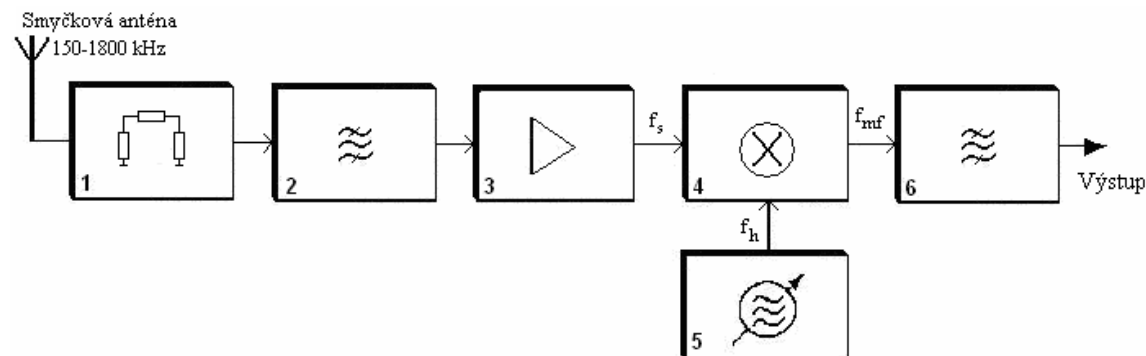
Při výběru prvků a obvodových zapojení tedy přihlížíme i k potlačení nežádoucích šumů.

Obecné zapojení přijímače

Požadavky na vstupní obvod jsou především tyto:

1. překrytí daného kmitočtového pásma
2. vysoká selektivita
3. vysoký činitel přenosu napětí
4. stálost přenosu napětí v celém kmitočtovém rozsahu

Obecné blokové schéma zapojení přijímače je na Obr. 2. Poté, co je vstupní signál přiveden z antény, je třeba odfiltrovat nežádoucí složky, které by mohly vytvářet na výstupu nežádoucí produkty. K tomuto účelu použijeme *pásmovou propust* a *útlumové články*. Dalším prvkem, který zpracovává signál, je zpravidla vysokofrekvenční zesilovač. Nachází se před směšovačem, proto se mu říká předzesilovač, tzv. *preselektor*. Má za úkol signál zesílit na dostatečnou úroveň, kterou je pak schopen směšovač zpracovat. *Směšovač* je obvodová část přijímače, ve které probíhá hlavní činnost přijímacího obvodu - konverze kmitočtu. Je řízen dalším vstupním signálem, z místního oscilátoru. V dalších kapitolách provedeme rozbor jednotlivých částí přijímače a vybereme vhodné součástky pro realizaci.

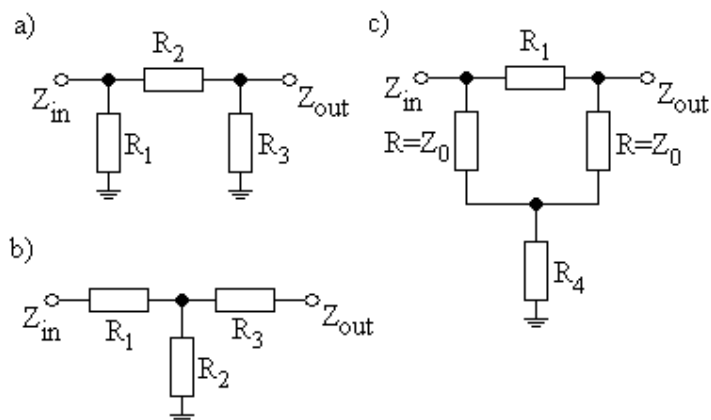


Obr. 2: Blokové schéma přijímače: 1- útlumové články, 2- pásmová propust, 3- zesilovač, 4- směšovač, 5- krystalový oscilátor, 6- výstupní pásmová propust

3 ÚTLUMOVÉ ČLÁNKY

Použití útlumových článků

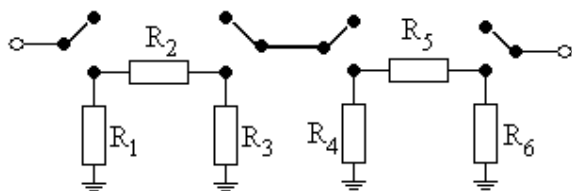
Útlumové články, tzv. atenuátory, používáme k zeslabení vstupního signálu na úroveň, kdy je potlačeno intermodulační zkreslení. Pasivní atenuátory jsou obvykle složeny z rezistorů, aktivní využívají PIN diody. Nejčastější zapojení s rezistory je PI nebo T článek, případně přemostěný T článek, u něhož odpor $R=Z_0$ je charakteristická impedance obvodu.



Obr. 3: Zapojení pasivních útlumových článků: a) PI-článek, b) T-článek, c) přemostěný T-článek

Výběr útlumových článků a způsob zapojení

Jestliže chceme, aby bylo potřebný útlum možné měnit, zvolíme kaskádu útlumových článků přepínatelných pomocí tlačítek. K tomu se nejlépe hodí články v zapojení PI. Hodnoty útlumu zvolíme například 10 a 20dB; útlum požadujeme obvykle do 30dB. Pokud bychom chtěli měnit útlum po menších hodnotách, mohli bychom zařadit více článků za sebou, spojíme se však se dvěma.



Obr. 4: Navržené zapojení útlumových článků

Provedeme výpočet hodnot součástek:

Hodnota vstupní a výstupní impedance je v obou případech 50Ω .

Útlumový článek s útlumem $A=10dB$

$$K = 10^{\frac{A}{20}} = 10^{\frac{10}{20}} = 10^{0,5} = 3,1623$$

$$R_1 = R_3 = Z \cdot \left(\frac{K+1}{K-1} \right) = 50 \cdot \left(\frac{3,1623+1}{3,1623-1} \right) = \underline{96,2475 \Omega}$$

$$R_2 = \frac{Z}{2} \cdot \frac{K^2-1}{K} = 25 \cdot \frac{3,1623^2-1}{3,1623} = \underline{71,15 \Omega}$$

Útlumový člunek s útlumem $A=20\text{dB}$

$$K = 10^{\frac{A}{20}} = 10^{\frac{20}{20}} = 10^1 = 10$$

$$R_4 = R_6 = Z \cdot \left(\frac{K+1}{K-1} \right) = 50 \cdot \left(\frac{10+1}{10-1} \right) = \underline{61,11 \Omega}$$

$$R_5 = \frac{Z}{2} \cdot \frac{K^2-1}{K} = 25 \cdot \frac{10^2-1}{10} = \underline{247,5 \Omega}$$

Vzorce pro výpočet naleznete dále v [14].

4 SMĚŠOVAČE

Princip směšovače

Samotný konvertor je realizován směšovačem, do něhož přivádíme vstupní signál f_s a signál s frekvencí f_h z krystalového oscilátoru, zvaného heterodyn. Této jednotce se říká měnič kmitočtu (Frequency Converter), nebo také superheterodyn. Jeho požadovanou vlastností je na výstupu vytváření signálu s konstantním kmitočtem f_{mf} , který můžeme dále lépe zpracovat než samotný vstupní signál. Platí vzorec[9]:

$$f_{mf} = |f_h - f_s|$$

S měnícím se kmitočtem f_s se tedy mění kmitočet f_h . Tento typ je nazýván frekvenční konvertor dolů (Down-converter). Další možností je vytvoření mezifrekvenčního signálu f_{mf} součtem obou těchto signálů, tzv. konvertor nahoru (Up-Converter).

Na vstupu směšovače je potřeba odrušit nežádoucí signály, a to především zrcadlový kmitočet f_z , což je kmitočet souměrný k f_s podle f_h . Jeho vzdálenost od f_h je $2f_{mf}$. Uvažujeme-li $f_{mf} = f_h - f_s$, potom $f_z = f_h + f_{mf}$.

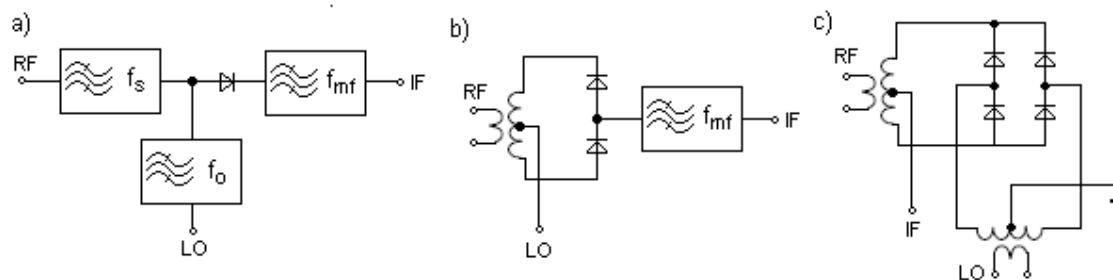
Jestliže požadujeme výstupní signál s vysokou selektivitou, zařadíme na výstup směšovače ještě pásmovou propust.

Dělení a vlastnosti směšovačů

Směšovače lze rozdělit podle více hledisek. Podle použitých obvodových prvků rozeznáváme směšovače diodové, směšovače s diskretními bipolárními tranzistory, s tranzistory FET a směšovače s integrovanými obvody. *Bipolární tranzistory* byly nejprve nejrozšířenější variantou, nyní se však setkáváme hlavně s diodovými směšovači. *Diodové směšovače* se používají u velmi vysokých frekvencí, kde není možné používat tranzistory, ale i u nižších frekvencí, protože mají výhodné vlastnosti, jako např. velký dynamický rozsah.

Dalším možným dělením je z hlediska fyzikálního principu, na kterém je směšování založené, rozdělení na směšovače aditivní a multiplikativní. U *aditivních směšovačů* vzniká řada směšovacích produktů, které jsou poté odfiltrovány a vybere se pouze požadovaný produkt. Do této kategorie spadají směšovače s nelineárním odporem. K vytvoření užitečného signálu musí mít charakteristika směšovacího prvku zakřivení alespoň druhého stupně. Amplituda výstupního signálu je lineárně úměrná součtu amplitud obou vstupních signálů. Mezi aditivní směšovače patří často používané diodové směšovače, dále směšovače s jedním bipolárním tranzistorem nebo jedním FET tranzistorem. *Multiplikativní směšovače* jsou tvořeny analogovým násobičem, realizovaným např. dvojhradlovým tranzistorem MOSFET, a také směšovače s monolitickými integrovanými obvody. Výsledný signál vzniká součinem napětí s kmitočtem f_s a f_h .

Podle obvodové symetrie se dělí směšovače na asymetrické, vyvážené a dvojité vyvážené směšovače (Obr. 5)[1].



Obr. 5: Diodové směšovače: a) asymetrický, b) jednoduchý vyvážený, c) dvojitý vyvážený.

Výběr směšovače pro konvertor SV na KV

Náš měnič kmitočtu by měl být schopen zpracovávat signály do desítek MHz, dnešní směšovače mají obvykle ještě mnohem vyšší rozsah, proto zvolíme jeden z častěji používaných směšovačů – **směšovač SA612A** od firmy Philips.

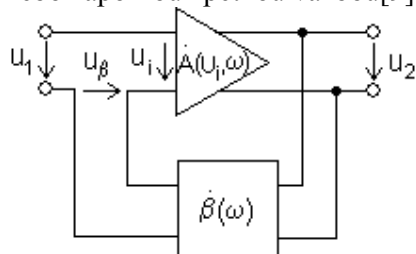
5 OSCILÁTORY

Definice oscilátoru

Oscilátory jsou aktivní obvody, které jsou schopny samostatně generovat elektrické napětí harmonického průběhu. Setkáváme se s nimi právě v superheterodynních přijímačích. Skládají se z řídicího obvodu, automatického regulátoru, který předává energii z napájecího obvodu řídicímu obvodu, a ze stejnosměrného napájecího zdroje.

Druhy oscilátorů

První základní skupinou jsou oscilátory se zpětnou vazbou. Tvoří je zesilovač s kladnou nebo zápornou zpětnou vazbou[9].



Obr. 6: Zesilovač se zpětnou vazbou.

Druhou skupinou tvoří oscilátory se záporným odporem, nazývané reflexní. Je tvořen aktivním dvojpólem se zápornou složkou $R_i < 0$ a vnějším rezonančním obvodem.

Výpočet frekvence požadovaného oscilátoru

V měničích kmitočtu používáme nejrůznější krystalové oscilátory, nebo krystaly. Pro pásmo středních vln, tj.:

$$f_s = 0,5 \div 1,6 \text{ MHz}$$

navrhne kmitočtet oscilátoru tak, aby f_{mf} byl min.28MHz.

Ze vstupního signálu a požadovaného mezifrekvenčního kmitočtu tedy vypočítáme potřebnou frekvenci krystalového oscilátoru:

$$f_h = f_{mf} + f_s = (28 + 1,6) \text{ MHz} = 29,6 \text{ MHz}.$$

Z katalogu vybereme pro zadaný přijímač krystal **Q29,4912MHz**.

6 FILTRY

Použití filtrů

Na vstup k anténě přijímače řadíme filtry, které nám vymezují pásmo signálu a zlepšují selektivní vlastnosti. Návrh filtru spočívá ve zvolení některé z aproximací a dostatečného řádu filtru podle toho, jaké vlastnosti požadujeme. Existuje několik typů aproximací, z nichž asi nejznámější a nejpoužívanější jsou *Butterworthova* a *Čebyševova*. Zvolíme např. Butterworthovu aproximaci, která se vyznačuje maximálně plochou charakteristikou v propustné části. Jde o polynomiální aproximaci a vlastnostmi je to určitý kompromis mezi jednotlivými výhodami jiných filtrů, jako průběh fáze či dobrý útlum. Další typy aproximací se počítají odlišnými specifickými způsoby a nebudeme se jimi nyní zabývat.

Návrh filtrů

Pro návrh filtrů zvolíme pasivní *pásmovou propust* tvořenou kapacitami a indukčnostmi (LC). Při návrhu filtru vycházíme z *normované dolní propusti* (NDP), jejíž parametry jsou dány normovanými hodnotami součástek, neboli vztahy skutečných hodnot součástek vůči normovacímu kmitočtu, obvykle našemu meznímu kmitočtu. Hodnoty těchto normovaných součástek pro jednotlivé řády filtru zjistíme z tabulek. Pro náš případ zde uvádím pouze tabulku, kde vstupní a výstupní impedance je shodná, $R_1=R_2$, a maximální dovolený útlum v propustné části a_p je 3dB, viz Tab. 2[15].

n	$l1$	$c2$	$l3$	$c4$	$l5$	$c6$	$l7$
1	2,00000						
2	1,41421	1,41421					
3	1,00000	2,00000	1,00000				
4	0,76536	1,84775	1,84775	0,76536			
5	0,61803	1,61803	2,00000	1,61803	0,61803		
6	0,51763	1,41421	1,93185	1,93185	1,41421	0,51763	
7	0,44504	1,24697	1,80193	2,00000	1,80193	1,24697	0,44504
n	$c1$	$l2$	$c3$	$l4$	$c5$	$l6$	$c7$

Tab. 2: Prvky Butterworthovy NDP, $a_p=3\text{dB}$, $r_1=r_2=1$.

Normovanou dolní propust pro výpočet prvků zvolíme vyššího řádu, např. čtvrtého nebo pátého, z důvodu dobré selektivity. Obvodově nebude zapojení příliš náročnější než u filtrů nižšího řádu a dostatečná selektivita nám zajistí omezení nežádoucích složek na výstupech z antény a směšovače. Hodnoty normované dolní propusti pak převedeme na pásmovou propust, způsob zapojení je patrný z Obr. 7. U sériového zapojení prvků LC spočítáme skutečné hodnoty součástek pomocí vzorců 6.1, pro paralelní zapojení platí vztahy 6.2.

$$L = \frac{R_0 \cdot l}{\Delta \omega}, \quad C = \frac{\Delta \omega}{R_0 \cdot l \cdot \omega_0^2}, \quad (6.1)$$

$$L = \frac{\Delta \omega \cdot R_0}{\omega_0^2 \cdot c}, \quad C = \frac{c}{R_0 \cdot \Delta \omega}, \quad (6.2)$$

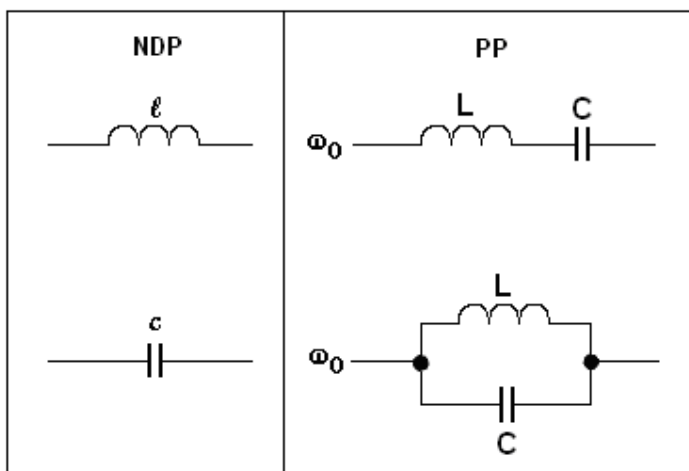
kde $\Delta\omega$ (rad) je šířka propustného pásma, ω_0 (rad) je mezní kmitočet (kmitočet naladění). R_0 je hodnota vstupního i výstupního odporu, $R_0 = R_{vst.} = R_{výst.}$, protože se jedná o impedančně přizpůsobený filtr, a konečně l a c jsou normované hodnoty požadovaných součástek.

Šířku propustného pásma i mezní kmitočet vypočítáme z hodnot okrajových kmitočtů pásma:

$$B = f_2 - f_1, \quad \Delta\omega = 2\pi B.$$

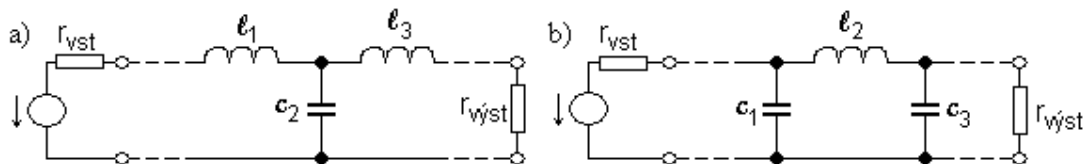
$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}, \quad \omega_0 = 2\pi f_0.$$

Kmitočet f_1 je dolní kmitočet propustného pásma a f_2 horní kmitočet. B je šířka propustného pásma v Hz a f_0 mezní kmitočet v Hz.



Obr. 7: Transformace normované dolní propusti na pásmovou propust.

Podle zapojení obvodových prvků rozlišujeme články typu PI a T. Obvodové zapojení je na obr. 8.



Obr. 8: a) Článek NDP typu T, b) článek NDP typu PI.

První pásmovou propust zařadíme na vstup nízkofrekvenčního zesilovače. Šířka propustného pásma je dána pásmem vstupního signálu, tedy pásmem středních vln: 150kHz – 1800kHz. Parametry filtru budou potom vypadat takto:

Vstupní pásmová propust 5.řádu, zapojení typu T

Vstupní a výstupní impedance je 50Ω .

Normované hodnoty součástek:

$$l_1 = 0,61803$$

$$c_2 = 1,61803$$

$$l_3 = 2,00000$$

$$c_4 = 1,61803$$

$$l_5 = 0,61803$$

Skutečné hodnoty součástek:

$$L_1 = L_5 = 2,979 \mu H$$

$$C_1 = C_5 = 31,49 nF$$

$$L_2 = L_4 = 30,07 \mu H$$

$$C_2 = C_4 = 3,12 nF$$

$$L_3 = 9,64 \mu H$$

$$C_3 = 9,73 nF$$

Na výstupu měniče kmitočtu požadujeme filtr propouštějící pásmo s kmitočtem alespoň 28MHz, náš zvolený oscilátor propustí o něco málo více. Okrajové kmitočty zvolíme např. 27-30MHz. Vstupní impedance filtru odpovídá výstupní impedanci směšovače: $1,5k\Omega$ a výstupní impedance je 50Ω . Vypočítáme-li hodnoty součástek pásmové propusti 4.řádu (např. pro zapojení PI), zjistíme, že hodnoty indukčností dosahují méně než $1\mu H$ a u kapacitorů bychom potřebovali kapacity menší než $1pF$. To je způsobeno právě frekvenčním pásmem, na které ladíme rezonanční obvod. Nepomůžeme si, ani když zkusíme rozšířit pásmo nebo upravíme hodnoty součástek, ani snížením řádu filtru. Z konstrukčního hlediska se jedná o náročný požadavek, takové součástky totiž nejsou běžně dostupné, proto jsem se rozhodla v konstrukční fázi změnit typ zapojení, ačkoli původní návrh desky počítá právě s pásmovou propustí typu Butterworth. Zapojení není složité přeměnit, postačí vypustit dva rezonanční obvody a přidat vazební kapacitor.

Výstupní pásmová propust: vázaná struktura

U vázané struktury se spokojíme s nižším řádem právě z důvodu, abychom nedosáhli opět extrémních hodnot součástek, výhodou ale bude, že charakteristika má strmější průběh než u Butterworthovy propusti. Zvolíme-li NDP 2.řádu, bude pro koeficienty $a_1 = a_2 = 1,41421$ (viz Tab. 2) výpočet následující:

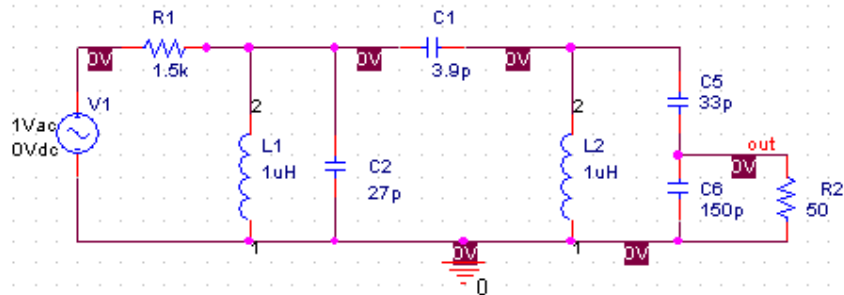
$$L_1 = \frac{\Delta f \cdot R}{2\pi \cdot f_0^2 a_1} \quad , \quad (6.3)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_1} - m \cdot C_V \quad . \quad (6.4)$$

Protože koeficienty jsou shodné, je $L_1 = L_2 = 0,2\mu H$, $C_1 = C_2 = 146pF$. Hodnota vazebního kapacitoru se určí pomocí vztahu 6.5, $C_V = 3,7pF$.

$$C_V = \frac{1}{2\pi f_0 R}, \quad (6.5)$$

R je 1500Ω . Hodnoty je potřeba upravit, např. analýzou v PSpice, aby bylo možné vyrobit cívky. Komponenty pro výrobu cívek lze nalézt v katalogu. Dostupná je **MT211** s rozsahem $1\mu\text{H}$ až $1500\mu\text{H}$. Na výstupu není stejná impedanční jako na vstupu, je proto potřeba vhodné impedanční přizpůsobení, např. kondenzátorovým děličem.



Obr. 9: Úprava výstupního obvodu.

7 ZESILOVAČE

Využití zesilovačů

Mezi nejčastější radioelektronické obvody patří zesilovače. Tvoří je aktivní prvky, nejčastěji tranzistory, které se uplatňují od nejnižších frekvencí (zejména bipolární tranzistory) až po vysoké frekvence řádu několika desítek gigahertzů (FET tranzistory). Setkáme se s nimi hlavně v rádiových vysílačích a přijímačích, ale také v oblasti radioelektronických měřicích přístrojů a ve spotřební elektronice.

Dělení zesilovačů

Tranzistorové zesilovače se dělí podle šířky přenášeného pásma na úzkopásmové a širokopásmové. Pro *úzkopásmové* zesilovače platí podmínka $B / f_0 < 0,1f_0$. Používají se v nich hlavně bipolární tranzistory. Jejich hlavní výhodou je nízký šum. U *širokopásmových* se využívají spíše FET tranzistory. Z hlediska zpracovávaných úrovní se zesilovače rozdělují také na *nízkourovňové* a *výkonové*. První typ se uplatňuje právě ve vstupních obvodech rádiových přijímačů, protože vstupní signál má obvykle malou napěťovou úroveň. Výkonové zesilovače najdeme např. v koncových stupních rádiových vysílačů, nebo ve vysokofrekvenčních průmyslových zařízeních, zde můžeme nalézt MOSFET tranzistory.

Na vstupu přijímačů je důležité, aby zesilovač přenesl požadované pásmo. Zesilovač může rovněž příznivě ovlivnit šumové vlastnosti celého přijímače. To je dobré zejména u vysokých frekvencí. Na nízkých kmitočtech přibližně do 30MHz není nutné preselektor vždy použít, šumové vlastnosti jsou vyhovující i bez něj. V případě, že používáme na vstupu vícenásobnou pásmovou propust a navíc také diodový směšovač, je preselektor do obvodu nutné zařadit. Zesilovač nám pokryje ztráty těchto vstupních obvodů, zlepší šumové vlastnosti a zabrání vyzářování signálu heterodynu do antény a okolního prostoru.

Výběr zesilovače pro pásmo středních vln

Pro pásmo středních vln dané šířky pro přijímací obvod je třeba použít širokopásmový, nízkourovňový tranzistor FET, např. některý z JFET tranzistorů. Běžně dostupným je **J310**. Připojíme k němu výstup pro stejnosměrné napájení a uzemnění. Do zapojení přidáme rezistory 10kΩ, abychom zajistili lepší stabilitu zesilovače. Výstupy se přivedou přes malé kapacity na vstupní svorky směšovače.

8 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ ZADANÉHO KONVERTORU

Výroba součástek

K dosažení co nejpřesnějších hodnot indukčností je potřeba vyrobit vlastní cívky. Základem jsou komponenty pro výrobu cívek MT211, které obsahují kostřičku a jádro. Vinutí je potřeba si obstarat. Jádro má velmi malé rozměry, proto je lépe volit velmi tenké dráty. Použila jsem dráty dvou rozměrů (0,5 a 2mm). Nejprve je potřeba určit velikost indukčnosti na závit na druhou (nH/z²), tzv. konstantu $A_L=L/N^2$. Pro libovolný počet závitů zjistíme indukčnost a podělíme druhou mocninou počtu závitů. Výsledná hodnota vyjde:

$$A_L = \frac{1,556 \cdot 10^{-6}}{49} = 32 \text{ nH/z}^2.$$

Ke každé indukčností pak dopočítáme počet závitů podle vztahu 8.1, který je úpravou předchozí rovnice:

L1, L5 3μH: N = 11,
L2, L4 30μH: N = 31,
L3 9,6μH: N = 17,
L6, L7, L8, L9 1μH: N = 6,

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}. \quad (8.1)$$

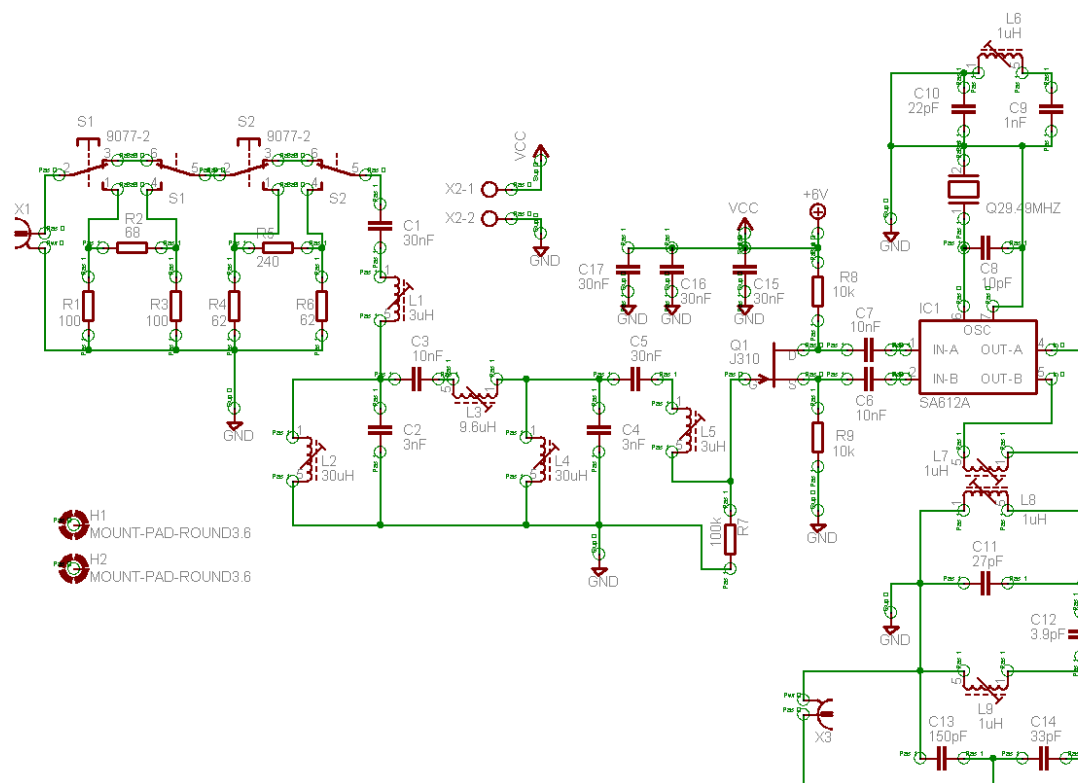
Namotané a připravené cívky umístíme do plastového krytu, vývody spojíme s příslušnými nožičkami a z horní strany vždy našroubujeme přes cívku šroubek. Nakonec umístíme kovový kryt.

Umístění součástek a obvodové zapojení

Přijímač krátkých vln má na vstupu smyčkovou anténu, zvolené útlumové články zařadíme k anténě před filtr, tímto filtrem bude **vstupní pásmová propust**, poté následuje zesilovač signálu. Zesilovač je tvořen vybraným tranzistorem **J310**, stejnosměrným napájením +6V a uzemněním, obojí přes odpory 10kΩ (viz kap. 7). Ke vstupu napájení přidáme pro lepší stabilitu také několik blokovacích kapacitorů. Výstupy zesilovače zapojíme na vstupní svorky směšovače **SA612A** 1 a 2. Na svorky 6 a 7 připojíme obvod s krystalem **Q29,4912MHz**, použijeme zapojení doporučeném výrobcem. Svorku 3 uzemníme a na svorku 8 přivedeme napájení (+6V).

Na výstup směšovače, tj. svorky 4 a 5, bude patřit výstupní obvod. Ten tvoří **výstupní pásmová propust**. Při konstrukci však nastane problém přímého spojení výstupu směšovače se zemí přes první cívku. To vede k protékání nadměrného proudu směšovačem. Proto je potřeba tento filtr galvanicky oddělit od směšovače, použitím transformátoru. Na kostře cívky tak bude namotáno dvakrát šest závitů, první vinutí povede ke směšovači a druhé vinutí je spojeno s filtrem.

Celkové zapojení KV přijímače je na obr. 10, níže jsou uvedeny katalogové hodnoty součástek.



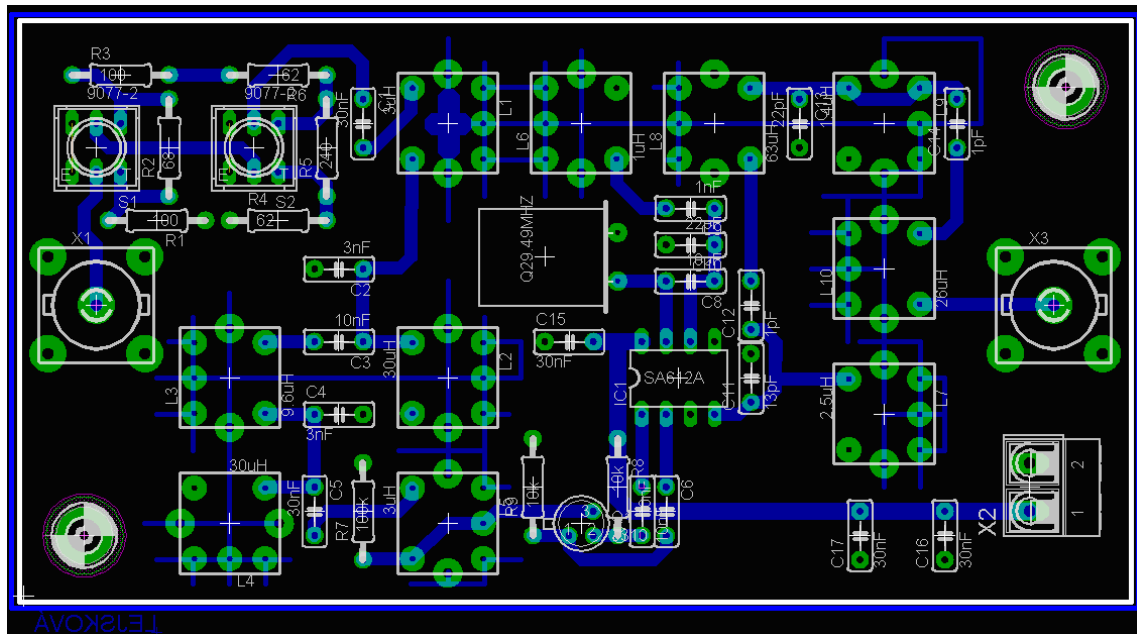
Obr. 10.: Celkové schéma zapojení konvertoru SV pro KV přijímač.

Seznam součástek:

- S1, S2..... vypínače
- Q1.....J310
- Q 29,49MHz
- SA612A
- R1, R3100Ω
- R268Ω
- R4, R662Ω
- R5 249Ω
- R7 100kΩ
- R8, R9 10kΩ
- L1, L5 3μH
- L2, L4 30μH
- L3 9,6μH

- L6, L7, L8, L9 1 μ H
- C1, C5 30nF(33nF)
- C2, C4 3nF(3,3nF)
- C3, C6, C7 10nF
- C8 10pF
- C9 1nF
- C10 22pF
- C11 27pF
- C12 3,9pF
- C13 150pF
- C14 33pF

Deska plošných spojů byla navržena v systému Eagle 4.16r2 (Obr. 11). Při ověřování funkčnosti došlo k několika úpravám a změnám v zapojení, z důvodu odstranění některých nedostatků a následnému ladění a oživení obvodu. Výsledné osazení je pak na Obr. 12.



Obr. 11: Deska plošných spojů



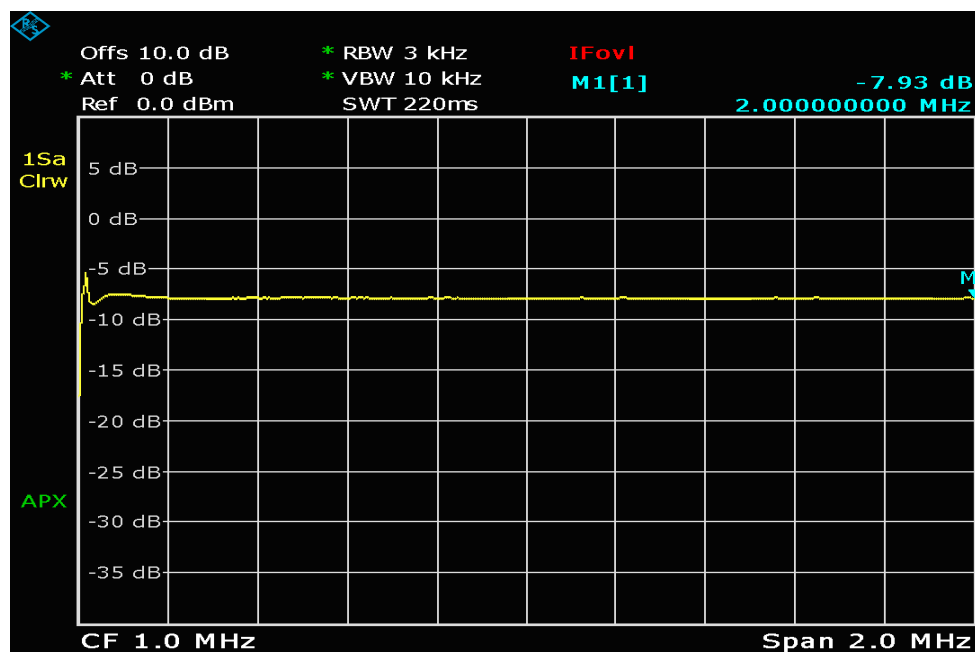
Obr. 12: Osazení desky plošných spojů

9 ANALÝZA VLASTNOSTÍ OBVODU

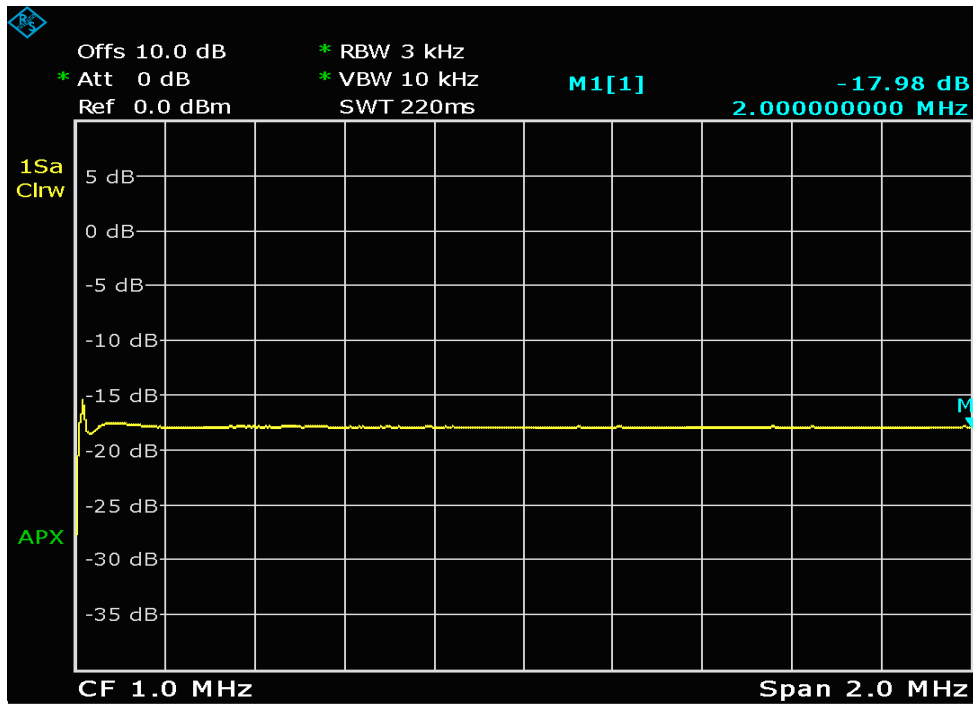
Vstupní a výstupní obvody

Charakteristiky obvodu byly zobrazeny na spektrálním analyzátoru. Na obrázcích 13 až 18 jsou zobrazeny průběhy všech důležitých částí obvodu. Průběhy odpovídají předpokladům.

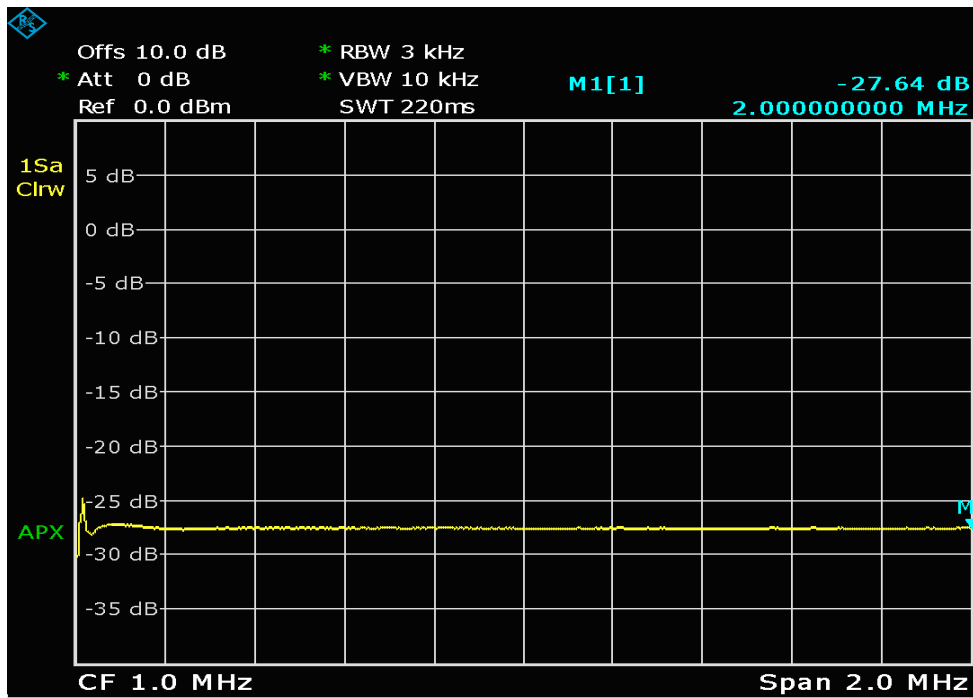
Útlum použitých atenuátorů:



Obr. 13: Útlum atenuátoru 10dB.



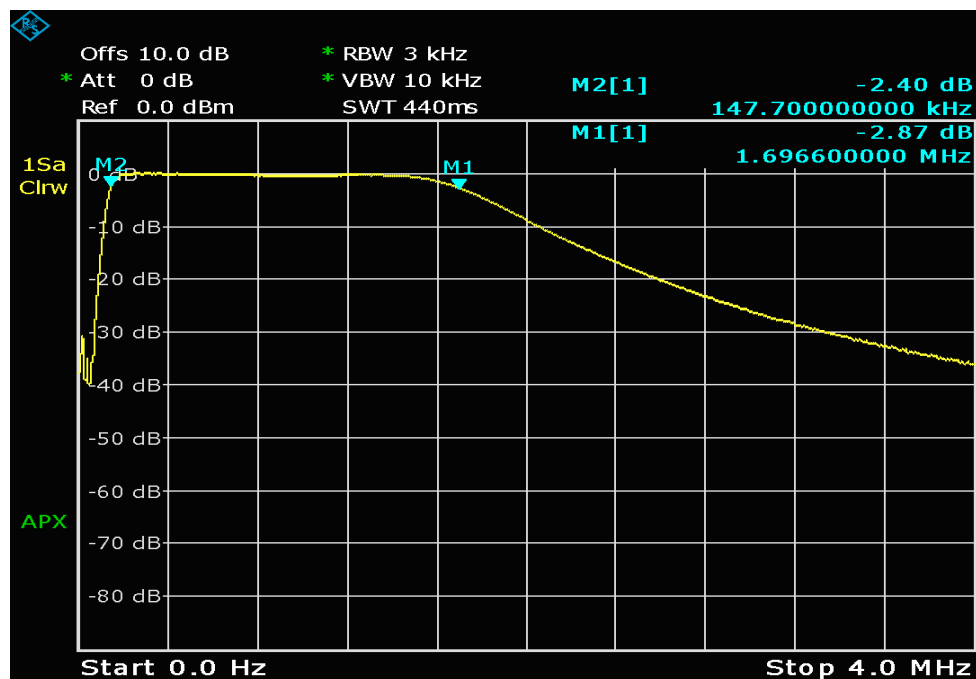
Obr. 14: Útlum atenuátoru 20dB.



Obr. 15: Útlum atenuátoru 30dB.

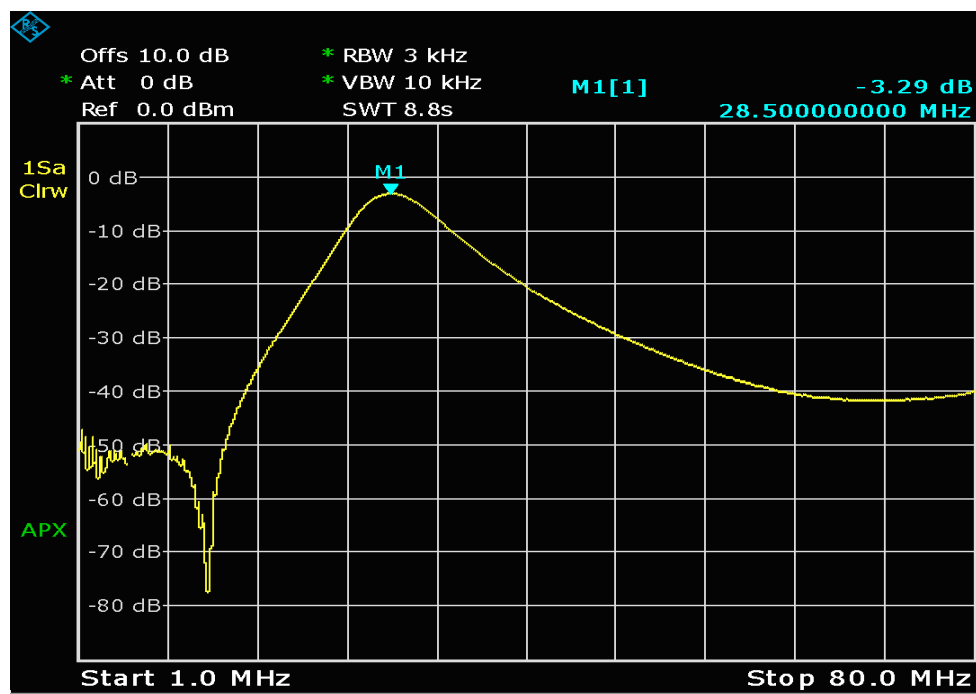
Útlum zvolených článků nedosahuje přesných hodnot, to však na měření nemá vliv.

Vstupní pásmová propust:



Obr. 16: Vstupní pásmová propust. Markery vyznačují, kde dochází k poklesu k hranici 3dB.

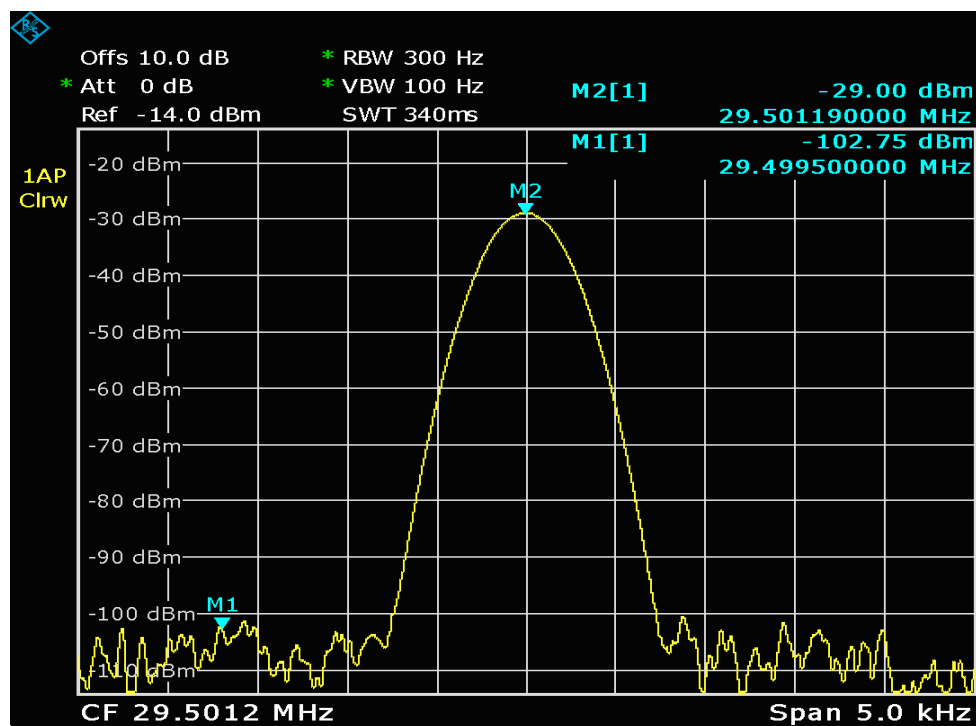
Výstupní pásmová propust:



Obr. 17: Výstupní filtr osciluje na frekvenci 28,5MHz.

Oscilátorový obvod

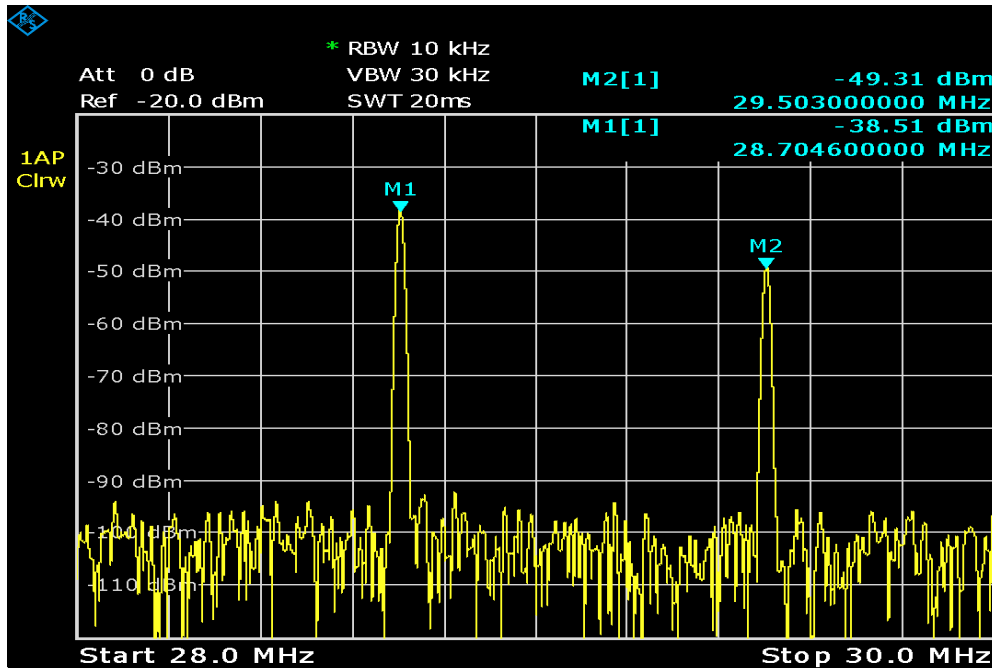
Krystalový oscilátor generuje nosnou pro směšování. Na výstupu se podle zvolené úrovně vstupního signálu objeví jedna nebo více harmonických složek signálu. Hlavní nosná je na obr. 18.



Obr. 18: Nosná krystalového oscilátoru leží na frekvenci 29,5MHz.

Výstup konvertoru

Výsledným produktem dané realizace je signál o mezifrekvenčním kmitočtu (viz kap. 4 a 5). Hlavní nosná nebyla na výstupu potlačena. Toho bychom dosáhli kvalitnějším, vysoce úzkopásmovým filtrem na výstupu, ten je však obtížně realizovatelný. Při zvyšování útlumu se kvalita užitečného signálu značně zhoršuje, výstupní filtr nás omezuje i v tomto ohledu. S jeho vyšší kvalitou by bylo možné dosáhnout lepších výsledků, tato jednodušší konstrukce však ukazuje, jak by měl konvertor fungovat:



Date: 22.MAY.2009 14:23:41

Obr. 19: Mezifrekvenční produkt směšování při přijímané frekvenci 800kHz.

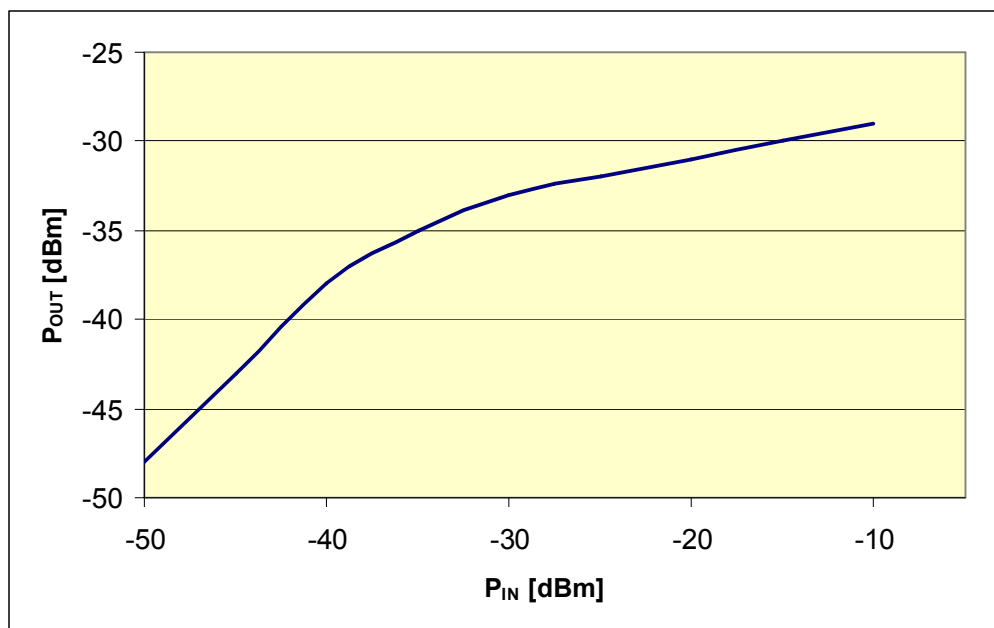
Závislost naměřených úrovní vstupního a výstupního signálu

Při zvyšování úrovně signálu na vstupu dosahuje výstupní signál větší úrovně a lze ho tak lépe rozeznat mezi šumem. Na určité hladině vstupu se však začnou objevovat ve výstupním signálu také signály dalších směšovacích produktů a ty jsou naopak nežádoucí. Proto se nadměrným buzením už nezvyšuje kvalita. Nejvýznamnějšími produkty směšování jsou tzv. produkty 2. a 3. řádu. Jedná se o produkty vzniklé kombinacemi vyšších harmonických, např. $f_n \pm 2f_s$. Závislost výstupního výkonu signálu na vstupním ukazuje graf 1. Křivka má zpočátku prakticky lineární průběh, poté se zalamuje a strmost se snižuje. Pokud bychom v počáteční křivce pokračovali lineárně a totéž provedli s křivkou směšovacího produktu 3. řádu, dostali bychom bod spojující obě přímky, tzv. bod střetu. Udává úroveň, při které

harmonická 3.řádu dosáhne úrovně základní harmonické. Odstup jednoho z produktů 3.řádu je uveden v Tab. 3. Z hodnot úrovní výkonů také vidíme, že přibližně do -35dBm (stejná úroveň u obou signálů) obvod zesiluje, zesílení A_U je přibližně 2dB.

P_{in} [dBm]	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10
P_{out} [dBm]	-48	-43	-38	-35	-33	-32	-31	-30	-29
odstup směšovacího produktu 3.řádu [dB]	-42	-37	-30	-25	-26	-29	-26	-20	-15

Tab. 3: Naměřené hodnoty výkonu signálů vstupu a výstupních produktů.



Graf 1: Závislost výstupního výkonu užitečného signálu na vstupní úrovni signálu.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je konkrétním návrhem zadaného konvertoru, požadujícím frekvenci výstupního signálu 28MHz. V každé kapitole lze nalézt stručný rozbor jednotlivé části obvodu, který přibližuje vlastnosti a použití vhodných prvků a má navést i na jiné možné způsoby řešení vstupních obvodů přijímačů. Dále jsou v ní uvedeny výpočty a podklady pro výběr součástek konvertoru středních vln pro krátkovlnný přijímač a také jejich funkce v obvodu.

Konverze je prováděna ve směšovači (kap. 4), který si můžeme sami navrhnout (viz Obr. 5 a dále [1]), je to však dnes běžná součástka, proto jsem použila již hotový směšovač. Při výběru je třeba dbát na rozsahy parametrů pro použití, zejména frekvencí. Výstupní frekvenci nám určí kmitočet krystalového oscilátoru (kap. 5). Další součásti přijímače jsou variabilnější a závisí na tom, jak velké požadavky klademe na kvalitu výstupního signálu. Čím větší potlačení šumu a nežádoucích produktů směšování požadujeme, tím kvalitnější filtry bychom měli použít. V praxi jsme však omezeni dostupností a realizací vhodných součástek, proto výsledek neodpovídá ideálním průběhům a na výstupu lze pak rozeznat i vedlejší směšovací produkty. Další součástí vstupní části mající rovněž vliv na selektivitu a kvalitu signálu je zesilovač, jehož výběr se omezuje na vhodný tranzistor. U něj nám při orientaci v široké škále použití pomohou právě vlastnosti a rozdělení tranzistorů (kap. 7). Přídavné kondenzátory a rezistory pak slouží k větší stabilitě. Celkové zapojení a umístění součástek je rozebráno v kap. 8, která obsahuje navíc stručný návod k výrobě cívek požadovaných indukčností.

Obvod je následně realizován a laděn na požadované průběhy. Naměřené charakteristiky a výstupy jsou patrné na obrázcích ze spektrálního analyzátoru. Charakteristiky odpovídají předpokladům, vstupní filtr se jeví jako vcelku kvalitní. K určitému zhoršení došlo u výstupního filtru vlivem menší přesnosti reálných hodnot součástek a tím pádem o něco nižší selektivity. Menší odchylky útlumu atenuátorů nejsou na závadu, avšak zapojení velkého útlumu příliš potlačuje užitečný signál a projevuje se značně šum, útlum je tedy vhodný pouze pro velmi vysoké úrovně signálů, bez zapojených atenuátorů se chová obvod optimálně.

LITERATURA

- [1] DOBEŠ, J., ŽALUD, V., *Moderní radiotechnika*. BEN – technická literatura, Praha 2006. ISBN 80-7300-132-2.
- [2] MATUSZCZYK, J. *Antény prakticky*. BEN - technická literatura. Praha, 2002.
- [3] Linhart R., osobní stránka. [cit. 3. ledna 2008].
Dostupná na www: <home.zcu.cz/~rlinhart/radioind.php?page=rad_vlny>.
- [4] Wikipedia, internetová encyklopedie [cit. 3. ledna 2008]. Dostupná na www: <cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_spektrum>.
- [5] Wikipedia, [cit. 3. ledna 2008]. Dostupná na www: <cs.wikipedia.org/wiki/Anténa>.
- [6] Ok1like, web pro radioamatéry. 2007 [cit. 3. ledna 2008].
Dostupný na www: <ok1like.nagano.cz/rs2/clanky/bastleni/1rx.htm>.
- [7] radioTV, web společnosti LIMEMEDIA, a.s. 2005 [cit. 3. ledna 2008].
Dostupný na www: <www.radiotv.cz/radio-clanky/tisk/3140/prijimaci-anteny-pro-rozhlaz-a-televizi.html>.
- [8] Ken Nist, MSEE (ret). 2008 [cit. 3. ledna 2008].
Dostupný na www: <www.hdtvprimer.com/ANTENNAS/basics.html>.
- [9] PROKEŠ, A., *Rádiové přijímače a vysílače*. Skriptum FEKT VUT, Brno.
- [10] Tutoriál RFIC Technologies. [cit. 3. ledna 2008]. Dostupný na www: <www.rficdesign.com/links/attenuator.htm>.
- [11] Tutoriál od www.rfic.co.uk [online]. [cit. 3. ledna 2008]. Dostupný na www: <www.odyssey.nildram.co.uk/RFMicrowave_Circuits_Files/Attenuator.pdf>.
- [12] Sortiment nabídky firmy Philips. [cit. 3. ledna 2008]. Dostupný na www: <www.chipcatalog.com/Philips/SA612A.htm>.
- [13] Katalog firmy GM Electronic [online]. [cit. 3. ledna 2008]. Dostupný na www: <www.gme.cz/cz/index.php?page=product&detail=131-202>
- [14] Atenuátory na electronics-tutorials.com [online]. 2000 [cit. 3. ledna 2008].
Dostupné na www: <www.electronics-tutorials.com/basics/attenuators.htm>
- [15] DAVÍDEK, V., LAIPERT, M., VLČEK, M., *Analogové a číslicové filtry*. Skriptum ČVUT, Praha 2004.
- [16] National Radio Astronomy Observatory, www.nrao.edu [online]. 2000 [cit. 3. ledna 2008]. Dostupné na www: <www.nrao.edu/index.php/learn/radioastronomy/radiocommunication>.
- [17] <http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/x38smp/SMP10_WinRadio.pdf> [cit.26.května 2009].

Seznam zkratk

SV... střední vlny

KV ... krátké vlny

NDP... normovaná dolní propust

L, C... indukčnost, kapacita

FET... field-effect transistor

MOSFET... metal oxide semiconductor field effect transistor

JFET... junction field-effect tranzistor