



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

EXPERIMENTÁLNÍ SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH TYPŮ KOMERČNĚ DOSTUPNÝCH INTEGROVANÝCH FM PŘIJÍMAČŮ

EXPERIMENTAL COMPARISON OF SELECTED COMMERCIALY AVAILABLE INTEGRATED FM
RECEIVERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR KAŠPAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROMAN ŠOTNER, Ph.D.

BRNO 2013

ABSTRAKT

FM přijímač slouží k zachycení a zpracování signálů z rádiových vysílačů v pásmu VKV a reprodukci namodulované informace.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním vlastností komerčně dostupných integrovaných přijímačů. Nejdůležitější parametry budou proměřeny na testovacích deskách vybraných přijímačů a následně porovnány s hodnotami z katalogového listu pro jednotlivé obvody a vyhodnocen nejvhodnější obvod.

KLÍČOVÁ SLOVA

FM přijímač, parametry přijímače, integrovaný přijímač.

ABSTRACT

FM receivers are used for capturing signal emitted by radio transmitters with a very short wavelength and further processing.

This bachelor's thesis deals with the comparison of commercially available integrated receivers. The most important parameters will be measured on the printed circuit boards of the selected solutions. Afterwards, obtained values will be compared to the datasheet parameters and selected and evaluated the best integrated receiver.

KEYWORDS

FM receiver, receiver parameters, integrated receiver

KAŠPAR, P. *Experimentální srovnání vlastností vybraných typů komerčně dostupných integrovaných FM přijímačů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Roman Šotner, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Experimentální srovnání vlastností vybraných typů komerčně dostupných integrovaných FM přijímačů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1 Koncepce a parametry rádiových přijímačů	2
1.1 Rozdělení rádiových přijímačů	2
1.1.1 Přijímače s analogovým zpracováním signálů.....	2
1.1.2 Přijímače s analogově číslicovým zpracováním signálu	4
1.2 Základní parametry rádiových přijímačů.....	7
1.2.1 Šumové charakteristiky.....	7
1.2.2 Citlivost přijímače.....	8
1.2.3 Selektivita přijímače	8
1.2.4 Dynamický rozsah	9
2 Vybrané typy integrovaných rádiových přijímačů a jejich realizace	11
2.1 Integrovaný obvod TDA7000.....	11
2.1.1 Obvodová realizace.....	11
2.1.2 Vstupní rezonanční obvod	13
2.1.3 Ladění přijímače	13
2.2 Integrovaný obvod TDA7021T	14
2.2.1 Obvodová realizace.....	14
2.2.2 Vstupní rezonanční obvod	16
2.2.3 Ladění přijímače	16
2.3 Integrovaný obvod TDA7088T	17
2.3.1 Obvodová realizace.....	17
2.3.2 Vstupní rezonanční obvod	19
2.3.3 Ladění přijímače	20
3 Měření parametrů FM přijímače	21
3.1 Měření citlivosti pro poměr S/N.....	21
3.2 Měření šířky pásma a odchylky kmitočtu od nosné	22
3.3 Měření harmonického zkreslení.....	23

3.4	Shrnutí naměřených hodnot a porovnání s hodnotami od výrobce	24
4	Závěr	26
	Literatura	27
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	28
	Příloha A: Osazovací plány	30
	Příloha B: Desky plošných spojů	31
	Příloha C: Seznam součástek	32
	Seznam součástek TDA7000:	32
	Seznam součástek TDA7021T:	32
	Seznam součástek TDA7088T:	33
	Příloha D: Fotografie	34

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Blokové schéma přímozesilujícího přijímače	2
Obr. 1.2	Blokové schéma nepřímozesilujícího přijímače	3
Obr. 1.3	Blokové schéma přijímače typu homodyn.....	4
Obr. 1.4	Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – homodyn	5
Obr. 1.5	Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – superheterodyn ..	6
Obr. 1.6	Přijímač s číslicovým zpracováním na mezifrekvenčním kmitočtu	6
Obr. 1.7	Přijímač s číslicovým zpracováním na kmitočtu vstupního signálu	7
Obr. 1.8	Bílý šum [11]	7
Obr. 1.9	Křivka jednosignálové selektivity přijímače [1].....	9
Obr. 1.10	Intermodulační produkty [3].....	9
Obr. 1.11	Určení dynamického rozsahu reálného přijímače [1]	10
Obr. 2.1	Schéma zapojení obvodu TDA7000	12
Obr. 2.2	Vstupní rezonanční obvod pro TDA7000.....	13
Obr. 2.3	Přeladování obvodu TDA7000.....	14
Obr. 2.4	Schéma obvodu TDA7021T	15
Obr. 2.5	Vstupní rezonanční obvod pro TDA7021T	16
Obr. 2.6	Přeladování obvodu TDA7021T	17
Obr. 2.7	Schéma zapojení obvodu TDA7088T.....	18
Obr. 2.8	Vstupní rezonanční obvod pro TDA7088T	19
Obr. 2.9	Přeladování obvodu TDA7088T	20
Obr. 3.1	Blokové schéma zapojení pracoviště s RSM	21
Obr. 3.2	Blokové schéma měření citlivosti pro odstup S/N.....	22
Obr. 0.1	Osazená deska obvodu TDA7000.....	30
Obr. 0.2	Osazená deska obvodu TDA7021T	30
Obr. 0.3	Osazená deska obvodu TDA7088T	30
Obr. 0.1	Deska plošného spoje obvodu TDA7000	31
Obr. 0.2	Deska plošného spoje obvodu TDA7021T	31
Obr. 0.3	Deska plošného spoje obvodu TDA7088T	31

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1	Naměřené hodnoty S/N a odstupu signál-šum přijímačů	22
Tab. 3.2	Naměřená šířka pásma a odchylka kmitočtu od nosné	23
Tab. 3.3	Naměřené hodnoty harmonického zkreslení přijímačů	23
Tab. 3.4	Celkové srovnání naměřených hodnot s hodnotami od výrobce	24

ÚVOD

Pod pojmem integrovaný FM přijímač si lze představit miniaturní zařízení, kde hlavní bloky systému jsou plně integrovány. S použitím několika málo externích pasivních prvků, lze sestavit funkční celek, schopný zpracovávat signály rádiových kmitočtů a následně je přeměnit v audio signál.

Vývoj z oblasti elektromagnetického pole je provázán s vývojem radiokomunikačních prostředků. Rádiový přenos přes oceán byl uskutečněn Marconim v roce 1901. Významným krokem v této oblasti byl objev vakuové diody v roce 1904 a po dvou letech objev zesilovací triody. V roce 1913 byl objeven anodový modulátor pro amplitudovou modulaci. Díky těmto obvodům bylo v USA roku 1920 zahájeno první veřejné rozhlasové vysílání. Realizace tranzistoru v poválečných letech znamenala velký posun v elektronice a následně umožnila nástup monolitických integrovaných obvodů. Základ radiokomunikačních systémů tvoří v současnosti rádiové přijímače a vysílače. Jednou z forem radiokomunikačních systémů jsou pozemní i družicové rozhlasové i televizní služby [12]. Systémy rozhlasového vysílání, které využívají analogové modulace, jsou nahrazovány digitálními systémy DAB (Digital Audio Broadcasting - digitální rozhlasová technologie pro plošné vysílání rozhlasových stanic). DAB systémy umožňují více stanic na jedné vlnové délce spektra [1].

Kmitočtové pásmo velmi krátkých vln zahrnuje frekvence od 30 do 300 MHz. Na těchto vlnách se vysílá frekvenčně modulované rozhlasové vysílání a některé televizní kanály, které však dnes již plně nahrazuje vysílání standardu DVB-T. Velmi krátké vlny se šíří především vlnou přímou, dochází sice k částečnému ohybu kolem zemského povrchu, ale dosah za horizont není veliký. Zvýšení dosahu je možné za mimořádných podmínek, kdy dochází k odrazu od ionosféry. To platí pro kmitočty z dolního konce pásma.

Bakalářská práce je členěna do 4 kapitol. V první kapitole se zabývá koncepcí rádiových přijímačů s analogovým a číslicovým zpracováním signálu, i základními parametry přijímačů. Následuje návrh a popis částí vybraných typů integrovaných přijímačů. Třetí část je sestavena z parametrů pro měření testovacích desek, jejich následné výsledky a porovnání s katalogovými hodnotami vybraných typů přijímačů. Zhodnocení práce je uvedeno ve čtvrté kapitole.

1 KONCEPCE A PARAMETRY RÁDIOVÝCH PŘIJÍMAČŮ

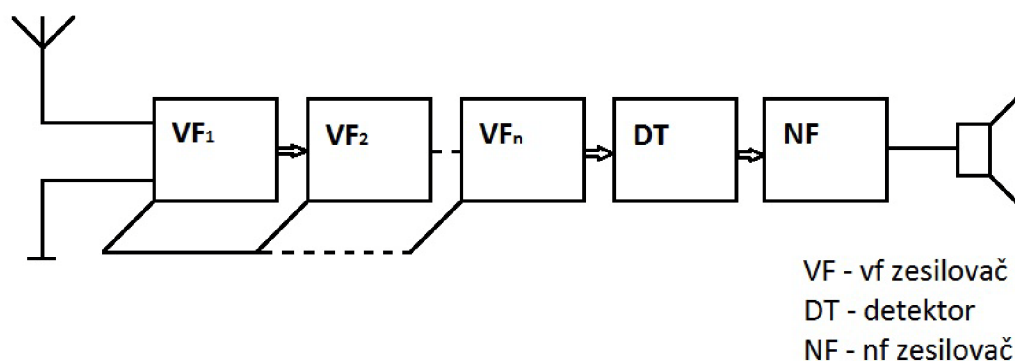
1.1 Rozdělení rádiových přijímačů

1.1.1 Přijímače s analogovým zpracováním signálů

Přijímače zařazené do této kategorie jsou především určeny pro příjem a zpracování analogově modulovaných signálů tj. modulovaných amplitudově (AM), frekvenčně (FM) a fázově (PM). Lze je použít i pro některé základní číslicové modulační metody po minimální úpravě jako je například FSK (Frequency Shift Keying), ASK (Amplitude Shift Keying) apod [1].

Přijímače s přímým zesílením

Přijímače s přímým zesílením (přímozesilující) se používají na AM signály a mohou být realizovány několika způsoby. Jeden ze způsobů realizace je na obr. 1.1 [8].



Obr. 1.1 Blokové schéma přímozesilujícího přijímače

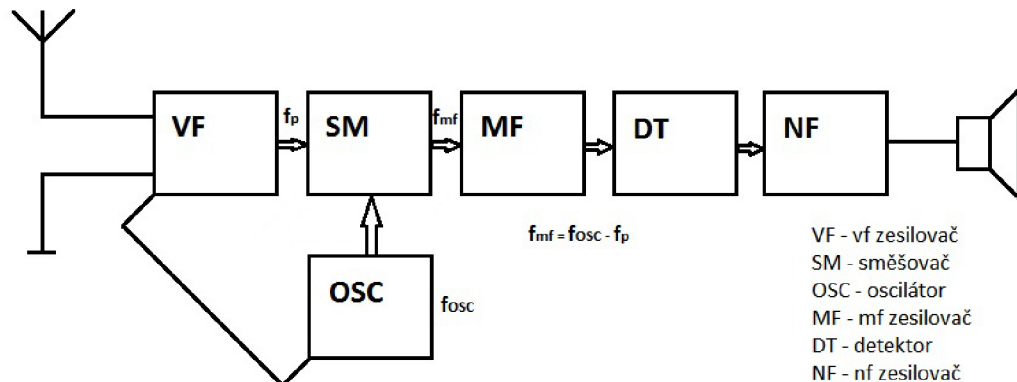
Na vstupu přijímače jsou všechny signály z éteru. Laděný *vf* zesilovač pomocí selektivního obvodu vybere požadovaný signál o frekvenci nosné f_p a ten zesílí, ostatní potlačí. V detektoru se odstraní *vf* složka přijatého signálu, *nf* složka se zesílí v *nf* zesilovači a pokračuje na výstup (do reproduktoru).

Nevýhodou tohoto řešení je především malá selektivita (pro její zvětšení se musí použít vícestupňový *vf* zesilovač a zajistit synchronní přeladování všech laděných *vf* stupňů), ale také při kapacitním ladění paralelního rezonančního obvodu se mění šířka pásma tohoto obvodu s frekvencí. Jako výhodou, můžeme uvést jednoduché konstrukční řešení [8] [10].

Superheterodyn

Přijímače s nepřímým zesílením (nepřímozesilující) - tzv. superheterodyny = superhety odstraňují většinu nedostatků přímozesilujících přijímačů. Jeho podstata spočívá v tom, že nosnou frekvenci každé přijímané stanice po zachycení ve vstupním obvodu a případném zesílení ve *vf* zesilovači lze přeměnit na jinou, pro všechny

přijímané stanice stejnou mezifrekvencí [8]. Typické zapojení superhetu zachycuje obr. 1.2.



Obr. 1.2 Blokové schéma nepřímозesilujícího přijímače

Přeladovaný vstupní vysokofrekvenční obvod vybere z množství signálů zachycených anténou požadovanou stanici s nosnou frekvencí f_p . Po případném zesílení ve *vf* zesilovači postupuje signál f_p do směšovače, kde se signál f_p smísí se signálem z oscilátoru f_{osc} . Směšovač produkuje z přijímaného kmitočtu a kmitočtu oscilátoru součtový a rozdílový kmitočet $f_+ = f_p + f_{osc}$, $f_- = f_p - f_{osc}$. Abychom při příjmu libovolné stanice s nosnou frekvencí f_p dostali vždy na výstupu směšovače signál s konstantní frekvencí f_{mf} , musíme zabezpečit, aby oscilátor pracoval na frekvenci o mezifrekvenci vyšší, tj. $f_{osc} = f_p + f_{mf}$ (příklad: stanice vysílá na $f_p = 100$ MHz, mezifrekvence je u FM stanic $f_{mf} = 10,7$ MHz, oscilátor tedy musí kmitat na frekvenci $f_{osc} = f_p + f_{mf} = 100 + 10,7 = 110,7$ MHz). Tohoto požadavku dosáhneme laděním vstupního *vf* obvodu a oscilátoru.

Za směšovačem následuje mezifrekvenční zesilovač, který zesílí mezifrekvenční signál. Ten je konstruován pouze pro jednu frekvenci f_{mf} , na niž je pevně naladěný, což umožňuje skutečnost, že mezifrekvence je stálá (neměnná). Přestože při směšování vzniká kromě rozdílové frekvence ještě řada dalších, nemají na zpracování žádoucího signálu rozdílové frekvence žádný vliv. Mezifrekvenční zesilovač fixně laděný na nejnižší frekvenci produktů směšování je dostatečně selektivní na to, aby nepropustil ostatní, nežádoucí frekvence. Základním úkolem *mf* zesilovače je tedy zesílit výstupní napětí směšovače až na hodnotu odpovídající optimální funkci detektoru a vybrat užitečnou mezifrekvenci ze všech možných signálů na výstupu měniče frekvence (směšovače), tj. musí mít velmi dobrou selektivitu.

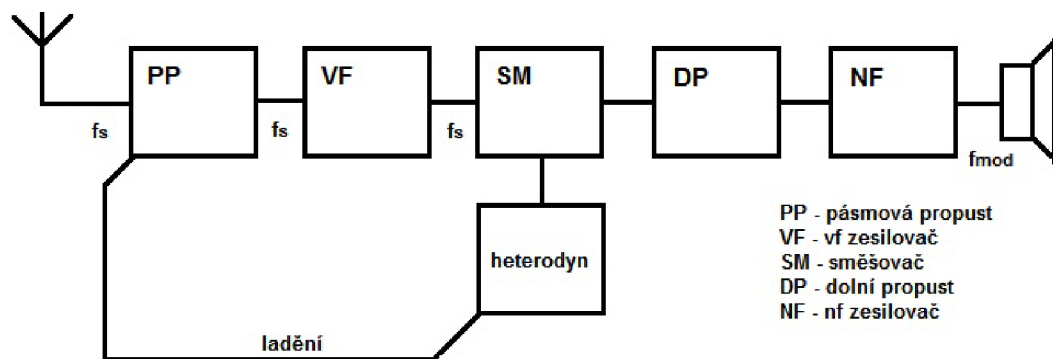
Z *mf* zesilovače pokračuje signál do detektoru, kde se odstraní *vf* složka přijatého signálu a získá se namodulovaná informace, *nf* složka se zesílí v *nf* zesilovači a odchází na výstup (do reproduktoru).

Uvedený princip superhetu lze použít jak pro příjem FM signálů, tak pro příjem AM signálů. V případě, že přijímač je konstruován pro příjem AM i FM signálů je nutné všechny bloky zdvojit, kromě *nf* zesilovače, a to zvlášť pro AM signály a zvlášť pro FM signály.

Výhodami tohoto řešení jsou velká citlivost, konstantní vysoká selektivita, stabilní zesílení i ladění, jednoduché ladění, možnost miniaturizace[8].

Homodyn

Vznikl na základě modifikace superheterodynního přijímače, která spočívala v použití kmitočtu oscilátoru f_{osc} totožného s kmitočtem přijímaného signálu f_s . V takovém případě je mezifrekvence $f_{mf} = f_{osc} - f_s = 0$. Signál za směšovačem je tedy situován do základního pásma. Homodynní přijímač je pak poměrně jednoduchý, neboť místo mezifrekvenčního zesilovače a demodulátoru používá pouze dolní propust. Jeho další výhodou je i to, že zrcadlový kmitočet f_z je shodný se vstupním kmitočtem f_s , takže zde nevzniká problém s příjmem signálů na zrcadlových kmitočtech (signál odpovídající této frekvenci je rušivý, který je třeba v přijímači odstranit, aby se nepřekrýval s jinými přijímanými signály) [12]. Realizace této koncepce je však technicky náročná. Především je nutné značnou část výkonového zesílení přijímače realizovat v jeho podetekční nízkofrekvenční části. Tato část musí současně zajistit i celou blízkou kmitočtovou selektivitu přijímače, tj. potlačení signálů ležících v blízkém okolí přijímaného signálu. Kromě toho směšování na nulovou mezifrekvenci zde vlastně představuje synchronní demodulaci AM, která vyžaduje, aby heterodynní signál byl v dokonalé kmitočtové i fázové koherenci se vstupním signálem [1]. Obvyklé zapojení je patrné z obr. 1.3.



Obr. 1.3 Blokové schéma přijímače typu homodyn

Přijímač s dvojitým směšováním

Provádí dvojitou kmitočtovou konverzi. Nejprve na kmitočet vzdálený od přijímaného (často i vyšší než je přijímaný), zrcadlový kmitočet je vzdálený a lze jej snadno potlačit. Následuje konverze na nízkou mezifrekvenci, proto je možnost snadné realizace kvalitního mezifrekvenčního filtru. Odstraňuje nevýhodu superheterodynu se zrcadlovými kmitočty.

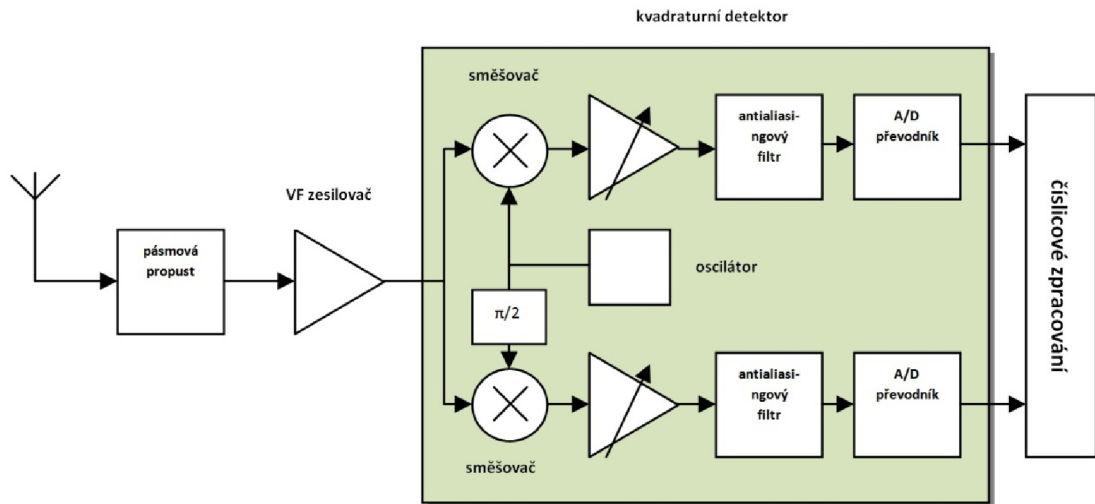
1.1.2 Přijímače s analogově číslicovým zpracováním signálu

U přijímačů v této kategorii se na určité úrovni provádí konverze z analogové do číslicové oblasti pomocí A/D převodníku, kde následně probíhá číslicové zpracování signálu. Přijímače tohoto typu mohou zpracovávat signály jak analogově tak číslicově. Jejich specifikací je použití kvadraturního demodulátoru (I/Q demodulátoru, kvadraturního detektoru), který rozděluje signál do dvou větví, přímé I a kvadraturní Q . Umožňuje demodulaci DSB (Double Side Band) a SSB (Single Side Band), jelikož

dokáže rozlišit horní a dolní postranní pásmo [1].

Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – homodyn

Přijímač tohoto typu (obr. 1.4) stejně jako všechny dále zmíněné přijímače vycházejí ze svého analogového protějšku.

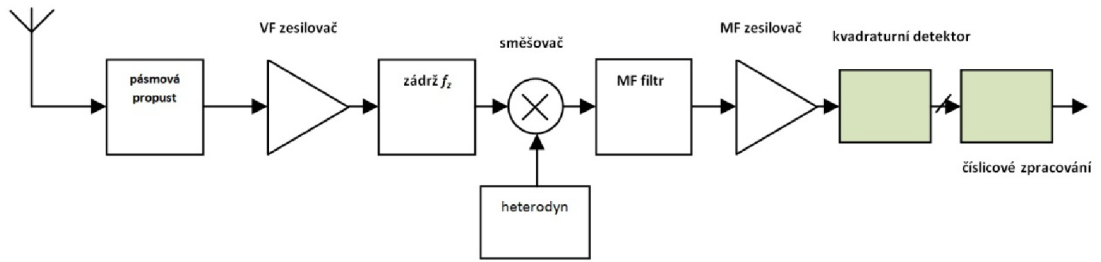


Obr. 1.4 Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – homodyn

V pásmu $f_{smin} - f_{smax}$ v případě příjmu několika kanálů je toto pásmo vyčleněno pásmovou propustí. VF zesilovač zajistí dostatečnou úroveň signálu pro kvadrurní detektor. Kvadrurní detektor provádí přímou konverzi vstupních kmitočtů do základního pásma. Pro využití celého rozsahu A/D převodníku jsou zařazeny řízené zesilovače. Antialiasingové filtry odfiltrují součtový směšovací produkt a omezí šířku pásma na potřebnou hodnotu. Následuje číslicové zpracování signálu. K decimaci vzorků dochází po přizpůsobené filtraci (přizpůsobený filtr potlačuje vliv rušivého signálu na užitečný signál). Jednoduché zapojení, nízký kmitočet na vstupu A/D převodníků, odstranění problému se zrcadlovými kmitočty a snadná integrace, to vše jsou výhody homodynu. Naopak nevýhodou tohoto řešení je nutnost velkého zesílení v základním pásmu, současně s požadavkem přenosu nízkých kmitočtů a případech některých modulací přináší problém s odstraněním offsetu (DC napětí) stejnosměrně vázaných zesilovačů [1].

Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – superheterodyn

Superheterodyn na rozdíl od homodynu používá dva nebo více mezifrekvenčních stupňů ke konverzi vysokofrekvenčního signálu do základního pásma. Na obr. 1.5 je tato koncepce znázorněna.

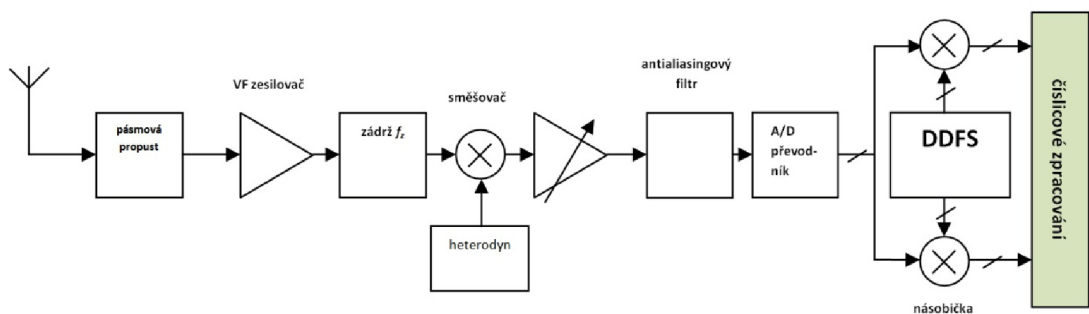


Obr. 1.5 Přijímač s číslicovým zpracováním v základním pásmu – superheterodyn

Pásmová propust plní stejnou funkci jako u zapojení typu homodyn. Potlačení zrcadlových kmitočtů je hlavní problém superhetů. Je řešen díky pevně danému rozsahu vstupních kmitočtů i kmitočtu heterodynu pomocí pásmové zádrže. Kvadrurní detektor je shodný s detektorem v homodynu. Funkční bloky kvadrurního detektoru jsou zachyceny na obr. 1.4. Realizačně i finančně je superheterodyn náročnější než homodyn. Jeho předností je odolnost proti nežádoucím kmitočtům především proti vyzařování místního oscilátoru (hlavní problém homodynu). Do základního pásma není soustředěn tak velký zisk, a proto stejnosměrný ofset působí menší problémy. Přijímač je odolnější proti šumu $1/f$ i proti nelinearitám druhého řádu [1].

Přijímač s číslicovým zpracováním na mezifrekvenčním kmitočtu

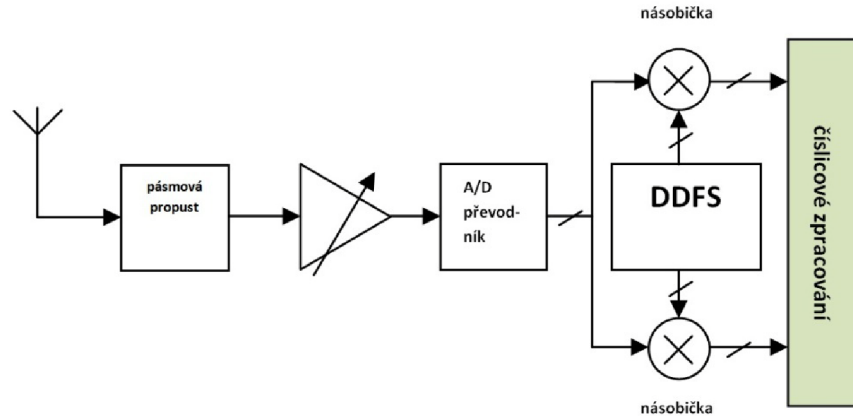
Poměr prováděných operací v analogové a číslicové oblasti je pro tento typ přijímače vyvážený. Po digitalizaci je signál převeden do základního pásma pomocí kvadrurního DDFS (Direct Digital Frequency Synthesizer). V bloku číslicového zpracování je nutné provést decimaci vzorků, jelikož vzorkovací kmitočet signálu na mezifrekvenčním kmitočtu je vyšší než modulační rychlost datového signálu. Vzorkovací kmitočet může být zvolen podle toho, jestli je výstupní signál mezifrekvenčního filtru chápán jako úzkopásmový nebo kmitočtově omezený (viz. obr. 1.6). Následně před převodníkem je nutno zvolit charakter antialiasingového filtru. Nevýhodou je nutnost použít A/D převodník pracující se značně vysokými kmitočty. Realizace kvadrurního detektoru číslicovou formou je zcela jistě výhodou tohoto řešení [1].



Obr. 1.6 Přijímač s číslicovým zpracováním na mezifrekvenčním kmitočtu

Přijímač s číslicovým zpracováním na kmitočtu vstupního signálu

Tento typ přijímače se označuje také jako softwarové rádio. Vstupní analogový signál je soustředěn a zpracován pásmovou propustí, jejíž šířka pásma a střední kmitočet určují vzorkovací kmitočet A/D převodníku.



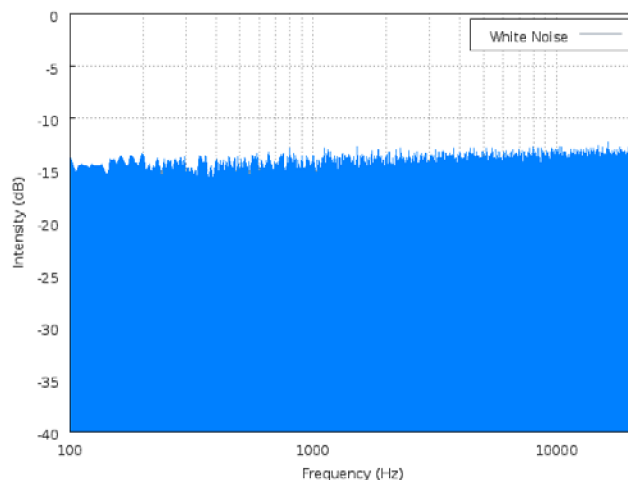
Obr. 1.7 Přijímač s číslicovým zpracováním na kmitočtu vstupního signálu

Metody číslicového zpracování signálů patří bezesporu mezi výhody tohoto konceptu řešení. Tradičně mezi nevýhody můžeme zařadit velké nároky na dynamiku a rychlost A/D převodníku [1].

1.2 Základní parametry rádiových přijímačů

1.2.1 Šumové charakteristiky

Tepelný šum: Má charakter bílého šumu (náhodný signál s rovnoměrnou spektrální hustotou tzv. signál má stejný výkon v jakémkoliv pásmu (obr. 1.8) shodné šířky), objevuje se ve všech fyzikálních tělesech obsahujících volné elektrony za tepelné podmínky $T > 0 \text{ K}$ [4].



Obr. 1.8 Bílý šum [11]

Nekonečný kmitočtový rozsah signálu bílého šumu je pouze teoretický, v praxi je šum označován jako „bílý“ pokud má ploché spektrum v definovaném rozsahu frekvencí.

Šumová šířka pásma: Pro její určení se nejdříve stanoví kmitočtová závislost výkonového přenosu dvojbranu. Přes tento dvojhran je šum dodáván do zátěže. Tato závislost se nahradí obdélníkem, kde výška se rovná maximu výkonového přenosu. Základna u obdélníka je hledaná šumová šířka pásma [4].

Výstřelový šum: Vyvolává ho proud tekoucí přechodem PN, jedná se o náhodný proces s Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti [4].

$$I^2 = 2qIB$$

kde $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ [C] je náboj elektronu,

I je stejnosměrný proud procházející PN přechodem,

B je šumová šířka pásma.

Při malém proudu I přes přechod PN, převažuje zde výstřelkový šum nad termickým.

Šumová teplota dvojbranu:

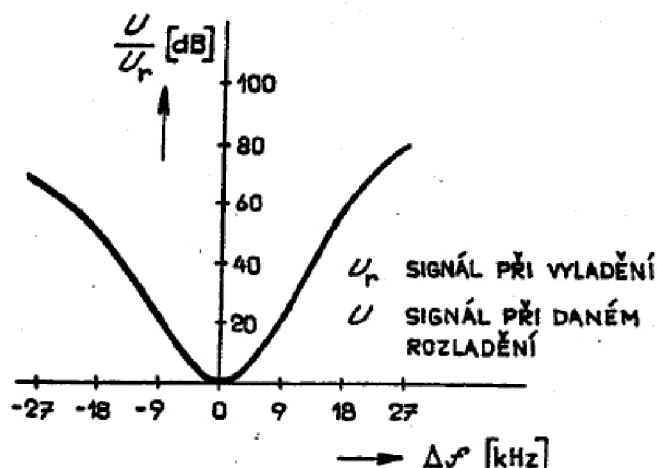
K určení šumové teploty budeme brát v úvahu buzení generátorem šumu. Jeho vnitřní impedance je přizpůsobena impedanci dvojbranu a šumovou teplotou Θ_g . Bez šumů by výkon šumů na výstupu dvojbranu byl $\bar{P} = k\Theta_g B_N A_P$, kde A_P je výkonový přenos. Reálný dvojhran pochopitelně obsahuje zdroje šumů, proto na jeho výstupu bude šumový výkon větší. Zohledníme to tím, že Θ_D a tedy pro výkon šumu na výstupu platí $\bar{P} = k(\Theta_g + \Theta_D) B_N A_P$, kde Θ_D je hledaná šumová teplota dvojbranu [1].

1.2.2 Citlivost přijímače

Patří mezi nejdůležitější parametry přijímače. Udává nám, jak slabé signály je schopen přijímač zachycovat. Maximální citlivost je udávána jako minimální úroveň vstupního signálu, který na výstupu přijímače vytvoří standardní výkon. Je definován buď prostou velikostí nízkofrekvenčního signálu (starší způsob) nebo poměrem užitečného signálu k nežádoucímu šumu (citlivost omezená šumem přijímače). AM signál se moduluje např. kmitočtem 400 Hz a hloubkou modulace $m = 30\%$. Pro úzkopásmovou FM se používá modulovaný kmitočet 1 kHz a zdvih $\Delta f = 3$ kHz. Maximální amplituda napětí modulačního průběhu odpovídá maximální změně kmitočtu nosné, kterou nazýváme frekvenční zdvih. Tomuto parametru se budu dále věnovat [1].

1.2.3 Selektivita přijímače

Je schopnost ze směsice několika signálů, které se nacházejí na jeho vstupu, vybrat jen ten žádaný a zbylé co nejvíce potlačit. Selektivita se vyjadřuje různými způsoby, z nichž nejprůhlednější je grafický způsob reprezentovaný křivkou selektivnosti (obr. 1.9). Pomocí jednoho signálu můžeme změřit tzv. jednosignálovou křivku selektivity, což je v podstatě závislost modulu přenosu napětí na kmitočtu naladění přijímače. Jednosignálové selektivitě se někdy říká selektivita pasivní [1].



Obr. 1.9 Křivka jednosignálové selektivity přijímače [1]

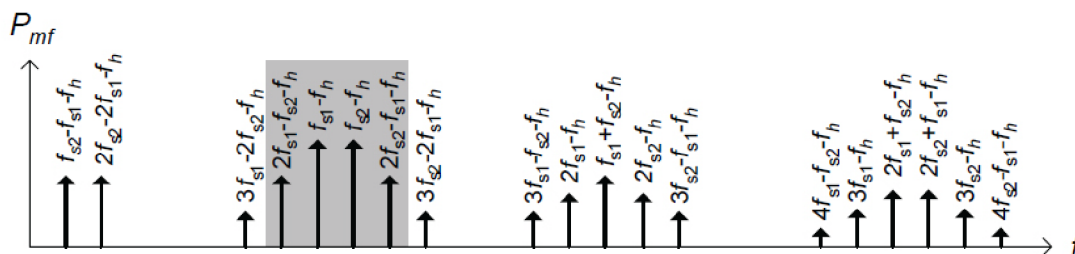
Selektivitu lze vyjádřit hodnotou

$$Se (dB) = 20 \log \frac{U}{U_r}, \tag{1.1}$$

kde U je napětí na okraji přenášeného pásma, U_r napětí při rezonanci

1.2.4 Dynamický rozsah

Nelineární vlastnosti dvojbranu vedou ke vzniku kombinačních kmitočtů (intermodulačních produktů – IM (Obr. 1.10)) $f = mf_1 + nf_2$, m a n jsou celá čísla [1].

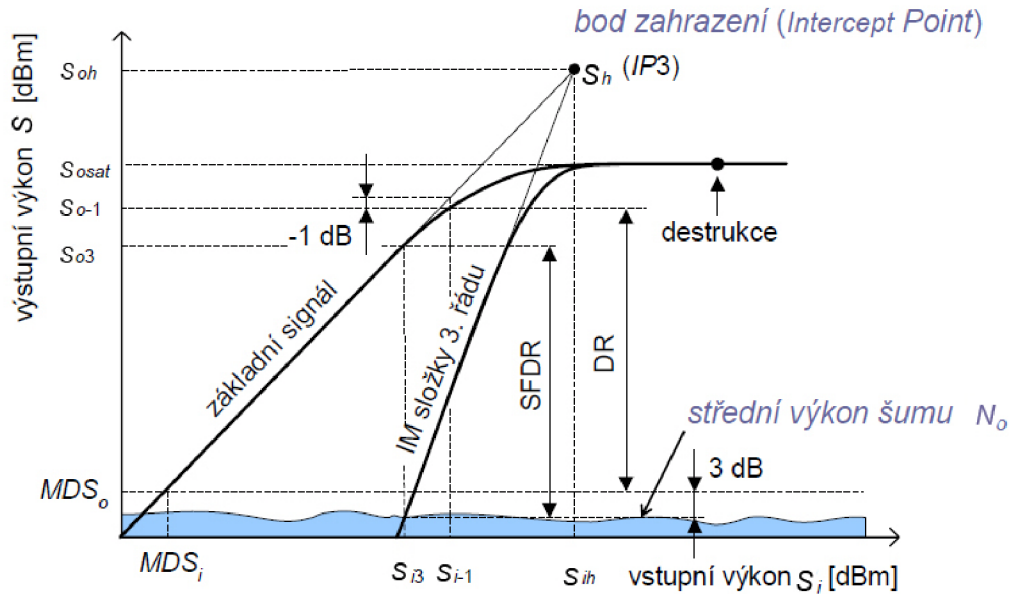


Obr. 1.10 Intermodulační produkty [3]

Řazení čísel m a n určuje vid IM produktu, Příklad: (2, -1).

Součet absolutních hodnot čísel m a n určuje řád IM produktu, Příklad: IM5

Závislost výstupní úrovně a jejich intermodulační produkty 3. řádu na velikosti vstupní úrovně je na obr. 1.11.



Obr. 1.11 Určení dynamického rozsahu reálného přijímače [1]

Dynamický rozsah (DR) je stanoven jako

$$DR[\text{dB}] = S_{o-1}[\text{dBm}] - MDS_0[\text{dBm}]. \quad (1.2)$$

S_{o-1} : skutečný výkon signálu na výstupu dvojbranu při kterém je odchylka od lineárního (ideálního) průběhu 1 dB [1]

MDS_0 – minimální detekovaný signál

S_{o_sat} – saturační úroveň výstupního výkonu

S_{oh} – úroveň v tomto bodě se nazývá bod zahrazení

Dynamický rozsah přijímače bez intermodulačního zkreslení SFDR (Spurious Free Dynamic Range) je stanoven jako

$$SFDR[\text{dB}] = S_{o3}[\text{dBm}] - N_o[\text{dBm}]. \quad (1.3)$$

S_{o3} : skutečný výkon signálu na výstupu dvojbranu při kterém je výkon IM3 na úrovni šumu N_o [1].

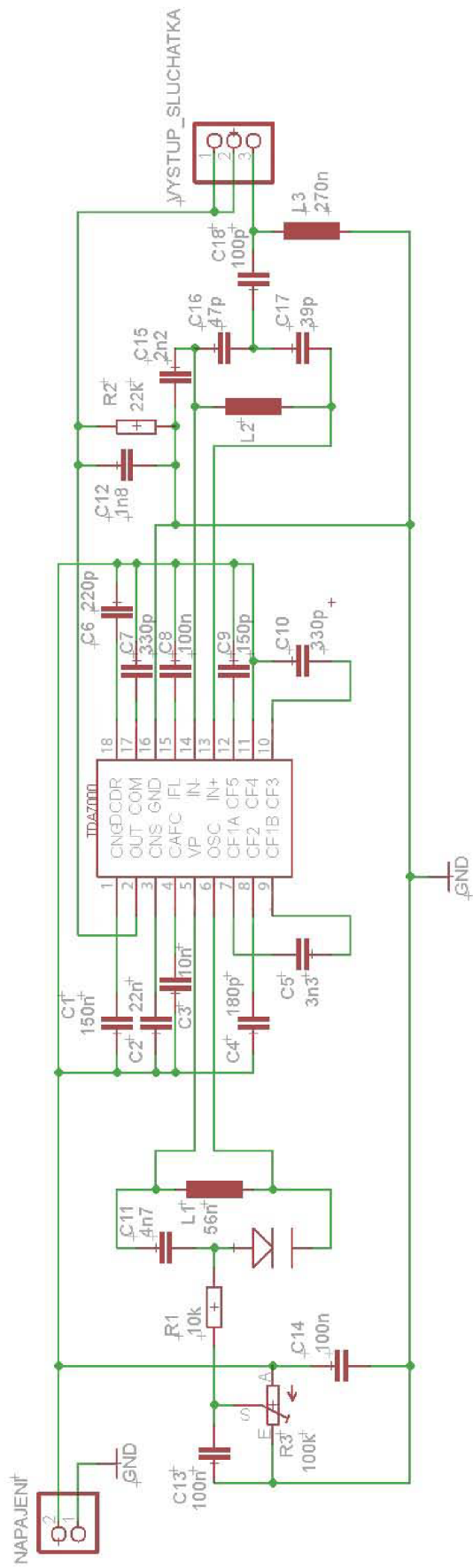
2 VYBRANÉ TYPY INTEGROVANÝCH RÁDIOVÝCH PŘIJÍMAČŮ A JEJICH REALIZACE

2.1 Integrovaný obvod TDA7000

Integrovaný obvod TDA7000 je určen ke konstrukci monofonního přijímače rozhlasových signálů v pásmu velmi krátkých vln 87,5 MHz až 108 MHz. Předpokládá se jeho použití v nenáročných přenosných přijímačích. Obvod obsahuje všechny základní obvody přijímače FM (vysokofrekvenční vstupní obvody, směšovač a vstupní oscilátor, mezifrekvenční zesilovač, demodulátor, obvod tichého ladění ovládaný detektorem šumu - po dobu mezi laděním stanic je připojen na výstup generátor šumu, kondenzátor C_7 určuje časovou konstantu obvodu tichého ladění) [5].

2.1.1 Obvodová realizace

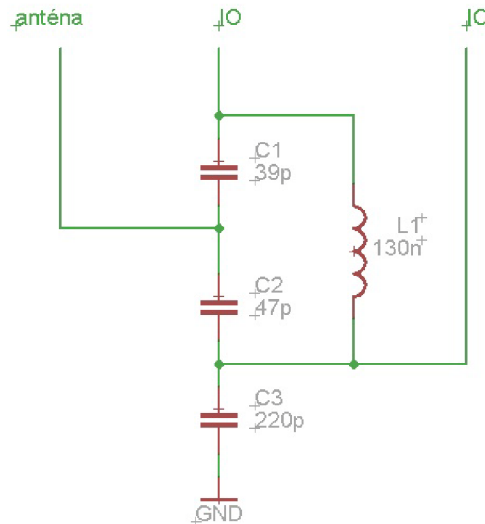
Převážná většina hodnot externích součástek je převzata z datasheetu [5] výrobce. Vstupní signál z antény je přiveden přes vazební kondenzátor rovnou do směšovače. Pokud je anténa přibližně naladěna na přijímané pásmo, není nutné použít vstupní laděný obvod. Směšováním vstupního signálu s místním oscilátorem je získána rozdílová složka [11]. Nízkofrekvenční signál je veden do konektoru JACK typu 3,5mm pro sluchátka. Sluchátka jsou použita jako anténa. Napájení pomocí tužkových baterií typu AAA je ideální pro přenosné použití. Jelikož obvod pracuje od 2,7 V, je možné použít 2 mikrotužkové baterie o celkovém napětí 3 V. Konečné schematické znázornění je na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schéma zapojení obvodu TDA7000

2.1.2 Vstupní rezonanční obvod

Neladěná drátová vstupní anténa je k obvodu připojena přes paralelní rezonanční obvod tvořenou cívku L_1 a kombinací kondenzátorů C_1 a C_2 . Zapojení rezonančního obvodu pro přehlednost je zakresleno na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Vstupní rezonanční obvod pro TDA7000

Požadavky a výpočty pro rezonanční obvod:

Šířka pásma je:

$$B = \frac{f_{FMh} - f_{FMd}}{2} = \frac{108 \cdot 10^6 - 87,5 \cdot 10^6}{2} = 10,25 \text{ MHz.}$$

Rezonanční kmitočet je:

$$f_0 = f_{FMd} + B = 87,5 \cdot 10^6 + 10,25 = 97,75 \text{ MHz.}$$

Jakost je:

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{97,75 \cdot 10^6}{10,25 \cdot 10^6} = 9,5.$$

Rezonanční kmitočet zvolené součástky je:

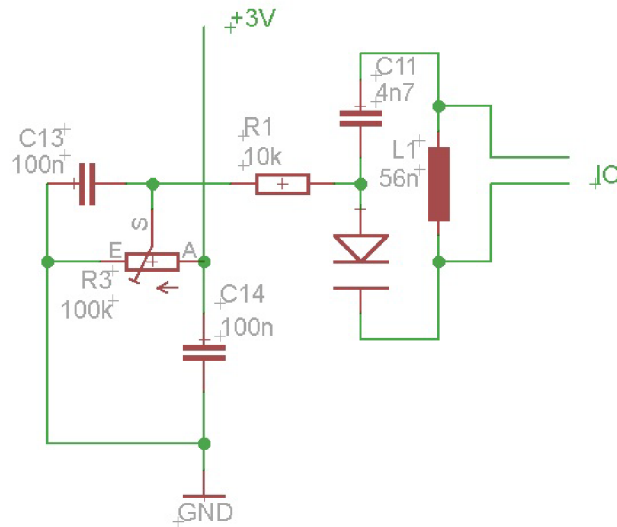
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{130 \cdot 10^{-9} \frac{(39 \cdot 10^{-12}) \cdot (47 \cdot 10^{-12})}{39 \cdot 10^{-12} + 47 \cdot 10^{-12}}}} = 95,6 \text{ MHz.}$$

Reálná hodnota rezonančního kmitočtu se může lišit. Je závislá na kapacitě spojů a především konstrukci cívky. Mírné roztažení závitů cívky způsobí snížení indukčnosti a tím vzroste rezonanční kmitočet a naopak.

2.1.3 Ladění přijímače

O přeladování přijímače, tedy ladění lokálního oscilátoru, který je součástí přijímače se postará paralelní rezonanční obvod tvořený cívku L_1 , kondenzátorem C_{11}

a proměnnou kapacitou tvořenou varikapem. Rezistor R_1 je zařazen do obvodu pro správnou činnost varikapu. Potenciometrem R_3 se přeladuje celé FM pásmo. Cívka L_1 je vzduchová, samostatně navinutá na průměr 5mm, vodičem o průměru 0,8mm. Ladění přijímače je znázorněno na obr. 2.3.



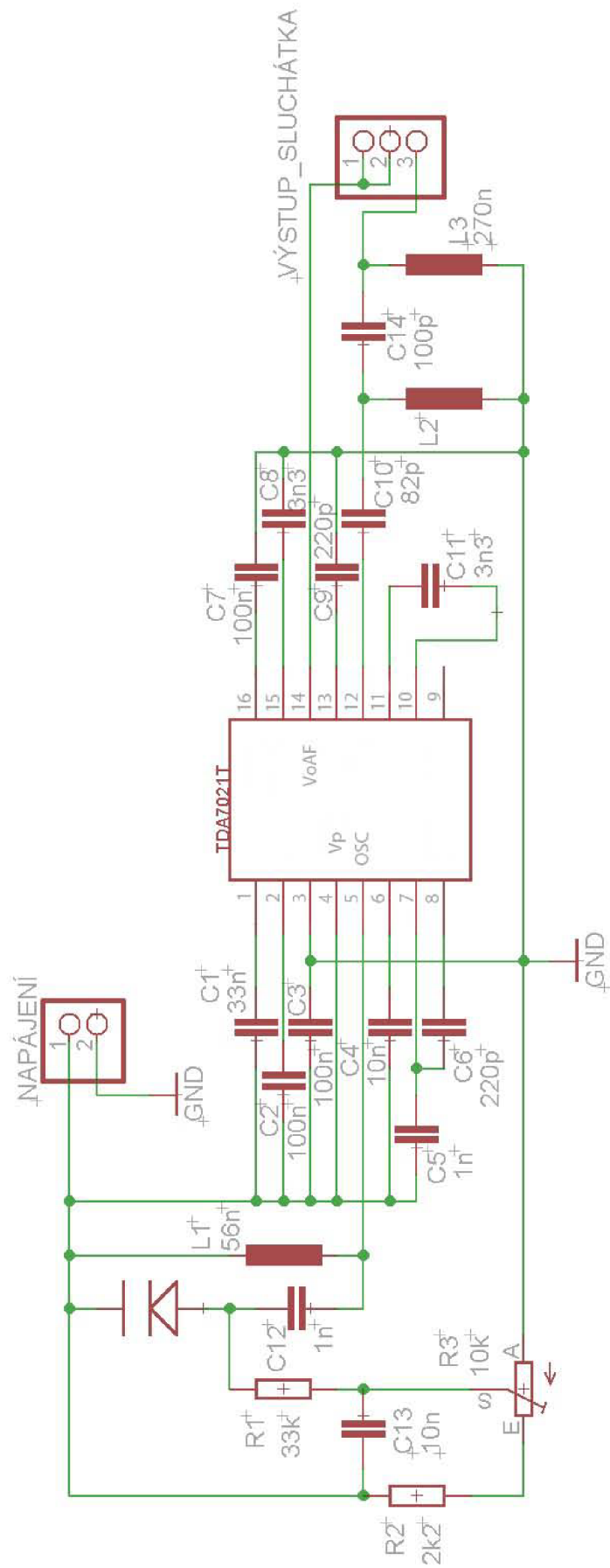
Obr. 2.3 Přeladování obvodu TDA7000

2.2 Integrovaný obvod TDA7021T

Integrovaný rádiový přijímač TDA7021T je obvod pro přenosná stereo i mono rádia v pásmu velmi krátkých vln. Je použito co nejméně externích součástek z důvodu nízkých nákladů a malých rozměrů. Obvod je plně kompatibilní s aplikací MTS (micro tuning system) – obvod využívající nízké napájecí napětí. Vstupní signál z antény (přes vazební kondenzátor) se přivádí na vstup směšovače. Směšováním vstupního signálu s napětím z oscilátoru získáme rozdílovou složku. Mezifrekvenční propust je mimo jiné tvořena i dvěma operačními zesilovači. Následuje omezovač a kmitočtový detektor. Z něj postupuje *mf* signál na šumovou bránu na výstup. Obsahuje i nízkofrekvenční zesilovač pro mono sluchátka [6].

2.2.1 Obvodová realizace

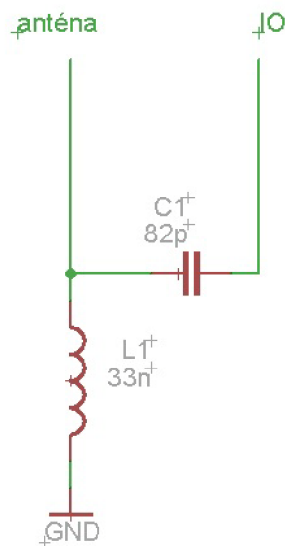
Obvod je v provedení SMD. Hodnoty součástek vybrány podle doporučení výrobce. Princip činnosti je stejný jako v případě obvodu TDA7000 [5] i přesto, že obsahuje méně pasivních prvků, jak je patrné z obr. 2.4. Obvod je přímo určen pro přenosná rádia. NF signál je veden přímo z vývodu integrovaného obvodu na konektor JACK pro sluchátka. Napájení obvodu je zajištěno 2 mikrotužkovými bateriemi.



Obr. 2.4 Schéma obvodu TDA7021T

2.2.2 Vstupní rezonanční obvod

Anténa je k obvodu připojena přes sériový rezonanční obvod tvořený kondenzátorem C_1 a vzduchovou cívkou L_1 . Znázornění je na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Vstupní rezonanční obvod pro TDA7021T

Požadavky a výpočty pro rezonanční obvod:

Šířka pásma je:

$$B = \frac{f_{FMh} - f_{FMd}}{2} = \frac{108 \cdot 10^6 - 87,5 \cdot 10^6}{2} = 10,25 \text{ MHz.}$$

Rezonanční kmitočet je:

$$f_0 = f_{FMd} + B = 87,5 \cdot 10^6 + 10,25 = 97,75 \text{ MHz.}$$

Jakost je:

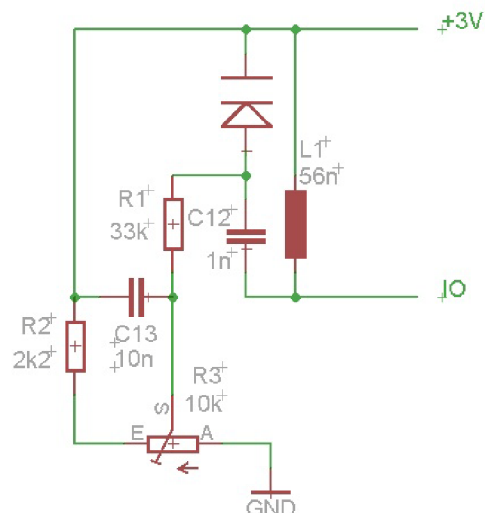
$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{97,75 \cdot 10^6}{10,25 \cdot 10^6} = 9,5.$$

Rezonanční kmitočet zvolené součástky je:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{33 \cdot 10^{-9} \cdot 82 \cdot 10^{-12}}} = 96,75 \text{ MHz.}$$

2.2.3 Ladění přijímače

Ladění obvodu (obr. 2.6) je opět řešeno pomocí paralelního rezonančního obvodu tvořeného cívkou L_1 , kondenzátorem C_{12} a proměnnou kapacitou. Rezistor R_1 je zapojen pro správnou funkci varikapu. Potenciometrem R_3 se nastavuje požadovaná frekvence v rozsahu FM pásma.



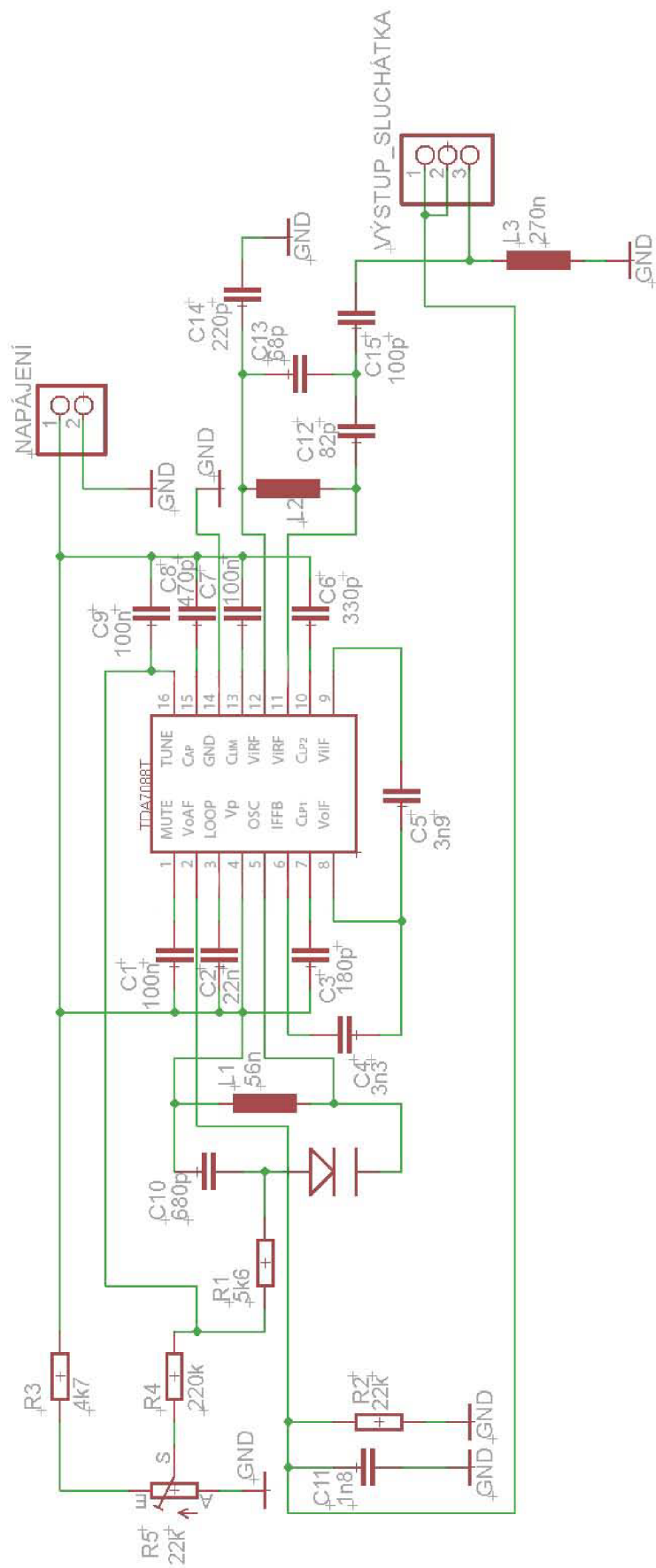
Obr. 2.6 Přelaďování obvodu TDA7021T

2.3 Integrovaný obvod TDA7088T

Bipolární integrovaný obvod od společnosti Philips TDA7088T je určen pro mono přenosné a kapesní rádia v pásmu velmi krátkých vln. Obvod podporuje amplitudovou modulaci AM. Disponuje možností mechanického ladění s nebo bez AFC (automatic frequency control). Automatické doladění vyrovnává změny hodnot součástek v laděném obvodu a změny kapacit prvků uvnitř integrovaného obvodu, např. kolísáním teploty okolí a zahříváním ztrátovým teplem za provozu [7][9].

2.3.1 Obvodová realizace

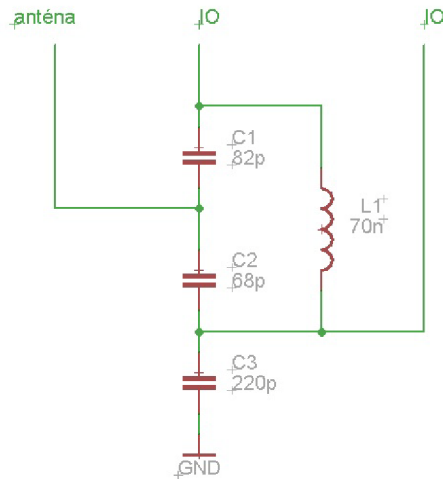
Jelikož se jedná o obvod v provedení SMD, je předurčen pro přenosné aplikace, jak tomu nasvědčuje i malé pracovní napětí. Ke správné činnosti vyžaduje pouhých 1,8V. Konektor 3,5mm JACK poslouží jako výstup pro nízkofrekvenční signál z obvodu. Jako zdroj napětí jsou opět použity dvě mikrotužkové baterie. Schéma obvodu je na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Schéma zapojení obvodu TDA7088T

2.3.2 Vstupní rezonanční obvod

Totožné zapojení jako v případě obvodu TDA7000, jen hodnoty součástek jsou přizpůsobeny tomuto přijímači. Jedná se tedy o paralelní rezonanční obvod (obr. 2.8) tvořený kombinací kondenzátorů C_1, C_2 a vzduchové cívky L_1 .



Obr. 2.8 Vstupní rezonanční obvod pro TDA7088T

Požadavky a výpočty pro rezonanční obvod:

Šířka pásma je:

$$B = \frac{f_{FMh} - f_{FMd}}{2} = \frac{108 \cdot 10^6 - 87,5 \cdot 10^6}{2} = 10,25 \text{ MHz.}$$

Rezonanční kmitočet je:

$$f_0 = f_{FMd} + B = 87,5 \cdot 10^6 + 10,25 = 97,75 \text{ MHz.}$$

Jakost je:

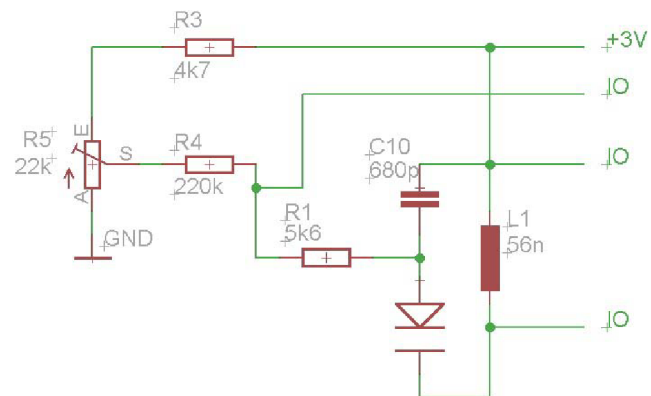
$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{97,75 \cdot 10^6}{10,25 \cdot 10^6} = 9,5.$$

Rezonanční kmitočet zvolené součástky je:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{70 \cdot 10^{-9} \frac{(82 \cdot 10^{-12}) \cdot (68 \cdot 10^{-12})}{82 \cdot 10^{-12} + 68 \cdot 10^{-12}}}} = 98,67 \text{ MHz.}$$

2.3.3 Ladění přijímače

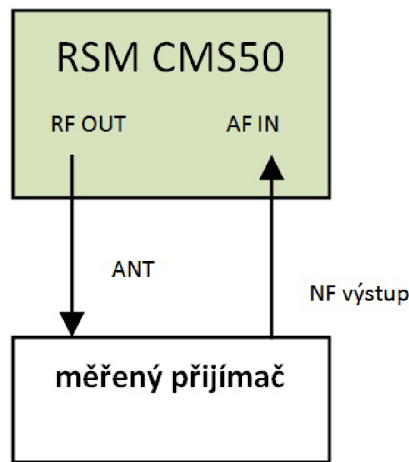
Princip činnosti ladění přijímače je obdobný s předchozími variantami rezonančních obvodů, tento je zakreslen na obr. 2.9



Obr. 2.9 Přeladování obvodu TDA7088T

3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ FM PŘIJÍMAČE

K tomuto účelu byl zvolen radiokomunikační servisní monitor CMS50 značky Rohde & Schwarz. Přístroj disponuje několika režimy pro měření jimi vhodných parametrů. Zařízení obsahuje několik bloků, mezi které patří signální generátor s frekvenčním rozsahem 0,4 MHz – 1 GHz, modulace s frekvenčním rozsahem od 2 do 500 MHz a měření přijímače i vysílače. Mezi důležité parametry pro porovnání integrovaných přijímačů patří měření citlivost pro poměr S/N a odstup šum-signal, šířka pásma a odchylka kmitočtu a měření celkového harmonického zkreslení. Standardní zapojení RSM s testovacím přijímačem je na obr. 3.1.

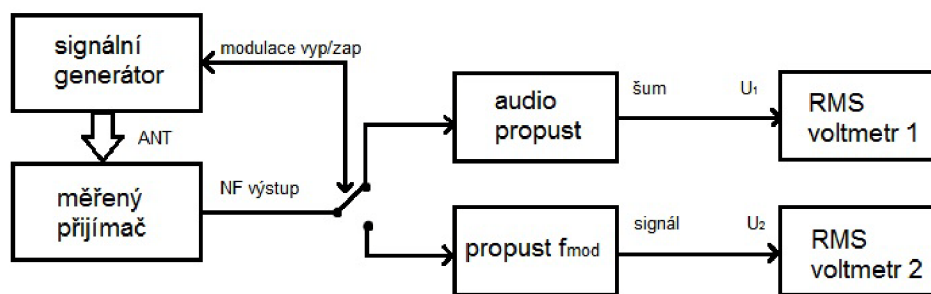


Obr. 3.1 Blokové schéma zapojení pracoviště s RSM

3.1 Měření citlivosti pro poměr S/N

Mezi základní měření na rádiových přijímačích patří měření citlivosti omezené poměrem S/N (S je výkon signálu, N je výkon šumu. Podstata měření poměru S/N je patrná z obr. 3.2. Nosná vlna se moduluje jedním harmonickým signálem s kmitočtem f_{mod} . Kmitočtové spektrum výstupního signálu je omezeno audio propustí na slyšitelné akustické pásmo. Voltmetr 1 ukazuje úroveň šumu na výstupu přijímače při vypnuté modulaci. Voltmetr 2 ukazuje úroveň demodulovaného signálu při zapnuté modulaci. Aby bylo dosaženo požadovaného poměru výkonů $S/N = U_2^2/U_1^2$ je potřeba nastavit vhodnou velikost napětí na generátoru a zajistit přizpůsobení na 50Ω [1].

Měření citlivosti pro poměr S/N



Obr. 3.2 Blokové schéma měření citlivosti pro odstup S/N

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty S/N a odstupu signál-šum přijímačů

$f_p = 96 \text{ MHz}$, $f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}$, $\Delta f = 22,5 \text{ kHz}$, $V_i = 0,3 \text{ mV}$			
	TDA7000	TDA7021T	TDA7088T
S/N = 26 dB	10,8 μV	8,7 μV	7,4 μV
Odstup signál-šum	49 dB	54 dB	51 dB

f_p – kmitočet nosné

f_{mod} – kmitočet modulačního signálu

Δf – kmitočtový zdvih

V_i – vstupní úroveň

Měření citlivosti pro poměr S/N probíhá následovně: po nastavení automatického měření si RSM mění vstupní úroveň až je dosažena požadovaná hodnota S/N. Hodnota 26 dB byla zvolena proto, aby byla možnost porovnání s katalogovými údaji. Změřené hodnoty citlivostí jednotlivých přijímačů jsou v tab. 3.1.

3.2 Měření šířky pásma a odchyly kmitočtu od nosné

Způsobů jak měřit šířku pásma je více, použitá metoda v tomto měření je následující. Přijímač naladíme na kmitočet jiný než je nosný odebíraný z vysokofrekvenčního generátoru. Při vypnuté nosné se změří výstupní úroveň šumů přijímače. Pak se nastaví její úroveň na hodnotu 10 dB vyšší od předchozí zjištěné hodnoty šumů. Po zapnutí nosné se zjistí nová úroveň šumu a zaznamenáme hodnotu. Následně se zvýší úroveň nosné o dalších 6 dB a odladí se její kmitočet směrem k vyšším a nižším kmitočtům, aby úroveň šumů odpovídala zaznamenané hodnotě. Rozdíl těchto zjištěných hodnot představuje šířku pásma a rozdíl mezi aritmetických středem a hodnotou kmitočtu, na kterou je naladěn přijímač se definuje jako chyba naladění přijímače Δf_p [3].

Tab. 3.2 Naměřená šířka pásma a odchylka kmitočtu od nosné

$f_c = 96 \text{ MHz}, f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}, \Delta f = 22,5 \text{ kHz}$			
	TDA7000	TDA7021T	TDA7088T
Šířka pásma	13,2 kHz	15,1 kHz	14,8 kHz
Odchylka kmitočtu	890 Hz	760 Hz	820 Hz

Šířka pásma přijímače je měřena pro pokles 6 dB. V tab. 3.2 jsou zaznamenány naměřené hodnoty.

3.3 Měření harmonického zkreslení

Činitel harmonického zkreslení (THD) nám vyjadřuje míru zkreslení signálu. Definuje se jako poměr součtu výkonů všech harmonických složek k výkonu základní harmonické. Tento parametr přiblíží představu, do jaké kvalitativní kategorie lze zařadit přijímač.

$$\text{THD} = \frac{\sum \text{výkon vyšších harmonických}}{\text{výkon základní harmonické}} = \frac{P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n}{P_1}$$

Měření činitele harmonického zkreslení signálu měříme na nízkofrekvenčním výstupu přijímače v závislosti na frekvenčním zdvihu Δf . Složky, které způsobují zkreslení signálu, je možné pozorovat na osciloskopu [3].

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty harmonického zkreslení přijímačů

$f_p = 96 \text{ MHz}, f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}, U_{\text{out}} = 0,3 \text{ mV}$			
	TDA7000	TDA7021T	TDA7088T
$\Delta f = 22,5 \text{ kHz}$	1,8 %	1,2 %	1,9 %
$\Delta f = 75 \text{ kHz}$	4,7 %	3,6 %	3,1 %

Hodnoty harmonického zkreslení získané měřením jsou zapsány v tab. 3.3.

3.4 Shrnutí naměřených hodnot a porovnání s hodnotami od výrobce

Celkové srovnání veškerých hodnot, které je uvedeno v tab. 3.4 slouží k porovnání naměřených hodnot získaných z laboratoří s údaji poskytnutých výrobcem. Snadno si lze představit, jak se tyto měřené parametry shodují či nikoliv.

Tab. 3.4 Celkové srovnání naměřených hodnot s hodnotami od výrobce

$U_{cc} = 3 \text{ V}$, $f_p = 96 \text{ MHz}$, $f_{mod} = 1 \text{ kHz}$, $\Delta f = 22,5 \text{ kHz}$, $U_{out} = 0,3 \text{ mV}$				
		TDA7000	TDA7021T	TDA7088T
Proudový odběr	Naměřeno	9,5 mA($U_{cc}=3\text{V}$)	5,9 mA	6,5 mA
	Výrobce	8 mA($U_{cc}=4,5\text{V}$)	6,3 mA	5,2 mA
S/N = 26 dB	Naměřeno	10,8 μV	8,7 μV	7,4 μV
	Výrobce	5,5 μV	7 μV	5 μV
Odstup signál-šum	Naměřeno	49 dB	54 dB	51 dB
	Výrobce	60 dB	60 dB	56 dB
Šířka pásma	Naměřeno	13,2 kHz	15,1 kHz	14,8 kHz
Odchylka kmitočtu	Naměřeno	890 Hz	760 Hz	820 Hz
THD ($\Delta f = 22,5 \text{ kHz}$)	Naměřeno	1,8 %	1,2 %	1,9 %
	Výrobce	0,7 %	0,7 %	1 %
THD ($\Delta f = 75 \text{ kHz}$)	Naměřeno	4,7%	3,6 %	3,1 %
	Výrobce	2,3 %	2,3 %	2,4 %

Napájení přijímačů během měření bylo zajištěno pomocí mikrotužkových baterií o celkovém napětí 3V. Bylo důležité toto napětí zachovat, abychom obdrželi výsledky odpovídající jako celku přijímače. Katalogové hodnoty obvodu TDA7000 jsou realizovány při napětí 4,5V, tedy výsledky zjištěné při měření v laboratoři nemusí být tomu odpovídající. Důležitější bylo zachovat původní napájení z baterií pro přesnější srovnání všech typů přijímačů, jelikož zbylé dva typy přijímačů jsou na toto napětí výhradně určeny.

Aby se měření dala srovnávat a porovnávat, museli se dodržet normované hodnoty veličin, mezi které považujeme $f_p = 96 \text{ MHz}$, $f_{mod} = 1 \text{ kHz}$, $\Delta f = 22,5 \text{ kHz}$. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro frekvenční modulaci FM. Nejmenší vstupní citlivosti dosáhl obvod TDA7088T o hodnotě 7,4 μV pro poměr S/N roven 26 dB. Katalogová hodnota nám udává číslo 5 μV . Výsledkem 54 dB odstupem signál-šum se může „pochlubit“ obvod TDA7021T. Dle specifikací by tento odstup signál-šum měl dosahovat hodnoty 60 dB. Pro porovnání dnešní profesionální audio zařízení dosahují hodnot kolem 110 dB. Musíme brát v potaz, že návrh testovaných integrovaných přijímačů byl realizován v letech 1992-1996. Šířka pásma testovaných vzorků se pohybovala kolem hodnoty 15 kHz a odchylka kmitočtu od nosné v rozmezí 760-890 Hz. Výrobce tyto údaje neuvádí, nicméně ze zkušeností školních laboratoří nejsou tyto hodnoty daleko od pravdy. Mezi

neméně důležitý parametr lze dosadit celkové harmonické zkreslení THD. Jak již bylo zmíněno, lze si pod tímto pojmem představit, jaké kvality dosahují elektronická zařízení. Tentokrát se měřilo pro dva různé kmitočtové zdvihy Δf . Všechny přijímače dosahují horších hodnot než je tomu dle katalogu. Zkreslení okolo 5 % je pro audiotechniku dosti mizerné. Nicméně se jedná o maximální hodnotu zkreslení a rozhodně tato koncepce přenosných přijímačů není stavěna pro takové nároky.

4 ZÁVĚR

Na tuzemském trhu byly vybrány 3 typy integrovaných přijímačů od společnosti Philips. Jedná se konkrétně o obvody TDA7000, TDA7021T a TDA7088T. I přesto, že se jedná o výrobky stejného výrobce, dodací lhůta trvala několik týdnů. Jiné typy integrovaných přijímačů je na našem trhu takřka nemožné zakoupit. Výhodou již zmíněných vybraných obvodů je jejich oblíbenost u konstruktérů při jejich realizaci.

Jelikož se jedná o integrované provedení, stačí ke správné činnosti jen několik málo pasívních součástek. Ladění přijímače bylo upraveno pro pohodlnější nastavení frekvence v rozsahu FM pásma. Pro příjem signálu je určena drátová anténa. Představa kapesního přijímače s omotanou drátovou anténou je dosti nežádoucí. Proto se jako anténa použila sluchátka, která slouží nejen pro audio výstup, ale zároveň i jako anténa. Problém se naskytl při výrobě vzduchové cívky, tak aby dosahovala přesných rozměrů i indukčnosti. Několik kondenzátorů jsem musel vyměnit za jinou hodnotu, aby bylo možné naladit celé frekvenční pásmo FM vysílání. Ani anténa „integrovaná“ do sluchátek není ideální řešení, citlivost takto použité antény je dosti mizerná.

Upravená schémata obvodů jsem zakreslil pomocí programu Eagle (k tomu určenému) a navrhl jsem testovací desky plošných spojů. Finální výrobek je umístěn v plastové krabičce malého rozměru. Pro tyto obvody byla sestavena měření (citlivost pro poměr S/N, odstup šum-signal, šířka pásma a odchylka kmitočtu, harmonické zkreslení), jejichž výsledky se srovnávají s hodnotami od výrobce. Pro měření parametrů posloužil radiokomunikační servisní monitor CMS50 od společnosti Rohde & Schwarz. Kompletní srovnání všech parametrů, jak naměřených tak katalogových je uvedeno v tab. 3.4. Podle takto získaných údajů můžeme porovnat jednotlivé obvody a posoudit, který z nich dosahuje nejlepších výsledků.

Nejméně vhodným řešením je přijímač TDA7000, nejen kvůli parametrům, ale především kvůli rozměrům. Tento obvod se nevyrábí v provedení SMD. Vyžaduje i poměrně vysoké napájecí napětí, které je také výhodou pro použití v přenosných aplikacích. Ideálními kandidáty na poli přenosných přijímačů jsou tedy obvody TDA7021T a TDA7088T. Oba obvody splňují důležité požadavky, kterými jsou nízké napájecí napětí, malý odběr proudu za provozu a co nejmenší rozměr pouzdra.

LITERATURA

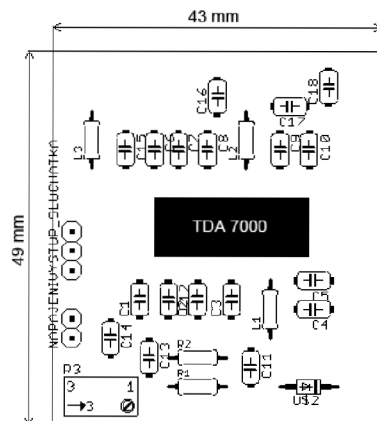
- [1] PROKEŠ, A. Rádiové přijímače a vysílače. Elektronické skriptum. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2005.
- [2] DOBEŠ, J., ŽALUD, V. Moderní radiotechnika. Praha: BEN - technická literatura, 2006.
- [3] PROKEŠ, A., ŠRÁMEK, P. Rádiové přijímače a vysílače. Laboratorní cvičení 2011. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2011.
- [4] FUKÁTKO, T., FUKÁTKO J., Teplo a chlazení v elektronice II. Praha: BEN – technická literatura, 2006.
- [5] TDA7000 Datasheet [online], Philips, 1992.
[cit. 10. prosince 2012]. Dostupný na WWW:
< http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/TDA7000_CNV_2.pdf/>
- [6] TDA7021T Datasheet [online], Philips, 1992.
[cit. 10. prosince 2012]. Dostupný na WWW:
< <http://acust.narod.ru/files/PDF/tda7021t.pdf/>>
- [7] TDA7088T Datasheet [online], Philips, 1996.
[cit. 10. prosince 2012]. Dostupný na WWW:
< <http://www.glotov.pp.ru/filebase/docs/TDA7088T.PDF/>>
- [8] *Rádiový přijímač-superhet* [on-line]. www.dlabos.wz.cz
[cit. dne 10.12. 2012]. Dostupné na: http://www.dlabos.wz.cz/en/Radiove_prijimace.html
- [9] FM Radio Receiver using TDA7088 [on-line]. www.electronics-diy.com
[cit. dne 10.12. 2012]. Dostupné na: <http://www.electronics-diy.com/fm-radio-receiver-using-tda7088.php>
- [10] *Instantní FM rádiopřijímač*. [online]. [cit. dne 10.12. 2012]. Dostupné z:
<http://www.volny.cz/pjenicek/radio/navodyj1/instFM1.html>
- [11] Bílý šum. [online]. [cit. dne 10.12. 2012].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:White_noise_spectrum.png
- [12] HADAŠ, Jiří. Rozhlasové a televizní vysílání. [online]. [cit. 2013-05-30]. Dostupné z:
http://new.institutumeni.cz/media/document/tv_a_rozhlas.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

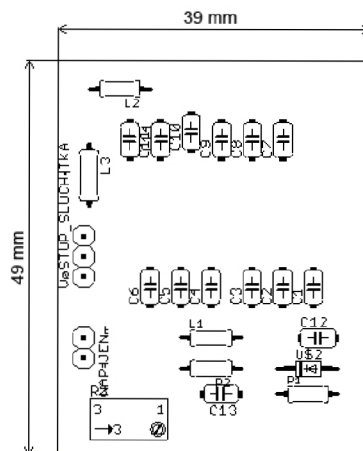
f	frekvence
f_p	nosná frekvence
f_{osc}	frekvence oscilátoru
f_{mf}	mezifrekvence
f_{mod}	modulovaná frekvence
f_0	rezonanční kmitočet
f_z	zrcadlový kmitočet
Δf	kmitočtový zdvih
T	teplota
AM	amplitudová modulace
FM	frekvenční modulace
PM	fázová modulace
VF	vysokofrekvenční
NF	nízkofrekvenční
AFC	automatic frequency control
AVC	automatic voltage control
MTS	micro tuning systém
THD	celkové harmonické zkreslení
S	výkon signálu
N	výkon šumu
FSK	modulace s klíčováním kmitočtu
ASK	modulace s klíčováním amplitudy
DSB	Dual Side Band
SSB	Single Side Band
$DDFS$	Direct Digital Frequency Synthesizer
DR	dynamický rozsah přijímače
$SFDR$	dynamický rozsah přijímače bez intermodulačního zkreslení
R	rezistor
U	napětí
I	proud
C	kondenzátor

L	indukčnost
B	šířka pásma
Q	jakost

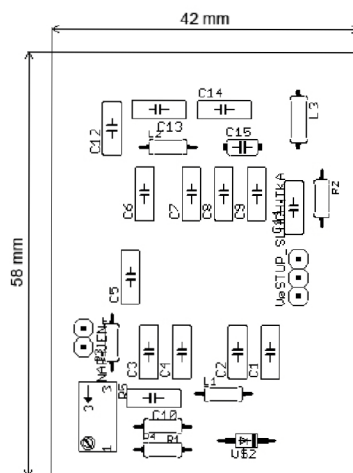
PŘÍLOHA A: OSAZOVACÍ PLÁNY



Obr. 0.1 Osazená deska obvodu TDA7000

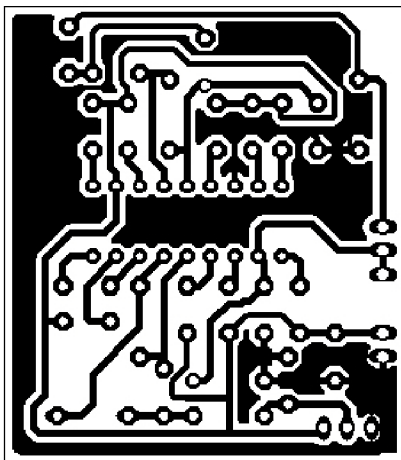


Obr. 0.2 Osazená deska obvodu TDA7021T

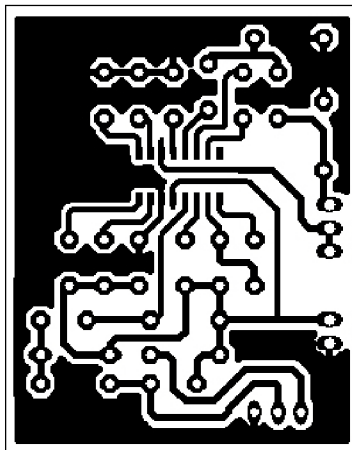


Obr. 0.3 Osazená deska obvodu TDA7088T

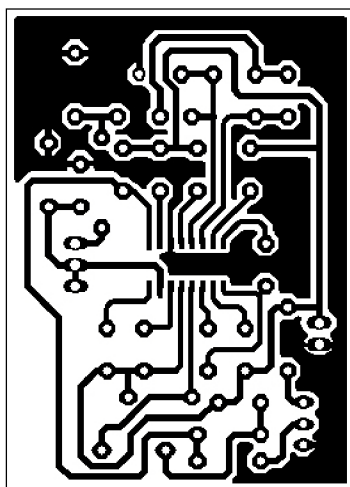
PŘÍLOHA B: DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



Obr. 0.1 Deska plošného spoje obvodu TDA7000



Obr. 0.2 Deska plošného spoje obvodu TDA7021T



Obr. 0.3 Deska plošného spoje obvodu TDA7088T

PŘÍLOHA C: SEZNAM SOUČÁSTEK

Seznam součástek TDA7000:

Součástka:	Hodnota:
R ₁	10k
R ₂	22k
Potenciometr R ₃	100k
C ₁	150n
C ₂	22n
C ₃	10n
C ₄	180p
C ₅	3n3
C ₆	220p
C ₇ ,C ₁₀	330p
C ₈ ,C ₁₃ ,C ₁₄	100n
C ₉	150p
C ₁₁	4n7
C ₁₂	1n8
C ₁₅	2n2
C ₁₆	47p
C ₁₇	39p
C ₁₈	100p
L ₁	56n
L ₂	130n
L ₃	270n
IO TDA7000	
Varikap KB109G	
JACK 3,5 mm	

Seznam součástek TDA7021T:

Součástka:	Hodnota:
R ₁	33k
R ₂	2k2
Potenciometr R ₃	10k
C ₁	33n
C ₂ ,C ₃ ,C ₇	100n
C ₄ ,C ₁₃	10n
C ₅ ,C ₁₂	1n
C ₆ ,C ₉	220p
C ₈ ,C ₁₁	3n3
C ₁₀	82p
C ₁₄	100p
L ₁	56n
L ₂	33n
L ₃	270n

IO TDA7021T
Varikap KB109G
JACK 3,5 mm

Seznam součástek TDA7088T:

Součástka:	Hodnota:
R ₁	5k6
R ₂	22k
R ₃	4k7
R ₄	220k
Potenciometr R ₅	22k
C ₁ ,C ₇ ,C ₉	100n
C ₂	22n
C ₃	180p
C ₄	3n3
C ₅	3n9
C ₆	330p
C ₈	470p
C ₁₀	680p
C ₁₁	1n8
C ₁₂	82p
C ₁₃	68p
C ₁₄	220p
C ₁₅	100p
L ₁	56n
L ₂	70n
L ₃	270n
IO TDA7088T	
Varikap KB109G	
JACK 3,5 mm	

PŘÍLOHA D: FOTOGRAFIE

