

## **Bibliografická citace dle ČSN ISO 690**

LOSENICKÝ, R. *Vstupní díl softwarového přijímače pro pásma VKV a UKV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 49 s.  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Vstupní díl softwarového přijímače pro pásma VKV a UKV jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 6. června 2008

.....  
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 6. června 2008

.....  
podpis autora

## Abstrakt

První část této práce obsahuje podrobnější rozbor nejzákladnějších parametrů VKV/UKV přijímačů. Stručně jsou vymezeny nejdůležitější pojmy jako, šumové číslo, citlivost či zisk.

Následující kapitola pak přímo určuje a snaží se o přibližný výpočet a analýzu nejdůležitějších parametrů konkrétního navrhovaného přijímače.

Ve třetí části pak probíhá konkrétní návrh daného přijímače, je určeno základní blokové schéma. Stěžejním bodem celého návrhu je zvolený směšovač SRA-1+, který však nespadá do oblasti návrhu vstupní části. Hlavním bodem návrhu jsou vstupní zesilovače osazené tranzistory řady BF998 a pásmové propusti pro tři určená frekvenční pásma: 140-145 MHz, 220-230 MHz a 420-430 MHz. Signály z jednotlivých pásem budou pokračovat do přepínače pomocí kterého lze pomocí spínací diody HSMP3823 vybrat, který z nich bude v danou chvíli veden ke směšovači. Celá koncepce počítá s rozdělením tří vstupních zesilovačů společně s filtry do samostatných pocínovaných krabiček, propojených se spínačem pomocí koaxiálního vedení.

## Abstract

The first part of this work contains the detailed analysis of the basic VHF and UHF receiver characteristics. The most important parameters, like Noise figure, selection or gain, are qualified shortly.

The following chapter analyzes above-mentioned parameters and shows some calculations and analysis to design a receiver.

In the third part the receiver design is proceed. It specifies a basic block diagram. The base of design is formed by a mixer SRA-1+, which choice is not part of this project. Design of preselector is the main goal of the project. They use BF998 FET transistors and band pass filters determining three frequency bands: 140-145 MHz, 220-230 MHz and 420-430 MHz. Filtered signals go on into the channel selector afterwards. The user can determine , which one of the three input signals will be routed to the mixer, using a switching diode HSMP3823. Each part, including preselector amplifier and filters, is placed into the separated tinned boxes. These boxes are linked with the switching circuit by the coaxial line.

# Obsah

ÚVOD .....	7
<b>1. NĚKTERÉ VYBRANÉ PARAMETRY PŘIJÍMAČŮ .....</b>	<b>8</b>
1.1 ŠUMOVÉ ČÍSLO, ŠUMOVÝ PRÁH, CITLIVOST A SOUVISEJÍCÍ PARAMETRY .....	8
1.1.1 Šumové číslo (Noise Figure) .....	8
1.1.2 Šumový práh (Noise Floor) .....	8
1.1.3 Šumová šířka pásma (Noise Bandwidth) .....	8
1.1.4 Citlivost (Sensitivity) .....	8
1.1.5 Minimální detekovatelný signál (MDS, Minimum Detectable Signal) .....	8
1.1.6 Poměr signál-šum (SNR, signal-to-noise ratio) .....	8
1.1.7 Dynamický rozsah přijímače .....	8
1.2 DYNAMICKÝ ROZSAH PŘIJÍMAČE .....	9
1.3 INTERMODULACE .....	9
<b>2. NÁVRH SOFTWARE DIGITÁLNÍHO RADIOVÉHO PŘIJÍMAČE .....</b>	<b>10</b>
2.1 ZÁSADNÍ HLEDISKO NÁVRHU – PARAMETRY DYNAMICKÉHO ROZSAHU .....	10
2.2 ANALÝZA VSTUPNÍHO BLOKU PŘIJÍMAČE .....	12
2.2.1 Zisk (gain) [dB] .....	12
2.2.2 Šumové číslo (noise figure) [dB]: .....	12
2.2.3 Šumový práh (noise floor), [dBm/Hz]: .....	12
2.2.4 Minimální detekovatelný signál (MDS), [dBm]: .....	12
2.2.5 Poměr signál-šum (SNR), [dB]: .....	13
2.2.6 Citlivost (Sensitivity), [dBm]: .....	13
2.2.7 Vstupní výkonová úroveň IP3 (Input IP3), [dBm]: .....	13
<b>3. KONKRÉTNÍ NÁVRH PŘIJÍMAČE .....</b>	<b>14</b>
3.1 BLOKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ .....	14
3.2 VOLBA SMĚŠOVAČE .....	14
3.3 ANTÉNNÍ PŘEDZESILOVAČ, FILTR, PŘEPÍNAČ .....	17
3.3.1 Napěťový stabilizátor 78L05 .....	19
3.4 ANTÉNNÍ PŘEDZESILOVAČ A VSTUPNÍ FILTRY .....	21
3.4.1 Tranzistor BF998R .....	23
3.5 PŘEPÍNAČ .....	25
3.5.1 PIN diody – teorie .....	26
3.5.2 PIN dioda – HSMP-3823 .....	26
3.6 KRYSTALOVÝ FILTR .....	28
3.6.1 Elektrické parametry .....	28
3.7 MEZIFREKVENČNÍ ZESILOVAČ .....	29
<b>4. KONSTRUKCE .....</b>	<b>30</b>
4.1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	31
4.1.1 Osazovací schéma anténního předzesilovače a vstupních filtrů (DPS01A)–OS01A .....	31
4.1.2 Osazovací schéma anténního předzesilovače a vstupních filtrů (DPS01B)–OS01B .....	32
4.1.3 Osazovací schéma diodového přepínače – OS02 .....	33
4.2 CÍVKOVÁ SADA RFC 71SE .....	33
4.3 KONSTRUKČNÍ DÍLY .....	35
<b>5. MĚŘENÍ A ANALÝZA .....</b>	<b>36</b>
5.1 MĚŘENÍ STATICKÝCH PARAMETRŮ .....	36
5.1.1 Rozbor .....	37
5.2 MĚŘENÍ DYNAMICKÝCH PARAMETRŮ .....	38
5.2.1 Kanál 1 (144-146MHz) – parametry .....	39
5.2.2 Kanál 2 (220-225MHz) - parametry .....	41
5.2.3 Kanál 3 (430-440MHz) - parametry .....	42

5.3 PARAMETRY DIODOVÉHO PŘEPÍNAČE.....	43
<b>6. FINANČNÍ BILANCE PROJEKTU .....</b>	<b>45</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>

## Seznam obrázků

OBR. 1)	BLOKOVÉ SCHÉMA VSTUPNÍ ČÁSTI PŘIJÍMAČE.....	14
OBR. 2)	ELEKTRICKÉ SCHÉMA SMĚŠOVAČE SRA-1+.....	16
OBR. 3)	FOTO POUZDRA A01.....	16
OBR. 4)	TVAR A ROZMÍSTĚNÍ PINŮ POUZDRA A01, PŘEHLED ROZMĚRŮ .....	17
OBR. 5)	CELKOVÉ SCHÉMA VSTUPNÍ ČÁSTI PŘIJÍMAČE .....	18
OBR. 6)	VNITŘNÍ ZAPOJENÍ TESTOVACÍHO OBVODU NAPĚŤOVÉHO STABILIZÁTORU 78L05F.....	20
OBR. 7)	TVAR A ROZMĚRY POUZDRA SO-8 .....	21
OBR. 9)	SCHÉMA VSTUPNÍHO PŘEDZESILOVAČE A PÁSMOVÝCH PROPUSTÍ PRO JEDEN KANÁL.....	22
OBR. 10)	TVAR A ROZMĚRY POUZDRA SOT143R.....	23
OBR. 11)	GRAFY TYPICKÝCH HODNOT, A) VÝSTUPNÍCH CHARAKTERISTIK ( $V_{G2-S}=4\text{ V}$ , $T_{AMB}=25\text{ °C}$ ) B) PŘENOSOVÝCH CHARAKTERISTIK ( $V_{DS}=8\text{ V}$ , $T_{AMB}=25\text{ °C}$ ), TRANZISTORU BF998R. ....	24
OBR. 12)	SCHÉMA DIODOVÉHO PŘEPÍNAČE PRO TŘI VSTUPY .....	25
OBR. 13)	VNITŘNÍ ZAPOJENÍ DIOD SE SPOLEČNOU ANODOU SOUČÁSTKY HSMP-3823.....	26
OBR. 14)	TVAR A ROZMĚRY POUZDRA SOT-23.....	27
OBR. 15)	SCHÉMA ZAPOJENÍ KF 17 .....	28
OBR. 16)	POUZDRO KRYSTALOVÉHO FILTRU KF 17 .....	29
OBR. 17)	BLOKOVÝ SCHÉMA OBVODU AD605.....	30
OBR. 18)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS01A(ROZMĚR 74:37MM, ZOBRAZENÍ 2:1) –TOP.....	31
OBR. 19)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS01A(ROZMĚR 74:37MM, ZOBRAZENÍ 2:1) –BOTTOM.....	31
OBR. 20)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS01B(ROZMĚR 74:37MM, ZOBRAZENÍ 2:1) –TOP .....	32
OBR. 21)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS01B(ROZMĚR 74:37MM, ZOBRAZENÍ 2:1) –BOTTOM .....	32
OBR. 22)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS02 (ROZMĚR 24X71MM, ZOBRAZENÍ 2:1)– TOP.....	33
OBR. 23)	OSAZOVACÍ SCHÉMA OS02 (ROZMĚR 24:71MM, ZOBRAZENÍ 2:1) – BOTTOM.....	33
OBR. 24)	FOTO CÍVKOVÉ SADY RFC 71SE.....	34
OBR. 25)	ROZMĚRY KOAXIÁLNÍ ZÁSUVKY SMA F PP.....	35
OBR. 26)	FOTO POCÍNOVANÝCH KRABÍČEK ŘADY WBGxx .....	35
OBR. 27)	SCHÉMA VSTUPNÍHO BLOKU SDR - s OZNAČENÍM MĚŘÍCÍCH BODŮ.....	36
OBR. 28)	PŘENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY BF998 – TYPICKÉ HODNOTY .....	38
OBR. 29)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 39 S FILTRY PRO PÁSMO 144-146 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz) PRO ŠIRŠÍ FREKVENČNÍ ROZSAH. ....	39
OBR. 30)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 40 S FILTRY PRO PÁSMO 144-146 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz). S VYZNAČENÍM DŮLEŽITÝCH BODŮ.....	40
OBR. 31)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 41 S FILTRY PRO PÁSMO 220-225 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz) PRO ŠIRŠÍ FREKVENČNÍ ROZSAH. ....	41
OBR. 32)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 41 S FILTRY PRO PÁSMO 220-225 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz). S VYZNAČENÍM DŮLEŽITÝCH BODŮ.....	41
OBR. 34)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 42 S FILTRY PRO PÁSMO 430-440 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz) PRO ŠIRŠÍ FREKVENČNÍ ROZSAH. ....	42
OBR. 35)	PŘENOSOVÁ MODULOVÁ KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA NAVRHOVANÉHO PŘEDZESILOVAČE ... 43 S FILTRY PRO PÁSMO 430-440 MHz, (ÚROVEŇ VSTUPNÍHO SIGNÁLU -20 dBm, SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR ROHDE-SCHWARTZ FSL, 3 kHz-3 GHz). S VYZNAČENÍM DŮLEŽITÝCH BODŮ.....	43
OBR. 36)	BLOKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ MĚŘÍCÍHO PRACOVISTĚ PRO MĚŘENÍ CELKOVÉ VELIKOSTI VÝSTUPNÍHO SIGNÁLU ZA DIODOVÝM PŘEPÍNAČEM .....	44

## Úvod

Softwarové rádio SDR (Software Defined Radio), je moderní rádiová technologie, určená k realizaci flexibilního, vícepásmového rádiového systému, který je rekonfigurovatelný a reprogramovatelný pomocí softwaru. Rádiové funkce jako modulace, multiplexování, kódování apod. jsou v maximální možné míře realizovány softwarovým procesingem.

Hlavním úkolem této práce bylo nastínit problematiku a zavést potřebné parametry pro konstrukci vstupních obvodů softwarového přijímače. Obsahem je především podrobný rozbor a konstrukce, analogově řešených, vstupních předzesilovačů, pásmových filtrů a přepínače pro pásma 144-146 MHz, 225-230 MHz a 430-440 MHz. V první části se po teoretickém základu zabývám předběžným určením blokové konstrukce celého přijímače a jeho předpokládanými parametry v závislosti na požadavky zadání. V části tři jsou podrobněji rozebrány jednotlivé bloky přijímače, především pak předpokládané určení směšovače od něhož se obvykle odvíjí celý návrh. Nejdůležitější z hlediska zadání je konečný návrh a rozbor výsledných měření vstupní části přijímače. Zesilovače s filtry a přepínač jsou řešeny jako samostatné, stíněné moduly, což je výhodné z pohledu kompaktnosti, celkové flexibility snadnosti měření, či možnosti výměny jednotlivých bloků. Pro minimalizaci rozměrů a především parazitních jevů projevujících se při vyšších frekvencích, jsou v maximální možné míře využívány SMD součástky a vhodné, pokud možno co nejkratší, vedení vodivých cest na desce plošných spojů.

# 1. Některé vybrané parametry přijímačů

## 1.1 Šumové číslo, šumový práh, citlivost a související parametry

**1.1.1 Šumové číslo (Noise Figure)** daného bloku je podíl výstupního a vstupního poměru signálu k šumu onoho bloku; udává se [dB],

Šumové číslo ovlivňuje dosažitelnou citlivost (limituje maximální dosažitelnou citlivost)

**1.1.2 Šumový práh (Noise Floor)** je určen výkonem šumu, vztaženým ke vstupu přijímače (do kterého vstupuje pouze tepelný šum z připojené jmenovité reálné zátěže); aby nebyl závislý na pracovní šířce pásma přijímače, udává se nejlépe v jednotkách hustoty výkonu, tedy v [dBm/Hz]. Mnohdy se ovšem šumový práh vztahuje k šumové šířce pásma. Pak se udává v [dBm] spolu s uvedením šumové šířky pásma,

**1.1.3 Šumová šířka pásma (Noise Bandwidth)** je v podstatě dána šířkou pásma hlavního obvodu soustředěné selektivity 73B6 dB; udává se v [Hz],

**1.1.4 Citlivost (Sensitivity)** je dána výkonem minimálního detekovatelného užitečného signálu, přiváděného na vstup přijímače a měřeného při definovaném poměru signálu k šumu – nejčastěji 0 dB, 3 dB, 10 dB v oblasti techniky AM a 12 dB, 14 dB a 20 dB pokud se pohybujeme v oblasti úzkopásmových FM; udává se v [dBm] se současným uvedením požadovaného odstupů S/N (poměr signál-šum, Signal-to-Noise, v [dB]), případně, většinou u FM zařízení, SINAD (Signal-to-Noise-and-Distortion; v [dB]),

**1.1.5 Minimální detekovatelný signál (MDS, Minimum Detectable Signal)** je signál, který má v rámci pracovní šířky pásma přijímače požadovaný odstup od šumu, nejčastěji 0 dB; udává se v [dBm],

**1.1.6 Poměr signál-šum (SNR, signal-to-noise ratio)** je poměr výkonu signálu k výkonu šumu v rámci aktuálně zpracovávané šířky pásma; udává se v [dB];

**1.1.7 Dynamický rozsah přijímače** je dán rozsahem takových vstupních výkonových úrovní rádiového signálu, které rádiový přijímač akceptovatelným způsobem umí zpracovat, přičemž v oblasti nízkých zpracovávaných výkonů je dynamický rozsah omezen šumovým číslem (a tím zákonitě i citlivostí přijímače), zatímco v oblasti velkých zpracovávaných výkonů je zpracování omezeno kompresí a zkreslením.



## 1.2 Dynamický rozsah přijímače

Jedno z poměrně logických vymezení pojmu „dynamický rozsah přijímače“ zní Užitečný dynamický rozsah přijímače je určen rozsahem vstupních výkonových úrovní přijímače mezi šumovým prahem a výkonovou úrovní, při které intermodulační produkt 3.řádu právě dosáhne výkonové úrovně šumového prahu. Tedy:

$$SFDR[dB] = 2/3 * (Input\_IP3[dBm] - Noise\_floor[dBm]) \quad (1)$$

Kde *Noise\_floor* je výkon šumu v rámci šířky kanálu přijímače, vztažený k jeho vstupu, kam se jinak dostává pouze tepelný šum [dBm]. Je dán součtem šumového čísla přijímače a výkonu tepelného šumu v rámci šířky přijímaného kanálu.

## 1.3 Intermodulace

Intermodulace můžeme výstižně popsat jako „důsledek nelineárních převodních charakteristik“. Jejich míru většinou kvantifikujeme měřením intermodulačních produktů 3.řádu.

Při hodnocení a definování jednotlivých parametrů budeme ve většině případů uvažovat rušení intermodulačními produkty 3.řádu. Jejich chování charakterizují tři základní fakta:

- pro vznik intermodulačních produktů 3. řádu potřebujeme minimálně dva signály s různými frekvencemi,
- spojitě se vzrůstem výkonové úrovně těchto dvou signálů o 1dB vzroste úroveň intermodulačních produktů 3. řádu o 3 dB,
- frekvenčně pro intermodulační produkty 3. řádu platí následující schéma: máme-li dva spolu navzájem intermodulující signály na frekvencích  $f_1$  a  $f_2$ , pak se pro nás potenciálně nejzajímavější intermodulační rušící produkty 3.řádu objeví na kmitočtech  $2f_1-f_2$  a  $2f_2-f_1$ .

$$IP3[dBm] = P_{is} + (P_{is} - P_{m3}) / 2 \quad (2)$$

kde  $IP3$  [dBm] je výkonová úroveň průsečnicku s intermodulačními produkty 3.řádu,

kde  $P_{is}$  [dBm] je výkon dvou stejně silných intermodulačních signálů,

kde  $P_{m3}$  [dBm] je výkon intermodulačního produktu 3. řádu.

Parametry odvozené z velikosti intermodulačních produktů 3.řádu můžeme shrnout následovně:

- **vstupní výkonová úroveň  $IP3$ , Input  $IP3$ ,  $IIP3$**  je určena **vstupní** výkonovou úrovní užitečného signálu (respektive dvou signálů) při které by intermodulační produkt 3.řádu teoreticky protnul základní složku pracovního signálu; udává se v [dBm],
- **výstupní výkonová úroveň  $IP3$ , Output  $IP3$ ,  $OIP3$**  je určena **výstupní** výkonovou úrovní užitečného signálu (respektive dvou signálů) při které by intermodulační produkt 3.řádu teoreticky protnul základní složku pracovního signálu; udává se v [dBm].

Mezi oběma parametry pochopitelně platí:

$$IP3[dBm] = OIP3[dBm] - Gain[dB] \quad (3)$$

## 2. Návrh softwarově digitálního radiového přijímače

Cílem je kompaktní návrh analogového přijímače, jehož postup bude použitelný právě i pro vstupní část softwarově definovaného digitálního přijímače (SDDR).

Při návrhu SDDR zůstává vstupní blok přijímače nezměněn. Stejný zůstává i mezifrekvenční zesilovač, jehož minimální zisk pro dosažení požadovaného šumového čísla bude vypočítán dále.

Je důležité vědět, že tzv. „čisté“ řešení softwarově definovaného digitálního rádia není možné a za SDDR považujeme bez výhrad navrhovanou konstrukci. Ideální, především pro softwarové inženýry, by byl pochopitelně takový stav technologie, který by umožňoval konstrukci rádia, jehož přijímací řetězec by začínal přímo analogově digitálním převodníkem. Částečně z principiálních a částečně z technologických důvodů to ovšem tak jednoduše nejde – k velké radosti pro změnu inženýrů hardwarových, zejména těch, co se zabývají radioelektronikou.

Hlavní principiální důvod nutnosti hybridní konstrukce SDDR je jev zvaný výstižně aliasing.

Technologická omezení pak spočívají hlavně ve stále nízkém počtu bitů, které se z pohledu dosažitelného odstupe signálu od šumu u analogově digitálního převodníku efektivně účastní vlastního procesu převodu. Zároveň se zvyšováním počtu efektivních bitů ADC je stále žádoucí zvyšovat i jejich rychlost, čímž se redukuje náklady na anti-aliasing opatření (filtry, speciální kmitočtové plány).

### 2.1 Zásadní hledisko návrhu – parametry dynamického rozsahu

Následující vztahy a rovnice jsou čerpány z knihy Moderní radiový přijímač, viz. literatura [1].

Odvození šumové bilance přijímače – nutné pro kalkulace s dynamickým rozsahem – v oblasti lineárního vyjádření:

Dosažitelný šumový výkon na reálném odporu – v tomto případě na vstupu přijímače – je:

$$P_{noise} = k * T * B \quad (4)$$

Tento šum přicházející do přijímače, je zesilován  $G^x$  (úměrně výkonovému zisku přijímače) a zvětšován  $F^x$  (úměrně šumovému faktoru<sup>84</sup> přijímače). Na výstupu z přijímače potom bude šumový výkon:

$$P_{noise\_out} = F * k * T * B * G \quad (5)$$

Upravíme-li tuto rovnici pomocí jednoduchého matematického triku, dostaneme:

$$P_{noise\_out} = k * T * B * G + (F - 1) * k * T * B * G \quad (6)$$

Což ilustruje šumovou bilanci na výstupu přijímače: k výstupnímu šumovému výkonu ideálního „bezšumového“ přijímače s výkonovým zesílením  $G$  (první součinn na pravé straně rovnice) se přičítá výkon šumu, vznikajícího až v přijímači.

Šumový práh a šumové přijímače spolu úzce souvisí. Také je důležité zopakovat si jedno z používaných čísel. Je to výkon šumu na reálném odporu vztažený na 1 Hz při teplotě  $T=290$  K;

$$10 * \log(k * T) = -174 \text{ dBm}, \quad k = 1,38 * 10^{-23} \text{ J / K} \quad (7)$$

Toto číslo je důležité především proto, že pomocí něj můžeme jednoduše spočítat minimální principiálně danou injekci šumu do vstupu přijímače, která pak omezuje dosažitelnou citlivost přijímače. **Rádiový přijímač s šumovým číslem 0 dB a s šířkou pracovního kanálu 1 Hz by tedy mohl zpracovat minimální detekovatelný signál o úrovni -174 dBm – a to s odstupem tohoto signálu od šumu 0 dB – protože kvůli termodynamickým jevům je zároveň s ním injektován do vstupu přijímače i šumový výkon -174 dBm v 1 Hz šířky pásma.**

Soustředíme-li se na návrh speciálního krátkovlnného přijímače, bude tedy zpracováváný signál procházet v přijímači filtrem s šířkou pásma přibližně 10 MHz a zároveň s ním se v pracovním kanálu přijímače objeví šum s výkonem:

$$P_{noise\_IN}[\text{dBm}] = -174[\text{dBm / Hz}] + 10 * \log(B_{main\_sel\_fit})[\text{dBHz}] = -104 \text{ dBm} \quad (8)$$

Zde vidíme efekt lineárního nárůstu výkonu šumu v rámci šířky pásma pracovního kanálu: z výchozího výkonu -174 dBm v 1 Hz šířky pásma nám výsledná hodnota šumového výkonu v kanálu širokém 10 MHz naroste na -104 dBm, tedy o 70 dBm.

Metody jak snižovat šum obvodů, majoritně určujících šumové číslo přijímače, existují. **Limitním faktorem minimální síly signálů, které na těchto pásmech chceme přijímat, je totiž šum různého původu, přicházející z antény zároveň s užitečným signálem.** Bez hlubšího rozboru a na základě zkušeností je možné uvést, že přijímač se šumovým číslem 10 dB na krátkých vlnách umožňuje dosažení maximální použitelné užitečné citlivosti.

Protože šumové číslo udává zhoršení výstupního poměru signálu k šumu daného bloku vzhledem k jeho příslušným vstupním hodnotám, minimální detekovatelný signál se dále musí zvětšit právě o šumové číslo přijímače, neboť zpracováváný šum dále naroste adekvátně šumovému číslu:

$$P_{noise\_IN}[\text{dBm}] = -174[\text{dBm / Hz}] + 10 * \log(B_{main\_sel\_fit})[\text{dB(Hz)}] + NF[\text{dB}] = -94 \text{ dBm} \quad (9)$$

Rázem se tak dostáváme k hodnotám výkonu zpracovávaného šumu, které už prakticky určují dosažitelnou citlivost přijímače.

Šumové číslo 10 dB se často uvádí jako standardní hodnota užitečného, resp. Využitelného šumového čísla krátkovlnného přijímače, neboť rušivé signály různého původu, injektované v rámci krátkovlnného rozsahu do vstupu rádiového přijímače zároveň s užitečným signálem, neumožňují využití menších hodnot šumového čísla – přijímaný signál je totiž těmito rušivými signály maskován. (Přijímače pro pásma velmi krátkých vln a vyšší obecně vyžadují šumové číslo kolem 1 dB a menší).

## 2.2 Analýza vstupního bloku přijímače

Pro analýzu vstupního bloku přijímače je zadána úroveň zkušebního signálu 0 dBm, šumovou šířku pásma 10 MHz a požadovanou hodnotu poměru  $S/N$  pro výpočet přibližně citlivost 10 dB. Teplotu šumového zdroje necháme 17 °C (290 K)<sup>97</sup>.

Tab.1 Tabulka předběžných hodnot navrhovaného přijímače

	vstupní filtry	předzesilovač	směšovač	diplexer	Mf zesilovač	impedanční přizpůsobení
<b>NF (dB)</b>	5	3,5	6,5	1	4	1
<b>Zisk (dB)</b>	-5	16	-6,5	-1	10	-1
<b>Input IP3</b>	100	38	29	100	35	100
<b>NF</b>	3,16	2,24	4,47	1,26	2,51	1,26
<b>Zisk</b>	0,316	39,8	0,224	0,794	10	0,794

**2.2.1 Zisk (gain) [dB]** (vstupního bloku: všechny bloky jsou uvažovány jako kompaktní řetězec, kde jednotlivé obvody mají reálné vstupní i výstupní impedance 50 Ω; to platí pro všechny v těchto odstavcích uvedené parametry): je dán prostým součtem zisků a útlumů jednotlivých obvodů.

**2.2.2 Šumové číslo (noise figure) [dB]:** je určeno vztahem (10). Tak jak je uveden, počítá s lineárním vyjádřením zisků a šumových čísel obvodů a je nutný převod,

$$NF_{front-end} = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 * G_2} + \frac{NF_4 - 1}{G_1 * G_2 * G_3} + \dots \quad (10)$$

$$NF_{front-end} = 3,16 + \frac{2,24 - 1}{0,316} + \frac{4,47 - 1}{0,316 * 39,8} + \frac{1,26 - 1}{0,316 * 39,8 * 0,224} + \frac{2,51 - 1}{0,316 * 39,8 * 0,224 * 0,794} + \frac{1,26 - 1}{0,316 * 39,8 * 0,224 * 0,794 * 10} = 8,139 \rightarrow 9,11 dB \quad (11)$$

**2.2.3 Šumový práh (noise floor), [dBm/Hz]:** je dán součtem hustoty výkonu tepelného šumu a šumového čísla; oboje vyjádřeno v [dBm/Hz], tedy:

$$-173,9 [dBm/Hz] + 9,11 [dB] = -164,89 [dBm/Hz] \quad (12)$$

**2.2.4 Minimální detekovatelný signál (MDS), [dBm]:** je dán součtem výkonové úrovně šumového prahu a v decibelech vyjádřené šířky pásma přijímače, tedy:

$$-164,89 [dBm/Hz] + 10 * \log(10000000) [dBHz] = -164,89 + 70 = -94,89 [dBm] \quad (13)$$

**2.2.5 Poměr signál-šum (SNR), [dB]:** je rozdíl mezi výkonovou úrovní testovacího signálu 98 (v našem případě 0 dBm) a šumovým prahem, ovšem v rámci šířky pásma pracovního kanálu, tedy:

$$0[dBm] - \{-164,89[dBm/Hz] + 10 * \log(10000000)[dBHz]\} =$$

$$= 0 + 164,89 - 70 = \underline{-94,89[dB]} \quad (14)$$

**2.2.6 Citlivost (Sensitivity), [dBm]:** je dána součtem výkonové úrovně minimálního detekovatelného signálu a požadovaného odstavu signál-šum (v našem případě 10 dB), to vše v rámci šířky pásma přijímaného kanálu, tedy:

$$-94,89[dBm] + 10[dB] = \underline{-84,89[dBm]} \quad (15)$$

**2.2.7 Vstupní výkonová úroveň IP3 (Input IP3), [dBm]:** je dána vzorcem (10), do kterého se dosazují vstupní úrovně IP3 jednotlivých bloků (na rozdíl například od programu AppCAD, kde figurují výstupní úrovně tohoto parametru),

$$IP3_{front-end} = \frac{1}{\frac{1}{IP3_1} + \frac{G_1}{IP3_2} + \frac{G_1 * G_2}{IP3_3} + \dots} \quad (16)$$

$$IP3_{front-end} =$$

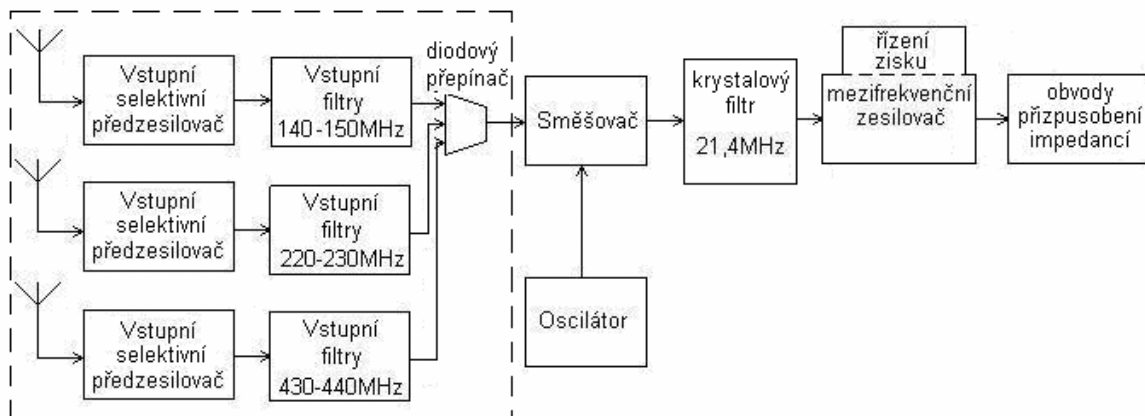
$$\frac{1}{\frac{1}{1 * 10^{10}} + \frac{0,316}{6309} + \frac{0,316 * 39,8}{794} + \frac{0,316 * 39,8 * 0,224}{1 * 10^{10}} + \frac{0,316 * 39,8 * 0,224 * 0,794}{3163} +}$$

$$\frac{1}{+ \frac{0,316 * 39,8 * 0,224 * 0,794 * 10}{1 * 10^{10}}} = \underline{0,01656 \rightarrow 17,8dBm} \quad (17)$$

### 3. Konkrétní návrh přijímače

#### 3.1 Blokové uspořádání

Na obr. 1) je znázorněno blokové uspořádání navrhovaného softwarového přijímače. Čárkovaně ohraničená část určuje oblast podrobnějšího návrhu v mé bakalářské práci



Obr. 1) Blokové schéma vstupní části přijímače

#### 3.2 Volba směšovače

Obvodem, od jehož parametrů se obvykle odvíjí návrh, je směšovač. Je to logické, neboť z hlediska signálového toku se jedná o komplikovaný obvod (trojbran) a dosažení potřebné vysoké linearit – nutné podmínky pro vysokou odolnost přijímače – není technologicky jednoduché. Jeho vstupní brána je navíc zatížena všemi signály pracovního pásma přijímače, někdy ještě zesílenými vstupním zesilovačem.

Pro náš návrh je vhodné zvolit dvojitě vyvážený diodový směšovač, který má typický vložený útlum 6 až 8 dB. Tím je dána i hodnota jeho šumového čísla NF. Jako vhodný, pro pásmo VHF a UHF se jeví směšovač s označením SRA-1+. Jehož maximální pracovní frekvence se pohybuje okolo 500 MHz, což je pro naše účely dostačující. Má výborné směšovací ztráty, 5,11 dB.

Parametry a vnitřní zapojení jsou popsány dále.

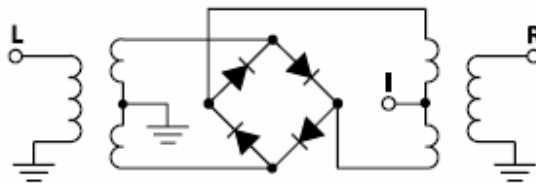
**Tab. 2a, 2b: Elektrické parametry směšovače SRA-1+**  
2a)

Frekvence (MHz)		Směšovací ztráty (dB)				LO-RF izolace (dB)						LO-IF izolace (dB)					
LO/RF	IF	Střední m		Celk. rozsah Max.	Max.	L		M		U		L		M		U	
$f_L$ - $f_U$	X	$\delta$	Max.			Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min
0,5-500	DC-500	5,11	0,09	7	8,5	50	45	45	30	35	25	45	35	40	25	30	20

L-malý rozsah( $f_L$  do  $10f_L$ ); M-střední rozsah( $10f_L$  do  $f_U/2$ ); U-konečný rozsah( $f_U/2$  do  $f_U$ )

2b)

Frekvence (MHz)		Směšovací ztráty (dB)		Izolace L-R (dB)		Izolace L-I (dB)	
RF	LO	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm	LO +7dBm
0,50	30,50	7,29	>67,00	>67,00	>67,00		
1,00	31,00	6,89	>67,00	>67,00	62,73		
2,00	32,00	6,49	>67,00	>67,00	61,28		
5,00	35,00	6,01	>67,00	>67,00	60,55		
10,00	40,00	5,99	>67,00	>67,00	59,37		
20,00	50,00	6,02	>67,00	>67,00	59,08		
32,73	62,73	5,96	59,27	59,27	57,92		
50,00	80,00	5,91	56,01	56,01	56,08		
64,95	94,95	5,87	53,83	53,83	54,11		
100,00	70,00	5,81	49,90	49,90	49,45		
161,63	131,63	5,84	44,60	44,60	43,60		
200,00	170,00	5,99	41,47	41,47	40,82		
226,08	196,08	5,95	40,62	40,62	39,96		
258,31	228,31	5,89	39,44	39,44	37,84		
306,65	276,65	5,99	37,26	37,26	36,42		
354,99	324,99	6,23	34,94	34,94	34,34		
403,33	373,33	6,32	33,70	33,70	33,77		
451,66	421,66	6,68	33,66	33,66	33,23		
483,89	453,89	7,17	34,17	34,17	34,46		
500,00	470,00	7,25	34,51	34,51	34,41		



Obr. 2) Elektrické schéma směšovače SRA-1+



Obr. 3) Foto pouzdra A01

**Tab. 3 Označení vývodů pouzdra A01**

LO	8
RF	1
IF	3,4
ZEM	2,5,6,7
Uzemnění pouzdra	2

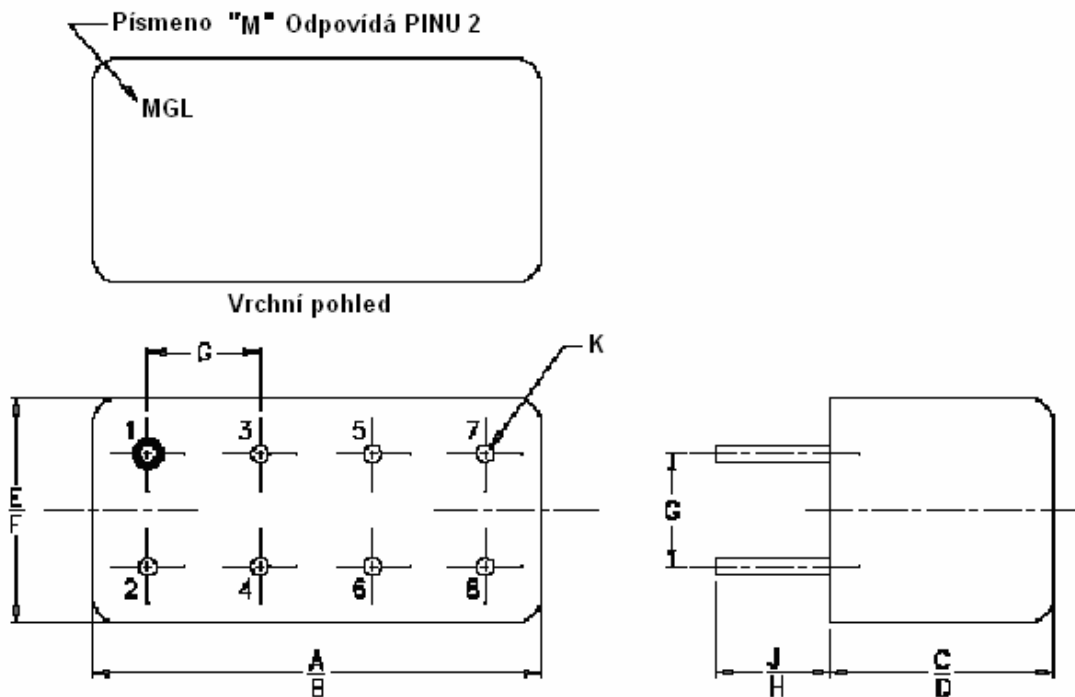
**Tab. 4 Pracovní podmínky pouzdra A01**

Pracovní teplota	,-55°C do 100°C
Skladovací teplota	,-55°C do 100°C
RF výkon	50mW
IF proud	40mA

**Tab. 5 Tabulka rozměrů pouzdra A01**

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	
.770	.800	.385	.400	.370	.400	<b>inch</b>
19.56	20.32	9.78	10.16	9.40	10.16	<b>mm</b>
<b>G</b>	<b>H</b>	<b>J</b>	<b>K</b>			
.200	.20	.14	.0,31			<b>inch</b>
5.08	5.08	3.56	0.79			<b>mm</b>

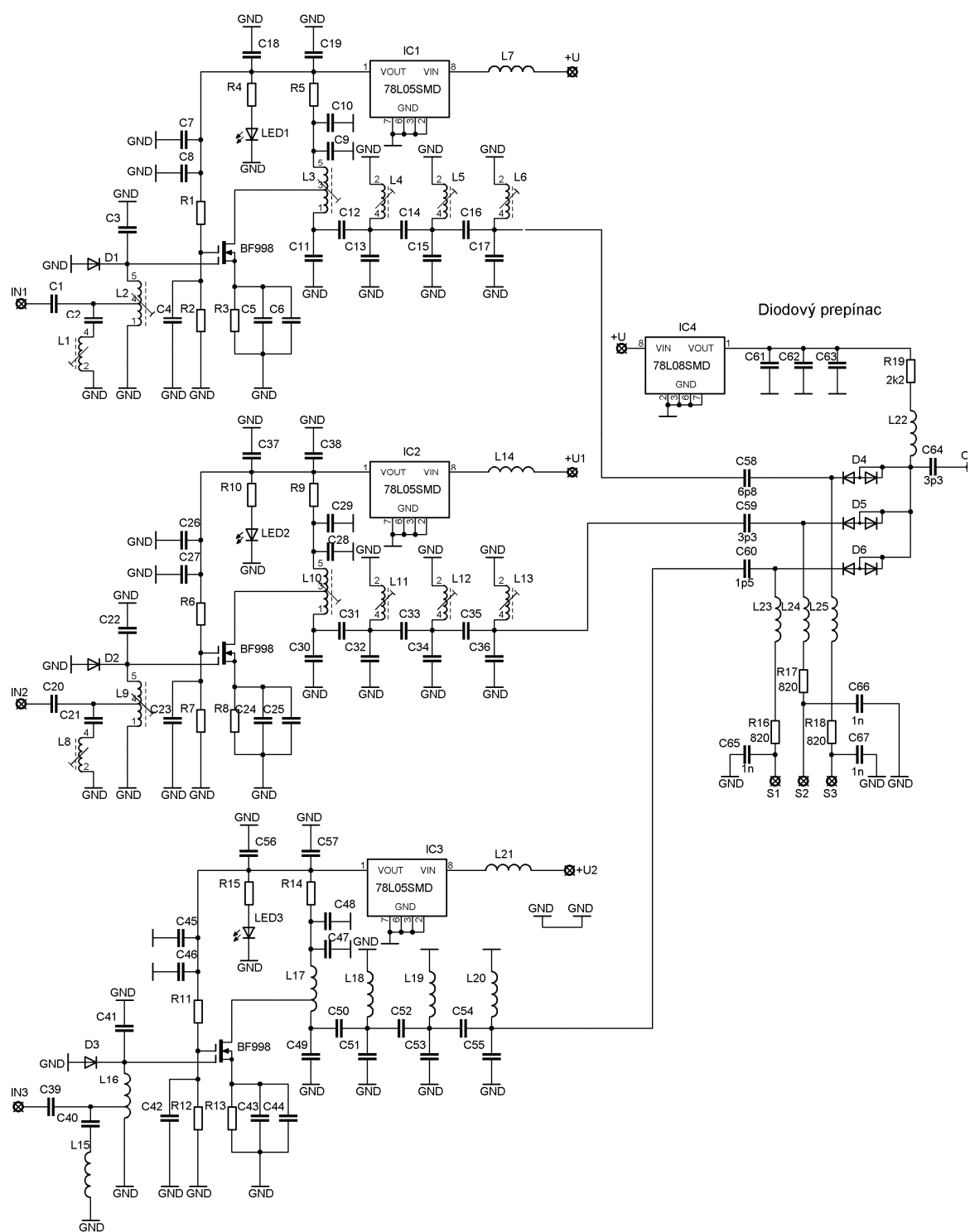




Obr. 4) Tvar a rozmístění pinů pouzdra A01, přehled rozměrů

### 3.3 Anténní předzesilovač, filtr, přepínač

Na obr. 5) je zobrazeno celkové schéma vstupní části navrhovaného přijímače pro pásmu VHF. Vstupní díl obsahuje tři anténní předzesilovače s pásmovými propustmi za nimiž následuje diodový přepínač. Celý obvod je přes stabilizátor 78L05 napájen stejnosměrně pěti volty. Pro přepínač je použit stabilizátor 78L08 s 8 V na výstupu.



Obr. 5) Celkové schéma vstupní části přijímače

### 3.3.1 Napět'ový stabilizátor 78L05

Pro dosažení stability napájecího napětí jsou předzesilovače i přepínač napájeny přes stabilizátor napětí 78L05, respektive 78L08, který jakékoli přiložené stejnosměrné napětí přetransformuje na pevnou hodnotu 5 V stejnosměrných. Výhodou je možnost napájet více obvodů s různým jmenovitým napětím z jednoho zdroje. Maximální výstupní proud stabilizátoru je podle výrobce stanoven na 150 mA, což našim účelům dostačuje.

#### VLASTNOSTI:

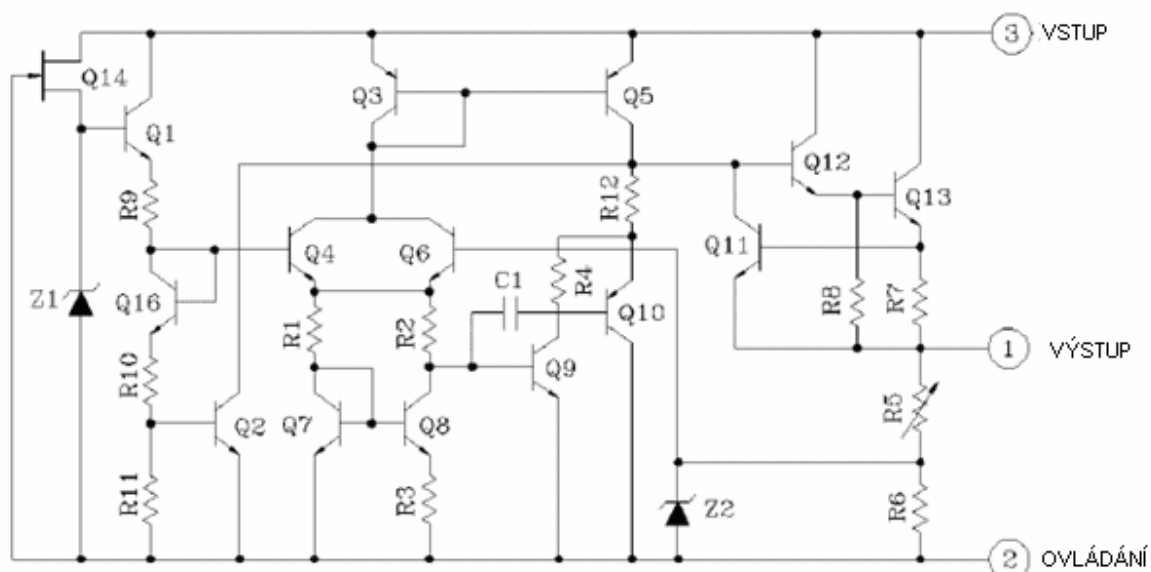
- Vhodný jako zdroj energie pro TTL a C-MOS obvody.
- Není potřebná klasická součástka.
- Maximální výstupní proud 100 mA.
- Postaveno v tepelně ochranném obvodu

**Tab. 6 Maximální parametry stabilizátoru 78L05**

CHARAKTERISTIKA	SYMBOL	HODNOTY	JEDNOTKA
Vstupní napětí	$V_{IN}$	35	V
		40	
Ztrátový výkon	$P_D$	500	mW
Provozní teplota přechodu	$T_j$	-30~150	°C
Provozní teplota	$T_{opr}$	-30~75	°C
Skladovací teplota	$T_{stg}$	-65~150	°C

**Tab. 7 Elektrické parametry napět'ového stabilizátoru**

VLASTNOSTI	SYMBOL	TESTOVACÍ OBVOD	MIN.	TYP.	MAX.	JEDNOTKA
Výstupní napětí	$V_{OUT}$	1	4,8	5	5,2	V
Reg. Čára	Reg. Čára	1	-	80	200	mV
			-	20	160	
Stabilizace zatížení	Reg. Zatížení	1	-	17	90	mV
			-	8	45	
Výstupní napětí	$V_{OUT}$	1	4,65	-	5,3	V
			4,65	-	5,3	
Klidový proud	$I_B$	1	-	3,1	6	mA
			-	-	5,5	
Změna klidového proudu	$\Delta I_B$	1	-	-	1,5	mA
			-	-	0,1	
Výstupní šumové napětí	$V_{NO}$	1	-	40	-	$\mu V_{rms}$
Dlouhodobá stabilita	$\Delta V_{OUT}/\Delta t$	1	-	12	-	mV/1,0kHrs
Činitel potlačení	RR	2	41	49	-	dB



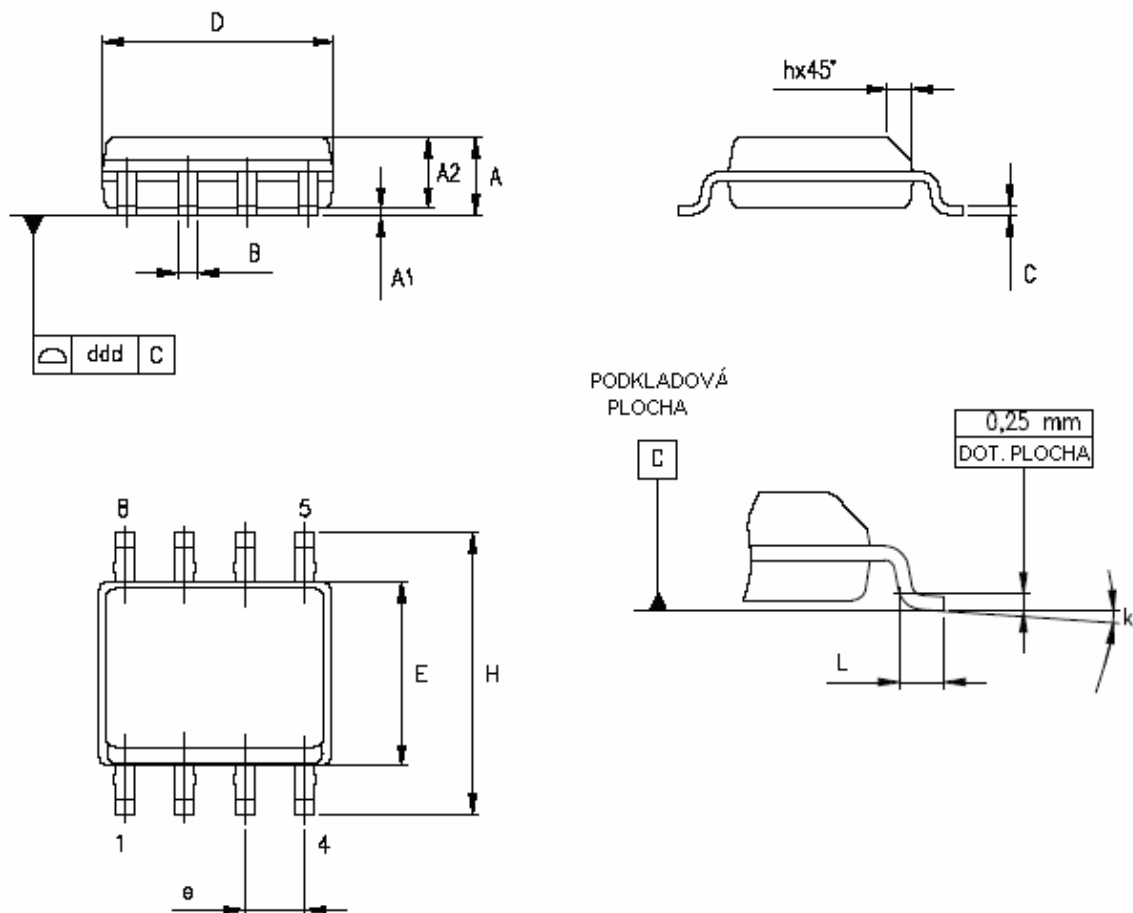
Obr. 6) Vnitřní zapojení testovacího obvodu napěťového stabilizátoru 78L05F

## POUZDRO SO-8

Napěťový stabilizátor je uložen do pouzdra SO-8, tedy v provedení SMD. Pouzdro má 8 vývodů. Vstup, výstupy a zemní vodiče. Přehled rozměrů a tvar součástky je zobrazen na Obr. 7) Respektive v Tab. 8.

Tab. 8 Přehled rozměrů pouzdra SO-8

Rozměr	Milimetry	
	Min.	Max.
A	1,35	1,75
A1	0,10	0,25
A2	1,10	1,65
B	0,33	0,51
C	0,19	0,25
D	4,80	5,00
E	3,80	4,00
e		
H	5,80	6,20
h	0,25	0,50
L	0,40	1,27
ddd		0,1



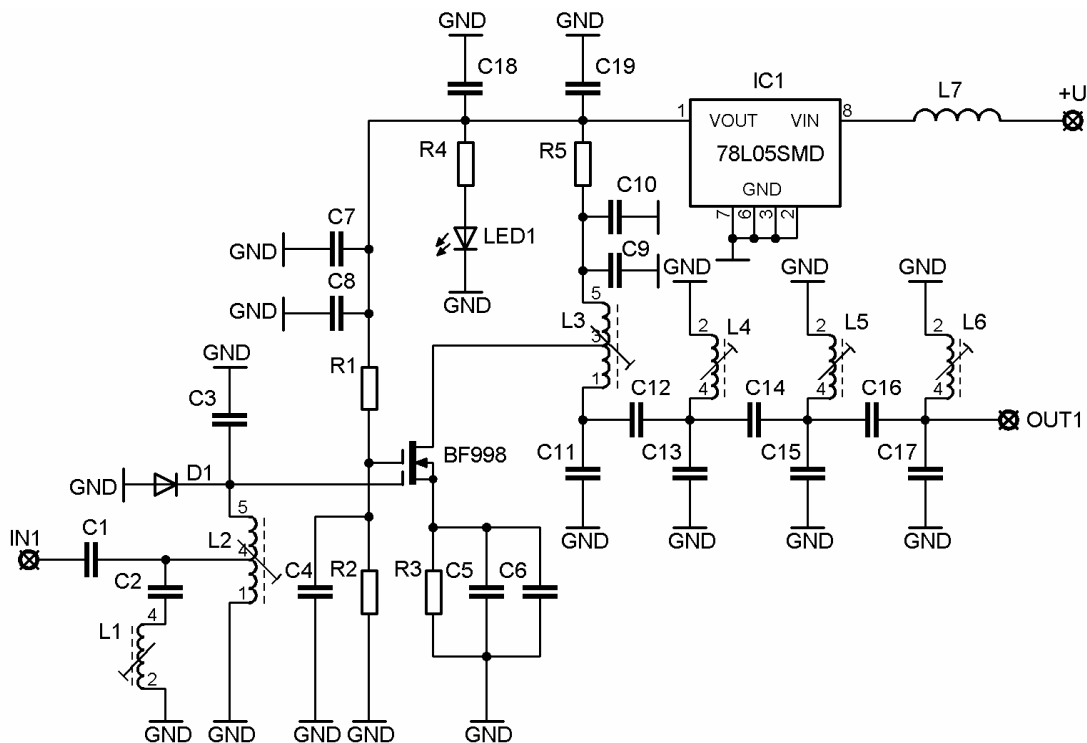
Obr. 7) Tvar a rozměry pouzdra SO-8

### 3.4 Anténní předzesilovač a vstupní filtry

Úkolem vstupních filtrů přijímače je minimalizovat úroveň silných nežádoucích signálů, které by – v případě jejich absence – mohly volně pronikat až do obvodů se součástkami s nelineární převodní charakteristikou. Exponovanými obvody jsou především směšovač a zesilovač, sloužící jako impedanční transformátor mezi výstupem směšovače a filtrem soustředěné selektivity.

Vstupní filtry nemusí mít zvlášť vysoký útlum ve svém nepropustném pásmu, uvažujeme-li efekt intermodulačního zkreslení. Při vstupní úrovni  $IP3$  předzesilovače přesahující hodnotu 10 dBm, jsou hodnoty konečného útlumu v nepropustném pásmu vyšší než 40 dB dostatečné. Filtry by ale měly vykazovat pokud možno nízký útlum v rámci propustného pásma, strmý přechod z propustného do nepropustného pásma – aby bylo možné vymezit jejich působení co nejtěsněji hranicí intervalu pracovních frekvencí – a malé zvlnění útlumu v rámci pásma propustnosti.

V navrhovaném přijímači jsou použity čtyř-obvodové pásmové propusti, jejichž parametry vyhoví zadaným nárokům.



Obr. 9) Schéma vstupního předzesilovače a pásmových propustí pro jeden kanál

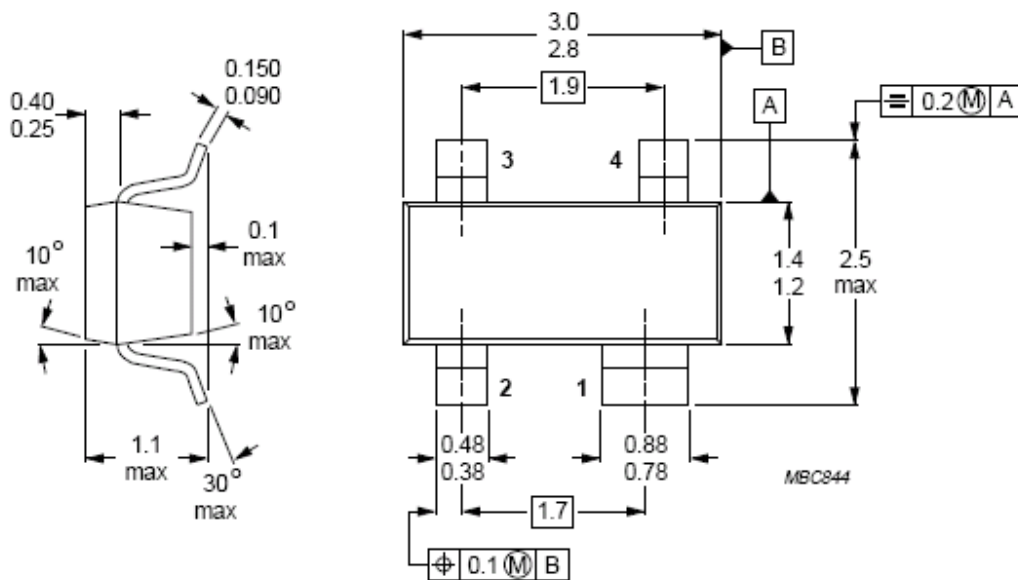
Jedná se o úzkopásmový selektivní zesilovač osazený jedním MOS-FET tranzistorem BF998 se dvěma hradly. V našem zapojení použijeme celkem tři předzesilovače s pásmovými propustmi, jejichž zapojení bude odpovídat obr. 9). Každý obvod bude naladěn na předepsané pásmo frekvencí, které se zesílí a poté v pásmových propustech složených z několika stupňů L-C článků, ještě více selektuje. Hned na vstupu kondenzátor  $C_2$  takto zapojení s přeladitelným induktorem  $L_1$  představuje odlaďovací článek k případnému zarušení nežádoucí frekvence. Dle potřeby je možno tyto součástky neosadit. Další obvod  $L_2$  a  $C_3$  již svým naladěním určuje, které pásmo frekvencí bude tranzistor zesilovat. Případnému přepětí brání Schodky dioda  $D_1$ . Pro pásmo 430-440 MHz se již tato dioda z důvodu vysoké frekvence nemohla osadit, neboť bránila svými vlastnostmi průchodu požadovaného signálu dále k obvodům zesilovače. Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  slouží k nastavení pracovního bodu tranzistoru. Pro pásmo frekvencí třetího kanálu, tedy 420-430 MHz se již neuplatní cívky s jádrem a proto se induktoři  $L_1$  a  $L_3$ - $L_6$  nahradí vzduchovými. Celé zařízení je napájeno přes tlumivku  $L_7$  a přes již známý napěťový stabilizátor 78L05, který dodává stabilních 5 V.

### 3.4.1 Tranzistor BF998R

Jedná se o křemíkový N-kanálový MOS-FET s dvojitým hradlem. Je vhodný pro VKV a UKV aplikace s velikostí napájecího napětí 12 V, jako například v televizním kanálovém voliči, či v profesionálních komunikačních zařízeních. Tento tranzistor řízený polem je umístován do miniaturních plastických pouzder s označením SOT143 či SOT143R který má zrcadlově obráceně vývody oproti prvnímu typu.

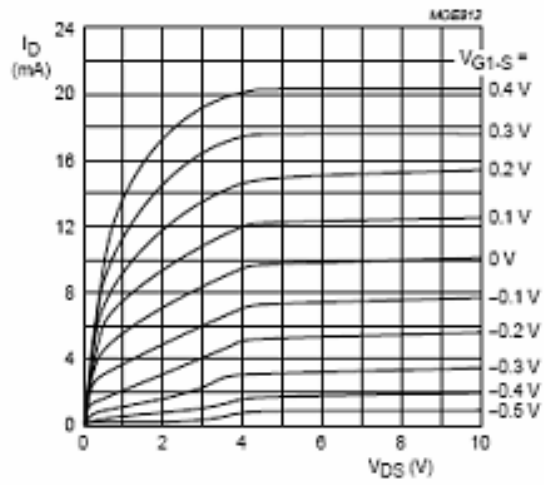
Tab. 9 Tabulka referenčních údajů tranzistoru BF998R

SYMBOL	PARAMETRY	PODMÍNKY	TYP.	MAX.	JEDNOTKA
$V_{DS}$	Napětí kanálu		-	12	V
$I_D$	Kolektorové napětí		-	30	mA
$P_{tot}$	Celkový ztrátový výkon		-	200	mW
$I_{yfs1}$	přenosová admittance		-	-	mS
$C_{ig1-s}$	Vstupní kapacitní reaktance hradla 1		24	-	pF
$C_{rs}$	Zpětná přenosová Kapacitance	$f = 1\text{MHz}$	2,1	-	pF
F	Šumové číslo	$f = 800\text{MHz}$	1	-	dB
$T_j$	Provozní teplota přechodu		-	150	°C

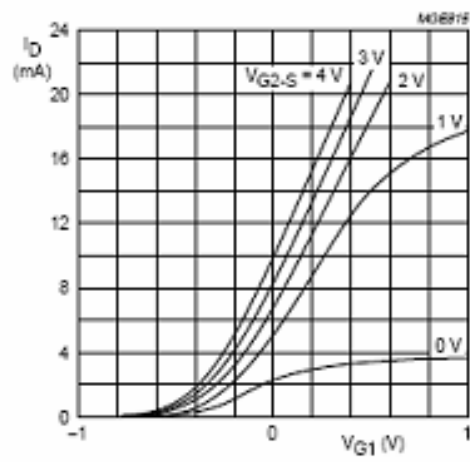


Obr. 10) Tvar a rozměry pouzdra SOT143R

a)



b)

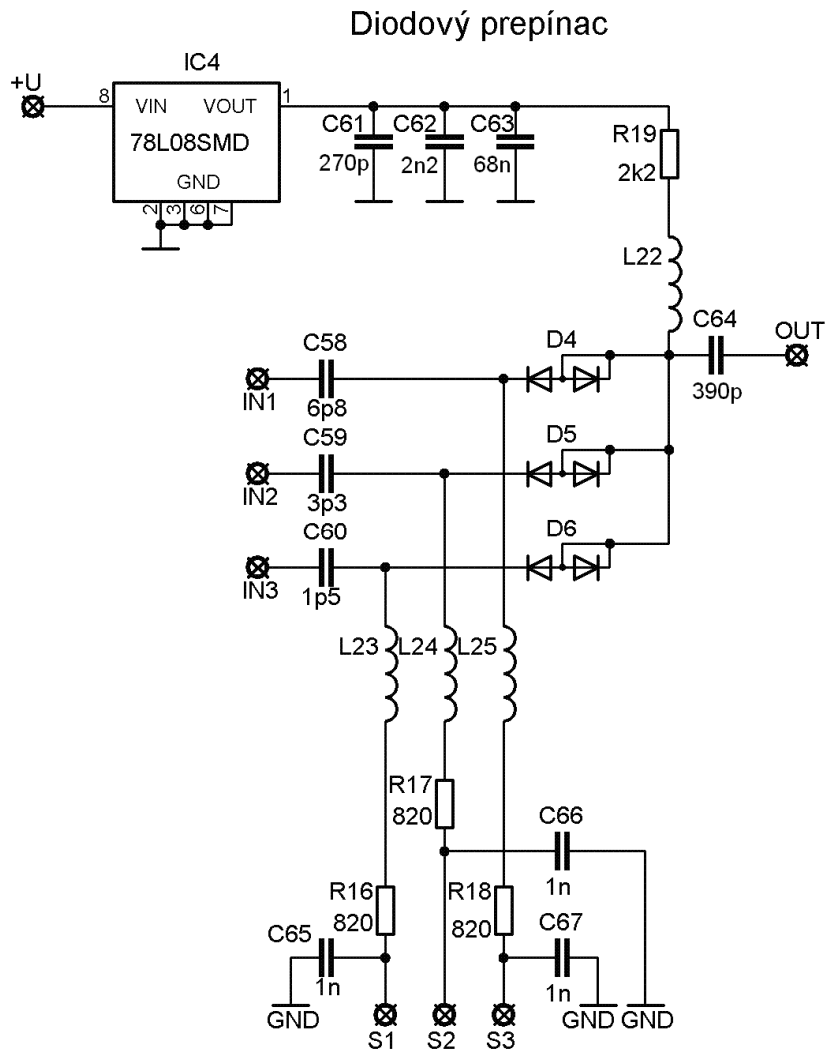


Obr 11 Grafy typických hodnot, a) Výstupních charakteristik ( $V_{G2-S}=4\text{ V}$ ,  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
 b) Přenosových charakteristik ( $V_{DS} = 8\text{ V}$ ,  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), tranzistoru BF998R.



### 3.5 Přepínač

Protože v našem zapojení figurují tři vstupní obvody, pro tři různé frekvence, není možné přivádět na společný směšovač všechny signály najednou. Proto je do schématu zařazen přepínač. Jedná se o trojitý, diodový přepínač. Pod označením  $D_4$ ,  $D_5$ , a  $D_6$  se skrývají „rychlé“ PIN diody s označením HSMP3823. Přepínač je napájen přes stabilizátor napětí 78L08SMD 8 V. Celé zařízení je ovládáno manuálně, pomocí mikro-spínačů  $S_1$ - $S_3$  budeme podle potřeby přivádět zem ke katodám příslušných diod, čímž na anodě vznikne kladnější potenciál. Dioda se otevře a na výstupní svorce se objeví signál příslušné vstupní větve.



Obr 12) Schéma diodového přepínače pro tři vstupy

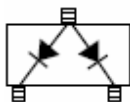
### 3.5.1 PIN diody – teorie

Užívá se v oblasti centimetrových vln jako řízený odpor nebo spínač. Skládá se ze dvou silně legovaných oblastí  $P^+$  a  $N^+$  a oblasti vlastního (intrinzičského) polovodiče I. Pro funkci diody je rozhodující vlastnost vrstvy I.

Přiloží-li se na PIN diodu napětí v přímém směru, dojde k injekci nosičů do obou konců oblasti I a její odpor se zmenšuje v závislosti na procházejícím proudu. Vzhledem ke značné časové konstantě rekombinace (asi 1  $\mu s$ ) a velké době potřebné k extrakci těchto nosičů z vrstvy I nestačí se při vyšších kmitočtech oblast I vyprázdnit v průběhu záporné půlperiody. Proto se při harmonickém průběhu vf. napětí ustálí střední hodnota nosičů v oblasti I a dioda z vysokofrekvenčního hlediska představuje nízkou impedanci, ve velkém rozsahu nezávislou na přenášeném výkonu. Při závěrně polarizované PIN diodě dojde k odčerpání náboje z objemu vrstvy I a vytvoří se oblast prostorového náboje (tloušťka závisí na přiloženém napětí). Dioda se chová jako kondenzátor, jehož hodnota klesá. Přivedeme-li vf. napětí, nestačí se vrstva I v průběhu kladné půlperiody zaplnit nosiči a dioda vykazuje vysokou impedanci s malou závislostí na přivedeném výkonu. PIN diody se obvykle vyrábějí z křemíku. Základ tvoří vrstva I, do níž se difundují nebo implantují vrstvy  $N^+$  a  $P^+$ .

### 3.5.2 PIN dioda – HSMP-3823

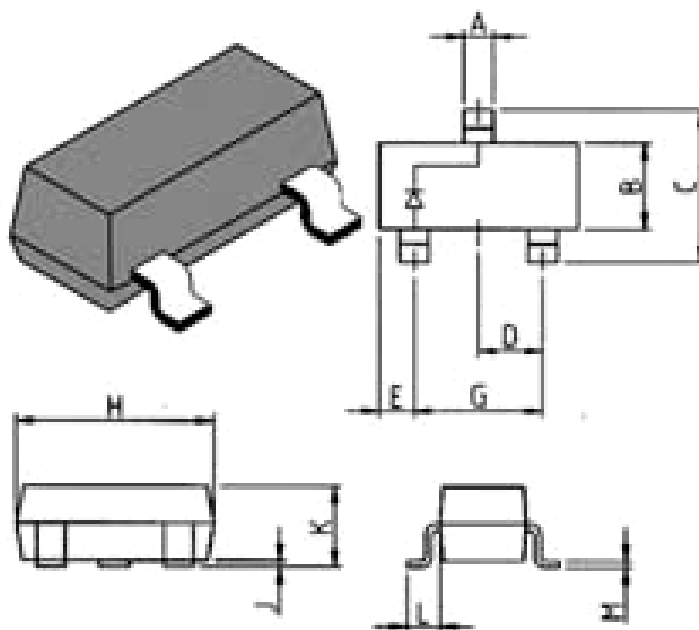
PIN dioda s označením HSMP-3823, v sobě skrývá ve skutečnosti dvě PIN diody se společnou anodou. Součástka je tudíž 3-pinová. Diody jsou uloženy v pouzdře s označením SOT23. Jedná se o SMD součástku. Svými parametry se dioda hodí právě ke spínání obvodů, nebo jako výkonový omezovač. Nejvýraznější vlastností je malý odpor, který činí přibližně 0,6  $\Omega$ .



Obr. 13) Vnitřní zapojení diod se společnou anodou součástky HSMP-3823

Tab. 10 Přehled elektrických parametrů pouzdra SOT-23 PIN diody HSMP-3823

Symbol	Parametr	Jednotka	SOT-23
$I_f$	Propustný proud (1 $\mu s$ puls)	Amp	1
$P_{IV}$	Špička inverzního napětí	V	50
$T_j$	Teplota přechodu	$^{\circ}C$	150
$T_{stg}$	Skladovací teplota	$^{\circ}C$	-65 až 150
$\theta_{je}$	Tepelný odpor	$^{\circ}C/W$	500



Obr. 14) Tvar a rozměry pouzdra SOT-23

Tab. 11 Přehled rozměrů pouzdra SOT-23

Rozměr	Min	Max
A	0,37	0,50
B	1,19	1,40
C	2,10	2,50
D	0,89	1,05
E	0,45	0,61
F	1,78	2,05
G	2,79	3,05
H	0,01	0,15
J	0,89	1,10
K	0,45	0,61
L	0,08	0,13
M		
Všechny rozměry jsou v (mm)		

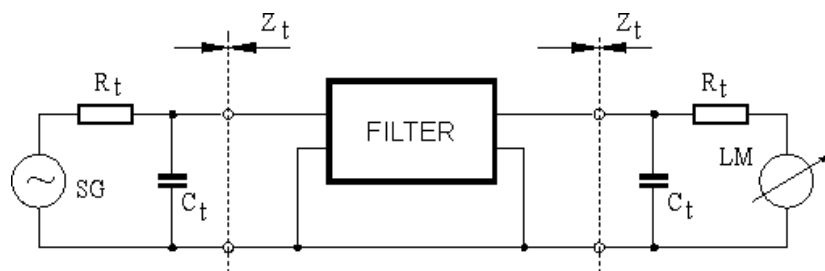
### 3.6 Krystalový filtr

Při daném zapojení se jeví jako vhodný krystalový filtr typu: MCF 21.4-6.94/8 s 8 útlumovými póly. Hodnota provozního útlumu v propustném pásmu je 4 dB a jmenovitá zatěžovací impedance 50 Ω / 0 pF. Viz parametry níže:

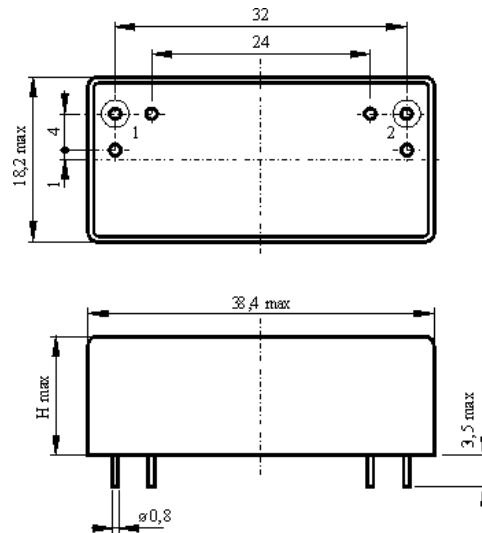
#### 3.6.1 Elektrické parametry

**Tab.12 Elektrické parametry vybraného krystalového filtru KF 17**

1.0 Počet pólů:	8
1.1 Nominální frekvence $f_{nom}$ :	21 400 kHz
1.2 Šířka pásma mezi 6 dB frekvence:	$\geq \pm 3.47$ kHz
1.3 Zvlnění ( $f_{nom} \pm 3.0$ kHz ):	$\leq 1.0$ dB
1.4 Provozní útlum:	$\leq 4.0$ dB
1.5 Potlačené pásmo:	$f_{nom} \pm 6.68$ kHz: $\geq 55$ dB
	$f_{nom} \pm 7.25$ kHz: $\geq 60$ dB
1.6 Alternativní útlum:	$> 90$ dB
1.7 Parazitní odezvy:	$> 90$ dB
1.8 útlum odrazu( $f_{nom} \pm 3.465$ kHz ):	$\geq 8$ dB
1.9 Reálná impedance ( vstupní a výstupní ):	50 Ohm // 0 pF
1.10Rozsah operačních teplot:	- 40°C ... + 85°C
1.11 Pouzdro:	<u>KF 17</u>



*Obr. 15) Schéma zapojení KF 17*



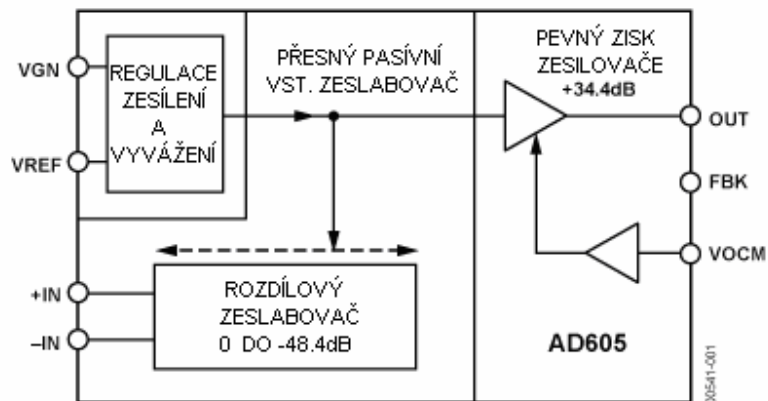
Obr. 16) Pouzdro krystalového filtru KF 17

### 3.7 Mezifrekvenční zesilovač

Pro dodržení požadované hodnoty výstupního napětí za mezifrekvenčním zesilovačem 2 V<sub>p-p</sub> se jako vhodný jeví předložený typ obvodu AD605. Parametry jsou uvedené v tab.13 Velikost pásma 40 MHz je z hlediska krystalového filtru (21,4 MHz) dostačující. Jako případné další alternativy můžeme využít obvody AD600, AD602, AD604 s podobnými parametry.

Tab.13 Parametry obvodu AD605

Napájecí napětí	-
Nízký zisk (dB)	-14dB
Vysoký zisk (dB)	+34dB
Šířka pásma	40MHz
Vstupní spektrální šum	1.8nV/rtHz
Přesnost	±0.2dB
Napájecí proud	23mA
Pouzdro	16-Lead SOIC



Obr. 17) Blokovoé schéma obvodu AD605

## 4. Konstrukce

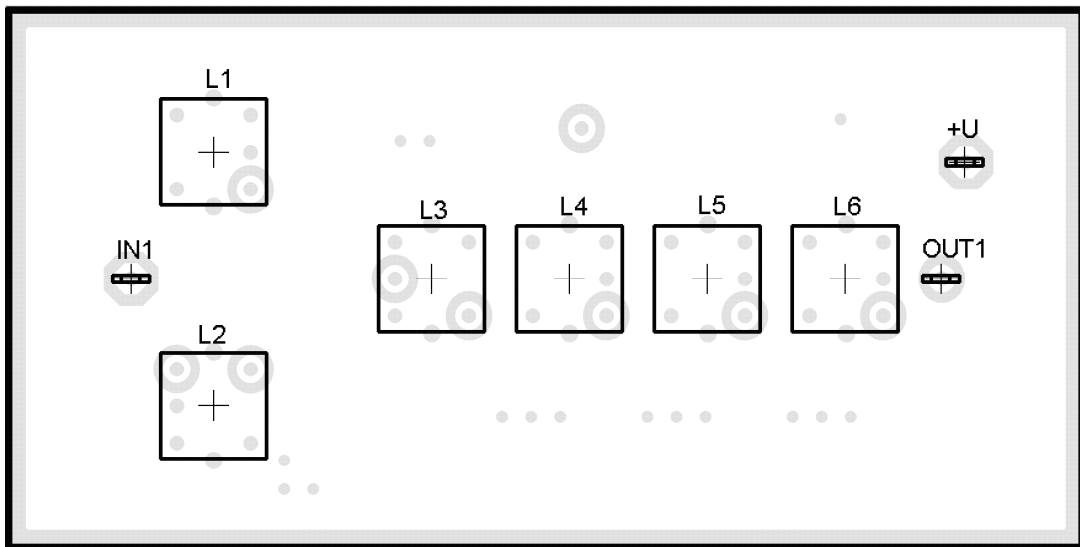
Návrh desek plošných spojů, je již finální verzí, vzor desky (viz. Příloha 2. a 3.) a osazovací schémata jsou zobrazeny níže. Pro uvedené zadání jsem vygeneroval dvě verze plošných spojů. Deska s označením *DPS01A* je určena pro první a druhé frekvenční pásmo tedy 144-146 MHz a 220-225 MHz. Druhá verze, tedy *DPS01B* je určena pro třetí nejvyšší pásmo 430-440 MHz. Rozdíl je dán osazením cívek. Deska *DPS01A* je navržena pro cívkové sady s jádrem, kdežto *DPS01B* pro klasickou vzduchovou cívku, neboť frekvence je již tak vysoká, že cívka s feritovým jádrem se již nedá využít.

Při navrhování desek plošných spojů jsem musel brát ohled na požadovaný rozměr. Velikost plošných desek je normována podle rozměrů krabiček do kterých budou umístěny. Jako vhodné se jeví přístrojové pocínované krabičky rozměrech 37x74x30 mm, vyrobeny z 0,5 mm silného pocínovaného plechu, distribuované u nás firmou GES-electronics. Obě desky budou ze strany součástek pokryty zeminí, měděnou fólií a oboustranně postříbřeny. Plošné spoje jsou osazeny SMD součástkami, které budou napájeny ze strany spojů, a klasickými součástkami, respektive cívkovými sadami osazenými ze strany součástek.

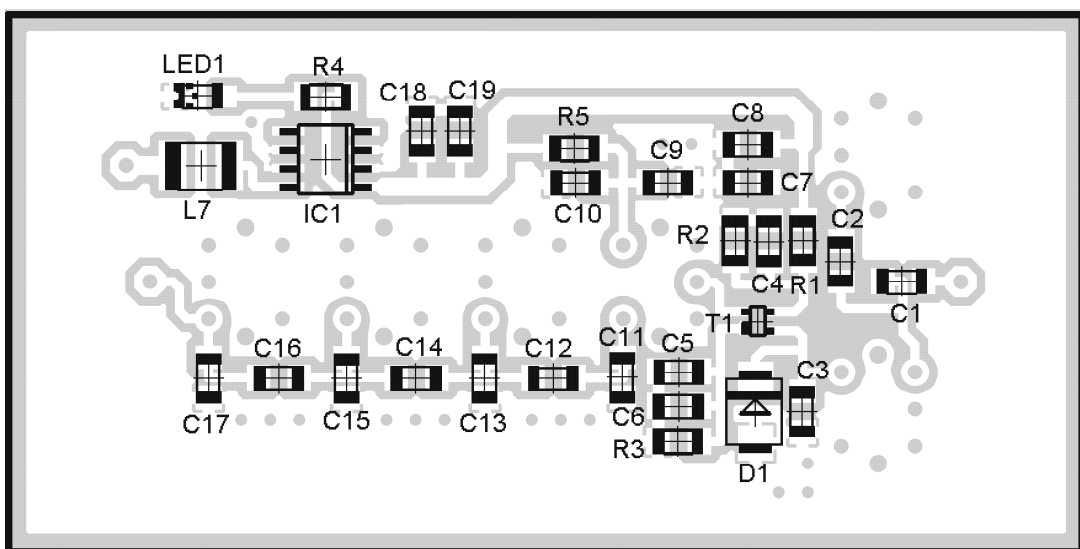
## 4.1 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů předzesilovače a vstupních filtrů a také přepínače jsou společně s osazovacími schémata uvedeny v Příloze 2.a 3., v měřítku 1:1 jako šablony pro možnost další tvorby těchto desek. Pro lepší přehled o umístění součástek zde uvádím Osazovací schémata jednotlivých DPS.

### 4.1.1 Osazovací schéma anténního předzesilovače a vstupních filtrů (DPS01A)–OS01A

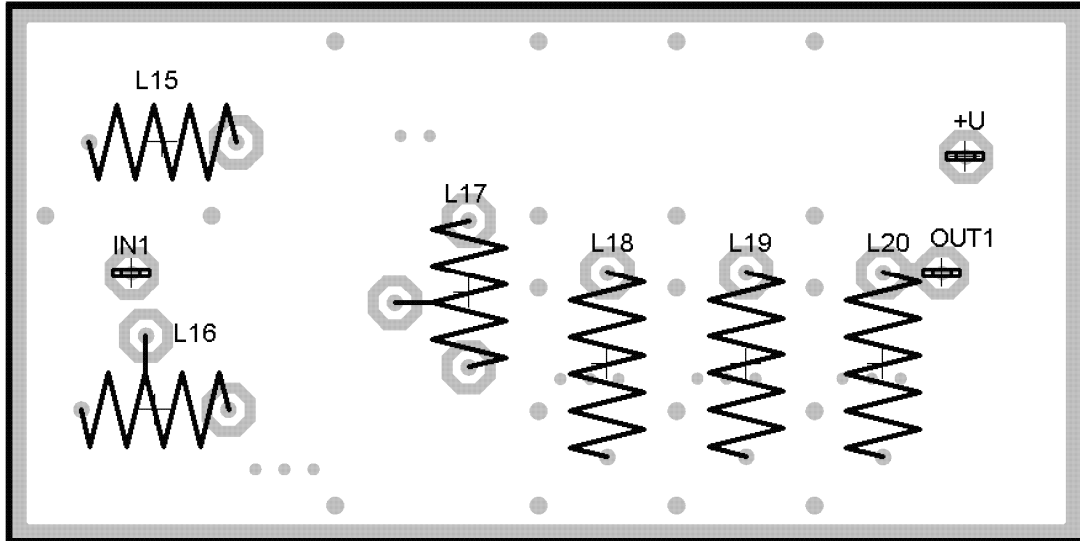


Obr. 18) Osazovací schéma OS01A(rozměr 74:37mm, zobrazení 2:1) –TOP

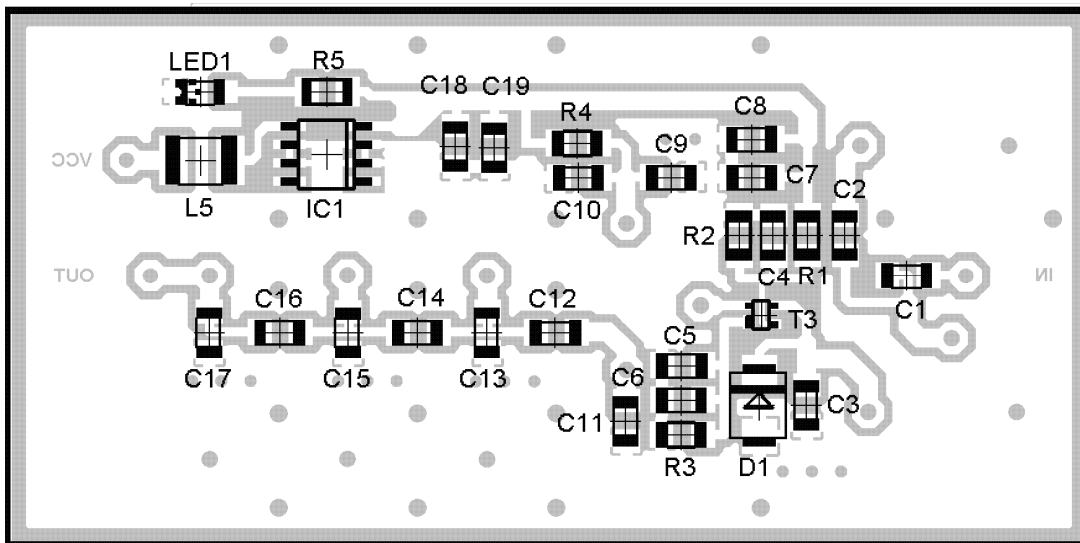


Obr. 19) Osazovací schéma OS01A(rozměr 74:37mm, zobrazení 2:1) –BOTTOM

#### 4.1.2 Osazovací schéma anténního předzesilovače a vstupních filtrů (DPS01B)–OS01B



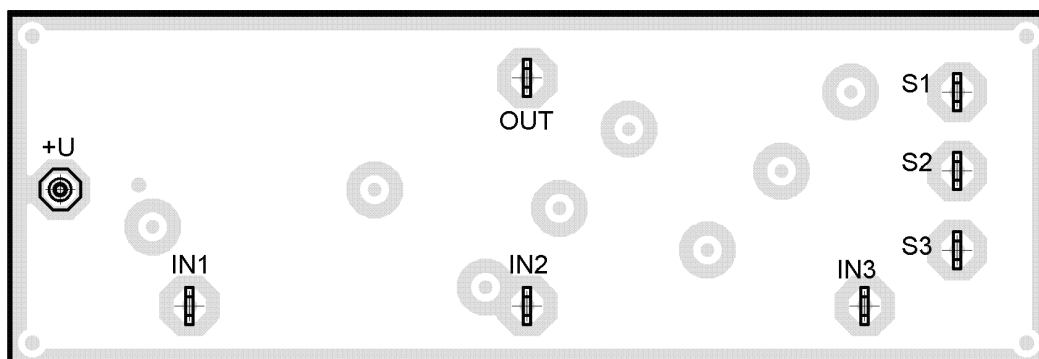
Obr. 20) Osazovací schéma OS01B(rozměr 74:37mm, zobrazení 2:1) –TOP



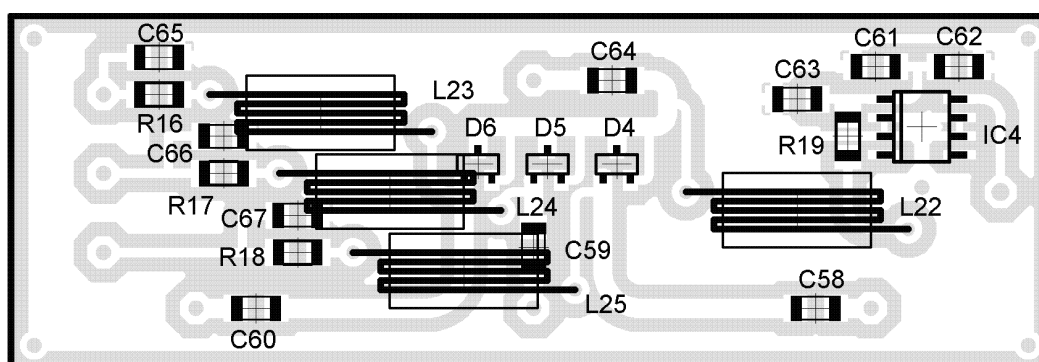
Obr. 21) Osazovací schéma OS01B(rozměr 74:37mm, zobrazení 2:1) –BOTTOM



### 4.1.3 Osazovací schéma diodového přepínače – OS02



Obr. 22) Osazovací schéma OS02 (rozměr 24x71mm, zobrazení 2:1)– TOP



Obr. 23) Osazovací schéma OS02 (rozměr 24:71mm, zobrazení 2:1) – BOTTOM

## 4.2 Cívková sada RFC 71SE

Pro namotání cívek, filtrů pásmových propustí byla zvolena cívková sada s označením RFC71SE, firmy NEOSID pemetzrieder, skládající se z kostry cívky a měděného stínícího krytu. Pro první dvě pásma byly dále cívky vybaveny feritovým jádrem s označením 7100B a mosazným (BRS 7) určené pro dané cívkové sady. Frekvenční rozsah použitelnosti jádra je výrobcem určen na 20-200 MHz. Pro poslední frekvenční pásmo 430-440 Mhz již musely být cívky namotány z postříbřeného drátu, poněvadž vlastnosti mědi jsou již pro tyto frekvence velmi nepříznivé.

## PARAMETRY:

**Tab.15 Parametry Sady RFC 71SE:**

<i>Sada RFC 71SE obsahuje měděný stínící kryt a kostru cívky z teplotně odolného termoplastu, RM 2.5.</i>	
<b>Rozměry stínícího krytu:</b>	7.5x7.5x12.8 mm.
<b>Rozsah indukčností:</b>	16 nH-1 mH.
<b>Doporučený průměr vodiče vinutí:</b>	0.05-0.16 mm.
<b>Kmitočtový rozsah:</b>	0.1-200 MHz.
<b>Rozsah pracovních teplot:</b>	-40-+125°C.
<b>Doporučená jádra pro sadu RFC 71SE:</b>	FC 708, FC 72, FC 710b, FC 720, FC 740, FC 7100b, BRS

**Tab.16 Parametry jádra 7100B:**

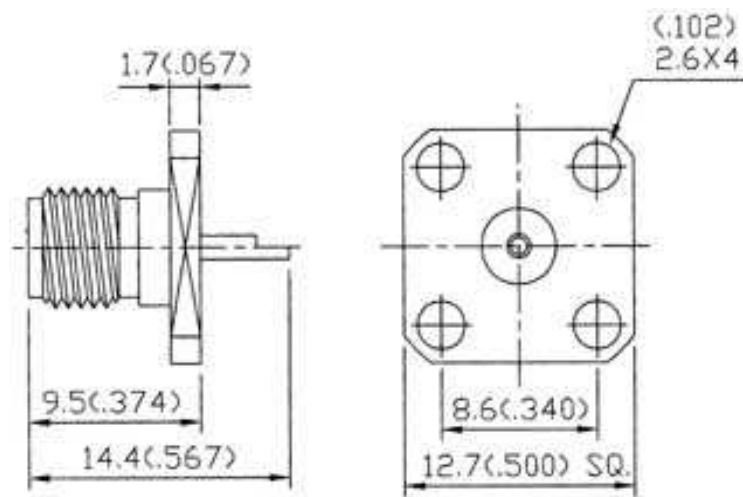
<b>Rozměry jádra</b>	3x0.5x8 mm
<b>Kmitočtový rozsah</b>	20-200 MHz
<b>Činitel jakosti</b>	Q=50-120
<b>Barva</b>	zelená
<b>Vlastní indukčnost</b>	4,5 nH



*Obr. 24) Foto cívkové sady RFC 71SE*

### 4.3 Konstrukční díly

Desky plošných spojů jsou umístěny v pocínované krabičce o rozměrech 37x74x30 mm, kvůli dobrému odstínění vůči okolnímu rušení. Byly zvoleny krabičky s označením WBG32 (označení firmy GES-electronics). Plošný spoj je umístěn do krabičky a vodič zapájen po celém obvodu. Plus napájení celého obvodu je realizováno přes průchodkový kondenzátor, který brání jednak průniku rušení po vedení a také svým umístěním ve stěně krytu průniku rušení okolních nežádoucích signálů do ochranného krytu. Signálové vodiče jsou vyvedeny vně krytu pomocí 50 Ohmové koaxiální zásuvky (SMA F PP), vhodné pro velké frekvenční spektrum od 0 do 20/25 GHz při zachování 50  $\Omega$  impedance.



Obr. 25) Rozměry koaxiální zásuvky SMA F PP



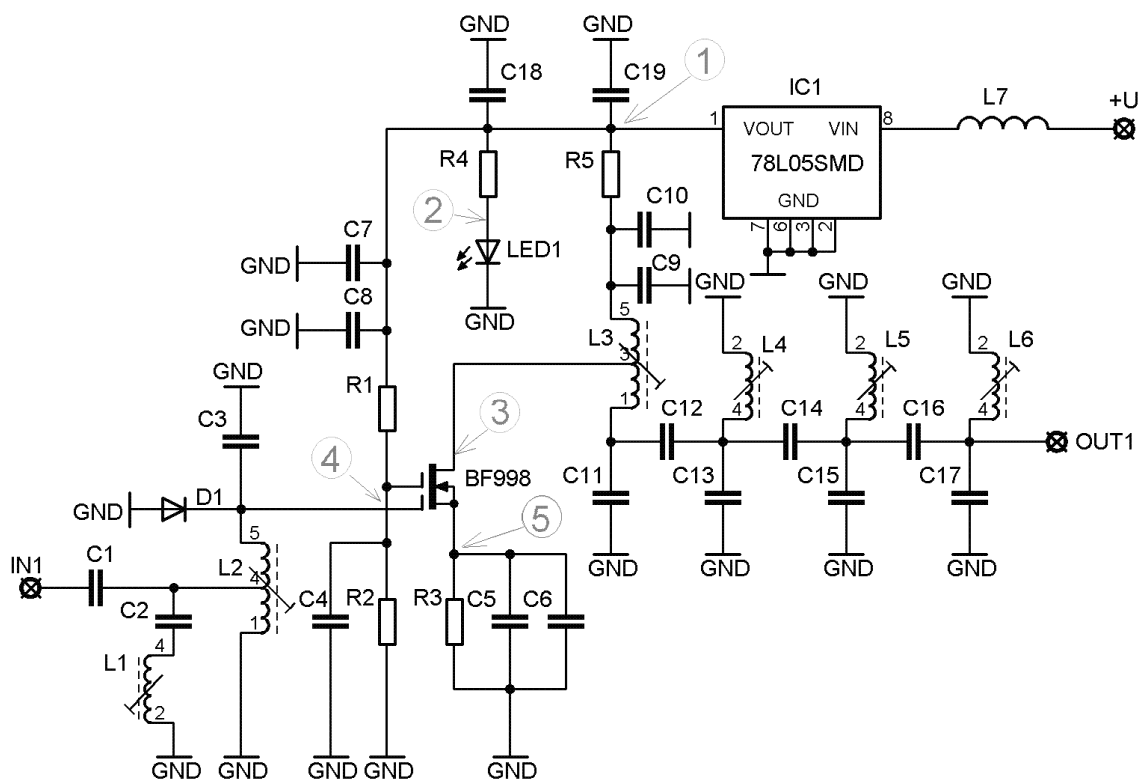
Obr. 26) Foto pocínovaných krabiček řady WBGxx

## 5. Měření a analýza

### 5.1 Měření stejnosměrných parametrů

Před změřením nejdůležitějších parametrů zkonstruovaných vstupních dílů SDR a ověřením funkčnosti, bylo nutné nejprve zkontrolovat zapojení z hlediska stejnosměrných parametrů. Bylo potřebné vyloučit přítomnost nežádoucího zkratu, či špatně umístěné, či napájené součástky. Zároveň také měření podalo představu o napěťových a proudových poměrech vstupního zesilovače, respektive tranzistoru BF 998.

*Podmínky měření:* Měřená a osázená deska byla umístěna a vodivě připájena k pocínované krabičce WBG32. Obě víka byla odstraněna. K zařízení bylo připojeno napájecí napětí o velikosti 12 V. vstup i výstupy celého zařízení zůstaly nezatíženy. Napětí kolektoru  $V_{G1}=0$  V Měření proběhlo ve standardně větrané laboratorní místnosti při pokojové teplotě a vlhkosti vzduchu. Napětí bylo měřeno a odečítáno pomocí multimetru UNIT-T UT30D



Obr. 27) Schéma vstupního bloku SDR - s označením měřících bodů

**Tab.17 Hodnoty změřených napětí pomocí multimetru UNIT-T UT30D:**

Měřený bod	Kanál 1 (144-146 MHz)	Kanál 2 (220-225 MHz)	Kanál 3 (430-440 MHz)
	U (V)	U (V)	U (V)
<b>1 (Stabilizované napájení)</b>	4,97	4,96	4,95
<b>2 (Úbytek LED)</b>	1,7	1,7	1,7
<b>3 (Kolektorové napětí)</b>	4,78	4,79	4,79
<b>4 (Předpětí na gate1)</b>	2	1,98	1,97
<b>5 (Úbytek na R3)</b>	0,145	0,14	0,166
<b>Spočtený proud <math>I_c</math> (Ic)</b>	6,59 (mA)	6,29 (mA)	5,92 (mA)

### 5.1.1 Rozbor

V měřicím bodě jedna byla pro všechny moduly naměřena hodnota stejnosměrného napětí 4,97 V. To poukazuje na správné zapojení a funkci stabilizátoru napětí 78L05F, který dle předpokladu dokázal, původně 12 V vstupní napětí srazit na požadovaných přibližně 5 V.

Měřicí bod dvě byl zvolen pouze pro kontrolu a orientaci. Ukazuje skutečný úbytek napětí na osazené SMD LED diodě, který činil u všech zapojení zhruba 1,7 V.

Pomocí napětí na kolektoru v bodě tři a za pomoci známé hodnoty rezistoru  $R_5$  ( $R_{10}, R_{15}$ ) můžeme určit přibližný protékající kolektorový proud vycházející ze vzorce:

$$I_c = [U(1) - U(3)] / R_5 (R_{10}, R_{15}) \quad [mA] \quad (18)$$

Přesnější hodnotu potom zjistíme z úbytku napětí na emitorovém odporu měřeného v bodě pět. Vzorec by pak vypadal:

$$I_c = U(5) / R_3 (R_8, R_{13}) \quad [mA] \quad (19)$$

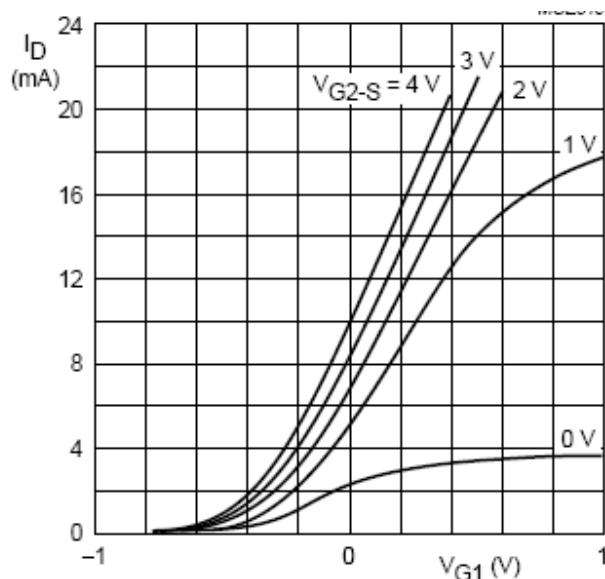
Pro dané bloky jsem podle vzorce (19) spočítal tyto hodnoty kolektorového proudu  $I_C$ :

$$\underline{V_{G2} = 2 V; V_{G1} = 0V; V_{DS} = 4,76 V}$$

$$\text{Kanál1: } I_c = U(5) / R_3 = 0,145 / 22 = 6,59mA \quad (20)$$

$$\text{Kanál2: } I_c = U(5) / R_8 = 0,140 / 22 = 6,36mA \quad (21)$$

$$\text{Kanál3: } I_c = U(5) / R_{13} = 0,166 / 22 = 7,54mA \quad (22)$$



Obr. 28) Přenosové charakteristiky BF998 – typické hodnoty

Jak ukazuje Obr. 28), hodnota spočítaného proudu  $I_C$  ( $I_D$ ), odpovídá uváděným hodnotám přenosové charakteristiky. Pro  $V_{G1}=0$  V a  $V_{G2}=2-1,95$  V, odpovídá průsečík proudu  $I_C(I_D)$  přibližně naměřené hodnotě 6-7 mA. Udávaná maximální hodnota napětí pro tranzistor BF998 mezi kolektorem-emitorem je 12 V, a velikost max. protékajícího proudu 30mA. Je jasné, že naměřená, pracovní oblast se pohybuje v optimálních hodnotách prakticky uprostřed lineární části charakteristiky tranzistoru, hluboko pod maximálními přípustnými hodnotami.

Dle předpokladu se v bodě 4. zobrazila na displeji měřícího přístroje hodnota 2 V, neboť rezistory  $R_1$  ( $R_6$ ) a  $R_2$  ( $R_7$ ) s hodnotami 33 k $\Omega$  a 22 k $\Omega$  tvoří napěťový dělič pro bázi tranzistoru T1 (BF998) v poměru vůči napájení přesně 3:2. Tudíž úbytek na  $R_1$  ( $R_6$ ) činí zaokrouhleně 3 V, na  $R_2$  ( $R_7$ ) 2 V.

Úbytek napětí na emitorových odporech se jmenovitou hodnotou 22  $\Omega$  v bodě 5. pak určuje velikost protékajícího kolektorového proudu spočítaném podle vzorce (19).

## 5.2 Měření vysokofrekvenčních parametrů

Nejdůležitějším měřením a zároveň určením správné funkčnosti bylo změření dynamických vlastností vstupních bloků. Především bylo nutné změřit a určit správné vyladění pásmových propustí, aby spektrální analýza co nejlépe odpovídala požadavkům na strmost, šířku pásma a správnou frekvenci. Také se ověřila funkce celého obvodu zesilovače, především celková velikost zesílení případně míra zeslabení celého obvodu.

Všechna měření probíhala na spektrálním analyzátoru firmy ROHDE-SCHWARTZ, typ FSL, který je schopen analyzovat signál o velkém frekvenčním rozsahu (3 kHz – 3 GHz), pro naše účely naprosto dostatečném, a obsahuje také potřebný generátor signálu.

### Parametry vstupního signálu z generátoru:

- shodné pro všechna uvedená měření

Výkon vstupního signálu:  $U_{ref} = -20 \text{ dBm}$

Měřicí krok: RBW = 30 kHz

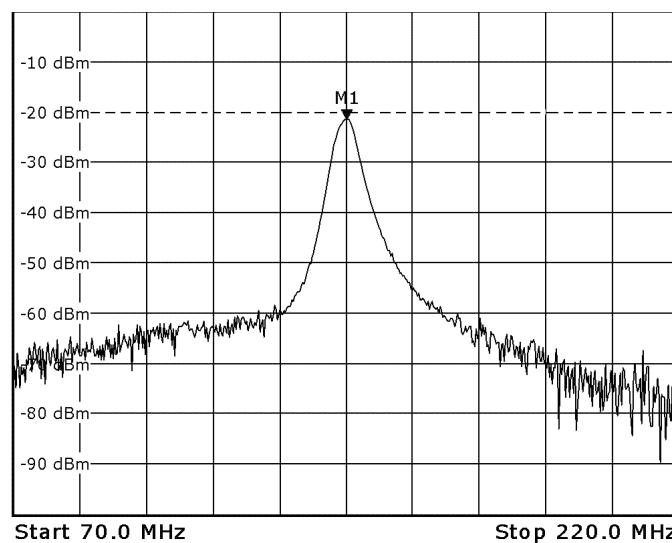
Doba rozmítání: SWT = 55 ms

Osa Y grafu: 0- (-100 dBm)

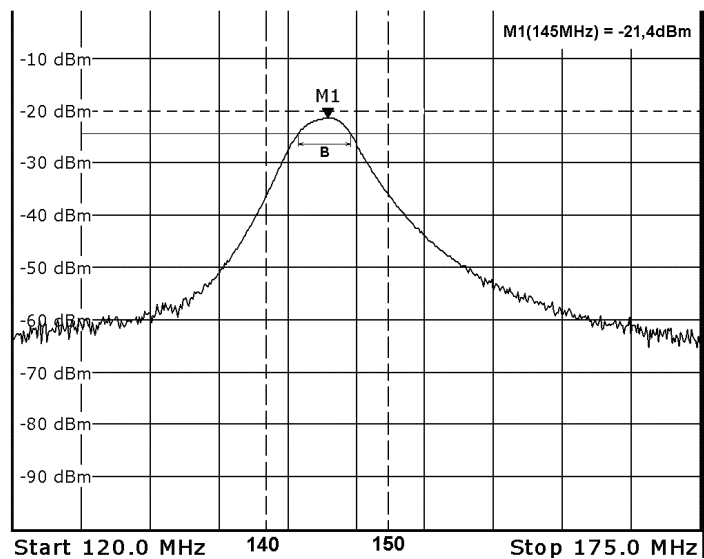
#### 5.2.1 Kanál 1 (144-146 MHz) – parametry

Při konstrukci bloku pro nejnižší frekvenci jsem musel provést pár modifikací oproti předpokládané konstrukci. Tak především to byla náhrada cívky pro vstupní pásmovou propust. Namísto navržené Cívky sady RFC 71SE jsem se rozhodl umístit zde klasicky namotanou cívku z postříbřeného drátu, jenž byla původně uvažována pouze pro nejvyšší požadovanou frekvenci (430-440 MHz). Hlavním důvodem bylo především snížení celkového útlumu na výstupu vstupního bloku, což se projevilo nárůstem asi o 6 dB a taktéž z důvodu vyšší selektivity na vstupu zesilovače, jež se pro daný pásmový filtr jevila vyšší než s použitím cívkové sady. Druhá podmínka zároveň koresponduje s následující modifikací, kdy jsem úplně vynechal poslední stupeň pásmové filtrace. Problém byl především v nárůstu útlumu výstupního signálu a nijak viditelném ovlivnění šířky propustného pásma. Dá se říci, že poslední stupeň se především nedařilo správně nastavit. Ani při vyšším rozsahu laditelného kondenzátoru, či zařazením filtrační kapacity na výstup, se signál neprojevoval dle předpokladů. Spíše si problém vysvětluji neideálním vazbením posledních stupňů filtru.

Celkové zesílení vstupního bloku je tedy nakonec -1,5 dB oproti vstupnímu signálu, což není úplně nejideálnější. Vysvětluji si to především celkovým součtem útlumů filtračních stupňů, předpokládaný útlum jednoho stupně asi 2-4 dB, a menším zesílením zesilovače s tranzistorem BF998R. Výslednou spektrální analýzu bloku pro 144-146 MHz ukazují obr.34. a 35). Čárkovaně je označena hodnota -20 dBm, tedy velikost vstupního přiváděného signálu.



Obr. 29) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 144-146 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz) Pro širší frekvenční rozsah.



Obr. 30) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 144-146 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz). S vyznačením důležitých bodů.

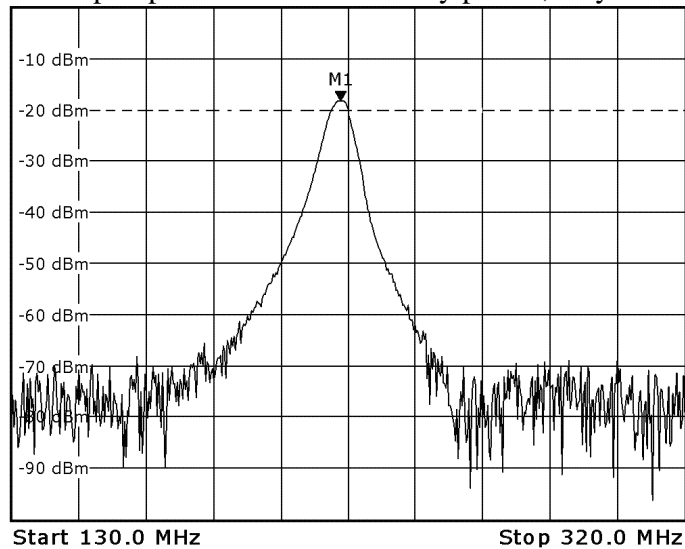
Tab.18 Přehled parametrů signálu pro pásmo 144-146 MHz

Parametry signálu		
	Frekvence (MHz)	Úroveň (dBm)
Velikost signálu na požadované frekvenci	145	-1,5
	144 - 146	(-2) - (-2)
Šířka pásma pro pokles o 3dB - B	4,1	-4,5
Celkový útlum signálu v nepropustném pásmu	-	54
Relativní útlum na rozsahu +-5MHz vzhledem k maximu	150	14,5
	140	16
Maximální zisk	145,2	-1,4

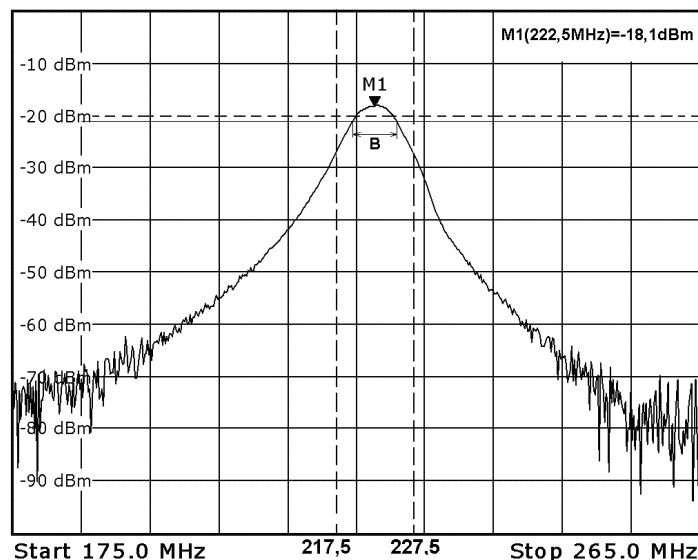


### 5.2.2 Kanál 2 (220-225 MHz) - parametry

Při konstrukci vstupního bloku pro kmitočet 220-225 MHz nebylo nutné sáhnout k modifikacím oproti původnímu návrhu. Opět je zde použita cívková sada RFC 71SE a to pro všechny cívky v návrhu. Odladovací LC člen na vstupu není zapojen tak jako u všech ostatních bloků. Časově nejnáročnější bylo naladit a zvažbit výstupní filtry. Celkové zesílení bloku činí 1,9 dB, což je příznivější hodnota než v případě prvního pásma. Šířka pásma  $B=5,8$  MHz se velmi blíží předpokládané hodnotě šířky pásma, tedy 5 MHz.



Obr. 31) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 220-225 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz) Pro širší frekvenční rozsah.



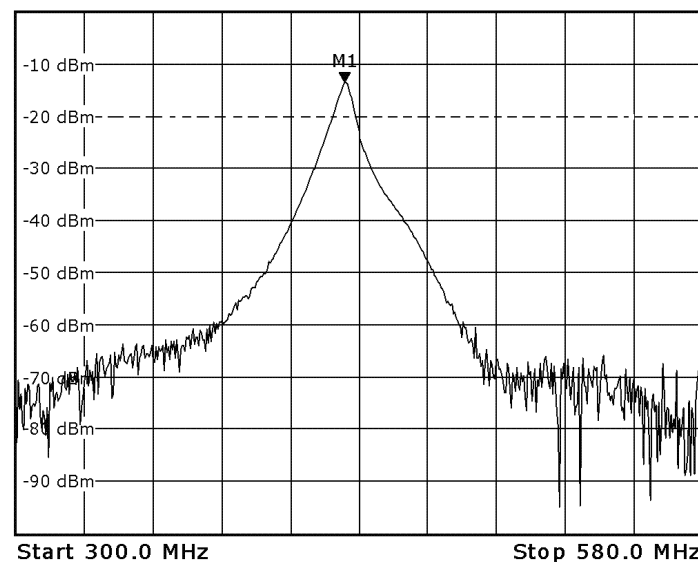
Obr. 32) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 220-225 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz). S vyznačením důležitých bodů.

**Tab.19 Přehled parametrů signálu pro pásmo 220-225 MHz**

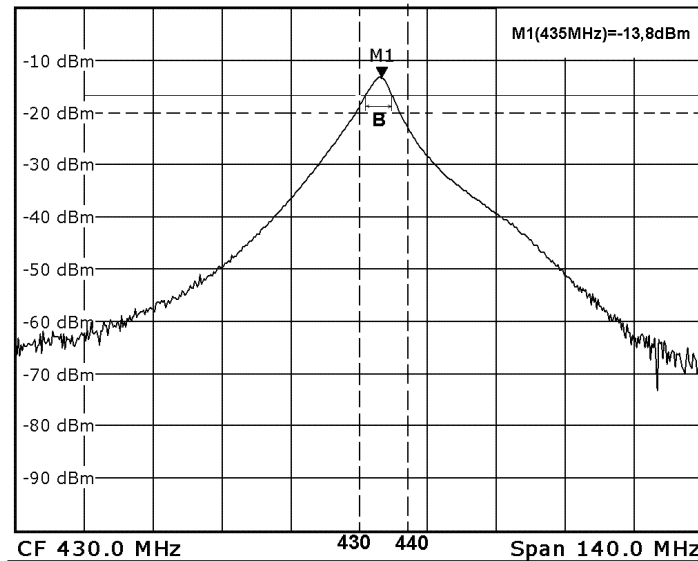
Parametry signálu		
	Frekvence (MHz)	Úroveň (dBm)
Velikost signálu na požadované frekvenci	222,5	1,9
	220 - 225	(0,15) - (-0,7)
Šířka pásma pro pokles o 3dB - B	5,8	-1,1
Celkový útlum signálu v nepropustném pásmu	-	52
Relativní útlum na rozsahu +-5MHz vzhledem k maximum	217,5	7,9
	227,5	9,2
Maximální zisk	222,5	1,9

### 5.2.3 Kanál 3 (430-440 MHz) - parametry

Hlavním konstrukčním rozdílem oproti předchozím blokům, bylo použití vzduchových cívek namotaných z postříbřeného drátu. Zde vyvstávala nevýhoda v nemožnosti doladování samotných cívek. Bylo nutné osadit co nejbližší hodnoty filtračních a vazebních kondenzátorů a poté buďto přitáhnout či oddálit, napevno, závity cívek. Další nutností bylo neosazení ochranné Schottkyho diody D3, poněvadž její vlastnosti nevyhovují zapojení pro tak vysoké frekvenční pásmo. Při nějakých cca 290 MHz již dioda nebyla schopna propouštět dále signál s vyšší frekvencí. Zapojení vykazovalo ze všech bloků největší zesílení vstupního signálu, poměrně uspokojivých 6 dB. Rozdíl je způsoben především použitím filtrů se vzduchovými cívkami z postříbřeného drátu, které vykazují menší vlastní útlum.



*Obr. 34) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 430-440 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz) Pro širší frekvenční rozsah.*



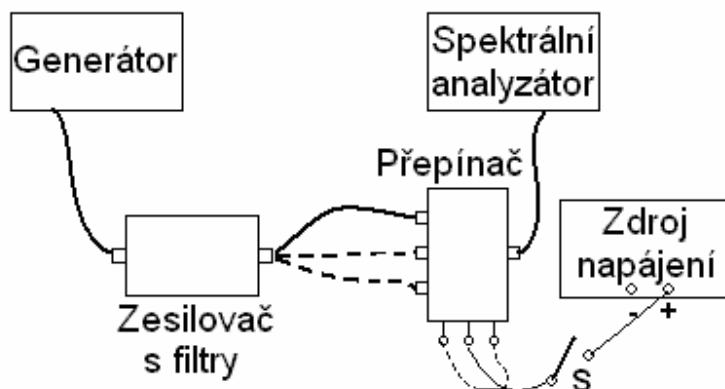
Obr. 35) Přenosová modulová kmitočtová charakteristika navrhovaného předzesilovače s filtry pro pásmo 430-440 MHz, (úroveň vstupního signálu -20 dBm, Spektrální analyzátor Rohde-Schwartz FSL, 3 kHz-3 GHz). S vyznačením důležitých bodů.

Tab.20 Přehled parametrů signálu pro pásmo 430-440 MHz

Parametry signálu		
	Frekvence (MHz)	Úroveň (dBm)
Velikost signálu na požadované frekvenci	435	6,22
	430 - 440	(1,26) - (-3,2)
Šířka pásma pro pokles o 3dB - B	5,8	3,22
Celkový útlum signálu v nepropustném pásmu	-	50
Relativní útlum na rozsahu +-5MHz vzhledem k maximu	430	4,96
	440	9,42
Maximální zisk	434,5	6,43

### 5.3 Parametry diodového prepínače

Konstrukce diodového prepínače doznala menších změn oproti navrženému zapojení. Jako spínací dioda byla použita dioda s označením HSMP-3822. Oproti původní diodě HSMP-3823 je zde změna ve vnitřním zapojení PIN diod. Dioda, kterou prochází signál, je zapojena obráceně, tudíž reaguje a propouští signál při připojení kladnějšího napětí ke spínači. Napětí přiváděné přes spínač na anodu diody musí být ovšem větší, než velikost napájecího napětí (8 V), přiváděného na vstup (katodu) diody. Deska prepínače je stejně jako filtry, zapájena do pocínované krabičky WBG32 (37x74 mm). Tlumivky byly použity axiální, průměr 6x10 mm 2,5 záv., Parametry:  $Z=390 \Omega/10 \text{ MHz}$ ;  $900 \Omega/50 \text{ MHz}$ ;  $750\Omega/100 \text{ MHz}$ .



Obr. 36) Blokové uspořádání měřícího pracoviště pro měření celkové velikosti výstupního signálu za diodovým přepínačem

Podmínky měření a použité přístroje:

Generátor – signální generátor ELSY SG2000

Spektrální analyzátor – ADVANTEST, R3131, 9 kHz-3 GHz

Zdroje stejnosměrného napětí – Laboratorní zdroj DIAMETRAL, 0-30 V/0-4 A;

DC regulovatelný zdroj MV9115GS, 3-12 V

Parametry vstupního signálu – harmonický sinusový signál velikosti -20 dBm (10 uV), frekvence 145, 222,5 a 435 MHz

Měření proběhlo ve standardně větrané laboratorní místnosti při pokojové teplotě a vlhkosti vzduchu.

**Tab.21) Parametry celkového výstupního signálu přepínače po průchodu vstupním předzesilovačem s filtry, pro všechna určená pásma**

Frekvenční pásmo (MHz)	Celkový Útlum v sepnutém stavu (dBm)	Izolace (dBm)	Izolace (dBm)
145	-4,8	23,1 (222,5)	24,8 (435)
222,5	-2,9	17,8 (145)	20,12 (435)
435	0,3	11,8 (145)	9,3 (222,5)

Vstupní signál z generátoru je přiveden na jeden z předzesilovačů. Dále pak pokračuje na určený vstup přepínače. Signál na vstupu přepínače je přiveden na výstup při připojení kladného napájení ke spínači (S) daného kanálu. Tab. 21) ukazuje celkové parametry výstupního signálu, který prochází jak předzesilovačem, tak diodovým přepínačem. Hodnoty izolace jsou uvedeny v závislosti při připojení jiného kanálu, ten je uveden v závorce. Útlum nepřipojeného kanálu je v případě třetího pásma poměrně malý a bude pravděpodobně problematictější dobře smísit výstupní signál ve směšovači společně se signálem oscilátoru. Parametry útlumu v sepnutém stavu pak udávají konečnou velikost výstupního signálu po průchodu určeným předzesilovačem.

## 6. Finanční bilance projektu

Projekt nebyl optimalizován s ohledem na finanční stránku, ale především jako prototyp s ohledem na vlastnosti a další možnou využitelnost.

Nejvýznamnější cenovou položkou v návrhu jsou především uváděné konstrukční části, tedy pocínované krabičky WBG32 a SMA konektory. Zde by byla možnost zlevnění například v použití jednoduššího typu krabičky, případně nepoužití žádné. Což by však nebylo příliš rozumné, neboť by mohlo docházet k nežádoucímu rušení okolními signály a případnému znehodnocení celého výrobku. Konstrukční konektory SMA pro přivedení signálu jsou nabízeny v různých variantách, ovšem cenové rozdíly zde nejsou příliš velké a pro zmírnění nákladů nepřilíží rozhodující. Možnou variantou se spíše jeví jiný typ konektoru pro VF signál.

Použité součástky jsou optimalizovány pro daný návrh. Největší položkou jsou především cívkové sady, zde by bylo možnost použít, jiné a levnější nabízené konstrukce, které jistě splní nároky použité sady. Přepínač byl navrhován z hlediska možnosti bezkontaktního spínání. Proto bylo použito rychlých PIN diod, které představují nejdražší položku z navrhovaného zapojení.

Samotné zapojení se nejeví příliš nákladné. Ovšem jedná se o zařízení pracující v pásmu VKV a UKV. Nutnost připojit konstrukci k ostatním periferiím a případné stínění před nežádoucími signály konstrukci značně podraží.

## Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a poté sestrojít vstupní část Softwarového přijímače. Návrh zahrnoval konstrukci vstupního filtru společně s pásmovými propustmi pro zadaná frekvenční pásma. Dále pak bezkontaktní diodový přepínač, jež bude sloužit k přivádění jednotlivých kanálů, dle našeho výběru, dále do směšovače.

Nejdříve bylo nutné shrnout některé základní parametry přijímačů a pokusit se navrhnout alespoň přibližné blokové schéma celého Softwarového rádia. Potřebné informace byly čerpány například z knihy nakladatelství BEN, Moderní rádiový přijímač od Karla Daňka. Dále jsem pak provedl výpočet předpokládaných parametrů celého přijímače a jeho jednotlivých bloků a určil typové součástky vhodné pro použití, například pro směšovač či krystalový filtr.

Nejpodrobnější popis byl pak věnován vstupní části. Návrh předzesilovače se opírá o MOSFET tranzistor BF998, který vyhovoval nárokům na frekvenční pásmo. Za zesilovačem pak následuje tří-pásmová L-C propust. Celkově se dá říci, že parametry signálu na výstupu jednotlivých bloků předzesilovačů svou strmostí, útlumem v nepropustném pásmu a kmitočtovou přesností vyhovují zadaným požadavkům i předpokládaným nárokům. Velikost minimálního útlumu signálu ovšem nebyla příliš přesvědčivá. Nejvyšší zesílení, asi +6,5 dB, vykazoval kanál 3. pro 430-440 MHz, který jediný obsahoval vzduchové cívky, motané z postříbřeného drátu. Nižší zisk je tedy způsoben především vyšším předpokládaným útlumem jednotlivých stupňů filtru. Možné je samozřejmě i nedokonalé nastavení či zvazbení jednotlivých stupňů. Nastavení pásmové propusti tvořilo nejsložitější a časově nejnáročnější část celé konstrukce. Možnosti doladění pásmových propustí nabízí použité cívkové sady s feritovým či mosazným jádrem.

Přepínač byl zkonstruován s ohledem na možnost bezkontaktního spínání. Vzhledem k frekvencím, ve kterých se signály pohybují, byly zvoleny speciální PIN diody s označením HSMPxxxx. Samotný přepínač zavádí do obvodu další útlum. Celkové výstupní signály se proto pohybují mírně pod hodnotou přiváděného vstupního signálu. Izolační schopnosti přepínače se nejhůře projeví na kanálu 3. (430-440 MHz). Velmi důležitý proto bude případný další návrh částí Softwarového přijímače. Především dostatečně kvalitní směšovač společně s oscilátorem pro tři dané frekvence. Jako možnost zlepšení vstupní koncepce připadá i zařazení dalšího vstupního předzesilovače.

Práce na návrhu vstupní části, je velice zajímavá a poučná, a nabízí možnosti k oživení a získávání praktických poznatků při konstrukci radiových a vysokofrekvenčních obvodů.

## Použitá literatura

- [1] DANĚK. K. *Moderní rádiový přijímač*. BEN - technická literatura. Praha, 2005.
- [2] LORAL microwave, Semiconductor Division – *Application Notes*; PIN diodes, tuning varactors in RF circles.
- [3] seznam, parametry a pouzdra krystalových filtrů. Dostupný z www: <[http://www.krystaly.cz/index\\_3a.htm](http://www.krystaly.cz/index_3a.htm)>
- [4] Analog Devices. *AD605 dual, Low-Noise, Single-Supply Variable Gain Amplifier*. Dostupný z www: <<http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CAD605%2C00.html>>
- [5] Směšovače řady CSM1. Dostupné na www: <<http://www.mtekic.co.kr/>>
- [6] Transvertor OK1VPZ, *Transvertor HF / VHF pro použití ve VKV závodech*. Dostupný z www: <<http://home.karneval.cz/00000104/transvertor/transvertor.htm>>
- [7] Transvertor 144/14 S53WW. Dostupný z www: <<http://lea.hamradio.si/~s53rm/JAVORNIK.pdf>>
- [8] Minicircuits. *Parametry frekvenčního směšovače SRA-1+*. Dostupné z www: <<http://www.minicircuits.com/pdfs/SRA-1+.pdf>>
- [9] Distributor elektronických součástek. Dostupný z www: <<http://www.ges.cz/>>
- [10] Parametry MOS-FET tranzistoru BF998. Dostupné z www: <<http://tk5ep.free.fr/tech/ts850/BF998.pdf>>
- [11] DatasheetArchive. *Tipy a parametry napěťových stabilizátorů řady 78L0x*. Dostupné z www: <<http://www.datasheetarchive.com/search.php?search=78L05&sType=part>>
- [12] STMicroelectronics, SO-8, *Package and Packing information*, Dostupné z www: <<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/8200.pdf>>
- [13] Vishay Semiconductors. *BAS85 datasheet*. Dostupný z www: <[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/B/A/S/8/BAS85.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/A/S/8/BAS85.shtml)>
- [14] WBG32, *Přístrojová krabička, 37x74x30mm, pocínovaný plech 0.5mm*, Dostupné na www: <<http://www.ges.cz/?ipp=12&lang=cz&cur=CZK&or=sort&page=index&of=1&gcat=HXM000&PHPSESSID=71d039b2eb838704302c2999e54743f8&inc=detail&gesid=GES07200095>>

## Použité zkratky

MDS	Minimální detekovatelný signál (Minimum Detectable Signal)
SNR	Poměr signál-šum (signal-to-noise ratio)
IP3	Intermodulační produkt 3.řádu
SDR	Softwarově definované rádio (Software defined radio)
SDDR	Softwarově definovaný digitální přijímač
NF	Šumové číslo (Noise Figure)
VHF	Velmi vysoké kmitočty - zkratka pro radiokomunikační kmitočtové pásmo v rozsahu 30-300 MHz (Very High Frequencies)
UHF	Zkratka pro označení ultravysokých kmitočtů radiokomunikačního kmitočtového pásma v rozsahu od 300 MHz do 3 GHz.(Ultra High Frequencies)
DPS	Deska plošných spojů
OS	Osazovací schéma
SMD	Součástky určené pro povrchovou montáž (Surface Mounting Device)
PIN	Zkratka diody s oblastí vlastního (I - intrizického) polovodiče

## Seznam Příloh

Příloha 1:	Kompletní schéma navrhované vstupní části
Příloha 2:	Motivy plošného spoje a osazovací plány
Příloha 3:	Seznam součástek, navíjecí předpisy cívek



## Obsah CD

### BC\_práce

- BCprace.pdf
- Desky práce.pdf
- Licenční smlouva.pdf
- Titulní list.pdf
- Metadata.pdf
- Příloha 1.doc
- Příloha 2.doc
- Příloha 3.doc

### DPS

- schéma 1kanal.sch
- schéma 1kanal.brd
- schéma 3kanal.sch
- schéma 3kanal.brd
- prepinac.sch
- prepinac.brd

### Prezentace

### **Knihovny použité při návrhu v programu Eagle:**

rcl.lbr*	-rezistory, kondenzátory, tlumivky
led.lbr	-LED dioda LEDCHIPLED1206
inductor-neosid.lbr*	-cívky 71KT-
diode.lbr*	-Schottkyho dioda, dioda HSMP
solpad.lbr	-značky napájení, vstupů, výstupů
linear.lbr*	-napěťový stabilizátor 78L05SMD
supply1.lbr	-značky země („GND“)

### Nově definované součástky:

BF998: Standardní pouzdro SOT143, symbol upraven z BFR84 (transistor-small-signal.lbr)