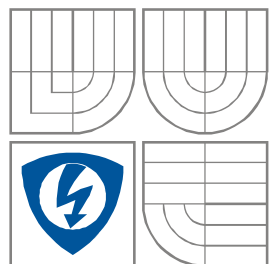


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŠIROKOPÁSMOVÝ MĚŘIČ ÚROVNĚ BÍLÉHO ŠUMU

BROAD WHITE NOISE METER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HANA KLEGOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV KASAL, CSc.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá měřením šumu extraterestických objektů širokopásmovým mikrovlnným přijímačem s mezními frekvencemi 144 MHz – 149 MHz. V práci je navržen širokopásmový měřič úrovně bílého šumu vzhledem k referenční hodnotě tzv. „studené obloze“. Jsou zde popsány vlastnosti bílého šumu v radiofrekvenční části spektra a způsoby jeho měření. Dále je v práci vymodelována pásmová propust včetně širokopásmových zesilovačů v prostředí ANSYS Designer a navržené desky plošných spojů v programu Eagle.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deal with measuring noise cosmic objects with broad microwave receiver with cutoff frequency 144 MHz – 149 MHz. In this thesis is designed broad white noise meter due to reference value „cold sky“. There are described properties white noise in radiofrequency part of spectrum and ways of measuring it. Further is in this thesis modeled bandpass filter including broad-band amplifiers in program ANSYS Designer and designed Printed Circuit Boards in program Eagle.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřič bílého šumu, pásmová propust, expander, logaritmický detektor.

KEY WORDS

White noise meter, bandpass filter, expander, logarithmic detector.

KLEGOVÁ, H. *Širokopásmový měřič úrovně bílého šumu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2015, 39 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Širokopásmový měřič úrovně bílého šumu jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma 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 prof. Ing. Miroslavovi Kasalovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK	8
ÚVOD	9
2 TEORIE.....	10
2.1 ZAPOJENÍ OPERAČNÍHO ZESILOVAČE.....	10
2.1.1 NEINVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ.....	10
2.1.2 INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ	11
2.1.3 SOUČTOVÝ ZESILOVAČ	11
2.1.4 ROZDÍLOVÝ ZESILOVAČ	12
2.2 REZONANČNÍ OBVODY.....	13
2.2.1 SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD	13
2.2.2 PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD	14
2.3 BÍLÝ ŠUM.....	15
3 NÁVRH PŘÍSTROJE	16
3.1 MAR-6+	16
3.2 PÁSMOVÁ PROPUST.....	17
3.3 LOGARITMICKÝ DETEKTOR AD8307	19
3.4 EXPANDER A DESKA PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ	23
3.4.1 EXPANDER.....	23
3.4.2 DESKA PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ.....	24
4 ZHOTOVENÍ MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE	26
4.1 PÁSMOVÁ PROPUST.....	27
4.1.1 NÁVRH V PROGRAMU EAGLE.....	23
4.1.2 SEZNAM SOUČÁSTEK.....	23
4.1.3 MĚŘENÍ FUNKCE PÁSMOVÉ PROPUSTI	30
4.2 LOGARITMICKÝ DETEKTOR.....	32
4.3 EXPANDER A DESKA PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ	323
4.3.1 NÁVRH V PROGRAMU EAGLE.....	33
4.3.2 SEZNAM SOUČÁSTEK.....	35
4.3.3 ZHOTOVENÍ EXPANDERU A DESKY PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ.....	35
5 ZÁVĚR.....	37
LITERATURA	38
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 2.1	SCHEMATICKÁ ZNAČKA OZ	10
OBRÁZEK 2.2	NEINVERTUJÍCÍ ZAPOJENÍ OZ.....	10
OBRÁZEK 2.3	INVERTUJÍCÍ ZAPOJENÍ OZ	11
OBRÁZEK 2.4	SOUČTOVÉ ZAPOJENÍ OZ.....	12
OBRÁZEK 2.5	ROZDÍLOVÝ ZESILOVAČ	12
OBRÁZEK 2.6	SÉRIOVÝ REZONANČNÍ OBVOD.....	13
OBRÁZEK 2.7	REZONANČNÍ KŘIVKA SÉRIOVÉHO REZONANČNÍHO OBVODU	14
OBRÁZEK 2.8	PARALELNÍ REZONANČNÍ OBVOD.....	14
OBRÁZEK 2.9	REZONANČNÍ KŘIVKA PARALELNÍHO REZONANČNÍHO OBVODU.....	14
OBRÁZEK 2.10	ČASOVÝ PRŮBĚH BÍLÉHO ŠUMU	15
OBRÁZEK 3.1	BLOKOVÝ DIAGRAM PŘÍSTROJE	16
OBRÁZEK 3.2	ZAPOJENÍ ZESILOVAČE MAR-6+	16
OBRÁZEK 3.3	ZAPOJENÍ ATTENUATORU	17
OBRÁZEK 3.4	SCHEMA ZAPOJENÍ PÁSMOVÉ PROPUSTI	18
OBRÁZEK 3.5	ANALÝZA PÁSMOVÉ PROPUSTI V PROGRAMU ANSOFT DESIGNER	18
OBRÁZEK 3.6	SCHEMA ZAPOJENÍ LOGARITMICKÉHO DETEKTORU	19
OBRÁZEK 3.7	ROZLOŽENÍ PINŮ AD8307	19
OBRÁZEK 3.8	ZÁVISLOST VÝSTUPNÍ ÚROVNĚ AD8307 NA ÚROVNI VSTUPNÍHO SIGNÁLU	20
OBRÁZEK 3.9	ROZLOŽENÍ PINŮ LM3580	20
OBRÁZEK 3.10	SCHÉMA ZAPOJENÍ UPRAVENÉHO PLOŠNÉHO SPOJE LOGARITMICKÉHO DETEKTORU	21
OBRÁZEK 3.11	ZÁVISLOST VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ LOG. DETEKTORU NA VELIKOSTI VSTUPNÍ ÚROVNĚ	22
OBRÁZEK 3.12	SCHEMA ZAPOJENÍ EXPANDERU A DESKY PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ	23
OBRÁZEK 3.13	ROZMÍSTĚNÍ PINŮ V PŘEPÍNAČI.....	24
OBRÁZEK 4.1	PŘEDNÍ PANEL MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE	26
OBRÁZEK 4.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ PÁSMOVÉ PROPUSTI	27
OBRÁZEK 4.3	NÁVRH DESKY V PROGRAMU EAGLE	28
OBRÁZEK 4.4	STRANA TOP.....	28
OBRÁZEK 4.5	STRANA BOTTOM.....	28
OBRÁZEK 4.6	VÝPOČET ŠÍŘKY MIKROPÁSKU V PROSTŘEDÍ ANSOFT DESIGNER.....	29
OBRÁZEK 4.7	BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI LADĚNÍ PÁSMOVÉ PROPUSTI	30
OBRÁZEK 4.8	BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI MĚŘENÍ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY PÁSMOVÉ PROPUSTI.....	30
OBRÁZEK 4.9	PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKA PÁSMOVÉ PROPUSTI EXPORTOVANÁ ZE SPEKTRÁLNÍHO ANALYZÁTORU	31
OBRÁZEK 4.10	BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO MĚŘENÍ ŠUMOVÉHO ČÍSLA.....	31
OBRÁZEK 4.11	PLOŠNÝ SPOJ LOGARITMICKÉHO DETEKTORU.....	32
OBRÁZEK 4.12	UPRAVENÝ PLOŠNÝ SPOJ LOGARITMICKÉHO DETEKTORU	32
OBRÁZEK 4.13	SCHÉMA ZAPOJENÍ EXPANDERU A DESKY PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ	33
OBRÁZEK 4.14	NÁVRH DESKY V PROGRAMU EAGLE	34
OBRÁZEK 4.15	STRANA TOP.....	34
OBRÁZEK 4.16	STRANA BOTTOM.....	34
OBRÁZEK 4.17	BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO DOLADĚNÍ ROZSAHŮ.....	36

SEZNAM TABULEK

TABULKA 3.1	HODNOTY ODPORŮ PRO ATTENUÁTOR.....	17
TABULKA 3.2	ZÁVISLOST VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ LOG. DETEKTORU NA VELIKOSTI VSTUPNÍ ÚROVNĚ	22
TABULKA 4.1	SEZNAM SOUČÁSTEK PÁSMOVÉ PROPUSTI.....	29
TABULKA 4.2	SEZNAM SOUČÁSTEK EXPANDERU A DESKY PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ	35

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá širokopásmovým měřením bílého šumu Slunce a Měsíce, případně dalších objektů na obloze. Velká část radiového záření z vesmíru projde zemskou atmosférou, takže ho můžeme pozorovat ze zemského povrchu, a proto není potřeba žádné drahé kosmické techniky. Hodně procesů je pozorovatelných právě jen na rádiových frekvencích, a tím se zabývá věda radioastronomie, která v dnešní době hraje hlavní roli ve výzkumu vesmíru.

Bílý šum vzniká tepelným zářením těles o teplotě větší než jeden kelvin. Emise záření je způsobena zrychleným pohybem nábojů a srážkami elektronů a jader v plazmatu. Rádiový tok Slunce můžeme rozdělit na tři složky. Rádiové záření klidného Slunce, které je přítomno vždy a je nejstálější. Jde vlastně o jeho tepelné záření. Druhá složka je závislá na rotaci Slunce a její perioda je dvacet sedm dní. Třetí jsou sluneční rádiová vzplanutí, která jsou nejrychleji proměnná a jsou spojená se slunečními erupcemi a koronálními výrony hmoty.

Práce pojednává o měření právě tohoto bílého šumu v radiofrekvenční oblasti. Je důležité znát jeho úroveň, jednak pro výzkumy již zmíněné radioastronomie, ale také pro techniky, kteří se zabývají vysíláním a přijímáním radiového signálu. Každý vyzářený signál je tímto bílým šumem rušen, proto ho musí převyšovat, jinak by se užitečný signál v bílém šumu ztratil.

Práce je rozdělena na dvě části, na teoretickou a praktickou.

Teoretická část se zabývá návrhem vhodného přístroje pro měření. Střední frekvence je 146,5 MHz a šířka měřeného pásma je 5 MHz. Propustné pásmo je třeba zkonstruovat dostatečně široké, abychom mohli vyloučit vlivy rušivých složek v měřeném spektru.

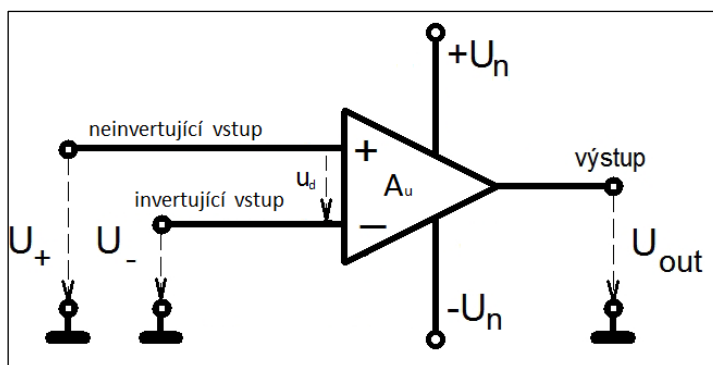
Praktická část obsahuje návrhy plošných spojů a zhotovený samotný měřicí přístroj.

2 TEORIE

V následujícím textu jsou popsány teoretické poznatky, kterých bylo při práci využito.

2.1 ZAPOJENÍ OPERAČNÍHO ZESILOVAČE

Operační zesilovač (dále také jen OZ) byl původně navržen pro realizaci matematických funkcí, proto se mu říká operační. Ideální OZ (viz obr. 2.1) má nekonečně velké zesílení A_u , nulové rozdílové napětí u_d , nekonečně velké vstupní odpory (nulové vstupní proudy) a nulový výstupní odpor, což znamená, že zesílení je na výstupní zátěži nezávislé. Tyto vlastnosti jsou konstantní v celém frekvenčním rozsahu. Reálný OZ se těmto ideálním vlastnostem jen přibližuje.

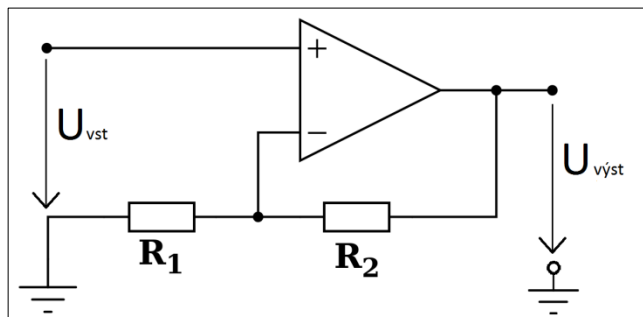


Obrázek 2.1 Schématická značka OZ

Dále jsou v textu představeny některé druhy zapojení operačního zesilovače.

2.1.1 Neinvertující zesilovač

Neinvertující zapojení (viz obr. 2.2) nemění polaritu. Vstupní napětí je zesíleno konstantou větší než 1 (tzv. hodnotou zesílení). Vlastnosti obvodu určují jen zpětnovazební odpory, které přivádějí část výstupního napětí na invertující vstup.



Obrázek 2.2 Neinvertující zapojení OZ

Pro zesílení neinvertujícího zapojení OZ platí:

$$A = \frac{U_{výst}}{U_{vst}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad [-] \quad (2.1)$$

kde U_{vst} je vstupní napětí, $U_{výst}$ je výstupní napětí, R_1 je odpor připojený na invertující vstup a R_2 je odpor v záporné zpětné vazbě.

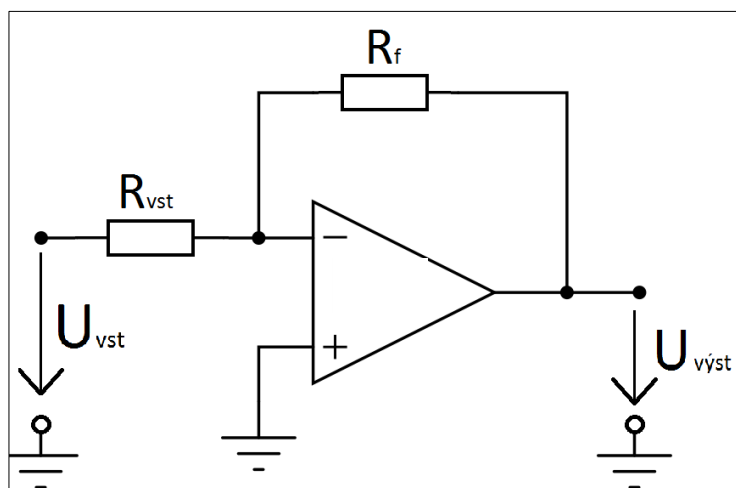
Zesílení neinvertujícího zapojení OZ je tedy určeno poměrem zapojených rezistorů a je bezrozměrné. Běžně se udává zesílení dvojbranu v decibelech (viz vztah 2.2).

$$A_{dB} = 20 * \log \left(\frac{U_{výst}}{U_{vst}} \right), \quad [dB] \quad (2.2)$$

kde U_{vst} je vstupní napětí, $U_{výst}$ je výstupní napětí.

2.1.2 Invertující zesilovač

Invertující zesilovač (viz obr. 2.3) je jedno z nejpoužívanějších zapojení OZ. Na výstupu je napětí vynásobené zápornou konstantou, tzn. zapojení obrací polaritu.



Obrázek 2.3 Invertující zapojení OZ

Zesílení je opět určeno poměrem zapojených odporů:

$$A = -\frac{R_f}{R_{vst}}, \quad [-] \quad (2.3)$$

kde R_f je odpor v záporné zpětné vazbě a R_{vst} je odpor ve vstupním obvodu zesilovače.

2.1.3 Součtový zesilovač

Součtový zesilovač realizuje matematickou operaci – sčítání, výstupní napětí je však invertované. Sčítá libovolný počet vstupních signálů. Na obrázku 2.4 je příklad se třemi vstupy.

Invertující vstup je v tomto zapojení plovoucí zem, proto platí vztah 2.4. –Ohmův zákon:

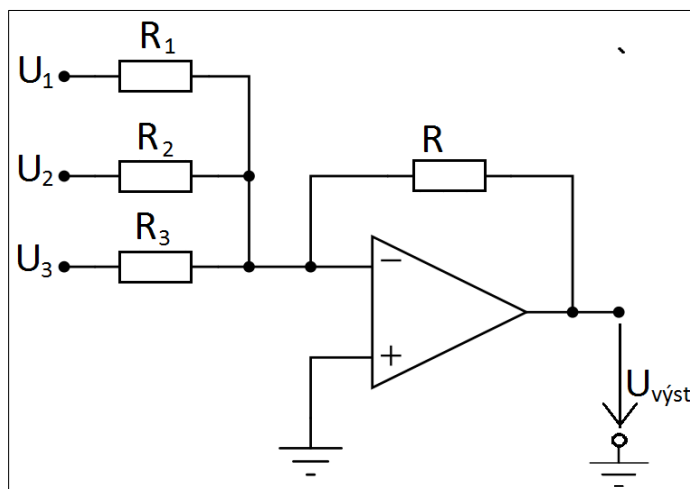
$$I_n = \frac{U_n}{R_n}, \quad [A] \quad (2.4)$$

kde I_n je n-tý vstupní proud, R_n je n-tý vstupní odpor a U_n je napětí na tomto odporu.

Pro ideální součtový zesilovač platí:

$$I_R = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n, \quad [A] \quad (2.5)$$

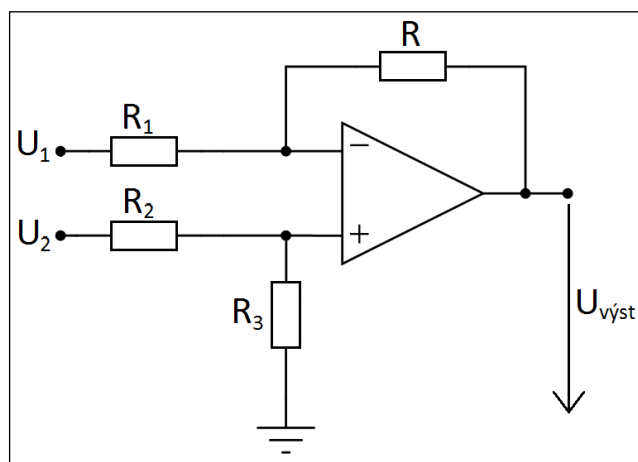
kde I_R je proud protékající zátěží ve zpětné vazbě a $I_1, I_2 \dots I_n$ jsou vstupní proudy. Ze vztahu vyplývá, že veškeré proudy protékají přes zpětnou vazbu.



Obrázek 2.4 Součtové zapojení OZ

2.1.4 Rozdílový zesilovač (diferenční)

Rozdílový zesilovač (viz obr. 2.5) se používá pro sledování dvou rozdílných napětí. Aby zesílení obou větví bylo stejné, musí platit: $R_1 = R_2$ a současně $R = R_3$. V této aplikaci hodně záleží na tom, aby byly použité odpory přesně stejné velikosti.



Obrázek 2.5 Rozdílový zesilovač

Pro výstupní napětí platí:

$$U_{výst} = \frac{R}{R_1} * (U_2 - U_1), \quad [V] \quad (2.6)$$

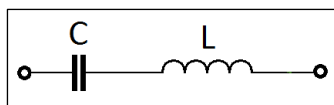
kde U_1 je napětí na invertujícím vstupu, U_2 na neinvertujícím, R je odpor ve zpětné vazbě a R_1 je odpor na invertujícím vstupu.

2.2 REZONANČNÍ OBVODY

Rezonanční obvody se používají v harmonických oscilátorech, k výběru a nebo potlačení určitých frekvencí (jako analogové filtry). Rezonanční obvod je tvořen minimálně dvěma setrvačnými prvky, cívkou a kondenzátorem. V každém takovém obvodu dochází za určitých podmínek k periodické výměně energie mezi elektrickým polem kondenzátoru a magnetickým polem cívky a tomuto jevu se říká rezonance.

2.2.1 Sériový rezonanční obvod

Sériový rezonanční obvod vznikne seriovým zapojením kondenzátoru a cívky (viz obr. 2.6).



Obrázek 2.6 Sériový rezonanční obvod

Vztah pro impedanci seriového LC obvodu:

$$Z(\omega) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}, \quad [\Omega] \quad (2.7)$$

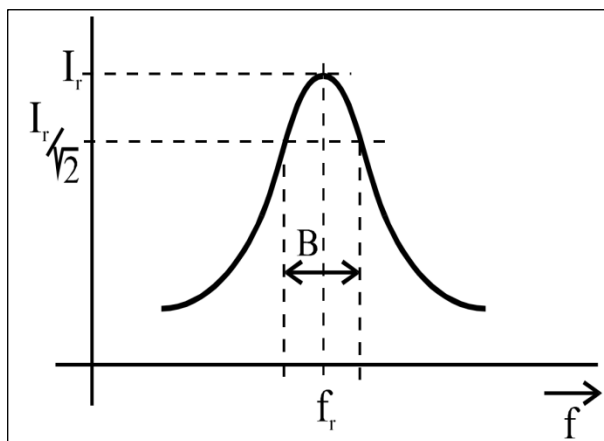
kde $\omega = 2\pi f$ je úhlový kmitočet, R je odpor cívky, L je indukčnost cívky, C je kapacita kondenzátoru a j je imaginární jednotka.

Je-li imaginární část impedance rovna 0, nastává rezonance a celková impedance obvodu dosahuje minima. Z podmínky rezonance (2.8), vyplývá Thomsonův vzorec pro rezonanční kmitočet (2.9).

$$\omega_r L - \frac{1}{\omega_r C} = 0 \quad (2.8)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.9)$$

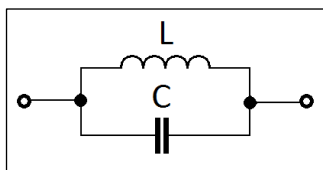
V rezonanci jsou napětí na cívce a na kondenzátoru stejně velká a v protifázi, takže celkové napětí obvodu je pouze na rezistoru a ve fázi s proudem. Pro konstantní napětí můžeme vynést graf závislosti proudu na frekvenci, vynesené křivce se říká rezonanční křivka. V rezonanci je proud maximální (v grafu I_r). B je šířka pásma pro pokles proudu o 3dB a f_r je rezonanční kmitočet. Závislost je vidět na obrázku 2.7.



Obrázek 2.7 Rezonanční křivka sériového rezonančního obvodu

2.2.2 Paralelní rezonanční obvod

Paralelní i sériový rezonanční obvod mají řadu podobných vlastností. Nejjednodušší paralelní rezonanční obvod (viz obr. 2.8) je kondenzátor zapojený paralelně k cívce. Pro rezonanční kmitočet platí opět Thompsonův vzorec (2.9).

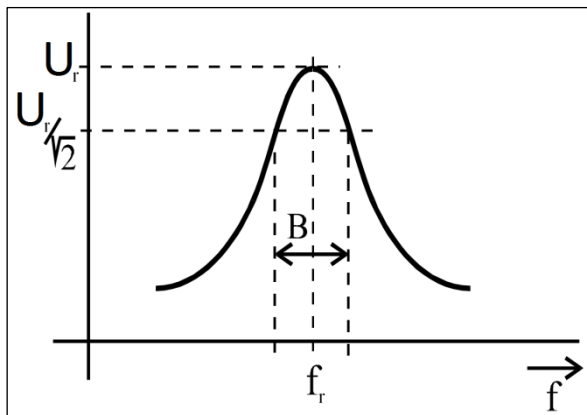


Obrázek 2.8 Paralelní rezonanční obvod

Pro admitanci paralelního obvodu platí:

$$Y(\omega) = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad [\text{S}] \quad (2.10)$$

Minimum admitance nastává opět při nulové imaginární složce v rezonanci. Pro konstantní proud obvodem můžeme vynést závislost napětí na frekvenci – rezonanční křivku (viz. obr. 2.9). Kde B je šířka pásma pro pokles napětí o 3dB, f_r je rezonanční kmitočet a U_r je napětí při rezonanci.

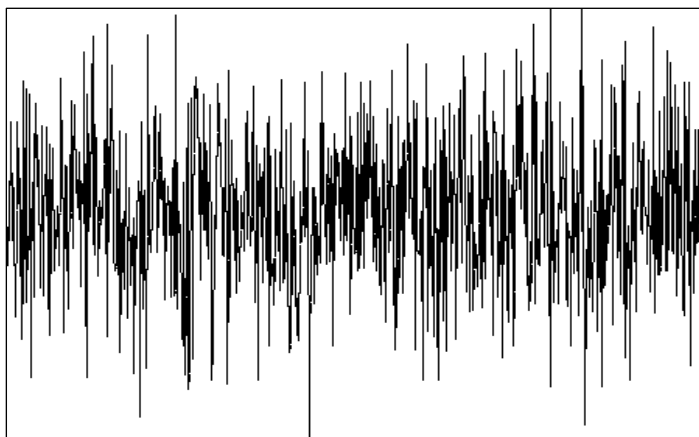


Obrázek 2.9 Rezonanční křivka paralelního rezonančního obvodu

2.3 BÍLÝ ŠUM

Bílý šum (viz obr. 2.10) je náhodný signál s nulovou střední hodnotou a s konstantním rozptylem. Bílý šum má konstantní výkonovou spektrální hustotu. To znamená, že stejně široká frekvenční pásma mají stejnou energii. Například pro pásmo mezi 40 Hz - 90 Hz má stejnou energii jako pásmo 8000 Hz – 8050 Hz. To však platí pouze v ideálním případě. V praxi je šum označován za bílý, pokud splňuje tyto podmínky v definovaném rozsahu frekvencí.

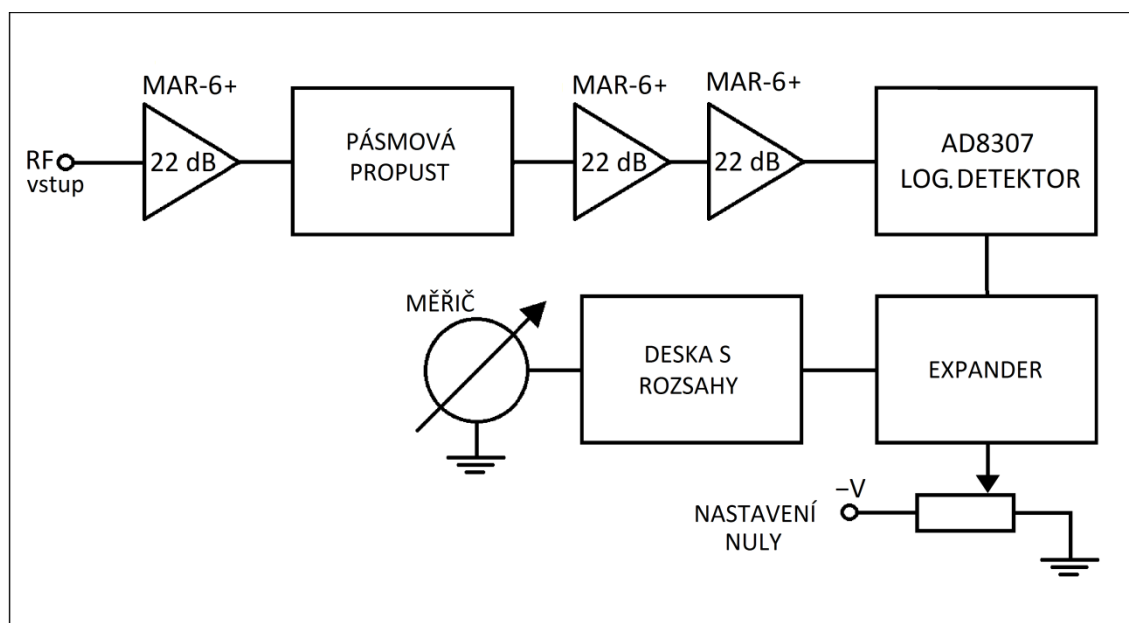
Rozeznáváme několik druhů šumů, které dostaly jména podle analogie s barevnými světly. Bílý šum je stejně, jako bílé světlo, rovnoměrně zastoupen na všech frekvencích.



Obrázek 3.10 Časový průběh bílého šumu

3 NÁVRH MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE

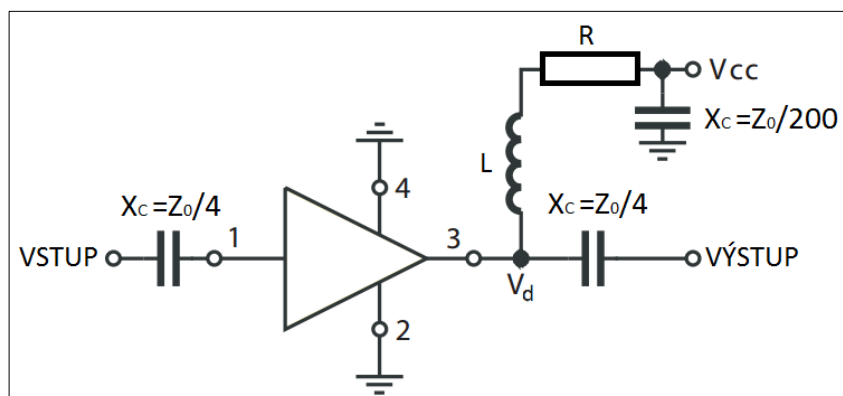
V následujícím textu je představený návrh širokopásmového měřiče úrovně bílého šumu. Přístroj je poskládaný z několika funkčních bloků, jak je vidět na obrázku 3.1. Každý blok je následně popsán.



Obrázek 3.1 Blokový diagram přístroje

3.1 MAR-6+

Před a za pásmovou propustí jsou zesilovače MAR-6+. Zesilovač má na 100 MHz zesílení 22 dB. Při použití tří zesilovačů MAR-6+ je tedy signál zesílen 66 dB. Zesilovač je zapojen podle doporučené aplikace (viz obr. 3.2), která je znázorněna v datasheetu součástky.



Obrázek 3.2 Zapojení zesilovače MAR-6+

Hodnoty kondenzátorů jsou vypočteny podle vztahu (3.1).

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot X_C} \quad (3.1)$$

kde f_0 představuje střední frekvenci pásmové propusti, X_C je kapacitance kondenzátoru a charakteristická impedance Z_0 je 50Ω .

Hodnoty blokovacích kondenzátorů na vstupu a výstupu zesilovače jsou $86,91 \text{ pF}$, ve výrobní řadě E12 je nejbližší 82 pF . Pro oddělovací kondenzátor u napájení je vypočítaná kapacita $4,35 \text{ nF}$, takže když zapojíme paralelně dva kondenzátory s hodnotou $2,2 \text{ nF}$ z řady E24, bude výsledná kapacita zapojení $4,4 \text{ nF}$.

Velikost odporu je přímo odečtena z datasheetu pro napájení 12 V , což je 560Ω .

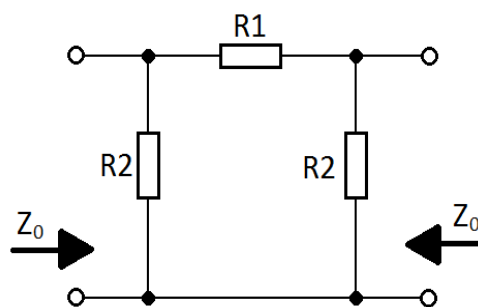
Indukčnost v tomto případě není potřeba, do zapojení se dává v případě, že odpor je blízký charakteristické impedanci vedení. Zde je odpor více než $10\times$ větší než Z_0 , takže cívka nebude potřeba.

3.2 PÁSMOVÁ PROPUST

Do pásmové propusti je přímo přiveden signál z antény, protože je potřeba nejdřív odfiltrvat ze signálu složky, které měřit nebudeme. Filtr je složen ze tří paralelních rezonančních LC obvodů. Hodnoty součástek jsou navrženy pro ideální kondenzátory a reálné cívky s činitelem jakosti Q . Obvod je navržen pro ideální kondenzátory proto, že kondenzátory se v dnešní době dají vyrobit s 99% přesností. Cívky mají činitel jakosti 150 , je zvolena tato hodnota, protože je pro potřeby v přístroji dostačující a zároveň se v praxi dají takové cívky vyrobit. Na vstupu i výstupu jsou attenuatory – útlumové články, které vytvářejí výkonovou ztrátu. Hodnoty rezistorů jsou zvoleny tabulkou (viz tab. 3.1 a obr. 3.3) pro útlum 3 dB .

Tabulka 3.1 Hodnoty odporů pro attenuator

Útlum [dB]	$Z_0 = 50\Omega$	
	R1 [Ω]	R2 [Ω]
3	18	292
6	37	151
10	71	96
20	248	61



Obrázek 3.3 Zapojení attenuatoru

Odpor 18Ω je v řadě E12, avšak 292Ω není, proto je zvolena nejbližší hodnota odporu z řady E24 a to je 300Ω . Attenuator je zde proto, aby byl filtr bezpodmínečně stabilní. Bezpodmínečně stabilní je takový dvojbran, který pro žádnou hodnotu impedancí připojených k jeho branám neosciluje. Jako kritérium stability se používá tzv. Rolletův

činitel stability K (viz vztah 3.2 a 3.3):

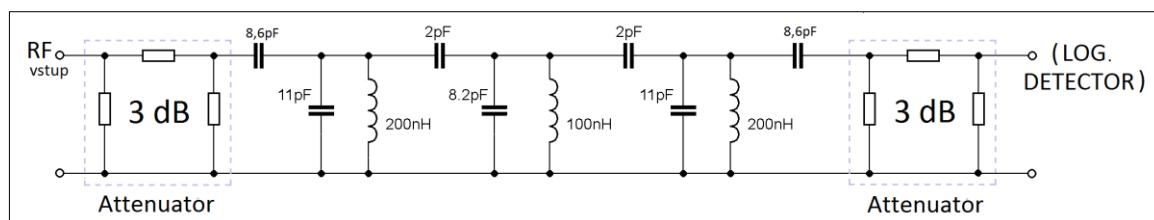
$$K = \frac{1 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 * |s_{12} * s_{21}|}, \quad (3.2)$$

$$\Delta = s_{11} * s_{22} - s_{12} * s_{21}, \quad (3.3)$$

kde s_{11} je vstupní činitel odrazu a s_{22} výstupní činitel odrazu, s_{12} představuje přenos mezi bránou 2 a 1, s_{21} přenos mezi bránami 1 a 2.

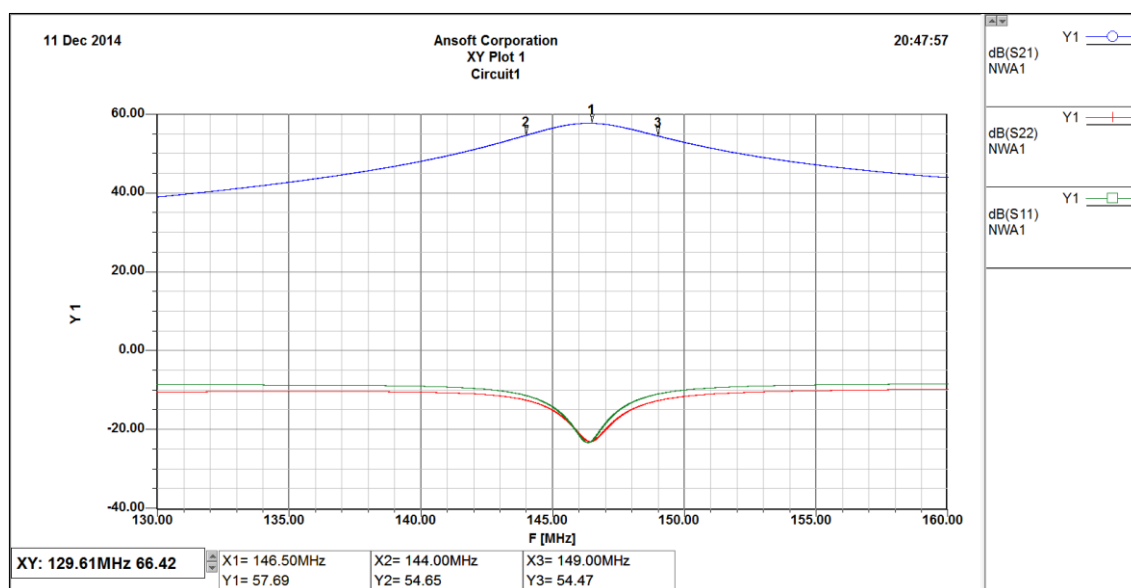
Zesilovač je bezpodmínečně stabilní pro $K > 1$ a současně $|\Delta|^2 < 1$.

Návrh samotné pásmové propusti, byl zrealizován v programu ANSOFT Designer. Hodnoty součástek jsou voleny přímo z výrobních řad, takže hodnoty nebude třeba skládat z více součástek a cívky se budou namotávat. Na obrázku 3.4 je znázorněno schéma zapojení.



Obrázek 3.4 Schema zapojení pásmové propusti

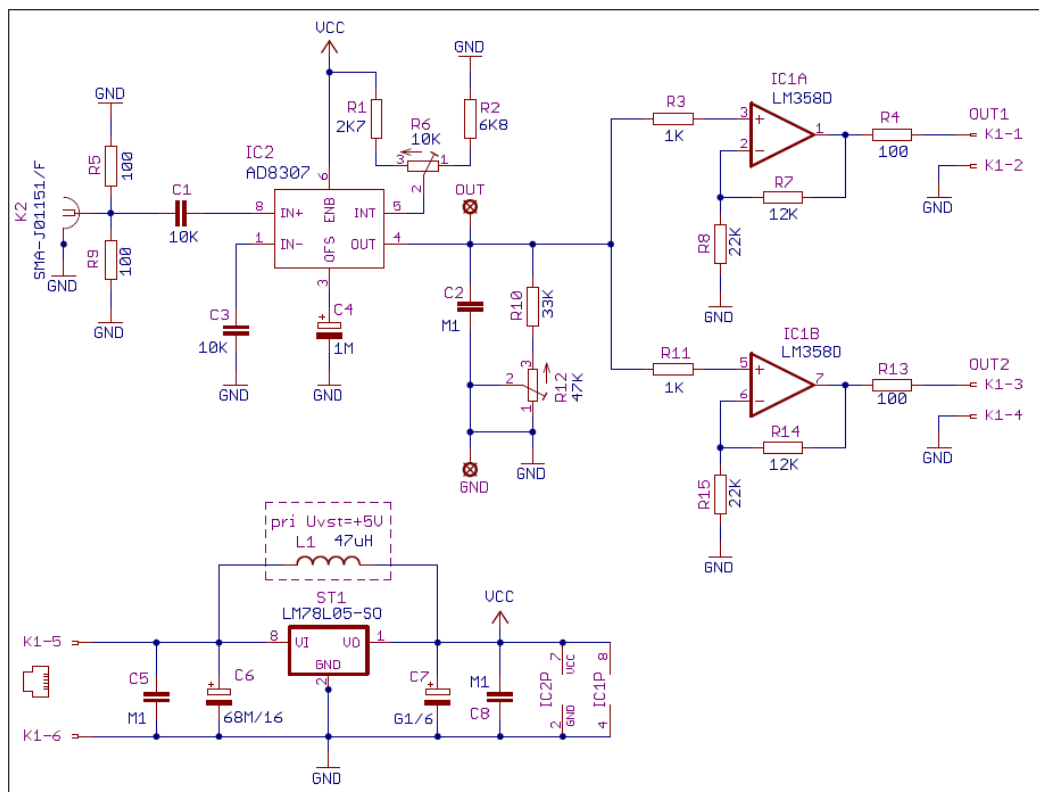
V programu ANSOFT Designer byla provedena analýza pásmové propusti i se zesilovači. Následující obrázek 3.5 ukazuje přenos – modrá křivka, vstupní činitel odrazu – zelená křivka, a výstupní činitel odrazu – červená křivka. Markr 1 znázorňuje střední frekvenci filtru a markry 2 a 3 ukazují mezní frekvence pro pokles o 3 dB. Grafy činitele odrazu se liší, protože dvojbran není symetrický – na vstupu je jeden zesilovač MAR-6+ a na výstupu jsou dva.



Obrázek 3.5 Analýza pásmové propusti v programu ANSOFT Designer

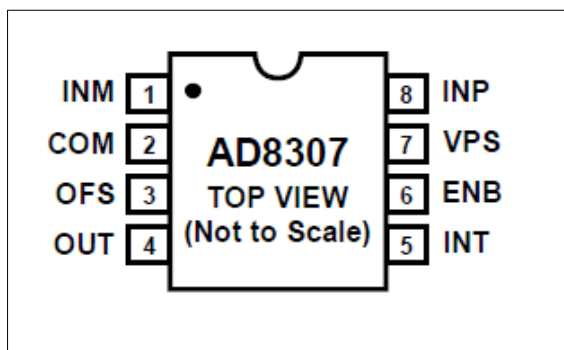
3.3 LOGARITMICKÝ DETEKTOR AD8307

V přístroji je použita již hotová deska s logaritmickým detektorem AD8307. Schéma jejího zapojení vychází z obvodu DJ8EST a je znázorněno na obrázku 3.6. Napájecí napětí AD8307 a zesilovače LM3580 je 5 V regulovaného napětí. Regulátor napětí je umístěn přímo na desce expanderu.



Obrázek 3.6 Schéma zapojení logaritmického detektoru

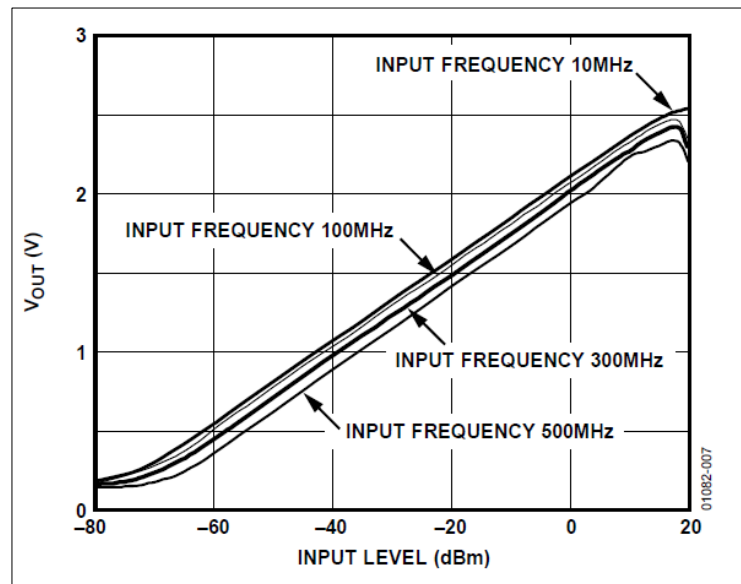
Logaritmický detektor AD8307 převádí střídavý signál na stejnosměrný, který následně zpracovává expander. Rozložení pinů je zřejmé z obrázku 3.7.



Obrázek 3.7 Rozložení pinů AD8307

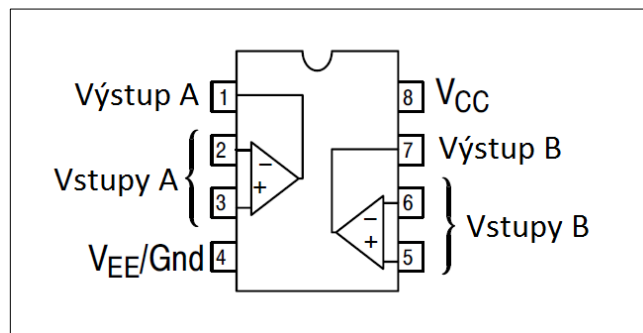
1. vstup pro signál záporné polarity
2. společný pin – obvykle zeměný
3. nastavení offsetu
4. výstup ($R_{out} = 12,5 \text{ k}\Omega$)
5. nastavení sklonu charakteristiky
6. CMOS – spínání (aktivní při vysoké úrovni)
7. napájení (2,7 V – 5,5 V)
8. vstup pro signál záporné polarity

Potenciometrem $R6 = 10\text{ k}\Omega$ se nastaví potřebný sklon charakteristiky a potenciometrem $R12 = 47\text{ k}\Omega$, který má pak v přístroji hodnotu nejbližší v řadě, a to $50\text{ k}\Omega$, se nastaví rozsah výstupního napětí. Obrázek 3.8 je zkopírovaný z datasheetu AD8307 a je z něj zřejmá závislost výstupní úrovně logaritmického detektoru na úrovni vstupního signálu.

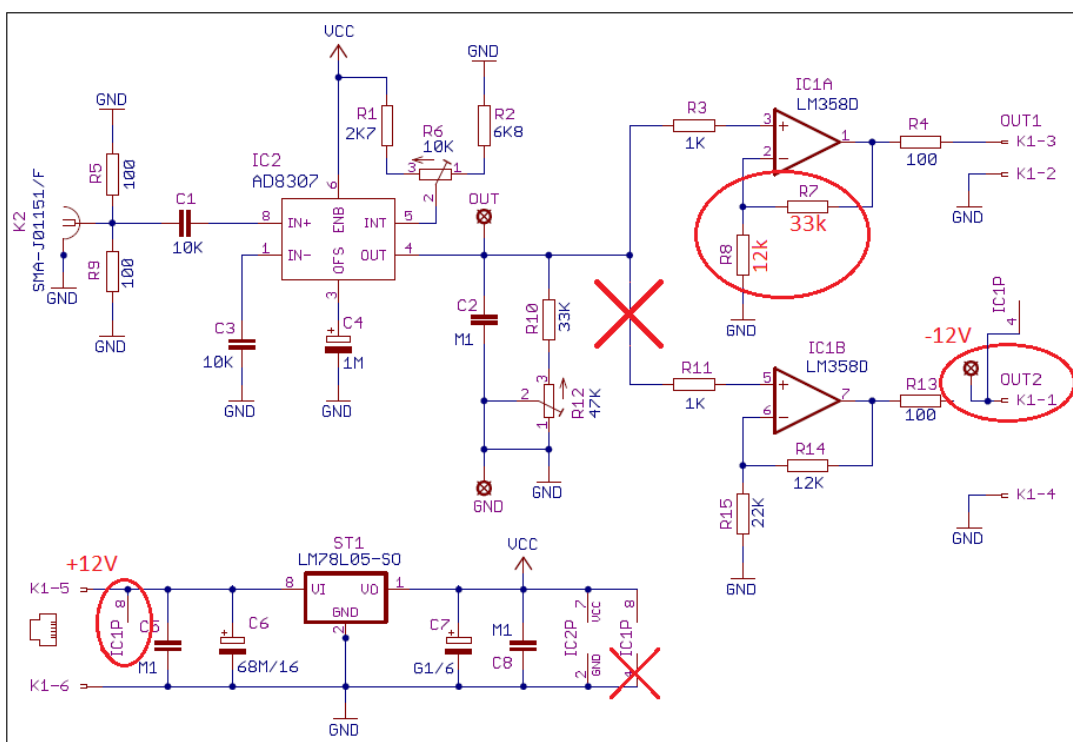


Obrázek 3.8 Závislost výstupní úrovně AD8307 na úrovni vstupního signálu

Z charakteristiky vyplývá, že pro frekvenci 100 MHz má logaritmický detektor výstupní úroveň maximálně kolem 2,5 V. Na výstupu je zesilovač LM3580 s nastaveným zesílením 1,55krát. Tím však není dosaženo požadovaného napětíového rozsahu 0 V - 10 V. Při měření na 146,5 MHz bylo změřeno maximální výstupní napětí AD8307 2,7 V. Takže je třeba tento signál téměř 4krát zesílit. Na desce byly provedeny úpravy, které jsou znázorněny na obrázku 3.10. Odpor $R7 = 12\text{ k}\Omega$ byl nahrazen rezistorem o velikosti $33\text{ k}\Omega$ a $12\text{ k}\Omega$ rezistor byl přepájen místo odporu $R8$. Velikost zesílení tedy je 3,7krát. Pro toto větší zesílení musí být však zesilovač LM3580 napájen symetrickým napětím $\pm 12\text{ V}$. Na desce plošného spoje bylo napájení nesymetrické a jen $+5\text{ V}$. Takže bylo třeba přerušit cestu k jednomu ze zesilovačů, aby se po jeho výstupu mohlo vést záporné napětí. Kladné napětí je přivedeno k zesilovači drátovou propojkou. Rozložení pinů je zřejmé z obrázku 3.9.



Obrázek 3.9 Rozložení pinů LM3580



Obrázek 3.10 Schéma zapojení upraveného plošného spoje logaritmického detektoru

Na výstup desky logaritmického detektoru je připojen RJ konektor s šesti piny. Druhý, čtvrtý a šestý pin jsou připojeny na zem. Na první pin je připojeno záporné napětí -12 V a na pátý pin je přivedeno kladné napětí +12 V. A na třetí pin je vyvedený výstup zesilovače. Vstup je do desky přiveden prostřednictvím SMA konektoru.

Logaritmický detektor by měl mít při vstupní úrovni +10dBm na výstupu maximální napětí 10V a pro vstup -60dBm bude na výstupu +3V. Sklon charakteristiky bude 10 dBm na 1 V.

V následující tabulce 3.2 je proměřena závislost výstupního napětí logaritmického detektoru na velikosti vstupní úrovně. Závislost je také vynesena do grafu na obrázku 3.11. V tabulce je také spočítána absolutní odchylka a chyba převodu v procentech i v decibelech podle vzorců 3.4, 3.5 a 3.6.

$$\Delta_U = U_M - U_P, \quad [V] \quad (3.4)$$

kde Δ_U je absolutní odchylka, U_M je naměřená hodnota výstupního napětí a U_P je požadovaná hodnota výstupního napětí.

$$\delta_U = \frac{\Delta_U}{U_M} * 100, \quad [\%] \quad (3.5)$$

kde δ_U je relativní chyba v procentech, Δ_U je absolutní odchylka a U_M je naměřená hodnota výstupního napětí

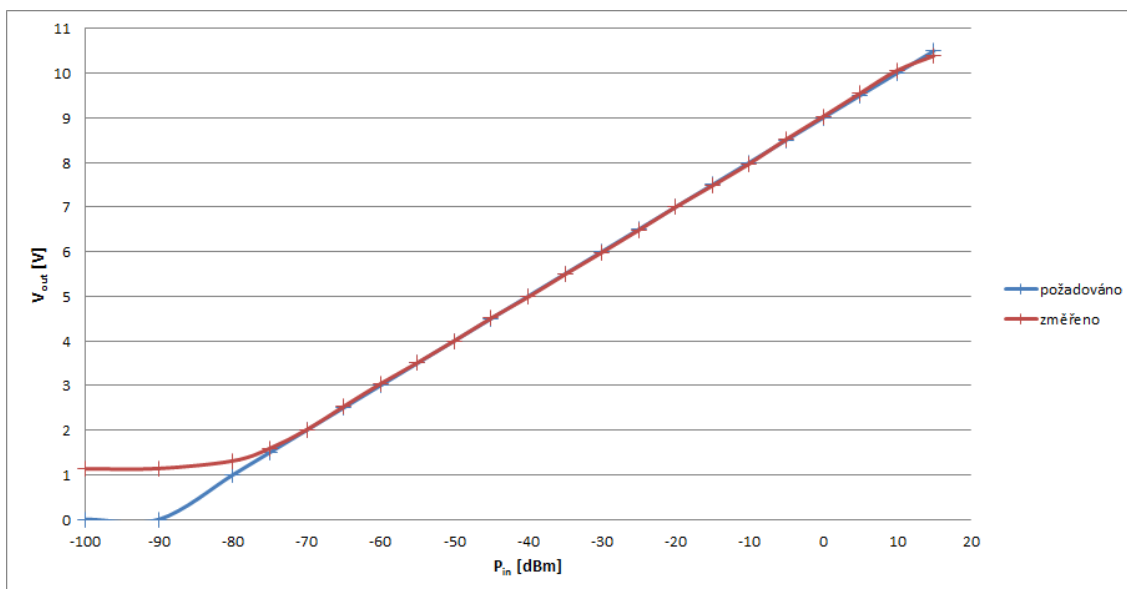
$$\delta_{U_{dB}} = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_M}{U_P} \right), \quad [dB] \quad (3.6)$$

kde $\delta_{U_{dB}}$ je relativní chyba v decibelech, U_M je naměřená hodnota výstupního napětí a U_P je požadovaná hodnota výstupního napětí.

Tabulka 3.2 závislost výstupního napětí log. detektoru na velikosti vstupní úrovně

P_{vst} [dBm]	požadováno	změřeno	absolutní odchylka [V]	chyba	
	$U_{výst}$ [V]	$U_{výst}$ [V]		[%]	[dB]
-100	0	1,13	1,13	100,00	-
-90	0	1,14	1,14	100,00	-
-80	1	1,31	0,31	23,66	2,35
-75	1,5	1,59	0,09	5,66	0,51
-70	2	2,01	0,01	0,50	0,04
-65	2,5	2,53	0,03	1,19	0,10
-60	3,0	3,04	0,04	1,32	0,12
-55	3,5	3,51	0,01	0,28	0,02
-50	4,0	4,00	0,00	0,00	0,00
-45	4,5	4,51	0,01	0,22	0,02
-40	5	4,98	-0,02	0,40	-0,03
-35	5,5	5,49	-0,01	0,18	-0,02
-30	6	5,98	-0,02	0,33	-0,03
-25	6,5	6,48	-0,02	0,31	-0,03
-20	7	7	0,00	0,00	0,00
-15	7,5	7,48	-0,02	0,27	-0,02
-10	8	7,97	-0,03	0,38	-0,03
-5	8,5	8,52	0,02	0,23	0,02
0	9	9,03	0,03	0,33	0,03
5	9,5	9,55	0,05	0,52	0,05
10	10	10,06	0,06	0,60	0,05
15	10,5	10,39	-0,11	1,06	-0,09

Z tabulky je vidět, že použitelný rozsah je od -70 dBm do +10 dBm, kde se chyba pohybuje maximálně kolem 1 %.



Obrázek 3.11 Závislost výstupního napětí log. detektoru na velikosti vstupní úrovně

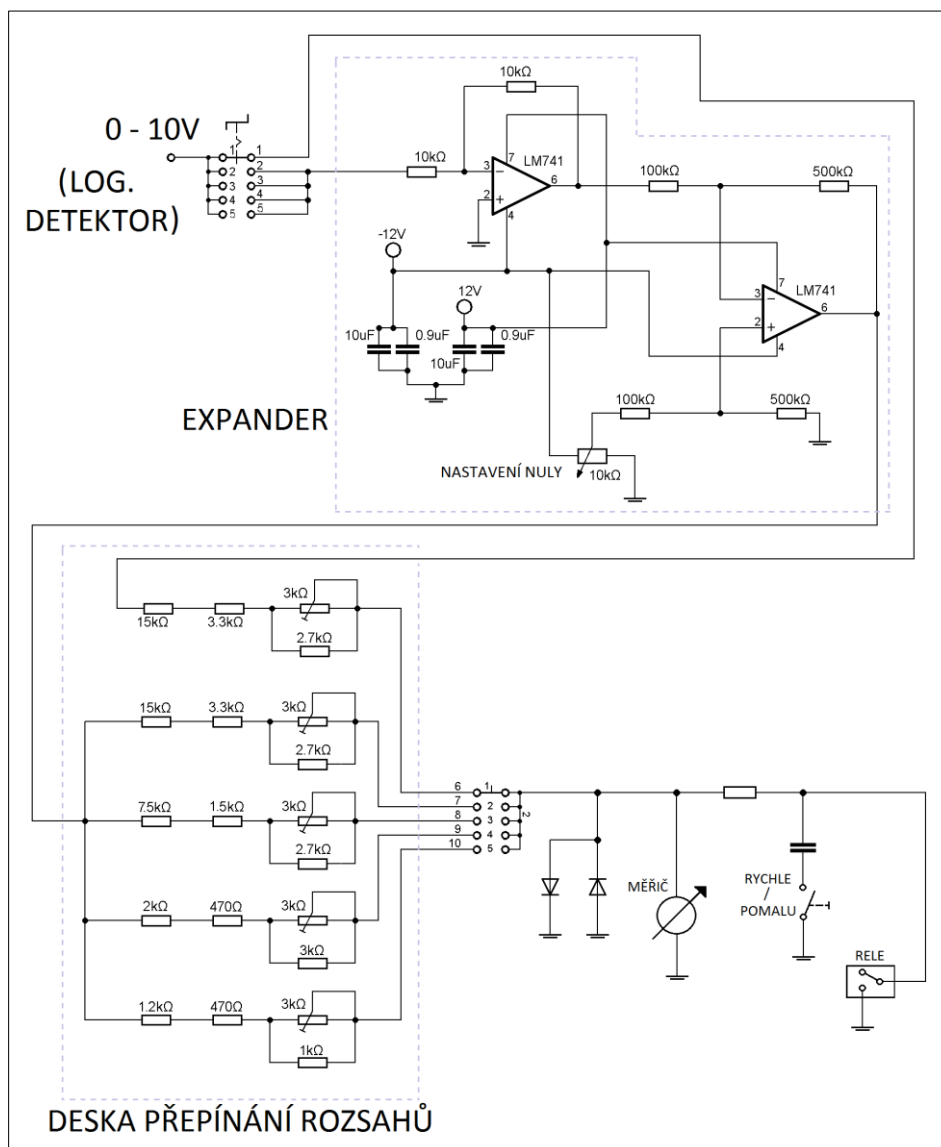
3.4 EXPANDER A DESKA PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ

3.4.1 EXPANDER

Expander slouží ke zvětšení dynamického rozsahu vstupního signálu. Je to zařízení, které ovlivňuje výstupní úroveň zpracovávaného signálu v závislosti na vstupním.

Vstup je připojen na otočný dvoupólový přepínač s 10 kontakty, pro pět různých hodnot rozsahů měřiče. V pozici 1, pro největší rozsah, nejde signál do expanderu, ale je veden přímo do desky pro přepínání rozsahů. Přepínač rozsahů je na předním panelu přístroje.

Schéma zapojení expanderu je na obrázku 3.12. První zesilovač LM741 je zapojen jako invertující zesilovač se ziskem -1. Druhý zesilovač LM741 je zapojena jako diferenční zesilovač se ziskem -5. Referenční úroveň pro „studenou oblohu“ bude nastavována pomocí 10 kΩ potenciometru připojeného na záporné napájecí napětí.



Obrázek 3.12 Schema zapojení expanderu a desky přepínání rozsahů

Vysvětlení funce Expanderu:

Anténa je namířená na „studenou oblohu“, vstupní signál odpovídá -30 dBm, takže na vstupu expanderu je napětí 6 V. Pomocí potenciometru se nastaví na invertujícím vstupu druhého zesilovače LM741 stejná hodnota napětí, takže na jeho výstupu bude napětí 0 V. Při následném namíření antény, třeba na Slunce, vzroste vstupní úroveň logaritmického detektoru na hodnotu -20 dBm. To odpovídá napětí 7 V na vstupu expanderu. Na výstupu druhého zesilovače LM741 tedy bude 5 x 1 V (zesílení 5krát), což odpovídá plné výchylce třetího největšího rozsahu.

3.4.2 DESKA PŘEPÍNÁNÍ ROZSAHŮ

Jak již bylo řečeno, rozsahy se přepínají pomocí 2pólového 6pozicového rotačního přepínače. V přepínači je poslední pozice zablokovaná, aby bylo právě pět různých rozsahů:

první pozice (1) odpovídá rozsahu 100 dB

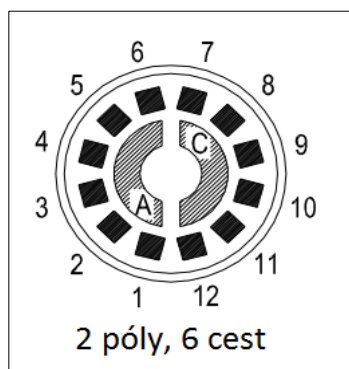
druhá pozice (2) odpovídá rozsahu 20 dB

třetí pozice (3) odpovídá rozsahu 10 dB

čtvrtá pozice (4) odpovídá rozsahu 2 dB

pátá pozice (5) odpovídá rozsahu 1 dB

Jak jsou kontakty v přepínači rozmístěné, je jasné z obrázku 3.12.



Kontakt A přepíná kontakty 1 až 6 a kontakt C 7 až 12. Na kontakt A je připojen měřič a na kontakt C je přiveden signál z logaritmického detektoru. Kontakty 1 až 5 jsou pro rozsahy a kontakty 8 až 12 jsou pospojovány a přivádí signál do expanderu. Kontakt 8 propojuje signál z logaritmického detektoru přímo do desky pro přepínání rozsahů, je tedy pro největší rozsah bez kompenzace nuly.

Obrázek 3.12 Rozmístění pinů v přepínači

Pro první a třetí rozsah je maximální napětí 10 V, pro druhý rozsah je to 5 V, čtvrtý rozsah má maximální napětí 2 V a poslední má 1 V. Dva větší rozsahy s kompenzací nuly jsou pro měření úrovně bílého šumu Slunce a poslední dva nejmenší jsou pro měření bílého šumu Měsíce.

Hodnoty odporů v desce rozsahů jsou spočítány podle maximálního proudu, který rezistorovou sítí poteče. Maximální proud je určený konstrukcí měřiče.

Z rozsahové desky jde signál na měřič, který je před zničením chráněn diodami. Ty omezují napětí vstupující do měřiče na $\pm 0,6$ V.

Dále je zde přepínač RYCHLE/POMALU, který do obvodu buď připojí a nebo odpojí kondenzátor. Kondenzátor a rezistor jsou zapojeny do integračního článku, který díky

své časové konstantě zpomalí pohyb ukazatele.

Pro časovou konstantu platí:

$$\tau = C * R, \quad (3.4)$$

kde τ je časová konstanta RC článku, C je kapacita kondenzátoru a R je odpor zapojeného rezistoru.

Nakonec je zde připojené dvanáctivoltové relé, které je spínáno proudem v případě, kdy se bude v blízkosti přístroje vysílat. Je to další ochrana měřiče před poškozením, ke kterému by mohlo dojít.

4 ZHOTOVENÍ MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE

Přístroj je umístěn v plechové smaltované přístrojové krabici U-KK 12-231. Rozměry krabice jsou 234 mm x 124 mm x 217 mm. Na přední panel, který je na obrázku 4.1, se totiž musel vejít měřič s rozměry 80 mm x 80 mm.

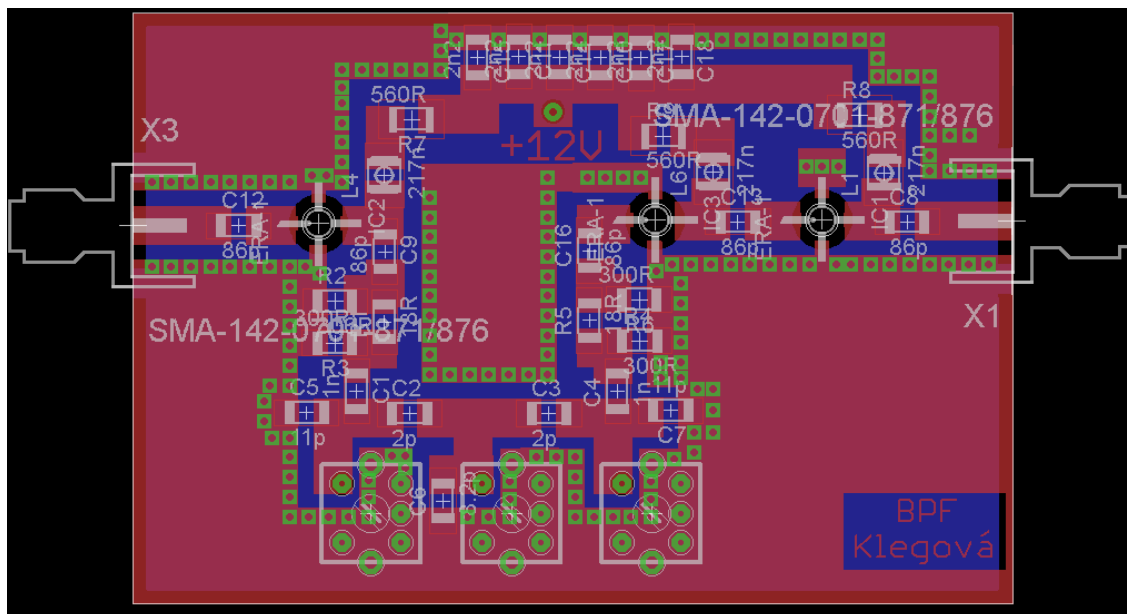
Na pájení přístroje je řešeno pětivoltovým adaptérem připojeným na měnič napětí, který má na výstupu ± 15 V. Napájecí napětí je poté přivedeno na stabilizátory napětí umístěné na desce s expanderem. Ze stabilizátorů je rozvedené do všech částí přístroje.

Na zadní straně přístroje je také umístěna pojistka chránící přístroj před případným přepětím.



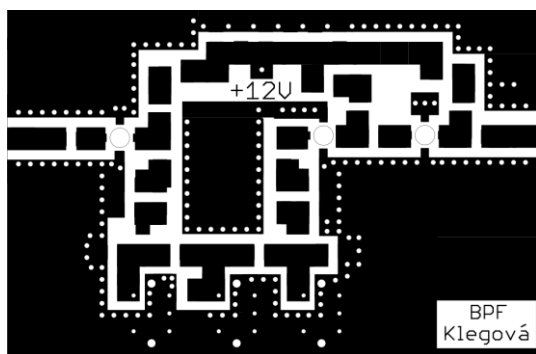
Obrázek 4.1 Přední panel měřicího přístroje

Na obrázku 4.2 je exportované schéma zapojení z programu Eagle. Na následujících obrázcích je samotný návrh desky (obr. 4.3), horní strana desky – top (obr. 4.4) a dolní strana desky – bottom (obr. 4.5).

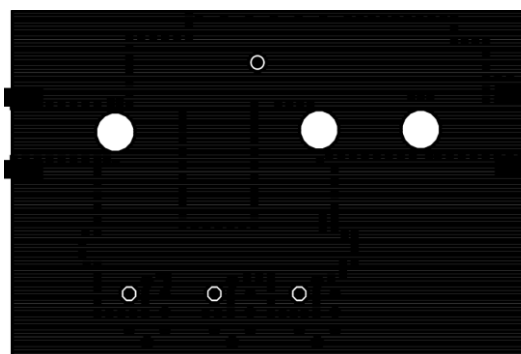


Obrázek 4.3 Návrh desky v programu Eagle

Návrh desky plošných spojů – strany top a bottom v měřítku M 1 : 1. Rozměr desky je 45 mm x 67 mm.



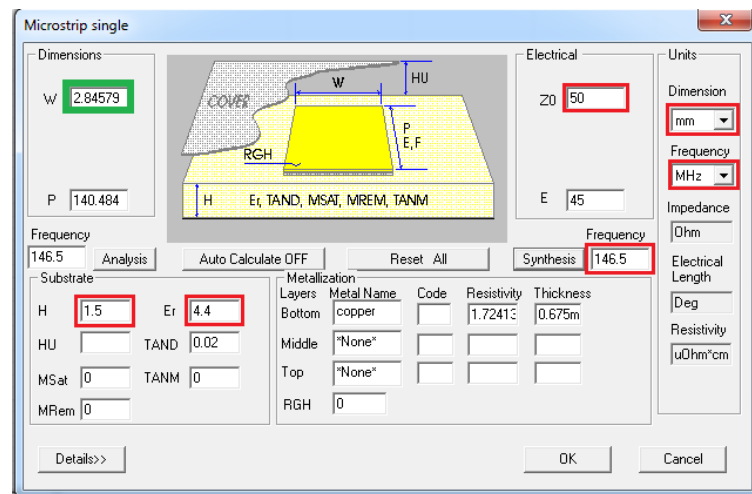
Obrázek 4.4 Strana top



Obrázek 4.5 Strana bottom

Většina součástek je v SMD pouzdře 1206, jsou zemněny prokovy na bottom stranu spoje, kde je rozlita zemní plocha. Jsou zde i tlumivky na přívodu napájecího napětí do zesilovačů MAR-6+, pro případ, že by byly potřeba, jinak jsou kontakty spojeny propojkou s hodnotou 0 Ω . Cívky v rezonančních obvodech jsou namotány v cívkové sadě RFC 71S se stínícím měděným krytem. V Eaglu je pro ně vytvořena nová součástka, která má nakreslené pouzdro dle datasheetu vybrané kostry cívky. Na frekvenci 146,5 MHz bylo potřeba na jádro namotat 3 až 4 závitů pro dané indukčnosti.

Součástky jsou spojeny mikropásky o šířce 2,8458 mm, aby bylo dosaženo impedančního přizpůsobení. Program ANSOFT Designer má funkci, která šířku mikropásky spočítá. Okno pro výpočet je vidět na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6 Výpočet šířky mikropásky v prostředí ANSOFT Designer

Je zde vyplněná charakteristická impedance $Z_0 = 50 \Omega$, střední frekvence $f_c = 146,5 \text{ MHz}$, tloušťka PBC $H = 1,5 \text{ mm}$ a permitivita PCB $\epsilon_r = 4,4$. Stiskem tlačítka „Synthesis“ se provede výpočet. Výsledek se zobrazí v zeleném rámečku.

4.1.2 Seznam součástek

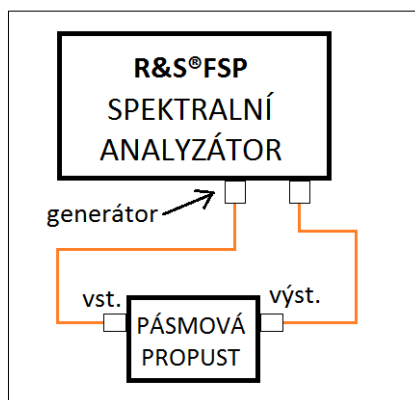
Tabulka 4.1 Seznam součástek pásmové propusti

Součástka	Hodnota	Pouzdro	Popis
6 x C	2n2	C1206	keramický SMD kondenzátor
5 x C	1n	C1206	keramický SMD kondenzátor
2 x C	6p8	C1206	keramický SMD kondenzátor
2 x C	12p	C1206	keramický SMD kondenzátor
C	18p	C1206	keramický SMD kondenzátor
2 x C	2p2	C1206	keramický SMD kondenzátor
3 x MAR-6+	+22 dB	VV105	širokopásmový zesilovač
3 x R	560R	M1206	SMD rezistor
2 x R	18R	M1206	SMD rezistor
4 x R	300R	M1206	SMD rezistor
2 x L	200n	MT233	navinutá cívka
L	100n	MT233	navinutá cívka
3 x R	0R	M1206	SMD propojka
C	1n		průchodkový kondenzátor
2 x SMA		2 otvory	konektor
AH101	67 mm x 22 mm x 46 mm		stínící krabice

4.1.3 Měření funkce pásmové propusti

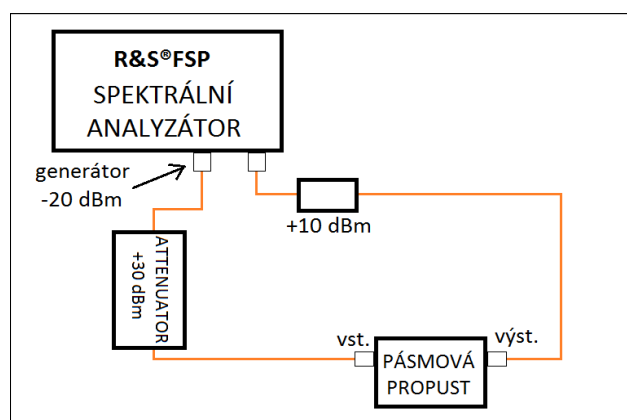
Nejprve byla na desku připájena samotná pásmová propust s oddělovacími kondenzátory. Deska byla umístěna do kovové stínící konstrukční krabičky AH101. Krabička je z cínovaného plechu a má rozměry 67 mm x 22 mm x 46 mm. Vstup a výstup z krabičky jsou vedeny SMA konektory. Napájení 12 V je přivedeno přes průchodkový kondenzátor, který je připájen na krytu krabičky.

Pomocí spektrálního analyzátoru R&S®FSP byla proměřena převodní charakteristika pásmové propusti. Potřebný rozsah bylo potřeba doladit pomocí feritových jader, které se zašroubovaly do cívky. Při ladění bylo také nutné vyměnit kondenzátor v druhém paralelním rezonančním obvodu. Na druhou cívku bylo totiž namotáno o jeden závit méně a nebylo možné jinak obvod naladit. Kondenzátor s hodnotou 8,2 pF byl nahrazen kondenzátorem 18 pF. Blokové schéma zapojení při měření je na obrázku 4.7.

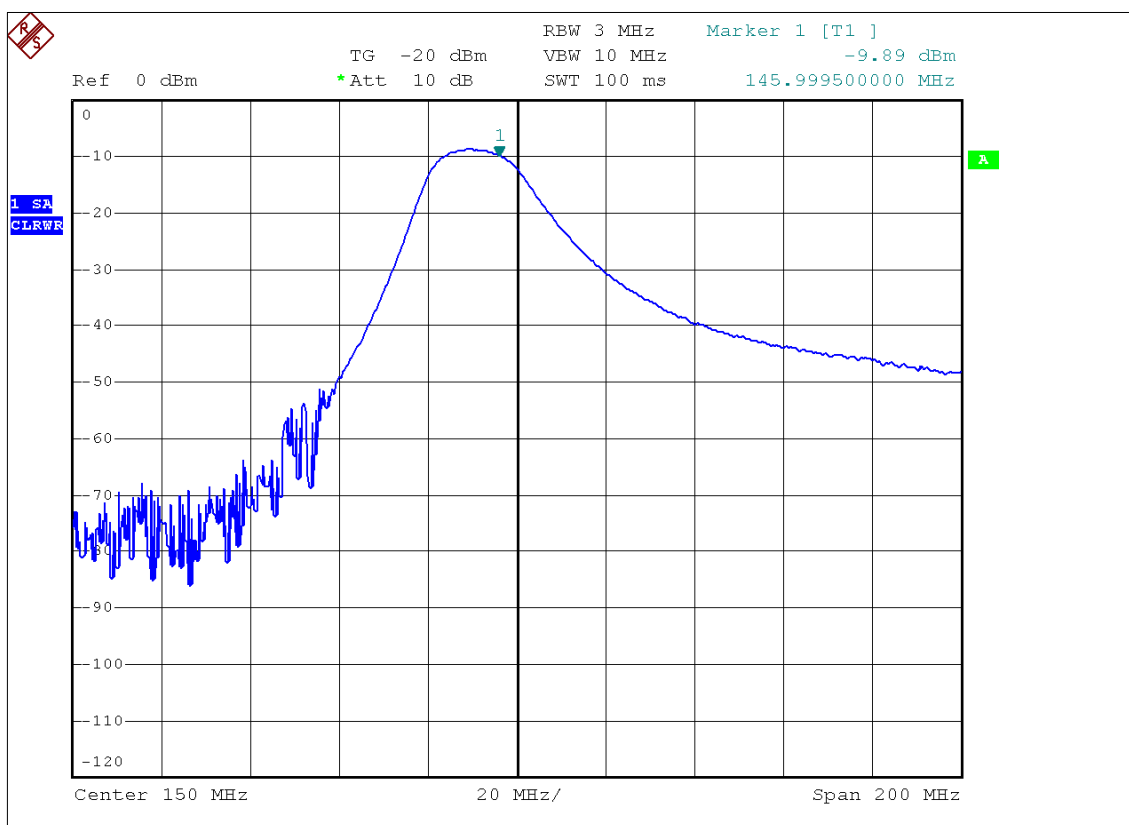


Obrázek 4.7 blokové schéma zapojení při ladění pásmové propusti

Následně byly na desku naletovány ostatní součástky a podle blokového schématu na obrázku 4.8 byla proměřena celá pásmová propust. Výsledná charakteristika zobrazená na spektrálním analyzátoru R&S®FSP je na obrázku 4.9. Z obrázků lze dopočítat zisk výsledného předzesilovače. Signál -20 dBm je zeslaben dalšími 40 decibely. Z obrázku 4.9 je možné odečíst výslednou úroveň signálu a to -9 dBm. Výsledný zisk je tedy 51 dB.



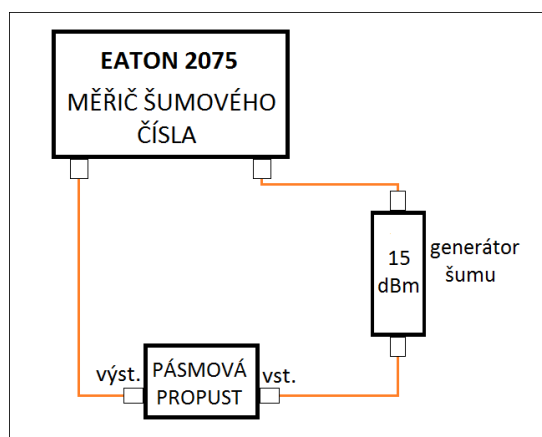
Obrázek 4.8 blokové schéma zapojení při měření převodní charakteristiky pásmové propusti



Obrázek 4.9 převodní charakteristika pásmové propusti P exportovaná ze spektrálního analyzátoru

Měření zisku a šumového čísla

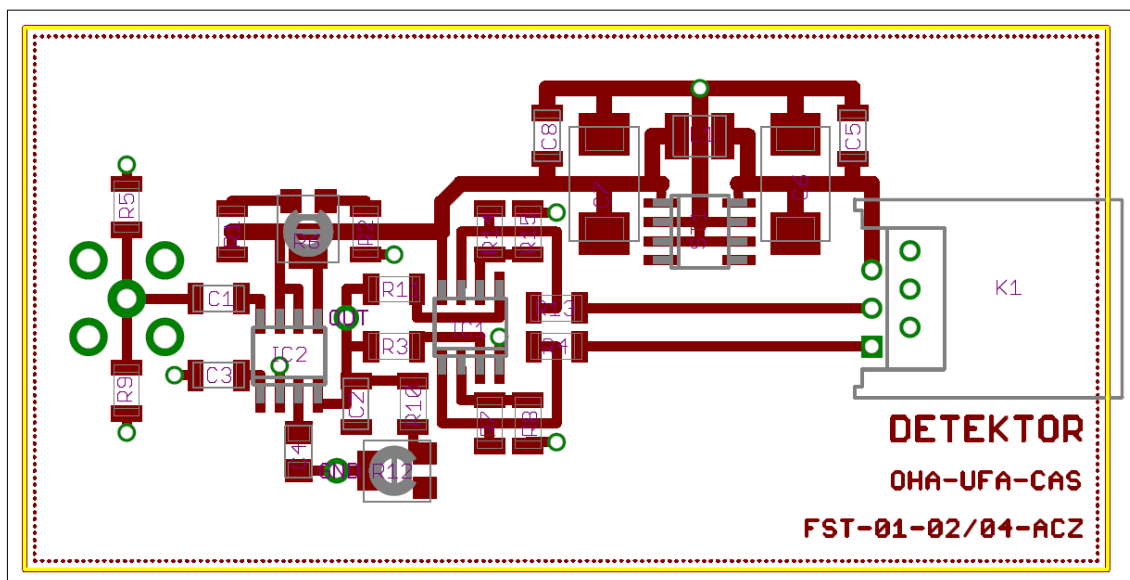
Pomocí měřiče šumového čísla EATON 2075, bylo změřeno šumové číslo $F = 2,5$ a zisk pásmové propusti $A = 51,5$ dB. Blokové schéma je na obrázku 4.10. Mezi vstup pásmové propusti a měřič EATON 2075 byl umístěn normovaný zdroj bílého šumu HP 346B o hodnotě ENR (exces noise ratio -) 15,56 dB.



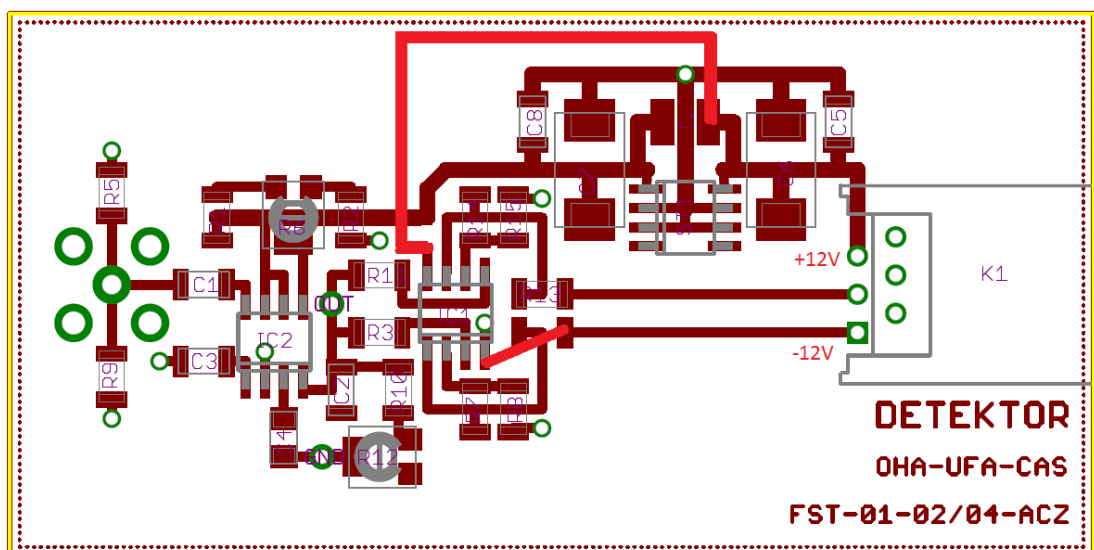
Obrázek 4.10 blokové schéma zapojení pro měření šumového čísla

4.2 LOGARITMICKÝ DETEKTOR

Plošný spoj logaritmického detektoru nebyl v této práci navrhován, avšak bylo nutné na spoji udělat několik změn. Úpravy jsou popsány v kapitole 3.3. Na obrázku 4.11 je původní návrh desky a na obrázku 4.12 jsou červenou barvou zaznačené změny.

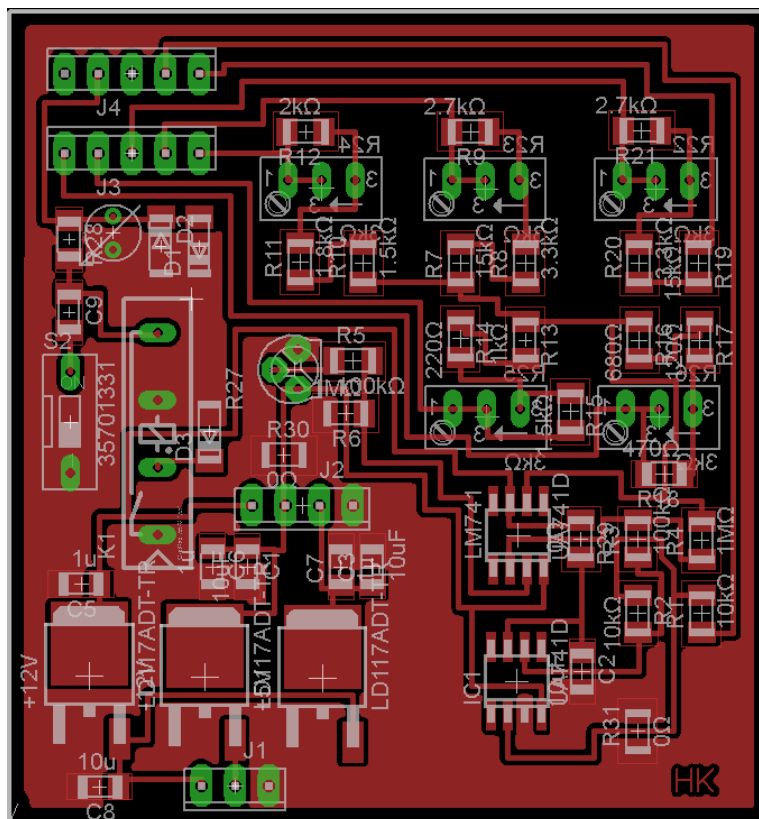


Obrázek 4.11 plošný spoj logaritmického detektoru



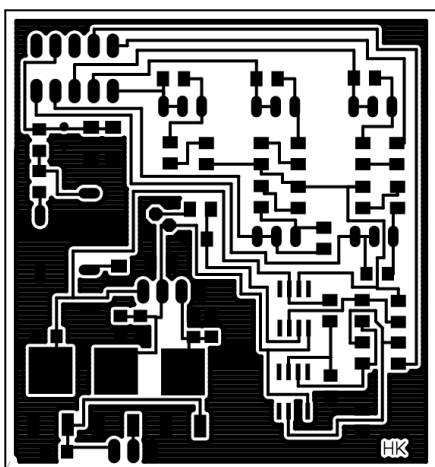
Obrázek 4.12 upravený plošný spoj logaritmického detektoru

Na obrázku 4.13 je opět exportované schéma zapojení z programu Eagle. Na následujících obrázcích je samotný návrh desky (obr. 4.14), horní strana desky – top (obr. 4.15) a dolní strana desky – bottom (obr. 4.16).

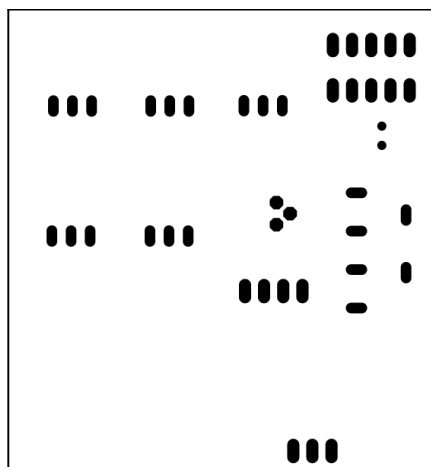


Obrázek 4.14 Návrh desky v programu Eagle

Návrh desky plošných spojů – strany top a bottom v měřítku M 1 : 1. Rozměr desky 57,4 mm x 61,2 mm.



Obrázek 4.15 Strana top



Obrázek 4.16 Strana bottom

4.3.2 Seznam součástek

Tabulka 4.2 Seznam součástek expanderu a desky přepínání rozsahů

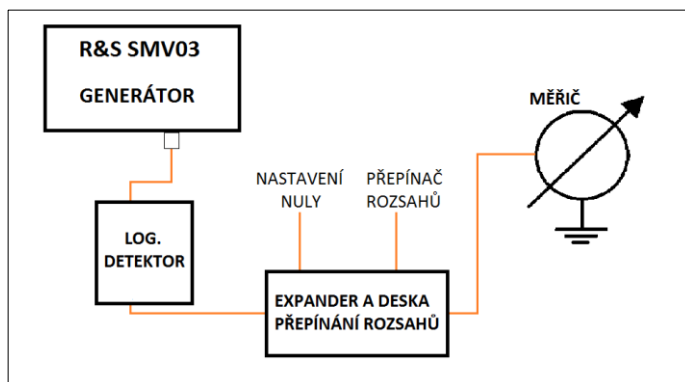
Součástka	Hodnota	Pouzdro	Popis
2 x LM741	UA741D	SO08	operační zesilovač LM741
4 x R	10k	M1206	SMD rezistor
4 x R	100k	M1206	SMD rezistor
2 x R	1M	M1206	SMD rezistor
2 x R	75k	M1206	SMD rezistor
2 x R	22k	M1206	SMD rezistor
3 x R	15k	M1206	SMD rezistor
R	39k	M1206	SMD rezistor
R	1k	M1206	SMD rezistor
3 x R	7k5	M1206	SMD rezistor
R	4k7	M1206	SMD rezistor
R	2k4	M1206	SMD rezistor
R	3k3	M1206	SMD rezistor
2 x C	10u	C1206	SMD kondenzátor
3 x C	1u	C1206	SMD kondenzátor
POT	10k	PC1221NK005	potenciometr
5 x POT	5k	RJ9W	odporový trimr
2 x D		SOD80	SMD dioda
R1	12 V	REED	relé
S		DS-01	páčkový spínač
CK	2 x 6	CK1030	otočný přepínač
7912	-12V	TO-220	stabilizátor napětí
ST7812	+12 V	TO-220	stabilizátor napětí
Měřák	100uA		měřák
4 x konektor			konektor se zámkem

4.3.3 Zhotovení Expanderu a desky přepínání rozsahů

I na této desce bylo provedeno několik úprav. Stabilizátor napětí pro 5 V nakonec nebyl potřeba. Stabilizátor byl na plošný spoj navržen, protože se počítalo s 5V napájením logaritmického detektoru. Avšak na plošném spoji samotného logaritmického detektoru stabilizátor je a tudíž není potřeba další. Pájecí plošky byly využity pro připojení výstupu logaritmického detektoru a byly drátovou propojkou spojeny s příslušným kontaktem v konektoru.

Stabilizátory napětí pro ± 12 V byly v desce plošného spoje navrženy pro SMD stabilizátor LD117ADT. Tyto stabilizátory jsou na trhu méně dostupné, proto byly do desky vyvrtány díry v příslušných ploškách a byly zde napájeny stabilizátory ST7812 pro kladné napětí a 7912 pro záporné napětí.

Po osazení součástkami byl plošný spoj připojen na napájecí napětí $\pm 15\text{ V}$ a dále zapojen podle obrázku 4.17. Na generátoru R&S SMV03 byla nastavována úroveň signálu a pomocí trimrů byly doupřaveny jednotlivé rozsahy.



Obrázek 4.17 Blokové schéma pro doladění rozsahů

5 ZÁVĚR

V této práci jsem napsala krátký teoretický úvod, který by měl pomoci čtenáři s pochopením problematiky projektu. V průběhu zpracovávání práce jsem se naučila pracovat v programu ANSOFT Designer a zlepšila jsem se v práci s program Eagle.

V ANSOFTu jsem navrhla pásmovou propust pomocí funkcí programu. Postupně jsem upravovala hodnoty součástek, dokud jsem nedosáhla pásmové propusti s mezními kmitočty 144 MHz – 149 MHz. Nakonec jsem provedla analýzu a navrhla jsem desku plošného spoje v Eaglu.

V práci jsem popsala funkci všech bloků přístroje, včetně vysvětlení funkcí jeho částí. Pro expander a desku přepínání rozsahů jsem navrhla také plošný spoj. Nejprve jsem ji navrhovala s drátovými součástkami, ale po konzultaci s vedoucím práce jsem změnila pouzdra součástek na SMD. Výsledná deska je menší, nebylo třeba vrtat tolik otvorů. Deska je odolnější vůči mechanickým nárazům a chvění. Odpadají zde i problémy s křehkostí cínových spojů.

Navržené desky plošných spojů jsem nechala vyrobit a osadila jsem je součástkami. Části přístroje jsem proměřila, abych zjistila, zda fungují dle předpokladů. A nakonec jsem přístroj zkompletovala.

LITERATURA

[1] KAHWAGI, CH. *A Noise Meter Suitable for Sun & Moon Noise Type Measurements*. [cit. 2014-12-15] Dostupné na [www](http://www.vk3nx.com/files/Noise_Meter.pdf):

http://www.vk3nx.com/files/Noise_Meter.pdf.

[2] PUNČOCHÁŘ, J. *Operační zesilovače v elektronice*. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

[3] SEDLÁČEK, J., VALSA, J. *Elektrotechnika II*. Brno, VUT Brno, FEKT. 2004. P. 1-145. ISBN 80-214-2573-3.

[4] HVĚZDÁRNA VALAŠSKÉ MEZIŘÍČÍ, příspěvková organizace Zlínského kraje. *Pozorování Slunce* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné na [www](http://www.pozorovanislunce.eu/):

<http://www.pozorovanislunce.eu/>

[5] MINI CIRCUITS. MAR-6+: *Datasheet* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné na [www](http://194.75.38.69/pdfs/MAR-6+.pdf):

<http://194.75.38.69/pdfs/MAR-6+.pdf>

[6] FUTURE ELECTRONICS. *Attenuators* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné na [www](http://www.futureelectronics.com/en/wireless-rf-radio-frequency/attenuators.aspx):

<http://www.futureelectronics.com/en/wireless-rf-radio-frequency/attenuators.aspx>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

A	zesílení
u_d	rozdílové napětí mezi vstupy zesilovače
U	napětí
I	proud
R	odpor
Ω	ohm – základní jednotka odporu
C	kapacita
F	farad – základní jednotka kapacity
X_C	kapacitance
L	indukčnost
H	henry – základní jednotka indukčnosti
ω	úhlový kmitočet
f	kmitočet
j	imaginární jednotka
B	šířka pásma pro pokles o 3 dB
dB	decibel – poměrová jednotka
Z_0	charakteristická impedance
Q	činitel jakosti
K	Rolletův činitel stability
s11, s22	s-parametry – činitelé odrazu na začátku a konci vedení
s12, s21	s-parametry – přenos v jednom a druhém směru
τ	časová konstanta RC článku
OZ	operační zesilovač
LC	obvod složený z cívky a kondenzátoru
E12, E24	výrobní řady rezistorů a kondenzátorů