

Detekce provozu digitálních radiomikrofonů pomocí výkonového detektoru NRP-Z2

Detection of operation of digital radiomicrophones with the aid of
power detector NRP-Z2

Jan Honzírek

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan HONZÍREK
Osobní číslo: A09181
Studijní program: B 3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management

Téma práce: Detekce provozu digitálních radiomikrofonů pomocí výkonového detektoru NRP-Z2

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se konstrukcí a vlastnostmi digitálních radiomikrofonů.
2. Pro radiomikrofon ND-N2 navrhňte a realizujte vhodný pásmový filtr pro kmitočet 421 MHz.
3. Provedte měření a detekci provozu radiomikrofonu pomocí spojení anténa, pásmový filtr, výkonový detektor.
4. Porovnejte tento způsob detekce modulovaných signálů pomocí detekce časovém režimu (funkce zero span), kterou nabízí všechny spektrální analyzátoři od Rohde-Schwarz.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ŽALUD, V. *Moderní radioelektronika*. 1. vyd. Praha: BEN, 2000. 653 stran. ISBN 80-86056-47-3.
2. HONG, J., G. ? LANGCASTER, M., J. *Microstrip filters for RF/MW applications*. 1. vyd. New York: Willey & Sons, 2001. ISBN 978-0-471-38877-7.
3. DOSTÁL, T. *Elektrické filtry*. 2. vyd. Brno: PC-Dir, 1999. 96 stran. ISBN 80-214-0877-4.
4. PALOUŠEK, T. *Návrh a realizace mikrovlnných filtrů*. Diplomová práce. VUT FEKT UREL Brno, 2002. 65 stran. Vedoucí Ing. Stanislav Goňa.
5. *Shottkyho diody řady HSMS-282x - datasheet*. Agilent. Dostupné z www.agilent.com.
6. *Měřič výkonu NRP - uživatelský manuál*. Mnichov. Rohde-Schwarz. Dostupné z www.rohde-schwarz.com.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je seznámit s pojmy z oblasti radiomikrofonů, jejich funkcí, umístěním a způsoby komunikace. Nedílnou součástí je seznámení se s metodami odhalování, nejjednoduššími detektory obálky a samotnou mikropáskovou filtrační technikou.

Druhá část se zabývá návrhem, výrobou mikropáskových filtrů a jejich odladěním. Popsaná je také detekce vysílání digitálního radiomikrofonu pomocí pásmové propusti a detektoru výkonu. Výsledkem práce je vyhodnocení údajů naměřených při detekci.

Klíčová slova:

Radiomikrofon, mikropáskový filtr, modulace, detekce, přenosové pásmo.

ABSTRACT

Goal of this bachelor thesis is explain to reader elementary terms from field of radio microphones, its function, placement and way of communication. Necessary part of this paper is discussion about detection methods, the simplest detectors of envelope and microstripe filter technique.

Second part deal with design, manufacturing and settings microstripe filters. Detection of transmissions from digital radio microphone with band-pass filter and detection with power detector are also described. Result of thesis is evaluation of data which was measured during detection.

Keywords:

Radio microphone, microstripe filter, modulation, detection, transmission bandwidth.

Děkuji mému vedoucímu práce Ing. Stanislavu Goňovi, Ph.D. za vedení a veškerou pomoc, dále také Ing. Michalu Brázdovi a všem, kdo mi projevovali podporu při tvorbě této práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 RADIOMIKROFONY	11
1.1 FREKVENČNÍ PÁSMA	11
1.2 MODULACE	12
1.2.1 Amplitudová modulace AM.....	12
1.2.2 Frekvenční modulace FM.....	13
1.2.3 Fázová modulace PM.....	14
1.2.4 Digitální modulace	14
1.2.4.1 Amplitudové klíčování ASK	14
1.2.4.2 Frekvenční klíčování FSK	15
1.2.4.3 Fázové klíčování PSK.....	16
1.3 UMÍSTĚNÍ RADIOMIKROFONŮ.....	17
1.4 KONSTRUKCE RADIOMIKROFONŮ	17
2 ODHALOVÁNÍ ODPOSLECHU	19
2.1 FYZICKÉ HLEDÁNÍ	19
2.2 KONTROLA FREKVENČNÍHO SPEKTRA	19
2.2.1 Detektor vysílání mobilního telefonu.....	20
2.3 KONTROLA METALICKÝCH VEDENÍ.....	22
2.4 DETEKCE NELINEÁRNÍCH PŘECHODŮ	22
3 MIKROPÁSKOVÉ FILTRY	24
3.1 END-COUPLED, HALF-WAVELENGTH RESONATOR FILTRY	24
3.2 PARALLEL-COUPLED, HALF-WAVELENGTH RESONATOR FILTRY	25
3.3 HAIRPIN-LINE BANDPASS FILTRY	26
3.4 INTERDIGITAL BANDPASS FILTRY	26
3.5 COMBLINE FILTERS	27
4 SURFACE MOUNT RF SCHOTTKY BARRIER DIODES HSMS	29
4.1 MALO A VELKO SIGNÁLOVÝ DETEKTOR	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 NÁVRH MIKROPÁSKOVÉHO FILTRU	32
5.1 MIKROPÁSKOVÝ PAHÝL.....	32
5.2 INTERDIGITALNI FILTR S 5 A 7 REZONÁTORY	32
5.3 COMBLINE S 5 A 7 REZONÁTORY	35
5.4 HAIRPIN-LINE S 5 REZONÁTORY	36
6 VÝROBA MIKROPÁSKOVÉHO FILTRU	38

6.1	RUČNÍ VÝROBA	38
6.2	VÝROBA ZA POMOCI VYVOLÁNÍ SVĚTLOCITLIVÁ VRSTVY	39
7	DETEKCE PROVOZU VYSÍLAČE.....	41
7.1	DETEKCE PROVOZU POMOCÍ VÝKONOVÉHO DETEKTORU	41
7.1.1	Použitá technika a software.....	41
7.1.2	Měření	42
7.2	DETEKCE PROVOZU FUNKCE ZERO SPAN	43
7.2.1	Použité přístroje	43
7.2.2	Měření	44
7.2.3	Srovnání výsledků metod	45
	ZÁVĚR	46
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM PŘÍLOH.....	52

ÚVOD

Dnešní doba je nazývána věkem informací. Název informační věk nedostala jen tak. V současné době platí nepsané pravidlo, kdo má informace, ten vládne. I přes toto známé tvrzení si spousta lidí, ale také firem neuvědomuje jejich hodnotu. Ztráta dat může vést k spoustě problémů, jako osobních tak i národních. Právě proto odcizení některých citlivých údajů, může vést ke krachu v osobní či firemní sféře, popřípadě až k vyhlášení války ve státní sféře.

Bohužel, ne všechna data a ne veškerý datový přenos lze šifrovat, popřípadě nějakým jiným rozumným způsobem zabezpečit. Velmi problematicky se proti únikům zabezpečuje analogová komunikace a téměř nemožné je zajištění přímého šíření akustických vln vzduchem. Právě obtížnosti zabezpečit okolní prostředí, ve kterém se informace předávají za pomoci akustických frekvencí a faktu, že hluk se šíří všemi směry, je využíváno při umístování odposlechových zařízení.

Tato práce se zabývá odhalováním odposlechových zařízení, které pro předávání odposlechnutého akustického hluku využívají elektromagnetických vln. Metoda, která je v tomto případě k detekci radiovysílačů použita, není příliš známá, natož rozšířená a už vůbec ne používaná. To ovšem neznamená, že je nepoužitelná. Jedná se o detekci vysílacího výkonu bezdrátového vysílače. Detekce vysílání je podobná spektrální analýze, s tím rozdílem, že v tomto principu je vidět pouze signál vysílače s největším výkonem v pásmovou propustí nastaveném pásmu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 RADIOMIKROFONY

Radiomikrofon je aktivní zařízení určené k utajenému snímání zvuku ve sledovaném prostoru. Tato zařízení jsou lidově nazývána štěnice. Radiomikrofony pracují na frekvencích od 1MHz až téměř do 1GHz. Bezdrátové mikrofony pracující v uvedeném rozsahu frekvencí mohou mít dosah stovky metrů. Dosah je samozřejmě závislý na vysílacím výkonu štěnic, který se často pohybuje někde v rozsahu 1 až 250 mW. Problém s velkým vysílacím výkonem je velká spotřeba energie, dříve se vybijí baterie a štěnice je v provozu snadněji detekovatelná. Pro používání bezdrátových odposlechového zařízení se nedoporučuje využívat pásma VKV¹, protože by se mohlo dojít k jeho naladění na radiopřijímači umístěném v sledovaném objektu. [7]

1.1 Frekvenční pásma

Radiomikrofony mohou v podstatě vysílat na jakékoli vlnové délce, záleží pouze na jejich naladění. Samozřejmě každé pásmo má své klady a zápory. Zařízení pracující na nižších kmitočtech vyžadují delší antény, což je nevýhodné, jelikož tím rostou jejich rozměry a proto je složitější jejich umístění. Pravým opakem jsou štěnice pracující na vyšších frekvencích. Klesající vlnová délka zapřičiňuje zkracování nutné délky vysílací antény. Vysílací frekvenci také nemůžeme zvyšovat do nekonečna. Kmitočty nad 300 MHz již obtížněji pronikají překážkami a začíná se výrazně projevovat odraz vln např. od zdiva budov. Tyto důvody způsobují to, že radiomikrofony bývají laděny do pásma se šířkou cca 400 MHz začínajícím někde okolo 50 MHz a tím pádem končícím někde na 450 MHz. Výše uvedené pásmo je ovšem hojně využíváno jak komerčními, tak i veřejnými vysílači. Využívají ho komerční a veřejnoprávní rádia v pásmech 60 až 73 MHz, ale také 88 až 108 MHz. Pásmo 77 až 88 MHz je určeno pro komunikaci jednotek IZS a pásmo 410 až 430 MHz je využíváno poskytovateli mobilní sítě. Často je možné detekovat i nějaký signál na frekvenci 433 MHz, která je často využívána pro bezdrátovou komunikaci jednotlivých prvků zabezpečovacích systému a různých ovladačů. [7] [8] [9]

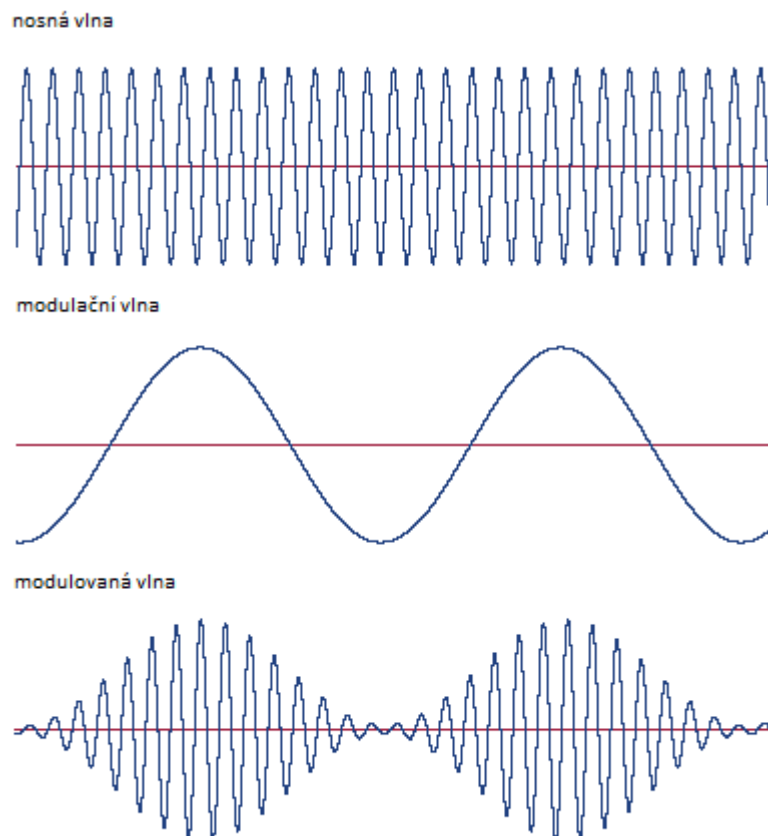
¹ VKV – velmi krátké vlny

1.2 Modulace

Modulace je proces, při kterém je měněn charakter nosného signálu pomocí signálu, který chceme přenést. Jinými slovy na modulační signál se namodulujeme nosný signál a z tohoto spojení vznikne modulovaný signál, kterým jsme schopni přenášet požadované informace na téměř libovolné vzdálenosti. [10]

1.2.1 Amplitudová modulace AM

Technologie slučující nosný a modulační signál do jednoho. Jedná se o spojitou modulaci, při které zůstává zachována frekvence a fáze nosného signálu. Mění se pouze jeho amplituda a to v závislosti na signálu modulačním. [10]



obr. 1: Amplitudová modulace [11]

Výše uvedená modulace má několik základních druhů lišících v tom, jak modulační signál ovlivní nosnou vlnu. První z těchto variant je DSB (double side band). Jedná se o modulaci s dvěma postranními pásmy. DSB se ještě vyskytuje ve 3 variantách a to s částečně potlačenou, úplně potlačenou a zmenšenou nosnou vlnou.

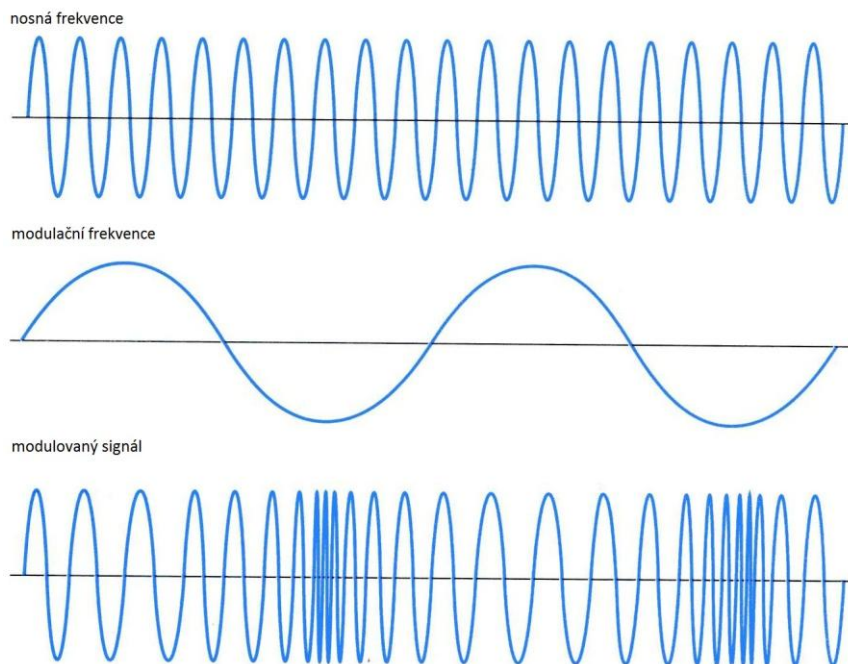
Druhou variantou je SSB (single side band). To je analogová modulace s jedním postraním pásmem. Opět se vyskytuje ve třech variantách a to s částečně potlačenou, úplně potlačenou, nebo omezenou nosnou vlnou.

Třetí druh amplitudové modulace je VSB (vestigal side band). Jedná se o modulaci s jedním úplným a jedním částečným postraním pásmem.

Poslední variantou je ISB (independent side band). Modulace, při které je přenášen modulační signál nezávisle tzn. má nezávislá postraní pásma. [10]

1.2.2 Frekvenční modulace FM

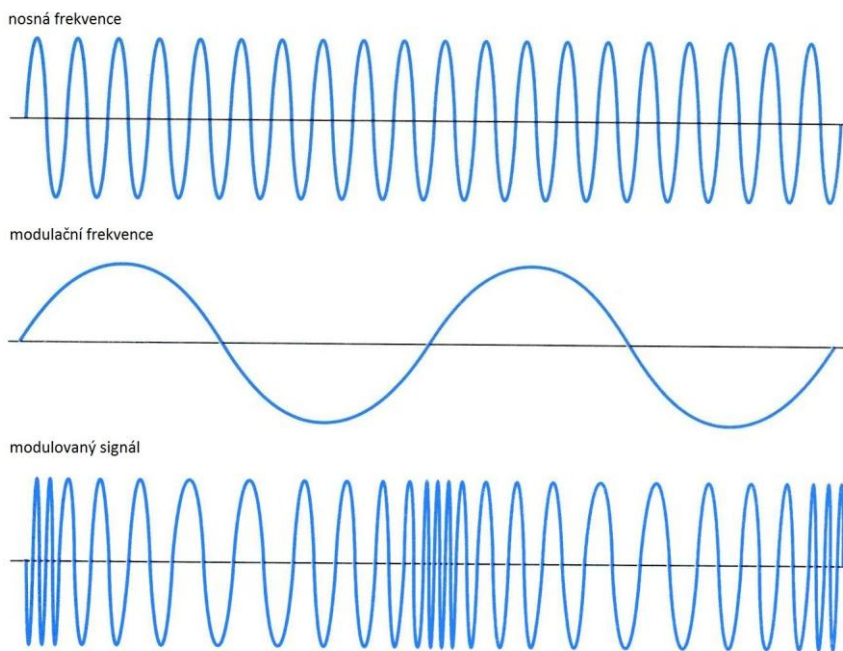
Frekvenční modulace je proces, při kterém se mění kmitočet nosného signálu v závislosti na výšce amplitudy modulačního signálu. Maximální amplituda modulačního signálu se rovná maximální změně kmitočtu nosné frekvence. [10]



obr. 2: Frekvenční modulace [12]

1.2.3 Fázová modulace PM

Způsob úpravy nosné vlny pomocí modulačního signálu, tak že dochází ke změně fáze nosné vlny. [10]



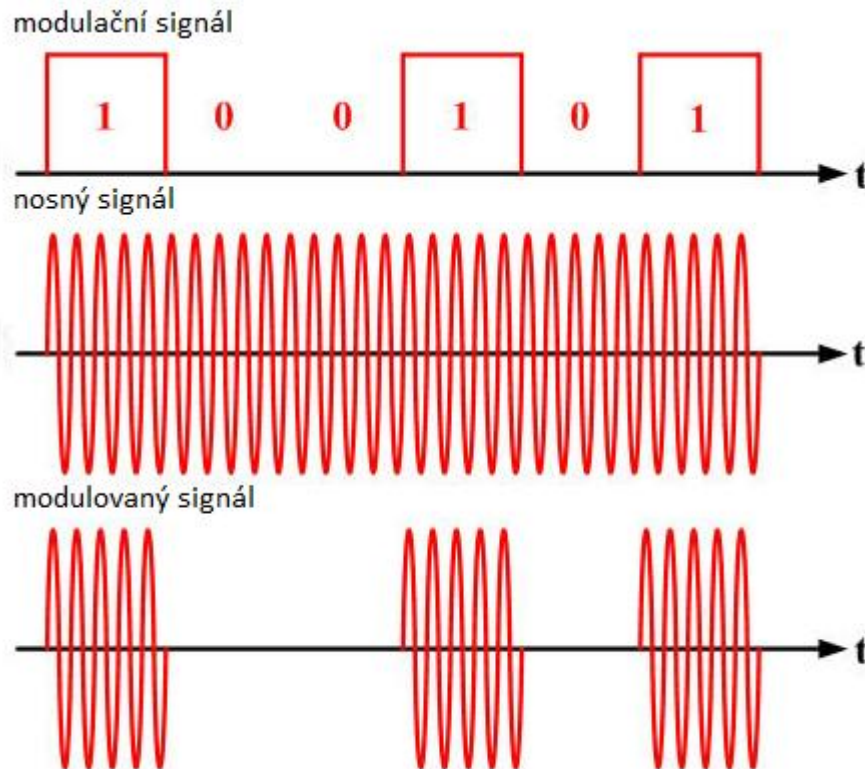
obr. 3: Fázová modulace [12]

1.2.4 Digitální modulace

Pod pojmem digitální modulace se skrývá technologie, kterou se na spojitou nosnou vlnu namoduluje nespojitý (diskrétní) signál. Modulace může probíhat amplitudově, frekvenčně nebo fázově.

1.2.4.1 Amplitudové klíčování ASK

Amplitudové klíčování je v podstatě obdoba amplitudové modulace. Jedná se o proces, při kterém se mění amplituda nosného signálu v závislosti na hodnotě binárního modulačního signálu. Nejjednodušší, ale stále používanou ASK je takzvaný ON OFF KEYING. Jak již vyplývá z názvu, jedná se o přerušování nosné vlny v závislosti na aktuální stavové hodnotě vstupního signálu. Tudiž můžeme říci, pokud má modulační signál logickou hodnotu jedna, tak probíhá vysílání a naopak. [10] [13]

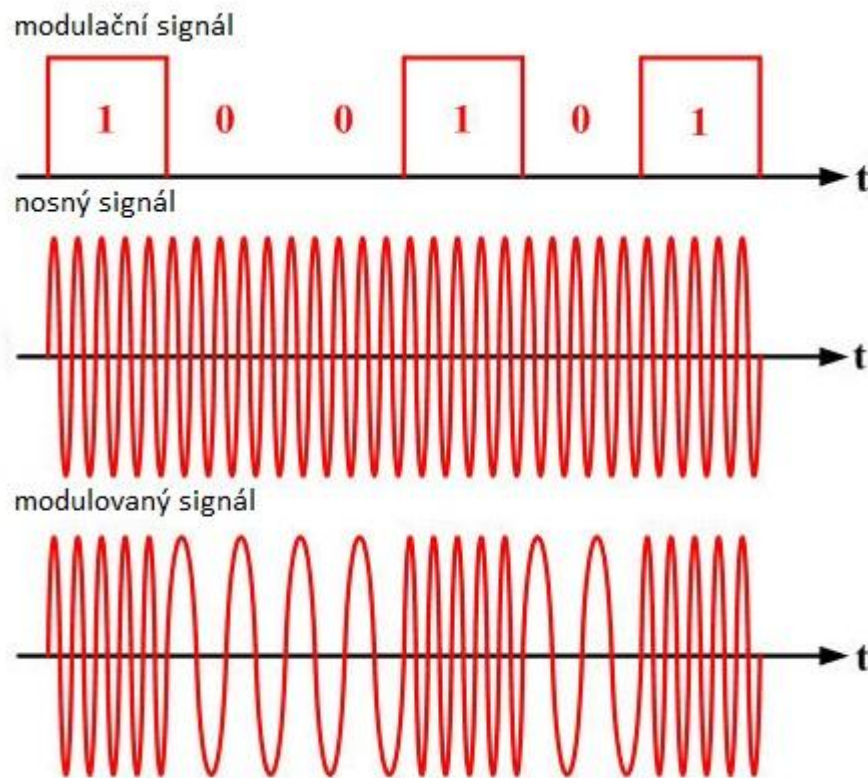


obr. 4: Amplitudové klíčování (on off keying) [14]

1.2.4.2 Frekvenční klíčování FSK

Modulace využívající tento princip je velice podobná frekvenční modulaci, jediný rozdíl je, že modulační signál je nespojitý. FSK pracuje tak, že upravuje kmitočet nosného signálu v závislosti na signálu modulačním. Zjednodušeně můžeme říci, že v nejjednodušším případě, kterým je opět dvoustavové modulování platí: hodnotě LOG 1 u modulačního signálu je přiřazena většinou vyšší frekvence nosného signálu než hodnotě LOG 0.

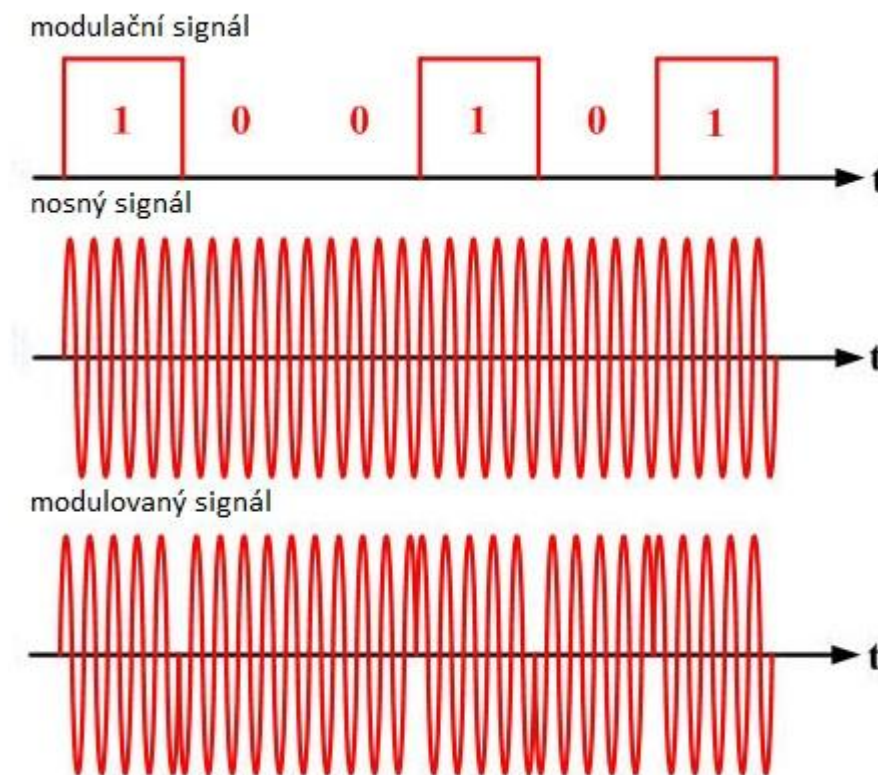
[10] [13]



obr. 5: Dvoustavové frekvenční klíčování [14]

1.2.4.3 Fázové klíčování PSK

Fázové klíčování je velmi podobné fázové modulaci. Proces fázového klíčování je prováděn přiřazováním různého fázového posunu nosného spojitého signálu různým hodnotám stavů nespojitého modulačního signálu. Nejjednodušší případ je dvoustavové fázové klíčování s otáčením fáze o 180° , kdy se nejčastěji hodnotě LOG.1 ponechává původní fáze nosného signálu a pro hodnotu LOG.0 se fáze otáčí o 180° . [10] [13]



obr. 6: Dvoustavové fázové klíčování [14]

1.3 Umístění radiomikrofonů

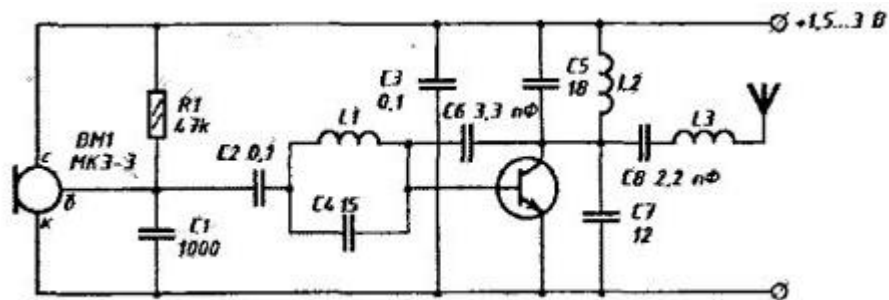
Radiomikrofony jsou zařízení, která mohou mít různou velikost a to od několika milimetrů až do desítek centimetrů. Díky tomu je lze umístit takřka kamkoliv. Umísťují se do váz, lampiček, per, pod pracovní desku stolu, do šuplete, na garnýže, do osvětlení. Další možností je umístění pod omítku, do různých elektronických zařízení, kde může být pro napájení štěnice použit napájecí zdroj tohoto zařízení. Také je lze umístit přímo do zabezpečovacích a protipožárních zařízení nainstalovaných ve sledovaném objektu. Jednou z dalších možností je umístění do zásuvek, vypínačů a prodlužovacích šňůr. Dokonce je možné zásuvku, vypínač a prodlužovací šňůru vyměnit za jiná, která jsou opatřena radiomikrofonem již z výroby. [7]

1.4 Konstrukce radiomikrofonů

Konstrukce těchto zařízení může být stejně rozmanitá jako jejich vlastnosti, třeba citlivost, vysílací výkon, dosah, frekvenční pásmo, modulace apod. Zmíněné vlastnosti ovlivňují možnosti umístění, nároky na napájení a tím pádem také velikost.

Jako příklad konstrukce lze použít jednoduchý radiomikrofon určený pro kutily. Zařízení je naladěno do pásma 88 až 108 MHz, pro svůj provoz využívá frekvenční modulaci a disponuje dosahem v desítkách metrů. Zmíněné vlastnosti jsou vhodné pro použití jako přijímače běžného zařízení určeného pro příjem FM radiových vln. Tato štěnice má napájecí rozsah od 1.5 do 3 V díky tomu může být napájena hodinkovou baterií, což je vhodné, aby příliš nevzrostly jeho rozměry, které mohou být 1.5 x 2 cm + 30 cm anténa.

[15]



obr. 7: Schéma radiomikrofonu[15]

2 ODHALOVÁNÍ ODPOSLECHU

Detekce odposlechových zařízení je proces, vedoucí k odhalení těchto zařízení. Hledání odposlechových zařízení je prováděno jako součást obranně technické prohlídky (dále jen OTP). OTP je prováděna za účelem zjištění nelegálně instalovaných zařízení v prověřovaném objektu, dále stanovení rizik úniku informací a návrhu protipatření. Zmíněná prohlídka je prováděna speciálně vyškolenými pracovníky specializovaných firem. [16]

2.1 Fyzické hledání

Tento druh odhalování odposlechových zařízení nemá statisticky příliš velkou účinnost, protože je většinou prováděn před započítím OTP a to často osobou nabývající podezření, že je v objektu nasazen odposlech. V převážné většině případů se jedná o nezkušené neproškolené osoby, které obvykle nemají tušení, co, kde a ani jak hledat. Naopak, ale za předpokladu, že je tato metoda prováděna profesionálem, tak se jedná o jedinou metodu, kterou je možné odhalit aktuálně neaktivní odposlech nainstalovaný do elektronických zařízení. [16]

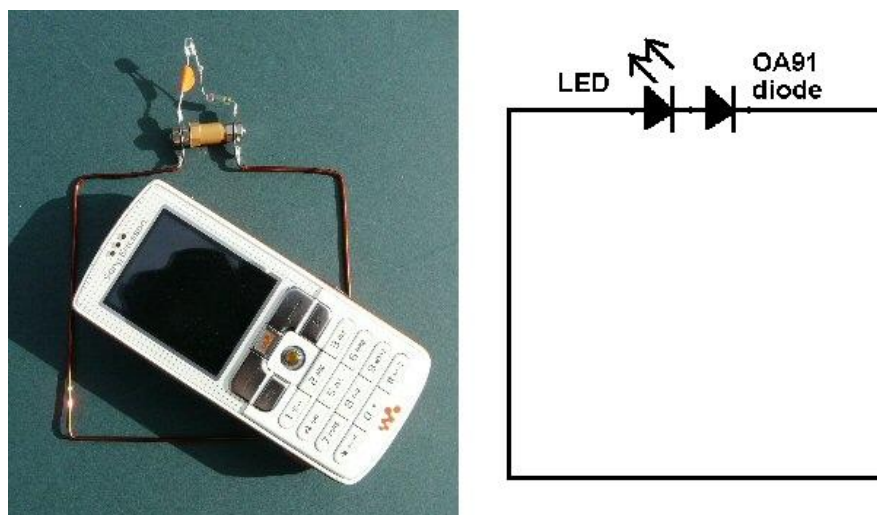
2.2 Kontrola frekvenčního spektra

Kontrola frekvenčního spektra se provádí za účelem zjištění vysílání aktivních bezdrátových mikrofonů. Metoda tedy může být účinná jen za předpokladu, že odposlechové zařízení je v okamžiku kontroly aktivní, neboli vysílá. Tato prohlídka ve většině případů probíhá tak, že se detektor přesune před prověřovaný objekt a provede se kontrola frekvenčního spektra s následným záznamem všech zjištěných údajů o naměřených frekvencích. To je možné udělat v okolí objektu několikrát, na několika místech a různých vzdálenostech od objektu. Kontrola pokračuje stejným způsobem i uvnitř budovy a také je dobré provádět toto měření na několika místech. Výsledky z těchto měření se následně porovnávají a zjišťují se odchylky v jednotlivých záznamech měření s tím, že se zjišťují důvody nesrovnalostí. Mezi odchylky můžou patřit nové nebo silnější frekvence. V případě těchto odchylek lze v některých případech provést demodulaci, srovnání s akustickým hlukem v kontrolovaném objektu a vyhodnocení míry shody. [16]
[17]

2.2.1 Detektor vysílání mobilního telefonu

Detektory vysílání mobilních telefonů mohou být a z pravidla jsou jednoduchá zařízení. Zmíněné systémy v převážné většině případů slouží jen k detekci vysílání, nikoliv už však k jeho odposlouchávání neboli dekódování.

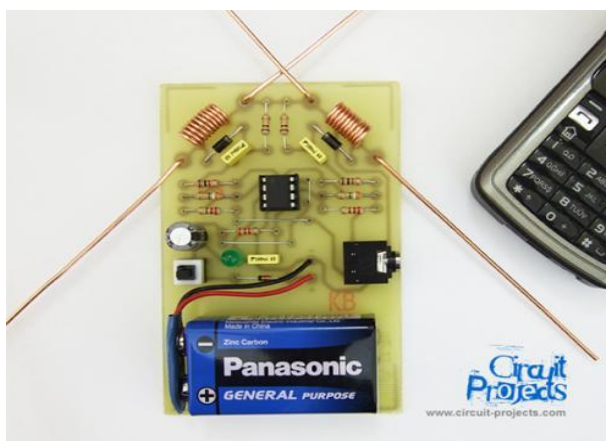
Prvek určený na detekci mobilní komunikace může být i jen ohnutý kus drátu do čtverce a na něj napájené dvě sériově zapojené diody. První dioda je germaniová a druhá je LED, obě diody jsou zapojeny tak, aby byl obvod jedním směrem propustný. Délka drátěné smyčky je volena podle vlnové délky frekvence používané pro mobilní komunikaci. V Evropě se jedná o pásma 900 MHz používaná převážně pro hovory nebo SMS a 1800 MHz používaná pro 3G síť. Vlnová délka se vypočítá podílem rychlosti světla (elektromagnetického vlnění) a požadovanou frekvencí $\lambda = c/f$. Rychlost světla je 299 792 458 m/s, pro konstrukci detektoru ovšem postačí jeho zaokrouhlená hodnota. Délka smyčky, neboli vlnová délka tedy budou $\lambda = 300\,000\,000/900\,000\,000$ což se rovná přibližně 0,33m. Vlnovou délku ještě podělíme 4 a dostaneme délku jedné strany čtvercové smyčky, která činí přibližně 8,3cm. Konstrukce detektoru pro 3G síť je naprosto totožná, jen pracujeme s kratší vlnovou délkou, tudíž délkou smyčky přibližně 0,17m. Detekce vysílání mobilního zařízení je signalizována opticky a to blikáním LED diody. Velkou nevýhodou tohoto detektoru vysílání je nutnost téměř doteku s vysílajícím zařízením. [18]



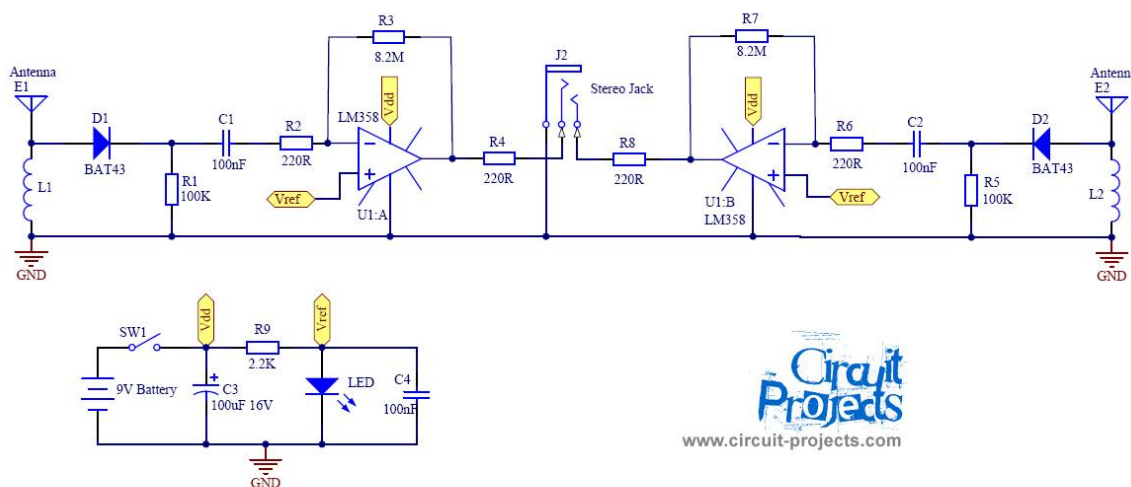
obr. 8: Jednoduchý detektor mobilního vysílání [18]

Nutnost doteku detektoru s mobilním telefonem je možné vyřešit složitějším zařízením, které již musí obsahovat aktivní prvky, a tudíž již potřebuje také napájení. Těmito zařízeními jsou detektory mobilní komunikace skládající se s 20 a více součástí, jejichž

aktivním prvkem bývá operační zesilovač. Mezi tyto jednoduché detektory patří detektor, který již využívá pro signalizaci detekce signálu, jak standardní LED diodu, tak i možnost připojení sluchátek, tudíž akustickou signalizaci. Detektor obsahuje dvě samostatné detekční jednotky. Detekční jednotky se skládají s dipólu antény, tlumivky a schottky diody. Při detekování signálu se na tlumivce naindukuje napětí, které je následně diodou demodulováno. Kondenzátor před vstupem operačního zesilovače slouží k zablokování stejnosměrné složky. Vzhledem k tomu, že dioda sníží napětí už tak malého signálu o 0,3V, je nutné jej zesílit a to minimálně na napětí potřebné pro rozsvícení LED diody. Právě k tomu je v obvodu umístěn operační zesilovač, u něhož je zesílení nastavováno pomocí odporu ve zpětné vazbě, s rostoucím ohmickým odporem roste i zesílení. Detekční frekvence, respektive největší zisk tohoto zařízení je nastavitelná pomocí délek antén, které jsou dlouhé jako $\frac{1}{4}$ vlnové délky detekované frekvence. Délky antén pro Evropu činí přibližně 8,3cm pro 900 MHz nebo 4,3cm pro 1800 MHz. [19]



obr. 9: Detektor mobilní komunikace [19]



obr. 10: Schéma detektoru mobilní komunikace [19]

2.3 Kontrola metalických vedení

Metoda zaměřená na kontrolu kabelových rozvodů a jejich zakončení v kontrolovaném objektu. Vztahuje se jak na datové sítě, tak i na silnoproudé rozvody včetně jejich vypínačů a zásuvek. Pro vlastní odhalování liniového odposlechu je nutné nejprve připojit takzvaný linkový adaptér, pomocí něhož dojde k odfiltrování silnoproudé popř. datové složky. Zmíněný adaptér je připojen k vysokofrekvenčnímu přijímači vybavenému demodulátorem. Díky tomuto přijímači je možné nejen detekovat vysílání, ale i po demodulaci správným způsobem (FM, AM, PM, FKS,...) poslechnou akustický signál. [16] [17]

2.4 Detekce nelineárních přechodů

Detekce nelineárních přechodů je specifická metoda určená k odhalování odposlechových zařízení. Značnou výhodou tohoto způsobu odhalování je fakt, že není nutné, aby byla štěnice aktivní, jelikož využívá toho, že doposud není možné vyrobit radiomikrofon, který by neobsahoval nějaké polovodičové součástky. Naopak velkou nevýhodou je značná časová náročnost, vysoké požadavky na zkušenosti pracovníka provádějícího detekci a jeho pečlivost. Další nevýhodou je nemožnost odhalit odposlech umístěný v zařízení, které již z výroby obsahuje polovodičové prvky. Díky tomu je detekce nelineárních přechodů

prováděna až jako poslední část obraně technické prohlídky, jelikož utajení této metody je na rozdíl od ostatních metod velmi obtížné.

Detektor nelineárních přechodů se skládá ze tří základních částí, vysílací, přijímací a vyhodnocovací. Zařízení vysílá frekvenci okolo 900 MHz a vyhodnocuje odražený signál, respektive jeho harmonické složky. Právě tohoto se využívá k objevení nelineárních přechodů, které se nacházejí na PN přechodu polovodičů, ale také mezi dvěma zoxidovanými kovy apod. Pomocí této metody je samozřejmě možné rozpoznat jednotlivé druhy nelineárních přechodů.

Kontrola je nejčastěji prováděna zkušeným pracovníkem firmy zajišťující obraně technickou prohlídku objektu. Probíhá tak, že je detekční část systému přiložená ke stěnám, stolům, obrazům a podobně. Následně se s ní v těsné blízkosti pohybuje a to doslova místo vedle místa. Účast nelineárních přechodů je signalizována akusticky a to pro kov jiným tónem než pro polovodič. [16] [17]

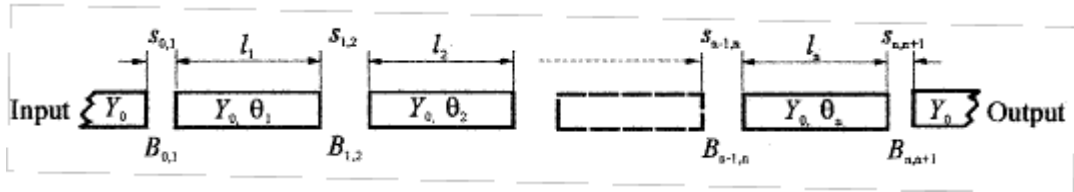
3 MIKROPÁSKOVÉ FILTRY

Mikropáskové filtry hrají důležitou roli v mnoha mikrovlnných aplikacích. Stávají se součástí mikrovlnných zařízení, u nichž zajišťují oddělování nebo kombinování jednotlivých frekvencí a celkově omezování elektromagnetického spektra. Nejlepšími vlastnostmi disponují v oblasti mikrovln. Jedná se o oblast s vlnovou délkou 1m až 1mm, tudíž se pohybujeme v kmitočtech od 300 MHz do 300 GHz. Zmíněné frekvence jsou hojně využívány v radarové, komunikační, radiové, navigační, snímací a datové technice, v lékařství apod. Jelikož je dnešní doba, dobou stále rostoucích požadavků na snižování nákladů, ale zároveň na zvyšování výkonu, snižování spotřeby, minimalizaci rozměrů a hmotnosti, právě proto má v této oblasti vývoj nezastupitelné místo. Vývoj vysokofrekvenční techniky jde mílovými kroky vpřed. Jsou zaváděny nové technologie a nové materiály. Nezastupitelnou součástí této techniky jsou samozřejmě mikropáskové filtry, u nichž jsou kladeny obrovské nároky na minimalizaci útlumu propouštěných pásem, naopak maximalizaci útlumu potlačovaných pásem a co nejostřejší přechod mezi potlačovanými a propouštěnými pásmy. [2]

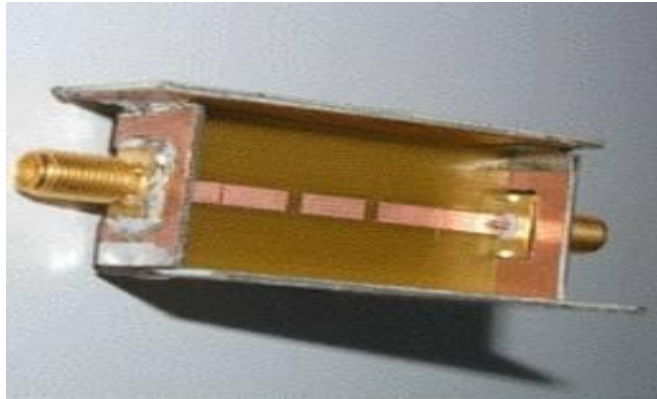
Jelikož pro měření v této práci budu potřebovat pouze filtry propouštějícími určité pásmo, tak se budu dále zabývat pouze základními druhy pásmových propustí.

3.1 End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtry

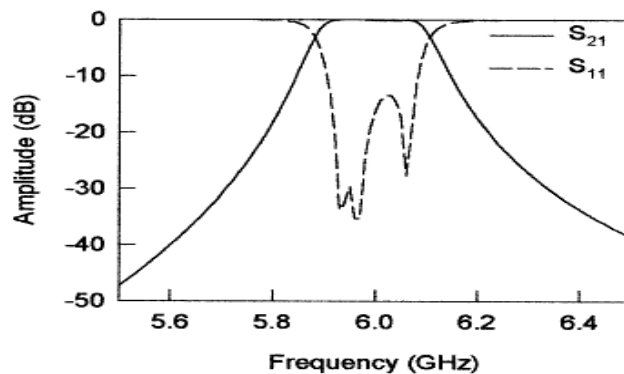
Filtry vynikají nízkým útlumem propouštěného pásma, jednoduchým designem a nenáročností, jak na výrobu, tak i na návrh. Jelikož má filtr otevřené konce, jedná se o filtr kapacitní. Rezonátory tohoto filtru se nastavují tak, aby měli délku přibližně půlky vlnové délky propouštěného pásma. Počtem rezonátorů se nastaví šířka propouštěného pásma a zároveň strmost poklesu v krajních polohách propouštěného pásma. Platí, čím více rezonátorů, tím užší propouštěné pásmo a strmější přechod mezi potlačovanými pásmy a pásmem propouštěným. Změnami šířky mezer a lehkým doladěním délky rezonátorů lze dosáhnout nezvlněné přenosové charakteristiky v propouštěném pásmu. [2]



obr. 11: End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtr[2]



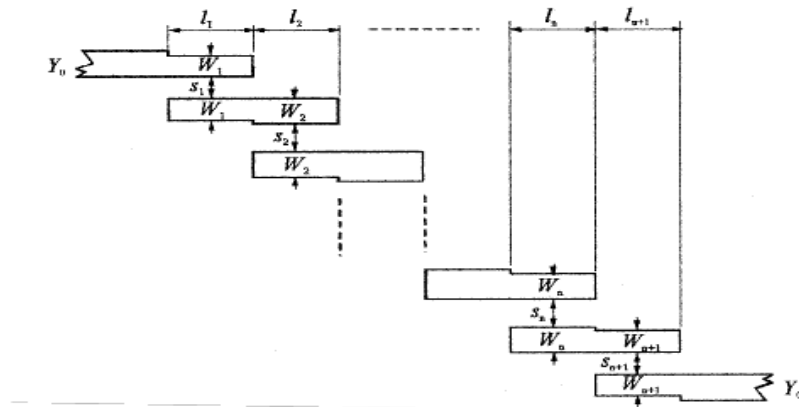
obr. 12: End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtr [20]



obr. 13: Závislost útlumu amplitudy na frekvenci u filtru s jedním rezonátorem[2]

3.2 Parallel-Coupled, Half-Wavelength Resonator Filtry

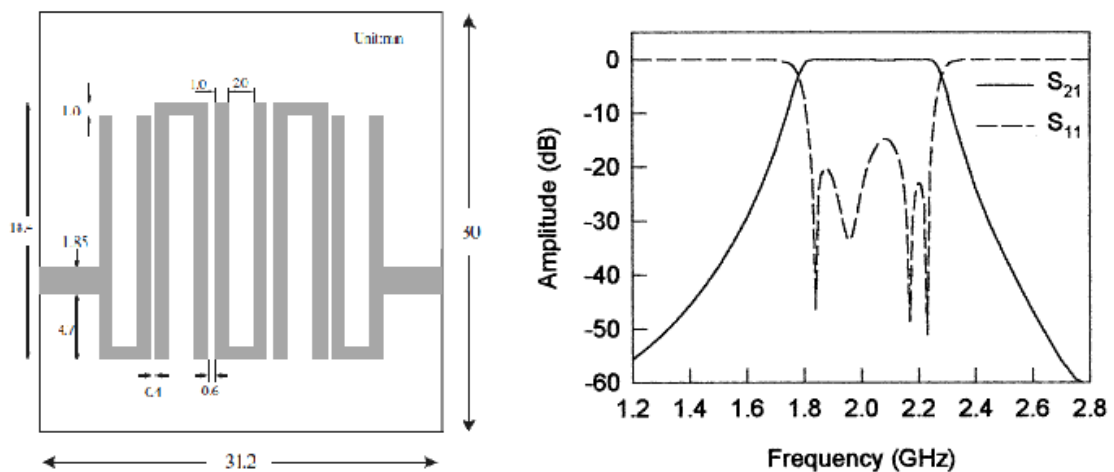
Kapacitní pásmové propusti založené na paralelní koncepci s částečně přiléhajícími rezonátory. Rezonátory odpovídají půlce vlnové délky přenášeného pásma a přiléhají k sobě polovinou své délky. Paralelní spojování umožňuje používat velké mezery mezi jednotlivými rezonátory. Díky své zajímavé koncepci jsou vhodné pro přenášení širších frekvenčních pásem. [2]



obr. 14: Parallel-Coupled, Half-Wavelength Resonator Filtr[2]

3.3 Hairpin-Line Bandpass Filtry

Filtry stejné koncepce skládání rezonátorů jako Parallel-Coupled, Half-Wavelength Resonator Filtr, tudíž se jedná opět o kapacitní filtr. Rozdíl mezi oběma druhy filtrů je v podstatě jen v půlvlnných rezonátorech, které jsou u Hairpin-Line Bandpass Filtrů ohnuty do tvaru U. Pro návrh tohoto druhu filtru tedy můžeme použít stejné rovnice jako pro předchozí. Při návrhu filtru je třeba brát v úvahu spojení mezi polovinami jednotlivých rezonátorů, které snižuje vazbu. [2]

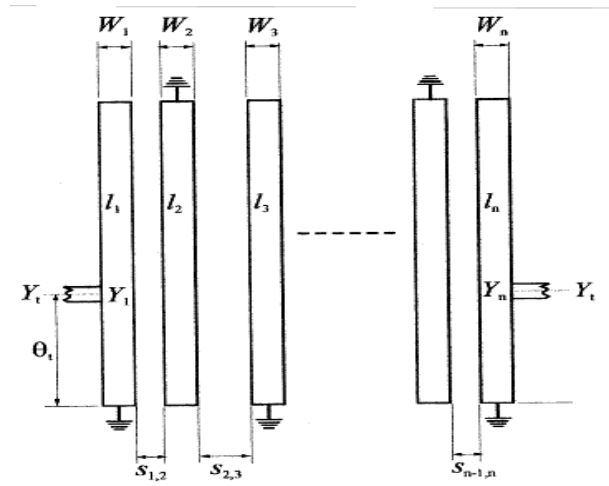


obr. 15: Hairpin-Line Bandpass Filtr a jeho frekvenční závislost útlumu[2]

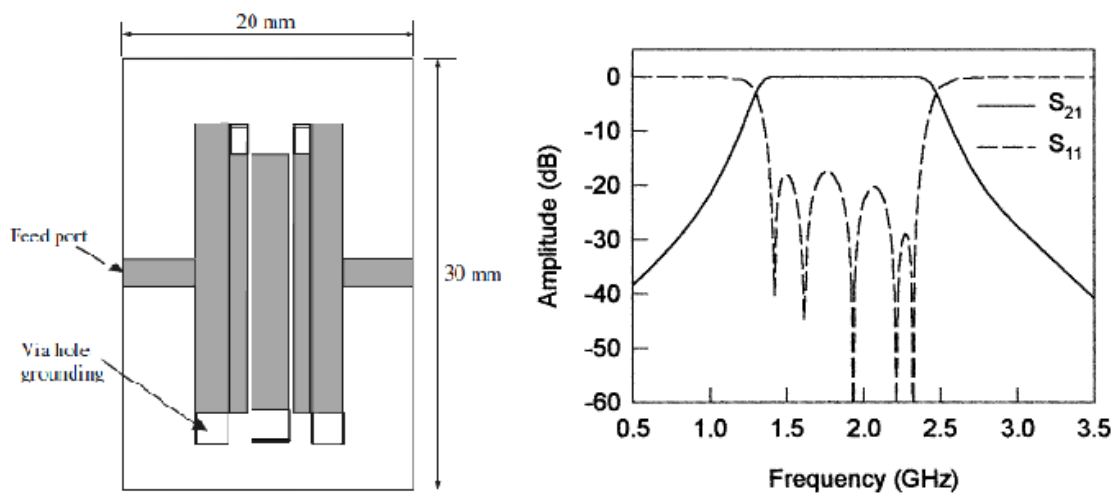
3.4 Interdigital Bandpass Filtry

Interdigitální filtry jsou jedny z nepoužívanějších pásmových propustí využívaných ve vysokofrekvenční technice. Složení tohoto pásmového filtru je naprosto odlišné od

předchozích. Skládá se z podélně umístěných rezonátorů, které jsou vždy na opačných koncích uzemněny. Nastavení propouštěného pásma se provádí změnou délky liniových prvků a rezonátorů. Platí, čím kratší tyto prvky jsou, tím má propouštěné pásmo vyšší frekvenci. [2]



obr. 16: Konstrukce Interdigital Bandpass Filtru[2]

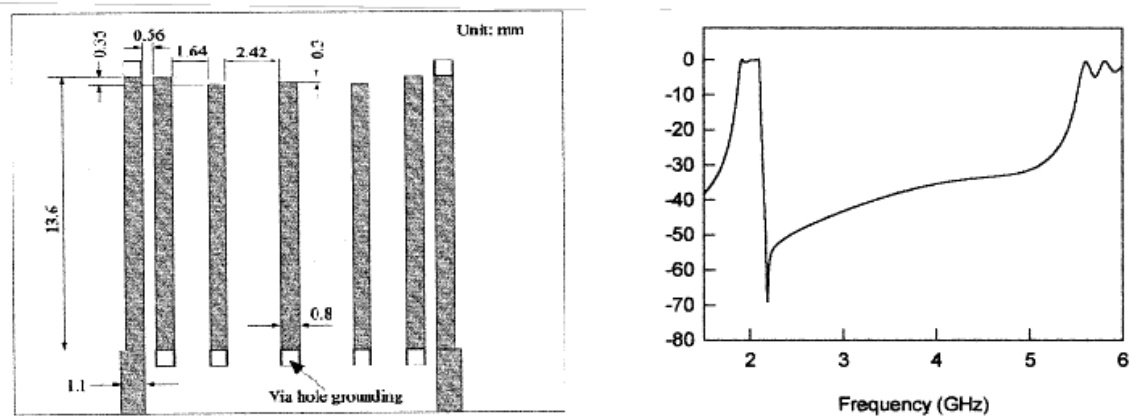


obr. 17: Interdigital Bandpass Filtr a jeho frekvenční závislost útlumu[2]

3.5 Comblin Filters

Filtry s podobnou konstrukcí jako měly filtry interdigitální. Konstrukční rozdíly jsou akorát v tom, že Comblin filtr má všechny rezonátory uzemněny na stejné straně, kdežto u Interdigital filtru jsou uzemněny střídavě na každé straně. Ladění tohoto filtru probíhá stejně jako v předchozím případě. Opět se šířkami mezer a rezonátorů vyhladí přenášené

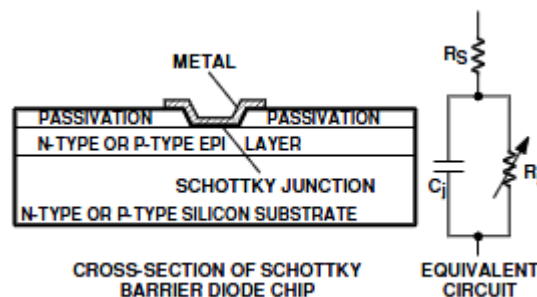
pásmo a rovněž platí pravidlo, že mezery se od středu filtru stejnoměrně na obou stranách zmenšují. Zúžení přenášeného pásma se opět dosáhne zvýšením počtu rezonátorů. Ovšem velkou výhodou tohoto filtru je velká strmost poklesu amplitudy na konci přenášeného pásma. Další vlastnost tohoto filtru je, že kromě pásma, pro které je naladěný má ještě několik dalších pásem, na kterých vyniká nízkým útlum. [2]



obr. 18: Combline Bandpass Filtr a jeho závislost útlumu na frekvenci [2]

4 SURFACE MOUNT RF SCHOTTKY BARRIER DIODES HSMS

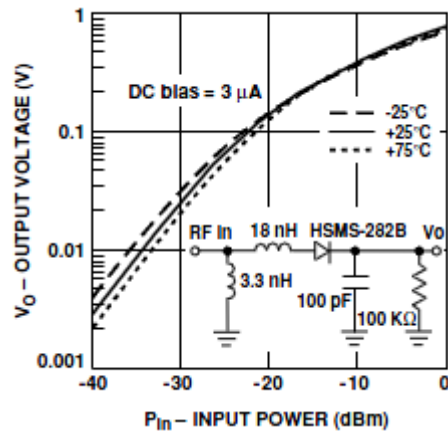
Schottky diody z řad HSMS-282x jsou diody speciálně určeny do vysokofrekvenčních analogových nebo digitálních aplikací. Uvedená řada nabízí širokou škálu specifikací, možnosti pouzder a konfigurace, aby byla projektantovi poskytnuta co největší volnost. Řad HSMS-282x je typicky používána pro směšování, násobení, odhalování a přepínání signálů, dále odběr vzorků, a tvarování vln. Výborně se hodí do zařízení, kde je vyžadováno nízké přechodové napětí, nízký odpor, vysoké průrazné napětí a optimální frekvenční charakteristiky. [5]



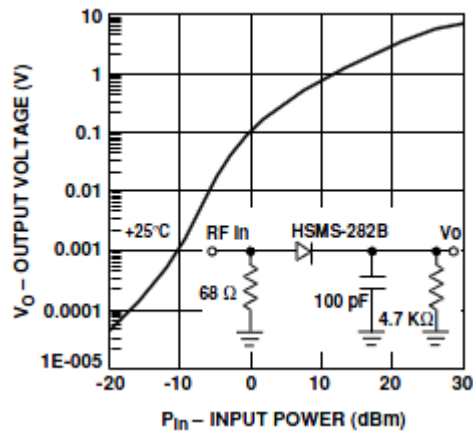
obr. 19: Čip schottky diody[5]

4.1 Malo a velko signálový detektor

Malosignálové detektory se funkčně od velkosignálových detektorů liší pouze schopností detekovat podstatně slabší signály. Malosignálové detektory jsou schopny detekovat signály začínající téměř v oblasti elektromagnetického šumu prostředí. Jsou schopny odhalit již vysílání začínající někde kolem -40 dBm. Používají se jako přijímače s velmi nízkými pořizovacími náklady, ale přesto jsou schopny mít na výstupu signál s výškou amplitudy pohybující se v rozsahu 0.001V až 1V. Vyžadují relativní vstupní impedanci a odpovídající citlivosti dosáhnou, jen při dosažení konkrétního vstupního napětí. Velkosignálový detektor je schopen detekovat signály začínající na -20 dBm, ale zato výstupní napětí se pohybuje v rozsahu 0.0001V až 10V. Detektor signálu s HSMS diodu pracuje tak, že detekovaný signál je zbaven záporné složky a na výstupu detektoru je pouze jeho obálka. [5]



obr. 20: Vstupně výstupní charakteristika malosignálového detektoru[5]



obr. 21: Vstupně výstupní charakteristika velkosignálového detektoru[5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

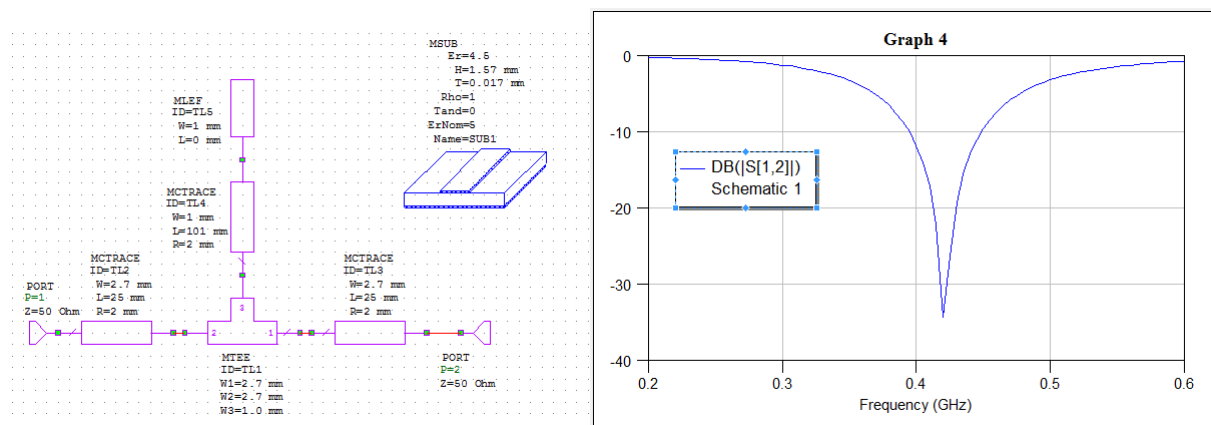
5 NÁVRH MIKROPÁSKOVÉHO FILTRU

Návrhy mikropáskových filtrů byly prováděny s přihlédnutím k vlastnostem a konstrukční náročností jednotlivých pásmových propustí. Konstrukční náročnost byla volena tak, aby bylo možné konkrétní filtr zhotovit v improvizovaných podmínkách.

Veškeré návrhy byly realizovány za pomoci software Microware Office. Jedná se o software určený k návrhům vysokofrekvenčních aplikací a následné simulace provozu. Program je navržen uživatelsky přijatelným způsobem, a tudíž se jeho uživatel rychle zapracuje. Ukázka prostředí MW Office se nachází v **PŘÍLOHA P I**.

5.1 Mikropáskový pahýl

Prvním krokem potřebným pro návrh mikropáskového filtru je zjištění vlastností materiálu, z kterého se bude vyrábět. Námí zvolený materiál se nazývá Cuprextit. Cuprextit se skládá z izolační desky vyrobené ze skelné tkaniny tvrzené pryskyřicí, která je zároveň i nosným prvkem a na ní nanesenou vrstvou mědi. Pro účely této práce bylo nutné použít oboustranný Cuprextit jehož důležité vlastnosti jsou šířka izolačního materiálu a jeho relativní permitivita. Právě pro zjištění relativní permitivity, respektive chování materiálu při vybraných frekvencích je zapotřebí mikropáskový pahýl.



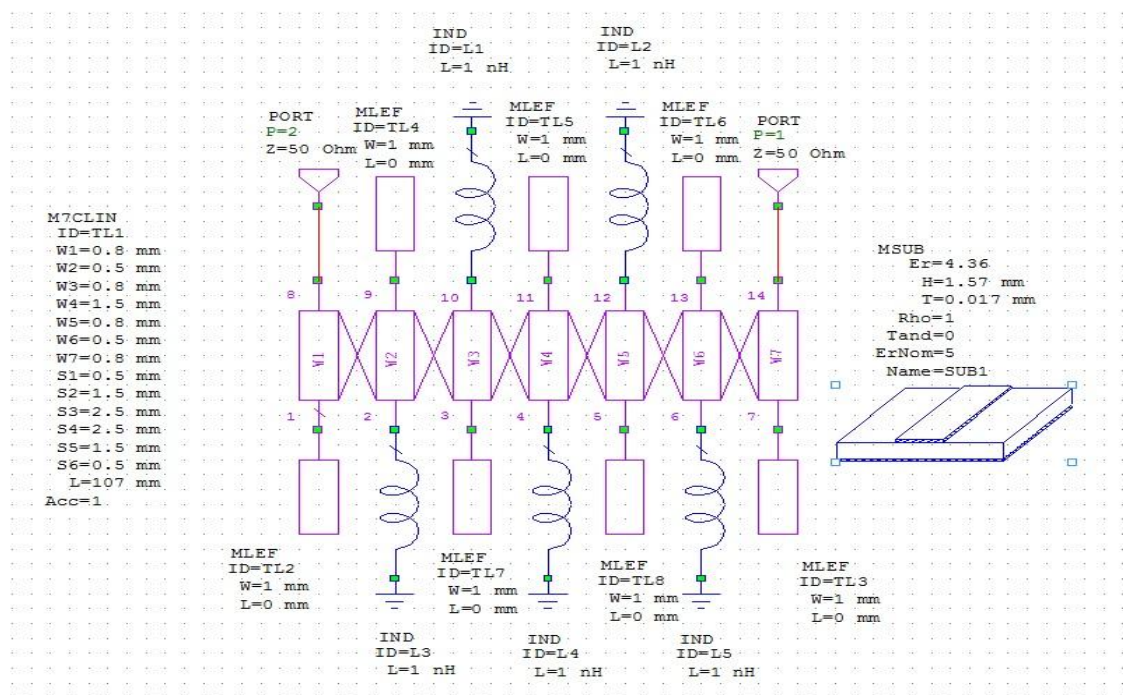
obr. 22: Návrh mikropáskového pahýlu

5.2 Interdigitalní filtr s 5 a 7 rezonátory

Filtr byl zvolen z důvodu nenáročnosti na výrobu. Vlastní návrh byl realizován za pomoci údajů zjištěných o materiálu, následně použitým k výrobě propustí. V první řadě bylo zapotřebí spustit program MW Office. Dalším krokem je vytvoření nového projektu a

v tomto projektu vytvořit nové schéma. Nyní je zapotřebí přejít na kartu ELEM a použít nabídku MICROSTRIP, ve které se nachází položka COUPLED LINES. Pod touto položkou se nachází jednotlivá nelineární vedení. Pro účely práce jsou použity vedení M7CLIN pro filtr s pěti rezonátory a M9CLIN pro filtr se sedmi rezonátory. Po výběru nelineárního vedení je zapotřebí provést zakončení jednotlivých částí. Začátek a konec vedení se osadí PORTY, které se uzpůsobí pro připojení požadovaného vedení. Na opačný konec lineární části (naproti portu) se připojují volné zakončení vedení. Zakončení vedení se nachází rovněž jako COUPLED LINES v nabídce MICROSTRIP, tentokrát pod názvem pouze LINES a byla použita součástka MLEF. MLEF je dále na vedení použit vždy střídavě na opačných koncích rezonátorů.

Vždy proti volnému ukončení vedení je indukčnost a uzemnění, které je realizováno spojením s druhou stranou filtru. Použitá indukčnost se nachází nabídce LUMPED ELEMENT, INDUCTOR, a jedná se o součástku nazvanou IND. Zemnění se nachází stejně jako port v hlavní horní liště a je označeno GND. Následujícím krokem je vložení substrátu, neboli materiálu, který bude použit pro výrobu. Substráty najdeme v menu SUBSTRATES a v tomto případě byl použit MSUB. Po tomto kroku následuje jen vložení známých a naměřených vlastností materiálu jako je tloušťka 1,57mm, tloušťka měděné vrstvy 0,17mm a zjištěná relativní permitivita, která je 4.36.



obr. 23: Interdigitální filtr s 5 rezonátory

Schéma interdigitálního filtru se sedmy rezonátory je k vidění v **PŘÍLOHA P II**.

Nyní přichází na řadu vlastní naladění filtru na požadované vlastnosti. Z důvodu, aby byly vidět výsledky ladění, je dobré začít vytvořením grafu. Graf se vytváří kliknutím v nástrojové horní liště na tlačítko se symbolem grafu. Po vytvoření grafu je zapotřebí přejít v levém dolním rohu na kartu PROJ, kde je nový graf vidět. Vytvoření grafu se provede kliknutím pravým tlačítkem na graf v této kartě. V zobrazeném menu se z položek menu zvolí ADD MEASUREMENT. Toto okno umožní přiřazení schémata ke grafu, nastavení portů a zapnutí charakteristiky závislosti útlumu na frekvenci.

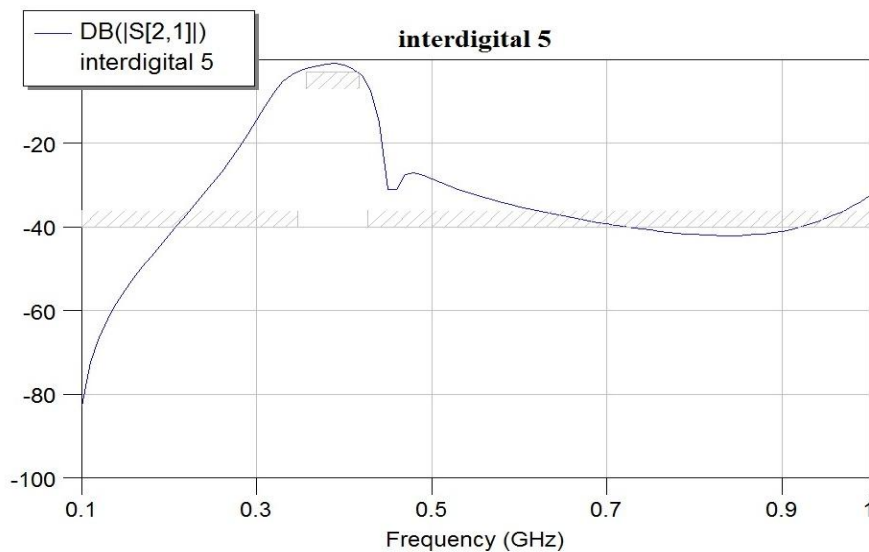
Vykreslení grafu je zajištěno stisknutím tlačítka ANALYZE, umístěného v horní nástrojové liště a označeného symbolem žlutého blesku. Vykreslený graf odpovídá aktuálnímu naladění schématu. Pro softwarové odladění a pro lepší orientaci v grafu je zapotřebí nastavit frekvenční a útlumové meze pro křivku grafu. Meze se nastavují v kartě PROJ a to kliknutím pravým tlačítkem na OPTOMIZER GOALS a vybráním ADD OPT GOAL. Zde se opět vybírá schéma, výška útlumu při propouštěných a zadržovaných frekvencích. Maximální útlum v propuštěném pásmu tj. od 357 do 417 MHz nastavíme na -3 dB, minimální útlum v potlačovaném pásmu, což jsou všechna pásma bez pásma od 347 do 427 MHz nastavíme na -40 dB.

Posledním krokem je optimalizace, kterou lze provést dvěma způsoby. Softwarově nebo ručně. Softwarová optimalizace se provádí za pomoci horního rozklikávacího menu, konkrétně položky SIMULATE a pod menu OPTIMIZE. Pod menu je možnost provést volbu optimalizační metody a stisknout start.

Druhou možností je ruční změna hodnot schématu. Tato možnost je vhodná pro případy, kdy je zapotřebí dosáhnout rozumných hodnot šířek mezer a tloušťek rezonátorů. Ovšem za předpokladu, že nejsou kladeny příliš velké nároky na vyhlazenost propouštěného pásma. Ladění se provádí za pomoci tlačítka TUNE TOOL umístěného v nástrojovém menu a označeného obrázkem šroubováku. Po jeho stisknutí lze vybrat hodnoty ve schématu, které je zapotřebí ladit. Tyto hodnoty jsou délka rezonátorů L, šířka mezer mezi nimi S a tloušťka rezonátorů W.

Dalším krokem ručního ladění je, přepnutí ze schématu na graf a v nástrojovém menu kliknutí na tlačítko TUNE, nacházející se vpravo od TUNE TOOL. Stiskem tlačítka se

zobrazí okno s posuvníky vybraných hodnot. Změna hodnot se okamžitě zobrazuje na přenosové charakteristice filtru zobrazované v grafu.

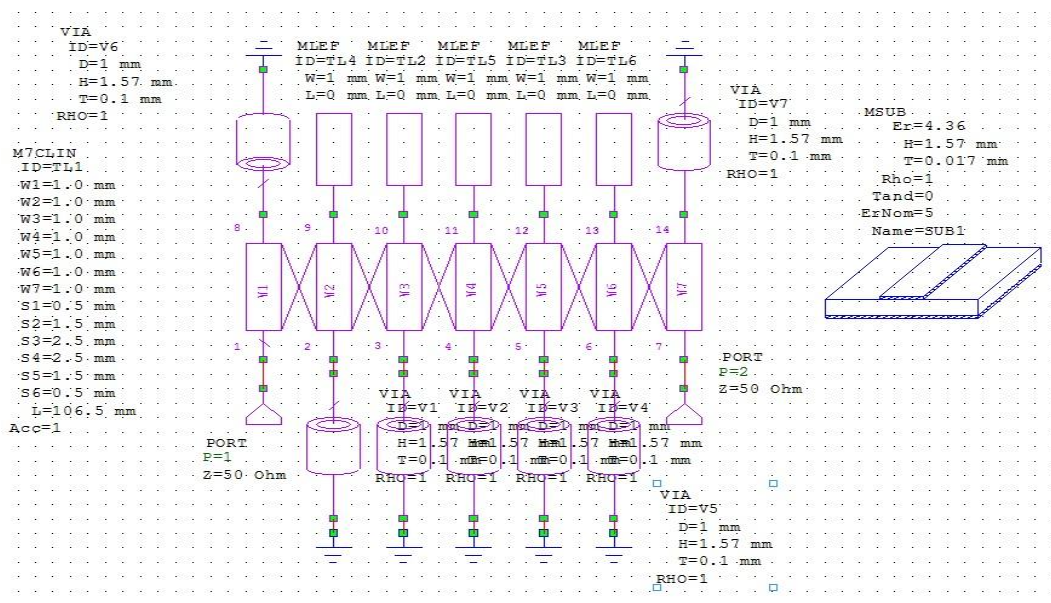


obr. 24: Závislost útlumu frekvenci interdigitálního filtru s 5 rezonátory

Graf interdigitálního filtru se 7 rezonátory se nachází v **PŘÍLOHA P II**.

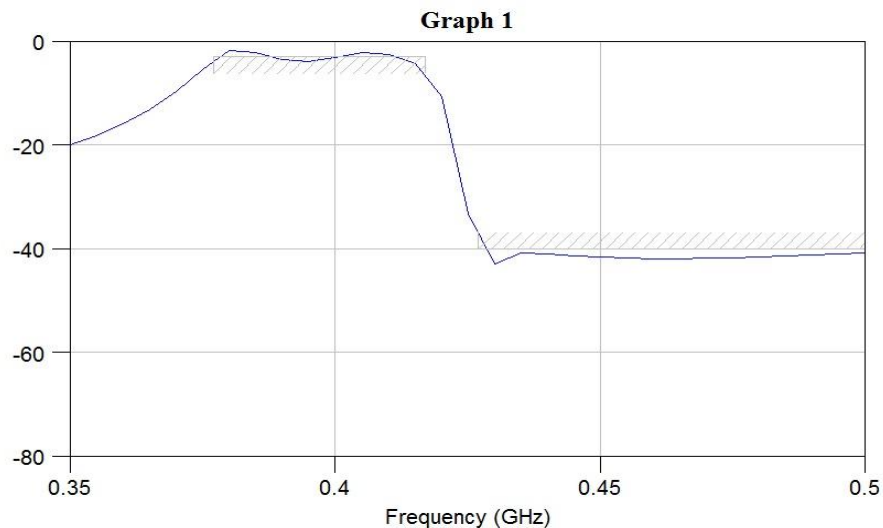
5.3 Comblin S 5 a 7 rezonátory

Návrh odladění a simulace těchto filtrů probíhá téměř stejným způsobem jako v předchozím případě. Malý rozdíl je pouze v návrhu a to pouze v rozmístění volných a uzemněných konců rezonátorů.



obr. 25: Schéma combline s 5 rezonátory

Výše uvedené schéma se liší také nahrazením indukčností prostupkami spojujícími jednotlivé části filtru přes dielektrikum s druhou stranou filtru, která je celá vodivá. Tento prvek obvodu se nachází na kartě ELEM v IDEAL, INTERCONNECT a samotný prvek je nazván VIA.



obr. 26: Závislost útlumu na frekvenci Compline s 5 rezonátory

Schéma Compline s 7 rezonátory se společně s grafem závislost útlumu na frekvenci nacházejí v **PŘÍLOHA P II**.

5.4 Hairpin-Line s 5 rezonátory

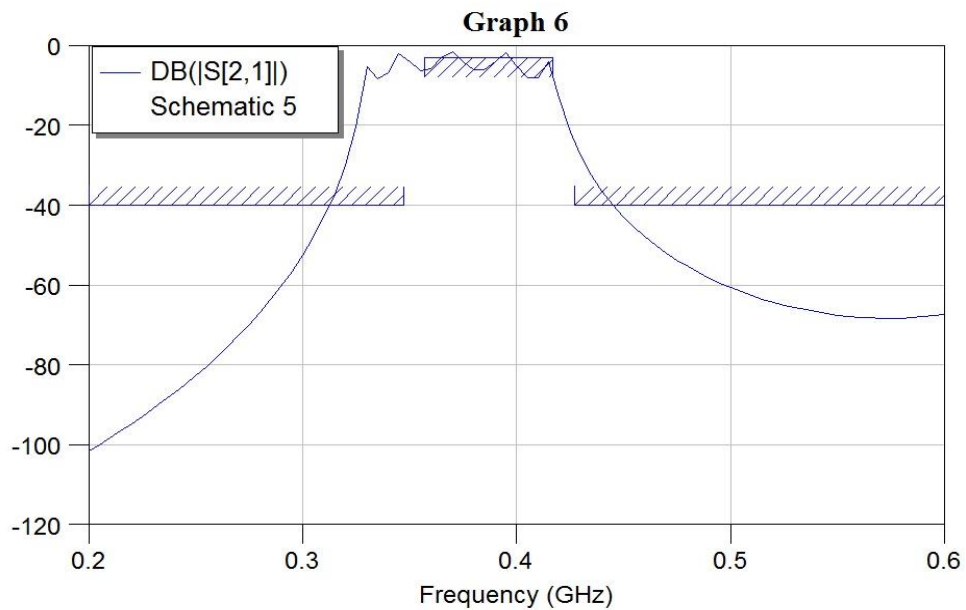
Software MW Office bohužel není vybaven knihovnou, ve které by se nacházelo nelineární vedení potřebné pro tento druh pásmové propusti. Hairpin-Line se skládá s rezonátorů ve tvaru U, které mají oba konce volně zakončeny. To ovšem neznamená, že není možné tento filtr v programu navrhnout a odladit.

Základními stavebními prvky tohoto filtru jsou nelineární vedení M2CLIN nacházející se na stejném místě jako M7CLIN. Rozdíl je v tom, že pro konstrukci tohoto filtru jich je třeba použít 6. Jednotlivá vedení je zapotřebí mezi sebou propojit tak, aby vzniklo 5 rezonátorů ve tvaru U, které jsou ve zvolené konstrukci ještě vzájemně otočeny. Propojení je realizováno pomocí prvků MBENDA pro rohy a pro rovné spoje MTRACE. Tyto lineární propoje, jsou stejně jako celá nelineární vedení v nabídce MICROSTRIP a to v podnabídkách BENDS a LINES.

Opačné konce filtru je stejně jak v předchozích případech nutné opatřit PORTY. Volným zakončením je třeba osadit nevyužité konce rezonátorů. V poslední řadě nezapomenout přidat substrát.

Schéma Hairpin-Line je z důvodu velkých rozměrů uvedeno v **PŘÍLOHA P II**.

Ladění filtru na požadované vlastnosti se provádí naprosto stejně jak v předchozích případech. Jediný rozdíl je v množství jednotlivých rozměrů, jejichž změnou lze ovlivnit výslednou přenosovou charakteristiku filtru.



obr. 27: Závislost útlumu na frekvenci Hairpin-Line s 5 rezonátory

6 VÝROBA MIKROPÁSKOVÉHO FILTRU

Ještě před tím, než byla započata vlastní výroba, proběhlo srovnání jednotlivých návrhů. Účelem srovnání byl výběr nejvhodnějších filtrů pro výrobu a možnost následného doladění pro požadované pásmo. Výběr vhodného filtru do výroby měl celkem tři kritéria. Prvním kritériem byla strmost vzrůstu útlumu na konci přenášeného pásma. Tato strmost je důležitá z důvodu odfiltrování komerčních vysílačů vysílajících v blízkosti pásma, na kterém vysílá v této práci použitý digitální radiomikrofon.

Druhým kritériem výběru byla nepřiliš velká náročnost na výrobu. Posledním kritériem pro započetí výroby byla zvolena náročnost dodatečného doladění filtru do požadovaného pásma. Všechna tato kritéria nejlépe splňovaly filtry typu Comblin. Technickou náročností na výrobu se rovnají Interdigitálním, ale mají lepší útlum na konci pásma a jsou snáze doladitelné na požadované pásmo. Proti filtru typu Hairpin-Line vynikají ve všech kritériích.

6.1 Ruční výroba

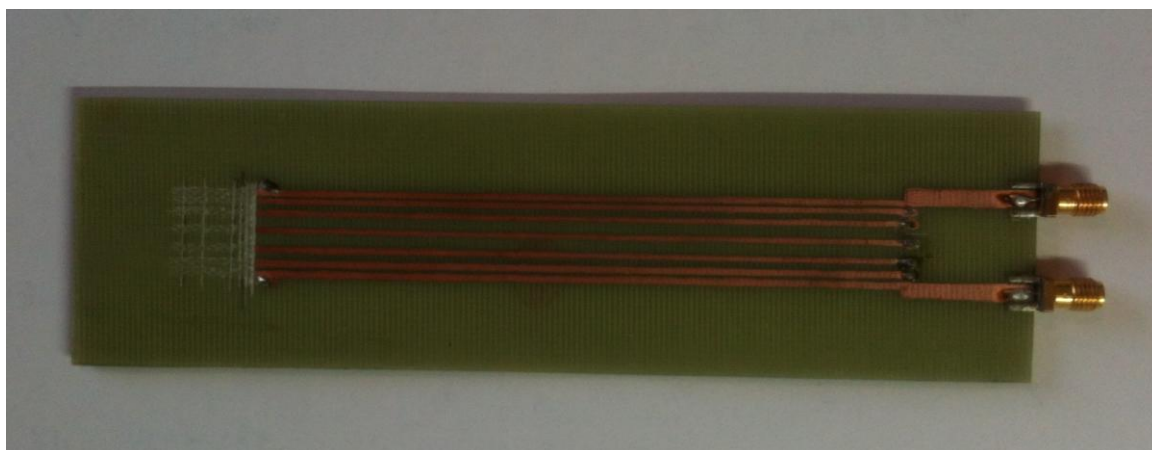
Postup výroby je následující. Prvním krokem je stanovení rozměrů materiálu potřebného pro zvolený filtr. Rozměry byly zvoleny na 150 x 50mm pro Comblin s 5 rezonátory a 150 x 70mm pro Comblin se 7 rezonátory. Tyto rozměry se překreslí na desku oboustranného Cuprexitu a provede se vyřezání. Jako nástroj zvolený pro vyřezání byla použita pilka na železo. Po vyřezání byly pilníkem odstraněny nerovnosti a otřepy materiálu vzniklé při řezání.

Dalším krokem je odmaštění materiálu, pro které byl použit lih. Na odmaštěný Cuprexit byl nejprve tužnou překreslen filtr, včetně cest potřebných pro přivedení signálu. Přívodní cesty pro každý filtr jsou dvě a jejich rozměry byly 5 x 20mm. Ostatní rozměry byly použity z návrhu. Obrys nakreslený tužkou byl vykreslen pomocí fixy naplněné barvou odolnou proti odleptání.

Před vlastním započatím leptání bylo zapotřebí opatřit čistou stranu Cuprexitu fólií. Fólie slouží k ochraně souvislé vrstvy mědi před odleptáním. Samotné leptání bylo provedeno v nekovové nádobě s leptacím roztokem, na který byl opatrně položen využitý materiál nakreslenou stranou dolů a to takovým způsobem, aby se nepotopil. Leptání probíhalo přibližně 20min. Po uplynutí této doby byl filtr vyjmut z lázně, opláchnut vodou od zbytků

roztoku. Z výrobku byla sejmuta ochranná fólie a celý byl očištěn lihem od leptání odolné barvy a zbytků lepidla z fólie.

Ošetření měděných ploch proti oxidaci bylo zajištěno pomocí pájitelného pryskyřicového nitrolaku. Jakmile se lak vytvrdil, bylo na filtru provedeno vrtání uzemňovacích děr. Vlastní spojení jednotlivých částí nelineárního vedení bylo realizováno prostřednictvím měděného drátu, který byl do vyvrtaných děr vložen a zapájen. Nakonec byl mikropáskový filtr osazen konektory pro připojení koaxiálního kabelu.



obr. 28: Vyrobený a odladěný Compline s pěti rezonátory

Výroba Compline se 7 rezonátory a mikropáskového pahýlu probíhala naprosto stejným způsobem. Vyrobené součástky se nachází v části **PŘÍLOHA P III**.

6.2 Výroba za pomoci vyvolání světlocitlivé vrstvy

Metoda využívající osvětlování fotocitlivého materiálu byla zvolena z důvodu nemožnosti odstranit nepřesnosti při ruční výrobě. Nepřesnosti vzniklé ruční výrobou jsou proměnná tloušťka prvků vedení a jiné nedokonalosti. Díky těmto nepřesnostem bylo dosaženo velkého útlumu přenášeného pásma. Útlum v přenášeném pásmu se pohyboval v okolí -5 dB.

Prvním krokem bylo překreslení filtru do programu Eagle a to konkrétně do okna BOARD. Toto okno slouží k návrhu desek plošných spojů. Odtud byl filtr vytištěn laserovou tiskárnou na průhlednou fólii a to ve dvou kopiích. Kopie byly umístěny nad nádobou s nitroředidlem natištěnou stranou dolů. Tento krok se provádí pro zvýšení kryvosti toneru, výpary odpařujícího se ředidla způsobí jeho nabobtnání. Následně jsou kopie přesně přiloženy k sobě a v okrajových částech zafixovány lepicí páskou.



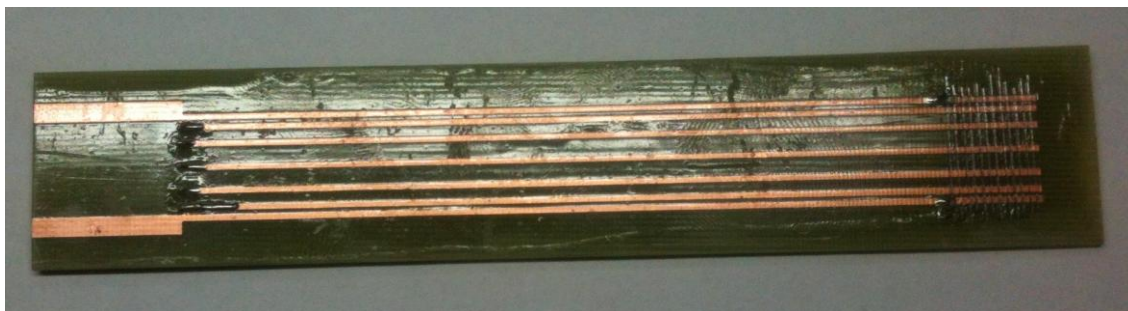
obr. 29: Fólie pro expozici Comblin s 5 rezonátory

Fólie pro Comblin se 7 rezonátory se nachází v části **PŘÍLOHA P III**.

Uřezání materiálu bylo realizováno pomocí elektrické řezačky, která řeže díky diamantovému kotouči. Nařezaný materiál byl opět odjehlen a odmaštěn. Protože kvůli zachování relativní permitivity nebylo možné použít materiál opatřený světlocitlivou vrstvou již z výroby, bylo zapotřebí tuto vrstvu na uřezaný Cuprextit nanést. Cuprextit bylo zapotřebí položit do vodorovné polohy a v tomto stavu na něj byla pomocí spreje POSITIV RESIST aplikována světlocitlivá emulze. Po aplikaci emulze bylo zapotřebí materiál s nanesenou světlocitlivou vrstvou přikrýt krabicí a nechat 24 hodin schnout.

Jakmile se lak vytvrdil, byla k lakované straně přiložena dříve zmiňovaná fólie a tento celek byl umístěn do komory, kde došlo k jeho ozáření ultra fialovým zářením. Ozařování probíhalo po dobu 10 minut. Jakmile byl exponovaný materiál vyndán z komory, byly na něm patrné rozdíly mezi osvětlenou a neosvětlenou částí. Pro vyvolání byl použit roztok hydroxidu sodného NaOH. Vyvoláním byly odplaveny osvětlené části.

Následující kroky jako leptání, lakování, vrtání a zapájení propojek jsou naprosto totožné s předchozí kapitolou.



obr. 30: Comblin s 5 rezonátory vyrobený expozicí světlocitlivé vrstvy

Výroba Comblin se sedmi rezonátory probíhala naprosto totožně a výsledek práce se nachází v části **PŘÍLOHA P III**.

7 DETEKCE PROVOZU VYSÍLAČE

Měření probíhala v prostorech Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a to konkrétně v učebně 53/307. Prostor použitý pro měření není chráněn proti vniku vnějšího elektromagnetického záření z nespecifikovaných vnějších vysílačů.

7.1 Detekce provozu pomocí výkonového detektoru

Než bylo možné provést vlastní detekci radiomikrofonu, bylo nutné provést doladění propouštěného frekvenčního pásma filtru. Doladění bylo potřebné, jelikož vyrobené filtry byly úmyslně laděny na nižší frekvence, z důvodu zabránění vyrobení zmetku. Posun propouštěného pásma probíhal za pomoci spektrálního analyzátoru R&S®FSH3, který bylo zapotřebí před započítím úprav kalibrovat. Ladění filtru probíhalo tak, že k FSH3 byly připojeny pomocí koaxiálního kabelu oba konce filtru, jeden na vstup a druhý na výstup. Frekvenční analyzátor byl nastaven tak, že startovní frekvence byla na 330 MHz, konečná na 440 MHz, centrální na 416 MHz a na tuto frekvenci byl posunut i marker. Posun umístění přenosového pásma byl proveden postupným zkracováním délky filtru. Délka nelineárního vedení byla zkracována tak dlouho, až horní hrana přenášeného pásma dosáhla na marker.

7.1.1 Použitá technika a software

Pro měření byly zapotřebí následující přístroje R&S®NRP-Z21 sensor, R&S®NRP-Z4 passive USB adapter, software R&S®NRP Power Viewer, R&S®NRPV Virtual Power Meter, digitální radiomikrofon ND-N2, koaxiální kabely, anténu, a frekvenční filtr.

NRP-Z21 je univerzální radiofrekvenční výkonový senzor, s dynamickým rozsahem 90 dB, měřicí rozsah tedy začíná na -67 dBm a končí na +23 dBm. Frekvenční rozsah je od 10 MHz do 18 GHz.

R&S®NRP Power Viewer je výkonový sledovač umožňující zobrazení aktuální hodnoty nejvyššího výkonu.

R&S®NRPV Virtual Power Meter je softwarová alternativa za přístroje z řady NRP power metr. Tudiž se jedná o aplikaci určenou k měření výkonu a vykreslování jeho průběhu.

Digitální radiomikrofon ND-N2 je produktem ruské společnosti Novo-Corporation. Pro opatření nosného signálu odposlechnutou informací využívá digitální modulaci a to konkrétně frekvenčním klíčováním. ND-N2 je napájen třemi bateriemi velikosti AAA. Ovládání radiomikrofonu je zajišťováno dálkovým ovládáním umožňující zapnutí, vypnutí, změnu vysílacího výkonu ve 3 úrovních LOW 20 μ W, MID 50 μ W, HIG 100 μ W, a volbu vysílacího pásma f1 416 MHz nebo f2 421 MHz.

7.1.2 Měření

Před započítím vlastního měření bylo zapotřebí nainstalovat potřebné programy (NRP Power Viewer a NRPV Virtual Power Meter), pro zpracování dat z výkonového senzoru NRP-Z21. Dalším krokem bylo spojení všech částí do celku, pomocí kterého již lze realizovat měření. Propojení bylo realizováno pomocí 50 Ω koaxiálních kabelů. Těmito kabely byly spojeny nejprve anténa s pásmovou propustí, další kabel propojoval filtr s výkonovým senzorem. Posledním krokem zapojování bylo připojení výkonového detektoru k PC, které bylo realizováno pomocí NRP-Z4 pasivního USB adaptéru.

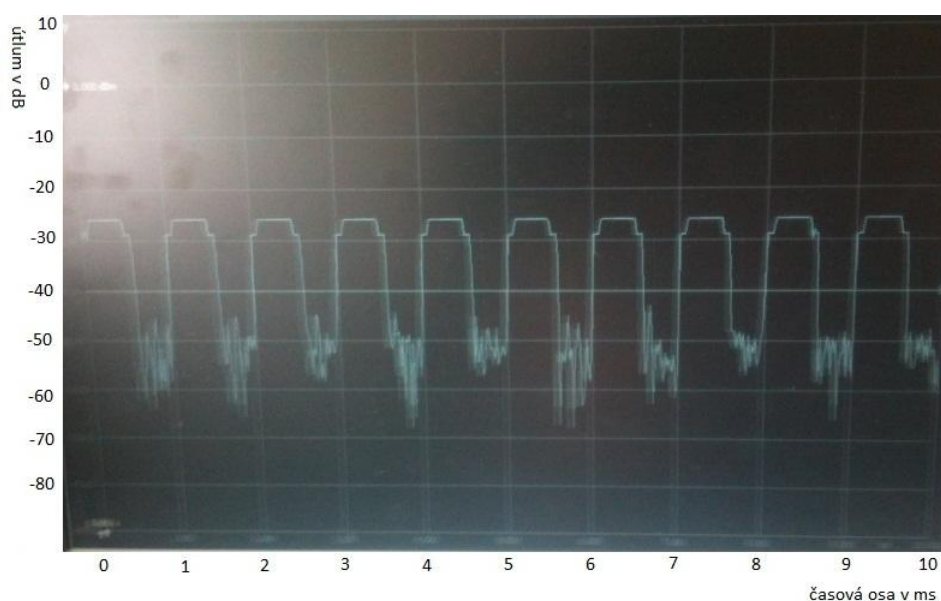
Vlastní měření nejprve proběhlo pomocí programu NRP Power Viewer. Měření probíhalo ve dvou krocích a to při vypnutém a zapnutém radiomikrofonu. Když byl radiomikrofon ve vypnutém stavu, byl naměřen výkon okolního šumu kolísající od -53,3 dB do -59,6 dB. Zapnutím radiomikrofonu, nastavením frekvenčního pásma f1 a zvolením výkonové úrovně MID se okamžitě projevilo v hodnotách měřeného výkonu a to tak, že se zvýšily o cca 15dB, tudíž se pohybovaly v rozsahu od -38 dB do -41 dB. Tímto způsobem byla jednoduše ověřena funkčnost vysílání tohoto bezdrátového odposlechu.

Software NRPV Virtual Power Meter umožňuje zobrazovat detekovaný výkon v čase. Funkce zobrazení výkonu v čase umožňuje nespojitost vysílání, která je typickým jevem většiny digitálních vysílačů.

Po rozběhnutí softwaru bylo zpuštěno okno TRACE Windows, které umožňuje výše zmíněné zobrazení. Bylo provedeno nastavení zobrazení, jako nastavení zobrazovaných os a byl zapnut režim free run. Na display byla vykreslována časová závislost okolního šumu potlačovaného pásmovou propustí a hodnoty šumu se pohybovaly v rozmezí přibližně od -50 dB do -60 dB. Zapnutí štěnice bylo provázáno posunem signálové křivky směrem vzhůru a její zvlnění se pohybovalo v okolí -40 dB.

Bohužel bylo z průběhu signálu zjištěno, že digitální mikrofon vysílá spojitě. Tudiž pomocí funkce SINGLE bylo možné detekovat pouze zapnutí radiomikrofonu, funkce SINGLE je funkcí provádějící zastavení obrazu po překročení nastavené hodnoty výkonu. Na display zůstane zobrazena část signálu od spuštění funkce až do konce časové osy. Při detekci ND-N2 je tedy vidět pouze nárůst výkonu z hodnoty šumu a potom už žádná změna.

Nespojitě vysílání bylo ovšem zjištěno u dálkového ovladače tohoto radiomikrofonu. Který se tím pádem stal vhodným kandidátem pro toto měření. Nastavení proběhlo výběrem funkce SINGLE, dále položky SHOW LEVEL a zpuštěním pomocí 1 TRIG.



obr. 31: Nespojitě vysílání ovladače radiomikrofonu

Graf průběhu vysílání v čase zobrazuje pulzní vysílání ovladače, na kterém je patrný detekovaný výkon na hodnotě -26 dB a šum při odmlčení vysílání. Rovněž je na grafu viditelná zvýrazněná přímka na hodnotě -40 dB po jejímž překročení se zpustí měření.

7.2 Detekce provozu pomocí funkce Zero Span

7.2.1 Použité přístroje

Pro měření byly použity přístroje R&S®FS300 spectrum analyzer a agilent 33220A generátor.

R&S®FS300 spectrum analyzer je velice přesný spektrální analyzátor nabízející vysokou kvalitou měření. Nabízí pracovní rozsah 9 kHz až 3 GHz, je schopen pracovat s maximální

vstupní úrovní signálu 33 dBm. Umožňuje měřit přijímané signály s rozlišením na 1Hz díky vestavěnému čítači.

Agilent 33220A je generátor funkcí pracující v rozsahu 1 mHz až 20 MHz. Generátor je schopen vytvářet standardní tvary signálů jako je sinusoida, obdélník, rampa, trojúhelník, impulz s proměnnými hranami a šum. Mimo vytváření standardních tvarů signálu umožňuje ještě modulace a to AM, FM, PM, FSK a PWM, lineární a logaritmické rozmítání. Výška amplitudy těchto signálů je nastavitelná až do výšky 10V.

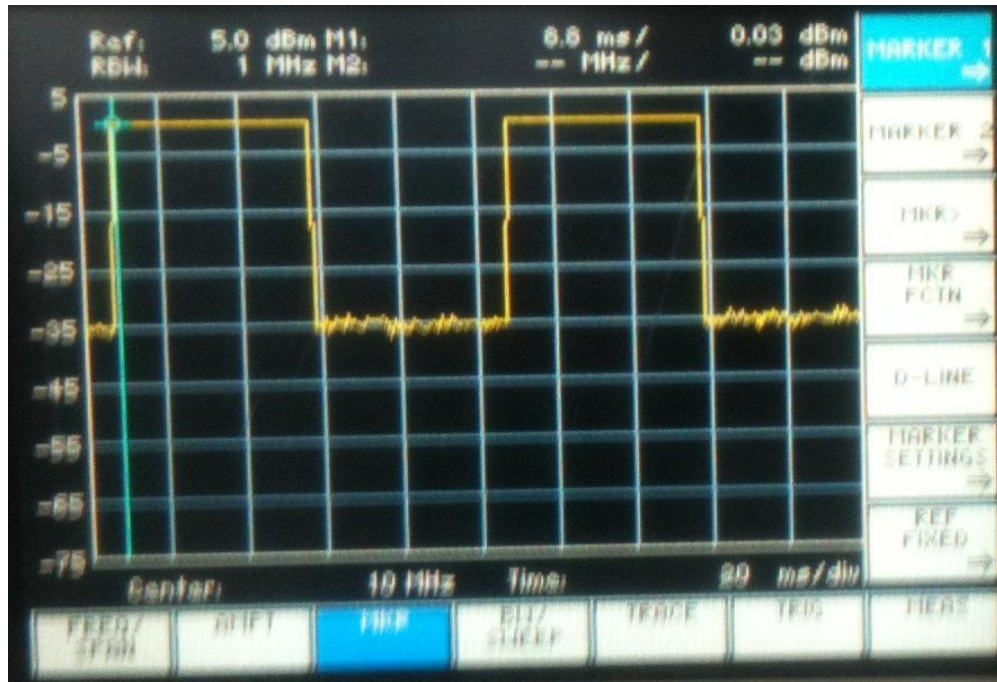
7.2.2 Měření

Zero Span je funkce, kterou je vybaven spektrální analyzátor FS300. Funkce umožňuje zobrazení časové charakteristiky amplitudy na vybrané frekvenci v nulovém rozsahu.

Před započítím měření obálky signálu v časové oblasti je nejprve zapotřebí provést zapojení a nastavení použitých přístrojů. Propojení bylo realizováno stíněným kabelem zakončeným cinch konektory, které se pomocí přechodek připojily na výstup generátoru a vstup analyzátoru.

FS300 se nastavoval v menu FREQ/SPAN hodnota z funkční oblasti SPAN na 0 Hz. Menu BW/SWEP bylo nastaveno RBW na rozdíl START a STOP což v tomto případě bylo na 1 MHz.

Signální generátor Agilent 33220A byl nastaven na spojitý sinusový signál, následně mu byla nastavena frekvence 10 MHz. Pro tento signál byla nastavena amplitudová modulace s modulační frekvencí 10 Hz. Hloubka modulace byla nastavena na 100%, jako modulační byl vybrán obdélníkový signál. Posledním krokem bylo nastavení výšky amplitudy, která byla zvolena na 1V.



obr. 32: Obálka signálu z generátoru

Graf zobrazuje průběh obálky signálu v čase. Časová osa se skládá z dílků po 20 ms, díky tomu je vidět šířka jednoho pulzu 100 ms, která odpovídá modulační frekvenci 10 Hz.

7.2.3 Srovnání výsledků metod

Porovnat oba způsoby detekce obálky signálu je v tomto případě velmi komplikované, jednak z důvodu, že pro obě měření nebyl použit stejný vstupní signál, ale také tento signál nebyl přenášen stejnou přenosovou cestou.

Zajímavým zjištěním po provedení obou měření byl fakt, že i když u metody s výkonovým detektorem byla část přenosové cesty signálu realizována vzduchem, byla hodnota šumu na nižší úrovni, než v případě použití stíněného kabelu u metody se spektrálním analyzátozem. To ovšem nenaznačuje nic o kvalitě této metody. Vyšší úroveň šumu byla pravděpodobně zapříčiněna nedokonalostí generátoru funkcí.

ZÁVĚR

Teoretická část práce shrnula dostatek poznatků na to, aby se mohla stát stručným průvodcem pro neznalou osobu plánující udělat prohlídku prostor, u kterých bylo podezření na nasazení odposlechové techniky. Práce se totiž věnovala jak bezdrátové odposlechové technice, tak i metodám a prostředkům používaným pro její odhalování.

Praktická část se zabývala výběrem vhodných mikropáskových filtrů, jejich návrhem a odladěním. Podle přenosových vlastností a složitosti posunu frekvenčního pásma byly vybrány vhodné mikropáskové propusti pro výrobu. Výroba byla započata s filtry typu Compline a realizace proběhla dvěma způsoby. Nejprve ručním nakreslením nelineárního vedení na zvolený materiál a následným vyleptáním. Druhým způsobem bylo použití světlocitlivé vrstvy a její vyvolání. Tato metoda byla použita proto, že při ručním kreslení došlo k nepřesnostem, které zvyšovaly útlum v propouštěném pásmu filtru.

Poslední částí práce se zabývala provedením detekce digitálního radiomikrofonu pomocí detektoru výkonu a porovnání výsledků měření s funkcí Zero Span u spektrálního analyzátoru. Detekce vysílání proběhla odpovídajícím způsobem a bylo odhaleno vysílání. Obě metody určené pro zobrazování výkonu v čase jsou na srovnatelné kvalitativní úrovni. Pouze spektrální analyzátor neměl dostatečný výkon pro zobrazování obálky vysílání s vysokou modulační frekvencí.

Použití této metody samostatně je nepraktické. Protože detektor výkonu nebo spektrální analyzátor s funkcí Zero Span je schopen zobrazit pouze signály s nejvyšším výkonem. Z toho důvodu je nutné vstup opatřit frekvenčně nastavitelnou pásmovou propustí, pomocí níž by bylo možné postupně prověřit celé frekvenční spektrum.

Za předpokladu, že by se tato metoda použila společně se spektrální analýzou, může být velkým pomocníkem při odhalování totožnosti neznámých signálů.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Theory part of thesis summarized enough information to be brief guide for rookie in this area. He could use it for detect listening devices in suspect areas. Thesis was dedicated to wireless listening devices, methods and resources which can be used for their detection.

Practical part discusses right choice for suitable microstripe filters, their design and settings. Bandwidth properties and complexity of frequency band shift was main parameters which affected choices of microstripe filters for manufacturing. Production was begun with Compline filters and realization was made by two ways. First one was hand draw nonlinear conduct for selected material and successively etching. Second way was created photosensitive layer and its induction. This method was used, because by hand there was some inaccuracy, which caused attenuation in permeable band of filter.

Final part was about detection of digital radio microphone with power detector and by compare with measurement result made by spectral analyzer with Zero Span function. Both methods are intended for display signal power changes in time and by both of them are given comparable quality. Only spectral analyzer does not have enough performance to display envelope of broadcast with high modulation frequency.

Using only this method is not practical, because power detector or spectral analyzer with Zero Span function is able to display only signal with the strongest performance. It is necessary to tweak input with settable band pass, to scan whole frequency spectrum.

This method and spectral analysis can be very useful to detect unknown signals.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŽALUD, V. Moderní radioelektronika. 1. vyd. Praha: BEN, 2000. 653 stran.
ISBN 80-86056-47-3.
- [2] HONG, J., G. – LANGCASTER, M., J. Microstrip filters for RF/MW applications. 1. vyd. New York: Willey & Sons, 2001. ISBN 978-0-471-38877-7.
- [3] DOSTÁL, T. Elektrické filtry. 2. vyd. Brno: PC-Dir, 1999. 96 stran. ISBN 80-214-0877-4.
- [4] PALOÚŠEK, T. Návrh a realizace mikrovlnných filtrů. Diplomová práce. VUT FEKT UREL Brno, 2002. 65 stran. Vedoucí Ing. Stanislav Goňa.
- [5] Shottkyho diody řady HSMS-282x - datasheet. Agilent. Dostupné z www.agilent.com.
- [6] Měřič výkonu NRP – uživatelský manuál. Mnichov. Rohde-Schwarz. Dostupné z www.rohde-schwarz.com.
- [7] *Odhalování skrytých odposlechových prostředků pro hlasovou komunikaci*. Zlín, 22.5.2009. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [8] Zabezpečení objektů - systém PROFi. *Jablotron* [online]. 2008 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.jablotron.cz/cz/sekce/vyrobky/zabezpeceni+objektu+1/>
- [9] Slovník pojmů. *Ufon* [online]. 2009 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.ufon.cz/cz/pro-zakazniky/slovník-pojmu/>
- [10] *Odposlech radiomikrofonů za pomoci univerzálního FSK demodulátoru*. Zlín, 22.5.2009. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [11] Amplitude Modulation. *The free dictionary* [online]. 2011 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Amplitude+Modulation>
- [12] Modulation. *Data communications* [online]. 2008 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://ironbark.bendigo.latrobe.edu.au/subjects/DC/lectures/7/>
- [13] *KLASIFIKACE TYPU DIGITÁLNÍ MODULACE*. BRNO, 21.5.2010. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE.
- [14] OOK-ASK-FSK-PSK. *Wara* [online]. 17.04.2012 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://wara.com/article-818.html>
- [15] Wireless microphone. *Electroscheme* [online]. 16. 06. 2009 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: <http://electroscheme.org/909-radiomikrofon.html>

- [16] Vyhledávání odposlechových prostředků s využitím detektoru nelineárních přechodů. Zlín, 19.5.2010. Vyhledávání odposlechových prostředků s využitím detektoru nelineárních přechodů. UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [17] Ochrana informací. *Special service international* [online]. 2008 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.ssi.cz/50-ochrana-informaci/61-ochrana-proti-odposlechu/>
- [18] Simple demonstration to explore the radio waves generated by a mobile phone. *Creative-science* [online]. 2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://www.creative-science.org.uk/mobile_LED.html
- [19] Cell Phone Detector. *Eeweb* [online]. 2008 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://www.eeweb.com/project/circuit_projects/cell-phone-detector
- [20] MeMiTec/8GHz end-coupled, half-wavelength microstrip filter. *Unimore* [online]. 22.04.2008 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.dii.unimore.it/wiki/index.php/MeMiTec/8GHz_end-coupled,_half-wavelength_microstrip_filter

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AM	Amplitudová modulace.
DSB	Amplitudová modulace s dvěma postranními pásmy.
SSB	Amplitudová modulace s jedním postranním pásmem.
VSB	Amplitudová modulace s jedním úplným a jedním částečným postranním pásmem.
ISB	Amplitudová modulace s nezávislými postranními pásmy.
FM	Frekvenční modulace.
PM	Fázová modulace.
ASK	Amplitudové klíčování.
FSK	Frekvenční klíčování.
PSK	Fázové klíčování.
LOG	Logická hodnota.
VKV	Velmi krátké vlny.
OTP	Obranně technická prohlídka.
IZS	Integrovaný záchranný systém

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1: amplitudová modulace [11].....	12
obr. 2: frekvenční modulace [12].....	13
obr. 3: fázová modulace [12]	14
obr. 4: Amplitudové klíčování (on off keying) [14]	15
obr. 5: Dvoustavové frekvenční klíčování [14]	16
obr. 6: Dvoustavové fázové klíčování [14].....	17
obr. 7: schéma radiomikroskopu [15]	18
obr. 8: jednoduchý detektor mobilního vysílání [18].....	20
obr. 9: detektor mobilní komunikace [19]	21
obr. 10: schéma detektoru mobilní komunikace [19]	22
obr. 11: End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtr[2]	25
obr. 13: Závislost útlumu amplitudy na frekvenci u filtru s jedním rezonátorem[2].....	25
obr. 12: End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtr [20]	25
obr. 14: Parallel-Coupled, Half-Wavelength Resonator Filtr[2]	26
obr. 15: Hairpin-Line Bandpass Filtr a jeho frekvenční závislost útlumu[2]	26
obr. 16: konstrukce interdigital bandpass filtru[2]	27
obr. 17: interdigitální bandpass filtr a jeho frekvenční závislost útlumu[2].....	27
obr. 18: combline bandpass filtr a jeho závislost útlumu na frekvenci [2].....	28
obr. 19: čip schottky diody[5]	29
obr. 20: vstupně výstupní charakteristika malosignálového detektoru[5]	30
obr. 21: vstupně výstupní charakteristika velkosignálového detektoru[5]	30
obr. 22: návrh mikropáskového pahýlu.....	32
obr. 23: interdigitální filtr s 5 rezonátory.....	33
obr. 24: závislost útlumu frekvenci interdigitálního filtru s 5 rezonátory	35
obr. 25: schéma combline s 5 rezonátory.....	35
obr. 26: závislost útlumu na frekvenci combline s 5 rezonátory	36
obr. 27: závislost útlumu na frekvenci Hairpin-Line s 5 rezonátory.....	37
obr. 28: vyrobený a odladěný combline s pěti rezonátory	39
obr. 29: fólie pro expozici combline s 5 rezonátory	40
obr. 30: combline s 5 rezonátory vyrobený expozicí světlocitlivé vrstvy.....	40
obr. 31: nespojitě vysílání ovladače radiomikrofonu.....	43
obr. 32: obálka signálu z generátoru	45

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: MICROWARE OFFICE

PŘÍLOHA P II: NÁVRH MIKROPÁSKOVÝCH FILTRŮ

PŘÍLOHA P III: VÝROBA MIKROPÁSKOVÝCH FILTRŮ

PŘÍLOHA P I: MICROWARE OFFICE

The screenshot displays the Microwave Office 2001 (MWO-225-SUF) interface. The main workspace contains several schematic windows:

- Schematic 1:** Shows a circuit diagram with components like MSTRACE, MSTRIP, and MSTRIP. It includes dimensions such as W=1 mm, L=25 mm, and R=0 mm.
- Schematic 4:** Shows a more complex circuit diagram with various components and dimensions.

A **Graph 5** window is open, displaying a plot of $DB(|S_{21}|)$ versus Frequency (GHz). The plot shows a resonance peak around 0.5 GHz.

Annotations with red arrows point to specific icons in the toolbar and menu:

- Analýza** (Analysis)
- nový graf** (New graph)
- nové schéma** (New schematic)
- nový supstrát** (New substrate)
- Možení portu** (Port placement)
- Možení uzemění** (Ground placement)
- Možení rovnice** (Equation placement)
- ladění hodnot** (Value tuning)
- označení hodnot pro ladění** (Value labeling for tuning)

At the bottom left, two red arrows point to the **Proj** and **Elem** buttons in the Project Manager:

- karta s projektem** (Project card)
- karta určená pro návrh** (Card intended for design)

PŘÍLOHA P II: NÁVRH MIKROPÁSKOVÝCH FILTRŮ

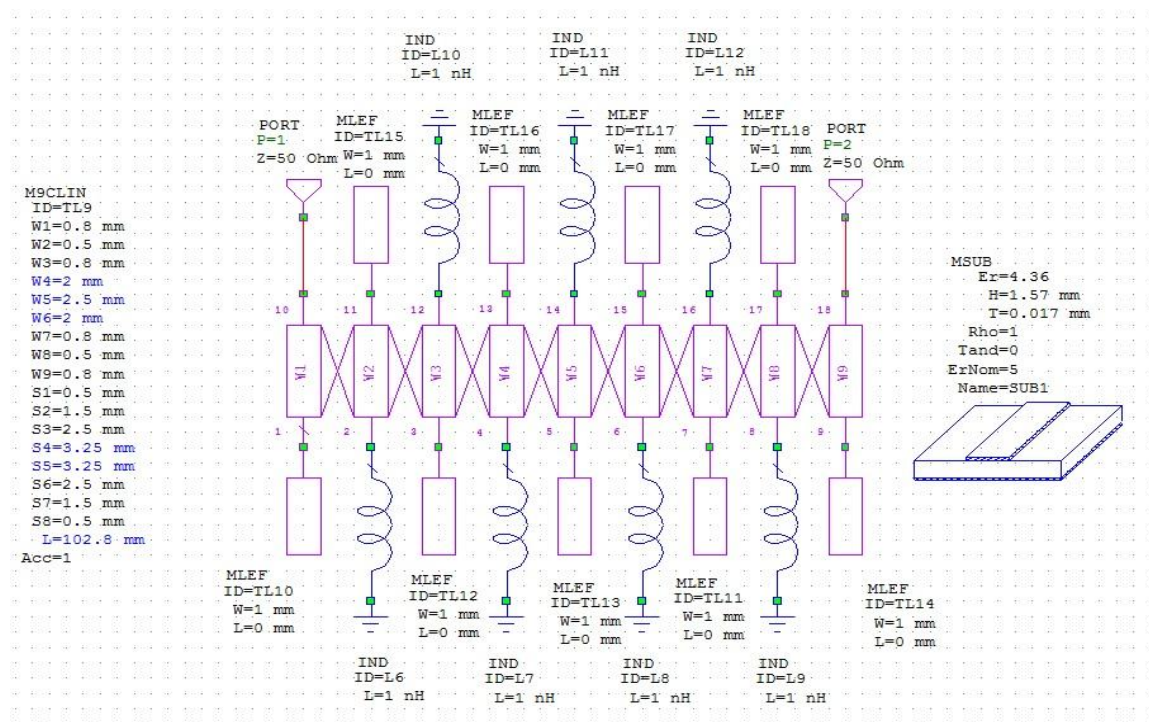
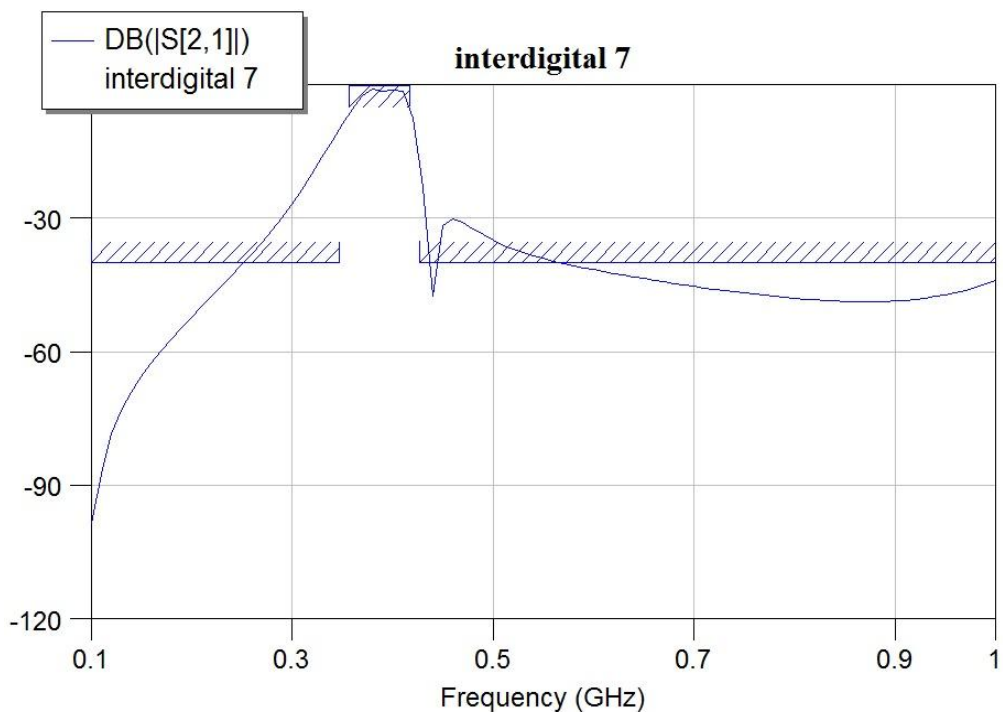


Schéma interdigitálního filtru se 7 rezonátory.



Graf interdigitálního filtru se 7 rezonátory.

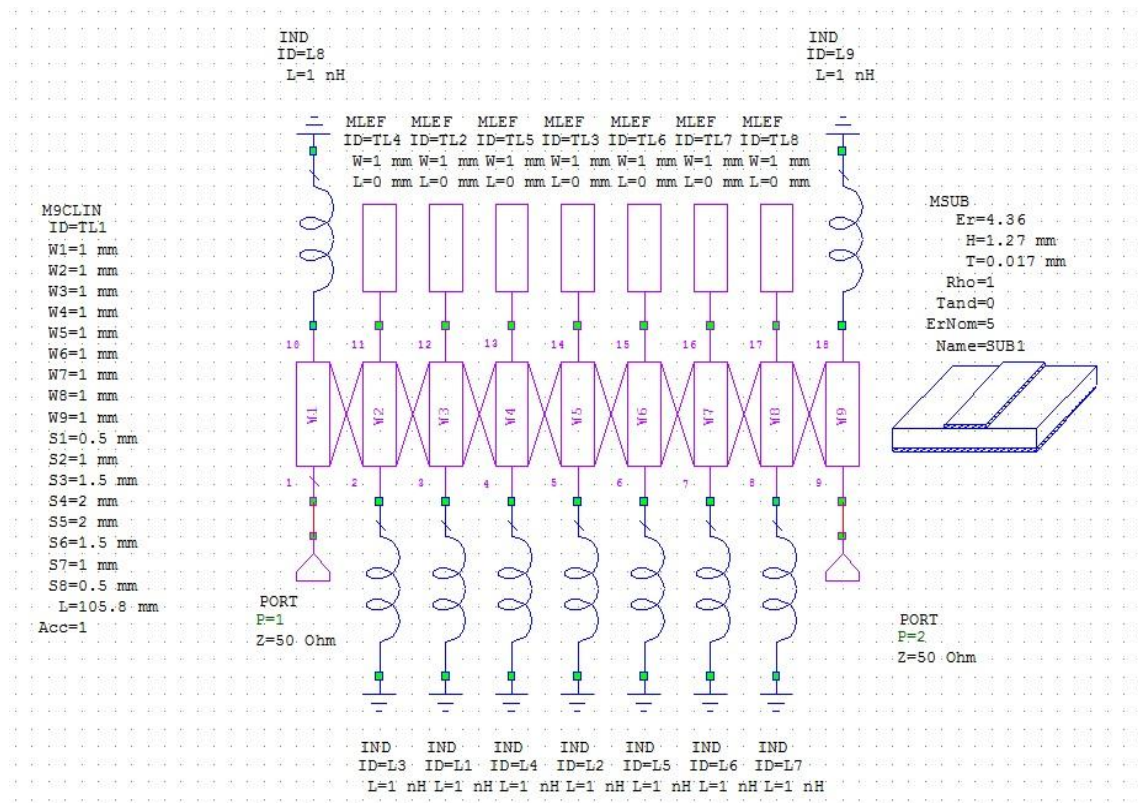
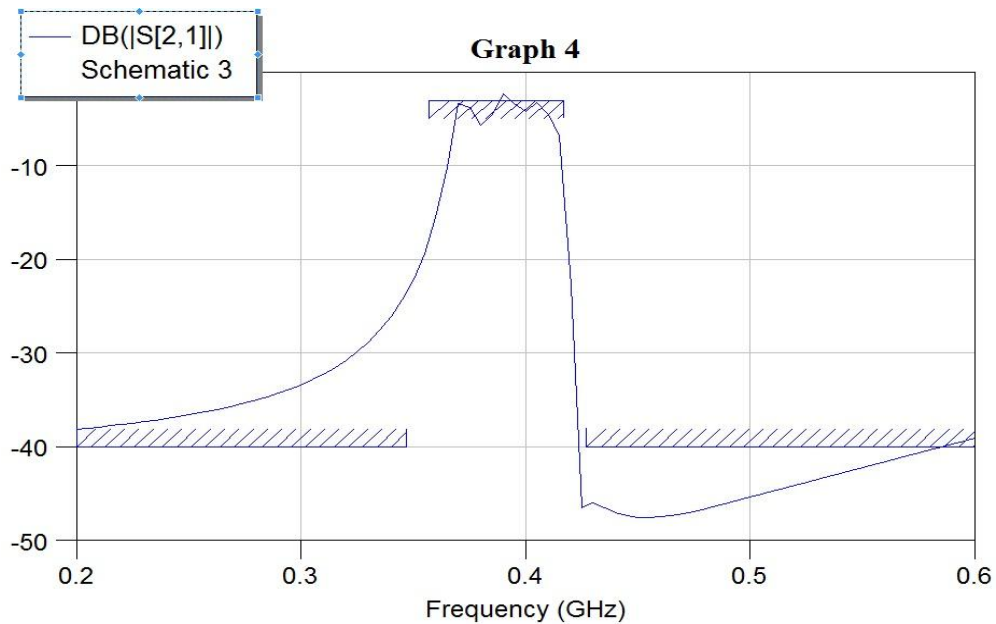


Schéma Compline filtru se 7 rezonátory.

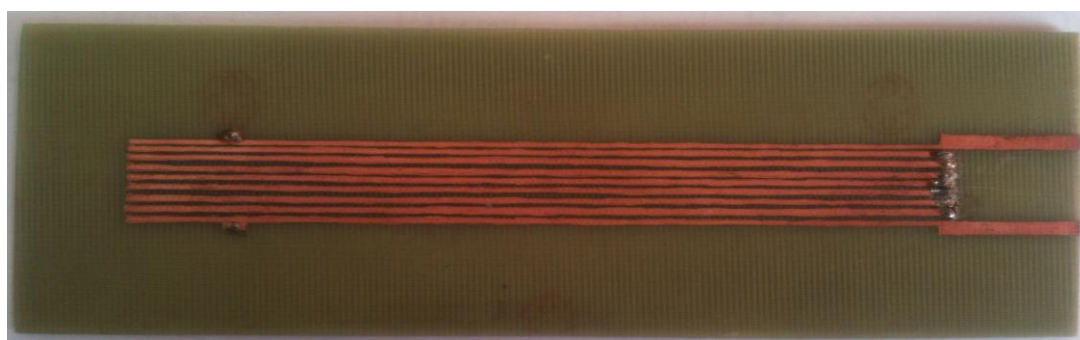


Graf závislosti útlumu na frekvenci Compline filtru se 7 rezonátory.

PŘÍLOHA P III: VÝROBA MIKROPÁSKOVÝCH FILTRŮ



Mikropáskový pahýl.



Ručně kreslený Comblin filtru se 7 rezonátory.



Fólie pro expozici Comblin se 7 rezonátory.



Comblin filtr se 7 rezonátory vyrobený pomocí expozice.