

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

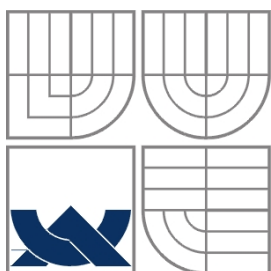
NÁSOBIČ KMITOČTU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

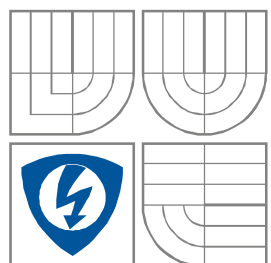
JIŘÍ ŠLESINGR

BRNO 2011



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

NÁSOBIČ KMITOČTU

FREQUENCY MULTIPLIER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jiří Šlesingr

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

BRNO, 2011

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Šlesingr
Bytem: Jeselská 1098, Žamberk 564 01
Narozen/a (datum a místo): 11. 12. 1987, Ústí nad Orlicí

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Technická 3058/10, 616 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Násobič kmitočtu
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D
Ústav: Ústav radioelektroniky
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

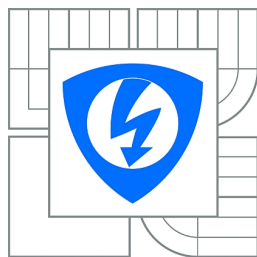
Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Semestrální práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jiří Šlesingr

ID: 110413

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Násobič kmitočtu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

BB2E: Podrobně se seznamte s vlastnostmi násobičů kmitočtu. Zejména se zaměřte na možnosti jejich realizací a také na měření jejich parametrů. Na základě tohoto studia navrhnete jednoduchý vysokofrekvenční násobič. Realizujte vámi navržený násobič, alespoň jako první vzorek a ověřte základní funkčnost vámi navrhovaného řešení.

BBCE: Proveďte realizaci vlastního násobiče. Dále pak zkonstruujte další násobič čistě z diskretních prvků. Obě konstrukce opatřete vhodnými krabičkami s vhodnými typy vysokofrekvenčních konektorů. S vámi realizovanými násobiči navrhnete vhodnou laboratorní úlohu do předmětu Radioelektronická měření. Dále navrhnete automatizované měření v prostředí VEE, pomocí kterého bude možné proměřit spektrum signálů na výstupu násobiče. Na závěr porovnejte vlastnosti realizovaných násobičů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HANUS, S., SVAČINA, J., Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika. Elektronický učební text. Brno: FEKT VUT v Brně.

[2] Agilent technologies. Mixers, Frequency Converters & Modulators. [online], [cit. dne 8.5.2009], dostupné na <http://www.home.agilent.com/agilent/application.jsp?nid=-34522.0.00&lc=eng&cc=US>.

Termín zadání: 20.9.2010

Termín odevzdání: 3.1.2011

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

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na možnosti realizací násobičů kmitočtu a jejich použití v praxi. Spolu s rozdělením násobičů jsou uvedeny jejich základní parametry, které jsou důležité pro výběr vhodného násobiče. Z nabízených a dostupných možností je následně vybrán obvod pro základní realizaci. Jedná se o obvod HMC189MS8 vyráběný firmou HITTITE Microwave Corporation. Jsou zhotoveny dva vzorky násobiče s tímto obvodem. Na závěr je popsána konstrukce diodového násobiče. Násobiče jsou změřeny a porovnány jejich parametry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Násobiče kmitočtu, konverzní ztráty, izolace harmonických složek, vstupní/výstupní výkon

ABSTRACT

This work is focused on the possibility of realization frequency multipliers and their use in practice. Along with the dividing of multipliers are presented the basic parameters that are important for the choice of acceptable multiplier. From the offer and the available options is then selected for the basic implementation circuit. This is circuit HMC189MS8 manufactured by HITTITE Microwave Corporation. They made two samples with the multiplier circuit. Finally, it describes the design of a diode multiplier. Multipliers are measured and compared their characteristics.

KEYWORDS

Frequency multipliers, conversion loss, isolation harmonic waves, input/output power

ŠLESINGR, J. *Násobič kmitočtu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. Počet stran s. 45. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Násobič kmitočtu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 27. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne 27. května 2011

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD.....	1
1. ROZDĚLENÍ NÁSOBIČŮ.....	2
1.1. Rozdělení násobičů kmitočtu.....	2
1.2. Použití násobičů.....	3
1.2.1. Kmitočtové syntezátory.....	3
1.2.2. Fázový závěs.....	3
2. PARAMETRY NÁSOBIČŮ.....	4
2.1. Rozsah vstupních a výstupních frekvencí.....	4
2.2. Vstupní a výstupní výkon.....	4
2.3. Konverzní ztráty.....	5
2.4. x Fo Isolation.....	6
3. NÁSOBIČ KMITOČTU HMC189MS8.....	7
3.1. Realizace násobiče.....	10
3.1.1. Schéma násobiče.....	11
3.1.2. Deska plošných spojů (DPS).....	11
3.1.3. Sestavení násobiče.....	12
3.2. Měření násobiče.....	13
3.2.1. Měření konverzních ztrát.....	16
3.2.2. Měření izolací.....	19
3.3. Realizace násobiče - 2. vzorek.....	22
3.3.1. Schéma, DPS a sestavení násobiče.....	22
3.3.2. Měření násobiče.....	24
4. DIODOVÝ NÁSOBIČ KMITOČTU.....	27
4.1. Realizace a schéma diodového násobiče.....	28
4.2. Deska plošných spojů a sestavení násobiče.....	29
4.3. Měření.....	31
ZÁVĚR.....	35
LITERATURA.....	38
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	40
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Násobič kmitočtu - integrovaný obvod HMC189MS8 – HITTITE	2
Obr. 2: Modul násobiče kmitočtu s volitelným násobitelem Spektrum microwave.....	3
Obr. 3: Hybridní integrovaný tranzistorový čtyřnásobič kmitočtu.....	3
Obr. 4: Graf výstupního výkonu – příklad.....	4
Obr. 5: Graf závislosti výstupního výkonu na vstupním výkonu - příklad.....	5
Obr. 6: Graf konverzních ztrát - příklad	5
Obr. 7: Izolace harmonických složek - příklad.....	6
Obr. 8: Diskrétní diodový násobič	7
Obr. 9: Zapojení násobiče HMC189.....	8
Obr. 10: Konverzních ztráty	9
Obr. 11: Izolace harmonických složek	9
Obr. 12: Pouzdro HMC189.....	10
Obr. 13: Schéma násobiče s obvodem HMC189	11
Obr. 14: DPS násobiče s obvodem HMC189	11
Obr. 15: N konektor na panel.....	12
Obr. 16: Celkový pohled na násobič s HMC 189MS8	12
Obr. 17: Vnitřní pohled na násobič.....	13
Obr. 18: Hlavní obslužný panel	14
Obr. 19: Začátek obslužného programu.....	15
Obr. 20: Pokračování programu, definování měřicího rozsahu.....	15
Obr. 21: Graf, načtení a zobrazení naměřených hodnot	16
Obr. 22: Ukládání hodnot do souboru	16
Obr. 23: Změřené konverzní ztráty pro výkon 15 dBm.....	17
Obr. 24: Změřené konverzní ztráty pro výkon 15 dBm po úpravě - porovnání	18
Obr. 25: Použitý absorpční materiál	19
Obr. 26: Izolace 1. harmonické složky, výkon 15 dBm	20
Obr. 27: Izolace 3. harmonické složky, výkon 15 dBm	20
Obr. 28: Izolace 4. harmonické složky, výkon 15 dBm, porovnání po úpravě	21
Obr. 29: SMA konektor na panel.....	23
Obr. 30: Celkový pohled - nový vzorek násobiče	23
Obr. 31: Vnitřní pohled na násobič.....	23
Obr. 32: Izolace 1. harm. složky - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem...	24
Obr. 33: Konverzní ztráty - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem	25
Obr. 34: Izolace 3. harm. - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem	25
Obr. 35: Izolace 4. harm. složky - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem...	26
Obr. 36: Diodové násobiče	27
Obr. 37: Schéma diodového násobiče.....	29
Obr. 38: DPS diodového násobiče	30
Obr. 39: Diodový násobič	31
Obr. 40: Izolace 1. harmonické složky diodového násobiče	32
Obr. 41: Izolace 2. harmonické složky diodového násobiče	32
Obr. 42: Konverzní ztráty diodového násobiče	33
Obr. 43: Izolace 4. harmonické složky diodového násobiče	33

SEZNAM TABULEK

Tab 1: Příklad rozsahu frekvencí násobiče	4
Tab 2: Parametry HMC 189.....	8
Tab 3: Rezonanční kmitočty	18
Tab 4: Rezonanční kmitočty nové krabičky.	22
Tab 5: Rezonanční kmitočty diodového násobiče	30

ÚVOD

Náplní této práce je zaměření se na možnosti realizací násobičů kmitočtu a jejich dostupnost spolu s jeho funkcemi.

Násobič kmitočtu je obvod pro generování vysokofrekvenčního signálu a je obecně používán pro generování výstupního signálu s frekvencí, která je násobkem frekvence vstupního signálu. Pokud je vstupní signál proměnný, může být nutné synchronizovat výstupní signál na změny frekvence a fáze vstupního signálu. Obvod násobičky frekvence může být použit v paměti, mikroprocesoru, ve video zařízení, audio zařízení apod. Mnoho běžně používaných mikroprocesorů používá vnitřní násobičku kmitočtu pro vytvoření vysokofrekvenčního hodinového signálu z nižší taktovací frekvence systému.

Obecně platí, že násobička je harmonický převodník pro tvorbu výstupního signálu na frekvenci, která je násobkem základní frekvence vstupního signálu.

Bakalářská práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol. Nejprve je uvedeno rozdělení násobičů spolu s jejich funkcí a základními typy násobičů. Poté se zaměříme na základní parametry, potřebné k vhodnému výběru násobiče podle našich požadavků, jejich definicemi spolu s ukázkami, grafy, způsoby měření. V třetí kapitole bude uvedena vlastní realizace zvoleného násobiče. Jedná se o integrovaný obvod pasivního zdvojovače. Uvedeme si jeho parametry a možné použití v praxi. Bude zmíněna vlastní realizace, tedy vytvoření schématu zapojení a desky plošných spojů, sestavení, oživení. Nedílnou součástí je také změření již hotového násobiče za pomoci přístrojů ve školní laboratoři. Data jsou zhodnocena a porovnána s daty od výrobce. Z důvodu špatných výsledků je poslední podkapitola věnována stavbě nového vzorku násobiče, který eliminuje nežádoucí účinky. Tyto dva vzorky jsou porovnány pomocí naměřených hodnot ve společných grafech. Poslední kapitola je věnována konstrukci a zapojení diodového násobiče. V jednotlivých podkapitolách je sepsán postup při návrhu, sestavení násobiče a naměření jeho parametrů.

Na úplný konec je provedeno závěrečné zhodnocení dosažených výsledků. V příloze pak je uveden návrh na laboratorní úlohu do předmětu Radioelektronická měření.

1. ROZDĚLENÍ NÁSOCIČŮ

V této kapitole bude uvedeno několik základních rozdělení násobičů, zejména podle jejich parametrů a druhu použití. Násobiče kmitočtu můžeme nalézt ve všech odvětvích elektroniky, zejména však u vysokofrekvenční elektroniky.

Násobič frekvence se také používá v rádiovém systému, kde převádí radiový RF signál z napěťově-řízeného oscilátoru (VCO) na frekvenci, která je násobkem frekvence signálu RF.

U mobilních komunikací, včetně mobilních telefonů, počet vysílaných pásem nosné frekvence poměrně vzrostl. Mobilní komunikační zařízení mohou přepínat mezi nosnými kmitočty v závislosti na použití, proto jsou násobiče kmitočtu vhodné k výběru mezi množstvím nosných frekvencí.

Phase-Locked Loops (PLLs) - smyčka fázového závěsu - jsou dobře známé zpětnovazební obvody sloužící k udržení synchronizace výstupního signálu. PLL založené na násobičce se běžně používají v mikroprocesorech pro generování hlavního hodinového signálu z nižší frekvence [3], [6], [7].

1.1. Rozdělení násobičů kmitočtu

Násobiče kmitočtu lze obecně rozdělit:

Podle použitých prvků:

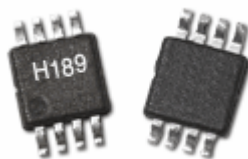
- pasivní;
- aktivní.

Podle zapojení:

- integrované obvody (Obr. 1: Násobič kmitočtu - integrovaný obvod HMC189MS8 – HITTITE);
- hotové moduly (Obr. 2).

Podle násobícího činitele:

- s přednastavenou hodnotou;
- s možností volby násobitele.



Obr. 1: Násobič kmitočtu - integrovaný obvod HMC189MS8 – HITTITE

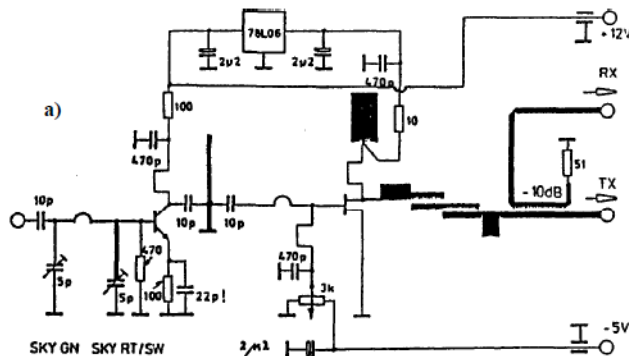


Obr. 2: Modul násobiče kmitočtu s volitelným násobitelem Spektrum microwave x4, x8 frequency multipliers

1.2. Použití násobičů

1.2.1. Kmitočtové syntezátory

Násobiče kmitočtu se používají u syntezátorů jak s přímou tak nepřímou kmitočtovou syntézou, ve kterých se výstupní kmitočet vytváří ze základních generátorů pomocí aritmetických operací (násobení) soustavou směšovačů, děličů a právě násobičů. Syntezátory s nepřímou syntézou označujeme jako systémy se zpětnou vazbou, které využívají fázového závěsu. U nich se používají násobiče spolu s napěťově řízenými oscilátory a dalšími obvody.



Obr. 3: Hybridní integrovaný tranzistorový čtyřnásobič kmitočtu z 1331,25 MHz na 5325 MHz [1]

1.2.2. Fázový závěs

V aplikacích fázového závěsu v závislosti na tom jaký signál, respektive jeho kmitočet, požadujeme, vložíme do jeho zapojení násobič kmitočtu

Frekvenční násobiče mají širokou škálu použití, zejména v generování vysokofrekvenčních signálů. Například při manipulaci a úpravách frekvencí v audio a rádio frekvenčním spektru jsou často používány. Chceme-li přímo generovat relativně vysoký výkon signálu na vyšších frekvencích v rádiovém spektru (RF), parametrické násobiče kmitočtu jsou často spojeny s generátory vytvářejícími požadovaný signál na nižších frekvencích. Jejich výstupní výkon se používá pro místní oscilátor nebo násobitel vysílačích rádiových frekvencí (RF) u mikrovlnných nebo milimetrových vlnových délek [6].

2. PARAMETRY NÁSOBIČŮ

Zde je uvedeno několik základních nejdůležitějších parametrů, které určují kvalitu násobiče a následné použití v praxi.

2.1. Rozsah vstupních a výstupních frekvencí

Rozkmit frekvence vstupního signálu je důležitý pro dosažení požadovaných hodnot výstupního signálu, především jeho frekvence a výkonu.

Výstupní rozsah určuje možné rozmezí frekvencí výstupního signálu při splnění podmínek na vstupní signál. Oba rozsahy hodnot jsou jedněmi z nejdůležitějších parametrů, neboť podle nich si vybíráme vhodný násobič. Zároveň jsou však závislé na použité technologii každého výrobce a na násobícím činiteli.

Tab 1: Příklad rozsahu frekvencí násobiče

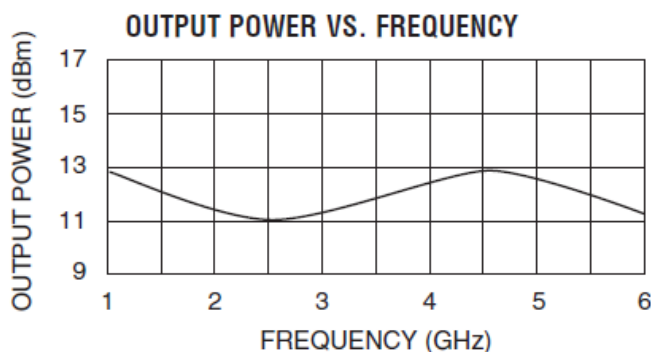
Násobící činitel	Frekvence [GHz]	
	IN	OUT
2	5 - 8	10 - 16
	8 - 10	16 - 20

2.2. Vstupní a výstupní výkon

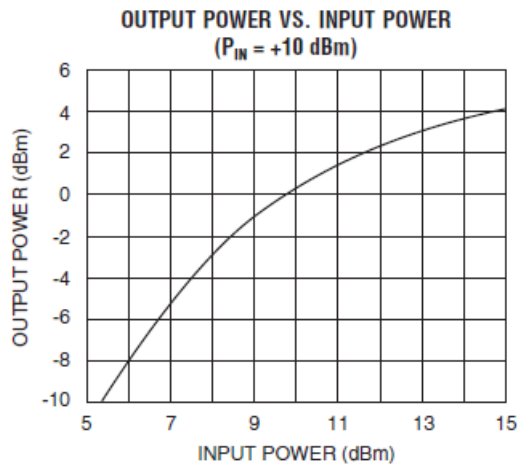
Vstupní výkon označovaný také Input Drive Level - vstupní úroveň buzení - je velikost signálu (výkonu), který může být připojen na vstup, aby se dosáhlo požadovaných výstupních parametrů (výkonu, frekvence, izolace).

U pasivních násobičů je výstupní výkon určený ztrátami v důsledku průchodu signálu obvodem, jejich zesílení má zápornou hodnotu. Naopak aktivní násobiče napájené stejnosměrným napětím mají kladnou hodnotu zesílení a jejich výstupní výkon je buď srovnatelný se vstupním (nedochází ke ztrátám) a pouze je dosaženo vynásobení frekvence nebo je jejich výkon vyšší - dochází k zesílení signálu.

Vstupní respektive výstupní výkon je nejčastěji udáván v jednotce dBm, poměrná hodnota vztažená k výkonu 1 mW. Z praktického hlediska jsou uváděny maximální hodnot [4].



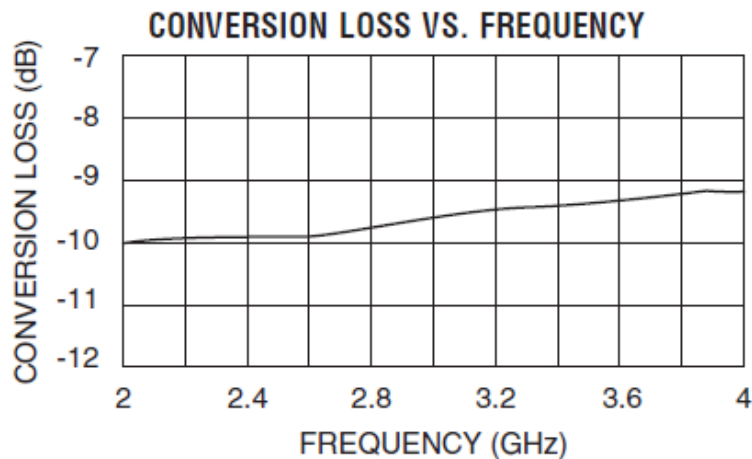
Obr. 4: Graf výstupního výkonu – příklad



Obr. 5: Graf závislosti výstupního výkonu na vstupním výkonu - příklad [4]

2.3. Konverzní ztráty

Konverzní ztráty jsou definovány jako ztráty výkonu mezi vstupním užitečným a výstupním užitečným signálem během přeměny (vynásobení) frekvence, nebo-li jak bude signál zesílen/zeslaben oproti vstupu, většinou u pasivních násobičů. Výstupním užitečným signálem je myšlena 2. harmonická složka. Uvádějí se v dB a mají zápornou hodnotu avšak obvykle se používá absolutní hodnota, pro aktivní násobiče je typická hodnota 0 dB. Počítají se jako podíl (v dB) výstupního výkonu ku příkonu. Samotný parametr je měřítkem účinnosti násobení vstupního signálu, jeho převodu na výstupní signál. Všechna měření konverzních ztrát jsou obvykle založena na použití směšovače v systému 50 ohmů a signálu, stanoveného podle výkonu s příslušným směšovačem [6], [4].

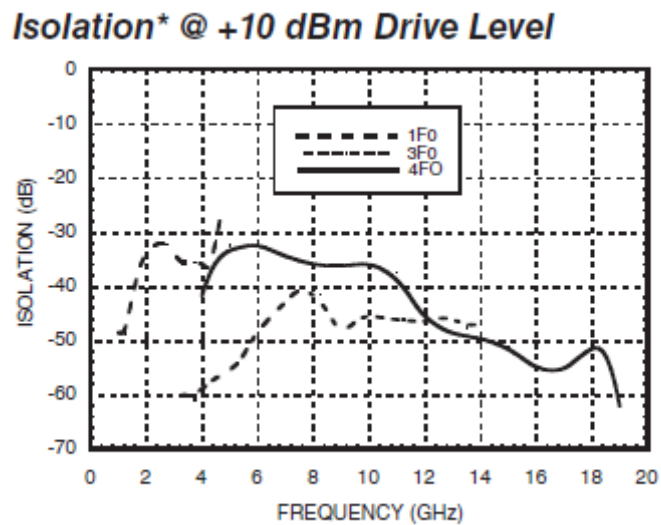


Obr. 6: Graf konverzních ztrát - příklad

2.4. $x F_0$ Isolation

Jedná se o izolaci harmonických složek signálu, které jsou nežádoucí ve výstupním signálu násobiče, kde x udává pořadí harmonické složky. Je rovněž udávána v dB a typické hodnoty činí několik desítek dB, přičemž vyšší hodnoty izolace ukazují na kvalitu daného násobiče.

Izolace se měří pomocí spektrálního analyzátoru, kdy je do násobiče přiveden signál o určité frekvenci, dané vstupním rozsahem, například 2 GHz, a na výstupu měříme úroveň signálu 1., 3. a 4. harmonické složky, v tomto případě tedy 2, 6, 8 GHz. Takto je možné proměřit izolace na celém pracovním rozsahu a zjistit tak kvalitu násobiče, případně srovnat s údaji uvedené výrobcem [10], [3].



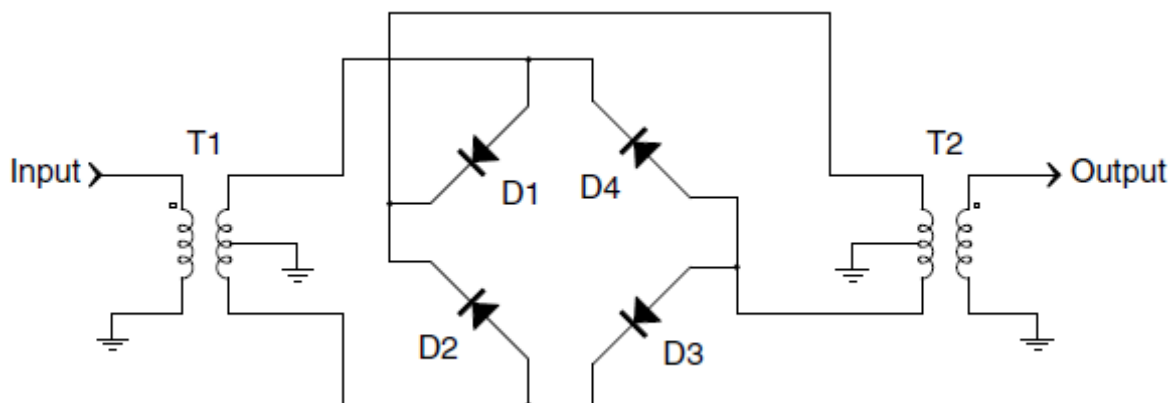
* With respect to input level

Obr. 7: Izolace harmonických složek - příklad

3. NÁSOCIČ KMITOČTU HMC189MS8

Jako vysokofrekvenční násobič kmitočtu byl zvolen integrovaný obvod HMC189, varianta MS8, vyráběný firmou HITTITE Microwave Corporation. Jedná se o miniaturní pasivní zdvojovač (Obr. 1) frekvence označovaný jako MMIC - Monolithic microwave integrated circuit - monolitický mikrovlnný integrovaný obvod, kde jako materiál pro výrobu je použit GaAs. Obvod je uložen v plastovém 8-pinovém MSOP pouzdře (Obr. 1) a jelikož se jedná o pasivní násobič, nepotřebuje tudíž napájecí obvod, pouze zdroj vstupního signálu. Násobič využívá stejné technologie používané v HITTITE MMIC směšovačích a je vhodný pro velký rozsah aplikací, kde je zdvojnásobení nižší frekvence ekonomičtější než generování vysoké frekvence a zároveň při použití technologie založené na Schottkyho diodách nemá násobič téměř žádný měřitelný fázový šum na vynásobeném signálu [3].

Jedním z problémů je realizovat a implementovat malý násobič efektivním způsobem. Obr. 8 ukazuje diskretní diodový frekvenční násobič, který se skládá z diodového můstku a dvou širokopásmových impedančních transformátorů - BALUN (BALanced-UNbalanced). Toto provedení má mnoho výhod, včetně výborného potlačení harmonických složek a velmi nízkého zbytkového šumu. Tento obvod je realizován s diskretními diodami a baluny. Zatímco diodové můstky jsou k dispozici v integrované podobě, impedanční transformátory jsou často realizovány jako čtvrtvlnné vedení, které má na nižších frekvencích velké rozměry.



Obr. 8: Diskretní diodový násobič

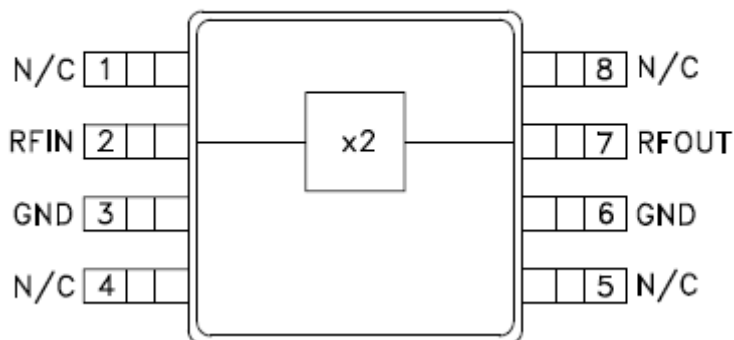
Řešením problémů diskretních frekvenčních násobičů je plně integrovaný monolitický frekvenční násobič, jako je například HMC189MS8. HMC189MS8 integruje vstupní a výstupní širokopásmové impedanční transformátory přímo na substrátu GaAs i s diodami a celý obvod se vejde do 3 x 5 mm velkého pouzdra, což je vhodné pro kompaktní návrh spojovacích cest na desce. Monolitické provedení balunů má za výsledek vynikající rovnováhu, symetrii a eliminuje potřebu externího ladění.

Pasivní monolitické frekvenční zdvojovače obvykle vyžadují příkon až +15 dBm k dosažení konverzních ztrát v rozmezí 12 až 15 dB. Nicméně pomocí vstupních a výstupních přizpůsobovacích obvodů, se zlepší konverzní ztráty při současném snížení příkonu. Správný návrh vstupního a výstupního obvodu násobiče HMC189MS8 pak vede ke zvýšení výstupního výkonu a rozšíření kmitočtového rozsahu umožňující použít jej k realizaci nízko nákladového lokálního oscilátoru.

Typické aplikace obvodu HMC189:

- Wireless;
- LMDS, VSAT a Point-to-Point rádia;
- UNII & HiperLAN;
- Testovací zařízení.

Functional Diagram



Obr. 9: Zapojení násobiče HMC189

Mezi základní parametry tohoto obvodu patří:

- Konverzní ztráty: 13 dB;
- Izolace základních a vyšších harmonických: 33 dB;
- Vstupní úroveň buzení: +10 až +15 dBm.

Podrobné parametry obvodu jsou uvedeny v Tab 2. Všechny hodnoty jsou uvedeny pro teplotu okolí 25 °C a jsou funkcí vstupní úrovně signálu, tudíž závisí na přivedeném výkonu [3].

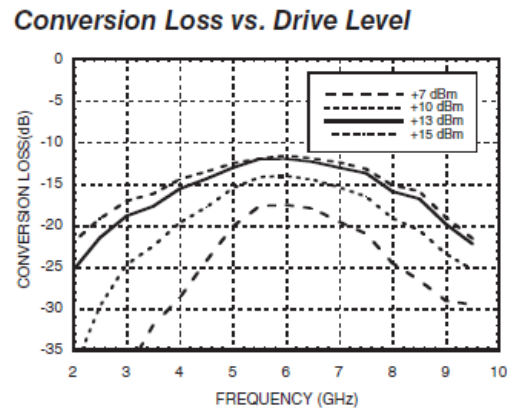
Tab 2: Parametry HMC 189

Parametr	Vstup + 10 dBm			Vstup + 13 dBm			Vstup + 15 dBm			Jednotka
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Vstupní rozsah	2,5 - 3,5			2,5 - 3,75			2 - 4			GHz
Výstupní rozsah	5 - 7			5 - 7,5			4 - 8			GHz
Konverzní ztráty		13	17		13	15		13	17	dB
Izolace zákl. harmonické*	29	32		30	33		31	34		dB
Izolace 3. harmonické*	37	43		35	42		33	40		dB
Izolace 4. harmonické*	32	40		33	40		31	40		dB

* s ohledem na vstupní úroveň

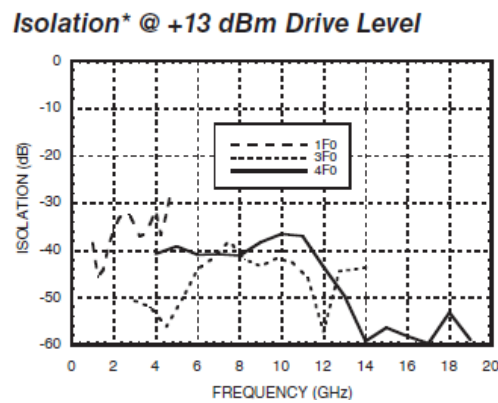
Některé parametry vyjádřené graficky:

Konverzní ztráty v závislosti na frekvenci jsou zobrazeny na Obr. 10, parametrem je úroveň vstupního výkonu.



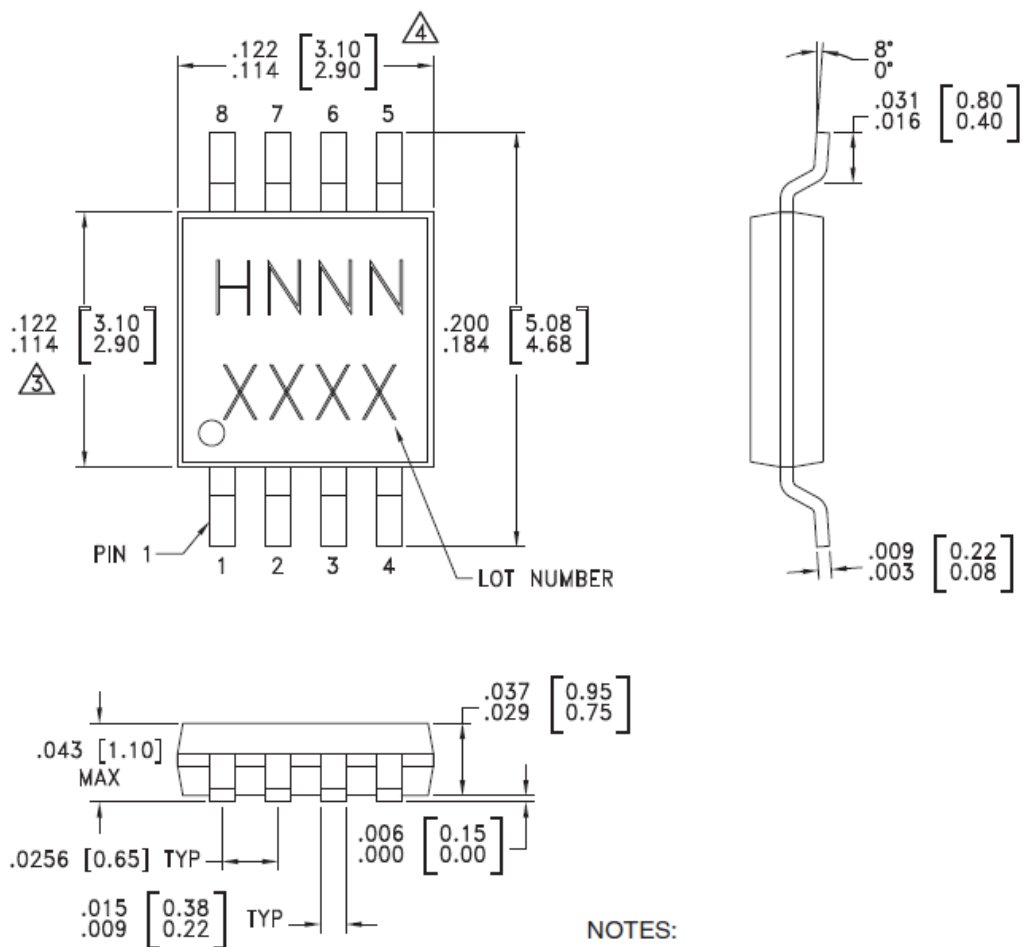
Obr. 10: Konverzních ztráty

Izolace harmonických složek v závislosti na frekvenci při vstupním výkonu +13 dBm je uvedena na Obr. 11.



Obr. 11: Izolace harmonických složek

Pouzdro obvodu je vyrobeno technologií SMD a má 8 vývodů (viz Obr. 1), jeho rozměry jsou znázorněny na Obr. 12. Jsou uvedeny jak v palcích tak i v milimetrech: .xxx - palce; [x.xx] milimetry.



NOTES:
1. LEADFRAME MATERIAL: COPPER ALLOY

Obr. 12: Pouzdro HMC189

3.1. Realizace násobiče

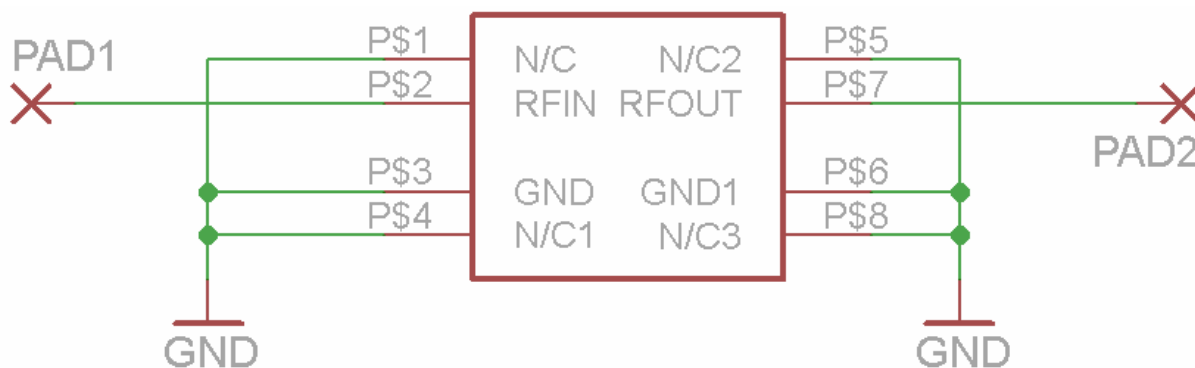
Realizace obvodu, respektive návržení obvodu pro desku plošných spojů (DPS), je provedena v programu EAGLE Layout Editor. Substrátem pro výrobu desky plošných spojů je ARLON 25N [12] o tloušťce 1,52 mm a permitivitě $\epsilon_r = 3,38$. Arlon 25N je laminátem vyztužený keramický kompozitní materiál navržený pro použití v mikrovlnné a rádio technice ve vícevrstvých deskách plošných spojů. Kombinací nepolárního reaktoplastu spolu s kontrolovanou rozpínavostí výplně keramického tmelu, nabízí 25N nízkou permitivitu a ztráty v kombinaci s nízkým tepelným koeficientem dielektrické konstanty (TCER) pro stabilitu signálu v širokém rozsahu okolních teplot. Při použití ve vícevrstvých substrátech ARLON 25N nabízí pre-pregy, které jsou shodné s chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi cuprexitů pro optimální integritu signálu.

Nízkou permitivitou, nízkými ztrátami, malým teplotním koeficientem permitivity (TCER) a vynikající fyzickou stabilitou, se 25N stává ideálním materiálem k použití v bezdrátové a digitální technice, jako jsou mobilní telefony, převodníky, nízko šumové zesilovače, antény a ostatní moderní obvody.

25N je k dispozici jako pevný nebo tenkovrstvý měděný laminát nebo ve formě pre-pregu, což je ideální pro jedno, dvou a vícevrstvé obvody. Pre-pregy jsou k dispozici v rolích nebo v předřezaných deskách.

3.1.1. Schéma násobiče

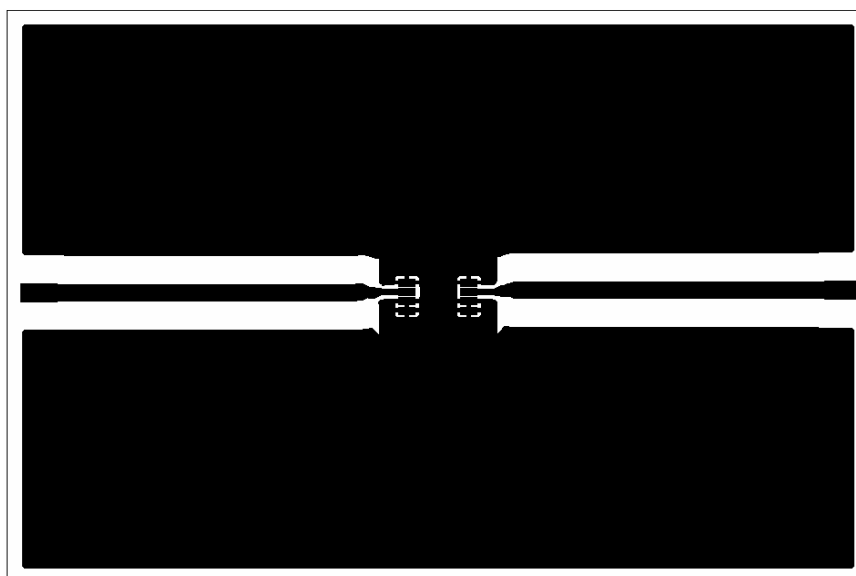
Na Obr. 13 je znázorněno schéma násobiče nakreslené v programu EAGLE Layout Editor. Nebyla k dispozici odpovídající knihovna se součástkou, proto byla navržena vlastní knihovna, kde se definovalo zapojení a schéma násobiče. Násobič nepotřebuje další pasivní ani aktivní součástky pro svoji funkci, proto je k integrovanému obvodu připojen pouze vstup a výstup. K tomuto účelu a zároveň připojení ke konektorům slouží pájecí plošky PAD 1,2; které jsou spojeny s piny 2 a 7 (vstup/výstup). Ostatní piny - 1; 3 až 6; 8 - jsou spojeny se zemí GND.



Obr. 13: Schéma násobiče s obvodem HMC189

3.1.2. Deska plošných spojů (DPS)

Plošné spoje jsou nakresleny ve vrstvě TOP, protože se jedná o SMD součástku. Signálová cesta byla navržena v programu[8] a je tvořena čarou o síle 1,2 mm s izolací 2 mm po obou stranách z důvodů dosažení přírodního 50-ti ohmového odporu. Odpor při použití těchto rozměrů cest a izolační vrstvy činí 53,9 Ω . Tato hodnota je vyhovující. Pouzdro obvodu bylo rovněž navrženo ve vlastní knihovně podle rozměrů udávaných výrobcem. Celá deska je proložena polygonem, který je spojen se zemí a spolu se spodní vrstvou, rovněž spojenou se zemí, tvoří mikropáskový přívod. Na Obr. 14 je vyobrazena vytvořená deska plošných spojů z vrchní strany - TOP vrstva. Vrstva spodní, nebo-li BOTTOM není vyobrazena.



Obr. 14: DPS násobiče s obvodem HMC189

Deska má vnější rozměry 60 x 40 mm a před opracováním byla natřena ochranným lakem. Předloha není v měřítku 1:1, proto ji nelze použít při výrobě desky.

3.1.3. Sestavení násobiče

DPS byla opracována a upravena pro připojení konektorů. Byly provrtány a vyrobeny prokovy na desce za pomoci měděných vodičů v zemním polygonu podél obou přívodních cest k integrovanému obvodu. Násobič byl opatřen krabičkou z pocínovaného plechu vyrobené přesně podle rozměrů desky. Jako konektory pro připojení byly vybrány N konektory (Obr. 15) na panel, které byly následně přišroubovány na boční strany krabičky. Hotová deska se nakonec připájela ke konektorům a ke všem bočním stěnám, ke kterým doléhá, aby bylo dosaženo příčného odstínění a propojení zemí.

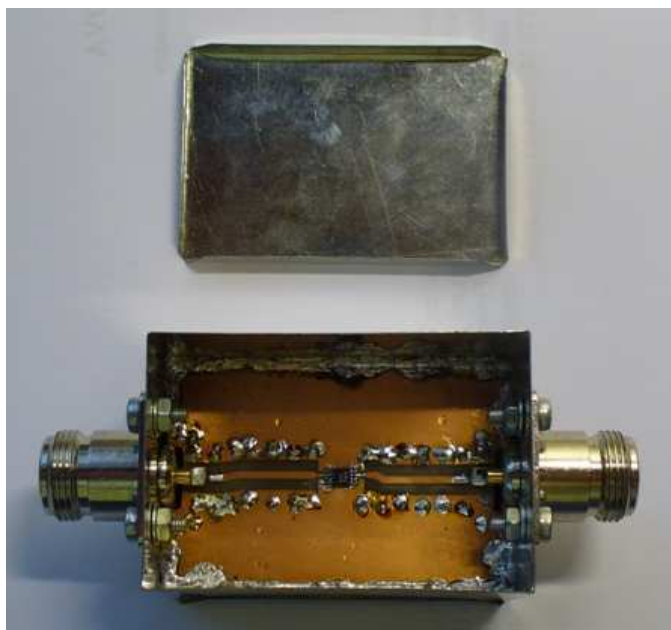


Obr. 15: N konektor na panel

Krabička má jednoduchou konstrukci a odnímatelný vrchní kryt z důvodu snadného přístupu na desku v případě úprav. Hotový násobič má rozměry 4 x 4 x 6 cm (šířka x výška x hloubka). Násobič je zobrazen na Obr. 16, na Obr. 17 pak vnitřní uspořádání.



Obr. 16: Celkový pohled na násobič s HMC 189MS8



Obr. 17: Vnitřní pohled na násobič.

3.2. Měření násobiče

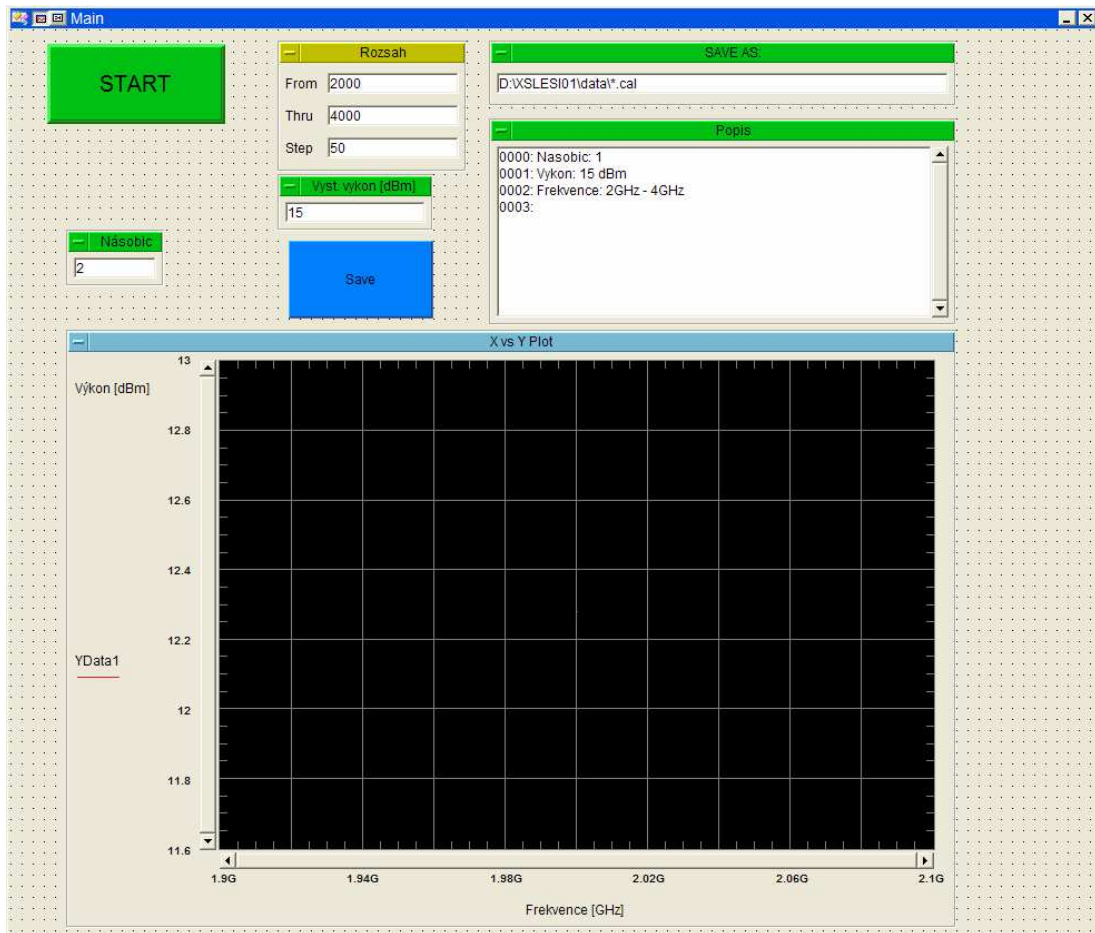
Násobič byl změřen ve školní laboratoři. Bylo navrženo automatizované měření v prostředí Agilent VEE [11]. V tomto prostředí je automatické měření vytvořeno a naprogramováno velmi snadno, neboť samotné programování probíhá grafickou formou. Na hlavní okno programu - pracovní plochu - jsou z knihoven vkládány jednotlivé objekty, ve kterých se definují příkazy ovládající a komunikující s měřicími přístroji. Celá komunikace mezi počítačem a přístroji se přenáší po sběrnících. Na výběr máme několik možností: USB, RS-232, GPIB případně LAN. V obslužném programu bylo navrženo ukládání naměřených dat do souborů pro pozdější snadné zpracování. Snadná manipulace s obslužným programem a nastavování rozsahů je umožněno v hlavním pracovním okně - panelu viz Obr. 18. Na následujících čtyřech obrázcích Obr. 19 až Obr. 22 je vyobrazeno navržené automatizované měření na pracovní ploše, kde jsou rozloženy a propojeny jednotlivé objekty. Po seznámení s prostředím VEE byly jednotlivé příkazy upraveny pro použití měřicích přístrojů.

Při měření byly použity tyto přístroje:

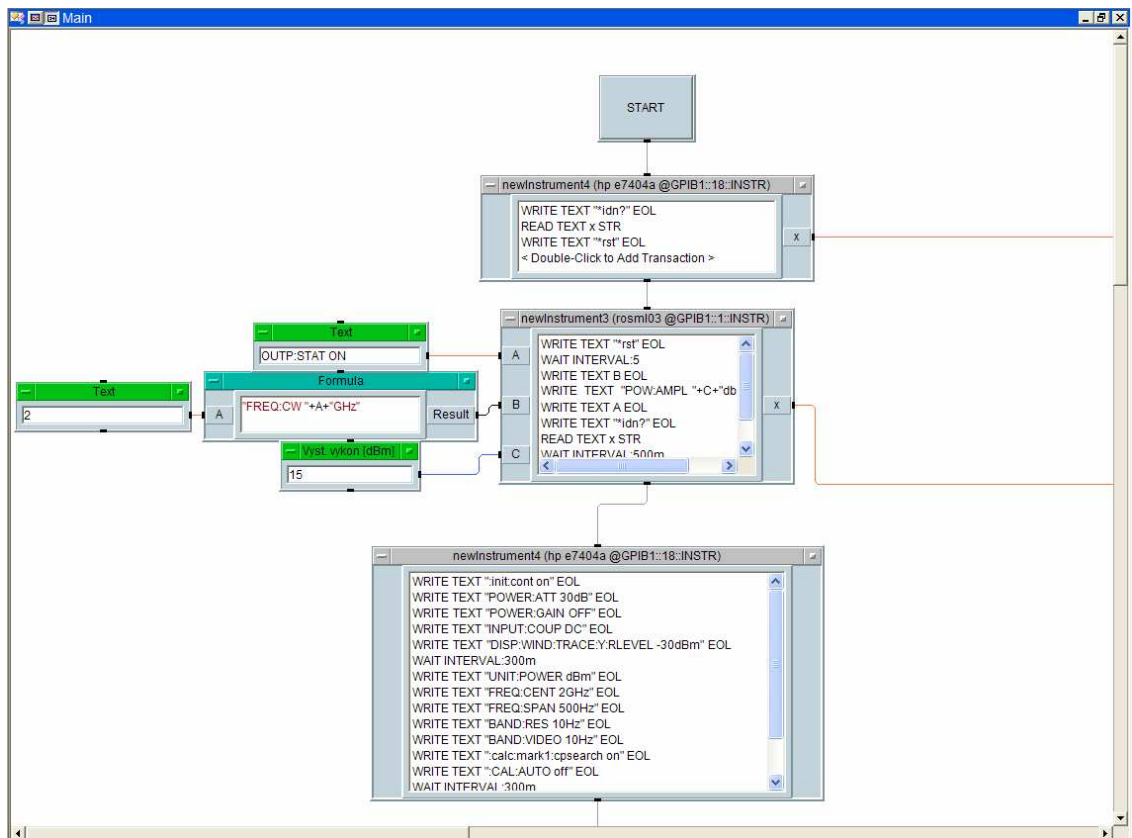
- Generátor HEWLETT-PACKARD 83752A;
- Spektrální analyzátor Agilent EXA N9010A;
- Vývojové prostředí Agilent VEE;
- Obslužný počítač, přívodní a propojovací vodiče.

Generátor HP 83752A disponuje plynulým nastavením frekvence od 10 MHz do 20 GHz a úrovně signálu až do výkonu 17 dBm. Tento generátor plně vyhovuje ke změření potřebných hodnot.

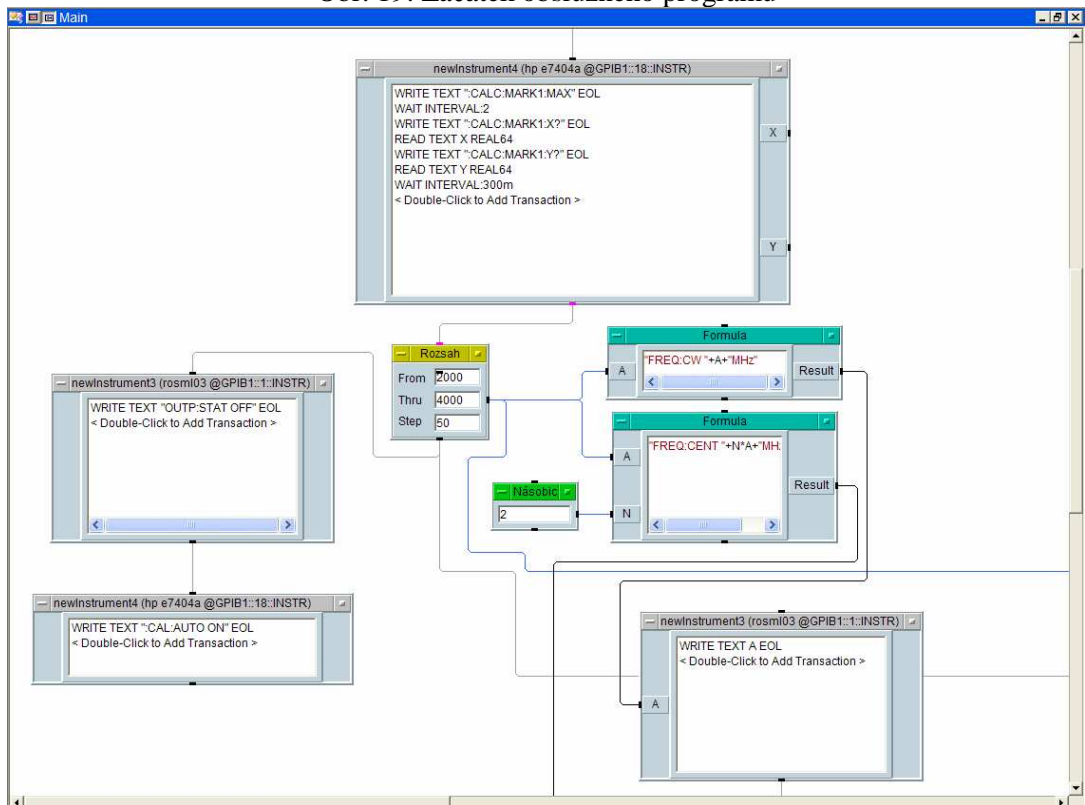
Spektrální analyzátor Agilent N9010A má vysokou citlivost a pracuje až do frekvence 26,5 GHz; proto je vhodný pro proměření násobiče, včetně možnosti proměřit všechny harmonické složky násobiče a určit tak jejich útlum. Součástí analyzátoru je vnitřní nastavitelný útlumový člen - atenuátor, který zmenší úroveň signálu před samotným analyzováním, aby nedošlo k poškození přístroje a správnému vyhodnocení.



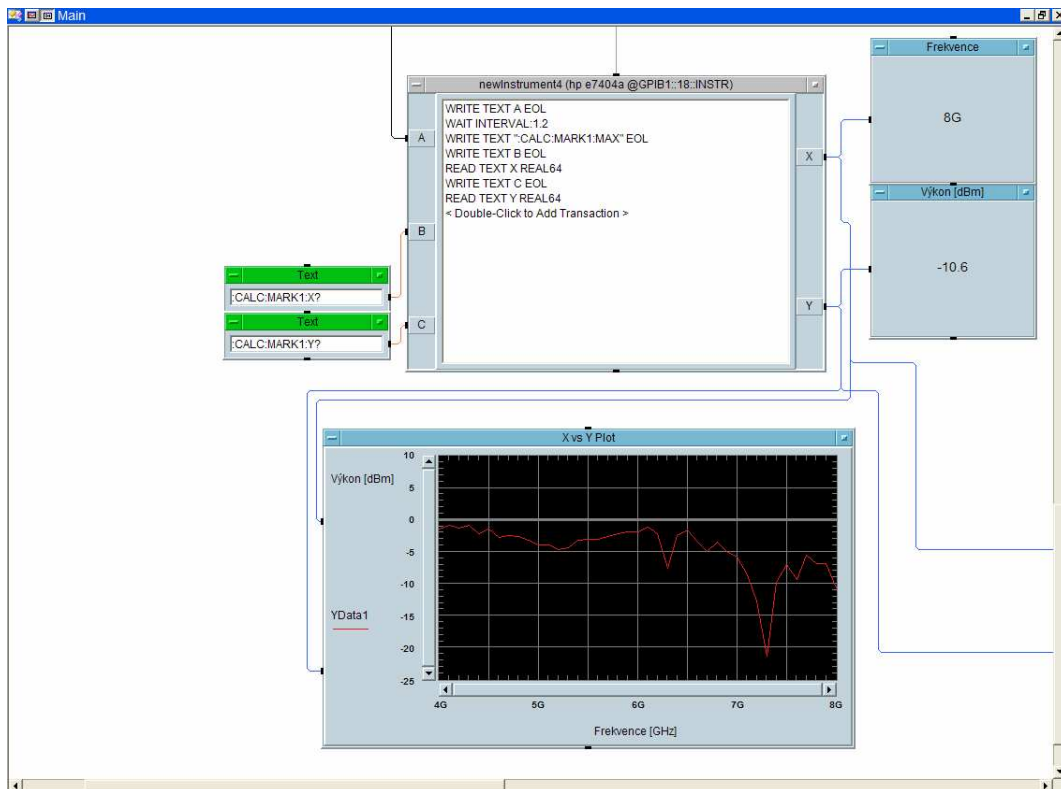
Obr. 18: Hlavní obslužný panel



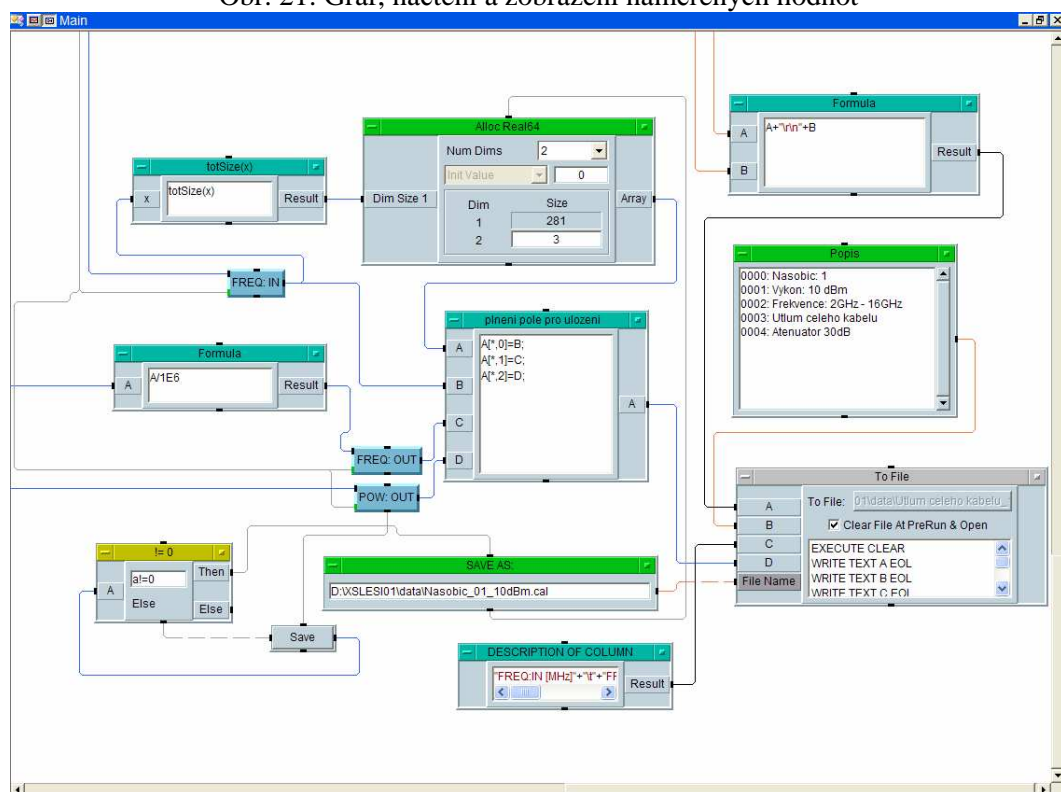
Obr. 19: Začátek obslužného programu



Obr. 20: Pokračování programu, definování měřicího rozsahu



Obr. 21: Graf, načtení a zobrazení naměřených hodnot



Obr. 22: Ukládání hodnot do souboru

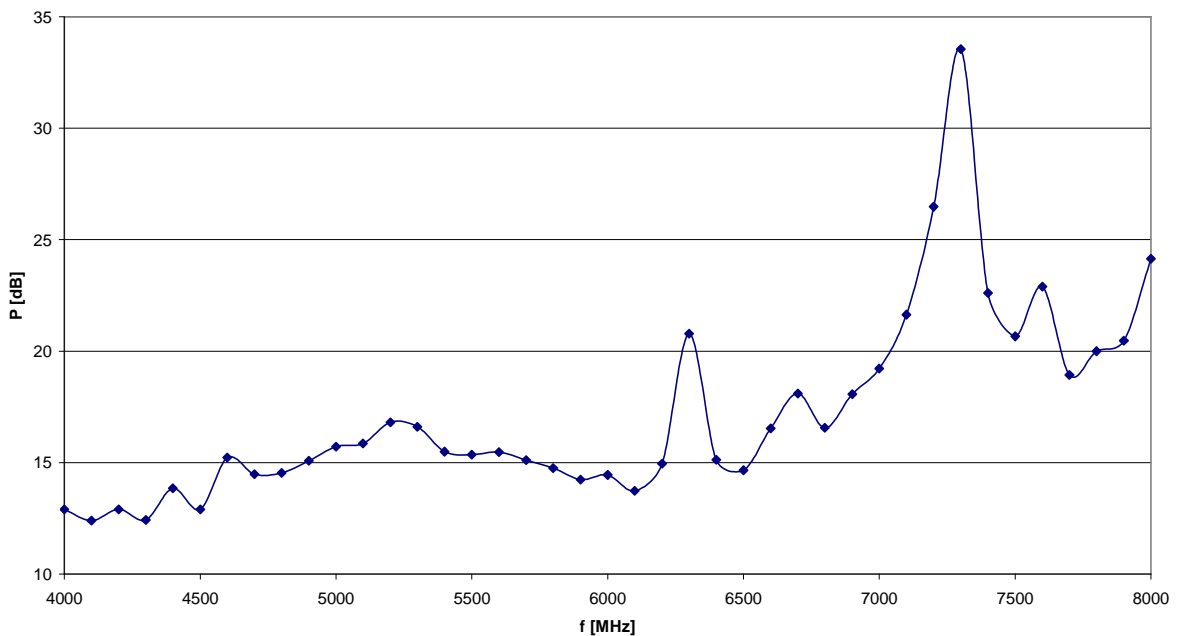
3.2.1. Měření konverzních ztrát

Měření bylo navrženo tak, aby po zadání měřicího rozsahu frekvencí a násobícího činitele na hlavním panelu, došlo ke změření 2. harmonické složky signálu

na výstupu násobiče. Zároveň je zde okno pro nastavení úrovně vstupního výkonu, popis měření a uložení dat do souboru.

Konverzní ztráty se měřily pro rozsah vstupních frekvencí 2 až 4 GHz ve třech výkonových úrovních: 10, 13, 15 dBm. Výstupní rozsah potom činil 4 až 8 GHz. Data byla uložena a následně zpracována do souborů podle již uvedených výkonů. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího měření, byly změřeny útlumy vstupního a výstupního vodiče spolu s propojkou a tyto útlumy byly poté odečteny od naměřených hodnot. Nejlepších výsledků dosahoval násobič pro vstupní výkon 15 dBm viz Obr. 23. Výrobce udává konverzní ztráty 13 až 17 dB a porovnáním s naměřenými hodnotami bylo zjištěno, že na určitých frekvencích dochází ke zvětšení konverzních ztrát i o několik dB a pro kmitočet 7,3 GHz až o 20 dB. Avšak u ostatních frekvencí v celém rozsahu konverzní ztráty odpovídají údajům výrobce a liší se jen nepatrně.

KONVERZNÍ ZTRÁTY (15 dBm)



Obr. 23: Změřené konverzní ztráty pro výkon 15 dBm

Jako příčina vzniku těchto odlišností se jeví vlastní rezonance navržené krabičky. Po vložení rozměrů krabičky a hodnot vybuzených vidů do vzorce pro dutinový rezonátor,

$$f = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{y}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2} \quad (3.1)$$

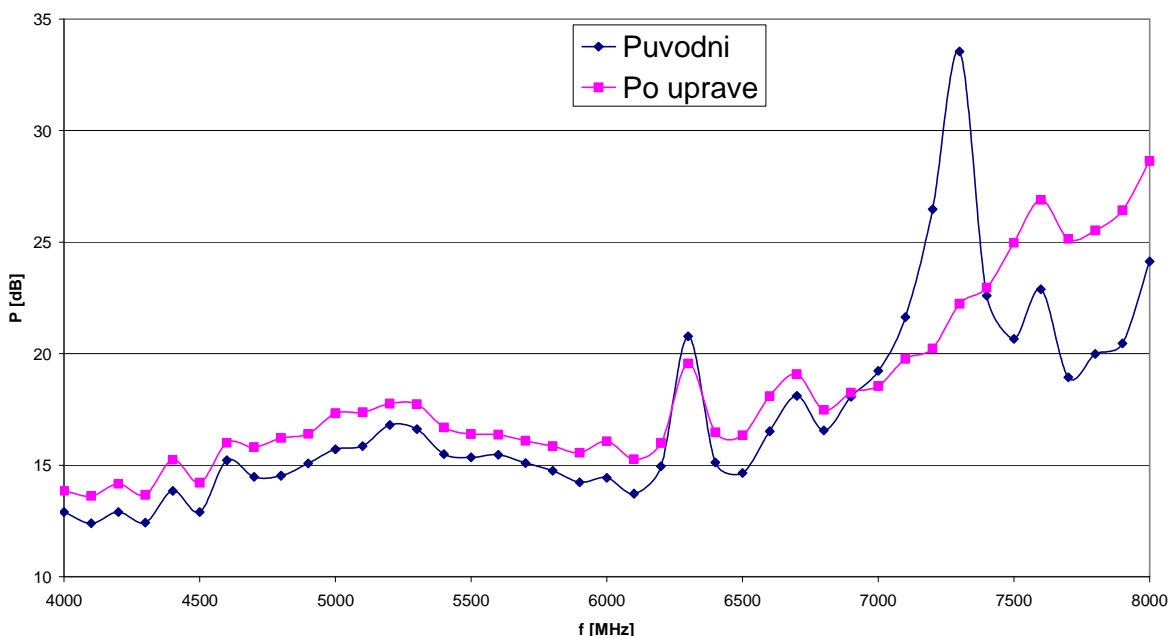
kde $x = 59$ mm; $y = 40$ mm; $z = 22$ mm; $c = 3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹, bylo zjištěno několik rezonančních kmitočtů, které se pohybují ve výstupním pracovním rozsahu kmitočtů násobiče viz Tab 3.

Tab 3: Rezonanční kmitočty

Vidy rezonátoru			f [GHz]
M	N	P	
1	1	0	4,531
0	1	1	7,781
1	0	1	7,277
1	1	1	8,186
2	1	0	6,318
1	2	0	7,919
0	2	1	10,136
0	1	2	14,143
2	0	1	8,505
1	0	2	13,871
2	1	1	9,295

Po zvážení možností úpravy násobiče byla zvolena varianta vložení kusu tlumícího materiálu (Obr. 25), který se používá k eliminaci odrazů v bezodrazových komorách, dovnitř krabičky směrem k integrovanému obvodu. U některých frekvencí došlo k výraznému zlepšení konverzních ztrát, přesněji u kmitočtu 7,3 GHz. Celkově však se konverzní ztráty nepatrně zhoršily na celém rozsahu přibližně o 2 dB, u posledních 500 MHz z rozsahu až o 5 dB viz Obr. 24.

KONVERZNÍ ZTRÁTY (15 dBm)



Obr. 24: Změřené konverzní ztráty pro výkon 15 dBm po úpravě násobiče - porovnání

Jako nejvhodnější řešení pro redukci rezonančních kmitočtů by bylo vhodné vyrobení nové krabičky s rozměry, jež by eliminovali vznik těchto frekvencí, ovšem

vzhledem k možné realizaci a sestavení násobiče. Bylo by nutné vyrobit i novou DPS v rozměrech vyhovujících krabičce. S malými rozměry krabičky by však nastal problém s připojením konektorů, jelikož ty mají danou určitou standardní velikost. Celý násobič by se musel patřičně upravit, aby nedocházelo ke zvětšování konverzních ztrát. Nová realizace bude provedena a v navrhované laboratorní úloze pak studenti budou moci porovnat vliv vlastní krabičky násobiče na průběh konverzních ztrát v obvodu vzorcích.

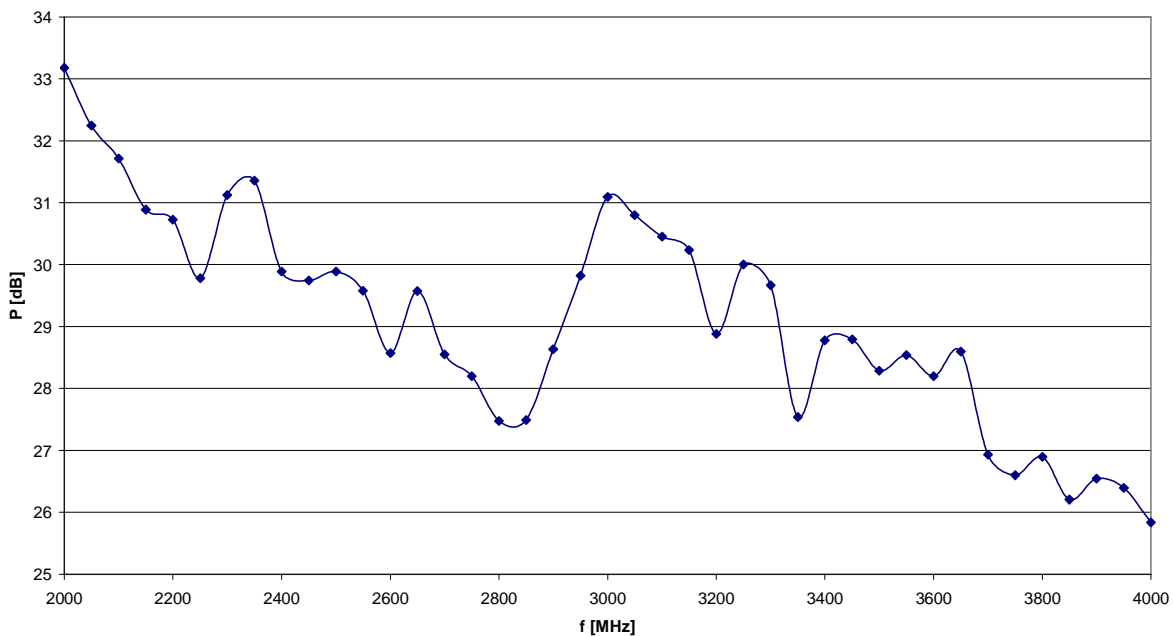


Obr. 25: Použitý absorpční materiál

3.2.2. Měření izolací

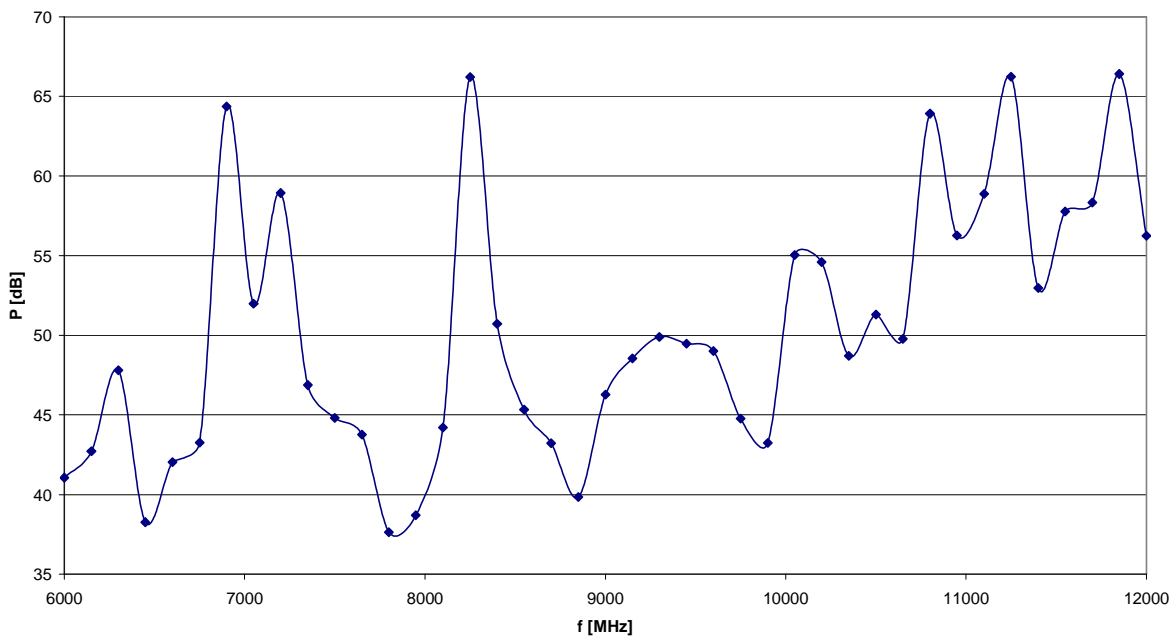
Měření izolací je založeno na podobném principu jako u konverzních ztrát. Na vstup násobiče je přiveden signál v rozsahu frekvencí od 2 do 4 GHz, opět ve třech úrovních výkonu, ale na výstupu jsou měřeny 1., 3. a 4. harmonická složka signálu, tedy rozsahy 2 až 4 GHz; 6 až 12 GHz a 8 až 16 GHz. Data jsou uložena do souborů podle jednotlivých harmonických složek a výkonů pro jejich snadnou manipulaci s nimi a jejich zpracování. U všech měření byl odečten útlum vodičů a spojky z důvodů dosažení nezkreslených výsledků. Výrobce doložené hodnoty izolací od 29 do 40 dB byly překonány. I zde se projevují rezonanční kmitočty krabičky, nicméně u izolací není potřeba je eliminovat, neboť větší hodnota izolace zlepšuje funkčnost násobiče a čistotu výstupního signálu. Na obr. Obr. 26, Obr. 27 a Obr. 28 jsou uvedeny průběhy izolací jednotlivých harmonických složek.

IZOLACE 1. HARMONICKÉ SLOŽKY (15dBm)



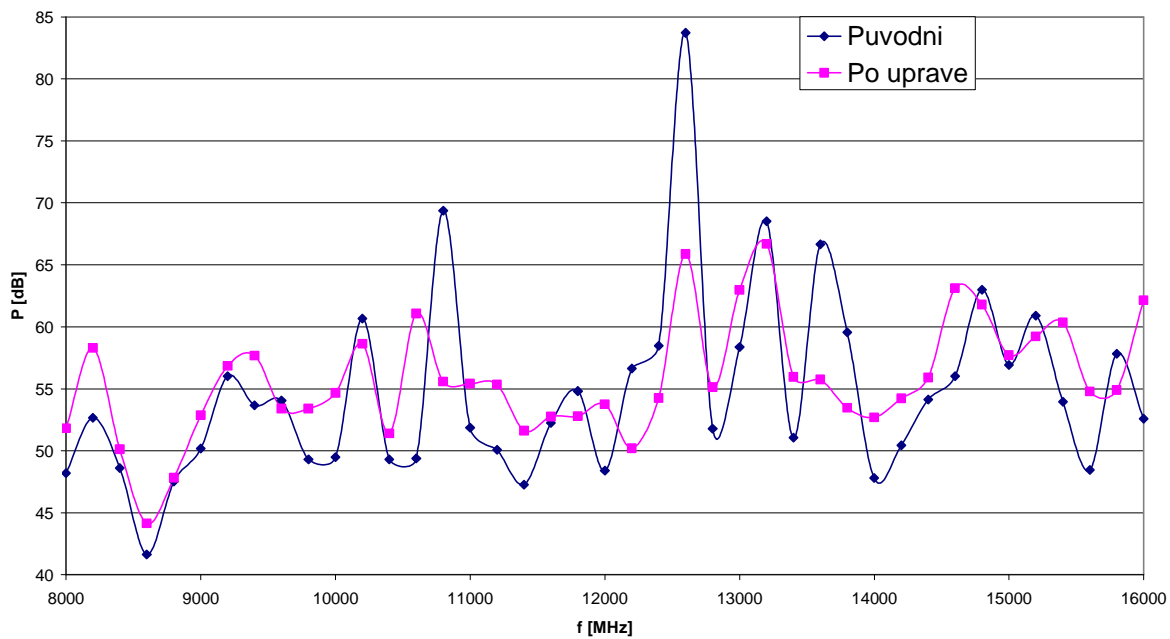
Obr. 26: Izolace 1. harmonické složky, výkon 15 dBm

IZOLACE 3. HARMONICKÉ SLOŽKY (15dBm)



Obr. 27: Izolace 3. harmonické složky, výkon 15 dBm

IZOLACE 4. HARMONICKÉ SLOŽKY (15dBm)



Obr. 28: Izolace 4. harmonické složky, výkon 15 dBm, porovnání po úpravě

3.3. Realizace násobiče - 2. vzorek

Po zjištění přítomnosti rezonančních kmitočtů ve výstupním pracovním rozsahu násobiče, bylo zapotřebí tyto kmitočty eliminovat. Prvním návrhem na odstranění nežádoucí rezonance bylo vložení kusu izolačního materiálu z bezodrazových komor avšak bez uspokojivého výsledku. Bylo proto navrženo vyrobení úplně nového vzorku násobiče s obvodem Hittite HMC189 s přihlédnutím na tyto rezonance.

3.3.1. Schéma, DPS a sestavení násobiče

Jako schématu i desky plošných spojů pro výrobu nového násobiče byly použity návrhy z předchozího vzorku viz Obr. 13, Obr. 14 se stejnými parametry (rozměry) vodivých cest i polygonů. Materiálem byl opět ARLON 25N. Deska byla upravena pro vložení do nové krabičky a patřičně opracována, byly vyrobeny prokovy z měděného vodiče v zemním polygonu podél signálových cest. Pro eliminaci rezonance bylo nutné vyrobení krabičky o vhodných rozměrech. Podle vzorce pro dutinový rezonátor

$$f = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{y}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2} \quad (3.1)$$

se rozměry x,y,z postupně upravovaly tak, aby výsledná rezonance se nacházela mimo výstupní pásmo násobiče (2. harmonická složka) viz Tab 4. Bylo docíleno konečných rozměrů krabičky: délka = 33 mm; výška = 20 mm; šířka = 20 mm (pro vzorec dutinového rezonátoru x = 33 mm; y = 10 mm; z = 20 mm).

Tab 4: Rezonanční kmitočty nové krabičky.

Vidy rezonátoru			f [GHz]
M	N	P	
1	1	0	9,014
0	1	1	16,771
1	0	1	15,811
1	1	1	17,500
2	1	0	12,500
1	2	0	15,811
0	2	1	21,213
0	1	2	30,923
2	0	1	18,028
1	0	2	30,414
2	1	1	19,526
1	2	1	21,794
1	1	2	31,325
1	2	2	33,912
2	2	1	23,452
2	1	2	32,500

Krabička má jednoduchou konstrukci a byla vyrobena z pocínovaného plechu. Vrchní i spodní kryt je odnímatelný. Z důvodu malých rozměrů nového vzorku byly pro připojení k vodičům použity SMA konektory na panel viz Obr. 29,

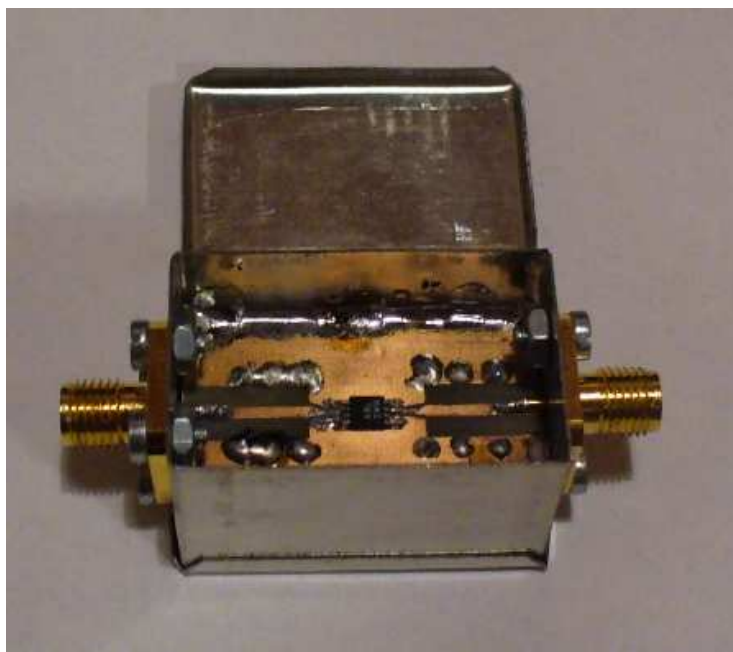


Obr. 29: SMA konektor na panel

které byly přišroubovány (šroub M 2,5 x 5; matka M 2,5) na boční stěny a následně připájeny na patřičné pájecí plošky na desku plošných spojů. Deska se nakonec připájela k bočním stěnám krabičky, aby bylo dosaženo optimálního spojení se zemním polygonem a tudíž i odstínění celého násobiče. Na Obr. 30, respektive Obr. 31 je zobrazen nový vzorek násobiče a jeho vnitřní uspořádání.



Obr. 30: Celkový pohled - nový vzorek násobiče



Obr. 31: Vnitřní pohled na násobič

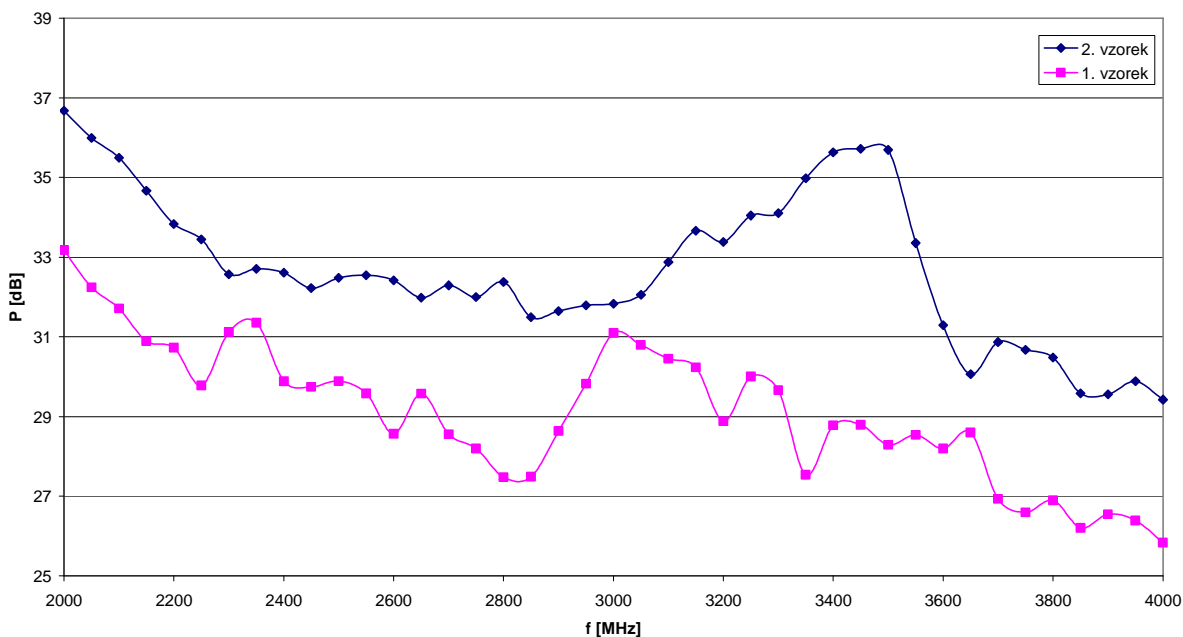
3.3.2. Měření násobiče

Kvalitu nového vzorku bylo nutné ověřit měřením, které bylo opět provedeno ve školní laboratoři, za pomoci již vytvořeného automatizovaného programu v prostředí Agilent VEE. Jako měřicí přístroje byly použity:

- Generátor Agilent 83752A;
- Spektrální analyzátor Agilent EXA N9010A;
- Vývojové prostředí Agilent VEE;
- Obslužný počítač, přívodní a propojovací vodiče.

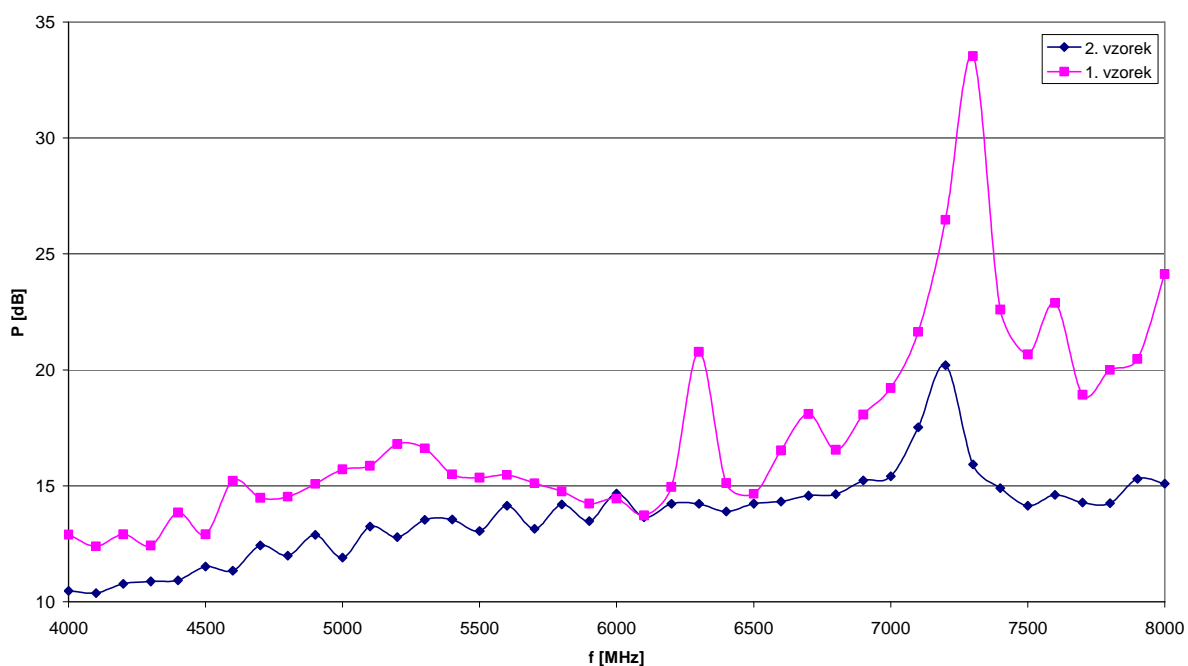
Měření bylo provedeno ve třech výkonových úrovních pro vstupní signál: 10, 13 a 15 dBm o frekvenci 2 až 4 GHz. Na výstupu násobiče se měřily konverzní ztráty - 2. harmonická složka (4 až 8 GHz) a izolace nežádoucích složek signálu - 1. harmonická (2 až 4 GHz), 3. harmonická (8 až 12 GHz) a 4. harmonická (12 až 16 GHz). Jednotlivé hodnoty byly automaticky ukládány do souborů pro jejich pozdější snadnější zpracování. Takto získaná data byla rozříděna, upravena a přehledně uspořádána. Posledním krokem bylo zanesení těchto hodnot do grafů spolu s hodnotami s předchozího vzorku pro vzájemné porovnání a určení kvality nového vzorku násobiče viz Obr. 32, Obr. 33, Obr. 34 a Obr. 35.

IZOLACE 1. HARMONICKÉ SLOŽKY (15 dBm)



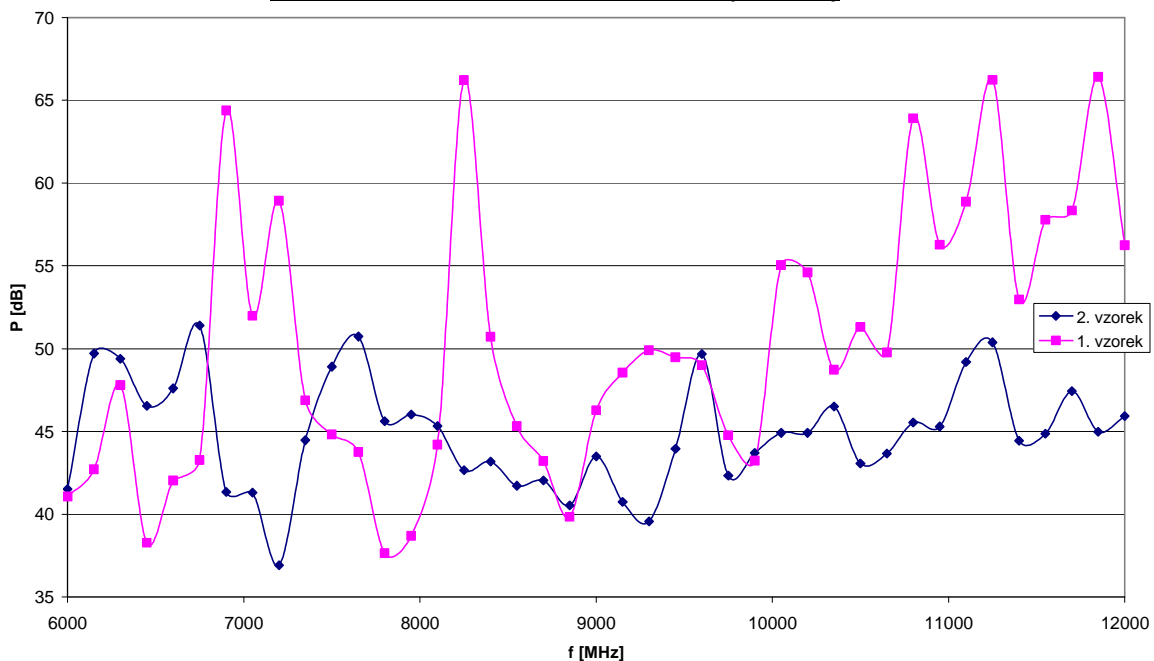
Obr. 32: Izolace 1. harmonické složky - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem

KONVERZNÍ ZTRÁTY (15 dBm)



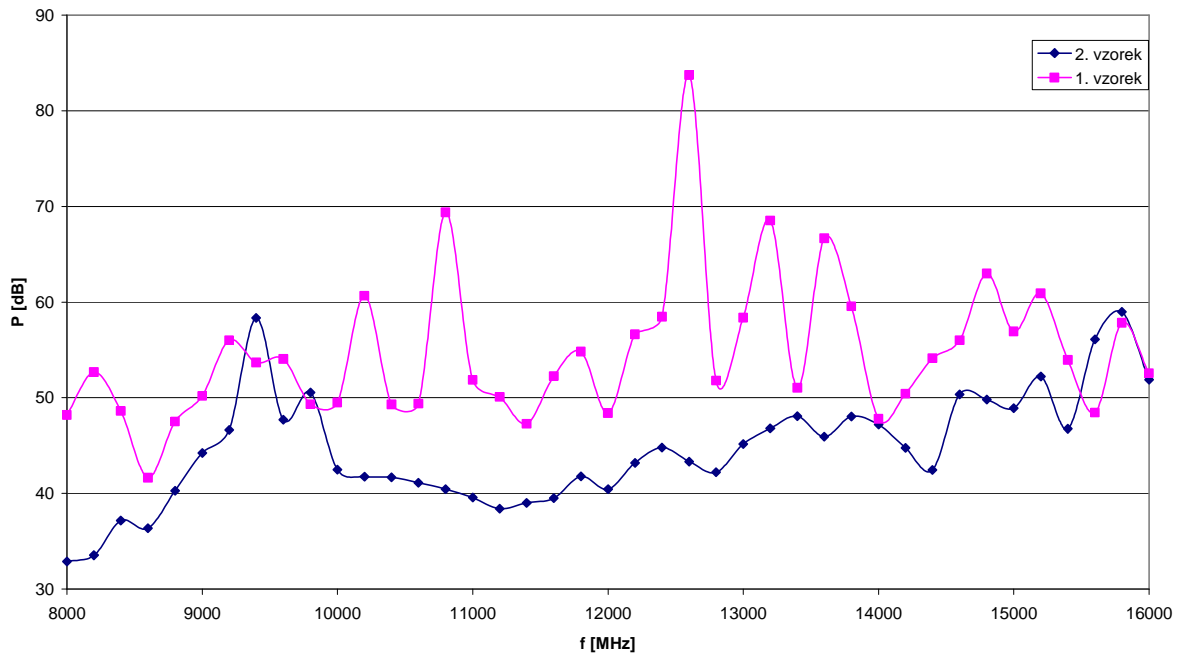
Obr. 33: Konverzní ztráty - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem

IZOLACE 3. HARMONICKÉ SLOŽKY (15 dBm)



Obr. 34: Izolace 3. harmonické složky - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem

IZOLACE 4. HARMONICKÉ SLOŽKY (15 dBm)



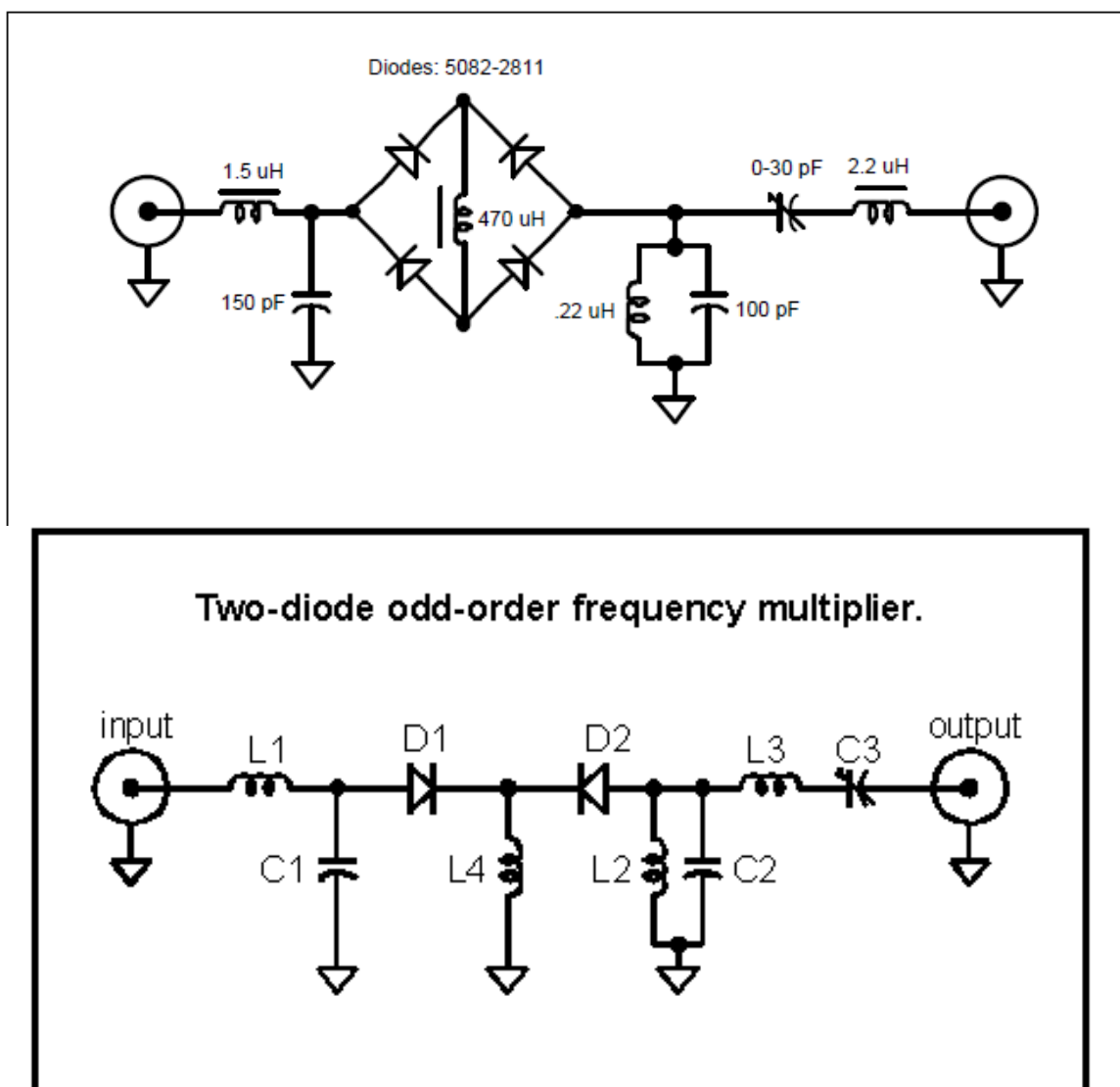
Obr. 35: Izolace 4. harmonické složky - vst. výkon 15 dBm, porovnání s prvním vzorkem

Fialový průběh ukazuje hodnoty z původního vzorku, modrý průběh pak z nového vzorku. Z jednotlivých grafů je patrné, že se u nového násobiče jednotlivé průběhy ustálily, hodnoty již tolik nekolísají a mají stabilnější charakteristiku. Izolace jednotlivých harmonických složek (1., 3. a 4.) vykazují nepatrně nižší hodnoty, kromě 1. harmonické, kde došlo ke vylepšení izolace, avšak při srovnání s hodnotami od výrobce je sestavený násobič kvalitnější, kvalitněji potlačuje nežádoucí složky. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u konverzních ztrát, kdy výstupní signál je oproti vstupnímu signálu méně potlačen, proto můžeme na výstupu násobiče naměřit vyšší výkon než u prvního vzorku násobiče, zejména při vstupním výkonu 15 dBm.

Je tedy patrné, že výrobou nového násobiče, především jeho krabičky, bylo dosaženo mnohem lepších výsledků a nový vzorek je mnohem kvalitnější, navíc jeho parametry, především konverzní ztráty vykazují lepší hodnoty než jaké můžeme nalézt v katalogovém listu násobiče HITTITE HMC189.

4. DIODOVÝ NÁSOBIČ KMITOČTU

Dalším úkolem bylo sestavení násobiče pomocí diskretních součástek, zejména polovodičových diod spolu s příslušnými přizpůsobovacími obvody - filtry. Z teorie polovodičů a polovodičových součástek je známo, že dioda je nelineární prvek, proto po přivedení střídavého periodického signálu na vstupní svorky, objeví se na výstupních svorkách jednotlivé harmonické složky signálu, ze kterých vybíráme námi potřebný signál pomocí výstupních filtrů tvořených především tlumivkami a kondenzátory. Filtry jsou typu dolní propust DP, horní propust HP, pásmová propust PP. Bylo prostudováno několik možností, které jsou zobrazeny na následujícím obrázku. (Obr. 36)



Obr. 36: Diodové násobiče [10]

Jako nejvhodnější řešení k realizaci byl vybrán horní násobič na Obr. 36 tvořený ze Schottkyho diod zapojených v můstku. Ty svými parametry a vlastnostmi vyhovují pro konstrukci násobičů frekvence.

4.1. Realizace a schéma diodového násobiče

Zvolený diodový násobič [9] musel být přepracován na zvolený vstupní a výstupní kmitočet. Jelikož se jedná o násobič 3x a jeho vstupní frekvence byla zvolena 250 MHz, výstupní frekvence tedy činí 750 MHz (3. harmonická složka). U jednotlivých filtrů musely být přepočítány hodnoty tlumivek a kondenzátorů na novou rezonanční frekvenci podle Thomsonova vztahu:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}} \text{ [Hz, H, F]} \quad (4.1)$$

a odtud výpočet:

$$L \cdot C = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \right)^2 \text{ [H} \cdot \text{F, Hz]} \quad (4.2)$$

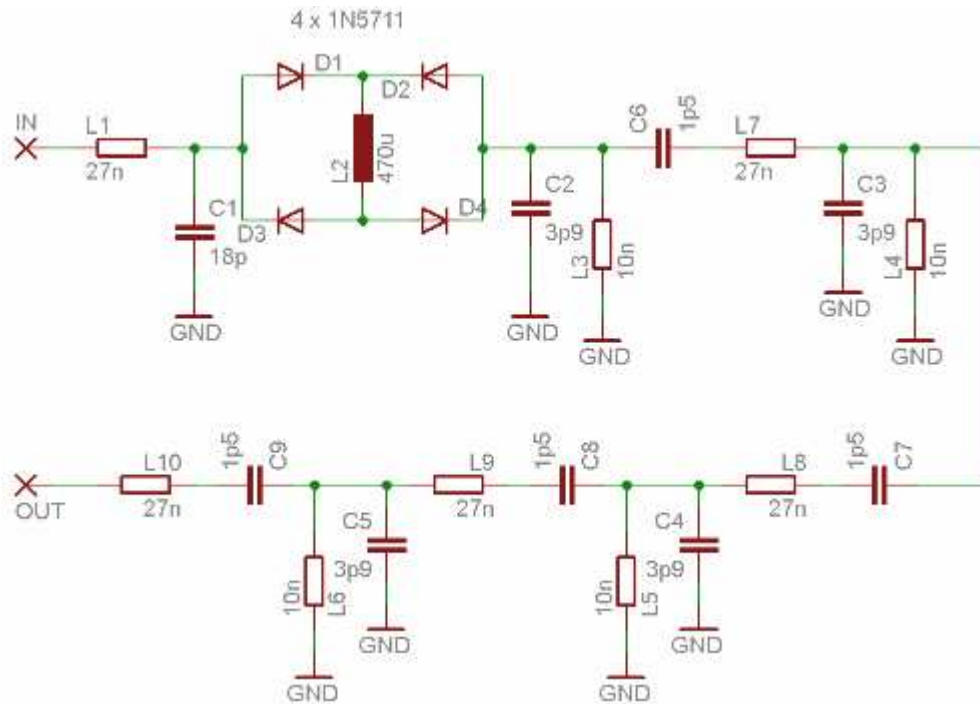
Jelikož elektrotechnické součástky se vyrábějí pouze v daných řadách hodnot, byly vybrány ty, které se svými jmenovitými hodnotami nejvíce přibližují vypočítaným. Dalším kritériem pro výběr vhodného kondenzátoru/tlumivky byla strmost daného filtru a tím i kvalita celého násobiče. Vstupní a výstupní filtry byly z tohoto důvodu odsimulovány v programu OrCAD PSpice pro dosažení uspokojivých hodnot.

Vstupní filtr typu dolní propust je tvořen tlumivkou 27 nH a kondenzátorem 18 pF. Na tento filtr nejsou kladeny tak velké nároky, neboť o správnou selektivitu se stará výstupní filtr. Filtr plní funkci sériové rezonance a zároveň izoluje vstup od spínacích proudů tím, že disponuje malou impedancí vůči zemi [9].

Výstupní filtr je realizován jako pásmová propust (PP) 2. řádu v kaskádním zapojení (4 filtry za sebou). Jedna PP obsahuje sériové zapojení tlumivky 27 nH s kondenzátorem 1,5 pF spolu s paralelním zapojením kondenzátoru 3,9 pF a tlumivky 10 nH. Tyto součástky byly navrženy tak, aby filtr měl co největší strmost pro dosažení dobré kvality násobiče a zároveň bylo dosaženo požadované výstupní frekvence. Pro dosažení vysoké selektivity a strmosti by bylo možné zvýšit počet pásmových propustí v kaskádě, ale tím by se zároveň došlo ke zatlumení výstupního signálu na velice malou hodnotu výkonu, který by poté již nebyl dostačující pro další využití. Tato možnost by byla reálná pouze v kombinaci se zesilovačem nebo při zapojení aktivních součástek do obvodu násobiče. Další možností zvýšení strmosti by bylo zařazení součástek o menší jmenovité hodnotě, především kondenzátorů. Tyto součástky nejsou ale v dostatečném počtu za přijatelnou cenu dostupné, proto byl zvolen kompromis mezi dostupností a použitelností součástek.

Diodový můstek se skládá ze čtyř schottkyho diod, konkrétně 1N5711, které se používají pro detekci UHF a VHF signálu a tudíž jsou vhodné pro signály do frekvence 3 GHz. Původní vysokofrekvenční diody 5082-2811 se nedaly vzhledem k jejich nedostupnosti byla proto vybrána alternativa v podobě již zmiňovaných 1N5711. Mezi každými dvěma diodami je zapojena tlumivka 470 μH, která má vysokou impedanci na pracovním kmitočtu, proto na ní vzniká stejnosměrné napětí po přivedení vstupního střídavého signálu [9]. Při nízkých frekvencích postačí jakákoliv tlumivka s vysokou indukčností, při vyšších frekvencích musíme vybírat tlumivku vzhledem ke kapacitě použité diody.

Schéma bylo nakresleno a navrženo v programu EAGLE Layout Editor viz Obr. 37.

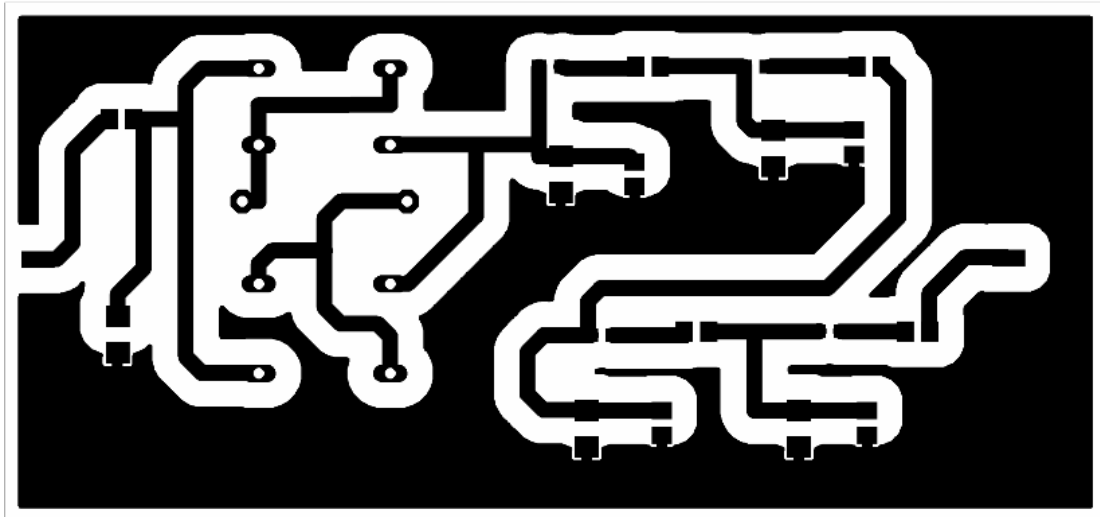


Obr. 37: Schéma diodového násobiče

Přívod signálu je obstarán pájecími ploškami PAD označenými IN, OUT. Násobič je tvořen kombinací klasických a SMD součástek, u kterých byla dostupná veškerá pouzdra.

4.2. Deska plošných spojů a sestavení násobiče

Materiálem pro výrobu desky byl opět ARLON 25N. Signálová cesta je tvořena vodičem o síle 1,2 mm s postranními izolačními mezerami 2 mm na každé straně. To vytváří již zmíněný přívodní 50 Ω odpor jak bylo uvedeno výše viz 3.1.2. Všechny SMD součástky, tedy veškeré kondenzátory a tlumivky (mimo 470 μ H) bylo zapotřebí zakreslit do jediné vrstvy č. 16 BOTTOM, protože se ale SMD součástky primárně zakreslují do vrstvy č. 1 TOP, musely se všechny převést do vrstvy BOTTOM. Použitá pouzdra součástek vycházejí ze známých řad 1206, 0603 pro kondenzátory a 0805 pro tlumivky. Spodní strana desky (vrstva TOP) je tvořena plným polygonem spojeným se zemí GND.



Obr. 38: DPS diodového násobiče

Deska viz Obr. 38 byla po výrobě upravena. Pravá část desky, kde se nachází výstup celého násobiče, byla oříznuta přesně na hranici pájecí plošky pro připojení konektorů. Nakonec byl nastříkán pájitelný lak na obě strany desky. Hotová deska má rozměry 85 x 40 mm.

Naposled byla vyrobena krabička pro tento násobič. Jako u předchozích vzorků byl i zde použit pocínovaný plech. Opět jednoduchá konstrukce s odnímatelnými kryty (vrchní i spodní). Jelikož násobič pracuje na frekvencích pod hranicí gigahertzu a při použití rozměrů desky má zhotovená krabička rozměry 80 x 40 x 40 mm, při dosazení rozměrů do vzorce pro výpočet rezonančních kmitočtů dutinového rezonátoru

$$f = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{y}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2} \quad (3.1)$$

jsou výsledné kmitočty mimo pracovní rozsah násobiče a nebylo nutné brát ohledy na rozměry krabičky při výrobě.

Tab 5: Rezonanční kmitočty diodového násobiče

Vidy rezonátoru			f [GHz]
M	N	P	
1	1	0	4,193
0	1	1	8,385
1	0	1	7,731
1	1	1	8,592
2	1	0	5,303
1	2	0	7,731
0	2	1	10,607
0	1	2	15,462
2	0	1	8,385
1	0	2	15,117

Jako konektory byl vybrán typ N na panel, které jsou přišroubovány na boční stěny (šroub M3, matka M3). Ke konektorům byla připájena DPS a ta se následně připájela ke krabičce na její boční a čelní stěny. Na Obr. 39 je znázorněn zhotovený modul násobiče.



Obr. 39: Diodový násobič

4.3. Měření

Jako u předchozích modulů byla i u toho násobiče ověřena jeho funkčnost změřením jeho parametrů. Základní automatizované měření vytvořené v prostředí Agilent VEE bylo upraveno z důvodu nekorektního měřicího rozsahu. Tento rozsah byl z původních 2 až 4 GHz převeden na rozsah 150 až 300 MHz s krokem 2 MHz. Ostatní části programu zůstaly beze změn, včetně ukládání dat do souborů a možnosti změny ostatních parametrů. Z již zmiňovaného nového rozsahu se opět měřili jednotlivé harmonické složky signálu. K měření byly použity ověřené přístroje a pomůcky:

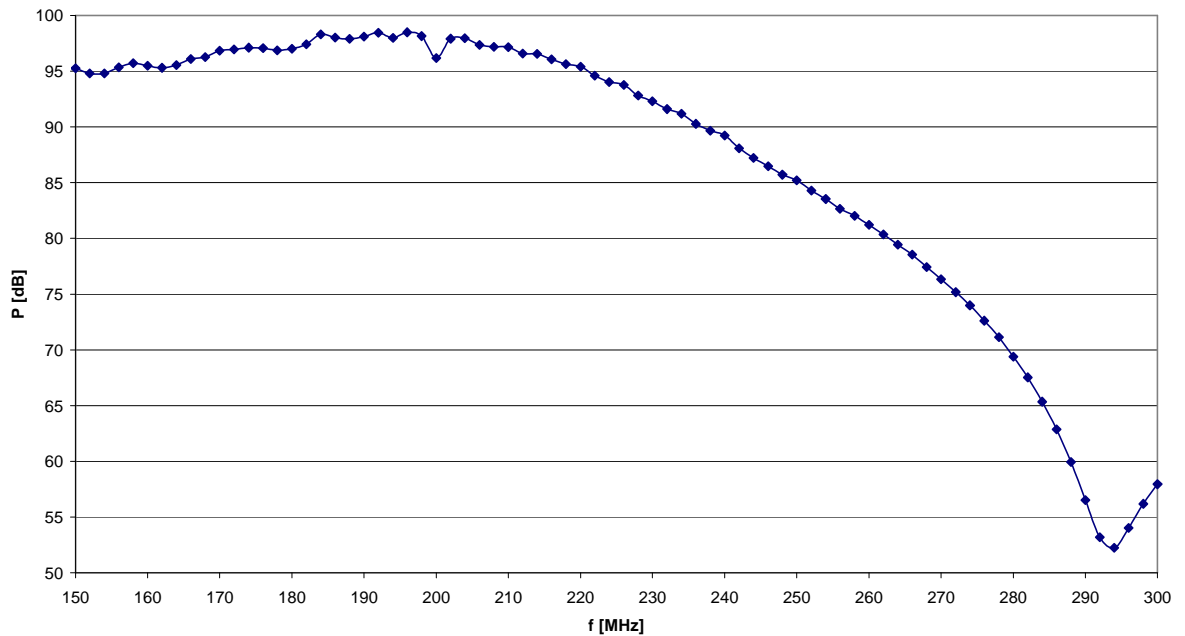
- Generátor Agilent 83752A;
- Spektrální analyzátor Agilent EXA N9010A;
- Vývojové prostředí Agilent VEE;
- Obslužný počítač, přívodní a propojovací vodiče.

Vstupní signál z generátoru měl dvě výkonové úrovně 15 a 20 dBm. Izolace jednotlivých harmonických složek byly změřeny na výstupních rozsazích: 150 až 300 MHz; 300 až 600 MHz a 600 až 1200 MHz. Konverzní ztráty pak na výstupním rozsahu 450 až 900 MHz. Dále byly změřeny útlumy použitých vodičů a propojek.

Vzhledem k tomu, že použitý generátor na výkonech přesahujících 15 dBm výrazně limitoval a při nastavení výkonu 20 dBm bylo po změření útlumu vodičů zjištěno, že skutečný vstupní výkon do násobiče se liší jen nepatrně od výkonu použitého při nastavení 15 dBm na generátoru, jsou vstupní hodnoty výkonu při těchto dvou úrovních dosti podobné. Maximální odchylka činí 0,504 dB. Pro kvalitnější měření by bylo nutné použití zesilovače, který by dostatečně zesílil signál přivedený na násobič.

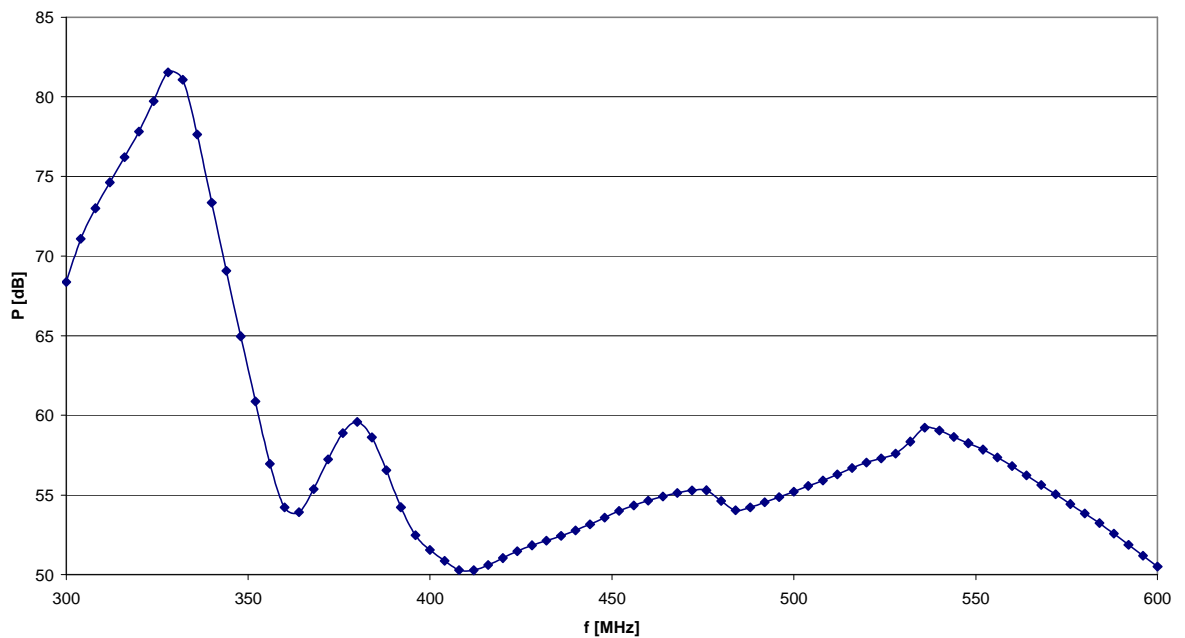
Všechna data po uložení do souborů byla zpracována poté zanesena do příslušných grafů. Na následujících obrázcích Obr. 40 Obr. 41 Obr. 42 Obr. 43 jsou zobrazeny jednotlivé změřené průběhy pro vstupní výkon 20 dBm.

IZOLACE 1. HARMONICKÉ SLOŽKY (20 dBm)



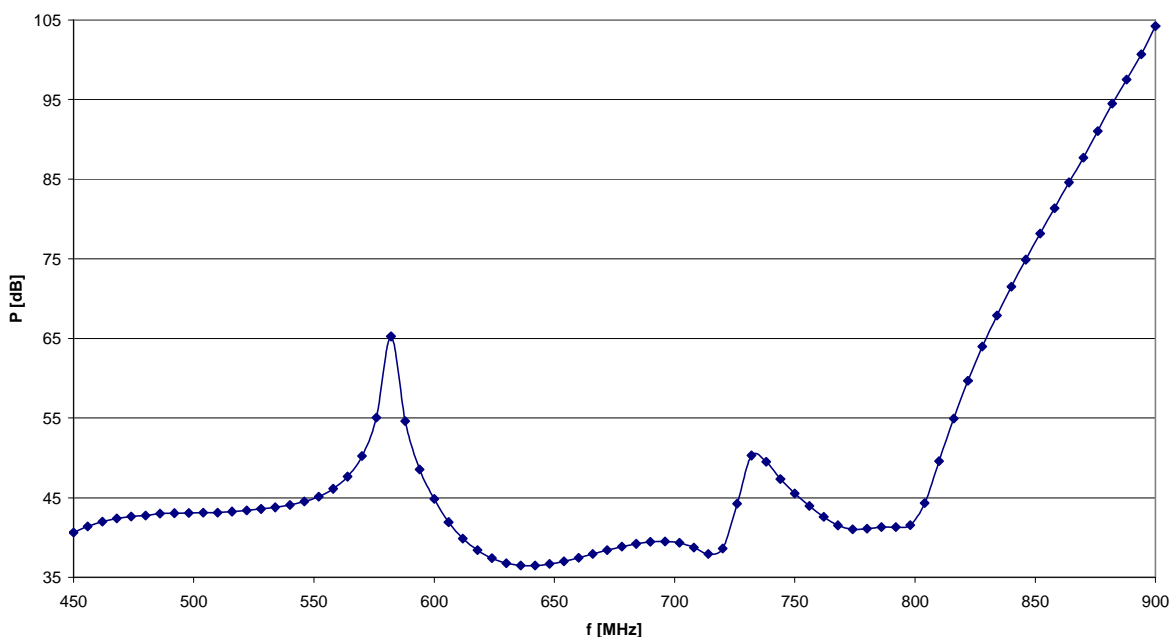
Obr. 40: Izolace 1. harmonické složky diodového násobiče

IZOLACE 2. HARMONICKÉ SLOŽKY (20 dBm)



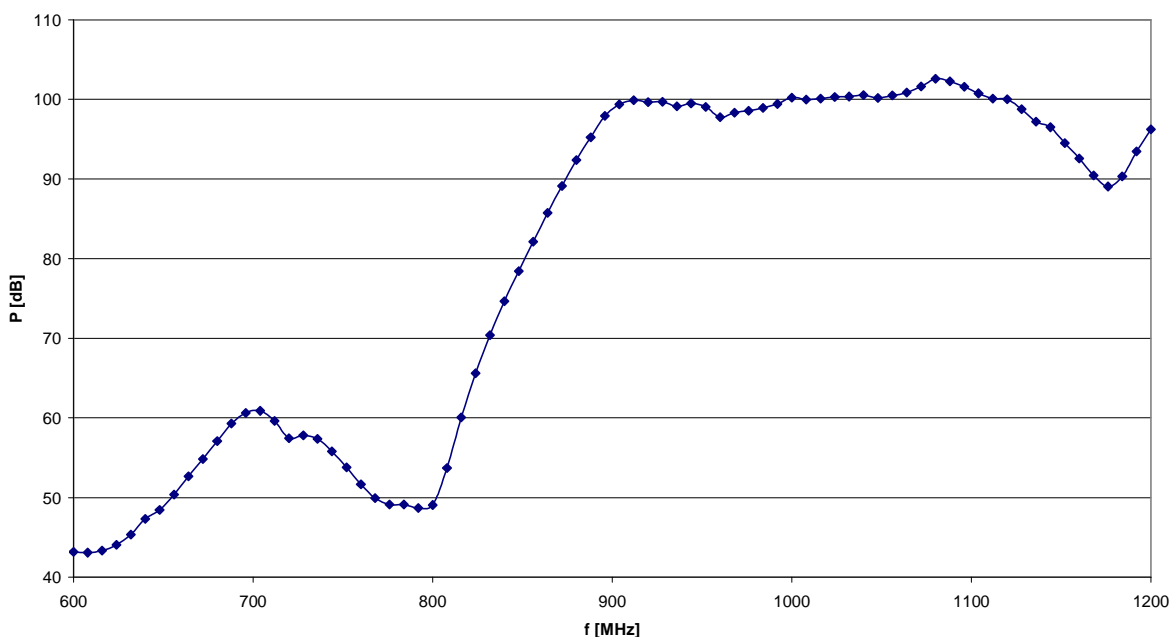
Obr. 41: Izolace 2. harmonické složky diodového násobiče

KONVERZNÍ ZTRÁTY (20 dBm)



Obr. 42: Konverzní ztráty diodového násobiče

IZOLACE 4. HARMONICKÉ SLOŽKY (20 dBm)



Obr. 43: Izolace 4. harmonické složky diodového násobiče

Srovnáním všech grafů bylo docíleno několika výsledků. Diodový násobič vykazuje i po přivedení vstupního výkonu 20 dBm, respektive 15 dBm, poměrně značné ztráty způsobené použitím pasivních součástek a především diodového můstku, kde signál postupně prochází vždy dvojicí diod, na kterých dochází k největším ztrátám. Další ztráty jsou způsobeny zapojením filtrů do obvodu, především kaskádou čtyř pásmových propustí na výstupu.

Izolace jednotlivých harmonických složek se pohybuje od 50 do 100 dB, což by bylo uspokojivé číslo, ale vzhledem ke konverzním ztrátám v rozmezí 36 až 45 dB, s patrnými odchylkami u některých kmitočtů, neukazují tyto hodnoty na dobrou kvalitu diodového násobiče.

Za výstupní rozsah diodového násobiče lze označit rozmezí frekvencí 620 až 800 MHz, kdy konverzní ztráty dosahují nejmenších hodnot. Na frekvencích pod 600 MHz je hodnota konverzních ztrát vyšší, přesněji 42 až 46 dB. Na vyšších frekvencích výstupní filtr omezuje vysokofrekvenční signál o několik desítek decibel, což ukazuje na jeho strmost. Tuto strmost je možné zvýšit, ale při použití dalších prvků do výstupní kaskády filtrů, by došlo k dalšímu omezení a zeslabení signálů, který by poté měl značně malou hodnotu pro jeho další využití. Vzhledem k jmenovitým hodnotám použitých součástek ve filtrech nemohlo být dosaženo přesné rezonance výstupního filtru, která je tímto posuta na úroveň přibližně 800 MHz podle vzorce $f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$

[Hz, H, F] (4.1).

ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo podrobně se seznámit s vlastnostmi násobičů kmitočtu, zejména možnostmi jejich realizací a měření jeho parametrů. Prozkoumat dostupné násobiče kmitočtu, vybrat vhodný základní prvek a uskutečnit jeho sestavení, zprovoznění a ověření jeho základních parametrů. Hlavní cíl spočíval v návržení, sestavení a oživení funkčního násobiče kmitočtu spolu s automatizovaným měřením jeho parametrů v prostředí VEE. Nakonec bylo součástí bakalářské práce i návržení laboratorní úlohy do předmětu Radioelektronická měření.

V první kapitole bakalářské práce je uvedeno jaké jsou různé dostupné realizace jednotlivých násobičů spolu s uvedením několika příkladů, kde všude se násobiče v elektrotechnice používají.

Druhá kapitola je zaměřena na parametry daných násobičů a způsoby jejich měření. Mezi hlavní parametry patří rozsahy pracovních kmitočtů, izolace harmonických složek a zejména konverzní ztráty. U jednotlivých parametrů jsou uvedeny příklady jejich závislostí na ostatních parametrech a některé konkrétně vybrané hodnoty s jednotkami.

Po prozkoumání nabízených možností násobičů kmitočtu, byl vybrán produkt firmy HITTITE HMC 189MS8, který svými parametry, zejména vstupním rozsahem 2 - 4 GHz a výstupním rozsahem 4 - 8 GHz, vyhovuje pro sestavení požadovaného násobiče. Jedná se o pasivní monolitický zdvojovač signálu. Mezi hlavní výhody tohoto obvodu zahrnout integraci vstupních a výstupních přizpůsobovacích obvodů do jednoho čipu. Tento násobič je pasivní, tudíž nepotřebuje napájení z externího zdroje, ale oproti tomu je z tohoto důvodu jeho nevýhodou zeslabení signálu na výstupu (konverzní ztráty). Bylo zrealizováno jednoduché schéma pro základní prvek v programu EAGLE Layout Editor a následně nakreslena předloha pro výrobu DPS. Násobič je vyroben technologií MMIC jako SMD součástka, který byl osazen do 8 pinového pouzdra MSOP. Toto pouzdro nebylo k dispozici pro návrh, proto bylo nutné jeho dodatečné zakreslení podle rozměrů výrobce. Násobič byl sestaven a opatřen vhodnou krabičkou z pocínovaného plechu s vysokofrekvenčními konektory, konkrétně konektory typu N na panel. Celá krabička má jednoduchou konstrukci. Jedním z cílů této bakalářské práce bylo změřeni a ověření parametrů násobiče kmitočtu. Úkolem bylo také ověřit parametry tohoto násobiče pomocí automatizovaného měřicího programu vytvořeného v prostředí Agilent VEE. Pro účel automatizovaného měření byl vybrán generátor Agilent 83752A, dále pak spektrální analyzátor Agilent EXA N9010A, přívodní vodiče a propojky a v neposlední řadě obslužné PC. Měřicí program obsahuje všechny potřebné kolonky pro nastavení úrovně signálu na generátoru – rozsah frekvencí a výkonovou úroveň signálu. Jako měřicí veličiny slouží nastavení příslušné harmonické složky v kolonce: NASOBIC, dále pak uloženi do zvoleného souboru: SAVE AS. Poslední možností je popis uloženi měření pro lepší orientaci v naměřených datech: POPIS. Program se ovládá jednoduchými příkazy, které lze postupně doplňovat a měnit. V případě použití jiného měřicího přístroje se pouze přednastaví jiné vstupní porty a informace, pokud je program nezvládne automaticky. Samotné měření obsahovalo změřeni výstupních parametrů – izolace harmonických složek (1.,3. a 4.) a zejména konverzních ztrát. Data byla rozříděna, zpracována a po vloženi do grafů srovnána s katalogovými hodnotami výrobce násobiče. Bylo zjištěno, že na některých kmitočtech došlo k výrazným odchylkám od udávaných hodnot,

zejména u konverzních ztrát, které byly přibližně o 5 dB až 10 dB potlačeny, především v druhé polovině výstupního rozsahu. Vložením rozměrů krabičky násobiče do vzorce pro dutinový rezonátor, se zjistilo, že výsledné rezonanční kmitočty zasahují do výstupních pracovních frekvencí násobiče a výrazně ho ovlivňují. Konzultací byla navržena možnost vložit do krabičky násobiče kus absorpčního materiálu z bezodrazových komor. Násobič byl poté opětovně změřen stejným způsobem, data byla zpracována a vložena do grafů společně s původními hodnotami. Došlo k mírnému zlepšení na exponovaných kmitočtech, celkově však násobič vykazoval stále špatné hodnoty, především u konverzních ztrát. Jako nejvhodnější varianta byla zvolena výroba nového násobiče s krabičkou, které by byly přizpůsobeny její rozměry. S použitím vzorce pro dutinový rezonátor byly určeny nové rozměry krabičky. Byla znovu vyrobena DPS podle původního návrhu, ale následné opracování bylo provedeno s ohledem na nové rozměry krabičky, která byla opět vyrobena z pocínovaného plechu. Vzhledem k malým rozměrům byly použity konektory typu SMA na panel. Nový vzorek násobiče byl poté změřen již vytvořeným programem pro automatizované měření. Data byla zpracována a vložena do grafů společně s daty prvního vzorku násobiče, aby bylo možné jejich vzájemné porovnání. Z dosažených výsledků a společných grafů je zřejmé, že nový vzorek násobiče již splňuje dané parametry, především konverzní ztráty, jeho krabička je vhodně navržena a rezonanční kmitočty jsou již eliminovány.

Dalším úkolem bylo vyrobení násobiče kmitočtu pomocí diskretních součástek. Bylo prozkoumáno několik možností a nakonec vybráno zapojení s můstkem ze schotkyho diod. Původní schéma muselo být upraveno pro potřeby využití nového kmitočtového pásma. Zvoleným středním kmitočtem je frekvence 250 MHz a jelikož se jedná násobič 3x využívající třetí harmonickou složku, výstupní frekvence činí 750 MHz. Vstupní a výstupní filtry musely být přepočítány podle Thomsonova vztahu. Vstupní filtr byl ponechán, pouze byly přepočítány jmenovité hodnoty kondezátoru a tlumivky. Výstupní filtr byl z důvodu zvýšení jeho strmosti přepracován, byly zapojeny čtyři filtry za sebou do společné kaskády. Vzhledem k tomu, že tlumivky a kondezátory se vyrábějí po řadách a menší jmenovité hodnoty nebyly dostupné, nebylo možné přesně vypočítaný filtr sestavit. Byl proto zvolen kompromis mezi dostupností možných součástek a strmostí především výstupního filtru. Filtry byly zkušebně odsimulovány v programu OrCAD PSpice. Následoval návrh schématu a DPS v programu EAGLE Layout Editor. Po vyrobení přišlo na řadu opracování desky a výroba krabičky z pocínovaného plechu. Jelikož násobič pracuje na frekvencích pod 1 GHz, nebylo nutné upravovat desku násobiče a lze tak podle ní vyrobit krabičku. Byly opět použity N konektory na panel. Krabička má jednoduchou konstrukci jako u předchozích dvou vzorců násobičů. Změření diodového násobiče bylo provedeno za použití stejného programu, pouze se upravil měřicí rozsah frekvencí. Data byla uložena a zpracována. Výsledkem jsou grafy pro všechny harmonické složky výstupního signálu. Izolace toho násobiče dosáhly dobrých výsledků, naopak ale konverzní ztráty vykazovaly vysoké hodnoty. Sestavený násobič výrazně potlačuje výstupní užitečný signál (vysoké konverzní ztráty). Vhodným řešením by bylo zapojení aktivních součástek do obvodu, popřípadě zesilovače, který by dokázal zvýšit výkonovou úroveň výstupního signálu.

Ze získaných dat všech násobičů, z návrhu, z dostupnosti všech součástek, složitosti konstrukce, ceny všech komponentů, s ohledem na laboratorní podmínky, z časové náročnosti ze všech dostupných informací je patrný výsledek. Nejvhodnějším řešením je použití násobičů jako integrovaných obvodů, pouze při návrhu je nutné brát

zřetel na úložiště pro násobič (krabička). Na konci této práce je uveden návrh na laboratorní úlohu do předmětu MREM (Radioelektronická měření).

LITERATURA

- [1] HANUS, S; SVAČINA, J. *Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika : Elektronický učební text* [online]. Brno : FEKT VUT, 2002 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz>>.
- [2] *Agilent technologies* [online]. 2009 [cit. 2011-05-24]. Agilent technologies. Converters & Modulators. Dostupné z WWW: <<http://www.home.agilent.com/agilent/application.jspx?nid=-34522.0.00&lc=eng&cc=US>>.
- [3] *Http://www.hittite.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. HITTITE Microwave Corporation. Dostupné z WWW: <<http://www.hittite.com>>.
- [4] *Http://www.miteq.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. MITEQ - (M)icrowave (I)nformation (T)ransmission (E)quipment. Dostupné z WWW: <<http://www.miteq.com>>.
- [5] *Http://www.spectrummicrowave.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. SPEKTRUM MICROWAVE, Inc. Dostupné z WWW: <<http://www.spectrummicrowave.com>>.
- [6] *Http://www.globalspec.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. GLOBALSPEC - The Engineering Search Engine. Dostupné z WWW: <<http://www.globalspec.com>>.
- [7] *Http://www.electronics-manufacturers.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. ELECTRONICS MANUFACTURERS. Dostupné z WWW: <<http://www.electronics-manufacturers.com>>.
- [8] *Http://www.eecircle.com/applets/015/Gcpw.html* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Impedance Calculator for Grounded Coplanar Waveguide. Dostupné z WWW: <<http://www.eecircle.com/applets/015/Gcpw.html>>.
- [9] *Http://www.wenzel.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. HttpNew Topology Multiplier. Dostupné z WWW: <<http://www.wenzel.com/pdffiles1/pdfs/RFDesign2.pdf>>.
- [10] *Http://www.wenzel.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Wenzel Associates, Inc. Dostupné z WWW: <<http://www.wenzel.com>>.
- [11] *Agilent Network Analyzer Service & Support Home Page* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Agilent technologies. Dostupné z WWW: <<http://na.tm.agilent.com/pna/help/latest/FreqOffset/Isolation.htm>>.

- [12] DŘÍNOVSKÝ, J. Seznámení s grafickým programovým prostředím Agilent VEE a měření A-V charakteristik [návod pro laboratorní úlohu]. In [online]. Brno : FEKT VUT, 2010 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/%7drinovsky/?download=MREM_2010_L%2000.pdf>>.
- [13] *ARLON* [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Arlon microwave materials. Dostupné z WWW: <www.arlon-med.com>.
- [14] VOBOLECKÝ, Jan; ZÁHLAVA, Vít. *Elektronika*. Praha : GRADA Publishing, 2001. 192 s.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Ω	Ohm, jednotka elektrického odporu
f	frekvence
Hz	Hertz, jednotka frekvence
dB	Decibel, poměrová jednotka
dBm	Decibel/mW, poměrová jednotka vztažená k výkonu 1 mW
V	Volt, jednotka napětí
mm	Milimetr, jednotka délky
inch	Palec, jednotka délky (z anglických délkových jednotek)
GaAs	Galium arsenid - chemická sloučenina používaná v elektrotechnice
DPS	Deska plošných spojů
$m \cdot s^{-1}$	metr/sekunda, jednotka rychlosti

SEZNAM PŘÍLOH

A	NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY.....	42
---	------------------------------	----

A NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

MĚŘENÍ NÁSOCIČE KMITOČTU

Zadání laboratorní úlohy

- 1) Seznamte se základním ovládáním grafického programového prostředí Agilent VEE, dále se seznamte s pracovištěm a měřicími přístroji, sestavte zapojení měření násobičů kmitočtu podle schématu.
- 2) Navrhněte jednoduchý obslužný program pro měření izolací a konverzních ztrát přiložených násobičů.
- 3) Naměřená data přehledně zpracujte, zanepte je do grafů a porovnejte. Na závěr zhodnoťte a porovnejte jednotlivé násobiče

Teoretický úvod

Násobič kmitočtu je obvod pro generování vysokofrekvenčního signálu a je obecně používán pro generování výstupního signálu s frekvencí, která je násobkem frekvence vstupního signálu. Pokud je vstupní signál proměnný, může být nutné synchronizovat výstupní signál na změny frekvence a fáze vstupního signálu. Násobiče kmitočtu můžeme nalézt ve všech odvětvích elektroniky, zejména však u vysokofrekvenční elektroniky. Obvod násobičky frekvence může být použit v paměti, mikroprocesoru, ve video zařízení, audio zařízení apod. Mnoho běžně používaných mikroprocesorů používá vnitřní násobičku kmitočtu pro vytvoření vysokofrekvenčního hodinového signálu z nižší taktovací frekvence systému. Násobič frekvence se také používá v rádiovém systému, kde převádí radiový RF signál z napětově-řízeného oscilátoru (VCO) na frekvenci, která je násobkem frekvence signálu RF. U mobilních komunikací, včetně mobilních telefonů, počet vysílaných pásem nosné frekvence poměrně vzrostl. Mobilní komunikační zařízení mohou přepínat mezi nosnými kmitočty v závislosti na použití, proto jsou násobiče kmitočtu vhodné k výběru mezi množstvím nosných frekvencí. Phase-Locked Loops (PLLs) - smyčka fázového závěsu - jsou dobře známé zpětnovazební obvody sloužící k udržení synchronizace výstupního signálu. PLL založené na násobičce se běžně používají v mikroprocesorech pro generování hlavního hodinového signálu z nižší frekvence. Základní rozdělení násobičů, zejména podle jejich parametrů a druhu použití.

Podle použitých prvků:

- pasivní X aktivní

Podle zapojení:

- integrované obvody X hotové moduly

Podle násobícího činitele:

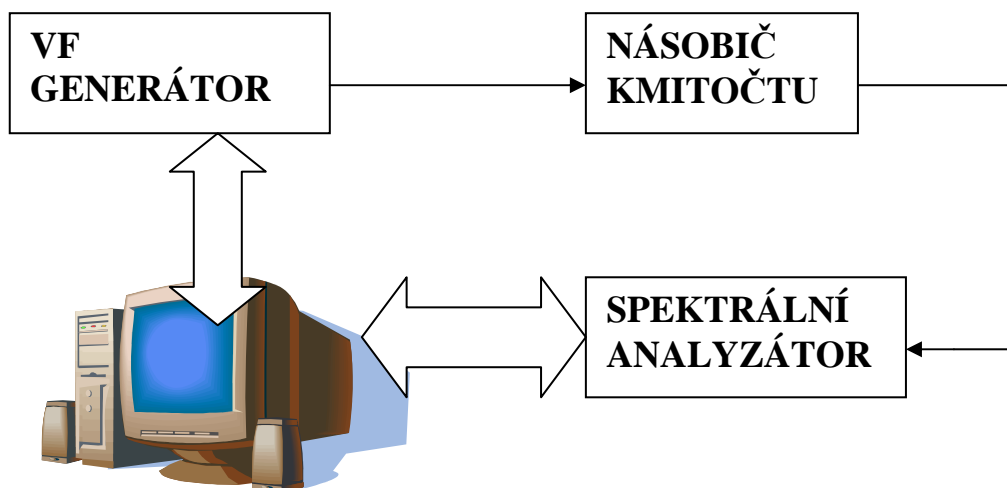
- s přednastavenou hodnotou X s možností volby násobitele

Mezi základní parametry, které určují kvalitu násobiče a následné použití v praxi, patří izolace nežádoucích harmonických složek a především konverzní ztráty násobiče. Konverzní ztráty jsou definovány jako ztráty výkonu mezi vstupním užitečným a výstupním užitečným signálem během přeměny (vynásobení) frekvence, nebo-li jak bude signál zesílen/zeslaben oproti vstupu, většinou u pasivních násobičů. Je měřítkem účinnosti násobení vstupního signálu, jeho převodu na výstupní signál. Uvádějí se v dB a mají zápornou hodnotu avšak obvykle se používá absolutní hodnota, pro aktivní násobiče je typická hodnota 0 dB. Počítají se jako podíl (v dB) výstupního výkonu ku příkonu. Izolací harmonických složek signálu, které jsou nežádoucí ve výstupním signálu násobiče, kde číslo udává pořadí harmonické složky. Je rovněž udávána v dB a typické hodnoty činí několik desítek dB, přičemž vyšší hodnoty izolace ukazují na kvalitu daného násobiče. Izolace se měří pomocí spektrálního analyzátoru, kdy je do násobiče přiveden signál o určité frekvenci, dané vstupním rozsahem, například 2 GHz, a na výstupu měříme úroveň signálu 1., 2., 3., 4.... harmonické složky, v tomto případě tedy 2, 4, 6, 8.... GHz. Takto je možné proměřit izolace na celém pracovním rozsahu a zjistit tak kvalitu násobiče, případně srovnat s údaji uvedené výrobcem.

K dispozici budou celkem tři násobiče kmitočtu: dva s obvodem HITTITE HMC189 a diskretní diodový násobič. Jako dva vzorky vysokofrekvenčních násobičů kmitočtu slouží obvody HMC189, jedná se o pasivní zdvojovače frekvence (2. harmonická složka výstupního signálu). Obvod má miniaturní provedení, technologie MMIC - Monolithic microwave integrated circuit - monolitický mikrovlnný integrovaný obvod, materiálem pro výrobu je GaAs. Obvod je uložen v plastovém 8-pinovém MSOP pouzdře. Násobič je vhodný pro velký rozsah aplikací. Násobič se skládá z diodového můstku a dvou širokopásmových impedančních transformátorů - BALUN (BALanced-UNbalanced). Toto provedení má mnoho výhod, včetně výborného potlačení harmonických složek a velmi nízkého zbytkového šumu. Tento obvod je realizován s diskretními diodami a baluny. Diodový násobič má násobící činitel 3x a jeho vstupní frekvence je zvolena 250 MHz, výstupní frekvence tedy činí 750 MHz (3. harmonická složka). Je složen z můstku schottkyho diod, vstupního a výstupního filtru tvořeného SMD tlumivkami a kondenzátory.

Postup měření

- 1) Po příchodu na pracoviště ověřte, zda jsou k dispozici všechny přístroje a pomůcky, viz měřicí přístroje a pomůcky. Seznamte se s prostředím Agilent VEE a jeho základním ovládáním viz příložený návod. Ověřte jeho funkčnost, použití základních příkazů a syntaxi celého programu. Seznamte se s obsluhou generátoru Agilent 83752 A a spektrálního analyzátoru Agilent EXA 9010A. Zapojte pracoviště podle schématu na obr. 1.



Obr. 1: Schéma zapojení pracoviště

2) Navrhněte program pro automatizované měření všech násobičů, především izolací nežádoucích harmonických složek a konverzních ztrát. Použijte některé z následujících příkazů:

- ***RST** – restartuje měřicí přístroj;
- ***IDN?** – vrátí inicializační řetězec měřicího přístroje;
- ***WAI** – vyšle do měřicího přístroje dotaz, který je potvrzen po dokončení operace (čkej a pokračuj, wait and continue);
- **FREQ:CENT 2.4GHz** – nastaví centrální frekvenci na 2,4 GHz (může se lišit podle měřeného prvku);
- **FREQ:SPAN 0.4GHz** – nastaví frekvenční rozsah na 0,4 GHz (může se lišit podle měřeného prvku);
- **FREQ:STAR 200MHz** – nastaví počáteční frekvenci na 200 MHz (může se lišit podle měřeného prvku);
- **FREQ:STOP 4.6GHz** – nastaví konečnou frekvenci na 4.6 GHz (může se lišit podle měřeného prvku);
- **BAND:RES 10Hz** – nastaví šířku pásma vstupní pásmové propusti;
- **BAND:VIDEO 10Hz** – nastaví šířku pásma filtru, který je používán pro filtrování dat před jejich samotným zobrazením na displeji;
- **CAL:AUTO OFF** – vypne auto kalibraci spektrálního analyzátoru. Toto vypnutí lze doporučit, protože při spuštění kalibrace přístroj přestane odpovídat na komunikační příkazy;
- **CALC:MARK1:CPE ON** – zapne automatické sledování maximální hodnoty (PEAK);
- **CALC:MARK1:MAX** – nastaví marker na maximum signálu v analyzovaném pásmu;
- **CALC:MARK1:X?** – vrátí X-vou hodnotu polohy markeru (ve skutečnosti se jedná o frekvenci signálu [Hz]);
- **CALC:MARK1:Y?** – vrátí Y-vou hodnotu polohy markeru (ve skutečnosti se jedná o výkon v dBm nebo o napětí v dB μ V);

- **DISP:WIND:TRACE:Y:RLEVEL -30dBm** – referenční úroveň pro zobrazení, jedná se o hodnotu horního okraje displeje;
- **FREQ:CENT 100MHz** – nastavení středního kmitočtu, který je zobrazen na displeji;
- **FREQ:SPAN 0.1kHz** – nastaví šířku zobrazovaného pásma (SPAN);
- **INPUT:COUP DC** – přepne vstupní vazbu na DC, při této vazbě zaručuje výrobce korektní měření. Dále lze zvolit ještě vazbu AC;
- **POWER:ATT 10dB** – nastaví vnitřní atenuátor na příslušnou hodnotu útlumu, doporučováno zapnout útlum alespoň 10 dB (ochrana vstupu směšovače před jeho poškození velkým výkonem);
- **POWER:GAIN OFF** – vypnutí vstupního předzesilovače;
- **UNIT:POWER dBm** – nastavení jednotek používaných při měření.

Každé měření realizujte na příslušných výstupních rozsazích podle daného násobiče pro dané vstupní výkony. Výkonové úrovně pro násobič HMC189 jsou: 10, 13 a 15 dBm. Úroveň pro diodový násobič nastavujte od 15 do 20 dBm.

- 3) Změřená data zpracujte do přehledných tabulek (vliv útlumu vodičů a propojek zanedbejte, neboť činí přibližně 0,5 dB). Hodnoty vložte do společných grafů tak, aby bylo možné jednotlivé násobiče navzájem srovnata zjistit jejich kvalitu. Pro porovnání s daty od výrobce použijte následující tabulku.

Parametr	Vstup + 10 dBm			Vstup + 13 dBm			Vstup + 15 dBm			Jednotka
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Vstupní rozsah	2,5 - 3,5			2,5 - 3,75			2 - 4			GHz
Výstupní rozsah	5 - 7			5 - 7,5			4 - 8			GHz
Konverzní ztráty		13	17		13	15		13	17	dB
Izolace zákl. harmonické*	29	32		30	33		31	34		dB
Izolace 3. harmonické*	37	43		35	42		33	40		dB
Izolace 4. harmonické*	32	40		33	40		31	40		dB

Zamyslete se nad tím, jak krabička ovlivňuje výstupní parametry násobiče. Úvaha nad rezonančními kmitočty krabičky. (rezonance dutinového rezonátoru). Porovnejte krabičky násobičů s obvodem HMC189. Tuto úvahu uveďte v závěru.

Měřicí přístroje a pomůcky

- Generátor
- Spektrální analyzátor
- Vodiče a propojky typu N, SMA
- PC s obslužným software, návod
- 3 x vzorek násobiče