

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش  
مخابرات میدان

---

طراحی میکسر پهن باند با تکنیک حذف نویز و قابلیت حذف سیگنال  
تصویر

---

مؤلف :

هادی نادریان

استاد راهنما :

دکتر احمد حکیمی

استاد مشاور :

دکتر مسعود موحدی

بهمن ماه ۱۳۹۱



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

**بخش مهندسی برق**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: هادی نادریان

استاد راهنما: دکتر احمد حکیمی

استاد مشاور: دکتر مسعود موحدی

داور ۱: دکتر سعید سریزدی

داور ۲: دکتر محسن صانعی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر کامبیز افروز

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

**حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.**

تقدیم به :

پدر بزرگوار و مادر مهربانم  
به خاطر همه حمایت ها و زحمات بی دریغشان...

و

استاد عزیزم دکتر احمد حکیمی

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

## تشر و قدردانی

سپاسگزار کسانی هستم که سرآغاز تولد من هستند،  
از یکی زاده میشوم و از دیگری جاودانه،  
استادی که سپیدی را بر تخته سیاه زندگیم نگاشت  
و مادری که تار مویی از او بپای من سیاه نماند.

با تشکر از استادم جناب آقای دکتر احمد حکیمی که همیشه راهنمای راهم بوده‌اند.

همچنین سپاسگزار زحمات استاد عزیز جناب آقای دکتر مسعود موحدی که در طول تحصیلم از  
ایشان بسیار آموختم.

این پایان نامه با پشتیبانی مالی مؤسسه تحقیقات و ارتباطات و فن آوری اطلاعات ایران در چهارچوب قرارداد شماره ۵۰۰/۶۹۸۷/ت مورخ ۹۱/۵/۷ بین دانشگاه شهید باهنر کرمان و آن مؤسسه محترم انجام شده است.

## چکیده

در این پایان نامه دو میکسر فرکانس بالا ارائه شده است. میکسر اول برای کاربردهای پهن باند و میکسر دوم جهت کار در شبکه های دو باند مانند شبکه بی سیم IEEE 802.11، طراحی شده اند. میکسرهای اکتیو بر پایه آرایش سلول گیلبرت<sup>۱</sup>، که به طور گسترده ای در مدارهای مجتمع استفاده می شوند، اغلب میزان زیادی نویز از خود نشان می دهند. این مسئله باعث نیاز شدیدی به کم نویز بودن تقویت کننده طبقه قبل می شود. مدار اول یک میکسر پایین آورنده پهن باند کم-نویز در تکنولوژی CMOS  $0.13 \mu\text{m}$  می باشد. فرکانس کار میکسر پیشنهادی از 2 GHz تا 10.5 GHz است. مدار دارای آرایش گیلبرت می باشد که از طبقه ترانسانایی کم-نویز بر پایه تکنیک فیدبک مثبت-منفی، مورد استفاده در تقویت کننده های کم نویز، بهره می برد. این روش امکان تطبیق پهن باند را نیز فراهم می کند. علاوه بر این از تکنیک تزریق جریان جهت افزایش بهره استفاده شده است. مدار با بهره توان متوسط 15.5 dB و متوسط عدد نویز 2.9 dB را با توان مصرفی تنها 3.54 mA از منبع 1.2 ولت در قسمت میکسر، از خود نشان می دهد.

به طور کلی، یک میکسر دوبانده حذف کننده سیگنال تصویر با هر دو معماری هارتلی<sup>۲</sup> و یا ویور<sup>۳</sup> قابل پیاده سازی است. اما کارایی حذف سیگنال تصویر در این معماری ها به دلیل عدم تطبیق دامنه ها و خطای فاز سیگنال ربعی<sup>۴</sup>، محدودیت هایی دارد. جهت غلبه بر این محدودیت ها مدار دوم که یک میکسر دوباند 2.4 GHz و 5.2 GHz با قابلیت حذف سیگنال تصویر ارائه شده است. این مدار نیز در تکنولوژی CMOS  $0.13 \mu\text{m}$  شبیه سازی شده است. این مدار در باند 2.4 GHz دارای بهره 20 dB، قابلیت حذف تصویر 40 dB و نویز 4.1 dB، و در باند 5.2 GHz دارای بهره 14 dB، قابلیت رد تصویر 45 dB و نویز 7 dB می باشد.

**کلید واژه ها:** پهن باند، حذف سیگنال تصویر، دو باند، فیدبک، میکسر.

---

<sup>1</sup> Gilbert cell

<sup>2</sup> Hartley architecture

<sup>3</sup> Weaver architecture

<sup>4</sup> Quadrature signal

## فهرست مطالب

مقدمه.....	۱
<b>فصل اول تعاریف و پارامترهای پایه در میکسر.....</b>	<b>۳</b>
۱-۱- تعریف میکسر.....	۴
۲-۱- بهره تبدیل.....	۵
۳-۱- عددهای نویز SSB و DSB.....	۶
۱-۳-۱- نویز فیگر DSB و SSB از دیدگاه نرم افزار ADS.....	۱۱
۲-۳-۱- عدد نویز یک طرفه IEEE.....	۱۲
۴-۱- ایزولاسیون بین دو ورودی.....	۱۲
۵-۱- سیگنال تصویر در میکسر.....	۱۳
<b>فصل دوم بررسی ساختارهای حذف نویز میکسر.....</b>	<b>۱۴</b>
۱-۲- مقدمه.....	۱۵
۲-۲- میکسر ادغام شده با LNA تا شده.....	۱۶
۳-۲- میکسر کم-نویز پهن باند با آینه جریان.....	۱۸
۴-۲- میکسر با طبقه ترانسانایی حذف نویزی.....	۲۰
۵-۲- میکسر تزریق بدنه با تکنیک بایاس سوئیچ شونده.....	۲۳
<b>فصل سوم بررسی ساختارهای حذف سیگنال تصویر میکسر.....</b>	<b>۲۷</b>
۱-۳- مقدمه.....	۲۸
۲-۳- معماری هارتلی.....	۳۰
۳-۳- معماری ویور.....	۳۲
۴-۳- معماری ویور-هارتلی.....	۳۴
۵-۳- میکسرهای حذف سیگنال تصویر با استفاده از فیلتر شکافی.....	۳۷
۱-۵-۳- تکنیک فیلتر شکافی فعال مرتبه دو.....	۳۸
۲-۵-۳- تکنیک فیلتر شکافی غیرفعال مرتبه سه.....	۳۹
۳-۵-۳- تکنیک فیلتر شکافی فعال مرتبه سه.....	۴۱
۴-۵-۳- تکنیک فیلتر شکافی فعال مرتبه سوم دیفرانسیلی.....	۴۴
<b>فصل چهارم بررسی و تحلیل میکسرهای پیشنهادی.....</b>	<b>۴۸</b>
۱-۴- میکسر پهن باند کم-نویز با تکنیک فیدبک مثبت-منفی.....	۴۹



۵۰	..... ۱-۱-۴- طبقه ترارسانایی با فیدبک مثبت-منفی
۵۱	..... ۲-۱-۴- پیاده سازی طبقه ترارسانایی پهن باند
۵۳	..... ۳-۱-۴- آنالیز طبقه ترارسانایی
۵۵	..... ۴-۱-۴- تکنیک سلف های پیکینگ
۵۶	..... ۵-۱-۴- طبقه سوئیچ و مدار تزریق جریان
۵۶	..... ۶-۱-۴- نتایج شبیه سازی
۶۱	..... ۲-۴- میکسر دو باند با قابلیت حذف سیگنال تصویر
۶۱	..... ۱-۲-۴- فیلتر شکافی دو باند بر اساس سلفهای تزویج
۶۷	..... ۲-۲-۴- مدار تطبیق
۶۸	..... ۳-۲-۴- بهره
۶۹	..... ۴-۲-۴- عدد نویز
۶۹	..... ۵-۲-۴- نتایج شبیه سازی میکسر
۷۴	..... <b>فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۷۷	..... <b>منابع</b>
۸۴	..... <b>پیوست الف: مقالات مستخرج</b>

## فهرست اشکال :

- شکل ۱-۱ نقش میکسر در یک فرستنده و گیرنده [۶]. ۴.....
- شکل ۲-۱ میکسر به صورت یک سوئیچ ایده ال و طیف خروجی آن [۶]. ۵.....
- شکل ۳-۱ چگونگی انتقال نویز و سیگنال از RF به IF. ۷.....
- شکل ۴-۱ مدل سیستم برای محاسبه عدد نویز. ۸.....
- شکل ۵-۱ طیف توان برای اندازه گیری نویز دو طرفه. ۹.....
- شکل ۶-۱ طیف توان با مؤلفه های I و Q برای اندازه گیری نویز دو طرفه. ۱۰.....
- شکل ۷-۱ عملکرد میکسر در گیرنده هترودین. ۱۳.....
- شکل ۱-۲ ساختار کسکوود تا شده مدار LNA مرجع [۲۴]. ۱۶.....
- شکل ۲-۲ میکسر و LNA ادغام شده [۲۴]. ۱۷.....
- شکل ۳-۲ میکسر با تکنیک آینه جریان برای کاربردهای چند بانده [۲۵]. ۱۹.....
- شکل ۴-۲ بلوک دیاگرام میکسر حذف نویز [۲۳]. ۲۰.....
- شکل ۵-۲ مدار تکنیک حذف نویز با استفاده از جمع کننده [۲۳]. ۲۰.....
- شکل ۶-۲ مدار کامل میکسر حذف نویز [۲۳]. ۲۲.....
- شکل ۷-۲ مدار میکسر تزریق بدنه با تکنیک بایاس سوئیچ شونده [۲۸]. ۲۳.....
- شکل ۸-۲ (الف) میکسر گیلبرت معمولی، (ب) میکسر تزریق بدنه [۲۸]. ۲۴.....
- شکل ۱-۳ معماری تبدیل مستقیم برای حذف سیگنال تصویر [۶]. ۲۸.....
- شکل ۲-۳ اثر افسست DC در گیرنده تبدیل مستقیم [۶]. ۲۸.....
- شکل ۳-۳ بلوک دیاگرام معماری هارتلی. ۳۰.....
- شکل ۴-۳ معماری هارتلی پیاده سازی شده با فیلتر RC-CR. ۳۱.....
- شکل ۵-۳ نسبت رد تصویر بر حسب خطاهای دامنه و فاز سیگنال های ربعی معماری هارتلی [۵۳]. ۳۲.....
- شکل ۶-۳ بلوک دیاگرام معماری ویور [۶]. ۳۲.....
- شکل ۷-۳ تحلیل طیفی معماری ویور [۶]. ۳۳.....
- شکل ۸-۳ سیگنال تصویر دوم در معماری ویور [۶]. ۳۳.....

شکل ۳-۹ تحلیل طیفی معماری ویور با در نظر گرفتن اثر عدم تطبیق سیگنال های  $LO_1$  و  $LO_2$ ،  
 الف) سیگنال IF مطلوب، ب) سیگنال تصویر ناخواسته بر اثر عدم تطبیق، ج) سیگنال نهایی [۴]. ۳۴  
 شکل ۳-۱۰ بلوک دیاگرام معماری ویور-هارتلی [۵]..... ۳۵  
 شکل ۳-۱۱ نمایش سیگنال ها به صورت مختلط در معماری ویور-هارتلی [۵]..... ۳۶  
 شکل ۳-۱۲ الف) طیف سیگنال های RF،  $IM_1$  و  $IM_2$ . ب) سیگنال ها بعد از عبور از اولین میکسر،  
 ج) سیگنال ها بعد از عبور از دومین میکسر، د) فیلتر کردن سیگنال ها با فیلترهای چند فاز خروجی  
 [۵]..... ۳۷  
 شکل ۳-۱۳ الف) مدار LNA کسکود به همراه فیلتر شکافی فعال مرتبه دو، ب) مدار معادل  
 سیگنال کوچک فیلتر شکافی مرتبه دو [۵۴]..... ۳۸  
 شکل ۳-۱۴ الف) مدار LNA کسکود به همراه فیلتر شکافی غیرفعال مرتبه سه، ب) مدار معادل  
 سیگنال کوچک فیلتر شکافی غیرفعال مرتبه سه [۵۵]..... ۴۰  
 شکل ۳-۱۵ نمودار امپدانس فیلتر شکافی غیرفعال مرتبه سه به صورت تابعی از فرکانس به از  
 مقادیر مختلفی از ضریب کیفیت سلف [۵۶]..... ۴۱  
 شکل ۳-۱۶ الف) مدار LNA کسکود به همراه فیلتر شکافی فعال مرتبه سه، ب) مدار معادل  
 سیگنال کوچک فیلتر شکافی فعال مرتبه سه [۵۶]..... ۴۲  
 شکل ۳-۱۷ امپدانس فیلتر شکافی فعال مرتبه سه به صورت تابعی از فرکانس [۵۶]..... ۴۴  
 شکل ۳-۱۸ الف) فیلتر شکافی فعال مرتبه سه دیفرانسیلی، ب) نیم مدار آن، ج) مدار معادل در  
 فرکانس پایین، د) مدار معادل در فرکانس بالا [۵۷]..... ۴۵  
 شکل ۳-۱۹ مدار شکافی فیلتر فعال مرتبه سه به همراه مدارهای ایجاد مقاومت منفی [۵۷]..... ۴۶  
 شکل ۴-۱ بلوک دیاگرام میکسر پهن باند ارائه شده..... ۴۹  
 شکل ۴-۲ بلوک دیاگرام ساده شده طبقه ترانسانایی..... ۵۰  
 شکل ۴-۳ مدار کامل میکسر پهن باند کم-نویز با تکنیک فیدبک مثبت-منفی..... ۵۲  
 شکل ۴-۴ مدار معادل طبقه ترانسانایی برای محاسبه مقاومت خروجی..... ۵۳  
 شکل ۴-۵ میزان انتقال سیگنال از خروجی به ورودی در حالت تک سر..... ۵۴  
 شکل ۴-۶ مدار معادل جهت بررسی اثر سلف پیکینگ [۲۳]..... ۵۵  
 شکل ۴-۷ بهره تبدیل میکسر بر حسب فرکانس ورودی..... ۵۷  
 شکل ۴-۸ عدد نویز DSB میکسر بر حسب فرکانس ورودی..... ۵۷  
 شکل ۴-۹ توان خروجی اصلی و مؤلفه مرتبه سوم بر حسب توان ورودی..... ۵۸

- شکل ۴-۱۰ ایزولاسیون LO-IF و LO-RF ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۱ تطبیق ورودی میکسر بر حسب فرکانس ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۲ بهره تبدیل میکسر بر حسب توان نوسان ساز محلی ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۳ بهره تبدیل میکسر بر حسب فرکانس IF ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۴ مدار میکسر دو بانده پیشنهادی با قابلیت حذف سیگنال تصویر ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۵ فیلتر شکافی فعال ارائه شده بر پایه سلف های تزویج ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۶ نیم مدار معادل فیلتر شکافی پیشنهادی ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۷ نمودار کانتور تغییرات  $f_{Lz}$  بر حسب  $f_1$  و  $f_2$  برای ضریب تزویج  $k = 0.6$  ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۸ نمودار کانتور تغییرات  $f_{Hz}$  بر حسب  $f_1$  و  $f_2$  برای ضریب تزویج  $k = 0.6$  ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۹ نمایش محل برخورد نمودارهای  $F_{Lz}$  و  $F_{Hz}$  ..... ۶۶
- شکل ۴-۲۰ نمودار شبیه سازی  $F_{Lp}$  و  $F_{Hp}$  بر حسب  $f_3$  به ازای  $f_2 = ۳.۲۵$  GHz ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۱ مدار معادل تطبیق ورودی میکسر ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۲ بهره تبدیل توان و IRR میکسر بر حسب فرکانس ورودی ۲.۴ GHz ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۳ بهره تبدیل توان و IRR میکسر بر حسب فرکانس ورودی ۵.۲ GHz ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۴ عدد نویز میکسر در بانده ۲.۴ GHz ..... ۷۱
- شکل ۴-۲۵ عدد نویز میکسر در بانده ۵.۲ GHz ..... ۷۱
- شکل ۴-۲۶ مقدار IIP3 مدار در فرکانس ۲.۴ GHz ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۷ مقدار IIP3 مدار در فرکانس ۵.۲ GHz ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۸ ایزولاسیون بین ترمینال های ورودی میکسر دو بانده پیشنهادی ..... ۷۳

## فهرست جداول :

- جدول ۱-۲ نتایج عملکرد میکسر ادغام شده با LNA تاشده..... ۱۸
- جدول ۲-۲ نتایج عملکرد میکسر با تکنیک آینه جریان برای کاربردهای چند بانده..... ۱۹
- جدول ۳-۲ نتایج عملکرد میکسر حذف نویز . . . . . ۲۳
- جدول ۴-۲ نتایج عملکرد میکسر تزریق بدنه با تکنیک بایاس سوئیچ شونده ..... ۲۶
- جدول ۱-۳ نتایج عملکرد میکسر با معماری ویور-هارتلی ..... ۳۶
- جدول ۲-۳ عملکرد میکسر دوبانده با فیلتر شکافی فعال مرتبه سه ..... ۴۷
- جدول ۱-۴ مقایسه میکسر پهن بانده پیشنهادی با سایر میکسرهای پهن بانده..... ۶۰
- جدول ۲-۴ مقایسه میکسر دو بانده با قابلیت حذف سیگنال تصویر با سایر میکسرهای این زمینه..... ۷۳

نیاز روزافزون به سیستم‌های بی‌سیم با کارایی بالا در سال‌های اخیر موجب تلاش‌های زیادی در جهت بهبود فرستنده‌ها و گیرنده‌ها از لحاظ هزینه، توان تلف شده و ابعاد مدار شده‌است. در بخش گیرنده‌های تبدیل مستقیم<sup>۱</sup> (DCR) میکسر یکی از مهم‌ترین اجزا می‌باشد، زیرا کار اصلی آن تبدیل سیگنال ورودی RF به سیگنال باند پایه به طور مستقیم و بدون نیاز به طبقه واسط است.

میکسرهای اکتیو بر پایه آرایش سلول گیلبرت<sup>۲</sup>، که به طور گسترده‌ای در مدارهای مجتمع استفاده می‌شوند، اغلب میزان زیادی نویز از خود نشان می‌دهند. این مسئله باعث نیاز شدیدی به کم نویز بودن تقویت کننده طبقه قبل می‌شود. از طرفی این تقویت کننده باید بهره کافی را برای کاهش نویز میکسر داشته باشد. هنگامی که از ترانزیستورهای بزرگ جهت کاهش نویز تقویت کننده کم-نویز استفاده می‌شود، توان مصرفی افزایش می‌یابد و تبدیل به یک مشکل می‌شود. بهر حال، این مسائل را می‌توان با استفاده از یک میکسر کم-نویز برطرف کرد. برای تبدیل سلول گیلبرت به یک میکسر کم-نویز پهن باند، طبقه ترانسانایی<sup>۳</sup> باید از لحاظ نویز، بهره و تطبیق ورودی پهن باند باشد.

یکی از میکسرهایی که در این پایان‌نامه ارائه خواهد شد، بر اساس ترکیب فیدبک منفی و فیدبک مثبت می‌باشد. در صورتی که نویز طبقه اول را از دو مسیر مختلف با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز عبور دهیم، با جمع خروجی این دو مسیر اثر این نویز تا حدود زیادی حذف خواهد شد. فیدبک‌های مطرح شده جهت ایجاد این دو مسیر به کار خواهند رفت. در استفاده از این فیدبک‌ها باید مسئله پایداری و مصرف توان را نیز مدنظر داشت. از طرفی چون این فیدبک‌ها روی آرایش گیت مشترک، که قابلیت خطی بالایی دارد، استفاده خواهند شد، تأثیر آن‌ها روی میزان خطی بودن مدار ناچیز است.

اخیراً مخابرات بی‌سیم نیازها را برای مدارهای فرکانس رادیویی ارزان و کم‌مصرف که می‌توانند در یک تراشه در چند باند عمل کنند، مانند شبکه‌های بی‌سیم محلی<sup>۴</sup> IEEE 802.11 a/b/g/n دوبانده<sup>۵</sup>، افزایش داده است. در روش‌های معمول طراحی، از چند گیرنده فرستنده تک-

<sup>1</sup> Direct-Conversion RX

<sup>2</sup> Gilbert cell

<sup>3</sup> transconductance

<sup>4</sup> Wireless Local Area Network(WLAN)

<sup>5</sup> Dual-band

باند به طور موازی باهم برای فرکانس‌های مختلف استفاده می‌شود [۱]. هرچند که افزایش هزینه‌های پیاده‌سازی و به طور همزمان توان مصرفی در این روش‌ها اجتناب ناپذیر است. جهت بهبود معایب ذکر شده در این پایان‌نامه یک میکسر دوبانده جهت جایگزینی با ساختارهای معمول ارائه شده است.

علاوه بر این، حذف سیگنال تصویر<sup>۱</sup> یک نیاز ضروری در طراحی گیرنده‌های فرکانس بالا می‌باشد. به طور کلی، یک میکسر دوبانده حذف‌کننده سیگنال تصویر با هر دو معماری هارتلی<sup>۲</sup> و یا ویور<sup>۳</sup> قابل پیاده‌سازی است. اما کارایی حذف سیگنال تصویر در این معماری‌ها به دلیل عدم تطبیق دامنه‌ها و خطای فاز سیگنال ربعی، محدودیت‌هایی دارد. از طرف دیگر نیاز به یک میکسر دوبانده همراه با منبع سیگنال ربعی برای کاربردهای دوبانده پیچیدگی پیاده‌سازی مدار را بیشتر می‌کند، که این برای کاربردهای ارزان و کم‌مصرف مطلوب نیست.

در میکسر پیشنهادی یک فیلتر شکافی فعال<sup>۴</sup> دوبانده تفاضلی جهت تضعیف سیگنال تصویر در دو باند همزمان با حفظ کارایی در باند دلخواه و با دستیابی به اندازه تراشه و توان مصرفی کمتر نسبت به سایر مدارها، ارائه شده است [۲]، [۳]، [۴] و [۵].

مطالب پایان‌نامه به این صورت بیان خواهد شد که در فصل اول، پارامترها و تعاریف مورد نیاز در مورد مدار میکسر و نحوه عملکرد این مدار گفته خواهد شد.

در فصل دوم به بررسی ساختارهای کم-نویز و میکسرهایی که اخیراً در این زمینه ارائه شده، پرداخته می‌شود. سپس در فصل سوم در مورد معماری‌های ارائه شده جهت حذف سیگنال تصویر در میکسر و تحلیل تعدادی از فیلترهای شکافی که اخیراً برای این کاربرد پیشنهاد شده‌اند، بحث و بررسی خواهد شد.

در فصل چهارم میکسرهای پیشنهادی تحلیل و بررسی می‌شوند و نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری آن‌ها ارائه شده و با میکسرهای دیگر از لحاظ عملکرد مقایسه خواهند شد.

در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی جهت کارهای آینده بیان می‌شود.

---

<sup>1</sup> Image signal

<sup>2</sup> Hartley architecture

<sup>3</sup> Weaver architecture

<sup>4</sup> Active notch filter

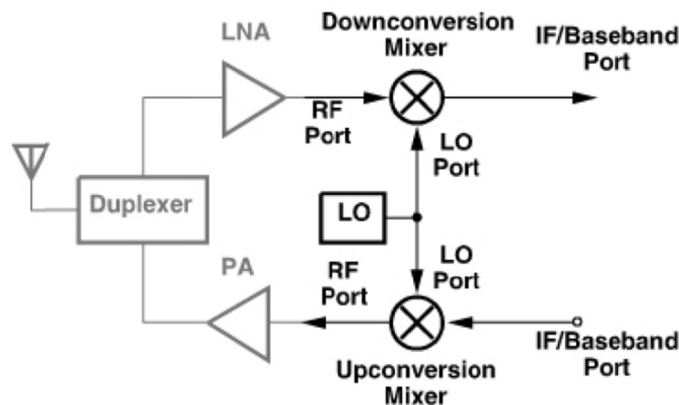
## فصل اول

تعاریف و پارامترهای پایه در میکسر



## ۱-۱- تعریف میکسر

میکسرها با استفاده از ضرب دو سیگنال (و در صورت امکان هارمونیک‌هایشان) عمل جابجایی فرکانسی را انجام می‌دهند و دارای سه ترمینال متمایز می‌باشند. شکل ۱-۱ یک دستگاه گیرنده فرستنده کلی را که در آن میکسر بکار رفته، نشان می‌دهد. در مسیر دریافت، میکسر پایین آورنده<sup>۱</sup>، سیگنال RF را در ترمینال RF و سیگنال نوسان ساز محلی<sup>۲</sup> را در ترمینال LO دریافت می‌کند. خروجی در گیرنده‌های هترودین<sup>۳</sup> ترمینال IF و در گیرنده‌های تبدیل مستقیم<sup>۴</sup> ترمینال باند پایه<sup>۵</sup> نامیده می‌شود. به طور مشابه، در مسیر ارسال، ورودی میکسر بالا برنده<sup>۶</sup> که سیگنال IF یا باند پایه را دریافت می‌کند را ترمینال IF یا ترمینال باند پایه نامیده، و ترمینال خروجی ترمینال RF نامیده می‌شود. ورودی که با سیگنال LO تغذیه می‌شود، ترمینال LO نام دارد.

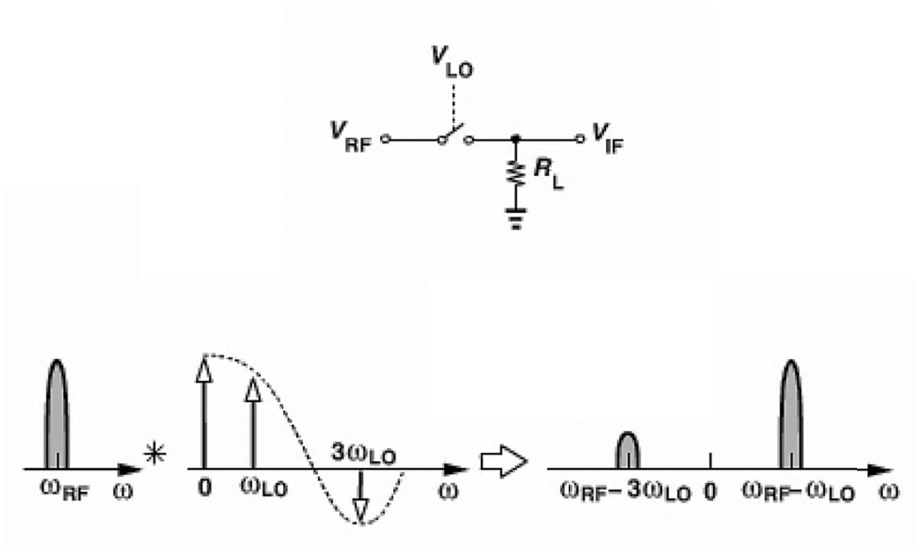


شکل ۱-۱ نقش میکسر در یک فرستنده و گیرنده [۶].

یک میکسر را می‌توان بسادگی به صورت نشان داده شده در شکل ۱-۲ پیاده‌سازی کرد، که  $V_{LO}$  سوئیچ را خاموش و روشن می‌کند و با این کار  $V_{IF} = V_{RF}$  و یا  $V_{IF} = 0$  را به دست می‌دهد، با سوئیچینگ سریع، این عمل را می‌توان به صورت ضرب سیگنال RF با یک موج مربعی متغیر بین صفر و یک، حتی اگر سینوسی هم باشد، نمایش داد. بنابراین همانگونه که در شکل ترسیم شده‌است، این مدار با مخلوط کردن ورودی RF با تمامی هارمونیک‌های LO، خروجی -

<sup>1</sup> Down-Conversion Mixer  
<sup>2</sup> Local Oscillator (LO)  
<sup>3</sup> Heterodyne RX  
<sup>4</sup> Direct-Conversion RX  
<sup>5</sup> baseband port  
<sup>6</sup> Up-Conversion Mixer

هایی تولید می‌کند. به عبارت دیگر، ترمینال LO این میکسر بسیار غیرخطی است. البته، ترمینال RF باید جهت ارضای نیازهای اینترمدولاسیون<sup>۱</sup> و اثرات فشردگی<sup>۲</sup>، به اندازه کافی خطی بماند.



شکل ۲-۱ میکسر به صورت یک سوئیچ ایده‌آل و طیف خروجی آن [۶].

## ۲-۱- بهره تبدیل<sup>۳</sup>

میکسرهای پایین‌آورنده باید بهره کافی را جهت کاهش نویز طبقات بعدی فراهم کنند. اگر چه منابع ولتاژ کوچک، دستیابی به بهره‌های بزرگ‌تر از ۱۰ dB را با حفظ قابلیت خطسانی، دشوار می‌کنند.

جهت جلوگیری از ابهام و اشتباه، بهره میکسر باید با دقت تعریف شود. بهره تبدیل ولتاژ<sup>۴</sup> میکسر از نسبت ولتاژ موثر سیگنال IF به ولتاژ موثر سیگنال RF به دست می‌آید. باید توجه داشت که این دو سیگنال در دو فرکانس متفاوت قرار گرفته‌اند. در طراحی مایکروویو و RF مرسوم، بهره میکسرها با بهره تبدیل توان<sup>۵</sup> مشخص می‌شود.

<sup>۱</sup> intermodulation

<sup>۲</sup> Compression effects

<sup>۳</sup> Conversion Gain

<sup>۴</sup> Voltage Conversion Gain

<sup>۵</sup> Power Conversion Gain

بهره تبدیل توان به صورت تقسیم توان خروجی IF داده شده به بار، به توان قابل دسترس<sup>۱</sup> ورودی نشان داده می‌شود. اگر امپدانس ورودی و امپدانس بار میکسر هر دو با امپدانس منبع برابر باشند، مثلاً  $50 \Omega$ ، آنگاه بهره تبدیل ولتاژ و توان میکسر اگر بر حسب دسی بل بیان شوند با هم برابرند.

تطبیق امپدانس مزدوج در ورودی میکسر برای اولین طبقه پایین آورنده در گیرنده هترودین که از فیلتر حذف تصویر استفاده می‌کند، لازم است. تابع تبدیل این فیلترها برای یک امپدانس ترمینال<sup>۲</sup> مشخص به دست می‌آید و اگر امپدانس دیگری استفاده شود، دچار رپل<sup>۳</sup> می‌گردد. از سوی دیگر، امپدانس بار میکسر معمولاً با  $50 \Omega$  برابر نیست، زیرا بیشتر فیلترهای غیرفعال IF امپدانس ورودی  $500 \Omega$  تا  $100 \Omega$  دارند. در معماری‌هایی مانند همودین<sup>۴</sup>، بار دیده شده توسط میکسر را می‌توان برای افزایش بهره ولتاژ، بالاتر انتخاب کرد.

از ملاحظات فوق دریافتیم که بهره‌های تبدیل ولتاژ و توان میکسر بر حسب دسی بل می‌تواند برابر نباشد. این تفاوت اگرچه مسئله مهمی نیست ولی باعث ابهام در محاسبه نویز کلی، خطسانی<sup>۵</sup> و بهره طبقات پشت سر هم که میکسر بین آنهاست می‌شود.

### ۱-۳- عدددهای نویز SSB و DSB

عدد نویز<sup>۶</sup> میکسرها اغلب باعث اشتباه می‌شود. برای سادگی، یک میکسر بدون نویز با بهره تبدیل توان G و بهره تبدیل ولتاژ  $A_v$  را در نظر بگیرید. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده، طیفی که ورودی RF دریافت می‌کند شامل مولفه‌های سیگنال و نویز حرارتی ناشی از  $R_s$  در باند مطلوب و باند تصویر است. با پایین آوردن طیف، سیگنال و نویز درون این باند و نویز باند تصویر همه به فرکانس IF منتقل و از آنجا که نویز باند سیگنال و نویز باند تصویر، ناهمبسته<sup>۷</sup> هستند، توان آنها در فرکانس IF با هم جمع می‌شوند. بنابراین، اگر پاسخ فرکانس میکسر برای باند سیگنال و تصویر یکی باشد، SNR خروجی نصف SNR ورودی است. به عبارت دیگر، عدد نویز میکسر بدون نویز برابر ۳dB است. توجه به این نکته ضروری است که فرض شود، ورودی در یک

<sup>1</sup> Available power

<sup>2</sup> Termination impedance

<sup>3</sup> Ripple

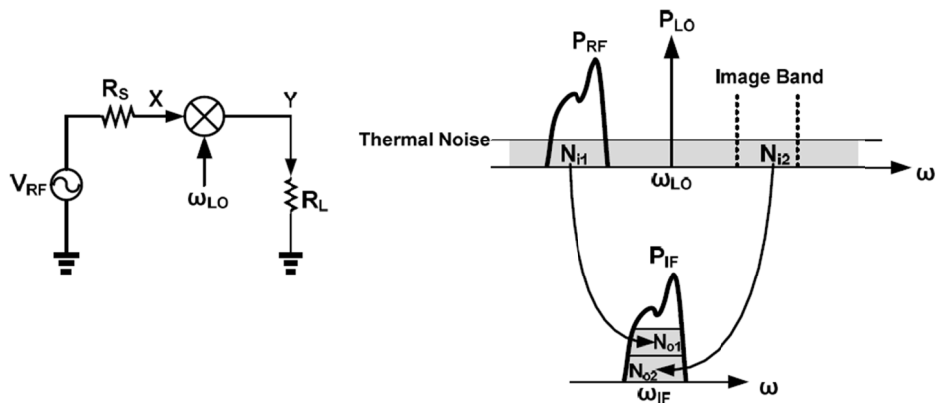
<sup>4</sup> homodyne

<sup>5</sup> Linearity

<sup>6</sup> Noise Figure

<sup>7</sup> uncorrelated

سینوسی با فرکانس  $\omega_{LO}$  ضرب شده است، بنابراین هیچ مولفه نویزی از فرکانس‌های دیگر به جز آنچه در شکل نشان داده شده، به خروجی نمی‌آید. در ادامه خواهیم دید که استفاده از شکل موج مربعی به جای سینوسی موجب می‌شود که نویز از فرکانس‌های دیگر نیز به خروجی وارد شود.



شکل ۳-۱ چگونگی انتقال نویز و سیگنال از RF به IF.

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = \frac{S_i}{S_o} \cdot \frac{N_o}{N_i} = \frac{N_o}{G \cdot N_i}, \quad (1-1)$$

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} = \frac{S_i}{S_o} \cdot \frac{N_o}{N_i} = \frac{V_{si}^2 \cdot g_i}{V_{ni}^2 \cdot g_i} \cdot \frac{V_{no}^2 \cdot g_L}{V_{so}^2 \cdot g_L} \quad (2-1)$$

$$= \left( \frac{V_{si}}{V_{so}} \right)^2 \cdot \frac{V_{no}^2}{V_{ni}^2} = \frac{V_{no}^2}{A_V^2 V_{ni}^2}$$

روابط بالا، از روابط اصلی و معروف محاسبه عدد نویز هستند که به سادگی از تعریف اصلی عدد نویز، به دست می‌آیند و در آن‌ها  $S_i$  و  $N_i$  به ترتیب چگالی طیف توان<sup>۱</sup> سیگنال و نویزی است که وارد سیستم می‌شوند.  $N_o$  چگالی طیف توان نویز خروجی (نویز ناشی از مقاومت منبع ورودی و سیستم مدنظر است و بدیهی است که در صورت استفاده از پروب<sup>۲</sup> و یا ترمینال، نویز آن‌ها جز مجموعه به حساب نمی‌آید) و  $S_o$  چگالی طیف توان سیگنالی است که تحویل بار می‌شود و همچنین  $g_i$  بخش حقیقی ادمیتانس ورودی و  $g_L$  بخش حقیقی ادمیتانس بار است،  $V_{ni}$  و  $V_{si}$  نیز به ترتیب مقدار موثر ولتاژ سیگنال و نویز ورودی می‌باشند. در ضمن،  $V_{no}$  و  $V_{so}$  به ترتیب مقدار

<sup>1</sup> Power Spectral Density (PSD)

<sup>2</sup> probe