بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک

طراحی و شبیه‌سازی یک میکسر برای استاندارد مخابراتی UWB در تکنولوژی CMOS 0. 18µm

توسط:

سعید غلامی

استاد راهنما:

دکتر حسین شمسی

استاد مشاور:

مهندس داود میرزاحسینی

بهمن ماه ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر

بزرگوارانی که همیشه

مدیون زحماتشان

شرمنده محبتشان

و منتظر دعای خیرشان

هستیم

تأییدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:

طراحی و شبیه‌سازی یک میکسر برای استاندارد مخابراتی UWB در تکنولوژی CMOS 0. 18µm

توسط آقای سعید غلامی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته برق گرایش الکترونیک با رتبه..... مورد تایید قرار می‌دهند.

۱. **استاد راهنما**	آقای دکتر حسین شمسی	امضاء
۲. **استاد مشاور**	آقای مهندس داود میرزاحسینی	امضاء
۳. **استاد ارزیاب داخلی**	آقای دکتر امیر مسعود سوداگر	امضاء
۴. **استاد ارزیاب خارجی**	آقای دکتر سید ادیب ابریشمی‌فر	امضاء
۵. **نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده**		امضاء

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه:

طراحی و شبیه‌سازی یک میکسر برای استاندارد مخابراتی UWB در تکنولوژی CMOS 0. 18µm

استاد راهنما: دکتر حسین شمسی

نام دانشجو: سعید غلامی

شماره دانشجوئی: ۸۷۰۰۲۴۴

اینجانب سعید غلامی دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد مهندسی برق گرایش الکترونیک دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده، مورد تایید می‌باشد. و در موارد استفاده از کار دیگر محققان، به مرجع مورد استفاده، اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه، چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ: ۱۳۸۹/۱۱/۲۴

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن، تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده **برق** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد، و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیر و تشکر:

سپاس بی دریغ خود را نثار استاد با فضیلت جناب آقای دکتر حسین شمسی می‌نمایم که در کلیه مراحل تحصیل، با فضل و دانش خود راهنمای اینجانب بوده‌اند.

از کلیه اساتید محترم دانشکده برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی که ناهمواری‌ها و تاریکی‌های این راه صعب را با پرتو نور دانش خود هموار و روشن نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

هم‌چنین از دوست عزیز جناب آقای حسین میرزایی که لطف خود را هیچ‌گاه از اینجانب دریغ نکردند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

در طول دهه‌های اخیر، پیشرفت سریع ارتباطات و نیاز به انتقال اطلاعات با سرعت بالا باعث ایجاد تقاضا برای ایجاد تکنولوژی‌های جدید شده است. از میان تکنولوژی‌های با پهنای باند وسیع، تکنولوژی فرا پهن‌باند[1] کاندیدای بسیار مناسبی برای ارسال داده با نرخ بالا می‌باشد. پهنای باند وسیع تکنولوژی فرا پهن‌باند، طراحی و پیاده‌سازی مدارات رادیویی متناسب با این تکنولوژی را با چالش‌های زیادی مواجه می‌کند. در میان بلوک‌های گیرنده‌های رادیویی فرا پهن‌باند، میکسر یکی از مهم‌ترین بلوک‌ها به شمار می‌رود که نقشی اساسی در میزان خطی بودن کل گیرنده ایفا می‌کند.

در یک سیستم مخابراتی، میکسرها عمل تبدیل فرکانس را انجام می‌دهند. میکسر باید به اندازه کافی خطی باشد تا بتواند سیگنال‌های تداخلی را زیر سطح نویز قرار دهد. داشتن بهره تبدیل[2] مناسب برای کاربردهای فرا پهن‌باند، بسیار حیاتی است. بهره تبدیل بالا باعث می‌شود که توزیع نویز در کل باند کاهش یابد. به طور کلی، خطی بودن میکسر با بهره تبدیل آن، در تضاد می‌باشند. و همین امر، طراحی میکسر خطی، با بهره تبدیل مناسب و کم‌نویز را با چالش‌های زیادی مواجه می‌کند.

این پایان‌نامه به طراحی یک میکسر فرا پهن‌باند می‌پردازد که در آن از تکنیک‌های تزریق جریان به طبقه سوئیچ اسیلاتور[3] و جمع آثار مشتقات بهبودیافته استفاده شده است. میکسر طراحی شده بر مبنای این روش‌ها، با مصرف توان پایین، مقادیر تداخل مرتبه سوم[4] در ورودی و تداخل مرتبه دوم[5] در ورودی را به ترتیب به میزان ۱۰ dBm+ و ۴۳ dBm+ بدون کاهش بهره تبدیل آن، نسبت به یک میکسر معمولی بهبود بخشیده است. ساختار پیشنهادی، در تکنولوژی CMOS 0.18µm با منبع تغذیه ۱/۸ ولت و توان مصرفی ۸ میلی‌وات، IIP3 برابر با ۱۲ dBm، بهره تبدیل ۱۰/۵–۹/۳ dB و عدد نویز[6] ۱۳dB–۱۲ برای کار در گروه اول استاندارد MB-OFDM[7] یعنی ۴/۸–۳/۱ GHz طراحی شده است. تأثیر تغییرات محیطی از جمله تغییرات دمایی بر عملکرد مدار بررسی شده است. تحلیل دقیق بهره تبدیل میکسر فرا پهن‌باند از دیگر دستاوردهای این پایان‌نامه می‌باشد. همچنین، مدار آزمایش پارامترهای یک میکسر با تشریح چگونگی اندازه‌گیری پارامترهای آن، طراحی و پیاده‌سازی شده است.

کلید واژه‌ها:

میکسر (Mixer)، فرا پهن‌باند (Ultra-Wideband)، خطینگی (Linearity)، سلول گیلبرت (Gilbert-Cell)، تکنیک تزریق جریان (Current Bleeding)، جمع آثار مشتقات (Derivative Superposition).

---

[1] Ultra-Wideband(UWB)
[2] Conversion Gain
[3] Oscillator
[4] Third Intercept Point (IP3)
[5] Second Intercept Point(IP2)
[6] Noise Figure(NF)
[7] MultiBand-Orthogonal Frequency Division Multiplexing

فهرست مطالب

فصل۱) مقدمه ۱
فصل۲) مروری بر سیستم‌های فرا پهن‌باند ۵
۲–۱ تاریخچه ۵
۲–۲ تعریف سیستم فرا پهن‌باند ۶
۲–۳ مزایای تکنولوژی فرا پهن‌باند ۸
۲–۳–۱ گستره وسیع کاربردهای تکنولوژی فرا پهن‌باند ۸
۲–۳–۲ ظرفیت بالای کانال ۸
۲–۳–۳ احتمال پایین تشخیص ۹
۲–۳–۴ مقاومت در برابر مسدود شدن ۹
۲–۳–۵ امکان پیاده‌سازی سیستم UWB با هزینه و پیچیدگی کم ۹
۲–۴ ملاحظات سیستمی در پیاده‌سازی سیستم فرا پهن‌باند ۱۰
۲–۴–۱ سیستم I-UWB ۱۰
۲–۴–۲ سیستم MC-UWB ۱۱
۲–۵ مدولاسیون سیستم‌های فرا پهن‌باند ۱۲
۲–۵–۱ مدولاسیون DS-CDMA ۱۲
۲–۵–۲ مدولاسیون UWB MB-OFDM ۱۳
۲–۶ تحلیل اعوجاج گیرنده فرا پهن‌باند ۱۵
۲–۶–۱ طیف فرکانس MB-OFDM ۱۶
۲–۶–۲ مدل گیرنده ۱۷
۲–۶–۳ آثار اعوجاج در سیستم‌های فرا پهن‌باند ۱۸
۲–۶–۳–۱ تولید هارمونیک ۱۸
۲–۶–۳–۲ مدولاسیون متقابل ۱۹
۲–۶–۳–۳ مدولاسیون داخلی مرتبه دو ۲۰
۲–۶–۳–۴ مدولاسیون داخلی مرتبه سه ۲۱
۲–۶–۴ اعوجاج در سیستم‌های متوالی ۲۳
۲–۷ مشخصات خطی گیرنده ۲۴
۲–۸ جمع‌بندی ۲۵
فصل۳) بررسی ساختار میکسر ۲۶
۳–۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ انتخاب پیکربندی پایه ۲۷
۳-۳ تشریح عملکرد میکسر گیلبرت با توازن دوگانه ۲۸
۳-۳-۱ عملکرد سوئیچ LO ۳۰
۳-۳-۲ بهره تبدیل ۳۰
۳-۳-۳ نویز ۳۱
۳-۴ منابع اعوجاج و مدولاسیون داخلی در میکسر ۳۲
۳-۴-۱ مدولاسیون داخلی مرتبه دو ۳۲
۳-۴-۱-۱ مکانیزم Self-Mixing ۳۲
۳-۴-۱-۲ خاصیت غیرخطی ترارسانا و عدم تطابق در سوئیچ‌ها ۳۳
۳-۴-۱-۳ مؤلفه‌های غیرخطی ذاتی حاصل از عملکرد طبقه سوئیچ‌ها ۳۴
۳-۴-۲ اعوجاج و مدولاسیون داخلی مرتبه سه ۳۵
۳-۴-۳ بررسی تأثیر اعوجاج مرتبه ۲ و ۳ روی یک‌دیگر ۳۸
۳-۴-۳-۱ اثر آفست ۳۸
۳-۴-۳-۲ اثر فیدبک ۳۹
۳-۵ جمع‌بندی ۴۰
فصل۴) مروری بر میکسرهای طراحی شده ۴۱
۴-۱ مقدمه ۴۱
۴-۲ بررسی میکسرهای طراحی شده ۴۲
۴-۲-۱ طراحی میکسر فرا پهن‌باند با تکنیک تزریق جریان به طبقه ترارسانا ۴۲
۴-۲-۲ طراحی میکسر کم‌نویز فرا پهن‌باند با استفاده از تکنیک بایاس سوئیچ‌شونده ۴۵
۴-۲-۳ طراحی میکسر با خطینگی بالا با استفاده هم‌زمان از تکنیک تزریق جریان و تبهگنی سورس ۴۶
۴-۲-۴ طراحی میکسر با ارایه تکنیک‌های بهبود IIP2 ۴۷
۴-۲-۵ طراحی میکسر فرا پهن‌باند کمنویز در تکنولوژی 0.13µm ۴۸
۴-۲-۶ طراحی میکسر با تکنیک تزریق هارمونیک دوم برای حذف اعوجاج مرتبه سه ۵۰
۴-۲-۷ طراحی میکسر فرا پهن‌باند با اعمال هم‌زمان تکنیک تزریق جریان به طبقه RF و LO ۵۱
۴-۲-۸ طراحی میکسر فرا پهن‌باند خطی با حذف هم‌زمان اعوجاج مرتبه دو و سه ۵۴
۴-۳ جمع‌بندی ۵۸
فصل۵) طراحی میکسر فرا پهن‌باند ۵۹
۵-۱ مقدمه ۵۹
۵-۲ طراحی میکسر فرا پهن‌باند ۶۰
۵-۲-۱ روند طراحی ۶۱

۵-۳ طراحی میکسر بسیار خطی فرا پهن‌باند پیشنهادی ۶۹
۵-۳-۱ تحلیل تکنیک‌های به کار رفته در میکسر پیشنهادی ۷۱
۵-۳-۱-۱ تکنیک جمع آثار مشتقات بهبود یافته ۷۱
۵-۳-۱-۲ تکنیک تزریق جریان DC به طبقه سوئیچ LO ۷۴
۵-۳-۲ مدار تغذیه برای قسمت ترارسانای میکسر ۷۶
۵-۴ نویز در میکسر پیشنهادی ۷۸
۵-۴-۱ نویز در تکنیک جمع آثار مشتقات ۷۸
۵-۴-۲ نویز در تکنیک تزریق جریان DC به طبقه سوئیچ LO ۷۹
۵-۵ تحلیل بهره تبدیل میکسر ۷۹
۵-۵-۱ هدایت انتقالی ترانزیستور RF ۷۹
۵-۵-۲ بهره سوئیچ طبقه LO ۸۰
۵-۵-۳ امپدانس خروجی میکسر ۸۱
۵-۶ تحلیل شبکه تطبیق ورودی ۸۳
۵-۷ نتایج شبیه‌سازی ۸۴
فصل۶) اندازه‌گیری عملی پارامترهای یک میکسر ۹۲
۶-۱ ملاحظات مهم اندازه‌گیری ۹۲
۶-۱-۱ دستگاه‌های اندازه‌گیری ۹۳
۶-۱-۲ کابل‌های مورد استفاده ۹۳
۶-۱-۳ کانکتورها و مبدل‌ها ۹۳
۶-۲ تکنیک‌های اندازه‌گیری ۹۴
۶-۲-۱ اندازه‌گیری بهره تبدیل ۹۴
۶-۲-۲ اندازه‌گیری خطینگی مرتبه سوم (IP3) ۹۵
۶-۳ طراحی برد آزمایش مشخصات یک میکسر ۹۷
۶-۳-۱ معرفی تراشه TQ5M31 ..... ۹۷
۶-۳-۲ ملاحظات طراحی برد میکسر ۹۹
۶-۳-۲-۱ عرض سیگنال‌های فرکانس بالا ۱۰۰
۶-۳-۲-۲ طول مسیر سیگنال‌های فرکانس بالا ۱۰۱
۶-۳-۲-۳ صفحه مرجع ۱۰۱
۶-۳-۳ برد مدار چاپی تست پارامترهای میکسر TQ5M31 ..... ۱۰۲
۶-۳-۴ اندازه‌گیری بهره تبدیل میکسر TQM31 ..... ۱۰۳
۶-۴ جمع‌بندی ۱۰۵

فصل۷) نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۶
۷–۱ نتیجه‌گیری ۱۰۶
۷–۲ پیشنهادات ۱۰۸
مراجع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

شکل(۲-۱): تاریخچه تکنولوژی فرا پهن‌باند[۲۲] ۶
شکل(۲-۲): ماسک توان ارسالی اختصاص داده شده برای سیستم‌های فرا پهن‌باند برای کاربرد indoor [۲۳] ۷
شکل(۲-۳): طیف یک سیگنال I-UWB [۲۷] ۱۱
شکل (۲-۴): طیف یک سیگنال در سیستم MC-UWB [۲۷] ۱۲
شکل(۲-۵): باندهای فرکانسی مورد استفاده در استاندارد DS-CDMA [۲۷] ۱۳
شکل (۲-۷): طیف MB-OFDM [۲۴] ۱۴
شکل(۲-۶): ساختار باندهای فرکانسی در UWB MB-OFDM [۵] ۱۴
شکل(۲-۸): فرستنده–گیرنده UWB OFDM [۱۶] ۱۵
شکل (۲-۹): طیف فرکانسی MB-OFDM به همراه سیستم‌های تداخلی داخل و خارج باند [۲۴] ۱۶
شکل (۲-۱۰): طیف خروجی سیستم غیرخطی با درجه دو و سه، سیستم مدل شده در رابطه (۲–۴) [۲۴] ۱۸
شکل (۲-۱۱): طیف سیگنال مطلوب و سیگنال‌های تداخلی در ورودی و خروجی گیرنده غیرخطی UWB (اثر مدولاسیون متقابل) [۲۴] ۲۰
شکل(۲-۱۲): نحوه تداخل مدولاسیون داخلی مرتبه دو در سیستم فرا پهن‌باند [۲۴] ۲۱
شکل(۲-۱۳): نقطه تقاطع مرتبه سه در سیستم‌های غیرخطی[۳۳] ۲۲
شکل(۲-۱۴): اعوجاج در سیستم‌های متوالی ۲۳
شکل(۳-۱): میکسر گیلبرت با توازن دوگانه در فرآیند CMOS ۲۹
شکل(۳-۲): تشریح عملکرد میکسر گیلبرت در یک سیکل سیگنال LO ۲۹
شکل(۳-۳): موج مربعی متناوب معادل برای توصیف عملکرد سوئیچ LO ۳۰
شکل (۳-۴): میکسر با تعادل یگانه و ولتاژ آفست مدل شده در گیت و اعوجاج به وجود آمده در جریان [۳۹] ۳۴
شکل (۳-۵): مدار معادل میکسر با فرض سیگنال LO مربعی [۳۹] ۳۴
شکل(۳-۶): g_m ترانزیستور NMOS و مشتقات آن بر حسب ولتاژ گیت–سورس در تکنولوژی 0.13µm CMOS 1P8M با (W/L)=115 و Vds=1v [۱۳] ۳۷
شکل(۳-۷): ترارسانای سورس مشترک همراه با آثار پارازیتی ۳۷
شکل(۳-۸): سیستم غیرخطی با حلقه فیدبک ۳۹
شکل(۳-۹): اعوجاج‌های موجود در میکسر و مکانیزم‌های تولید اعوجاج‌ها از یکدیگر[۶] ۴۰
شکل (۴-۱): مدار میکسرفرا پهن‌باند با اعمال تکنیک تزریق جریان به طبقه ترارسانا [۱۰] ۴۳
شکل(۴-۲): نحوه اعمال تکنیک تزریق منبع جریان به میکسر گیلبرت با توازن تکی ۴۴
شکل(۴-۳): طرح میکسر فرا پهن‌باند کم‌نویز به کمک تکنیک بایاس سوئیچ‌شونده در [۴۸] ۴۵
شکل(۴-۴): طرح میکسر فرا پهن‌باند با خطینگی بالا [۱۵] ۴۶
شکل (۴-۵): ترارسانای تبهگنی شده در سورس [۴۱] ۴۷

شکل(۴-۶): استفاده از فیلتر برای حذف اثر IM2 ناشی از خازن پارازیت [۴۱] ۴۸
شکل(۴-۷): بلوک دیاگرام مدار میکسر کم‌نویز پیشنهادی [۱۴] ۴۸
شکل (۴-۹): مدار کامل میکسر کم‌نویز در [۱۴] ۴۹
شکل(۴-۸): مدار حذف نویز [۱۴] ۴۹
شکل (۴-۱۰): نمایش سیستمی خطی‌سازی گیرنده با استفاده از تکنیک تزریق سیگنال IM2 [۵۰] ۵۰
شکل(۴-۱۱): پیاده‌سازی مداری تکنیک به کار رفته در [۵۰] ۵۱
شکل(۴-۱۲): میکسر فرا پهن‌باند با تکنیک تزریق جریان به ترارسانا در [۱۶] ۵۲
شکل(۴-۱۳): طرح کامل میکسر با استفاده از تکنیک تزریق جریان DC به RF-LO [۱۶] ۵۳
شکل(۴-۱۴): میکسر فرا پهن‌باند ارایه شده و خطی‌سازی شده با تکنیک جمع آثار مشتقات بهبودیافته [۱۳].... ۵۴
شکل(۴-۱۵): حساسیت IIP3 به تغییرات ولتاژ بایاس گیت $M_{1,2}$ [۱۳] ۵۵
شکل(۴-۱۶): شمای مداری و توصیف نموداری تکنیک خطی‌سازی به روش جمع آثار مشتقات برای حذف اعوجاج مرتبه سه [۳۶] ۵۶
شکل(۴-۱۸): اعوجاج مرتبه دو و سه روش جمع آثار مشتقات بهبود یافته (a) مرتبه سه و (b) مرتبه دو [۱۳] ۵۷
شکل(۴-۱۷): ترارسانای معرفی شده برای تکنیک جمع آثار مشتقات بهبود یافته با استفاده از ترانزیستور کمکی PMOS [۱۳] ۵۷
شکل(۵-۱): شمای میکسر گیلبرت شبه تفاضلی ۶۱
شکل(۵-۲): بهره تبدیل بر حسب WRF در F_{RF}=4 GHz , F_{IF}=250 MHz ۶۲
شکل(۵-۳): نمودار بهره تبدیل بر حسب توان ورودی LO ۶۳
شکل(۵-۴): نمودار بهره تبدیل بر حسب توان RF ورودی میکسر ۶۳
شکل(۵-۵): شمای مداری شبکه تطبیق در ورودی RF و نمودار S_{11} بر حسب فرکانس ورودی RF ۶۴
شکل(۵-۶): نمودار IIP3(dBm) بر حسب فرکانس ورودی RF در کل باند با F_{IF}=250MHz ۶۵
شکل(۵-۷): نمودار توان خروجی میکسر بر حسب توان ورودی آن برای محاسبه IIP2 ..... ۶۶
شکل(۵-۸): نمودار بهره تبدیل میکسر بر حسب فرکانس ورودی با F_{IF}=250 MHz ۶۶
شکل(۵-۹): شمای مداری میکسر گیلبرت معمولی طراحی شده ۶۷
شکل(۵-۱۰): طرح میکسر بسیار خطی فرا پهن‌باند پیشنهادی (a) مدار کامل با تکنیک‌های جمع آثار مشتقات بهبود یافته و تزریق جریان به طبقه سوئیچ و (b) منبع جریان با سوئینگ و مقاومت خروجی زیاد ۷۰
شکل(۵-۱۱): g_m و مشتقات آن نسبت به ولتاژ گیت–سورس برای ترانزیستور با (W/L)=115 در 0.13µm [۱۳] ۷۱
شکل(۵-۱۲): مشتق دوم g_m نسبت به ولتاژ گیت–سورس برای ترانزیستور با $(W)_{MP1,2}$=222 µm و $(W)_{M1,2}$=55 µm در 0.18µm ۷۲
شکل(۵-۱۳): مشتق اول g_m نسبت به ولتاژ گیت–سورس برای ترانزیستوری با $(W)_{MP1,2}$=222 µm و $(W)_{M1,2}$=55 µm در تکنولوژی 0.18µm ۷۳

شکل(۵-۱۴): مدل NMOS برای تحلیل خطینگی و نمودار OIP3 و بهره بر حسب مقادیر متفاوت مقاومت خروجی [۵۳] ۷۴
شکل(۵-۱۵): منبع جریان کسکود با مقاومت خروجی و سوئینگ زیاد به کار رفته در تکنیک تزریق جریان DC به طبقه سوئیچ LO [۵۴] ۷۵
شکل(۵-۱۶): مدار تغذیه ارایه شده برای ترانزیستورهای NMOS بخش ترارسانای میکسر پیشنهادی ۷۶
شکل(۵-۱۷): مدار مرجع ولتاژ زیرآستانه (a) مدار کامل و (b) تقویت‌کننده عملیاتی مورد استفاده در مدار مرجع ولتاژ[۵۵] ۷۷
شکل(۵-۱۸): منحنی بهره سوئیچینگ یک میکسر گیلبرت با توازن دوگانه [۳۴] ۸۰
شکل(۵-۱۹): مدار میکسر پیشنهادی برای تحلیل بهره تبدیل آن ۸۱
شکل(۵-۲۰): شبکه تطبیق ورودی RF میکسر ۸۳
شکل(۵-۲۱): نمودار IIP3 بر حسب فرکانس RF در کل باند ۸۴
شکل(۵-۲۲): مشخصه توان ورودی خروجی میکسر در فرکانس ۴ گیگاهرتزی(اندازه‌گیری IIP2) ۸۵
شکل(۵-۲۳): مشخصه توان ورودی خروجی میکسر در فرکانس ۴ گیگاهرتزی (اندازه‌گیری IIP3) ۸۵
شکل(۵-۲۴): وابستگی IIP3 به فاصله فرکانسی دو مؤلفه فرکانسی ورودی ۸۶
شکل(۵-۲۵): بهره و عدد نویز دوطرفه میکسر ۸۷
شکل(۵-۲۶): مقایسه بهره تبدیل شبیه‌سازی شده و مقدار به دست آمده از تحلیل دستی ۸۷
شکل(۵-۲۷): نمودار S_{11} بر حسب فرکانس RF در دو حالت شبیه‌سازی و تحلیل دستی ۸۸
شکل(۶-۱): یک کانکتور SMA ۹۴
شکل(۶-۲): بلوک دیاگرام نحوه اندازه‌گیری بهره تبدیل میکسر ۹۵
شکل(۶-۳): منحنی اندازه‌گیری IP3 با برون‌یابی خطی ۹۵
شکل(۶-۴): بلوک دیاگرام نحوه اندازه‌گیری پارامتر IP3 یک میکسر ۹۶
شکل(۶-۵): تراشه TQ5M31 ۹۸
شکل(۶-۶): مشخصات معمول تراشه TQ5M31 ۹۸
شکل(۶-۷): مدار ارایه شده برای تست میکسر TQ5M31 ۹۹
شکل(۶-۸): بخش LineCalc در نرم‌افزار ADS برای محاسبه عرض سیگنال ۱۰۰
شکل(۶-۹): برد مدار چاپی مدار تست تراشه TQ5M31 و نمونه ساخته شده آن ۱۰۲
شکل(۶-۱۰): طیف خروجی تحلیل گر طیفی برد تست تراشه میکسر در فرکانس ۲۵۰ مگاهرتز ۱۰۴
شکل(۶-۱۱): شرایط اندازه‌گیری طیف خروجی میکسر ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

جدول(۲-۱): مشخصات بلوک‌های مختلف گیرنده MB-OFDM [۶]..... ۲۵
جدول(۵-۱): برخی مشخصات میکسر گیلبرت معمولی برای طراحی فرا پهن‌باند..... ۶۰
جدول(۵-۲): مقادیر عناصر موجود در میکسر معمولی طراحی شده..... ۶۷
جدول(۵-۳): مشخصات میکسر معمولی طراحی شده در شرایط دمایی TT:+27 Ċ..... ۶۸
جدول(۵-۴): مقادیر عناصر به کار رفته در مدار میکسر پیشنهادی..... ۸۸
جدول(۵-۵): مقایسه پارامترهای مهم میکسر پیشنهادی و یک میکسر معمولی..... ۸۹
جدول(۵-۶): مقدار IIP3 در گوشه‌های مختلف دمایی در فرکانس‌های مختلف..... ۹۰
جدول(۵-۷): مقدار بهره تبدیل در گوشه‌های مختلف دمایی در فرکانس‌های مختلف..... ۹۰
جدول(۵-۸): مقایسه عملکرد میکسرهای فرا پهن‌باند با میکسر پیشنهادی پایان‌نامه..... ۹۱
جدول(۶-۱): مشخصات فیزیکی برد مدار تست میکسر..... ۱۰۲
جدول(۶-۲): مقادیر و نوع بسته‌بندی عناصر به کار رفته در مدار تست میکسر..... ۱۰۳
جدول(۶-۳): مشخصات پورت‌های ورودی و خروجی میکسر مورد آزمایش..... ۱۰۴

فصل ۱) مقدمه

ارتباطات بی‌سیم همواره یکی از راه‌کارهای مقرون به صرفه در صنعت ارتباطات و فناوری اطلاعات به شمار می‌رود. گسترش روزافزون این نوع ارتباطات و نیاز به انتقال اطلاعات با سرعت بالا در سال‌های اخیر، باعث ایجاد تقاضا برای توسعه استانداردها و طراحی فرستنده-گیرنده‌های جدید مبتنی بر انتقال داده‌ها با ظرفیت بالا و در توان مصرفی کم، شده است [۱-۴].

تبادلات رادیویی با نرخ داده بالا در انواع کاربردها و شبکه‌ها از شبکه‌های WPAN[1] تا رادیوهای نقطه به نقطه[2] می‌تواند مطرح باشد. انتظار می‌رود یک سیستم رادیویی با سرعت انتقال داده بالا، بتواند نرخ بیتی در حد چند صد مگابیت در ثانیه را مبادله کند. برای این کار لازم است که عرض باندهای چند صد مگابایتی برای سیستم رادیویی در نظرگرفته شود. این عرض باندها در رادیوهایی با فرکانس مرکزی بالا حاصل می‌شود. در حال حاضر باندهای فرکانسی زیر ۱۰GHz برای انواع کاربردهای بی‌سیم (اعم از ثابت، سیار، زمینی و ماهواره‌ای) تخصیص داده شده و در مواردی حتی دارای ازدحام بالایی هستند.

در میان تکنولوژی‌های مختلف برای تحقق انتقال داده با مشخصات مذکور، تکنولوژی فرا پهن‌باند[3] به شیوه کاملاً متفاوتی از سایر تکنولوژی‌ها، از پالس‌های باریک و پردازش سیگنال در حوزه زمان برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کند. بنابراین، سیستم‌های UWB قادرند در بازه زمانی مشخص، اطلاعات بیش‌تری را نسبت به سیستم‌های قدیمی منتقل کنند. زیرا حجم انتقال اطلاعات در سیستم‌های مخابراتی، به صورت مستقیم، متناسب با پهنای باند تخصیص‌یافته و لگاریتم SNR[4] می‌باشد [۲, ۵].

[1] Wireless Personal Area Network (WPAN)
[2] Point-to-Point
[3] Ultra-WideBand (UWB)
[4] Signal to Noise Ratio

به دلیل پهنای باند وسیع تکنولوژی فرا پهن‌باند، گیرنده‌های طراحی شده برای این سیستم، باید قابلیت کار در محیط‌های پر تداخل را دارا باشند. در یک محیط کار معمولی، سیستم‌های بی‌سیم مختلفی در حال کار هستند. بنابراین گیرنده فرا پهن‌باند، همیشه در معرض تداخل و مسدود شدن توسط سایر سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم و یا حتی یک فرستنده‌ی فرا پهن‌باند دیگر قرار دارد. با توجه به مطالب فوق، چالش اساسی در طراحی گیرنده‌های فرا پهن‌باند، داشتن مشخصه بسیار خطی و در عین حال با توان مصرفی کم در محدوده‌ی فرکانسی بزرگی می باشد [۶, ۷].

همان‌طور که اشاره شد، مشخصه سیستم‌های فرا پهن‌باند، نرخ داده بالا، توان مصرفی کم و هزینه پایین آن است. میکسر، یکی از مهم‌ترین بلوک‌های گیرنده فرا پهن‌باند به شمار می‌رود که وظیفه بالا بردن[۱] و پایین آوردن [۲] فرکانس سیگنال را به عهده دارد. این بلوک، نقشی اساسی در میزان خطی بودن بخش front-end گیرنده، ایفا می‌کند[۶, ۸]. با توجه به پیشرفت تکنولوژی و ظهور تکنولوژی‌های nano-CMOS، امکان رسیدن به فرکانس‌های بالاتر و پهنای باند بیش‌تر مهیا شده است [۹, ۱۰].

روش طراحی میکسرهای فرا پهن‌باند در سال‌های اخیر، اکثراً بر پایه ساختار سلول گیلبرت و یا ساختار گسترده قرار داشته است. ساختارهای گسترده در ازای اشغال سطح تراشه بیش‌تر و توان مصرفی بالاتر، به عملکرد باند وسیع دست می‌یابند [۱۱]. در گیرنده‌ها، معمولاً از ساختار با توازن دوگانه[۳] استفاده می‌شود؛ چرا که توانایی حذف نویز مد مشترک را داراست، اگر چه سیگنال وارد شده به آن، غالباً تک‌سر[۴] است. بنابراین گاهی از میکسر با ساختار توازن تکی[۵] استفاده می‌شود که انتظار می‌رود مصرف توان آن، نصف ساختار با توازن دوگانه باشد. اما مشکل اصلی این ساختار، نشت سیگنال نوسان‌ساز محلی[۶] به بخش خروجی میکسر است، هرچند برخی تکنیک‌ها در جهت رفع آن، ارائه شده‌اند [۱۲].

اهمیت خطی بودن میکسر از آنجا ناشی می‌شود که اعوجاج‌های ناشی از مدولاسیون داخلی، هارمونیک‌ها و مدولاسیون متقابل، سبب کاهش بازه دینامیکی گیرنده و در نتیجه کاهش کم‌ترین سیگنال قابل آشکارسازی توسط گیرنده (حساسیت گیرنده) می‌شود [۸, ۱۳]. از سویی، میکسر، به دلیل ویژگی غیرخطی و تغییر پذیر بودن با زمان و دریافت سیگنال تقویت‌شده توسط تقویت‌کننده کم‌نویز[۷]، عامل مؤثری در ایجاد مؤلفه‌های غیرخطی در گیرنده می‌باشد. در نتیجه، میکسر باید به اندازه کافی خطی باشد تا بتواند سیگنال‌های تداخلی را زیر سطح نویز

[1] Up-Conversion
[2] Down-Conversion
[3] Double-Balance
[4] Single Ended
[5] Single-Balance
[6] Local Oscillator (LO)
[7] Low Noise Amplifier (LNA)

قرار دهد. صرف‌نظر از میکسر خطی، نویز آن نیز به دلیل بهره محدود LNA بسیار چالش‌زا است. داشتن بهره تبدیل [1]مناسب برای کاربردهای فرا پهن‌باند، بسیار حیاتی است. بهره تبدیل بالا باعث می‌شود که توزیع نویز در کل باند کاهش یابد و به تبع آن، نویز کل میکسر هم دارای مقدار قابل قبولی در کاربرد فرا پهن‌باند باشد [۱۴]. لحاظ کردن مشخصه عدد نویز[2] که ارضای آن به طور ذاتی با ویژگی خطی میکسر در تضاد است، طراحی میکسر بسیار خطی، با بهره تبدیل بالا و کم نویز را پیچیده‌تر می‌نماید.

تاکنون طراحی‌های زیادی به منظور فائق آمدن بر مشکلات فوق و رسیدن به مشخصات مطلوب یک میکسر فرا پهن‌باند انجام شده است. طراحی یک میکسر با خطینگی[3] بالا در [۱۵] انجام شده است، اما در مقابل، بهره تبدیل آن بسیار پایین و مناسب کاربرهای فرا پهن‌باند نیست. در [۱۶]، یک میکسر فرا پهن‌باند با بهره تبدیل بالا و نویز کم طراحی شده است، اما این مشخصات خوب به قیمت پایین بودن میزان خطینگی میکسر، به‌دست آمده است. ضمن آنکه توان مصرفی این طرح برای کاربرد UWB، مناسب نمی‌باشد. با توجه به توضیحات فوق و بررسی طراحی‌های دیگر، نشان می‌دهد که پارامترهای خطینگی و بهره تبدیل یک میکسر، کاملاً با هم در تضاد هستند. هزینه داشتن یک میکسر با خطینگی بالا، بهره تبدیل پایین و در نتیجه بالا بودن عدد نویز آن است. به همین ترتیب، اگر بهره تبدیل بالایی در نظر بگیریم، خطینگی میکسر کاهش می‌یابد، علاوه بر آن، توان مصرفی نیز افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. با توجه به مطالب فوق، طراحی یک میکسر توان پایین با پهنای باند بالا، بسیار خطی و کم‌نویز در فرآیند CMOS، برای گیرنده فرا پهن‌باند، مسأله بسیار پیچیده‌ایست که راه را برای ارائه ایده‌های جدید باز می‌گذارد.

هدف از انجام این پایان‌نامه، طراحی یک میکسر فرا پهن‌باند به گونه‌ایست که از نظر خطینگی، بهره تبدیل، عدد نویز و توان مصرفی، بهینه‌تر از ساختارهایی باشد که تاکنون پیشنهاد شده‌اند. با توجه به پیشرفت روز افزون تکنولوژی و نیاز سیستم‌های جدید مخابراتی و به تبع آن، تقاضا برای افزایش سرعت، پهنای باند و کاهش توان مصرفی سیستم‌ها، برداشتن گامی در این راستا، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شیوه‌ی انجام این تحقیق به این گونه است که ابتدا ساختارها و روش‌هایی که تا کنون برای پیاده‌سازی این میکسر به کار گرفته شده، مطالعه می‌شوند و بهترین روش‌ها از لحاظ خطینگی، بهره تبدیل، عدد نویز و توان مصرفی انتخاب می‌گردند، سپس با ادغام و تغییر این روش‌ها، ساختار بهینه و جدید استخراج خواهد شد. برای پیاده‌سازی ساختارهای ارائه شده از نرم افزار[4]ADS استفاده شده است. سپس به کمک نتایج حاصل شده، به ارایه یک روش تحلیل مناسب برای

[1] Conversion Gain (CG)
[2] Noise Figure (NF)
[3] Linearity
[4] Advanced Design System

میکسر ارائه شده، خواهیم پرداخت. تحلیل دقیق بهره تبدیل یک میکسر و مقایسه نتایج آن با مقادیر شبیه‌سازی، دیگر دستاورد مهم این پایان‌نامه است. به منظور آشنایی با روش‌های عملی اندازه‌گیری پارامترهای یک میکسر فرکانس بالا، یک مدار تست تراشه میکسر هم طراحی و پیاده‌سازی شده است.

این پایان‌نامه مشتمل بر بخش‌های ذیل می‌باشد. پس از مقدمه فوق، مروری اجمالی بر سیستم‌های فرا پهن‌باند در فصل دوم خواهیم داشت. در فصل سوم، به بررسی ساختار میکسر و منابع اعوجاج آن خواهیم پرداخت. فصل چهارم چند نمونه میکسر طراحی شده در استاندارد فرا پهن‌باند همراه با تکنیک‌های خطی سازی، بهبود بهره تبدیل و نویز مطرح می‌شوند و مزایا و معایب آن‌ها به طور مفصل بررسی می‌شود.

در فصل پنجم، میکسر فرا پهن‌باند پیشنهادی به همراه نتایج شبیه‌سازی، به طور دقیق مورد مطالعه قرار می گیرد. تحلیل دقیق بهره تبدیل میکسر هم در این فصل انجام خواهد شد. ساخت یک مدار تست پارامترهای میکسر به همراه روش‌های اندازه‌گیری عملی میکسرهای فرکانس بالا در فصل ششم مورد بررسی قرار گرفته است. فصل هفتم و پایانی، به جمع‌بندی تحقیق انجام شده در این پایان‌نامه اختصاص دارد و در نهایت، برای ادامه کار در این زمینه، پیشنهاداتی ارایه خواهیم کرد.