

دانشگاه گیلان
دانشکده فنی

عنوان پایان نامه:

طراحی مخلوط‌کننده‌ی باندپهن ولتاژ پایین و توان پایین برای کاربردهای

مخابرات بی‌سیم مدرن

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

دانشجو:

زهرا قانع فشتالی

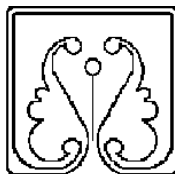
استاد راهنما:

دکتر ماهرخ مقصودی

اساتید مشاور:

دکتر رضا ابراهیمی آتانی

دکتر مهرگان مهدوی



دانشگاه گیلان
دانشکده فنی

عنوان پایان نامه:

طراحی مخلوط‌کننده‌ی باندپهن ولتاژ پایین و توان پایین برای کاربردهای

مخابرات بی‌سیم مدرن

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

دانشجو:

زهرا قانع فشتالی

استاد راهنما:

دکتر ماهرخ مقصودی

اساتید مشاور:

دکتر رضا ابراهیمی آتانی

دکتر مهرگان مهدوی

مهر ۹۱

الله
الرحمن الرحيم

سپاس‌گزاری:

سپاس‌ خدایی را که زیبایی‌های آفرینش را بر ما برگزید، پاکترین روزی‌ها را بر ما نازل فرمود. برتری‌مان بخشید به مالکیت بر همه‌ی موجودات، چنان که جمیع خلق به قدرت او گردن به امر ما نهند و به نیروی او سر بر فرمان ما ساینند. سپاس‌ خدای را که در حاجت آوردن به سوی غیر را بر ما بست و احتیاج‌مان را فقط به سوی خود گشود، چگونه و چه هنگام شکرش را بجا خواهیم آورد؟ نه، هرگز نمی‌توانیم از عهده این شکر برآییم....

بارالها! درود بی‌پایانت را بر وجود گرامی محمد(ص) نازل فرما که بر گنجینه وحی تو امانت‌دار است، از همه‌ی خَلَقَت ارجمندتر است و یکتا گل برگزیده‌ی بوستان بندگان توست و راهنمای نکویی‌ها و گشاینده در برکات و فضایل است....

از اساتید گرامی سرکار خانم دکتر ماهرخ مقصودی و جناب آقای دکتر رضا ابراهیمی آتانی که با کمک‌های بی‌دریغ خود در انجام این پروژه مرا یاری نمودند، سپاس گزارم و از درگاه ایزد منان سعادت و بهروزی هر چه افزون‌تر را برای ایشان مسئلت دارم.

تقدیم به:

ای پدر از تو هر چه می‌گویم باز هم کم می‌آورم
خورشیدی شدی و از روشنایی‌ات جان گرفتم و در ناامیدی‌ها نازم را
کشیدی و لبریزم کردی از شوق
اکنون حاصل دستان خسته‌ات رمز موفقیت‌م شد
به خودم تبریک می‌گویم که تو را دارم و دنیا با همه‌ی بزرگیش مثل تو را
ندارد

و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن
ای روح مهربان هستی‌ام
تو رنگ شادی‌هایم شدی و لحظه‌ها را با تمام وجود از من دور کردی و
عمری خستگی‌ها را به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش
پیروزی را به من بچشانی

فهرست مطالب

د.....	فهرست شکل‌ها
ژ.....	فهرست جدول‌ها
ش.....	فهرست علائم اختصاری
ظ.....	چکیده‌ی فارسی
ع.....	چکیده‌ی انگلیسی

فصل ۱: مقدمه

۲.....	۱-۱ مقدمه
۲.....	۲-۱ شبکه‌های بی‌سیم
۲.....	۱-۲-۱ شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLANs)
۳.....	۲-۲-۱ ساختار شبکه‌های بی‌سیم
۳.....	۳-۲-۱ انواع شبکه‌های بی‌سیم
۴.....	۳-۱ شبکه‌های کامپیوتری بی‌سیم و دستیابی به اینترنت
۴.....	۱-۳-۱ بلوتوث
۵.....	۲-۳-۱ Wi-Fi
۶.....	۴-۱ مفاهیم پایه‌ای ۸۰۲.۱۱
۶.....	۱-۴-۱ استاندارد ۸۰۲.۱۱b
۷.....	۱-۴-۱ اثرات فاصله
۷.....	۲-۴-۱ پل بین شبکه‌ای
۷.....	۳-۴-۱ پدیده‌ی چند مسیری
۸.....	۵-۱ استاندارد ۸۰۲.۱۱a
۱۰.....	۱-۵-۱ افزایش پهنای باند
۱۰.....	۲-۵-۱ طیف فرکانسی تمیزتر
۱۱.....	۳-۵-۱ کانال‌های غیرپوشا

۱۱..... Wi-Fi همکاری ۶-۱

۱۱..... IEEE ۸۰۲.۱۱g استاندارد ۷-۱

۱۲..... فرا باندپهن ۸-۱

فصل ۲: ساختارهای گیرنده

۱۵..... ۱-۲ مقدمه

۱۵..... ۲-۲ معماری گیرنده‌ی سوپرهتروداین

۱۸..... ۳-۲ معماری گیرنده‌ی حذف تصویر

۱۸..... ۱-۳-۲ معماری هارتلی

۱۹..... ۲-۳-۲ معماری ویور

۱۹..... ۴-۲ معماری گیرنده‌ی هوموداین

۲۲..... ۵-۲ معماری گیرنده‌ی IF پایین

فصل ۳: اصول کلی و ساختارهای مخلوط‌کننده

۲۵..... ۱-۳ اصول کلی مخلوط‌کننده

۲۶..... ۲-۳ مشخصات مخلوط‌کننده

۲۶..... ۱-۲-۳ بهره‌ی تبدیل

۲۷..... ۲-۲-۳ عدد نویز

۲۹..... ۳-۲-۳ خطینگی

۲۹..... ۴-۲-۳ نقطه‌ی تقاطع مرتبه‌ی سوم

۳۰..... ۵-۲-۳ نقطه‌ی فشردگی ۱ dB

۳۱..... ۶-۲-۳ حساسیت

۳۱..... ۷-۲-۳ گستره‌ی دینامیکی

۳۲..... ۸-۲-۳ ایزولاسیون پورت‌ها

۳۲..... ۳-۳ توپولوژی‌های مخلوط‌کننده

۳۲..... ۱-۳-۳ مخلوط‌کننده‌های فعال و غیر فعال

- ۳-۳-۲ مخلوط‌کننده‌های تک بالانس و بالانس مضاعف..... ۳۳
- ۴-۳ دژنراسیون سورس ۳۴

فصل ۴ : مروری بر طراحی مخلوط‌کننده‌های مبدل کاهشی ولتاژ پایین

- ۱-۴ مروری بر طراحی مخلوط‌کننده‌های ولتاژ پایین ۳۶
- ۱-۱-۴ معماری ولتاژ پایین با تانک‌های LC ۳۶
- ۲-۱-۴ معماری ولتاژ پایین با استفاده از افزاره‌های مسافت چهار ترمینالی ۳۷
- ۳-۱-۴ یک توپولوژی ولتاژ پایین با استفاده از ترانزیستورهای PMOS به عنوان بار ترانزیستورهای NMOS ۳۹
- ۲-۴ پروسه‌ی طراحی ۴۱
- ۱-۲-۴ مروری بر عملکرد ترانزیستورهای مسافت در نواحی کاری مختلف ۴۱
- ۲-۲-۴ مقایسه‌ی عملکرد دو ترانزیستور مسافت در نواحی وارونگی قوی و زیرآستانه ۴۳
- ۳-۴ آینه جریان‌ها ۴۴
- ۱-۳-۴ قانون طراحی آینه جریان ۴۵
- ۴-۴ طراحی و شبیه‌سازی ۴۶
- ۱-۴-۴ تحلیل DC ۴۶
- ۲-۴-۴ تحلیل HB ۴۷

فصل ۵ : طراحی و شبیه‌سازی مخلوط‌کننده با توجه به مشخصات تعریف شده در پایان‌نامه

- ۱-۵ مشخصات ۴۹
- ۲-۵ روش طراحی ۴۹
- ۲-۵ مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل ساده ۴۹
- ۱-۳-۵ بایاس DC ۵۰
- ۲-۳-۵ محاسبه‌ی بهره‌ی تبدیل مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل ۵۰
- ۳-۳-۵ طراحی منبع جریان بکار رفته در مدار مخلوط‌کننده ۵۳
- ۴-۳-۵ نتایج شبیه‌سازی مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل ۵۶

- ۴-۵ طراحی و شبیه‌سازی یک مخلوط‌کننده‌ی به‌هم‌تابیده‌ی بدون سلف‌توان پایین ۷/۵-۰/۵ GHz برای کاربردهای باندهای پایین..... ۶۰
- ۱-۴-۵ ساختار مخلوط‌کننده و تحلیل عملکرد آن ۶۱
- ۲-۴-۵ محاسبه‌ی بهره‌ی تبدیل و تحلیل عملکرد مخلوط‌کننده ۶۳
- ۳-۴-۵ تحلیل دستی مدار مخلوط‌کننده ۶۴
- ۴-۴-۵ نتایج شبیه‌سازی مخلوط‌کننده‌ی مورد نظر ۶۷
- ۵-۴-۵ نتیجه‌گیری ۷۰
- ۵-۵ طراحی و شبیه‌سازی یک مخلوط‌کننده‌ی ۱-V ، ۱/۳-mW برای گیرنده‌های MB-OFDM UWB ۷۱
- ۱-۵-۵ ساختار مخلوط‌کننده و تحلیل عملکرد آن ۷۳
- ۲-۵-۵ تحلیل دستی مدار مخلوط‌کننده ۷۴
- ۳-۵-۵ محاسبه‌ی بهره‌ی تبدیل مخلوط‌کننده ۷۶
- ۴-۵-۵ تحلیل نویز مخلوط‌کننده ۷۸
- ۵-۵-۵ نتایج شبیه‌سازی ۷۹
- ۶-۵-۵ نتیجه‌گیری ۸۲
- ۶-۵ طراحی و شبیه‌سازی یک مخلوط‌کننده‌ی بسیار توان پایین، ولتاژ پایین با استفاده از عملکرد ترانزیستورهای ماسفت در ناحیه‌ی زیر آستانه ۸۳
- ۱-۶-۵ عملکرد زیرآستانه‌ی ترانزیستورهای ماسفت ۸۳
- ۲-۶-۵ ساختار مخلوط‌کننده و تحلیل عملکرد آن ۸۵
- ۳-۶-۵ نتایج شبیه‌سازی ۸۸
- ۴-۶-۵ نتیجه‌گیری ۹۲
- ۷-۵ طراحی و شبیه‌سازی یک مخلوط‌کننده‌ی زیرآستانه‌ی ۵/۸ / ۲/۴ GHz برای کاربردهای بسیار ولتاژ پایین و توان پایین ۹۲
- ۱-۷-۵ طراحی و تحلیل مدار مخلوط‌کننده ۹۳
- ۲-۷-۵ نتایج شبیه‌سازی مخلوط‌کننده‌ی مورد نظر ۹۶

۱۰۳.....	۳-۷-۵ نتیجه گیری
۱۰۳.....	۸-۵ نتیجه گیری
۱۰۵.....	نتیجه گیری
۱۰۶.....	کارهای آینده
۱۰۷.....	فهرست مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ گستره‌ی امواج برای کاربردهای خاص [۱] ۴
- شکل ۲-۱ نمونه‌ای از یک شبکه‌ی محلی بی‌سیم [۱] ۵
- شکل ۳-۱ پدیده‌ی چند مسیری [۱] ۸
- شکل ۴-۱ تخصیص باند فرکانسی در UNII [۱] ۹
- شکل ۵-۱ فرکانس مرکزی و فواصل فرکانسی در باند UNII، [۲] ۱۱
- شکل ۶-۱ طیف فرکانسی تخصیص داده شده به کاربردهای مختلف [۳] ۱۳
- شکل ۱-۲ معماری گیرنده‌ی سوپرهتروداین رایج [۷] ۱۶
- شکل ۲-۲ حذف تصویر در مقایسه با حذف تداخل کننده‌ها (الف) IF بالا و (ب) IF پایین [۷] ۱۷
- شکل ۳-۲ گیرنده‌ی حذف تصویر هارتلی [۷] ۱۸
- شکل ۴-۲ گیرنده‌ی حذف تصویر ویور [۷] ۱۹
- شکل ۵-۲ معماری گیرنده‌ی هوموداین [۷] ۲۰
- شکل ۶-۲ مخلوط‌سازی مجدد سیگنال LO در یک گیرنده‌ی تبدیل مستقیم [۷] ۲۰
- شکل ۷-۲ اعوجاج مرتبه‌ی دوم در گیرنده‌های هوموداین [۷] ۲۲
- شکل ۸-۲ معماری گیرنده‌ی IF پایین [۷] ۲۳
- شکل ۹-۲ فیلتر چند فازی برای حذف تصویر و تصویر حذف نشده [۷] ۲۳
- شکل ۱-۳ مدلی ساده از یک مخلوط‌کننده ۲۵
- شکل ۲-۳ توان سیگنال‌های ورودی RF و LO و سیگنال‌های خروجی مخلوط‌کننده ۲۵
- شکل ۳-۳ توصیف SSB NF ۲۸
- شکل ۴-۳ توصیف DSB NF ۲۸
- شکل ۵-۳ نمایش گرافیکی نقطه‌ی تقاطع مرتبه‌ی سوم ورودی (IIP3) ۳۰
- شکل ۶-۳ نمایش گرافیکی نقطه‌ی فشردگی ۱ dB مخلوط‌کننده ۳۱
- شکل ۷-۳ نمایش گرافیکی پارامترهای گستره‌ی دینامیکی ۳۱
- شکل ۸-۳ یک مخلوط‌کننده‌ی تک بالانس ۳۲

- شکل ۳-۹ یک مخلوط‌کننده‌ی بالانس مضاعف ۳۳
- شکل ۳-۱۰ (الف) سلف‌های دژنراسیون سورس، (ب) مقاومت‌های دژنراسیون سورس ۳۴
- شکل ۴-۱ توپولوژی ولتاژ پایین با استفاده از تانک‌های LC و خازن بای‌پس، (الف) توپولوژی کامل، (ب) مدار معادل ac، (ج) مدار معادل DC [۲۵] ۳۷
- شکل ۴-۲ شماتیک ساده‌ای از مخلوط‌کننده‌ی پیشنهاد شده [۲۴] ۳۷
- شکل ۴-۳ نمونه‌ای از مخلوط‌کننده‌ی راه‌اندازی‌شده توسط بدنه (BDM) [۲۶] ۳۸
- شکل ۴-۴ مسافت کانال n در یک تکنولوژی دوچاهه با زیرلایه‌ی p، با مقاومت p-well پارازیتی بدنه-کانال (R_{BC}) [۲۵] ۳۹
- شکل ۴-۵ اساس عملکرد مخلوط‌کننده‌ی پیشنهاد شده [۳۷] ۴۰
- شکل ۴-۶ دیاگرام شماتیکی کامل مخلوط‌کننده [۳۷] ۴۰
- شکل ۴-۷ منحنی I_{ds} بر حسب V_{ds} برای نشان دادن نواحی مختلف عملکرد ترانزیستور [۵۶] ۴۳
- شکل ۴-۸ منحنی I-V ترانزیستورهای M1 و M2 [۳۱] ۴۴
- شکل ۴-۹ یک سینک جریان NMOS ساده ۴۵
- شکل ۴-۱۰ نمودار I_{out} بر حسب V_{DS} که تغییر I_{out} را با تغییر V_{DS} نشان می‌دهد [۵۶] ۴۵
- شکل ۴-۱۱ L باید بین L_{min} تا ۲ L_{min} باشد [۵۶] ۴۶
- شکل ۵-۱ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل ۵۰
- شکل ۵-۲ مدل سیگنال کوچک شاخه‌ی سمت چپ مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل در فاز LO+ ۵۱
- شکل ۵-۳ سیگنال LO ۵۲
- شکل ۵-۴ مدار منبع جریان I_{bias} ۵۴
- شکل ۵-۵ نمودار توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین IIP3 و IP_{1dB} ۵۷
- شکل ۵-۶ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب توان LO ۵۷
- شکل ۵-۷ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب فرکانس RF ۵۷
- شکل ۵-۸ منحنی SSB NF و DSB NF بر حسب توان LO ۵۸
- شکل ۵-۹ منحنی ایزولاسیون‌های پورت به پورت با روبش فرکانس RF ۵۸

- شکل ۵-۱۰ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی طراحی شده ۶۲
- شکل ۵-۱۱ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی مورد نظر با مدار بایاس طراحی شده ۶۳
- شکل ۵-۱۲ مدار معادل سیگنال کوچک شاخه‌ی سمت چپ در یک فاز از LO ۶۳
- شکل ۵-۱۳ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین $IIP3$ ۶۷
- شکل ۵-۱۴ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین IP_{1dB} ۶۷
- شکل ۵-۱۵ منحنی $SSB NF$ و $DSB NF$ بر حسب توان LO ۶۸
- شکل ۵-۱۶ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب توان LO ۶۸
- شکل ۵-۱۷ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش فرکانس RF ۶۹
- شکل ۵-۱۸ منحنی ایزولاسیون‌های پورت به پورت با روبش فرکانس RF ۶۹
- شکل ۵-۱۹ طرح باند سیستم MB-OFDM [۳] ۷۲
- شکل ۵-۲۰ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی پیشنهادشده ۷۳
- شکل ۵-۲۱ مدل سیگنال کوچک فرکانس بالای شاخه‌ی سمت چپ در یک فاز از نوسان‌ساز محلی ۷۶
- شکل ۵-۲۲ مدل سیگنال کوچک فرکانس پایین شاخه‌ی سمت چپ در یک فاز از نوسان‌ساز محلی ۷۷
- شکل ۵-۲۳ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب فرکانس RF ۸۰
- شکل ۵-۲۴ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین $IIP3$ ۸۰
- شکل ۵-۲۵ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین IP_{1dB} ۸۰
- شکل ۵-۲۶ منحنی $SSB NF$ و $DSB NF$ بر حسب توان LO ۸۱
- شکل ۵-۲۷ منحنی‌های I-V ترانزیستورهای $M1$ و $M2$ ۸۴
- شکل ۵-۲۸ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی پیشنهاد شده ۸۶
- شکل ۵-۲۹ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش $V_{G,LO}$ ۸۶
- شکل ۵-۳۰ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش $V_{G,RF}$ ۸۶
- شکل ۵-۳۱ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش $W_{9,10}$ ۸۷
- شکل ۵-۳۲ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش W_{5-8} ۸۷
- شکل ۵-۳۳ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش W_{1-4} ۸۷

- شکل ۳۴-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش توان LO ۸۹
- شکل ۳۵-۵ منحنی SSB NF و DSB NF بر حسب توان LO ۸۹
- شکل ۳۶-۵ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین IP_{1dB} ۹۰
- شکل ۳۷-۵ منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی برای تعیین IIP3 ۹۰
- شکل ۳۸-۵ منحنی ایزولاسیون‌های پورت به پورت بر حسب فرکانس RF ۹۱
- شکل ۳۹-۵ شماتیک مخلوط‌کننده‌ی طراحی شده ۹۳
- شکل ۴۰-۵ منحنی روبش بهره‌ی تبدیل بر حسب W5,6 ۹۴
- شکل ۴۱-۵ منحنی روبش بهره‌ی تبدیل بر حسب W_{1-4} ۹۵
- شکل ۴۲-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل با روبش V_{G1-4} ۹۵
- شکل ۴۳-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب توان LO در فرکانس RF ، ۲/۴ GHz ۹۹
- شکل ۴۴-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب توان LO در فرکانس RF ، ۵/۸ GHz ۹۹
- شکل ۴۵-۵ منحنی توان خروجی IF بر حسب توان ورودی RF برای تعیین IP_{1dB} و IIP3 در ۲/۴ GHz ۱۰۰
- شکل ۴۶-۵ منحنی توان خروجی IF بر حسب توان ورودی RF برای تعیین IP_{1dB} و IIP3 در ۵/۸ GHz ۱۰۰
- شکل ۴۷-۵ منحنی SSB NF و DSB NF بر حسب فرکانس RF در ۲/۴ GHz ۱۰۱
- شکل ۴۸-۵ منحنی SSB NF و DSB NF بر حسب فرکانس RF در ۵/۸ GHz ۱۰۱
- شکل ۴۹-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب فرکانس RF در ۲/۴ GHz ۱۰۱
- شکل ۵۰-۵ منحنی بهره‌ی تبدیل بر حسب فرکانس RF در ۵/۸ GHz ۱۰۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ استانداردهای شبکه‌های کامپیوتری بی‌سیم [۱]..... ۴
- جدول ۱-۴ مقایسه‌ی بین عملکرد زیرآستانه و وارونگی قوی در ترانزیستورهای ماسفت ۴۳
- جدول ۱-۵ مقدار پارامترهای عملکرد مخلوط‌کننده ۴۹
- جدول ۲-۵ برخی از پارامترهای تکنولوژی $0.18 \mu\text{m}$ بکار رفته ۵۰
- جدول ۳-۵ مقادیر پارامترهای به دست آمده از محاسبات تئوری برای انجام شبیه‌سازی اولیه ۵۵
- جدول ۴-۵ مقدار نهایی پارامترهای انتخاب شده برای انجام شبیه‌سازی ۵۶
- جدول ۵-۵ مقدار پارامترهای مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت سل برای انجام شبیه‌سازی هارمونیک بالانس ۵۶
- جدول ۶-۵ خلاصه‌ای از عملکرد مخلوط‌کننده ۵۹
- جدول ۷-۵ لیست کاملی از همه‌ی پارامترهای عملکرد مخلوط‌کننده ۵۹
- جدول ۸-۵ خلاصه‌ای از شرایط عملکرد و پارامترهای مخلوط‌کننده ۶۶
- جدول ۹-۵ خلاصه‌ای از پارامترهای انتخاب شده برای شبیه‌سازی مخلوط‌کننده ۶۶
- جدول ۱۰-۵ خلاصه‌ای از عملکرد مخلوط‌کننده ۷۰
- جدول ۱۱-۵ مقایسه‌ی عملکرد این مخلوط‌کننده با مخلوط‌کننده‌های CMOS قبلی ۷۱
- جدول ۱۲-۵ مقدار پارامترهای عملکرد مخلوط‌کننده ۷۴
- جدول ۱۳-۵ مقدار نهایی پارامترهای مخلوط‌کننده ۷۶
- جدول ۱۴-۵ خلاصه‌ای از پارامترهای انتخاب شده برای شبیه‌سازی مخلوط‌کننده ۷۹
- جدول ۱۵-۵ پارامترها و شرایط عملکرد مخلوط‌کننده ۸۲
- جدول ۱۶-۵ مقایسه‌ی عملکرد این مخلوط‌کننده با مخلوط‌کننده‌های قبلی ۸۲
- جدول ۱۷-۵ مقایسه‌ی بین عملکرد نواحی وارونگی قوی و زیرآستانه‌ی ترانزیستورهای ماسفت ۸۴
- جدول ۱۸-۵ شرایط عملکرد مخلوط‌کننده ۸۸
- جدول ۱۹-۵ خلاصه‌ای از پارامترهای انتخاب شده برای شبیه‌سازی مخلوط‌کننده ۸۹
- جدول ۲۰-۵ خلاصه‌ای از عملکرد مخلوط‌کننده ۹۱
- جدول ۲۱-۵ مقایسه‌ی عملکرد این مخلوط‌کننده با مخلوط‌کننده‌های CMOS قبلی ۹۲

- جدول ۲۲-۵ خلاصه‌ای از مقادیر پارامترهای انتخاب شده برای مخلوط‌کننده ۹۶
- جدول ۲۳-۵ خلاصه‌ای از پارامترهای انتخاب شده برای شبیه‌سازی مخلوط‌کننده ۹۶
- جدول ۲۴-۵ خلاصه‌ای از عملکرد مخلوط‌کننده ۱۰۲
- جدول ۲۵-۵ مقایسه‌ی مخلوط‌کننده با مخلوط‌کننده‌های ولتاژ پایین CMOS قبلی ۱۰۳
- جدول ۲۶-۵ مقایسه‌ی مخلوط‌کننده‌های طراحی شده در این پایان‌نامه ۱۰۴

فهرست علائم اختصاری

AC	Alternative current
ADS	Advanced Design System
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	Access Point
BDM	Bulk Driven Mixer
BDR	Blocking Dynamic Range
BER	Bit- Error- Rate
BJT	Bipolar Junction Transistor
BW	Bandwidth
CAD	Computer-Aided Design
CCK	Complementary Code Keying
CG	Conversion Gain
CG_v	Voltage Conversion Gain
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
C_{ox}	Gate-Oxide Capacitance per unit area
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
dB	Decibel
dBm	Decibels with respect to 1mW
DC	Direct Current
DSB NF	Double- Sideband Noise Figure
DSL	Digital Subscriber Line
DSP	Digital Signal Processing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
f_c	Flicker noise corner frequency
FCC	Federal Communication Commission
FOM	Figure Of Merit
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
f_{RF}	RF Frequency
g_{ds}	Drain-to-Source small signal transconductance
g_{mbs}	Back gate (bulk) transconductance
g_m	Gate transconductance

G_V	Voltage Gain
HB	Harmonic Balance
HBT	Hetero-junction Bipolar Transistor
HD2	Second-Order Harmonic Distortion
HD3	Third-Order Harmonic Distortion
I_{bias}	Bias Current
IC	Integrated Circuit
I_D	Drain current
I_{dc}	DC current
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	Intermediate Frequency
IIP3	Third-Order Input Intercept Point
IM2	Second-Order Intermodulation
IM3	Third-Order Intermodulation
I_{out}	Output Current
IP3	Third-Order Intercept Point
IP_{1dB}	Input 1 dB compression point
IR	Infra Red
I_{ref}	Reference current
ISM	Industrial- Scientific-Medical
ITU	International Telecommunication Union
K	Boltzman's constant
K_f	Flicker noise factor
L	Transistor Length
LC	Inductor-Capacitor
L_{eff}	Effective length
L_{min}	Minimum length
LNA	Low Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
LPF	Low Pass Filter
MB-OFDM	Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing
Mbps	Mega bit per Second
MDS	Minimum Detectable Signal
MOS	Metal–Oxide–Semiconductor

NF	Noise Figure
NMOS	N-channel MOSFET
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P	DC Power Consumption
P_{1dB}	1 dB Compression Point
P_{diss}	Dissipation Power
PMOS	P-channel MOSFET
P_{in}	Input Power
P_{out}	Output Power
q	Charge of an electron
Q	Quality Factor
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
R_{BC}	Bulk-channel Resistance
r_{ds}	Drain-to-Source small signal resistance
RF	Radio Frequency
RFIC	Radio Frequency Integrated Circuit
R_L	Load Resistance
r_o	Small signal output resistance
R_s	Source Resistance
RX	Receiver
SFDR	Spurious- Free Dynamic Range
SiGe	Silicium-Germanium
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SOC	System on chip
SSB NF	Single-Sideband Noise Figure
T	Absolute temperature in degrees Kelvin
THD	Total Harmonic Distortion
TOI	Third-Order Intercept
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
UWB	Ultra Wideband
V_{BS}	Body (Bulk)-to-Source Voltage
VCO	Voltage Controlled Oscillator
V_{DD}	Supply Voltage

V_{DS}	Drain-to-Source Voltage
$V_{ds,sat}$	Drain-to-Source saturation voltage
VGA	Variable Gain Amplifier
V_G	Gate bias voltage
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage
V_{IF}	Voltage Amplitude of IF Signal
V_{in}	Input Voltage
V_{LO}	Voltage Amplitude of LO Signal
V_{od}	Overdrive Voltage
V_{out}	Output Voltage
V_{RF}	Voltage Amplitude of RF Signal
V_{TH0}	Zero substrate bias threshold voltage
V_{TH}	Threshold Voltage
W	Transistor Width
W_{eff}	Effective width
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
γ	Body effect factor
Φ_f	Fermi surface potential
λ	Channel length modulation factor
μ_n	Mobility of charge carrier of NMOS
μ_p	Mobility of charge carrier of PMOS