



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Electrical Engineering

M.Sc. Thesis

**Linearity Improvement and Noise Reduction of CMOS Active Mixers in
Wideband Zero-IF Receivers**

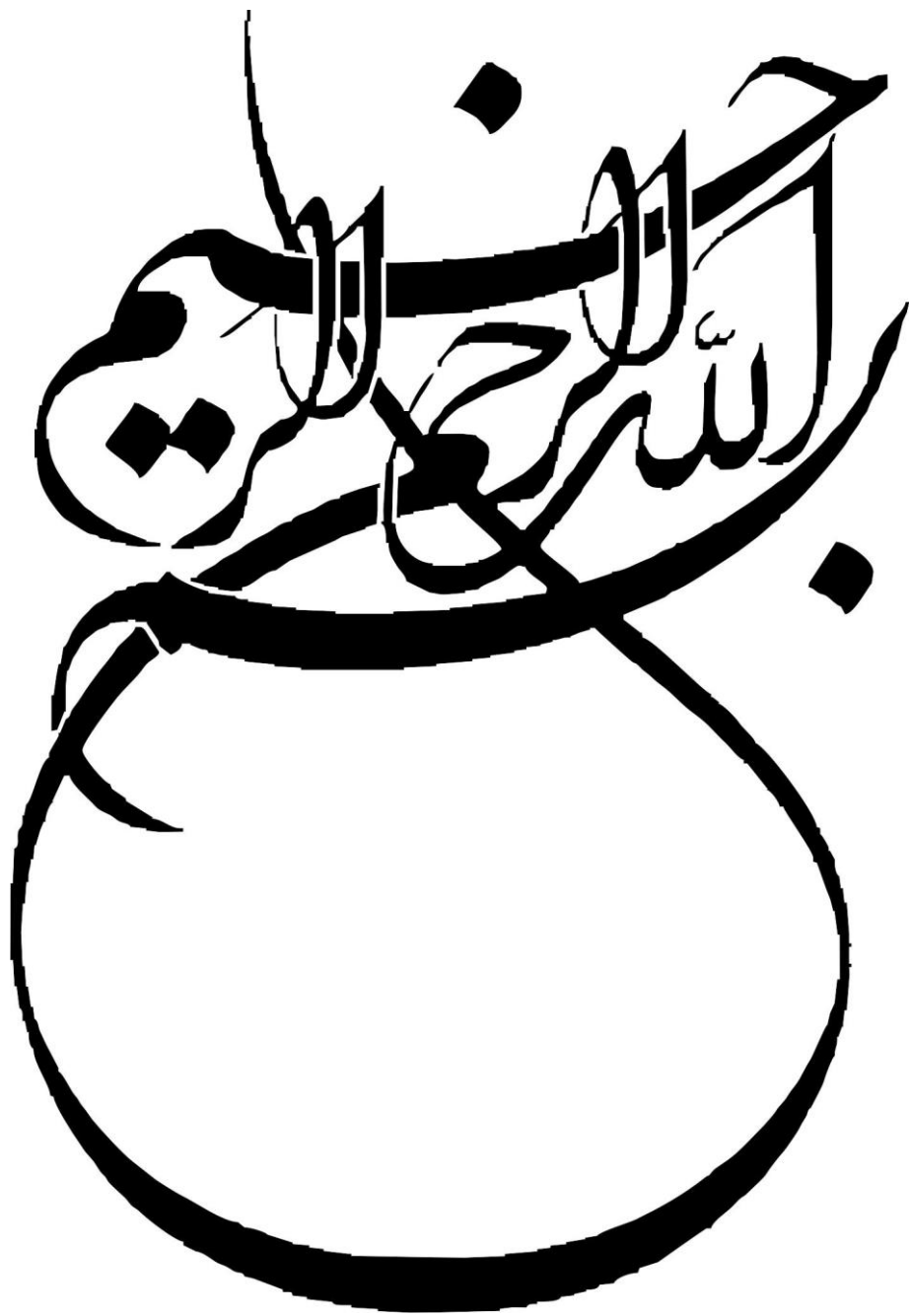
By

Hesam Abbasi

Supervisor

Dr. Mohammad Yavari

Fall 2021





دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق
(گرایش الکترونیک-مدارهای مجتمع آنالوگ)

عنوان

بهبود خطینگی و کاهش نویز میکسرهای فعال CMOS در گیرنده‌های
Zero-IF پهن باند

نگارش

حسام عباسی

استاد راهنما

جناب آقای دکتر محمد یاوری

پاییز ۱۴۰۰

به نام خدا



تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ:

اینجانب حسام عباسی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پژوهش حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پژوهش قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

حسام عباسی

امضا

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در تمام زمان تحصیل، محیط و امکانات لازم را برایم فراهم آوردند و از همه مهمتر، با ارزش‌ترین داراییشان را، یعنی عمرشان را برای من خرج کردند.

تا ابد سپاس‌گزارم.

تقدیر و تشکر

ابتدا شکر خدای متعال را دارم که به من این اراده را داد تا بتوانم مقطعی دیگر را پشت سر بگذارم. سپس، از پدر و مادر عزیزتر از جانم بسیار سپاس گزارم. آن دو که همیشه پشتیبان و مشوق من بوده و هستند و مطمئناً خواهند بود و امیدوارم شایستگی آن را داشته باشم.

از جناب آقای دکتر یآوری تشکر ویژه را دارم. در دو سال گذشته و با وجود همه گیری بیماری کرونا، خواسته و ناخواسته، امر پژوهش اینجانب و تکمیل پایان نامه بیش از حد انتظار طول کشید. اما با راهنمایی های ایشان، طی کردن این مهم برایم آسان تر شد. همچنین از اعضای کمیته ی ارزشیابی، جناب آقای دکتر محسن معزی و جناب آقای عبدالعلی عبدی پور که وقت گرانبهایشان را قرار داده و پایان نامه ی اینجانب را بررسی و ارزیابی کرده اند تشکر و قدردانی می کنم.

در نهایت لازم می دارم تا از دوستان خود در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و بخصوص آزمایشگاه طراحی مدار مجتمع، خانم منصوره یوسفی و بهاره شیرمحمدی و آقایان محمدباقر غیاثی، عطاالله مهسافر، علیرضا احرار، فرشاد گزل پور و مهدی عشایری و سامان شیخ احمدی که در طول مدت تحصیل خود بسیار از آن ها آموختم، تشکر کنم.

با آرزوی موفقیت روزافزون و سلامتی همه ی شما بزرگواران

چکیده

بهبود خطینگی و کاهش نویز میکسرهای فعال همواره مورد توجه طراحان سیستم‌های مخابرات رادیویی بوده است. بخصوص میکسرهای مورد استفاده در گیرنده‌های Zero-IF زیرا بخش بزرگی از مشکلات مربوط به خطینگی و نویز این گیرنده‌ها با به کار گیری یک میکسر مناسب تا حد خوبی حل می‌شوند. البته با کاهش روز افزون ابعاد ترانزیستورها و نیاز به منبع تغذیه‌ی کوچکتر، رسیدن به این مهم سخت‌تر شده است. در این پایان‌نامه با ارائه‌ی روش‌هایی عملکرد میکسر پایین آورنده‌ی فرکانسی مورد استفاده در گیرنده‌های Zero-IF بهبود یافته است. با کاهش غیرخطینگی‌های مرتبه اول و دوم جریان طبقه‌ی هدایت انتقالی، پارامترهای IIP2 و IIP3 بهبود یافته‌اند. بدین صورت که با استفاده از ترانزیستورهای کمکی، که در نواحی متفاوت بایاس شده‌اند، غیرخطینگی مرتبه اول و دوم، یکبار به صورت مستقیم و بار دیگر از طریق یک مدار ایجاد اینترمدولاسیون مرتبه دوم، ایجاد شده که دارای علامت متفاوت با غیرخطینگی ترانزیستورهای مدار اصلی بوده و باعث حذف آن می‌شوند. همچنین با استفاده از تکنیک کاهش نویز، اثر نویز ترانزیستورهای ورودی، که بیشترین اثر را در نویز میکسر دارند، در درخروجی کاهش یافته است و در نتیجه شاهد عدد نویز کمتری در مقایسه با میکسر مرسوم هستیم. بعلاوه، برای بهبود عملکرد میکسر در گوشه‌های تکنولوژی و دما، یک مدار بایاس با هدایت انتقالی ثابت ارائه شده است. البته این بهبود عملکرد باعث افزایش توان مصرفی و مساحت تراشه در مقایسه با میکسر مرسوم شده است.

قبل از انجام شبیه سازی، عملکرد مدار با استفاده از سری تیلور بررسی شده است. سپس ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Cadence و استفاده از Spectre RF و در تکنولوژی CMOS 65 nm و ولتاژ تغذیه‌ی ۱ ولتی، عملکرد میکسر پیشنهادی در محیط Schematic بررسی شده و نهایتاً کارایی مدار پس از جانمایی و با استفاده از نرم‌افزار Calibre بررسی شده است. میکسر پیشنهادی برای پهنای باند ورودی 0.8 GHz – 5 GHz طراحی شده است. به منظور مقایسه‌ی بهتر با میکسر مرسوم سعی شده تا بهره‌ی تبدیل هر دو میکسر یکسان باشد. نهایتاً به طور میانگین، به ترتیب شاهد افزایش 6.81 dB و 8.34 dB برای پارامترهای IIP3 و IIP2 و کاهش 4.15 dB برای عدد نویز در مقایسه با میکسر مرسوم هستیم.

واژه‌های کلیدی:

میکسر پایین آورنده‌ی فرکانسی، گیرنده‌های Zero-IF، خطینگی، هسته‌های غیرخطی، بهره‌ی تبدیل، عدد نویز.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- پیش گفتار	۱
۱-۲- اهداف پایان نامه.....	۳
۱-۳- ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم: انواع میکسر و پارامترهای آن.....	۵
۲-۱- مقدمه	۵
۲-۲- طبقه بندی از نظر بالا/پایین آورنده فرکانس	۷
۲-۳- طبقه بندی از نظر فعال و یا غیرفعال بودن	۷
۲-۴- بررسی تعادل در میکسرها	۹
۲-۴-۱- میکسر نامتعادل	۹
۲-۴-۲- میکسر تک-تعادل	۱۰
۲-۴-۳- میکسر دو تعادل	۱۱
۲-۵- نویز	۱۴
۲-۵-۱- نویز مقاومت	۱۴
۲-۵-۲- نویز در ترانزیستور MOSFET	۱۴
۲-۵-۳- اثر نویز طبقه ی هدایت انتقالی در نویز خروجی	۱۵
۲-۵-۴- اثر نویز طبقه ی کلیدزنی در خروجی	۱۶
۲-۵-۵- اثر نویز طبقه ی بار در خروجی	۱۶
۲-۶- عدد نویز (فاکتور نویز)	۱۷
۲-۷- غیر خطیگی	۱۷
۲-۸- انواع اینترمدولاسیون و نقطه فشردگی	۱۸
۲-۸-۱- نقطه فشردگی P_{1-dB}	۱۹
۲-۸-۲- اینترمدولاسیون مرتبه دوم	۲۰
۲-۸-۳- اینترمدولاسیون مرتبه سوم	۲۱
فصل سوم: مروری بر چند تکنیک کاهش نویز و بهبود خطیگی در میکسرهای فعال.....	۲۲
۳-۱- پیش گفتار	۲۲
۳-۲- روش ارائه شده برای بهبود IIP2 و IIP3 در مرجع [23]	۲۳
۳-۳- استفاده از اثر متقابل گیت-بدنه و تزریق جریان اصلی برای کاهش IM2 و IM3 ارائه شده در مرجع [24]	۲۶

۳-۴- استفاده از اثر متقابل دو سیستم غیرخطی متوالی برای بهبود IIP3 مرجع [25].....	۲۸
۳-۵- میکسر فعال پایین آورنده فرکانس با IIP2 و IIP3 بالا مرجع [26].....	۲۹
۳-۶- تکنیک حذف اینترمدولاسیون مرتبه دوم و افزایش بهره تبدیل برای میکسر های فعال CMOS مرجع [27].....	۳۰
۳-۷- میکسر پهن باند با بهبود خطیگی و بهره تبدیل [28].....	۳۱
۳-۸- میکسر پهن باند با خطیگی بالا و نویز کم مقاله [29].....	۳۲
۳-۹- خطی سازی میکسر فعال پایین آورنده فرکانسی با روش فیدفوروارد [47].....	۳۴
۳-۱۰- LNA و میکسر با خطیگی بالا [48].....	۳۵
۳-۱۱- میکسر دو تعادل با بهبود بهره تبدیل، IIP3 و عدد نویز [49].....	۳۶
فصل چهارم: روش ارائه شده برای بهبود خطیگی و کاهش نویز میکسر.....	
۴-۱- غیرخطیگی در ترانزیستورهای MOS.....	۳۸
۴-۱-۱- غیرخطیگی در ترانزیستور NMOS.....	۳۸
۴-۱-۲- غیرخطیگی در ترانزیستور PMOS.....	۳۹
۴-۲- میکسر پیشنهادی با بهبود IIP2 و IIP3 و نویز.....	۴۱
۴-۲-۱- طبقه ی هدایت انتقالی.....	۴۱
۴-۲-۲- طرح نهایی میکسر و مدار بایاس پیشنهادی.....	۴۸
فصل پنجم: شبیه سازی و بررسی عملکرد میکسر پیشنهادی.....	
۵-۱- طراحی مدار و ابعاد عناصر.....	۵۳
۵-۲- نحوه ی شبیه سازی.....	۵۶
۵-۳- نتایج شبیه سازی.....	۵۶
۵-۴- نتایج شبیه سازی گوشه های تکنولوژی و دما میکسر پیشنهادی.....	۶۵
۵-۵- شبیه سازی پس از جانمایی.....	۶۸
۵-۶- مقایسه ی میکسر پیشنهادی با تعدادی از ساختارهای پیشین.....	۷۳
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....	
۶-۱- نتیجه گیری.....	۷۵
۶-۲- پیشنهادات.....	۷۶
مراجع.....	
	۷۷

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲): نماد میکسر [9] ۶
- شکل (۲-۲): (الف) میکسر پایین آورنده فرکانس (ب) میکسر بالا برنده فرکانس [9] ۶
- شکل (۳-۲): میکسر فعال دوتعدادل گیلبرت [10] ۸
- شکل (۴-۲): میکسر غیرفعال حلقوی [10] ۸
- شکل (۵-۲): میکسر بدون بالانس [9] ۱۰
- شکل (۶-۲): میکسر تک-بالانس [9] ۱۱
- شکل (۷-۲): میکسر دو بالانس. (الف) طبقه هدایت انتقالی شبه تفاضلی (ب) طبقه هدایت انتقالی تمام تفاضلی. ۱۲
- شکل (۸-۲): (الف) ولتاژ نوسانساز محلی و جریان ترانزیستورهای طبقه ی کلیدزنی (ب) بزرگنمایی ولتاژ نوسانساز محلی [9] ۱۳
- شکل (۹-۲): نویز در ترانزیستور MOSFET ۱۵
- شکل (۱۰-۲): ایجاد مؤلفه های اینترمدولاسیون های مختلف در تست دو تن [9] ۱۹
- شکل (۱۱-۲): نقطه فشردگی P_{1-dB} [9] ۱۹
- شکل (۱۲-۲): اینترمدولاسیون مرتبه دوم [9] ۲۰
- شکل (۱۳-۲): اینترمدولاسیون مرتبه سوم [9] ۲۱
- شکل (۱-۳): طبقه هدایت انتقالی برای حذف جریان IM_3 [23] ۲۴
- شکل (۲-۳): طبقه ی هدایت انتقالی برای حذف جریان IM_2 [23] ۲۵
- شکل (۳-۳): مدار کامل میکسر پیشنهادی خطی شده در مرجع [23] ۲۶
- شکل (۴-۳): مدار ایجاد IM_2 [24] ۲۷
- شکل (۵-۳): مدار حذف IM_2 [24] ۲۷
- شکل (۶-۳): مدار نهایی میکسر ارائه شده مرجع [24] ۲۸
- شکل (۷-۳): بلوک دیاگرام میکسر مرجع [25] ۲۸
- شکل (۸-۳): میکسر نهایی مرجع [25] ۲۹
- شکل (۹-۳): مدار نهایی میکسر پیشنهادی در مرجع [26] ۳۰
- شکل (۱۰-۳): مدار نهایی میکسر مرجع [27] ۳۱
- شکل (۱۱-۳): مدار بایاس g_m ثابت [28] ۳۲
- شکل (۱۲-۳): مدار کامل میکسر پیشنهادی [28] ۳۳
- شکل (۱۳-۳): مدار بایاس g_m ثابت ارائه شده [29] ۳۳
- شکل (۱۴-۳): مدار نهایی میکسر مرجع [29] ۳۴
- شکل (۱۵-۳): مدار میکسر ارائه شده در مرجع [47] ۳۵
- شکل (۱۶-۳): مدار میکسر مرجع [48] ۳۶

شکل (۳-۱۷): مدار نهایی میکسر مرجع [49].....	۳۷
شکل (۴-۱): ترانزیستور NMOS.....	۳۹
شکل (۴-۲): (الف) جریان درین ترانزیستور NMOS (ب) هدایت انتقالی مرتبه اول ترانزیستور NMOS (پ) غیرخطینگی مرتبه دوم ترانزیستور NMOS (ت) غیرخطینگی مرتبه سوم ترانزیستور NMOS.....	۴۰
شکل (۴-۳): ترانزیستور PMOS.....	۴۰
شکل (۴-۴): (الف) جریان درین ترانزیستور PMOS (ب) هدایت انتقالی مرتبه اول ترانزیستور PMOS (پ) غیرخطینگی مرتبه دوم ترانزیستور PMOS (ت) غیرخطینگی مرتبه سوم ترانزیستور PMOS.....	۴۲
شکل (۴-۵): طبقه هدایت انتقالی پیشنهادی.....	۴۳
شکل (۴-۶): نیم مدار پیشنهادی برای طبقه هدایت انتقالی بخش اول.....	۴۴
شکل (۴-۷): بخش دوم مدار پیشنهادی برای طبقه هدایت انتقالی.....	۴۴
شکل (۴-۸): قسمتی از مدار اصلی برای تحلیل نویز.....	۴۸
شکل (۴-۹): مدار کامل میکسر پیشنهادی.....	۵۰
شکل (۴-۱۰): میکسر مرسوم.....	۵۱
شکل (۴-۱۱): مدار بایاس پیشنهادی.....	۵۱
شکل (۵-۱): محیط تست میکسر [29].....	۵۶
شکل (۵-۲): نمودار تغییرات بهره تبدیل بر حسب تغییرات توان سیگنال نوسان ساز محلی برای فرکانس RF ورودی 2 GHz.....	۵۸
شکل (۵-۳): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی و مرسوم در پهنای باند IF خروجی.....	۵۸
شکل (۵-۴): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی و مرسوم در پهنای باند ورودی.....	۵۹
شکل (۵-۵): نتیجه شبیه سازی IIP3 در فرکانس ورودی 2 GHz (الف) میکسر مرسوم (ب) میکسر پیشنهادی.....	۶۰
شکل (۵-۶): نتیجه ی شبیه سازی IIP3 میکسر پیشنهادی و مرسوم در پهنای باند ورودی.....	۶۱
شکل (۵-۷): نتیجه شبیه سازی عدد نویز میکسر پیشنهادی و مرسوم (الف) در فرکانس ورودی 2 GHz (ب) در کل پهنای باند ورودی.....	۶۲
شکل (۵-۸): نتیجه شبیه سازی مونت کارلو برای پارامتر IIP2 در فرکانس ورودی 2 GHz.....	۶۴
شکل (۵-۹): نتیجه ی شبیه سازی IIP2 میکسر پیشنهادی و مرسوم در پهنای باند ورودی.....	۶۴
شکل (۵-۱۰): نتیجه شبیه سازی مونت کارلو برای پارامتر IIP3 در فرکانس ورودی 2 GHz.....	۶۵
شکل (۵-۱۱): بهره ی تبدیل میکسر پیشنهادی در سه گوشه ی تکنولوژی و دما.....	۶۶
شکل (۵-۱۲): IIP3 میکسر پیشنهادی در سه گوشه ی تکنولوژی و دما.....	۶۶
شکل (۵-۱۳): عدد نویز میکسر پیشنهادی در سه گوشه ی تکنولوژی و دما.....	۶۷
شکل (۵-۱۴): IIP2 میکسر پیشنهادی در سه گوشه ی تکنولوژی و دما.....	۶۷
شکل (۵-۱۵): جانمایی میکسر پیشنهادی.....	۶۹

- شکل (۵-۱۶): بهره تبدیل میکسر پس از جانمایی در سه گوشه‌ی تکنولوژی و دما. ۷۰
- شکل (۵-۱۷): IIP3 میکسر پس از جانمایی در سه گوشه‌ی تکنولوژی و دما. ۷۱
- شکل (۵-۱۸): عدد نویز میکسر پس از جانمایی در سه گوشه‌ی تکنولوژی و دما. ۷۱
- شکل (۵-۱۹): نتیجه شبیه سازی مونت کارلو برای پارامتر IIP2 در فرکانس ورودی 2 GHz. ۷۲
- شکل (۵-۲۰): IIP2 میکسر پس از جانمایی در سه گوشه‌ی تکنولوژی و دما. ۷۲

فهرست جداول

جدول (۳-۱): مقایسه کارهای پیشین.....	۳۷
جدول (۵-۱): ابعاد ترانزیستورهای مدار میکسر ارائه شده.....	۵۴
جدول (۵-۲): ابعاد ترانزیستورهای مدار بایاس ارائه شده.....	۵۵
جدول (۵-۳): مقادیر مقاومت‌ها و خازن‌های مدار میکسر ارائه شده.....	۵۵
جدول (۵-۴): مقادیر مقاومت‌ها و خازن‌های مدار بایاس ارائه شده.....	۵۵
جدول (۵-۵): ابعاد ترانزیستورهای مدار میکسر مرسوم.....	۵۵
جدول (۵-۶): مقادیر مقاومت‌ها و خازن‌های مدار میکسر مرسوم.....	۵۵
جدول (۵-۷): نتایج شبیه سازی میکسر پیشنهادی در گوشه‌های تکنولوژی و دما.....	۶۸
جدول (۵-۸): نتایج شبیه سازی میکسر پیشنهادی پس از جانمایی در سه گوشه‌ی تکنولوژی و دما.....	۷۳
جدول (۵-۹): مقایسه‌ی میکسر پیشنهادی با تعدادی از کارهای پیشین.....	۷۴

واژه‌نامه

Off-Chip	خارج از تراشه	Short channel effect	اثر کانال کوتاه
MIM	فلز-عایق-فلز	Statistical	آماري
C_{gs}	خازن گیت سورس	Translinear	انتقال خطي
Linearity	خطینگی	Ideal	ایده‌آل
T	دما	Isolation	ایزولاسیون
Port	دهانه	Intermodulation	اینترمدولاسیون
Double balanced	دو تعادل	IM2	اینترمدولاسیون مرتبه دوم
Drift	رانش	IM3	اینترمدولاسیون مرتبه سوم
Voltage headroom	سقف ولتاژ	Load	بار
System on Chip	سیستم روی تراشه	Balun	بالن
V_{RF}	سیگنال فرکانس رادیویی	Narrowband	باند باریک
V_{LO}	سیگنال نوسان ساز محلی	Base band	باند پایه
Noise Figure	عدد نویز	Conversion Gain	بهره‌ی تبدیل
Passive	غیرفعال	Wireless	بی سیم
frequency	فرکانس	Parasitic	پارازیتیک
Radio Frequency	فرکانس رادیویی	Cross-Coupled	تزوید متقابل
Intermediate Frequency	فرکانس میانی	Random	تصادفی
Zero-IF	فرکانس میانی صفر	Matching	تطبیق
f_{LO}	فرکانس نوسان ساز محلی	Balancing	تعادل
Active	فعال	Differential	تفاضلی
Metal	فلز	LNA	تقویت کننده کم نویز
MOS	فلز اکسید نیمه هادی	Single balanced	تک تعادل
Feedback	فیدبک	Single ended	تک سر
Feedforward	فیدفوروارد	Loss	تلفات
Low Pass Filter	فیلتر پایین گذر	Power consumption	توان مصرفی
Switching	کلیدزنی	Layout	جانمایی
Direct	مستقیم	Eddy current	جریان گردابی
Integration	مجتمع سازی	Common Mode	حالت مشترک
Dynamic range	محدوده پویا	Ring	حلقوی

Locally	محلی
Common mode	مد مشترک
Conventional	مرسوم
Blocker	مسدود کننده
Trade-Off	مصالحه
Sheet Resistance	مقاومت بر واحد مربع
VDD	منبع ولتاژ
Unbalanced	نا متعادل
SNR	نسبت سیگنال به نویز
Leakage	نشتی
IIP3	نقطه تقاطع مرتبه سوم
	ورودی
IIP2	نقطه ی تقاطع مرتبه دوم
	ورودی
Oscillator	نوسان ساز
Noise	نویز
Gate-Induced Noise Current	نویز القایی جریان گیت
I_n	نویز کانال ترانزیستور
Constant-gm	هدایت انتقالی ثابت
g_m	هدایت انتقالی

مراجع

- [1] B. Razavi, "Challenges in the Design of Cognitive Radios," *IEEE 2009 Custom Integrated Circuits Conference (CCIC)*, pp. 391-398, Sept 2009.
- [2] M. Terrovitis and R. G. Meyer, "Intermodulation distortion in current commutating CMOS mixers," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 35, no. 10, pp. 1461-1473, Oct 2000.
- [3] I. Elahi, K. Muhammad, and P. T. Balsara, "IIP2 and DC offsets in the presense of leakage at LO frequencies," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 53, no. 8, pp. 647-651, Aug 2006.
- [4] H. Darabi and A. Abidi, "Noise in RF COMS mixers: A simple physical model," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 35, no. 1, pp. 15-25, Jan 2000.
- [5] S. Lee, M. Huang, and C. J. Kuo, "Analysis and implementation of a CMOS even harmonic mixer with current reuse for heterodyne and direct conversion receivers," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 52, no. 4, pp. 1741-1751, Sep 2005.
- [6] T. H. Jin and T. W. Kim, "A 5.5mW +9.4 dBm IIP3 1.8 dB NF CMOS LNA Employing Multiple Gated Transistors with Capacitance Desensitization," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech*, vol. 58, pp. 2529-2537, Oct 2010.
- [7] W. Huang, C. M. Hsu, C. M. Lee, H. Y. Huang, and C. H. Luo, "Dual band LNA/Mixer using conjugate matching for implanting biotelemetry," *IEEE International Symp. Circuits and Syst*, pp. 1764-1767, May 2008.
- [8] S. C. Blaakmeer, E. A. M. Klumpernik, D. M. Y. Leenaert, and B. Nauta, "A wideband Balun LNA I/Q mixer combination in 65 nm CMOS," *IEEE ISSSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 236-327, Feb 2008.

- [9] B. Razavi, "RF microelectronics," 2nd edition, Prentice Hall, 2012.
- [10] M. Voltti, T. Koivi, and E. Tiiliharju, "Comparison of active and passive mixers," *Circuit Theory and Design. 18th European Conference on*, pp. 980-993, 2007.
- [11] B. Gilbert, "A precise four-quadrant multiplier with subnanosecond response," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 3, pp. 365-373, Dec 1968.
- [12] M. Brandolini, M. Sosio, and F. Svelto, "A 750 mV fully integrated direct conversion receiver front-end for GSM in 90 nm CMOS," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 42, pp. 1310-1317, Jan 2007.
- [13] B. Razavi, "Design of analog integrated circuits," McGraw.Hill, 2001.
- [14] A. Abidi, "High frequency noise measurement on FETs with small dimensions," *Electron Devices, IEEE Transactions on*, vol. 33, pp. 1801-1805, Nov 1986.
- [15] A. Van der Ziel, "Thermal noise in field-effect transistors," *Proceeding of the IRE*, vol. 50, pp. 1808-1812, Aug 1962.
- [16] H. Darabi and A. Abidi, "Noise in RF CMOS mixers: A simple physical model," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 35, no. 1, pp. 15-25, Jan 2000.
- [17] S. Rose, "A CMOS subharmonic mixer for WCDMA," Ph.D. Dissertation, Univ, of California, Berkeley, 2002.
- [18] پویا صولتی. "بهبود خطینگی میکسرهای فعال CMOS برای رادیوهای شناختگر" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۴.
- [19] K. L. Fong, "Design and optimization techniques for monolithic RF downconversion mixers," University of California, 1997.
- [20] J. W. Rogers and C. Plett, "Radio frequency integrated circuit design" Artech House, 2014.
- [21] D. Manstretta, M. Brandolini, and F. Svelto, "Second-order intermodulation mechanisms in CMOS downconverters," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 38, pp. 394-406, Mar 2003.
- [22] H. Zhang and E. Sanchez-Sinencio, "Linearization techniques for CMOS low noise amplifiers: A tutorial," *IEEE Trans. Circuits Syst. I: Reg. Papers*, vol. 58, pp. 22-36, Jan 2011.
- [23] M. Mollaalipour and H. Miar-Naimi, "An Improved High Linearity Active CMOS Mixer: Design and Volterra Series Analysis," *IEEE Trans. Circuits Syst. I: Reg. Papers*, vol. 60, pp. 2092-2103, Aug 2013.
- [24] M. Asghari and M. Yavari, "Using the Gate-Bulk Interaction and a Fundamental Current Injection to Attenuate IM3 and IM2 Currents in RF Transconductors," *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst*, pp. 223-232, Jan 2016.

- [25] M. Asghari and M. Yavari, "Using interaction between two nonlinear systems to improve IIP3 in active mixers," *Electron. Lett.*, vol. 50, pp. 76-77, Jan 2014.
- [26] M. Asghari and M. Yavari, "A high IIP2 and IIP3 CMOS downconverter active mixer," *The Second Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, pp. 351-354, May 2014.
- [27] M. Asghari and M. Yavari, "Second order intermodulation cancelation and conversion gain enhancement techniques for CMOS active mixers," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 43, pp. 1508-1522, Oct 2015.
- [28] P. Solati and M. Yavari, "A wide-band CMOS active mixer with linearity improvement technique," *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2017, pp. 271-275, May 2017.
- [29] P. Solati and M. Yavari, "A Wideband High Linearity and Low-Noise CMOS Active Mixer Using the Derivative Superposition and Noise Cancellation Techniques," *Circuits Syst Signal Process*, vpl. 38, pp. 2910-2930, Jan 2019.
- [30] B. Guo, H. Wang, and G. Yang, "A wideband merged CMOS active mixer exploiting noise cancelation and linearity enhancement," *IEEE Trans. Microw Theory Tech*, vol. 62, no. 9, pp. 2084-2091, Jan 2014.
- [31] D.-H. Na and T.-W. Kim, "A 1.2 V, 0.87–3.7 GHz wideband low-noise mixer using a current mirror for multiband application," *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.*, vol. 22, pp. 91–93, Feb 2012.
- [32] N. Gupta, A.A. Kumar, A. Dutta, and S.G. Singh, "Design of subthreshold wide band down conversion mixer," in *IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia)*, pp. 200–203. 2013.
- [33] Y.-D. Jiang, R.-X. Zhang, C.-Q. Shi, and Z.-S. Lai, "A 76-dBm IIP2 down-conversion mixer for TDSCDMA/Rfid applications," *Analog Integr. Circuits Signal Process*, vol. 72, pp. 129–139. 2012.
- [34] S. Lee, J. Bergervoet, K. Harish, D. Leenaerts, R. Roovers, R. van de Beek et al., "A broadband receive chain in 65 nm CMOS," in *International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*, pp. 418–419. 2007.
- [35] B. Liu, F. Fan, H. Zhang, and C. Zeng, "A wideband down conversion mixer with dual cross-coupled loops for software defined radio," in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 990–993. 2015.
- [36] L. Ma, Z. Wang, and J. Xu, "A 1-V current-reused wideband current-mirror mixer in 180-nm CMOS with high IIP2," *Circuits Syst. Signal Process*, vol. 36, pp. 1806–1817. 2017.
- [37] M.M. Mohsenpour and C.E. Saavedra, "Highly linear reconfigurable mixer designed for environment-aware receiver," in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 28-31, May 2017.

- [38] P.Z. Rao, T.Y. Chang, C.P. Liang, S.J. Chung, "A wideband CMOS mixer with feedforward compensated differential transconductor," in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 3892–3895. 2007.
- [39] P.Z. Rao, T.Y. Chang, C.P. Liang, S.J. Chung, "An ultra-wideband high-linearity CMOS mixer with new wideband active baluns," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* vol. 57, pp. 2184–2192. 2009.
- [40] Q. Wan, D. Xu, H. Zho, J. Dong, "A complementary current-mirror-based bulk-driven down-conversion mixer for wideband applications," *Circuits Syst. Signal Process*, vol. 37, pp. 3671–3684. 2018.
- [41] D. Lee, M. Lee, "Low flicker noise, odd-phase master LO active mixer using a low switching frequency scheme," *IEEE J. Solid State Circuits*, vol. 50, pp. 2281–2293. 2015.
- [42] S.K. Hampel, O. Schmitz, M. Tiebout, and I. Rolfes, "Inductorless low-voltage and low-power wideband mixer for multistandard receivers," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech*, vol. 58, pp. 1384–1390. 2010.
- [43] H. Li and C. E. Saavedra, "Linearization of active downconversion mixers at the IF using feedforward cancellation," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 66, no. 4, pp. 1620–1631, Apr 2019.
- [44] N. Vitee, H. Ramiah, P.-I. Mak, J. Yin, and R. P. Martins, "A 3.15-mW +16.0-dBm IIP3 22-dB CG inductively source degenerated balun LNA mixer with integrated transformer-based gate inductor and IM2 injection technique," *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst*, vol. 28, no. 3, pp. 700–713, Mar 2020.
- [45] M. H. Kashani, M. Asghari, M. Yavari, and S. Mirabbasi, "A +7.6 dBm IIP3 2.4-GHz Double-Balanced Mixer with 10.5 dB NF in 65-nm CMOS," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 68, no. 10, pp. 3214–3218, Oct 2021.

Abstract

Linearity improvement and noise reduction of active mixers always have been a hot topic for RF system designers. Also, it has been a great deal for Zero-IF receivers because the linearity and noise of the mixer dominates the whole receiver's performance. Besides, reducing the size of transistors and need for lower power supply have made this harder achieving a desirable mixer performance.

In this desertion the function of an active CMOS mixer, used in Zero-IF receiver, has been improved by proposing a new method. The IIP2 and IIP3 of the mixer are increased due to suppression of first and second order kernels of the nonlinear current of the transconductance stage. Moreover, implementing a noise cancelation technique has made the NF of the mixer decreased compared to the conventional mixer. In order to have a robust performance against PVT, a constant-gm biasing circuit is used. Nonetheless, the power consumption and the chip area is increased compared to the conventional mixer.

The performance of the proposed mixer has been investigated using the Taylor expansion. Then, by using CMOS 65 nm technology, and 1volt power supply in Cadence and Spectre-RF the proposed mixer has been simulated. For further validation, the post-Layout simulation is done is the Calibre. The proposed mixer is designed for 0.8 GHz to 5 GHz RF input bandwidth. The conversion gain of the both conventional mixer and proposed mixer is considered to be equal to have a better performance comparison. The proposed mixer shows 6.81 dBm and 8.34 dBm improvement on average for IIP3 and IIP2, respectively, and the NF is reduced 4.15 dB on averaged compared to the conventional mixer.

Keywords: Downconverter mixer, Zero-IF receiver, Linearity, nonlinear kernels, conversion gain, NF.



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Electrical Engineering

M.Sc. Thesis

**Linearity Improvement and Noise Reduction of CMOS Active Mixers in
Wideband Zero-IF Receivers**

By

Hesam Abbasi

Supervisor

Dr. Mohammad Yavari

Fall 2021