Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Electrical Engineering

M.Sc. Thesis

Title

Linearity Enhancement of CMOS Active Mixers for Cognitive Radios

By
Pouya Solati

Supervisor
Dr. Mohammad Yavari

October 2015

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی‌تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش الکترونیک

عنوان

بهبود خطینگی میکسرهای فعال CMOS برای رادیوهای شناختگر

نگارش

پویا صولتی

استاد راهنما

دکتر محمد یاوری

آبان ۹۴

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

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

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

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

امضا

تقدیم به

روح پاک پدرم

که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

به مادرم

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

به برادرم

که وجودش مایه دلگرمی من می باشد

و به خواهرانم

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

تشکر و قدردانی

بیش و پیش از هر چیز سپاس‌گزار خداوندی هستم که هر چه داشته و دارم همه از اوست. بر آستان بی-کرانش سر تعظیم فرود آورده و به پاس هر آن چه به من بخشیده است، سجده شکر به جای می‌آورم.

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات مادر عزیزم قدردانی نمایم که همیشه مشوق من در آموختن دانش و کسب مدارج عالی بوده‌اند.

از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد یاوری که به عنوان استاد راهنما یاری‌دهنده و راه-گشای اینجانب در پیشبرد این پایان‌نامه بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از اعضای محترم کمیته ارزشیابی، جناب آقای دکتر عبدالعلی عبدی‌پور و جناب آقای دکتر علی فتوت احمدی که با نهایت صبر و تامل پایان‌نامه اینجانب را مورد بررسی قرار داده و نکات ارزشمندی را گوشزد فرمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در نهایت از کمیته نانو به دلیل حمایت مالی در انجام این پایان‌نامه سپاس‌گزارم و پیشرفت روزافزون این کمیته را آرزومندم.

چکیده

استفاده از گیرنده‌هایZero-IF، به دلیل قابلیت فشرده‌سازی بالا و قیمت پایین، بدون تردید در سال-های اخیر بیشترین نگاه را در کاربردهای تجاری استانداردهای مخابراتی به خود معطوف کرده است. بخش اعظم مشکلات این گیرنده‌ها، مربوط به میکسر پایین آورنده فرکانس است که این مشکلات شامل تولید عبارت‌های غیرخطی اینترمدولاسیون مرتبه دوم و سوم در میکسر، آفست DC و نویز $1/f$ است.

تمرکز اصلی این پایان‌نامه ارائه روش‌هایی به‌منظور کاهش مشکلات بالا می‌باشد. لذا برای نایل آمدن به این مهم در این پایان‌نامه سه میکسر پیشنهاد شده است. در میکسر پیشنهادی اول با روش خطی سازی با ایجاد اعوجاج پارامترهای IIP2، IIP3 و بهره تبدیل افزایش یافته است، درحالی‌که توان مصرفی ۱۰٪ افزایش داشته است. در میکسر دوم با استفاده از مسیرهای پیشرو، نویز ترانزیستورهای ورودی حذف شده و هم‌زمان IIP3 و بهره تبدیل نیز افزایش یافته‌اند. در میکسر پیشنهادی سوم از ترانزیستورهای ورودی با آرایش استفاده مجدد جریان استفاده شده که با جریان ثابت، هدایت انتقالی دو برابر دارد. هم‌چنین از مسیرهای پیشرو برای حذف نویز ترانزیستورهای ورودی و خطی سازی استفاده شده است. در این میکسر عدد نویز، IIP2، IIP3 و بهره تبدیل بهبود یافته‌اند.

تمامی این روش‌ها با استفاده از سری تیلور تحلیل‌شده و به‌منظور اثبات کارایی آن‌ها، هر سه میکسر با استفاده از شبیه‌ساز Spectre RF در تکنولوژی۹۰ نانومترCMOS و با ولتاژهای تغذیه ۱، ۱/۱ و۱/۲ ولت شبیه‌سازی گردیده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که در میکسر اول در باند فرکانسی GHz 1-5 پارامترهای IIP2، IIP3 و بهره تبدیل به ترتیب 5.5 dB، 5.8 dB و 2.5 dB نسبت به میکسر معمولی، افزایش داده شده‌اند. در میکسر دوم پارامترهای عدد نویز، IIP3 و بهره تبدیل به‌طور متوسط به ترتیب 2.3 dB، 5.4 dB و 6.5 dB نسبت به میکسر معمولی، افزایش یافته‌اند. در میکسر آخر پارامترهای عدد نویز، بهره تبدیل، IIP2 و IIP3 به ترتیب 1.4 dB، 1.3 dB، 9.8 dB و 5.7 dB نسبت به میکسر معمولی، بهبود یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی:

گیرنده‌های Zero-IF ، اینترمدولاسیون، IIP2، IIP3، عدد نویز، بهره تبدیل، غیرخطینگی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- فناوری رادیو شناختی ۲
۱-۲-۱- معرفی رادیو شناختی ۲
۱-۳- تکنولوژی CMOS و چالش‌های مدارات فرکانس بالا ۳
۱-۴- هدف ازانجام پایان‌نامه ۶
۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۷
فصل دوم میکسرهای پایین آورنده فرکانس ۸
۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- میکسرهای بالا یا پایین آورنده فرکانس ۹
۲-۳- میکسرهای فعال و غیرفعال ۹
۲-۴- طبقه‌بندی از نظر تعادل ۱۲
۲-۴-۱- میکسر نامتعادل ۱۲
۲-۴-۲- میکسر تک تعادل ۱۴
۲-۴-۳- میکسر دو تعادل ۱۵
۲-۵- نویز ۱۸
۲-۵-۱- نویز در ترانزیستور MOSFET ۱۸
۲-۵-۲- اثر نویز طبقه هدایت انتقالی در نویز خروجی ۱۹
۲-۵-۳- اثر نویز طبقه کلید زنی در نویز خروجی ۲۰
۲-۵-۴- اثر نویز طبقه بار در نویز خروجی ۲۰
۲-۶- عدد نویز (فاکتور نویز) ۲۱
۲-۷- غیرخطینگی ۲۱
۲-۷-۱- تکنیک‌های بهبود خطینگی ۲۳
۲-۸- انواع اینترمدولاسیون و نقطه فشردگی ۲۳
۲-۸-۱- اینترمدولاسیون مرتبه دوم ۲۴
۲-۸-۲- اینترمدولاسیون مرتبه سوم ۲۵
۲-۸-۳ نقطه فشردگی $P_{-1\,dB}$ ۲۵
فصل سوم مروری بر چند تکنیک کاهش نویز و بهبود خطینگی در میکسرهای فعال..... ۲۶
۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- میکسر پهن‌باند کم نویز با روش حذف نویز[30] ۲۷

۳-۲-۱- میکسر کم نویز پهن‌باند [30] ۲۷
۳-۳- میکسر پایین آورنده فرکانس با IIP2 برابر ۷۸ dBm+ [33] ۲۹
۳-۳-۱- زوج ترانزیستورهای کلید زنی ۳۱
۳-۴- میکسر با یک روش جدید برای حذف نویز فلیکر [34] ۳۲
۳-۴-۱- منبع نویز فلیکر در میکسر گیلبرت ۳۲
۳-۴-۲- روش جدید بهبود نویز فلیکر ۳۳
۳-۵- روش ارائه شده برای بهود IIP2 و IIP3 در مرجع [32] ۳۶
۳-۵-۱- حذف اینترمدولاسیون مرتبه سوم ۳۶
۳-۵-۲- حذف اینترمدولاسیون مرتبه دوم ۳۷
۳-۵-۳- مدار کامل میکسر پیشنهادی مرجع [32] و نتایج شبیه سازی ۳۸
۳-۶- میکسر پهن باند کم‌نویز با آینه جریان ارائه شده در مرجع [36] ۳۹
۳-۶-۱- مدار کامل میکسر پیشنهادی مرجع [36] و نتایج اندازه گیری ۳۹
۳-۷- استفاده از اثر متقابل گیت-بدنه و تزریق جریان اصلی برای کاهش IM2 و IM3 ارائه شده در مرجع [37] ۴۰
۳-۷-۱- حذف اینترمدولاسیون مرتبه دوم ۴۱
۳-۷-۲- حذف اینترمدولاسیون مرتبه دوم ۴۱
۳-۷-۳- مدار کامل مرجع [37] و نتایج شبیه‌سازی ۴۲
۳-۸- استفاده از اثر متقابل دو سیستم غیرخطی متوالی برای بهبود IIP3 مرجع [38] ۴۳
۳-۸-۱- حذف اینترمدولاسیون مرتبه سوم ۴۳
۳-۸-۲- مدار نهایی میکسر ارائه شده در مرجع [38] و نتایج شبیه سازی ۴۳
۳-۹- میکسر فعال پایین آورنده فرکانس با IIP2 و IIP3 بالا در مرجع [39] ۴۴
۳-۹-۱- نتایج شبیه سازی میکسر پیشنهادی در مرجع [39] ۴۵
۳-۱۰- تکنیک حذف اینترمدولاسیون مرتبه دوم و بهره تبدیل برای میکسرهای فعال CMOS [40] ۴۵
۳-۱۰-۱- نتایج شبیه سازی میکسر پیشنهادی در مرجع [40] ۴۶

فصل چهارم روش‌های ارائه‌شده برای بهبود نویز و خطینگی میکسرها ۴۸

۴-۱- غیرخطینگی ترانزیستورهای NMOS و PMOS ۴۹
۴-۱-۱- غیرخطینگی در ترانزیستور NMOS ۴۹
۴-۱-۲- غیرخطینگی در ترانزیستور PMOS ۵۱
۴-۲- میکسر اول برای بهبود پارامترهای IIP2 ، IIP3 و بهره تبدیل ۵۴
۴-۲-۱- طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی اول ۵۴
۴-۲-۱-۱- تحلیل سری تیلور طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی اول ۵۴
۴-۲-۲- طبقه کلیدزنی ۵۷
۴-۲-۳- طرح نهایی و نتایج شبیه‌سازی ۵۸
۴-۲-۳-۱- میکسر پیشنهادی اول و مقایسه با میکسر معمولی ۵۸
۴-۲-۳-۲- شبیه‌سازی گوشه‌های دما و تکنولوژی میکسر پیشنهادی اول ۶۶
۴-۳- میکسر پیشنهادی دوم برای بهبود پارامترهای IIP3 ، عدد نویز و بهره تبدیل ۷۰

۴-۳-۱- طبقه هدایت انتقالی ۷۰
۴-۳-۱-۱- تحلیل خطینگی میکسر پیشنهادی دوم با استفاده از سری تیلور ۷۱
۴-۳-۲- تحلیل نویز میکسر پیشنهادی دوم ۷۳
۴-۳-۳- طرح نهایی و نتایج شبیه‌سازی ۷۴
۴-۳-۳-۱- میکسر پیشنهادی دوم و مقایسه با میکسر معمولی ۷۴
۴-۳-۳-۲- نتایج شبیه‌سازی گوشه‌های دما و تکنولوژی میکسر پیشنهادی دوم ۸۱
۴-۴- مدار پیشنهادی سوم برای بهبود IIP2، IIP3، عدد نویز و بهره تبدیل ۸۳
۴-۴-۱- طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی سوم ۸۳
۴-۴-۱-۱- روابط خطینگی میکسر پیشنهادی سوم ۸۴
۴-۴-۲- تحلیل نویز میکسر پیشنهادی سوم ۸۵
۴-۴-۳- طرح نهایی و نتایج شبیه‌سازی ۸۶
۴-۴-۳-۱- میکسر پیشنهادی سوم و مقایسه با میکسر معمولی ۸۶
۴-۴-۳-۲- نتایج شبیه‌سازی گوشه‌های دما و تکنولوژی میکسر پیشنهادی سوم ۹۲
۴-۵- جانمایی و لی‌آوت ۹۵
۴-۵-۱- جانمایی و لی‌آوت میکسر پیشنهادی اول ۹۵
۴-۵-۲- نتایج شبیه سازی بعد از لی‌آوت میکسر پیشنهادی اول ۹۶

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲- پیشنهادات ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

شکل (۱-۱): ساختار متداول مورداستفاده در گیرنده‌های سوپرهترودایندین ۴
شکل (۱-۲): ساختار متداول گیرنده‌های Zero-IF ۵
شکل (۲-۱): میکسر غیرفعال از نوع حلقوی[13] ۱۱
شکل (۲-۲): میکسر فعال دو تعادل گیلبرت [13] ۱۲
شکل (۲-۳): میکسر نامتعادل ۱۳
شکل (۲-۴): میکسر تک تعادل ۱۴
شکل (۲-۵): میکسر دو تعادل ۱۶
شکل (۲-۶): نویز در ترانزیستور MOSFET ۱۸
شکل (۳-۱): مدار کامل میکسر کم نویز و پهن باند ۲۸
شکل (۳-۲): حذف نویز طبقه هدایت انتقالی ۲۸
شکل (۳-۳): مدار کامل میکسر پیشنهادی مرجع[33] ۳۰
شکل (۳-۴): طبقه هدایت انتقالی ۳۰
شکل (۳-۵): روش پیشنهادی برای بهبود IIP2 برای میکسر دو تعادل در مرجع [33] ۳۲
شکل (۳-۶): میکسر با نویز فلیکر ترانزیستورهای طبقه کلیدزنی در ورودی LO ۳۳
شکل (۳-۷): میکسر گیلبرت با تزریق جریان ثابت برای کاهش نویز فلیکر ترانزیستورهای M_3-M_6 ۳۴
شکل (۳-۸): ولتاژ گرههای A و B ۳۴
شکل (۳-۹): میکسر با تزریق جریان به صورت پویا ۳۵
شکل (۳-۱۰): طبقه هدایت انتقالی برای حذف جریان IM3 ۳۷
شکل (۳-۱۱): طبقه هدایت انتقالی برای حذف جریان IM2 ۳۸
شکل (۳-۱۲): مدار کامل میکسر پیشنهادی خطی شده در مرجع [32] ۳۹
شکل (۳-۱۳): میکسر پهن باند کم نویز با آینه جریان مرجع [36] ۴۰
شکل (۳-۱۴): مدار ارائه شده برای حذف IM3 مرجع [37] ۴۱
شکل (۳-۱۵): مدار ارائه شده برای حذف IM2 مرجع [37] ۴۲
شکل (۳-۱۶): مدار نهایی میکسر ارائه شده در مرجع [37] ۴۲
شکل (۳-۱۷): بلوک دیاگرام میکسر ارائه شده در مرجع [37] ۴۳
شکل (۳-۱۸): میکسر نهایی ارائه شده در مرجع [38] ۴۴
شکل (۳-۱۹): مدار نهایی میکسر پیشنهادی در مرجع [39] ۴۵
شکل (۳-۲۰): مدار نهایی میکسر پیشنهادی در مرجع [40] ۴۶
شکل (۴-۱): شمای ترانزیستور NMOS ۴۹
شکل (۴-۲): جریان در ترانزیستور NMOS و غیرخطینگی ترانزیستور NMOS ۵۱

شکل (۴-۳): شمای ترانزیستور PMOS ۵۲
شکل (۴-۴): جریان در ترانزیستور PMOS و غیرخطینگی ترانزیستور PMOS ۵۳
شکل (۴-۵): طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی اول ۵۵
شکل (۴-۶): نیم مدار، مدار پیشنهادی اول برای تحلیل سری تیلور ۵۵
شکل (۴-۷): طبقه کلید زنی میکسر پیشنهادی اول ۵۸
شکل (۴-۸): میکسرمعمولی ۵۸
شکل (۴-۹): مدار نهایی میکسر پیشنهادی اول ۵۹
شکل (۴-۱۰): مدار بایاس میکسر پیشنهادی اول ۶۱
شکل (۴-۱۱): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی در پهنای باند ورودی ۶۳
شکل (۴-۱۲): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی و F_{LO}=2 GHz ۶۳
شکل (۴-۱۳): IIP3 میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی ۶۴
شکل (۴-۱۴): IIP2 میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی ۶۴
شکل (۴-۱۵): عدد نویز میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی ۶۵
شکل (۴-۱۶): عدد نویز میکسر پیشنهادی اول و میکسر معمولی در پهنای باند ورودی ۶۵
شکل (۴-۱۷): بهره تبدیل میکسر پیشنهادشده اول در گوشه‌های دما و تکنولوژی در پهنای باند ورودی ۶۶
شکل (۴-۱۸): IIP3 میکسر پیشنهادشده اول در گوشه‌های دما و تکنولوژی در پهنای باند ورودی ۶۷
شکل (۴-۱۹): IIP2 میکسر پیشنهادشده اول در گوشه‌های دما و تکنولوژی در پهنای باند ورودی ۶۷
شکل (۴-۲۰): عدد نویز میکسر پیشنهادشده اول در گوشه‌های دما و تکنولوژی در پهنای باند ورودی ۶۸
شکل (۴-۲۱): طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی دوم ۷۱
شکل (۴-۲۲): نیم مدار مدار پیشنهادی دوم ۷۱
شکل (۴-۲۳): نیم مدار تحلیل نویز میکسر پیشنهادی دوم ۷۴
شکل (۴-۲۴): میکسرمعمولی ۷۵
شکل (۴-۲۵): مدار نهایی میکسر پیشنهادی دوم ۷۶
شکل (۴-۲۶): مدار بایاس میکسر پیشنهادی دوم ۷۶
شکل (۴-۲۷): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی در پهنای باند ورودی ۷۸
شکل (۴-۲۸): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی با F_{lo} = 500MHz ۷۸
شکل (۴-۲۹): IIP3 میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی ۷۹
شکل (۴-۳۰): عدد نویز میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی ۷۹
شکل (۴-۳۱): عدد نویز میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی ۸۰
شکل (۴-۳۲): IIP2 میکسر پیشنهادی دوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی ۸۰
شکل (۴-۳۳): طبقه هدایت انتقالی میکسر پیشنهادی سوم ۸۴
شکل (۴-۳۴): نیم مدار مدار پیشنهادی سوم ۸۴
شکل (۴-۳۵): نیم مدار تحلیل نویز مدار پیشنهادی سوم ۸۵
شکل (۴-۳۶): مدار نهایی میکسر پیشنهادشده سوم (۱) ۸۷

شکل (۴-۳۷): مدار بایاس میکسر پیشنهادی سوم..... ۸۷
شکل (۴-۳۸): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی..... ۸۹
شکل (۴-۳۹): بهره تبدیل میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی..... ۸۹
شکل (۴-۴۰): IIP3 میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی..... ۹۰
شکل (۴-۴۱): عدد نویز میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی در پهنای باند ورودی..... ۹۰
شکل (۴-۴۲): عدد نویز میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی..... ۹۱
شکل (۴-۴۳): IIP2 میکسر پیشنهادی سوم و میکسر معمولی در پهنای باند خروجی..... ۹۱
شکل (۴-۴۴): مدار نهایی میکسر پیشنهادشده سوم (۲)..... ۹۳
شکل (۴-۴۵): شمای لی‌آوت میکسر پیشنهادی اول..... ۹۵
شکل (۴-۴۶) بهره تبدیل میکسر پیشنهادی اول بعد از لی‌آوت..... ۹۶
شکل (۴-۴۷): عدد نویز میکسر پیشنهادی اول بعد از لی‌آوت..... ۹۷
شکل (۴-۴۸): IIP2 میکسر پیشنهادی اول بعد از لی‌آوت..... ۹۷
شکل (۴-۴۹): IIP3 میکسر پیشنهادی اول بعد از لی‌آوت..... ۹۸

فهرست جدول‌ها

جدول **صفحه**

جدول (۲-۱): تغییرات المان‌های یک ترانزیستور SOI MOSFET ۹۰ nm کانال N و میزان تاثیر آن‌ها در ایجاد غیرخطینگی در جریان درین آن..... ۲۲
جدول (۳-۱): نتایج اندازه‌گیری شده میکسر گزارش‌شده در مرجع [30]..... ۲۹
جدول (۳-۲): نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میکسر گزارش شده در مرجع [34]..... ۳۶
جدول (۳-۳): مقایسه نتایج کارهای انجام شده..... ۴۷
جدول (۴-۱): ابعاد ترانزیستورهای میکسر پیشنهادی اول..... ۶۱
جدول (۴-۲): ابعاد ترانزیستورهای مدار بایاس میکسر پیشنهادی اول..... ۶۲
جدول (۴-۳): مقادیر عناصر میکسر پیشنهادی اول..... ۶۲
جدول (۴-۴): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی اول در گوشه‌های دما و تکنولوژی..... ۶۸
جدول (۴-۵): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی اول و مقایسه با سایر کارهای انجام‌شده..... ۶۹
جدول (۴-۶): سایز ترانزیستورهای مدار پیشنهادی دوم..... ۷۷
جدول (۴-۷): سایز ترانزیستورهای مدار بایاس مدار پیشنهادی دوم..... ۷۷
جدول (۴-۸): مقادیر عناصر میکسر پیشنهادی دوم..... ۷۷
جدول (۴-۹): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی دوم در گوشه‌های دما و تکنولوژی..... ۸۱
جدول (۴-۱۰): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی دوم و مقایسه با سایر کارهای انجام‌شده..... ۸۲
جدول (۴-۱۱): سایز ترانزیستورهای میکسر پیشنهادشده سوم..... ۸۸
جدول (۴-۱۲): سایز ترانزیستورهای مدار بایاس میکسر پیشنهادشده سوم..... ۸۸
جدول (۴-۱۳): مقادیر المان‌های میکسر پیشنهادشده سوم..... ۸۸
جدول (۴-۱۴): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی سوم در گوشه‌های دما و تکنولوژی..... ۹۲
جدول (۴-۱۵): نتایج شبیه‌سازی میکسر پیشنهادی سوم و مقایسه با سایر کارهای انجام‌شده..... ۹۴
جدول (۴-۱۶): نتایج شبیه سازی قبل و بعد از لی‌آوت میکسر پیشنهادی اول..... ۹۸

مراجع

[1] G. Dimitrakopoulos, P. Demestichas, D. Grandblaise, K. Mößner, J. Hoffmeyer, and J. Luo, "Cognitive radio, spectrum and radio resource management," *WG6 white paper, WWRF,* 2004.

[2] D. Cabric, S. M Mishra, and R. W. Brodersen. "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios." *Signals, systems and computers, 2004. Conference record of the thirty-eighth Asilomar conference on*, Vol. 1, pp. 772 - 776, Nov. 2004.

[3] B.Razavi, "Challenges in the Design of Cognitive Radios," *IEEE 2009 Custom Intergrated Circuits Conference (CICC)*, pp.391-398, sept.2009.

[4] T. H. Jin and T. W. Kim, "A 5.5-mW +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.

[5] B. Razavi, "Design considerations for direct-conversion receivers," *IEEE Trans. Circuits and Systems II, Analog and Digital Signal Processing*, vol. 44, pp. 428-435, Jun. 1997.

[6] 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.

[7] I. Elahi, K. Muhammad, and P. T. Balsara, "IIP2 and DC offsets in the presence of leakage at LO frequency," *IEEE Trans. Circuits Syst. II,Exp. Briefs*, vol. 53, no. 8, pp. 647–651, Aug. 2006.

[8] 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.

[9] 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.

[10] E. A. M. Klumperink, S. M. Louwsma, G. J. M. Wienk, and B. Nauta, "A CMOS switched transconductor mixer," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 39, pp. 1231-1240, Aug. 2004.

[11] W.–C. Huang, C.–M. Hsu, C.–M. Lee, H.–Y. Huang and C.–H. Luo, "Dual Band LNA/Mixer Using Conjugate Matching for Implantable Biotelemetry," *IEEE International Symp. Circuits and Syst.*, pp. 1764-1767, May. 2008.

[12] S. C. Blaakmeer, E. A. M. Klumperink, D. M. W. Leenaerts, and B. Nauta, "A wideband balun LNA I/Q-mixer combination in 65 nm CMOS," *IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 326–327, Feb. 2008.

[13] M. Voltti, T. Koivi, and E. Tiiliharju, "Comparison of active and passive mixers," *in Circuit Theory and Design, 2007. ECCTD 2007. 18th European Conference on*, 2007, pp. 890-893.

[14] B. Gilbert, "A precise four-quadrant multiplier with subnanosecond response," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 3, pp. 365-373, Dec. 1968.

[15] 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, Jun. 2007.

[16] B. Razavi, "*RF microelectronics*," 2nd edition, Prentice Hall, 2012.

[17] B. Razavi, "*Design of analog CMOS integrated circuits*," McGrow.Hill, 2001.

[18] A. Abidi, "High-frequency noise measurements on FET's with small dimensions," Electron Devices, *IEEE Transactions on*, vol. 33, pp. 1801-1805, Nov. 1986.

[19] A. Van der Ziel, "Thermal noise in field-effect transistors," *Proceedings of the IRE*, vol. 50, pp. 1808-1812, Aug. 1962.

[20] H. Darabi and A. A. Abidi, "Noise in RF-CMOS mixers: A simple physical model," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 35, pp. 15-25, Jan. 2000.

[21] A. Rofougaran, J.-C. Chang, M. Rofougaran, and A. A. Abidi, "A 1 GHz CMOS RF front-end IC for a direct-conversion wireless receiver," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 31, pp. 880-889, July. 1996

[22] S. Rose, "A CMOS Sub-harmonic Mixer for WCDMA," Ph.D. Dissertation, Univ. of California, Berkeley, 2002.

[23] اصغری، میثم. "خطی‌سازی و کاهش نویز میکسرهای فعال در گیرنده‌های Zero-IF" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، اسفند۹۲

[24] H. Zhang and E. Sánchez-Sinencio, "Linearization techniques for CMOS low noise amplifiers: A tutorial," *IEEE Trans. Circuits Syst I: Reg. Papers*, vol. 58, pp. 22-36, Jan. 2011.

[25] J. W. Rogers and C. Plett, "*Radio frequency integrated circuit design*." Artech House, 2014.

[26] 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.

[27] F. Bruccoleri, E. A. Klumperink, and B. Nauta. "Wide-band CMOS low-noise amplifier exploiting thermal noise canceling," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 39, no. 2, pp. 275-282, Feb. 2004.

[28] W.-H. Chen, G. Liu, B. Zdravko, and A. M. Niknejad, "A highly linear broadband CMOS LNA employing noise and distortion cancellation," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, pp. 1164-1176, May. 2008.

[29] C.-F. Liao and S.-I. Liu, "A broadband noise-canceling CMOS LNA for 3.1–10.6-GHz UWB receivers," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 42, pp. 329-339, Feb. 2007.

[30] S. S. Ho and C. E. Saavedra, "A CMOS broadband low-noise mixer with noise cancellation," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 58, pp. 1126-1132, May. 2010.

[31] S. Lou and H. C. Luong, "A linearization technique for RF receiver front-end using second-order-intermodulation injection," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, pp. 2404-2412, Nov. 2008.

[32] 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. PP, pp. 2092-12, Aug. 2013.

[33] M. Brandolini, P. Rossi, D. Sanzogni, and F. Svelto, "A+ 78 dBm IIP2 CMOS direct downconversion mixer for fully integrated UMTS receivers," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 41, pp. 552-559, Mar. 2006.

[34] H. Darabi and J. Chiu, "A noise cancellation technique in active RF-CMOS mixers," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, pp. 2628-2632, Dec. 2005.

[35] Sansen, Willy, and R. G. Meyer, "Distortion in bipolar transistor variable-gain amplifiers," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 8, no.4, pp. 275-282, Aug. 1973.

[36] D. 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. and Wireless Components Lett.*, vol. 22, no. 2, pp. 91-93. Feb. 2012

[37] 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. 1-10, Jan. 2015.

[38] M. Asghari and M. Yavari, "Using interaction between two nonlinear systems to improve IIP3 in active mixers," *Electron. Lett.*, vol. 50, no. 2, pp. 76–77, Jan. 2014.

[39] M. Asghari and M. Yavari, "A High IIP2 and IIP3 CMOS Down-Conversion Active Mixer," *The 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2014)*, pp. 351-354, May. 2014

[40] 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, 2014*.

[41] Y.-D. Jiang, R.-X. Zhang, C.-Q. Shi, and Z.-S. Lai, "A 76-dBm IIP2 down-conversion mixer for TD-SCDMA/RFID applications," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 72, pp. 129-139, Feb. 2012.

[42] S. C. Blaakmeer, E. A. Klumperink, D. M. Leenaerts, and B. Nauta, "The Blixer, a wideband balun-LNA-I/Q-mixer topology," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, pp. 2706-2715, Dec. 2008.

[43] M. Barati and M. Yavari, "A highly linear mixer with inherent balun using a new technique to remove common mode currents," *in in Proc. IEEE Int. Circuits Syst. Symp*, 2011, pp. 1884-1887.

[44] 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, May. 2010.

[45] S. Lee, J. Bergervoet, K. Harish, D. Leenaerts, R. Roovers, R. van de Beek, et al., "A broadband receive chain in 65nm CMOS," in in Proc. *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig. Tech. Papers*, 2007, pp. 418-612.

[46] W. Cheng, A. J. Annema, G. J. Wienk, and B. Nauta, "A flicker noise/IM3 cancellation technique for active mixer using negative impedance," *IEEE J. SolidState*, vol. 48, no. 10, pp. 2390-2402, Oct. 2013.

[47] B. Guo, H. Wang, and G. Yang. "A Wideband Merged CMOS Active Mixer Exploiting Noise Cancellation and Linearity Enhancement," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 62, no. 9, pp. 2084-2091, Jun. 2014.

[48] W. k. Chong, R. Harikrishnan, and N. Vitee. "A 0.12-mm 2.4-GHz CMOS Inductorless High Isolation Subharmonic Mixer with Effective Current-Reuse Transconductance," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 8, Aug. 2015.

[49] D. Lee, and 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, Jun. 2015.

[50] D. H. Seo, J.-Y Lee, and T.-Y Yun. "Active and Passive Combined Mixer for Low Flicker Noise and Low dc Offset," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 25, no. 7, Jul. 2015.

Abstract

The use of Zero-IF receivers, due to high compression ability and low cost has attracted the most attention in commercial application of communication standards in the recent years. The major problem of these receivers is related to down conversion mixer that these problems include nonlinearity production of second and third order inter modulation, DC offset and 1/f noise. The main focus of this thesis is based on some techniques to overcome the mentioned problems, so for this goal three mixers are proposed. In the first mixer by using post distortion technique, some parameters such as IIP2, IIP3 and conversion gain are increased however the power consumption is increased by 10%. In the second mixer by using feedforward technique the noise of input transistors is eliminated also IIP3 and conversion gain is increased concurrently. In the third mixer the structure of input transistors is current reused that transconductance is twice, with constant current. also for removing the noise of input transistors and linearization some paths are used. By this technique NF, IIP3, IIP2 and conversion gain are increased.

All of these techniques are analyzed by taylor series. In order to prove the their performance all of three mixers are simulated by using 90nm CMOS technology Spectre RF simulator with 1, 1.1 and 1.2 power supply. Simulation results show that IIP2, IIP3 and conversion gain of the first mixer are increased 5.5 dB, 5.8 dB and 2.5 dB respectively in the frequency band of 1-5 GHz. The second mixer parameters, NF, IIP3 and conversion gain are increased 2.3 dB, 5.4 dB and 6.5dB respectively. The third mixer parameters, NF, IIP2, IIP3 and conversion gain are increased 1.4 dB, 1.3 dB, 9.8 dB and 5.7dB respectively.

Key Words:

Zero-IF Receivers, Intermodulation, IIP2, IIP3, Noise Figure, Conversion Gain, Nonlinearity

Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

Department of Electrical Engineering

M.Sc. Thesis

Title

Linearity Enhancement of CMOS Active Mixers for Cognitive Radios

By
Pouya Solati

Supervisor
Dr. Mohammad Yavari

October 2015