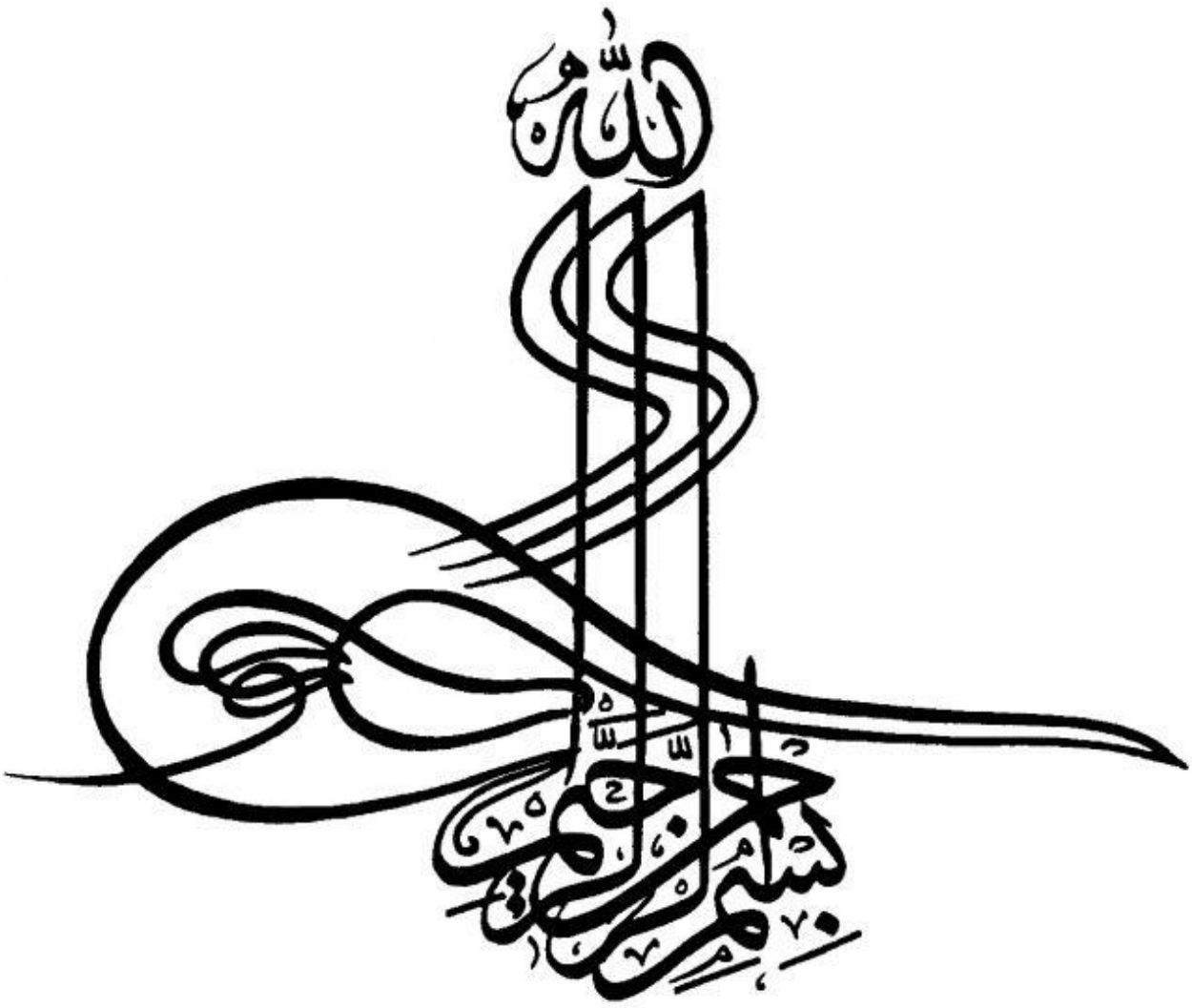

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی بابل

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان پایان‌نامه

طراحی اسیلاتور Cross-Coupled LC با نویز فاز کم

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش میکروالکترونیک

استاد راهنما:

دکتر حسین میار نعیمی

نگارش

محدثه نوذری میرارکلایی

تیر ۱۳۹۱

زندگی

صحنه یکتای هنرمندی ماست

هر کسی نغمه ی خود خواند و از صحنه رود

صحنه پیوسته به جاست

خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد

بیاد پدر

تقدیم به:

روح پرفتوح پدرم که آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همواره پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد

مادرم که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است

همسرم، همراه زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

تشکر و قدردانی

اعتراف می کنم که نه زبان شکر تو را دارم و و نه توان تشکر از بندگان تو، و امابر حسب وظیفه

سپاس از

استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر حسین میار نعیمی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند.

پدرم که عاشقانه سوخت تا گرمابخش وجودم و روشنگر راهم باشد. پدر به خود می بالم که فرزند توام. امید به آنکه بارسیدن به این مرحله از من راضی و خشنود باشی.

مادر دلسوز و مهربانم که سجده ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه های مهربانی را به من آموخت.

همسرم که با وجود دوره کوتاه زندگی مشترک تاکنون همدلی و همگامی خود را به من اثبات نمود.

دوستانی که در انجام این پایان نامه از کمک هایشان بی دریغ نمانده ام.

کلیه اساتید ارجمندم در طول سالهای به یادماندنی شاگردیشان تشکر می نمایم.

در پایان از درگاه خداوند متعال برای تمامی این عزیزان سلامتی، موفقیت و توفیق روزافزون در همهٔ عرصه های زندگی را مسئلت می نمایم.

چکیده

نوسان‌سازها از جمله مهمترین اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم‌های مخابراتی می‌باشد. از آنجایی که نویز فاز یکی از پارامترهای مهم تعیین کننده‌ی کیفیت یک نوسان‌ساز می‌باشد، طراحی نوسان‌سازهایی با نویز فاز کمتر از اهداف مهم طراحان است. در میان اسیلاتورهای مختلف، نوسان‌سازهای Cross-Coupled LC بدلیل عملکرد نویز فاز بهتر، مصرف توان کمتر، ساختار تفاضلی و پیاده‌سازی آسان آن نسبت به سایر نوسان‌سازها نقش مهمی را در طراحی مدارات فرکانس بالا ایفا می‌کند. تلاش‌های زیادی در راستای کاهش نویز فاز این نوسان‌سازها صورت گرفته است و تکنیک‌های مختلفی نیز ارائه شده است. یکی از روش‌های موثر کاهش اثر نویز ترانزیستور در فاز خروجی نوسان‌ساز، بهینه کردن فرم جریان آن می‌باشد. در این پایان نامه ابتدا به بررسی نوسان‌ساز LC و منابع نویز آن پرداخته و سپس تکنیک شکل‌دهی جریان ترانزیستورها و نقش آن در کاهش نویز فاز نوسان‌ساز بیان شده است. در ادامه ساختار جدیدی برای نوسان‌سازهای Cross-Coupled LC ارائه گردیده است که در آن جریان درین ترانزیستورهای زوج تفاضلی برای کاهش نویز فاز شکل دهی شده‌اند. از آنجایی که وقتی خروجی ها در نقاط پیک خود قرار دارند منابع نویز کمترین سهم در نویز فاز را دارند، جریان درین ماکزیمم مقدار را دارد و در نقاط گذر از صفر خروجی که حساسیت فاز خروجی به نویز تزریق شده بیشترین مقدار خود را دارد، ترانزیستورها خاموش شده و یا حتی‌الامکان جریان ناچیزی را هدایت کنند. بدین طریق سهم نویز فاز ادوات فعال کاهش می‌یابد. در پایان معادله نویز فاز ساختار معرفی شده نیز استخراج گردیده است و نقش کاهش زاویه‌ی هدایت ترانزیستورها در کاهش نویز فاز بررسی شده است.

برای ارزیابی تکنیک معرفی شده، یک اسیلاتورLC در فرکانس مرکزی ۲GHz در تکنولوژی TSMC CMOS ۰.۱۸µm در نرم افزار Agilent ADS طراحی و شبیه‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد اسیلاتور پیشنهادی علاوه بر کاهش قابل توجه نویز فاز از نظر FOM نیز بر اسیلاتورهای کلاسیک برتری دارد.

واژه‌های کلیدی

نویز فاز، نوسان‌سازهای LC، شکل دهی جریان ترانزیستور ، تابع حساسیت ضربه

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف و ساختار پایان‌نامه ۶

فصل دوم: نوسان‌سازها و تاثیر نویز بر عملکرد آنها **۷**

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- اصول کلی عملکرد نوسان‌سازها ۸

۲-۲-۱- مدل فیدبک نوسان‌ساز ۹

۲-۲-۲- مدل مقاومت منفی نوسان‌سازها ۱۰

۲-۳- انواع نوسان‌سازهای CMOS ۱۱

۲-۳-۱- نوسان‌سازهای حلقوی ۱۵

۲-۳-۲- نوسان‌سازهای LC ۱۸

- توپولوژی تک ترانزیستوری ۱۸

- توپولوژی تفاضلی Cross-Coupled ۲۱

۲-۳-۳- نوسان‌سازهایLC مناسب‌ترین انتخاب برای کاربردهای مخابراتی ۲۵

۲-۴- شبکه‌های LC پسیو ۲۶

۲-۴-۱- تانک RLC موازی ۲۶

۲-۴-۲- تانک RLC سری ۲۸

۲-۵- ضریب کیفیت تانک ۲۸

۲-۶- نویز ۳۰

۲-۶-۱- مقدار RMS نویز ۳۱

۲-۶-۲- جمع منابع نویز ۳۱

۲-۶-۳- چگالی طیف توان نویز ۳۲

۲-۷- منابع نویز در نوسان‌سازها ۳۳

۲-۷-۱- نویز حرارتی ۳۳

۲-۷-۲- نویز شاتکی ۳۵

۲-۷-۳- نویز فلیکر ۳۷

۲-۸- تعریف نویز فاز ۳۹

۲-۹- مدل‌های نویز فاز ۴۲

۲-۹-۱- مدل لیسون: یک مدل تجربی برای نویز فاز ۴۲
۲-۹-۲- مدل حاجی میری: مدل خطی متغیر با زمان ۴۴
- اثبات فرض تغییر پذیر با زمان بودن نوسان‌ساز ۴۴
- اثبات فرض خطی بودن نوسان‌ساز ۴۷
- منابع نویز Cyclostationary ۴۸
- مزایا و معایب مدل LTV ۵۱
۲-۱۰- منابع نویز در نوسان‌ساز LC ۵۲
۲-۱۱- روش‌های کاهش نویز فاز ۵۳
۲-۱۱-۱- روش فیلترینگ نویز دنباله ۵۳
۲-۱۱-۲- موازی کردن خازن با ترانزیستور منبع جریان ۵۶
۲-۱۱-۳- شکل‌دهی جریان ترانزیستورهای سوئیچ با ساختار کسکود ۶۰
۲-۱۱-۴- تفکیک بایاس گیت از خروجی نوسان‌ساز ۶۴
۲-۱۱-۵- شبکه بایاس آینه جریان بمنظور شکل‌دهی جریان ترانزیستورهای سوئیچ... ۶۶
۲-۱۲- صورت شایستگی(FOM) ۶۸
۲-۱۳- خلاصه‌ی فصل ۶۸

فصل سوم: طراحی یک نوسان‌ساز LC به منظور شکل‌دهی جریان ترانزیستورها ۶۹

۳-۱- مقدمه ۷۰
۳-۲- تحلیل و طراحی نوسان‌ساز LC با جریان شکل دهی شده ۷۳
۳-۲-۱- فرم جریان در نوسان‌ساز LC کلاسیک ۷۳
۳-۲-۲- بررسی شرایط نوسان و محاسبه فرکانس نوسان ۷۴
۳-۲-۳- تحلیل جریان ترانزیستورهای زوج تفاضلی ساختار پیشنهادی و بررسی نویز-
فاز آن ۷۶
۳-۳- طراحی نوسان‌ساز LC جدید به منظور بهبود جریان شکل‌دهی شده ترانزیستورها.... ۷۸
۳-۳-۱- بررسی شرایط نوسان ساختار پیشنهادی ۷۹
۳-۳-۲- محاسبه‌ی دامنه‌ی نوسان ۸۰
۳-۳-۳- محاسبه نویز فاز ۸۷
- منابع نویز نوسان‌ساز ۸۷
- محاسبه نویز فاز محاسبه‌ی نویز فاز حاصله از تلفات تانک ۸۸
- محاسبه‌ی نویز فاز حاصله از نویز حرارتی ترانزیستورهای سوئیچ ۸۸

- محاسبه‌ی نویز فاز حاصله از نویز حرارتی ترانزیستورهای دنباله ۹۱
- محاسبه‌ی نویز فاز حاصله از نویز فلیکر ترانزیستورها ۹۱
۳-۴- بهبود طراحی نوسان‌ساز پیشنهادی ۹۲
۳-۵- خلاصه‌ی فصل ۹۴

فصل چهارم: نتایج و تفسیر آنها ۹۵
۴-۱- مقدمه ۹۶
۴-۲- نتایج شبیه سازی ۹۶
۴-۳- نتایج شبیه سازی ساختار تکمیلی نوسان‌ساز **LC** پیشنهاد شده ۱۰۲
۴-۴- مقایسه با کارهای انجام شده پیششین ۱۰۴
۴-۵- خلاصه‌ی فصل ۱۰۶

فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱۰۷
۵-۱- جمع بندی ۱۰۸
۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار ۱۰۸

پیوست ۱۱۰
مراجع ۱۱۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مخابرات بی‌سیم بدون شک از رشد چشم‌گیری برخوردار بوده و هم‌اکنون کاربران زیادی در دنیا از آن بهره می‌برند. در واقع محصولات مخابرات نظیر تلفن همراه، سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی[۱](GPS)، شبکه‌های بی‌سیم محلی[۲](WLAN)، سنتزکننده‌های فرکانسی[۳](FS) و غیره امروزه در سراسر جهان کاربرد گسترده‌ای دارند. مدارات مجتمع آنالوگ و فرکانس بالا بخش مهمی را در سیستم‌های مخابراتی به خود اختصاص داده‌اند. به همین دلیل طراحی بهینه مدارات فرکانس بالا و دستیابی به سیستم‌هایی با عملکرد بالا، قیمت و توان مصرفی کمتر و اندازه‌ی کوچکتر برای طراحی فرستنده-گیرنده‌های کم‌هزینه و کم‌حجم از اهمیت خاصی برخوردار است.

انتخاب تکنولوژی مناسب برای طراحی این مدارات اهمیت ویژه‌ای دارد. بطور کلی کیفیت عملکرد، هزینه و مدت زمان مورد نیاز برای ارائه به بازار سه پارامتری است که در انتخاب تکنولوژی در صنعت فرکانس بالا تعیین کننده می‌باشد. با پیدایش تکنولوژی CMOS[۴] و ادامه‌ی روند کاهش ابعاد

[۱] Global Positioning System

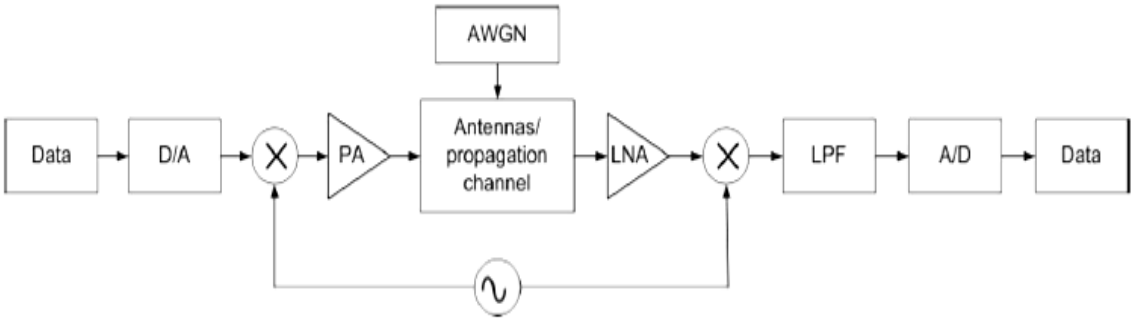
[۲] Wireless Local Area Networks

[۳] Frequency Synthesizer

[۴] Complementary Metal-Oxide-Silicon

ترانزیستور در آن پیشرفت‌های زیادی در مجتمع سازی مدارات فرکانس بالا و آنالوگ ایجاد شده است. از جمله فواید استفاده از تکنولوژی CMOS، امکان قرار دادن بخش‌های مختلف یک سیستم مخابراتی بر روی یک تراشه واحد است. به چنین سیستمی یک SOC[۱] گفته می شود و شامل مدارات آنالوگ، دیجیتال و فرکانس بالای سیستم‌های مخابراتی می باشد. چنین سیستم‌هایی بدلیل مزایایی چون کاهش هزینه‌های ساخت و توان مصرفی از اهمیت فوق العاده‌ای در محصولات بی‌سیم برخوردارند. البته استفاده از تکنولوژی CMOS محدودیت‌هایی نیز دارد ولی طراحان قادر به حل آن مشکلات شده‌اند و امروزه این تکنولوژی به طور وسیع در مدارهای فرکانس بالا مورد استفاده قرار می گیرد[۱].

یکی از مهمترین بلوک‌های فرکانس بالا در سیستم های مخابراتی نوسان‌سازها هستند. کلیه فرستنده-گیرنده‌های فرکانس بالایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، در داخل خود دارای یک سنتزکننده فرکانس می‌باشند که به آن نوسان‌ساز محلی[۲] گفته می‌شود. وظیفه این بلوک ایجاد یک سیگنال سینوسی است که مطابق شکل ۱-۱ به کمک آن عمل انتقال طیف فرکانسی سیگنال‌های دریافتی و یا ارسالی به فرکانس‌های به ترتیب پایین یا بالا انجام می‌شود.



شکل (۱-۱) بلوک دیاگرام یک فرستنده – گیرنده ساده

پدیده نویز فاز در واقع خارج شدن طیف فرکانسی سیگنال نوسان‌ساز محلی از شکل ایده‌آل خود (که یک سیگنال ضربه در فرکانس کار نوسان‌ساز می‌باشد) است. هنگامی که کاربران یک سیستم مخابراتی زیاد می‌شوند، با توجه به محدودیت‌هایی که بر روی پهنای باند وجود دارد، پهنای باندی که به هر کاربر اختصاص می‌یابد کاهش پیدا می‌کند. اما وجود پدیده نویز فاز باعث می‌شود که پهنای باند اختصاصی به هرکاربر را نتوان از یک مقدار حداقلی کمتر کرد. این مسئله باعث ایجاد محدودیت در

[۱] System-on-a-chip

[۲] Local Oscillator

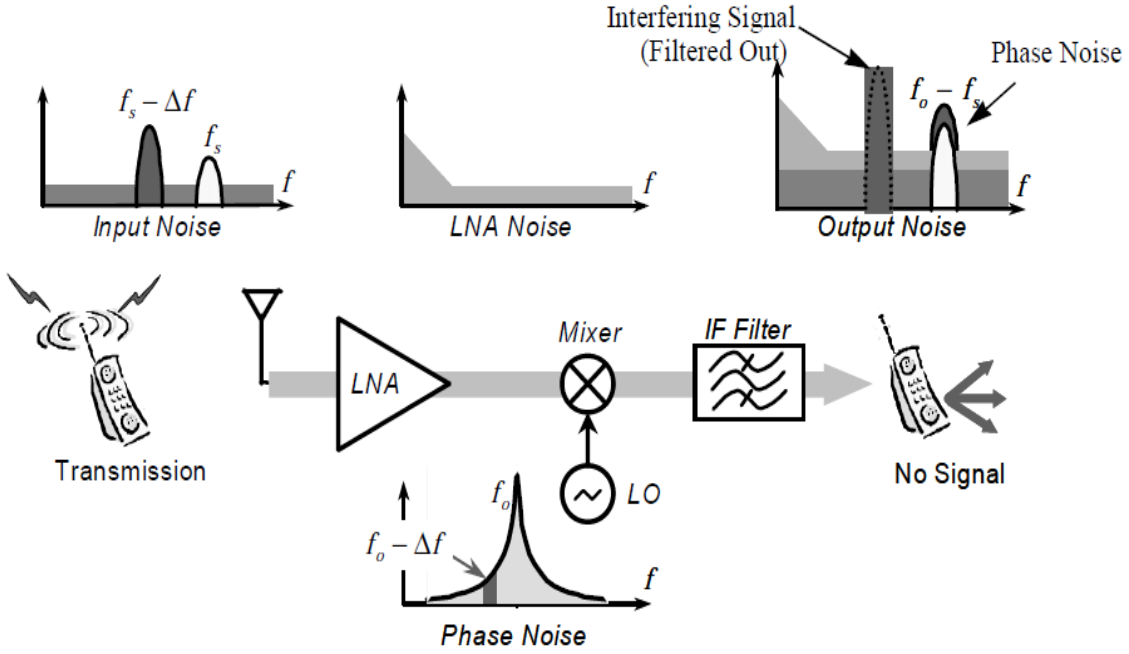
افزایش تعداد کاربران یک سیستم مخابراتی با پهنای باند ثابت می‌شود. به همین علت در دهه‌های اخیر تحلیل نویز فاز و بررسی تکنیک‌های بهبود طراحی مدارات برای VCOها[۱] علاقه‌مندی‌های زیادی در دانشگاه‌ها و صنعت بوجود آورد. اما به دلیل پیچیدگی زیاد این پدیده هنوز رابطه‌ی دقیقی که بسادگی بتواند نویز فاز نوسان‌ساز را بررسی کند بدست نیامده است. دلایلی که رسیدن به یک تحلیل کامل از چگونگی ایجاد نویز فاز را دشوار می‌سازد، به طور خلاصه عبارتند از: الف- عملکرد سیگنال بزرگ نوسان‌ساز و صادق نبودن مدل‌های خطی برای تحلیل عملکرد آن. ب- ثابت نبودن فرآیند ایجاد نویز فاز در طول یک دوره تناوب نوسان. این دو دلیل بدین معناست که در واقع بررسی نویز فاز معادل بررسی اثر نویز در یک سیستم غیرخطی متغیر با زمان است. عملکرد بسیاری از سیستم‌ها به طرق مختلف از نویز تاثیر می‌پذیرند. بنابراین داشتن درک درستی از نویز در الکترونیک یکی از مهم‌ترین مسائل در سیستم‌های مجتمع‌شده است. بطور کلی نویز در سیستم‌های الکتریکی را می‌توان به دو مولفه تقسیم کرد: نویز دامنه و نویز فاز. نویز دامنه میزان تغییرات تصادفی سیگنال الکتریکی حول مقدار واقعی را نشان می‌دهد. این تغییرات شناسایی سیگنال مطلوب را مشکل می‌سازد و عملکرد سیستم را وقتی سیگنال‌های دامنه‌ی کار کوچک شود، کاهش می‌یابد. برای مشخص شدن نویز دامنه برای یک سیستم پارامتری با عنوان عدد نویز تعریف می‌شود که به صورت نسبت سیگنال به نویز در ورودی سیستم به سیگنال به نویز در خروجی تعریف می‌شود[۲].

نویز فاز در یک سیستم نوسانی بصورت اندازه‌ی تغییرات تصادفی فاز نوسان نوسان‌ساز تعریف می‌شود. این تغییرات بدلیل منابع نویز مختلف موجود در مدار بوجود می‌آید. تعریف دقیق‌تر نویز فاز در فصل دوم آورده شده است. نویز دامنه و فاز عملکرد سیستم‌های الکتریکی را به طرق مختلف تحت تاثیر می‌گذارد. شکل (۱-۲) عملکرد این دو مولفه‌ی نویز را روی یک دستگاه گیرنده‌ی بی‌سیم نشان می‌دهد. در این شکل بلوک‌هایی که نویز بیشترین تاثیر را روی آنها می‌گذارد، نشان داده شده است. نویز دامنه (به عنوان مثال نویز LNA[۲](تقویت کننده با نویز کم) به سیگنال ورودی اضافه شده و نسبت سیگنال به نویز را در خروجی LNA و در نتیجه خروجی فیلتر IF کاهش می‌دهد. اثر نویز فاز روی نوسان‌ساز محلی نیز در این شکل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ناپایداری فرکانسی نوسان‌ساز محلی، به توان غیر صفر در بعضی افست فرکانسی Δf از فرکانس اصلی (که در غیاب نویز فاز طیف LO یک تابع ضربه در f_0 بود) منجر شده است. توان سیگنال واقع شده در $f_0 - \Delta f$ می‌تواند توسط سیگنال ناخواسته در $f_s - \Delta f$ مدوله شود و یک مولفه‌ی نویز در $f_0 - f_s$

[۱] *Voltage Controlled Oscillator*

[۲] *Low Noise Amplifire*

بوجود آید. متاسفانه این مولفه‌ی نویز نمی‌تواند توسط فیلتر IF از بین برود، زیرا در بازه فرکانسی فیلتر IF قرار ندارد. بنابراین نویز فاز مولفه‌ی فرکانسی دیگری به نویز خروجی فیلتر IF ایجاد می‌کند. ترکیب این دو منبع نویز نسبت سیگنال به نویز را در خروجی فیلتر IF کاهش می‌دهد و نهایتا سیگنال ورودی خراب می‌شود.



شکل (۱-۲) اثر نویز دامنه و فاز روی عملکرد یک گیرنده‌ی RF

با توجه به اهمیت پدیده نویز فاز و تبعات منفی آن در سیستم های مخابراتی، در این پایان نامه سعی خواهد شد تا ضمن بررسی تئوری‌های مختلف توصیف کننده نویز فاز، چگونگی ایجاد آن در نوسان‌سازهای CMOS نوع LC به عنوان مهمترین دسته از نوسان‌سازها که امروزه در مدارات مجتمع فرکانس بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طور کامل و جامع مورد بررسی قرار گیرد و ساختاری جدید با نویز فاز کم برای نوسان‌سازهای LC ارائه گردد.

۱-۲- اهداف و ساختار پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا به بررسی اصول کلی عملکرد نوسان‌سازها و معرفی انواع نوسان‌سازهای CMOS پرداخته و دلایل انتخاب نوسان‌سازهای نوع LC در کاربردهای فرکانس بالا بررسی می‌شود. بعد از آشنایی با نوسان‌سازهای CMOS و نحوه عملکرد آن‌ها به بررسی منابع نویز مختلف موجود در این نوسان‌سازها بخصوص نوسان‌ساز LC و ماهیت فیزیکی آن‌ها پرداخته و سپس تعریف دقیق نویز فاز و مدل‌های ارائه شده برای توصیف آن در نوسان‌ساز بیان می‌شود. در این رساله هدف طراحی نوسان‌ساز LC با نویز فاز کمتر است. به همین دلیل ابتدا به بررسی تکنیک‌های کاهش نویز فاز ارائه شده در سال‌های اخیر پرداخته و تکنیک‌های مختلف را بررسی کرده و سپس تکنیک بهبود یافته‌ی پیشنهادی معرفی و ساختار تکمیلی در راستای بهبود تکنیک معرفی شده ارائه می‌شود. در انتها به منظور اثبات صحت ادعاهای مطرح شده، یک نوسان‌ساز CMOS LC در فرکانس مرکزی ۲ GHz در تکنولوژی ۰/۱۸ µm با ولتاژ تغذیه ۱/۸ ولت طراحی و با استفاده از شبیه‌ساز ADS شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی با کارهای انجام شده پیشین مقایسه می‌شود.

فصل دوم

نوسان‌سازها

و تاثیر نویز بر عملکرد آنها

۲-۱- مقدمه

همان طور که در فصل قبل اشاره شد، نوسان‌سازهای کنترل شونده با ولتاژ یکی از مهم‌ترین اجزای فرستنده- گیرنده‌های فرکانس بالا به شمار می‌آیند. با توجه به مسائل و مشکلاتی که در اثر پدیده نویز فاز نوسان‌ساز محلی در سیستم‌های مخابراتی ایجاد می‌شود، واضح است که طراحی نوسان‌ساز با نویز فاز کم دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. پارامترهای زیادی در طراحی یک نوسان‌ساز اهمیت دارند از جمله: نویزفاز، توان مصرفی، قابلیت مجتمع سازی، بهره. نوسان‌سازهای مختلفی وجود دارند که هرکدام قابلیت‌های خاصی از موارد یاد شده را دارند ولی برآورده کردن تمامی قابلیت‌ها در یک نوسان‌ساز خاص کار بسیار مشکلی است. بنابراین همواره تلاش بر این است تا با توجه به نیاز کاربران نوسان‌سازی با عملکرد بهتر ارائه شود. در این فصل به تشریح اصول کلی عملکرد نوسان‌سازها به عنوان هسته سازنده سیستم‌های مختلف و معرفی انواع نوسان‌سازهای CMOS و به خصوص نوسان‌سازهای LC به عنوان اصلی ترین گروه مورد استفاده در مدارات و سیستم های فرکانس بالا پرداخته می‌شود.

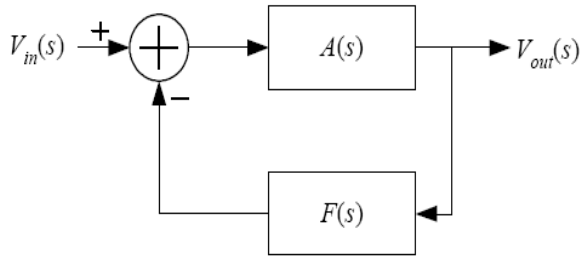
۲-۲- اصول کلی عملکرد نوسان‌سازها

نوسان‌ساز سیستمی است که بدون اعمال ورودی سیگنالی متناوب با فرکانس مشخص در خروجی تولید کند. به‌طور کلی دو دیدگاه برای بررسی عملکرد نوسان‌ساز وجود دارد. در دیدگاه اول

نوسان‌ساز به عنوان یک سیستم دارای فیدبک تلقی می‌گردد و شرایط ناپایدار شدن این سیستم به عنوان شرایط نوسان بیان می‌شود. در دیدگاه دوم نوسان‌ساز بر پایه‌ی مفهوم مقاومت منفی استوار است. از هر دو دیدگاه برای بررسی و تحلیل نوسان‌سازها می‌توان استفاده کرد، اما ممکن است با توجه به ساختار نوسان‌ساز استفاده از یک مدل برای تحلیل ساده‌تر باشد.

۲-۲-۱- مدل فیدبک نوسان‌ساز

اگرچه نوسان‌سازها بطور طبیعی غیرخطی هستند اما معمولا به صورت یک سیستم فیدبک دار خطی در نظر گرفته می‌شوند. شکل (۲-۱).



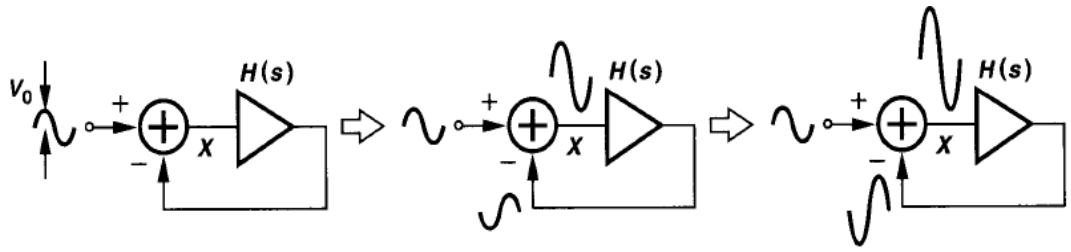
شکل (۲-۱) بلوک دیاگرام سیستم فیدبک منفی

سیستم فیدبک منفی شکل (۲-۱) را در نظر بگیرید، تابع تبدیل حلقه بسته آن به صورت زیر خواهد بود

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{A(s)}{1+A(s)F(s)} \qquad (۱-۲)$$

چنانچه یک تقویت کننده دارای شیفت فاز زیادی در فرکانس های بالا باشد به نحوی که فیدبک مثبت شود، در خروجی آن نوسان ایجاد شده و تقویت کننده ناپایدار می‌شود. بنابراین برای ایجاد نوسان اولا باید فیدبک کلی حلقه مثبت شود و گین حلقه بسته نیز در فرکانسی بینهایت شود. بعنوان مثال اگر به ازای $s = j\omega_0$ ، $A(j\omega_0)F(j\omega_0) = -1$، گین حلقه بسته در فرکانس $\omega_\circ$ بینهایت شده و شرایط نوسان فراهم می‌شود. در چنین شرایطی مدار کوچکترین تحریک دریافتی در فرکانس $\omega_\circ$ که می‌تواند ناشی از نویز باشد را به صورت نامحدود تقویت می‌کند. در واقع همان طور که

در شکل (۲-۲) مشخص است، نویز واقع در فرکانس ω_0 که در ورودی سیستم قرار دارد، در مجموع بهره بینهایت را دریافت می‌کند و در نتیجه این سیگنال تقویت شده و در داخل حلقه خود را تکرار می‌کند. بنابراین در مجموع مولفه‌ی نویز واقع در فرکانس ω_0 در داخل حلقه اجازه تقویت و رشد پیدا می‌کند.



شکل (۲-۲) تغییرات سیستم نوسانی با زمان [۳]

بنابراین بطور کلی دو شرط لازم برای ایجاد نوسان که با نام معیارهای "بارک هاوزن[۱]" از آن یاد می-شود با روابط زیر بیان می‌شود

$$\begin{cases} |A(j\omega_0)F(j\omega_0)| \geq 1 \\ \angle A(j\omega_0)F(j\omega_0) = 180^\circ \end{cases} \qquad (۲-۲)$$

برای تضمین نوسان و بازسازی سیگنال ورودی در مقابل تغییرات ناشی از درجه حرارت و پروسه مورد استفاده، دامنه گین حلقه باید بزرگتر از یک باشد (در نوسان‌سازهای عملی معمولا ۳~۲ در نظر گرفته می‌شود) این سیگنال ورودی با هر نویز یا تغییرات در نوسان‌ساز مانند تغییرات دمایی و سایر فرایندهای محیطی ممکن است ساخته شود، بنابراین شرایط بارک هوزن شرایط لازم برای نوسان می‌باشند ولی کافی نیستند[۳].

۲-۲-۲- مدل مقاومت منفی نوسان‌سازها

در بعضی از انواع نوسان‌سازها مناسب‌تر است که مدل فیدبک برای مدل نوسان‌ساز بکار برده شود. همانند نوسان‌سازهای رینگ. برای نوسان‌سازهای مبنی بر تشدیدگر پدیده نوسان برمبنای مفهوم مقاومت منفی راحت‌تر بررسی می‌شود. همانطور که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است تشدیدگر را

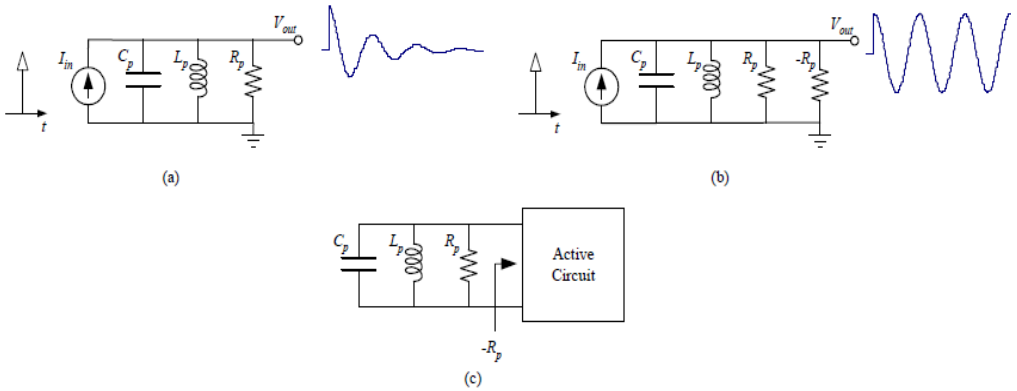
[۱] *Barkhausen Criteria*

می‌توان معادل با یک تانک RLC موازی درنظر گرفت که در آن R_p تلفات اجتناب‌ناپذیر انرژی در تانک را نشان می‌دهد.

اگر تانک با یک جریان ضربه تحریک شود (شکل a(۲-۳)) و یا یک شرایط اولیه روی آن قرار داده شود، بدلیل تلفات ناشی از R_p، تانک بصورت نوسانی میرا پاسخ می‌دهد زیرا در هر چرخه، قدری از انرژی که بین خازن و القاگر جابجا می‌شود، بصورت گرما در مقاومت تلف می‌شود. حال فرض شود مقاومتی به اندازه $-R_p$ به موازات مقاومت تانک قرار داده شود و آزمایش فوق تکرار شود(شکل b(۲-۳))، از آنجایی که $R_p \| -R_p = \infty$، تانک بطور نامحدود در فرکانس ω_0 نوسان می‌کند. بنابراین همانند شکل c(۲-۳) اگر یک مدار تک قطبی که مقاومت منفی ایجاد می‌کند به موازات تانک قرار گیرد، ترکیب حاصل می‌تواند نوسان کند زیرا عامل اتلاف انرژی وجود ندارد. یک چنین توپولوژی مدل مقاومت منفی نوسان‌ساز نامیده می‌شود. قابل توجه است که در فرکانس‌های خیلی بالا و مایکروویو، امپدانس دیده شده از مدار اکتیو دارای فیدبک مثبت فقط به صورت یک مقاومت منفی نخواهد بود و دارای یک جزء موهومی نیز می‌باشد که در این حالت به منظور ایجاد نوسان باید مجموع امپدانس دیده شده از مدار اکتیو و امپدانس شبکه مورد نظر برابر صفر باشد.

۲-۳- انواع نوسان‌سازهای CMOS

دسته‌بندی نوسان‌سازها این آگاهی را به طراح می‌دهد که با توجه به مشخصات مطلوب آن بتوان مکان نوسان‌ساز را در دسته بندی پیدا کرد. نوسان‌سازها را می‌توان از جنبه‌های مختلف دسته-بندی کرد. به عنوان مثال این دسته‌بندی می‌تواند بر اساس یکی از مشخصه‌های اساسی مانند فرکانس نوسان، مصرف توان و عملکرد فرکانسی و یا بر اساس عملکرد نوسان‌ساز مانند شکل موج خروجی باشد. در ادامه دو نمونه از تقسیم‌بندی نوسان‌سازها نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) میرا شدن پاسخ ضربه شبکه RLC و جبران آن با اضافه کردن مقاومت منفی