دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در مهندسی برق- الکترونیک

طراحی نوسان سازهای متعامد و چندفازه‌ی LC فرکانس بالا با هدف کاهش نویزِفاز و توان مصرفی

استاد راهنما: دکتر ساسان ناصح

نگارش: عماد ابراهیمی

شهریور ۱۳۸۷

بسم اللّه الرّحمن الرّحيم

والحمد للّه ربّ العالمين

وصلّى اللّه على محمّد وآله الطّاهرين

تعهد نامه

اینجانب **عماد ابراهیمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق - الکترونیک** دانشکده **مهندسی** دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه **طراحی نوسان سازهای متعامد و چندفازه‌یLC فرکانس بالا با هدف کاهش نویزِفاز و توان مصرفی** تحت راهنمایی **دکتر ساسان ناصح** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم

به نور، به امید

به صاحب الزمان (علیه السلام)

و به مولای مهربانم،

امام علی بن موسی الرضا (علیه السلام) که عنایات بی کرانش همواره زندگی ام را تجلی بخشیده است.

و به استوارترین استقامت جهان،

پدرم

و زلال ترین مهربانی عالم،

مادرم.

تقدیر و تشکر

خداوند را شاکرم که مرا مشمول رحمت بی‌منتهای خود نمود و توفیق تحصیل در کنار بارگاه ملکوتی امام رضا (علیه السلام) را به من عنایت فرمود.

اکنون که نگارش پایان نامه‌ی خود را با یاری خداوند متعال و به برکت ماه نزول قرآن به پایان رسانده‌ام، برخود لازم می‌دانم از اساتید ارجمندی که افتخار شاگردیشان را داشته‌ام تشکر نمایم.

با تشکر و قدردانی از آقای دکتر ناصح، که نه تنها به عنوان استاد راهنما، که معلمی دلسوز، با صبر و حوصله‌ی فراوان، با راهنمایی‌های علمی و اخلاقیشان مرا در انجام این پایان‌نامه همراهی کردند.

با تشکر از خانواده‌ی عزیزم که همواره بستر تعلیم و تربیت را برای من مهیا نمودند و مشوق من بودند. و با تشکر از همه‌ی آنهایی که مرا در زندگی علمی و معنوی‌ام یاری نموده‌اند.

از خداوند متعال سلامتی و توفیق روزافزون را برای همه‌ی آنان خواستارم.

دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد

فرم چکیده پایان‌نامه تحصیلی دوره تحصیلات تکمیلی | **دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی**

نام خانوادگی دانشجو: ابراهیمی **نام:** عماد

استاد راهنما: دکتر ساسان ناصح **استاد یا اساتید مشاور:** -

دانشکده: مهندسی **رشته:** مهندسی برق **گرایش:** الکترونیک **مقطع:** کارشناسی ارشد

تاریخ دفاع: ۲۰ / ٦ / ۱۳۸۷ **تعداد صفحات:** ۹۱

عنوان پایان‌نامه: طراحی نوسان سازهای متعامد و چندفازهی**LC** فرکانس بالا با هدف کاهش نویزِفاز و توان مصرفی

کلید واژه‌ها: نوسان ساز متعامد و چندفازه‌ی **LC**، نویزِفاز

چکیده:

نوسان‌سازهای متعامد کاربرد فراوانی در سیستم‌های مخابراتی مدرن جهت پیاده‌سازی ساختارهای حذف تصویر، تبدیل مستقیم، QPSK و بازیابی کلاک و داده (CDR) پیدا کرده‌اند. امروزه تقاضا برای نوسان‌سازهای متعامد با نویزِفاز کم، توان مصرفی پایین، دقت و سرعت بالا و قابلیت مجتمع سازی زیاد افزایش چشمگیری یافته است. در پاسخ به این تقاضا، روشهای متنوعی برای تولید سیگنال‌های متعامد ارائه شده است که کاراترین آنها تزویج دو نوسان‌ساز LC می باشد. در این دسته از نوسان-سازها، عناصر تزویج کننده مانند ترانزیستور، ترانسفورمر و خازن می توانند سبب تحمیل نویز و توان مصرفی اضافی به مدار شوند. در این پژوهش ابتدا یک نوسان‌ساز متعامد LC مرتبه اول با استفاده از تزویج مستقیم زیرلایه (بالک) ترانزیستورهای اتصال ضربدری و ورکتورها پیشنهاد شده است که نیاز به هیچ المان تزویج کننده‌ی اضافی ندارد. از مزایای این نوسان‌ساز می توان به سادگی ساختار، نویزفاز و توان مصرفی کم آن اشاره نمود. در ادامه با اعمال تکنیک پیشنهاد شده یک نوسان‌ساز چندفازه با کارایی بالا نیز ارائه گردیده است. همچنین دو نوسان‌ساز متعامد مرتبه‌ی اول دیگر، جهت رفع برخی از مشکلات ساختارهای پیشین طراحی شده است. در پایان، دو نوسان‌ساز متعامد LC با تزویج هماهنگ مرتبه ی دوم و بکارگیری گره‌ی میانی ورکتورها، بالک منابع جریان و گره‌ی سورس-مشترک ترانزیستورهای اتصال ضربدری ارائه گردیده است.مدارهای ارائه شده، با استفاده از نرم افزار ADS در تکنولوژی CMOS-RF 0.18µm شبیه سازی شده‌اند.

امضاء استاد راهنما

چکیده

نوسان‌سازهای متعامد کاربرد فراوانی در سیستم‌های مخابراتی مدرن جهت پیاده‌سازی ساختارهای حذف تصویر، تبدیل مستقیم، QPSK و بازیابی کلاک و داده (CDR) پیدا کرده‌اند. امروزه تقاضا برای نوسان‌سازهای متعامد با نویزِفاز کم، توان مصرفی پایین، دقت و سرعت بالا و قابلیت مجتمع سازی زیاد افزایش چشمگیری یافته است. در پاسخ به این تقاضا، روشهای متنوعی برای تولید سیگنال‌های متعامد ارائه شده است که کاراترین آنها تزویج دو نوسان‌ساز LC می باشد. در این دسته از نوسان‌سازها، عناصر تزویج کننده مانند ترانزیستور، ترانسفورمر و خازن می توانند سبب تحمیل نویز و توان مصرفی اضافی به مدار شوند. در این پژوهش ابتدا یک نوسان‌ساز متعامد LC مرتبه اول با استفاده از تزویج مستقیم زیرلایه (بالک) ترانزیستورهای اتصال ضربدری و ورکتورها پیشنهاد شده است که نیاز به هیچ المان تزویج کننده‌ی اضافی ندارد. از مزایای این نوسان‌ساز می توان به سادگی ساختار، نویزفاز و توان مصرفی کم آن اشاره نمود. در ادامه با اعمال تکنیک پیشنهاد شده یک نوسان‌ساز چندفازه با کارایی بالا نیز ارائه گردیده است. همچنین دو نوسان‌ساز متعامد مرتبه‌ی اول دیگر، جهت رفع برخی از مشکلات ساختارهای پیشین طراحی شده است. در پایان، دو نوسان‌ساز متعامد LC با تزویج هماهنگ مرتبه ی دوم و بکارگیری گره‌ی میانی ورکتورها، بالک منابع جریان و گره‌ی سورس- مشترک ترانزیستورهای اتصال ضربدری ارائه گردیده است.

مدارهای ارائه شده، با استفاده از نرم افزار ADS در تکنولوژی CMOS-RF 0.18µm شبیه سازی شده‌اند.

فهرست

فصل ۱- پیشگفتار

۱-۱ انگیزه‌ی این پژوهش ۱
۱-۱-۱ گیرنده‌ی هترودین ۲
۱-۱-۲ گیرنده‌ی همودین ۳
۱-۱-۳ ساختار ویور و نحوه‌ی حذف تصویر ۴
۱-۱-۴ روش‌های متداول برای تولید سیگنال متعامد ۵
۱-۲ ساختار پایان نامه ۶

فصل ۲- بررسی نوسان‌سازهای متعامد LC و دیگر ساختارهای تولید سیگنال متعامد

۲-۱ مقدمه ۷
۲-۱-۱ نوسان‌سازهای اتصال ضربدری (مقاومت منفی) ۷
۲-۱-۲ پارامترهای تعریف شده برای نوسان‌سازها ۱۰
۲-۱-۲-۱ فرکانس نوسان ۱۰
۲-۱-۲-۲ گستره‌ی تنظیم فرکانس ۱۱
۲-۱-۲-۳ توان مصرفی ۱۱
۲-۱-۲-۴ نویزِفاز ۱۲
۲-۲ بررسی کارهای گذشته ۱۳
۲-۲-۱ اساس تولید سیگنال متعامد در نوسان‌سازهایLC اتصال ضربدری ۱۳
۲-۲-۲ نوسان‌سازهای متعامد LC با تزویج هماهنگ مرتبه‌ی اول ۱۴
۲-۲-۲-۱ نوسان ساز متعامد رفوگران (P-QVCO) ۱۴
۲-۲-۲-۲ نوسان‌ساز متعامد Van der Tang ۱۷
۲-۲-۲-۳ نوسان‌ساز متعامد Andreani (S-QVCO) ۱۸
۲-۲-۲-۴ نوسان‌ساز متعامد با بایاس سوئیچ شونده ۲۰
۲-۲-۲-۵ نوسان‌ساز متعامد با تزویج زیرلایه (بالک) ۲۱
۲-۲-۲-۶ نوسان‌ساز متعامد Chiang با تکنیک استفاده‌ی مجدد از جریان ۲۳
۲-۲-۲-۷ نوسان‌ساز متعامد Chuang ۲۴
۲-۲-۲-۸ نوسان‌ساز متعامد زارع با تزویج خازنی ۲۶
۲-۲-۲-۹ نوسان‌ساز متعامد بدون ابهام در فاز خروجی ۲۷
۲-۲-۳ نوسان‌سازهای متعامد LC با تزویج هماهنگ مرتبه‌ی دوم ۲۸
۲-۲-۳-۱ نوسان‌ساز متعامد Chul choi ۲۹
۲-۲-۳-۲ نوسان‌ساز متعامد Chi-wa Lo ۳۱
۲-۲-۳-۳ نوسان‌ساز متعامد Mazzanti ۳۴
۲-۲-۳-۴ نوسان‌ساز متعامد Ravi ۳۵
۲-۲-۳-۵ نوسان‌ساز متعامد Gierkink ۳۶

۲-۲-۳-۶ نوسان‌ساز متعامد Hancock ۳۷
۲-۲-۳-۷ نوسان‌ساز متعامد Allam ۳۸
۲-۲-۳-۹ نوسان‌ساز متعامد ناصح با استفاده از اتصال گره‌ی میانی ورکتورها ۴۰
۲-۲-۴ روش‌های دیگر برای تولید سیگنال‌های متعامد ۴۱
۲-۲-۴-۱ تولید سیگنال متعامد با استفاده از شبکه ی RC-CR ۴۲
۲-۲-۴-۲ تقسیم فرکانس و تولید سیگنال متعامد ۴۳
۲-۲-۴-۳ نوسان‌سازهای حلقوی و تولید سیگنال متعامد ۴۳
۲-۲-۴-۴ تولید سیگنال‌های متعامد با استفاده از روش DSS ۴۵
۲-۳ نتیجه گیری ۴۶
فصل ۳- نوسان‌سازهای متعامد LC پیشنهادی
۳-۱ مقدمه ۴۷
۳-۲ نوسان‌سازهای متعامد LC پیشنهادی با تزویج مرتبه ی اول ۴۸
۳-۲-۱ نوسان‌ساز متعامد LC مرتبه ی اول با تزویج بالک‌ها در تکنولوژی CMOS ۴۸
۳-۲-۲ استدلال شهودی در متعامد بودن نوسان‌ساز پیشنهادی ۵۳
۳-۲-۳ تحلیل خطی و اثبات متعامد بودن نوسان‌ساز پیشنهادی ۵۴
۳-۲-۴ بررسی رفتار ورکتور و گستره‌ی تنظیم ۵۷
۳-۲-۵ بررسی نتایج شبیه‌سازی ۵۸
۳-۲-۶ دیگر پیکره‌بندی‌های ممکن با استفاده از تکنیک پیشنهادی و ویژگی آن‌ها ۶۲
۳-۲-۷ نوسان‌ساز چند فازه‌ی LC با استفاده از تکنیک پیشنهادی ۶۴
۳-۲-۸ نوسان‌ساز متعامد پیشنهادی دوم ۶۶
۳-۲-۹ نوسان‌ساز متعامد پیشنهادی سوم با فیلترینگ مجدد نویز باندکناری ۶۸
۳-۳ نوسان‌ساز متعامد LC پیشنهادی با تزویج هماهنگ‌های مرتبه‌ی دوم ۷۰
۳-۴ نرم‌افزار و تکنولوژی استفاده شده برای شبیه‌سازی ۷۵
فصل ٤- مدل غیرخطی نوسان‌سازهای متعامد LC
مدل غیرخطی نوسان‌سازهای متعامد LC ۷٦
فصل۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۵-۱ نتیجه‌گیری ۸۱
۵-۲ پیشنهادهایی برای ادامه‌ی این پژوهش ۸۲
ضمیمه ۸٤
مراجع ۸۵

فصل ۱

پیشگفتار

۱-۱ انگیزه ی این پژوهش

امروزه با افزایش روزافزون کاربرد سیستم های مخابراتی و نیاز گسترده به فرستنده-گیرنده های رادیویی[1]، تحقیقات و تلاش های زیادی برای تحقق و توسعه ی این سیستم ها انجام می شود که یکی از مهمترین این زمینه‌ها طراحی نوسان ساز، یک جزء کاملاً ضروری در بسیاری از مدارهای الکترونیکی، بوده است. با افزایش تقاضا برای دستگاه های ارتباطی همراه نیاز به طراحی و ساخت مدارهایی با توان مصرفی پایین، قیمت کم، قابلیت تجمع سازی بالا، نویز کم و سرعت زیاد، در حال افزایش است.

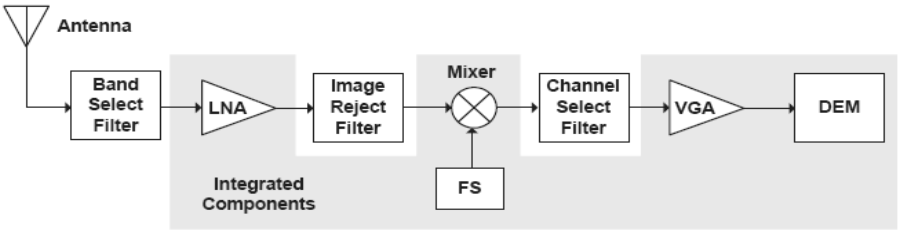
سیگنال های متعامد و به تبع آن نوسان سازهای متعامد در بسیاری از سیستمهای مخابراتی کاربرد وسیعی یافته است. از جمله ی این کاربردها، می توان به کارگیری نوسان سازهای متعامد در طبقات جلویی[2] فرستنده-گیرنده ها جهت پیاده سازی سیستم های حذف تصویر[3]، تبدیل مستقیم[4]، مدولاتورهای شیفت فاز متعامد[5] و بازیابی داده و سیگنال های زمان سنجی[6] اشاره نمود. برای درک بهتر این موضوع توضیح مختصری راجع به سیستم های حذف تصویر و تبدیل مستقیم ارائه می شود [۱].

---

[1] Radio frequency transceiver
[2] Front-ends
[3] Image rejection
[4] Direct conversion
[5] QPSK
[6] Clock and data recovery (CDR)

۱-۱-۱ گیرنده ی هترودین[1]

در شکل ۱-۱ ساختار یک گیرنده ی هترودین ملاحظه می شود. این ساختار اولین بار توسط Edwin H.Armestrong در سال ۱۹۱۸ ارائه شد و هنوز هم درمخابرات از جمله در سیستم موبایل(GSM)[2]، WCDMA و بلوتوث[3] وHiper LAN[4] کاربرد زیادی دارد.



شکل ۱-۱. ساختار یک گیرند ه ی هترودین

در این ساختار، سیگنال رادیویی توسط آنتن دریافت و با عبور از یک فیلتر، فرکانس های ناخواسته ی خارج باند آن حذف و توسط تقویت کننده ی کم نویز[5] تقویت می شود. قابل ذکر است که این تقویت کننده تاثیر زیادی برحساسیت گیرنده دارد و باید توجه زیادی بر کاهش نویز آن معطوف داشت. پس از تقویت، سیگنال رادیویی RF از فیلتر دوم که به فیلتر حذف تصویر معروف است، عبور داده می شود. هدف این فیلتر حذف فرکانس تصویر و در نتیجه بهبود سیگنال به نویز[6] به وسیله ی کاهش نویز خارج باند می باشد. نیاز به یک فیلتر تیز با انتخاب گری بالا[7] از یک سو، و عدم وجود المان های پسیو با کیفیت بالا در داخل تراشه از سوی دیگر سبب می شود که این فیلتر معمولا در خارج از تراشه[8] ساخته شود که مشکلاتی از جمله افزایش قیمت، افزایش حجم سیستم و کاهش فرکانس کار مدار را به دنبال دارد.

در این ساختار سیگنال رادیویی حاضر توسط میکسر به فرکانس میانی(IF) منتقل می شود. نوسان ساز محلی[9] فرکانس مرجع مورد نیاز میکسر را تولید می کند. فرکانس این نوسان ساز طوری تنظیم می شود که سنتز کننده ی فرکانس بتواند کانال مطلوب را انتخاب کند. در اینجا سیگنال یک بار دیگر از فیلتر انتخاب کانال، که معمولا خارج از تراشه ساخته می شود عبور داده می شود. این فیلتر همواره تحت تاثیر تداخل کانال های مجاور قرار دارد. در انتها

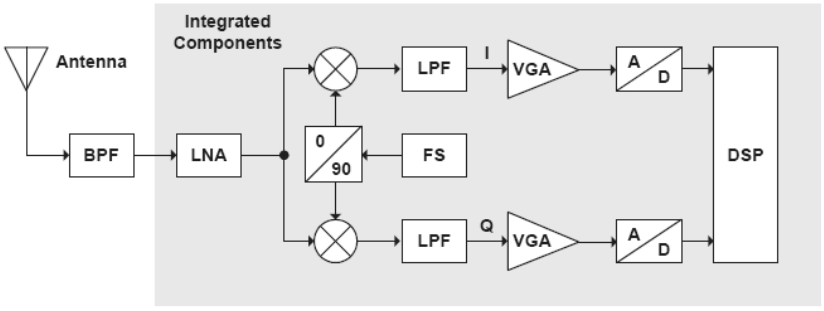
[1] Heterodyne
[2] Global system for mobile
[3] Bluetooth
[4] High performance LAN
[5] LNA
[6] SNR
[7] High selectivity
[8] Off-chip
[9] Local oscillator

قبل از پردازش سیگنال در حوزه‌ی دیجیتال، سیگنال از یک تقویت کننده با بهره‌ی متغیر[1] برای جبران تضعیف های احتمالی عبور می کند.

مهمترین مزیت سیستم هترودین، قابلیت انتخاب گری و حساسیت بالای آن است. ولی معایب آن ازجمله پایین بودن قابلیت مجتمع سازی به علت وجود فیلترهای خارج ازتراشه و به تبع آن، بالا بودن هزینه و انعطاف پذیری پایین این دسته از گیرنده ها، همواره مهندسان مخابرات را مجبور به طراحی سیستم های جدید می کند. معمولا استفاده از المان های خارج تراشه به خصوص در فرکانس بالا، منجر به محدودیت هایی در طراحی و همچنین افزایش توان مصرفی می شود.

۱-۱-۲ گیرنده ی هومودین[2]

ایده‌ی اصلی گیرنده‌ی هومودین، انتقال مستقیم سیگنال RF به باند پایه است به همین علت به این ساختار Zero-IF یا گیرنده ی تبدیل مستقیم می گویند. بلوک های اساسی یک سیستم هومودین در شکل ۱-۲ دیده می شود. در این ساختار به علت تبدیل مستقیم سیگنال رادیویی به سیگنال باند پایه مشکل فرکانس تصویر و در نتیجه نیاز به فیلتر حذف تصویر خارج از تراشه منتفی است. در گیرنده ی هومودین نسبت به یک گیرنده ی هترودین، فیلتر حذف تصویر با دو میکسر متعامد تعویض شده است که کاهش توان مصرفی LNA را به همراه دارد زیرا دیگر LNA مجبور به درایو کردن یک بار خارجی با امپدانس کوچک نیست [۱]. در این ساختار، انتخابگر کانال نیز با یک فیلتر پایین گذرِ مجتمع شده که فرکانس قطع تیزی را در اختیار ما قرار می دهد، جایگذاری شده است. بنابراین یک سیستم هومودین قابلیت مجتمع سازی بالاتر، توان مصرفی پایین تر و هزینه ی کمتری نسبت به سیستم هترودین مشابه دارد.



شکل ۱-۲. ساختار یک گیرنده ی هومودین

[1] VGA
[2] Homodyne

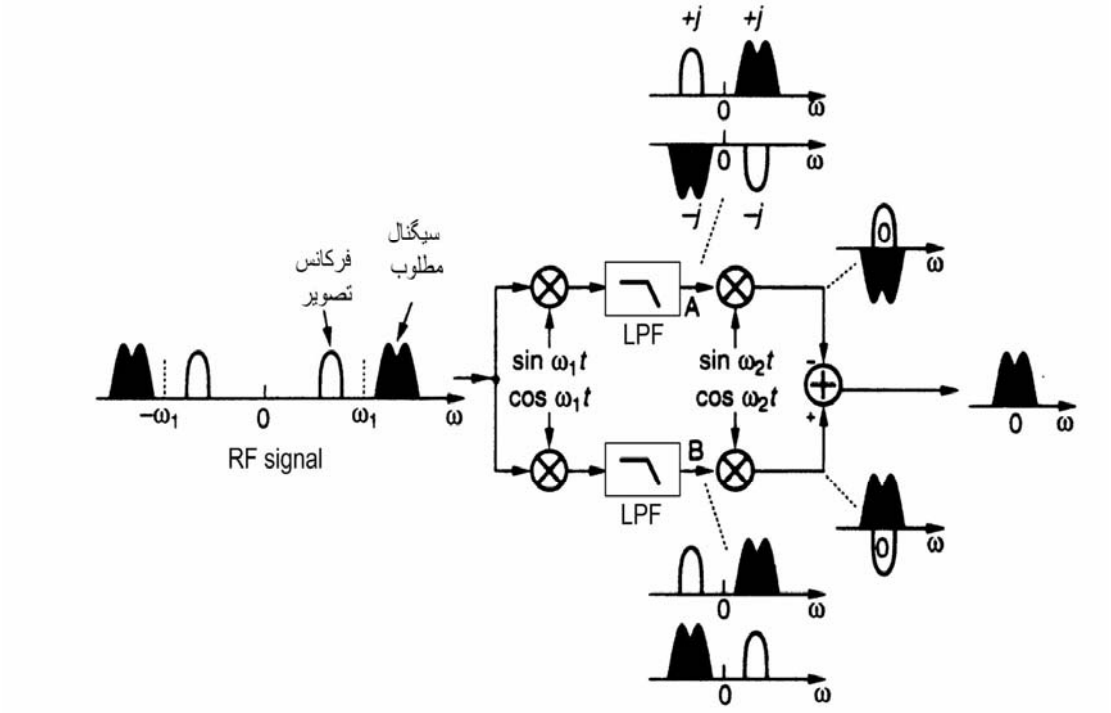
همانطور که در شکل ۱-۲ دیده می شود برای پیاده سازی گیرنده ی هم‌ودین، نیاز به یک نوسان ساز با سیگنال های متعامد I,Q و نویز کم، برای عمل ضرب فرکانسی در میکسر می باشد.

از آنجایی که تولید سیگنال های متعامد دقیق بسیار مشکل است و در یک سیستم هم‌ودین، نویز نوسان ساز و میکسر مستقیماً به باند پایه که حاوی اطلاعات است، نفوذ می کند. بنابراین یک چالش درطراحی سیستم هترودین طراحی نوسان ساز متعامد با خطای فاز کم و با نویزفاز[1] کم می باشد.

۱-۱-۳ ساختار ویور[2] و نحوه ی حذف تصویر

هدف تمامی معماری های حذف تصویر این است که سیگنال اصلی و تصویر ناخواسته جداگانه پردازش شوند تا بتوان تصویر را به کمک منفی شده ی آن حذف کرد. تمییز دادن بین تصویر و سیگنال امری ممکن و شدنی است زیرا هر کدام از آنها در یک طرف فرکانس ω_1 (فرکانس اولین نوسان ساز متعامد) قرار دارند.

در معماری ویور که در شکل ۱-۳ دیده می شود با دو مرحله ضرب کردن سیگنال ورودی در سیگنال های متعامد I,Q فرکانس تصویر حذف می شود.



شکل ۱-۳. تحلیل ترسیمی معماری ویور

[1] Phase noise
[2] Weaver

در این ساختار ورودی RF وارد دو میکسر متعامد شده و با فرض $\omega_2 << \omega_1$ مطابق شکل ۱-۳، طیف در نقطه ی A با $j[\delta(\omega + \omega_2) - \delta(\omega - \omega_2)]$ تلفیق می شود تا بدون ضریب j به خروجی منتقل شود. به طور مشابه طیف نقطه ی B با $[\delta(\omega + \omega_2) + \delta(\omega - \omega_2)]$ تلفیق شده و نهایتاً دو سیگنال خارج شده از میکسرها در خروجی سیستم از هم کم می شوند تا فرکانس تصویر حذف شود. شکل ۱-۳ تحلیل کیفی این ساختار را در حوزه ی فرکانس به خوبی نشان می دهد.

همانطور که در ساختارهای فوق ملاحظه می شود، کارکرد صحیح مدار کاملاً وابسته به عملکرد صحیح نوسان سازهای متعامد می باشد. برای مثال در ساختار ویور خطای فاز سیگنال های متعامد می تواند سبب ایجاد تصویر ثانویه شود و یا در گیرنده های تبدیل مستقیم هرگونه نویز نوسان ساز مستقیما وارد باند پایه که حاوی اطلاعات است می شود. معمولاً نویزفاز به عنوان یکی از مشخصات مهم نوسان سازها می باشد که در استاندارد های مخابراتی حداکثر مقدار نویزفاز قابل قبول در آفست (فاصله) فرکانسی ۱MHz برابر ۱۱۲dBc/Hz- می باشد.

۱-۱-٤ روش های متداول برای تولید سیگنال متعامد

با توجه به موارد ذکر شده، نیاز به نوسان سازهای متعامد با دقت فاز بالا، توان مصرفی پایین، نویزفاز کم و قابلیت مجتمع سازی بالا کاملاً مشهود است. بنابراین روش های مختلفی برای تولید سیگنال های متعامد ارائه شده است که چهار روش متداول آن به اختصار به شرح زیر است:

۱. استفاده از یک نوسان ساز به همراه شبکه ی شیفت فاز RC-CR [۲و۳].

۲. ترکیبی از یک نوسان ساز با فرکانس دو برابر فرکانس مورد نظر و مقسم فرکانس(فلیپ- فلاپ) [۲].

۳. نوسان سازهای حلقوی متعامد [۴و۵].

۴. تزویج دو نوسان ساز اتصال ضربدریLC [۶و۷].

آخرین روش نام برده شده یعنی تزویج دو نوسان ساز اتصال ضربدریLC بیشترین کارایی را داراست و در اکثر مدارهای مخابراتی از این روش برای تولید سیگنال های متعامد استفاده می شود که موضوع اصلی این پژوهش است در فصول بعد به طور مفصل شرح داده خواهد شد.

۱-۲ ساختار پایان نامه

در فصل دوم این پایان نامه، به بررسی و مقایسه‌ی بین نوسان سازهای متعامد ارائه شده تاکنون با تزویج هماهنگ مرتبه اول و تزویج هماهنگ مرتبه دوم پرداخته می شود و همچنین شرح مختصری از دیگر روشهای تولید سیگنال های متعامد ارائه خواهد شد. سپس در فصل سوم سه پیکره بندی جدید از نوسان سازهای متعامد با تانک LC با استفاده از تزویج هماهنگ های مرتبه ی اول پیشنهاد شده و مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد. در فصل چهارم دو مدار جدید دیگر با استفاده از هماهنگ های مرتبه ی دوم ارائه خواهد شد. فصل پنجم شامل مشاهدات مختصری از مدل کردن نوسان سازهای متعامد به صورت یک سیستم غیرخطی می باشد. سرانجام در فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای ادامه ی کار بر روی نوسان سازهای متعامد ارائه خواهد شد.

فصل ۲

بررسی نوسان سازهای متعامد LC و دیگر ساختارهای تولید سیگنال متعامد

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا توضیح مختصری از ساختارهای مقاومت منفی و اصطلاحات به کار برده شده در مورد نوسان سازها (مانند نویزفاز، گستره ی تنظیم و ...) ارائه می شود. سپس نوسان ساز های متعامد اتصال ضربدری[1] LC ارائه شده تاکنون، اعم از هماهنگ مرتبه ی اول و دوم مورد بررسی قرار می گیرد. در انتهای این فصل، دیگر روش های تولید سیگنال های متعامد شرح داده خواهد شد. هدف اصلی این فصل آشنایی با نوسان ساز اتصال ضربدری به عنوان هسته ی سازنده ی نوسان سازهای متعامد و همچنین آشنایی با ساختارهای موجود برای تولید سیگنال‌های متعامد می باشد.

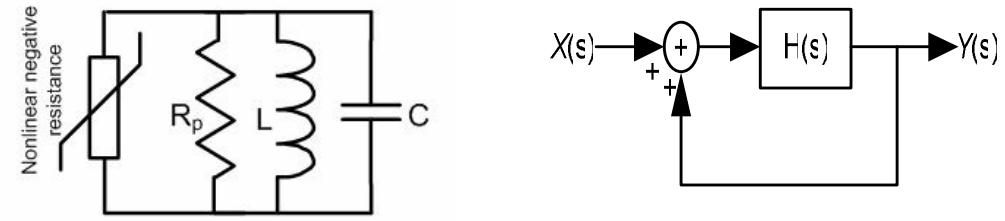
۲-۱-۱ نوسان ساز های اتصال ضربدری (مقاومت منفی)

توپولوژی های مختلفی برای نوسان سازهای $-G_m$ یا مقاومت منفی و یا اتصال ضربدری ارائه شده است. همه ی نوسان سازهای LC را می توان با یک شبکه فیدبک ساده مانند شکل ۲-۱-الف نمایش داد. برای نوسان یکنواخت و پایدار باید شرایط بارکوزن برقرار باشد یعنی، اندازه ی بهره ی حلقه یا $|H(j\omega_0)|$ برابر با یک و فاز کل حلقه فیدبک

[1] Cross-connected

یا $\angle H(j\omega_0)$ برابر با صفر یا مضرب صحیحی از۳۶۰ درجه باشد(در صورت منفی بودن فیدبک برابر۱۸۰ درجه). بنابراین، یک سیگنال کوچک (مانند نویز) در ورودیِ طبقه ی بهره، در خروجی تقویت شده و دوباره به ورودی باز گردانده می شود وچون اختلاف فاز ورودی و خروجی مضرب صحیحی از۳۶۰ درجه است پس ورودیِ طبقه ی بهره دائماً بزرگتر می شود. البته این مدل شبکه فیدبک برای تحلیل نوسان سازهای تک ترانزیستوری نظیر کولپیتس، هارتلی و پیرس مناسب است.

روش دیگری که برای تحلیل نوسان سازهای مقاومت منفی یا اتصال ضربدری به کار می رود استفاده از مدل شکل ۲-۱-ب است. این شکل مدل ساده ی یک نوسان ساز مقاومت منفی با تانک LC(مانند شکل ۲-۲) را نشان می دهد که اگر شرایط بارکوزن برقرار باشد این مقاومت منفی، مقاومت موازی معادل تانک را کاملاً خنثی کرده و یک LC بدون تلفات را به وجود خواهد آورد.



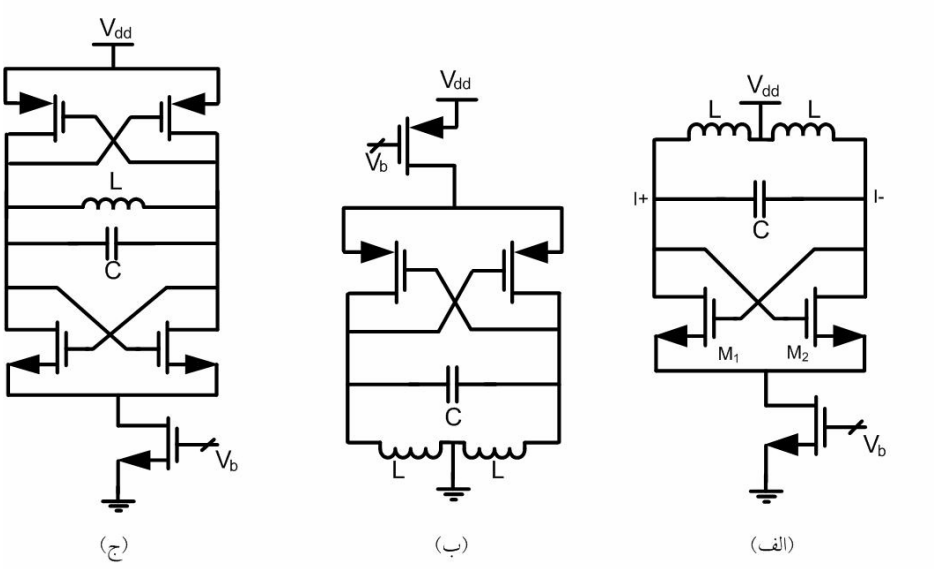
(ب) (الف)

شکل ۲-۱. مدل ساختاری یک نوسان ساز LC

نوسان سازهایی که در تکنولوژی CMOS تنها با یک ترانزیستور ساخته می شوند مثل هارتلی و کولپیتس دارای خروجی تک سر هستند. اخیراً استفاده از ساختارهای شبه‌تفاضلی، مورد علاقه ی طراحان قرار گرفته است زیرا یکی از مزایای ساختارهای تفاضلی در مدارهای مجتمع، حساسیت کمتر آنها به نویز است. به علاوه ممکن است بلوک های دیگر مثل میکسر نیاز به سیگنال تفاضلی داشته باشند که استفاده از ساختارهای تفاضلی نیاز تبدیل سیگنال تک سر به تفاضلی را منتفی می سازد.

از رایج ترین ساختارهای تفاضلی جهت پیاده سازی نوسان سازهای LC، استفاده از نوسان سازهای معروف به مقاومت منفی است که با استفاده از دو ترانزیستور اتصال ضربدری، ساخته می شوند. سه ساختار معروف برای پیاده سازی مقاومت منفی وجود دارد که عبارتند از: ساختار فقط NMOS، ساختار فقط PMOS و ساختار مکمل[1] که به ترتیب در شکل ۲-۲ الف ، ب و ج رسم شده اند.

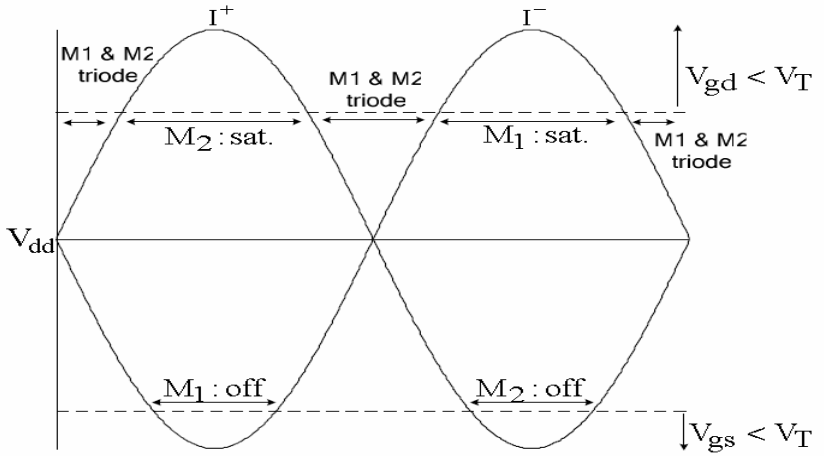
[1] Complementary



شکل ۲-۲. ساختارهای رایج نوسان ساز مقاومت منفی LC

ساختار پایه ی نوسان سازهای مقاومت منفی شامل دو ترانزیستور اتصال ضربدری و یک تانک LC می باشد. پیش از شروع نوسان هر دو ترانزیستور در ناحیه ی اشباع قرار دارند. پس از آغاز نوسان به تدریج دامنه ی نوسان افزایش می یابد و پس از مدتی نوسان ساز به حالت ماندگار می رسد. در طول یک دوره ی نوسان ترانزیستورها مطابق شکل ۲-۳ در هر سه ناحیه ی اشباع، خطی و خاموش قرار می گیرند. بنابراین جریانی که وارد درین ترانزیستورهای اتصال ضربدری می شود دارای شکل موج متناوب غیر سینوسی است که می توان رشته ی فوریه ی آن را مطابق رابطه ی (۱،۲) نوشت [۸].

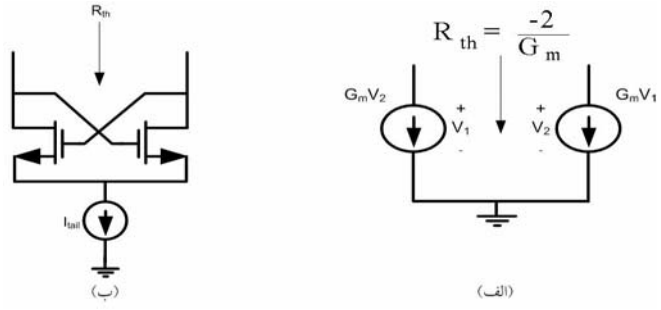
$$I(t) = I_0 + I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + I_2 \sin(\omega t + \varphi_2) + \ldots \qquad (۱،۲)$$



شکل ۲-۳. نواحی کار ترانزیستورهای اتصال ضربدری در ساختار شکل ۲-۲-الف

استفاده از منبع جریان در هر سه ساختارِ مذکور اختیاری است و حذف آن تغییر جدی در کارکرد مدار ایجاد نمی کند. از مزایای وجود منبع جریان می توان به کنترل توان مصرفی و کاهش حساسیت نوسان ساز در برابر تغییرات و نویز منبع تغذیه اشاره نمود.

همانطور که در شکل ۲-۴ مشاهده می شود دو ترانزیستور اتصال ضربدری، مقاومت منفی برابر $-2/G_m$ را تولید می کند.



شکل ۲-٤. مقاومت منفی دو ترانزیستور اتصال ضربدری. الف) ترانزیستور اتصال ضربدری ب) معادل سیگنال کوچک

با توجه به شکل ۲-۱-ب و شکل ۲-۴ شرط نوسان کردن ساختارهای فوق این است که اندازه مقاومت منفی R_{th} کوچکتر یا مساوی مقاومت موازی تانک R_p باشد یعنی:

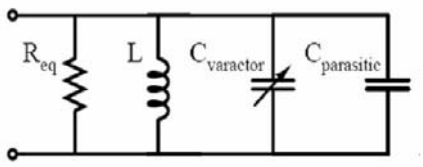
$$2/G_m < R_p$$

بنابراین مقاومت منفی، تلفات سلف و خازن را جبران کرده و یک LC بدون تلفات حاصل خواهد شد.

۲-۱-۲ پارامترهای تعریف شده برای نوسان سازها

۲-۱-۲-۱ فرکانس نوسان

در یک نوسان ساز اتصال ضربدری LC، فرکانس نوسان توسط اندازه ی خودالقا و خازن تانک تعیین می شود. البته همانطور که در شکل ۲-۵ مشاهده می شود خازن های پارازیتیک گیت- درین و گیت- سورس و همچنین مقاومت های پارازیتیک که با خازن تانک موازی می شوند نیز می توانند در فرکانس خروجی تاثیر گذار باشند.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_{parasitic}+C_{varactor})}}$$

شکل ۲-۵. مدار تانک به همراه خازن های پارازیتیک

۲-۱-۲-۲ گستره ی تنظیم[1] فرکانس

یکی از اصطلاحاتی که در مورد نوسان سازهای کنترل شونده با ولتاژ[2] VCO به کار برده می شود "گستره ی تنظیم" می باشد. این پارامتر نشان دهنده ی میزان تغییر فرکانس نوسان (با تغییر دادن ولتاژ کنترل) نسبت به فرکانس مرکزی است و به صورت (۲،۲) تعریف می شود.

$$TuningRange = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{center}} \times 100 = 2 \times \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \times 100 \qquad (۲،۲)$$

که F_{max} ,F_{min} ,F_{center} به ترتیب نمایانگر فرکانس مرکزی، حداقل و حداکثر فرکانس قابل تولید در نوسان ساز می باشند. با توجه به تغییرات $C_{varactor}$ در بازه ی C_{min} تا C_{max} می توان گستره ی تنظیم را از رابطه ی (۳،۲) نیز به دست آورد.

$$TuningRange = 2 \times \frac{\frac{1}{\sqrt{C_{parasitic} + C_{\min}}} - \frac{1}{\sqrt{C_{parasitic} + C_{\max}}}}{\frac{1}{\sqrt{C_{parasitic} + C_{\min}}} + \frac{1}{\sqrt{C_{parasitic} + C_{\max}}}} \times 100 \qquad (۳،۲)$$

همانطور که ملاحظه می شود خازن های پارازیتیک به صورت یک جزء ثابتِ جمع شونده با خازن ورکتور عمل می کنند و می توان نشان داد که بیشترین گستره ی تنظیم وقتی حاصل می شود که خازن های پارازیتیک کمترین مقدار ممکن را داشته باشند. بنابراین یک مصالحه ی[3] بسیار مهم در طراحی نوسان سازهای مقاومت منفی به وجود می آید زیرا از یک طرف با افزایش سایز ترانزیستورها، G_m افزایش و بالتبع دامنه ی نوسان نیز افزایش می یابد و از طرف دیگر ترانزیستور بزرگتر، خازن پارازیتیک بزرگتر و در نتیجه کاهش فرکانس مرکزی و کاهش گستره ی تنظیم را به دنبال خواهد داشت. در نوسان ساز های کنترل شده با ولتاژ معمولاً گستره ی تنظیمِ وسیع مطلوب است و در کاربردهایی که نیاز به گستره تنظیم وسیع است اگر نوسان ساز گستره ی تنظیم کوچکی داشته باشد باید از روشهایی همچون استفاده از مجموعه خازن های سوئیچ شونده جهت افزایش گستره ی تنظیم استفاده نمود که چون با اضافه شدن قطعات نویزی به مدار همراه خواهد بود سبب افزایش نویزفاز خروجی می شود.

۲-۱-۲-۳ توان مصرفی

پارامترهایی که توان مصرفی را در یک نوسان ساز اتصال ضربدری تعیین می کنند عبارتند از اندازه ی منبع تغذیه و جریان کشیده شده از منبع تغذیه که شدیداً وابسته به دامنه ی نوسان، ابعاد ترانزیستورهای اتصال ضربدری و

[1] Tuning range
[2] Voltage controlled oscillator
[3] Trade-off