دانشکده مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در مهندسی برق- الکترونیک

طراحی نوسان سازهای متعامد و چند فازه LC نویز فاز پایین و توان مصرفی کم

استاد راهنما:

دکتر ساسان ناصح

نگارنده:

محمد جعفر همتی

پاییز ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اياك نعبد واياك نستعين اهدنا الصراط المستقيم
صراط الذين انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

شمع را که به خورشید هدیه می‌دهی، از سر انگشتان سوخته ات می‌فهمد که چند یلدا را با کبریت های نمور و یکی سنگ چخماق سرکرده ای.

برگ را که به جنگل هدیه می‌دهی، به نیم نگاهی در می‌یابد که چند بارت به خاک افکنده اند صحرا زادگانی که قیّم درختانند.

تقدیم به

مولای متّقیان امام علی بن موسی الرضا (علیه السلام)،

پدر و مادرم بازوان وجودم

و

روح عموی مرحومم

تقدیر و تشکر

خداوند را سپاس فراوان می گویم که مرا مشمول رحمت بی کرانش قرار داد و توفیق تحصیل در جوار بارگاه ملکوتی امام رضا (علیه سلام) را به من عنایت فرمود.

اکنون که نگارش پایان نامه ام را به یاری خداوند متعال به پایان می رسانم از اساتید گران قدری که افتخار شاگردیشان را داشته ام بر خود وظیفه می دانم که نهایت تشکر و قدردانی را نمایم.

از دکتر ساسان ناصح که در به سر منزل رساندن این بار سترگ چراغ راهم بودند، و لحظه ای را در یاری اینجانب کوتاهی نکردند نهایت سپاسگذاری را می نمایم. همچنین از تمامی دوستانی که به نحوی در تدوین هر چه بهتر این پایان نامه همراه من بودند، سپاسگزارم و از خداوند منان سلامت و پیشرفت روز افزون برای این عزیزان در تمامی مراحل زندگی خواهانم.

به امید فرداهای زیباتر

چکیده

در سیستم های مدرن مخابراتی، نوسان سازهای متعامد (نوسان سازهایی که خروجی های ۹۰ درجه تولید می کنند) از جمله بخشهای کلیدی و مهم محسوب می‌شوند. بطوریکه امروزه در پیاده سازی های حذف تصویر و تبدیل مستقیم، QPSK و بازیابی کلاک و داده کاربرد فراوانی یافته اند. به موازات افزایش تقاضاها برای به کارگیری نوسان سازهایی با نویز فاز پایین، توان مصرفی کم، دقت و سرعت بالا و سطح اشغالی پایین و همچنین به صرفه بودن از نظر اقتصادی، ساختارهای متفاوتی برای تولید سیگال های متعامد پیشنهاد و طراحی شده اند. در میان ساختارهای ارائه شده، نوسان سازهای متعامد LC کاراترین نمونه های این مدارات محسوب می‌شوند. بطور کلی نوسان سازهای متعامد LC از دو بخش تشکیل شده اند: دو نوسان ساز هسته LC (LC-VCO) و یک شبکه یا مدار تزویج برای کوپلینگ دو نوسان ساز. هر چه طراحی نوسان ساز هسته و شبکه تزویج، ساده‌تر و با عناصر اضافی کمتری خصوصا عناصر فعال که در ایجاد نویز مدار تاثیر بیشتری دارند صورت گیرد، نویزفاز، توان مصرفی و مساحت اشغالی مدار که از پارامترهای مهم طراحی محسوب می‌شوند، بهبود می‌یابد. در این پژوهش سه نوسان ساز متعامد LC که از نوع هماهنگ های دوم می‌باشند و یک نوسان ساز متعامد هماهنگ اول و یک نوسان ساز چند فازه با کارایی بالا پیشنهاد شده است، که در طراحی این مدارها، شبکه تزویج ساده و شامل عناصری فاقد نویز و یا نویز بسیار کم می‌باشند. بطوریکه شبکه تزویج و روشهای انتخابی جهت تزویج دو نوسان ساز هسته، نوسان سازهای پیشنهادی را به مداراتی با نویز فاز و توان مصرفی پایین تبدیل گردانیده است. عملکرد نوسان ساز چند فازه پیشنهادی ترکیبی از هماهنگ های اول و دوم بوده که از هیچ عنصر فعال اضافی برای کوپلینگ نوسان سازهای هسته آن استفاده نشده است.

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

فهرست

فصل ۱مقدمه ای بر مدارات RF و نوسان سازها ۱

۱-۱انگیزه این پژوهش ۱

۱-۲ فرستنده های RF ۲

۱-۲-۱ فرستنده هترودین ۲

۱-۲-۲ فرستنده تبدیل مستقیم ۲

۱-۲-۳ گیرنده هترودین ۳

۱-۳ روش های تولید سیگنال های متعامد ۵

۱-۳-۱ شبکه RC-CR ۶

۱-۳-۲ شبکه تقسیم کننده فرکانسی ۷

۱-۳-۳ روش هیون ۷

۱-۳-۴ نوسان ساز کاملا غیرخطی Relaxation و حلقوی ۸

۱-۳-۵ نوسان سازهای LC ۹

۱-۴-۱ معیار بارکوزن (Barkhausen) ۱۱

۱-۴-۲ نویز فاز ۱۲

۱-۴-۳ ضریب کیفیت ۱۳

۱-۴-۴ گستره تنظیم فرکانس ۱۴

۱-۵ ساختار پایان نامه ۱۵

فصل دوم مطالعه نوسانسازهای متعامد و چندفازه LC بر اساس انواع شیوههای تزویج ارائه شده .....

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۱-۱ اتصال همفاز-فازمتقابل نوسان سازهای هسته ۱۶

۲-۱-۲ خطای فاز ۱۷

۲-۲ مطالعه نوسان سازهای متعامد LC گذشته ۱۸

۲-۲-۱ نوسان ساز متعامد رفوگران ۱۸

۲-۲-۲ نوسان ساز متعامد تزویج سری Andreani (S-QVCO) ۲۰

۲-۲-۳ نوسان ساز متعامدvan der Tang ۲۱

۲-۲-۴ نوسان سازهای متعامد با بایاس سوییچ شونده ۲۳
۲-۲-۴-۱ نوسان ساز متعامد با بایاس خود سوییچ شونده..... ۲۳
۲-۲-۴-۲ نوسان ساز متعامد با بایاس سوییچ شونده ضربدری ۲۳
۲-۲-۵ نوسان ساز متعامد با تزویج زیرلایه ها (Kim)..... ۲۴
۲-۲-۶ نوسان ساز متعامد زارع ۲۵
۲-۲-۷ نوسان ساز متعامد با تزویج خازنی Luis Bica Oliveira ۲۶
۲-۲-۸ نوسان ساز متعامد ابراهیمی با تزویج بالکها..... ۲۷
۲-۳ بررسی مدل خطی نوسان سازهای هماهنگ اول ۲۹
۲-۴ نوسان سازهای متعامد LC بر پایه هماهنگ دوم..... ۳۰
۲-۴-۱ مقدمه..... ۳۰
۲-۴-۲ نوسان ساز متعامدChi wa lo..... ۳۰
۲-۴-۳ نوسان ساز متعامد سلطانیان ۳۱
۲-۴-۴ نوسان ساز متعامدAllam ۳۲
۲-۴-۵ نوسان ساز متعامدGierkink ۳۲
۲-۴-۶ نوسان ساز متعامدHancock ۳۳
۲-۴-۷ نوسان ساز متعامد با اتصال مستقیم ناصح..... ۳۴
۲-۴-۸ نوسان ساز متعامد تزویج خازنی زارع ۳۵
۲-۴-۹ نوسان ساز متعامد تزویج خازنی ابراهیمی ۳۶
۲-۵ نوسان سازهای هماهنگ دوم ILQVCO..... ۳۸
۲-۵-۱ مقدمه..... ۳۸
۲-۵-۲ نوسان ساز متعامد هماهنگ دومRavi ۳۹
۲-۵-۳ نوسان ساز متعامد هماهنگ دوم Chul Choi ۴۰
۲-۵-۴ نوسان ساز متعامد هماهنگ دوم Mazzanti..... ۴۱
۲-۶ نوسان سازهای چند فازه LC..... ۴۲
۲-۶-۱ مقدمه..... ۴۲
۲-۶-۲ نوسان ساز چند فازه زارع ۴۲

۲-۷ نوسان سازهای LC کلپیتز ۴۳
۲-۷-۱ مقدمه ۴۳
۲-۷-۲ نوسان ساز متعامد کلپیتز مکمل ۴۴
۲-۸ نتیجه گیری ۴۶
فصل سوم نوسان سازهای متعامد و چند فازه LC پیشنهادی و نتایج شبیه سازی آنها .....
۳-۱ مقدمه ۴۷
۳-۲ گره های مد مشترک پیشنهادی حاوی هماهنگ هایدوم در نوسان سازهای هسته LC ۴۸
۳-۳ نوسان سازهای متعامد LC پیشنهادی بر پایه هماهنگ های دوم ۵۲
۳-۳-۱ نوسان ساز متعامد LC بر پایه هماهنگ دوم با اتصال مستقیم زیرلایه ۵۲
۳-۳-۲ دیگر پیکره بندی های نوسان ساز متعامد با تکنیک پیشنهادی ۵۴
۳-۳-۳ نوسان ساز متعامد LC پیشنهادی دوم ۵۶
۳-۳-۳-۱ تحلیل و اثبات متعامد سیگنال های نوسان ساز پیشنهادی ۵۷
۳-۳-۳-۲ بررسی عملکرد مدار پیشنهادی ۵۹
۳-۳-۴ نوسان ساز متعامد LC پیشنهادی سوم ۶۱
۳-۳-۵ بررسی وضعیت پیوندهای بالک- سورس ۶۶
۳-۳-۶بررسی رفتار ورکتورهای مدار پیشنهادی ۶۸
۳-۴ نوسان ساز متعامد پیشنهادی چهارم ۷۰
۳-۴-۱ تحلیل خطی جهت اثبات متعامد بودن نوسان ساز پیشنهادی ۷۱
۳-۴ نوسان ساز چند فازه LC پیشنهادی ۷۲
۳-۴-۱ نوسان سازهای چند فازه پیشنهادی با تکنیک های ارائه شده در نوسان سازهای متعامد پیشنهادی ۷۵
فصل چهارم .....
نتیجه گیری و پیشنهادات .....
۴-۱ نتیجه گیری ۷۷
۴-۲ پیشنهادهایی برای ادامه این پژوهش ۷۹
ضمیمه ۸۰
مراجع ۸۱

فصل اول

مقدمه ای بر مدارات RF و نوسان سازها

۱-۱انگیزه این پژوهش

فرستنده-گیرنده های RF جهت مدولاسیون[1] و دمودلاسیون[2]، حذف فرکانس تصویر و بازیابی داده و کلاک[3] نیازمند نوسان سازهای متعامد با دقت بالا، نویز فاز پایین و توان مصرفی کم هستند. در واقع این مدارات از جمله مدارات کلیدی در سیستم‌های فرکانس بالا می‌باشند که در سال های اخیر تلاش های بسیاری در مطالعه و طراحی نوسان سازهای با خروجی های ۹۰ درجه دقت بالا صورت گرفته است و از این میان نوسان سازهای LC به دلیل رفتار نویز فاز بهتر، بیشتر مورد توجه بوده است. به موازات افزایش تقاضاها برای دستیابی به ساختارهای با نویز فاز کم، فرکانس بالا ، توان مصرفی پایین و دقت بالا، هزینه کم و قابلیت تجمع پذیری زیاد، طراحی این گونه مدارات نیز برای بهبود پارامترهای مذکور روز به روز در حال افزایش می‌باشد.

در ادامه توضیح مختصری بر انواع ساختارهایی که نوسان سازهای متعامد در آن ها کاربرد وسیعی دارند، داده می‌شود. سپس برای درک بهتر عملکرد کارهای انجام شده در گذشته، انواع روش‌های تولید سیگنال های متعامد بررسی می‌شود. در نهایت به دلیل اهمیت نوسان سازهای LC، برخی مشخصه های مهم آنها که در مطالعه دیگر مداراتی که در فصل آینده آورده شده موثر می‌باشند اشاره خواهد شد.

---

[1] -Modulation
[2] -Demodulation
[3] -Clock and Data Recovery

۱-۲ فرستنده هاي RF

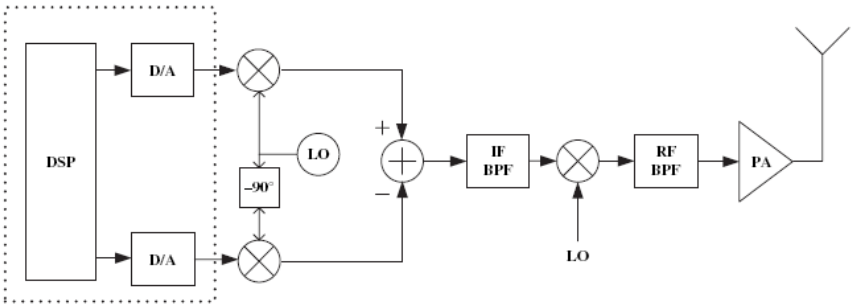
بطور کلی فرستنده ها را می توان به دو دسته تقسیم کرد.

۱- فرستنده های هترودین[1]

۲- فرستنده های تبدیل مستقیم[2]

۱-۲-۱ فرستنده هترودین

در شکل ۱-۱ ساختار یک فرستنده هترودین نشان داده شده است. در این نوع از فرستنده‌ها سیگنال باند پایه طی چند مرحله به فرکانس‌های بالا برده می‌شود. در این ساختار سیگنال باند پایه بصورت متعامد به IF مدوله می‌شود، زیرا تولید سیگنال های متعامد دقیق در IF راحت‌تر از RF است. فیلتر IF برای حذف هارمونیک‌های IF به کار رفته است، تا نویز سیگنال فرستاده شده کاهش یابد. همانگونه که از این ساختار مشاهده می‌شود، سیگنال IF مدوله شده به فرکانس های بالا تبدیل شده و سپس با تقویت کننده توان، تقویت شده و توسط آنتن فرستاده می‌شود. یک فرستنده هترودین نیاز به یک فیلتر RF نیز دارد تا پس از عمل تبدیل به بالا[3] ی فرکانس، باندهای کناری ناخواسته را حذف کند[۴-۱]. این فیلتر نوعا پسیو می‌باشد.



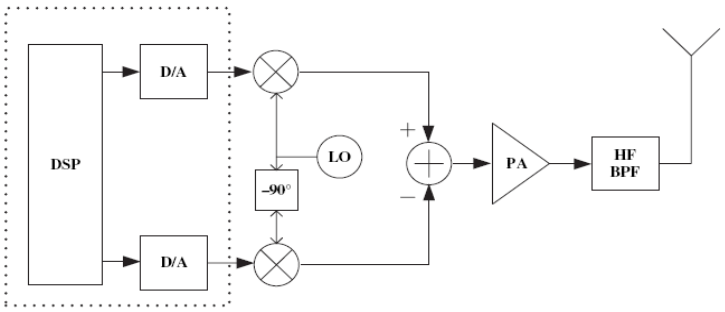
شکل ۱-۱. ساختار فرستنده هترودین

۱-۲-۲ فرستنده تبدیل مستقیم

در این نوع فرستنده‌ها، سیگنال باند پایه دیگر طی چند مرحله بالا برده نمی‌شود، بلکه بطور مستقیم به سیگنال RF تبدیل می‌شود. شکل ۱-۲ ساختار فرستنده تبدیل مستقیم را نشان می‌دهد. در این ساختار فرکانس حامل RF با فرکانس نوسان‌ساز محلی در ورودی میکسرها برابر است. این ساختار براحتی قابل پیاده سازی

[1] - Heterodyne Transmitter
[2] - Direct Conversion Transmitter
[3] - Upconversion

بصورت مدار مجتمع می‌باشد، به دلیل آنکه نیازی به فیلترIF برای حذف خطایی که در عمل تبدیل به فرکانس بالا بوجود می‌آید، ندارد.



شکل ۱-۲. ساختار فرستنده تبدیل مستقیم

برخلاف فرستنده ها که در سیستم های RF تنوع زیادی ندارند، گیرنده ها ساختارهای متفاوتی دارا می‌باشند، که بطور کلی می‌توان به ۳ دسته تقسیم کرد.

۱- گیرنده IF یا هترودین، که از یک یا چند فرکانس میانه استفاده می‌کند.

۲- گیرنده همودین یا IF صفر[1] ، که مستقیما سیگنال را به باند پایه تبدیل می‌کند.

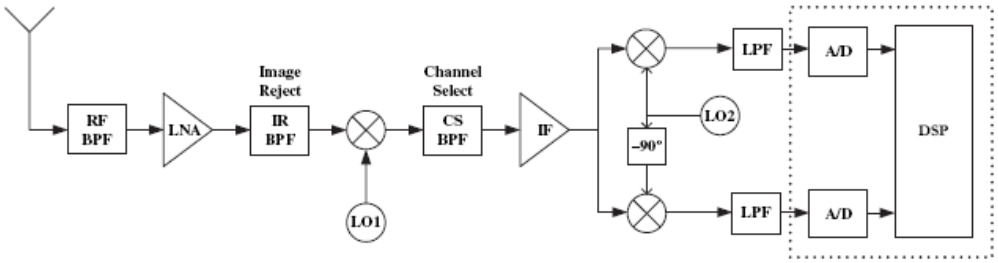
۳- گیرنده IF پایین[2] ، که حالت خاصی از گیرنده هترودین است و برخی از مزایای دو دسته گیرنده‌های فوق را دارا می‌باشد.

۱-۲-۳ گیرنده هترودین

گیرنده هترودین در سال ۱۹۱۷ توسط Armstrong ارائه شد، که این معماری برای مدت زیادی تقریبا۷۰ سال بسیار معمول بود [۲]. در معماری گیرنده هترودین، باند سیگنال دریافتی از آنتن طی چند مرحله به فرکانس میانه[3] تبدیل می‌شوند، تا فیلتر انتخاب کانال بدون نیاز به ضریب کیفیت[4](Q) بالا صورت گیرد. در شکل۱-۳ ساختار یک گیرنده هترودین با سیگنال‌های متعامد[5] نشان داده شده است. این گیرنده را می‌توان با تکنولوژی‌های مختلفی از جمله GaAs، BJT، CMOS و... پیاده سازی نمود. مطابق شکل۱-۳ سیگنال دریافتی حامل اطلاعات از آنتن، از یک فیلتر باندگذر عبور داده می‌شود تا با حذف فرکانس‌های ناخواسته خارج از باند، به تقویت کننده نویز کم برسد. این تقویت کننده بسیار کم نویز است. به دلیل آنکه در بخش جلویی این سیستم قرار دارد، جهت پرهیز از انتشار و تقویت نویز در طبقات بعدی، عمل تقویت بدون نویز آن از اهمیت بالایی

[1] -Zero-IF Receivers
[2] -Low-IF Receivers
[3] -Intermediate
[4] -Quality factor
[5] -Quadrature

برخوردار می‌باشد. سیگنال تقویت شده بایستی از یک فیلتر حذف تصویر نیز عبور داده شود. چون تصویر حساسیت گیرنده را خراب می‌کند، بنابراین وجود این فیلتر برای افزایش حساسیت گیرنده مهم می‌باشد. فیلتر حذف تصویر از عناصر غیر فعال[1] و بیرون از تراشه ساخته می‌شود، که همین امر باعث افزایش فضای اشغالی و هزینه نیز می‌باشد [۲].



شکل۱-۳. ساختار گیرنده هترودین

عمل تبدیل یا انتقال فرکانس به فرکانس پایین توسط میکسر انجام می‌شود. این میکسر معمولا نویز بالایی دارد و به همین دلیل بعد از تقویت کننده نویزکم قرار می‌گیرد. فرکانس مرجع مورد نیاز میکسر توسط نوسان ساز محلی[2] تامین می‌شود. پس از میکسر، سیگنال از یک فیلتر انتخاب کانال عبور داده می‌شود. در ادامه سیگنال دوباره از یک تقویت کننده برای تقویت افت ناشی در طبقات قبل، عبور داده می شود تا تقویت لازم صورت بگیرد [۴]. سیگنال پس از تقویت به بخش پردازش درحوزه دیجیتال می‌رسد. گیرنده هترودین از قدرت انتخاب‌گری[3] و حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد. به دلیل این ویژگی‌ها کاربرد این گیرنده در چند دهه اخیر، درسیستم های RF مورد توجه بسیاری بوده است. اما از معایب گیرنده هترودین قابلیت پیاده سازی پایین بر روی تراشه‌ها به دلیل عناصر غیرفعال فیلترها که بایستی خارج از تراشه پیاده سازی شوند، پیچیدگی و قیمت بالای این گیرنده ها می‌توان برشمرد. اما با توجه به پیچیدگی و نیاز به عناصر خارجی، این گیرنده‌ها هنوز به عنوان گیرنده‌های قابل اعتمادی شناخته می‌شوند.

لازم به ذکر است که در گیرنده‌های همودین که نوع دیگری از معماری گیرنده هاست، باند دریافتی مستقیما و بدون عبور از چند مرحله به فرکانس میانی تبدیل می‌شود [۲-۱]. سادگی این گیرنده‌ها یک مزیت محسوب می-

[1] -Passive
[2] -Local oscillator
[3] -Selectivity

شود، اما معایبی دارند که مربوط به نویز فیلیکر[1]، انتخاب کانال، نشتی نوسان ساز محلی ، افست DC و خطای خروجی می‌باشد.

در فرستنده-گیرنده‌های مدرن امروزی، سیگنال‌های با اختلاف فاز ۹۰ درجه برای مدولاسیون و دمودولاسیون و حذف تصویر[2] مورد نیاز است.همانطوریکه در شکل‌های۱-۱ تا ۱-۳ مشاهده می‌شود، نیاز به این سیگنال های ۹۰ درجه کاملا ضروری می باشد. برای این منظور نوسان سازهای متعامدRF طی سال های اخیر در فرستنده-گیرنده‌های RF مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. مشخصه برجسته این نوسان سازها نویزفاز پایین وخطای کم خروجی ها در۹۰ درجه شدن جهت دستیابی به حذف تصویر بالا می‌باشد. [۵]. از نظر توان مصرفی نیز، نوسان سازهای LC، معمولا بیشتر مورد توجه بوده‌اند.

۱-۳ روش‌هاي توليد سيگنال‌هاي متعامد

روش های متداول تولید خروجی متعامد متفاوتی وجود دارند که عبارتند از:

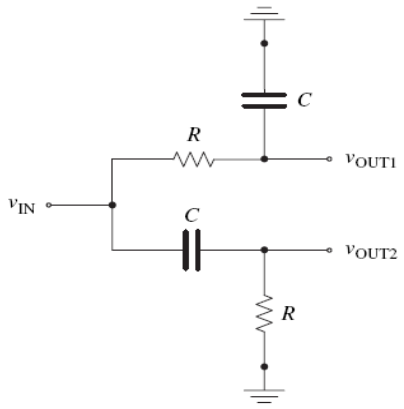
۱- شبکه های RC-CR
۲- تقسیم کننده فرکانسی[3]
۳- هاون[4]
۴- نوسان سازهای کاملا غیرخطی و بدون تشدید کننده حلقوی
۵- نوسان سازهای LC

روش های ۱ تا ۳ مربوط به ساختارهای حلقه باز می‌باشند که تولید خروجی‌های با فاز ۹۰ درجه می‌کنند که از میان آن‌ها کاربرد روش RC-CR معمول‌تر می‌باشد [۲]. روش ۴ و۵ از نوع ساختارهای حلقه بسته می‌باشد که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

[1] -Flicker noise
[2] -Image Reject
[3] -Frequency Division
[4] -Haven

۱-۳-۱ شبکه RC-CR

ساده‌ترین تکنیک تولید خروجی‌های متعامد از نوع ساختارهای حلقه باز، تکنیک RC-CR می‌باشد. این ساختار در شکل۱-۴ نشان داده شده است. در شاخه CR ، ورودی به اندازه ۴۵+ درجه و در شاخه RC، ۴۵- شیفت داده می‌شود. خروجی این شبکه که تفاضلی است همواره در تمامی فرکانس‌ها متعامد می‌باشد. اما از دامنه ثابتی که با تغییر فرکانس تغییر نکند، برخوردار نمی‌باشد. شیفت فازV_{out1} درحالت DC صفر است و با افزایش فرکانس، این شیفت فاز کاهش می‌یابد، بطوریکه به ۹۰- درجه می‌رسد. درحالی که شیفت فاز V_{out2} درحالت DC ، ۹۰+ درجه بوده و با افزایش فرکانس به صفر کاهش می‌یابد [۱-۲]. متعامد بودن خروجی‌ها در این شبکه از دقت خوبی برخوردار می‌باشند، به دلیل آنکه اختلاف فاز ۹۰ درجه بین خروجی‌های آن وجود دارد.



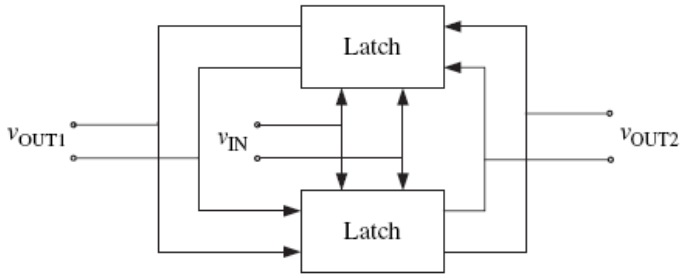
شکل ۱-۴. تولید خروجی متعامد با شبکه RC-CR

از معایب این شبکه تغییر دامنه خروجی‌های آن با تغییرات فرکانس می‌باشد. در این شبکه به دلیل تغییر RC با دما و پروسه، فرکانس کاری نیز تحت تاثیر مستقیم این تغییر قرار می‌گیرد. یک شبکه RC-CR با ۲ و یا بیشتر از ۲ طبقه، به فیلتر چند فازی[1] معروف می‌باشد. نویزفاز این شبکه‌ها به دلیل نویز حرارتی مقاومت‌ها و نویز زیرلایه خازن‌ها [۶] بالاست. بنابراین با در نظر گرفتن محدودیت‌های این شبکه، ساختار دیگری معرفی شد به نام تقسیم کننده فرکانسی، که تغییرات دامنه نوسان خروجی‌ها در آن حل شد.

[1] -Poly-Phase Filter

۱-۳-۲ شبکه تقسیم کننده فرکانسی

روش دیگری برای تولید خروجی متعامد وجود دارد که مقسم فرکانس نام دارد و در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. این ساختار که نسبتا ساده می‌باشد از یک فیلیپ فلاپ پایه-پیرو[1] تشکیل شده که فرکانس ورودی با دو برابر فرکانس خروجی مورد نیاز را تقسیم بر دو می‌کند. در این ساختار اگر V_{in} دارای چرخه گردشی[2] با ۵۰٪ باشد، خروجی‌ها متعامد می‌گردند[۲]. این ساختار برای سیستم‌هایی که با شکل موج مربعی کار می‌کنند، قابل استفاده می‌باشد. در این روش استفاده از یک حامل با دو برابر فرکانس طراحی شده، دو عیب اساسی دارد. بطوریکه توان مصرفی افزایش و ماکزیمم فرکانس قابل دستیابی کاهش می‌یابد. همچنین عدم تطابق مسیرهای سیگنال درچفت‌گرها[3] و انحراف چرخه گردش از ۵۰٪ مورد نظر، باعث ایجاد خطای فاز در خروجی می‌شوند [۶]. برای حل مشکلات فوق می‌توان از دو تقسیم کننده استفاده کرد، که برای این کار نیاز به یک ورودی با چهار برابر فرکانس طراحی می‌باشد.



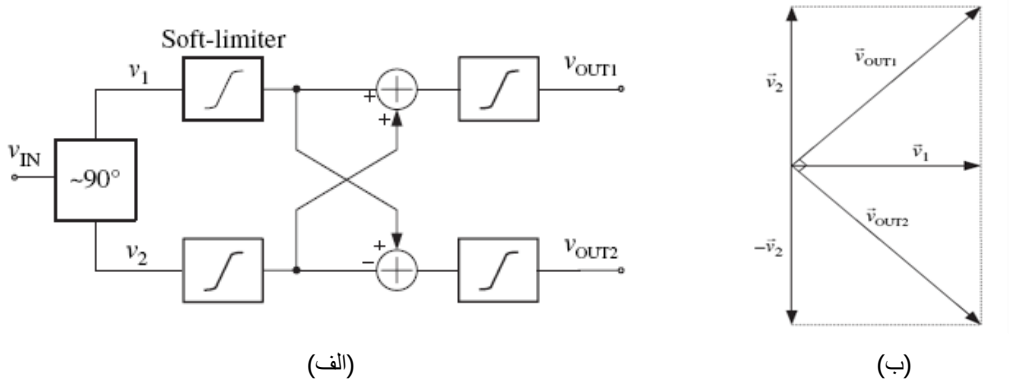
شکل ۱-۵. بلوک دیاگرام ساختار مقسم فرکانس

۱-۳-۳ روش هاون

سومین روش تولید خروجی متعامد، روش هاون نام دارد که ساختار آن در شکل ۱-۶-الف نشان داده شده است، که اغلب این روش کاربرد کمی دارد. همانطوریکه از شکل این ساختار مشاهده می‌شود، سیگنال ورودی به دو سیگنال V_1 و V_2 با ۹۰ درجه اختلاف فاز تبدیل می‌شود. طبقات محدودکننده نرم[4] برای یکی کردن دامنه های V_1 و V_2 استفاده شده است. بعد از برابر شدن دامنه‌ها، سیگنال‌ها با هم جمع و تفریق شده و نهایتا از یک محدودگر بهره نیز عبور داده می‌شوند. دیاگرام فازور این ساختار نیز در شکل ۱-۶-ب نشان داده شده که می‌توان سیگنال‌های مدار را از این دیاگرام نیز دنبال کرد. روباست[5] بودن این ساختار در برابر تغییرات دامنه از مزیت های

[1] -Master-Slave Flip Flap
[2] -Duty Sycle
[3] -Latch
[4] -Soft limiter
[5] -Robust

آن محسوب می‌شود. با این حال نیاز به ۴ محدودکننده و دو جمع کننده، این ساختار را برای کاربردهای توان پایین، هزینه کم و مساحت اشغالی کوچک کمتر مورد توجه قرار داده است [۲].



(الف) (ب)

شکل ۱-۶. الف) مدار تولید کننده خروجی متعامد هاون ب) دیاگرام فازور مدار هاون

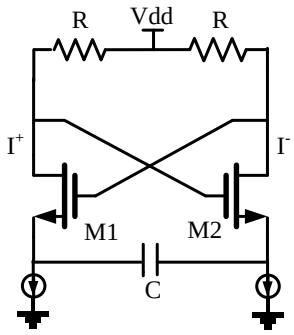
تمامی ساختارهای تولید خروجی متعامد فوق که مورد بررسی قرار گرفتند، از نوع ساختارهای حلقه بازی می‌باشند که در آن ها خطای ورودی به خروجی منتشر می‌یابد. در ادامه با انواع دیگری از مدارات تولید سیگنال متعامد آشنا خواهیم شد.

۱-۳-۴ نوسان ساز کاملا غیرخطي Relaxation و حلقوی

نوسان سازها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. که عبارتند از نوسان سازهای شبه خطی[1] و نوسان سازهای کاملا غیرخطی[2][۲]. نوسان سازهای کاملا غیرخطی از مدارات اکتیو RC تشکیل شده‌اند. که فاقد مدار تشدیدکننده می‌باشند. مزیت اصلی این نوسان سازها حذف القاگرهاست که فضای زیادی را به خود اختصاص می‌دهند. این مدارات از عناصر اکتیو، مقاومت و خازن تشکیل شده‌اند. از طرفی عیب اصلی این دسته از مدارها، نویزفاز بالای آن ها می‌باشد، که به همین دلیل در طراحی‌ها و سیستم‌های RF زیاد مورد استقبال قرار نمی‌گیرند. در مقایسه با نوسان سازهای LC، این نوسان ساز نویزفاز بالاتری دارد.

در شکل ۱-۷ نمونه‌ای از نوسان‌ساز RC نشان داده شده است، که به نوسان ساز Relaxation معروف می-باشد. ترانزیستورهای اتصال ضربدری در نقش سوییچ عمل می‌کنند. این مدار با شارژ و دشارژ تناوبی خازن C کار می‌کند. فرکانس نوسان آن را به دلیل کاملا غیرخطی بودنشان نمی‌توان با استفاده از شرایط بارکوزن بیان کرد. اما فرکانس نوسان آن با خازن بطور معکوس متناسب می‌باشد.

[1]-Quasi-Linear
[2] -Non-Linear



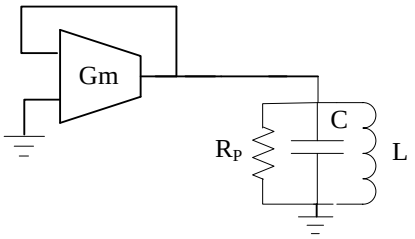
شکل ۱-۷. نوسان ساز Relaxation

البته نوسان سازهای دیگری که به نام نوسان سازهای حلقوی نامیده می‌شوند، نیز از جمله نوسان سازهایی می‌باشند که در آن‌ها عناصر تزویج استفاده نمی‌شود. در این دسته از نوسان ساز N (N فرد است) طبقه معکوس کننده در یک حلقه فیدبک قرار داده می‌شوند [۱]. لازم به ذکر است که در این مدارات نیز شرایط بارکوزن بایستی صدق کند تا مدار نوسان کند.

۱-۳-۵ نوسان سازهاي LC

نوسان سازهای LC از نوع نوسان سازهای شبه خطی می‌باشند، که به عنوان کریستال، مدار تانک، striplines و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از نوسان سازها به دلیل نویزفاز پایین آن‌ها (به خاطر ضریب کیفیت بالایشان) در سیستم‌های رادیویی بطور وسیعی کاربرد دارند.

مدل یک نوسان سازLC از نوع اتصال ضربدری در شکل ۱-۸ آورده شده است، که تابع انتقال آن g_m و$Z(j\omega)$ امپدانس موازی با مدار تانک می‌باشد. در فرکانس تشدید (ω_0)، ادمیتانس معادل خازن و خودالقا حذف شده و بهره حلقه برابر رابطه (۱-۱) می‌باشد.



شکل ۱- ۸. مدل نوسان سازLC

$$\left|Z(j\omega)H(j\omega)\right| = g_m R = 1 \qquad (۱-۱)$$

در واقع مقاومت منفی شبکه فعال، مقاومت ناشی از مدار تانک را حذف می‌کند. طبق معیار بارکوزن نوسان وقتی اتفاق می‌افتد که بهره حلقه برابر ۱ و فاز آن برابر صفر و یا ضریبی از ۳۶۰ درجه باشد. در واقع این شرط برای

نوسان کردن شرط لازم است ولی کافی نیست. در واقع برای شروع نوسان بهره حلقه بایستی بزرگتر از ۱ باشد، طبق رابطه (۱-۲).

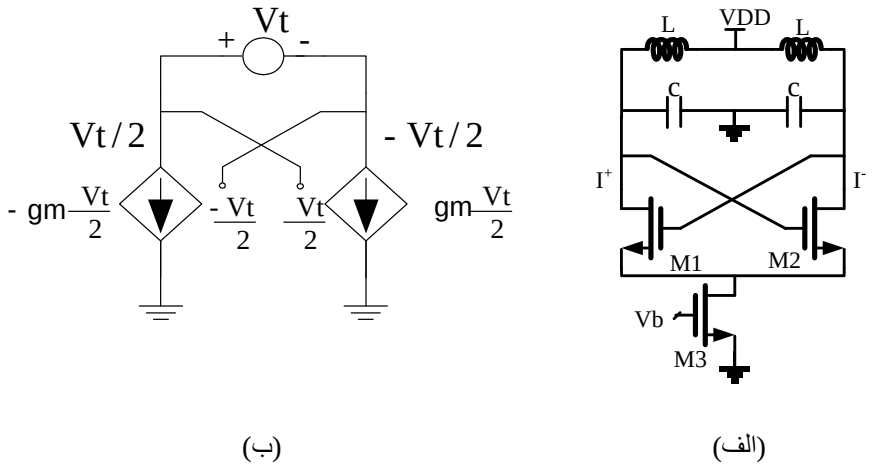
$$g_m > \frac{1}{R} \Rightarrow g_m > 1/R \qquad (۱-۲)$$

در شکل۱-۹-الف یک نوسان سازLC نمونه با مدار تانک LC نشان داده شده است که به نوسان ساز تفاضلی یا نوسان‌ساز مقاومت منفی معروف است، به دلیل آنکه مقاومت منفی ناشی از زوج تفاضلی (ترانزیستورهای اتصال ضربدری)، موازی با مدار تانک قرار دارد و اثر مقامت آن را خنثی می‌کند. برای درک بهتر مقاومت منفی ناشی از زوج تفاضلی، مدار سیگنال کوچک آن در شکل ۱-۹-ب آورده شده است. که مقاومت منفی ناشی از آن در (۱-۳) آمده است.

$$Rt = \frac{Vt}{It} = \frac{-2}{g_m} \qquad (۱-۳)$$

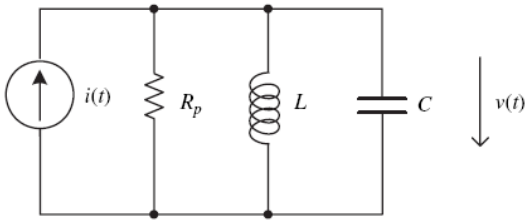
در نوسان سازهای LC اتصال ضربدری فرکانس نوسان با مقدار خودالقا و خازن مدار تانک و خازن ناشی از سایر عناصر مداری ازجمله خازن‌های پارازیتی ترانزیستورهای اتصال ضربدری تعیین می‌شود. فرکانس نوسان در یک نوسان ساز LC اتصال ضربدری طبق رابطه (۱-۴) بیان می‌شود.

$$\omega^2 = \frac{1}{L(C_{\text{var}} + C_{parasitic})} \qquad (۱-۴)$$



شکل ۱-۹. الف) نوسان ساز LC اتصال ضربدری ب) مدل سیگنال کوچک آن

لازم به ذکر است که در یک نوسان ساز LC که مدار معادل آن به صورت شکل ۱-۱۰ می‌باشد، دامنه نوسان خروجی (V(t)) طبق رابطه (۱-۵) بیان می‌شود. مشاهده می‌شود که با جریان عبوری از مدار تانک و مقاومت موازی با آن‌ها متناسب است. در شکل ۱-۱۰ مدار معادل نوسان ساز LC نشان داده شده است.



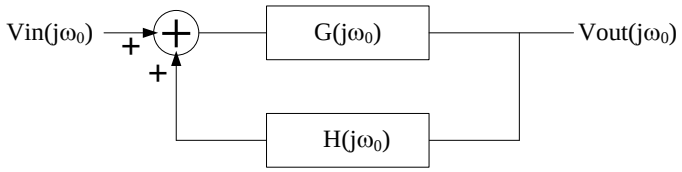
شکل ۱-۱۰. مدار معادل نوسان ساز LC

$$V(t) \approx \frac{4}{\pi} R_p i(t) \qquad (۱-۵)$$

شایان ذکر است که با تزویج دو نوسان ساز هسته از نوع نوسان سازهای LC و یا کاملا غیرخطی RC، می‌توان نوسان‌سازهای متعامد ساخت. در فصل بعد بطور کامل به مطالعه نوسان سازهای متعامد LC خواهیم پرداخت.

۱-۴- معیار بارکوزن (Barkhausen)

تابع انتقال یک نوسان ساز، در واقع تبدیل توان DC به یک سیگنال متناوب می‌باشد[۲]. نوسان ساز سینوسی، یک سیگنال سینوسی با فرکانس ω_0 و دامنه A_0 تولید می‌کند. بلوک دیاگرام یک نوسان ساز که اساس کار آن بر مبنای فیدبک می‌باشد، در شکل ۱-۱۱ و تابع انتقال آن در رابطه (۱-۶) آورده شده است.



شکل ۱-۱۱. بلوک دیاگرام سیستم فیدبک نوسان ساز

$$\frac{Vout(j\omega_0)}{Vin(j\omega_0)} = \frac{G(j\omega_0)}{1 - H(j\omega_0)G(j\omega_0)} \qquad (۱-۶)$$

طبق معیار بارکوازن شرایط نوسان در حالت ماندگار به این صورت است که، بهره حلقه باز بایستی برابر ۱ و فاز حلقه می‌بایستی صفر و یا ضریبی از ۳۶۰ درجه باشد. این شرایط در (۱-۷) و (۱-۸) آورده شده‌اند.

$$\left|H(j\omega_0)G(j\omega_0)\right|=1 \qquad (۱-۷)$$

$$\angle[H(j\omega_0)G(j\omega_0)]=2k\pi \qquad (۱-۸)$$

اما لازم به ذکر است که شرط (۱-۷) برای نوسان کردن پایدار، شرط لازم است، ولی جهت شروع نوسان که با نویز تریگر می‌شود، باید بهره حلقه بزرگ‌تر از ۱ باشد.

۱-۴-۲ نویز فاز[1]

در کاربردهای گیرنده-فرستنده‌های مدرن امروزی، اساسی‌ترین اختلاف بین نوسان سازهای ایده‌ال و واقعی به نویزفاز آن‌ها بر می‌گردد [۲]. نویز تولیدی در نوسان سازها، نوسانات تصادفی‌ای در دامنه و فاز آن‌ها ایجاد می‌کند، به این معنی که در طیف خروجی در اطراف فرکانس ω_0 باندی از فرکانس و هارمونیک‌های مزاحم ایجاد می‌کند. بطور کلی نویز یا از درون مدار یعنی از عناصر اکتیو و پسیو به کار برده شده در مدار و یا از بیرون مدار بطور مثال، از منبع تغذیه ناشی می‌شود. که البته غیرخطی بودن و نوسانات پریودیکی پارامترهای مدار، پیش گویی نویزفاز را مشکل می‌کند. نویزفاز در یک نوسان ساز، بیانگر انرژی چشمگیری از فرکانس‌های ناخواسته در خروجی نوسان ساز می‌باشد.

بنابراین نویز در این گونه از مدارها دامنه و فاز را تغییر می‌دهد. نویز در نوسان ساز را می‌توان به دو صورت توصیف کرد. در حوزه فرکانس به نام نویزفاز ، ولی در حوزه زمان به نام جیتر[2] بیان می‌شود، که نویزفاز در طراحی‌های آنالوگ و RF و جیتر در طراحی‌های دیجیتال به کار می رود[۲]. نویزفاز نسبت اندازه توان در یک فاصله فرکانسی[3] $(\Delta\omega)$ از فرکانس حامل (ω_o) به توان سیگنال در فرکانس مرکزی تعریف می شود. در واقع این نسبت توان در یک پهنای باند واحد $(1Hz)$ بیان می‌شود. نویزفاز در یک افست فرکانسی بر حسب dBc/Hz بیان و طبق رابطه(۱-۹) محاسبه می‌شود.

$$L\{\Delta\omega\}=10\log[\frac{P_{sideband}(\omega_o+\Delta\omega,1Hz)}{Psig}] \qquad (۱-۹)$$

[1] -Phase Noise
[2] -Jitter
[3] -Offset