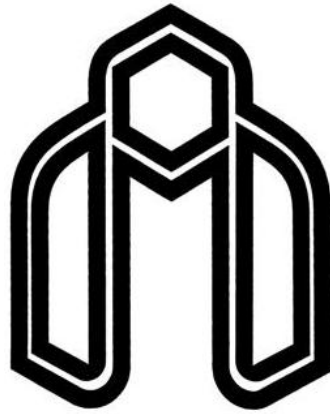


بِه نام

خدا



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه الکترونیک

گرایش دیجیتال

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی و ساخت یک نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ برای بازه فرکانسی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ مگاهرتز

وحید یوسفی

استاد راهنما: دکتر ساسان ناصح

بهمن ماه ۱۳۹۴

در فرو بسته ترین دشواری

در گرانبارترین نومییدی،

بارها بر سر خود بانگ زدم:

"هیچت ار نیست مخور خون جگر، دست که هست"

بیستون را یاد آر، دستهایت را بسپار به کار

کوه را چون پَر کاه از سر راه بردار!

وَه چه نیروی شگفت انگیز است

دستهایی که به هم پیوسته ست!...

"فریدون مشیری"

سپاس‌گزاری:

از اینکه خدای متعال به بنده توفیق انجام پروژه ساخت نوسان‌ساز پهن‌بند را هدیه کرده است تا در روند انجام این پروژه، دوستان و اساتید نابی را بشناسم، بسیار شکرگزارم.

از آقای دکتر قالیبافان بابت مشاوره فکری، همچنین کمک‌های کلیدی که در تهیه قطعات با-کیفیت صورت دادند، صمیمانه تشکر می‌کنم. از آقایان مهندس صالح رحیمی، بهرام افرا، ایرج توکلی و علی علیزاده که زحمات زیادی در آزمایشگاه کشیدند تا روند انجام پروژه سرعت بخشیده شود، کمال قدردانی را به جا می‌آورم. از آقایان مهندس بهرام افرا، جواد موحدی، احمد مصیبی، مهدی خدادادی و علی برقی که کمک‌های ارزنده‌ای برای ویرایش این متن انجام دادند، صمیمانه تشکر می‌کنم. از آقای دکتر ساسان ناصح تشکر ویژه می‌کنم، نه فقط بخاطر کمک‌هایشان بلکه ایشان الگویی برای من بودند. خوشحالم که دست تقدیر من را به این استاد عزیز و گرانبها رساند.

شاید سخت‌ترین قسمت سپاس‌گزاری مربوط به تشکر از کسانی است که کمک‌هایی را انجام داده‌اند که زبان قاصر از بیان آن است. صمیمانه از پدرم و مادرم دو نعمت وصف ناشدنی، بی‌نهایت تشکر می‌کنم.

در پایان از همه کسانی که به هر شکلی در انجام این پروژه کمک کردند و امکان بیان نام همه آن‌ها نبود قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب وحید یوسفی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-الکترونیک دانشکده برق و رباتیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی و ساخت یک نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ برای بازه

فرکانسی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ مگاهرتز 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 پژوهشهای 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 شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا یافتههای آنها) 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 اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ: ۱۳۹۴، ۱۱، ۲۰

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود 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.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده :

یکی از قطعات پر کاربرد در مدارهای الکترونیکی و مخابراتی نوسان سازها می باشند. در این پایان نامه طراحی، شبیه سازی، ساخت و اندازه گیری یک نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) در بازه بسامدی ۹۶۰ تا ۱۴۶۰ مگاهرتز ارائه شده است.

دو ساختار نوسان ساز بازخورد مثبت و اتصال ضربدری طراحی و آزمایش شد. در آغاز VCO برای ابتدای باند VHF روی برد سوراخدار (Bread Board) با محدوده تنظیم ۳۳٪ که حداکثر بسامد آن ۶۷ مگاهرتز بوده راه اندازی و اندازه گیری شد. سپس روی مدار چاپی، مدارهای بسامد بالاتر با قطعات نصب شونده بر روی سطح (SMD^۱) طراحی و آزمایش شد. همچنین برای بررسی کیفیت قطعات خودالقا و خازن، مدارهای آزمون ساخت و با اندازه گیری پارامترهای S کیفیت آنها بررسی شد. اثر سپر الکترومغناطیسی^۲ برای جلوگیری از تداخل سیگنال های ناخواسته بر روی مدار نوسان ساز اندازه گیری و بررسی شد. شبیه سازی مدار در نرم افزار ADS و طراحی مدار چاپی در نرم افزار Altium صورت گرفته است. برای انجام اندازه گیری ها، دستگاه های نوسان نگار، طیف سنج^۳، منبع سیگنال و تحلیل گر شبکه^۴ به کار گرفته شده اند. نوسان ساز ساخته شده دارای تغذیه ۶.۵ ولت و توان مصرفی ۱۱۷ میلی وات می باشد. با تغییر اندازه ولتاژ ورکتور از ۶.۵ تا ۳۰ ولت، بسامد از ۹۶۰ مگاهرتز تا ۱۴۶۰ مگاهرتز تغییر می کند که معادل با محدوده تنظیم حدود ۴۲٪ است. دامنه هماهنگ اول اندازه گیری شده در بازه بسامدی بالا، از صفر تا -۶.۸dBm تغییرات داشته است.

کلیدواژه:

ساخت نوسان ساز، پهن باند، فرکانس بالا، اثر سپر الکترومغناطیسی، بررسی کیفیت خودالقا و خازن.

^۱ - Surface Mount Device

^۲ - Shield

^۳ - Spectrum Analyzer

^۴ - Network Analyzer

فهرست:

فصل اول ۱

۱-۱ دیدگاه مول ف

..... ۱

۲-۱ مقدمه ۱

۱-۲-۱ ضرورت نوسان ساز در مخابرات ۲

۲-۲-۱ ضرورت نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ ۳

۳-۲-۱ نوسان ساز باند باریک و پهن باند ۳

۳-۱ تعریف فنی نوسان ساز ۵

۱-۳-۱ نوسان ساز براساس شکل موج تولید شده ۵

۴-۱ مدیریت طراحی نوسان سازها ۵

۱-۴-۱ محدودیت فرکانس بالا ۶

۲-۴-۱ ساختار بردهای مدار چاپی ۶

۳-۴-۱ قطعات فشرده ۷

۵-۱ تجهیزات اندازه گیری مدارهای فرکانس بالا ۷

۱-۵-۱ طیف سنج ۷

۲-۵-۱ نوسان نگار ۸

۳-۵-۱ تحلیلگر شبکه ۸

۶-۱ مروری بر فصلهای دیگر ۸

فصل دوم: روش و مدل های ساخته شده نوسان سازها

۹

۱-۲ مقدمه ۹

۲-۲ عنصر فعال ۹

- ۳-۲ انواع عنصر فعال: ۹
- ۱-۳-۲ دیود ۹
- ۲-۳-۲ ترانزیستور: ۱۲
- ۴-۲ مقایسه عنصر فعال نیمه هادی: ۱۳
- ۵-۲ انواع نويز ۱۳
- ۱-۵-۲ نويز فاز: ۱۴
- ۶-۲ تحليل نوسان ساز ۱۴
- ۱-۶-۲ دیدگاه بازخورد ۱۴
- ۲-۶-۲ دیدگاه مقاومت منفي ۱۵
- ۷-۲ دسته بندی نوسان ساز براساس تشدید کننده ۱۵
- ۸-۲ ورکتور ۱۶
- ۱-۸-۲ ساختار ورکتور ۱۶
- ۲-۸-۲ ورکتور با خطسانی بیشتر ۱۷
- ۳-۸-۲ ورکتور استفاده شده در این پروژه ۱۸
- YIG۹-۲ ۱۸
- ۱۰-۲ پوش - پوش یا ان - پوش ۲۰
- ۱۱-۲ مدل‌هایی از پهن باندهای ساخته شده [۳۶] ۲۱
- ۲۷ فصل سوم : کارهای انجام شده تا محدوده ۵۰۰ مگاهرتز
- ۱-۳ مقدمه ۲۸
- ۲-۳ آزمایش مدار اتصال ضربدري روی برد سوراخدار ۲۹
- ۳-۳ بررسی بعضی رفتار مدار روی برد سوراخدار ۳۱
- ۱-۳-۳ اثر اضافه کردن ولتاژ ۳۲
- ۲-۳-۳ اثر قرار دادن خازن به موازات منبع تغذیه ۳۲
- ۳-۳-۳ اثر اندازه‌ی خازن‌های تزویج میان بیس و کلکتورهای دو ترانزیستور اتصال ضربدري ۳۳
- ۴-۳-۳ اثر افزایش ولتاژ کلکتور ۳۴

- ۳۵ ۵-۳-۳ پیشینه بسامد مدار اتصال ضربداری روی برد سوراخدار
- ۳۵ ۴-۳ مدار نوسان ساز با بازخورد مثبت روی برد سوراخدار
- ۳۶ ۱-۴-۳ نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ در مدار بازخورد مثبت
- ۳۹ ۵-۳ تجربه طراحی مدار چاپی
- ۴۰ 3-6 مدار چاپی FR4
- ۴۲ ۷-۳ مدار بافر
- ۴۴ ۸-۳ نوسان نگار و کابل مدل Tektronix
- ۴۴ ۱-۸-۳ کابل گمانه نوسان نگار
- ۴۵ ۲-۸-۳ نوسان نگار
- ۴۶ ۳-۸-۳ خازن صافی منبع تغذیه در بسامد بالا
- ۴۷ ۴-۸-۳ اثر زمین در نوسان نگار
- ۴۸ ۵-۸-۳ حداکثر بسامد عملی نوسان نگار Tektronix TDS 1012
- ۵۰ ۶-۸-۳ کابل Tektronix و کابل Rj58 30u در استفاده از طیفسنج
- ۵۱ ۹-۳ قطعات مورد نیاز برای دریافت سیگنال برای طیف سنج
- ۵۲ ۱۰-۳ نقطه کار مدار اتصال ضربداری
- ۵۷ فصل چهارم: کارهای انجام شده در بسامد بالا
- ۵۷ ۱-۴ مقدمه
- ۵۷ ۲-۴ حالت های مختلف برداشت سیگنال
- ۵۹ ۱-۲-۴ ولتاژ بهینه منبع تغذیه
- ۶۰ ۲-۲-۴ دریافت با حالت SMA و بررسی اثر تقارن
- ۶۲ ۳-۴ چرا در حالت آنتن گونه و خازن گونه فرکانس ۴۰۰ مگاهرتز دریافت می شود
- ۶۳ ۱-۳-۴ بررسی طیف با حساسیت متفاوت
- ۶۴ ۲-۳-۴ سیر الکترومغناطیسی
- ۶۶ ۴-۴ ساخت نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ در باند VHF
- ۶۷ ۱-۴-۴ بررسی مدار

۶۸	۲-۴-۴ بررسی ترانزیستور.....
۶۸	۳-۴-۴ مدار دو حالت کاری دارد.....
۶۹	۴-۴-۴ خازن ناخواسته با ریزنوار.....
۶۹	۵-۴-۴ بررسی خودالقا.....
۷۰	۵-۴ خودالقا.....
۷۰	۱-۵-۴ معرفی خودالقا استفاده شده.....
۷۰	۲-۵-۴ کیفیت خودالقا.....
۷۴	۳-۵-۴ بررسی خودالقا با دستگاه منبع سیگنال.....
۷۵	۴-۵-۴ بررسی خودالقا با طیف نوسانساز.....
۷۷	۵-۵-۴ بررسی خودالقا با دستگاه تحلیل کننده شبکه.....
۸۱	۶-۴ تحلیل خازن ، و رکتور و ساخت خودالقا.....
۸۲	۱-۶-۴ ساخت خودالقا.....
۸۷	۷-۴ بررسی خودالقا ساخته شده در مدار نوسانساز.....
۸۸	۸-۴ رفتار مطلوب مدار با عناصر با کیفیت.....
۹۰	۹-۴ شبیه سازی.....
۹۳	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۳	۱-۵ مقدمه.....
۹۳	۲-۵ نتیجه گیری.....
۹۳	۱-۲-۵ بررسی اندازه خاصی از خودالقا.....
۹۳	۲-۲-۵ کار با مدارهای غیرخطی.....
۹۴	۳-۲-۵ اثر بار الکترواستاتیک.....
۹۴	۳-۵ پیشنهادات:.....
	پیوست: ساخت نوسان ساز در بازه فرکانسی ۳۰۰ تا ۴۵۰ مگاهرتز مقایسه آن با مدل های موجود

فهرست شکل‌ها:

- شکل (۱-۱): الف) نمای مفهوم کار طیف‌سنج [۱] ب) نمای کاری طیف‌سنج و نوسان‌نگار [۱۷] ۷
- شکل (۱-۲): الف) نمودار جریان برحسب ولتاژ دیود گان، ب) نمای تولید سیگنال متناوب با دیود گان در موجبر ۱۰
- شکل (۲-۲): الف) نماد مداری دیود و رکتور ب) مدل مداری [۳۱] ۱۷
- شکل (۲-۳): الف) و رکتور Abrupt ب) و رکتور نوع Hyper Abrupt ۱۷
- شکل (۲-۴): الف) نماد مداری [۳۱]، ب) مدل مداری ج) نمای ظاهری YIG [۳۴] ۱۹
- شکل (۲-۵): نوسان‌ساز کلپیتس در باند ۱.۵۲ تا ۱.۵۶ گیگاهرتز ۲۰
- شکل (۲-۶): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ سری کلپیتس یا (کلاپ) ۲۱
- شکل (۲-۷): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۹۵۰ تا ۲۲۰۰ مگاهرتز ۲۲
- شکل (۲-۸): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۱.۴ تا ۱.۸ گیگاهرتز ۲۲
- شکل (۲-۹): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۳ تا ۶ گیگاهرتز ۲۳
- شکل (۲-۱۰): مدار اتصال ضربدری در باند ۵۰۰ تا یک گیگاهرتز ۲۳
- شکل (۲-۱۱): نوسان‌ساز مفاومت منفی در باند ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ مگاهرتز ۲۴
- شکل (۲-۱۲): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ Frankli یک تا ۱.۴ گیگاهرتز ۲۴
- شکل (۲-۱۳): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ Goral در باند ۴۰۰ تا ۴۷۰ مگاهرتزی ۲۴
- شکل (۲-۱۴): پیکره‌بندی کسکود در باند ۱.۴ تا ۲ گیگاهرتز ۲۵
- شکل (۲-۱۵): پیکره‌بندی Vacker در باند ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ مگاهرتز ۲۵

شکل (۲-۱۶): الف) نمای ظاهری قطعه نوسان‌ساز پهن باند شرکت NXP [۳۹]، ب) مدار نوسان‌ساز شرکت NXP [۳۹] ۲۶

شکل (۳-۱): عکس بلوکی مدار نوسان‌ساز و دستگاه‌ها و مدل آن‌ها ۲۷

شکل (۳-۲): الف) مدار اتصال ضربداری ب) مدار بازخورد مثبت ۲۸

شکل (۳-۳): الف) نمای بلوکی نوسان‌ساز، ب) نمای روی برد سوراخدار ۲۹

شکل (۳-۴): نوسان‌ساز اتصال ضربداری با خودالقای هسته ۴.۷ میکرو هانری الف) و با خازن هسته ۱۰ نانو فاراد ($f=780\text{kHz}$)، ب) با خازن هسته ۱ نانو فاراد ($f=2.43\text{MHz}$) ۳۰

شکل (۳-۵): نوسان تپشی ۳۱

شکل (۳-۶): شکل موج خروجی ناشی از خازن هسته ۱ نانوفاراد و خودالقا ۴.۷ میکرو هانری بسامد دریافتی حدود ۲.۴ مگاهرتز الف) نمایش هر دو شکل موج زمانی که خازن صافی نداشته باشد. (سیگنال اعوجاج دارد.) ب) شکل موج ۱ دارای خازن صافی ۱۰۰ نانوفاراد و شکل موج ۲ بدون خازن صافی که بیان کننده اعوجاج است ۳۲

شکل (۳-۷): بررسی اثر خازن تزویج بین بیس و کلکتور که در هسته نوسان‌ساز خازن هسته ۱ نانو فاراد و خودالقا ۴.۷ میکرو هانری، الف) خازن تزویج ۱ نانو فاراد و بسامد دریافتی ۵.۶۸ مگاهرتز ب) خازن تزویج ۱۰۰ پیکو فاراد و بسامد دریافتی حدود ۵.۷۳ مگاهرتز ۳۳

شکل (۳-۸): تصویر مربوط به خازن هسته ۳۵ پیکو فاراد و خودالقا ۱.۵۶ میکرو هانری. الف) ولتاژ کلکتور ۶ ولت که دامنه ولتاژ خروجی ۲.۲ ولت پیک تا پیک می باشد، همان‌طور که در تصویر می‌توان دید بسامد آن ۱۳.۹۶ مگاهرتز می‌باشد (قابل مشاهده است که سیگنال سینوسی خالصی نمی باشد). ب) ولتاژ کلکتور ۷ ولت می‌باشد. همان‌طور که در تصویر می‌توان دید بسامد آن ۱۳.۹۸ مگاهرتز می باشد. دامنه ولتاژ خروجی ۲.۴ ولت پیک تا پیک می باشد با اعوجاج کمتر ۳۳

شکل (۳-۹): بیشترین بسامد دریافتی با نوسان‌ساز اتصال ضربداری ۳۴

شکل (۳-۱۰): الف) آرایش مداری جایگزینی خازن به ورتور، ب) تغییرات خازن ورتور BB105 نسبت به ولتاژ دو سر آن (در $T=25^{\circ}\text{C}$ و $f=1\text{MHz}$) [۴۰] ۳۵

شکل (۳-۱۱): الف) تغییر بسامد ناشی از تغییر ولتاژ دو سر ورتور ب) نمایش بسامد خروجی مدار بازخورد مثبت با اعمال دیود ورتور به جای خازن C_1 در بسامد حدود ۶۴ مگاهرتز طیف خروجی سینوسی تمیزی نیست. ۳۶

شکل (۳-۱۲): الف) خازن $C_1=10\text{pF}$ ، خازن $C_2=1\text{nF}$ با ورتور متوالی شده و با اعمال تغییرات ولتاژ دو سر ورتور بسامد تقریباً ثابت می‌ماند ب) بدون دیود ورتور (آزاد بودن سر دیگر ورتور) و فقط ناشی از خازن انگلی ۳۶

شکل (۳-۱۳): الف) شکل موج خروجی ناشی از خازن انگلی (پارازتیک) با بسامد دریافتی حدود ۶۱.۳ مگاهرتز ب) شکل موج ناشی از اعمال دیود ورتور روی خازن C_2 با بسامد دریافتی حدود ۵۷.۷ مگاهرتز ۳۷

- شکل (۳ - ۱۴): شماتیک مدار نوسان ساز تزویج ضربداری ۳۸.....
- شکل (۳ - ۱۵): نمای مدار چاپی شده ۳۸
- شکل (۳ - ۱۶): اعمال ترانزیستور پایه‌دار روی مدار چاپی..... ۴۰
- شکل (۳ - ۱۷): الف) نوسان از سر کلکتور مدار بازخورد مثبت بسامد دریافتی حدود ۲۰۷ مگاهرتز با دامنه‌ی حدود ۲۰ میلی‌ولت، ب) نوسان مدار بازخورد مثبت از امیتر ترانزیستور..... ۴۰
- شکل (۳ - ۱۸): الف) شکل مداری بافر ب) محل دریافت نوسان با گمانه در پایه مقاومت با بسامد ۴۶۰ کیلوهرتز و در پایه خازن بسامد ۳۶۰ کیلوهرتز.....
- ۴۱.....
- شکل (۳ - ۱۹): الف) نمای کامل گمانه نوسان‌نگار ب) دهانه نمونه‌بردار جدا شده از کابل گمانه نوسان‌نگار که قابلیت انتخاب مقاومت ورودی را دارد ج) مشخصات کابل نوسان‌نگار مدل Tektronix در بسامد بیان شده در شکل..... ۴۳.....
- شکل (۳ - ۲۰): مدار معادل اندازه‌گیری شده در دو حالت یک و ده برابر ۴۳
- شکل (۳ - ۲۱): الف) نوسان از یک خروجی نوسان‌ساز تزویج ضربداری با دامنه بیش از ۵ ولت ب) نوسان از هر دو خروجی نوسان‌ساز ۴۵
- شکل (۳ - ۲۲): خروجی نوسان نوسان‌ساز از یک پایه کلکتور با دو گمانه که زمین یکی وصل و دیگری قطع..... ۴۶.....
- شکل (۳ - ۲۳): شکل موج نوسان ساز تزویج ضربداری در بسامد بیش از ۴۰۰ مگاهرتز..... ۴۷
- شکل (۳ - ۲۴): الف) اندازه‌گیری با کابل Tektronix با نمونه بردار مستقیم از کلکتور نوسان ساز ب) با کابل Rj58 30u و نمونه برداری از خازن تزویج ۱۰۰ پیکوفاراد با نقش بافر ۴۸
- شکل (۳ - ۲۵): الف) نمای بالا و پایین تبدیل BNC به N ب) نمای بالا و پایین تبدیل SMA به N ج) نمای بالا و پایین اتصال SMA لبه بردی، د) کابل BNC و تبدیل BNC به N به ورودی طیف سنج ۵۱
- شکل (۳-۲۶): الف) ساختار بیس مشترک برای نوسانگر کم توان ب) ساختار امیتر مشترک برای نوسانگر با توان بالاتر ۵۰.....
- شکل (۳ - ۲۷): انتخاب نقطه کار DC ۵۱.....
- شکل (۳ - ۲۸): الف) پیکره بندی مستقل از β ب) پیکره بندی وابسته به β ۵۲
- شکل (۱-۴): دریافت به صورت آنتن‌گونه ۵۵.....
- شکل (۴ - ۲): الف) شکل مداری و محل دریافت آنتن‌گونه، ب) نمای مدار چاپی و نمایش محل دریافت سیگنال خازن‌گونه..... ۵۷.....

شکل (۴ - ۳) : الف) اتصال کابل طیف‌سنج به مدار چاپ (ب) تصویر با ۲۰ بار میانگین‌گیری نمایش‌گر طیف سنج با اتصال به SMA سمت راست. توضیحات: این تصویر از بیست بار میانگین‌گیری خروجی اتصال SMA می‌باشد به همین دلیل طیف نویز در سایر بسامدها تقریباً صفر می‌شود.....
۵۸

شکل (۴ - ۴) : الف) نمایش ظاهری نوسان‌ساز با دو بار ۵۰ اهم که به صورت متقارن کار می‌کند. (ب) نمایش طیف‌سنج با استفاده از بارهای متقارن ۵۰ اهم.....
۵۸

شکل (۴ - ۵) : الف) نمایش طیف‌سنج در کل باند آن (ب) نمایش طیف‌سنج در باند ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز در حالت اتصال به SMA (ج) نمایش توان دریافتی در باند ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز در حالت اتصال به SMA زمانی که نوسان‌ساز خاموش است
۶۰

شکل (۴ - ۶) : الف) ابتدایی‌ترین روش برای شیلد کردن (ب) تصویر خروجی طیف‌سنج ناشی از سپر مغناطیسی به صورت شکل فوق، در زیر آمده است. (ج) تصویر طیف‌سنج در حالت سپر مغناطیسی نوسان‌ساز با بیست بار میانگین‌گیری.....
۶۲

شکل (۴ - ۷) : الف) از طریق یک فویل آلومینیوم مدار در پوشش مغناطیسی قرار داده شده است (ب) نمایش طیف‌سنج از یک پوشش مغناطیسی کامل مدار چاپی
۶۲

شکل (۴ - ۸) : الف) دریافت تشعشعی از مدار نوسان‌ساز به این صورت بوده است (ب) نمایش آنتن‌گونه در حالت روشن بودن مدار
۶۳

شکل (۴ - ۹) : الف) اندوکتانس خودالقا بر حسب فرکانس مربوط به کارخانه Coil Craft [42] (ب) نمودار خودالقا ۲.۲ نانو هانری بر حسب فرکانس مربوط به کارخانه ژاپنی مدل MLF2012A2R2KT000 [43] که تا فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز خاصیت خودالقای
دارد.....
۶۷

شکل (۴ - ۱۰) : مدار RLC موازی.....
۶۸

شکل (۴ - ۱۱) : مدار RLC: الف) مدار سری معادل با مدار موازی از دو سر A و B ، (ب) مدار موازی.....
۷۰

شکل (۴ - ۱۲) : پاسخ مدار RLC
۷۱

شکل (۴ - ۱۳) : الف) شکل بلوکی از آزمایش خودالقا (ب) مدار متوالی (ج) مدار موازی (د) نمای برد راجرز خودالقا و خازن متوالی (ه) نمای برد راجرز برای صافی موازی.....
۷۲

شکل (۴ - ۱۴) : الف) طیف خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱۰ پیکوفاراد (ب) طیف هارمونیک اصلی نوسان‌ساز با

- خودالقا ۳۳۰ و خازن ۱۰ پیکوفاراد..... ۷۳
- شکل (۴ - ۱۵) : الف) طیف تمیز شده در اثر دست زدن به پشت مدارچاپی در حالت با جریان حدود ۴.۵ میلی آمپر (ب) با اعمال ضربه به پایه کلکتور نوسان ساز در حالت دیگر که با جریان حدودا ۱۰ میلی آمپر می باشد در حال فعالیت است..... ۷۳
- شکل (۴ - ۱۶) : الف) تشدید در فرکانس ۷۶۰ مگاهرتز خودالقا ۴.۷ نانوهانری و خازن ۱۰ پیکو (ب) خودالقا ۳۳ نانوهانری و خازن ۱۰ پیکو تشدید در فرکانس ۲۷۵ مگاهرتز..... ۷۵
- شکل (۴ - ۱۷) : خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱۰ پیکو، تشدید در فرکانس ۲۸۰ مگاهرتز (ب) تصویر بازه فرکانسی ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ مگاهرتزی برای خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱ پیکو (ج) خودالقا ۳۳ نانو و خازن ۱ پیکو فاراد در بازه ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ مگاهرتز ۷۵
- شکل (۴ - ۱۸) : الف) تضعیف در فرکانس ۲۳۰۰ تا ۲۸۰۰ مگاهرتز با خازن ۱ پیکو و خودالقا ۴.۷ نانو (ب) تضعیف در فرکانس ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ مگاهرتز با خازن ۱ پیکو و خودالقا ۴.۷ نانوهانری (ج) خودالقا ۴.۷ نانو و خازن ۴.۷ پیکو و تشدید در فرکانس ۱۰۵۰ مگاهرتز..... ۷۶
- شکل (۴ - ۱۹) : الف) نمای مداری نوسان ساز، (ب) برد مدار چاپی با ورکتور BB405 و خازن عدسی..... ۷۷
- شکل (۴ - ۲۰) : الف) تصویر تغییر فرکانس بر حسب با ولتاژ ورکتور BB405 با خودالقا ۴.۷nH (ب) تصویر طیف کثیف در ولتاژ ۱۶.۴ ولت در فرکانس ۸۰۸ مگاهرتز ۷۷
- شکل (۴ - ۲۱) : الف) مدارچاپی برای امتحان خازن و خودالقاء در حالت موازی که احتمال نقش جمع کننده و تقسیم کننده داده می شود (ب) مدارچاپی جهت موازی کردن یک خودالقاء با دو خازن به صورت سری (ج) مدارچاپی جهت امتحان ورکتور..... ۷۸
- شکل (۴ - ۲۲) : برد مدارچاپی FR4 بدون پالی گان..... ۸۱
- شکل (۴ - ۲۳) : تشدید خودالقاء ۱۵ نانو و خازن ۴.۷ پیکوفاراد..... ۸۱
- شکل (۴ - ۲۴) : خودالقاء با چهار دور برای بدست آوردن مکان تشدیدش..... ۸۲
- شکل (۴ - ۲۵) : الف) تشدید خودالقاء با چهار دور و خازن ۳.۳ پیکوفاراد، (ب) تشدید همان خودالقاء که با افزایش طول سیم لوله و کاهش خودالقاء فرکانس افزایش پیدا کرده..... ۸۲
- شکل (۴ - ۲۶) : مدل مدار با خودالقاء با کیفیت و ورکتور BB405 و ترانزیستور BFP420..... ۸۵
- شکل (۴ - ۲۷) : تغییرات خازن ورکتور بر حسب ولتاژ معکوس دو سر دیود ورکتور..... ۸۶
- شکل (۴ - ۲۸) : تغییرات فرکانس بر حسب ولتاژ با ورکتور BB405 ۸۶
- شکل (۴ - ۲۹) : نمودار تغییرات توان بر حسب ولتاژ با ورکتور BB405 ۸۷
- شکل (۴ - ۳۰) الف) شکل مداری مدل شبیه سازی Coil Craft. (ب) اندازه های عناصر مداری..... ۸۸

شکل (۴-۳۱) : الف) شبیه‌سازی با خودالقا ۲.۷ نانوهانری coil craft و ورکتور BB135 ، ب) شبیه‌سازی با خودالقا ۶.۸ نانوهانری coil craft و ورکتور نام برده..... ۸۸

شکل (۴-۳۲) نمای مداری که با نرم افزار ADS با مدل استفاده شده از Coil Craft..... ۸۹

فهرست جداول:

جدول (۱-۲) دسته بندی نوسان ساز بر حسب نوع تشدید کننده
۱۵

جدول (۲-۲): دسته بندی نوسان سازهای پهن باند
۱۵

جدول (۱-۳): نقطه کار ترانزیستور
۲۹

جدول (۲-۳): نقطه کار و بسامد دریافتی از مدار
۲۹

جدول (۳-۳): تغییرات خازن و خودالقا و نمایش بسامد دریافتی مدار روی برد سوراخدار
۳۰

جدول (۴-۳): مشخصات بایاس نوسان ساز مدار بازخورد مثبت
۳۴

جدول (۵-۳): تغییر اندازه خازن C1 سبب تغییر فرکانس
۳۵

جدول (۶-۳): مشخصات نقطه کار مدار بافر
۴۱

جدول (۷-۳): مشخصات مدار اتصال ضربداری
۴۴

جدول (۸-۳): مشخصات نقطه کار مدار اتصال ضربداری پس از نصب خازن ۱۰ پیکوفاراد تزویج بین
بیس و کلکتور
.....

۴۴

جدول (۹-۳): مقایسه نوسان دریافتی با حالت تحلیلی
۴۷

جدول (۱۰-۳): این جدول با ولتاژ $V_{CC}=8$ و تغذیه بیس با $V_{BB}=5$ ولت می باشد که تفاوت دو کابل
Tektronix و کابل Rj5830u بیان شده است

۴۸

جدول (۳-۱۱): مشاهده تغییرات فرکانس در اثر تغییرات خازن $C1, C2$ زمانی که اندازه خودالقا ثابت
..... $L_1 = 33 nH$

۵۰

جدول (۳-۱۲): تغییرات فرکانس بر حسب تغییر ولتاژ

۵۱

جدول (۴-۱): مشخصات نقطه کار مدار اتصال ضربداری

..... ۵۶

جدول (۴-۲): توان و بسامد سیگنال دریافتی در حالت مختلف

..... ۵۶

جدول (۴-۳): توان سیگنال دریافتی در حالت مختلف با منبع تغذیه $V_{CC} = 7 v$

۵۷

جدول (۴-۴): توان سیگنال دریافتی در حالت مختلف با منبع تغذیه $V_{CC} = 6.5 v$

..... ۵۷

جدول (۴-۵): مقایسه اثر تقارن در سیگنال دریافتی از نوسان ساز اتصال ضربداری

..... ۵۹

جدول (۴-۶): توان دریافتی از نوسان ساز اتصال ضربداری زمانی که یک طرف نوسان ساز خاموش باشد

..... ۵۹

جدول (۴-۷): مشخصات نقطه کار و بسامد دریافتی در بازه ۲۰۰ تا ۶۰۰ مگاهرتزی

..... ۶۱

جدول (۴-۸): نقطه کار و بسامد دریافتی مدار اتصال ضربداری با خودالقا ۳۳ نانوهانری و خازن ۱۰

پیکوفاراد

..... ۶۴

جدول (۴-۹): تغییر اندازه المان خودالقا و خازن در هسته نوسان ساز

..... ۶۵

جدول (۴-۱۰): دو حالت کاری مدار اتصال ضربداری با ترانزیستور 2SC3355

۶۶

جدول (۴-۱۱): دریافت سیگنال از مدار اتصال ضربداری که در مدار تشدید آن تنها خودالقا است

..... ۶۶

جدول (۴-۱۲): جهت بررسی انواع خازن با خودالقا ۱۵ نانوهانری

۸۰

جدول (۴-۱۳): افت اطراف فرکانس مرکزی در حاشیه ۱۰ مگاهرتزی برای دو فرکانس ۳۹۵ مگاهرتز و

۴۴۰ مگاهرتز

۸۰

جدول (۴-۱۴): افت فرکانس اطراف فرکانس مرکزی در حاشیه ۱۰ مگاهرتز برای فرکانس‌های مرکزی

۵۹۰ و ۶۶۵ و ۸۲۰ مگ

۸۰

جدول (۴-۱۵): تضعیف ناشی از خودالقا ساخته شده با خازن ۳.۳ پیکوفارادی

۸۳

جدول (۴-۱۶): تشدید با خودالقا ساخته شده از تکه سیم ۱۷ میلی‌متری با خازن ۳.۳ پیکوفاراد

۸۴

جدول (۴-۱۷): نقطه کار مدار اتصال ضربداری که در آن از خودالقا ساخته شده، استفاده شده

است..... ۸۴

جدول (۴-۱۸): سیگنال دریافت شده از خودالقا ساخته شده

۸۴

جدول (۵-۱): بررسی خودالقا متفاوت تولید شده از یک شرکت

۹۱

فصل اول

۱-۱ دیدگاه مولف:

ساخت نوسان ساز نیاز به دانش تحلیلی مدارهای آنها دارد. برای کاهش حجم متن پایان نامه و از طرفی، این متن با نگاه تخصصی برای ساخت و اندازه گیری نوسان ساز ارائه شده است؛ لذا توصیه می شود قبل از مطالعه این متن، دانش تحلیلی مدار (طراحی و مفهوم عملکرد نوسان ساز) داشته و یا از طریق کتاب های برجسته ای مانند میکروالکترونیک از بهزاد رضوی و تقویت کننده های ترانزیستوری مایکروویو (تحلیل و طراحی) از گونزالس کسب کنید. همچنین بخشی از متن ارائه شده در مورد ساخت خوالقا می باشد، لذا مطالعه اولیه خودالقا و خازن نیز به خواننده واگذار می شود. دیدگاه متن ارائه شده، در مورد طراحی مدار چاپی، کار با قطعات متنوع SMD و تشخیص صحت عملکرد این قطعات، پوشش مغناطیسی، ساخت خودالقا و آزمایش کیفیت آن، نحوه بهینه اندازه گیری و اثر بارگذاری دستگاه اندازه گیری روی مدار نوسان ساز می باشد.

۲-۱ مقدمه

دنیای امروزی را نمی توان بدون الکترونیک و مخابرات تصور کرد. آسایش و تسریع امور شاهد این مدعی است. تولید سیگنال با دامنه، بسامد و البته نویز فاز مورد نظر یکی از اساسی ترین الزامات مدارهای مخابراتی است؛ به عبارت دیگر بدون نوسان سازها ارسال و دریافت پیام های رادیویی امکان پذیر نیست. در بسیاری از مدارهای الکترونیکی دست کم شاهد حضور یک نوسان ساز خواهیم بود؛ به عنوان مثال در سیستم های RF مثلا در گوشی های همراه، رادار و غیره، پزشکی، منابع تغذیه، دستگاه های اندازه گیری، رایانه ها، وسایل دیجیتال نظیر شمارنده ها، تایمرها و دستگاه های فراوان دیگر را می توان نام برد. طراحی و ساخت چنین دستگاهی که دارای ویژگی های نام برده باشد از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

با پیشرفت فناوری الکترونیک و مخابرات، بسامدهای کاری مدارهای رادیویی پیوسته در حال افزایش می‌باشد [۱]، یکی از مزایای افزایش بسامد، کوتاه‌تر شدن طول آنتن می‌باشد. همچنین برای افزایش حجم داده انتقالی با سرعت بالا در حدود ۱۰۰Mbps، نیازمند به استفاده از باند پهن در بسامد بالا خواهیم بود [۲-۳].

۱-۲-۱ ضرورت نوسان‌ساز در مخابرات

حوزه مخابرات RF در دو دهه گذشته رشد سریعی داشته و در بسیاری از جنبه‌های زندگی ما رخنه کرده است [۴]. مخابرات بی‌سیم علاوه بر راحتی کاملاً محسوسی که دارد، از لحاظ توان مصرفی نیز بسیار مطلوب است زیرا در انتقال با کابل، توان به صورت نمایی ولی در انتقال به صورت تشعشعی، توان با یک نسبت تناسبی کاهش می‌یابد؛ لذا در فواصل طولانی محکوم به استفاده از انتشار و مخابرات بی‌سیم هستیم [۵]. برای انتشار نیاز به نوسان‌ساز می‌باشد؛ براساس میزان جابه‌جایی داده، مدولاسیون و براساس پروتکل، بسامد نوسان‌ساز مشخص می‌شود.

امواج رادیویی در بسامدهای پایین هنگام حرکت معمولاً سطح زمین را دنبال می‌کنند، ولی امواج با بسامد بالاتر (مثلاً حدود ۳۰۰ مگاهرتز) در خطوط مستقیم منتشر می‌شوند. بسامد کاری مخابرات بی‌سیم در فضای باز، بسامدهای زیر ۳۰ گیگاهرتز است. زیرا امواج با فرکانس بالاتر، تضعیف قابل ملاحظه‌ای در جو داشته و علاوه تولید امواج با این فرکانس، تقویت، مدولاسیون و آشکارسازی آنها از لحاظ عملی مشکل می‌باشد. در بسامدهای بالاتر از ۱۰۰۰ گیگاهرتز وارد مخابرات نوری خواهیم شد که در حال حاضر تنها از طریق فیبرهای نوری (و نه در فضای باز) انجام می‌پذیرد [۶].

فرستنده‌ها و گیرنده‌ها انواع گوناگون دارند و در کاربردهای مختلف رسانه‌ای، صنعتی، نظامی و تفریحی استفاده می‌شوند. برای پوشش تمام کاربردهای فرستنده و گیرنده، راه‌های تقسیم زمانی

(¹TDD)، تقسیم بسامدی (²FDD) و ایجاد محدودیت در اندازه توان تشعشی وجود دارند [۷]. در تقسیم بسامدی هر محدوده بسامدی را برای یک کاربرد خاص اختصاص می‌دهند، به همین دلیل ساخت تجهیزات پهن‌باند، می‌تواند کاربردهای متنوع داشته باشد و همچنین برای هدف‌های خاصی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲-۲ ضرورت نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ

در بسیاری از کاربردها تغییر بسامد اهمیت خاصی دارد، مثلاً در دستگاه‌های اندازه‌گیری نیاز به بررسی، محدوده‌ای از طیف است. در تقسیم‌های بسامدی، تغییر بسامد با دقت بالا و در زمان کوتاه، اهمیت ویژه‌ای دارد لذا ساخت نوسان‌سازی که بسامد آن قابلیت کنترل داشته باشد به شدت مورد توجه است. این کار معمولاً با کنترل جریان و یا با کنترل ولتاژ صورت می‌گیرد، نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ^۳ را به اختصار VCO و نوسان‌ساز کنترل شده با جریان^۴ را CCO می‌گویند.

امروزه برای ساخت نوسان‌سازها هم از مدارهای مجتمع و هم از مدارهای با قطعات گسسته استفاده می‌شود [۸]. به دلیل نیاز مطرح شده به نوسان‌ساز در بسیاری از کاربردها برای صنعت مخابرات و میکرو الکترونیک، بسیاری از شرکت‌های فناوری در این بازار صاحب تولیداتی هستند. اما برای بدست آوردن این محصولات باید هزینه بالایی پرداخت [۹]. به این دلیل طراحی و ساخت این قطعات دارای توجیه می‌باشد. در این پروژه طراحی و ساخت نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ پهن باند در محدوده یک تا ۱.۵ گیگاهرتز انجام شده است.

۱-۲-۳ نوسان‌ساز باند باریک و پهن باند

¹ - Time Division Duplexing
² - Frequency Division Duplexing
³ - Voltage Control Oscillator
⁴ - Current Control Oscillator
⁴ - narrow band

نوسان ساز باند باریک^۱ برای کاربردهای خاص طراحی می شود به عنوان مثال در گوشی های همراه برای جابه جایی داده ها، دو کانال (یکی برای فرستنده و دیگری برای گیرنده) اختصاص داده شده است، (مثلا برای همراه اول باند GSM در فرکانس حدود ۹۰۰ مگاهرتز می باشد) هر کدام از این کانال ها ۲۵ مگاهرتز پهنای باند دارد. این ۲۵ مگاهرتز پهنای باند را به ۱۲۵ کانال تقسیم می کنند که برای هر کاربر ۲۰۰ کیلوهرتز در نظر گرفته می شود، لذا به این کاربردها باندهای باریک گفته می شود. وظیفه نوسان ساز تولید یک سیگنال مرکزی و با قابلیت تغییر سریع بسامد در پهنای باند ۲۵ مگاهرتزی می باشد. وظیفه تنظیم دقیق آن به عهده حلقه قفل فاز می باشد که این نوسان ساز جزئی از حلقه قفل فاز می باشد.

با توجه به تقسیم بسامدی اشاره شده این سوال مطرح می شود، چرا به دنبال ساخت نوسان ساز پهن باند هستیم؟ اولین پاسخ این است که در ساخت دستگاه های اندازه گیری مانند تحلیل گر شبکه، طیف سنج، منابع تولید سیگنال و نوسان نگار به نوسان ساز پهن باند نیاز می باشد. علاوه بر این شرکت Mini circuit یکی از سازندگان معتبر قطعات الکترونیک از جمله فرکانس بالا، مزیت ساخت نوسان ساز پهن باند را به صورت مختصر در زیر توضیح می دهد [۱۰].

۱- کاربردهای راداری

۲- اقدامات ضد الکترونیکی^۲ (در این دو کاربرد، نوسان سازهای پهن باند باید قابلیت تنظیم سریع بسامد داشته باشند که بتواند محدوده تغییرات را پوشش دهند.)

۳- یک VCO استاندارد می تواند به عنوان یک نوسان ساز برای اهداف کلی که انواع کاربرد را پوشش می دهد استفاده شود. البته این مزایا می تواند منجر به هزینه بیشتری شود.

۴- استفاده از نوسان سازهای پهن باند نیاز به VCO های کمتری برای پوشش، محدوده فرکانسی دارند.

۵- زمانی که کشش بسامدی کافی در خارج از محدوده بسامدی رخ دهد، نوسان سازهای پهن باند

به راحتی می‌توانند کار تطبیق بسامد را انجام دهند.

همچنین امروزه سیستم‌های UWB (بازه بسامدی ۳.۱ تا ۱۰.۶ گیگاهرتزی) شدیداً به چنین VCO نیاز دارند

۳-۱ تعریف فنی نوسان‌ساز

نوسان‌ساز، مداری است که بدون اعمال سیگنال تکرارشونده در ورودی آن، در خروجی، سیگنال متناوب تولید می‌کند. نوسان‌سازها جریان مستقیم (dc) را از منبع تغذیه دریافت می‌کنند را به شکل موج‌های متناوب، اغلب یک موج سینوسی یا یک موج مربعی تولید می‌کنند. نوسان‌سازها را براساس بسامد، شکل موج، نوع تشدید کننده و غیره تقسیم بندی می‌کنند.

۱-۳-۱ نوسان‌ساز براساس شکل موج تولید شده

دو نوع اصلی از نوسان‌سازها وجود دارد: نوسان‌ساز سینوسی و نوسان‌ساز غیر سینوسی

۱-۱-۳-۱ نوسان‌ساز سینوسی

از انواع مدارهای سینوسی می‌توان به مدل‌های معروفی چون: (۱) نوسان‌ساز آرمسترانگ (۲) نوسان‌ساز هارتلی (۳) نوسان‌ساز کولپیتس (۴) نوسان‌ساز کلاپ (۵) نوسان‌ساز LC تزویج شده اشاره کرد. [۱۱]

۲-۱-۳-۱ نوسان‌ساز غیر سینوسی

به عنوان مثال نوسان‌ساز حلقوی^۱ که با بهم پیوستن تعداد فردی (بیش از یک) از وارون‌کننده‌ها به همدیگر نوسان ایجاد می‌کند. این نوسان‌سازها نویز فاز بیشتری نسبت به نوسان‌سازهای سینوسی دارند [۱۲].

۴-۱ مدیریت طراحی نوسان‌سازها

نوسان‌سازهای بسامد بالا چالش‌های فراوانی دارند چالش‌های مانند نوع مدولاسیون در سیستم‌های مخابراتی، نویز فاز، توان مصرفی، شرایط ساخت و کمبود قطعات نام برد که این عوامل باعث می‌شود تا ساخت این قطعه غیرخطی دشوار شود.

¹ - Ring Oscillator

در این پروژه به دنبال نوسان‌ساز پهن باند بسامد بالایی خواهیم بود که در بازه بسامدی یک تا ۱.۴ گیگاهرتز به عنوان تخریب کننده (جرم) عمل کند. همچنین با بهبود نویز فاز آن، برای کاربردهای خاصی استفاده شود. این درخواست، ایده‌ی طراحی نوسان‌ساز سینوسی که تشدید کننده LC را دارد، ارائه می‌دهد. تطبیق خروجی ۵۰ اهم معیار دیگری برای طراحی می‌باشد.

۱-۴-۱ محدودیت فرکانس بالا

در مدارهایی با بسامد پایین چند مگاهرتزی بردهای مدارچاپی تنها به عنوان بستری برای قرار دادن المان‌ها و برقراری ارتباط بین آن‌ها است. با افزایش فرکانس تا حد چند گیگاهرتز، پدیده‌هایی امکان وقوع دارند که در صورت عدم طراحی صحیح مدار چاپی و نا آشنایی با اصول لازم در این زمینه به بروز اختلال در عملکرد سیستم منجر می‌شود [۱۳]. از عوامل تاثیر گذار در راستای این پروژه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش ابعاد المان‌های مدار و فاصله بین المان‌ها
- کاهش عرض مسیر سیگنال‌ها و فاصله بین آن‌ها
- اندازه مسیر سیگنال و اختلاف فاز آن‌ها
- اندازه خودالقای و تشعشع‌های ناخواسته
- دریافت سیگنال‌های ناخواسته

با توجه به مطالب فوق، آگاهی و رعایت نکات لازم در طراحی مدارچاپی به منظور حفظ کیفیت سیگنال‌ها^۱، جلوگیری از تاثیر متقابل، اثر سیستم‌های مختلف بر روی یکدیگر^۲ و سازگاری الکترومغناطیسی (EMC^۳) ضروری به نظر می‌رسد. با افزایش بسامد لازم است اثرات خطوط انتقال سیگنال در طراحی سیستم مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که طول مسیر سیگنال روی برد مدار چاپی قابل مقایسه با طول موج سیگنال باشد لازم است محاسبه خطوط انتقال در طراحی مورد توجه قرار گیرد [۱۴].

۱-۴-۲ ساختار بردهای مدار چاپی

بردهای مدارچاپی مجموعه‌ای از یک یا چند لایه هادی هستند که با تعدادی عایق از یکدیگر جدا شده‌اند. این مجموعه به منظور نگهداری المان‌های مدار و ایجاد مسیرهای مناسب جهت ارتباط آن‌ها

^۱- Signal Integrity

^۲- EMI (Electromagnetic Interface)

^۳- Electromagnetic Compatibility

مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳]. به طور معمول از مس برای ماده هادی استفاده می‌شود؛ اما به‌عنوان عایق، مواد متعددی به کار می‌رود که با توجه به پارامترهایی از قبیل هزینه، پایداری حرارتی، ضریب ثابت عایق^۱ و پایداری مکانیکی نوع عایق تعیین می‌شود. عایق FR4 به‌عنوان رایجترین ماده در بسیاری از کاربردها با فرکانس کاری کمتر از ۲.۵ تا ۳ گیگاهرتز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. با افزایش فرکانس نوع ماده دی‌الکتریک و عرض آن اهمیت پیدا می‌کند. در فرکانس بالا از موادی مانند Gtek و یا Roger استفاده می‌شود [۱۵]. در این پایان‌نامه از تکنیک مطرح شده در [۱۳-۱۶] استفاده شده است.

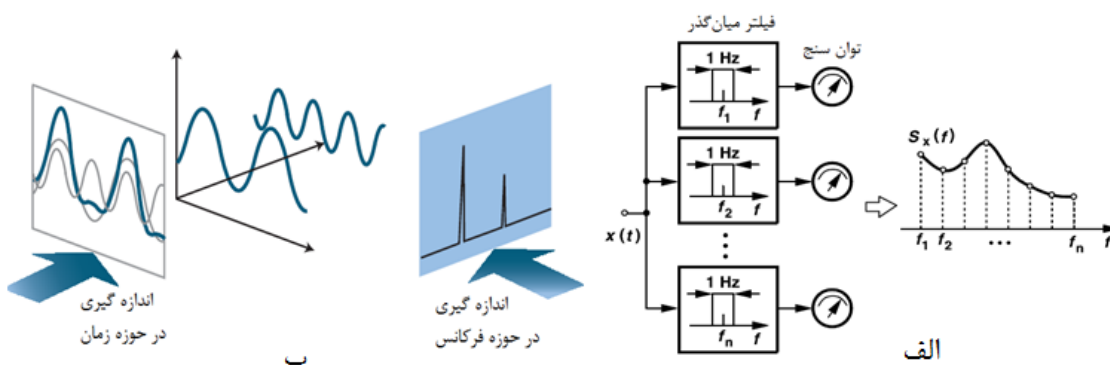
۱-۴-۳ قطعات فشرده

در بسامدهای بالا از المان‌های روی سطح استفاده می‌شوند [۱۴] که این المان‌ها قابلیت کار در بسامد بالاتر را دارند. از خودالقا با کیفیت خوب coilcraft استفاده شده است. همچنین ورکتورهای BB405، BB135 و ترانزیستور BFP420 به ترتیب تولید شرکت‌های NXP و Infineon می‌باشند.

۱-۵-۵ تجهیزات اندازه‌گیری مدارهای فرکانس بالا

۱-۵-۱ طیف سنج^۲

از این دستگاه به منظور نمایش طیف بسامدی استفاده می‌شود. مفهوم اساسی کاری طیف‌سنج این است که توان تمام مولفه‌های فرکانسی را اندازه می‌گیرد که در شکل (۱-۱ الف) مشاهده می‌شود. یک دسته فیلتر میان‌گذر با پهنای باند 1Hz در فرکانس‌های مرکزی $f_1 \dots f_n$ می‌تواند توان متوسط در هر یک از این فرکانس‌ها را اندازه بگیرد [۱].



شکل (۱-۱): الف) نمای مفهوم کار طیف‌سنج [۴] ب) نمای کاری طیف‌سنج و نوسان‌نگار [۱۷]

^۱- Dielectric Constants

^۲-Spectrum Analyzer

شکل (۱-۱ ب) مفهوم حسی طیف‌سنج در مقابل کار نوسان‌نگار را نشان می‌دهد. در فصل سوم و چهارم نحوه اندازه‌گیری و استفاده از طیف‌سنج بیان شده است.

۱-۵-۲ نوسان‌نگار^۱

نوسان‌نگار معمولاً در فرکانس‌های پایین‌تر کاربرد دارد که شکل موج سیگنال را در حوزه زمان نشان می‌دهد. نوسان‌نگارها دو دسته آنالوگ و دیجیتال می‌باشند. امروزه معمولاً از نوسان‌نگار دیجیتال استفاده می‌شود که از سیگنال ورودی نمونه برداری می‌کند و آن را نمایش می‌دهد. در فصل سوم نحوه کاری و حساسیت نوسان‌نگار استفاده شده در این پروژه بیان خواهد شد.

۱-۵-۳ تحلیل‌گر شبکه^۲

این دستگاه پارامترهای S مدار را اندازه‌گیری می‌کند [۱۸]. به عبارت دیگر می‌توان با ایجاد مدارهای آزمونی، قطعات و المان‌های مدار، مانند خودالقا، خازن و ترانزیستور را اندازه‌گیری کرده و از صحت عملکرد آن در بسامد بالا اطمینان حاصل کرد.

۱-۶ مروری بر فصل‌های دیگر

در این بخش ساختار پایان‌نامه مطرح می‌شود. در فصل دوم مروری بر انواع نیمه‌هادی‌های به کار رفته در نوسان‌ساز و مقایسه آنها و سپس بررسی انواع تشدیدکننده‌ها و سرانجام مروری بر مدارهای به کار رفته در ساخت نوسان‌سازها مطرح می‌شود. در فصل سوم کارهایی که در فرکانس‌های پایین که به عنوان محمولی برای ساخت نوسان‌ساز فرکانس بالا احتیاج است مطرح شده است. به عنوان مثال می‌توان به انواع آزمایش‌ها روی برد سوراخدار و کار با نوسان‌نگار و طیف‌سنج و کابل‌های استفاده شده نام برد. در فصل چهارم روش‌های اندازه‌گیری فرکانس بالا و محدودیت‌های که برای اندازه‌گیری فرکانس بالا وجود دارد و برخورد با قطعات نامرغوب و روش‌های شناسایی آن بیان شده است و در فصل آخر نتایج استفاده از قطعات مرغوب و دریافت سیگنال با محدودیت‌های مطرح شده در فصل چهارم مطرح گردیده است و همچنین نتایج مورد انتظار از تحلیل تئوری و شبیه‌سازی و جوابی که در عمل مشاهده شده بیان گردیده است. در انتها مراجع استفاده شده و نکات کاربردی که سازندگان در این زمینه ارائه نموده‌اند آورده شده است.

¹ -Oscilloscope

² -Network Analyzer

فصل دوم: روش و مدل‌های ساخته شده نوسان‌سازها

۱-۲ مقدمه

در این فصل ابتدا دلیل به کار گرفتن عنصر فعال در نوسان‌سازها مطرح خواهد شد و سپس انواع عنصر فعال معرفی و با یکدیگر مقایسه خواهند شد. همچنین ساختار دو نوسان‌ساز که در این پروژه ساخته شده از دو دیدگاه، بازخورد مثبت و مقاومت منفی به مختصر بیان خواهد شد. در پایان تاریخچه نوسان‌ساز و چند مدار گوناگون گسسته، ساخته شده در شرکت‌های مختلف مطرح خواهند شد.

۲-۲ عنصر فعال

با توجه به آنکه به دنبال ساخت نوسان‌ساز سینوسی خواهیم بود، مدار تشدید خودالقا و خازن انتخاب مناسبی می‌تواند باشد. خودالقا و خازن دارای تلفات می‌باشند (درسال ۱۸۹۲ فیتزجرالد تلاشی برای ساخت مدار تشدید بدون اتلاف صورت داد که تاکنون چنین چیزی ساخته نشده است)، لذا باید عنصر فعالی، این اتلاف را جبران کند تا نوسان مدار تشدید با دامنه و بسامد مورد نظر ادامه یابد. در تعبیر دیگر چون خودالقا و خازن دارای تلفات می‌باشند یعنی یک مقاومت مثبت، لذا یک مقاومت منفی می‌بایست آن تلفات (مقاومت مثبت) را خنثی کند. مقاومت منفی توسط عنصر فعال ساخته می‌شود.

۳-۲ انواع عنصر فعال:

براساس اینکه چه توان و چه بسامدی از نوسان‌ساز دریافت شود، عنصر فعال مشخص می‌شود. در توان‌های بالا لامپ‌ها (نظیر کلاپسترون و مگنترون) و در توان‌های پایین از نیمه هادی ترانزیستور و دیود استفاده می‌شود. مدارهای به کاررفته در این پایان‌نامه از ترانزیستور استفاده می‌کنند. در زیر افزاره‌های دیود و ترانزیستور مطرح شده است و انواع آن معرفی و مقایسه خواهند شد.

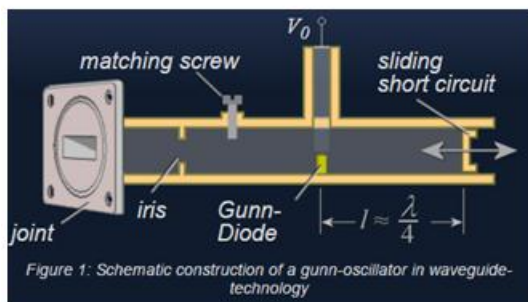
۱-۳-۲ دیود

افزاره دیود خود به چند زیر بخش تقسیم می‌شود

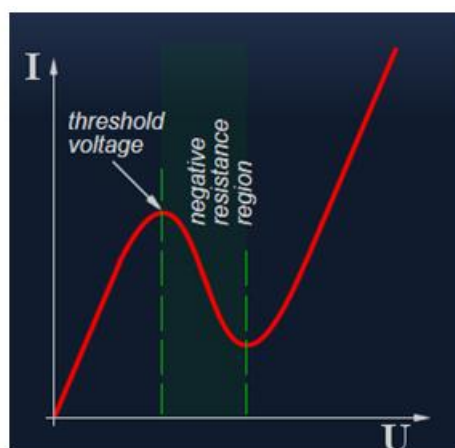
۲-۳-۱-۱ دیود گان^۱:

دیود گان به افتخار محقق انگلیسی به نام J. B. Gunn که در سال ۱۹۶۳ آن را اختراع کرد نام گذاری شد. وی در این اختراع اثر میدان الکتریکی قوی در نیمه هادی‌ها را بررسی کرد. گان در آزمایش‌های خود متوجه شد زمانی که میدان الکتریکی اعمال شده به کریستال گالیم آرسناید^۲ به حدود 2000 V/cm می‌رسد، نوساناتی با بسامد خیلی بالا در آن رخ می‌دهد.

مشخصه جریان به ولتاژ دیود گان را در شکل (۲-۱ الف) نشان داده شده است. به روشنی می‌توان دید از ولتاژ آستانه به بعد در محدوده مقاومت منفی قرار می‌گیرد. همچنین آزمایش‌ها نشان داده که با نمونه‌های کوتاه‌تر (حدود ۰.۱ میلی‌متر) نوسان‌های متناوب بهتری به دست می‌آید.



ب



الف

شکل (۲-۱): الف) نمودار جریان بر حسب ولتاژ دیود گان، ب) نمای تولید سیگنال متناوب با دیود گان در موجبر

گان توانست شدت میدان الکتریکی را در داخل کریستال بر حسب فاصله و زمان اندازه‌گیری نماید. او مشاهده کرد که در هنگام وقوع نوسان‌ها ناحیه‌ای با شدت میدان بالا^۳ در نزدیکی کاتد ایجاد می‌شود که به طرف آند حرکت کرده و در آنجا از بین می‌رود و دوباره این کار پیوسته تکرار می‌شود. زمان لازم برای رسیدن این حوزه به آند به زمان گذار^۴ دیود معروف است که این زمان، بسامد نوسان دیود را مشخص می‌کند؛ به طوری که یک کریستال کوتاه در بسامد بالاتری از یک کریستال بلندتر نوسان خواهد کرد (مثلاً عرض ناحیه فعال در بسامد 10 GHz حدود $10 \mu\text{m}$ می‌باشد) [۱۹].

چنانچه دیود گان در نوعی مدار تشدید قرار داده شود (مانند محفظه‌های تشدید کواکسیال یا موجبر)

- 1 - Gunn diode
- 2 - Gallium Arsenide
- 3 - high Field Domain
- 4 - Transit Time

که بسامد تشدید آن نزدیک بسامد مربوط به زمان گذار دیود گان باشد، می‌توان بسامد نوسان دیود را اندکی تغییر داده و آن را به بسامد تشدید مدار خارجی منطبق کرد. همان‌طور که در شکل (۱-۲) مشاهده می‌شود، از طریق V_0 می‌توان دیود گان را در نقطه کار مناسب قرار داد و از طریق iris پنجره‌ای که در یکی از دیوارهای محفظه تشدید تشکیل شده است توان مایکروویو به موجبر خروجی تزویج می‌شود. تغییر بسامد این نوسان‌ساز از دو طریق مکانیکی و الکتریکی صورت می‌گیرد.

(۱) تنظیم مکانیکی بسامد^۱

در این دیدگاه بسامد تشدید محفظه را با تغییر دادن ابعاد آن و یا با یک پیچ تنظیم (همان‌طور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده و معادل یک راکتانس متغییر است) تغییر داده می‌شود.

(۲) تنظیم الکتریکی بسامد^۲

در این روش خازن متغییر با ولتاژ (دیود Varactor) به موازات دیود گان بسته می‌شود. با تغییر ولتاژ مستقیم (dc) اعمال شده به دیود و رکتور، اندازه خازن تغییر می‌کند، تا بسامد تشدید مطلوب حاصل شود.

دیود گان و دیود IMPATT (کمی جلوتر مطرح می‌شود) مشابه است، اما قابل تعویض نیست. دیود گان که از گالیم آرسناید ساخته شده می‌تواند تا بسامد ۲۰۰ گیگاهرتز کار کند. دیود گان ساخته شده از گالیم نیتراید می‌تواند تا بسامد ۳ تراهرتز برسد. مشخصات دیود گان شامل محدوده بسامد، حداقل توان، ولتاژ کار، جریان کار و بسته بندی می‌باشد [۲۰].

دیود گان احتیاج به جریان نسبتاً زیاد (حدود چند دهم آمپر) دارد و بازدهی کلی آن بسیار کم است (حدود چند درصد) و اعمال ولتاژ بیش از حد مجاز، به سرعت آن را می‌سوزاند.

۲-۱-۳-۲ دیود تونل^۳

این دیود در یک محدوده دارای مقاومت منفی است که می‌توان از آن در مدار نوسان‌ساز استفاده کرد [۲۱].

^۱ - Mechanical Tuning

^۲ - Electronic Tuning

^۳ - Tunnel diode

۲-۳-۱-۳ دیود زمان گذر بهمنی ضربه ای^۱(IMPATT) :

نوعی دیود ریزموج که اساس کار آن ترکیب اثر شکست بهمن ضربه ای و اثر زمان گذر حامل در تراشه نازک گالیم آرسناید و یا سیلیکون که در نهایت مشخصه مقاومت منفی تولید می کند. با قراردادن صحیح دیود در کاواک یا موج بر تنظیم شده می توان نوسان ساز یا تقویت کننده ای به دست آورد که در گستره گیگا هرتز کار کند [۲۲].

۲-۳-۱-۴ دیود زمان گذر بهمنی پلاسما به دام افتاده^۲ :

دیود ریزموج حالت جامد که بسامد کار آن به عنوان نوسان ساز به طور تقریبی با ضخامت لایه فعال تعیین می شود [۲۳].

۲-۳-۲ ترانزیستور:

از انواع ترانزیستور می توان ترانزیستور اتصال دو قطبی^۳، ترانزیستور اثر میدانی^۴، ترانزیستور اتصال دو قطبی نوع دیگر^۵ و ترانزیستور با قابلیت حرکت سریع الکترون^۶ نام برد [۲۴] و در تقسیم بندی تکنولوژی ساخت می توان به سیلیکون (Si)، گالیوم آرسناید (GAAs) و سیلیکون ژرمانیوم (SiGe) اشاره کرد.

کار با BJT تا بسامدهای پایین تر از ۸ گیگاهرتز مطلوب می باشد. اما بالاتر از این بسامد کارایی خوبی نداشته و از FET ها استفاده می شود. قابل ذکر است که BJT ها تا ۱۰dB مشخصه نویز فاز بهتری از FET ها دارند [۲۵].

کارهای زیادی برای مقایسه ی عملکرد HEMT، MESFET و HBT انجام شده است. در سال ۱۹۸۸ گزارش شده است که در دمای اتاق MESFET عملکرد بهتری از HEMT ها دارند بطوریکه نویز فاز MESFET ها و HEMT ها در افسست ۱۰kHz از بسامد مرکزی به ترتیب برابر با ۹۵dBc/Hz و ۸۵dBc/Hz است [۲۶].

بررسی های انجام شده بین HEMT و HBT که در سال ۱۹۹۵ در [۲۷] انجام شده است، نشان می -

1 - IMPATT Diode (IMPact ionization Avalanche Transit-Time diode)

2 - TRAPATT Diode (TRApped Plasma Avalanche Triggred Transit diode)

3 - Bipolar Junction Transistor (BJT)

4 - Field Effect Transistor

5 - Hetero junction bipolar transistor (HBT)

6 - High electron mobility transistor (HEMT)

دهد که HBTها می‌توانند در نوسان‌سازها با نویز فاز پایین بکار برده شوند در حالی که نویز ترانزیستورهای HEMT در ازای بالا رفتن بسامد نسبت به ترانزیستورهای HBT، کمتر افزایش می‌یابد.

۲-۴ مقایسه عنصر فعال نیمه هادی:

ترانزیستور در مقایسه با دیودها عنصرهایی با توان‌دهی بالا می‌باشند و از نویز فاز خوبی نیز برخوردارند. از جمله ضعف‌های دیود گان می‌توان به جریان آستانه^۱ اشاره کرد [۲۵]. بیشتر منابع تولید سیگنال تا قبل از سال ۱۹۷۰ با استفاده از دیود Gunn و IMPATT بودند. از اواسط دهه هفتاد استفاده از عناصر سه دهانه افزایش پیدا کرد و در اواخر این دهه از تشدید کننده‌های عایقی استفاده شده است [۲۵].

دیودهایی مانند دیود Impatt و یا دیود Gunn عنصرهای مقاومت منفی می‌باشند که با اعمال تغذیه مناسب، تولید مقاومت منفی می‌کنند. اما ترانزیستورها علاوه بر اعمال تغذیه مناسب نیاز به مدار بازخورد دارند تا در ناحیه غیرخطی وارد شوند و تولید مقاومت منفی نمایند. به بیان دیگر در عنصر دیودی تولید مقاومت منفی فقط وابسته به مکانیزم داخلی دیود است، اما در ترانزیستور علاوه بر نوع آن، به مدار بازخورد نیز وابسته می‌باشد. البته ویژگی مهم عنصرهای دیودی قابلیت کارکرد در بسامد-های بالاتر می‌باشد.

عنصر فعال مورد بررسی در این پایان‌نامه ترانزیستور می‌باشد. ترانزیستور نقش بسیار پررنگی در مقدار توان خروجی و همچنین مقدار نویز فاز نوسان‌سازها دارد. با توجه به معیار بارکهاوزن باید در عمل عنصر فعال سیگنال خروجی و پس‌خورد را به اندازه کافی تقویت کند تا شرایط نوسان برقرار شده و باقی بماند. چهار معیار اصلی برای انتخاب ترانزیستور در نوسان‌سازها که باید در نظر گرفته شود عبارتند از: محدوده بسامدی (بسامد قطع)، توان خروجی، بهره و نویز. برای اینکه نوسان‌ساز با قابلیت رقابت ساخته شود باید به دنبال ترانزیستورهایی بود که بتواند با منابع ولتاژ پایین کار کند [۱۰]. یعنی نوسان‌ساز با ولتاژ تغذیه کوچک‌تر درست شود.

۲-۵ انواع نویز

نویز حرارتی^۲ و شات^۳ روی نسبت سیگنال به نویز، در فاصله‌ای دور از بسامد مرکزی موثر خواهد بود،

^۱ - threshold current

^۲ -Thermal

^۳ -Shot

ولی نویز فلیکر^۱، نویز نوسان ساز در فاصله نزدیک به بسامد مرکزی مهم می شود [۲۸]. این نویز، نویز فاز گفته می شود و بر حسب فاصله از بسامد اصلی و میزان افت آن کیفیت نوسان ساز مشخص می شود.

۲-۵-۱ نویز فاز:

از لحاظ تحلیلی در نوسان سازها، انتظار ضربه در طیف خروجی آن می رود، اما عواملی باعث می شود که ضربه تبدیل به طیف شود [۴]. جیتر معادل زمانی نویز فاز است که در بسامد مطرح می شود. نویز فاز یک پدیده ناخواسته و مزاحمی است که به دنبال کاهش و یا حتی حذف آن هستیم. اهمیت نویز فاز از آن جهت است که باعث محدودیت در نوع مدولاسیون می شود (این پدیده در تقسیم کانال های بسامدی با عرض کوچک را دچار مشکل می کند). این باعث شده که بسیار ویژه در ساخت نوسان ساز به نویز فاز توجه شود (حتی راضی به افزایش توان در مقابل کاهش نویز فاز هستند) و روند مقاله ها در این مسیر بسیار زیاد است که نقطه عطف این مقاله ها، مقاله حاجی میری می باشد [۲۹-۳۰].

نویز فاز معاوضه ای با گستره تنظیم و توان مصرفی نوسان ساز دارد که طراحی نوسان ساز پهن باند را مشکل تر می کند [۴].

۲-۶ تحلیل نوسان ساز

با توجه به تجربه ای که در تحلیل نوسان سازها حاصل گردید، اغلب در تحلیل عناصر سه پایه (ترانزیستور) از دیدگاه بازخورد مثبت استفاده می شود و تحلیل نوسان سازها با دیود از دیدگاه مقاومت منفی صورت می گیرد.

۲-۶-۱ دیدگاه بازخورد

همان طوری که بیان شد در یک نوسان ساز باید عنصر فعال مثلا ترانزیستور وجود داشته باشد. در معیار بارکهاوزن برای داشتن نوسانی با دامنه مشخص الزاما بخشی از توان خروجی به ورودی بازخورد می شود تا بسامد نوسان ساز پایدار بماند. وقتی بازخورد مطرح می شود می توان از دیدگاه کنترلی نوسان ساز را بررسی کرد. در این دیدگاه قطب نهایی نوسان ساز برای تولید سیگنال سینوسی پایدار روی محور $j\omega$ قرار می گیرد. برای اینکه نوسان ساز خود راه انداز (فقط با منبع تغذیه کار کند) باشد، باید قطب های نوسان ساز در ابتدا در نیمه راست محور $j\omega$ باشد و سپس بعد از خود راه اندازی به روی محور $j\omega$ برگردد. وقتی قطب ها در سمت راست محور $j\omega$ باشد یعنی ناپایداری و برای آنکه بتوان روی محل قطب کنترل ایجاد کرد نیاز به بازخورد احساس می شود. با توجه به ناپایداری و کنترل قطب ها،

¹ - Flicker

بازخورد مثبت مطرح می‌شود.

۲-۶-۲ دیدگاه مقاومت منفی

این دیدگاه به صورت گسترده‌ای در تحلیل و طراحی نوسان‌سازهای RF و میکروویو استفاده می‌شود (هرچند نوسان‌سازهای بسامد پایین را نیز می‌توان با این روش طراحی کرد) روش‌های متعددی برای ایجاد مقاومت منفی وجود دارد. از جمله می‌توان به دیودهای GUNN و IMPATT اشاره کرد که باید نقطه کار آن‌ها در جایی قرار گیرد تا دیود در نقش مقاومت منفی عمل کند. این کار را نیز می‌توان با استفاده از ترانزیستورهای ناپایدار در بسامد نوسان مورد نظر است صورت گیرد. تحلیل ریاضی بازخورد مثبت و مقاومت منفی در [۳۱ و ۴] آمده است.

۲-۷ دسته بندی نوسان‌ساز براساس تشدید کننده

بیشتر نوسان‌سازهای بسامد پایین از نوع مقاومت و خازن می‌باشند. مثلاً نوسان‌ساز RC از این دست می‌باشد. در بسامدهای بالاتر مثلاً در بسامدهای رادیویی خودالقا و خازن به عنوان هسته مرکزی تعیین بسامد می‌باشد، تشدید کننده LC را مدار تانک نیز نامیده می‌شود. نوسان‌ساز LC را نمی‌توان در بسامدهای پایین و یا بسامدهای بالاتر از چند گیگاهرتز استفاده کرد زیرا در بسامدهای پایین ابعاد خودالقا و خازن بزرگ شده و برای بسامد بالا، اندازه سیم‌های خودالقا نمی‌تواند از یک مقداری کوچک‌تر باشد لذا هزینه‌بر بودن ساخت خودالقا محدودیتی برای این نوع از تشدید کننده‌ها ایجاد می‌کند. نوع سوم نوسان‌سازها، تشدید کننده‌های دی‌الکتریک می‌باشند که در بسامدهای پایین نوسان‌سازهای کریستالی^۱ و در بسامدهای بالا تشدید کننده‌های عایقی^۲ و تشدید کننده‌های سرامیکی^۳ می‌باشد. برای نوسان‌سازهای پهن باند از دیود ورکتور و تشدید کننده YIG استفاده می‌شود. در جدول (۲-۳) دسته بندی نوسان‌سازها برحسب نوع تشدید کننده آن‌ها بیان شده است.

جدول (۲-۳) دسته بندی نوسان‌ساز بر حسب نوع تشدید کننده

ردیف	نوع نوسان‌ساز	ویژگی	محدوده بسامدی	تشدید کننده
۱	نوسان‌ساز LC	نویز فاز خوب	VHF , UHF	عنصر فشرده
	نوسان‌ساز RC	نویز فاز نسبتاً خوب، سادگی	HF	
۲	نوسان‌ساز کریستالی	تک بسامد دقیق	HF , VHF	کریستال
۳	نوسان‌ساز با تشدید کننده عایقی	تک بسامد، نویز دور از بسامد مرکزی خوب	بالاتر از UHF	تشدید کننده عایقی

^۱ - Crystal oscillator

^۲ - Dielectric Resonator Oscillator

^۳ - Ceramic resonator

۴	نوسان ساز خط انتقال	با استفاده از مدار چابی و کاهش هزینه ساخت	بالا تر از UHF	خط انتقال
۵	نوسان ساز حفره ^۱	ضریب کیفیت بالا و پایدار	بالا تر از UHF	تشدید کننده حفره
۶	نوسان ساز قابل تنظیم جریان YIG	پهن باند	وسیع	YIG
	نوسان ساز قابل تنظیم ولتاژی	پهن باند	وسیع	ورکتور

همان طور که از جدول (۲-۳) قابل مشاهده می باشد به صورت عمده مدارهای تشدید به چهار دسته : فشرده، گسترده، عایقی و کنترل شده با سیگنال الکتریکی گروه بندی می شوند. برای تشریح هر کدام از این گروه ها مثالی بیان می شود. از مدارات فشرده می توان به: مقسم خازنی (نوسان ساز کلپیتس)، مقسم خودالقایی (نوسان ساز هارتلی) و ترانس تشدید اشاره نمود. تشدید کننده های خط انتقال و حفره از نوع مدارهای گسترده می باشند. مدارات تشدید کننده عایقی با توجه به بسامد کاری به دو دسته تقسیم می شوند که در بسامدهای پایین کریستال و در بسامد بالا تشدید کننده عایقی و سرامیکی استفاده می شود. نوسان سازهایی که بسامد آنها با سیگنال الکتریکی کنترل شوند به دو دسته تقسیم می شوند: کنترل شده با ولتاژ (VCO) و کنترل شده با جریان (CCO). در جدول (۲-۴) دسته بندی نوسان سازهای پهن باند را مشاهده می کنید، که عامل پهن باند شدن آنها از نوع جریان YIG و از نوع ولتاژ ورکتور می باشد

جدول (۲-۴): دسته بندی نوسان سازهای پهن باند

ردیف	نوع نوسان ساز	قابلیت تغییر	با تشدید کننده
۱	نوسان ساز قابل تنظیم	جریان	YIG
۲	نوسان ساز قابل تنظیم	ولتاژ	ورکتور

۲-۸ ورکتور

برای آنکه بسامد نوسان در تشدید کننده خودالقا و خازن (مدار تانک) تغییر کند، نیاز به تغییر خودالقا و یا خازن می باشد، چون ساختن خودالقایی که اندازه خودالقایی آن تغییر کند مشکل است لذا نیاز به تغییر خازن خواهد بود. تغییر اندازه خازن، در پیوند نیمه هادی صورت می گیرد.

۲-۸-۱ ساختار ورکتور

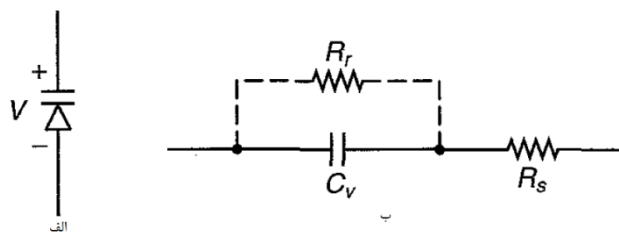
در پیوند نیمه هادی PN از اتصال دو نوع نیمه هادی مختلف به یکدیگر، خازنی ایجاد می شود. زمانی که پیوند نیمه هادی در بایاس معکوس قرار گیرد، با تغییر ولتاژ، اندازه خازن آن تغییر می کند. این

¹ - Cavity Resonator Oscillator

دیود به گونه‌ای طراحی می‌شود تا تلفات بسیار کمی داشته باشد بنابراین Q بالایی دارد. برای یک ورکتور از نوع شاتکی C_v برابر مقدار ظرفیت خازنی آن است، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_v = \frac{C_0}{\left(1 + \frac{V_{Tune}}{V_{bi}}\right)^{1/2}} \quad ۱-۲$$

در معادله ۱-۲ ظرفیت خازنی در ولتاژ صفر برابر C_0 ، V_{Tune} برابر مقدار ولتاژ معکوس و V_{bi} برابر پتانسیل اتصال ($V_{bi} = 0.7 V$) می‌باشد. مقاومت R_s بیان کننده مقاومت سری دیود می‌باشد، R_r مقاومت معکوس دیود می‌باشد که با توجه به بزرگ بودن آن قابل صرف نظر است [۳۱].

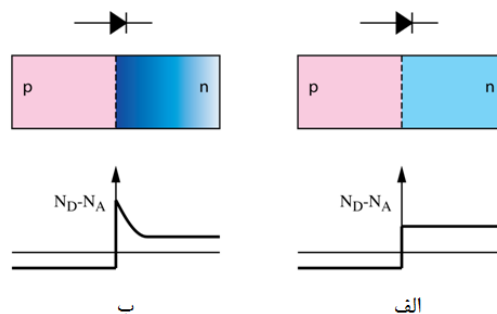


شکل (۲-۲): الف) نماد مداری دیود ورکتور ب) مدل مداری [۳۱]

ورکتورهای سیلیکونی، سریع‌ترین زمان آرامش^۱ را دارند. بسامد قطع یک ورکتور، بسامدی است که در آن $Q_v=1$ شود.

۲-۸-۲ ورکتور با خطسانی بیشتر

دو نوع ورکتور abrupt و Hyper abrupt وجود دارد. Hyper abrupt ها دارای محدوده تنظیم بزرگتر و با خطسانی بیشتر می‌باشند که یکی از سازندگان با کیفیت آن Sky works می‌باشد که البته ضعف این ورکتور در Q آن می‌باشد.



شکل (۲-۳) الف) ورکتور Abrupt ب) ورکتور Hyper Abrupt

^۱ - Settling Time

معادله (۱-۲) را می‌توان در حالت کلی به صورت معادله (۲-۲) بیان کرد که در آن m نوع ورکتور را مشخص می‌کند. اگر $m=1$ باشد ورکتور Abrupt و اگر $m \approx 2$ باشد از نوع Hyper abrupt است.

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{V_{Tune}}{V_{bi}}\right)^m} \quad 2-2$$

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 3-2$$

$$f_{osc} \approx \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC_{j0}})} \left(\frac{V_{Tune}}{V_{bi}}\right)^{m/2} \quad 4-2$$

همان‌طور که از معادله (۴-۲) مشخص است اگر $m \approx 2$ باشد نمودار تغییرات بسامد بر حسب ولتاژ خطی خواهد بود

۲-۸-۳ ورکتور استفاده شده در این پروژه

در این پایان نامه از ورکتورهای BB135, BB405, BB105 که همگی آنها Abrupt هستند، استفاده شده است. ورکتور BB105، اثبات شد در ابتدای باند VHF کار می‌کند و محدوده تغییرات آن در بازه ۵ تا ۵۰ پیکوفاراد می‌باشد، در فصل سوم در شکل (۳-۲۰ ب) نمودار تغییرات اندازه خازن بیان شده است و در شکل (۳-۲۰ الف) مدل مداری که دیود ورکتور بسته خواهد شد، آورده شده است. ورکتور BB135, BB405 در باند UHF می‌باشد و محدوده تغییرات آن حدود ۴ تا ۱۸ پیکوفاراد است [۳۳].

۲-۹ YIG

برای نوسان پهن باند روش دیگری که مطرح می‌شود رزوناتورهای YIG است. تشدیدکننده YIG کنترل شده با جریان است. این رزوناتور حجمی از ماده $Y_2F_2(FeO_4)$ می‌باشد که سطح آن را فریت پوشانده است و دارای Q بالایی است که با تغییر نقطه کار dc تحریک میدان مغناطیسی، قابلیت تنظیم در باند وسیع بسامدی خواهد داشت. رزوناتور YIG از خاصیت رزونانس فرومغناطیسی استفاده می‌کند و در محدوده ۵۰۰ مگاهرتز تا بیش از ۵۰ گیگاهرتز قابلیت تغییر بسامدی دارد که وابسته به ترکیبات ماده YIG، اندازه ماده و میدان مغناطیسی می‌باشد.

تشدید کننده YIG را می توان به صورت یک مدار RLC موازی مدلسازی کرد، که مقدار اندازه این قطعات وابسته به مغناطیس شدگی^۱ تزویج پهنای خط تشدید^۲ در کره YIG و نیز به میدان مغناطیسی dc اعمال شده، می باشد [۳۱].

$$G_0 = \frac{d^2}{\mu V W_m Q_u} \quad ۵-۲$$

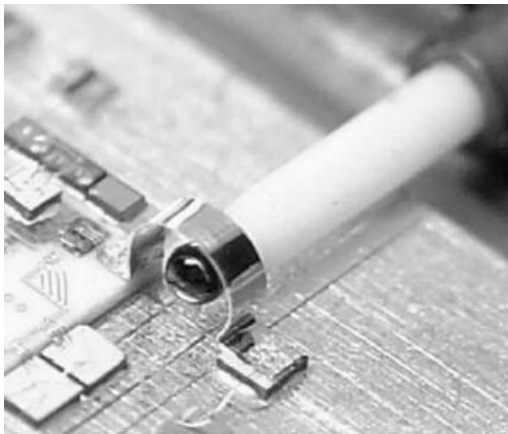
$$L_0 = \frac{\mu V W_m}{W_0 d^2} \quad ۶-۲$$

$$C_0 = \frac{1}{L_0 W_0^2} \quad ۷-۲$$

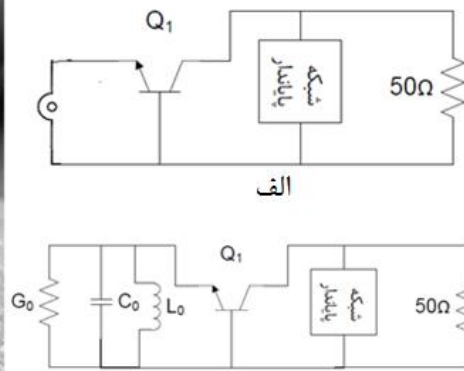
بدین ترتیب:

$$W_m = 4\pi M_s \cdot 2\pi \gamma = \gamma 8\pi^2 M_s \quad ۸-۲$$

$$Q_u = \frac{H_0 - \frac{4\pi M_s}{3}}{\Delta H} \quad ۹-۲$$



ج



ب

شکل (۲-۱۷): الف) نماد مداری [۳۱]، ب) مدل مداری ج) نمای ظاهری YIG [۳۴]

در این معادله ها $4\pi M_s$ مغناطیس شدگی اشباع^۳ کره، $\mu = 4\pi 10^{-7} H/M$ ، V حجم کره، d قطر حلقه تزویج، γ ژیرومغناطیس^۴ ($2.8 MHz/O_e$)، H_0 میدان مغناطیسی dc اعمال شده، Q_u ضریب کیفیت در حالت بی باری، ΔH عرض خط تشدید (تقریباً $0.2 O_e$) و w_0 بسامد مرکزی تشدید است که این بسامد به صورت زیر قابل بیان است [۳۱].

^۱ - Magnetization
^۲ - Resonance line width
^۳ - Saturation magnetization
^۴ - Gyromagnetic ratio

$$W_0 = 2\pi \gamma H_0$$

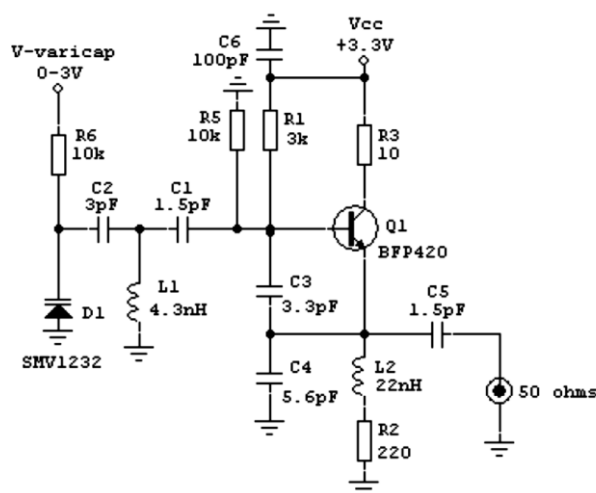
۱۰-۲

دو تشدید کننده، تشدید کننده عایقی و تشدید کننده خط انتقال از نوع تشدید کننده‌های گسترده می‌باشند.

۱۰-۲ پوش - پوش^۱ یا ان - پوش^۲

در بسامد بالا توان نوسان‌ساز کاهش می‌یابد. همچنین ساخت المان‌ها، برای تولید بسامد بالاتر هزینه‌بر و مشکل است. برای جبران این ضعف از ساختار Push-push می‌توان استفاده کرد. این طرح در سال ۲۰۰۱ مطرح شد [۳۵]. ساختار Push-push از دو نوسان‌ساز که در هماهنگ اول کار می‌کنند، استفاده می‌کند به طوری که سیگنال خروجی هماهنگ اول آن دو با هم اختلاف فاز ۱۸۰ درجه‌ای داشته باشند، لذا هماهنگ دوم آن دو، هم فاز می‌باشند. با جمع این دو هماهنگ می‌توان نوسان‌سازی داشت که در هماهنگ دوم با بهبود نویز فاز و البته توان دریافتی بالاتر داشته باشد. این ساختار را می‌توان به حالت n-push نیز گسترش داد. اگرچه این ساختار باعث بهبود نویز فاز می‌شود اما ضعف این طرح حساس بودن به المان‌های مدار است و اغلب به دلیل اثرات ناخواسته هماهنگ‌های پایین‌تر باقی می‌ماند.

۱۱-۲ مدل‌هایی از پهن باندهای ساخته شده [۳۶]



شکل (۲-۵): نوسان‌ساز کلیپتس در باند ۱.۵۲ تا ۱.۵۶ گیگاهرتز

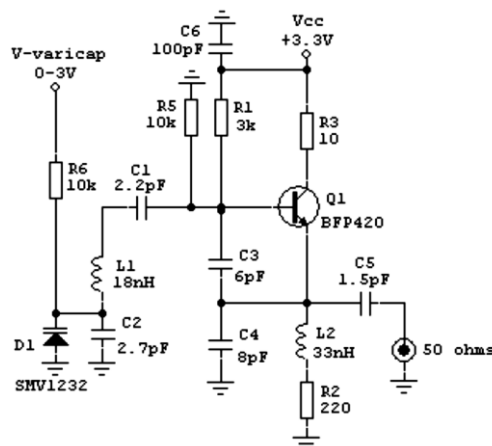
در مدار شکل (۲-۵) خازن C3 و C4 نقش بازخورد مثبت کلیپتس را بازی می‌کند. نسبت آنها مهم‌تر

^۱ -push-push
^۲ -n-push

از مقدار تک تک آنها می‌باشد (اگرچه مقدار تک تک آنها برای تعیین بسامد اهمیت دارد) و بهترین نسبت هم یک است و افزایش Q با کاهش $C3$ و یا افزایش $C4$ متناسب است. با توجه به این که بهره حلقه باید بزرگ‌تر از یک باشد و نباید تحت گرما، کم شود. مقدار $R3$ روی بهره حلقه موثر می‌باشد به نحوی که کاهش آن باعث افزایش بهره حلقه می‌شود (تاثیر عکس دارد) که به عنوان یک وسیله کنترلی برای تعیین بهره حلقه می‌باشد. بهره زیاد حلقه باعث افزایش Q می‌شود ولی مدار را تحت فشار قرار می‌دهد. همچنین مقاومت $R3$ روی دامنه هماهنگ‌ها تاثیر دارد.

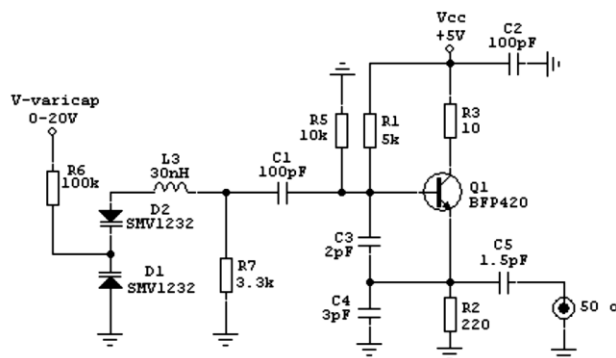
خودالفا $L2$ نقش RFC را دارد که امپدانس امیتر را زیاد می‌کند و باعث می‌شود توان بیشتری به بیس منتقل گردد تا بهره حلقه بزرگ‌تر از یک شود و همچنین توان به خروجی انتقال یابد.

خازن $C1$ طبقه جدا کننده تشدید کننده از قسمت مدار فعال می‌باشد و هرچه $C1$ کمتر باشد Q بیشتر است. این کار نویز فاز را کاهش می‌دهد، اگرچه توان خروجی نیز کاهش می‌یابد. این خازن با مقادیر بزرگ، تزویج راحت‌تر می‌شود و با میزان کم آن روی نویز فاز اثر گذار است. بهترین راه برای امتحان بزرگی خازن $C2$ نمایش توان خروجی VCO تحت ولتاژ صفر ولت و رکتور می‌باشد. توان باید در ولتاژ صفر ولت و رکتور تا سه ولت زیر یک dB باشد و برای مقادیر کوچک $C2$ توان خروجی در ولتاژ صفر ولت و رکتور افت می‌کند. هرچه F_t ترانزیستور بیشتر باشد می‌تواند $C2$ کوچک‌تر باشد تا نوسان‌ساز راحت‌تر راه‌اندازی شود که در شبیه‌سازی قابل اعتماد باشد. برای مشاهده تاثیرگذاری نویز فاز و رکتور از خازن ثابت ۲.۵ پیکوفاراد استفاده می‌شود. استفاده از و رکتور توان خروجی را ۵ تا ۶ dB کمتر می‌کند. بیشترین اثر و رکتور تاثیر مدولاسیون آن است، این اثرحتی از کاهش Q ناشی از مقاومت نویزی مدار داخلی آن‌ها، مهمتر است. یک راه حل برای کاهش اثر مدولاسیون استفاده از موازی کردن دو یا چند و رکتور کوچکتر است. در حالی که نمودار تغییرات آن ثابت بماند.



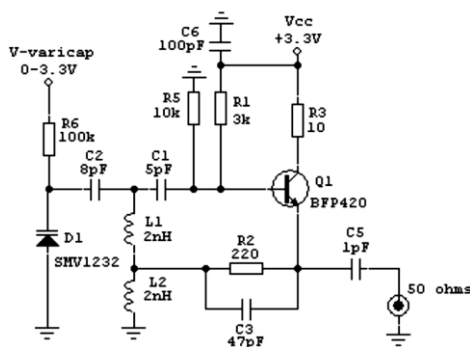
شکل (۲-۶): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ سری کلپیتس یا (کلاپ)

تقریباً به صورت مدار شکل (۲-۶) می باشد و اختلاف آن با مدار فوق در خازن C1 می باشد، به طوری که اندازه آن در مقابل خازن C3 و C4 قابل ملاحظه باشد. دلیل استفاده از این پیکره بندی پایداری بیشتر می باشد.



شکل (۲-۷): نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۹۵۰ تا ۲۲۰۰ مگاهرتز

در نوسان ساز شکل (۲-۷) به جای یک ورکتور از اتصال دو ورکتور استفاده شده است که به ورکتور پشت به پشت معروف است. خازن C3 و C4 به گونه ای طراحی می شود که نمودار توان در رنج بسامدی دارای حالتی صاف باشد و همچنین نویز فاز کاهش پیدا کند. این پیکره بندی نسبت به پارامترهای ترانزیستور حساس است. R6 و R7 برای تنظیم نقطه کار می باشد که باعث کاهش نویز فاز و همچنین کاهش اندازه خازن انگلی می شود که هر دو این موارد باعث کاهش ناپایداری فرکانسی مدار می شود.

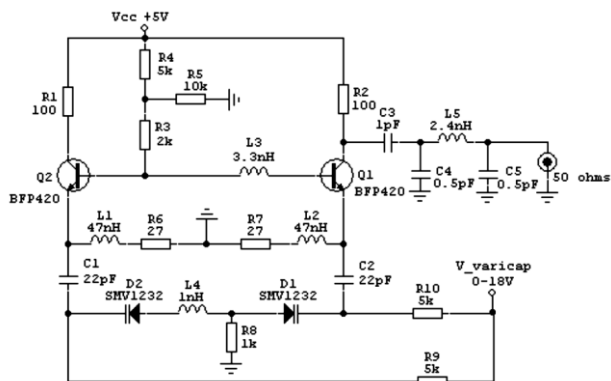


شکل (۲-۸): نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۱.۴ تا ۱.۸ گیگاهرتز

مدار شکل (۲-۸) شبیه مدارهای موازی کلیپیتس شکل (۲-۴) است که به جای خازن از خودالقا استفاده می شود.

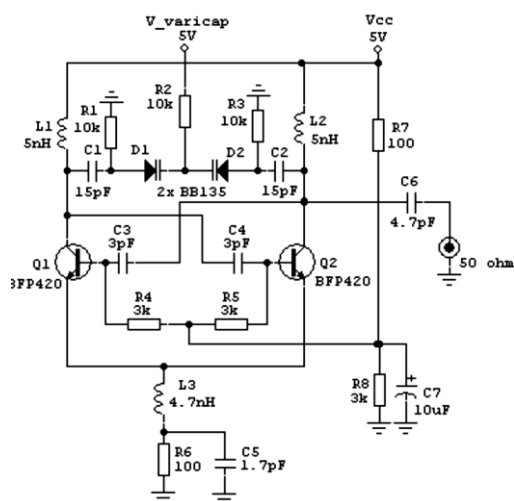
در مدار شکل (۲-۹) بستن ورکتور در حالت پشت به پشت باعث می شود خازن کمتری در ولتاژهای

بالا داشته باشیم. در این مدار R8 و R9 و R10 نقطه کار ورکتور را مشخص می‌کنند که باعث کاهش نویز فاز می‌شوند و نیازمندی مدار را به RFC از بین می‌برند. این مدار به طور کلی دارای ضربه^۱ و همچنین ناپایداری فرکانسی می‌باشد.



شکل (۲-۹): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در باند ۳ تا ۶ گیگاهرتز

در شکل (۲-۱۰) بده بستان بین نویز حرارتی، نویز فاز و توان مصرفی DC به گونه‌ای برقرار می‌شود تا دو ترانزیستور تفاضلی در مرز اشباع و خطی قرار گیرند. در این مدار تغییرات فرکانس با BB135 صورت می‌گیرد. نویزهای بسامد پایین به خاطر فیلتر دنباله کم تاثیر می‌شود. مدولاسیون دامنه بر روی بسامد حامل ناشی از نویز کم- فرکانس دنباله است. کاهش نویز فاز در رنج‌های پایین تغییرات بسامدی جایی که ورکتور غیر خطی کار می‌کند، بسیار اهمیت دارد.

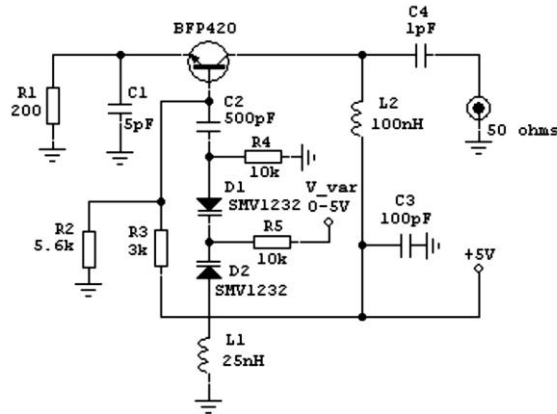


شکل (۲-۱۰): مدار اتصال ضربداری در باند ۵۰۰ تا یک گیگاهرتز

عملکرد مدار در شکل (۲-۱۱) شدیداً به نوع ترانزیستور وابسته می‌باشد و تشدید کننده آن دو دیود

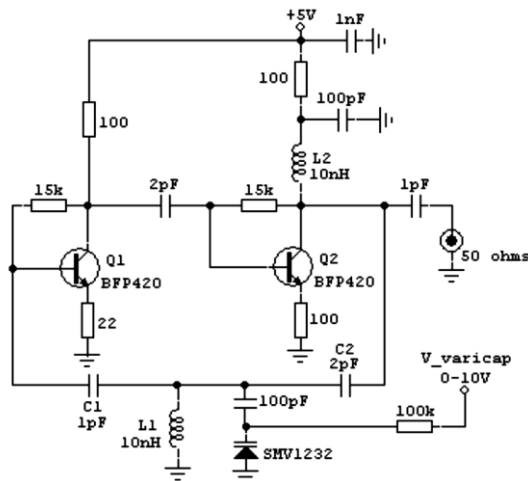
^۱ - Spurs

ورکتور و یک خودالقا می‌باشد. اگر در هنگام برقراری نقطه کار مقاومت امیتر کمتر از ۲۰۰ اهم باشد نیاز به یک RFC سری با مقاومت امیتر خواهد بود. همچنین خروجی را در این مدار می‌توان از نقاط مختلفی دریافت کرد.

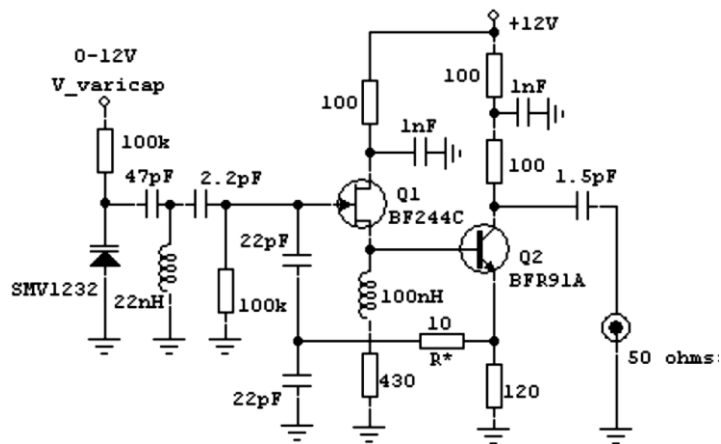


شکل (۲-۱۱): نوسان ساز مقاومت منفی در باند ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ مگاهرتز

در مدار شکل (۲-۱۲) بسامد تحت تاثیر المان‌های فعال نیست و عاری از هر گونه تغییرات المان فعال می‌باشد. در این پیکره‌بندی طبقه بافر امیتر بسیار مفید است. به طوری که انرژی مستقیماً از خازن متصل به این طبقه گرفته می‌شود.

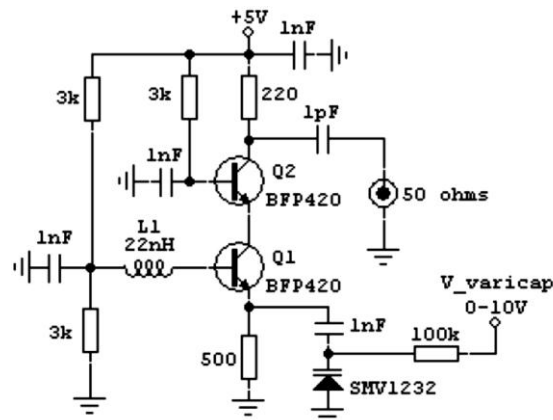


شکل (۲-۱۲): نوسان کنترل شده با ولتاژ Frankli یک تا ۱.۴ گیگاهرتز



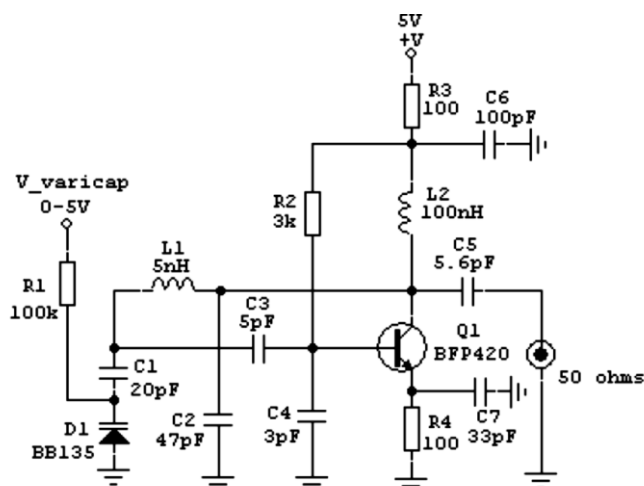
شکل (۲-۱۳): نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ Goral در باند ۴۰۰ تا ۴۷۰ مگاهرتزی

در پیکره بندی شکل (۲-۱۳) نقطه میانی دو خازن امپدانس کمتری نسبت به زمین در مقایسه با امپتر دارد، به خاطر اینکه بهره این نوسان‌گر بزرگ‌تر از حالت استاندارد کلیپتس است. جایگذاری یک فیدبک مقاومتی R به بهبودی نویز فاز و خطی بودن نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ کمک می‌کند. ویژگی‌ای که در این مدار قابل ملاحظه است ترکیب دو ترانزیستور BJT و JFET است که بهره بسیار بالاتری نسبت به حالت استفاده از JFET تنها را فراهم می‌کند.



شکل (۲-۱۴): پیکره‌بندی کسکود در باند ۱.۴ تا ۲ گیگاهرتز

شکل (۲-۱۴) پیکره‌بندی کسکود را نشان می‌دهد، که در بازه ۱.۴ تا ۲ گیگاهرتز که تنها با یک وریکتور مدل SMV1232 صورت گرفته است.

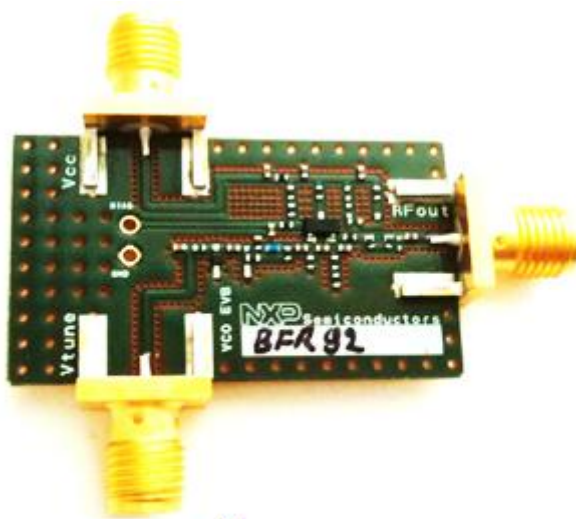


شکل (۲-۱۵): پیکره‌بندی Vackar در باند ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ مگاهرتز

در شکل (۲-۱۵) نوسان‌گر Vackar را نشان می‌دهد. سیگنال خروجی مستقیم به ورودی بر نمی‌گردد. در این مدار خازن C1 به صورت سری با ورکتور قرار دارد تا باعث جداسازی ولتاژ dc ورکتور شود. همچنین خازن C3 به منظور پایداری مدار تعیین و بهینه‌سازی می‌شود. امپدانس ورودی این نوسان‌گر مانند نوسان‌سازهای دیگر نیست و همچنین میزان امپدانس خروجی کلکتور بسیار کم است که باعث بهره کم می‌شود.

برای پهن باند از تکنیک‌های بانک خازنی [۳۷ و ۳۸] و خودالفا فعال [۳۸] استفاده می‌شود. به دلیل کاهش حجم پایان‌نامه از تشریح آنها پرهیز می‌شود.

مدل ساخته شده نوسان‌ساز پهن باند از شرکت NXP که در سال ۲۰۱۲ ارائه کرده [۳۹] به صورت شکل (۲-۱۶) است.



الف

شکل (۲-۱۶۱۸): الف) نمای ظاهری قطعه نوسان‌ساز پهن باند شرکت NXP [۳۹]، ب) مدار نوسان‌ساز شرکت NXP [۳۹]

این نوسان‌ساز در بازه ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ مگاهرتز با این مزیت که توان خروجی آن تقریباً ثابت است، تولید شده است.

مدارهای ارائه شده مدارهایی هستند که با عناصر مجزا بسته و در صنعت استفاده می‌شوند. البته مدار-هایی که به صورت مجتمع استفاده می‌شوند در بررسی کارهای پیشین آورده نشده است اما نکاتی که در پیکره‌بندی مدارهای مجزا، قابلیت استفاده دارد در فرایند پروژه از آنها استفاده گردید.

فصل سوم : کارهای انجام شده تا محدوده ۵۰۰ مگاهرتز

۱-۳ مقدمه

در این فصل توصیف آزمایش‌های گوناگونی که در مراحل مختلف برای ساختن نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در بازه بسامدی مورد نظر انجام شده است بیان می‌شود. برای راه اندازی از منبع تغذیه^۱ مدل Tektronix PS2520G استفاده شده است و ابزارهای اندازه‌گیری به کار رفته، نوسان‌نگار^۲ مدل Tektronix TDS 1012 ، طیف‌سنج^۳ مدل GwInstek می‌باشند. از آنجایی که پاسخ گرفتن از مدارهایی مانند نوسان‌سازها در بسامدهای پایین ساده‌تر از پاسخ گرفتن آنها در بسامدهای بالا می‌باشد، در ابتدا مدارهای مورد نظر در بسامدهای پایین طراحی و آزمایش شدند و بسامد آنها به تدریج افزایش داده شد. مزیت این کار این است که ابتدا اثر عناصر انگلی^۴ که در بسامدهای بالا می‌توانند تاثیر چشمگیری در کارکرد مدار داشته باشند حذف می‌شوند و از کارکرد اصولی مدار اطمینان حاصل

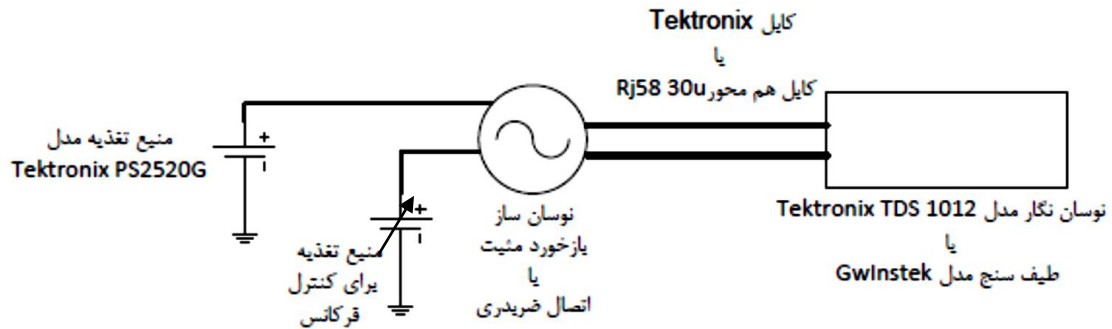
^۱-power supply

^۲-Oscilloscope

^۳ - Spectrum analyzer

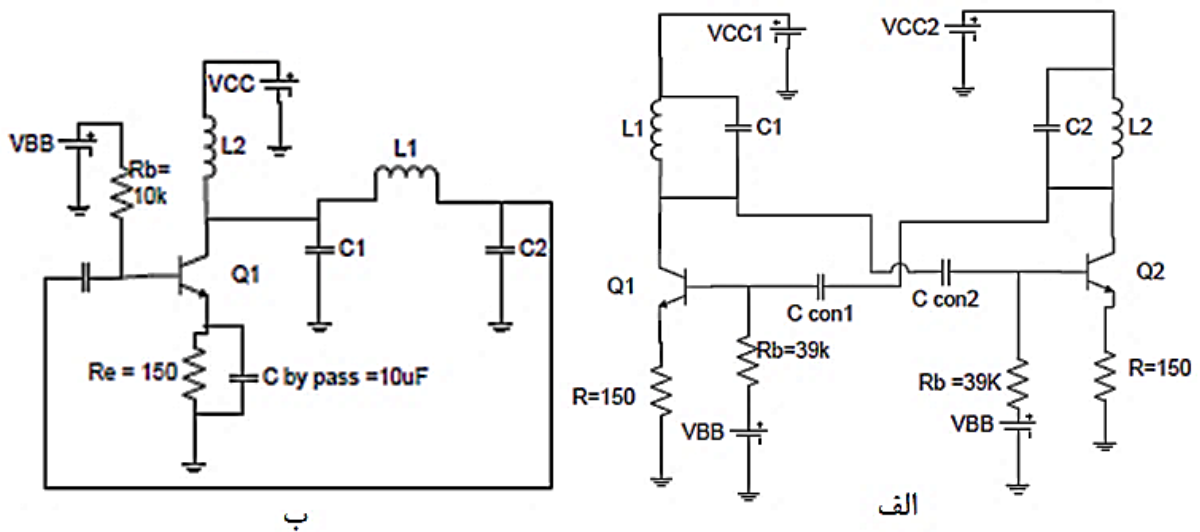
^۴-Parasitic

می‌شود. سپس با تغییر عناصر مدار، بسامد آنها به تدریج افزایش داده می‌شوند.



شکل (۳ - ۱): عکس بلوکی مدار نوسانساز و دستگاه‌ها و مدل آن‌ها

دو پیکره‌بندی اصلی برای مدار نوسان‌ساز که یکی نوسان ساز اتصال ضریبری دارای دو خروجی و دیگری نوسان ساز با بازخورد مثبت می‌باشند، آزمایش می‌شوند. این دو پیکره‌بندی در شکل (۳-۲) مشاهده می‌شوند.



شکل (۳ - ۲): الف (مدار اتصال ضریبری ب) مدار بازخورد مثبت

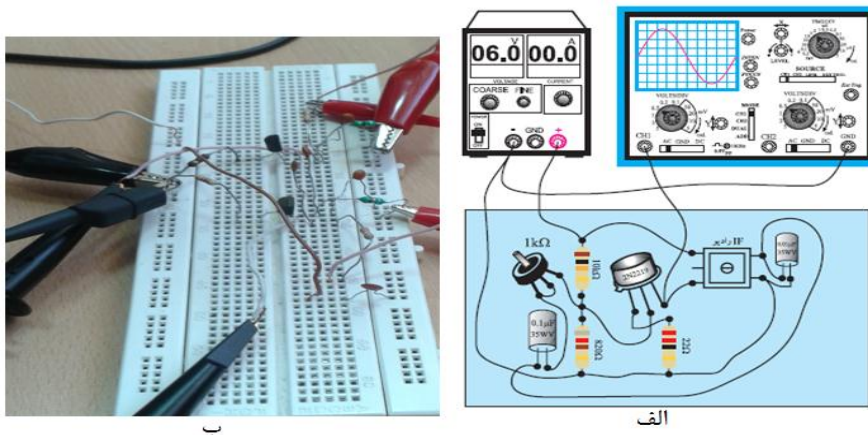
مدار اتصال ضریبری به این علت انتخاب شد که دارای دو خروجی می‌باشد که در بسیاری از کاربردها سودمند است. مدار بازخورد مثبت نیز به این دلیل به کار گرفته شد که با توجه به تجربیات آزمایشگاهی پیشین در کار با این مدار که نشان از خوش دست^۱ بودن مدار دارد و همچنین ساده‌تر بودن ساختار آن در مقایسه با اتصال ضریبری، می‌تواند به عنوان محملی برای کسب تجربه در اندازه-گیری‌های بسامد بالا به کار رود.

^۱ - robust

۲-۳ آزمایش مدار اتصال ضربداری روی برد سوراخدار^۱

پیکره بندی اتصال ضربداری با اندازه‌های بزرگتر خودالقا و خازن بر روی برد سوراخدار بسته و آزمایش شد. مدار اتصال ضربداری با عناصر مجزا مانند ترانزیستور 2SC3355، خازن عدسی و خودالقا ۴.۷ میکروهانری بسته شد.

مدار نوسان ساز اتصال ضربداری شکل (۲-۳) روی برد سوراخدار بسته شد. شکل (۳-۳) قطعات و تجهیزات که روی برد سوراخدار استفاده شده است، نشان می‌دهد.



شکل (۳ - ۳) : الف) نمای بلوکی نوسان‌ساز، ب) نمای روی برد سوراخدار

در مدار اتصال ضربداری ابتدا باید نقطه کار هر سمت مدار مشخص شود و سپس خازن‌های تزویج وصل می‌شود. برای تعیین نقطه کار روی برد سوراخدار با مشخصات زیر اقدام شد.

$$R_{bias} = 39 K\Omega \text{ و } R_{emitter} = 150 \Omega \text{ و } C_{con1} = C_{con2} = 33 pF \text{ و } C_{core1} = C_{core2} = 100 pF$$

$$V_{BB2} = 2 (V) \text{ و } V_{BB2} - V_{BE} = R_B * I_B + R_e * (\beta+1) I_B \text{ و } L_{core1} = L_{core2} = 4.7 \mu H$$

با توجه به برگه اطلاعات^۲ β ترانزیستور در بازه (۵۰ ، ۱۵۰) می‌باشد.

جدول (۳-۱۱): نقطه کار ترانزیستور

$V_{BB2}(V)$	$V_{CC}(V)$	$I_C(mA)$	$I_B(mA)$
۹.۳	۱۱.۱	۱۹.۹	۰.۱۴۸

^۱ - Bread Bored

^۲ - data sheet

$$V_B = V_{BB2} - R_B * I_B = 9.3 - 0.148 * 39 = 9.3 - 5.772 = 3.528$$

$$V_E = I_C * R_E = 19.9 * 150 = 2.985$$

نقطه کار ترانزیستور برابر با ۲۰ میلی آمپر تنظیم شد. β ترانزیستور تقریباً برابر با ۱۰۰ می‌باشد. با اضافه کردن خازن تزویج، مشخصات نقطه کار و بسامد جدول (۳-۲) بدست آمده است.

جدول (۳-۱۲): نقطه کار و بسامد دریافتی از مدار

C_{core} (nF)	L_{core} (μ H)	V_{BB} (V)	I_{C1} (mA)	I_{C2} (mA)	C_{con1} (nF)	C_{con2} (nF)	F_{KHz}
۱۰	۴.۷	۲	۵	۵	۳.۳	۳.۳	۷۸۱
۱	۴.۷	۲	۴	۴	۳.۳	۳.۳	۲۴۳۹

در شکل (۳-۴) دو سیگنال جدول (۳-۲) نمایش داده شده است.



ب

الف

شکل (۳-۴): نوسان ساز اتصال ضربدری با خودالقای هسته ۴.۷ میکرو هانری (الف) و با خازن هسته ۱۰ نانو فاراد ($f=780kHz$)، (ب) با خازن هسته ۱ نانو فاراد ($f=2.43MHz$)

با تغییر پارامترهای مدار آزمایش‌های انجام شده و نتایج آنها در جدول (۳-۳) بیان شده است.

جدول (۳-۱۳): تغییرات خازن و خودالقا و نمایش بسامد دریافتی مدار روی برد سوراخدار

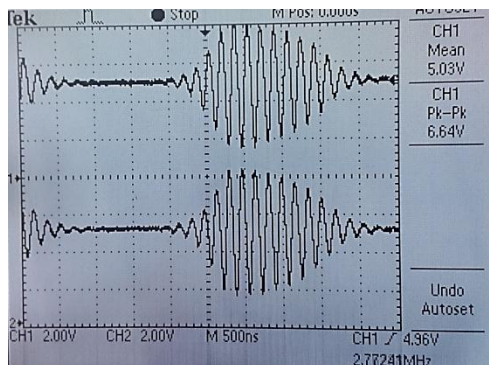
$V_{CC1} = V_{CC2}$	$I_{C1} = I_{C2}$	$L_{core1} = L_{core2}$	$C_{core1} = C_{core2}$	$C_{con1} = C_{con2}$	V_B	F(MHz)	
۵	۴	۴.۷ μ H	۱۰۰ pF	۱ nF	۱	۵.۶	
۵	۴	۴.۷ μ H	۱۰۰ pF	۱۰۰ pF	۱	۵.۶	
۵	۴	۴.۷ μ H	۱۰۰ pF	۱۰ pF	۱		نوسان نداشتیم
۵	۴	۴.۷ μ H	۱۰۰ pF	۱۰۰ pF	۱		نوسان نداشتیم
۵	۴	۴.۷ μ H	۱۰۰ pF	۳۵ pF	۱.۷	۵.۸	
۵	۴	۲.۳۵ μ H	۱۰۰ pF	۳۵ pF	۲.۴	۸.۱۵۷	$A_{V(P-P)} = 3.8$
۵	۴	۲.۳۵ μ H	۱۰۰ pF	۳۵ pF	۲.۴	۸.۱۵۷	$A_{V(P-P)} = 4$

۶	۴	۱.۵۶μH	۱۰۰pF	۳۵pF	۲.۴	۱۰.۱۴	
۶	۵	۱.۵۶μH	۳۵pF	۳۵pF	۳.۲۵	۱۳.۹۹۸	$A_{V(P-P)} = 2.2$
۷	۶	۱.۵۶μH	۳۵pF	۳۵pF	۳.۷	۱۳.۹۹۸	$A_{V(P-P)} = 2.4$
۷	۸	≈ ۰.۲μH	۳۵pF	۳۵pF	۵.۲	۴۴.۸۹	

۳-۳ بررسی بعضی رفتار مدار روی برد سوراخدار

در این بخش برخی از خصوصیات در بسامد پایین که روی برد سوراخدار آزمایش شد بیان می‌شود

۳-۳-۱ اثر اضافه کردن ولتاژ



شکل (۳ - ۵) : نوسان تپشی

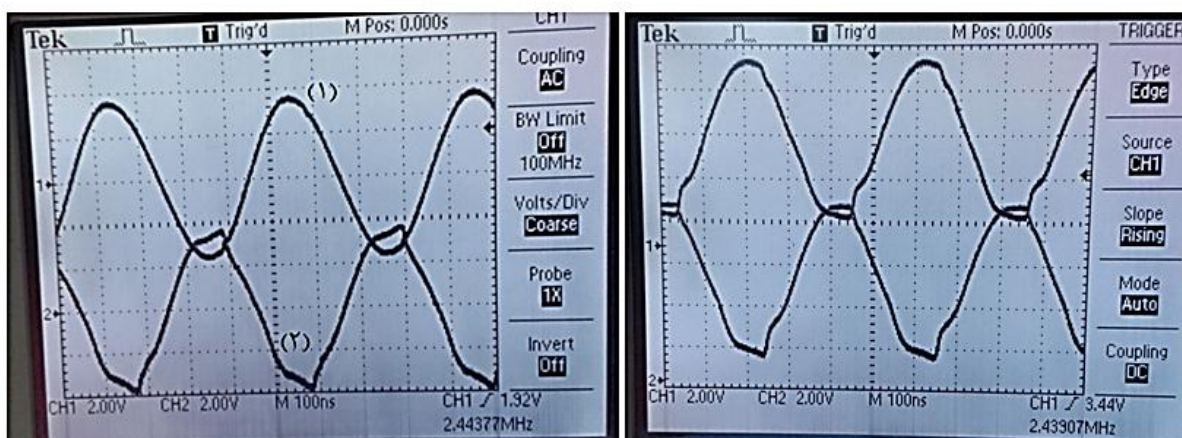
شکل (۳-۵) حالت نوسان تپشی^۱ را نشان می‌دهد که مربوط به مدار با خازن هسته ۱۰۰ پیکو فاراد، سلف ۴.۷ میکرو هانری و ولتاژ بیس ۱.۳ ولت است. با افزایش ولتاژ بیس از ۱.۳ ولت به ۱.۷ ولت مدار از حالت نوسان تپشی به نوسان ماندگار تغییر وضعیت داد. (منظور از ولتاژ بیس، ولتاژ VBB نشان داده شده در شکل ۳-۲ می‌باشد)

نوسان تپشی به خاطر کم بودن ولتاژ بیس شکل می‌گیرد. تپشی بودن آن به این خاطر است زمانی که خازن بیس ترانزیستور پر شود، شروع به نوسان می‌کند و با تخلیه خازن نوسان میرا شده و سپس از نوسان می‌ایستد. در شکل (۳-۵) نوسان اصلی که با توجه به هسته خودالقا و خازن تشدید می‌کند حدود ۵ مگاهرتز است و نوسان ناشی از تپشی بودن، حدود ۲۵۰ کیلو هرتز است که این نوسان وابسته به ولتاژ ثابت بیس (VBB) و اندازه خازن تزویج بین کلکتور Q1 و بیس Q2 و برعکس می‌باشد که در شکل (۳ - ۲ الف) C_{con} نشان داده شده است، می‌باشد.

۱- منظور از نوسان تپشی این است که مدار برای یک لحظه نوسان می‌کند و سپس نوسان میرا می‌شود و ناپدید می‌گردد و همین فرآیند تکرار می‌شود.

۳-۳-۲ اثر قرار دادن خازن به موازات منبع تغذیه

مشاهده شده که قرار دادن یک خازن (به عنوان خازن صافی) که به موازات منبع تغذیه قرار داده شده است تاثیر چشمگیری در اعوجاج شکل موج خروجی‌های نوسان‌ساز دارد. در یک آزمایش به موازات یکی از منبع‌های تغذیه کلکتور یک خازن 100 nF گذاشته شد و برای منبع تغذیه کلکتور ترانزیستور دیگر (در هسته نوسان‌ساز) هیچ خازنی گذاشته نشد. شکل موج‌های دیده شده بر روی اسکوپ از هر کدام از کلکتورها در شکل (۳-۶ ب) نشان داده شده‌اند.



ب

الف

شکل (۳ - ۶): شکل موج خروجی ناشی از خازن هسته ۱ نانوفاراد و خودالقا ۴.۷ میکروهنری بسامد دریافتی حدود ۲.۴

مگاهرتز (الف) نمایش هر دو شکل موج زمانی که خازن صافی نداشته باشد. (سیگنال اعوجاج دارد.) (ب) شکل موج ۱ دارای خازن صافی ۱۰۰ نانوفاراد و شکل موج ۲ بدون خازن صافی که بیان کننده اعوجاج است.

اثر خازن صافی منبع تغذیه از بسامد حدود یک مگاهرتز به بعد آشکار می‌شود. با توجه به شکل (۳ - ۴ الف) مشاهده می‌شود اگرچه مدار نوسان‌ساز بدون خازن صافی در بسامد حدود ۷۸۰ کیلوهرتز اعوجاج کمی دارد اما در شکل (۳ - ۶ الف) که در بسامد حدود ۲.۵ مگاهرتز نوسان می‌کند، اعوجاج در سیگنال خروجی مشاهده می‌شود. که با اعمال خازن صافی این اعوجاج خنثی می‌شود.

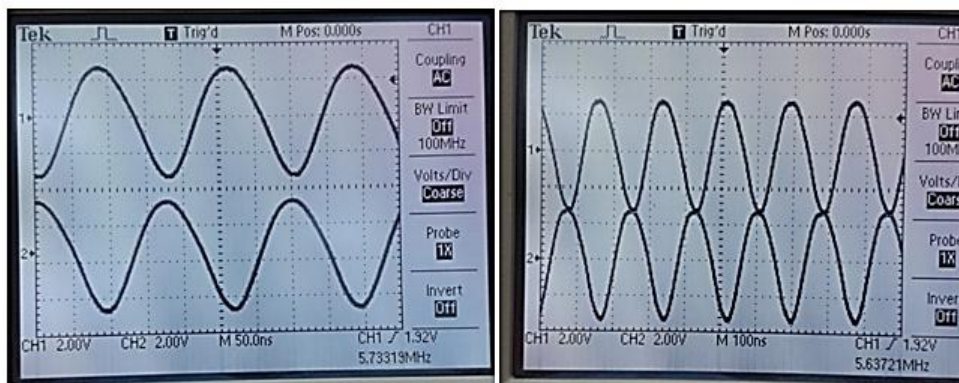
همچنین در بخش (۳-۶-۳) در اثر وصل نبودن خازن صافی مدار به جای آنکه با دامنه کوچک و با بسامد حدود ۲۰۰ مگاهرتز نوسان کند، دچار نوسان در بسامد ناخواسته‌ای در حدود ۱۰ مگاهرتز شده که با نصب خازن صافی اثر نوسان ناخواسته ناپدید گردید که توضیحات آن در بخش مذکور بیان شده است.

۳-۳-۳ اثر اندازه‌ی خازن‌های تزویج میان بیس و کلکتورهای دو

ترانزیستور اتصال ضربدری

در آزمایش دیگر، دو اندازه گوناگون (یک بار 3.3 nF و یک بار 1nF) برای خازن‌های تزویج میان بیس و کلکتور که در مدار شکل (۳-۲) دیده می‌شود، به کار گرفته شد. مشاهده شد این خازن تاثیر چندانی بر شکل موج نوسان خروجی ندارند. نامحسوس بودن خازن تزویج در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.

این آزمایش را چند بار دیگر نیز تکرار شد سرانجام تغییر این خازن تقریباً بی تاثیر مشاهده شد. دلیل این موضوع سری بودن امپدانس بالا با این خازن است که این امپدانس ناشی از امپدانس داخلی ترانزیستور، نسبتاً بزرگ که از پایه بیس دیده می‌شود. (البته محدوده ای دارد که ناشی از آن است که بخشی از دامنه نوسان کلکتور به بیس انتقال پیدا کند).



ب

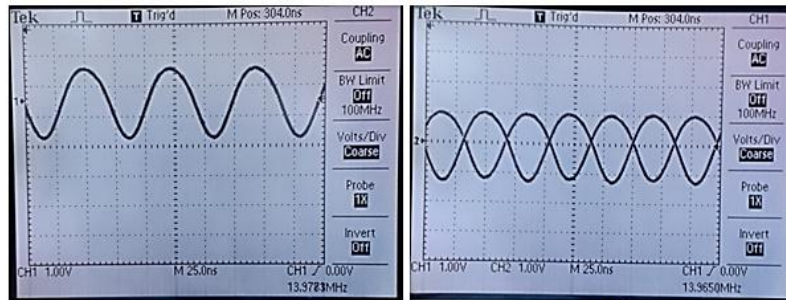
الف

شکل (۳-۷): بررسی اثر خازن تزویج بین بیس و کلکتور که در هسته نوسان ساز خازن هسته ۱ نانو فاراد و خودالقا ۴.۷ میکروهنری، (الف) خازن تزویج ۱ نانو فاراد و بسامد دریافتی ۵.۶۸ مگاهرتز (ب) خازن تزویج ۱۰۰ پیکو فاراد و بسامد دریافتی حدود ۵.۷۳ مگاهرتز

از این پس در مدار نکاتی مانند خازن صافی، خازن کوپلاژ و ولتاژ بیس در نظر گرفته خواهد شد.

۳-۳-۴ اثر افزایش ولتاژ کلکتور

برای بررسی اثر ولتاژ کلکتور آزمایشی طراحی شد. در این آزمایش خازن و خودالقا هسته به ترتیب ۳۵ پیکوفاراد و ۱.۵۶ میکروهنری در نظر گرفته شد. این آزمایش‌ها یکبار با ولتاژ کلکتور ۶ ولت و بار دیگر با ولتاژ کلکتور ۷ ولت آزمایش شد در شکل‌های (۳-۸) تصاویر شکل موج خروجی در اثر تغییر ولتاژ کلکتور را مشاهده می‌کنید.



ب

الف

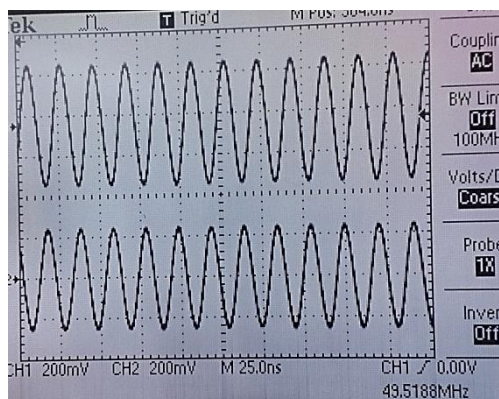
شکل (۳ - ۸) : تصویر مربوط به خازن هسته ۳۵ پیکو فاراد و خودالفا ۱.۵۶ میکرو هانری. (الف) ولتاژ کلکتور ۶ ولت که دامنه ولتاژ خروجی ۲.۲ ولت پیک تا پیک می باشد، همان طور که در تصویر می توان دید بسامد آن ۱۳.۹۶ مگاهرتز می باشد (قابل مشاهده است که سیگنال سینوسی خالصی نمی باشد). (ب) ولتاژ کلکتور ۷ ولت می باشد. همان طور که در تصویر می توان دید بسامد آن ۱۳.۹۸ مگاهرتز می باشد. دامنه ولتاژ خروجی ۲.۴ ولت پیک تا پیک می باشد با اعوجاج کمتر

همان طور که مشاهده می کنید در اثر افزایش یک ولتاژ کلکتور به اندازه یک ولت، هم دامنه خروجی به میزان ۰.۲ ولت افزایش یافت و اعوجاج نیز کمتر شد؛ اما در مقابل توان مصرفی بیشتر شده است.

در شبیه سازی ها مشاهده شد در این نوع ساختارها (که مدار تشدید نوسان ساز به منبع تغذیه وصل باشد) دامنه نوسان به تغییر منبع تغذیه وابسته است در اینجا نیز مشاهده تجربی نشان می دهد افزایش ولتاژ منبع تغذیه باعث می شود تا دامنه نوسان افزایش می یابد

۳-۳-۵ بیشینه بسامد مدار اتصال ضربداری روی برد سوراخدار

در شکل (۳-۹) نوسان دریافتی از مدار اتصال ضربداری را مشاهده می کنید که این بیشترین بسامد دریافتی از این مدار روی برد سوراخدار می باشد. همان طور در قسمت بالا اشاره شد با افزایش بسامد ولتاژ بیس و کلکتور افزایش می یابد همچنین جریان نقطه کار مدار به ۹ میلی آمپر افزایش یافت. بیشینه بسامد مدار اتصال ضربداری روی برد سوراخدار حدود ۵۰ مگاهرتز می باشد.



شکل (۳ - ۹): بیشترین بسامد دریافتی با نوسان ساز اتصال ضربداری

شکل (۳ - ۹) بیشه بسامد دریافتی از نوسان ساز تزویج ضربداری روی برد سوراخدار که با خازن هسته ۳۵ پیکو و خودالقایهای موازی که حدس زده می شود که حدود ۰.۲ میکرو هانری باشد برای نوسان کردن آن ولتاژ بیس را به ۵.۲ ولت افزایش داده و ولتاژ کلکتور را برای دریافت دامنه بیشتر به ۸ ولت افزایش داده شد و جریان کلکتور ناشی از این کار به ۹ میلی آمپر افزایش یافت.

۴-۳ مدار نوسان ساز با بازخورد مثبت روی برد سوراخدار

مدار دومی که تصمیم به پیاده سازی آن گرفته شد، مدار بازخورد مثبت بود که آرایش آن در شکل (۳ - ۲) نشان داده شده است. این مدار با مشخصات زیر در جدول (۳-۴) پیاده سازی شده است.

جدول (۳-۱۴): مشخصات بایاس نوسان ساز مدار بازخورد مثبت

R_B	$R_{e\text{bias}}$	C_e	L_1	L_2	C_1	C_2	C_3	V_{BB}	V_{CC}
۱۰۰KΩ	۲۲۰ Ω	۱nF	۴.۷μH	۴.۷μH	۳۳pF	۱۰pF	۱۰nF	۵	۷

نوسان اندازه گیری شده در کلکتور ترانزیستور در مدار شکل (۳-۲) بدون خازن صافی دارای جریان و بسامد زیر می باشد.

$$I_C = 20 \text{ mA} \rightarrow f_{MHz} = 20.377 \text{ MHz}$$

این آزمایش با خازن صافی (۱۰۰ نانوفاراد) تکرار شد و نتیجه زیر حاصل گردید.

$$I_C = 17 \text{ mA} , f_{MHz} = 22.78 \text{ MHz} , A_{v(p-p)} = 3.8 V(p-p)$$

از این پس آزمایش های مدار بازخورد مثبت با خازن صافی ۱۰۰ نانوفاراد انجام می گیرد.

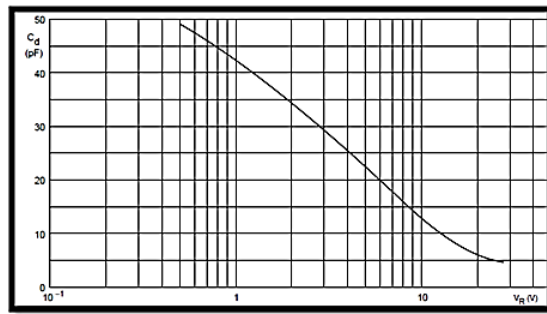
۱-۴-۳ نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ در مدار بازخورد مثبت

اگر خازن C_1 که در شکل (۳-۲) نشان داده شده، تغییر داده شود بسامد مدار تغییر می کند، در جدول (۳-۵) این تغییر نشان داده شده است.

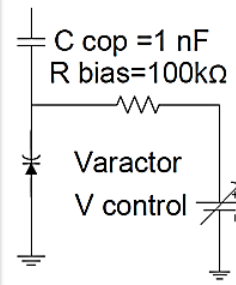
جدول (۳-۱۵): تغییر اندازه خازن C_1 سبب تغییر فرکانس

C_1	۴۸pF	۳۳pF	۱۵pF
f_{MHz}	۳۲.۴۶	۳۴.۱۴	۳۸.۲

با توجه به مشاهده بالا، خازن C_1 با یک ورکتور مدل BB105 به صورت مدار نشان داده شده در شکل (۳ - ۱۰) جایگزین شد و منحنی تغییرات خازن این ورکتور در شکل (۳ - ۱۰) نشان داده شده است.



ب

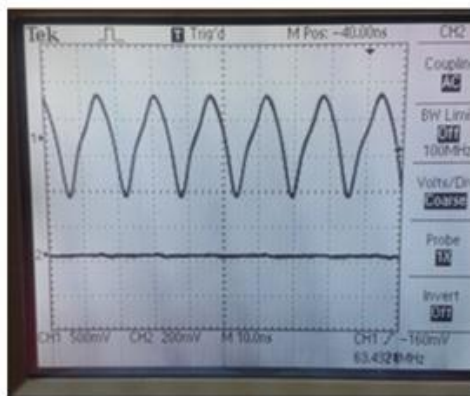


الف

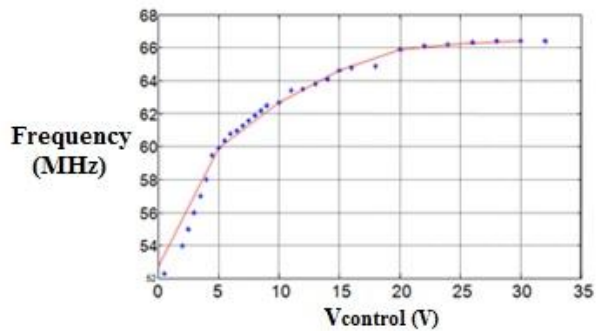
شکل (۳ - ۱۰): الف) آرایش مداری جایگزینی خازن به ورکتور، ب) تغییرات خازن ورکتور BB105 نسبت به ولتاژ دو سر

آن (در $T=25^{\circ}\text{C}$ و $f=1\text{ MHz}$) [۴۰]

در شکل (۳ - ۱۰) الف) خازن C_{cop} برای جدا سازی مدار نوسان ساز از ولتاژ تغذیه خازن ورکتور استفاده شده است. این خازن و مقاومت، بزرگ انتخاب می شود تا تاثیری روی کار مدار نوسان ساز نداشته باشد. (مثلاً ۱۰ برابر بزرگ تر از حداکثر خازن ورکتور). تغییر ولتاژ کنترل از صفر تا ۳۵ ولت، بسامد نوسان را از حدود ۵۲ مگاهرتز تا ۶۷ مگاهرتز تغییر داد که این تغییرات در شکل (۳ - ۱۳) الف) نشان داده شده است. بدین ترتیب VCO با ۳۳٪ تغییرات بسامد با توان ثابت ۴۶dBm ساخته شده است



ب



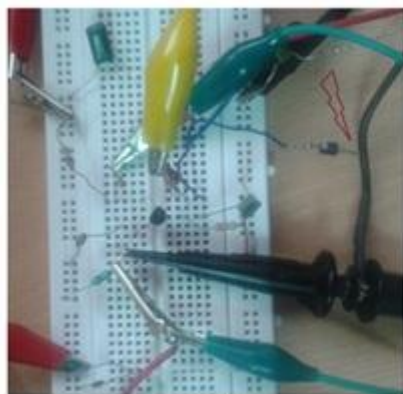
الف

شکل (۳ - ۱۱): الف) تغییر بسامد ناشی از تغییر ولتاژ دو سر ورکتور ب) نمایش بسامد خروجی مدار باز خورد مثبت با اعمال دیود ورکتور به جای خازن C_1 در بسامد حدود ۶۴ مگاهرتز طیف خروجی سینوسی تمیزی نیست.

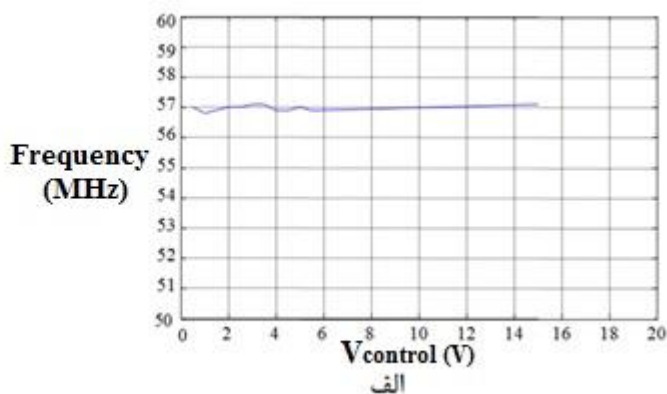
در شکل (۳-۱۱) الف) می توان دید که برای ولتاژهای کنترل بالاتر از ۲۰ ولت، بسامد تغییر محسوسی ندارد. این بدان دلیل است که از این ولتاژ به بعد اندازه خازن ورکتور تا اندازه ای کوچک شده است که در خازن های انگلی گم می شود. در شکل (۳-۱۱) ب) بسامد دریافتی از مدار باز خورد مثبت در حدود ۶۴ مگاهرتز نشان می دهد، به روشنی دیده می شود این نوسان به صورت سینوسی خالص نمی باشد.

همچنین برای مشاهده تغییر بسامد ناشی از تغییرات خازن C_2 در مدار باز خورد مثبت شکل (۳-۳)

ب)، خازن $C1$ را برابر با ۱۰ پیکو فاراد قرار داده و خازن $C2$ با مدار نشان داده شده در شکل (۳-۳) - ۱۰ الف) جایگزین شد.

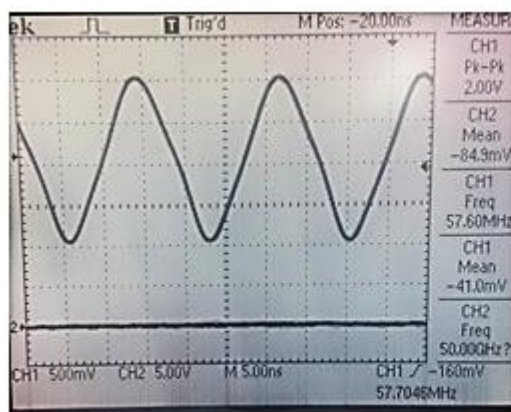


ب

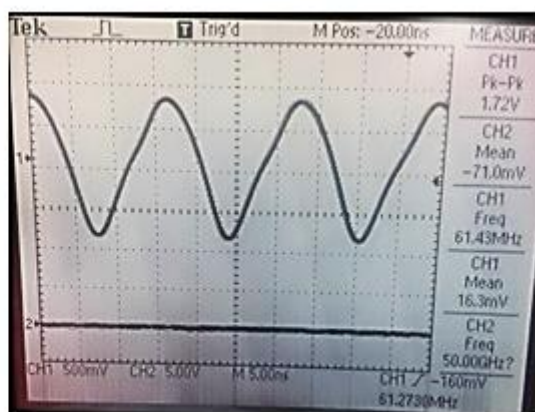


شکل (۳-۱۲): الف) خازن $C1=10\text{ pF}$ ، خازن $C2=1\text{ nF}$ با ورکتور متوالی شده و با اعمال تغییرات ولتاژ دو سر ورکتور بسامد تقریباً ثابت می‌ماند ب) بدون دیود ورکتور (آزاد بودن سر دیگر ورکتور) و فقط ناشی از خازن انگلی

همان‌طور که از شکل (۳-۱۲) الف) پیداست با افزایش ولتاژ، بسامد افزایش پیدا نکرد که احتمالاً این رفتار ناشی از خازن انگلی می‌باشد زیرا در شکل (۳-۱۲) ب) در آزمایشی پایه‌ی ورکتوری که باید به زمین وصل باشد در هوا رها شده است، این کار به عبارتی ورکتور را از مدار خارج کرده و فقط مدار با خازن‌های انگلی به نوسان خود ادامه می‌دهد. شکل (۳-۱۳) الف) نوسان ناشی از خازن انگلی (حالت بدون دیود ورکتور) و شکل (۳-۱۳) ب) حالت با دیود ورکتور را نمایش می‌دهد.



ب



الف

شکل (۳-۱۳): الف) شکل موج خروجی ناشی از خازن انگلی (پارازتیک) با بسامد دریافتی حدود ۶۱.۳ مگاهرتز، ب) شکل موج ناشی از اعمال دیود ورکتور روی خازن $C2$ با بسامد دریافتی حدود ۵۷.۷ مگاهرتز

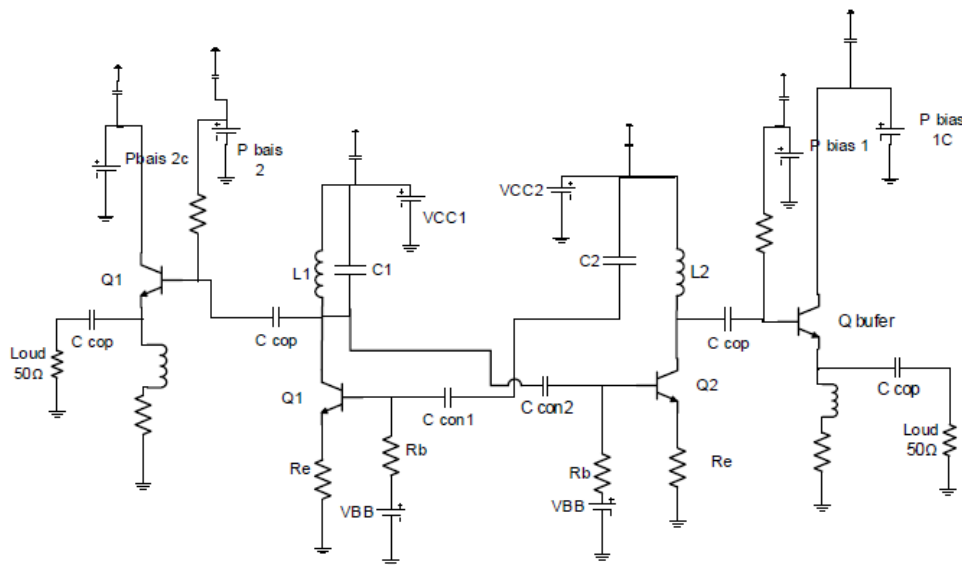
همان‌طور که در شکل (۳-۱۳) مشاهده می‌شود زمانی که خازن‌های انگلی بازخورد مثبت تشکیل دهد بسامد مدار ۶۱ مگاهرتز می‌شود و اگر ورکتور به مدار وصل شود بسامد مدار در بیشترین ولتاژ دو

سر ورکتور که کمترین خازن را دارا است (کمترین خازن ورکتور با خازن‌های انگلی موازی خواهد شد و جمع می‌گردد) مجموع این خازن‌ها باعث می‌شوند مدار با حداکثر بسامد ۵۷ مگاهرتز نوسان کند.

۵-۳ تجربه طراحی مدار چاپی

در ابتدا مدار چاپی از جنس راجرز^۱ مدل RO4003، ۲۰ میلی‌اینچی انتخاب شد. در طراحی این مدار، که با توجه به تجربیات آزمایشگاهی پیشین جهت کنترل و پایش ساده‌تر ترانزیستور، اتصال منبع تغذیه‌ی جدا برای بیس و کلکتور ترانزیستور قرار داده شد. طراحی جانمایی مدار با استفاده از نرم افزار Altium Designer انجام شد. نمای مداری و جانمایی این نوسان‌ساز به ترتیب در شکل‌های (۳-۱۴) و (۳-۱۵) نشان داده شده‌اند. شکل (۳-۱۵) سطح بالای جانمایی مدار چاپی را نشان می‌دهد. سطح پایین این مدار چاپی به طور کامل با لایه مسی پوشانده شده است که زمین مدار می‌باشد.

در مدارهای بسامد بالا تقارن مدار همواره حفظ می‌شود. این کار بدین خاطر است که اختلاف فاز در مسیر سیگنال مهم می‌شود. به همین خاطر در طراحی مسیر تزویج (اتصال بین بیس ترانزیستور ۱ با کلکتور ترانزیستور ۲ و برعکس) طوری طراحی شد که این دو مسیر تقریباً یکسان باشند.



شکل (۳-۱۴): شماتیک مدار نوسان ساز تزویج ضربداری

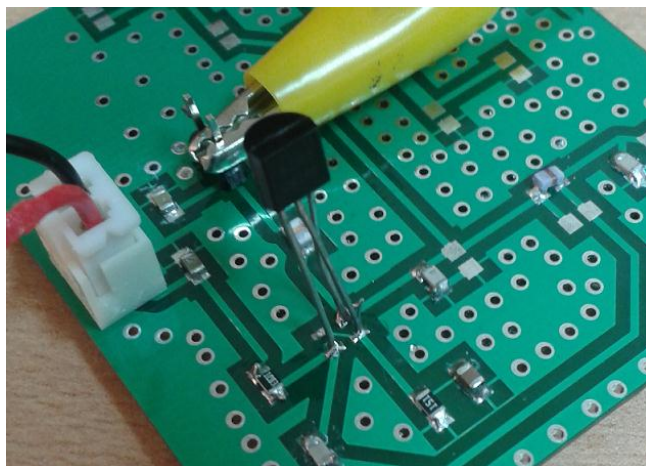
¹ - Rogers

با توجه به تجربه بدست آمده از مدار چاپی اول، در مدار چاپی دوم علاوه بر افزایش فاصله میان خطوط سیگنال، پهنای خطوط نیز افزایش داده شد، که در نتیجه هم مقاومت و هم خودالقایی خطوط کاهش می‌یابند. کاهش مقاومت بیشتر از کاهش خودالقایی خط خواهد بود، که باعث افزایش Q پاره خط سیگنال خواهد شد.

در مدار چاپی دوم برای آنکه زمین روی مدار چاپی کامل باشد از via (سوراخی از صفحه‌ی بالایی به صفحه پایینی مدار چاپی وصل می‌شود) استفاده شد. از طرفی خود این via خاصیت خودالقایی نیز دارد به همین دلیل تعداد زیادی via موازی با هم در مدار چاپی استفاده شد تا خودالقایی کاهش یابد و زمین بهتری روی مدار چاپی ایجاد گردد. این نکته در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است.

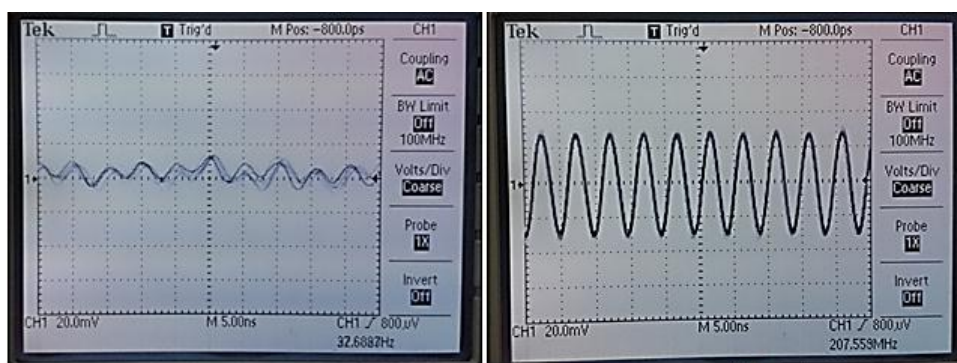
با توجه به کارکرد خوب مدار بازخورد مثبت روی برد سوراخدار، این مدار با ترانزیستور 2SC4926 روی مدار چاپی بسته و لحیم شد. اما برخلاف انتظار نوسان نکرد. در بررسی و عیب‌یابی مدار مشخص شد که ترانزیستور می‌سوزد. در دو آزمایش اول ترانزیستور آسیب دید، که سبب شد، در سومین آزمایش حد بالا جریان منابع تغذیه به گونه‌ای محدود شد، تا جریان ترانزیستور افزایش نیابد و این عمل از آسیب رساندن به ترانزیستور جلوگیری کرد. اما مدار همچنان نوسانی نکرد، لذا تصمیم گرفته شد از همان ترانزیستور پایه‌داری (2SC3355) که در برد سوراخدار استفاده و نوسان مناسب مشاهده شده بود، استفاده شود. مدار چاپی با ترانزیستور پایه دار در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است. پس از تنظیم نقطه کار، سیگنال دریافتی دارای بسامد ۲۰۷ مگاهرتز می‌باشد.

این افزایش بسامد نتیجه استفاده از خودالقا نصب-روی-سطح (SMD) با اندازه ۳۳ نانوهارتری (به جای خودالقایی حدود ۲۰۰ نانو هانری در برد سوراخدار) و همچنین کاهش خازن‌های انگلی می‌باشد. البته به دلیل اینکه این نوسان در نوسان‌نگار با قابلیت اندازه‌گیری حداکثر بسامد ۱۰۰ مگاهرتز دیده شد، احتمال خطا نیز وجود دارد. به همین دلیل بسامد نوسان‌ساز از ۱۹۷ تا ۲۰۷ تغییر دارد. در شکل (۳-۱۷) سیگنال دریافت شده مدار بازخورد مثبت از روی کلکتور و روی امیتر ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل (۳ - ۱۶): اعمال ترانزیستور پایه دار روی مدار چاپی

به دلیل کوچک بودن امپدانس قرار گرفته میان پایه امیتر تا زمین (امپدانس کم خازن کنارگذر μF در بسامد 207 مگاهرتز) انتظار می رفت دامنه سیگنال ولتاژ در گره امیتر بسیار کوچک باشد.



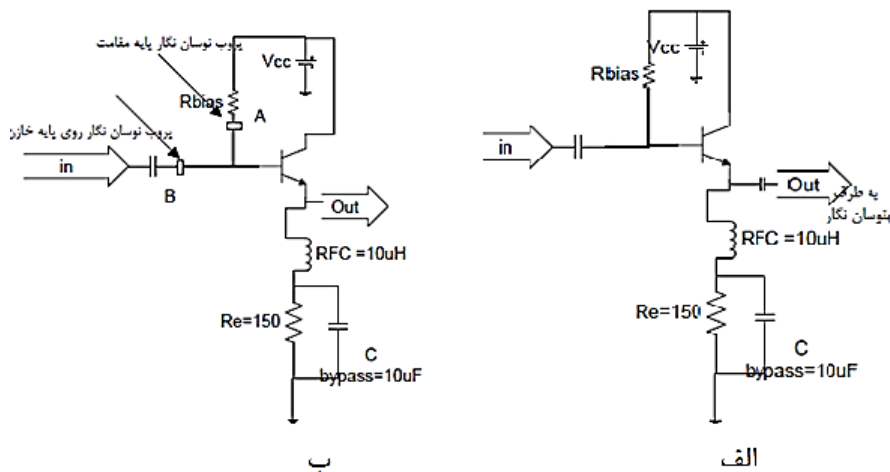
ب

الف

شکل (۳ - ۱۷): الف) نوسان از پایه کلکتور مدار بازخورد مثبت که بسامد دریافتی حدود 207 مگاهرتز با دامنه ی حدود 20 میلی ولت، ب) نوسان مدار بازخورد مثبت از پایه امیتر ترانزیستور

۳-۷ مدار بافر

با توجه به تجربه آزمایشگاهی نیاز به مدار بافر برای جلوگیری از اثر بارگذاری احساس می شود، همچنین می دانیم در بسامدهای بالا توان خروجی نوسان ساز کاهش می یابد، لذا در ابتدا مدار بافری روی برد سوراخدار مورد امتحان قرار گرفت. پیکره بندی کلکتور مشترک که مانند شکل (۳-۱۸) است، آزمایش شد.



شکل (۳ - ۱۸): الف (شکل مداری بافر ب) محل دریافت نوسان با گمانه در پایه مقاومت با بسامد ۴۶۰ کیلوهرتز و در پایه

خازن با بسامد ۳۶۰ کیلوهرتز

در این پیکره‌بندی از یک خودالقا، در امیتر ترانزیستور برای انتقال حداکثر توان بسامد بالا استفاده شد. در این آزمایش که برای کارکرد مدار بافر طراحی شده بود از منبع تغذیه، نوسان‌نگار و منبع سیگنال^۱ مدل ESCORT EGC-3238A استفاده شد. حداکثر بسامد منبع سیگنال حدود ۱۵ مگاهرتز می‌باشد. اگرچه این بسامد بسیار پایین‌تر از بسامد کاری مدار نوسان‌ساز است، تنها برای کسب تجربه جهت عملکرد مدار بافر روی برد سوراخدار آزمایش شد. مدار بافر همانند تحلیل آن عمل کرد و انتظار می‌رود رفتار مدار بافر تا بسامدهای بالاتر نیز همین‌گونه باشد. مدار بافر با سر هم کردن ترانزیستور معمولی ۴۹۲۶ ۲SC راه اندازی شد. جدول (۳-۶) مشخصات نقطه کار مدار بافر را نشان می‌دهد.

جدول (۳-۱۶): مشخصات نقطه کار مدار بافر

R_B	R_e	V_{CC}	V_{BB}	I_C (mA)	I_B (μA)
۱۰ k Ω	۱۵۰ Ω	۹	۵	۲۰.۶	۱۱۱

حال برای بدست آوردن β این ترانزیستور از I_B استفاده می‌کنیم :

$$I_B = \frac{V_{BB} - 0.7}{R_B + (\beta + 1) * R_e} = \frac{4.3}{10 + (\beta + 1) * 0.15} , 10 + (\beta + 1) * 0.15 = \frac{4.3}{111 \mu A} = 38.7$$

$$(\beta + 1) * 0.15 = 28.7 \Rightarrow \beta = 186$$

پس از نصب خازن کوپلاژ مشاهده شد ترانزیستور استفاده شده در مدار بافر رفتار نامطلوبی دارد. به عنوان مثال مدار مستقل از فرمان بیس کار می‌کند، یعنی ولتاژ بیس را تا ۰.۵ ولت کاهش داده اما

جریان ترانزیستور بدون تغییر (در $V_{CC} = 7$) میلی آمپر باقی ماند. همچنین اگر V_{CC} از ۷ ولت به ۶ یا ۵ ولت کاهش داده شود جریان کلکتور به ترتیب به ۲۱.۶ و ۱۵.۴ میلی آمپر تغییر پیدا می کند. اگر گیره (پنس) به پایه کلکتور وصل شود آنگاه مدار، رفتار DC مطلوب را پیدا می کند. (اگر گیره به پوسته پلاستیکی برخورد کند بی تاثیر است).

در آزمایش ها مشاهده شد، وقتی که از دو نقطه متفاوت به گره بیس، گمانه وصل شود، بسامدهای متفاوتی دریافت شد. همان طور که در شکل (۳-۱۸ ب) وقتی گمانه به نقطه A که محل اتصال مقاومت به بیس ترانزیستور می باشد، وصل شود بسامد ۴۶۰ کیلوهرتز دریافت می شود؛ و هنگامی که به نقطه B (محل اتصال خازن کوپلاژ به بیس) وصل شود، بسامد ۳۶۴ کیلوهرتز دریافت می شود، این رفتار سوال برانگیز با تعویض ترانزیستور از ۲SC۴۹۲۶ به ۲SC۳۳۵۵ ناپدید گردید.

با توجه به عدم قطعیت نقطه کار ترانزیستور و ضعف خودالقا (که در ادامه توضیح داده خواهد شد) و همچنین در راستای این پایان نامه که توان خروجی نوسان ساز معیار اصلی نمی باشد و با بررسی طبقه خروجی در نکات کاربردی^۱ [۳۶ و ۳۹] به جای استفاده از مدار بافر، تنها یک خازن استفاده شده بود لذا از این پس در این پایان نامه مدار بافر حذف می گردد.

۳-۸ نوسان نگار و کابل مدل Tektronix

۳-۸-۱ کابل گمانه^۲ نوسان نگار

در ابتدا گمانه نوسان نگار و سپس نوسان نگار بررسی خواهد شد.

تصاویر کابل گمانه نوسان نگار در نمای های مختلف در شکل (۳-۱۹) آورده شده است.

همان طور که در شکل (۳-۱۹ ب) مشاهده می کنید، دهانه نمونه بردار گمانه نوسان نگار قابلیت انتخاب مقاومت ورودی گمانه را نشان می دهد. دو حالت مقاومت ورودی آن، یکی ۲.۴ اهم و دیگری حدود ۸.۹ مگا اهم است.

1- application note
2 - probe



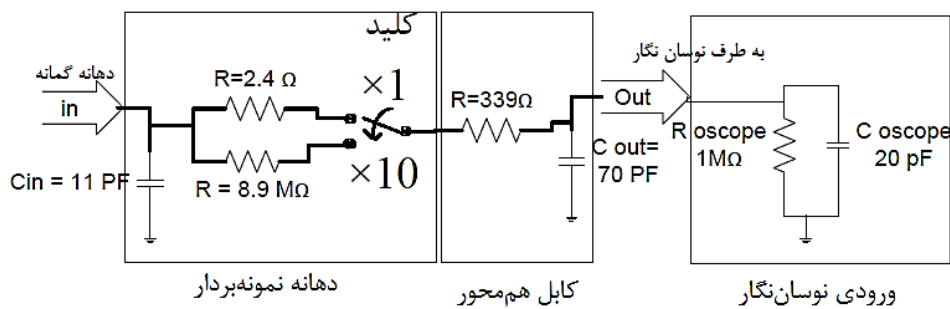
ج

ب

الف

شکل (۳ - ۱۹): الف) نمای کامل گمانه نوسان‌نگار (ب) دهانه نمونه‌بردار جدا شده از کابل گمانه نوسان‌نگار که قابلیت انتخاب مقاومت ورودی را دارد (ج) مشخصات کابل نوسان‌نگار مدل Tektronix در بسامد بیان شده در شکل.

مدرا معادل آن در بسامد یک کیلوهرتز اندازه‌گیری شده و به صورت شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است.



شکل (۳ - ۲۰): مدار معادل اندازه‌گیری شده در دو حالت یک و ۱۰ برابر

در این اندازه‌گیری دهانه نمونه‌بردار گمانه نوسان‌نگار به طور جداگانه اندازه‌گیری شد که در هر دو حالت خازن آن حدود ۱۱ پیکوفاراد بوده و مقاومت ورودی بسته به ضریب دهانه نمونه‌بردار بین دو حالت تغییر می‌کند و همچنین مقاومت سیم درونی کابل هم محور حدود ۳۴۰ اهم و سیم بیرونی تقریباً اتصال کوتاه می‌باشد. خازن بین دو سیم کابل هم محور به طول حدود یک متر، تقریباً ۷۰ پیکوفاراد می‌باشد. در ادامه اثر مقاومت و خازن کابل نوسان‌نگار در اندازه‌گیری نوسان‌ساز بسامد بالا بیان می‌شود.

۳-۸-۲ نوسان‌نگار

نوسان‌نگار مدل Tektronix TDS 1012 در برگه اطلاعات آن بیان شده است و برای اندازه‌گیری نوسان تا بسامد ۱۰۰ مگاهرتز طراحی شده است. این نوسان‌نگار دیجیتال 10^9 بار در هر ثانیه نمونه برداری می‌کند و طبق نظریه نایکویست انتظار می‌رود تا حداکثر نوسان ۵۰۰ مگاهرتز را صحیح نشان

دهد. در ادامه روند اثر زمین نوسان نگار و حداکثر بسامد که با این دستگاه اندازه گیری می شود بیان شده است.

۳-۸-۳ خازن صافی منبع تغذیه در بسامد بالا

همان طور که در ابتدای این فصل اثر قرار دادن خازن صافی منبع تغذیه در شکل موج خروجی نوسان ساز در بسامد حدود ۳ مگاهرتز دیده شد، در این بخش اثر نبودن خازن صافی در بسامد بالاتر (حدود ۲۰۰ مگاهرتز) در نوسان ساز بررسی می شود. بدین ترتیب نقطه کار مدار اتصال ضربدری برای هر شاخه نوسان ساز با جریان حدود ۱۰ میلی آمپر و $V_{CE} = 5$ ولت تنظیم شد و سپس دو خازن تزویج بین کلکتور و بیس ترانزیستور نصب شد. مشخصات مدار نوسان ساز اتصال ضربدری به صورت جدول (۷-۳) می باشد.

جدول (۷-۳): مشخصات مدار اتصال ضربدری

R_B	$R_{e\text{bias}}$	C_{connect}	$L_1=L_2$	$C_1 = C_2$	Vc	V_{CE}
۳۹KΩ	۱۵۰ Ω	۱۰pF	۳۳ nH	۱۰pF	۷	۵

در اثر نصب خازن ۱۰ پیکوفاراد تزویج بین بیس و کلکتور مشخصات نقطه کار مدار تغییر کرد. و جدول ۸-۳ مشخصات این حالت را بیان می کند.

جدول (۸-۳): مشخصات نقطه کار مدار اتصال ضربدری پس از نصب خازن ۱۰ پیکوفاراد تزویج بین بیس و کلکتور

فقط سمت چپ روشن باشد	هر دو سمت روشن باشد		فقط سمت راست روشن باشد
$I_{CL} = ۳.۱\text{mA}$	$I_{CL} = -۶.۸\text{mA}$	$I_{CR} = ۲.۵\text{mA}$	$I_{CR} = ۴.۴۲\text{mA}$

جریان کلکتور ترانزیستورهای سمت چپ و راست مدار، I_{CL} و I_{CR} ، در جدول (۸-۳) نشان داده شده اند. علامت منفی جریان در حالتی که هر دو ترانزیستور روشن هستند به این معنی است که جریان به جای این که از منبع کشیده شود، به آن وارد می شود. در اثر عدم نصب خازن صافی در مدار اتصال ضربدری بین منابع و تغذیه کلکتور، نوسان ناخواسته ای در مدار به وجود می آید.

نوسان ناخواسته در حالت خاصی قابلیت رویت داشت که در شکل (۳-۲۱) این نوسان مشاهده می شود. زمانی که دهانه گمانه در حالت $\times 1$ باشد و به نوسان ساز وصل شود مدار از نوسان می افتد ولی در حالت $\times 10$ به نوسان ادامه می دهد که این نوسان را در شکل (۳-۲۱ب) با دامنه ای بیش از ۴ ولت مشاهده می کنید. می توان نتیجه گرفت که در اثر بارگذاری گمانه نوسان نگار در حالت $\times 1$ نوسان ساز از نوسان افتاده است. از آنجایی که خازن ورودی دهانه گمانه نوسان نگار در هر دو حالت یکسان می

باشد، لذا این پدیده اثر بارگذاری مربوط به خازن 70 pF یا مقاومت حدود $340\ \Omega$ اهم کابل هم محور می‌باشد. برای آنکه روشن شود اثر بار گذاری کدام یک از دو قطعه‌ی خازن و یا مقاومت بیشتر است، آزمایشی طراحی شد.



شکل (۳ - ۲۱): الف) نوسان از یک خروجی نوسان‌ساز تزویج ضربداری با دامنه بیش از ۵ ولت ب) نوسان از هر دو خروجی نوسان‌ساز

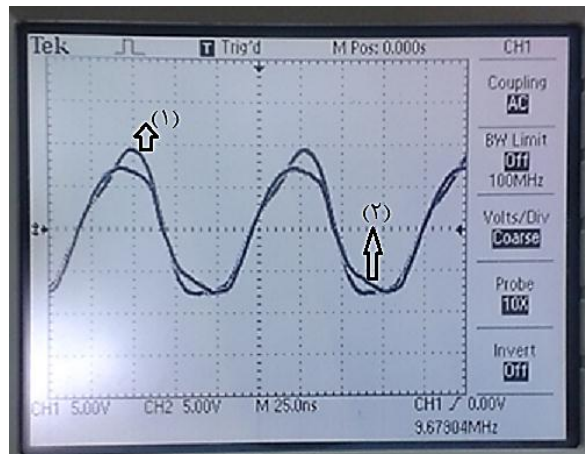
در این آزمایش یکبار مقاومت $339\ \Omega$ اهم را بین یکی از کلکتورهای مدار اتصال ضربداری و زمین وصل شد و مدار از نوسان افتاد و همچنین برای بار دیگر یک خازن $82\ \mu\text{F}$ پیکوفاراد عدسی مانند را بین پایه کلکتور و زمین قرار داده که این بار نیز مدار از نوسان افتاد. لذا برای هر دو المان اثر بار گذاری مشاهده شد ولی در حالت $10 \times$ مقاومت بزرگ حدود $9\ \text{M}\Omega$ گمانه نوسان‌نگار اثر بارگذاری را از بین می‌برد و همچنین به خاطر سری بودن مقاومت $9\ \text{M}\Omega$ با خازن $70\ \mu\text{F}$ پیکوفاراد کابل هم محور اثر خازن نیز از بین می‌رود و باعث می‌شود مدار به نوسان خود ادامه دهد.

۳-۸-۴ اثر زمین در نوسان‌نگار

در آزمایش اتصال کوتاه اهم متر و همچنین در برکه اطلاعات آمده است که زمین نوسان‌نگار (زمین روی صفحه نوسان‌نگار) و زمین کابل‌های آن (زمین دهانه گمانه نوسان‌نگار) به هم متصل است، اما در طی فرایند آزمایشی اثبات شد که زمین نوسان‌نگار در بسامدهای بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این آزمایش به طور مختصر در زیر بیان شده است.

در طی آزمایشی به گمان آنکه زمین نوسان‌نگار به هم متصل است، تنها زمین یکی از دهانه‌های گمانه را به مدار وصل کرده و مشاهده شد، نوسان خروجی نمونه‌برداری شده متفاوت است. در شکل (۳-۲۲) تفاوت دو نوسان را مشاهده می‌کنید که زمین یکی از گمانه‌ها وصل و دیگری قطع می‌باشد

همچنین زمین روی صفحه نوسان نگار را با سیم مسی به طول نیم متر به زمین مدار وصل کرده اما باز دو نوسان متفاوت است.



شکل (۳ - ۲۲): خروجی نوسان نوسان ساز از یک پایه کلکتور با دو گمانه که زمین یکی وصل و دیگری قطع

در شکل (۳-۲۲) زمین گمانه شماره یک به زمین مدار وصل است و زمین گمانه شماره دو وصل نیست، همان طور که مشاهده می کنید نوسان سینوسی شماره یک کم اعوجاج تر می باشد. در اثر وصل کردن زمین هر دو دهانه‌ی گمانه نوسان نگار شکل موج های خروجی نوسان ساز یکسان می شود.

نتایج حاصل از این آزمایش به طور مختصر این گونه قابل بیان است که زمین نوسان نگار باید به مدار چاپی نزدیک باشد و همچنین زمین هر کدام از گمانه ها باید به طور مستقل به زمین مدار چاپی متصل باشد.

۳-۸-۵ حداکثر بسامد عملی نوسان نگار Tektronix TDS 1012

در برکه اطلاعات کابل Tektronix خازن ورودی گمانه حدود ۱۵ پیکوفاراد (در اندازه گیری این خازن حدود ۱۱ پیکوفاراد) است. در زمان اندازه گیری خازن گمانه با خازن مدار تشدید نوسان ساز موازی شده و بسامد نوسان را کاهش می دهد. در جدول (۳-۹) مقایسه بسامد محاسبه شده نوسان ساز با حالت اندازه گیری شده بیان شده است. در حالت محاسبه بسامد نوسان ساز، دو حالت لحاظ شد، یک حالت مدار تشدید و دیگری محاسبه بسامد مدار تشدید با خازن گمانه موازی شده می باشد

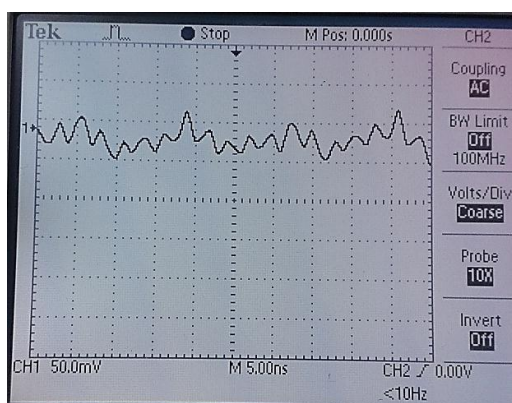
جدول (۳-۱۹): مقایسه نوسان دریافتی با حالت تحلیلی

$C_{connect}$	$C_1 = C_2$	$L_1 = L_2$	$f =$	$f =$	f
---------------	-------------	-------------	-------	-------	-----

			$\frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}}$	$\frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * (C_{core} + C_{oscop})}}$ $C_{oscop} \approx 15 PF$	اندازه گیری شده
۱۰pF	۱۰pF	۳۳nH	۲۷۷MHz	۱۷۵MHz	۱۸۸MHz
۱۰pF	۱۰pF	۱۸nH	۳۷۵MHz	۲۳۰MHz	۲۰۳MHz
۱۰pF	۱۰pF	۴.۷nH	۷۴۷MHz	۴۶۰MHz	۴۵۰MHz

در نوسان ساز اتصال ضربداری با خازن تزویج و خازن مدار تشدید ۱۰ پیکوفاراد و با خودالقای متفاوت، بسامد خروجی مدار اندازه گیری شده است که بسامد آن در جدول (۳-۹) بیان شده و همچنین محاسبات تحلیلی ناشی از خودالقای و خازن مدار تشدید و با در نظر گرفتن خازن گمانه نیز بدست آمده و در جدول بیان شده است. در حالت خودالقای ۴.۷ نانوهانری با مجموع دو خازن گمانه و مدار تشدید نوسان ساز، بسامد ۴۶۰ مگاهرتز محاسبه می شود و از طرفی طبق دیدگاه نایکویست انتظار می رود که با توجه به نمونه برداری یک گیگا برثانیه حداکثر تا بسامد ۵۰۰ مگاهرتز را نمایش دهد. نوسان با بسامد ۴۶۰ مگاهرتز در شکل (۳-۲۳) آمده مشاهده می شود.

از آنجایی که دو خروجی اتصال ضربداری حدود ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشت و به خاطر تکرار پذیری آن، شکل موج مربوط به نوسان ساز خواهد بود که در شکل (۳-۲۳) نشان داده شد. آنچه که در تصویر (۳-۲۳) مشاهده می شود، شکل موج دارای دو تناوب زمانی است که بسامد بزرگتر (تناوب کوچک) حدود ۴۵۰ مگاهرتز و بسامد کوچک (تناوب بزرگ) حدود ۴۰ مگاهرتز می باشد.

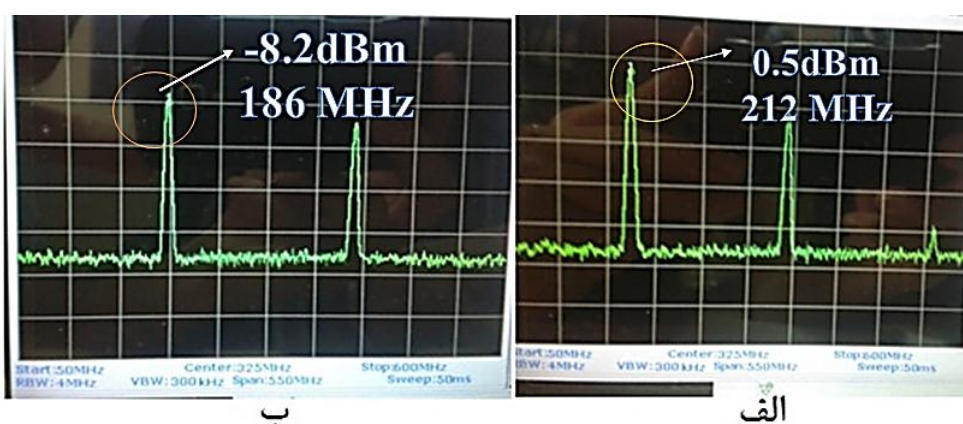


شکل (۳ - ۲۳): نوسان نوسان ساز تزویج ضربداری در بسامد بیش از ۴۰۰ مگاهرتز

اما با نوسان نگار مدل TDS 1012 نمی توان در مورد خلوص بسامد دریافتی آن قضاوت کرد. این بیان می کند این نوسان نگار در عمل حداکثر تا بسامد حدود ۲۵۰ مگاهرتز قابلیت استفاده را دارد. به همین دلیل برای اندازه گیری بسامدهای بالاتر از ۲۵۰ مگاهرتز از طیف سنج استفاده می شود.

۳-۸-۶ کابل Tektronix و کابل Rj58 30u در استفاده از طیف‌سنج

در این آزمایش می‌خواهیم دو کابل Tektronix و کابل Rj5830u را هنگامی که با دستگاه طیف‌سنج وصل است مقایسه کنیم. کابل Tektronix در حالت $\times 1$ را به مدار نوسان‌ساز وصل کرده تا توان هماهنگ‌ها را اندازه‌گیری نماید. با وصل کردن این کابل به مدار نوسان‌ساز بار مقاومتی حدود ۳۹۰ اهم وصل شده که ناشی از ۳۴۰ اهم کابل و مقاومت ورودی طیف‌سنج ۵۰ اهم و بار خازنی ۱۱ پیکوفارادی دهانه‌ی گمانه می‌باشد؛ در مقابل کابل Rj5830u مقاومتی ندارد و به عبارتی ورودی ۵۰ اهم طیف‌سنج را به نوسان‌ساز متصل کرده است.



شکل (۳ - ۲۴): الف) اندازه‌گیری با کابل Rj58 30u و نمونه برداری از خازن توزیع ۱۰۰ پیکوفاراد با نقش بافر، ب)

اندازه‌گیری با کابل Tektronix با اتصال مستقیم به کلکتور ترانزیستور مدار نوسان ساز

جدول (۳ - ۲۰): این جدول با ولتاژ $VCC=8$ و تغذیه بیس با $VBB=5$ ولت می‌باشد که تفاوت دو کابل Tektronix و کابل Rj5830u بیان شده است

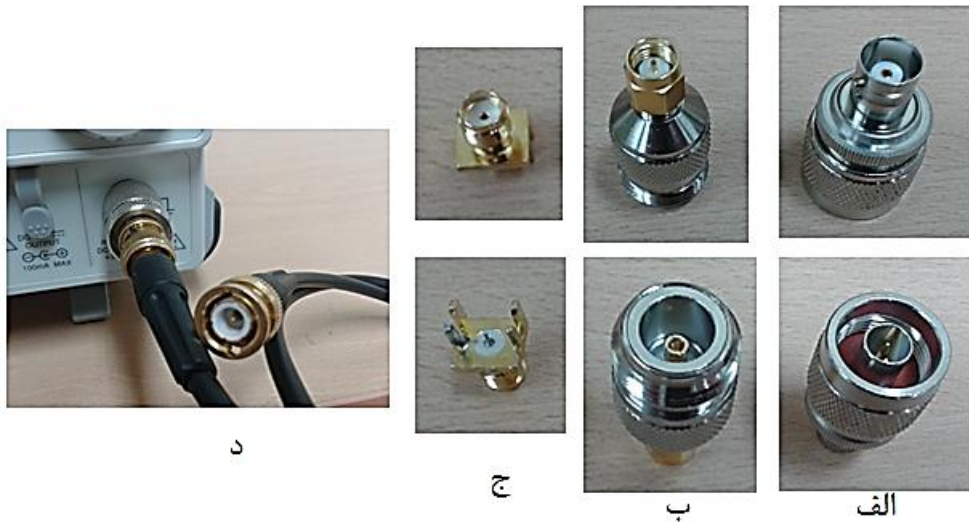
کابل Tektronix		کابل Rj5830u	
f_{MHz}	P_{dBm}	f_{MHz}	P_{dBm}
۱۸۳.۱	-۸.۲	۲۱۲.۸	۰.۵
۳۶۵.۷	-۱۹.۵	۴۲۵.۱	-۳.۸ تا -۳.۹

در مدار اتصال ضربدری دارای خودالقا ۳۳ نانوهانری و خازن‌های ۱۰ پیکوفاراد می‌باشد. در حالت کابل Tektronix با اتصال دهانه گمانه به کلکتور ترانزیستور نوسان‌ساز اندازه‌گیری شده است؛ در حالت کابل Rj5830u اندازه‌گیری از طریق خازن ۱۰۰ پیکوفارادی که به عنوان جدا کننده بار (کابل و دستگاه طیف‌سنج) از نوسان‌ساز، صورت گرفته است. جدول (۳-۱۰) بیان می‌کند زمانی که کابل Tektronix به مدار نوسان‌ساز وصل باشد هم در بسامد به میزان ۳۰ مگاهرتز و هم در توان دریافتی به میزان ۱۰ dB اثر منفی می‌گذارد. بدین ترتیب از این پس اندازه‌گیری از مدار نوسان‌ساز از طریق

یک کابل BNC هم محور (مقاومت سیم درونی آن صفر باشد) صورت می‌گیرد.

۳-۹ قطعات مورد نیاز برای دریافت سیگنال برای طیف سنج

در اندازه‌گیری از طریق کابل Rj5830u نیاز به قطعاتی است که در شکل (۳-۲۵) مشاهده می‌شود.



شکل (۳ - ۲۵): الف) نمای بالا و پایین تبدیل BNC به N (ب) شکل :: نمای بالا و پایین تبدیل SMA به N (ج) شکل ::

نمای بالا و پایین اتصال SMA لبه بردی، د) کابل BNC و تبدیل BNC به N به ورودی طیف‌سنج.

برای انتقال سیگنال از مدارچاپی به طیف‌سنج از کابل با اتصال دهنده BNC و تبدیل BNC به N و N به SMA استفاده شده است. در شکل (۳-۲۵) تصاویر قطعات استفاده شده را مشاهده می‌کنید.

با توجه به برگه اطلاعات طیف‌سنج، ورودی آن قابلیت تحمل ± 25 ولت را دارد، لذا با نبودن خازن تزویج ۱۰۰ پیکو فاراد در نقش جدا کننده، نوسانِ نوسان‌ساز اندازه‌گیری شد که بسامد مدار افزایش یافت. همچنین در مدار بازخورد مثبت، سیگنال اندازه‌گیری شده از کلکتور ترانزیستور که بسامد هماهنگ اول از ۲۱۳ مگاهرتز به ۲۶۹ مگاهرتز و توان دریافتی از حدود صفر به ۵.۱ dB افزایش یافت. (خازن جدا کننده بار از نوسان‌ساز هم روی توان و هم بسامد تاثیرگذار است).

برای افزایش بسامد مدار بازخورد مثبت، خازن C_1 و C_2 را تغییر داده و بسامد خروجی اندازه‌گیری شده است که در جدول (۳-۱۱) به طور مختصر آمده شده است.

جدول (۳-۱۱): مشاهده تغییرات فرکانس در اثر تغییرات خازن C_1, C_2 زمانی که اندازه خودالفا ثابت $L_1 = 33 nH$

$C_1 = C_2 = 10 pF$		$C_1 = 3.3 pF, C_2 = 10 pF$		$C_1 = 1 pF, C_2 = 10 pF$		$C_1 = 3.3 pF, C_2 = 3.3 pF$	
f_{MHz}	P_{dBm}	f_{MHz}	P_{dBm}	f_{MHz}	P_{dBm}	f_{MHz}	P_{dBm}
۲۶۹	۵.۱	۳۱۰	۳.۳	۳۳۰	-۵.۲	۲۸۰	۰.۵
۵۳۱	-۱۵	۶۱۹	-۵.۳	۶۶۰	-۱۴	۵۶۶	-۶

همان طور که انتظار می‌رفت با کاهش خازن C_1 بسامد مدار افزایش یافت، به جای خازن C_1 و رکتور BB105 به صورت شکل (۳-۱۰) در مدار بازخورد مثبت استفاده شد و با تغییر ولتاژ دو سر رکتور، بسامد نوسان‌ساز به صورت جدول (۳-۱۲) می‌باشد.

جدول (۳-۱۲): تغییرات فرکانس بر حسب تغییر ولتاژ

V control	-۳	۰	۸.۵	۹
f MHz	۱۵۱۹	۱۵۲۷	۱۵۶۶	۱۵۷۱
P dBm	-۳۵	-۳۰	-۳۵	-۵۰

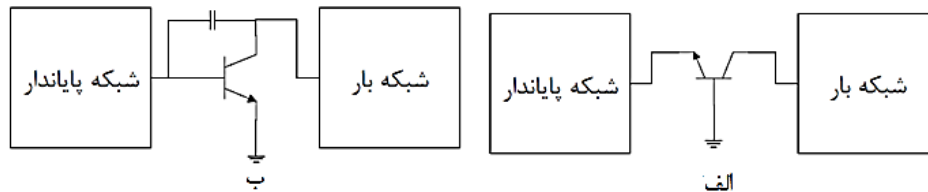
از آنجایی که رکتور مدل BB105 با توجه به برگه اطلاعات آن که در باند VHF کار می‌کند لذا در این آزمایش این رکتور در باند UHF مورد استفاده قرار گرفت و به جای آنکه در محدوده ۲۵۰ تا ۳۵۰ مگاهرتز کار کند به باند دیگری تغییر وضعیت داد و در بسامد از ۱۵۱۹ تا ۱۵۷۱ مگاهرتز نوسان کرد. با تغییر ۱۲ ولت حدود ۴۵ مگاهرتز تغییر بسامد داشت.

۳-۱۰ نقطه کار مدار اتصال ضربدردی

به دلیل اهمیت نقطه کار در عملکرد ترانزیستورهای بسامد بالا ساختار متفاوتی مطرح می‌شود و ساختار عمومی و دلیل استفاده آن بیان می‌شود. منظور از طراحی مناسب برای نقطه کار dc، انتخاب نقطه کار مناسب و ثابت نگهداشتن آن نسبت به تغییرات در پارامترهای ترانزیستور و دمای مربوط به آن می‌باشد. یک مدار بایاس مقاومتی باعث ایجاد نتایج خوبی در تغییرات حرارتی کم یا متوسط می‌گردد. اما، یک شبکه بایاس فعال، معمولاً برای تغییرات گسترده دمایی بهتر می‌باشد.

در مرجع [۳۱-۱] برای ساخت یک نوسانگر مقاومت منفی با استفاده از ترانزیستور BJT، موثرترین ساختار را بیس-مشترک می‌دانند. این آرایش در شکل (۳-۲۶ الف) نشان داده شده است. این آرایش در مدار نوسانگر کم توان به کار می‌رود و تنظیم آن به سهولت انجام می‌شود. ساختار امیتر مشترک و کلکتور مشترک نیز در نوسانگرهای میکروویو کاربرد دارند. ساختار امیتر مشترک که

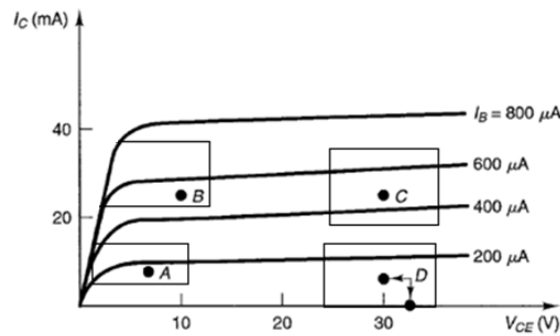
در شکل (۳-۲۶ ب) مشاهده می‌کنید برای توان‌های خروجی بالاتر در نوسانگر به کار می‌رود و معمولاً شبکه فیدبک آن شامل یک خازن می‌باشد. به دلیل آنکه ساخت نوسانگر با استفاده از آرایش کلکتور مشترک مشکل می‌باشد، بکارگیری این روش در طراحی نوسانگرها چندان معمول نمی‌باشد.



شکل (۳-۲۶): الف) ساختار بیس مشترک برای نوسانگر کم توان ب) ساختار امیتر مشترک برای نوسانگر با توان بالاتر

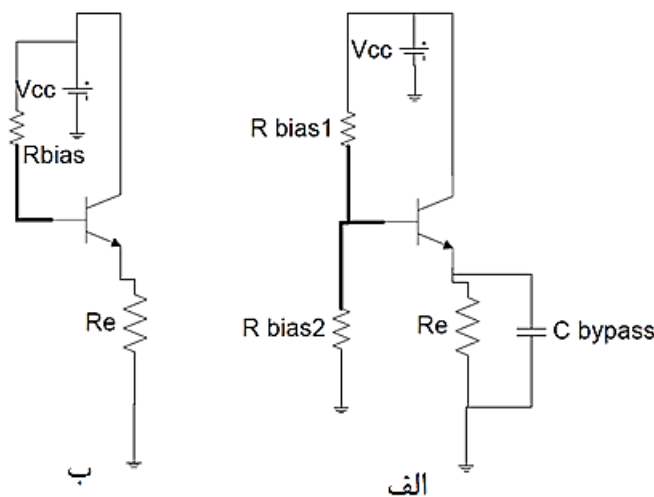
در بسامدهای پایین، مقاومت در امیتر و یک خازن کنارگذر، کمک شایانی به پایداری نقطه کار ترانزیستور می‌نماید. در بسامدهای میکروویو، استفاده از خازن کنارگذر موازی شده با مقامت امیتر می‌تواند در برخی از بسامدهای میکروویو با ناپایدار نمودن قطب ورودی، ایجاد نوسان کند. علاوه بر این، مقاومت امیتر ترانزیستور عملکرد نویز تقویت کننده را کاهش می‌دهد. از این رو، در بیشتر تقویت کننده‌های ترانزیستورهای میکروویو به خصوص در بسامدهای گیگاهرتز، امیتر ترانزیستور به زمین متصل می‌گردد. در بسامدهای میکروویو، پارامترهایی از ترانزیستور که بیشتر تحت تاثیر دما قرار می‌گیرند، عبارتند از I_{CBO} ، h_{FE} و V_{BE} . جریان معکوس I_{CBO} (در بسامد پایین)، به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دما، دو برابر می‌شود. ترانزیستورهای میکروویو دارای گردش جریان معکوس پیچیده‌تری می‌باشند. گردش جریان معکوس در ترانزیستورهای میکروویو از دو مولفه تشکیل می‌شود: یکی از آنها I_{CBO} معمولی بوده و دیگری جریان سطحی I_s می‌باشد، که از سرتاسر بخش بالایی شبکه سیلیکونی ترانزیستور عبور می‌کند. جریان اشباع معکوس در یک ترانزیستور میکروویو که I_{CBO} نام دارد، در مقایسه با I_{CBO} قراردادی با نرخ کندتری افزایش می‌یابد.

در انتخاب نقطه کار dc برای یک ترانزیستور BJT بسته به آن که در چه کاربردی استفاده شود جریان و ولتاژ کلکتور-امیتر آن را می‌توان تعیین کرد. برای حالت کم نویز و کم توان باید مدار دارای جریان کم و ولتاژ کلکتور امیتر آن نیز کم باشد مانند محدوده A در شکل (۳-۲۷) و برای حالت کم نویز و توان بیشتر محدوده B می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. همچنین برای کاربردهای تقویت کننده‌های قدرتی مانند کلاس A محدوده نقطه C و برای بازده بیشتر در کارهای قدرتی نقطه D انتخاب می‌شود.



شکل (۳ - ۲۷) : انتخاب نقطه کار DC

مرجع [۳۱] در پیکره‌بندی امیتر مشترک دو ساختار معروف می‌توان استفاده کرد. همان‌طور که در شکل (۳-۲۸) مشاهده می‌کنید، ساختار مدار مستقل از β در شکل (۳-۲۸ الف) و ساختار مدار وابسته به β در تصویر (۳-۲۸ ب) بیان‌کننده این ساختار است. در نحوه طراحی نقطه کار مدارهای بسامد بالا، مدارهای وابسته به β را بهتر می‌دانند؛ اگرچه در این صورت مدار خیلی حساس به ترانزیستور مورد استفاده، قرار می‌گیرد و ممکن است از یک مدارچاپی به مدارچاپی دیگر نقطه کار به شدت تغییر کند؛ اما با توجه به این ضعف بزرگ در مرجع ذکر شده دلیل این انتخاب را پایدارتر کردن مدار می‌داند. البته در منابع دیگر دلیل انتخاب این پیکره بندی برای تنظیم نقطه کار را علاوه بر پایداری بیشتر، تعداد قطعات کمتر به کار رفته در مدار ذکر می‌کنند؛ زیرا در مدارهای بسامد بالا هر چه مدار با قطعات کمتر بسته شود بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد حتی اگر موجب شود پایداری دمایی آن نیز کمی کاهش یابد.



شکل (۳ - ۲۸) : الف) پیکره بندی مستقل از β ب) پیکره بندی وابسته به β

در مدار اتصال ضربداری برای تنظیم نقطه کار مدار هر سمت مدار را به صورت مستقل تنظیم کرده و سپس خازن تزویج بسته خواهد شد و به همین دلیل جریان هر کدام از طرفین به صورت زیر بایاس

شده است:

سمت چپ با فرض $\beta = 100$ و $I_c = 20 \text{ mA}$ به ولتاژ تغذیه ۷ ولت ($V_{CC} = 7$) و تغذیه بیس ۱۱.۵ ولت ($V_{BB} = 11.5$) انتخاب شد. اما بعد از آزمایش $\beta = 42$ شد، لذا جریان کلکتور به ۱۰.۴ میلی آمپر کاهش یافت و به دلیل تعداد کم ترانزیستور، همین جریان کمتر انتخاب شد و برای آنکه V_{CE} مطلوب باشد سرانجام نقطه کار سمت چپ به صورت زیر شده است:

$$V_{BB} = 11.5 \text{ (v)} , V_{CC} = 6.5 \text{ (v)} \gg I_B = 246 \text{ (\mu A)} I_c = 10.2 \text{ (mA)} \gg V_{CE} = 4.85 \text{ (v)}$$

برای سمت راست ابتدا با الهام از سمت چپ آغاز کردیم ولی سرانجام به اعداد زیر رسید:

$$V_{BB} = 11.5 \text{ (v)} , V_{CC} = 6.5 \text{ (v)} \gg I_B = 214 \text{ (\mu A)} I_c = 16.1 \text{ (mA)} \gg \beta = 75$$

برای یکسان شدن جریان نقطه کار و ولتاژ تغذیه کلکتور روند نقطه کار ادامه پیدا کرد و سرانجام به صورت زیر شد:

$$V_{BB} = 7.5 \text{ (v)} , V_{CC} = 6.5 \text{ (v)} \gg I_B = 137 \text{ (\mu A)} I_c = 10.4 \text{ (mA)} \gg V_{CE} = 4.85 \text{ (v)}$$

بدین ترتیب نقطه کار مدار اتصال ضربداری با تغذیه $V_{CC} = 6.5 \text{ (v)}$ و جریان هر شاخه مدار $I_c = 10.4 \text{ (mA)}$ انتخاب شد. در فصل بعد نقطه کار مدار اتصال ضربداری عمدتاً این حالت می‌باشد، در بعضی حالت برای این که جریان همانند جریان بالا شود ولتاژ بیس را تغییر خواهیم داد.

فصل چهارم: کارهای انجام شده در بسامد بالا

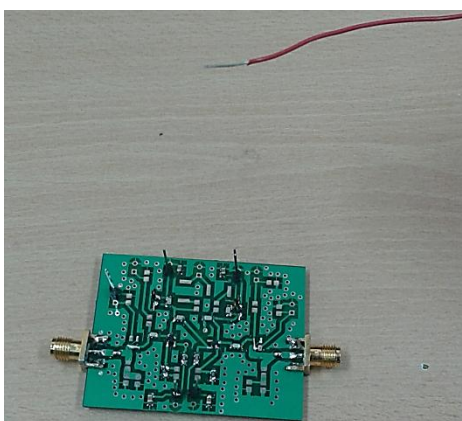
۱-۴ مقدمه:

در این فصل در ابتدا حالت‌های مختلف دریافت سیگنال از مدار نوسان‌ساز پیشنهاد و مقایسه می‌شود. آزمایش‌های متفاوتی صورت گرفت، اثر سیگنال بیرونی در مدار غیرخطی نوسان‌ساز بررسی شده و با سپر الکترومغناطیسی به مقابله با آن پرداخته شد. همچنین اثر خودالقا، با کیفیت نامطلوب در بسامد بالا تشریح شده است؛ سپس خودالقا با اندازه‌ی خودالقایی مختلف ساخته و آزمایش شد.

۲-۴ حالت‌های مختلف برداشت سیگنال

در ابتدای این بخش روش‌های مختلف دریافت سیگنال از مدار نوسان‌ساز پیشنهاد می‌شود و این حالت‌ها در عمل مقایسه و بررسی می‌شوند. این چهار حالت به صورت زیر نام‌گذاری و تعریف می‌شوند

۱- **حالت آنتن‌گونه:** (تشعشی، کاپلینگ مغناطیسی، القایی): در این حالت سیگنال از طریق یک سیم مسی به طول ۱۲ cm که به مغزی SMA لبه بردی متصل است که به طور متوسط در فاصله ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر از برد مدارچاپی نگه داشته می‌شود تا سیگنال دریافتی از طریق آن در طیف‌سنج مشاهده شود. همانند شکل (۱-۴) سیگنال به صورت آنتن‌گونه دریافت می‌شود

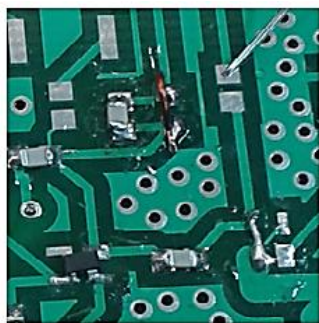


شکل (۱-۴): دریافت به صورت آنتن‌گونه

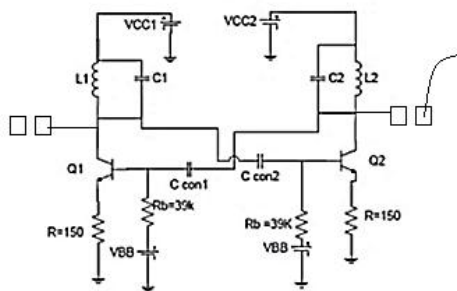
۲- **حالت خازن‌گونه:** (القایی با فاصله ثابت) در این حالت توان از جای پای (pad) خازن تزویج

از سمت مدار بافر درحالی که خازن تزویج نباشد و فقط فاصله هوایی مشخصی باشد؛ سیگنال به صورت القایی جذب می‌شود. برای آنکه تصویر در ذهن ظاهر شود شکل مدارچاپی آن در شکل (۲-۴) آمده و محل دریافت خازن گونه نشان داده شده است.

برای این کار سیم ۱۲ سانتی متری که به مغزی SMA وصل است را به محل خازن گونه وصل خواهیم کرد.



ب



الف

شکل (۲ - ۴) : الف) شکل مداری و محل دریافت آنتن گونه، ب) نمای مدارچاپی و نمایش محل دریافت سیگنال خازن -

گونه

۳- حالت مستقیم : در حالت اتصال مستقیم سیگنال از کلکتور ترانزیستور هسته نوسان ساز گرفته می‌شود که این کار با همان سیم ۱۲ سانتی متری صورت می‌گیرد.

سه حالت فوق سریع‌ترین و آسان‌ترین روش برای دریافت سیگنال از مدار نوسان ساز می‌باشند
۴- حالت اصلی SMA: انتقال از طریق یک خط ریزنوار صورت می‌گیرد که در مسیر خط ریزنوار، یک خازن به عنوان جدا کننده مدار از بار استفاده شده است.

مدار نوسان ساز اتصال ضربداری با اندازه قطعات $L_2 = 4.7 \text{ nH}$, $C_2 = 10 \text{ pF}$ برای هسته نوسان ساز و $C_{con} = 10 \text{ pF}$ برای خازن تزویج راه اندازی شد.

ولتاژ بایاس برای یکسان سازی جریان دو طرف هسته نوسان ساز به صورت زیر انتخاب شد.

جدول (۲-۴): مشخصات نقطه کار مدار اتصال ضربداری

$V_{CC2} = 6.5 \text{ v}$	$V_{CC1} = 6.5 \text{ v}$
$V_{BB2} = 8.7 \text{ v}$	$V_{BB1} = 13 \text{ v}$

جدول (۲-۴): توان و بسامد سیگنال دریافتی در حالت مختلف

حالت آنتن گونه		حالت خازن گونه		حالت مستقیم	
سمت راست	سمت چپ	سمت راست	سمت چپ	سمت راست	سمت چپ
$I_1 = 11 \text{ mA}$	$I_1 = 11.4 \text{ mA}$	$I_1 = 11.14 \text{ mA}$	$I_1 = 12.6 \text{ mA}$	$I_1 = 11.41 \text{ mA}$	$I_1 = 12.8 \text{ mA}$

f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}
۴۰۸.۷	-۱۴.۶	۳۷۲	-۲۰	۴۱۰.۶	-۱۸.۷	۴۰۸	-۸.۳	۸۵۵	۰.۹	۸۴۳.۲	۲.۶

همانطور که از جدول (۲-۴) پیداست در حالت اتصال به کلکتور، بیشترین توان و فرکانس دریافت می‌شود. در این صورت جریان مصرفی بیشتر می‌شود.

منظور از سمت چپ بیان شده در جدول (۲-۴) این است که فقط منابع سمت چپ روشن هستند در حالی که منابع سمت راست خاموش ولی وصل می‌باشند. حالت مشابه برای سمت راست نیز تعریف می‌شود.

۴-۲-۱ ولتاژ بهینه منبع تغذیه

برای تعیین ولتاژ بهینه برای منبع تغذیه کلکتور نوسان‌ساز آزمایش زیر انجام شد.

با توجه به جدول ۳-۴ و ۴-۴ که مربوط به ولتاژ تغذیه بهینه کلکتور است؛ ولتاژ $V_{CC} = 6.5\text{ v}$ به دلیل توان دریافتی بیشتر برای ادامه این پایان‌نامه انتخاب شده است. دلیل انتخاب منبع تغذیه $V_{CC} = 6.5\text{ v}$ با مقایسه نتایج جدول (۳-۴) و (۴-۴) در حالت مستقیم (افزایش ۲.۵ dB توان دریافتی) است.

جدول (۳-۴): توان سیگنال دریافتی در حالت مختلف با منبع تغذیه $V_{CC} = 7\text{ v}$

حالت آنتن گونه		حالت خازن گونه				حالت مستقیم			
هر دو روشن		سمت چپ		سمت راست		سمت چپ		سمت راست	
$I_1 = 7.7\text{ mA}$	$I_2 = 6.67\text{ mA}$	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	$I_1 = 9.1\text{ mA}$	$I_2 = 8\text{ mA}$	$I_1 = 9.2\text{ mA}$	$I_2 = 8\text{ mA}$
f_{MHz}	A_{dBm}	۳۴۷.۶	-۱۰.۸	۳۴۷	-۱۸.۱	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}
۳۵۱	-۳۰	۷۰۰	-۲۸	۶۹۶	-۲۲.۱	۳۵۱	۰	۳۴۷	-۰.۶

جدول (۴-۴): توان سیگنال دریافتی در حالت مختلف با منبع تغذیه $V_{CC} = 6.5\text{ v}$

حالت آنتن گونه		حالت خازن گونه				حالت مستقیم			
هر دو روشن		سمت چپ		سمت راست		سمت چپ		سمت راست	
$I_1 = 7.9\text{ mA}$	$I_2 = 6.76\text{ mA}$	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	$I_1 = 9.1\text{ mA}$	$I_2 = 8\text{ mA}$	$I_1 = 9.1\text{ mA}$	$I_2 = 8.8\text{ mA}$
f_{MHz}	A_{dBm}	۳۴۷.۶	-۱۰.۸	۳۶۴	-۲۰	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}
۳۴۷.۶	-۱۹.۲	۶۸۹	-۲۷	۶۸۶	-۱۸	۳۵۱	+۲.۶	۳۴۷	+۲.۴

همچنین در آزمایش‌های مشخص شد اگر امپدانس مشخصه پاره خطی که به مدار نوسان‌ساز وصل است فرق کند، در حالت دریافت آنتن گونه بسامد و توان دریافتی متفاوت خواهد بود. این بدان معنی

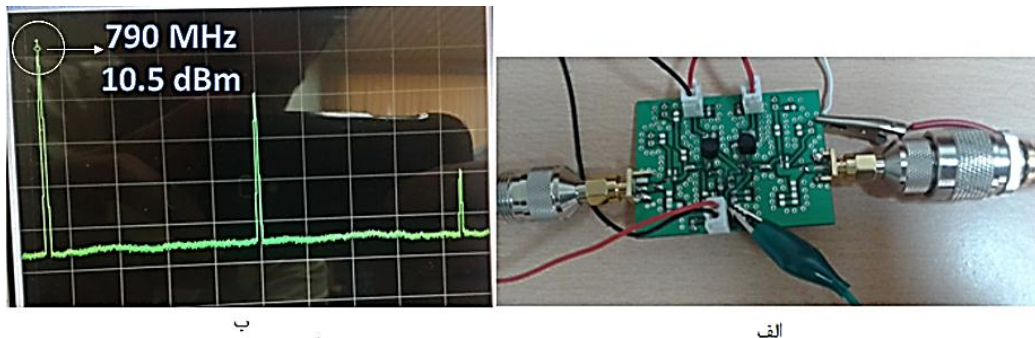
است طراحی مدار نوسان‌سازِ بسامد بالا روی مدارچاپی با دقت بالایی صورت گیرد.

۲-۲-۴ دریافت با حالت SMA و بررسی اثر تقارن

اتصال دهنده SMA لبه بردی را به مدارچاپی متصل کرده و خروجی آن به طیف‌سنج انتقال داده می‌شود. از آنجایی که مدار اتصال ضربدردی دارای دو خروجی است؛ دو حالت بررسی می‌شود. یک حالت به صورت تک خروجی در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی خروجی یک سمت مدار به طیف‌سنج وصل و خروجی طرف دیگر مدار نوسان‌ساز بی‌بار باشد (تنها امپدانس مشخصه خط ۵۰ اهم از خازن تزویج به بعد در مدارچاپی قرار دارد). در حالت دیگر به صورت متقارن در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی خروجی یک طرف به بار ۵۰ اهم طیف‌سنج وصل شده و خروجی دیگر مدار به بار ۵۰ اهم پهن باند وصل شده باشد.

۱-۲-۲-۴ حالت تک خروجی

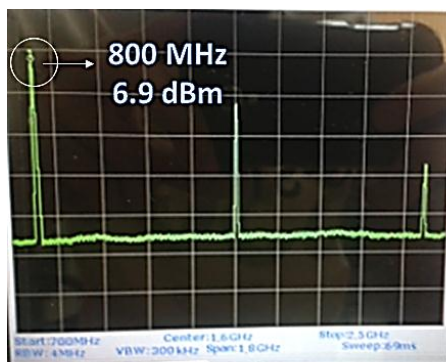
ابتدا حالت نامتقارن مورد آزمایش قرار گرفت، یعنی فقط یک طرف مدار به طیف‌سنج وصل شده و طرف دیگر بی‌بار است. شکل (۳-۴) نمایش این حالت می‌باشد.



شکل (۳ - ۴): الف) اتصال کابل طیف‌سنج به مدار چاپی (ب) تصویر با ۲۰ بار میانگین‌گیری نمایش‌گر طیف‌سنج با اتصال به SMA سمت راست. توضیحات: این تصویر از بیست بار میانگین‌گیری خروجی اتصال SMA می‌باشد به همین دلیل طیف نویز در سایر بسامدها تقریباً صفر می‌شود.

۲-۲-۲-۴ اثر تقارن

در این آزمایش هر دو سمت مدار نوسان‌سازِ اتصال ضربدردی به بار ۵۰ اهم وصل است. در شکل (۴ - ۴) این حالت نمایش داده شده است.



ب



الف

شکل (۴ - ۴) : الف) نمایش ظاهری نوسان‌ساز با دو بار ۵۰ اهم که به صورت متقارن کار می‌کند. ب) نمایش طیف‌سنج با استفاده از بارهای متقارن ۵۰ اهم.

جدول (۴-۵): مقایسه اثر تقارن در سیگنال دریافتی از نوسان‌ساز اتصال ضربدری

بار طیف سنج سمت چپ		بار و طیف سنج هر دو طرف مدار		بار طیف سنج سمت راست	
		$I_1 = 10.98 \text{ mA}$	$I_2 = 10.3 \text{ mA}$	$I_1 = 10.11 \text{ mA}$	$I_2 = 10.8 \text{ mA}$
f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}
۷۹۰	۱۰.۵	۸۰۰.۸	۶.۹	۷۹۷	۱۱.۵

به طور مختصر جدول (۴-۵) اندازه‌گیری اثر تقارن را نمایش می‌دهد. توان در حالت متقارن حدود ۵dB کمتر از حالت نامتقارن می‌باشد و فرکانس دریافتی آن به صورت جزئی بیشتر می‌شود.

نتیجه‌ای جالب با قابلیت تفکر بیشتر

۱- بسامد اصلی (هماهنگ اصلی) در هسته نوسان‌ساز با خودالقا ۴.۷ نانو هانری و خازن ۱۰ پیکو فاراد حدود ۷۳۰ مگاهرتز می‌باشد. در حالت SMA هماهنگ اصلی با بیشترین توان دریافتی حداقل ۱۵ dB بیشتر از سایر حالت‌ها ظاهر شد.

۲- توان مصرفی نوسان‌ساز در حالت SMA بیشتر از سایر حالت‌ها است.

۳- به دلیل کاهش حجم متن بیان‌نامه آزمایش‌های مربوط به توان هماهنگ دوم و سوم بیان نشد. در همه حالت‌ها هماهنگ دوم توان نسبتاً قابل توجهی دارد. (حدود ۱۱ تا ۱۵ dB کمتر از هماهنگ اصلی)

۴-۲-۲-۳ توان دریافتی در حالی که یکی از ترانزیستورهای نوسان‌ساز خاموش است

در این آزمایش بسامد و توان خروجی در حالتی که یک سمت مدارات اتصال ضربدری خاموش و سمت دیگر به طیف‌سنج وصل باشد و برعکس، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اگر طیف‌سنج با اتصال SMA به خروجی سمت چپ مدار وصل باشد و منبع تغذیه کلکتور و بیس همین سمت خاموش باشد (فقط منابع سمت بار (سمت راست) روشن باشند) باز هم طیف‌سنج، نوسان را دریافت می‌کند؛ اما با توان کمتر و جابه‌جایی کمی که در بسامد صورت می‌گیرد. همچنین اگر سمت طیف‌سنج روشن و سمت بار خاموش باشد این بار نیز طیف‌سنج، نوسان را نشان می‌دهد؛ اما با توانی کمتر از حالتی که هر دو منبع روشن هستند.

جدول (۴-۶): توان دریافتی از نوسان‌ساز اتصال ضربدری زمانی که یک طرف نوسان‌ساز خاموش باشد

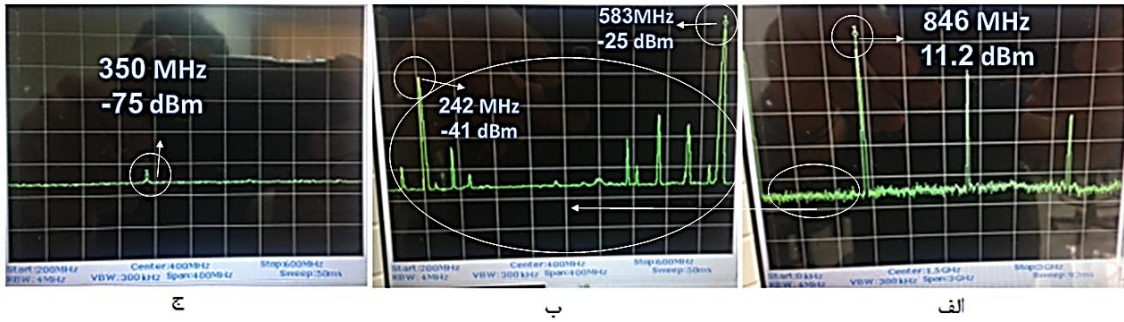
منابع سمت طیف‌سنج روشن و منابع سمت بار خاموش می‌باشد		منابع سمت طیف‌سنج خاموش و منابع سمت بار روشن می‌باشد	
f_{MHz}	A_{dBm}	f_{MHz}	A_{dBm}
۸۰۰.۸	۵.۷	۸۱۸.۶	۱.۴

۳-۴ چرا در حالت آنتن‌گونه و خازن‌گونه فرکانس ۴۰۰ مگاهرتز دریافت می‌شود

در هسته نوسان‌ساز اتصال ضربدری، زمانی که از خازن ۱۰ پیکوفاراد و خودالقا ۴.۷ نانوهانری استفاده شود انتظار می‌رود سیگنالی با فرکانس حدود ۷۵۰ مگاهرتز دریافت شود. در حالتی که نوسان‌ساز به خط ریز نوار ۵۰ اهم وصل شود سیگنال دریافتی به بسامد هسته تانک نزدیک می‌شود. اما همان‌طور که در جدول (۳-۴) و (۴-۴) آورده شده است در حالتی که فقط هسته نوسان‌ساز به تنهایی کار کند بسامد حدود ۴۰۰ مگاهرتز دریافت شده است، علت دریافت این بسامد چیست؟ آیا این بسامد مربوط به نوسان‌ساز بوده است؟

برای برطرف شدن ابهام و پاسخ به سوالات بالا، مدار اتصال ضربدری مجدداً با همان مقادیر المان‌ها و با همان مشخصات نقطه کار یعنی $L_{core1} = L_{core2}$ ، $C_{core1} = C_{core2} = C_{con1} = C_{con2} = 10 pF$ و $C_{cop1} = C_{cop2} = 2.2 pF$ و $4.7 nH$ راه‌اندازی شد. طیف خروجی نوسان‌ساز در حالت SMA در بازه فرکانسی ۰ تا ۳ GHz در شکل (۴-۵ الف) مشاهده می‌شود.

بسامد خروجی مدار چاپی راه‌اندازی شده ۸۴۶ مگاهرتز شده است. این بسامد نسبت به مدار چاپی قبلی ۵۰ مگاهرتز تغییر کرده است، این تغییر هفت درصدی بسامد که طبیعی است، ممکن است در اثر تغییرات^۱ اندازه ظرفیت خازن و یا اندوکتانس خودالقا باشد. توان دریافتی در بسامد ۸۴۶ مگاهرتز در حالت نامتقارن حدود ۱۱ dB است، حال آن که این توان در حالت متقارن ۶dB کم تر است.



شکل (۴ - ۵): الف) نمایش طیف‌سنج در کل باند آن (ب) نمایش طیف‌سنج در باند ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز در حالت اتصال به SMA (ج) نمایش توان دریافتی در باند ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز در حالت اتصال به SMA زمانی که نوسان‌ساز خاموش است.

۴-۳-۱ بررسی طیف با حساسیت متفاوت

به خاطر دریافت توان بالا در فرکانس ۸۴۶ مگاهرتز ممکن است توان سایر قسمت‌های طیف نشان داده نشود لذا در شکل (۴ - ۵) محدوده کوچکتری از طیف به صورت بزرگ‌نمایی (در بازه بسامدی ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتزی و به دامنه‌های کوچک نیز حساس‌تر شده است) شده نمایش می‌دهد.

سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا طیف دریافتی از طریق کابل و اتصال دهنده SMA که در شکل (۴ - ۵) مشاهده می‌شود مربوط به نوسان‌ساز است؟ دامنه این طیف‌ها حدوداً چقدر می‌باشد؟

جدول (۴-۷): مشخصات نقطه کار و بسامد دریافتی در بازه ۲۰۰ تا ۶۰۰ مگاهرتزی

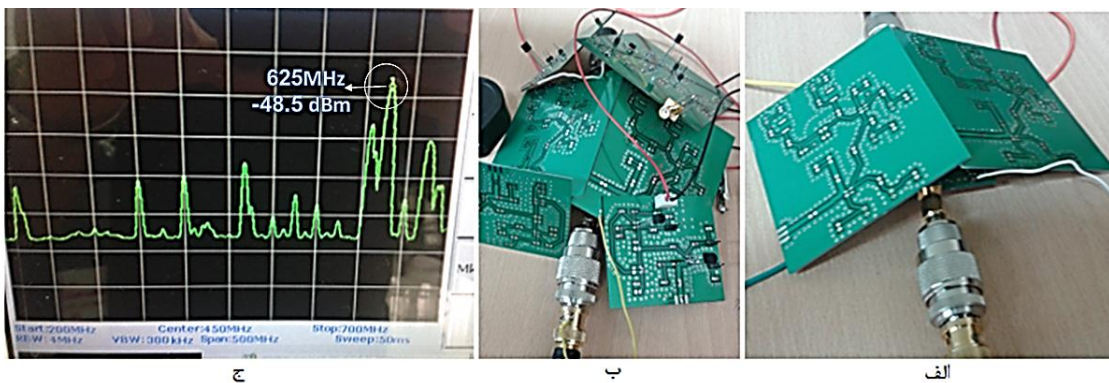
$I_1 = 10.72mA$	$I_2 = 11.99 mA$
f_{MHz}	A_{dBm}
۲۴۲	-۴۱
۵۸۳	-۲۵.۸

البته در جدول (۴-۷) توان‌های کمتر از $-۵۰ dBm$ درج نگردیده است. بزرگ‌ترین توان دریافتی در بسامد ۵۸۳ مگاهرتز با دامنه‌ای حدود $-۲۵.۸ dBm$ اندازه‌گیری شده است. سوالی که مطرح می‌شود این است که با خاموش کردن نوسان‌ساز برای این طیف چه اتفاقی می‌افتد؟ این سوال در شکل (۴ - ۵) پاسخ داده شده است، همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، تمامی طیف‌ها از بین رفته‌اند و تنها سیگنالی که دریافت شده است مربوط به فرکانس ۳۵۰.۴ مگاهرتز و با توانی کمتر از $-۷۵ dBm$ می‌باشد. (این فرکانس مربوط به سازمان دریانوردی آمریکا بوده و در ایران باند آزاد می‌باشد) [۴۱-۴۲]. علت حضور فرکانس‌های ناخواسته در شکل (۴ - ۵) در بخش بعد و در مباحث مربوط به سیر الکترومغناطیسی شرح داده شده است.

۴-۳-۲ سپر الکترومغناطیسی^۱

با توجه به مقادیر اختیار شده برای خودالقا و خازن هسته، انتظار می‌رود نوسان‌ساز در بسامد حدود ۷۵۰ مگاهرتز تشدید کند. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شده طیف ناخواسته‌ای در باند ۲۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز دیده می‌شود که با خاموش کردن نوسان‌ساز از بین می‌رود. هنگام کار با مدار نوسان‌ساز یاد شده، به صورت اتفاقی مدار چاپی دیگری که صفحه پایینی آن از جنس مس است، بر روی مدار چاپی اولیه قرار داده شد.

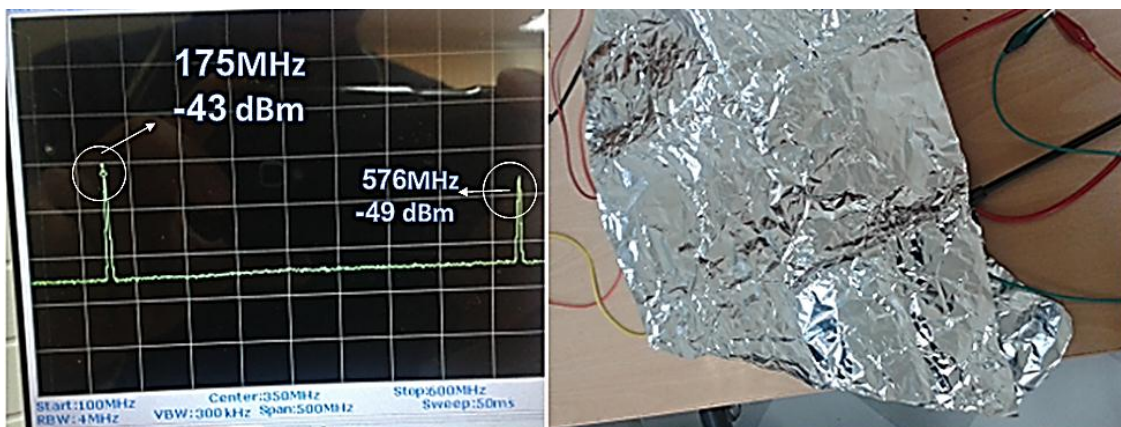
شکل‌های (۴-۵ب) و (۴-۶ج) که به ترتیب مربوط به قبل از اعمال سپر مغناطیسی و پس از آن هستند، دو طیف، خروجی متفاوتی را به نمایش می‌گذارند. با توجه به این موضوع که توان مصرفی منبع تغذیه در این دو بررسی تقریباً برابر بوده است، تفاوت یاد شده تنها باید ناشی از اثر پوشش مغناطیسی بوده باشد.



شکل (۴-۶): الف) ابتدایی‌ترین روش برای شیلد کردن (ب) تصویر خروجی طیف‌سنج ناشی از سپر مغناطیسی به صورت شکل فوق، در زیر آمده است. ج) تصویر طیف‌سنج در حالت سپر مغناطیسی نوسان‌ساز با بیست‌بار میانگین

همچنین در دو شکل (۴-۵ب) و (۴-۶ج) چنین مشاهده می‌شود که بیشینه توان دریافتی پیش از قراردادن پوشش فلزی، برابر با -25.8 dBm در فرکانس ۵۸۰ مگاهرتز بوده است، در صورتی که با قرار دادن سپر مغناطیسی، بیشینه توان دریافتی کمتر از -48.5 dBm در بسامد ۶۲۵ مگاهرتز بوده است. چنین استنباط می‌شود که اثر پوشش مغناطیسی توان دریافتی را حدود 20 dBm کاهش می‌دهد؛ همچنین بسامدهای ناخواسته‌ای ناشی از عوامل بیرونی با فرکانس اصلی مخلوط^۲ و در طیف ظاهر شده‌اند. برای حذف چنین بسامدهایی، سعی شده تا پوشش مغناطیسی به بهترین شکل ایجاد شود، به همین دلیل از یک ورقه نازک آلومینیوم همان‌طور که در شکل (۴-۷ الف) استفاده شد.

1- Shield
۱-Mixer



ب

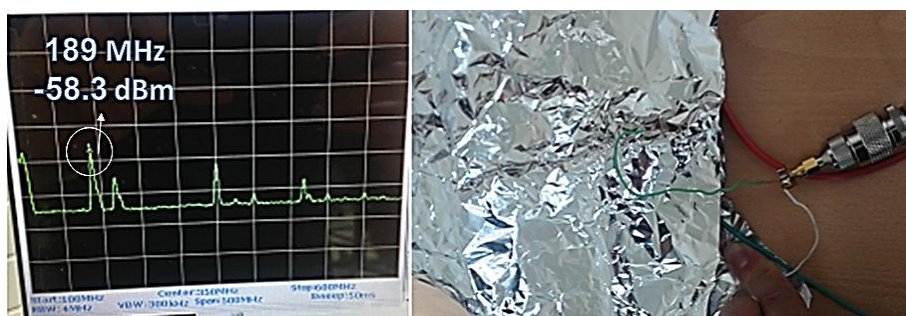
الف

شکل (۴ - ۷): الف) از طریق یک فویل آلومینیوم مدار در پوشش مغناطیسی قرار داده شده است (ب) نمایش طیفسنج از یک پوشش مغناطیسی کامل مدار چاپی

انتظار می‌رود با سپر مغناطیسی کاملی که ایجاد شده است، دیگر فرکانس ناخواسته‌ای ناشی از تزویج‌های ناخواسته، مشاهده نشود. به همین دلیل محدوده‌ای از طیف پایین‌تر (فرکانس‌های ۱۰۰ تا ۷۰۰ مگاهرتز) نیز مورد بررسی قرار گرفته است و در فرکانس ۱۷۵ مگاهرتز بزرگترین توان dBm -43.3 و در فرکانس ۵۷۶ مگاهرتز توان -49 dBm دریافت شده است.

نتایج فوق نشان می‌دهد که فرکانس‌های ناخواسته تماماً به دلیل تزویج‌های بیرونی بوده و مربوط به مدار نیست و در صورت وجود پوشش مغناطیسی مطلوب کاهش می‌یابد. همچنین شایان ذکر است که فرکانس و توان سیگنال ناخواسته‌ی مخلوط شده با سیگنال نوسان‌ساز قابل اندازه‌گیری نیست.

پس از قرار دادن سپر الکترومغناطیسی بر روی مدار نوسان‌ساز اتصال ضربدری، این مدار مجدداً مورد آزمایش قرار می‌گیرد؛ این بار سیگنال به صورت آنتن گونه برداشت می‌شود.



ب

الف

شکل (۴ - ۸): الف) دریافت تشعشعی از مدار نوسان‌ساز به این صورت بوده است (ب) نمایش آنتن گونه در حالت روشن

بودن مدار

دریافت سیگنال به صورت آنتن گونه و سیگنال نمایش داده شده توسط طیفسنج به ترتیب در

شکل‌های (۴ - ۸ الف و ب) آورده شده است.

در این حالت بزرگ‌ترین توان دریافتی -58.3 dBm در فرکانس 189 مگاهرتز می‌باشد، این بیشینه توان دریافتی در حالتی که نوسان‌ساز را از کار می‌اندازیم حدود 1.3 dBm بیشتر می‌شود. (عوامل متعددی می‌تواند در این اندازه‌گیری تاثیر گذار باشد از جمله فاصله آنتن از مدارچاپی، اندازه آنتن، کامل زمین شدن سیر الکترومغناطیسی و دستگاه اندازه‌گیری بستگی دارد)

سوالی که مربوط به طیف ناخواسته در باند 200 تا 700 مگاهرتز مطرح شده بود این‌گونه قابل پاسخ است؛ سیگنال اصلی مدارهای نوسان‌ساز بسامد بالا، به صورت ناخواسته با سیگنال‌های اطراف خود مخلوط شده و بسامدهای ناخواسته آن سیگنال‌ها را نیز با خود ظاهر می‌کنند، لذا مدارهای نوسان‌ساز بسامد بالا باید سیر الکترومغناطیسی مناسبی داشته باشند تا به صورت مطلوب کار کنند.

نتیجه‌گیری دریافت سیگنال از مدار نوسان‌ساز بسامد بالا

از نتایج آزمایش‌ها در مدار نوسان‌ساز، برای آنکه فرکانس اصلی آن با بیشترین توان دریافت شود باید از مسیر SMA انتقال یابد. و همچنین برای آنکه طیف‌های ناخواسته کاهش یابد مدار را باید در سیرالکترومغناطیسی قرار داده شود، این پوشش همچنین توان دریافتی فرکانس اصلی را تا حدود 1.3 dB افزایش می‌دهد. اگرچه سایر حالت‌ها (حالت آنتن‌گونه، خازن‌گونه و مستقیم به کلکتور) برای راحتی دریافت سیگنال تنها ایده اولیه مربوط به کارکردن نوسان‌ساز را می‌دهد. این یک نتیجه‌گیری بزرگ و ارزشمندی می‌باشد.

اگر ورودی طیف‌سنج را از 50 اهم به 75 اهم تغییر دهیم توان دریافتی بیشتر می‌شود. که تحلیل آن نیز منطقی می‌باشد.

در عمل مشاهده شد اگر مسیر سیگنال به درستی هویه کاری نشود (به عنوان مثال مکان خازن کوپلاژ خازنش وصل نباشد) سیگنال دریافتی حدود 30 dB افت می‌کند

۴-۴ ساخت نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ در باند VHF

برای اینکه بسامد خروجی نوسان‌ساز تغییر کند از ورکتور استفاده شد. ورکتور موجود در آزمایشگاه BB105 می‌باشد. از آنجایی که ورکتور نام برده و به کار گرفته شده در مدار بازخورد مثبت، در باند UHF درست رفتار نکرد لذا اندازه المان‌های مدار اتصال ضربدری را باید بگونه تغییر داده شود تا در باند VHF کار کند. با خودالقا 4.7 نانوهانری و خازن 10 پیکو فارادی بسامد حدود 800 مگاهرتز دریافت شد. برای کاهش بسامد، اندازه خودالقا را از 4.7 به 33 نانوهانری افزایش داده شد.

جدول (۴-۸): نقطه کار و بسامد دریافتی مدار اتصال ضربداری با خودالقا ۳۳ نانوهانری و خازن ۱۰ پیکوفاراد

$V_{CC1} = 6.5 \text{ v}$	$V_{CC2} = 6.5 \text{ v}$
$V_{BB1} = 5.7 \text{ v}$	$V_{BB2} = 4 \text{ v}$
$I_1 = 10.72 \text{ mA}$	$I_2 = 11.99 \text{ mA}$
f_{MHz}	A_{dBm}
۸۴۶	۱۱.۵
۱۶۹۲	۲.۱
۲۲۵۰	-۱۲.۴

همان طور که در جدول (۴-۸) مشاهده می‌شود، با افزایش خودالقا، بسامد مدار کاهش پیدا نمی‌کند. لذا اندازه خودالقا را از ۳۳ به ۳۳۰ نانوهانری افزایش داده شد. همچنین خازن از ۱۰ به ۱۰۰ پیکوفاراد افزایش داده شد. در جدول (۴-۹) با تغییر اندازه خودالقا و خازن، اندازه‌ی بسامد مشاهده شده، ثبت شد. از جدول (۴-۹) مشاهده می‌شود، اندازه بسامد تقریباً ثابت مانده است. در حالی که با خازن ۱۰۰ پیکوفاراد و خودالقا ۳۳۰ نانوهانری انتظار دریافت فرکانس حدود ۳۰ مگاهرتز می‌رود. به همین خاطر در باند طیفی ۱۵ تا ۲۰۰ مگاهرتز با حساسیت توانی بیشتر بررسی شد. در این بازه طیفی بسامد ۹۳.۴۴MHz با توان حدود -۶۰ dBm مشاهده شد؛ با خاموش کردن نوسان‌ساز، فرکانس ۹۳ مگاهرتز با توان -۵۸ dBm دریافت می‌شود. همچنین در آزمایش‌ها مشاهده شد، اگر هر کدام از طرفین نوسان‌ساز خاموش شود، سیگنال‌های جدول (۴-۹) از بین می‌روند.

جدول (۴-۹): تغییر اندازه المان خودالقا و خازن در هسته نوسان ساز

L=33 nH , C=10PF			L=330 nH , C=10PF			L=330 nH , C=100PF		
$I_1 = 10.72 \text{ mA}$	$I_2 = 11.99 \text{ mA}$		$I_1 = 10.83 \text{ mA}$	$I_2 = 12.34 \text{ mA}$		$I_1 = 9.52 \text{ mA}$	$I_2 = 5.55 \text{ mA}$	
تحلیلی	f_{MHz}	A_{dBm}	تحلیلی	f_{MHz}	A_{dBm}	تحلیلی	f_{MHz}	A_{dBm}
۷۵۰MHz	۸۴۶	۱۱.۵	۸۷MHz	۸۴۶	۶.۲	۲۷MHz	۸۸۰	۱۱.۲

با عوض کردن اندازه خودالقا و خازن همچنان همان بسامد ثابت ماند. در این قسمت شک بر قطعات از جمله ترانزیستور، المان غیرفعال و یا خازن انگلی ناشی از صفحه زمین مدار چاپی بیشتر می‌شود لذا باید گام به گام قطعات مدار را چک کرد تا از صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل کرد.

۴-۴-۱ بررسی مدار

در مدار نوسان‌ساز اتصال ضربداری ابتدا ترانزیستور را بررسی کرده و سپس خازن‌های ناخواسته مورد توجه قرار می‌گیرد و سرانجام در مسیر عیب یابی به خودالقا خواهیم رسید.

۲-۴-۴ بررسی ترانزیستور

آزمایش‌های انجام گرفت و مشاهده شد پایه ترانزیستور خود نیز مانند یک خودالقا سری عمل می‌کند و با کوتاه کردن پایه (کم کردن خودالقا) بسامد مدار افزایش می‌یابد

ترانزیستور پایه‌دار 2SC3355 دو مدل K13 و K14 وجود دارد که در عمل K14 کیفیت بالاتری دارد^۱.

۳-۴-۴ مدار دو حالت کاری دارد

مدار نوسان‌ساز اتصال ضربداری دو حالت کاری دارد این دو حالت کاری یعنی مدار دارای دو نقطه کاری می‌باشد که فقط جریان مدار تغییر می‌کند و ولتاژهای منابع تغذیه ثابت است. در جدول (۴-۴) (۱۲ ولتاژ $V_{CC} = 6.5(v)$ و برای آنکه جریان‌های دو شاخه مدار اتصال ضربداری یکسان شود ولتاژ بیس‌های متفاوتی مدار ($V_{BB2} = 8.29 v$ و $V_{BB1} = 6.01 v$) انتخاب شد. در هسته تانک مدار اتصال ضربداری از خودالقا ۴.۷ نانوهرزی و خازن ۱۰ پیکوفاراد استفاده شد. (با اتصال نوک گیره به پایه کلکتور تغییر حالت می‌دهد) جدول (۴-۱۰) این دو حالت کاری را بیان می‌کند.

جدول(۴-۱۰): دو حالت کاری مدار اتصال ضربداری با ترانزیستور 2SC3355

حالت کاری دوم		حالت کاری اول	
$I_1 = 7.15 \text{ mA}$	$I_2 = 8.68 \text{ mA}$	$I_1 = 13.28 \text{ mA}$	$I_2 = 13.23 \text{ mA}$
F_{MHz}	A_{dBm}	F_{MHz}	A_{dBm}
۳۲۸	+۶.۷	۹۶۶	+۹.۱
۶۵۸	-۸.۶	۱۹۳۵	+۳.۲

در این آزمایش پایه ترانزیستور کوتاه گشته و ممکن است به همین دلیل فرکانس ۸۵۰ مگاهرتز آزمایش‌های گذشته به ۹۶۰ مگاهرتز تغییر کرده باشد. (تغییرات خودالقا و خازن از مقدار اصلی نیز ممکن است، شامل این تغییر فرکانس باشد)

دو حالت کاری مدار (دو نقطه کار) یکی از سوالات این پایان نامه می‌باشد که همچنان دلیل قانع کننده برای آن یافت نشده است. اگرچه تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفت اما پاسخ قانع کننده یافت نشد. بدیهی است، دو حالت کار کردن مدار، مستقل از بسامد دریافتی می‌باشد، لذا دریافت چنین بسامدی نمی‌تواند ناشی از ترانزیستور باشد. بدین ترتیب بررسی روی خودالقا و خازن صورت

^۱ - در برگه اطلاعات چیزی لحاظ نشده، اما فروشنده محصول K14 را با کیفیت مرغوب‌تر نام برده اگرچه در جاجم الکترونیک یک قیمت داشته اما در پایا الکترونیک قیمت متفاوت دارد

می‌گیرد.

۴-۴-۴ خازن ناخواسته با ریزنوار

در مسیر بررسی بسامد ۸۰۰ مگاهرتز، خازن هسته را برداشته تا نوسان‌ساز تنها با خودالقا راه اندازی شود؛ از دیدگاه تحلیلی انتظار تشدید در بسامد ۸۰۰ مگاهرتز را نخواهیم داشت، این نوسان‌ساز را آزمایش کرده و نتایج جدول (۴-۱۱) بدست آمد.

جدول(۴-۱۱): دریافت سیگنال از مدار اتصال ضربداری که در مدار تشدید آن تنها خودالقا است

حالت کاری دوم		حالت کاری اول	
$I_1 = 7.2 \text{ mA}$	$I_2 = 7.92 \text{ mA}$	$I_1 = 13.67 \text{ mA}$	$I_2 = 13.63 \text{ mA}$
F_{MHz}	A_{dBm}	F_{MHz}	A_{dBm}
۳۲۴	+۸.۵	۹۶۰	+۳.۳
۶۸۴	-۱۰.۱	۱۹۲۶	-۰.۷

نتایج جدول (۴-۱۱) با دیدگاه تحلیلی متفاوت است. ممکن است خودالقا با خازن‌های انگلی مدار چاپی تشدید کند، لذا برای یک سطح مشخص میزان این خازن محاسبه شد (عرض مدار چاپی

$$d=1\text{mm} \text{ و } \epsilon = \frac{1}{36 \pi * 10^{+9}} \text{ جنس } \epsilon_r = 4.6$$

$$C = \epsilon \epsilon_r \frac{A}{d} = 4.45 * 10^{-13}$$

خازن محاسبه شده حدود ۰.۴۵ پیکوفاراد می‌باشد، این خازن بسیار کوچک، نمی‌تواند دلیل ایجاد فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز باشد. این آزمایش گمان را به خودالقا مستقل از کیفیت خازن استفاده شده بیشتر می‌کند، لذا نیاز به مداری برای بررسی خودالقا می‌باشد

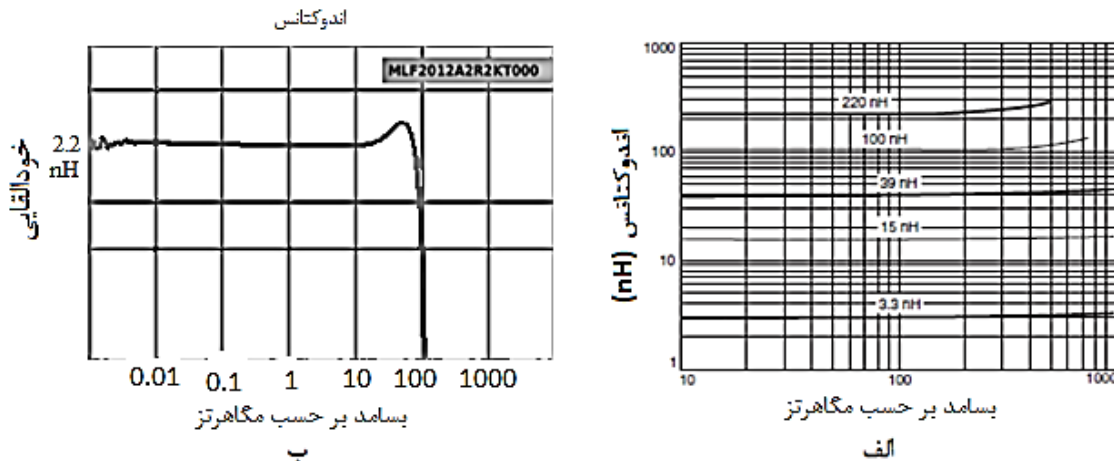
۴-۴-۵ بررسی خودالقا

از آنجایی که خودالقا عامل ایجاد خطا در این پایان‌نامه بود به تشریح کامل آن در بخش زیر پرداخته شده است.

۴-۵ خودالقا

۴-۵-۱ معرفی خودالقا استفاده شده

خودالقا استفاده شده با نام تجاری coil craft^۱ می‌باشد. با مشاهده برگه اطلاعات دو نوع خودالقا مشخص می‌شود، اندازه خودالقا با بسامد تغییر می‌کند.



شکل (۴ - ۹) : الف) اندوکتانس خودالقا بر حسب فرکانس مربوط به کارخانه Coil Craft [42] ب) نمودار خودالقا ۲.۲ نانو هانری بر حسب فرکانس مربوط به کارخانه ژاپنی مدل MLF2012A2R2KT000 [43] که تا فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز خاصیت خودالقایی دارد.

همانند برگه اطلاعات coilcraft، اندازه خودالقایی آن تا فرکانس حدود یک گیگاهرتز به همان میزان باقی می‌ماند، این خودالقا را ۵ کارخانه آمریکایی، انگلیسی، تایوان، سنگاپور و چین تولید می‌کنند. عدم کیفیت خودالقایی ژاپنی در فرکانس‌های بیش از ۱۰۰ مگاهرتز، در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. لذا انتظار کار با این خودالقا در بسامد بالا اشتباه است.

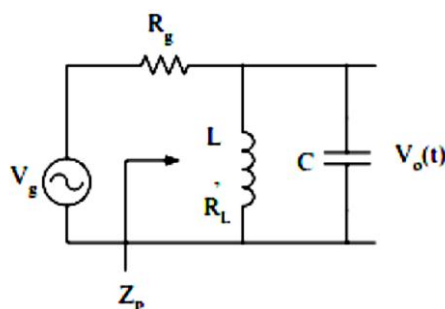
برای آزمایش خودالقا باید خاصیت فیلتری آن در بسامدهای بالا بررسی شود؛ یعنی میزان Q آن (کیفیت خودالقا) مطرح می‌شود.

۴-۵-۲ کیفیت خودالقا

برای محاسبه Q مدار:

از پاسخ فرکانسی مدار RLC موازی استفاده می‌شود:

^۱ - دست کم اولین ظن از قیمت ۱۵۷ تومان خودالقا ۳۳ نانو هانری چینی شکل می‌گیرد که نسبت به وبسایت اصلی شرکت تولید کننده خودالقا coil craft که در آنجا قیمت آن را برای تعداد زیر ۲۰ عدد یک دلار لحاظ کرده که معادل با ۳۵۰۰ تومان می‌باشد لذا حداقل از لحاظ قیمتی ۲۲ برابر ارزان تر تهیه شده است



شکل (۴ - ۱۰): مدار RLC موازی

از ویژگی مدار شکل (۴-۱۰) این است که در حالت تشدید V_o بیشترین مقدار، Z_p کاملاً مقاومتی و V_o و V_g هم‌فاز هستند. به علت تبادل انرژی بین اجزا غیر فعال (حلقه خازن - خودالقا)، مدار موازی را مدار تانک و به جریان حلقه، جریان تانک گفته می‌شود.

ادمیتانس مدار موازی عبارت است از:

$$Y = Y_L + Y_C \Rightarrow Y = \frac{1}{R_L + j\omega L} + j\omega C \quad ۲-۴$$

$$\Rightarrow Y = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - j\left(\frac{\omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - \omega C\right) \quad ۳-۴$$

بررسی روابط فوق نشان می‌دهد که حالت تشدید وقتی رخ می‌دهد که قسمت موهومی برابر صفر باشد (بیشترین امپدانس در خروجی) بنابراین خواهیم داشت:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_L}{L}\right)^2} \quad ۴-۴$$

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نیز نوشته شود.

$$\omega_p = \omega_s \sqrt{1 - \frac{1}{Q_s^2}} \quad ۵-۴$$

که در آن ω_s فرکانس تشدید مدار سری RL است و $Q_s = \frac{\omega_s L}{R_L}$ ضریب کیفیت مدار سری در بسامد تشدید ω_s است. بدیهی است که برای مقادیر بزرگ Q_s ، بسامد مدار تشدید موازی ω_p برابر با ω_s است. در بسامد تشدید، فاز جریان و فاز ولتاژ منبع یکی است. به عبارت دیگر ضریب قدرت برابر واحد است و امپدانس ورودی Z_p مقاومت خالص و برابر است با:

$$Z_p = \frac{R_L^2 + L^2 \omega_p^2}{R_L} = R_L + Q_p L \omega_p = R_L (1 + Q_p^2) \quad ۶-۴$$

برای مقادیر بزرگ Q_P می توان نوشت:

$$Z_p = R_L Q_P^2 \quad 7-4$$

$$W_P = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q_S \gg 1 \quad \text{و} \quad Z_P = \frac{L}{CR_L} \quad Q_S, Q_P \gg 1 \quad 8-4$$

به این ترتیب با انتخاب مناسب L و C می توان مقاومت های ورودی متفاوتی بدست آورد. بدیهی است که اگر $Z_p = R_g$ باشد، بیشترین مقدار قدرت از منبع به بار منتقل می شود. روابط بین جریان خازن و جریان خودالقا با جریان منبع در بسامد تشدید عبارت است از:

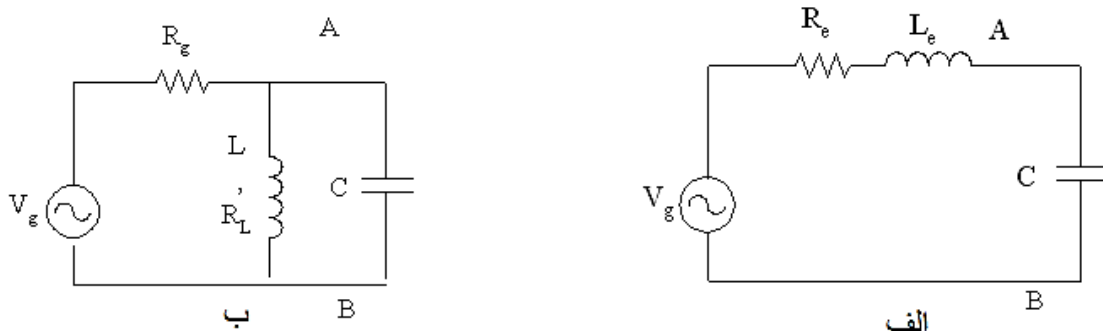
$$I_C \approx \frac{|V_0|}{|X_C|} = W_P C |V_0| \quad \text{و} \quad I_g \approx \frac{|V_0|}{|Z_P|} = \frac{CR_L}{L} |V_0| \Rightarrow |I_C| = Q_P |I_g| \quad 9-4$$

بنابراین می توان گفت که مدار بصورت یک تقویت کننده جریان عمل می کند. از این روست که در ورودی گیرنده های رادیویی یا تلویزیونی عموماً از مدار تشدید موازی استفاده می کنند. (آنتن به منزله منبع جریان است). نظیر آنچه که در مدار سری دیده شد. پاسخ بسامدی مدار موازی نشان داده شده عبارت است از:

$$A_V = \frac{V_C}{V_g} = \frac{Z_P}{Z_P + R_g} \quad 10-4$$

نظر به اینکه در بسامد تشدید، Z_p کمترین مقدار خود را داراست لذا ولتاژ خروجی به حداقل مقدار خود می رسد. در بسامدهای کمتر و یا بیشتر از بسامد تشدید ولتاژ خروجی افزایش می یابد. رابطه بسامدهای قطع و نیز عرض باند نظیر مدار سری عبارت است از: $BW = \frac{W_P}{Q_P}$

با توجه به مدار معادل سری زیر پهنای باند به شکل (۴-۱۱ الف و ب) نوشته می شود:



شکل (۴ - ۱۱) : مدار سری معادل با مدار موازی از دو سر A و B ، (ب) مدار موازی

$$V_g' = \frac{R_L + jWL}{R_L + R_g + jWL} \cdot V_g \quad 11-4$$

$$R_c = \frac{R_g(R_g R_L + R_L^2 + W^2 L^2)}{(R_g + R_L)^2 + W^2 L^2} \quad ۱۲-۴$$

$$L_c = \frac{R_g^2 L}{(R_g + R_L)^2 + W^2 L^2} \quad ۱۳-۴$$

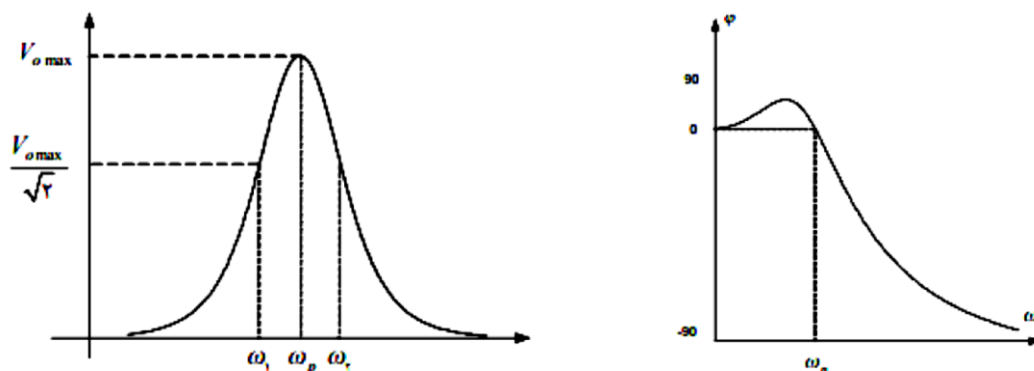
$$Q_s = \frac{W_s L_c}{R_c}, \quad Q_s = \frac{R_g L W_s}{R_g R_L + R_L^2 + W^2 L^2} \quad ۱۴-۴$$

$$BW = \frac{W_s}{Q_s} = \frac{R_g R_L + R_L^2 + W^2 L^2}{R_g L}, \quad BW = \frac{R_L}{L} \left(1 + \frac{R_L}{R_g} + \frac{W_s^2 L^2}{R_g R_L} \right) \quad ۱۵-۴$$

$$W_s = \frac{1}{\sqrt{L_c C}} \quad ۱۶-۴$$

در حالت کلی منبع $V'g$ برای یک مدار RLC سری دارای دامنه‌ای که تابعی از بسامد باشد نیست. از این رو مساله پهنای باند وقتی که خروجی از دو سر خازن C گرفته می‌شود معنایی درستی ندارد. در حالتی که در شکل (۴-۱۰) چون $V'g$ تابعی از بسامد است لذا مشخصه پاسخ دامنه در دو سر A و B به صورت یک فیلتر میانگذر خواهد بود

فرمول پهنای باند بدست آمده نشان می‌دهد که هر چقدر Rg بیشتر شود عرض باند کمتر و مدار انتخاب‌گرتر است (خاصیت انتخاب کنندگی مدار مربوط به بسامد می‌شود). بنابراین در مدار موازی استفاده از منبع با مقاومت بیشتر به انتخاب‌گرتر بودن مدار کمک می‌کند. شکل (۴-۱۲) منحنی پاسخ دامنه و پاسخ فاز مدار موازی را نشان می‌دهند.



شکل (۴ - ۱۲): پاسخ مدار RLC

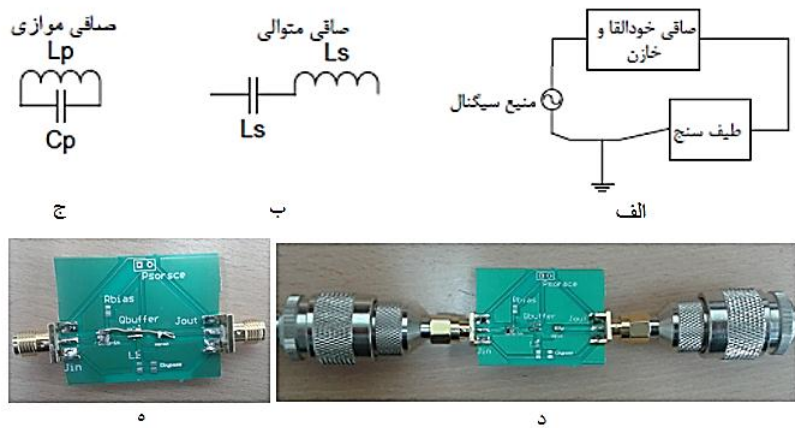
برای تشخیص Q خودالقاء ساخته شده نمی توان از تفاضل پهنای یاند استفاده کرد ($BW = W_2 - W_1$) زیرا دستگاه تحلیل گر شبکه دارای حداقل گام ۵ مگاهرتز است لذا اندازه گیری ما با دو گام (یعنی با فاصله ۱۰ مگاهرتز) معیار درستی برای تعیین مقدار Q نمی باشد. اما به صورت کیفی و چشمی اگر پاسخ دو دامنه مدار مقایسه شود، Q مداری بیشتر خواهد بود که عرض کمتر و عمق بیشتری داشته باشد و در شرایط عمق ثابت، هر کدام که عرض بیشتری داشته باشد دارای Q کمتری خواهد بود.

۴-۵-۳ بررسی خودالقا با دستگاه منبع سیگنال

برای آزمایش خودالقا از یک خازن مطلوب استفاده می شود. در این آزمایش خودالقا و خازن در نقش فیلتر استفاده شده است، و عملکرد مدار توصیف گر کار خودالقا است. برای این آزمایش از یک دستگاه منبع سیگنال^۱ مدل SG-4162AD استفاده شد؛ این دستگاه حداکثر فرکانس ۱۵۰ مگاهرتز را تولید می کند اما از فرکانس ۱۳۰ مگاهرتز دامنه طیف آن تغییر می کند. لذا برای تست خودالقا محدوده بسامدی ما باید کمتر از ۱۳۰ مگاهرتز باشد. هدف از استفاده از این دستگاه این است که با عبور دادن توان ثابت از یک فیلتر شامل یک خازن و خودالقا، طیف خروجی آن را بررسی شود. در این آزمایش از خازن ۱۰ پیکو فاراد و خودالقا ۳۳۰ نانو هانری استفاده شده که از لحاظ تحلیلی در فرکانس ۸۷ مگاهرتز تشدید می کند.

در این آزمایش یک خودالقا ۳۳۰ نانو هانری و یک خازن ۱۰ پیکو فاراد ابتدا به صورت متوالی و سپس به صورت موازی بسته شد. از نگاه تحلیلی مدار فیلتر در حالت متوالی به جز بسامد تشدید، بسامدهای دیگر را عبور نخواهد داد؛ به عبارت دیگر این فیلتر، یک فیلتر میان گذر است. مدار فیلتر در حالت موازی همه بسامدها، به جز بسامد تشدید را عبور خواهد داد؛ به بیان دیگر این فیلتر، یک فیلتر میان گذر می باشد.

شکل ۴-۱۳ (الف و ب و ج) به ترتیب نمای بلوکی فیلتر خازن و خودالقا، شکل مداری خازن و خودالقا متوالی و موازی را نشان می دهد. همچنین شکل (۴-۱۳ د - ه) تصویر برد راجرز امتحان شده در هر دو حالت را نمایش می دهد.



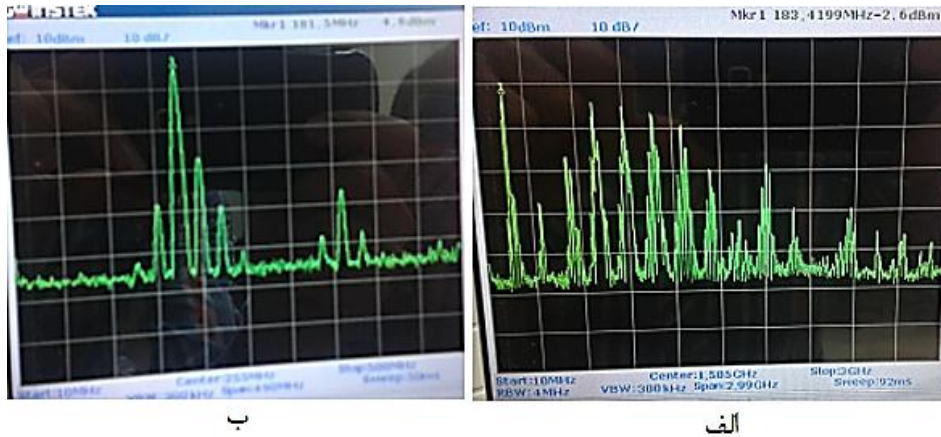
شکل (۴ - ۱۳): الف) شکل بلوکی از آزمایش خودالقا و ب) مدار متوالی ج) مدار موازی د) نمای برد راجرز خودالقا و خازن متوالی ه) نمای برد راجرز برای صافی موازی

پس از اجرای این آزمایش مشخص شد که در حالت متوالی هیچ بسامدی را عبور داده نشد و فیلتر متفاوت از رفتار تحلیلی خود عمل کرد. در حالت موازی انتظار می‌رود جز بسامد تشدید (حدود ۸۷ مگاهرتز) همه طیف را بدون تضعیف عبور دهد. ولی نتیجه آزمایش همانند حالت متوالی متفاوت با رفتار تحلیلی آن بود. دلیل این گفته این است که با تغییر بسامد از بازه ۲۰ مگاهرتز تا ۱۵۰ مگاهرتز، هیچ‌گونه تضعیفی در هیچ کجای باند دیده نشد. این آزمایش برای خودالقا ۴.۷ نانوهارتری و خازن ۱.۲ نانوفاراد تکرار شد. در اینجا نیز انتظار می‌رود که مدار در فرکانس ۶۷ مگاهرتز تشدید کند اما این بار هم نتیجه کاملا متفاوت از رفتار تحلیلی مدار بدست آمد. یعنی بسامد تشدید این خودالقا و خازن در این محدوده نمی‌باشد و نمی‌توان با توجه به دستگاه تولید کننده سیگنال موجود در آزمایشگاه به نتیجه قطعی و درست رسید.

به طور کلی این سوال مطرح می‌شود خودالقا مشکل دارد یا خازن یا هیچکدام، بلکه شاید اندازه خازن و خودالقا تغییرات زیادی دارند به طوری که در بازه دستگاه تولید کننده سیگنال آزمایشگاه نمی‌افتد. (یعنی فرکانس تشدید خارج از محدوده ۱۳۰ مگاهرتز قرار دارد.)

۴-۵-۴ بررسی خودالقا با طیف نوسان ساز

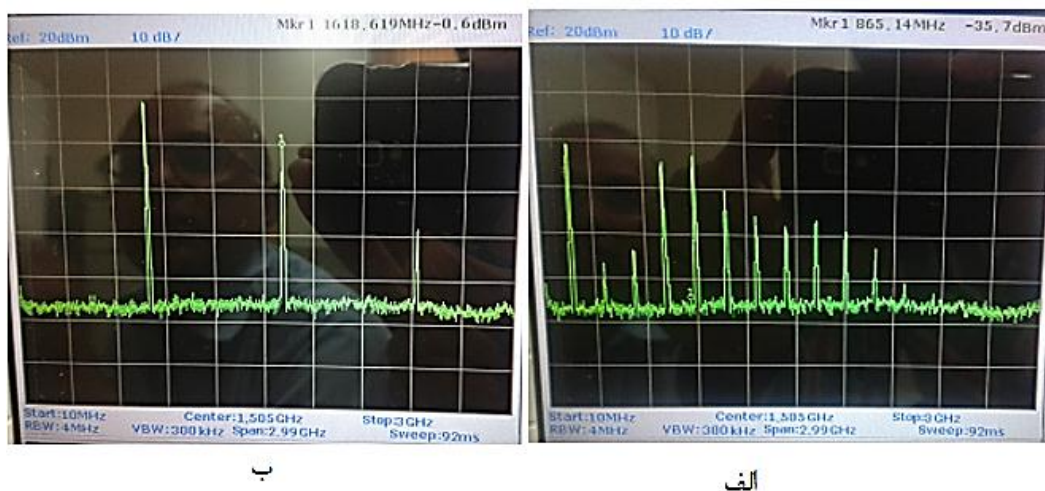
یکبار دیگر روی برد اصلی، خازن ۱۰ پیکو و خودالقا ۳۳۰ نانوهارتری به عنوان هسته نوسان ساز نصب شد. پس از آزمایش، طیف نامطلوب شکل (۴-۱۴ الف) دریافت شد (اصطلاحاً طیف کثیفی حاصل شد). هارمونیک اصلی در طیف این نوسان ساز به صورت شکل (۴-۱۴ ب) است.



شکل (۴ - ۱۴) : الف) طیف خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱۰ پیکوفاراد، ب) طیف هارمونیک اصلی نوسان ساز با خودالقا ۳۳۰

و خازن ۱۰ پیکوفاراد

همچنین زمانی که به پشت فیبر مدار چاپی دست زده شود، طیف تمیزتری بدست آمد. این دو طیف را در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.



شکل (۴ - ۱۵) : الف) طیف تمیز شده در اثر دست زدن به پشت مدار چاپی در حالت با جریان حدود ۴.۵ میلی آمپر ب) با

اعمال ضربه به پایه کلکتور نوسان ساز در حالت دیگر که با جریان حدودا ۱۰ میلی آمپر می باشد در حال فعالیت است.

در این آزمایش با گیره به پایه های ترانزیستور و خودالقاء ضربه زده شد؛ این کار باعث می شود که نوسان ساز در دو حالت کاری فعالیت کند؛ حالت اول دارای جریان حدود ۴.۵ میلی آمپر و حالت دیگر با دارای جریان حدود ۱۰ میلی آمپر می باشد. شکل (۴-۱۴) نشان می دهد که کیفیت خودالقا ۳۳۰ نانوهانری بسیار پایین است و لذا بیشترین گمان به این نوع خودالقا پدید آمده است .

۴-۵-۵ بررسی خودالقا با دستگاه تحلیل کننده شبکه^۱

در این قسمت از دستگاه تحلیل کننده شبکه مدل ATTEN AT3022 برای بررسی خودالقا موجود در مدار شکل (۴-۱۳ ج) استفاده می‌شود. روش کار همانند کار با دستگاه SG-4162AD می‌باشد، با این تفاوت که دستگاه تحلیل کننده شبکه تا فرکانس ۳.۲ GHz را پوشش می‌دهد؛ لذا آزمایش خودالقا در مدار فیلتر را دقیق‌تر می‌توان انجام داد. در ابتدا به دلیل این که خودالقا ۴.۷ نانو هانری در نوسان‌ساز دارای پاسخ مناسبی بود، لذا این خودالقا را با خازن ۱۰ پیکو به صورت متوالی بسته و آزمایش‌های متفاوتی در حالت سری انجام شد و مشخص شد که این فیلتر همه بسامدها را عبور می‌دهد؛ در حالی که انتظار می‌رفت که این فیلتر فقط بسامد تشدید خود را عبور دهد. نزدیک کردن و دور کردن خودالقا و خازن نیز بی‌تاثیر می‌باشد. این آزمایش با برد راجرز و برد FR4 همراه با پالی‌گان روی سطح و هم بدون پالی‌گان و همچنین با زمین زیر برد و چه بدون زمین زیر برد انجام شد؛ اما باز هم این فیلتر همه سیگنال‌ها را عبور داد.

۴-۵-۵-۱ بررسی خازن با دستگاه تحلیل کننده شبکه

به منظور بررسی اثر خازن، یک خازن ۱۰ پیکو را در مدار چاپی قرار داده و با دستگاه تحلیل کننده شبکه، طیف آن را در بسامد ۵۰ تا ۴۰۰ مگاهرتز آزمایش می‌کنیم. نتیجه اینطور بدست می‌آید که این فیلتر همه فرکانس‌ها را بدون تضعیف عبور داده در حالی که در حالت تئوری انتظار می‌رود این فیلتر فرکانس‌های پایین را تضعیف کند. این نتیجه باعث شد که گمان ما نسبت به خازن بیشتر شود. اما ذکر این نکته در اینجا نیز ضروری است که تحلیل کننده شبکه در فرکانس پایین چندان قابل اعتماد نیست.

۴-۵-۵-۲ بررسی خودالقا و خازن در حالت موازی با دستگاه تحلیل کننده

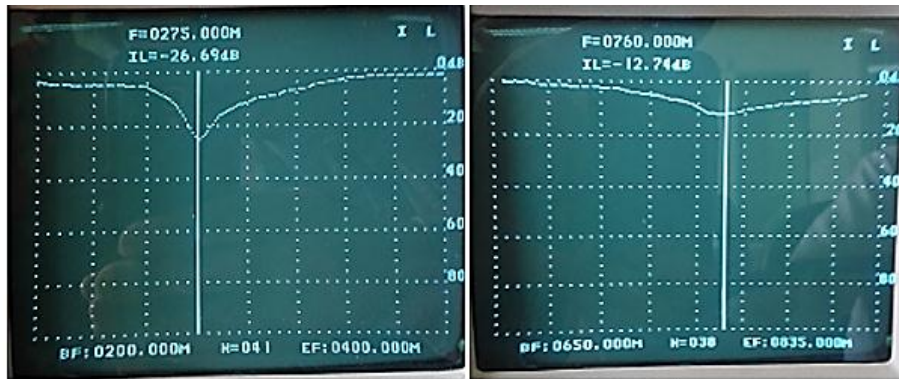
شبکه

در یک آزمایش خودالقا ۴.۷ نانو هانری را با خازن ۱۰ پیکوفاراد به صورت موازی بسته و با دستگاه تحلیل‌گر شبکه مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این حالت انتظار تضعیف در فرکانس تشدید را خواهیم داشت.

شکل (۴-۱۶ الف) در فرکانس ۷۶۰ مگاهرتز تضعیف ۱۲ dB نشان داده شده است، مربوط به خودالقا ۴.۷ نانو و خازن ۱۰ پیکو که در حالت موازی قرار گرفته شده، دارای عرض زیادی می‌باشد؛ لذا این نتیجه بیان می‌کند که خودالقا دارای کیفیت پایینی می‌باشد. ولی با این تشدید مشخص می‌شود که مدار تانک دارای رفتار مناسبی است. خودالقا ۳۳ نانو هانری و خازن ۱۰ پیکوفاراد را نیز در حالت

¹ - Network Analyzer

موازی بسته و انتظار تضعیف در فرکانس ۲۷۷.۱۹۳ مگاهرتز را خواهیم داشت. همان طور که در شکل (۴ - ۱۵) مشاهده می شود، خودالقا ۳۳ نانو باعث تضعیف ۲۶ dB در فرکانس ۲۷۵ مگاهرتز شده است که این نتیجه، مشابه حالت تحلیلی است. این حالت پهنای باریک تری نسبت به حالت ۴.۷ نانو هانری دارد؛ لذا این فیلتر Q بالاتری دارد. (البته فرکانس مرکزی متفاوت است).



ب

الف

شکل (۴ - ۱۶): تشدید در فرکانس ۷۶۰ مگاهرتز خودالقا ۴.۷ نانو هانری و خازن ۱۰ پیکو (ب) خودالقا ۳۳ نانو

هانری و خازن ۱۰ پیکو تشدید در فرکانس ۲۷۵ مگاهرتز

سپس خودالقا ۳۳۰ نانو هانری را که در بخش (۴-۶-۴)، مشخص شد که دارای کیفیت نامناسبی بود با خازن ۱۰ پیکو به صورت موازی بسته شد. این مدار در حالت تحلیلی انتظار تشدید (تضعیف) در فرکانس حدود ۹۰ مگاهرتز را می رود.



ج

ب

الف

شکل (۴ - ۱۷): خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱۰ پیکو، تشدید در فرکانس ۲۸۰ مگاهرتز (ب) تصویر بازه فرکانسی ۶۵۰ تا

۱۰۵۰ مگاهرتزی برای خودالقا ۳۳۰ نانو و خازن ۱ پیکو (ج) خودالقا ۳۳ نانو و خازن ۱ پیکو فاراد در بازه ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ مگاهرتز

برخلاف حالت تحلیلی این مدار در فرکانس ۲۸۰ مگاهرتز دچار تشدید شد. برای آزمایش مجدد خودالقا ۳۳۰ نانو هانری را با خازن یک پیکو فاراد (در حالت موازی) بسته شد؛ از نگاه تحلیلی انتظار تضعیف در فرکانس حدود ۲۸۰ مگاهرتز می رود اما در عمل در این بازه تشدید روی نداد. برخلاف انتظار، تشدید در بازه ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ مگاهرتز رخ داد. این موضوع در شکل (۴ - ۱۷) قابل مشاهده

است. تشدید در فرکانس ۹۶۵ مگاهرتز دارای تضعیفی به اندازه ۴۲ dB و عرض زیادی (حدود ۴۰۰ مگاهرتز) می باشد. این تصویر به طور جداگانه نشان دهنده Q پایین خودالقاء نیز می باشد که در فرکانس بالا اتفاق افتاد. به نظر می رسد که خودالقاء ۳۳۰ نانو همان نقش خودالقاء ۳۳ نانو را بازی می کند. برای تایید این دیدگاه خودالقا ۳۳ را با خازن یک پیکو موازی کرده تا تحلیل کننده شبکه آن را در بازه ۶۵۰ تا ۱۰۵۰ بررسی کند. شکل (۴ - ۱۷) نمایش این بازه فرکانسی می باشد. این تصویر گویای این است که خودالقاء، Q پایینی دارد و تشدید اصلی آن در فرکانس ۱۰۰۵ مگاهرتز می باشد. می توان نتیجه گرفت که خودالقاء ۳۳۰ همان خودالقاء ۳۳ نانوهارنی می باشد. (از لحاظ ظاهری و تعداد سیم پیچ نیز یکی می باشد).

اگرچه در فرکانس کمتر از ۳۰۰ مگاهرتز خودالقا ۳۳ نانو Q خوبی دارد اما در فرکانس بالا کاملاً این قضیه برعکس می شود.

این بار برای بررسی کیفیت خودالقاء ۴.۷ نانو، آن را با خازن یک پیکو موازی می کنیم. نتایج این کار را در بازه ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ مگاهرتز و ۲۳۰۰ تا ۲۸۰۰ مگاهرتز در شکل (۴ - ۱۸ الف و ب) مشاهده می کنید.



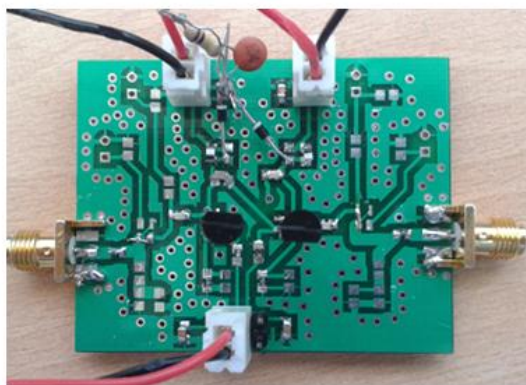
شکل (۴ - ۱۸): تضعیف در فرکانس ۲۳۰۰ تا ۲۸۰۰ مگاهرتز با خازن ۱ پیکو و خودالقا ۴.۷ نانو (ب) تضعیف در فرکانس ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ مگاهرتز با خازن ۱ پیکو و خودالقا ۴.۷ نانوهارنی (ج) خودالقا ۴.۷ نانو و خازن ۴.۷ پیکو و تشدید در فرکانس ۱۰۵۰ مگاهرتز

تصاویر شکل (۴ - ۱۸ الف و ب) نشان می دهد که این خودالقا در فرکانس بالا (حدود ۱۵۰۰ مگاهرتز) قابل قبولی به عنوان فیلتر ندارد. حال اگر خودالقا ۴.۷ نانوهارنی را با خازن ۴.۷ پیکو موازی کنیم، در حالت تحلیلی انتظار فرکانس ۱۰۰۷.۱ مگاهرتز را خواهیم داشت که تصویر شکل (۴ - ۱۷) گویای این مطلب است.

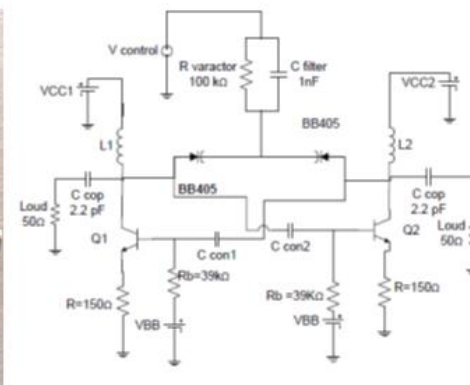
تشدید در فرکانس ۱۰۵۰ مگاهرتز روی داد و افت آن ۲۲ dB است. با توجه به این که تضعیف فرکانس در بازه ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ مگاهرتز می باشد، بنابراین به دلیل کوچک بودن Q خودالقاء، این

حالت به عنوان فیلتر قابل قبول نیست. اما مقدار Q در این حالت به مراتب بهتر از Q فرکانس‌های بالاتر از ۱.۵ گیگاهرتز خواهد بود که در شکل‌های (۴ - ۱۸ الف و ب) مشاهده می‌شود.

حال با این وجود می‌توان انتظار داشت که اگر این خودالقا با ورکتور در مدار نوسان‌ساز بسته شود با تغییر ولتاژ بسامد نوسان‌ساز تغییر کند. البته با توجه به Q خودالقا ۴.۷ نانوهارنی در رنج بسامدی کمتر از یک گیگاهرتز می‌توان به کارکرد آن اطمینان داشت. بدین ترتیب خودالقا ۴.۷ نانوهارنی و ورکتور BB405 به صورت شکل مداری (۴ - ۱۹ الف) بسته می‌شود. نمودار تغییر فرکانس برحسب ولتاژ در این حالت به صورت شکل (۴ - ۲۰ الف) بدست آمده است.

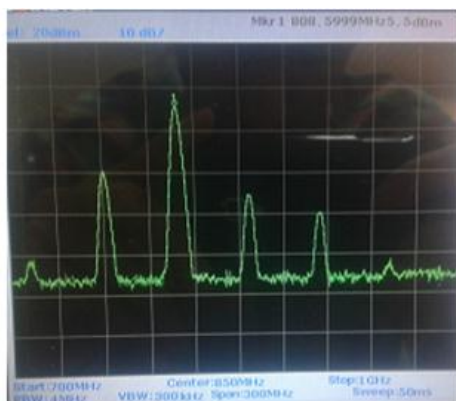


ب

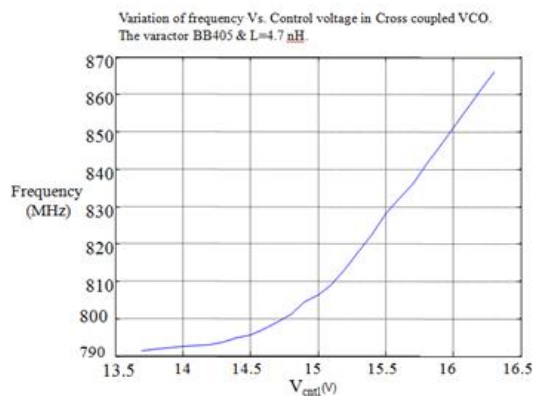


الف

شکل (۴ - ۱۹): الف) نمای مداری نوسان‌ساز، ب) برد مدار چاپی با ورکتور BB405 و خازن عدسی



ب



الف

شکل (۴ - ۲۰): الف) تصویر تغییر فرکانس بر حسب ولتاژ ورکتور BB405 با خودالقا ۴.۷nH (ب) تصویر طیف کثیف در ولتاژ ۱۶.۴ ولت در فرکانس ۸۰۸ مگاهرتز

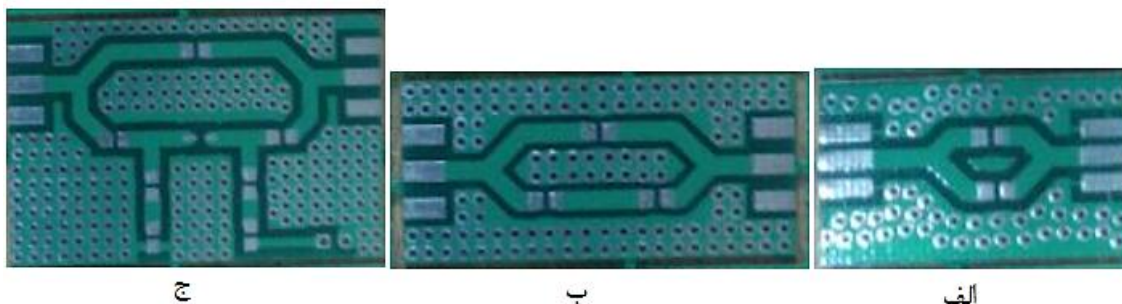
در شکل (۴ - ۲۰ الف) نمودار تغییرات فرکانس بر حسب ولتاژ با ورکتور BB405 آورده شده است. تغییرات فرکانس حدود ۸۰ مگاهرتز در محدوده ۴ ولتی است. اما این نمودار از فرکانس ۸۷۰ مگاهرتز به بعد در ولتاژ ۱۶.۴ ولت به طور ناگهانی به فرکانس ۸۰۸ مگاهرتز برمی‌گردد. همانطور که در تصویر شکل (۴ - ۲۰ ب) مشخص است این حالت نیز دارای طیف تمیزی نمی‌باشد. همان‌طور که در شکل

(۴-۱۹ الف) شاهد هستیم برای کنترل ولتاژ و رکتور از یک خازن عدسی موازی با یک مقاومت کربنی استفاده شده است. مقاومت کربنی عملکرد فرکانسی بالا خوبی دارد. خازن عدسی نیز در حالت ایده-آل عملکرد خوبی می‌تواند داشته باشد.

به منظور آزمایش بیشتر و دقیق‌تر علاوه بر آزمایش روی مدارچاپی راجرز ۲۰ میلی اینچی، این کار را بر روی مدارچاپی FR4 نیز در دو حالت با و بدون پالی‌گان روی سطح صورت گرفت. با این کار علاوه بر آزمایش خودالقا و خازن، تکرارپذیری روی مدارچاپی با طرح‌های مختلف نیز بررسی شد.

۴-۶ تحلیل خازن ، و رکتور و ساخت خودالقا

طراحی مدار چاپی، با طرح موازی بودن خود القا و خازن انجام شد. همان‌طور که در شکل (۴-۲۱ الف) مشاهده می‌کنید تغییری در عرض خط ایجاد نشده است. لذا امپدانس خط می‌تواند نقش تقسیم‌کننده و جمع‌کننده را بازی کند و این موضوع به این خاطر است که محل اتصال روی یک پد نیست. در شکل (۴-۲۱ الف) خط ماکرواستریپ ۵۰ اهم به دو خط ۵۰ اهم موازی وصل می‌شود، توان بین این دو خط از ۵۰ اهم به ۲۵ اهم و پس از آن مجدد به ۵۰ اهم تغییر کند (امپدانس خط در حال تغییر است) پیش بینی می‌شود این مدار چاپی نقش جمع‌کننده و تقسیم‌کننده را بازی کند. به همین خاطر مدارچاپی شکل (۴-۲۱ الف) مورد امتحان قرار گرفت. در این آزمایش برخلاف انتظار دستگاه تحلیل شبکه تلفات انتقالی را نشان نداد، با این وجود این مدار چاپی برای امتحان خودالقا و خازن در حالت موازی مورد استفاده واقع شد.



شکل (۴ - ۲۱) : الف) مدارچاپی برای امتحان خازن و خودالقاء در حالت موازی که احتمال نقش جمع‌کننده و تقسیم

کننده داده می‌شود (ب) مدارچاپی جهت موازی کردن یک خودالقاء با دو خازن به صورت سری (ج) مدارچاپی جهت امتحان

ورکتور

شکل (۴-۲۱ ب) جهت موازی کردن خودالقاء با دو خازن طراحی شد. این دوخازن به طور سری به هم متصل هستند؛ لذا خازن کوچک باید تاثیر گذاری خود را لحاظ کند. علت طراحی این مدارچاپی بررسی اثر خازن و رکتور است. خازن و رکتور، خازن بسیار کوچک در حد چند پیکوفاراد است که در

مدار با یک خازن در حد چند نانوفاراد سری می‌شود. البته در این مدار چاپی ورکتور را نمی‌توان نصب کرد (به دلیل این که مکانی برای اعمال تغییر ولتاژ طراحی نشده است). طراحی این برد فقط با این قصد صورت گرفت که به این سوال پاسخ دهد که در عمل بین دو خازن سری، خازن کوچک نقش اصلی را بازی می‌کند یا خیر؟ اگر چه از لحاظ تحلیلی بدیهی است؛ اما همان طور که در بالا مشخص شد که یک خازن و خودالقاء سری عملکرد مناسبی ندارد، ما را مجبور به طراحی چنین بردی کرد که گام به گام مراحل را مورد بررسی قرار دهیم.

مدار چاپی شکل (۴-۲۱ج) برای آزمایش تغییر فرکانس تشدید که در اثر تغییر اندازه خازن ورکتور صورت می‌گیرد طراحی شده است. در این مدار چاپی که در قسمت بالایی، خودالقاء و در وسط مسیر موازی با آن، محل ورکتور تعبیه شده است، دو خازن در ابتدا و انتهای این مسیر قرار داده شده است تا تغذیه اعمال شده فقط روی ورکتور اعمال شود. (اگر تغذیه DC روی دستگاه تحلیل‌گر شبکه بی-افتند آسیب می‌بینند). در قسمت پایینی این مدار چاپی نیز پیش‌بینی نصب خودالقاء بزرگ (RFC) لحاظ شده است؛ اما به دلیل شک برانگیز بودن این خودالقاء، منطقی این کار را با دو مقاومت بزرگ سری جهت اطمینان از عبور نکردن فرکانس RF به زمین AC در مدار انجام خواهیم داد. اگر چه این مدار چاپی برای آزمایش ورکتور طراحی شده بود اما در عمل حساسیت دانشگاه به دستگاه تحلیل‌گر شبکه باعث شد تا از این مدار چاپی‌ها استفاده نشود.

۴-۶-۱ ساخت خودالقاء

برای آنکه خودالقاء ساخته شده با معیاری اندازه‌گیری شود تا از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل شود، برای این کار از معیار تشدید خودالقاء و خازن استفاده خواهیم کرد. لذا نیاز به بررسی و دقت خازن خواهیم داشت، در بخش زیر ابتدا خازن مورد بررسی قرار خواهد گرفت و سپس به دنبال ساخت خودالقاء خواهیم رفت.

۴-۶-۱-۱ بررسی خازن

در آزمایشات بخش بررسی خودالقاء به این نتیجه دست یافته شد که خودالقاء ۴.۷ نانو کیفیت نسبتاً خوبی دارد اما خودالقاء ۳۳ نانوهارنی کاملاً بی‌کیفیت می‌باشد. در این بخش از یک خودالقاء با کیفیت آمریکایی Coilcraft با فرض این که کیفیت آن مطلوب و اندازه‌ی آن تقریباً در بازه بسامدی ثابت است، برای آزمایش خازن استفاده شده است. (با توجه به رنگ خودالقاء، خودالقاء اصلی و بدل معلوم می‌شود). در نهایت با برگزیدن خازن، نسبت به ساخت خودالقاء اقدام می‌شود.

در این قسمت خودالقاء ۱۵ نانوهارنی Coil craft را با خازن‌های ۲.۲ ، ۳.۳ ، ۴.۷ ، ۸ و ۱۰ پیکوفاراد موازی کرده و مکان تشدید آن با دیدگاه تحلیلی مقایسه می‌شود و کیفیت خازن و درصد خطا هر

خازن محاسبه می‌شود. جدول (۴-۱۲) این حالت را مقایسه می‌کند.

جدول (۴-۱۲): جهت بررسی انواع خازن با خودالقا ۱۵ نانوهارنی

توضیحات	۱۰	۸	۴.۷	۳.۳	۲.۲	۱	خازن- خودالقا
فرکانس تحلیلی بر حسب MHz	۴۱۰	۴۵۹	۵۹۹	۷۱۵	۸۷۶	۱۲۹۹	۱۵ nH
فرکانس عملی بر حسب MHz	۳۹۵	۴۴۰	۵۹۰	۶۶۵	۸۲۰	اندازه گیری نشد	۱۵ nH
میزان افت برحسب dB	-۲۱.۶	-۲۴	-۲۶	-۲۹.۸	-۳۴	اندازه گیری نشد	

۴-۶-۱-۲ تشخیص نسبی کیفیت خودالقا

برای تشخیص کیفیت خودالقاء در یک عرض Δf از f ، می‌توان از میزان افت آن در یک بازه مشخص استفاده نمود. بر این اساس، میزان افت از فرکانس مرکزی f با $\Delta f = 10\text{MHz}$ ثبت شده است. در جدول (۴-۱۳) افت اطراف دو فرکانس مرکزی ۳۹۵ و ۴۴۰ مگاهرتز را مشاهده می‌کنید.

جدول (۴-۱۳): افت اطراف فرکانس مرکزی در حاشیه ۱۰ مگاهرتزی برای دو فرکانس ۳۹۵ مگاهرتز و ۴۴۰ مگاهرتز

۴۳۰ MHz	۴۵۰ MHz		۳۸۵ MHz	۴۰۵ MHz
۱ dB	-۱۸.۷۴ dB		-۱۷ dB	-۱۴ dB

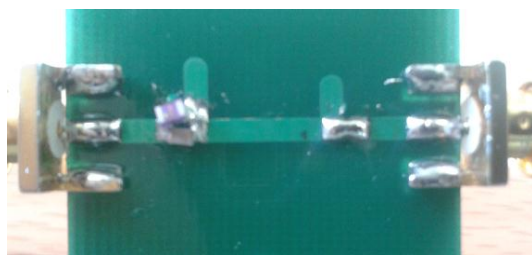
و در جدول (۴-۱۴) تضعیف اطراف فرکانس‌های مرکزی ۵۹۰ و ۶۶۵ و ۸۱۰ مگاهرتز را مشاهده می‌کنید

جدول (۴-۱۴): افت فرکانس اطراف فرکانس مرکزی در حاشیه ۱۰ مگاهرتز برای فرکانس‌های مرکزی ۵۹۰ و ۶۶۵ و ۸۲۰

مگاهرتز

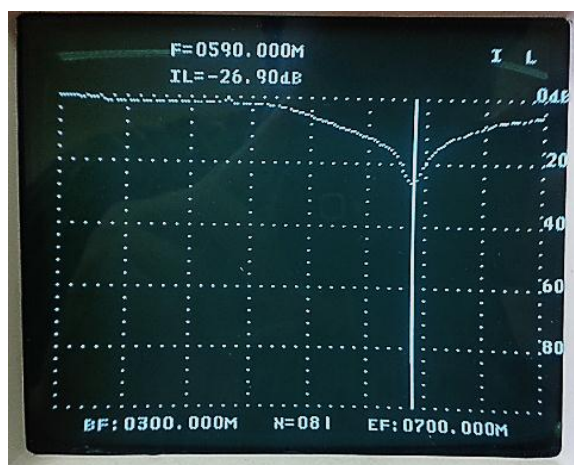
۸۱۰ MHz	۸۳۰ MHz		۶۵۵ MHz	۶۷۵ MHz		۵۸۰ MHz	۶۰۰ MHz
-۲۷ dB	-۳۰.۸۲ dB		-۲۳.۷ dB	-۲۴.۵ dB		dB	dB
						-۲۱.۷۳	-۲۰.۳۳

در شکل ۴-۲۲ مدار با استفاده از خودالقاء با کیفیت و خازن به صورت موازی بسته شده است.



شکل (۴ - ۲۲) : برد مدارچاپی FR4 بدون پالیگان

تصویر (۴-۲۳) تشدید در فرکانس ۵۹۰ مگاهرتزی بین خودالقاء ۱۵ نانوهارتی و خازن ۴.۷ پیکوفارادی را نشان می دهد که در فرکانس ۵۹۰MHz حدود ۱.۵٪ انحراف نسبت حالت تحلیلی وجود دارد.



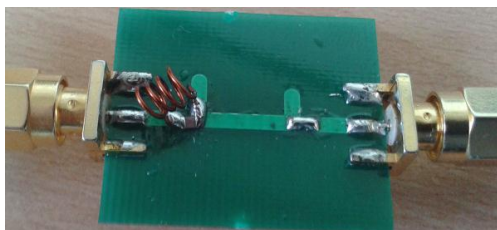
شکل (۴ - ۲۳) : تشدید خودالقاء ۱۵ نانو و خازن ۴.۷ پیکوفاراد

حال اگر این میزان انحراف برای هر خازن حساب شود، به ترتیب برای خازن ۱۰ پیکوفاراد حدود ۳.۸٪ در فرکانس ۴۲۰MHz ، برای خازن ۸ پیکو حدود ۴.۲٪ در فرکانس ۴۶۰MHz ، برای خازن ۳.۳ پیکوفاراد در فرکانس ۷۲۰MHz حدود ۷٪ و برای خازن ۲.۲ پیکو در فرکانس ۸۵۰ MHz حدود ۶.۳٪ انحراف خواهیم داشت. این نتایج نشان می دهد آن که خازن ها کیفیتی تقریباً قابل قبول دارد.

۳-۱-۶-۴ ساخت خودالقا

با مشخص شدن کیفیت نسبی خازن که تقریباً قابل قبول هست، نسبت به ساخت خودالقا اقدام شده است. برای این کار از سیم لاکی استفاده کرده و دور مغز لوله خودکار به قطر ۴ میلی متر پیچیده و دو انتهای آن را برای هویه کاری لخت می کنیم. در ابتدا خودالقایی با چهار دور ساخته شد و آن را با یک خازن ۳.۳ پیکو فاراد موازی کرده و بسامد تشدید آن با دستگاه تحلیل گر شبکه مشخص شد. در شکل (۴-۲۴) نمای ظاهری خودالقا ساخته شده و خازن که روی مدار چاپی بسته شده مشاهده می-

شود



شکل (۴ - ۲۴) : خودالقاء با چهار دور برای بدست آوردن مکان تشدیدش

برای محاسبه خودالقاء یک سیم لوله، از فرمول زیر استفاده می شود

$$L = \mu_0 n^2 S = \mu_0 \frac{N^2}{L^2} S \quad (H/m) \quad ۱۷-۴$$

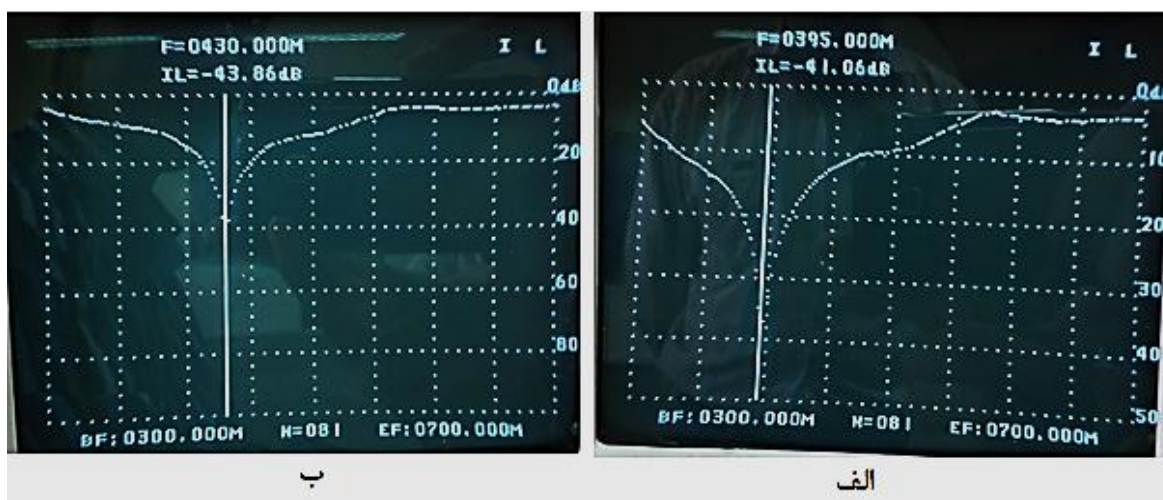
در معادله (۱۷-۴) تعداد دور و S مساحت سیم لوله L طول سیم لوله می باشد

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{L} S \quad (H) \quad ۱۸-۴$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}, N=4, L \cong 0.5mm, S = \pi r^2, r=0.5mm$$

این معادلات براساس طول سیم لوله بی نهایت صورت گرفته است. با چشم پوشی از این خطا محاسبات فوق بیان می کند این تکه سیم حدود ۳۲ نانوهانری می باشد.

شکل (۴-۲۵) محل تشدید خودالقاء ساخته شده با خازن ۳.۳ پیکوفاراد را نشان می دهد.



شکل (۴ - ۲۵) : تشدید خودالقاء با چهار دور و خازن ۳.۳ پیکوفاراد ، (ب) تشدید همان خودالقاء که با افزایش

طول سیم لوله و کاهش خودالقا که فرکانس افزایش پیدا کرده

در شکل (۴-۲۵ الف) خودالقا چهار دور با خازن ۳.۳ پیکوفاراد در بسامد ۳۹۵ مگاهرتز تشدید کرده است. این بدان معنی است که میزان این خودالقا حدود ۵۰ نانوهارنی می‌باشد.

اگر فاصله بین حلقه‌ها را بیشتر کرده به طوری که طول سیم لوله افزایش یابد، میزان خودالقا کمتر شده و فرکانس بیشتر می‌شود. شکل (۴-۲۵ ب) نشان دهنده افزایش فرکانس ناشی از افزایش طول سیم‌لوله است.

خودالقا سیم لوله در این حالت حدود ۳۸ نانوهارنی می‌باشد. اما آن چیزی که جالب توجه است عمق تشدید و محدوده زیاد تضعیف است.

در خودالقا ساخته شده اگر داخل سیم لوله، آهن (یک میخ) قرار داده شود از لحاظ تحلیلی انتظار می‌رود شارمغناطیسی تجمیع گردد و خودالقایی بیشتر شود؛ اما در عمل این خودالقایی کمتر شد که این غیرقابل انتظار می‌باشد. پیش بینی می‌شود که این رخداد به این دلیل باشد که طول این سیم-لوله بی‌نهایت نیست.

خودالقا ساخته شده تنها یک اثر غیر معمول دارد این که با وجود هسته، میزان خودالقا کمتر می‌شود! با توجه که تمایل به سمت بسامدهای بالاتر داریم لذا میزان دور سیم‌لوله را کمتر کرده تا خودالقا کمتر شود. به همین ترتیب با سیم لاکه به طول ۳۱ میلی‌متر دو حلقه به قطر ۴ میلی‌متر و با پایه‌های ۶ میلی‌متر درست شد و این خوالقا با خازن ۳.۳ پیکوفاراد موازی کرده شد. نتیجه این تشدید خودالقا با خازن ۳.۳ به شرح جدول (۴-۱۵) می‌باشد.

جدول (۴-۱۵): تضعیف ناشی از خودالقا ساخته شده با خازن ۳.۳ پیکوفارادی

توضیحات	تضعیف بر حسب dB	فرکانس MHz
در خود فرکانس تشدید	-۳۸.۷	۶۵۵
در ۱۵ مگاهرتز قبل از تشدید	-۱۷	۶۳۰
در ۵۵ مگاهرتز قبل از تشدید	-۹.۲۱	۶۰۰
در ۲۵ مگاهرتز بعد از تشدید	-۱۹	۶۸۰

خودالقا این سیم لاکه با طول ۳۱ میلی‌متر که به صورت دو حلقه درست شده است، حدود ۱۸ نانوهارنی می‌باشد. اگر طول سیم لاکه را کمتر کرده (۲۲ میلی‌متر) و این خودالقا با خازن ۳.۳ پیکوفاراد موازی شود در فرکانس ۸۳۵ مگاهرتز به اندازه ۳۳.۱ dB تضعیف ایجاد می‌کند. خودالقا این قطعه سیم حدود ۱۱ نانوهارنی است. همچنین اگر طول سیم لاکه به ۱۷ میلی‌متر کاهش داده

شود و آن را به شکل Ω درست کنیم و با خازن ۳.۳ پیکوفاراد موازی شود، جدولی با مشخصات بسامدی به شرح جدول (۴-۱۶) بدست خواهد آمد.

جدول (۴-۱۶): تشدید با خودالقا ساخته شده از تکه سیم ۱۷ میلی متری با خازن ۳.۳ پیکوفاراد

توضیحات	تضعیف بر حسب dB	فرکانس MHz
در خود فرکانس تشدید	-۳۱	۱۰۷۰
در ۱۵ مگاهرتز قبل از تشدید	-۲۱.۵۸	۱۰۵۰
در ۵۵ مگاهرتز قبل از تشدید	-۱۷.۴۳	۶۰۰
در ۲۵ مگاهرتز بعد از تشدید	-۱۹	۶۸۰

خودالقا این قطعه سیم لاکه به شکل Ω حدود ۷ نانوهانری است و در اثر نزدیک کردن دست انسان، مکان تشدید به ۱۰۸۵ تغییر می کند و این خاصیت تکرار پذیر نیز هست.

حال با تشدید در این فرکانس امیدواریم که این خود القا در مدار اتصال ضربدری عملکرد درستی داشته باشد. اگرچه می دانیم با نزدیک و دور کردن دست، مشخصات خودالقا نیز تغییر می کند و همچنین ساخت خودالقای که دقیقا مشابه همین خودالقا باشد تقریبا غیرممکن است. اما به هر حال تلاشی انجام خواهیم داد تا راه گشای نوسان در بازه مورد نظر ما باشد.

۴-۷ بررسی خودالقا ساخته شده در مدار نوسان ساز

خودالقایی که به شکل Ω ساخته شد، در هسته نوسان ساز بسته شد. محدوده این خودالقا بین ۶ تا ۱۰ نانوهانری می باشد (دلیل این خطا این است که چون این خود القاها با دست ساخته شده اند مشابه یکدیگر نیستند). نوسان ساز تزویج ضربدری دارای مشخصات بایاس به شرح جدول ۴-۱۷ است.

جدول (۴-۱۷): نقطه کار مدار اتصال ضربدری که در آن از خودالقا ساخته شده، استفاده شده است.

$V_C = 6.5 (V)$	$V_C = 6.5 (V)$
$V_{BB1} = 5.5 (V)$	$V_{BB2} = 8 (V)$
$I_1 = 13.1 (mA)$	$I_2 = 13.63 (mA)$

حال با مشخصات بایاس جدول ۴-۱۷، هارمونیک های جدول ۴-۱۸ را بدست آمده است.

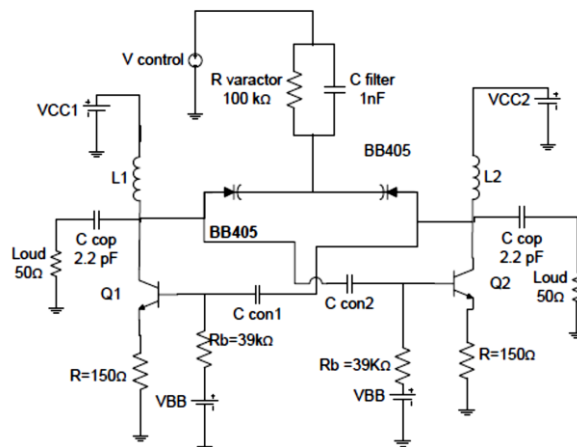
جدول (۴-۱۸): سیگنال دریافت شده از خودالقا ساخته شده

f_{MHz}	P_{dBm}
۹۵۴	+۹.۷
۱۹۱۴	+۴.۷
۲۸۷۴	-۸

با توجه به تغییر اندازه خازن و ثابت ماندن بسامد تشدید، بدیهی است خودالقا دست ساز نیز دچار خود تشدید شده است.

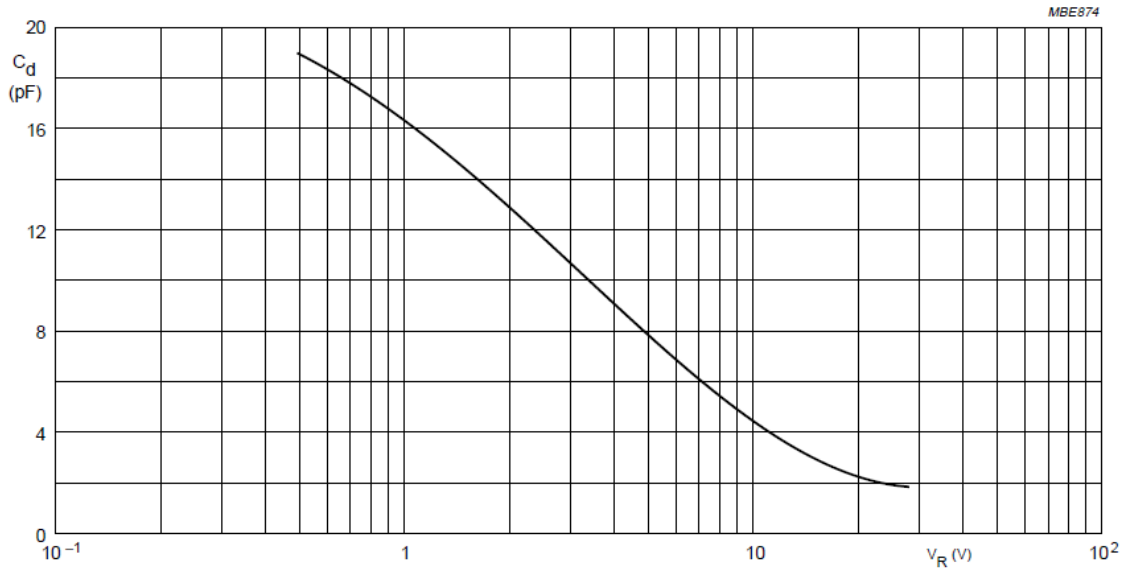
۸-۴ رفتار مطلوب مدار با عناصر با کیفیت

چون هدف اصلی این پروژه ساخت خودالقا نبوده، لذا با استفاده از خودالقاء با کیفیت ۳.۳ نانوهراری شرکت Coilcraft و ورکتور BB405 و ترانزیستور مطلوب BFP420، نوسان ساز را بسته و نقطه کار آن را تنظیم کرده و مورد ارزیابی قرار داده شد. مدار با ترانزیستور و خودالقاء با کیفیت درست رفتار کرد و توانست در محدوده حدود ۵۰۰ مگاهرتز نوسان تولید کند. این نوسان ساز در بازه ۹۳۰ تا ۱۴۶۰ مگاهرتز قابلیت تنظیم بسامد را دارد. برای اینکه تغذیه مدار یکی شود ابتدا ولتاژهای مدار را یکی و سپس به همدیگر وصل کرده تا مدار بتواند با یک منبع تغذیه ۶.۵ ولتی کار کند. در این صورت جریان هر شاخه برابر است با $I_1 = 9.99 (mA)$ و $I_2 = 9.66 (mA)$.



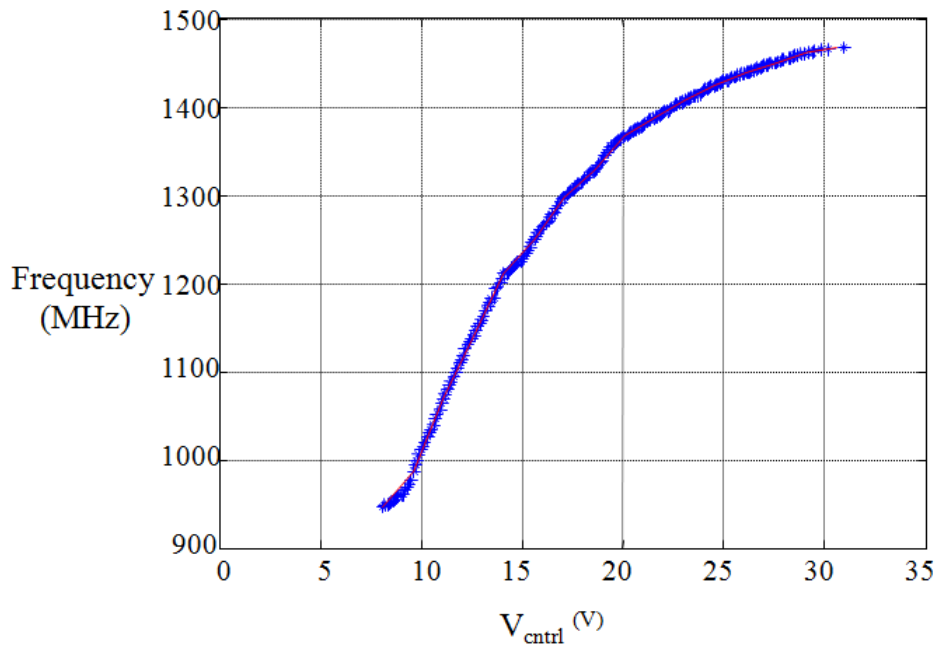
شکل (۴-۲۶): مدل مدار با خودالقاء با کیفیت و ورکتور BB405 و ترانزیستور BFP420

در شکل (۴-۲۶) بیان کننده مدار پیاده سازی شده است. از دو ترانزیستور مدل BFP420 استفاده شد که بسامد قطع آن ۲۵ گیگاهرتز و عدد نویز آن در بسامد ۱.۸ گیگاهرتزی ۱.۱ dB است. همچنین از ورکتور مدل BB405 استفاده شده است که محدوده تغییرات خازن ورکتور آن بر حسب معکوس ولتاژ در شکل (۴-۲۷) نشان داده شده است.

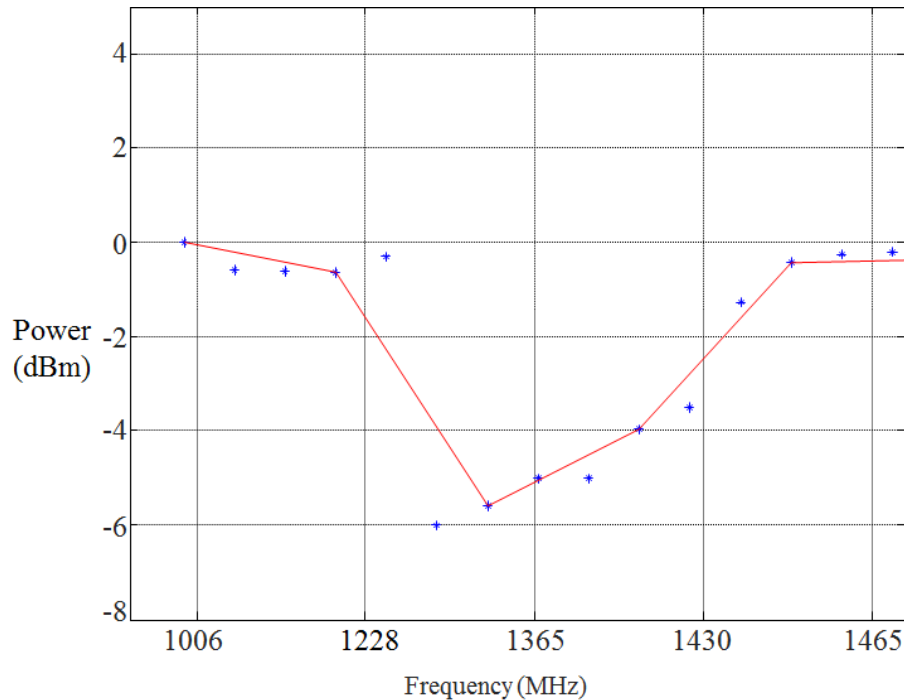


شکل (۴-۲۷): تغییرات خازن ورکتور بر حسب ولتاژ معکوس دو سر دیود ورکتور

خودالفا استفاده شده مدل Coilcraft آمریکایی می باشد که مشخصه تغییرات اندازه آن با بسامد در شکل (۴-۹ الف) بیان شده است. شکل (۴-۲۸) تغییرات فرکانس بر حسب ولتاژ کنترل را در نوسان-ساز اتصال ضربدری، نشان می دهد.



شکل (۴-۲۸): تغییرات فرکانس بر حسب ولتاژ با ورکتور BB405



شکل (۴-۲۹): نمودار تغییرات توان بر حسب ولتاژ با ورکتور BB405

نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ با تغییر ولتاژ کنترل از ۶.۵ تا ۳۱ ولت، بسامد مدار از ۹۳۰ تا ۱۴۶۶ مگاهرتز تغییر می‌کند، توان اندازه‌گیری شده هماهنگ اول از صفر تا ۷ dBm- تغییر دارد. همچنین در تغییر ولتاژ از ۹.۵ به ۹.۶ ولت که برابر تغییر بسامد ۹۷۶ تا ۹۸۷ مگاهرتزی است مشاهده شد به طور ناگهانی بسامد نوسان‌ساز به ۱۰۱۶ مگاهرتز پرش می‌کند. این همان نتیجه مورد انتظار این پروژه بود که خوشبختانه بازه بسامدی، بیش از محدوده مشخص شده که در پیشنهاد اولیه مطرح شده بود، حاصل شده است.

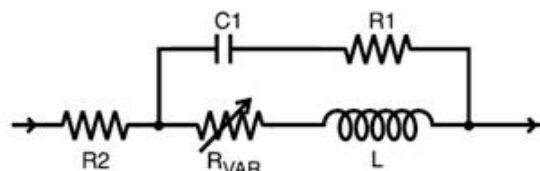
۹-۴ شبیه‌سازی

مدار اتصال ضربداری با نرم افزار ADS شبیه سازی شده است. این شبیه سازی با این دیدگاه بیان شده است تا جوابی که در عمل بدست آمده است (در بخش ۴-۸ این رفتار بیان شده) مقایسه شود. شبیه‌سازی با دو دیگه انجام شد که در متن پایان‌نامه دیدگاه دومی که با مدل‌های واقعی شرکت ارائه دهنده محصول شبیه سازی صورت گرفته، بیان شده است. حالت اول حالتی است که بصورت پیش فرض در نرم افزار ADS برای خودالقا و خازن مدلی تعبیه شده است و از ترانزیستور BFP420 استفاده می‌شود و حالت دیگر، شبیه سازی مداری است که در آن از خودالقای شرکت‌های Coilcraft استفاده شده است.

برای شبیه سازی مدار با استفاده از خودالقای مدل coilcraft، مدل پیشنهاد شده توسط شرکت نام

برده می باشد.

Part number	R1 (Ω)	R2 (Ω)	C (pF)	L (nH)	k	Upper limit (MHz)
0805HQ-2N5	6	0.02	0.029	2.70	6.90E-06	19800
0805HQ-5N6	7	0.04	0.044	5.80	1.19E-05	11000
0805HQ-6N2	8	0.04	0.056	6.40	1.15E-05	10100
0805HQ-12N	10	0.05	0.090	12.20	2.50E-05	5800
0805HQ-16N	11	0.06	0.064	16.50	2.62E-05	5900
0805HQ-18N	12	0.06	0.079	18.60	2.83E-05	5000
0805HQ-20N	11	0.06	0.128	20.50	3.38E-05	3800
0805HQ-27N	14	0.07	0.093	27.0	4.34E-05	3900
0805HQ-30N	12	0.10	0.137	30.0	4.58E-05	3000
0805HQ-39N	13	0.11	0.117	39.0	6.29E-05	2900
0805HQ-48N	13	0.10	0.116	48.0	7.59E-05	2600
0805HQ-51N	11	0.12	0.116	51.0	8.80E-05	2500

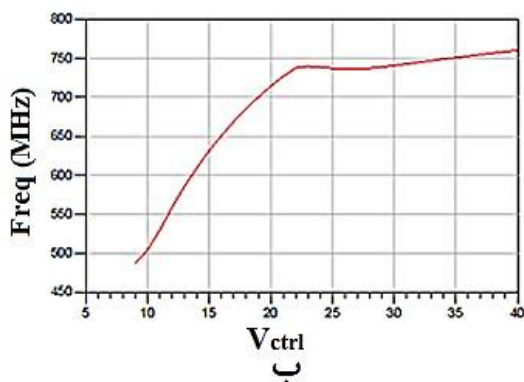


الف

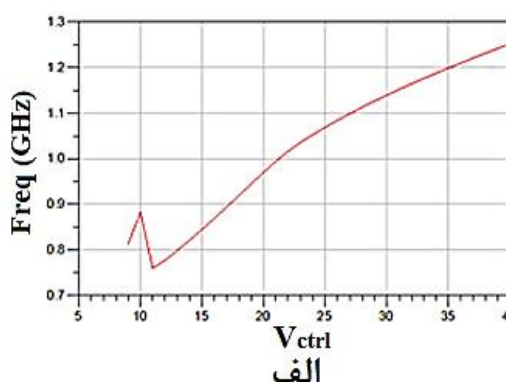
ب

شکل (۴-۳۰): الف) شکل مداری مدل شبیه سازی Coil Craft، ب) اندازه های عناصر مداری

مدل مداری پیشنهاد شده به صورت شکل (۴-۲۹) الف) است. بسامد قابل دستیابی این مدل از یک مگاهرتز شروع می شود و در فرکانس های بالا نیز محدود به مقادیر شکل (۴-۲۹) ب) می شود. اندازه المانهای مدار براساس شکل (۴-۲۹) ب) تعیین می شود. تنها اندازه مقاومت R_{VAR} وابسته به فرکانس می باشد و این وابستگی با فرمول $R_{VAR} = k * \sqrt{f}$ بیان می شود.



ب



الف

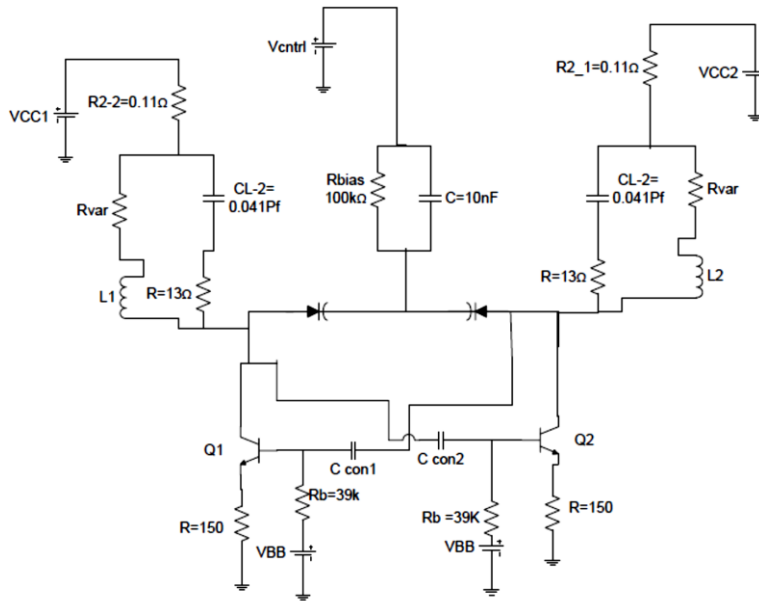
شکل (۴-۳۱): الف) شبیه سازی با خودالقا ۲.۷ نانوهارنی coil craft و ورکتور BB135، ب) شبیه سازی با خودالقا ۶.۸

نانوهارنی coil craft و ورکتور نام برده

شبیه سازی با دو مقدار خودالقا که از شکل (۴-۲۹) ب) مشخصات آن موجود بود، صورت گرفت. شکل (۴-۳۰) الف) تغییرات بسامد بر حسب ولتاژ با خودالقا ۲.۷ نانوهارنی می باشد و در شکل (۴-۳۰) ب) تغییرات بسامد بر حسب ولتاژ با خودالقا ۶.۸ نانوهارنی بیان شده است.

لازم به ذکر است که شبیه سازی با محصولات شرکت های دیگر (Murata و TDK) نیز انجام شده و جواب های مشابهی بدست آمد و بخاطر کم تر شدن حجم پایان نامه از ارائه آن ها پرهیز شده است.

مداری که در شبیه‌سازی ADS با مدل خودالقا Coilcraft استفاده شده، در شکل (۴-۳۱) مشاهده می‌کنید.



شکل (۴-۳۲): نمای مداری که با نرم افزار ADS با مدل استفاده شده از Coil Craft

این شبیه‌سازی مشابهی پاسخی است که در عمل از مدار نوسان‌ساز دریافت شده است.

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

در این فصل در بخش نتیجه گیری یکسری مشاهدات تجربی که در نوسان ساز شاهد بودم بیان می-شود و سپس پیشنهاداتی برای کسانی که قصد دارند این پروژه ادامه دهند بیان خواهد شد.

۵-۲ نتیجه گیری

۵-۲-۱ بررسی اندازه خاصی از خودالقا

در عمل مستقل از نام مارکی که استفاده می شود باید هر قطعه را مستقل مورد آزمایش قرار داد. به عنوان مثال خودالقا ۴.۷ نانو هانری را یکبار با خازن ۱۰۰ پیکوفاراد و بار دیگر با خازن ۱.۲ نانوفاراد در هسته نوسان ساز اتصال ضربدری قرار داده شد. نتیجه حاصل از این دو حالت در جدول ۵-۱ گزارش داده شده است.

جدول (۵-۱): بررسی خودالقا متفاوت تولید شده از یک شرکت

خودالقاء ۴.۷ نانو هانری و خازن ۱.۲ نانوفاراد در هسته تزویج ضربدری		خودالقاء ۴.۷ نانو هانری و خازن ۱۰۰ پیکوفاراد در هسته تزویج ضربدری	
فرکانس برحسب مگاهرتز	دامنه برحسب dBm	فرکانس برحسب مگاهرتز	دامنه برحسب dBm
۹۵۹	+۱۰.۱	۹۶۲.۵	+۱۰
۱۹۲۲	+۴.۷	۱۹۲۰	+۴.۵

این جدول نشان دهنده این است که نوسان مستقل از مقدار خازن است. دلیل این موضوع این است که این خودالقاء خودتشدید می کند. در حالی که پیش از این، خودالقای با همین اندازه استفاده شد و رفتار مطلوبی از خود نشان داد.

۵-۲-۲ کار با مدارهای غیر خطی

در روند ارائه این متن مشاهده شد اگر مدار نوسان ساز را بدون سپر الکترومغناطیسی بسته شود نوسان ساز نقش مخلوط کننده لذا از الزامات کار با نوسان ساز سپر الکترومغناطیسی می باشد.

در تعیین نقطه کار، ابتدا مدار را به طور بخش بخش راه اندازی شود تا بتوان رفتار نامطوب را شناسایی کرد. همچنین یکی از الزامات کار با مدار غیرخطی خازن صافی است که برای منبع تغذیه تعبیه شود تا مدار رفتار مطلوب را داشته باشد.

۵-۲-۳ اثر بار الکترواستاتیک

مدارهای بسامد بالا بسیار به بار ساکن حساس هستند. به غیر از این، دستگاه‌های اندازه‌گیری نیز به بارهای ساکن حساس می‌باشند. لذا قبل از کار با این دستگاه‌ها و با مدار نیاز به یک صفحه زمین کامل دارید تا بار ساکن بدن را تخلیه کند و به عنوان یک پیشنهاد دست‌ها اگر نمناک باشد این بار تولید نمی‌شود و یا سیم زمین همواره به بدن شما نصب باشد.

۵-۳ پیشنهادات:

برای آن که نوسان‌ساز قابل رقابت با محصولات ساخته شده شرکت‌های معتبر باشد، باید روی بهبود نویزفاز فعالیت انجام شود. هر چند انتظار می‌رود با استفاده از ترانزیستور و خودالقا مرغوب این کار انجام شود.

پیشنهادی دیگری که می‌توان ارائه داد، ساخت نوسان‌سازی با توان کمتر و ترجیحاً با ولتاژ کمتر از ۳ ولت می‌باشد.

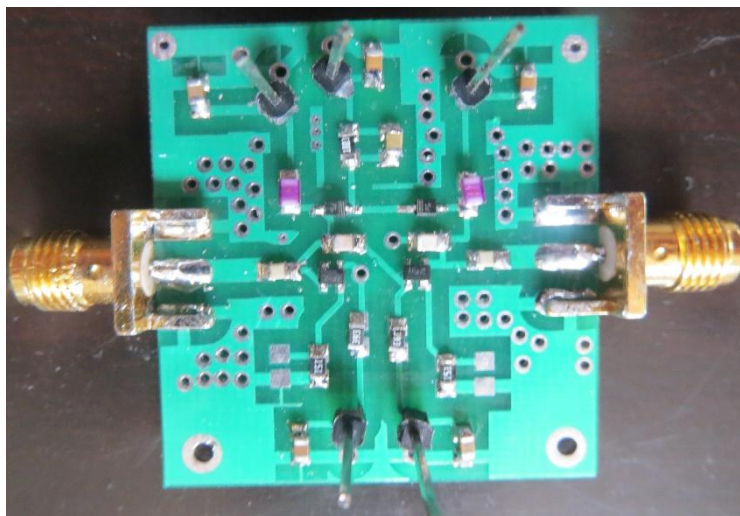
یکی از راه‌کارهایی که در بهبود تغییر خطی فرکانس بر حسب ولتاژ می‌توان بیان کرد و بسیار تاثیر گذار است، استفاده از دیود ورکتور از نوع Hyperabrupt در نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ است. این عامل باعث می‌شود نوسان‌ساز خطی‌تر رفتار کند.

نوسان‌ساز فوق را می‌توان با دیدگاه push-push به کار برد تا نوسانی با فرکانس دو برابر فرکانس فعلی و با همین محدوده تغییرات و البته نویز فازی بهتر ساخته شود.

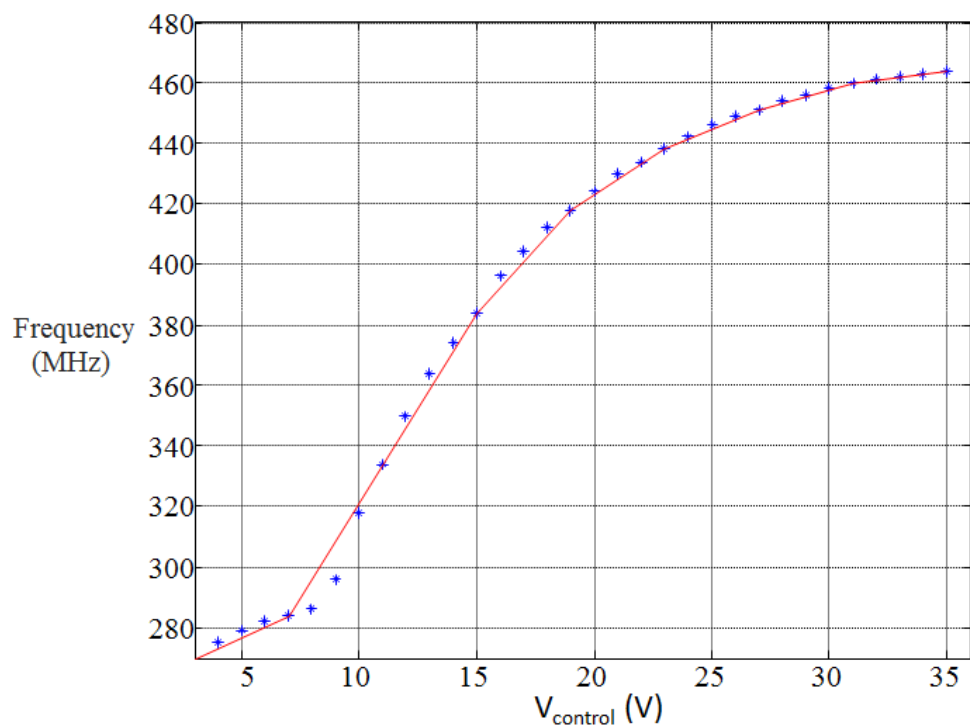
برای اینکه نوسان‌ساز با دقت و نویز کمتری کار کند باید منبع تغذیه دقیق و بدون تغییرات داشته باشیم.

پیوست ۱: ساخت نوسان‌ساز در بازه فرکانسی ۳۰۰ تا ۴۵۰ مگاهرتز مقایسه آن با مدل‌های موجود

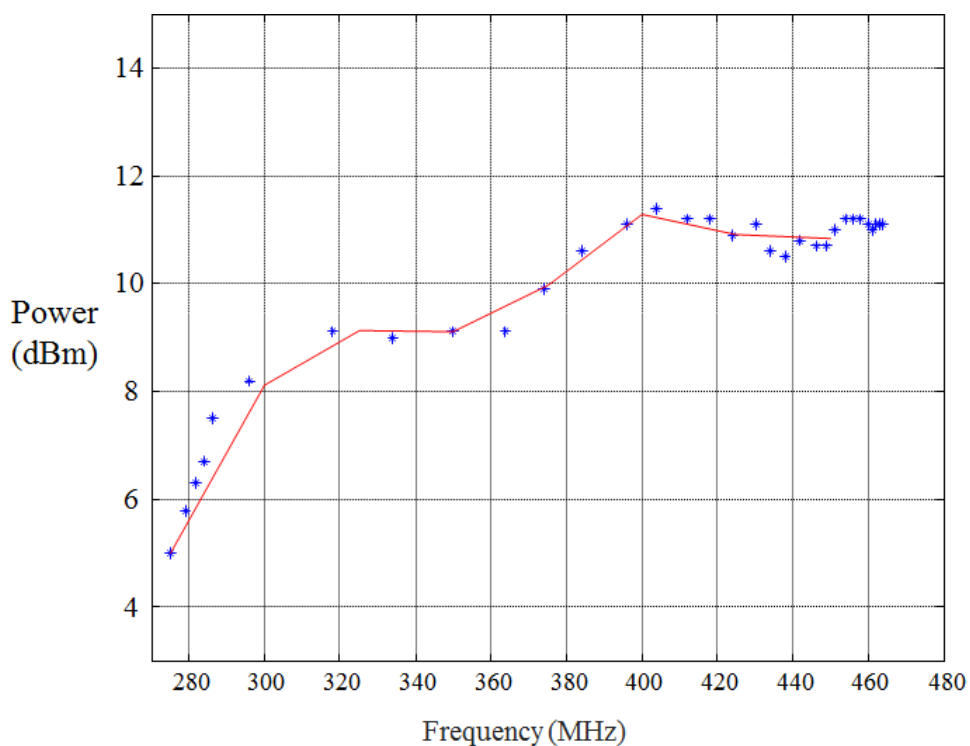
در راستای جاروب کردن فرکانسی این‌بار نوسان‌ساز ساخته شده در باند ۹۶۰ تا ۱۴۶۰ با تغییر خودالفا آن به عدد ۱۳.۱ نانوهانری محدوده فرکانسی ۲۸۲ تا ۴۶۴ مگاهرتز تغییر پیدا کرد. به عبارت دیگر این نوسان‌ساز بیش از ۴۸٪ درصد توانایی تغییر فرکانس با دو خروجی که اختلاف فاز ۱۸۰ درجه می‌باشد، که توان هر کدام از آنها حدود ۱۱dBm است. این آزمایش با سه مدار چاپی متفاوت نیز پاسخ یکسان داده است که بیانگر خوش‌رفتار بودن مدار نوسان‌ساز می‌باشد. نمای نوسان‌ساز اشاره شده را در شکل ۱ و نمودار تغییر فرکانس برحسب ولتاژ را در شکل ۲، توان خروجی بر حسب فرکانس را در شکل ۳ مشاهده می‌کنید. در مدار چاپی شکل ۱ نکاتی همچون فاصله قطعات نسبت به هم و زمین کردن سطح روی مدار چاپی و ایجاد سوراخ‌های سطح رو برد با سطح زیر مدار چاپی (via) رعایت شده است، همچنین برای آن که این مدار چاپی در داخل محفظه فلزی قرار گیرد در پایین مدار چاپی دو سوراخ بزرگتر تعبیه شده است.



شکل ۱: نمای مدار چاپی نوسان‌ساز اتصال ضربدری



شکل ۲: تغییرات فرکانس بر حسب ولتاژ



شکل ۳: تغییرات توان خروجی بر حسب فرکانس

همچنین مقایسه بین دستگاه ساخته شده با مدل‌های که شرکت Mini circuit با دو خروجی

ساخته در جدول شماره ۱ انجام گرفته است را مشاهده می کنید.

جدول ۱: مقایسه بین نوسان ساز ساخته شده و ZOS-535+

	نوسان ساز ساخته شده		ZOS-535+		ZOS-400+		ZOS-765+	
قیمت	۹۰۰۰۰ تومان		\$۱۱۹.۹۵		\$۱۱۹.۹۵		\$۱۱۹.۹۵	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
محدوده فرکانسی	۲۸۲	۴۶۴	۳۰۰	۵۲۵	۲۰۰	۳۸۰	۴۸۵	۷۶۵
درصد تغییرات فرکانسی	%۴۸.۷		%۵۴.۵		%۶۲		%۴۰.۸	
توان خروجی	۶.۳	۱۱.۸	۸.۵	۱۱.۵	۱۰.۲۹	۱۱.۶۳	۹	۱۱.۴
محدوده ولتاژ کنترل	۶	۳۶	۱	۱۶	۱	۱۶	۱	۱۶
توان مصرفی (mw)	حداکثر جریان ۱۶.۸mA و منبع تغذیه ۶.۵ V		حداکثر جریان ۱۴۰mA و منبع تغذیه ۱۲ V		حداکثر جریان ۱۴۰mA و منبع تغذیه ۱۲ V		حداکثر جریان ۱۴۰mA و منبع تغذیه ۱۲ V	
توان مصرفی (mw)	≈ ۱۱۰		۱۶۸۰		۱۶۸۰		۱۶۸۰	
حساسیت تغییرات فرکانس در محدوده ولتاژ	۶.۲		۱۸		۱۵		۲۲	

همان طور در جدول ۱ مشاهده می کنید بزرگترین مزید نوسان ساز ساخته شده توان کم مصرف آن می باشد به عبارت دیگر این نوسان ساز ۷٪ مدل های مشابه توان مصرف می کند. و همچنین با توجه به اینکه بازه تغییرات ولتاژ آن ۳۰ ولت می باشد حساسیت تغییرات ولتاژ آن به مراتب کمتر از مدل های مشابه آن می باشد. متاسفانه به دلیل ناقص بودن تجهیزات آزمایشگاه نمی توان در مورد نویز فاز و کشش فرکانسی^۱ مقایسه دقیقی صورت داد.

¹ - Pulling

مراجع:

- [۱] O. Momeni, and E. Afshari " High Power Terahertz and Millimetre-Wave Oscillator Design: A Systematic Approach" *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 46, No. 3, March 2011
- [۲] D.pareek "The Business of WiMAX" John Wiley & Sons, April 2006
- [۳] ح. تختی، ل. اسمعیلی، س. پراپری، م. روزبهانی و با همکاری و حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران "فناوری WiMAX مبانی و کاربردها" آراد کتاب، ۱۳۸۸
- [۴] B. Razavi, "RF Microelectronics," 2rd Prentice Hall, New York, 2011
- [۵] Constantine A. Balanis, "ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN" 3rd JOHN WILEY & SONS, 2005
- [۶] Ke-Lin Du, M. N. S. Swamy "Wireless Communication Systems: From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies" Cambridge University Press, May 2010.
- [۷] J. Eberspacher, H. J. Vogel, C. Bettstetter, C. Hartmann, "GSM – Architecture, Protocols and Services," 3rd, John Wiley & Sons, 2009
- [۸] I. Hickman, "Practical Radio-Frequency Handbook," 3rd, Newnes, 2002
- [۹] Voltage Controlled Oscillator ZOS-1025+ Dual Output 685 to 1025 MHz Data Sheet
- [۱۰] Application note: Mini circuit, "most often asked questions about VCO's" August 1999
- [۱۱] K. K. Clarke, D. T. Hess, "Communication Circuits: Analysis and Design" Addison-Wesley, Jen 1971
- [۱۲] J. Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic, "Digital Integrated Circuits A Design Perspective," 2rd, Morgan Kaufmann Publishers, 1996
- [۱۳] - ک. فارغی. "اصول طراحی بردهای فرکانس بالا" انتشارات کامپیوتر پایتخت، بهار ۱۳۸۸
- [۱۴] R. Hartley, "RF / Microwave PC Board Design and Layout" Base Materials for High Speed, High Frequency PC Boards
- [۱۵] Lee W. Ritchey, Right the first time, "A Practical Handbook on high Speed PCB & system Design", Speeding Edge May 2003
- [۱۶] Mini circuit, "Footprints" Application Note February 2000
- [۱۷] Agilent Technologies, "Spectrum Analysis Basics" Application Note 150
- [۱۸] Agilent Technologies, "Agilent Network Analyzer Basics" Application Note
- [۱۹] H. A. Watson, "Microwave Semiconductor Devices and Their Circuit Applications" McGraw-Hill, April 1969

- [۲۰] V. Papageorgiou, A. Khalid, C. Li, and D. R. S. Cumming, "Cofabrication of Planar Gunn Diode and HEMT on InP Substrate" VOL. 61, NO. 8, AUGUST 2014
- [۲۱] L. Wang, E. Wasige, "Tunnel diode microwave oscillators employing a novel power combining circuit topology", 40th European Microwave Conference, September 2010
- [۲۲] T. P. Lee, R. D. Standley, T. Misawa, "A 50-GHz Silicon IMPATT Diode Oscillator and Amplifier," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRO DEVICES, VOL. ED-15, NO. 10, Oct 1968
- [۲۳] B. C. Deloach, D. L. Scharfetter, "Device Physics of TRAPATT Oscillators", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. ED-17, NO. 1, January 1970
- [۲۴] S.A. Mass, Nonlinear Microwave circuits Norwood: Artech House, 1988
- [۲۵] A. P. S .Khanna, "Review of dielectric resonator oscillator technology," 41st Annual frequency control Symposium, IEEE, PP-487, 1987
- [۲۶] M. Pouysugur, G. Graffeuil, J. Sautereau, and J.Fortera, "Comparative study of phase noise in HEMT and MESFET microwave oscillator," IEEE International microwave symposium digest Vol.2, pp-557-560, 1988.
- [۲۷] X. Zjang, D. Sturzebecher, and Z. Daryoush, "Comparison of the phase noise performance of HEMT and HBT based oscillators," IEEE international microwave symposium digest, vol.MTT-21, PP697-700, 1995.
- [۲۸] ع. عبدی پور، "نویز در مدارات و سیستم های مخابرات الکترونیکی (مدل سازی، تحلیل و اندازه گیری)"، انتشارات دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، فروردین ۱۳۸۴
- [۲۹] A.Hajimiri, and T. H. Lee, "A General Theory of Phase Noise in Electrical Oscillator," IEEE Journal Of Solid-State Circuit, Vol. 33, No. 2, PP-179-194, Feb 1998
- [۳۰] A.Hajimiri, and T. H. Lee, "Oscillator Phase Noise: A Tutorial," IEEE Journal Of Solid-State Circuit, Vol. 35, No. 3, PP-326-336, March 2000
- [۳۱] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design", 2nd, Prentice Hall.1977
- [۳۲] Data sheet, "SMV2025 Hyperabrupt Tuning Varactors" Skyworks Solutions, Inc. Product June 2013.
- [۳۳] Data sheet, "BB405B UHF variable capacitance diode" Product, May 1996.
- [۳۴] Bernd Kaa, DG4RBF, "A simple approach to YIG oscillators", application note, VHF COMMUNICATIONS, 2004
- [۳۵] H. Wang; Yu-L. Tang, "MULTIPLE-PUSH OSCILLATOR," Patent N0: US 6,310,522 B1, Oct.2001
- [۳۶] Iulian Rosu, YO3DAC / VA3IUL, "High Frequency VCO Design and Schematics", application note.
- [۳۷] I. C. Hwang, A. Cho, S. Lee, "Multi-band Wide Tuning Range CMOS VCO

- with Hybrid Inductor for LTE Standard,” IEEE, PP-741-744, May 2013
- [۳۸] G. Szczepkowsk, Oct 2010, PhD. thesis, “Analysis and Design of Wideband Voltage Controlled Oscillators using Self-Oscillating Active Inductors,” Electronic Engineering. Depart. Maynooth, National University of Ireland.
- [۳۹] Application note: NXP Semiconductors “Demonstration of a 1GHz discrete VCO based on the BFR92A,” AN11225, June 2012.
- [۴۰] Data sheet, “BB809 VHF variable capacitance diode” Product, ,May 1996.
- [۴۱] ITU-R, 335.4-399.9 MHz
- [۴۲] سازمان تنظیم مقررات رادیویی جمهوری اسلامی ایران ۵-۲۵۸ و ۵-۲۵۹ (WRC-12).
- [۴۳]- Data sheet: Coilcraft, “ChipInductors –0805HQ (2012),” Document 197-1, Revised Des, 2015.
- [۴۴]- Data sheet: TDK, “Inductors for Standard Circuits Multilayer Ferrite MLF series” Sep 2014,

Abstract

Oscillators are one of the widely used circuit blocks in electronic and telecommunication systems. In this study we proposed a way to design, simulate, implement and measurement of a voltage control oscillator (VCO) in 900-1400 MHz.

In this project, two topologies, Cross Coupled and Positive Feedback are designed and experimented. At first, these topologies are experimented in 50-65 MHz on a bread - bored, then these are designed in PCB with SMD components for high frequency. Also we used train circuit to analyze the qualification of capacitors and inductors. We simulated these circuits in ADS and designed PCBs in Altium software. For test and measurement of signals in proposed oscillator we used Oscope, Spectrum Analyzer, Function Generator and Network Analyzer.

This VCO has Dc 6.5 volt power supply and 117 mw consumption. We sweep the frequency from 960 MHz up to 1460 MHz by changing the varactor voltage from 6.5 to 30volt. Amplitude of first harmonic in above frequency range had a change from 0 up to -7dbm.

Key words: Implement oscillator, Wide-band, High-frequency, Shield-effect, Qualification of capacitor and inductor



Shahrood University of Technology
Department Electronic Engineering

**Design and Implementation of a VCO for the
frequency range of 1000 -1400 MHz**

Vahid Yosefi

Supervisor:

Dr. Sasan Naseh

Feb 2016