مجله علمی پژوهشی «رادار»
سال ششم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷؛ ص ۱۶- ۹

نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ از نوع پوش– پوش در فرکانس ۱۲۰۰–۱۴۰۰ مگاهرتز

حمید غریب[۱]، سید آرش احمدی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، ۲- استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۶/۱۰/۱۹؛ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۱)

چکیده

با افزایش فرکانس، ضریب کیفیت نوسان‌سازها کاهش پیدا کرده و باید به دنبال روش‌های جدید برای کاهش نویز فاز نوسان‌سازها بود. نوسان‌سازهای پوش- پوش قابلیت بهبود نویز فاز را دارند. در این مقاله یک نوسان‌ساز پوش- پوش کنترل‌شونده با ولتاژ در محدوده فرکانسی ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz به کمک نرم‌افزار ADS طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. نوسان ساز پوش-پوش از دو نوسان ساز مشابه کولپیتس که در محدوده فرکانسی ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz نوسان کرده و از طریق یک مدار تزویج فاز به‌هم متصل هستند، تشکیل شده است. یک مدار ترکیب‌کننده، خروجی زیر نوسان‌سازها را با هم ترکیب کرده، در نتیجه مولفه اصلی و هارمونیک‌های فرد حذف و هارمونیک دوم و سایر مولفه‌های زوج در خروجی ظاهر می‌شود. که با این روش نویز فاز ۹dB نسبت به حالتی که زیر نوسان‌سازها به تنهایی در محدوده ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz نوسان کنند، بهبود می‌یابد.

واژگان کلیدی

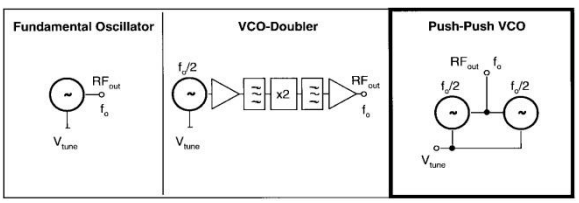
نوسان‌ساز پوش- پوش، نویز فاز، نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ

۱- مقدمه

نوسان‌سازهای کنترل‌شونده با ولتاژ جزء مهمی در مدارات حلقه‌های قفل فاز هستند که برای سنتز فرکانس به‌کار می‌روند. به‌طور کلی به سه روش می‌توان موج فرکانس رادیویی را تولید کرد. اولی بهره‌گیری از نوسان‌سازهایی است که به‌طور مستقیم در فرکانس‌های بالا نوسان می‌کنند، دومی بهره‌گیری از نوسان‌سازهایی است که در فرکانس پایین نوسان کرده و با بلوک‌های عملیاتی ضرب‌کننده و فیلترینگ به فرکانس بالا تبدیل می‌شوند و سومی بهره‌گیری از نوسان‌سازهایی است که از چند زیرنوسان تشکیل شده‌اند که در فرکانس پایین نوسان کرده، باهم ترکیب شده و هارمونیک N- ام آنها استفاده می‌شود. این سه نوع نوسان‌ساز در شکل (۱) قابل مشاهده است.در فرکانس‌های مایکروویو ضریب کیفیت تشدیدگر کاهش می‌یابد و نوسان‌سازهایی که مستقیما در فرکانس‌های مایکروویو نوسان می‌کنند، نویز فاز بدتری نسبت به نوسان‌سازهای زیر هارمونیکی دارند. استخراج هارمونیک Nام نوسان از یک نوسان‌ساز فرکانس پایین برای بهبود نویز فاز در فرکانس‌های مایکروویو، روشی متداول است [۲-۱]. نوسان‌سازهای پوش- پوش از جمله نوسان‌سازهایی هستند که زیرنوسان سازهای آن در نصف فرکانس خروجی، نوسان می‌کنند. نحوه عملکرد نوسان‌ساز پوش- پوش در شکل (۲) ترسیم شده است. از لحاظ تئوری ثابت می‌شود در این حالت نویز فاز نسبت به حالتی که زیر نوسان‌سازها مستقیما برای فرکانس مورد نظر طراحی شوند، ۹ dB کمتر خواهد شد [۳]. همچنین مزیت این نوسان‌سازها نسبت به نوسان‌سازهای دارای بلوک دوبرابر کننده، پیچیدگی و بلوک عملیاتی کمتر و در نتیجه اندازه کوچکتر و انرژی مصرفی کمتر می‌باشد [۴].

۲- نوسان‌ساز پوش- پوش

هرگاه N نوسان‌ساز با اختلاف فاز $\frac{360}{N}$ را با هم ترکیب کنیم، مولفه اصلی حذف، مولفه‌های هارمونیک Nام بهبود یافته و فرکانس خروجی N برابر می‌گردد. به این نوسان‌ساز، نوسان‌ساز N پوش یا هارمونیک Nام گفته می‌شود.

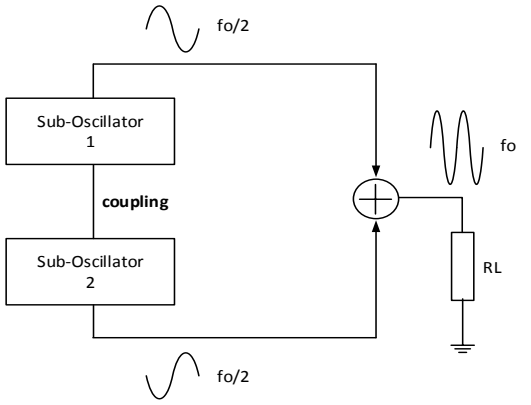


شکل (۱): سه نوسان‌ساز مختلف جهت تولید امواج رادیویی [۴]

نوسان‌ساز پوش- پوش حالت خاصی از نوسان‌ساز N پوش با N=۲ می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود در نوسان‌ساز پوش- پوش دو نوسان‌ساز مشابه وجود دارد که با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به هم، نوسان می‌کنند. به عبارت

* نویسنده مسئول: aahmadi@eetd.kntu.ac.ir

دیگر دو نوسان‌ساز به طور هم فاز نوسان نمی‌کنند. در صورتی‌که این دو نوسان‌ساز به طور هم فاز با هم ترکیب شوند، مولفه اصلی و هارمونیک‌های فرد حذف خواهد شد. با توجه به این‌که در طیف این دو نوسان‌ساز، هارمونیک دوم وجود دارد و هارمونیک دوم در هر یک از نوسان‌سازها هم فاز هستند، این مولفه‌ها در خروجی جمع‌کننده ظاهر می‌شوند. این امر موجب می‌شود تا فرکانس خروجی مدار، دو برابر فرکانس نوسان هر یک از نوسان‌سازهای موجود در مدار باشد.



شکل (۲): نمایش عملکرد نوسان‌ساز پوش- پوش

سیگنال‌های خروجی به‌صورت زیر می‌باشند [۵]:

$$S_1(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n . \sin(n\omega_0 t + \emptyset_n) \quad (۱)$$

$$S_2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n . \sin(n\omega_0 t + \emptyset_n + \Delta\emptyset_n) \quad (۲)$$

به‌علت عملکرد فرد زیرنوسان‌سازها، اختلاف فاز دو سیگنال خروجی از $\Delta\emptyset_n = n\pi$ به‌دست می‌آید.

$$\Delta\emptyset_n = n\pi \quad (۳)$$

در نهایت دو سیگنال با هم جمع شده و سیگنال خروجی پوش- پوش را به‌وجود می‌آورند:

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t)$$
$$= \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} 2. a_n . \sin(\omega_0 t + \emptyset_n) \quad (۴)$$

بدین ترتیب مولفه‌ی اصلی و هارمونیک‌های فرد حذف شده و مولفه‌های زوج که هم فازهستند، باهم جمع می‌شوند. بهترین عملکرد زمانی به‌دست می‌آید که دو نوسان‌ساز از لحاظ ساختار و رفتار فرکانسی مشابه باشند.

۲-۱- بهبود نویز فاز در یک نوسان‌ساز پوش- پوش

کاهش نویز فاز مهم‌ترین مزیت نوسان‌سازهای پوش- پوش است که به دو دلیل صورت می‌گیرد؛ ۱- بهره‌گیری از یک تشدیدگر با ضریب کیفیت بیشتر به دلیل نوسان در نصف فرکانس خروجی، ۲- وقتی دو نوسان‌ساز در مود فرد نوسان کنند و خروجی آنها به طور هم‌فاز جمع شود، به دلیل ناهمبسته بودن منابع نویز، نویز فاز به اندازه ۳ dB کاهش می‌یابد. اگر این عدد را با ۶ dB بهبود نویز در نوسان‌ساز پوش- پوش نسبت به حالتی که هر یک از زیر مجموعه ها به‌طور جداگانه در دو برابر فرکانس نوسان اولیه، نوسان کنند، جمع کنیم، میزان بهبود نویز فاز ۹ dB می‌شود.

۳- مدار نوسان‌ساز پوش- پوش

شماتیک نوسان‌ساز پوش- پوش در شکل (۳) ترسیم شده است [۶]. در مدار دو زیر نوسان‌ساز مشابه در محدوده فرکانسی ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz وجود دارد که خروجی آنها به یک ترکیب‌کننده توان هم‌فاز متصل است.

در این مدار، ترانزیستورهای دو نوسان‌ساز از طریق بیس به‌هم متصل بوده، لذا جریان کلکتور آنها نسبت به هم دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز شده که از الزامات اصلی ساختار پوش- پوش است.

مدار نوسان‌ساز پوش- پوش از چند بخش اصلی تشکیل شده:

۱- تشدیدگر، ۲- زیرنوسان‌ساز (دو نوسان‌ساز در فرکانس نصف فرکانس خروجی)[1]، ۳- شیفت دهنده فاز، ۴- ترکیب‌کننده توان.

در ادامه مقاله روند طراحی هر قسمت توسط نرم‌افزار ADS تشریح می‌شود.

۳-۱- تشدیدگر مایکرواستریپ کوپل شده قابل تنظیم با دیود ورکتور

تشدیدگر نقش تعیین فرکانس را در نوسان‌ساز بر عهده داشته و در قابل تنظیم بودن فرکانس نوسان‌ساز و نویزفاز آن تاثیر مستقیم دارد. تشدیدگر می‌تواند بسته به پیکربندی نوسان‌ساز به‌صورت مدار LRC موازی یا سری طراحی شود.

ضریب کیفیت تشدیدگر برابر است با 2π برابر انرژی ذخیره‌شده در مدار بر روی انرژی از دست رفته در هر چرخه نوسان؛

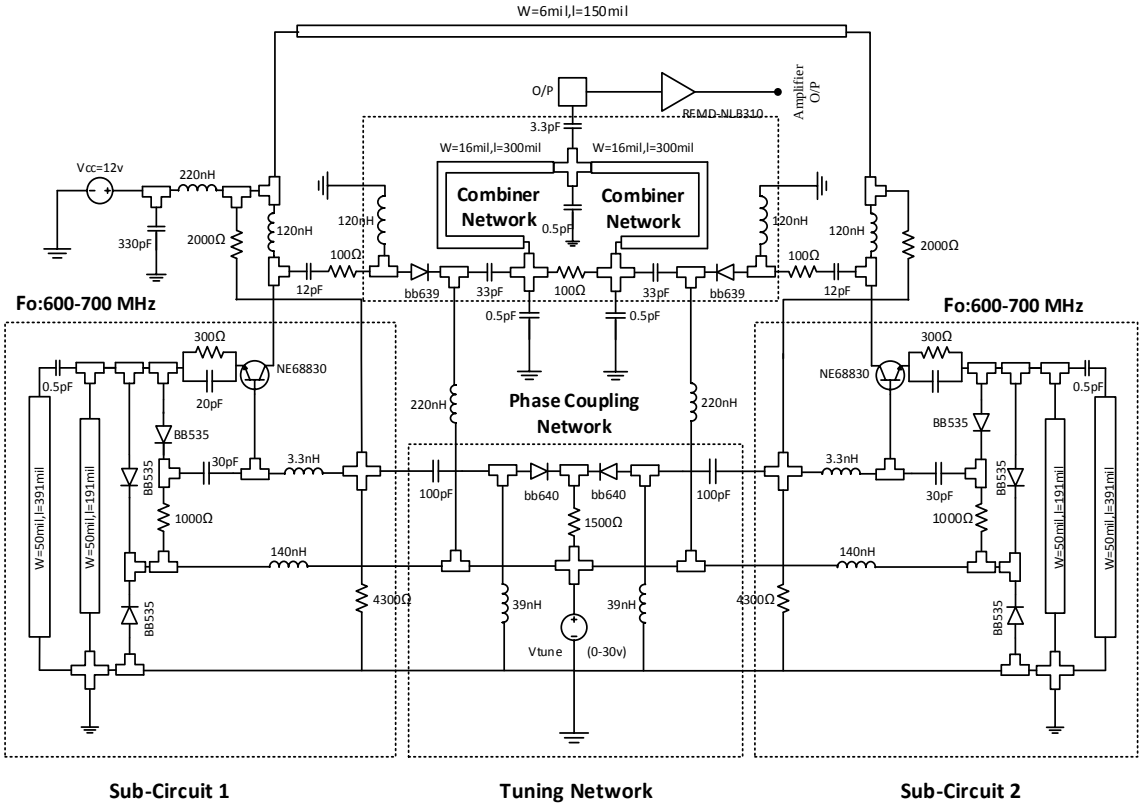
$$Q_R = \left[\frac{2\pi(\frac{1}{2}CV_c^2)}{(\frac{2\pi}{\omega_0})(\frac{V_c^2}{2R_P})}\right] = \omega_0 C R_P \quad (۵)$$

که در آن، V_c ولتاژ دو سر خازن و R_P مقاومت تلف شده موازی می‌باشد. به‌طور مشابه ضریب کیفیت بر حسب سلف و مقاومت موازی به صورت زیرمی‌باشد:

$$Q_R = \frac{R_P}{\omega_0 L} \quad (۶)$$

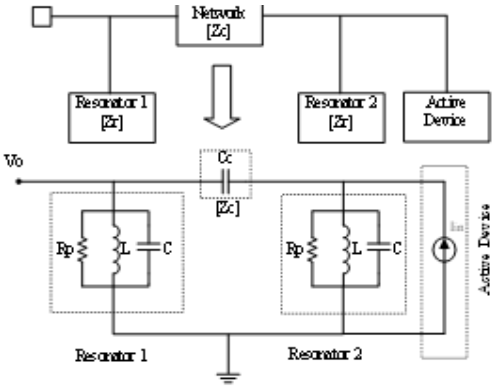
که در آن، $V_L = |jI\omega_0 L|$ می باشد.

1-Suboscillator



شکل (۳): مدار شماتیک نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ پوش- پوش [۵]

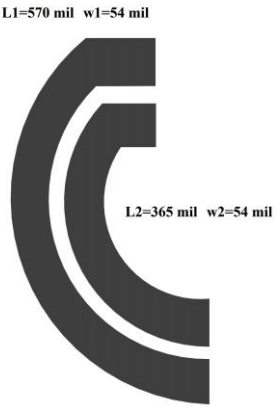
ضریب کیفیت تشدیدگر با عامل دیگری به نام ضریب کوپلینگ نیز افزایش می‌یابد. این عامل که با کوپل کردن دو تشدیدگر مجزا به وجود می‌آید، نسبت خازن کوپلینگ سری به خازن اصلی تشدیدگر می‌باشد. شکل (۴) دو تشدیدگر کوپل شده سری را نشان می‌دهد که در آن، Z_r و Z_c به ترتیب امپدانس تشدیدگر و امپدانس شبکه کوپلینگ می‌باشند.



شکل (۴): تشدیدگر کوپل‌شده سری [۷]

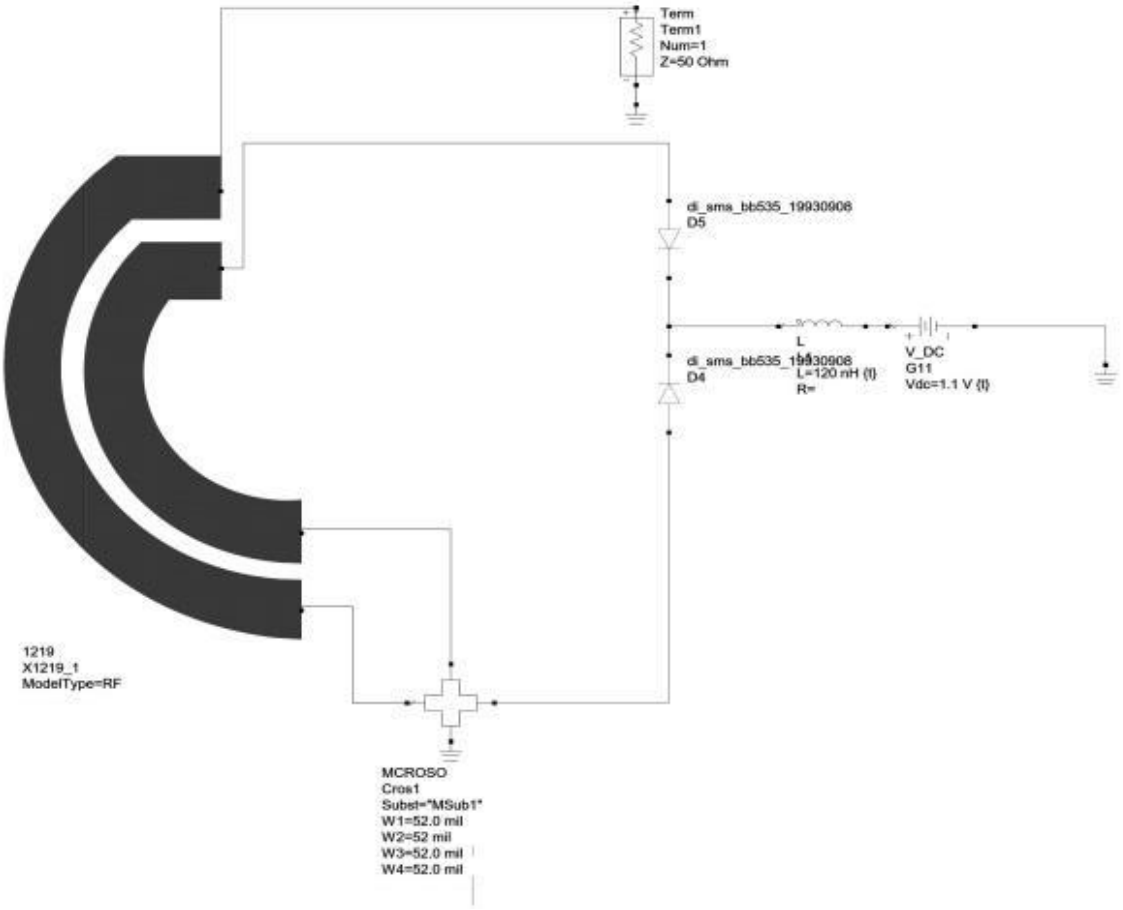
در نوسان‌ساز پوش- پوش ساخته‌شده، به‌جای سلف فشرده در بخش تشدیدگرها از خطوط کوپل‌شده مغناطیسی استفاده شده است که خاصیت سلفی دارد. این خطوط با خازن ورکتوری که به آنها متصل است تشدید کرده و فرکانس نوسان را تعیین می‌کنند. خطوط تزویج شده به‌دلیل این‌که از کنار به هم تزویج می‌شوند و بخش عمده‌ای از میدان الکتریکی و مغناطیسی بین آنها از هوا عبور می‌کند، تلفات کمتری نسبت به خطوط میکرواستریپ معمولی دارند. لذا برای افزایش ضریب کیفیت به‌جای استفاده از خطوط میکرواستریپ با امپدانس زیاد که خاصیت سلفی دارند، از خطوط میکرواستریپ تزویج شده استفاده می‌شود.

برای کوچک‌تر کردن ابعاد مدار نوسان‌ساز، تشدیدگرها به‌صورت نیم دایره‌ای طراحی شده اند. یک طرف خط کوپل‌شده توسط حفره ویا به منظور برگشت ولتاژ DC در شبکه دیودی به زمین متصل شده است. تشدیدگر مورد نظر با ترکیب شبکه دیودی تنظیم‌پذیر که بین دهانه ورودی و زمین متصل است، برای فرکانس دلخواه تنظیم می‌شود. نحوه تنظیم فرکانس در ادامه توضیح داده خواهد شد. شکل (۵) تشدیدگر شبیه‌سازی شده به همراه ابعاد آن را نشان می‌دهد.



شکل (۵): تشدیدگر مایکرواستریپ کوپل شده

شکل (۶) مدار شماتیک تشدیدگر قابل تنظیم به همراه شبکه دیودی را نشان می‌دهد. مدار تشدیدگر بروی زیرلایه راجرز با ضخامت ۳۲ میل و ثابت دی‌الکتریک ۳/۳۸ و تانژانت تلفات ۰/۰۰۲۷ چاپ شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی تشدیدگر در شکل (۷) قابل مشاهده است. در فرکانس‌های مایکروویو می‌توان از تشدیدگرهای مجتمع شده در زیر لایه هم استفاده کرد [۸].



شکل (۶): مدار شماتیک تشدیدگر قابل تنظیم به همراه شبکه دیودی

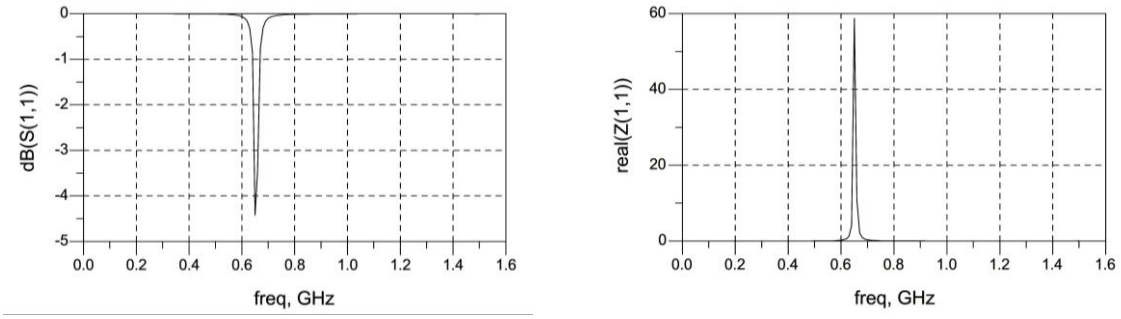
۳-۲- طراحی زیرنوسان‌ساز

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده شد، هر یک از زیرنوسان‌ها در نصف فرکانس اصلی خروجی یعنی در محدوده ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz باهم ترکیب شده و فرکانس خروجی پوش- پوش ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz را به‌وجود می‌آورند.

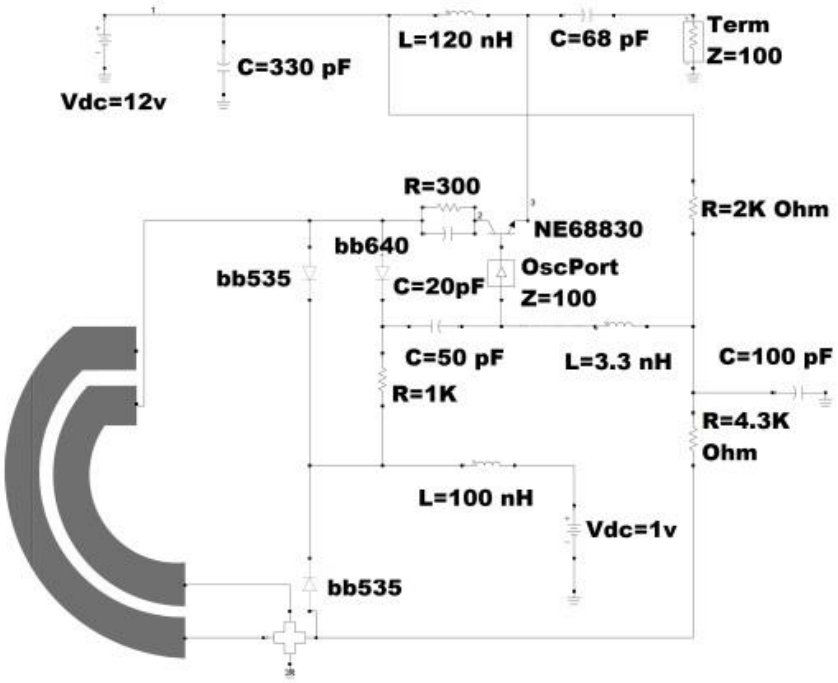
همان‌طور که قبلا گفته شد ترانزیستور در مدار نقش مقاومت منفی را ایفا می‌کند. در انتخاب ترانزیستور باید به فرکانس مورد دلخواه، توان خروجی مورد نیاز، نویز فلیکر یا نویز 1/f کمتر و شرایط بایاس کردن توجه نمود. کم بودن نویز 1/f در ترانزیستور یک پارامتر مهم می‌باشد زیرا به‌صورت نویز باند جانبی به اطراف فرکانس نوسان منتقل می‌شود. ترانزیستورهای دو قطبی در مقایسه با ترانزیستورهای اثر میدان نویز فلیکر به مراتب کمتری دارند. ترانزیستورهای دو قطبی بزرگ با I_{Cmax} بالا که در جریان‌های پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند، بهترین عملکرد 1/f را دارند.

در این مقاله از ترانزیستور دو قطبی به شماره NE68830 ازشرکت NEC استفاده شده است و دارای نویز فلیکر کم، جریان کلکتور بالا و ولتاژ کار پایین است و عمدتا برای ساخت نوسان‌سازهای کم نویز از آن استفاده می‌شود.

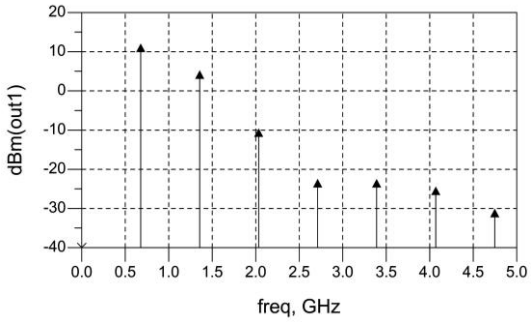
تشدیدگر به امیتر ترانزیستور متصل شده تا ضریب کیفیت واحدی را بر روی محدوده فرکانسی مورد نظر فراهم کند. بر نوسان ساز نیز همانند تشدیدگر بر روی زیرلایه‌ی راجرز با ضخامت ۳۲ میل و ثابت دی‌الکتریک ۳/۳۸ و تانژانت تلفات ۰۰۲۷/ چاپ شده است. شکل (۸) شماتیک مدار زیرنوسان‌ساز و شکل (۹) منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس را در محدوده ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz نشان می‌دهد.



شکل (۷): منحنی اندازه S11 بر حسب دسی بل و مقدار حقیقی امپدانس ورودی تشدیدگر



شکل (۸): مدار زیر نوسان ساز به‌کارگرفته شده در ساخت نوسان‌ساز پوش- پوش در محیط ADS



شکل (۹): طیف توان خروجی مدار زیر نوسان ساز وقتی که در فرکانس ۶۰۰MHz نوسان می کند

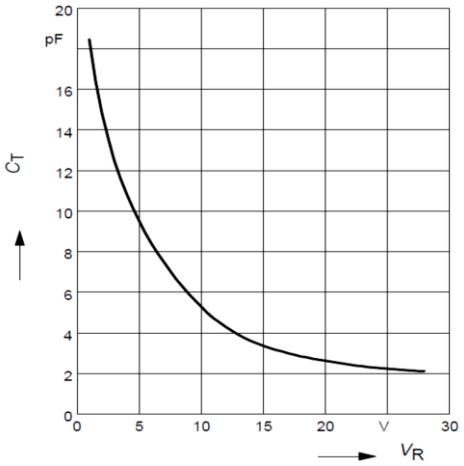
۳-۳- تنظیم فرکانس

برای تنظیم فرکانس با تغییر ولتاژ، از دیود ورکتور یا همان دیود متغیر استفاده می‌کنیم. دیود ورکتور در مدار به صورت معکوس بایاس شده و با تغییر ولتاژ، مقدار ظرفیت خازنی آن تغییر می‌کند در این طراحی از دیود ورکتور به شماره BB535 از شرکت Infineon استفاده شده است. شکل (۱۰) نمودار تغییرات ظرفیت خازنی این دیود نسبت به ولتاژ ورودی را نشان می‌دهد. این دیود عموما برای تنظیم فرکانس تشدیدگرها و تیونرها در باند UHF مورد استفاده قرار می‌گیرد.

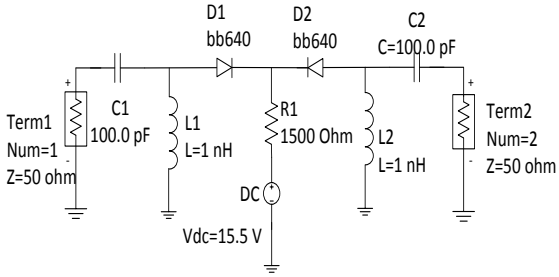
مطابق شکل (۸)، دیودهای ورکتور در مدار به‌صورت پشت به پشت متصل شده‌اند. این کار تاثیر ولتاژ RF که روی دیودها قرار دارد را بر تغییر ظرفیت خازنی دیود، خنثی می‌کند.

۴-۳- شیفت‌دهنده فاز

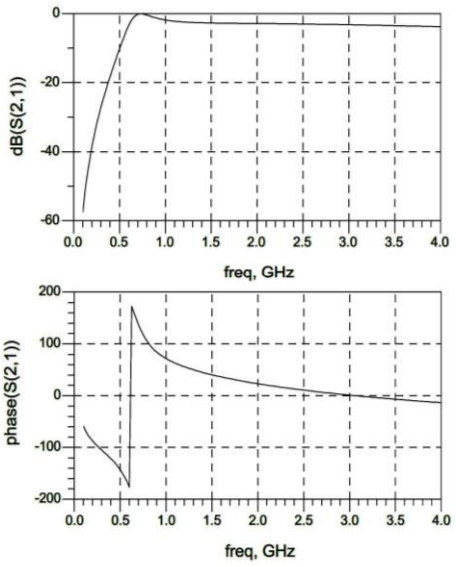
همان‌طور که قبلا گفته شد سیگنال‌های خروجی هر یک از زیرنوسان‌سازها در نوسان‌ساز پوش- پوش، ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند، اما گاهی ممکن است به‌علت ایده‌آل نبودن پاسخ قطعات RF و عوامل درونی دیگر این مقدار اختلاف دچار تغییر شود، به همین منظور برای جبران مقدار فاز جابه‌جا شده یک شیفت‌دهنده فاز بین دو زیرنوسان‌ساز قرار می‌گیرد. شکل (۱۱) مدار شماتیک تزویج فاز و شکل (۱۲) منحنی فاز آن را بر حسب فرکانس نشان می‌دهند.



شکل (۱۰): منحنی تغییرات ظرفیت خازنی دیود ورکتور مورد استفاده برحسب ولتاژ ورودی



شکل (۱۱): شماتیک مدار تزویج فاز



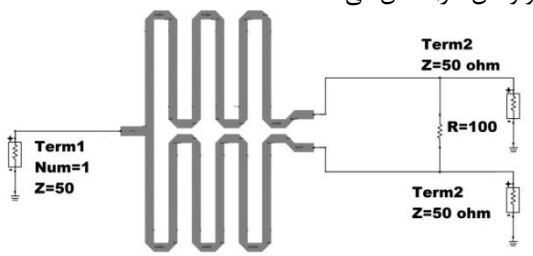
شکل (۱۲): منحنی فاز و افت عبوری مدار تزویج برحسب فرکانس

با توجه به شکل‌ها، عامل شیفت فاز تغییر ظرفیت خازنی دیود ورکتور است، و با تغییر ولتاژ تنظیم، مقدار خازن دیود ورکتور جا به جا شده و در نتیجه مقدار فاز موردنظر بدست می‌آید.

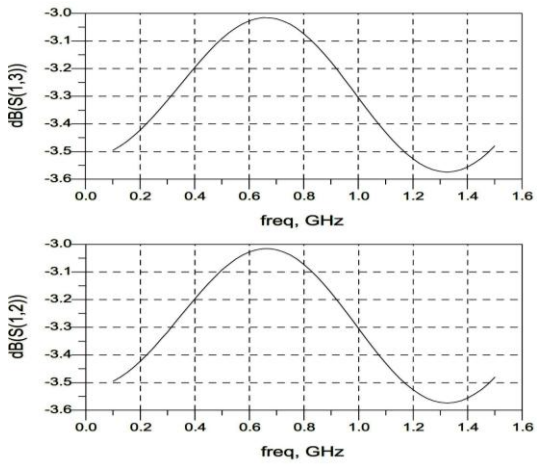
۳-۵- مدار ترکیب کننده توان

سیگنال‌های خروجی هر یک از نوسان‌سازها توسط ترکیب‌کننده توان باهم ترکیب شده و از آنجایی که دو سیگنال باهم اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دارند، فرکانس‌های دو سیگنال باهم جمع می‌شوند.

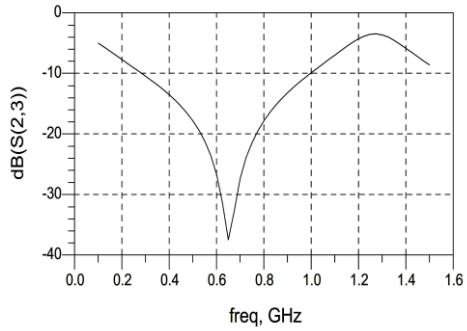
شکل (۱۳) شماتیک مدار ترکیب کننده توان شبیه‌سازی شده، شکل (۱۴) منحنی اتلاف توان بین دهانه‌های ورودی و خروجی و شکل (۱۵) ایزولاسیون بین دهانه‌های خروجی ترکیب‌کننده توان را در فرکانس MHz ۶۵۰ (فرکانس مرکزی زیرنوسان‌ساز) نشان می‌دهند.



شکل (۱۳): مدار ترکیب کننده توان در محیط ADS

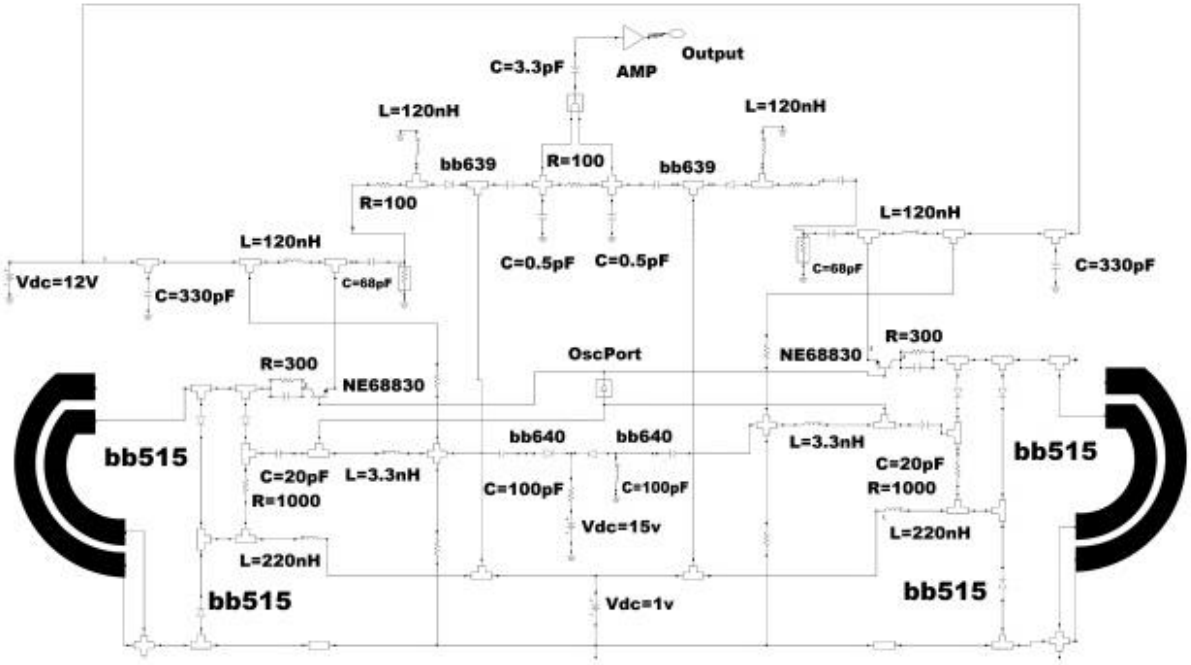


شکل (۱۴): منحنی اتلاف توان بین دهانه‌های ورودی و خروجی بر حسب فرکانس

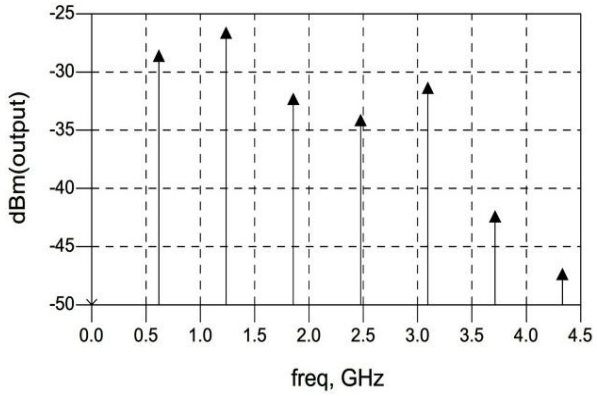


شکل (۱۵): منحنی ایزولاسیون بین دهانه‌های ورودی بر حسب فرکانس

شکل (۱۶) مدار شماتیک نوسان‌سازپوش- پوش شبیه‌سازی شده در محیط ADS و شکل (۱۷) منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود هارمونیک دوم سیگنال پایه تقویت شده است.



شکل (۱۶): مدار نوسان‌ساز پوش- پوش در محیط ADS



شکل (۱۷): منحنی توان خروجی نوسان‌ساز پوش- پوش بر حسب فرکانس

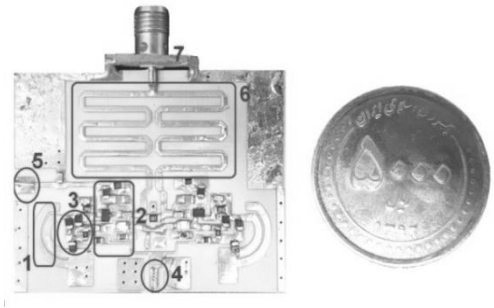
۴- ساخت و نتایج اندازه‌گیری

۴-۱- مشخصات زیرلایه

شکل (۱۸) برد نهایی نوسان‌ساز به همراه قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. ابعاد برد $۳۶\times۴۵\ mm^2$ است.

با توجه به شماره‌های مشخص شده در شکل (۱۸)، قسمت‌های مختلف نوسان‌ساز به‌شرح ذیر می‌باشد:

۱- تشدیدگر میکرواستریپ، ۲- یکی از زیر نوسان سازهای کولپیتس، ۳- دیودهای ورکتور، ۴- ورودی ولتاژ کنترل برای تنظیم فرکانس، ۵- ورودی تغذیه اصلی، ۶- ترکیب‌کننده توان، ۷- کانکتور خروجی ۵۰Ω (SMA)



شکل (۱۸): برد نهایی نوسان‌ساز و قسمت‌های مختلف آن

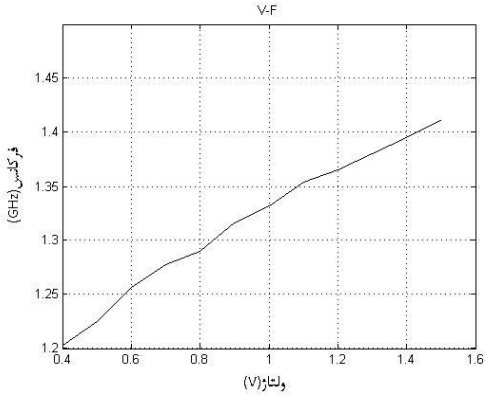
۴-۲- تست و اندازه‌گیری

در ابتدا هریک از زیرنوسان‌سازها به تنهایی تست می‌شوند. فرکانس نوسان هریک از زیرنوسان‌سازها می‌بایست بین ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz باشد و تغییرات فرکانس نسبت به ولتاژ تنظیم می بایست مشابه هم باشد. در ادامه زیر نوسان سازها از طریق مدار تزویج فاز به‌هم متصل شده، نوسان‌ساز پوش- پوش تست می‌شود. خروجی نوسان‌ساز به دستگاه تحلیل‌گر متصل و طیف خروجی مشاهده می‌شود. در نوسان‌ساز ساخته‌شده با تغییر ولتاژ در محدوده ۰/۷ V تا ۱/۸ V، بازه فرکانسی موردنظر به‌دست می‌آید. شکل (۱۹) طیف توان خروجی نوسان‌ساز پوش- پوش را در دستگاه تحلیلگر طیف نشان می‌دهد. مولفه زیرهارمونیکی در طیف خروجی نوسان‌ساز پوش- پوش حداقل ۳۰ dB پایین‌تر از مولفه نوسان اصلی است. شکل‌های (۲۱-۲۰)، به ترتیب منحنی فرکانس خروجی برحسب ولتاژ تنظیم و منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس خروجی را نشان می‌دهند.

لازم به ذکر است که نرم‌افزارهای تجاری مانند ADS اثر

مدوله شدن چگالی طیف توان منابع نـویز فلیکـر توسـط جریـان کلکتور را در نوسان‌سازها در نظر نمی‌گیرند و عموما شبیه‌سـازی نسبت به نتایج اندازه‌گیری، بعضا تا dB ۱۰ بهتر ظاهر می‌شود. از این جهت نتایج شبیه‌سازی نـویز فـاز در چنـین مـواردی معتبـر نیست [۸].

برای تامین ولتاژ ورودی نوسان‌ساز از باطری استفاده کـردیم زیرا باطری نویز کمتری نسبت به سایر منابع تغذیه به نوسان‌سـاز وارد می‌کند. جدول (۱) نویز فاز شبیه‌سـازی‌شـده نوسـان‌سـاز را حول فرکانس مرکزی نشان می‌دهد.



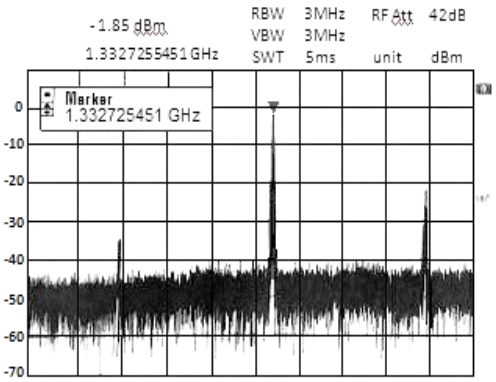
شکل(۲۰): منحنی فرکانس خروجی برحسب ولتاژ کنترل

جدول (۱): نتایج شبیه‌سازی نویزفاز

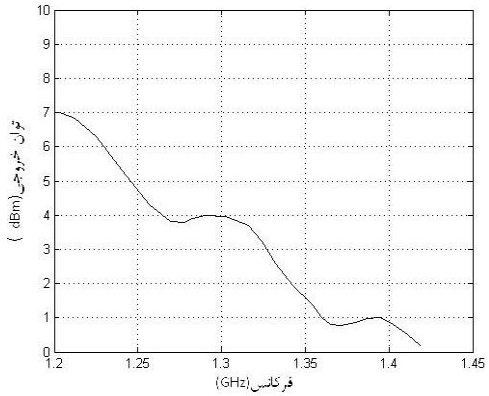
نویز فاز در (dBc/Hz)	آفست (Hz)
-۵۵	۱۰۰
-۸۲	۱ K
-۱۰۵	۱۰ K
-۱۲۲	۱۰۰ K
-۱۳۶	۱ M

۵- نتیجه‌گیری

یک نوسان‌ساز پوش- پوش کنتـرل‌شـونده بـا ولتـاژ در محـدوده فرکانسی MHz ۱۲۰۰ تا MHz ۱۴۰۰ طراحی و ساخته شد. مدار تزویج فاز در محدوده فرکانسی مورد نظر بـه‌خـوبی عمـل کـرده، موجب شده دو زیرنوسان‌ساز در مود فـرد نسـبت بـه‌هـم نوسـان کنند. شبیه‌سازی تشدیدگر و مدار تزویج فـاز توسـط تحلیـل‌گـر مداری ADS و مدار نوسان‌ساز پـوش- پـوش توسـط تحلیـل‌گـر غیرخطی ADS و روش توازن هارمونیکی شبیه‌سازی شده اسـت. مدار نوسان‌ساز پوش- پـوش در بـازه فرکانسـی MHz ۱۲۰۰ تـا MHz ۱۴۰۰ به‌طور پیوسته در مود پوش- پوش نوسان کرده و از قفل خارج نمی‌شود. تغییرات فرکانس با تغییر ولتاژ کنترل تقریبا خطی است. میزان حذف مولفه اصلی و مولفه‌های فرد هر یـک از زیرنوسان‌سازها در خروجـی حـداقل dB ۳۰ در کـل بانـد اسـت. هرچند توان خروجی با افزایش فرکانس اندکی کـاهش مـی‌یابـد، می‌توان با اضافه کردن یک مدار جبران‌ساز دامنه، تغییـرات تـوان را نسبت به فرکانس کاهش داد.



شکل (۱۹): طیف توان خروجی نوسان‌ساز پوش- پوش



شکل (۲۱): منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس

۶- مراجع

[1] S. C. Yen and T. H. Chu, "An Nth-harmonic oscillator using an N-push coupled oscillator array with voltage clamping circuits," IEEE Int. Microwave Symp., pp. 2169-2172, 2003.

[2] Y. Tang and H. Wang, "Triple-push oscillator approach: theory and experiments," IEEE J. Solid-State Circuits., vol. 36, no. 10, 2001.

[3] U. L. Rohde, A. K. Poddar, and G. Böck, "The Design of Modern Microwave Oscillators for Wireless Applications: Theory and Optimization," John Wiley & Sons, 2005.

[4] K. Kobayashi, A. Oki, L. Tran, et al., "A 108-GHz InP HBT monolithic push-push VCO with low phase noise and wide tunning bandwidth," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 34, issue: 9, pp. 1225-1232, 1999.

[5] R. Wanner, "Low Phase Noise SiGe Push-Push Oscillators for Millimeter Wave Frequencies," Ph. D. Thesis, Technical University of Munich, 2007.

[6] A. Poddar, "A Novel Approach for Designing Integrated Ultra Low Noise Microwave Wideband Voltage-Controlled Oscillators," Ph. D. Thesis, Technical University of Berlin, 2004.

[7] F. X. Sinnesbichler, H. Geltingerand, and G. R. Olbrich, "A 38-GHZ push-push oscillator based on 25-GHz f_T BJT's," IEEE Microwav. Guided Wave Lett., vol. 9, no. 4, pp. 151-153, 1999.

[8] A. Nooraei Yeganeh and S. A. Ahmadi, "Voltage Controlled Oscillator Based on substrate integrated waveguide resonator," Journal of Radar, Imam Hossein Comprehensive University, vol. 5, no. 2, pp. 67-78, 2017 (In Persian).

[9] A. Ahmadi, A. Banai, and F. Farzaneh, "Phase noise degradation of varactor and BJT frequency multipliers in the presence of parametric instability," IET Microw. Antennas Propag., vol. 4, no. 3, pp. 408-419, 2010.

Journal of "Radar"
Vol. 6, No. 1, 2018 (Serial No. 19)

Voltage Controlled Push-Push Oscillator in the Frequency Range of 1200-1400 MHz

H. Gharib, S. A. Ahmadi*

K.N. Toosi University of Technology

(Received: 09/01/2018, Accepted: 12/09/2018)

Abstract

In microwave oscillators, the quality factor of the resonators decreases with an increasing frequency. There exist some methods for compensating the losses in the resonators. The push-push configuration is able to improve the oscillator phase noise. In this work, a push-push voltage-controlled oscillator utilizing a parallel coupled resonator has been designed for the frequency range of 1200-1400 MHz. The push-push oscillator consists of two similar Collpits oscillators, which are designed for the frequency range of 600-700 MHz. These sub-oscillators are coupled by a phase coupling network and with 180 degrees phase difference. The in-phase combiner combines the even harmonics of each sub-oscillator and cancels the fundamental and odd harmonics. The overall oscillation of the push-push oscillator consists of the second and even harmonics of the sub oscillators. By this technique, the phase noise is improved 9 dB compared to the case of the stand-alone oscillation of each sub circuit at the output frequency.

Keywords: Push-Push Oscillator, Phase Noise, Voltage Controlled Oscillator

* Corresponding author E-mail: aahmadi@eetd.kntu.ac.ir