

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 نوسان سازها کاهش پیدا کرده و باید به دنبال روش‌های جدید برای کاهش نویز فاز نوسان سازها بود. نوسان سازهای پوش- پوش قابلیت بهبود نویز فاز را دارند. در این مقاله یک نوسان ساز پوش- پوش کنترل شونده با ولتاژ در محدوده فرکانسی ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz به کمک نرم افزار ADS طراحی، شبیه سازی 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 به هم متصل هستند، تشکیل شده است. یک مدار ترکیب کننده، خروجی زیر نوسان سازها 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 نوسان سازها به تنهایی در محدوده ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz نوسان کنند، بهبود می‌یابد.

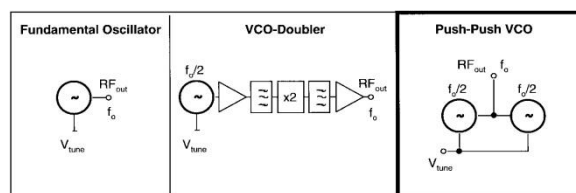
واژگان کلیدی

نوسان ساز پوش- پوش، نویز فاز، نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ

پوش- پوش در شکل (۲) ترسیم شده است. از لحاظ تئوری ثابت می‌شود در این حالت نویز فاز نسبت به حالتی که زیر نوسان سازها مستقیماً برای فرکانس مورد نظر طراحی شوند، ۹ dB کمتر خواهد شد [۳]. همچنین مزیت این نوسان سازها نسبت به نوسان سازهای دارای بلوک دوبرابر کننده، پیچیدگی و بلوک عملیاتی کمتر و در نتیجه اندازه کوچکتر و انرژی مصرفی کمتر می‌باشد [۴].

۲- نوسان ساز پوش- پوش

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



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

نوسان ساز پوش- پوش حالت خاصی از نوسان ساز N پوش با $N=2$ می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود در نوسان ساز پوش- پوش دو نوسان ساز مشابه وجود دارد که با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به هم، نوسان می‌کنند. به عبارت

۱- مقدمه

نوسان سازهای کنترل شونده با ولتاژ جزء مهمی در مدارات حلقه‌های قفل فاز هستند که برای سنتز فرکانس به کار می‌روند. به‌طور کلی به سه روش می‌توان موج فرکانس رادیویی را تولید کرد. اولی بهره‌گیری از نوسان سازهایی است که به‌طور مستقیم در فرکانس‌های بالا نوسان می‌کنند، دومی بهره‌گیری از نوسان سازهایی است که در فرکانس پایین نوسان کرده و با بلوک‌های عملیاتی ضرب کننده و فیلترینگ به فرکانس بالا تبدیل می‌شوند و سومی بهره‌گیری از نوسان سازهایی است که از چند زیرنوسان تشکیل شده‌اند که در فرکانس پایین نوسان کرده، با هم ترکیب شده و هارمونیک N -ام آنها استفاده می‌شود. این سه نوع نوسان ساز در شکل (۱) قابل مشاهده است. در فرکانس‌های مایکروویو ضریب کیفیت تشدیدگر کاهش می‌یابد و نوسان سازهایی که مستقیماً در فرکانس‌های مایکروویو نوسان می‌کنند، نویز فاز بدتری نسبت به نوسان سازهای زیر هارمونیکی دارند. استخراج هارمونیک N ام نوسان از یک نوسان ساز فرکانس پایین برای بهبود نویز فاز در فرکانس‌های مایکروویو، روشی متداول است [۱-۲]. نوسان سازهای پوش- پوش از جمله نوسان سازهایی هستند که زیرنوسان سازهای آن در نصف فرکانس خروجی، نوسان می‌کنند. نحوه عملکرد نوسان ساز

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

۲- وقتی دو نوسان ساز در مود فرد نوسان کنند و خروجی آنها به طور هم فاز جمع شود، به دلیل ناهمبسته بودن منابع نویز، نویز فاز به اندازه ۳ dB کاهش می یابد. اگر این عدد را با ۶ dB بهبود نویز در نوسان ساز پوش- پوش نسبت به حالتی که هر یک از زیر مجموعه ها به طور جداگانه در دو برابر فرکانس نوسان اولیه، نوسان کنند، جمع کنیم، میزان بهبود نویز فاز ۹ dB می شود.

۳- مدار نوسان ساز پوش- پوش

شماتیک نوسان ساز پوش- پوش در شکل (۳) ترسیم شده است [۶]. در مدار دو زیر نوسان ساز مشابه در محدوده فرکانسی ۶۰۰ MHz تا ۷۰۰ MHz وجود دارد که خروجی آنها به یک ترکیب کننده توان هم فاز متصل است.

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

مدار نوسان ساز پوش- پوش از چند بخش اصلی تشکیل شده:

۱- تشدیدگر، ۲- زیر نوسان ساز (دو نوسان ساز در فرکانس نصف فرکانس خروجی)، ۳- شیفتر دهنده فاز، ۴- ترکیب کننده توان.

در ادامه مقاله روند طراحی هر قسمت توسط نرم افزار ADS تشریح می شود.

۳-۱- تشدیدگر مایکرواستریپ کوپل شده قابل تنظیم با دیود و رکتور

تشدیدگر نقش تعیین فرکانس را در نوسان ساز بر عهده داشته و در قابل تنظیم بودن فرکانس نوسان ساز و نویز فاز آن تاثیر مستقیم دارد. تشدیدگر می تواند بسته به پیکربندی نوسان ساز به صورت مدار LRC موازی یا سری طراحی شود.

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

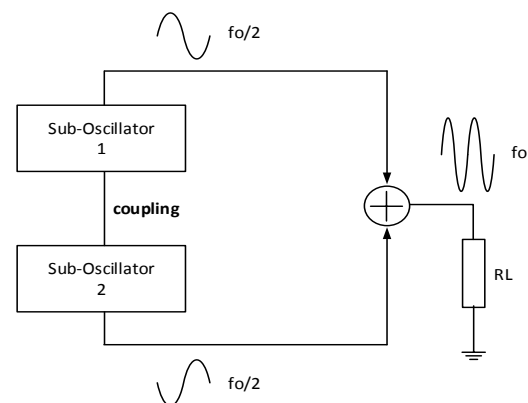
$$Q_R = \frac{2\pi(\frac{1}{2}CV_c^2)}{\frac{2\pi}{\omega_0}(\frac{V_c^2}{2R_p})} = \omega_0 CR_p \quad (5)$$

که در آن، V_c ولتاژ دو سر خازن و R_p مقاومت تلف شده موازی می باشد. به طور مشابه ضریب کیفیت بر حسب سلف و مقاومت موازی به صورت زیر می باشد:

$$Q_R = \frac{R_p}{\omega_0 L} \quad (6)$$

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

دیگر دو نوسان ساز به طور هم فاز نوسان نمی کنند. در صورتی که این دو نوسان ساز به طور هم فاز با هم ترکیب شوند، مولفه اصلی و هارمونیک های فرد حذف خواهد شد. با توجه به این که در طیف این دو نوسان ساز، هارمونیک دوم وجود دارد و هارمونیک دوم در هر یک از نوسان سازها هم فاز هستند، این مولفه ها در خروجی جمع کننده ظاهر می شوند. این امر موجب می شود تا فرکانس خروجی مدار، دو برابر فرکانس نوسان هر یک از نوسان سازهای موجود در مدار باشد.



شکل (۲): نمایش عملکرد نوسان ساز پوش- پوش سیگنال های خروجی به صورت زیر می باشد [۵]:

$$S_1(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \phi_n) \quad (1)$$

$$S_2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \phi_n + \Delta\phi_n) \quad (2)$$

به علت عملکرد فرد زیر نوسان سازها، اختلاف فاز دو سیگنال خروجی از $\Delta\phi_n = n\pi$ به دست می آید.

$$\Delta\phi_n = n\pi \quad (3)$$

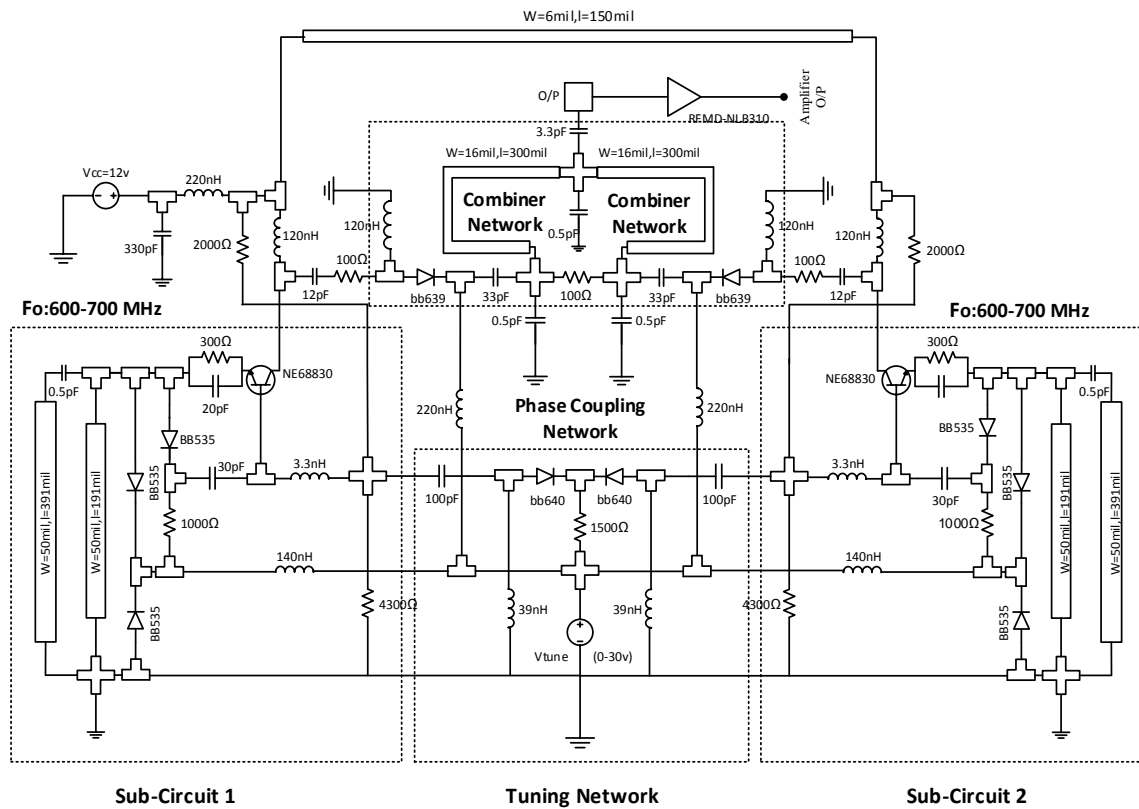
در نهایت دو سیگنال با هم جمع شده و سیگنال خروجی پوش- پوش را به وجود می آورند:

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

بدین ترتیب مولفه ی اصلی و هارمونیک های فرد حذف شده و مولفه های زوج که هم فاز هستند، با هم جمع می شوند. بهترین عملکرد زمانی به دست می آید که دو نوسان ساز از لحاظ ساختار و رفتار فرکانسی مشابه باشند.

۳-۱-۲- بهبود نویز فاز در یک نوسان ساز پوش- پوش

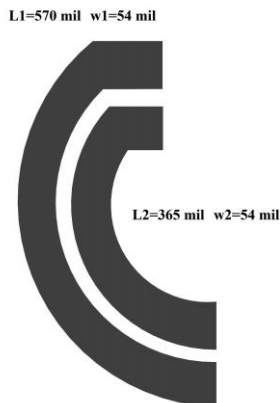
کاهش نویز فاز مهم ترین مزیت نوسان سازهای پوش- پوش است که به دو دلیل صورت می گیرد؛ ۱- بهره گیری از یک تشدیدگر با ضریب کیفیت بیشتر به دلیل نوسان در نصف فرکانس خروجی،



شکل (۳): مدار شماتیک نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ پوش - پوش [۵]

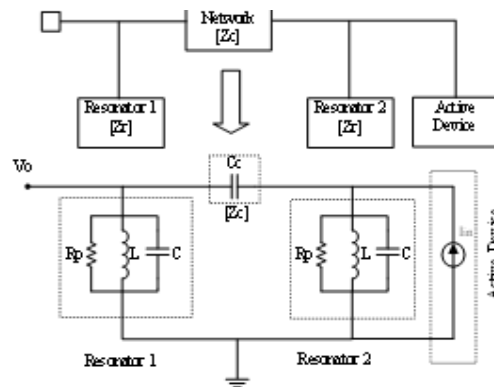
میکرواستریپ معمولی دارند. لذا برای افزایش ضریب کیفیت به جای استفاده از خطوط میکرواستریپ با امپدانس زیاد که خاصیت سلفی دارند، از خطوط میکرواستریپ تزویج شده استفاده می شود.

برای کوچک تر کردن ابعاد مدار نوسان ساز، تشدیدگرها به صورت نیم دایره ای طراحی شده اند. یک طرف خط کوپل شده توسط حفره و یا به منظور برگشت ولتاژ DC در شبکه دیودی به زمین متصل شده است. تشدیدگر مورد نظر با ترکیب شبکه دیودی تنظیم پذیر که بین دهانه ورودی و زمین متصل است، برای فرکانس دلخواه تنظیم می شود. نحوه تنظیم فرکانس در ادامه توضیح داده خواهد شد. شکل (۵) تشدیدگر شبیه سازی شده به همراه ابعاد آن را نشان می دهد.



شکل (۵): تشدیدگر مایکرواستریپ کوپل شده

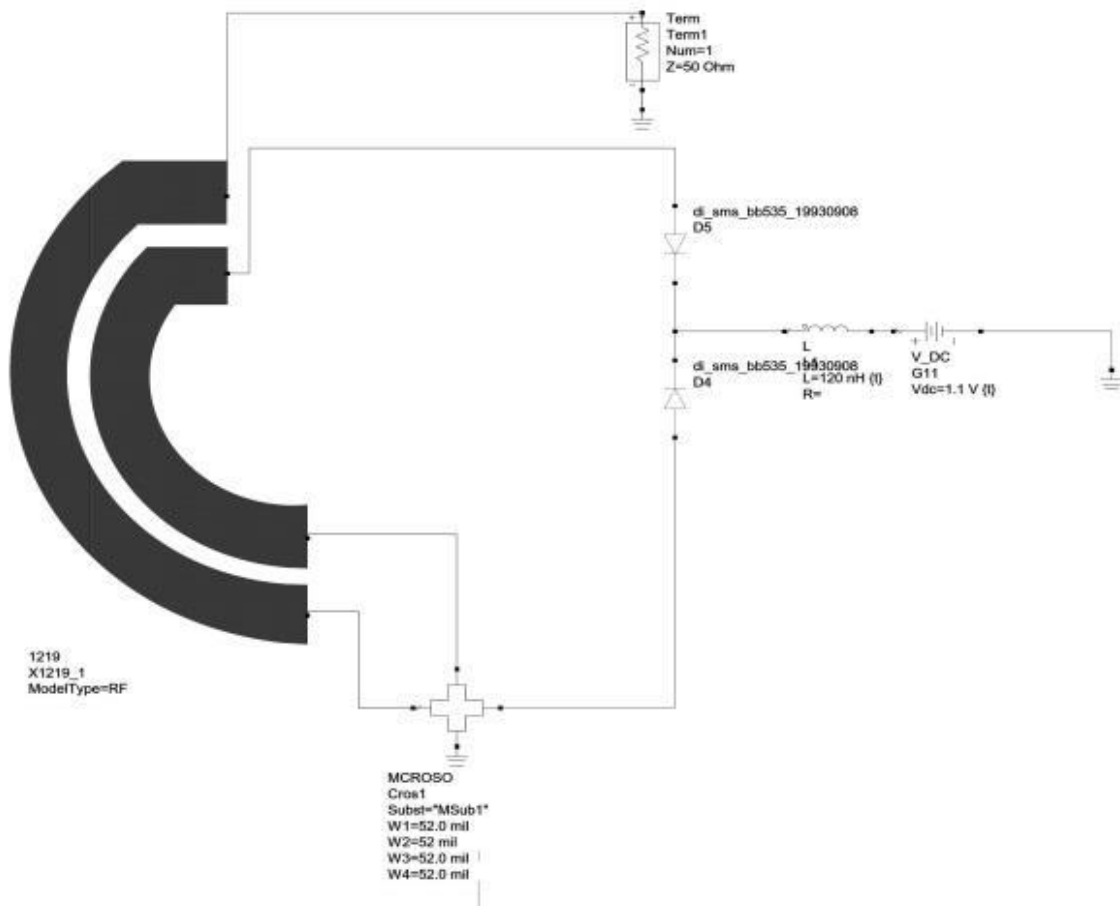
ضریب کیفیت تشدیدگر با عامل دیگری به نام ضریب کوپلینگ نیز افزایش می یابد. این عامل که با کوپل کردن دو تشدیدگر مجزا به وجود می آید، نسبت خازن کوپلینگ سری به خازن اصلی تشدیدگر می باشد. شکل (۴) دو تشدیدگر کوپل شده سری را نشان می دهد که در آن، Z_c و Z_r به ترتیب امپدانس تشدیدگر و امپدانس شبکه کوپلینگ می باشند.



شکل (۴): تشدیدگر کوپل شده سری [۷]

در نوسان ساز پوش - پوش ساخته شده، به جای سلف فشرده در بخش تشدیدگرها از خطوط کوپل شده مغناطیسی استفاده شده است که خاصیت سلفی دارد. این خطوط با خازن رکتوری که به آنها متصل است تشدید کرده و فرکانس نوسان را تعیین می کنند. خطوط تزویج شده به دلیل این که از کنار به هم تزویج می شوند و بخش عمده ای از میدان الکتریکی و مغناطیسی بین آنها از هوا عبور می کند، تلفات کمتری نسبت به خطوط

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

پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند، بهترین عملکرد $1/f$ را دارند.

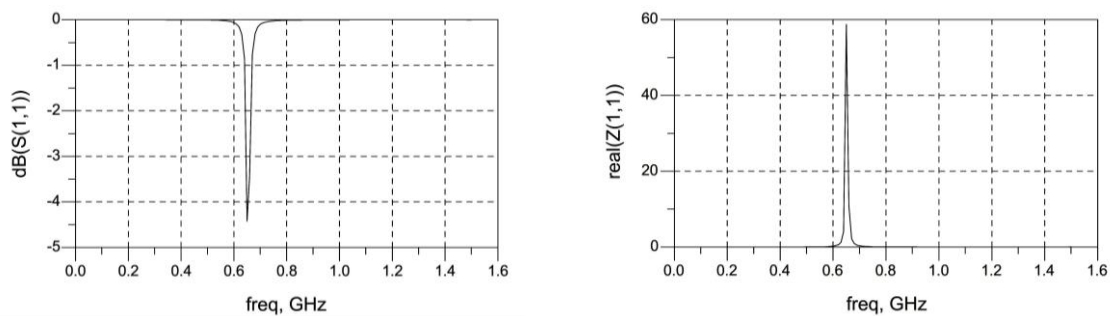
در این مقاله از ترانزیستور دو قطبی به شماره NE68830 از شرکت NEC استفاده شده است و دارای نویز فلیکر کم، جریان کلکتور بالا و ولتاژ کار پایین است و عمدتاً برای ساخت نوسان‌سازهای کم نویز از آن استفاده می‌شود.

تشدیدگر به امپدانس 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 $3/38$ و تانژانت تلفات 0.027 چاپ شده است. شکل (۸) شماتیک مدار زیرنوسان‌ساز و شکل (۹) منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس را در محدوده 600 MHz تا 700 MHz نشان می‌دهد.

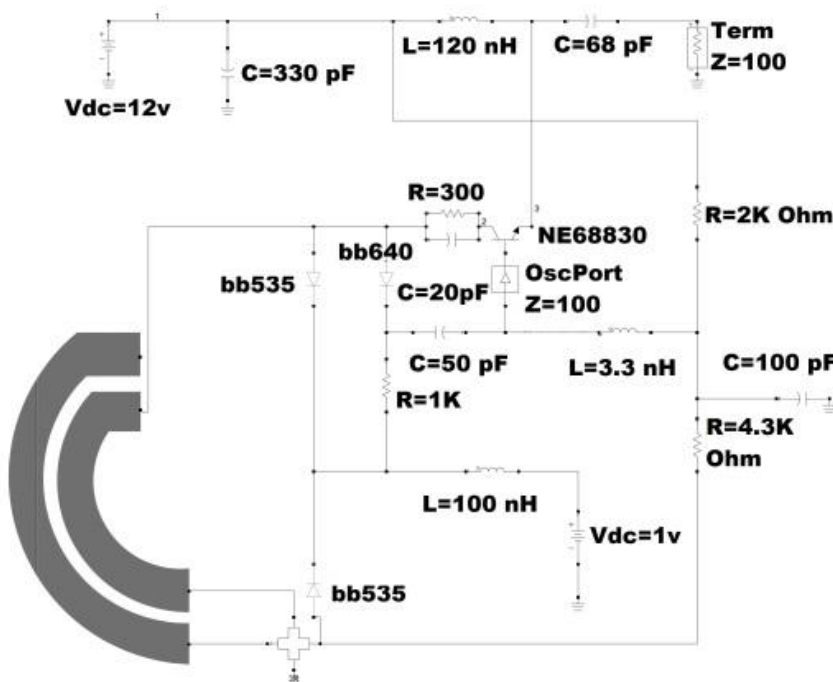
۳-۲- طراحی زیرنوسان‌ساز

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده شد، هر یک از زیرنوسان‌ها در نصف فرکانس اصلی خروجی یعنی در محدوده 600 MHz تا 700 MHz باهم ترکیب شده و فرکانس خروجی پوش-پوش 1200 MHz تا 1400 MHz را به وجود می‌آورند.

همان‌طور که قبلاً 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 به صورت 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



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



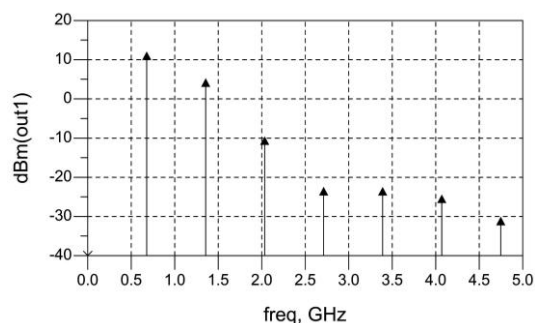
شکل (۸): مدار زیر نوسان ساز به کار گرفته شده در ساخت نوسان ساز پوش- پوش در محیط ADS

ظرفیت خازنی این دیود نسبت به ولتاژ ورودی را نشان می‌دهد. این دیود عموماً برای تنظیم فرکانس تشدیدگرها و تیونرها در باند UHF مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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

۳-۴- شیفتهنده فاز

همان‌طور که قبلاً گفته شد سیگنال‌های خروجی هر یک از زیرنوسان‌سازها در نوسان‌ساز پوش- پوش، ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند، اما گاهی ممکن است به علت 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 شیفتهنده فاز بین دو زیرنوسان‌ساز قرار می‌گیرد. شکل (۱۱) مدار شماتیک تزویج فاز و شکل (۱۲) منحنی فاز آن را بر حسب فرکانس نشان می‌دهند.



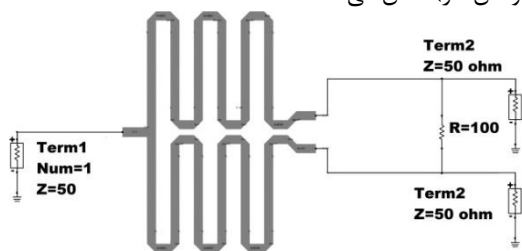
شکل (۹): طیف توان خروجی مدار زیر نوسان ساز وقتی که در فرکانس ۶۰۰MHz نوسان می‌کند

۳-۳- تنظیم فرکانس

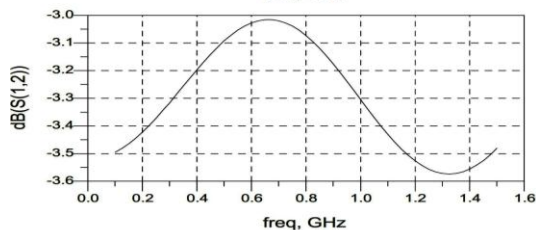
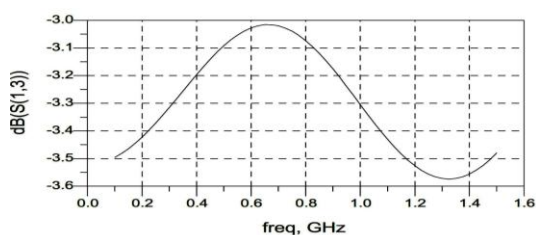
برای تنظیم فرکانس با تغییر ولتاژ، از دیود ورکتور یا همان دیود متغیر استفاده می‌کنیم. دیود ورکتور در مدار به صورت معکوس بایاس شده و با تغییر ولتاژ، مقدار ظرفیت خازنی آن تغییر می‌کند در این طراحی از دیود ورکتور به شماره BB535 از شرکت Infineon استفاده شده است. شکل (۱۰) نمودار تغییرات

توان باهم ترکیب شده و از آنجایی که دو سیگنال باهم اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دارند، فرکانس‌های دو سیگنال باهم جمع می‌شوند.

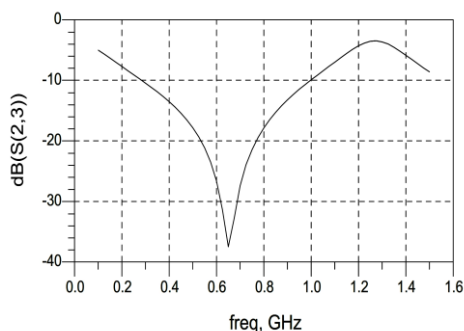
شکل (۱۳) شماتیک مدار ترکیب کننده توان شبیه‌سازی شده، شکل (۱۴) منحنی اتلاف توان بین دهانه‌های ورودی و خروجی و شکل (۱۵) ایزولاسیون بین دهانه‌های خروجی ترکیب کننده توان را در فرکانس ۶۵۰ MHz (فرکانس مرکزی زیرنوسان ساز) نشان می‌دهند.



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

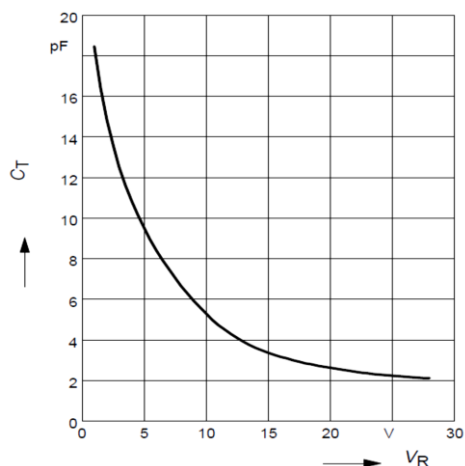


شکل (۱۴): منحنی اتلاف توان بین دهانه‌های ورودی و خروجی بر حسب فرکانس

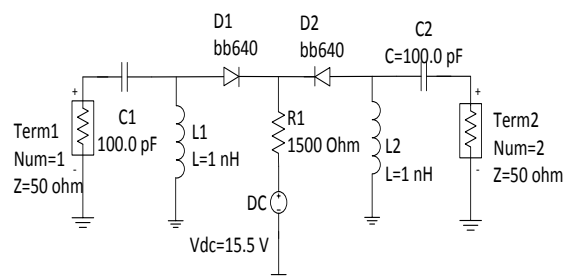


شکل (۱۵): منحنی ایزولاسیون بین دهانه‌های ورودی بر حسب فرکانس

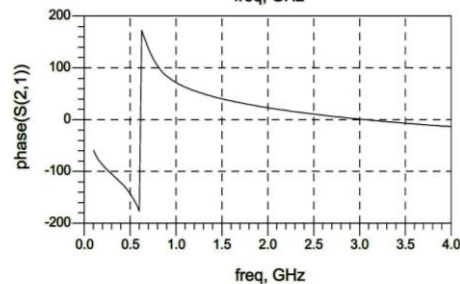
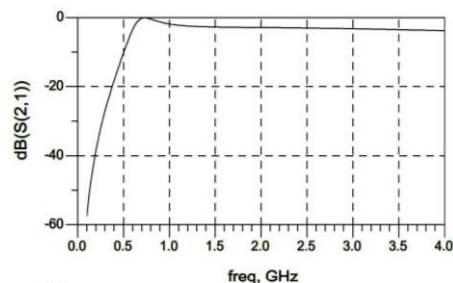
شکل (۱۶) مدار شماتیک نوسان ساز پوش-پوش شبیه‌سازی شده در محیط ADS و شکل (۱۷) منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود هارمونیک دوم سیگنال پایه تقویت شده است.



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



شکل (۱۱): شماتیک مدار تزویج فاز

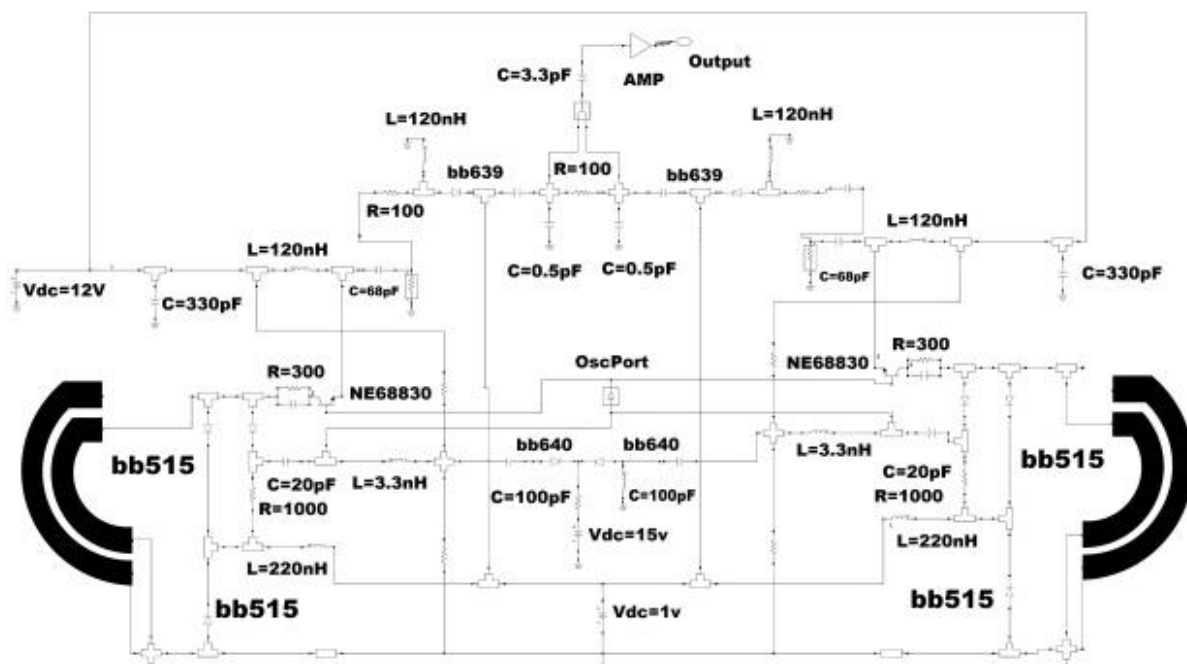


شکل (۱۲): منحنی فاز و افت عبوری مدار تزویج بر حسب فرکانس

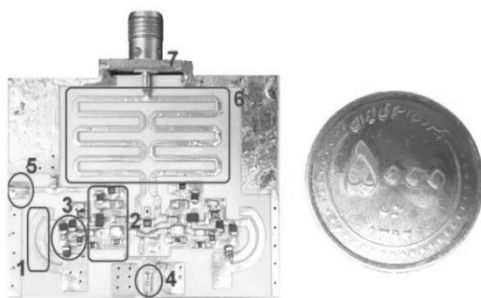
با توجه به شکل‌ها، عامل شیف‌ت فاز تغییر ظرفیت خازنی دیود ورکتور است، و با تغییر ولتاژ تنظیم، مقدار خازن دیود ورکتور جا به جا شده و در نتیجه مقدار فاز مورد نظر بدست می‌آید.

۳-۵- مدار ترکیب کننده توان

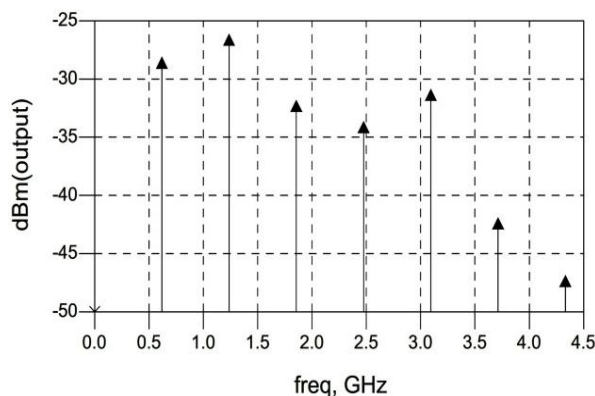
سیگنال‌های خروجی هر یک از نوسان‌سازها توسط ترکیب کننده



شکل (۱۶): مدار نوسان ساز پوش- پوش در محیط ADS



شکل (۱۸): برد نهایی نوسان ساز و قسمت های مختلف آن



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

۲-۴- تست و اندازه گیری

در ابتدا هر یک از زیرنوسان سازها به تنهایی تست می شوند. فرکانس نوسان هر یک از زیرنوسان سازها می بایست 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 به هم متصل شده، نوسان ساز پوش- پوش تست می شود. خروجی نوسان ساز به دستگاه تحلیل گر متصل و طیف خروجی مشاهده می شود. در نوسان ساز ساخته شده با تغییر ولتاژ در محدوده ۰/۷ V تا ۱/۸ V، بازه فرکانسی موردنظر به دست می آید. شکل (۱۹) طیف توان خروجی نوسان ساز پوش- پوش را در دستگاه تحلیل گر طیف نشان می دهد. مولفه زیرهارمونیکی در طیف خروجی نوسان ساز پوش- پوش حداقل ۳۰ dB پایین تر از مولفه نوسان اصلی است. شکل های (۲۱-۲۰)، به ترتیب منحنی فرکانس خروجی بر حسب ولتاژ تنظیم و منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس خروجی را نشان می دهند.

لازم به ذکر است که نرم افزارهای تجاری مانند ADS اثر

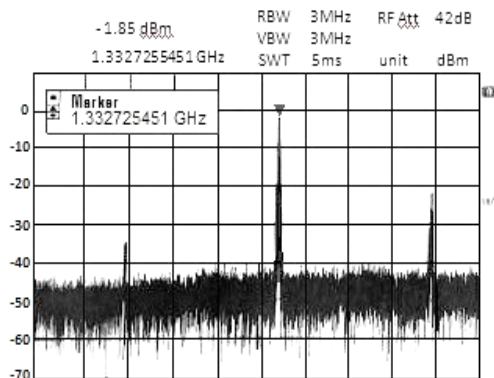
۴- ساخت و نتایج اندازه گیری

۱-۴- مشخصات زیر لایه

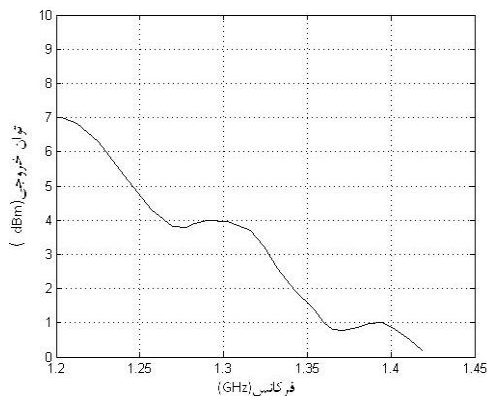
شکل (۱۸) برد نهایی نوسان ساز به همراه قسمت های مختلف آن را نشان می دهد. ابعاد برد $۳۶ \times ۴۵ \text{ mm}^2$ است.

با توجه به شماره های مشخص شده در شکل (۱۸)، قسمت های مختلف نوسان ساز به شرح ذیل می باشد:

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



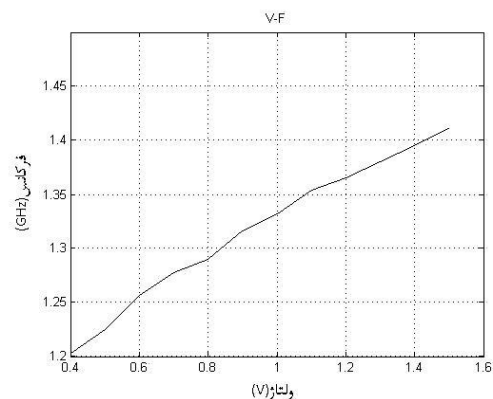
شکل (۱۹): طیف توان خروجی نوسان ساز پوش - پوش



شکل (۲۱): منحنی توان خروجی بر حسب فرکانس

مدوله شدن چگالی طیف توان منابع نویز فلیکر توسط جریان کلکتور را در نوسان سازها در نظر نمی گیرند و عموماً شبیه سازی نسبت به نتایج اندازه گیری، بعضاً تا ۱۰ dB بهتر ظاهر می شود. از این جهت نتایج شبیه سازی نویز فاز در چنین مواردی معتبر نیست [۸].

برای تامین ولتاژ ورودی نوسان ساز از باتری استفاده کردیم زیرا باتری نویز کمتری نسبت به سایر منابع تغذیه به نوسان ساز وارد می کند. جدول (۱) نویز فاز شبیه سازی شده نوسان ساز را حول فرکانس مرکزی نشان می دهد.



شکل (۲۰): منحنی فرکانس خروجی بر حسب ولتاژ کنترل

جدول (۱): نتایج شبیه سازی نویز فاز

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

۵- نتیجه گیری

یک نوسان ساز پوش- پوش کنترل شونده با ولتاژ در محدوده فرکانسی ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz طراحی و ساخته شد. مدار تزویج فاز در محدوده فرکانسی مورد نظر به خوبی عمل کرده، موجب شده دو زیر نوسان ساز در مود فرد نسبت به هم نوسان کنند. شبیه سازی تشدیدگر و مدار تزویج فاز توسط تحلیل گر مداری ADS و مدار نوسان ساز پوش- پوش توسط تحلیل گر غیر خطی ADS و روش توازن هارمونیک شبیه سازی شده است. مدار نوسان ساز پوش- پوش در بازه فرکانسی ۱۲۰۰ MHz تا ۱۴۰۰ MHz به طور پیوسته در مود پوش- پوش نوسان کرده و از قفل خارج نمی شود. تغییرات فرکانس با تغییر ولتاژ کنترل تقریباً خطی است. میزان حذف مولفه اصلی و مولفه های فرد هر یک از زیر نوسان سازها در خروجی حداقل ۳۰ dB در کل باند است. هر چند توان خروجی با افزایش فرکانس اندکی کاهش می یابد، می توان با اضافه کردن یک مدار جبران ساز دامنه، تغییرات توان را نسبت به فرکانس کاهش داد.

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 tuning 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.

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