

**Designing a Voltage-Controlled Oscillator Capable of Creating Two Separate Frequency Bands Using Microstrip Technology****Fateme Shiri<sup>1</sup>, PhD Student, Massoud Dousti<sup>1</sup>, Associate Professor, Farzin Shama<sup>2</sup>, Assistant Professor**<sup>1</sup>Department of Electrical and Computer Engineering- Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering- Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran  
[f\\_shiri@srbiau.ac.ir](mailto:f_shiri@srbiau.ac.ir), [m\\_dousti@srbiau.ac.ir](mailto:m_dousti@srbiau.ac.ir), [f.shama@aut.ac.ir](mailto:f.shama@aut.ac.ir)**Abstract**

In this paper, a microstrip dual-band bandpass filter (DB-BPF) is used to design a low phase-noise oscillator. The designed oscillator is fabricated and tested. This filter, which can stabilize frequency, is then implemented in the feedback loop of the low phase-noise oscillator. The phase noise can be largely reduced since the frequency of oscillation is designed at group delay of the edge of the passband. Moreover, the designed oscillator can be restructured to a voltage-controlled oscillator (VCO) when a varactor is connected to a T-shaped resonator of the BPF. The center frequencies of 1.95 and 5.45 GHz are obtained for this oscillator. At the center frequency of 1.95 GHz, a phase noise of -177.1 dBc/Hz is measured at 1 MHz offset. The exact application of these frequency bands is in UMTS and WiMAX radio networks. Additionally, the frequency of the designed VCO can be tuned in the range of 1.84-2.05 GHz within which the measured phase noise at 1 MHz offset increases from -122 to -146.5 dBc/Hz. In this article, Monte Carlo analysis has also been done, and with a tolerance of 5% of all stubs, we have reached a definitive answer with a probability of more than 84%.

**Keywords:** dual-band bandpass filter, Monte Carlo analysis, phase noise, T-shaped resonator, voltage-controlled oscillator**Received:** 24 April 2023**Revised:** 27 June 2023**Accepted:** 10 August 2023**Corresponding Author:** Dr. Massoud Dousti**Citation:** F. Shiri, M. Dousti, F. Shama, "Designing a voltage-controlled oscillator capable of creating two separate frequency bands using microstrip technology", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 16, no. 64, pp. 47-56, March 2026 (in Persian).

<https://dorl.net/dor/20.1001>.....

مقاله پژوهشی

## طراحی یک نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ دارای قابلیت ایجاد دو باند فرکانسی مجزا با استفاده از فناوری میکرواستریپ

فاطمه شیری<sup>۱</sup>، دانشجوی دکتری، مسعود دوستی<sup>۱</sup>، دانشیار، فرزین شماع<sup>۲</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی برق- واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

f\_shiri@srbiau.ac.ir, m\_dousti@srbiau.ac.ir, f.shama@aut.ac.ir

**چکیده:** در این مقاله، از فیلتر میان‌گذر دوبانده میکرواستریپ برای طراحی یک نوسان‌ساز با نویز فاز پایین استفاده شده است. نوسان‌ساز طراحی شده ساخته و آزمایش شده است. این فیلتر که می‌تواند فرکانس را تثبیت کند، در حلقه فیدبکی نوسان‌ساز با نویز فاز کم پیاده‌سازی شده است. نویز فاز با طراحی نوسان‌ساز در قله تأخیر گروه فیلتر میان‌گذر به صورت چشم‌گیری کاهش یافته است. علاوه بر این، نوسان‌ساز طراحی شده را می‌توان به یک نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ تغییر ساختار داد، به این صورت که یک ورکتور به یک تشدیدکننده تی شکل فیلتر میان‌گذر دوبانده متصل می‌شود. فرکانس‌های مرکزی ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز برای این نوسان‌ساز به دست آمده است. این فرکانس‌ها به صورت مجزا و غیرهم‌زمان هستند. در فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز، نویز فاز ۱۶۵/۲- دسی‌بل کریبر بر هرترز در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز اندازه‌گیری شده است. کاربرد دقیق این باندهای فرکانسی در شبکه‌های رادیویی سامانه جهانی مخابرات سیار و وای-مکس است. علاوه بر این، فرکانس نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ طراحی شده را می‌توان در محدوده ۲/۰۵-۱/۸۴ گیگاهرتز تنظیم کرد، که در آن نویز فاز اندازه‌گیری شده در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز از ۱۲۲- به ۱۴۶/۵- دسی‌بل کریبر بر هرترز افزایش می‌یابد. در این مقاله تحلیل مونت کارلو نیز انجام شده که با تفرانس ۵ درصد تمامی استاب‌ها با احتمال بیش از ۸۴ درصد جواب قطعی حاصل شده است.

**کلمات کلیدی:** تحلیل مونت کارلو، رزوناتور تی شکل، فیلتر میان‌گذر دوبانده، نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ، نویز فاز

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۲/۴

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۴/۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۵/۱۹

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مسعود دوستی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: تهران - انتهای بزرگراه شهید ستاری - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

## ۱- مقدمه

در زندگی مدرن امروز، استفاده از سیستم‌های مخابراتی بسیار شایع شده است و در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت قابل توجهی در سیستم‌های مخابراتی هستیم. سیستم‌های مخابراتی مانند فرستنده-گیرنده‌ها، رادارها و از این دست نقش بسیار مهمی در زندگی مدرن امروز ایفا می‌کنند. برای انتقال اطلاعات در یک کانال مخابراتی، باید داده‌ها توسط فرستنده به فرکانس رادیویی منتقل و مدوله شوند. در گیرنده نیز عمل مدولاسیون برای انتقال اطلاعات به باند پایه انجام می‌گیرد، برای این عمل نیاز به تولید یک موج حامل است، که این فرایند توسط نوسان‌سازها انجام می‌شود. کیفیت نوسان‌ساز در عملکرد فرستنده و گیرنده بسیار کلیدی است.

نوسان‌سازهای میکروویو<sup>۱</sup> با نویز کم به صورت گسترده در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم استفاده می‌شوند. تشدیدکننده‌هایی با ضریب کیفیت<sup>۲</sup> بالا معمولاً در نوسان‌سازهای میکروویو با نویز فاز<sup>۳</sup> کم برای افزایش انتخاب فرکانس و عملکرد نویز فاز استفاده می‌شوند. در نوسان‌سازها نویز فاز یکی از مشخصه‌های انتخاب است، زیرا که با داشتن نویز فاز پایین نوسانات دامنه به راحتی کنترل می‌شود. داشتن توان خروجی مناسب با توجه به کاربرد نوسان‌ساز، میزان تضعیف هارمونیک‌ها و همچنین داشتن شکل موج خروجی تمیز و بدون اعوجاج از دیگر مشخصه‌های نوسان‌سازها است.

در بلوک‌های فیدبکی نوسان‌سازها، تشدیدکننده امپدانس پله‌ای<sup>۴</sup> عمدتاً برای انتخاب فرکانس استفاده می‌شود. در این روش معمولاً نویز فاز قابل قبولی حاصل می‌شود، در حالی که ابعاد تشدیدکننده بزرگ است [۴-۱]. یکی دیگر از روش‌های پیاده‌سازی یک حلقه فیدبکی، استفاده از تشدیدکننده‌های مربعی<sup>۵</sup> دارای ضریب کیفیت بالا برای تثبیت فرکانس است. در این روش، نویز فاز کم‌تری به دست می‌آید، اگرچه توان خروجی در مقایسه با سایر ساختارها مطلوب نیست [۵،۶]. برای ایجاد ایزوله بالا و فرکانس‌های نوسان مجزا می‌توان از دیپلکسرهایی با ابعاد کوچک استفاده کرد. توان خروجی ایجاد شده در این طرح‌ها در مقایسه با سایر طرح‌ها پایین‌تر است [۷]. فیلترهای میان‌گذر با پاسخ بیضوی<sup>۶</sup> که در مقاله‌های [۸]، [۹] و [۱۰] ارائه شده‌اند، جهت کاهش نویز فاز نوسان‌سازها به کار گرفته شده‌اند. این نوسان‌سازها عمدتاً برای فیلترهای چندقطبی برای به دست آوردن پیک تأخیر گروه در نزدیکی دو فرکانس مرکزی فیلترهای میان‌گذر دوبانده<sup>۷</sup> در نظر گرفته شده‌اند. این فیلتر به عنوان جزئی از شبکه فیدبکی عمل می‌کند و فرکانس مرکزی نوسان‌ساز در فرکانس پیک تأخیر گروه فیلتر میان‌گذر طراحی شده است. این راه‌کار منجر به بهبود چشم‌گیر نویز فاز نوسان‌ساز می‌شود.

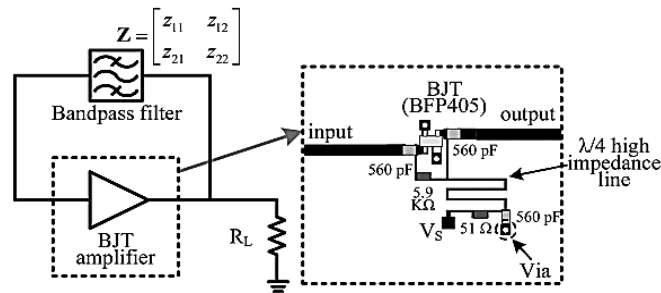
در این مقاله، از تشدیدکننده‌های تی<sup>۸</sup> شکل جهت ایجاد یک فیلتر میان‌گذر دوبانده برای حلقه فیدبکی استفاده شده است. سپس فیلتر برای ارزیابی عملکرد آن شبیه‌سازی شده است. همچنین دو نوسان‌ساز با نویز فاز پایین، به صورت مستقل و غیرهم‌زمان بر اساس یک فیلتر میان‌گذر دوبانده با تغییر طول خطوط انتقال در حلقه فیدبک محقق شده است. یکی از این نوسان‌سازها با فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز ساخته شده است. نویز فاز تولید شده نوسان‌ساز به دلیل استفاده از تشدیدکننده‌هایی با ضریب کیفیت بالا و تلفات عبوری بسیار کم، دارای مقدار بسیار مطلوبی است. نوسان‌ساز طراحی شده با اتصال یک ورتور به یکی از تشدیدکننده‌های تی شکل فیلتر میان‌گذر به یک نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ تبدیل شده است.

در بخش مقدمه مهم‌ترین چالش در طراحی نوسان‌سازها، مطالعه‌های پیشین و روال طراحی نوسان‌سازهای طراحی شده در این مقاله به صورت مختصر بیان شد. در بخش دوم روال طراحی نوسان‌ساز میکروویو با استفاده از یک فیلتر میان‌گذر دوبانده بیان شده است. در بخش سوم نحوه گسترش نوسان‌ساز طراحی شده به نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ آورده شده است. تحلیل مونت‌کارلو نویز فاز نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ در بخش چهارم مقاله بیان شده است. در پایان و در بخش پنجم نتایج به دست آمده و جنبه نوآوری مقاله ارائه شده است.

## ۲- طراحی نوسان‌ساز بر پایه فیلتر میان‌گذر دوبانده

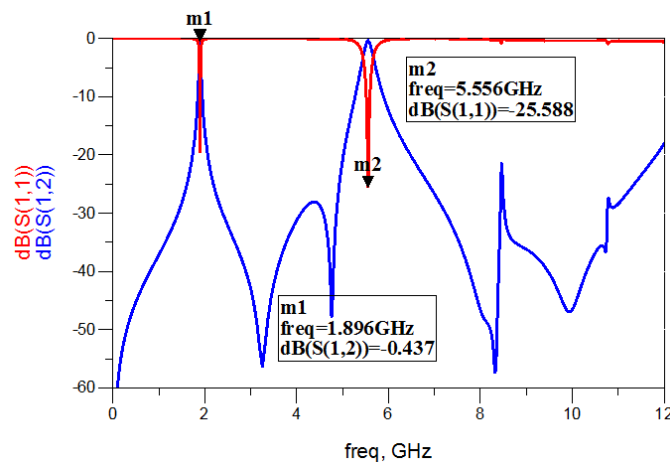
شکل (۱) ساختار یک نوسان‌ساز بر اساس ساختار فیلتر میان‌گذر را نشان می‌دهد. در راستای ایجاد حداقل نویز فاز، بیش‌ترین تعداد صفر انتقال و حداقل تلفات عبوری در پاسخ فیلتر ایجاد شده است. ساختار پایه فیلتر میان‌گذر دوبانده طراحی شده در این مقاله متشکل از دو تشدیدکننده تی شکل دارای حداقل ابعاد و نیز در پاسخ آن چندین صفر انتقال<sup>۹</sup> ایجاد شده است. این فیلتر

دارای تلفات عبوری کمتر از ۰/۵- دسی‌بل است، این پارامتر رابطه مستقیم با نویز فاز نوسان‌ساز دارد، که سبب ایجاد حداقل نویز فاز در نوسان‌ساز شده است. جهت ایجاد صفرهای انتقال متعدد و همچنین ایزولاسیون بهتر دو باند عبور از یکدیگر دو بازو به پورت‌های ورودی و خروجی فیلتر اضافه شده است. با ایجاد صفرهای انتقال متعدد در پاسخ فیلتر، نویز فاز نوسان‌ساز به صورت چشم‌گیری کاهش یافته است [۱۱]. پاسخ نهایی فیلتر میان‌گذر در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، در پاسخ فیلتر ۵ صفر انتقال با تضعیف کمتر از ۲۰- دسی‌بل ایجاد شده است. فیلتر دارای فرکانس مرکزی ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز است، که با طراحی فرکانس مرکزی نوسان‌ساز در این فرکانس‌ها حداقل نویز فاز ایجاد شده است. شکل (۱) بلوک دیاگرام مدار را نشان می‌دهد. در این مدار ولتاژ بایاس<sup>۱۰</sup> (VCC) ترانزیستور BFP405 برابر با ۲/۵ ولت و جریان کلکتور<sup>۱۱</sup> (IC) ۱۰ میلی‌آمپر است. برای کاهش اثرات مخرب اتصال DC بر سیگنال فرکانس رادیویی<sup>۱۲</sup> در فرکانس مرکزی از خطوط یک‌چهارم طول موج برای تغذیه مدار DC استفاده شده است. همچنین برای کاهش این اثرات بر روی سیگنال فرکانس رادیویی، از قطعه شعاعی کوچک نیز استفاده شده است. مقادیر پارامترهای مدار تقویت‌کننده که در شکل (۱) نشان داده شده است شامل: R<sub>1</sub> برابر ۵/۹ اهم، R<sub>2</sub> برابر ۵۱ اهم و خازن‌های C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub> و C<sub>3</sub> برابر ۵۶۰ پیکوفاراد است. نوسان‌ساز با فرکانس نوسان ۱/۹۵ گیگاهرتز (شکل ۳) روی یک زیرلایه دوروید ۵۸۸۰ با تلفات ۰/۰۰۰۹ ثابت دی‌الکتریک ۲/۲ و ضخامت ۰/۵۰۸ میلی‌متر ساخته شده است. استفاده از تکنولوژی میکرواستریپ در این مقاله به دلیل قابلیت مجتمع‌سازی و ابعاد کوچک آن است [۱۲]. برای به‌دست آوردن پیک تأخیر گروه، صفرهای انتقال در فرکانس‌های ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز نزدیک به فرکانس‌های باند عبور در نظر گرفته شده است [۱۳]. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، برای دستیابی به نویز فاز پایین، نوسان‌سازهای پیشنهادی در فرکانس‌های پیک ضریب کیفیت فیلتر میان‌گذر نوسان می‌کنند، این روش منجر به نویز فازهای ۱۶۳/۴- و ۱۴۵/۳- دسی‌بل کریبر بر هرترز در فرکانس‌های ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز شده است [۱۴].



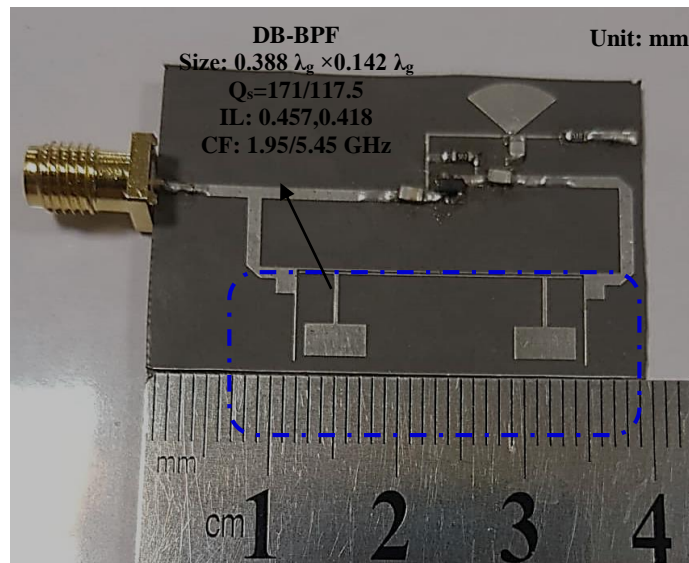
شکل (۱): بلوک دیاگرام نوسان‌ساز طراحی شده [۱۵]

Figure (1): Block diagram of designed oscillator [15]



شکل (۲): پاسخ نهایی شبیه‌سازی فیلتر میان‌گذر دوبانده

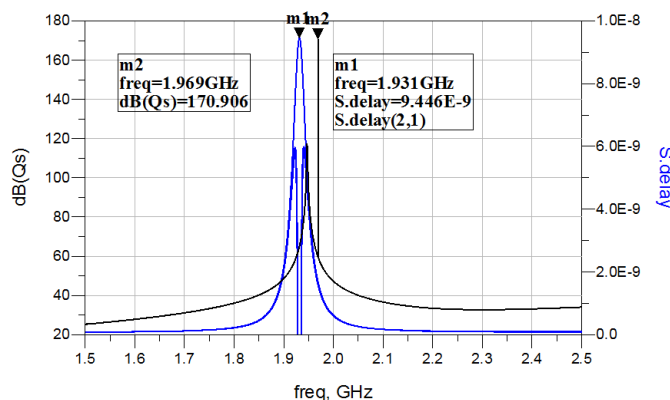
Figure (2): The final response of the simulation of the dual band pass filter



( $\lambda_g$  denotes the guided wavelength corresponding to the first band center frequency)

شکل (۳): نوسان ساز طراحی شده بر پایه فیلتر میان گذر دوبانده

Figure (3): Designed oscillator using a dual-band bandpass filter



شکل (۴): پارامتر ضریب کیفیت و تأخیر گروه بر اساس طیف فرکانسی شبیه سازی شده

Figure (4): Q factor and group delay based on the simulated frequency spectrum

معیار نوسان بارک هاوزن نیازمند یک فاز حلقه کل صفر یا مضرب ۳۶۰ درجه و بهره حلقه نوسان ساز بزرگتر از یک است. بنابراین اگر طول مناسبی برای خط انتقال در شکل (۳) انتخاب شود، فاز حلقه کل می تواند به ۳۶۰ درجه در فرکانس طراحی نزدیک شود. با ارزیابی کمی، پارامتر ضریب کیفیت به صورت زیر بیان می شود [۱۶]:

$$Q_s = \frac{\omega_0}{2} \left| \frac{d}{d\omega} \ln \left| \frac{Z_{11}}{Z_{12}} \right| + j \frac{d}{d\omega} (\angle(Z_{11}) - \angle(Z_{12})) \right| \quad (1)$$

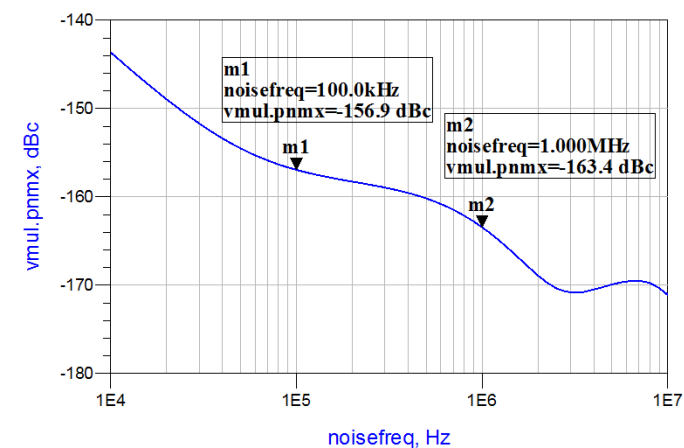
که در آن  $\omega_0$  فرکانس زاویه ای مرکزی است. مقدار  $Q_s$  تابعی از دامنه و فاز فیلتر است. ویژگی های عناصر پارازیتی ترانزیستور پیوندی دوقطبی خط انتقال و فیلتر دوبانده با پارامترهای امپدانس  $Z_{11}$  و  $Z_{12}$  نشان داده شده است. همان طور که در مرجع [۱۷] بیان شده است، برای عملکرد نویز فاز بالاتر، ضریب کیفیت عناصر نوسان ساز باید بالا باشد.

نتایج شبیه سازی نویز فاز نوسان ساز در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز در شکل (۵) نشان داده شده است. این نتایج فرکانس های نوسان در دو پیک ضریب کیفیت فیلتر را نشان می دهد. علاوه بر این مطابق شکل (۵) نویز فازهای ۱۶۳/۴- و ۱۴۶/۹- دسی بل کریر بر هرتز برای فرکانس های حامل ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز در آفست ۱ مگاهرتز به دست آمده است. این مقادیر نویز فاز بسیار مطلوب هستند و می توان آن را به عملکرد فیلتر میان گذر دوبانده با ضریب کیفیت بالا نسبت داد. حداقل نویز فاز نوسان ساز، با طراحی

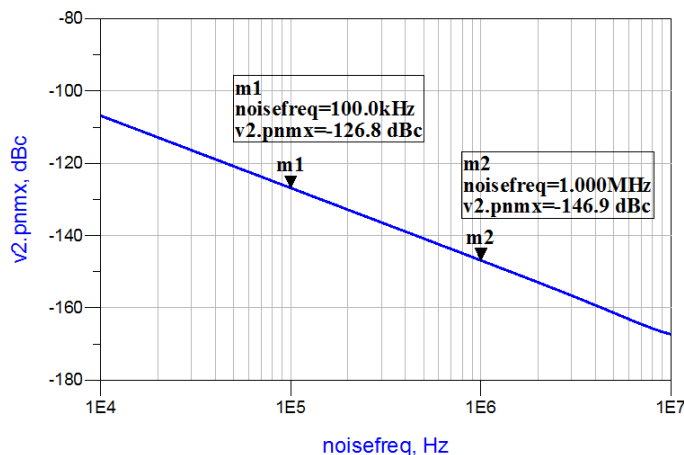
فرکانس‌های مرکزی نوسان‌ساز در فرکانس پیک ضریب کیفیت فیلتر با حداقل تلفات بازگشتی و باریک‌ترین پهنای باند حاصل شده است. نتایج شبیه‌سازی تأخیر گروه و ضریب کیفیت مبتنی بر طیف فیلتر میان‌گذر در شکل (۴) نشان داده شده است. شبکه نوسان‌ساز دو پورتهی کامل به‌غیر از بخش ذاتی ترانزیستور پیوندی دوقطبی می‌تواند تأخیر گروه را تعیین کند. پیک تأخیر گروه و ضریب کیفیت به ترتیب در فرکانس‌های ۱/۹۳ و ۱/۹۷ گیگاهرتز است. شکل (۶-الف) طیف گسترده شده خروجی نوسان‌ساز در فرکانس نوسان ۱/۹۵ گیگاهرتز را نشان می‌دهد. نویز فاز اندازه‌گیری شده نوسان‌ساز طراحی شده به ترتیب ۱۵۰- و ۱۶۵/۲- دسی‌بل کریر بر هرتز در فرکانس آفست ۱۰۰ کیلوهرتز و ۱ مگاهرتز است. شکل (۶-ب) نشان می‌دهد هنگامی که نوسان‌ساز در فرکانس‌های پیک تأخیر گروه یا فرکانس‌های پیک ضریب کیفیت نوسان می‌کند، نویز فاز به‌طور چشم‌گیری بهبود می‌یابد. مقدار پیک ضریب کیفیت در فرکانس ۱/۹۵ گیگاهرتز دارای مقدار ۱۷۰/۹۰۶ و مستقل از فرکانس است. طراحی فرکانس نوسان در فرکانس نزدیک به این پیک سبب کاهش نویز فاز شده است. به‌منظور مقایسه، نتایج شبیه‌سازی نویز فاز با استفاده از نرم‌افزار سیستم طراحی پیشرفته<sup>۱۳</sup> به‌دست آمده است. نتایج اندازه‌گیری به‌خوبی با نتایج شبیه‌سازی مطابقت دارد. از معادله (۲) می‌توان برای تعیین ضریب شایستگی نوسان‌ساز استفاده نمود [۱۰].

$$FOM=L(f_m)-20\log\left(\frac{f_0}{f_m}\right)+10\log\left(\frac{P_{DC}}{1mW}\right) \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $L(f_m)$  نویز فاز در حالت آفست  $f_m$ ،  $P_{DC}$  برابر با توان مصرف شده برحسب میلی‌وات و  $f_0$  فرکانس مرکزی هستند. FOM نوسان‌ساز ساخته شده با فرکانس حامل ۱/۹۵ گیگاهرتز و فرکانس آفست ۱ مگاهرتز به‌ازای مقدار نویز فاز ۱۶۵/۲- دسی‌بل کریر بر هرتز برابر با ۲۲۸/۶۲- است.



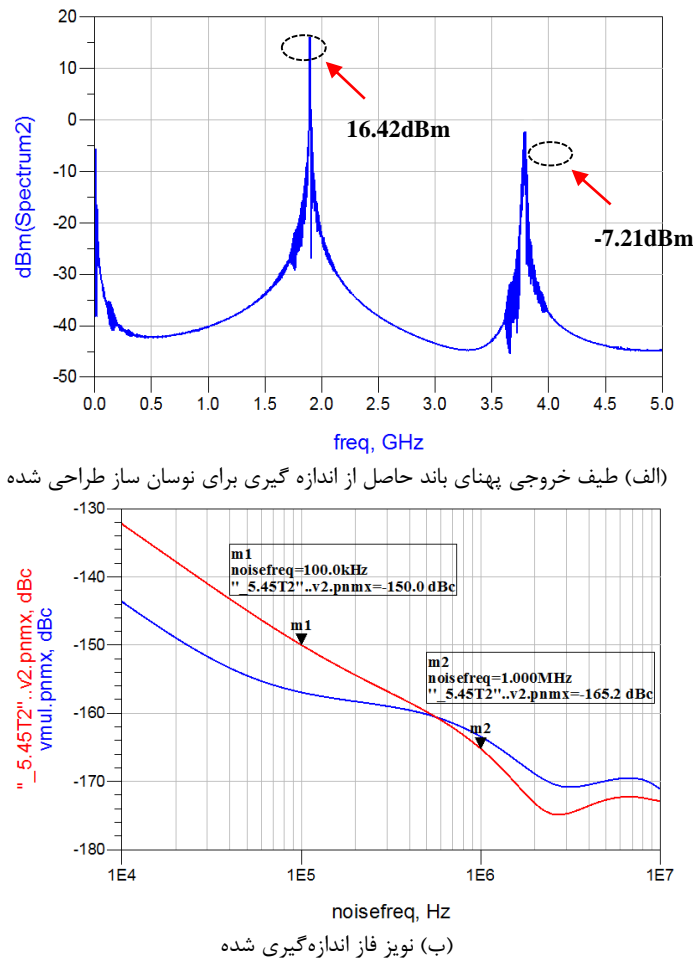
(الف) ۱/۹۵ گیگاهرتز



(ب) ۵/۴۵ گیگاهرتز

شکل (۵): پاسخ شبیه‌سازی نویز فاز نوسان‌سازهای طراحی شده در فرکانس آفست ۱۰۰ کیلوهرتز و ۱ مگاهرتز

Figure (5): Phase noise simulation response of oscillators designed at 100 kHz and 1 MHz offset frequency, a) 1.95 GHz, b) 5.45 GHz



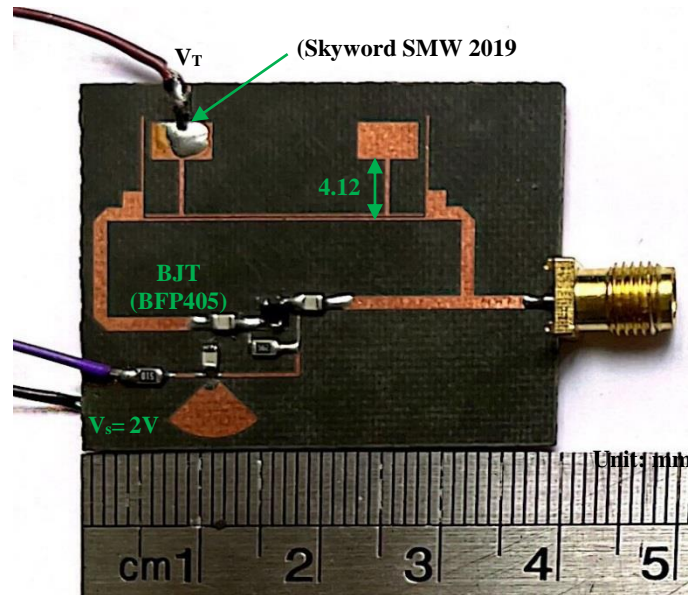
شکل (۶): نتایج حاصل از اندازه گیری نوسان ساز با فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز

Figure (6): The results of measuring the oscillator with a central frequency of 1.95 GHz, a) Wideband output spectrum from measurement for the designed oscillator, b) Measured phase noise.

### ۳- طراحی نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ بر پایه فیلتر میان گذر دوبانده تنظیم پذیر

با گسترش فیلتر میان گذر دوبانده طراحی شده به یک فیلتر قابل تنظیم با ولتاژ و جایگزینی این فیلتر در ساختار نوسان ساز طراحی شده در بخش دوم، می توان به ساختار یک نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ دست یافت. ساختار نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ طراحی شده، در شکل (۷) نشان داده شده است. فرکانس نوسان را می توان با اضافه کردن یک ورکتور به قسمت بالایی یکی از تشدیدکننده های تی شکل کنترل کرد [۱۸]. یک ورکتور (Skyword SMW 2019) جهت ایجاد محدوده ولتاژ قابل تنظیم ۵ تا ۲۰ ولت، با مقدار مقاومت سری پارازیتی ۴/۸ اهم و محدوده ظرفیت خازنی ۰/۲ تا ۰/۶ پیکوفاراد استفاده شده است. تنظیم ولتاژ کنترل می تواند بر روی تنظیم ضریب کیفیت تأثیر داشته باشد [۱۹]. تنظیم ضریب کیفیت توسط ولتاژ کنترل در شکل (۸) نشان داده شده است. ساختار مدار نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ [شکل (۷)] با آنچه در شکل (۳) نشان داده شده است یکسان است، با این تفاوت که، ارتفاع تشدیدکننده های تی شکل به دلیل اثرات پارازیتی ایجاد شده توسط ورکتور کوتاه تر شده و به مقدار ۲۳ درجه تبدیل شده است. نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ طراحی شده را می توان در محدوده ۲/۰۵-۱/۸۴ گیگاهرتز تنظیم کرد [شکل (۹)]. در این محدوده نویز فازها از ۱۲۲- تا ۱۴۶/۵- دسی بل کریر بر هرتز در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز متغیر است. جدول (۱) مشخصات برخی از نوسان سازها و نوسان ساز ارائه شده در این مقاله را مقایسه می کند. مطابق نتایج این جدول نویز فاز و FOM نوسان ساز طراحی شده در این مقاله کمترین مقدار را در بین تمامی نوسان سازها دارد. علاوه بر این پوشش فرکانسی نوسان ساز طراحی شده بهینه است که در آن نویز فاز کمترین مقدار را دارد. به عنوان مثال در مقایسه با مرجع [۱۱]، نوسان ساز طراحی شده در این مقاله علاوه بر داشتن نویز فاز کمتر، دارای قابلیت ایجاد دو فرکانس نوسان به صورت مجزا است.

این قابلیت با طراحی یک فیلتر میان‌گذر دوبانده دارای ابعاد کوچک در بلوک فیدبکی نوسان‌ساز حاصل شده است. بزرگ‌ترین مزیت نوسان‌ساز طراحی شده در این مقاله ایجاد دو فرکانس نوسان مجزا بدون اضافه‌شدن سخت‌افزار با کوچک‌ترین ابعاد ممکن است.



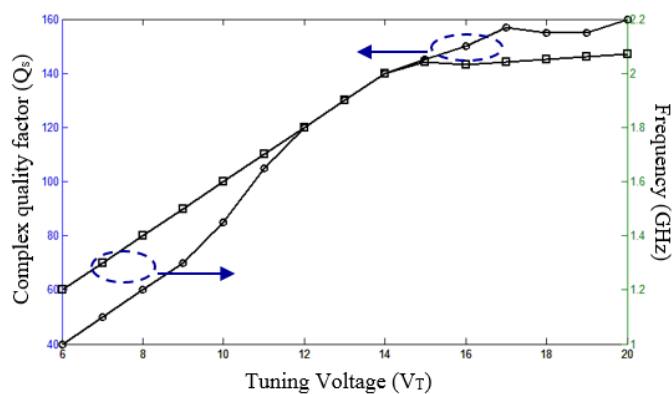
شکل (۷): نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ ساخته شده بر پایه فیلتر میان‌گذر تنظیم‌پذیر  
Figure (7): A voltage-controlled oscillator based on an adjustable band-pass filter

Table (1): Comparison of the specifications of the proposed voltage-controlled oscillator with previous oscillators

جدول (۱): مقایسه مشخصات نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ پیشنهادی با نوسان‌سازهای پیشین

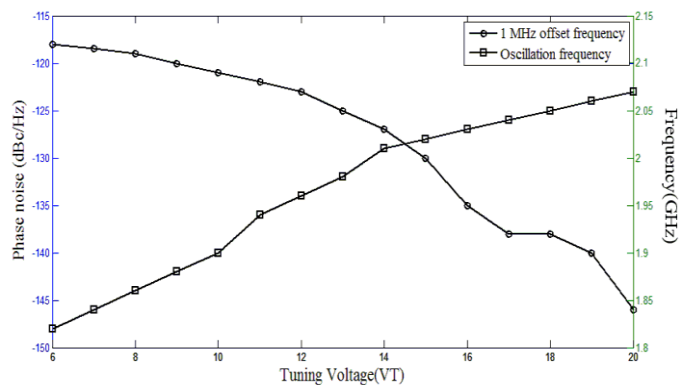
مرجع	فرکانس مرکزی (گیگاهرتز)	ابعاد فیلتر	ضریب شایستگی (دسیبل بر هرتز)	نویز فاز (دسیبل بر هرتز)	محدوده فرکانسی قابل تنظیم (گیگاهرتز)
[۱]	۱/۹۵۳	۱/۱۲	-۱۹۹/۶۶	-۱۳۰/۹	-
[۴]	۷/۲	۰/۰۴	-	-۱۳۹/۶۹	-
[۵]	۲/۲۸	۰/۰۶	-۱۸۸/۳۲	-۱۳۴/۱۷	۱/۳-۲/۸۳
[۱۱]	۲/۴۶	۰/۰۸	-۱۹۵/۷۶	-۱۴۴/۴۷	۲/۴۹۷-۲/۵۳۷
[۱۶]	۱	۱/۱۸	-۲۰۰/۰۵	-۱۲۷/۳	-
[۱۱]	۲/۱۴	۰/۰۱۱	-۱۰۰/۳۵	-۱۳۹/۷	-
این مقاله	۱/۹۵	۰/۰۵	-۲۳۱/۸۱	-۱۴۶/۵	۱/۸۴-۲/۰۵

ضریب شایستگی و نویز فاز در فرکانس ۱ مگاهرتز گزارش شده است.



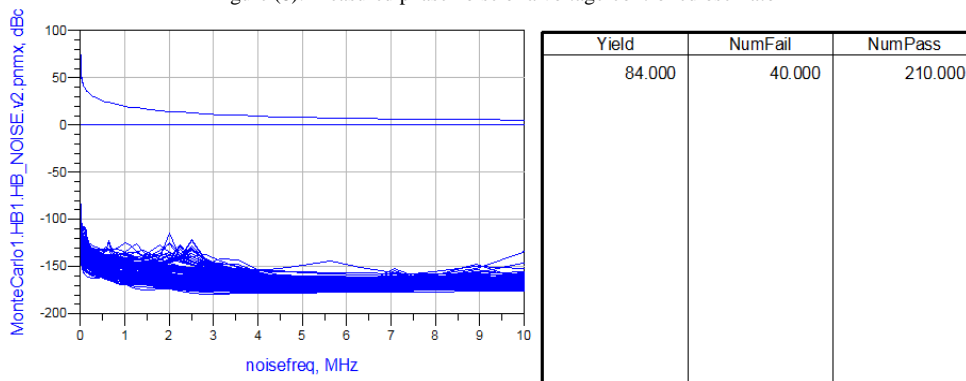
شکل (۸): ضریب کیفیت بر اساس ولتاژهای تنظیم متفاوت  
Figure (8): Quality factor for different tuning voltages





شکل (۹): نویز فاز اندازه گیری شده نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ

Figure (8): Measured phase noise of a voltage-controlled oscillator



شکل (۱۰): تحلیل مونت کارلو پاسخ نویز فاز نوسان ساز کنترل شونده با فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز

Figure (10): Monte Carlo analysis of the phase noise response of the controlled oscillator with a central frequency of 1.95 GHz

#### ۴- تحلیل مونت کارلو نویز فاز نوسان ساز کنترل شونده طراحی شده

تحلیل مونت کارلو در فرآیندهایی استفاده می شود که به دلیل دخالت متغیرهای تصادفی مانند نویز به راحتی قابل پیش بینی نیست. این روش برای درک عدم قطعیت استفاده می شود. روش مونت کارلو یک مشکل را برای هر روش شبیه سازی تأیید می کند که به دلیل تداخل متغیر تصادفی نمی توان احتمال نتایج متفاوت را مشخص کرد. شبیه سازی مونت کارلو تکرار مداوم نمونه های تصادفی را انجام می دهد [۲۰]. جهت اثبات صحت پاسخ نویز فاز نوسان ساز، تحلیل مونت کارلو با تیرانس ۵ درصد تمام استاب های مدار با تکرار ۲۵۰ بار انجام شده است. همان طور که در شکل (۱۰) مشاهده می شود، صحت پاسخ نویز فاز نوسان ساز با فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز بیش از ۸۴ درصد است. از آنجایی که مقدار نویز فاز کم تر از ۱۰۰- دسی بل کریر بر هر تتر در نوسان سازها مقدار کاملاً مطلوبی است، در این تحلیل هدف نویز فاز بین ۱۰۰- دسی بل کریر بر هر تتر تا ۱۴۰- دسی بل کریر بر هر تتر تعریف شده است و با این وجود هم دیده می شود که با تیرانس ساخت ۵ درصد با احتمال بیش از ۸۴ درصد به جواب قطعی رسیده ایم و این به معنای عملکرد عالی نوسان ساز است.

#### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله از یک فیلتر میان گذر دارای تلفات عبوری کم با مقدار ۰/۵- دسی بل با ضریب کیفیت بالا، برای اجرای نوسان ساز میکروویو و نوسان ساز کنترل شونده با ولتاژ که هر دو دارای قابلیت ایجاد دو فرکانس نوسان مجزا و غیرهم زمان هستند، استفاده شده است. لازم به ذکر است که این مدار قابلیت ایجاد سه فرکانس نوسان را نیز به صورت مجزا دارد. زیرا فیلتر میان گذر طراحی شده در فرکانس های بالاتر قابلیت ایجاد یک باند عبوری دیگر را دارد، که با بهینه سازی آن می توان یک فرکانس نوسان دیگر ایجاد نمود و در آینده می توان با گسترش مدار به یک نوسان ساز با قابلیت ایجاد سه فرکانس نوسان رسید. مقادیر نویز فازهای ۱۶۳/۴- و ۱۴۶/۹- دسی بل کریر بر هر تتر از شبیه سازی نوسان سازها در فرکانس های حامل ۱/۹۵ و ۵/۴۵ گیگاهرتز در فرکانس آفست یک مگاهرتز حاصل شده است. در مرحله اول یکی از نوسان سازها با فرکانس مرکزی ۱/۹۵ گیگاهرتز به مرحله

ساخت رسیده است. این نوسان‌ساز دارای کم‌ترین نویز فاز در میان نوسان‌سازهای ارائه شده در سال‌های اخیر است. در مقایسه با سایر نوسان‌سازها، طرح پیشنهادی دارای بهترین FOM با مقدار  $228/62$ - و نویز فاز به‌طور قابل‌توجهی کمتر است، این در حالی است که دارای قابلیت ایجاد دو نوسان‌ساز غیرهم‌زمان در یک مدار واحد است. همچنین یک ورکتور به تشدیدکننده‌های شکل فیلتر اضافه شده تا نوسان‌ساز طراحی شده را به یک نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ گسترش دهد. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، نوسان‌ساز کنترل‌شونده با ولتاژ توسعه‌یافته را می‌توان در محدوده فرکانس  $1/84$  تا  $2/05$  گیگاهرتز تنظیم کرد. در این محدوده فرکانسی نویز فاز اندازه‌گیری شده در فرکانس آفست ۱ مگاهرتز در محدوده  $122$ - تا  $146/5$ - دسی‌بل کریر بر هرتز متغیر است. در این مقاله جهت اثبات صحت پاسخ نویز فاز تحلیل مونت‌کارلو با تلرانس ۵ درصد تمام استاب‌ها نیز انجام شده است که همان‌طور که در شکل (۱۰) دیده شد با احتمال بیش از ۸۴ درصد به جواب قطعی رسیده‌ایم. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، نوسان‌سازهای پیشنهادی قابلیت پیاده‌سازی در سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم پیشرفته باند پهن را دارند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است. نویسندگان لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاران حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی و داوران محترم که ما را در انجام و ارتقای کیفی این مقاله یاری نموده‌اند، اعلام نمایند.

## References

### مراجع

- [1] Z. Cai, Y. Yang, X. Zhiyou, D. Lu, Y. Liu, "Ultralow phase-noise different oscillator using quarter stepped-impedance resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 53. no. 12, pp. 806-809, Dec. 2019 (doi: 10.1109/LMWC. 2019.2946308).
- [2] S. Askari, M. Sanaee, "Design and analysis of differential ring voltage controlled oscillator for wide tuning range and low power applications", *International Journal of Circuit Theory and application*, vol. 47, no. 2, pp. 204-216, Dec. 2018 (doi: 10.1002/cta. 2582).
- [3] J. Xu, F. Xiao, Y. Cao, "Low phase noise L-band oscillators based on novel general chebyshev bandpass filters", *International Journal of Circuit Theory and application*, vol. 48, Issue. 1, pp. 72-83, Dec. 2020 (doi: 10.1002/cta. 2718).
- [4] S.J. Cho, N.Y. Kim, "A novel spiral meander spurline resonator and its implementation to a low-phase noise oscillator", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 11, pp. 2258-2262, July 2011 (doi: 10.1002/mop. 26286).
- [5] C.H. Tseng, C.L. Chang, "Design of low phase-noise microwave oscillators and wideband VCO based on microstrip combline bandpass filters", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 60. no. 10, pp. 3151-61, Oct. 2012 (doi: 10.1109/TMTT. 2012.2210441).
- [6] Z. Yang, J. Dong, B. Luo, T. Yang, Y. Lia, "Low phase noise concurrent dual-band oscillator using compact diplexer", *Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 25. no. 10, pp. 672-674, Sept. 2015 (doi: 10.1109/LMWC. 2015.2463217).
- [7] M. Hamidkhani, F. Mohajeri, "A low phase noise microwave oscillator based on a high Q SIW cavity CSRR band-pass filter", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 30. no. 16, pp. 2077-2078, Sept. 2016 (doi: 10.1080/09205071.2016.1231088).
- [8] H. Zhang, W. Kang, W. Wu, "Low phase-noise oscillator based on SIW bandpass filter implementing at the Qsc-peak frequency", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 33. no. 3, pp. 296-303, Nov. 2018 (doi: 10.1080/09205071.2018.1549512).
- [9] W. Xiang, Z. Xiao-Wei, "An X-band push-push oscillator with parallel feedback configuration designed by microstrip balanced bandpass filter", *International Journal of RF Computer-Aided Engineering*, vol. 29, no. 7, pp. 124-139, May 2019 (doi: 10.1002/mmce. 21663).
- [10] S.J. Maleki, M. Dousti, "A compact dual-band bandpass filter using microstrip meander loop and square loop resonators", *IEICE Electronics Express*, Vol. 9, no. 16, pp. 1342-1348, May 2012 (doi: 10.1587/elex. 9.1342).
- [11] M. R. Zobeyri, A. Eskandari, "Design and fabrication of novel single- and dual-band bandpass filters with modern zero-degree feed structure for wireless communications", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 9, no. 16, pp. 47-61, May 2018 (dor: 20.1001.1.23223871.1397.9.33.5.4)

- [12] M. Moradian, S. Nasri, M. Tayarani, "Unequal wilkinson power divider using asymmetric microstrip parallel coupled lines", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 36, no. 9, pp. 13-27, Jan. 2013 (doi: 10.2528/PIERC12110203).
- [13] F. Shiri, M. Dousti, F. shama, "Designing a compact microstrip dual-band filter with two t-shaped resonators and suitable frequency selectivity", *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, vol. 31. no. 14, Article Number: 2250247, July 2022 (doi: 10.1142/S0218126622502474).
- [14] F. Shiri, M. Dousti, F. Shama, "Design and simulation of a dual-band oscillator based on microstrip bandpass filter", *Proceeding of the NCEEIS*, pp. 1-5, Najafabad, Iran, May/June 2022.
- [15] C.L. Chang, C.H. Tseng, "Design of low phase-noise oscillators and Voltage-Controlled Oscillator using microstrip trisection bandpass filter", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 21, no. 11, pp. 622-624, Oct. 2011 (doi: 10.1109/LMWC. 2011.2168199).
- [16] L. Zhipeng, H. Hongyun, L. Yongzhi, B. Jingfu, "Low phase noise Ku-band push-push oscillator based on compact spiral-resonator array", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, no. 7, pp. 1683-1686, April 2015 (doi: 10.1002/mop. 29142).
- [17] M. Asyaei, E. Ebrahimi, "A low-phase noise injection-locked quadrature voltage-controlled oscillator", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 71. no. 2, pp. 319-325, May 2012 (doi: 10.1007/s10-470-011-9779-2).
- [18] S.S. Marganeh, M. Dousti, M. Dolatshahi, B. Ghalamkari, "A novel dual-band tunable notch filter with controllable center frequencies and bandwidths", *International Journal of Electronics and Communications*, vol. 88, pp. 70-77, May 2018 (doi: 10.1016/j. aeue. 2018.02.018).
- [19] S.S. Marganeh, M. Dousti, M. Dolatshahi, B. Ghalamkari, "A dual-mode bandpass filter for GSM, UMTS, WiFi, and WiMAX standards applications", *International Journal of Circuit Theory and application*, vol. 47, no. 4. pp. 561-571, Feb 2019 (doi: 10.1002/cta. 2607).
- [20] M. Asyaei, E. Ebrahimi, "A low-phase noise injection-locked quadrature voltage-controlled oscillator", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 71. no. 2, pp. 319-325, May 2012 (doi: 10.1007/s10-470-011-9779-2).

زیر نویس ها

- 
- 1. Microwave oscillators
  - 2. Quality-factor
  - 3. Phase noise
  - 4. Stepped-impedance resonators
  - 5. Square resonators
  - 6. Elliptical answer
  - 7. Dual-band bandpass filter
  - 8. T-shaped resonators
  - 9. Transmission zero
  - 10. Bias voltage
  - 11. Collector current
  - 12. Radio frequency
  - 13. Advanced design system