

## فیلتر فرایهن باند با استفاده از روش امیدانس پله‌ای با بهبود افت خارج باند

معین نوایی<sup>۱\*</sup> و پژمان رضائی<sup>۲</sup>

| اطلاعات مقاله  | چکیده   |
|--|---|
| دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۵   | در این مقاله، فیلتر میان‌گذر فرایهن باند، با استفاده از امیدانس پله‌ای طراحی شده است. برای طراحی، یک ساختار با امیدانس پله‌ای پیشنهاد و سپس تعدادی از آن‌ها با هم سری شده است. در طراحی اولیه، تنها یک استاب اتصال کوتاه به کار گرفته شده، سپس با توجه به نتایج پاسخ فرکانسی، تعدادی از آن‌ها با هم ترکیب می‌شوند. ابعاد فیلتر پیشنهادی $16 \times 16 \text{ mm}^2$ است. طراحی بر روی زیرلایه‌ای با ثابت دی‌الکتریک $3/38$ و ضخامت $32$ میل با تانژانت تلفات $0/026$ صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی عددی، بیانگر باند عبور $3/35$ تا $22/81$ گیگاهرتز برای فیلتر پیشنهادی معادل پهنای باند کسری $148/7$ درصد است که در مقایسه با نتایج تحقیقات سال‌های اخیر، قابل قبول است. همچنین ریبیل داخل باند عبور آن کمتر از $1$ دسیبل و افت عبوری در خارج باند عبور تا فرکانس $40$ گیگاهرتز بیش از $25$ دسیبل است. نتایج اندازه‌گیری نمونه ساخته‌شده، از تطابق قابل قبولی با نتایج طراحی نرم‌افزار عددی برخوردار است. |
| پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵  |   |
| <b>واژگان کلیدی:</b><br>فیلتر فرایهن باند، امیدانس پله‌ای، افت خارج باند، پهنای باند کسری، سری کردن فیلترها. |   |

### ۱- مقدمه<sup>۱</sup>

ساختارهای فرایهن باند، کاربردهایی وسیع در صنعت دارند. از این سیستم‌های پهن‌بند برای صنایع مخابرات بی‌سیم و نظامی استفاده می‌شود. ساختارهای باند وسیع در حوزه میکروویو به شکل‌های مختلفی مانند فیلتر [۱] و آنتن [۲] وجود دارند. در سال‌های اخیر، روش‌هایی متفاوت برای طراحی و ساخت آن‌ها توسط محققان ارائه شده است. یکی از روش‌های طراحی فیلترهای فرایهن باند، روش موجبر هم سطح است [۱] که فیلتری با ابعاد کوچک تولید کرده، در نتیجه، هزینه را نیز کاهش می‌دهد. اما در طراحی این فیلترها مشکلات هارمونیک‌ها و اعوجاج ناخواسته، همیشه یکی از مسائل مهم است که محققان با استفاده از رزوناتورهای پله‌های امیدانس درصد کاهش آن برآمدند [۳]. طرح پله‌های امیدانس، از روش‌های متداول در این ساختارها است. روش امیدانس پله‌ای به روش‌های

مختلفی محقق شده است؛ مثلاً در نوع پله‌های امیدانس با استاب مدار باز و در نوع شکاف‌دار [۴]، یک فیلتر با قدرت انتخابگری فرکانسی بالا و افت خارج باند قابل قبول طراحی شده است. در این روش، باند قطع وسیعی ایجاد شده که از تداخل آن با باندهای مجاور جلوگیری شود. از مزایای این روش، فشردگی مدار، انتخابگری بالا و افت بازگشتی مناسب آن است [۵]. یکی از روش‌های طراحی فیلترهای فرایهن باند، ایجاد نقص در صفحه زمین است. با نقص‌هایی نظیر دمبلی‌شکل می‌توان پهنای باند فیلتر را افزایش و اعوجاج آن را کاهش داد [۶ و ۷]. در تحقیقی تلاش شده پهنای باند کسری فیلتر افزایش یافته، در تکمیل آن افت مناسبی در خارج باند به دست آید [۸]. تحقق این خواسته، دشوار است؛ اما با استفاده از یک باند قطع قابل تنظیم، به فیلتری با قابلیت تنظیم در باند عبور دست پیدا کردند [۹]. در روش‌های جدید که در سال

\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: moein.navaei@semnan.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان  
۲. دانشیار گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

۲ نشان داده شده است. ساختار فیلتر میکرواستریپ طراحی شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مقادیر المان‌های ۰/۵ دسیبل جدول چپی شف برای فیلتر مرتبه ۷ [۱۳]

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ۴ | ۱/۶۷ | ۱/۱۹ | ۲/۳۶ | ۰/۸۴ | ۱/۹۸ |      |      |      |
| ۵ | ۱/۷۰ | ۱/۲۲ | ۲/۵۴ | ۱/۲۲ | ۱/۷۰ | ۱    |      |      |
| ۶ | ۱/۷۲ | ۱/۲۴ | ۲/۶۰ | ۱/۳۱ | ۲/۴۷ | ۰/۸۶ | ۱/۹۱ |      |
| ۷ | ۱/۷۳ | ۱/۲۵ | ۲/۶۳ | ۱/۳۴ | ۲/۶۳ | ۱/۲۳ | ۱/۷۲ | ۱    |
| ۸ | ۱/۷۴ | ۱/۲۶ | ۲/۶۵ | ۱/۳۵ | ۲/۶۹ | ۱/۳۹ | ۲/۵۳ | ۰/۸۶ |

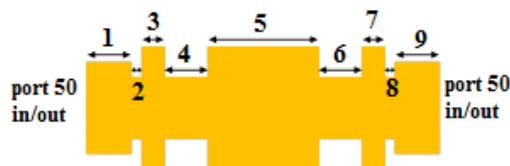
در این جدول، مقادیر نرمالیزه شده سلف و خازن همراه طول معادل آن‌ها در مدل میکرواستریپ نوشته شده است. این مقادیر بر اساس زیرلایه RO4003 با ثابت دی‌الکتریک ۳/۳۸ و ضخامت لایه ۳۲ میل (mil) و تانژانت تلفات ۰/۰۰۲۶ است. امپدانس پورت‌ها برابر ۵۰ اهم و مقادیر  $Z_{low}$  و  $Z_{high}$  به ترتیب برابر ۵۵ و ۳۱ اهم در نظر گرفته شده‌اند. از روابط (۱) و (۲) به ترتیب برای یافتن طول الکتریکی سلف و خازن (برحسب درجه) استفاده شده است [۲۱].

$$\theta = \beta L = \frac{1R_0}{Z_{high}} \times \frac{180}{3.14} \quad (1)$$

$$\theta = \beta L = \frac{cZ_{low}}{R_0} \times \frac{180}{3.14} \quad (2)$$

جدول ۲: ابعاد و مقادیر اجزای عناصر فیلتر طراحی شده

| $n^{th}$<br>Element | Normalized<br>value | Element length |      |
|---------------------|---------------------|----------------|------|
|                     |                     | (deg)          | (mm) |
| ۱                   | ۱ (p)               | ۵۰             | ۱    |
| ۲                   | ۰/۵۰۵۸ (L)          | ۲۶/۵           | ۰/۵  |
| ۳                   | ۰/۷۷۳۷ (C)          | ۲۷/۵           | ۰/۵  |
| ۴                   | ۱/۰۱۷ (L)           | ۵۳             | ۱    |
| ۵                   | ۳/۴۰۴۴۸ (C)         | ۱۲۱            | ۲/۲  |
| ۶                   | ۱/۰۱۷ (L)           | ۵۳             | ۱    |
| ۷                   | ۰/۷۷۳۷ (C)          | ۲۷/۵           | ۰/۵  |
| ۸                   | ۰/۵۰۵۸ (L)          | ۲۶/۵           | ۰/۵  |
| ۹                   | ۱ (p)               | ۵۰             | ۱    |



شکل ۱: طرح فیلتر میکرواستریپ با روش امپدانس پله‌ای

های اخیر استفاده شده، محققان سعی کردند از روش ترکیب فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر برای ساخت فیلتر فرایهین باند استفاده کنند. در مقاله [۱۰] فیلتر بالاگذری در مرتبه ۳ و فیلتر پایین‌گذری در مرتبه ۵ طراحی و سپس با یکدیگر سری شده‌اند؛ اما در مقاله‌ای جدیدتر [۱۱] از همین روش استفاده شده که با اصلاح و بهبود آن، پهنای باند فیلتر افزایش یافته است، ضمن اینکه با کاهش ریبیل باند عبور، افت خارج باند افزایش پیدا کرد.

همچنین فیلتری فشرده در محدوده فرکانسی ۱/۸۶ تا ۱۱/۸۹ گیگاهرتز با ریبیل مناسب طراحی شده است [۱۲]. در روش پله امپدانس، تغییرات ساختار زیرلایه مورد توجه قرار گرفته، به طوری که با کاهش شدید ضخامت زیرلایه به مقدار ۰/۱۸ میکرومتر، پهنای باند کسری فیلتر افزایش یافته است [۱۳]. در مقالات سال‌های اخیر، برای افزایش پهنای باند، در بعضی مواقع از فیلترهای چندباندی [۱۴] و [۱۵] یا از تزویج در نوع T شکل [۱۶] بهره برده‌اند.

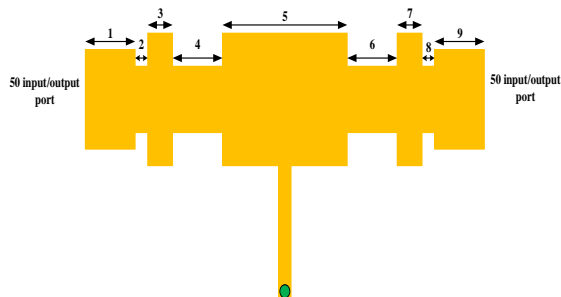
در این مقاله، فیلتر فرایهین باند با استفاده از روش پله‌های امپدانس با تزویج موازی طراحی شده است. این فیلتر پهنای باند کسری بیش از ۱۴۸ درصد دارد. ریبیل داخل باند فیلتر پیشنهادی به کمتر از ۱ دسیبل رسیده، باند قطع وسیعی دارد.

## ۲- روش طراحی

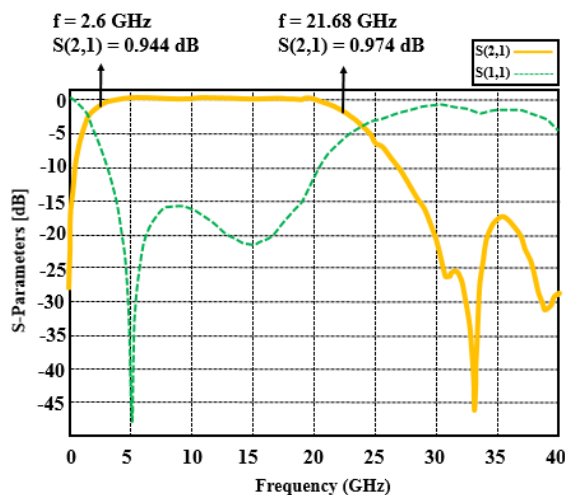
برای طراحی، ابتدا از الگوی پله‌های امپدانس استفاده می‌شود. برای فیلتر پیشنهادی، از محاسبات مدار مرتبه ۷ چپی شف در فرکانس ۲۳ گیگاهرتز (قطع بالا) استفاده شده است [۱۷]. برای این کار، مدل نردبانی با مقادیر عناصر فشرده در حالت نرمالیزه به دست آمده و برای افزایش پهنای باند، روش دیگری استفاده شده است. شیب تیز در فرکانس قطع، از جمله ویژگی‌هایی است که عموماً در کارهای اخیر تأکید شده است [۱۸ و ۱۹].

در طرح پله‌های امپدانس، در مرتبه‌های فرد، اصولاً استاب اتصال کوتاهی در وسط قرار دارد. اگر مقداری که در جدول چپی شف به دست آمده، دوبرابر و مقادیر سایر استاب‌ها نصف شود، پهنای باند افزایش می‌یابد [۲۰]. با توجه به این قضیه، از جدول ۱ که مربوط به ریبیل ۰/۵ دسیبل چپی شف است، مقادیر به دست می‌آید [۱۷]. سپس با اعمال روش فوق، پارامترهای فیلتر مورد نظر به دست آمده که در جدول

نتیجه پهنای خط آن برابر  $0.25$  میلی‌متر و طول آن برابر  $2/6$  میلی‌متر می‌شود. نمودار افت عبوری و افت بازگشتی فیلتر شکل (۳) در آنالیز الکترومغناطیس به صورت شکل (۴) مشاهده می‌شود.



شکل ۳: افزودن یک استاب اتصال کوتاه به فیلتر شکل ۱



شکل ۴: منحنی مشخصه افت عبوری و افت بازگشتی فیلتر منفرد اولیه

## ۲-۲-۲-۲-۲ سری کردن فیلتر

با توجه به شیب افت عبوری در فرکانس قطع در نمودار شکل (۴)، بهتر است شیب آن افزایش پیدا کند. برای این منظور، دو نمونه از این فیلترها با یکدیگر سری شده تا هم ریپل مدار بیشتر از مقدار مد نظر نشود و هم افت خارج باند و شیب افت عبوری در فرکانس قطع بهبود یابد. فیلتر حاصل به صورت شکل (۵) نشان داده شده است. نمودار مشخصه افت عبوری و افت بازگشتی دو فیلتر سری در شکل (۶) مشاهده می‌شود.

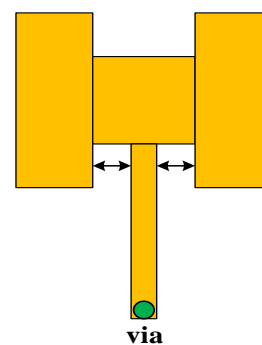
در نمودار شکل (۶) بر مبنای افت عبوری با ریپل کمتر از ۱ دسیبل، محدوده فرکانسی  $3/356$  تا  $22/81$  گیگاهرتز را عبور می‌دهد. همچنین افت عبوری خارج باند تا فرکانس ۴۰ گیگاهرتز بیش از ۲۵ دسیبل است که فیلتری با پهنای باند بیشتر از ۱۹ گیگاهرتز را می‌دهد.

پارامترهای به‌کاررفته در روابط (۱) و (۲) به شرح زیر است:  $\theta$  طول الکتریکی،  $\beta$  ثابت انتشار،  $L$  طول فیزیکی،  $R_0$  مقاومت مشخصه و  $l$  و  $C$  به ترتیب مقادیر ظرفیت سلف و خازن است.

## ۲-۱- طراحی استاب اتصال کوتاه

با توجه به مقادیر امپدانس و طول الکتریکی و مشخصات زیرلایه، پهنای خطوط پورت‌ها  $0.5$  میلی‌متر و پهنای استاب‌های معادل سلف و خازن به ترتیب برابر  $1/8$  و  $0.25$  میلی‌متر به دست می‌آید. اینک استاب اتصال کوتاه به فیلتر اضافه می‌شود تا یک خاصیت خازنی به بخش موازی سیستم بدهد و آن را به فیلتر میان‌گذر تبدیل کند.

در روند طراحی باید تعداد استاب اتصال کوتاه و بهترین مکان برای قرار دادن آن انتخاب شود. هرچه تعداد استاب‌ها بیشتر باشد، از میزان پهنای باند کاسته می‌شود؛ بنابراین از حداقل تعداد استاب، یعنی تنها یک عدد استفاده شده است [۱۱]. این استاب را می‌توان در مقابل هر یک از پله‌ها قرار داد. برای آنکه طول استاب‌ها محدود باشد، اگر استاب اتصال کوتاه به استاب‌هایی که پهنای کمی دارند (سلفی) متصل شود، مطابق شکل (۲) بین استاب اتصال کوتاه و استاب‌های مجاور تزویج به وجود آمده که ریپل زیادی در افت عبوری ایجاد می‌کند. بنابراین استاب اتصال کوتاه به استاب‌های خازنی متصل شده، از بین ۳ استاب، وسطی انتخاب می‌شود تا تقارن مدار را حفظ کند.



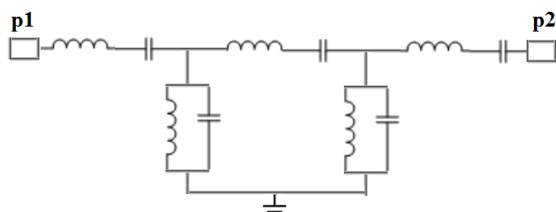
شکل ۲: اتصال استاب اتصال کوتاه به فیلتر

با توجه به اینکه استاب اتصال کوتاه باید به پله میانی وصل شود، طول الکتریکی آن تقریباً برابر طول پله میانی گرفته می‌شود [۲۱] و امپدانس آن برای کاهش ریپل، ماکزیمم مقدار ممکن که مینیمم پهنای ساخت بدهد، قرار داده می‌شود که این مقدار ماکزیمم مینیمم پهنای ساخت می‌شود. بنابراین امپدانس را  $120$  اهم در نظر گرفته، در

فیلتر فراپهن باند با استفاده از روش امیدانس پله‌ای با بهبود افت خارج باند

شده با زمین خواهند داشت و در بخش سری ساختار میکرواستریپ که اتصال کوتاه نشده و به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند، همانند مدار سری رزونانسی سلف و خازن رفتار می‌کنند.

مدار شکل ۸، شکل نهایی مدل مداری ساختار فیلتر میکرواستریپ طراحی شده را نشان می‌دهد.

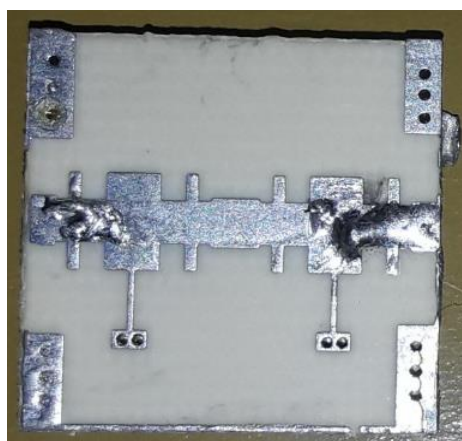


شکل ۸: مدل مداری فیلتر طراحی شده

### ۳- نتایج اندازه‌گیری نمونه فیلتر

پس از مرحله شبیه‌سازی با نرم‌افزار ADS، نمونه فیلتر طراحی شده بر روی زیرلایه RO4003 با ضخامت ۳۲ میلی‌متر و ثابت دی‌الکتریک ۳/۳۸ ساخته شده است. تصویری، از نمونه فیلتر ساخته شده، در شکل (۹) ارائه شده است.

عموماً از زیرلایه RO4003 در چنین فرکانس‌های بالایی استفاده نمی‌شود؛ زیرا ایجاد نویز شدیدی می‌کند. بنابراین از تکنیک‌هایی برای کاهش نویز استفاده شده است. در شکل (۹) مشاهده می‌شود که برای ساخت، به جای هر وایا از دو وایا استفاده شده است. دلیل این کار بهبود عملکرد فیلتر و کاهش نویز بوده، تکنیکی متداول است.

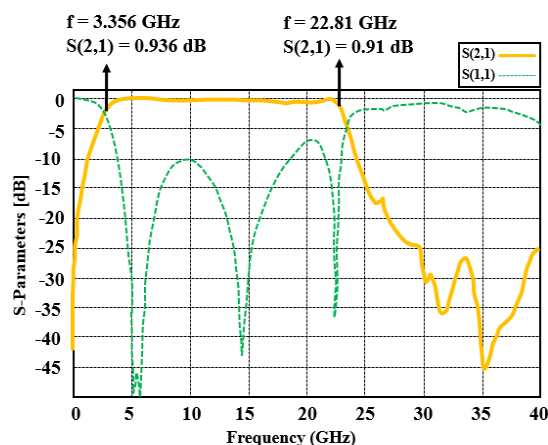


شکل ۹: تصویر فیلتر فراپهن باند ساخته شده

همچنین چهار گوشه برد چند وایا قرار می‌گیرد تا از ایجاد اعوجاج جلوگیری کرده، همچنین از تشعشع ایجاد شده بکاهد. پاسخ فرکانسی فیلتر ساخته شده، در نمودار شکل (۱۰) نشان داده شده است.

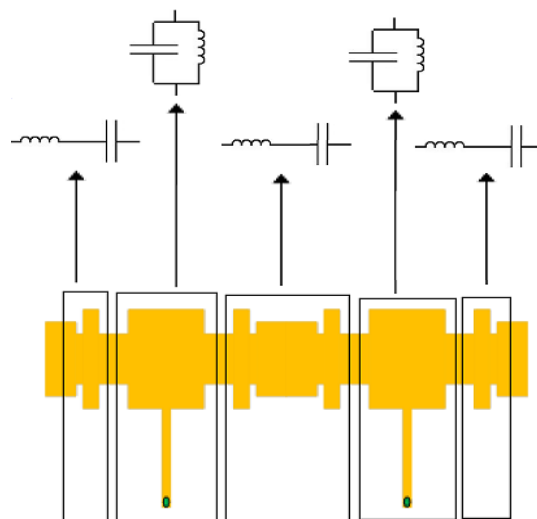


شکل ۵: ترکیب سری دو فیلتر



شکل ۶: منحنی مشخصه افت عبوری و افت بازگشتی ترکیب سری دو فیلتر

خارج از باند عبور نیز افت بسیار خوبی تا بیش از ۱۵ گیگاهرتز بعد از فرکانس قطع دارد که نشان‌دهنده تحقق خواسته طراحی، یعنی باند قطع وسیع است.



شکل ۷: مدل مداری بخش‌های سری و موازی فیلتر طراحی شده

حال که ساختار میکرواستریپ کامل شد، مدل مداری آن ترسیم می‌شود. با توجه به شکل (۷)، بخش‌هایی از فیلتر که با استفاده از ساختار استاب، اتصال کوتاه شده‌اند، یک مدل رزونانسی به صورت سلف و خازن موازی اتصال کوتاه

است. افت خارج باند فیلتر تا فرکانس 40 گیگاهرتز به بیش از 25 دسیبل کاهش یافته است. جدول 3 نشان می‌دهد که فیلتر طراحی شده در این مقاله، در مقایسه با کارهای مشابه گزارش شده اخیر، از نظر ابعاد، نسبت به طول موج هدایت ( $\lambda_g$ )، پهنای باند کسری و افت خارج باند، کیفیتی قابل قبول دارد. همچنین پژوهش ارائه شده نسبت به مقالات اخیر نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه در این تحقیق از زیرلایه‌ای استفاده شده که برای فرکانس‌های بالاتر از 18 گیگاهرتز توصیه نمی‌شود، پهنای باند بیشتر با افت خارج باند بهتری نسبت به سایر مقالات به دست آمده است. در جدول 3، نتایج به دست آمده از فیلتر پیشنهادی با نتایج گزارش شده در سه سال مقایسه شده است.

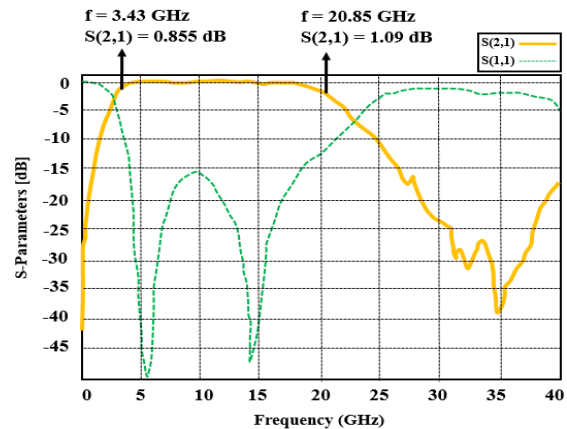
این مقایسه بر اساس 5 پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفته است که شامل مشخصات برد و نیز عملکرد فیلتر شامل ثابت دی‌الکتریک، ضخامت زیرلایه، ابعاد ساختار (بر حسب طول الکتريکی)، پهنای باند و حداقل ریبیل باند قطع در خارج از باند عبور مشخص شده است.

جدول 3: مقایسه نتایج تحقیقات گزارش شده سال‌های اخیر با نتایج فیلتر پیشنهادی

| مرجع      | $\epsilon_r$ | ضخامت (mm) | ابعاد ( $\lambda_g \times \lambda_g$ ) | پهنای باند (%) | حداقل ریبیل باند قطع تا فرکانس |
|-----------|--------------|------------|--|----------------|--------------------------------|
| [4]       | 3/55         | 0/113      | 1/48 × 0/165                           | 52             | >22.28 dB<br><7.4 GHz          |
| [5]       | 2/33         | 0/5        | 0/382 × 0/307                          | 115            | >20 dB<br><17.6GHz             |
| [6]       | 3/55         | 0/508      | 1/1 × 0/4                              | 115            | N.A                            |
| [7]       | 3/38         | 0/113      | 0/35 × 0/35                            | 54/4           | >35 dB<br><6 GHz               |
| [8]       | 3/5          | 0/51       | 0/609 × 0/609                          | 119            | >10 dB<br><11.5GHz             |
| [11]      | 3/38         | 0/11       | 1/45 × 0/28                            | 148            | >30 dB<br><20 GHz              |
| This work | 3/38         | 0/11       | 0/7 × 0/7                              | 148/7          | >25 dB<br><40 GHz              |

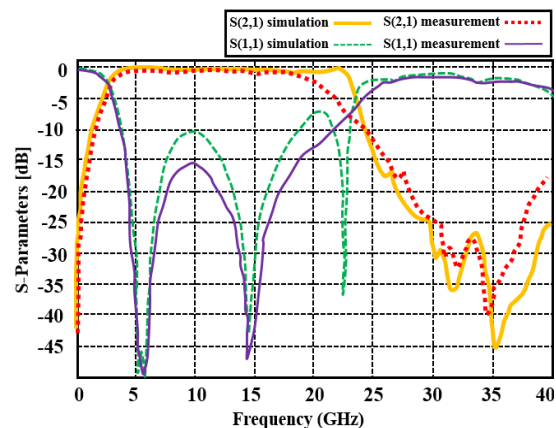
#### 4- نتیجه گیری

در این مقاله، فیلتر فرایهن باند میکرواستریبی با روش پله‌های امپدانس معرفی شده است. ابتدا یک فیلتر پایین‌گذر طراحی و با استفاده از یک وایا تبدیل به فیلتری میان‌گذر شده است. برای بهبود عملکرد آن، دو نمونه از این فیلتر با یکدیگر سری شده‌اند. پهنای باند کسری فیلتر پیشنهادی، بیش از 148 درصد به دست آمده است و نیز افت عبوری آن ریبیلی کمتر از 1 دسیبل دارد.



شکل 10: منحنی اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی افت عبوری و افت بازگشتی فیلتر ساخته شده

در شکل (11) منحنی‌های افت عبوری و افت بازگشتی دو نمودار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری بر روی هم قرار داده شده است. از این شکل پیداست که رفتار دو منحنی تقریباً یکدیگر را تأیید می‌کنند. اختلاف اندک موجود در آن‌ها نیز به دلیل تلفات زیرلایه RO4003 در فرکانس بالا، نوع کانکتور استفاده شده و نحوه لحیم‌کاری است. همچنین در برخی نقاط فرکانسی ممکن است رفتار شبیه‌سازی با اندازه‌گیری یکسان نباشد.



شکل 11: نمایش منحنی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری افت عبوری و افت بازگشتی

این مسئله می‌تواند به دلیل استفاده از زیرلایه‌ای باشد که مورد استفاده قرار گرفته؛ زیرا عموماً از زیرلایه RO4003 برای فرکانس‌های بالاتر از 17 یا 18 گیگاهرتز استفاده نمی‌شود، به دلیل آنکه سیستم دچار نویز شدید می‌شود. با این حال نتایج نشان می‌دهد توافق به نسبت مناسبی میان نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی وجود دارد. ابعاد فیلتر ساخته شده، فشرده و برابر 16×16 میلی‌متر مربع

### تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت دانشگاه سمنان صورت گرفته است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از همکاری آزمایشگاه آقای دکتر احمدی در دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی قدردانی می‌کنند. همچنین از نکات ارزشمند و دقت نظر داوران که کیفیت مقاله را ارتقا دادند، قدردانی می‌شود.

همانطور که در شبیه‌سازی نشان داده شده است، باند قطع تا فرکانس ۴۰ گیگاهرتز بیشتر از ۲۵ دسیبل افت دارد که نشانگر پهنای باند قطع وسیع آن است. شیب افت عبوری در فرکانس قطع بسیار تیز بوده، ابعاد فیلتر نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

### مراجع

- [1] X. Luo, J.-G. Ma, K.S. Yeo and E.-P. Li, "Compact ultra-wideband (UWB) bandpass filter with ultra-narrow dual- and quad-notched bands", *IEEE Trans. Microw. Theory Techniques*, Vol. 59, No. 6, 2011, pp. 1509-1519.
- [۲] زهرا موسوی راضی، پژمان رضایی و نیلوفر بهادری، «آنتن میکرواستریپ جهت‌دار با استفاده از رولایه سطوح انتخابگر فرکانسی در محفظه تشدید فبری پرو»، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، سال سیزدهم، شماره ۴۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۱۷-۲۵.
- [3] P. Sarkar, R. Ghatak, M. Pal and D.R. Poddar, "Compact UWB bandpass filter with dual notch bands using open circuited stubs", *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.*, Vol. 22, No. 9, 2012, pp. 453-455.
- [4] L. Yang, L. Zhu, W.-W. Choi, K.-W. Tam, R. Zhang and J. Wang, "Wideband microstrip-to-microstrip vertical transition with high filtering selectivity using open-circuited slotline SIR", *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.*, Vol. 27, No. 4, 2017, pp. 329-331.
- [5] A. Taibi, M. Trabelsi, A. Slimane, M. T. Belaroussi and J.-P. Raskin, "A novel design method for compact UWB bandpass filters", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 25, No. 1, 2015, pp. 4-6.
- [6] J. Lu, J. Wang and Hui Gu, "Design of compact balanced ultra-wideband bandpass filter with half mode dumbbell DGS", *Electronics Letters*, Vol. 52, No. 9, 2016, pp. 731-732.
- [7] F. Huang, J. Wang, J. Li and W. Wu, "Compact microstrip wideband bandpass filter with high selectivity", *Electronics Letters*, Vol. 52, No. 8, 2016, pp. 626-628.
- [۸] محبوبه خواجوی، نفیسه خواجوی و فرخ حجت کاشانی، «طراحی فیلتر مایکرواستریپ میان‌گذر دوبانده با ایزوله مناسب بین دو باند عبور»، *مجله رادار*، سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۱-۱۶.
- [9] M. Kheir, T. Kröger and M. Höft, "A new class of highly-miniaturized reconfigurable UWB filters for multi-band multi-standard transceiver architectures", *IEEE Access*, Vol. 5, 2017, pp. 1714-1723.
- [10] W. Tang, S. Yang, X. Wang, C. Wang and Y.L. Chow, "A novel UWB bandpass filter using highpass and lowpass filters," 4<sup>th</sup> International High Speed Intelligent Communication Forum, China, 2012, pp. 1-2.
- [۱۱] معین نوایی، امیر حبیبی درونکلا، یعقوب قانع قره‌باغ، «طراحی و ساخت فیلتر میان‌گذر پهن باند با روش سری کردن فیلترها و بهبود افت خارج باند»، *مجله رادار*، سال چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۳۱-۳۶.
- [12] A. Munir, I. Pradibta and M.R. Effendi, "Microstrip-based ultra-wideband composite BPF with short-circuited stubs", *IEEE 10<sup>th</sup> International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering*, Thailand, 2013, pp. 1-3.
- [13] A. Taibi, M. Trabelsi, A. Slimane, A.A. Saadi and M.T. Belaroussi, "Efficient UWB low noise amplifier with high out of band interference cancellation", *IET Microwaves Antennas and Propagation*, Vol. 11, No. 1, 2017, pp. 98-105.
- [14] Sh. Khani, S.V.A.-D. Makki, S.M.H. Mousavi, M. Danaie and P. Rezaei, "Adjustable compact dual-band microstrip bandpass filter using T-shaped resonators", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 59, No. 12, 2017, pp. 2970-2975.
- [15] B. Mohammadi, A. Valizade, J. Nourinia and P. Rezaei, "Design of a compact dual-band-notch ultra-wideband bandpass filter based on wave cancellation method", *IET Microwaves Antennas and Propagation*, Vol. 9, No. 1, 2014, pp. 1-9.

- [16] B. Mohammadi, A. Valizade, P. Rezaei and J. Nourinia, "New design of compact dual band-notch ultra-wideband bandpass filter based on coupled wave canceller inverted T-shaped stubs", *IET Microwaves Antennas and Propagation*, Vol. 9, No. 1, 2015, pp. 64-72.
- [17] G.L. Mathaei, L. Young, E.M.T. Jones, *Microwave filters impedance-matching networks, and coupling structures*, Artech House Books, 1980.
- [18] X. Xia, Xu Cheng, F. Chen and X. Deng, "Compact UWB bandpass filter with sharp roll-off using APCL structure", *Electronics Letters*, Vol. 54, No. 13, 2019, pp. 837-839.
- [19] J. Huayong, R.R. Mansour, "Millimeter-wave ultra wideband multilayer superconducting filter", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 29, No. 5, 2019, pp. 1501205,
- [20] D.M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley & Sons, 2012.
- [21] J.-S. Hong, M.J. Lancaster, *Microstrip filters for RF/microwave applications*, John Wiley & Sons, INC, 2001.