طراحی، شبیه‌سازی و ساخت یک فیلتر پوشیدنی دوبانده برای کاربردهای پزشکی و قابلیت عملکرد در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم GPS و WLAN/HiperLAN2

فرزاد خواجه خلیلی*[۱]، فریبا میرزایی خوزانی[۲]

*۱- استادیار، گروه مهندسی برق، مؤسسه آموزش عالی آزاد کیان، شاهین شهر، اصفهان، khajehkhalili.edu@gmail.com
۲- مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان، اصفهان، fariba.mirzaei1996@gmail.com
تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۰

چکیده: در این مقاله، یک فیلتر دو بانده‌ی پوشیدنی با زیرلایه‌ی جین برای کاربردهای پزشکی و عملکرد در باندهای فرکانسی مخابراتی بی‌سیم استاندارد GPS و WLAN/HiperLAN2 طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. فیلتر پیشنهادی، قابلیت تحقق بازه‌های فرکانسی 1.563-1.678 GHz و 5.15-5.825 GHz برای کاربردهای نامبرده را دارد. استانداردهای فوق به‌طور گسترده در طراحی سیستم‌های مخابراتی-پزشکی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در راستای طراحی این فیلتر، از زیرلایه‌ی جین با ثابت عایقی 2 و ارتفاع 1 mm استفاده شده است. همچنین، از نرم‌افزار تمام-موج CST Microwave Studio 2019 به‌منظور شبیه‌سازی فیلتر استفاده شده است. ابعاد نهائی فیلتر پیشنهادی برابر $6\times4\ cm^2$ یا $0.38\times0.25\ \lambda_g^2$ در فرکانس 1.57 GHz می‌باشد. در نهایت برای تأیید شبیه-سازی‌های انجام شده، فیلتر پیشنهادی ساخته شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مشخصه‌های فیلتر و نتایج شبیه‌سازی، تطابق مناسبی با یکدیگر دارند.

واژه‌های کلیدی: فیلتر، دوبانده، پوشیدنی، تشدیدگر، جین.

۱- مقدمه

ادوات مایکروویوی از جمله فیلترها، از پرکاربردترین و ارزشمندترین بخش‌های یک سیستم‌های مخابراتی هستند. فیلترهای مایکرواستریپ[۱] از دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. این فیلترها مزایای فراوانی از جمله هزینه‌ی ساخت کم، طراحی آسان و ابعاد کوچک دارند [۱]. علی‌رغم مزایای فوق‌الذکر، پهنای باند کم و نامناسب بودن ویژگی‌های تشعشعی آنها در کاربردها آنتنی، مهمترین معایب ساختارهای مایکرواستریپ می‌باشند [۲]. اما ساختارهای مایکرواستریپ کماکان از جمله‌ی محبوب‌ترین فناوری‌ها برای طراحی فیلترها، آنتن‌ها، مقسم‌های توان و دیگر قطعات مخابراتی با ابعاد کوچک، طراحی ساده و هزینه‌ی کم هستند [۳-۵].

در طی سالیان اخیر، پژوهش‌های بسیاری در راستای بهبود عملکرد فیلترهای مایکرواستریپ مانند افزایش پهنای باند، چندبانده‌سازی و همچنین، کاهش ابعاد آنها انجام شده است [۶-۱۵]. راه‌کارهایی همانند به‌کارگیری تشدیدگرهای تزویج‌شده[۲] [۶]، تشدیدگرهای امپدانس پله-ای[۳] [۷ و ۸]، اضافه کردن بخش‌های اضافی و تشدیدگرهای دیگر (استاب‌ها[۴]) [۹ و ۱۰]، فرامواد[۵] [۱۱-۱۳]، ساختارهای موجبر زیرلایه‌ی مجتمع[۶] [۱۴]، استفاده از تشدیدگرهای عایقی [۱۵] و ...، از مؤثرترین پیشنهادها به‌منظور افزایش پهنای باند، چندبانده‌سازی و یا افزایش ضریب کیفیت فیلترها هستند.

تقریباً تمامی روش‌ها و فناوری‌های نامبرده، برای کاربردهای پوشیدنی[۷] و پزشکی مناسب نیستند. علت آن است که عایق‌های مورد استفاده در ساختارهای مایکرواستریپ عموماً غیرمنعطف و خشک

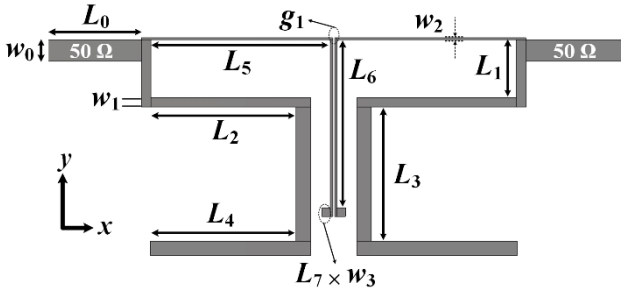
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

هستند. بنابراین، در طی سالیان اخیر، برای کاربردهای پزشکی به‌جای استفاده از عایق‌های خشک و ضخیم و بدون انعطاف مرسوم، از الیاف‌ها استفاده می‌گردد [۱۶-۱۹]. نکته‌ی بسیار مهم آن است که اکثر این مراجع برای طراحی آنتن‌های پوشیدنی استفاده شده‌اند. تا به امروز، در زمینه‌ی فیلترهای پوشیدنی، تحقیقات بسیار کمی صورت گرفته است. لذا، موضوع طراحی فیلترهای پوشیدنی، یکی از به‌روزترین موضوعات برای پژوهشگران در این زمینه می‌باشد.

در این مقاله، یک فیلتر پوشیدنی دوبانده‌ی جدید برای کاربردهای پزشکی، جهت عملکرد در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم GPS[۸] و WLAN/HiperLAN2[۹] با فرض‌های معقول S_{11} < -10 dB و S_{21} > -0.5 dB، طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. برای استاندارد GPS بازه‌ی فرکانسی 1.563-1.678 GHz و همچنین، برای استاندارد WLAN/HiperLAN2 باند فرکانسی 5.15-5.825 GHz پوشش داده شده است. الیاف استفاده شده در این فیلتر، از نوع جین می‌باشد. نتایج مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی این فیلتر، تناسب خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد. تلفات عبوری[۱۰] در فرکانس‌های 1.57 GHz و 5.15 GHz به ترتیب برابر با 0.3 dB و 0.44 dB می‌باشد. همچنین، تلفات بازگشتی[۱۱] در فرکانس‌های فوق برابر 33 dB و 29 dB می‌باشد. ابعاد نهائی فیلتر پیشنهادی برابر برابر $6\times4\ cm^2$ یا $0.38\times0.25\ \lambda_g^2$ در فرکانس 1.57 GHz می‌باشد. در این مقاله و در بخش ۲، به معرفی ساختار فیلتر دو بانده‌ی پیشنهادی پرداخته می‌شود. در همین بخش، تشدیدگرهای به‌کار گرفته شده معرفی و همچنین، توزیع میدان الکتریکی و چگالی جریان، ارائه خواهد شد. در بخش ۳، چندین گزارش پارامتری از تغییرات اعمالی در ابعاد فیلتر پیشنهادی و اثر آنها در عملکرد فیلتر، گزارش خواهد شد. در بخش ۴، نتایج حاصل از اندازه‌گیری مشخصه‌های فیلتر ساخته‌شده‌ی پیشنهادی، ارائه می‌شود. نهایتاً و در بخش ۵، نتیجه‌گیری نهائی این مقاله، گزارش خواهد شد.

۲- فیلتر دوبانده‌ی پوشیدنی پیشنهادی

فیلتر پوشیدنی دوبانده‌ی پیشنهادی، در شکل (۱) نمایش داده شده است. با توجه به این پیکربندی، فیلتر پیشنهادی از یک تشدیدگر امپدانس پله‌ای و یک تشدیدگر تاشده تشکیل شده است. استفاده از این دو تشدیدگر، دو باند فرکانسی مطلوب یعنی استانداردهای GPS و WLAN/HiperLAN2 را محقق نموده است. عایق مورد استفاده از جنس جین، با ثابت عایقی (ضریب نفوذپذیری الکتریکی نسبی) ۲ و ضخامتی برابر ۱ mm می‌باشد. برای شبیه‌سازی فیلتر پوشیدنی پیشنهادی، از نرم‌افزار تمام-موج CST Microwave Studio 2019 استفاده شده است. با توجه به شکل (۲)، ابعاد تعیین‌شده‌ی فیلتر پیشنهادی برای کاربردهای فوق عبارتند از: $L_0 = 9$، $w_0 = 2$، $w_1 = 0.9$، $w_2 = 0.18$، $w_3 = 0.8$، $L_1 = 5.4$، $L_2 = 13.55$، $L_3 = 12.5$، $L_4 = 13.6$، $L_5 = 16.76$، $L_6 = 15.7$، $L_7 = 0.8$ و همچنین $g_1 = 0.2$ (همگی بر حسب میلی‌متر).

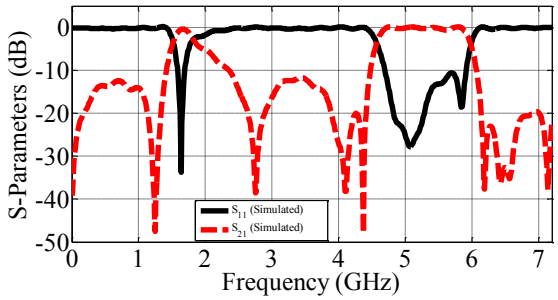


شکل (۱): هندسه‌ی فیلتر دوبانده‌ی پوشیدنی پیشنهادی

در شکل (۲)، پارامترهای پراکندگی[۱۲] فیلتر پیشنهادی یعنی مشخصه‌های S_{11} و S_{21}، ارائه شده‌اند. با توجه به این نتایج، این فیلتر استانداردهای GPS و WLAN/HiperLAN2 را به‌خوبی پوشش داده است. بازه‌های فرکانسی فوق‌الذکر به‌ترتیب معادل 1.563-1.678 GHz و 5.15-5.825 GHz می‌باشند. لازم به ذکر است. در ادامه و در بخش (۲-۱)، تشدیدگرهای مورد استفاده معرفی خواهند شد. همچنین در بخش (۲-۲) نیز، مؤلفه های میدانی فیلتر پیشنهادی یعنی میدان الکتریکی و چگالی جریان سطحی برای فرکانس‌های کار، ارائه خواهند شد.

۲-۱- معرفی تشدیدگرهای به‌کار گرفته شده

در این بخش، تشدیدگرهای نمایش داده شده در شکل (۳) معرفی می‌شوند. تشدیدگرهای نامبرده از نوع تشدیدگرهای امپدانس پله‌ای معرفی شده در مرجع [۷] می‌باشند. فرکانس تشدید این ساختارها عموماً با توجه به تحلیل مدهای زوج و فرد[۱۳]، تنظیم می‌گردند. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده در مرجع [۱]، با کنار یکدیگر قراردادن این تشدیدگرها و قرارگیری آنها در کنار دیگر بخش‌های فیلتر و نتیجتاً رخداد تزویج متقابل، نهایتاً نیاز به یک تنظیم و بهینه‌سازی نهائی نیز در ابعاد تشدیدگرها وجود دارد. این بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار CST صورت پذیرفته و ابعاد گزارش‌شده در بخش پیشین، حاصل گردیده‌اند.

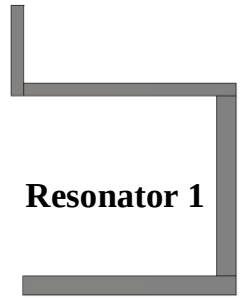


شکل (۲): پارامترهای پراکندگی فیلتر پوشیدنی پیشنهادی

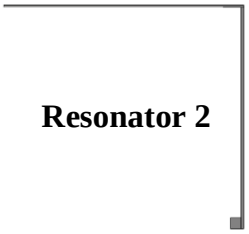
در ابتدا و تنها، دو تشدیدگر طراحی‌شده مورد تحلیل قرار گرفته و با چشم‌پوشی از تزویج متقابل، پاسخ فرکانسی آنها محاسبه گردیده است. این نتایج در شکل (۴) گزارش شده‌اند. بر اساس این شکل، این تشدیدگرها، دو باند فرکانسی در فرکانس‌های 1.57 GHz و 5.7 GHz را ایجاد می‌نمایند. علت انتخاب تشدیدگرهای امپدانس پله‌ای آن است که

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

بتوان با در کنار یکدیگر قرار دادن آنها و استفاده‌ی مناسب از فضا، به ابعاد ترجیحاً کوچک نیز دست یافت [۲].

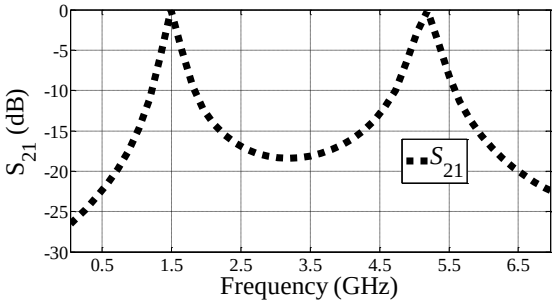


(الف)



(ب)

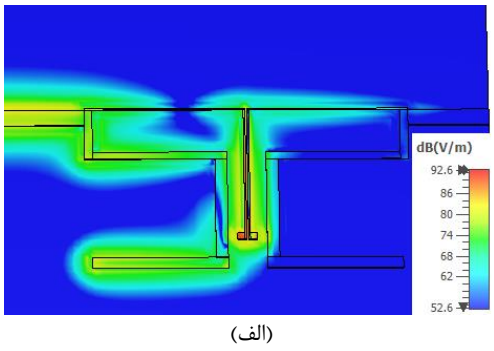
شکل (۳): تشدیدگرهای به‌کار گرفته شده در فیلتر پیشنهادی



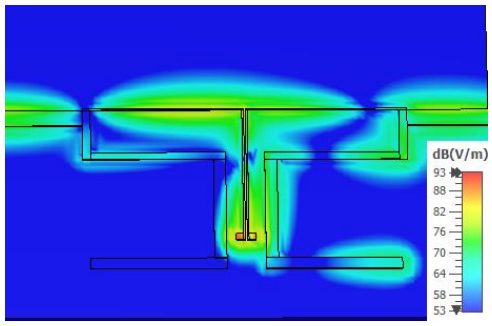
شکل ۴: پارامتر S_{21} تشدیدگرهای امپدانس پله‌ای مورد استفاده

۲-۲- توزیع میدان الکتریکی و چگالی جریان

در این بخش، به ارائه‌ی توزیع میدان الکتریکی و همچنین، چگالی جریان سطحی به‌منظور تعیین بخش‌های کلیدی در تعیین فرکانس‌های کار پرداخته می‌شود. ابتدائاً در شکل (۵)، میدان الکتریکی برای هر دو فرکانس 1.57 GHz و 5.15 GHz نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۵-الف)، مشاهده می‌شود که در فیلتر پیشنهادی برای فرکانس 1.57 GHz، در حوالی تشدیدگر ۲، بیشترین میزان میدان الکتریکی ایجاد گردیده که نتیجتاً منجر به ایجاد جریان الکتریکی قوی و تحقق باند فرکانسی مطلوب اول (GPS) می‌گردد. در شکل (۵-ب)، در بخش تشدیدگر ۱، بیشترین توزیع و میزان میدان الکتریکی برای فرکانس 5.15 GHz وجود دارد. لذا وجود این میدان، باعث ایجاد چگالی جریان الکتریکی قوی در این محدوده و تحقق باند فرکانسی استاندارد WLAN/HiperLAN2 می‌شود.



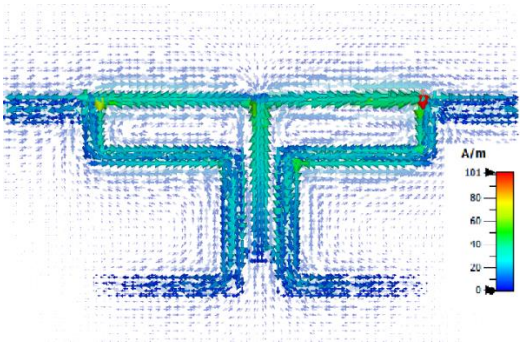
(الف)



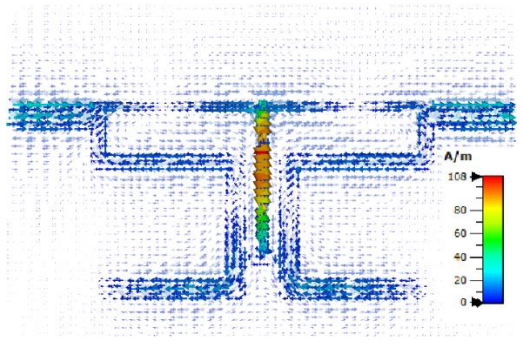
(ب)

شکل (۵): توزیع میدان الکتریکی در (الف) 1.57 GHz و (ب) 5.15 GHz

توزیع جریان‌های الکتریکی ایجاد شده در دو فرکانس 1.57 GHz و 5.15 GHz به‌ترتیب در شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب) ارائه شده‌اند. بر اساس این شکل‌ها به‌سادگی می‌توان نتیجه گرفت میدان‌های الکتریکی حاصل، باعث ایجاد چگالی جریان الکتریکی سطحی شده و نتایجتاً باندهای فرکانسی مدنظر استانداردهای GPS و WLAN/HiperLAN2 را ایجاد می‌نمایند.



(الف)



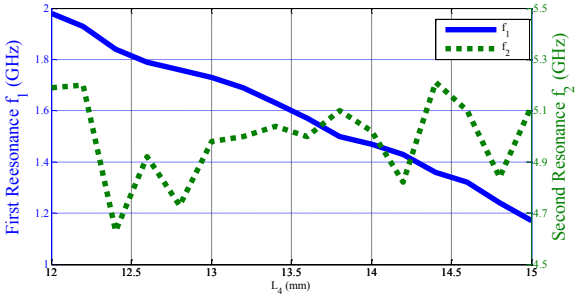
(ب)

شکل (۶): توزیع جریان الکتریکی در (الف) 1.57 GHz و (ب) 5.15 GHz

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

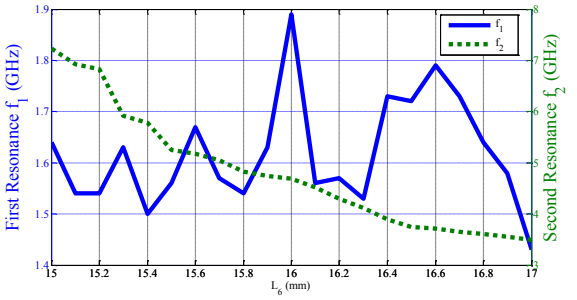
۳- گزارش تغییرات پارامتری

حال در جهت توجیه مناسب‌تر رفتار فرکانسی هر یک از تشدیدگرها، چند گزارش پارامتری از تغییرات ابعاد و تأثیر آن بر مشخصه‌های پراکندگی فیلتر پوشیدنی پیشنهادی، ارائه شده است. در شکل (۷)، موقعیت فرکانسی تشدیدهای اول (f_1) و دوم (f_2) به‌ازای تغییرات در طول تشدیدگر اول (تغییر L_4) گزارش شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش L_4، تشدید اول به سمت فرکانس‌های کوچکتر میل می‌کند. این در حالی است که فرکانس تشدید دوم، تقریباً ثابت باقی می‌ماند.



شکل (۷): تغییر محل فرکانس‌های تشدید به‌ازای تغییرات L_4

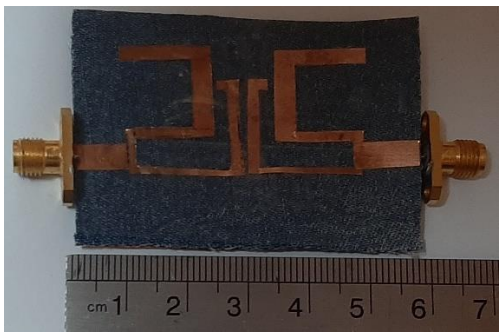
در شکل (۸)، با تغییر طول تشدیدگر دوم (L_6)، محل دقیق تشدیدهای f_1 و f_2 نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که با تغییر در پارامتر L_6، فرکانس تشدید دوم جابجا شده و فرکانس تشدید اول، تقریباً ثابت می‌ماند. گزارش‌های این بخش نشان می‌دهد که باندهای فرکانسی این فیلتر، تقریباً مجزا می‌باشند؛ البته به‌ازای تغییرات در طول‌های تشدیدگرهای اول و دوم به ترتیب کمتر از 3 mm و 2 mm.



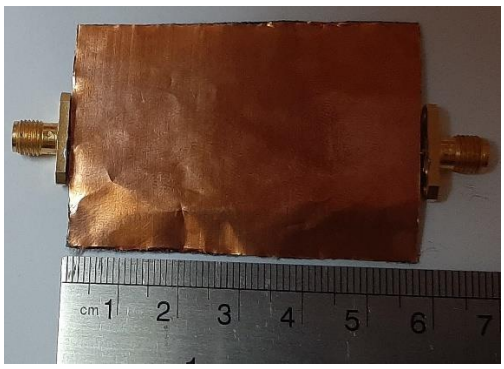
شکل (۸): تغییر محل فرکانس‌های تشدید به‌ازای تغییرات L_5

۴- شرح و بحث نتایج

در انتها پس از ارائه‌ی شبیه‌سازی و گزارش‌های لازم، فیلتر پیشنهادی ساخته شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری مشخصه‌های آن نیز به‌دست آمد. نتایج اندازه‌گیری شده‌ی پارامترهای پراکندگی فیلتر پیشنهادی، توسط تحلیل‌گر شبکه‌ای HP872 و پس از کالیبراسیون مناسب، در مرکز تحقیقات مخابرات ایران، به‌دست آمده‌اند. لازم به ذکر است که در ورودی و خروجی فیلتر به منظور اندازه‌گیری مشخصه‌های آن، از دو کانکتور SMA 2.9، مدل R127632001 و تولید شده توسط شرکت Radiall استفاده شده است. عکس نمونه‌ی ساخته‌شده‌ی فیلتر پوشیدنی پیشنهادی در نماهای بالائی و پایینی، در شکل (۹) نمایش داده شده است. ابعاد نهائی این فیلتر برابر با $6\times4\ cm^2$ یا $0.38\times0.25\ \lambda_g^2$ می‌باشد. λ_g طول موج در فرکانس 1.57 GHz است.



(الف)



(ب)

شکل (۹): عکس فیلتر ساخته شده‌ی پیشنهادی

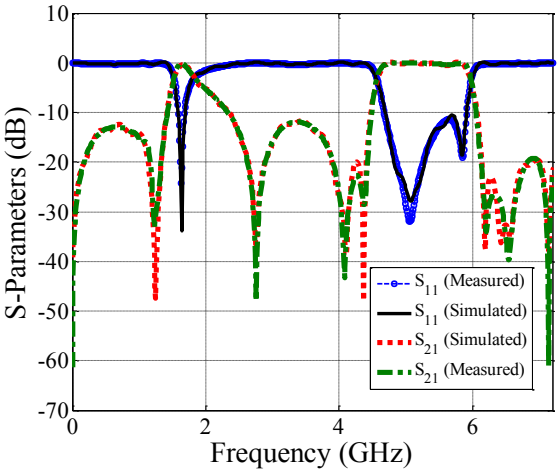
در شکل (۱۰)، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی فیلتر پیشنهادی پوشیدنی دوبانده، نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که تطابق قابل قبولی بین این دو نتایج برقرار می‌باشد. همچنین، در حالت اندازه‌گیری شده نیز پوشش باندهای فرکانسی استانداردهای مخابراتی GPS (1.563-1.678 GHz) و WLAN/HiperLAN2 (5.15-5.825 GHz)، به‌خوبی محقق شده است. برای حالت مشخصه‌های اندازه‌گیری شده، میزان تلفات عبوری در فرکانس‌های 1.57 GHz و 5.15 GHz به‌ترتیب برابر 0.44 dB و 0.3 dB هستند. همچنین، تلفات بازگشتی در فرکانس‌های فوق برابر 33 dB و 29 dB می‌باشد.

در شکل (۱۱)، تأخیر گروه برای فیلتر پیشنهادی ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که تغییرات این پارامتر در باندهای فرکانس کاری، بین 0 تا 1 ns است. همچنین، بیشترین تأخیر در باندهای فرکانسی، برابر 1 ns برای فرکانس 5.7 GHz می‌باشد. این نتایج نیز مورد قبول و مناسب هستند.

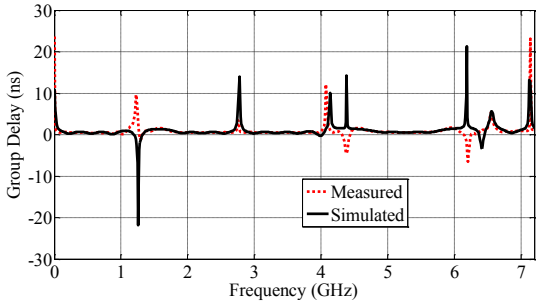
در نهایت به‌منظور ارائه‌ی یک مقایسه‌ی کامل بین عملکرد این فیلتر و دیگر طرح‌های گزارش شده در مراجع، جدول (۱) تدوین شده است. طبق این جدول، مشاهده می‌گردد که فیلتر پیشنهادی، عملکرد قابل قبولی دارد. از جمله‌ی مزایای این فیلتر می‌توان به تلفات عبوری

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

کم، ابعاد مناسب، قابل پوشیدن بودن و همچنین، طراحی ساده اشاره کرد.



شکل (۱۰): پارامترهای پراکندگی فیلتر پوشیدنی پیشنهادی



شکل (۱۱): تأخیر گروه فیلتر پوشیدنی پیشنهادی

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک فیلتر دوبانده‌ی پوشـــیدنی با قابلیت عملکرد در سیستم‌های مخابراتی بی سیم و طراحی، شبیه سازی و ساخته شده اســت. ابعاد نهائی این فیلتر برابر با $24\ cm^2$ می‌باشــد. نتایج حاصــل از اندازه‌گیری مشـــخصـــه‌های این فیلتر دارای تناســـب خوبی با نتایج شـــبیه‌ســـازی تمام-موج می‌باشـــد. از جمله‌ی مهمترین ویژگی‌های این فیلتر قابل پوشیدن بودن برای کاربردهای پزشکی می‌باشد.

مراجع

[1] V. Crnojevic´-Bengin, *Advances in Multi-Band Microstrip Filters*. Cambridge University Press, 2015.

[2] F. Khajeh-Khalili and M. A. Honarvar, "A design of triple lines Wilkinson power divider for application in wireless communication systems," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 30, no. 16, pp. 2110-2124, Oct. 2016.

[3] F. Khajeh-Khalili, M. A. Honarvar, A. Dadgarpour, B. S. Virdee, and T. A. Denidni, "Compact tri-band Wilkinson power divider based on metamaterial structure for Bluetooth, WiMAX, and WLAN applications," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 33, no. 6, pp. 707-721, Mar. 2019.

[4] F. Khajeh-Khalili, M. A. Honarvar, and A. Dadgarpour, "High-gain bow-tie antenna using array of two-sided planar metamaterial loading for *H*-band applications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 28, no. 7, pp. 1-7, Sep. 2018.

[5] F. Khajeh-Khalili and M. A. Honarvar, "A design of triple lines Wilkinson power divider for application in wireless communication systems," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 30, no. 16, pp. 2110-2124, Oct. 2016.

[6] I. Jadidi, M. A. Honarvar, and F. Khajeh-Khalili, "Compact tri-band microstrip filter for Bluetooth, WiMAX, and WLAN applications," *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 91, pp. 241-252, Apr. 2019.

[7] R. Gómez-García, L. Yang, J. Muñoz-Ferreras, and D. Psychogiou, "Selectivity-enhancement technique for stepped-impedance-resonator dual-passband filters," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 29, no. 7, pp. 453-455, Jul. 2019.

[8] P. Kim, G. Chaudhary, and Y. Jeong, "Wide-stopband and high selectivity step impedance resonator bandpass filter using T-network and antiparallel coupled line," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 13, no. 11, pp. 1916-1920, 2019.

[9] M. Mirzaei and M. A. Honarvar, "Compact planar quad-band bandpass filter for application in GPS, WLAN, WiMAX and 5G WiFi," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, vol. 63, 115–121, Nov. 2016.

[10] M. A. G. Elsheikh and A. M. E. Safwat, "Wideband modeling of SRR-loaded coplanar waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 3, pp. 851-860, Mar. 2019.

[11] A. S. Noori, X. Shang, C. Guo, T. J. Jackson, P. A. Smith, and M. J. Lancaster, Microwave filters based on novel dielectric split-ring resonators with high unloaded quality factors," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 12, no. 8, pp. 1389-1394, Jun. 2018.

[12] T. A. Elwi, "Printed microwave metamaterial-antenna circuitries on nickel oxide polymerized palm fiber substrates," *Scientific Reports*, vol. 9, Feb. 2019.

[13] A. Vallecchi, D. Cadman, W. G. Whittow, J. Vardaxoglou, E. Shamonina, and C. J. Stevens, "3-D printed bandpass filters with coupled vertically extruded split ring resonators," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 11, pp. 4341-4352, Nov. 2019.

[14] A. Iqbal, J. J. Tiang, C. K. Lee, N. K. Mallat, and S. W. Wong, "Dual-band half mode substrate integrated waveguide filter with independently tunable bands," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2019.

[15] R. K. Jazi, M. A. Honarvar, and F. Khajeh-Khalili, "High Q-factor narrow-band bandpass filter using cylindrical dielectric resonators for X-band applications," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, vol. 77, no. 10, pp. 65-71, Jul. 2018.

[16] M. Zhao and Y. Zhang, "Compact wearable 5-GHz flexible filter," *Electronics Letters*, vol. 53, no. 10, pp. 661-663, May 2017.

[17] A. Vosoogh, A. Uz Zaman, V. Vassilev, and J. Yang, "Zero-gap waveguide: A parallel plate waveguide with flexible mechanical assembly for mm-wave antenna applications," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 12, pp. 2052-2059, Dec. 2018.

[18] A. Arif, M. Zubair, M. Ali, M. U. Khan, and M. Q. Mehmood, "A compact, low-profile fractal antenna for wearable on-body WBAN applications," *IEEE Antennas*

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

and Wireless Propagation Letters, vol. 18, no. 5, pp. 981-985, May 2019.

[19] F. Khajeh-Khalili, O. Khoubneshan, and M. Khanjari, "Design, simulation, and fabrication of a wearable dual-band filter with felt substrate for application in medical systems," *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 10, no. 40, pp. 55-60, Feb. 2020.

جدول (۱): مقایسه‌ی عملکرد فیلتر پوشیدنی پیشنهادی با دیگر مراجع

پوشیدنی بودن	میزان پیچیدگی	ابعاد (λ_g^2)	تلفات بازگشتی (dB)	تلفات عبوری (dB)	فرکانس (GHz)	مرجع
خیر	نرمال	۰/۰۳۸	۱۲-۱۴-۱۸	۱/۶-۲/۲-۰/۵	۲/۴-۳/۵-۵/۲	[۶]
خیر	نرمال	۰/۰۲۱	۱۹/۲۴	۱/۲۱-۱/۹۵	۱/۵۷-۲/۳۸	[۷]
خیر	نرمال	۰/۰۲۵	۱۲/۲-۱۳/۶-۱۴/۰-۱۴/۵	۱/۹-۱/۶-۱/۲-۱/۵	۱/۵۵-۲/۴-۴/۰۶-۵/۰	[۸]
خیر	زیاد	۰/۱۲۲	۱۶/۷۶	۱/۵	۵/۵	[۱۶]
بله	**کم**	**۰/۰۳۳**	**۳۳-۲۹**	**۰/۴۴-۰/۳**	**۱/۵۷-۵/۳۵**	**This work**

زیرنویس‌ها

[1] Microstrip
[2] Coupled resonators
[3] Stepped-impedance resonator
[4] Stub
[5] Metamaterial
[6] Substrate integrated waveguide
[7] Wearable
[8] Global Positioning System (GPS)
[9] Wireless Local Area Network (WLAN)
[10] Insertion loss
[11] Return loss
[12] Scattering parameters
[13] Even-odd mode analyze

رزومه



فرزاد خواجه خلیلی در اصفهان متولد شده است (۱۳۶۸). وی تحصیلات دانشگاهی خود را در مقاطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق- مخابرات (۱۳۹۴) و دکتری مهندسی برق- مخابرات در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد (۱۳۹۸) با بالاترین درجه سپری کرده است. ایشان اکنون عضو هیأت علمی مؤسسه آموزش عالی آزاد کیان می‌باشد و سابقه‌ی تدریس در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی مختلف را دارد. دکتر خواجه خلیلی عضو بنیاد نخبگان ایران بوده و از سال ۱۳۹۷، سردبیر و عضو هیأت تحریریه مجله مهندسی برق کیان نیز می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه‌ی طراحی ادوات مخابراتی نظیر فیلترها، مقسم‌های توان و همچنین آنتن‌ها می‌باشد. ایشان تاکنون بیش از ۲۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر منتشر نموده و داور بین‌المللی چندین مجله از انتشارات IEEE، IET، Taylor and Francis، ELSEVIER و Wiley می‌باشد.



فریبا میرزایی خوزانی در اصفهان متولد شده است (۱۳۷۵). وی تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی رشته‌ی مهندسی پزشکی- بیوالکتریک (۱۳۹۴) در مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان (۱۳۹۸) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه‌ی طراحی ادوات مخابراتی-پزشکی نظیر فیلترها، مقسم‌های توان و همچنین آنتن‌ها می‌باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Design, Simulation, and Fabrication of a Dual-Band Wearable Filter for Medical Applications and Functionality in GPS and WLAN/HiperLAN2 Wireless Communication Systems

Farzad Khajeh-Khalili[1*], Fariba Mirzaei Khoozani[2]

*1-Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Kian Institute of Higher Education, Shahin-Shahr, Isfahan, khajehkhalili.edu@gmail.com
2-ACECR Institute of Higher Education, Isfahan, fariba.mirzaei1996@gmail.com

Abstract: In this paper, a wearable dual-band filter with Jeans substrate is designed, simulated, and fabricated for medical applications and performance in standards GPS and WLAN/HiperLAN2 wireless frequency bands. The proposed filter is capable of covering the frequency ranges of 1.563-1.678 GHz and 5.15-5.825 GHz for the mentioned applications. These standards are widely used in the design of telecommunication-medical systems. To design this filter, a Jeans substrate with dielectric constant of 2 and height of 1 mm was used. CST Microwave Studio 2019 full-wave software is also used to simulate the filter. The final dimensions of the proposed filter are 6×4 cm^2 or 0.38×0.25 λg^2 at 1.57 GHz. Finally, a filter was fabricated to confirm the simulations. The results of the measurement of the filter properties and the simulation results are in good agreement with each other.

Keywords: Filter, Dual-Band, Wearable, Resonator, Jeans.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.4.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]