

طراحی و شبیه‌سازی یک فیلتر میانگذر فوق‌پهن-باند (UWB) جدید با قدرت گزینش‌گری بالا، ابعاد کوچک و باند توقف بالایی وسیع بر اساس یک رزوناتور چند - مدی

سید جمال الدین برهانی جهرمی^(۱) - محمد امین هنرور^(۲) - عبدالمهدی دادگروپور^(۳)

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد

(۲) استادیار - دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد

(۳) دانشجوی دکتری - دانشکده برق، دانشگاه کبک، مونترال کانادا

تاریخ دریافت: تابستان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۹۲

خلاصه: در این مقاله یک فیلتر میانگذر فوق‌پهن-باند مایکرواستریپی جدید با استفاده از یک رزوناتور چند-مدی (MMR) بارگذاری شده با استاب طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی شده است. ساختار MMR پیشنهادی از یک رزوناتور امپدانس-پله‌ای اصلاح شده‌ی (MSIR) سه-مدی و بارگذاری یک استاب امپدانس-پله‌ای خم‌شده (FSIS) ترکیب‌بندی شده است. استاب بارگذاری شده دو مد تشدید دیگر و همزمان دو صفر انتقال تولید می‌کند. ابعاد MMR به گونه‌ای مناسب تنظیم شده‌اند که پنج مد-تشدید اول از آن در باند عبور مطلوب، یعنی بازه‌ی فرکانسی 3.1-10.6GHz قرار گیرند و همچنین دو صفر انتقال از رزوناتور نیز در لبه‌های باند عبور برای افزایش گزینش‌گری فیلتر قرار گرفته‌اند. در نهایت با استفاده از خطوط تزویج اینتردیجیتال موازی دارای شکاف در لایه‌ی زمین برای تغذیه یک فیلتر فوق‌پهن-باند با ابعاد کوچک، گزینش‌گری بالا، عملکرد مناسب در باند عبور و باندهای توقف وسیع حاصل شده است. نتایج شبیه‌سازی در تطابق بسیار خوبی با ملزومات حالت ایده‌آل فیلترهای UWB می‌باشند.

کلمات کلیدی: فوق-پهن‌باند، فیلتر میانگذر، رزوناتور با مدچندگانه (MMR)، دامنه‌ی حذف تیز، ابعاد کوچک.

Design and Simulation of a Novel UWB Bandpass Filter with Sharp Roll-Off, Compact Size and Wide Upper Stopband based on a Multiple-Mode Resonator

Seyyed Jamal Borhani⁽¹⁾ - Mohammad Amin Honarvar⁽²⁾ - Abdolmehdi Dadgarpour⁽³⁾

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch
sj.borhani@yahoo.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch
amin.honarvar@gmail.com

(3) PhD Candidate - Department of Electrical Engineering, Quebec University of Montreal
mehdidadgar60@gmail.com

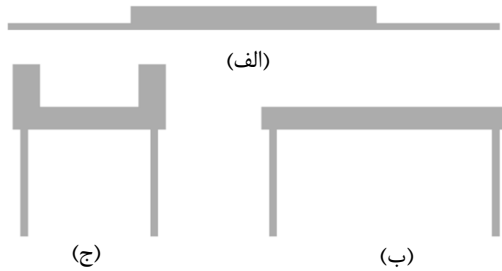
In this paper, a novel microstrip-line ultra-wideband (UWB) bandpass filter (BPF) based on multiple-mode resonator (MMR) is designed, analyzed and simulated. The structure of the proposed MMR is constructed by a modified triple-mode stepped-impedance resonator (MSIR) loaded with a folded step-impedance stub (FSIS). This stub-loaded resonator could generate two more resonate modes and two transmission zeros (TZs) simultaneously. Proposed MMR's dimensions are properly tuned so that the first five resonate modes of the proposed MMR are roughly allocated in the desirable bandpass, i.e. 3.1-10.6GHz, as well as two TZs at the edge of the passband, leading to sharp roll-off. Finally, with using aperture-backed interdigital-coupled lines for feeding, an UWB BPF with compact size, high selectivity, good performance in-band, and wide stopbands is obtained. Simulation results are in excellent agreement with UWB BPF ideal case.

Index Terms: Ultra-wideband (UWB), bandpass filter (BPF), multiple-mode resonator (MMR), sharp rejection skirt, compact size.

۱- مقدمه

به عنوان یک بلوک کلیدی، فیلترهای با ابعاد کوچک، دامنه‌ی حذف تیز و عملکرد مناسب در باند عبور و باند توقف، در سیستم‌های میکروویوی فوق‌العاده مورد نیاز می‌باشند. در سال‌های اخیر فیلترهای میکروویوی فوق‌پهن-باند^۱ (UWB) برای کاربرد در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم با نرخ انتقال داده‌ی بسیار بالا، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از یک طرف عملکرد فیلترهای میانگذر فوق‌پهن-باند باید در محدوده‌ی فرکانسی بسیار وسیعی یعنی بین 3.1GHz تا 10.6GHz باشد [۱] و از طرف دیگر تئوری موجود برای طراحی فیلترها با فرض باند عبور باریک توسعه یافته‌اند. بنابراین طراحی فیلترهای UWB با باند عبور فوق‌پهن-باند که محدوده‌ی فرکانسی آن توسط FCC در سال ۲۰۰۲ معرفی شد، به عنوان یکی از چالش‌های بزرگ طراحی فیلتر مطرح می‌باشد [۲].

به عنوان یک روش امیدبخش و موفق، رزوناتورهای با مدچندگانه^۲ یا MMRها به طور گسترده در طراحی فیلترهای میانگذر UWB مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳-۱۰]. تکنیک MMR، اولین بار در [۳] با قرار دادن سه مد تشدید از یک رزوناتور امپدانس-پله‌ای (SIR)^۳ در باند عبور 3.1-10.6GHz برای طراحی یک فیلتر UWB استفاده شد. در [۴،۵] فیلترهای با باند توقف بالایی وسیع و ابعاد کوچک بر اساس MMRهای بارگذاری شده با استاب چهار-مدی پیشنهاد شدند، اما این فیلترها دارای مشکل گزینش‌گری^۴ پایین بودند. در کارهای بعدی نیز چندین فیلتر پنج-مدی با ترکیب‌بندی‌های مختلف برای کاهش ابعاد، افزایش گزینش‌گری و همچنین افزایش باندتوقف بالایی پیشنهاد شدند [۶-۹]. به عنوان یکی از اولین کارها فیلتر UWB با MMR پنج-مدی، در [۶] معرفی شد که ابعاد فیلتر کوچک اما گزینش‌گری آن پایین و استفاده از استاب اتصال کوتاه نیز به عنوان یک مشکل در ساخت مطرح است. در [۷،۸] رزوناتورهای بارگذاری شده با استاب امپدانس-پله‌ای برای طراحی فیلترهای UWB پنج-مدی با عملکرد فیلترینگ خوب مورد استفاده قرار گرفتند اما باند توقف بالایی باریکی داشتند. در [۹] باند توقف بالایی تا بیش از 30GHz گسترده شد اما تلفات عبوری در باند $|S_{21}| = 1.4dB$ بود و ابعاد و دامنه‌های حذف فیلتر همچنان نیاز به بهبود داشت. ساختار MMR جدیدی برای بهبود حذف خارج از باند با ایجاد دو صفر انتقال در باند توقف بالایی در [۱۰] پیشنهاد شد اما دامنه‌های حذف فیلتر فروافتادگی تیزی نداشتند و باند توقف بالایی نیز باریک بود.



شکل (۱): (الف) SIR معمولی. (ب) SIR خم شده. (ج) ساختار SIR اصلاح شده‌ی جهت استفاده در MMR پیشنهادی.

Fig. (1): (a) Conventional SIR. (b) folded SIR. (c) structure of the modified SIR for using in proposed MMR.

در این مقاله یک فیلتر UWB با ابعاد کوچک، گزینش‌گری بالا و باند توقف بالایی وسیع با استفاده از یک MMR جدید طراحی و شبیه‌سازی شده است. ساختار MMR پیشنهادی با استفاده از خطوط انتقال میکروواستریپی پیاده‌سازی شده است و ترکیب‌بندی آن شامل یک رزوناتور امپدانس-پله‌ای اصلاح شده‌ی (MSIR)^۵ سه-مدی بارگذاری شده با یک استاب، می‌باشد. استاب بارگذاری شده که یک استاب امپدانس-پله‌ای خم شده (FSIS)^۶ می‌باشد دو مد تشدید دیگر و همزمان دو صفر انتقال تولید می‌کند. پنج مد تشدید اول از MMR پیشنهادی در باند عبور UWB و همچنین دو صفر انتقال آن در حدود فرکانس‌های قطع پایین و بالای باند عبور، یعنی فرکانس‌های 2.88/10.78GHz برای افزایش شیب دامنه‌های حذف قرار گرفته‌اند. سرانجام با استفاده از خطوط تزویج اینتردیجیتال موازی دارای شکاف در لایه‌ی زمین^۷ فیلترینگ با عملکرد مطلوبی در باند عبور و باند توقف حاصل شده است. طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی ساختار پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار 2011 Agilent ADS Momentum بر روی زیرلایه‌ی Rogers_RO4003 با ثابت دی‌الکتریک $\epsilon_r = 3.38$ ، ضخامت $h = 0.508mm$ و $\tan\delta = 0.0022$ انجام شده است.

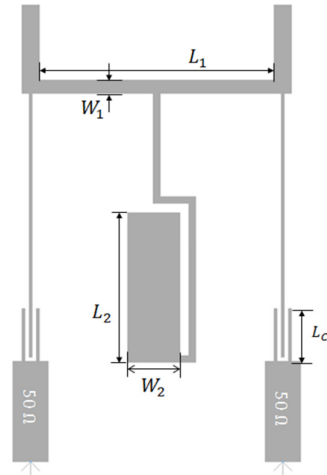
۲- معرفی و تحلیل ساختار MMR پیشنهادی

در ابتدا از یک ساختار SIR اصلاح شده برای ترکیب‌بندی MMR پیشنهادی استفاده شده است. ساختار SIR معمولی در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. برای کاهش ابعاد خطوط امپدانس-بالا در یک طرف خط امپدانس-پایین همانگونه که در شکل (۱-ب)، SIR خم شده، نشان داده است، قرار گرفته‌اند. در نهایت خط امپدانس-پایین یکنواخت با یک خط امپدانس-پایین U-شکل همانگونه که در شکل (۱-ج) نشان داده شده است، جایگزین شده است. مقایسه‌ی شکل (۱-ج) و شکل (۱-الف) کاهش افقی ابعاد SIR اصلاح شده بر اساس این ایده نسبت به SIR معمولی را به خوبی نمایان می‌کند. ترکیب‌بندی اولیه‌ی MMR پیشنهادی در این مقاله تحت تزویج ضعیف با خطوط تغذیه‌ی ورودی و خروجی 50Ω توسط خطوط موازی اینتردیجیتال در شکل (۲) آمده است.

همچنین صفرهای انتقالی در لبه‌های باندعبور برای افزایش شیب دامنه‌های حذف فیلتر قرار داد.

شکل (۳) مشخصات MMR بارگذاری شده با استاب پیشنهادی به ازای (L_1, W_1) متغیر با ثابت بودن سایر ابعاد را نشان می‌دهد. در ابتدا دیده می‌شود که پنج مد تشدید f_{m1} تا f_{m5} و دو صفر انتقال (f_{z1}, f_{z2}) وجود دارند. با افزایش طول L_1 از 5mm به 9.5mm مشاهده می‌شود که تمام مدهای تشدید به فرکانس‌های پایین شیفت پیدا می‌کنند به طوری که جابه‌جایی مد تشدید دوم و چهارم به سمت فرکانس‌های پایین بیشتر از دیگر مدها می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که تغییر طول L_1 بر روی مکان صفر انتقال اول f_{z1} و صفر انتقال دوم f_{z2} اثر چندانی ندارد. افزایش عرض W_1 از 0.2mm به 0.5mm نیز بیشتر بر روی سه مد تشدید f_{m2} ، f_{m3} و f_{m5} تأثیر دارد، به طوری که با افزایش W_1 فرکانس مد تشدید دوم افزایش یافته در حالی که فرکانس مد تشدید سوم کاهش می‌یابد. تغییر عرض W_1 مد تشدید پنجم f_{m5} را نیز به فرکانس‌های بالایی شیفت می‌دهد. بنابراین با تغییر ابعاد (L_1, W_1) درجه زیادی از آزادی در تنظیم مکان مدهای تشدید وجود دارد.

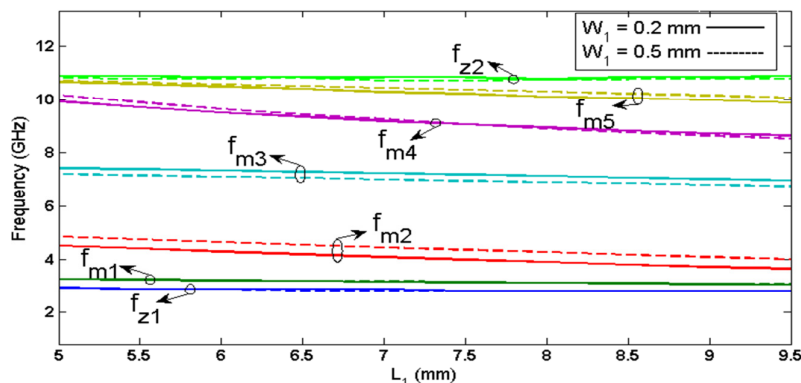
همچنانکه در شکل (۴) نشان داده شده است، زمانی که طول L_2 از 0.5mm به 4mm بدون تغییر سایر ابعاد افزایش می‌یابد، f_{m1} ، f_{m5} و f_{z1} به طور قابل توجهی به پایین شیفت پیدا می‌کنند. f_{m3} نیز به آرامی به فرکانس‌های پایین حرکت می‌کند. مدهای تشدید (f_{m2}, f_{m4}) نیز تقریباً بدون تغییر باقی می‌مانند. تغییر W_2 از 1mm به 2mm نیز بیشتر f_{m1} ، f_{m5} و f_{z1} را نسبت به f_{m3} تحت تأثیر قرار می‌دهد و به فرکانس‌های پایین‌تر منتقل می‌کند. لذا با تغییر ابعاد (L_2, W_2) ، مکان مدهای f_{m1} و f_{m5} می‌تواند در ابتدا و انتهای باندعبور UWB قرار گیرد. همچنین صفرهای انتقال f_{z1} و f_{z2} نیز برای قرار دادن در فرکانس‌های قطع پایین و بالای باندعبور برای افزایش گزینش‌گری فیلتر به عنوان یک درجه‌ی آزادی دیگر می‌توانند تنظیم شوند.



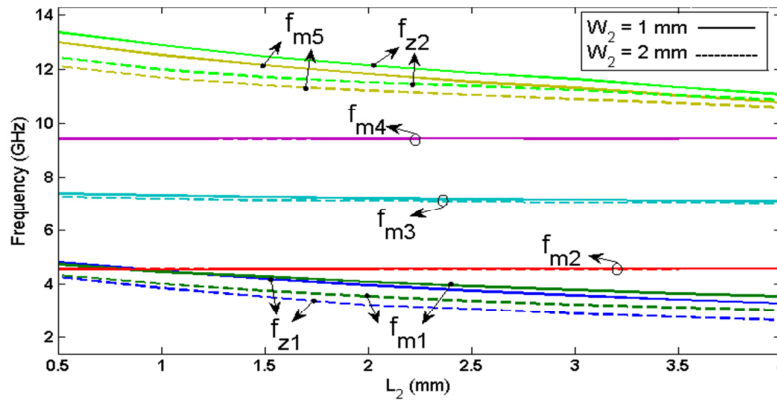
شکل (۲): ترکیب‌بندی اولیه‌ی MMR پیشنهادی تحت تزویج ضعیف با خطوط تغذیه‌ی ورودی و خروجی.

Fig. (2): Initial configuration of the proposed MMR under weak coupling with input/output feed-lines.

ساختار MMR از یک رزوناتور امپدانس-پله‌ای اصلاح شده‌ی (MSIR) سه-مدی به‌طوریکه در شکل (۱-ج) نشان داده شده است، تشکیل شده است. یک استاب امپدانس-پله‌ای خم‌شده نیز به مرکز MSIR بین دو خط امپدانس-بالا ضمیمه شده است. این استاب دو مد تشدید دیگر و همچنین دو صفر انتقال همزمان می‌تواند تولید کند. در ابتدا طول خطوط امپدانس-بالا برابر ربع طول موج $\lambda_g/4$ و طول خط امپدانس پایین U-شکل نیز نصف طول موج $\lambda_g/2$ انتخاب شده‌اند که λ_g طول موج خط با توجه به فرکانس مرکزی $f_0 = 6.85 \text{ GHz}$ می‌باشد [۳]. به علاوه خطوط اینتردیجیتال برای ایجاد تزویج قوی بین MMR و خطوط تغذیه‌ی 50 Ohm برای تشکیل باندعبور مطلوب استفاده شده‌اند. تعداد پیک‌های تشدید و فاصله‌ی آن‌ها در باندعبور یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پهنای باند و تشکیل باندعبور می‌باشد. در ادامه به تحلیل ساختار MMR پیشنهادی می‌پردازیم که بتوان همزمان پنج مد-تشدید در باندعبور مطلوب و



شکل (۳): اثر تغییر (L_1, W_1) بر روی مدهای تشدید و صفرهای انتقال
Fig. (3): Effect of varying (L_1, W_1) on the resonant modes and TZs

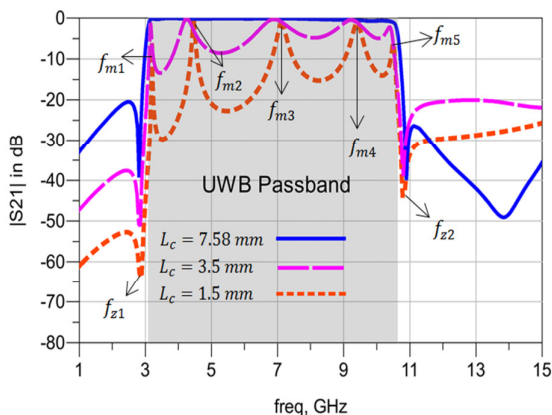


شکل (۴): اثر تغییر (L_2, W_2) بر روی مدهای تشدید و صفرهای انتقال
 Fig. (4): Effect of varying (L_2, W_2) on the resonant modes and TZs

$L_1 = 6.51, W_1 = 0.4, L_2 = 4.33, W_2 = 1.47, L_3 = 2.15,$
 $W_3 = 0.5, L_{S1} = 3.15, L_{S2} = 0.99, L_{S3} = 4.58, W_4 = 0.21,$
 $L_p = 0.23, W_D = 1.3, L_D = 5.4, L_g = 1.83, L_C = 7.58,$
 $W_0 = 1, a = 2.89, b = 1, strip_w = 0.1, \text{ and } gap_w = 0.1.$

دارا بودن حداقل فاصله 0.1mm بین استریپها $(gap_w = 0.1\text{mm})$ مزیتی می باشد که اطمینان در تلورانس ساخت را به طور مناسبی تضمین می کند. ابعاد مدار MMR پیشنهادی $7.51\text{mm} \times 10.28\text{mm}$ می باشد و برحسب λ_g نیز برابر: $0.28\lambda_g \times 0.39\lambda_g$ می شود. فیلتر پیشنهادی جدید در این مقاله در مقایسه با فیلترهای پنج-مدی پیشنهادی در [۶-۹] دارای ابعاد کوچکتری است.

نتایج شبیه سازی $|S_{21}|$ برحسب dB از فیلتر میانگذر UWB پیشنهادی تحت تزویج ضعیف ($L_C = 1.5, 4.5\text{mm}$) و تزویج بهینه ($L_C = 7.58\text{mm}$) به همراه باند عبور ایده آل UWB برای نمایش چگونگی تشکیل باند عبور با استفاده از مدهای تشدید و صفرهای انتقال MMR پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است.

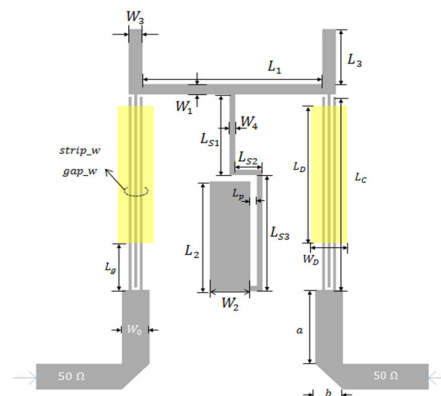


شکل (۶): نحوه ی تشکیل باند عبور UWB با استفاده از MMR پیشنهادی.
 Fig. (6): Final configuration of the proposed UWB BPF

۳- فیلتر میانگذر فوق پهن-باند پیشنهادی

بر اساس تحلیلی که در قسمت قبل داشتیم پنج مد تشدید اول از MMR پیشنهادی یعنی $f_{m1}, f_{m2}, f_{m3}, f_{m4}$ و f_{m5} و دو صفر انتقال f_{z1} و f_{z2} برای طراحی یک فیلتر میانگذر UWB با ابعاد کوچک و دامنه های حذف تیز، می توانند مورد استفاده قرار گیرند. ترکیب بندی نهایی فیلتر میانگذر UWB پیشنهادی در شکل (۶) نشان داده شده است.

برای امکان نصب کانکتور SMA، ورودی و خروجی خطوط تغذیه ی 50Ω در دو طرف فیلتر قرار داده شده اند، گوشه های خط انتقال خطوط تغذیه نیز برای کاهش بازگشت موج پخ^۱ زده شده اند [۱۰]. در لایه ی زمین زیر خطوط تزویج موازی نیز شکاف های ایجاد شده است (مستطیل های خاکستری رنگ) که باعث افزایش تزویج بین MMR و خطوط تغذیه ی ورودی و خروجی و تشکیل مناسب پهنای باند عبور می شوند. ابعاد نهایی پس از بهینه سازی توسط نرم افزار ADS به صورت زیر به دست آمده اند (همه ی ابعاد برحسب mm):



شکل (۵): ترکیب بندی نهایی فیلتر میانگذر UWB پیشنهادی (مستطیل های خاکستری استریپها و مستطیل های زرد رنگ نمایش شکاف در لایه ی زمین می باشند).
 Fig. (5): Realization UWB passband using proposed MMR. (strips indicates with gray rectangles and aperture in ground plan indicates with yellow rectangles)

Table (1): Comparison of simulation results and UWB ideal case.

جدول (۱): مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با حالت ایده‌آل فیلتر UWB.

	f_L	f_H	3dB-BW	f_0	FBW	f_{z1}	f_{z2}
UWB Ideal Case	3.1 GHz	10.6 GHz	7.5 GHz	6.85 GHz	109.5 %	----	----
Simulation	3.07 GHz	10.61 GHz	7.55 GHz	6.84 GHz	110.3 %	2.88 GHz	10.78 GHz

مناسبی ملزومات حالت ایده‌آل فیلترهای UWB در حالت فضای بسته و قابل حمل را برآورده می‌کند. به دلیل دومین صفر انتقال MMR در فرکانس قطع بالایی و تضعیف مدهای تشدید مرتبه‌ی بالاتر توسط صفر انتقال خطوط تزویج اینتردیجیتال یعنی f_{zc} که می‌توانند باعث ایجاد باند عبور ناخواسته (هارمونیک) شوند، باندتوقف بالایی با افت 20dB برای حالت قابل حمل تا فرکانس 18.33GHz و برای حالت فضای بسته با افت 10dB تا بیش از 20GHz گسترده شده است. بنابراین فیلتر پیشنهادی دارای باند توقف بالایی وسیعی می‌باشد.

تلفات بازگشتی ($|S_{11}|$) در تمام باند عبور همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است مقدار مناسبی و بهتر از 14.12dB می‌باشد. دارا بودن هفت صفر بازگشتی در باند عبور تحقق تزویج کامل بین MMR پیشنهادی و خطوط تزویج اینتردیجیتال دارای شکاف در لایه‌ی زمین را تضمین می‌کند. پنج صفر بازگشتی از پارامتر $|S_{11}|$ مربوط به پنج مد تشدید رزوناتور می‌باشد و دو صفر دیگر ناشی از دو قطبی است که به خاطر تزویج قوی بین MMR و خطوط تزویج اینتردیجیتال موازی $\lambda_g/4$ تولید می‌شوند [۳].

شبیه‌سازی $|S_{21}|$ رزوناتور پیشنهادی با بارگذاری FSIS و بدون FSIS تحت تزویج ضعیف برای مقایسه‌ی اثر این استاب در شکل (۸) نشان داده شده است. دیده می‌شود زمانی که FSIS بارگذاری نشده است، سه مد تشدید اول از رزوناتور امپدانس-پله‌ای اصلاح شده (MSIR سه-مدی) در باند عبور UWB قرار می‌گیرند. با بارگذاری FSIS دو مد تشدید دیگر یعنی f_{m1} و f_{m5} و همچنین دو صفر انتقال f_{z1} و f_{z2} توسط استاب امپدانس پله‌ای خم شده (FSIS) تولید می‌شوند.

آخرین پارامتر برای بررسی عملکرد و خصوصیات فیلتر پیشنهادی، تأخیر گروهی می‌باشد. شبیه‌سازی تأخیر گروهی در شکل (۹) نشان داده شده است. ناحیه‌ی سایه زده باند عبور ایده‌آل سیستم UWB می‌باشد. تغییرات تأخیر گروهی بین 0.28-1.64ns می‌باشد، که خطی بودن خوبی در بیشتر باند عبور می‌توان مشاهده کرد. به این معنا که مؤلفه‌های فرکانسی مختلف با تأخیرهای یکسانی در خروجی ظاهر می‌شوند. افزایش تأخیر گروهی در ابتدا و انتهای باند عبور در واقع یک داد و ستد اجتناب‌ناپذیر بین دامنه‌ی حذف با شیب زیاد و تغییرات تأخیر گروهی اطراف فرکانس قطع می‌باشد.

با استفاده ابعاد بهینه‌سازی شده در حالت تزویج ضعیف ($L_c = 1.5mm$)، پنج مد تشدید اول یعنی: $f_{m1} = 3.20GHz$ ، $f_{m2} = 4.46GHz$ ، $f_{m3} = 7.12GHz$ ، $f_{m4} = 9.42GHz$ و $f_{m5} = 10.49GHz$ در باند عبور UWB یعنی بازه‌ی فرکانسی 3.1-10.6GHz قرار گرفته‌اند. همچنین دو صفر انتقال یعنی: $f_{z1} = 2.88GHz$ و $f_{z2} = 10.78GHz$ در فرکانس‌های قطع پایین و بالای باند عبور برای افزایش شیب دامنه‌ی حذف و در نتیجه نزدیک شدن عملکرد فیلتر به حالت ایده‌آل قرار داده شده‌اند. با افزایش L_c به 4.5mm یعنی افزایش تزویج به خوبی می‌توان دید که ناحیه‌ی بین مدهای تشدید به خط 0-dB نزدیک می‌شوند. به ازای تزویج بهینه یعنی $L_c = 7.58mm$ و استفاده از شکاف در لایه‌ی زمین زیر خطوط تزویج موازی، تمام باند عبور UWB به طور کامل و مناسبی تشکیل می‌شود، که این در حقیقت ایده‌ی طراحی با تکنیک MMR می‌باشد [۳].

پهنای باند 3-dB در شبیه‌سازی تقریباً از 3.07GHz تا 10.61GHz یعنی برابر 7.55GHz در فرکانس مرکزی $f_0 = 6.84GHz$ می‌باشد. پهنای باند نسبی نیز برابر $FBW = 110.3\%$ می‌شود. این مقادیر برای مقایسه با حالت ایده‌آل فیلتر UWB در جدول (۱) آمده است که نشان دهنده‌ی تطابق بسیار خوب عملکرد فیلتر پیشنهادی در این مقاله با حالت ایده‌آل فیلترهای UWB می‌باشد.

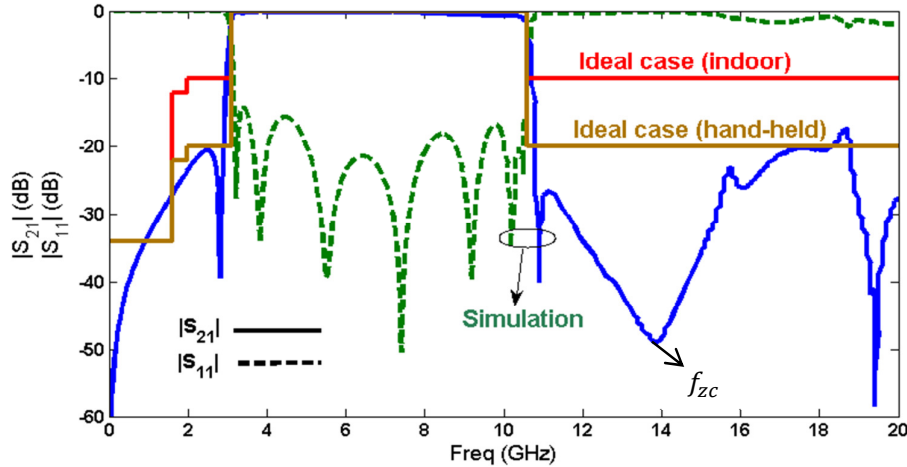
در فرکانس مرکزی تلفات عبوری حدود 0.17dB و تلفات عبوری 1dB نیز در محدوده‌ی 3.12-10.48GHz و در کل پهنای باند نیز تلفات عبوری حداکثر 0.72dB می‌باشد. پهنای باند 30-dB از باند عبور پهنای 8GHz را پوشش می‌دهد و معیار دامنه $(S.F.)$ که از نسبت پهنای باند 3-dB به پهنای باند 30-dB به دست می‌آید [۸]، برابر 0.943 می‌شود که نشان دهنده‌ی فیلترینگ با دامنه حذف تیز و قدرت گزینش‌گری بالایی می‌باشد که به حالت ایده‌آل نیز نزدیک و دارای $S.F.$ بهتری نسبت به فیلترهای پیشنهادی در [۳-۱۰] می‌باشد. نزدیک بودن فرکانس تشدید اول f_{m1} به اولین صفر انتقال رزوناتور f_{z1} در پایین باند عبور و همچنین نزدیک بودن فرکانس تشدید پنجم f_{m5} به f_{z2} دومین صفر انتقال رزوناتور در انتهای باند عبور، منجر به گزینش‌گری بالایی فیلتر پیشنهادی شده است.

شکل (۷) مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی پارامترهای S فیلتر با حالت‌های ایده‌آل فضای بسته^۱ و قابل حمل^{۱۱} از تکنولوژی UWB می‌باشد. با وجود یک صفر در dc ناشی از خطوط تزویج موازی و یک صفر در فرکانس 2.88GHz توسط MMR پیشنهادی، باندتوقف پایینی با تلفات عبوری کمتر از 20.5dB تشکیل می‌شود، که به طور

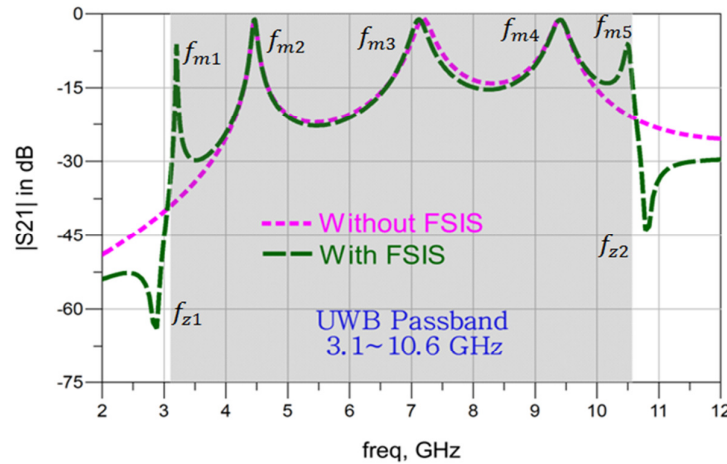
۴- نتیجه گیری

به عنوان یکی از چالش‌های طراحی فیلتر، یک فیلتر میانگذر UWB مایکرواستریپی جدید با استفاده از تکنیک MMR در این مقاله طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی شد. ساختار MMR پیشنهادی شامل یک رزوناتور امپدانس-پله‌ای (SIR) اصلاح‌شده و بارگذاری یک استاب امپدانس پله‌ای خم‌شده در مرکز SIR اصلاح‌شده، می‌باشد. با قرار دادن پنج مد-تشدید اول MMR پیشنهادی در بازه‌ی فرکانسی 3.1-10.6GHz و همچنین دو صفر انتقال در فرکانس‌های

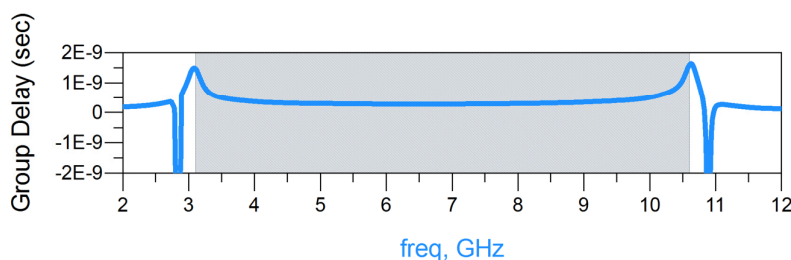
2.88/10.78GHz، باندعبور مطلوب UWB با استفاده از تزویج قوی MMR و خطوط تغذیه‌ی 50Ω تشکیل شد. ابعاد کوچک، قدرت گزینش بالا به همراه تطابق خوب عملکرد فیلتر با حالت‌های ایده‌آل سیستم‌های UWB قابل حمل و فضای بسته چه در باند عبور و چه در باندهای توقف، از جمله مزایای فیلتر پیشنهادی جدید در این مقاله می‌باشد.



شکل (۷): مقایسه‌ی پارامتر تلفات عبوری حالت‌های ایده‌آل فضای بسته و قابل حمل با نتایج شبیه‌سازی به همراه رسم نتایج شبیه‌سازی پارامتر تلفات بازگشتی. Fig. (5): Comparison between insertion loss in simulation with indoor and hand-held ideal cases. Simulation results of return loss also illustrated.



شکل (۸): شبیه‌سازی $|S_{21}|$ برای مقایسه‌ی اثر استاب امپدانس پله‌ای خم‌شده (FSIS). Fig. (6): Simulated S_{21} -magnitude in dB compare the effect of FSIS under weak coupling.



شکل (۹): نتایج شبیه‌سازی پارامتر تأخیر گروهی فیلتر پیشنهادی.

Fig. (7): Simulated group delay (sec).

پی‌نوشت:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1- Ultrawide-Band (UWB) | 7- Aperture-Backed Interdigital-Coupled lines |
| 2- Multiple-Mode-Resonators (MMRs) | 8- Chamfer |
| 3- Stepped-Impedance Resonator (SIR) | 9- Skirt Factor |
| 4- Selectivity | 10- Indoor |
| 5- Modified SIR (MSIR) | 11- Hand-Held |
| 6- Folded Step-Impedance Stub (FSIS) | |

References

- [1] "FCC, Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System", Washington, DC, ET- Docket 98-153, Feb. 2002.
- [2] S. Sun, L. Zhu, "Multiple-resonator-based bandpass filters", IEEE Microwave Mag., Vol. 10, No. 2, pp. 88-98, Apr. 2009.
- [3] L. Zhu, S. Sun, W. Menzel, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters using multiple-mode resonator", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 15, No. 11, pp. 796-798, Nov. 2005.
- [4] Y. Zhou, B. Yao, Q. Cao, H. Deng, X. He, "Compact UWB bandpass filter using ring open stub loaded multiple-mode resonator", Electronics Letters, Vol. 45, No. 11, May 2009.
- [5] S.W. Wong, L. Zhu, "Quadruple-mode UWB bandpass filter with improved out-of-band rejection", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 19, No. 3, pp. 152 - 154, Mar. 2009.
- [6] H.W. Deng, Y.JZhao, L. Zhang, X.S. Zhang, S.P. Gao, "Compact quintuple-mode stub-loaded resonator and UWB filter", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 20, No. 8, pp. 438-440, Aug. 2010.
- [7] Q.X. Chu, X.K. Tian, "Design of UWB bandpass filter using stepped-impedance stub-loaded resonator", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 20, No. 9, pp. 501-503, Sept. 2010.
- [8] Q.X. Chu, X.H. Wu, X.K. Tian, "Novel UWB bandpass filter using stub-loaded multiple-mode resonator", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 21, No. 8, pp. 403-405, Aug. 2011.
- [9] X.H. Wu, Q.X. Chu, X.K. Tian, X. Ouyang, "Quintuple-mode UWB bandpass filter with sharp roll-off and super-wide upper stopband", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 21, No. 12, pp. 661 - 663, Dec. 2011.
- [10] Z. Zhang, F. Xiao, "An UWB bandpass filter based on a novel type of multi-mode resonator", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 22, No. 10, pp. 506-508, Oct. 2012.

