

طراحی و شبیه‌سازی یک فیلتر مایکرواستریپی UWB با ابعاد کوچک و باند توقف بسیار وسیع دارای چهار مد تشدید در باند عبور

مهسا قلی پور^(۱) - محمدامین هنرور^(۲)

(۱) کارشناس ارشد - گروه برق - مخابرات، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاداسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

(۲) استادیار - گروه برق - مخابرات، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاداسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۱۶

خلاصه: در این مقاله یک فیلتر جدید میان گذر فوق پهن - باند مایکرواستریپی با استفاده از دو تشدیدکننده متقارن چند-مدی بارگذاری شده با یک استاب امیدانس پله‌ای تحلیل و شبیه‌سازی شده است. این تشدیدکننده چند مدی، تشکیل شده است از یک تشدیدکننده امیدانس پله‌ای سه مدی که برای کاهش سایز مدار به صورت خمیده ترکیب‌بندی شده است و یک استاب امیدانس پله‌ای که در مرکز دو تشدیدکننده دارای چند مد تشدید تعبیه شده است. ابعاد این استاب به طور مناسبی تنظیم شده است که بتواند یک مد رزونانسی دیگر در باند عبور، یعنی بازه‌ی فرکانسی ۳/۱-۱۰/۶ GHz ایجاد کند و باعث افزایش تزویج، تخت شدن حتی‌الامکان باند عبور و وسیع شدن باند توقف گردد. در نهایت با استفاده از تکنیک شکاف در لایه‌ی زمین، تزویج بین خطوط تغذیه و تشدیدکننده‌ی دارای چند مد تشدید افزایش داده می‌شود. این فیلتر در مقایسه با فیلترهای طراحی شده در گذشته دارای ابعاد کوچک (۱۶mm × ۶/۷mm)، باند توقف وسیع (تا حدود ۲۰dB) و عملکرد مناسب در باند عبور می‌باشد.

کلمات کلیدی: فوق پهن - باند، رزوناتور دارای چند مد (MMR)، استاب امیدانس پله‌ای.

Design and Simulation of a Novel UWB Bandpass Filter with Compact Size, Wide Upper Stopband and Four Mode-Resonances in Passband

Mahsa Gholipoor⁽¹⁾ – Mohammad Amin Honarvar⁽²⁾

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Esfahan, Iran

Ma.gholipoor@yahoo.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Esfahan, Iran

amin.honarvar@gmail.com

In this paper, a novel microstrip-line Ultra Wide Band (UWB) band-pass filter using two symmetric Multi – Mode Resonators (MMR) loaded with step impedance stub, is designed, analyzed and simulated. The proposed MMR, comprised of triple – mode step impedance resonator, to reduce dimension of filter is folded, and one step impedance stub is located on center of two MMRs. With adding the step impedance stub and appropriate adjusting of it's parameters, one can establish another mode resonance in the desirable passband, i.e. 3.1 GHz – 10.6 GHz. So, obtained good performance of filter, such as: coupling increased well, passband became flat as much as possible and stopband became very vast. Finally, using of defected ground structure, increased the coupling between MMRs and feeding lines. The proposed filter to compare with conventional UWB filters has a compact size (is about 16mm×6.7mm), wide upper stopband (up to 20GHz), good performance in passband and high selectivity.

Index Terms: Ultra wide band (UWB), multi mode resonator (MMR), step impedance resonator (SIR).

نویسنده مسئول: مهسا قلی‌پور، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاداسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران، ma.gholipoor@yahoo.com

۱- مقدمه

در سال ۱۹۹۸، کمیته‌ی فدرال مخابرات ایالات متحده‌ی آمریکا (FCC)^۱، اهمیت تکنولوژی فوق‌پهن باند (UWB)^۲ را تشخیص داد و در فوریه‌ی سال ۲۰۰۲ مجوز استفاده از سیستم فوق‌پهن باند (باند فرکانسی ۳/۱ GHz - ۱۰/۶ GHz) را صادر کرد [۱].

فیلترهای مایکروویوی به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء سازنده‌ی سیستم‌های فوق‌پهن‌باند نقش عمده‌ای در کیفیت استفاده از این تکنولوژی را بر عهده دارند. این فیلترها به طور عمومی و قابل مقایسه‌ای از لحاظ عملکرد، خصوصیات هندسی، مکانیزم عملکردشان و روش‌های طراحی، طبقه‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین نوع آن‌ها فیلترهای از نوع تشدیدکننده‌ی دارای چند مد (MMR)^۳ هستند. در سال ۲۰۰۵ برای اولین بار فیلتر فوق‌پهن باند با استفاده از یک تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای (SIR)^۴ طراحی شد که سه مد رزونانس را در باند عبور ایجاد می‌کرد [۲]. در [۳] با استفاده از دو تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای سه‌مدی فیلتر فوق‌پهن باند پیشنهاد شد. اما این فیلتر به دلیل سری کردن دو تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای دارای سایز بزرگی بود. همچنین باند توقف باریکی داشت. در [۴-۶] فیلترهایی فوق‌پهن باند با باند وسیع طراحی شدند اما دارای مشکل ساخت اتصال کوتاه بودند. در [۷] با استفاده از یک تشدیدکننده‌ی سه‌مدی فیلتری فوق‌پهن باند طراحی شد که دارای باند توقف باریکی بود و نمی‌توانست کل باند را پوشش دهد. در [۸] با استفاده از چهار استاب بارگذاری شده درون یک تشدیدکننده‌ی حلقوی سه‌مدی فیلتر پهن باندی طراحی شد که از لحاظ ابعاد کوچک بود اما باند توقف باریکی داشت و تلفات عبوری آن در حد ۱/۳ dB بود. در [۹] با استفاده از یک تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای اصلاح شده‌ی سه‌مدی و بارگذاری با یک استاب، پنج مد تشدید در باند عبور ایجاد شده است. در این مقاله، یک فیلتر فوق‌پهن باند، با ابعاد کوچک، باند توقف بالایی وسیع و گزینش‌گری بالا با استفاده از دو تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای چند مدی طراحی و شبیه‌سازی شده است. این دو تشدیدکننده، دارای سه مد تشدید در باند عبور می‌باشند که جهت کاهش سایز فیلتر به صورت خم شده طراحی شده‌اند.

با اضافه کردن یک استاب امپدانس پله‌ای در مرکز تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای، مد تشدید دیگری، جهت افزایش تزویج و تخت شدن حتی‌الامکان باند عبور ایجاد می‌شود. با قرار دادن شکاف‌هایی در لایه‌ی زمین، تزویج بین تشدیدکننده‌ی چند مدی و خطوط تغذیه‌ی ورودی و خروجی کنترل می‌شود.

۲- تشدیدکننده‌ی دارای مد چندگانه‌ی پیشنهادی

ساختار یک تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای معمولی در شکل (۱) نمایش داده شده است. این ساختار از ساده‌ترین نوع تشدیدکننده‌های

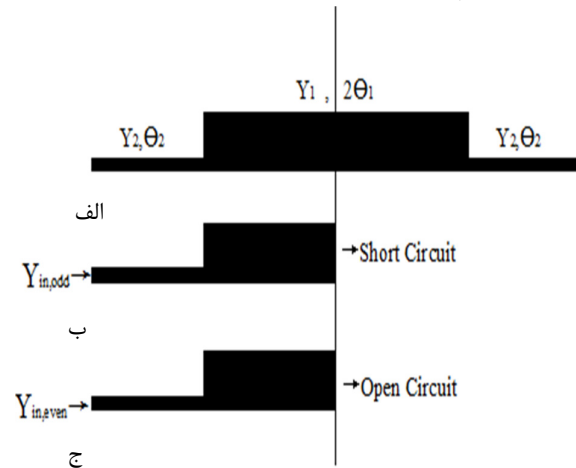
امپدانس پله‌ای دارای مد چندگانه است. مدار معادل مد زوج و فرد این تشدیدکننده در شکل (۱)-ب و (۱)-ج نشان داده شده است. روابط زیر تحلیل مد زوج و فرد این ساختار را به طور مختصر بیان می‌کند. فرکانس‌های تشدید مد زوج و فرد نیز با حل دو معادله‌ی $Y_{in,odd}=0, Y_{in,even}=0$ به دست می‌آیند [۱۰].

$$Y_{in,odd} = -jY_2 \times \frac{K - \tan\theta_1 \tan\theta_2}{\tan\theta_1 + k \tan\theta_2} \quad (۱)$$

$$Y_{in,even} = -jY_2 \times \frac{K \tan\theta_1 + \tan\theta_2}{k \tan\theta_2 \tan\theta_1 - 1} \quad (۲)$$

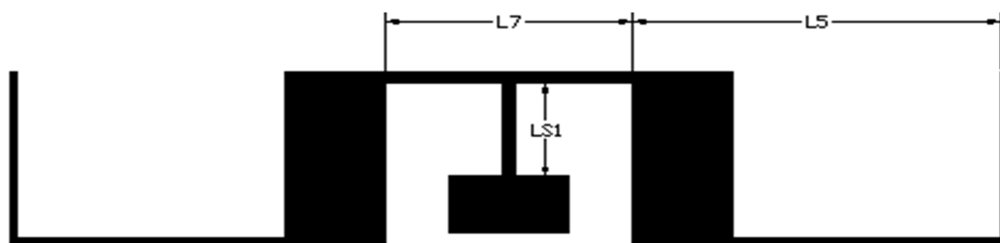
$$K = \frac{Y_1}{Y_2}$$

به منظور کاهش ابعاد مدار، خطوط امپدانس بالا و پایین در تشدیدکننده‌ی پیشنهادی به صورت خمیده قرار گرفته‌اند. این تشدیدکننده که در شکل (۲) نشان داده شده است دارای سه مد تشدید می‌باشد. یک استاب امپدانس پله‌ای در مرکز تشدیدکننده‌ی سه‌مدی قرار داده شده است. این استاب می‌تواند یک مد تشدید دیگر در باند عبور ایجاد کند. از آنجایی که ساختار تشدیدکننده‌ی پیشنهادی دارای تقارن می‌باشد، لذا می‌توان این ساختار را با استفاده از تحلیل زوج و فرد تحلیل نمود. مدار معادل مد زوج و فرد تشدیدکننده‌ی پیشنهادی در شکل (۳) نمایش داده شده است.

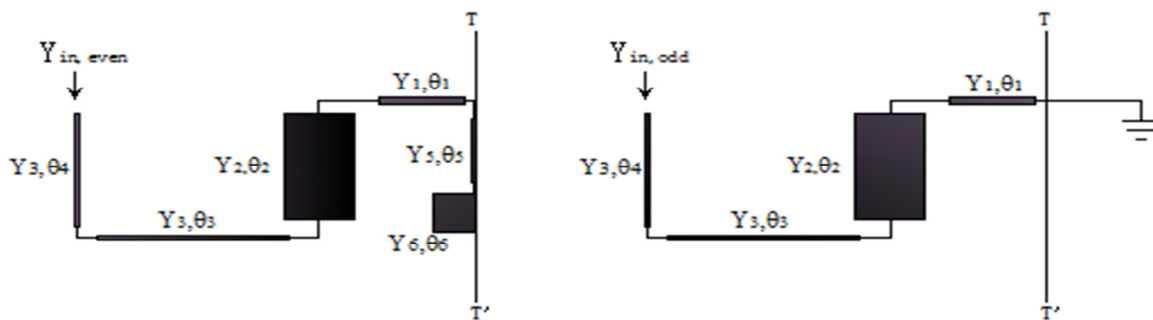


شکل (۱): الف - یک تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای معمولی ب - مدار معادل مد فرد رزوناتور امپدانس پله‌ای ج - مدار معادل مد زوج رزوناتور امپدانس پله‌ای

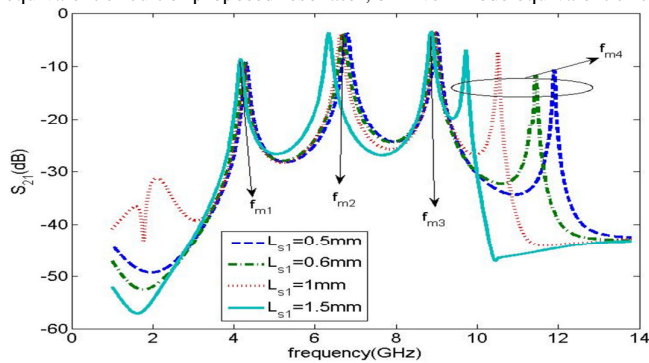
Fig. (1): a - Conventional Step Impedance Resonator (SIR) b - Odd-mode equivalent circuit of SIR c - Even-mode equivalent circuit of SIR



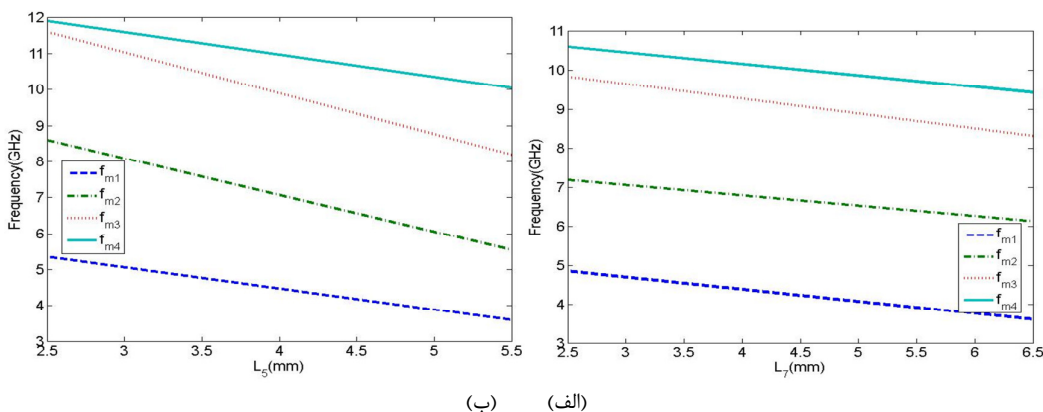
شکل (۲): ساختار تشدیدکننده‌ی پله امپدانسی خمیده پیشنهادی در فیلتر فوق پهن-باند
 Fig. (2): The structure of proposed folded MMR in UWB filter



شکل (۳): الف- مدار معادل مد فرد تشدیدکننده‌ی پیشنهادی ب- مدار معادل مد زوج تشدیدکننده‌ی پیشنهادی
 Fig. (3): a – Odd-mode equivalent circuit of proposed resonator, b - Even-mode equivalent circuit of proposed resonator



شکل (۴): تغییر مکان مدهای رزونانسی در اثر تغییر پارامتر L_{S1}
 Fig. (4): Effect of SIR stub (L_{S1}) on the resonant modes



شکل (۵): الف- تغییر مکان مدهای رزونانسی در اثر تغییر پارامتر L_5 ب- تغییر مکان مدهای رزونانسی در اثر تغییر پارامتر L_7
 Fig. (5): a – The resonant modes variation with different value of L_5 , b - The resonant modes variation with different value of L_7

تشدیدکننده‌ی دارای چند مد و خطوط با تغذیه‌ی ورودی و خروجی نیز شکاف‌هایی در لایه‌ی زمین (ناحیه‌ی هاشور زده) قرار داده شده است. پارامترهای بهینه‌شده‌ی این فیلتر که بر روی زیرلایه‌ی Rogers RO4003 با ضخامت ۳۱ mil و $\epsilon_r = 3.55$ در محیط نرم‌افزار Ansoft HFSS13 شبیه‌سازی شده است، به شرح زیر می‌باشد:

$$L_{11} = 7/2 \text{ mm}, W_2 = 0/3 \text{ mm}, L_{10} = 3 \text{ mm}, W_{10} = 0/1 \text{ mm}, W_5 = 0/1 \text{ mm}, L_5 = 5 \text{ mm}, L_6 = 3 \text{ mm}, W_3 = 1/4 \text{ mm}, L_7 = 4 \text{ mm}, W_6 = 0/2 \text{ mm}, W_{11} = 0/1 \text{ mm}, LS_1 = 1 \text{ mm}, LS_2 = 1/1 \text{ mm}, W_{12} = 1 \text{ mm}, W_0 = 1 \text{ mm}, L_0 = 0/9 \text{ mm}, L_{00} = 5 \text{ mm}, \text{gap} = 0/1 \text{ mm}$$

ابعاد نهایی فیلتر $6/7 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ می‌باشد، که نسبت به دیگر فیلترهای طراحی شده به وسیله‌ی تشدیدکننده‌های چند مدی کاهش سایز قابل توجهی داشته است [۳].

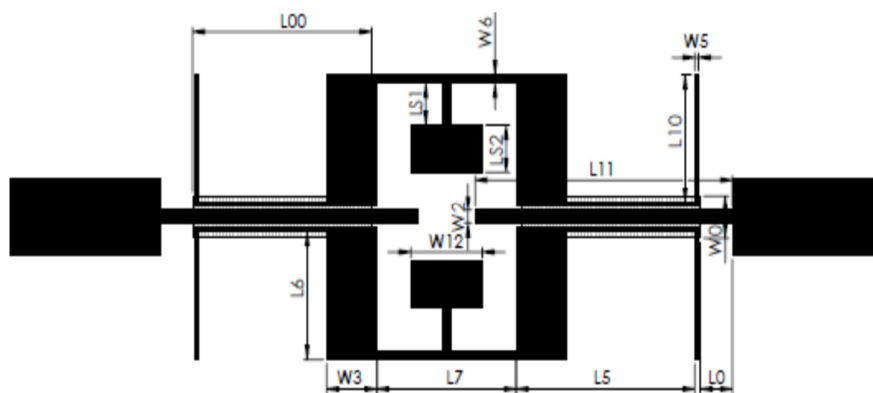
پس از شبیه‌سازی، پهنای باند -3 dB فیلتر از $3/13 \text{ GHz}$ تا $10/75 \text{ GHz}$ به دست می‌آید که برابر با $7/62 \text{ GHz}$ در فرکانس مرکزی است. پهنای باند نسبی حدود $109/8\%$ درصد می‌باشد. شکل (۸) نتایج شبیه‌سازی پارامترهای S فیلتر و تأخیر گروه آن را نشان می‌دهد. تلفات عبوری در فرکانس مرکزی حدود $0/3 \text{ dB}$ است که مقدار بسیار مناسبی است.

بیشترین مقدار تلفات عبوری در کل پهنای باند $0/655 \text{ dB}$ می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد خوب فیلتر و تشکیل بسیار مناسب باند عبور است. اضافه کردن استاب‌های امپدانس پله‌ای، باعث ایجاد یک باند توقف بسیار وسیع تا فرکانس 20 GHz موجب شده است و این یکی از مزیت‌های فیلتر به شمار می‌رود. با توجه به نمودار S_{11} در شکل (۸)-الف، تلفات بازگشتی، از حدود $12/44 \text{ dB}$ تا $41/599 \text{ dB}$ به دست آمده است. شش قطب انتقال دیده شده در نمودار S_{11} ، تزویج مناسب بین تشدیدکننده‌ی چند مدی و خطوط تغذیه را تصدیق می‌کند. از این شش قطب، چهار قطب انتقال مربوط به چهار مد تشدید و دو قطب دیگر مربوط به تزویج قوی بین تشدیدکننده چند مدی و خطوط تغذیه می‌باشد. شکل (۸)-ب، تأخیر گروه فیلتر پیشنهاد شده را نشان می‌دهد. تأخیر گروه در باند عبور بین مقادیر $0/26 \text{ ns}$ تا $0/8 \text{ ns}$ ، نشان دهنده‌ی عملکرد خطی فیلتر در باند عبور است؛ که نشان می‌دهد، مؤلفه‌های فرکانسی مختلف با تأخیر یکسان در خروجی فیلتر قرار خواهند گرفت.

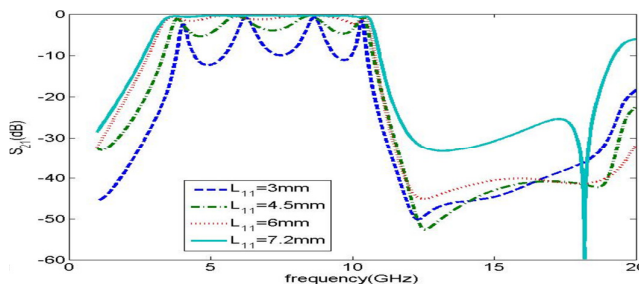
با توجه به شکل (۳)، در تحلیل مد فرد، از آنجا که محل تقارن مدار، اتصال کوتاه می‌شود لذا مدار معادل مد فرد ساختار، دقیقاً مانند حالتی است که هیچ استابی بر روی تشدیدکننده تعبیه نشده است. پس این استاب هیچ تأثیری در مدهای فرد فیلتر نخواهد داشت. این در حالی است که گفته شد مد چهارم فیلتر را این استاب به وجود می‌آورد. پس می‌توان نتیجه گرفت استاب امپدانس پله‌ای تعبیه شده روی تشدیدکننده‌ی مورد بحث تنها مد دوم و چهارم فیلتر را تحت تأثیر قرار خواهد داد. برای اثبات این موضوع، در شکل (۵)، تغییرات مدهای تشدید بر اساس تغییر پارامتر LS_1 نشان داده شده است، لذا با افزایش LS_1 از $0/5 \text{ mm}$ تا $1/5 \text{ mm}$ ، تشدید چهارم به فرکانس‌های پایین‌تر منتقل می‌شود و در محدوده‌ی باند عبور مطلوب قرار می‌گیرد. همچنین تشدید دوم نیز با کاهش فرکانس روبرو شده است. اما هیچ تغییری در تشدیدهای اول و سوم مشاهده نمی‌شود. چهار مد تشدید فیلتر پیشنهادی با تغییر پارامترهای تشدیدکننده‌ی امپدانس پله‌ای می‌توانند جابجا شوند. دیده می‌شود با تغییر طول L_5 از $2/5 \text{ mm}$ به $5/5 \text{ mm}$ و با ثابت بودن دیگر پارامترها، فرکانس هر چهار مد تشدید کاهش می‌یابد (شکل (۵)-الف) و با تغییر طول L_7 از $2/5 \text{ mm}$ تا $6/5 \text{ mm}$ فرکانس هر چهار مد تشدید کاهش می‌یابد (شکل (۵)-ب).

۳- شبیه‌سازی و نتایج آن

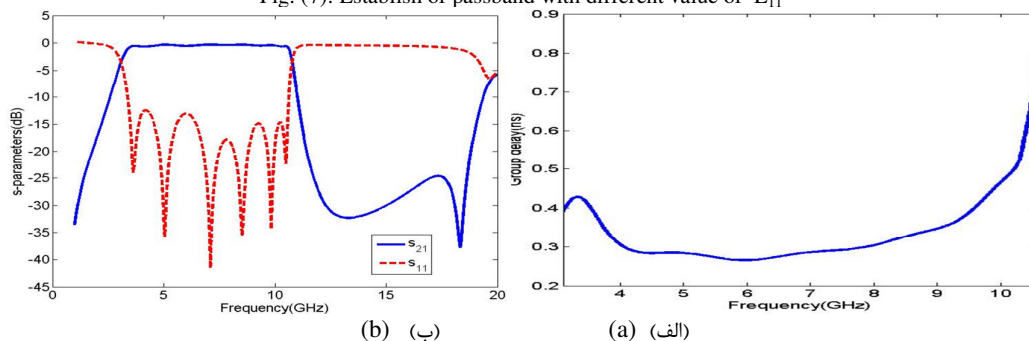
ساختار کلی فیلتر پیشنهاد داده شده در شکل (۶) نشان داده شده است. جهت افزایش عملکرد فیلتر یک تشدیدکننده‌ی دارای چند مد تشدید، مشابه با تشدیدکننده‌ی طراحی شده به صورت تقارن در سمت دیگر فیلتر قرار داده شده است. بر اساس تحلیل مدی ارائه شده در بخش قبل، برای تشکیل یک باند عبور مناسب که قادر به پوشش‌دهی پهنای باند استاندارد سیستم‌های فوق پهن باند (باند فرکانسی $10/6 \text{ GHz} - 3/1 \text{ GHz}$) باشد، ساختار دارای مد تشدید چندگانه‌ی پیشنهادی توسط یک خط مدار باز خازنی به خطوط ورودی و خروجی 50Ω تزویج می‌گردد. با تنظیم مناسب طول تزویج، می‌توان به پهنای باند مطلوب دست پیدا کرد. شکل (۷)، نحوه‌ی تشکیل باند عبور توسط مدهای تشدید را تحت تزویج‌های متفاوت (به ازای L_{11} ‌های متفاوت) نشان می‌دهد. هنگامی که $L_{11} = 3 \text{ mm}$ می‌باشد، مدهای تشدید اول تا چهارم در فرکانس‌های $4/01 \text{ GHz}$ ، $6/21 \text{ GHz}$ ، $8/67 \text{ GHz}$ ، $10/33 \text{ GHz}$ قرار گرفته‌اند. با افزایش L_{11} ، تزویج بین خطوط تغذیه و رزوناتور چند مدی افزایش می‌یابد و باند عبور فیلتر به خوبی تشکیل می‌گردد. همچنین برای تقویت تزویج بین



شکل (۶): ساختار فیلتر پیشنهادی با استفاده از رزوناتور چند مدی
 Fig (6): Structure of the proposed UWB filter with MMR



شکل (۷): تقویت تزویج خطوط تغذیه و رزوناتور امپدانس پلهای در اثر تغییر پارامتر L_{11}
 Fig. (7): Establish of passband with different value of L_{11}



شکل (۸): الف - نمودار S_{11} و S_{21} شبیه سازی شده، مربوط به فیلتر پیشنهادی ب - پارامتر تأخیر گروه شبیه سازی شده فیلتر پیشنهادی
 Fig. (8): a - S_{21} , S_{11} parameter of the proposed filter, b - Group delay result of the proposed filter

۴- نتیجه گیری

عبوری اندک و تلفات بازگشتی مناسب می باشد. ابعاد کوچک، باند توقف وسیع نیز از دیگر مزیت های فیلتر به شمار می رود.

یک فیلتر میان گذر مایکرواستریپی فوق پهن-باند با چهار مد تشدید در باند عبور، طراحی، تحلیل و شبیه سازی شد. این فیلتر شامل دو تشدیدکننده امپدانس پلهای سه مدی شبیه به هم، با یک استاب امپدانس پلهای روی هر یک از دو تشدیدکننده، برای افزودن یک مد تشدید دیگر قرار داده شده است. نتایج حاصل نشان داد این فیلتر در باند فرکانسی ۱/۶ - ۳/۱ GHz دارای چهار مد تشدید با تلفات

پی نوشت

- 1- Federal Communication Commission
- 2- Ultra Wide Band
- 3- Multi Mode Resonator
- 4- Step Impedance Resonator

References

- [1] Federal Communications Commission, " First note and order-Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems", ET-Docket, Vol. 14, pp. 98-153, Feb. 2002.
- [2] 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.
- [3] S. Sun, L. Zhu, "Capacitive-Ended Interdigital Coupled Lines for UWB Bandpass Filters With Improved Out-of-Band Performances", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 16, No. 8, Aug. 2006
- [4] H. Zhu, Q.X. Chu, "Compact Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter Using Dual-Stub-Loaded Resonator (DSLRL)", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 23, No. 10, Oct. 2013
- [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] H. Deng, Y. Zhao, Ying He, Sheng-li Jia, Min Wang, "Compact dual-notched balanced UWB BPF with folded triple-mode slotline resonator," Electron. Lett., Vol. 50, No. 6 pp. 447-449, 13th Mar. 2014
- [8] K.D. Xu, Y.H. Zhang, J. Li, W.T. Joines, Q.H. Liu, "Compact ultra-wideband bandpass filter using quad-Tstub-loaded ring structure', Microwave Opt. Technol. Lett., Vol. 56, No. 9, Sep. 2014
- [9] S.J. Borhani, M.A. Honarvar, "A novel compact size uwb bandpass filter with sharp rejection skirt and wide upper-stopband based on multi-mode-resonator', Progress In Electromagnetics Research LettersC, Vol. 43, pp. 175-185, Sep. 2013.
- [10] S.J. Borhani, M.A. Honarvar, A. Dadgar-Pour, "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", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, Vol. 4, No. 16, pp. 3-10, Winter 2014. (in Persian)