



۱۳۵۹

دانشگاه علوم دریایی امام خمینی

(ره) - نوشهر

دانشکده مهندسی الکترونیک و

مخابرات دریایی

چهارمین کنفرانس الکترومغناطیس

مهندسی ایران

(کام ۱۳۹۵)

فروردین ۱۳۹۵



طراحی فیلتر چهار بانده جدید با استفاده از تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار

زینب پورآزاد^{۱*}، عباسعلی حیدری^۲، مسعود موحدی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۳ استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: z.pourazad@stu.yazd.ac.ir

مجزا، به سادگی ساخته شده‌اند [۱]، که دارای تلفات تزییقی بالا و ابعاد نسبتاً بزرگ هستند. فیلترهای چند بانده را می‌توان با استفاده از تشدیدگرهای امپدانس پله‌ای، ساختارهای ماریچی بارگذاری شده با خازن، ساختارهای چندلایه سرامیکی، ساختارهای موجبری مجتمع شده در زیرلایه و ساختارهای بین‌انگشتی طراحی کرد. به طور کلی این روش‌ها اجازه کنترل کامل باند عبور را به طور مستقل نمی‌دهند و اندازه ساختارها نسبتاً بزرگ می‌باشد.

یکی از ساختارهایی که به منظور کاهش ابعاد فیلترهای میان‌گذر ریزنواری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ساختارهای حلقه‌ای شکاف‌دار (SSR)^۱ می‌باشند [۲، ۳]. کوچک سازی فیلتر با تکیه بر این واقعیت است که این تشدیدگرها با ابعاد بسیار کوچکتر از طول موج در فرکانس تشدید طراحی می‌شوند. با استفاده از این تشدیدگرها فیلترهای تک بانده [۴]، دو بانده [۵، ۶] و سه بانده [۷، ۸] طراحی شده است. در [۷، ۸] یک تشدیدگر سه بانده ریزنواری که از سه SRR متحدالمرکز تشکیل شده، مورد بررسی قرار

چکیده: در این مقاله یک فیلتر چهار بانده جدید با استفاده از تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. فرکانس مرکزی باندهای گذر این فیلتر، ۱/۷، ۲/۲، ۲/۷ و ۳/۷ گیگاهرتز بوده و پهنای باند فرکانسی هر کدام نیز به ترتیب ۷۰، ۵۰، ۲۱۰ و ۷۰ مگاهرتز می‌باشد. برای طراحی ساختار از مدل تزویجی استفاده شده است. ساختار پیشنهاد شده دارای قابلیت انتخاب فرکانس بالا، باند عبور باریک، ضریب کیفیت بالا، قابلیت کنترل فاصله بین باندها و اندازه کوچک است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HFSS بدست آمده و گزارش شده است.

کلیدواژه: فیلتر چهار بانده، فراماده، تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار، مدل تزویجی.

۱- مقدمه

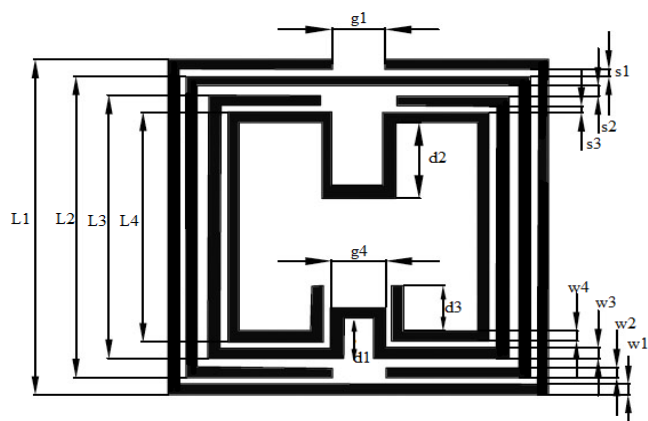
در سال‌های اخیر، با پیشرفت سیستم‌های چند بانده، طراحی ساختارهایی با حداقل اندازه مورد توجه بوده است. فیلترهای اولیه دو بانده از اتصال دو فیلتر با دو باند عبور

¹ Split ring resonator

۱- پارامترهای هندسی سلول واحد

یک تشدیدگر با N تشدید اصلی به N المان تشدید نیاز دارد که فرکانس‌های تشدید و پهنای باند آنها توسط اندازه و فاصله بین المان‌ها کنترل می‌شود. در این مقاله با استفاده از چهار تشدیدگر این کار انجام شده است. تشدیدگر ترکیبی مربعی نشان داده شده در شکل (۲) پایه و اساس طراحی فیلتر پیشنهادی در این مقاله است. هر کدام از حلقه‌های مربعی را می‌توان با یک تشدیدگر نصف طول موج مدل کرد. حلقه بیرونی، باند اول و حلقه‌های بعدی به ترتیب باندهای دوم تا چهارم را ایجاد می‌کنند. طول هر یک از تشدیدگرها، فرکانس تشدید خودی را تعیین می‌کند. دو تشدیدگر درونی U شکل توسط پارامترهای d_2, d_1 و g_4 توصیف شده است، این پارامترها فرکانس تشدید را تنظیم می‌کنند و برای افزایش طول تشدیدگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه فاصله‌های s_1, s_2, s_3 و میزان تزویج بین تشدیدگرها را کنترل می‌کند. عرض خطوط تشدیدگرها w_1, w_2, w_3, w_4 معمولاً یکسان است.

فاصله بین مدها توسط تزویج بین حلقه‌ها نیز کنترل می‌شود که این تزویج بوسیله فاصله و عرض حلقه‌ها و ضخامت زیر لایه قابل کنترل می‌باشد. با استفاده از این پارامترها می‌توان موقعیت باندهای عبور را کنترل کرد.



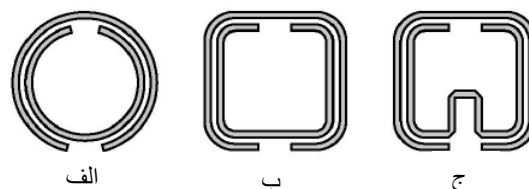
شکل ۲: شکل هندسی سلول واحد پیشنهادی.

گرفته است که دارای سه فرکانس تشدید متمایز بوده و فرکانس مرکزی هر یک از باندهای عبور، قابل کنترل است.

در این مقاله برای طراحی یک فیلتر میان‌گذر چهاربانده، از چهار تشدیدگر حلقه‌ای شکاف‌دار استفاده شده است. این حلقه‌ها برای تحقق نمونه‌های فراماده مینیاتوری ارائه شده است. در ادامه به معرفی ساختار و بررسی این فیلتر پرداخته و نتایج شبیه‌سازی نیز ارائه خواهد شد.

۲- سلول واحد تشدیدگر

اولین گام در طراحی یک فیلتر چهاربانده با استفاده از تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار، طراحی یک سلول واحد با چهار فرکانس تشدید است. در شکل (۱) تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار با تزویج لبه‌ای نشان داده شده است که به عنوان جزء اصلی در طراحی ساختارهای فراماده به کار می‌روند. با این حال تزویج بین حلقه‌های دایروی به سادگی قابل کنترل نیست و به همین دلیل اغلب از حلقه‌های مربعی استفاده می‌شود که نه تنها تزویج داخلی مناسب را فراهم می‌کنند، بلکه بین اجزای مجاور نیز تزویج ایجاد می‌کنند. ساختارهای اصلاح شده‌ای نیز وجود دارند که طول هادی داخلی را با استفاده از یک خم افزایش می‌دهند به گونه‌ای که طول الکتریکی هر دو حلقه داخلی و خارجی یکسان می‌شود. از این روش برای تولید دو فرکانس تشدید استفاده می‌شود [۶].

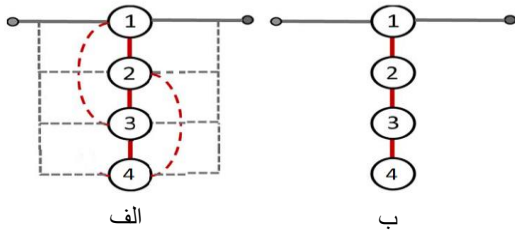


شکل ۱: حلقه‌های تشدید شکاف‌دار. الف) SRR دایروی

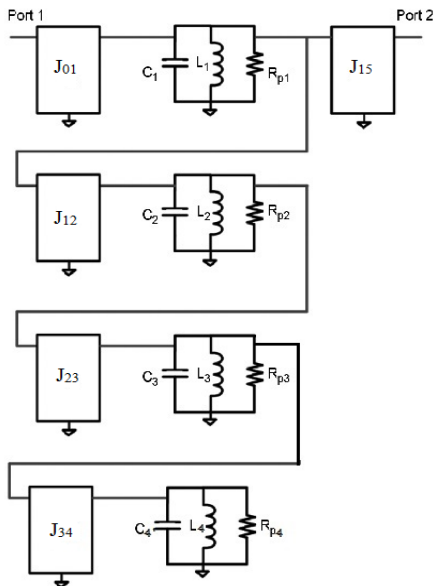
ب) SRR مربعی ج) SRR با طول الکتریکی یکسان

[۶].

ب- مدل مداری سلول واحد



شکل ۳: مدل تزویجی برای سلول واحد: الف) مدل تزویجی کامل ب) مدل تزویجی کاهش یافته.



شکل ۴: مدار معادل سلول واحد.

ج- نتایج شبیه سازی سلول واحد

تشدیدگر سلول واحد بر روی زیر لایه Rogers5870 با ضخامت 0.787 mm و ثابت دی الکتریک 2.33 طراحی و با نرم افزار HFSS شبیه سازی شده است. تغذیه این ساختار با استفاده از خطوط ریزنواری و به صورت تزویج الکترومغناطیسی می باشد. ساختار هندسی سلول واحد به همراه خط تغذیه و مقدار پارامترها در شکل (۵) و پاسخ فرکانسی آن در شکل (۶) نمایش داده شده است.

مدل تزویجی برای سلول واحد در شکل (۳) ارائه شده، شکل (۳-الف) تمامی تزویج های ممکن در سلول را نشان می دهد، اما در شکل (۳-ب) تنها تزویج های اصلی در نظر گرفته شده است. حلقه بیرونی با تشدیدگر شماره ۱ مشخص شده است. تشدیدگرهای ۲، ۳ و ۴ موقعیت صفرهای انتقال در فیلتر را ایجاد می کنند. در شکل (۴) مدار معادل مدل شکل (۳) نشان داده شده است. هر یک از تشدیدگرهای حلقه ای شکاف دار نصف طول موج توسط مدار تشدید LC موازی، که تنها یک فرکانس تشدید را پیش بینی می کند، مدل شده است. در شکل (۴) R_{pn} نشان دهنده تلفات تشدیدگر n ام است. تزویج بین تشدیدگرها توسط معکوس کننده J مدل شده است. برای بدست آوردن پارامترهای مدل مداری سلول واحد می توان از روابط زیر استفاده کرد [۸]:

$$C_n = \frac{1}{\omega_{0n} Z_{0n}} \quad (1)$$

$$L_n = \frac{Z_{0n}}{\omega_{0n}} \quad (2)$$

$$R_{pn} = \frac{Q_0}{\omega_{0n} C_n} \quad (3)$$

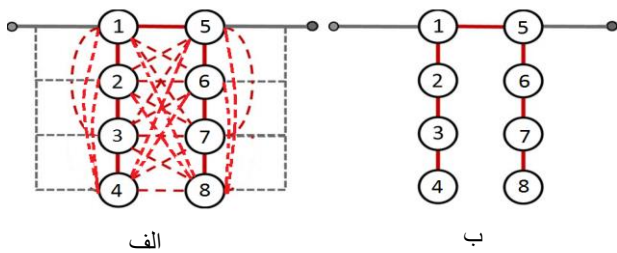
که در آن Z_{0n} امپدانس مشخصه خط در تشدیدگر n ام، Q_0 ضریب کیفیت بدون بار و Q_l ضریب کیفیت با بار می باشد.

$$J_{mn} = k_{mn} \sqrt{b_m b_n} \quad (4)$$

$$b_n = \frac{\omega_{0n}}{2} \left(C_n + \frac{1}{\omega_{0n} L_n} \right) \quad (5)$$

که در آن f_{pn} فرکانس تشدید n ام و k_{mn} ضریب تزویج می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

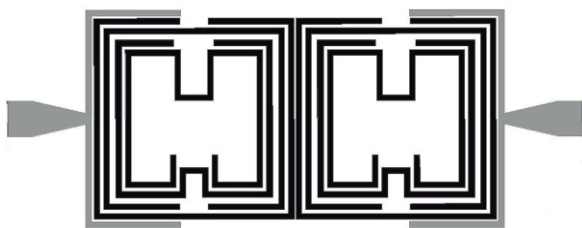
$$k_{mn} = \pm \frac{f_{pn}^2 - f_{pm}^2}{f_{pm}^2 + f_{pn}^2} \quad (6)$$



شکل ۷: مدل تزویجی برای فیلتر پیشنهادی: الف) مدل تزویجی کامل ب) مدل تزویجی کاهش یافته.

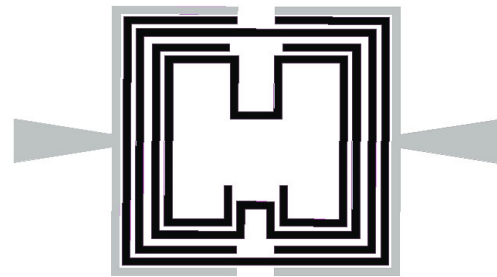
از آنجا که فیلتر با استفاده از دو سلول تشدیدگر ترکیبی یکسان ایجاد شده است، پارامترهای k_{12} ، k_{15} ، k_{23} ، k_{34} ، k_{78} و k_{15} برای طراحی مورد نیاز می‌باشد. می‌توان با استفاده از بهینه‌سازی پاسخ فرکانسی فیلتر، مشخصات فوق را بدست آورد.

پارامترهای k_{12} ، k_{23} ، k_{34} ، k_{78} ، f_1 ، f_2 ، f_3 و f_4 مقادیر نقطه شروع طراحی هستند. طول حلقه‌ها، عرض خط و فاصله بین حلقه‌ها توسط فرکانس تشدید و تزویج مورد نیاز با تقریب‌های اولیه برای طول حلقه‌ها، که توسط تشدیدگرهای نصف طول موج محاسبه می‌شود، با تکرار و بهینه‌سازی بدست می‌آید. شکل هندسی ساختار در شکل (۸) نشان داده شده است. ابعاد نهایی برابر با $0.1184 \lambda_0 \times 0.274 \lambda_0$ است که λ_0 طول موج فضای آزاد در فرکانس مرکزی اولین باند عبور است.

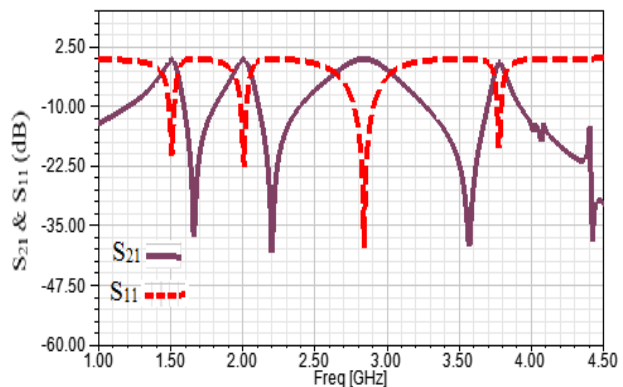


شکل ۸: ساختار هندسی فیلتر طراحی شده.

پاسخ فرکانسی شبیه‌سازی شده در شکل (۹) نشان داده شده است و مشاهده می‌شود با متوالی کردن سلول واحد، به فیلتر با مرتبه بالاتر و با قابلیت انتخاب بالا (فیلتر تیزتر) دست می‌یابیم. در جدول (۱) تلفات تزویجی، تلفات بازگشتی و پهنای باند فرکانسی هر یک از باندها ارائه شده است.



شکل ۵: سلول واحد تشدیدگر، خط تغذیه با رنگ خاکستری مشخص شده است. $L_1=12.4$ ، $L_2=11.1$ ، $L_3=9.5$ ، $L_4=8.2$ ، $W_1=W_2=W_3=W_4=0.4$ ، $S_1=0.25$ ، $S_2=0.4$ ، $S_3=0.25$ ، $S_4=0.25$ ، $g_1=g_2=g_3=g_4=1.9$ ، $d_1=1.6$ ، $d_2=2.6$ و $d_3=2.2$ (پارامترها بر حسب میلی‌متر).



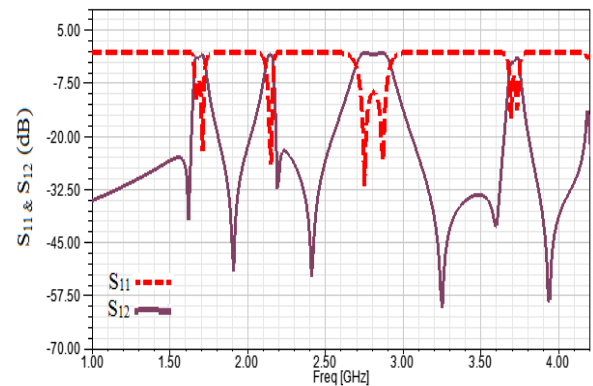
شکل ۶: ضریب انعکاس و انتقال سلول واحد.

۳- ساختار فیلتر نهایی

برای افزایش قابلیت انتخاب (تیزی) فیلتر، دو سلول واحد قبلی را به صورت متوالی قرار می‌دهیم. برای طراحی اولیه، تنها تزویج اصلی (مجاور) در نظر گرفته شده است. در شکل (۷-الف) مدل تزویج کامل و در شکل (۷-ب) مدل تزویج کاهش یافته برای این فیلتر نشان داده شده است. موقعیت باندهای عبور و پهنای باند توسط پارامترهای $k_{12}(=k_{56})$ ، k_{15} و $k_{23}(=k_{67})$ کنترل می‌شود. تزویج‌های متقابل بر روی پهنای باند تاثیر کمی دارد. همه تزویج‌ها به طور کامل برای طراحی فیلتر نهایی در نظر گرفته می‌شود.

مرجع ها

- [1] H. Miyake, S. Kitazawa, T. Ishizaki, T. Yamada, and Y. Nagatomi, "A miniaturized monolithic dual band filter using ceramic lamination technique for dual mode portable telephones," in *Microwave Symposium Digest, 1997., IEEE MTT-S International, 1997*, pp. 789-792.
- [2] J. García-García, J. Bonache, I. Gil, F. Martín, M. Velázquez-Ahumada, and J. Martel, "Efficient area reduction in microstrip cross-coupled resonator filters by using split rings resonators and spiral resonators," in *Microwave Conference 2005, European, 2005*, p. 4 pp.
- [3] S. H. Jang and J. C. Lee, "Design of novel cross-coupling elliptic function filters with the miniaturized edge-coupled split ring resonators," *Microwave and optical technology letters*, vol. 45, pp. 495-499, 2005.
- [4] M. Gil, J. Bonache, and F. Martin, "Metamaterial filters: A review," *Metamaterials*, vol. 2, pp. 186-197, 2008.
- [5] J.-W. Fan, C.-H. Liang, and D. Li, "Design of cross-coupled dual-band filter with equal-length split-ring resonators," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 75, pp. 285-293, 2007.
- [6] A. Garcia-Lamperez and M. Salazar-Palma, "Dual band filter with split-ring resonators," in *Microwave Symposium Digest, 2006. IEEE MTT-S International, 2006*, pp. 519-522.
- [7] R. Geschke, B. Jokanovic, and P. Meyer, "Compact triple-band resonators using multiple split-ring resonators," in *Microwave Conference, 2009. EuMC 2009. European, 2009*, pp. 366-369.
- [8] R. H. Geschke, B. Jokanovic, and P. Meyer, "Filter parameter extraction for triple-band composite split-ring resonators and filters," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 1500-1508, 2011.



شکل ۹: ضریب انعکاس و انتقال فیلتر پیشنهادی.

جدول ۱: تلفات تزریقی، تلفات بازگشتی و پهنای باند هر یک از باندهای فیلتر پیشنهادی.

	فرکانس مرکزی (GHz)	پهنای باند (MHz)	تلفات تزریقی (dB)	تلفات بازگشتی (dB)
باند اول	۱/۷	۷۰	۰/۵	۲۳/۴
باند دوم	۲/۲	۵۰	۰/۵	۲۶/۵
باند سوم	۲/۷	۲۱۰	۰/۲	۳۱/۵
باند چهارم	۳/۷	۷۰	۱/۰۷	۱۵/۸

۴ - نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از تشدیدگرهای حلقه‌ای شکاف‌دار که یکی از عناصر اصلی ساختارهای فراماده محسوب می‌شوند، فیلتر میان‌گذر چهار بانده پیشنهاد و طراحی شد. این فیلتر دارای قابلیت انتخاب فرکانس بالا، قابلیت کنترل موقعیت باندها، کاهش ابعاد ساختار و باندهای عبور باریک است. ابعاد فیلتر بر حسب طول موج فضای آزاد در فرکانس مرکزی اولین باند عبور برابر با $0.1184 \lambda_0 \times 0.274 \lambda_0$ است که نسبت به مرجع [۸] ۱۵٪ ابعاد کاهش یافته است.