

## طراحی، بهینه‌سازی و ساخت یک فیلتر پهن‌بند با تشدیدکننده‌های چندمودی در ساختار خط نواری سه‌لایه

مهدی کریمیان محمدآبادی<sup>(۱)</sup> - پدرام سیدافتتاحی<sup>(۲)</sup> - سید امیر محمد خذری<sup>(۳)</sup>

(۱) دانشکده برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد

(۲) شرکت خدمات انفورماتیک ایران

(۳) شرکت مهندسی رستافن ارتباط

**خلاصه:** در این مقاله با توجه به محدودیتهای تزویج و نیز محدودیتهای ساخت در ساختارهای ریز نواری، ساختار خط نواری سه‌لایه معرفی شده و با توجه به قابلیت‌های این ساختار سه لایه، ساختارهای جدید و فشرده‌ای از فیلترهای پهن‌بند بر پایه پله‌های امیدانسی و خطوط تزویج‌شده مایکروویوی به عنوان قسمتهای معکوس‌کننده امیدانس و تشدیدکننده‌های چند مودی ارائه شده است. با کمک این ساختار چند نوع فیلتر پهن‌بند خط نواری ۶-۲ GHz طراحی و شبیه‌سازی گردیده و تکنیکهای مؤثری جهت کاهش تشدیدهای مجازی و نیز بهبود شیب لبه باند عبور فیلتر ارائه شده و در نهایت به عنوان نمونه یک فیلتر پهن‌بند ساخته شده است. کارآیی روش ارائه‌شده از طریق شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مشخصات نمونه ساخته شده نشان داده شده است.

**کلمات کلیدی:** خط ریز نواری، خط نواری سه‌لایه، تشدیدکننده‌های چند مودی، تزویج، تشدید مجازی، شیب لبه باند عبور.

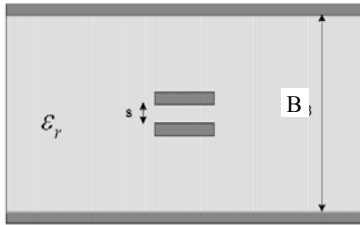
### ۱- مقدمه

داشته باشند.

امروزه با توجه به کاربردهای سیستمهای پهن‌بند و چند باندهای طراحی فیلترهای پهن‌بند با تلفات عبوری کم و باند توقف بهینه شده، اهمیت فراوان یافته و فیلترهای پهن‌بند هم‌صفحه به عنوان یک ساختار کلیدی نقش مهمی در این سیستمها ایفا می‌کنند. کلیه ساختارهای مطرح شده برای فیلترهای میانگذر عمدتاً مبتنی بر تشدیدکننده‌های خط انتقالی با طولهای ربع طول موج و نیم‌طول موج می‌باشند، که تشدیدکننده‌های مجاور از طریق عناصر تزویج‌کننده مانند خازن موازی یا سلف سری با یکدیگر مربوط می‌شوند و بدین ترتیب قطبهای انتقال در باند عبور فیلتر را محقق می‌سازند. اما نکته مهم و کلیدی در این دسته از فیلترها این است که طراحی آنها بر پایه این تقریب است که هر تشدیدکننده خط انتقالی معادل با یک LC سری یا موازی و هر عنصر تزویج‌کننده به عنوان یک معکوس‌کننده امیدانس و یا معکوس‌کننده ادیمیتانس جداگانه و مستقل از فرکانس در بازه فرکانسی مورد بحث در نظر گرفته می‌شود. لذا کاملاً منطقی است که تکنیکهای مرسوم برای طراحی فیلترهای میانگذر تنها در مورد فیلترهای باند باریک ( $BW < 20\%$ ) کارآیی

تا کنون برای افزایش پهنای باند فیلترها و طراحی و ساخت فیلترهای پهن‌بند کارهای مختلفی صورت گرفته است [۱]. در [۲] فیلترهای میانگذر بر پایه تشدیدکننده‌های خط انشعابی معرفی شدند. این فیلترها دارای باندهای عبور اضافی در حوالی dc و هارمونیک دوم فرکانس مرکزی  $f_0$  می‌باشند و بیشترین افت را در  $f_0$  و  $0.5 f_0$  و  $1.5 f_0$  به دست می‌دهند. مهمترین کاربرد این فیلترها در جاهایی است که عبور سیگنال در dc و  $2f_0$  موردنظر می‌باشد و هدف اصلی از طراحی فیلتر در جاهایی است که عدم عبور باند باریک فرکانسی لازم است. استفاده از ساختارهای تزویج‌شده موازی دو خطی یکی از معمولترین روشهای تحقق فیلترهای میانگذر ریز نواری می‌باشد. هرچه پهنای باند فیلتر افزایش یابد، فاصله نوارها نیز باید کمتر شود تا تزویج بیشتر گردد. اما کاهش این فاصله به کمتر از  $0.125 \text{ mm}$  در ساختارهای ریز نوار غیر ممکن است. در [۳] این ایده مطرح شد که تنها راه افزایش تزویج، کمتر کردن فاصله خطوط تزویج نمی‌باشد بلکه با اضافه کردن خط سوم به تزویج‌کننده می‌توان تزویج را افزایش داد و بدین ترتیب به پهنای باندهای بالای مطلوب دست یافت. این ساختارها را ساختارهای

در مدارات ریزنوار، خطوط تزویج شونده دارای ساختار تزویج شونده لبه‌ای می‌باشند، اما در ساختارهای خط نواری سه لایه خطوط تزویج شونده دارای ساختار تزویج شونده صفحه‌ای هستند که امکان تحقق تزویج‌های بالا را فراهم می‌سازد [۶]. مقطع این ساختار همراه با ابعاد در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): ساختار تزویج صفحه‌ای همراه با ابعاد

### ۳- طراحی فیلتر ۲-۶GHz با استفاده از مبدل‌های ربع طول موج

در این بخش به طراحی و شبیه‌سازی یک فیلتر پهن باند با مشخصات مطرح شده در [۱] یعنی پهنای باند ۲-۶ GHz و تلفات عبوری کمتر از ۲ dB با ساختار خط نواری سه لایه می‌پردازیم. برای جلوگیری از تکرار در مدار اولیه فیلتر، امپدانس خطوط مختلف و نیز امپدانس زوج و فرد تزویج‌کننده‌ها را مطابق با اندازه‌های به دست آمده در [۱] لحاظ می‌کنیم. بنابراین امپدانس خطوط در مبدل ربع طول موج به شرح زیر خواهند بود:

$$Z_1 = 47/39, Z_2 = 39/25, Z_3 = 26/18, Z_4 = 15/81$$

$$Z_5 = 9/32, Z_6 = 6/37, Z_7 = 5/28 \Omega \quad (1)$$

و امپدانس زوج و فرد برای تزویج‌کننده‌های ابتدایی و انتهایی عبارتند از:

$$Z_{0e} = 165/3, Z_{0o} = 55/42 \Omega \quad (2)$$

و امپدانس زوج و فرد برای تزویج‌کننده‌های دوم و سوم نیز به صورت زیر خواهند بود:

$$Z_{0e} = 199/98, Z_{0o} = 89/71 \Omega \quad (3)$$

برای محاسبه عرض نوارها و همچنین فاصله نوارها در خطوط تزویج‌شده موازی از منوی Line Calc نرم‌افزار ADS استفاده می‌کنیم.

مشخصات زیر لایه مورد استفاده در مدارهای خط نواری سه لایه به شرح زیر است:

$$B = 67 \text{mil}, s = 5 \text{mil}, \epsilon_r = 2/2 \quad (4)$$

دستیابی به امپدانسهای زوج و فرد محاسبه شده در روابط بالا با استفاده از خطوط تزویج‌شده صفحه‌ای مستقیم امکان‌پذیر نیست. لذا برای دستیابی به امپدانسهای مورد نظر ناچاریم از خطوط تزویج‌شده جابجاشده استفاده نماییم. در شکل (۳) این ساختار نشان داده شده است.

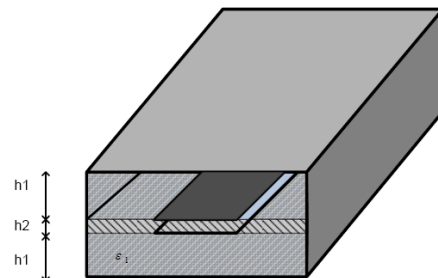
ریزنواری سه خطی می‌نامند. مزیت دیگر این ساختارها باند توقف وسیعتر آنها نسبت به ساختارهای دو خطی مشابه می‌باشد.

در سال ۱۹۸۲ برای اولین بار Brian J. Minis یک روش جدید برای طراحی فیلترهای میانگذر ارائه نمود [۴]. روش ارائه‌شده که مبتنی بر تبدیل ریچاردز می‌باشد، قادر است پاسخ فرکانسی فیلتر را به هر ناحیه دلخواهی منتقل نماید. در این روش باند ممنوعه فیلتر را می‌توان به اندازه دلخواه پهن نمود و هارمونیکهای فیلتر را در فاصله نسبتاً زیادی نسبت به فرکانس مرکزی فیلتر  $f_0$  قرار داد. در این طرح برای پیاده‌سازی ضریب تزویج‌های بالا از عناصر خازنی فشرده استفاده شده است که این موضوع به عنوان یکی از معایب اصلی این فیلترها مطرح می‌شود. ولی در سال ۱۹۹۰ با استفاده از تکنولوژی خط نواری سه لایه و استفاده از دو وجه لایه میانی طراحی فیلتر بدون نیاز به عناصر خازنی فشرده ممکن شد [۵].

در این مقاله یک روش جامع و نوین برای طراحی فیلترهای پهن باند با فرکانسهای مرکزی و پهنای باندهای متفاوت با استفاده از پله‌های امپدانس و خطوط تزویج‌شده مایکروویوی به عنوان قسمت‌های معکوس کننده امپدانس و تشدیدکننده‌های چندمودی ارائه شده است. با کمک این ساختار چند نوع فیلتر پهن باند خط نواری ۲-۶ GHz طراحی و بهینه‌سازی گردیده و تکنیکهای مؤثری جهت کاهش تشدیدهای مجازی و نیز بهبود شیب لبه باند عبور فیلتر ارائه شده و در نهایت به عنوان نمونه یک فیلتر پهن باند ساخته شده است. کارایی روش ارائه‌شده از طریق شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مشخصات نمونه ساخته‌شده نشان داده شده است.

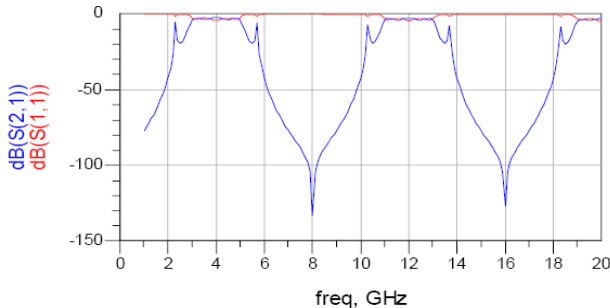
### ۲- ساختار مورد استفاده

در این مقاله با توجه به محدودیتهای تزویج و نیز محدودیتهای ساخت در ساختارهای ریزنوار، برای دستیابی به ضرایب تزویج بالا ساختار خط نواری سه لایه مطابق شکل (۱) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این ساختار مدار بر روی دو وجه بالا و پایین دی‌الکتریک میانی پیاده می‌شود. انتشار موج در ساختارهای خط نواری مانند سایر ساختارهای یکنواخت به صورت TEM خالص می‌باشد.



شکل (۱): ساختار خط نواری سه لایه

علت عدم استفاده از فیلترهای تزویج شده موازی به محدودیت ساخت بازمی‌گردد و یا دلیل دیگری دارد. زیرا با استفاده از خطوط نواری سه لایه بر محدودیت ساخت غلبه شده است. پاسخ حاصل از تحلیل خط انتقالی این فیلتر در شکل (۶) نشان داده شده است.

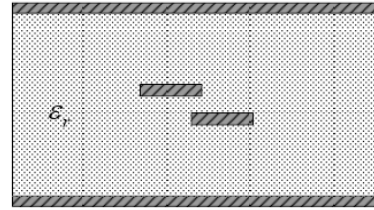


شکل (۶): نتایج شبیه‌سازی خط انتقالی فیلتر تزویج شده موازی ۱۰۰ درصد

همانگونه که از پاسخ فرکانسی فیلتر در شکل پیداست، اگرچه شیب لبه باند عبور بسیار تیز است، اما به هیچ عنوان نتوانسته است تلفات عبوری مورد نظر در باند عبور را محقق سازد. دلیل این موضوع به این واقعیت باز می‌گردد که تشدیدکننده‌های خط انتقالی که در طراحی فیلترهای تزویج شده موازی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با تشدیدکننده‌های LC مدل می‌شوند، تنها در حوالی فرکانس مرکزی خود دارای رفتاری شبیه به تشدیدکننده‌های LC دارند و در فواصل دور از فرکانس مرکزی تقریب آنها با تشدیدکننده‌های LC اشتباه است.

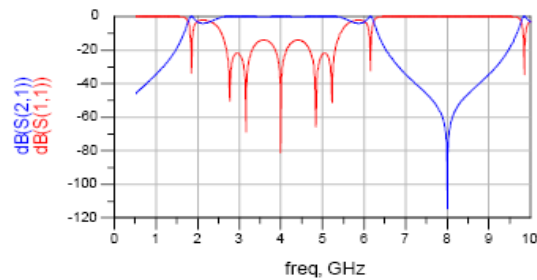
#### ۴- طراحی فیلتر با خطوط کوپل شده صفحه‌ای بدون آفست

برای بهینه کردن پاسخ باید تزویج را در خطوط تزویج شده موازی بالا برد، برای این منظور از خطوط تزویج شده بدون آفست که دارای تزویج بالاتری نسبت به خطوط تزویج شده دارای آفست هستند، استفاده می‌شود. در شکل (۷) یک فیلتر پهن‌بند با استفاده از دو تزویج‌کننده ابتدایی و انتهایی نشان داده شد. در این شکل شمای مدار چاپی در دو سوی لایه میانی نشان داده شده است. در شکل (۸) نتایج شبیه‌سازی خط انتقالی و در شکل (۹) تحلیل تمام موج این فیلتر نشان داده شده است. همانگونه که از این شکلها نیز پیداست، پهنای باند این فیلتر تا حدی از پهنای باند مورد نظر بیشتر می‌باشد.



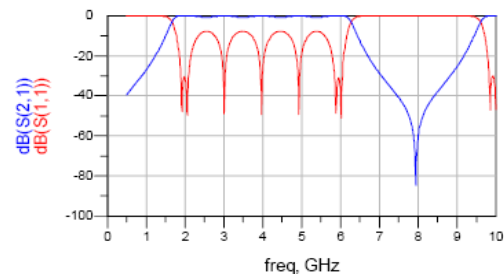
شکل (۳): ساختار تزویج‌شونده جابجاشده صفحه‌ای

نتایج حاصل از شبیه‌سازی خط انتقالی فیلتر طراحی شده در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): نتایج شبیه‌سازی خط انتقالی فیلتر طراحی شده قبل از بهینه‌سازی

برای حصول به پاسخ بهتر به بهینه‌سازی مدار می‌پردازیم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی خط انتقالی فیلتر طراحی شده پس از بهینه‌سازی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): نتایج شبیه‌سازی خط انتقالی فیلتر طراحی شده پس از بهینه‌سازی

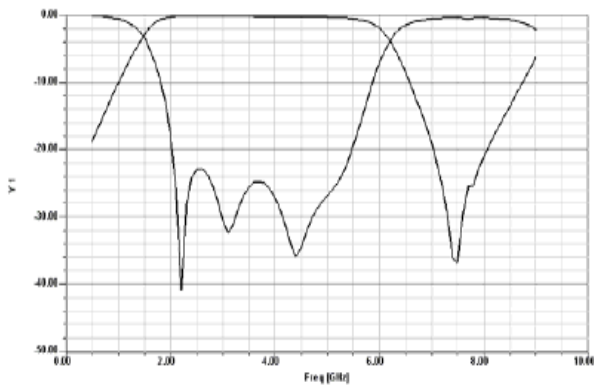
برای ارزیابی طرح خود یک فیلتر تزویج شده موازی را به عنوان پایه‌ای برای مقایسه، مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور یک فیلتر با درجه هشت، پهنای باند ۱۰۰٪ و ریپل ۰/۱dB طراحی و شبیه‌سازی شده است. مقادیر به دست آمده برای امپدانسهای زوج و فرد تزویج‌کننده‌های فیلتر تزویج شده موازی به شرح زیر می‌باشند:

$$E=142/8, Z_{0e}=159/6, Z_{0e}=130/3, Z_{0e}=126/5, o=47/7, Z_{0o}=52/3, Z_{0o}=44/1, Z_{0o}=43/1 \Omega \quad (5)$$

امپدانسهای زوج و فرد سایر خطوط خطوط به صورت متقارن تکرار خواهند شد. تحقق امپدانسهای فوق توسط خطوط تزویج شده ریز نواری امکان ندارد. لذا برای تحقق این امپدانسها از تزویج صفحه‌ای در ساختارهای خط نواری سه لایه استفاده شده است تا معلوم شود که

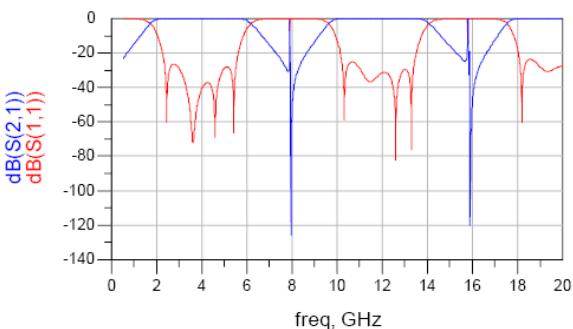


شکل (۱۱): نتایج تحلیل خط انتقالی فیلتر با چهار تزویج کننده



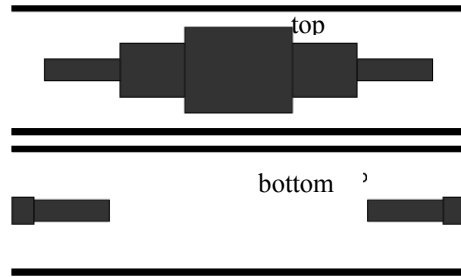
شکل (۱۲): نتایج تحلیل تمام موج فیلتر با چهار تزویج کننده

همانگونه که در پاسخ فرکانسی این فیلتر نمایان است، این فیلتر دارای تلفات عبوری بسیار خوبی در بازه فرکانسی مطلوب ۲-۶ GHz می باشد و تلفات بازگشتی آن در باند عبور کمتر از ۲۲ GHz می باشد. در شکل (۱۳) نتایج حاصل از شبیه سازی این فیلتر در بازه فرکانسی ۱-۴۰ GHz نشان داده شده است. همانگونه که از این شکل پیداست، این فیلتر دارای دو ضعف عمده می باشد؛ اولاً دارای پاسخهای مجازی در هارمونیک های دوم و سوم می باشد و ثانیاً شیب لبه باند عبور در هر دو طرف بازه فرکانسی کم می باشد.

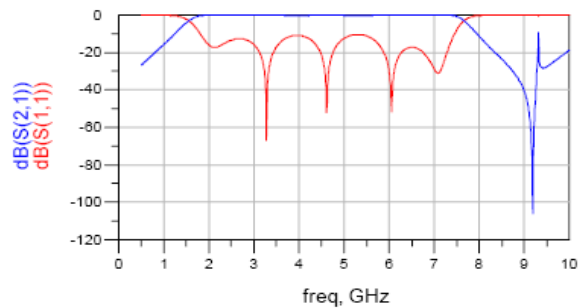


شکل (۱۳): نتایج حاصل از شبیه سازی فیلتر در بازه ۱-۲۰GHz

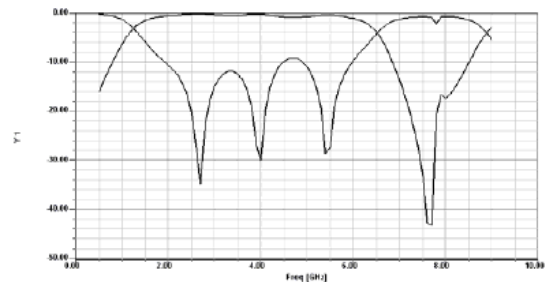
در مورد ضعف اول این فیلتر، یعنی وجود پاسخ مجازی در هارمونیک های این فیلتر باید گفت یکی از راههای حذف هارمونیک اول جایگذاری تشدیدکننده امپدانس پله ای بصورت عمودی می باشد که بر



شکل (۷): شمای مدار چاپی، در دو سوی لایه میانی فیلتر با دو تزویج کننده



شکل (۸): نتایج تحلیل خط انتقالی فیلتر با دو تزویج کننده

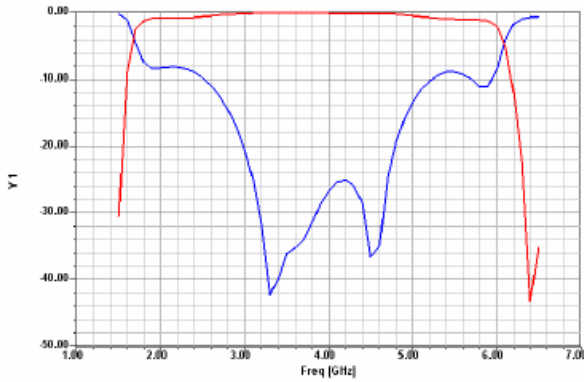


شکل (۹): نتایج تحلیل تمام موج فیلتر با دو تزویج کننده

از آنجایی که تابعیت این دسته از تزویج کننده ها نسبت به فرکانس کم می باشد، می توان چهار تا از پله های امپدانس را با کمک خطوط تزویج شده جایگزین نمود. با این کار به علت تابعیت جزئی تزویج کننده ها نسبت به فرکانس در انتهای بازه، پهنای باند فیلتر بر روی پهنای باند مورد نظر کاملاً تطبیق می گردد. نمای مدار چاپی این فیلتر در شکل (۱۰) و پاسخ حاصل از تحلیل خط انتقالی و تمام موج این فیلتر به ترتیب در شکل های (۱۱) و (۱۲) نمایش داده شده است.



شکل (۱۰): شمای مدار چاپی در دو وجه لایه میانی فیلتر با چهار تزویج کننده



شکل (۱۶): نتایج تحلیل تمام موج فیلتر با استفاده از استاب چهار قسمتی

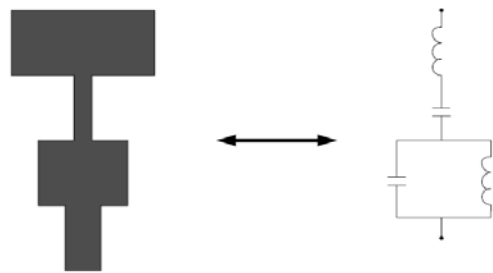
### ۶- حذف پاسخهای مجازی فیلتر

یکی از ضعفهای عمده فیلتر ما و بسیاری از فیلترهای میکروویو وجود پاسخهای مجازی در فرکانسهای بالاتر می‌باشد که به واسطه تکرار طول الکتریکی در فرکانسهای بالاتر روی می‌دهد. در اینجا برای حذف پاسخهای مجازی اول و دوم، از یک تکنیک جدید استفاده نموده‌ایم. این تکنیک بر پایه این واقعیت است که خطوط ربع طول موج اتصال باز در فرکانس مرکزی خود معادل یک مدار اتصال کوتاه می‌باشند. این استابها که به صورت موازی قرار می‌گیرند در فرکانس مرکزی خود نظیر یک اتصال کوتاه عمل می‌کنند. این استابها را در ورودی و خروجی هر یک از خطوط تزویج شده موازی قرار می‌دهیم. طول هر یک از این استابها را برابر با ربع طول موج در قطبهای انتقال فیلتر در باند عبور مجازی دوم قرار می‌دهیم. یک استاب به طول ربع طول موج هم برای تشدید مجازی در دو برابر فرکانس مرکزی فیلتر قرار می‌دهیم. از آنجایی که در طرح ما از خطوط تزویج شده اتصال باز استفاده شده این استابها با اتصال کوتاه کردن خطوط تزویج شده در باند عبوری مجازی تطبیق را در این فرکانسها مختل کرده و باعث افزایش تلفات عبوری و همچنین تلفات بازگشتی در مدار می‌شود. در حقیقت در این روش با اضافه کردن صفرهای انتقال به مدار، قطبهای انتقال را در باندهای عبور مجازی حذف کرده‌ایم. البته افزایش این استابها به مدار بر روی پاسخ فیلتر در باند عبور اصلی اثرات مخرب می‌گذارد که در این حالت انجام بهینه‌سازی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در حقیقت در این روش با اضافه کردن استابهای به طول یک ربع طول موج در باند عبور مجازی، امکان حذف باند عبوری مجازی را فراهم می‌سازیم و به کمک بهینه‌سازی تلفات عبوری در باند عبور اصلی را به حد مطلوب باز می‌گردانیم. در شکل (۱۷) پاسخ فرکانسی حاصل از افزودن این استابها نشان داده شده است. همانگونه که پیداست با کمک این روش پاسخهای مجازی فیلتر در هارمونیکهای دوم و سوم به خوبی حذف شده‌اند، اما تلفات عبوری در باند اصلی فیلتر افزایش یافته است. در شکل (۱۸) پاسخ فرکانسی فیلتر با تغییر جزئی در طول استابها نشان داده شده است. در شکل (۱۹) نیز شمای

روی هارمونیک دوم فیلتر هیچ تأثیری ندارد [۱۷]. در ادامه راهکارهایی را برای جبران این دو ضعف فیلتر ارائه خواهیم کرد.

### ۵- بهبود شیب لبه باند عبور

یکی از راههای افزایش شیب دامنه پاسخ فیلتر در لبه باند عبور افزودن دو صفر به تابع انتقال سیستم در مجاورت دو انتهای باند عبور می‌باشد. برای این منظور از روش پیشنهاد شده در مرجع [۵] استفاده نموده‌ایم. برای تحقق این دو صفر یک استاب چهار قسمتی خط انتقالی پیشنهاد شده است. شکل (۱۴) این استاب و مدار معادل آن را نشان می‌دهد. این استاب به صورت موازی در مدار فیلتر قرار می‌گیرد.

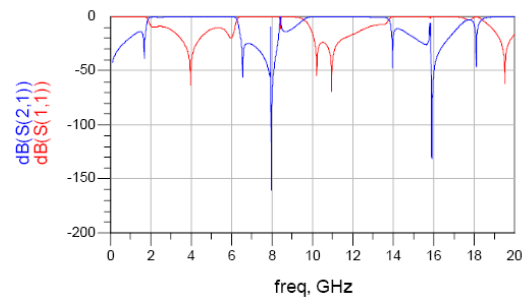


شکل (۱۴): استاب چهار قسمتی و مدار معادل آن

در [۵] برای یک فیلتر ۲-۶GHz یک استاب چهار قسمتی مرتبه چهار با مشخصات زیر پیشنهاد شده است:

$$Z_1=86, Z_2=64, Z_3=100, Z_4=23 \Omega \quad (6)$$

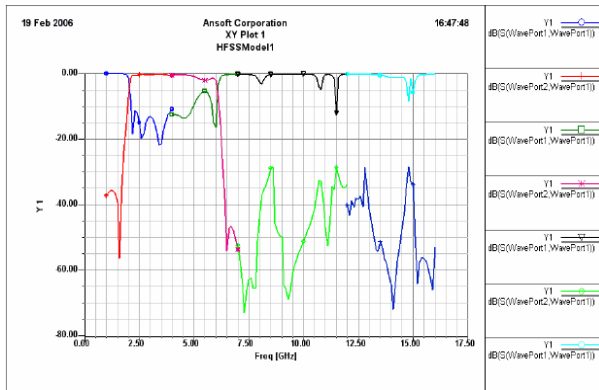
و طول پیشنهاد شده برای هر یک از قسمتها یک ربع طول موج در فرکانس ۱۰GHz می‌باشد. صفرهای انتقال این استاب مرتبه چهار در ۱/۷GHz و ۶/۴GHz واقع شده‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی خط انتقالی و تمام موج فیلتر مذکور با این استاب به ترتیب در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) آورده شده‌اند. همانگونه که مشخص است، شیب لبه باند عبور بسیار تیز شده است.



شکل (۱۵): نتایج تحلیل خط انتقالی فیلتر با استاب چهار قسمتی



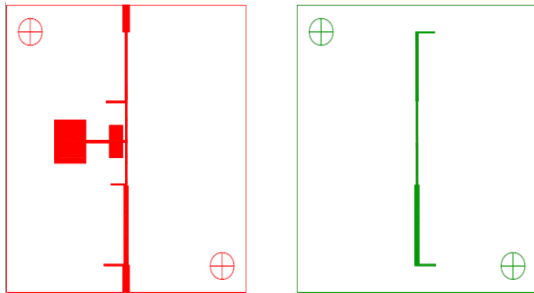
شکل (۲۰): پاسخ فرکانسی فیلتر پس از بهینه‌سازی



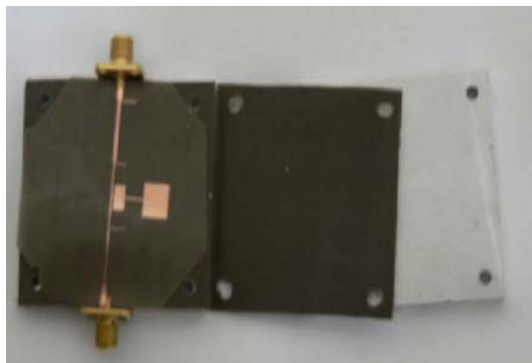
شکل (۲۱): نتایج تحلیل تمام موج فیلتر

۷- ساخت فیلتر طراحی شده

در شکل‌های (۲۲) و (۲۳) به ترتیب شکل مدار چاپی و عکس قسمتهای مختلف فیلتر قبل از مونتاژ نشان داده شده‌اند.

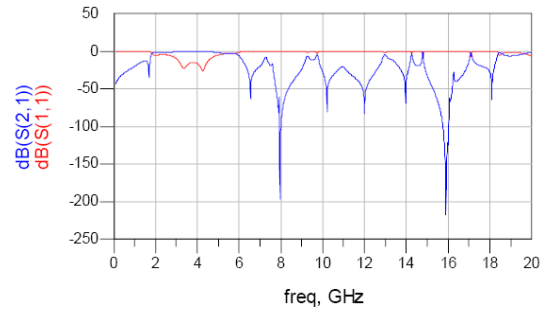


شکل (۲۲): شکل مدار چاپی در دو وجه لایه میانی فیلتر

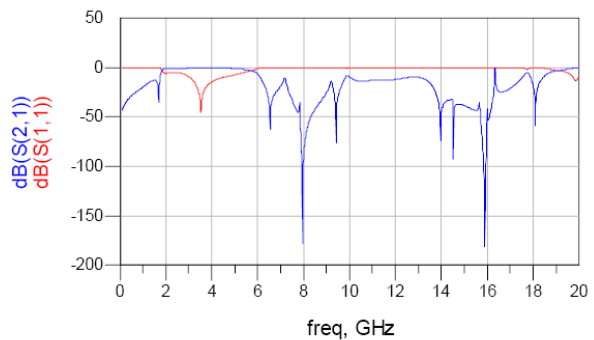


شکل (۲۳): قسمتهای مختلف فیلتر قبل از مونتاژ

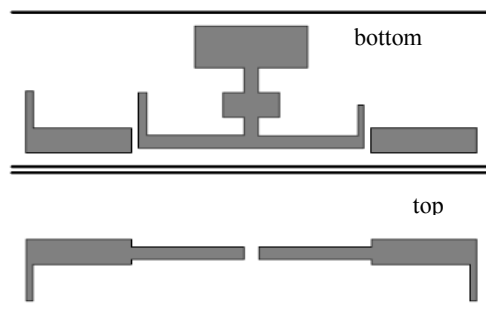
مدار چاپی این فیلتر و در شکل (۲۰) پاسخ فرکانسی آن پس از بهینه‌سازی نشان داده شده است. از آنجاییکه پاسخ حاصل از شبیه‌سازی خط انتقالی این ساختار در حدود ۲۰۰ MHz نسبت به پاسخ حاصل از شبیه‌سازی تمام موج جایابی دارد، لذا مدل خط انتقالی با جایابی ۲۰۰ MHz طراحی شده است. در شکل (۲۱) پاسخ حاصل از تحلیل تمام موج این فیلتر نمایش داده شده است که به خوبی با مشخصات مورد نظر برای طراحی مطابقت دارد.



شکل (۱۷): پاسخ فرکانسی فیلتر پس از افزودن استابها



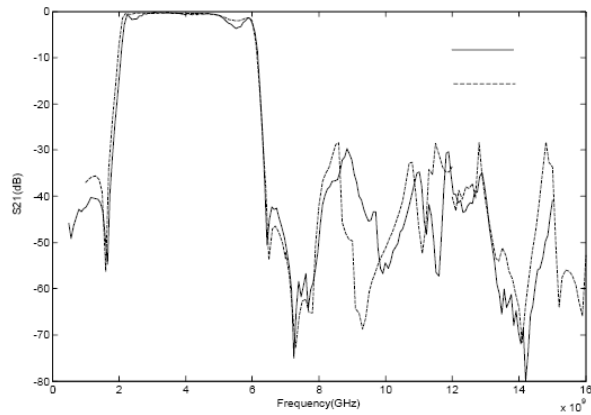
شکل (۱۸): پاسخ فیلتر پس از افزودن استابها و تغییرات جزئی در طول استابها



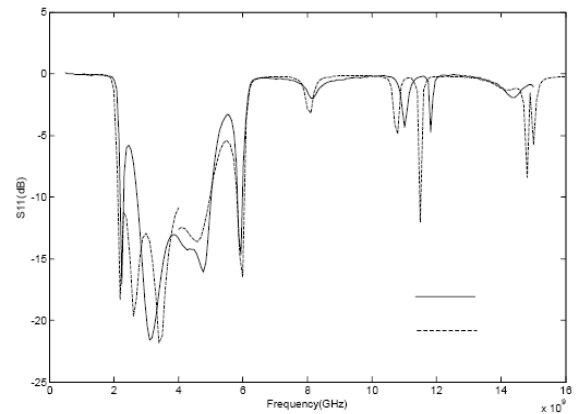
شکل (۱۹): شمای مدار چاپی در دو وجه لایه میانی فیلتر

## ۸- تست فیلتر و مقایسه نتایج

نتایج تست و اندازه‌گیری مشخصات فیلتر توسط تحلیلگر شبکه در شکل‌های (۲۴) و (۲۵) آورده شده‌اند.



شکل (۲۴): نمودار  $S_{21}$  حاصل از اندازه‌گیری و تحلیل تمام موج



شکل (۲۵): نمودار  $S_{11}$  حاصل از اندازه‌گیری و تحلیل تمام موج

همانگونه که در اشکال هم واضح است، نتایج حاصل از اندازه‌گیری فیلتر تقریباً با نتایج حاصل از تحلیل تمام موج فیلتر مطابقت دارد و

فیلتر ساخته شده به خوبی خواسته‌های مورد نظر در طراحی فیلتر را محقق کرده است، بدین معنا که هم دارای تلفات عبوری کمتر از  $2/5$  dB در کل بازه  $6-2$  GHz می‌باشد، هم شیب لبه باند عبور به بیش از  $40$  dB/ $300$  MHz رسیده است و هم هارمونیک‌های مجازی فیلتر به خوبی تا مقدار  $30$  dB حذف شده‌اند.

## ۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بر پایه پله‌های امپدانس، خطوط تزویج شده میکروویوی و تشدیدکننده‌های چند مودی ساختارهای جدید و فشرده‌ای از فیلترهای پهن‌بند ارائه شده و با کمک ساختار خط نوری سه لایه، یک نمونه فیلتر پهن‌بند ساخته شده است که نتایج طراحیها، شبیه‌سازیها و ساخت به خوبی بر روی یکدیگر منطبق شد. با توجه به موارد و نتایج مشاهده شده موارد زیر برای ادامه و تکمیل پروژه پیشنهاد می‌گردد:

محدودیت تزویج در ساختارهای ریز نوار از موانع اصلی پیاده‌سازی این دسته از فیلترهای پهن‌بند می‌باشند، لذا تکنیک‌هایی نظیر برداشتن صفحه زمین زیر تزویج‌کننده جهت افزایش تزویج در تزویج‌کننده‌های ریز نوار و بررسی نتایج آن بر روی پاسخ فیلتر و تأثیر آن در وسیعتر کردن پهنای باند فیلتر پیشنهاد می‌شود.

استفاده از مبدل‌های ربع طول موج جهت طراحی فیلترهای پهن‌بندتر و یافتن تکنیک‌های جدید، جهت دستیابی به افزایش شیب مناسب لبه باند عبور (تکنیک معرفی شده در این مقاله دارای محدودیت باند می‌باشد).

در فیلتر معرفی شده در این مقاله پاسخهای مجازی در فرکانسهای دو، سه و چهار برابر فرکانس مرکزی حذف شده است. لذا یافتن راهکارهایی جهت حذف هارمونیک‌های بالاتر فیلتر و دستیابی به یک فیلتر پهن‌بند با باند توقف وسیعتر، جهت ادامه و تکمیل پروژه پیشنهاد می‌شود.

## مراجع

- [1] L.Zhu, W.Menzel, K.Wu, F.Boegesack, "Theoretical characterization and experimental verification of a novel compact broadband microstrip bandpass filter", APMC, pp.625-628, 2001.
- [2] C.Nguyen, "Design and performance of novel printed-circuit spurline bandpass filters", IEEE Micro. and Gui. Wave Lett., vol.2, No.11, pp.437-438, Nov. 1992.
- [3] J.T.Kuo, E.Shin, "Wideband bandpass filter design with three-line microstrip structure", IEE Proc. Micro. Anten. Propag., Vol.149, No.5/6, pp.243-247, Oct./Dec. 2002.
- [4] B.J.Minnis, "Classes of sub-miniature microwave printed circuit filters with arbitrary passband and stopband width", IEEE Trans. Micro. Theo. Tech., Vol.30, No.11, pp.1893-1900, Nov. 1982.
- [5] J.H.Kotze, "Classes of bandpass filters having an arbitrary wide stopband and design table for one such class", IEEE MTT-S Digest, pp.123-126, 1990.
- [6] R.Mongia, I.Bahl, P.Bhartia, "RF and microwave coupled-line circuits", Artech House, 1974.
- [7] L.Zhu, W.Menzel, K.Wu, F.Boegesack, "On the design of novel compact broad-band planar filters", IEEE Trans. Micr. Theo. Tech., Vol.51, No.2, pp.364-370, Feb. 2000

## رزومه



مهدی کریمیان محمدآبادی در سال ۱۳۵۷ در اصفهان متولد شد. ایشان فارغ‌التحصیل در رشته مهندسی برق، شبکه‌های انتقال توزیع در مقطع کارشناسی و مهندسی برق - مخابرات - میدان در مقطع کارشناسی ارشد به ترتیب از دانشگاه‌های صنعت آب و برق تهران و علم و صنعت ایران می‌باشد. دارای سابقه کار در امور پروژه‌های تحقیقی در پژوهشگاه نیرو و مرکز تحقیقات مخابرات و الکترونیک نصر سپاه می‌باشد. زمینه‌های کاری ایشان شبکه‌های نوری، مدارات پسیو پهن باند میکروویو و پالس پاور می‌باشد.



پدرام سید افتتاحی متولد اصفهان فارغ‌التحصیل رشته کارشناسی مهندسی برق - مخابرات از دانشگاه صنعتی اصفهان و کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات - میدان از دانشگاه علم و صنعت ایران به ترتیب در سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ می‌باشد. ایشان دارای تجربه کاری در مرکز تحقیقات رادار دانشگاه اصفهان، مرکز تحقیقات مخابرات نصر سپاه، شرکت رستافن ارتباط می‌باشد و اکنون مشغول کار در شرکت خدمات انفورماتیک ایران می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان فیلترها و مالتپلکسرهای پهن باند میکروویو و تقویت کننده‌های باند X می‌باشد.



سید امیر محمد خذری متولد قم فارغ‌التحصیل از دانشگاه علم و صنعت ایران در هر دو مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - مخابرات - میدان به ترتیب در سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ می‌باشد. ایشان دارای سابقه کار در مراکز تحقیقاتی مخابرات صابرین و نصر وابسته به سپاه می‌باشند. و هم اکنون مشغول کار در شرکت مهندسی رستافن ارتباط می‌باشند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از آنتنهای پهن باند و باند باریک، تشدید کننده‌های عایقی، کوپلرهای میکروویو، فیلترهای میکروویو.