

طراحی و ساخت فیلتر مایکرواستریپ میان گذر پهن باند با روش سری کردن فیلترها و بهبود افت خارج باند

معین نوایی^{۱*}، امیر حبیبی درونکلا^۲، یعقوب قانع قره باغ^۳

۱- کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۲- کارشناس ارشد، ۳- مربی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)
(دریافت: ۹۴/۰۶/۰۷؛ پذیرش: ۹۵/۰۶/۰۲)

چکیده

در این مقاله فیلتر میان گذر با باند عبور ۱/۷ GHz تا ۱/۵ GHz طراحی و ساخته شده است. برای ساخت فیلتر مدنظر، ابتدا دو فیلتر بلاگذر و پایین گذر به ترتیب با فرکانس های قطع ۱/۷ GHz و ۱/۵ GHz طراحی کرده سپس دو فیلتر را باهم سری می کنیم. ما هر کدام از فرکانس های قطع را به طور مستقل از فرکانس قطع دیگر طراحی می کنیم به این ترتیب، طراحی یک فرکانس قطع در دیگری اثر نمی گذارد. در انتها، این فیلتر بر روی لایه دی الکتریک Ro4003 با ضخامت ۳۲ mil و $\epsilon_r = ۳/۳۸$ ساخته شده و مشاهده می شود که نتایج شبیه سازی و اندازه گیری باهم مطابقت دارند.

واژگان کلیدی

فیلتر مایکرواستریپ، بلاگذر، پایین گذر، میان گذر، سری کردن، افت خارج باند

در [۶] فیلتر مایکرواستریپ پهن باندی با روش سری کردن فیلترها طراحی شده است این کار باعث می شود فرکانس های قطع بر روی هم اثر نکند و هر فرکانس قطع به طور مستقل طراحی شود، فرکانس های قطع آن ۱/۴ - ۳/۱۷ GHz می باشد و ابعاد مدار ۲۸*۱۶ mm است که اندازه مناسبی بوده اما پهنای باند کسری آن ۱۰۷٪ می باشد که باید بهبود یابد. در [۷] و [۸] دو فیلتر میان گذر پهن باند با پهنای باند ۷/۵ GHz طراحی شده است. فرکانس های قطع فیلتر اول ۱/۶ - ۳/۱ GHz می باشد و افت خارج باند آن تا فرکانس ۱۴ GHz بیش از ۱۸ dB است که هم فرکانس و هم مقدار افت آن باید بهبود یابد. فیلتر دوم که اطلاعات آن در سال ۲۰۱۵ منتشر شده است افت خارج باند را تا فرکانس ۱۷/۶ GHz افزایش داده که باعث بهبود آن شده است اما پهنای باند کسری آن ۱۱۰٪ است که باید افزایش یابد. مقاله [۹] مربوط به یک فیلتر میان گذر پهن باندی است که تا فرکانس ۱۰/۶۵ GHz را عبور می دهد و در خارج باند تا فرکانس ۲۰ GHz تا بیش از ۱۵ dB افت دارد که ویژگی بسیار مثبتی است اما ما می خواهیم حداقل افت خارج باند را به ۲۰ dB برسانیم. در مقاله [۱۰] فیلتر پهن باندی با روش (Multi-Mode Resonator) MMR طراحی شده و در خارج باند تا فرکانس ۱۶ GHz افت بسیار خوبی (حداقل ۴۰ dB) دارد، پهنای باند کسری این فیلتر ۱۰۴٪ می باشد که ما می خواهیم این مقدار را به بالای ۱۴۰٪ برسانیم.

۱. مقدمه

استفاده از فیلترهای پهن باند میان گذر در سال های اخیر در صنایع رشد چشمگیری پیدا کرده است. نیاز به فیلترهای مایکرواستریپ با پهنای باند خیلی زیاد در صنایع به خصوص صنایع نظامی افزایش یافته و این نیاز باعث شده است محققان با استفاده از روش های مختلف و نوینی به طراحی و ساخت مدارات مایکرواستریپ بپردازند. در این مقاله ما قصد داریم فیلتر میان گذر پهن باند با پهنای باند ۹/۸ GHz و پهنای باند کسری حدود ۱۴۸٪ بسازیم. ریپل این فیلتر می بایست کمتر از ۳ dB بوده و یکی از اهداف اصلی ما این است که افت بسیار مناسبی در خارج باند داشته باشیم. در این مقاله می خواهیم به افت خارج باند بیش از ۳۰ dB تا فرکانس ۲۰ GHz دست یابیم و همچنین افت عبوری در فرکانس قطع می بایست با شیب بسیار تیزی افزایش پیدا کند. در انتها این فیلتر را بر روی لایه دی الکتریک Ro4003 با ثابت دی الکتریک ۳/۳۸ و ضخامت ۱/۲۷ mm پیاده سازی می کنیم. در مقالات [۱-۵] با استفاده از روش های متفاوتی فیلترهای میان گذر مایکرواستریپ طراحی شده است. روش هایی مانند استپ امپدانس، سری کردن و رزونانورها استفاده شده اند تا فیلتری پهن باند طراحی شود اما پهنای باند کسری و افت خارج باند آن ها مناسب آنچه مدنظر ما می باشد نیست.

*رایانامه نویسنده مسئول: moeinism.n@gmail.com

حداکثری، افزایش دهیم. برای همین، طراحی را بر اساس پایین‌ترین مرتبه انجام می‌دهیم، فیلتر مرتبه پایین پهنای باند خوبی دارد و ریپل داخل باند آن کم می‌باشد اما افت خارج باند بسیار کم بوده و شیب افت عبوری در فرکانس قطع بسیار کم است. برای همین، تعدادی از این فیلتر طراحی شده را باهم سری می‌کنیم تا به فیلتر موردنظرمان برسیم. از طرف دیگر برای کاهش ریپل داخل باند و افزایش افت خارج باند هم از خطوط استاب هم از خطوط رادیال استفاده می‌کنیم.

در مقاله [۱۱] پهنای باند کسری فیلتر پهن باند ۱۴۶٪ می‌باشد که مقدار بسیار خوبی است. از طرفی افت خارج باند این مدار تا فرکانس ۱۴ GHz بیش از ۱۵ dB می‌باشد که باید بهبود یابد.

فیلتر میان‌گذر مورد نظر ما با روش سری کردن فیلترهای بالا گذر و پایین گذر طراحی می‌شود. از آنجایی که طراحی این فیلتر با تکنیک‌های متداول، نیازمند مداری با مرتبه بالاتر از ۱۵ می‌باشد، این امر سبب افزایش میزان محاسبات و پیچیده شدن طراحی می‌شود. از طرفی قصد داریم افت خارج باند را به میزان

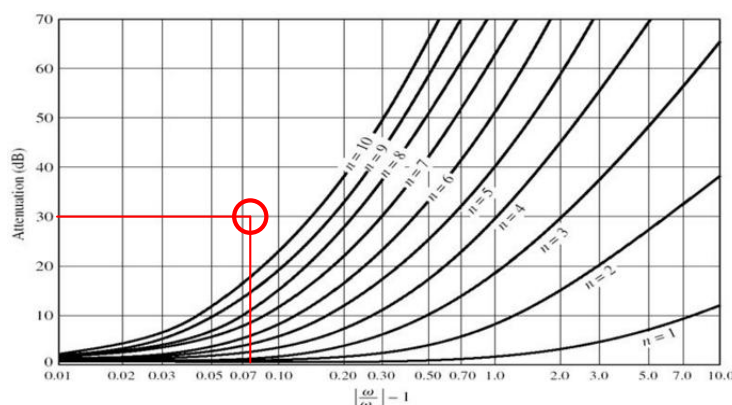
جدول ۱. مقایسه کارهای انجام‌شده با مدار ساخته‌شده در این مقاله

منابع	فرکانس‌های قطع	پهنای باند (GHz)	ثابت دی‌الکتریک	پهنای باند کسری (%)	ریپل (dB)	مینیمم ریزش تا فرکانس
[۶]	۳/۱۷-۱۰/۴	۷/۲۳	۳/۴۸	۱۰۷	۱	۲۰ dB - ۱۷ GHz
[۷]	۳/۱-۱۰/۶	۷/۵	۴۳	۱۱۰	۱	۱۸ dB - ۱۴ GHz
[۸]	۳/۱-۱۰/۶	۷/۵	۲/۳۳	۱۱۰	۱	۲۰ dB - ۱۷/۶ GHz
[۹]	۳/۱۷-۱۰/۶۵	۷/۴۸	Unknown	۱۰۸	۱	۱۵ dB - ۲۰ GHz
[۱۰]	۳/۴-۱۰/۷	۷/۳	۲/۲	۱۰۴	۱	۴۰ dB - ۱۶ GHz
[۱۱]	۱/۸۶-۱۱/۸۹	۱۰/۰۳	۴/۸	۱۴۶	۳	۱۵ dB - ۱۴ GHz
This work	۱/۷-۱۱/۵	۹/۸	۳/۳۸	۱۴۸	۳	۳۰ dB - ۲۰ GHz

۲. طراحی فیلتر پایین گذر

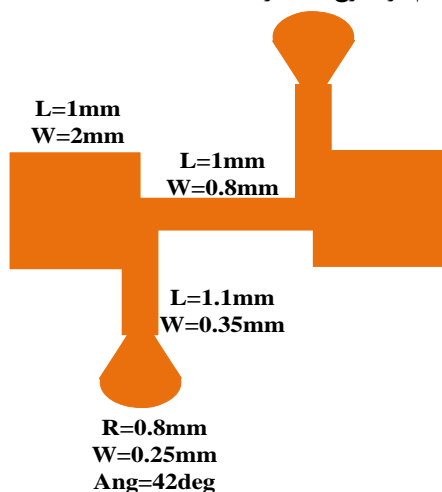
برای طراحی فیلتر پایین گذر، از روش چبی شف استفاده می‌کنیم. ابتدا باید مرتبه مدار را پیدا کنیم. ویژگی‌های فیلتر مورد نظرمان چنین می‌باشد: فیلتر پایین‌گذر چبی شف با ریپل ۰/۵dB با فرکانس قطع ۱۱/۵ GHz که باید در بازه ۱ GHz افت عبوری آن در فرکانس ۱۲/۵ GHz به ۳۰ dB رسیده و تا فرکانس ۲۰ GHz ادامه داشته باشد. از طرفی فیلتر پایین‌گذر اولیه ما باید پایین‌ترین ریپل باند عبور را داشته باشد تا با سری کردن تعدادی از آن‌ها به مقدار ریپل ۰/۵ dB برسیم. پس با توجه به نمودار چبی شف [۱۳] که در شکل ۱ آمده است مرتبه طراحی فیلتر را می‌یابیم. شکل ۱ نمودار چبی شف متناسب با ریپل ۰/۱dB است که کمترین مقدار ریپل در نمودارهای چبی شف می‌باشد.

برای اینکه فیلتر موردنظر ما در ابتدا ریپل ۱ dB داشته باشد در طراحی، ریپل هرکدام از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر را ۰/۵ dB در نظر می‌گیریم تا هنگامی که آن‌ها را باهم سری کردیم ریپل مجموع آن‌ها به ۱ dB برسد. اینک برای طراحی، ابتدا یک فیلتر پایین‌گذر با فرکانس قطع ۱۱/۵ GHz طراحی کرده که ریپلی کمتر از ۰/۵ dB داشته باشد و سپس فیلتر بالاگذر با فرکانس قطع ۱/۷ GHz طراحی می‌کنیم ریپل این فیلتر باید کمتر از ۰/۵ dB باشد، سپس دو فیلتر را باهم سری می‌کنیم تا فیلتر میان‌گذر ساخته شود و ریپل فیلتر نهایی موردنظرمان مجموع ریپل‌های دو فیلتر خواهد شد یعنی به مقداری کمتر از ۱dB می‌رسد، در انتها نتایج شبیه‌سازی و ساخت را باهم مقایسه خواهیم کرد.

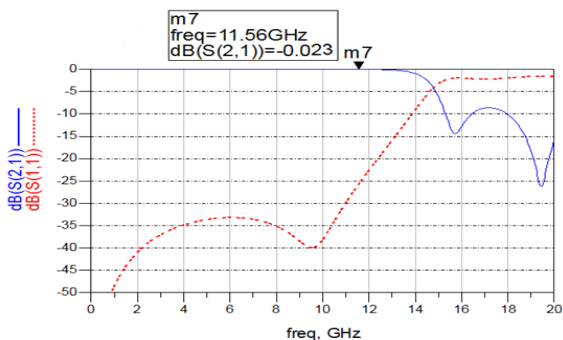


شکل ۱. نمودار چبی شف برای تشخیص مرتبه مدار [۱۳]

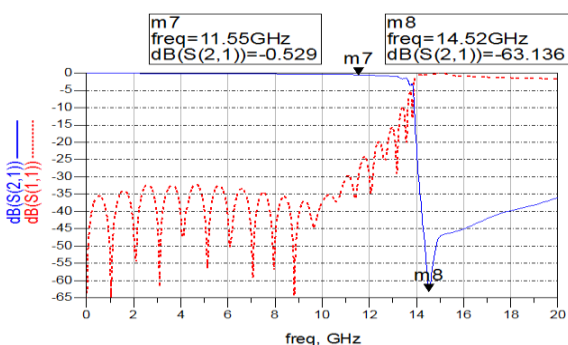
مدار مایکرواستریپ و نتیجه شبیه‌سازی آن در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در شکل ۵ می‌بینیم ریبیل مدار تقریباً برابر ۰/۰۲۳ dB است اما افت عبوری در خارج باند مناسب نیست، بنابراین با توجه به مقدار ریبیل، تعداد ۱۸ عدد از مدار شکل ۴ را باهم سری می‌کنیم. در این صورت ریبیل داخل باند آن ۱۸ برابر شده و به مقدار ۰/۴۱۴ dB که کمتر از ۰/۵ dB می‌باشد، می‌رسد. نتیجه شبیه‌سازی مدار حاصل از ۱۸ فیلتر سری شده، در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶ می‌بینیم که نه تنها فیلتر پایین گذر خوبی در داخل باند دارد بلکه افت بسیار مناسبی هم در خارج باند دارد.



شکل ۴. خط مایکرواستریپ فیلتر پایین گذر



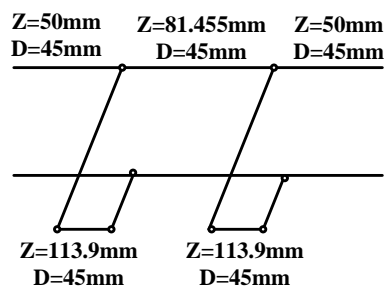
شکل ۵. نتیجه شبیه‌سازی فیلتر پایین گذر اولیه



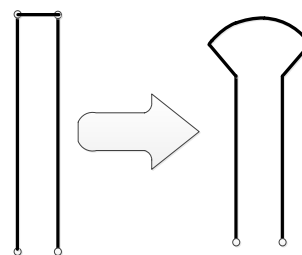
شکل ۶. نتیجه شبیه‌سازی ۱۸ فیلتر سری شده پایین گذر اولیه

طبق معادله (۱) ω'_1 فرکانس قطع و ω' فرکانسی است که می‌خواهیم افت در آن حداکثر شود. مقدار به دست آمده از این معادله را در نمودار قرار داده و متناسب با آن و مقدار افتی که مد نظر است، مرتبه مدار را که در محدوده دایره‌ای شکل مشخص شده می‌یابیم. مرتبه مدار مقداری بیشتر از ۱۰ به دست می‌آید که بسیار زیاد بوده و محاسبات را پیچیده می‌کند. برای رهایی از محاسبات زیاد، مدار را در پایین ترین مرتبه، یعنی مرتبه ۳ طراحی می‌کنیم سپس با توجه به شرایط مدار مانند ریبیل و پهنای باند، تعدادی از فیلتر به دست آمده را سری می‌کنیم تا به فیلتر مورد نظرمان دست یابیم.

فیلتر پایین گذر مدل چبی شف از مرتبه $n=3$ را در فرکانس ۱۱/۵GHz طراحی می‌کنیم. برای به دست آوردن اندازه المان‌ها در جدول چبی شف [۱۳] طول الکتریکی را برابر $\frac{\lambda}{4}$ در نظر گرفته که معادل $\beta l = \frac{\gamma \pi \lambda}{\lambda} = 45$ درجه می‌شود و همچنین امپدانس پورت‌ها را 50Ω در نظر می‌گیریم. خط انتقال مدار به صورت شکل ۲ نشان داده شده است. به خاطر اینکه ریبیل مدار کاهش و پهنای باند هم افزایش یابد، انتهای خطوط استاب مدار باز را همانند شکل ۳ به صورت خط رادیال درمی‌آوریم. این کار خاصیت خازنی خط را به شدت افزایش می‌دهد و ریبیل مدار را کاهش می‌دهد. زاویه خط رادیال را که در راستای استاب قرار دارد در ابتدا برابر طول الکتریکی مدار یعنی ۴۵ درجه در نظر گرفته و بعد از tune کردن به مقدار ۴۲ درجه می‌رسیم. شعاع رادیال تقریباً برابر پهنای خط در نظر گرفته شده است و پس از tune کردن، به شعاع مطلوب ۰/۸ mm می‌رسیم تا مقدار فرکانس قطع فیلتر به حوالی ۱۱/۵ GHz برسد.



شکل ۲. خط انتقال فیلتر پایین گذر اولیه ($D=\theta$)

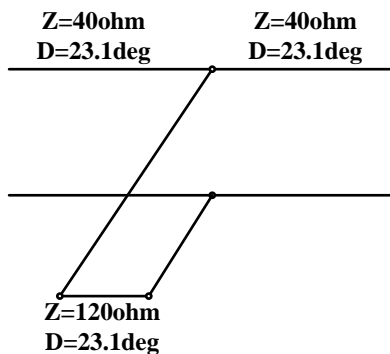


شکل ۳. خط رادیال تعریف شده از استاب مدار باز

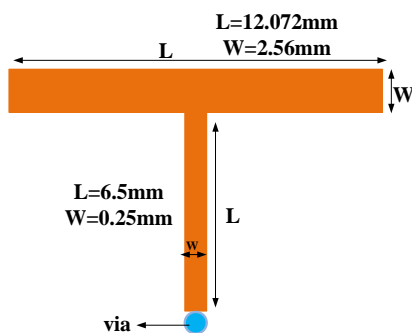
۱/۷GHz در نظر بگیریم و مقدار طول الکتریکی را ۲۳/۱ درجه انتخاب کنیم فیلتر بالاگذر ما تا فرکانس ۱۱/۵ GHz افاقی نخواهد داشت.

$$f = 1.7GHz, \theta = 23.1 \rightarrow \left(\frac{\pi}{\theta} - 1\right)f = 11.5GHz \quad (7)$$

ریپل فیلتر بالاگذر به مقدار امپدانس پورتها بسیار حساس است، به طوری که وقتی امپدانس پورتها کم باشد ریپل باند عبور کاهش می یابد، در ابتدا امپدانس پورتها را برابر 50Ω می گیریم به دلیل زیادشدن ریپل داخل باند، مقدار امپدانس را به 40Ω کاهش می دهیم. امپدانس استاب اتصال کوتاه هر چه بیشتر باشد باعث افزایش پهنای باند می شود، از طرفی افزایش امپدانس استاب اتصال کوتاه، باعث کاهش پهنای خط میکرواستریپ معادل آن می شود، از آنجایی که مینیمم پهنای خط میکرواستریپی که ما در عمل می توانیم بسازیم 0.25 mm است و این مقدار پهنای برد Ro4003 معادل امپدانس 120Ω است و پهنای خط میکرواستریپ با مقدار امپدانس آن رابطه معکوس دارد یعنی هر چه مقدار پهنای خط کاهش یابد امپدانس خط افزایش می یابد. در نتیجه کمترین مقدار پهنای خط، ماکزیمم مقدار امپدانس را می دهد. بنابراین ما مقدار امپدانس خط اتصال کوتاه را 120Ω در نظر می گیریم و برای ایجاد خط اتصال کوتاه یک via در انتهای خط قرار می دهیم. خط انتقال و خط میکرواستریپ معادل آن در شکل های (۸ و ۹) نشان داده شده اند.



شکل ۸. خط انتقال فیلتر بالاگذر اولیه ($D=\theta$)



شکل ۹. لی اوت معادل شکل ۸

۳. طراحی فیلتر بالاگذر

اینک فیلتر بالاگذر با فرکانس قطع ۱/۷ GHz طراحی می کنیم. با توجه به مقدار ریپل و فرکانس طراحی و همچنین مطلوب نبودن طراحی با مرتبه زیاد، مرتبه مدار را برای طراحی کم در نظر می گیریم تا مداری ساده به دست آید. به همین دلیل، ابتدا در پایین ترین مرتبه، $(n=3)$ طراحی را انجام می دهیم؛ در مرتبه های پایین، پهنای باند زیاد و ریپل کم خواهد بود، اما شیب افت عبوری در فرکانس قطع نیز بسیار کم خواهد شد که برای جبران این عیب با توجه به ریپل داخل باند، تعدادی از این مدار به دست آمده را با هم سری می کنیم. برای به دست آوردن افت عبوری داریم [۱۴]:

$$|S_{21}(\theta)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 F_N^2(\theta)} \quad (2)$$

که در آن ϵ ریپل باند عبور مدار، θ طول الکتریکی و F_N تابع فیلترینگ مدار می باشد.

$$F_N(\theta) = \frac{(1 + \sqrt{1 - x_c^2})T_{2n-1}\left(\frac{x}{x_c}\right) - (1 - \sqrt{1 - x_c^2})T_{2n-3}\left(\frac{x}{x_c}\right)}{2\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)} \quad (3)$$

در رابطه (۲) n تعداد استاب های اتصال کوتاه است و T_n تابع چبی شف می باشد که برابر است با:

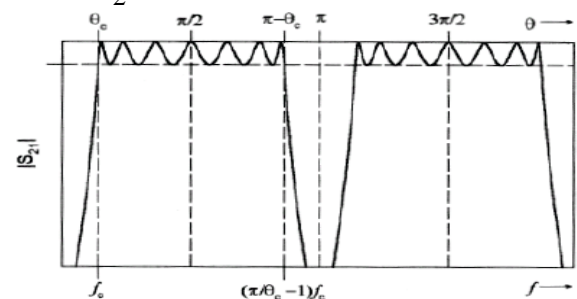
$$T_n(x) = \cos(n \cos(x) - 1) \quad (4)$$

و طول الکتریکی از رابطه زیر به دست می آید:

f_c فرکانس قطع فیلتر بوده و باند عبور از θ_c تا $\pi - \theta_c$ می باشد که در شکل ۸ محدوده آن نشان داده شده است. برای به دست آوردن x و x_c از روابط زیر استفاده می کنیم:

$$x = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \quad (6)$$

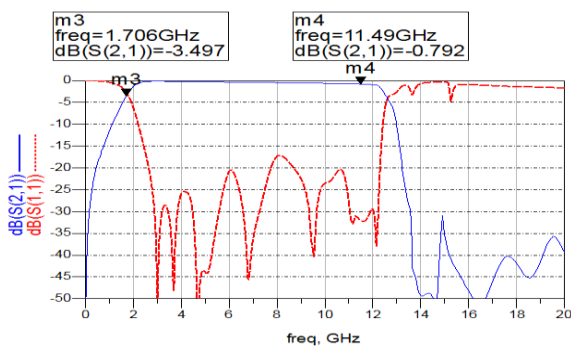
$$x_c = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_c\right)$$



شکل ۷. مشخصه فیلترینگ یک فیلتر

با توجه به مقدار ریپل، مرتبه و فرکانس فیلتر، می توانیم مدار را طراحی کنیم. برای طراحی فیلتر، از مرتبه $n=3$ مدل چبی شف با ریپل 0.1 dB استفاده می کنیم [۱۵]. فرکانس قطع فیلتر بالاگذر ۱/۷ GHz است. طول الکتریکی را برابر ۲۳/۱ درجه لحاظ می کنیم. چراکه با توجه به رابطه (۷) اگر فرکانس قطع را

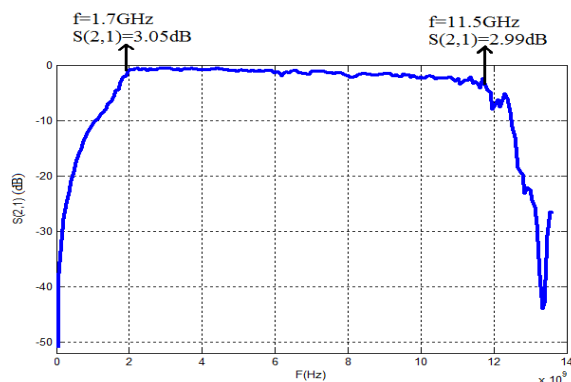
فرکانس ۲۰ GHz بیش از ۳۰dB افت داشته است و ریپل داخل باند تا فرکانس حدود ۱۲ GHz کمتر از ۱ dB می‌باشد. فیلتر به‌دست‌آمده را بر روی برد Ro4003 با ضخامت ۳۲ mil و $\epsilon_r = 3/38$ پیاده‌سازی می‌کنیم. شکل مدار ساخته‌شده و نتیجه اندازه‌گیری در شکل‌های (۱۴ و ۱۵) آورده شده است. در نمودار افت عبوری مدار ساخته‌شده، دیده می‌شود ریپل باند عبور از فرکانس قطع اول تا فرکانس ۸ GHz کمتر از ۱ dB بوده و بعد از آن تا فرکانس قطع دوم به مقدار ۳ dB افزایش می‌یابد، که این افزایش ریپل می‌تواند به دلیل نحوه لحیم‌کاری کانکتورها و تلفات دی‌الکتریک باشد.



شکل ۱۳. افت عبوری و افت بازگشتی فیلتر میان‌گذر حاصل از شبیه‌سازی



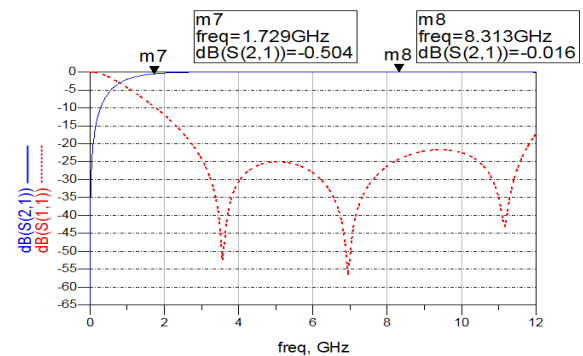
شکل ۱۴. عکس فیلتر ساخته‌شده



شکل ۱۵. نتیجه افت عبوری اندازه‌گیری شده

برای قیاس بهتر، نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری را در شکل ۱۶ بر روی هم قرار می‌دهیم و می‌بینیم فرکانس‌های قطع دو نمودار بر روی هم قرار گرفته و افت خارج باند دو نمودار هم بر روی هم منطبق شده‌اند اما در فرکانس‌های بالا در باند عبور، ریپل نمودار اندازه‌گیری شده نسبت به نمودار شبیه‌سازی شده در نزدیکی فرکانس قطع دوم کمی افزایش یافته است که می‌تواند به خاطر تلفات دی‌الکتریک و خطای لحیم‌کاری کانکتورها باشد.

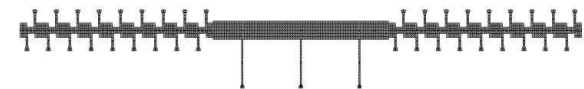
در شبیه‌سازی شکل ۱۰ دیده شده که ریپل داخل باند حدود ۰/۱۶dB می‌باشد و در خارج باند افت مناسبی نداریم و شیب افت عبوری در فرکانس قطع بسیار کم می‌باشد. ما قصد داریم افت خارج باند و شیب افت عبوری در فرکانس قطع را افزایش دهیم برای همین، اگر تعداد زیادی از این نمونه فیلتر را باهم سری کنیم به خواسته خود می‌رسیم اما سری کردن تعداد زیاد این فیلترها ریپل داخل باند را به شدت افزایش می‌دهد درحالی‌که می‌خواهیم ریپلی کمتر از ۰/۵ dB داشته باشیم پس با توجه به ریپل ۰/۱۶ dB در باند عبور، اگر سه عدد از نمونه فیلتر را سری کنیم ریپل آن سه برابر می‌شود و به مقدار ۰/۴۸ dB می‌رسد. در نتیجه شیب افت عبوری در فرکانس قطع مطلوب خواهد شد اما افت عبوری در خارج باند عبور، افت مناسبی نخواهد داشت که با فیلتر پایین گذر آن را جبران خواهیم کرد. نتیجه شبیه‌سازی سه مدار سری شده در شکل ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۱. نتیجه شبیه‌سازی سه مدار سری شده شکل ۹

۴. سری کردن دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر

ما می‌خواهیم پورت‌های فیلتر میان‌گذری که طراحی می‌کنیم امپدانس 50Ω داشته باشند. اما از آنجایی که پورت‌های فیلتر بالاگذر که طراحی کردیم 40Ω هستند اگر با فیلتر پایین‌گذر سری کنیم یکی از پورت‌های فیلتر میان‌گذر 40Ω خواهد شد. بنابراین چون خط اصلی فیلتر پایین‌گذر 50Ω می‌باشد، فیلتر پایین‌گذر را از وسط نصف کرده و فیلتر بالاگذر را در وسط آن قرار می‌دهیم که layout مدار نهایی آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. حال نتایج مدار نهایی را بررسی می‌کنیم که در شکل ۱۳ نتیجه افت عبوری و افت بازگشتی آورده شده است.

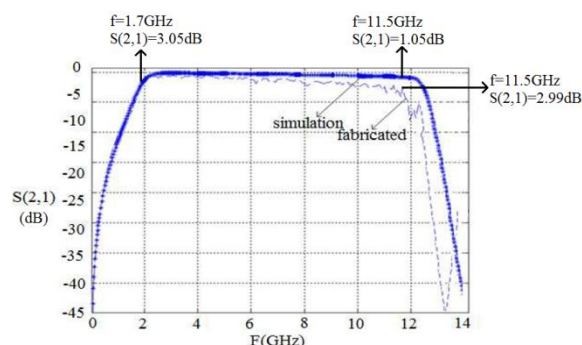


شکل ۱۲. لی‌اوت فیلتر میان‌گذر پس از سری کردن فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر

در شکل ۱۳ دیده می‌شود افت عبوری در فرکانس قطع با شیب بسیار تیزی در فرکانس ۱۴ GHz تا ۵۰ dB افت یافته و تا

Filters," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 51, no. 4, 2003.

- [4] J.-T. Kuo and E. Shih, "Microstrip Stepped Impedance Resonator Bandpass Filter with an Extended Optimal Rejection Bandwidth," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 51, no. 5, May 2003.
- [5] Y.-C. Chiou, J.-T. Kuo, and E. Cheng, "Broadband Quasi-Chebyshev Bandpass Filters With Multimode Stepped-Impedance Resonators (SIRs)" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 54, no. 8, 2006.
- [6] A. Nakhlestani and A. Hakimi, "Wideband microstrip ring resonator bandpass filter with embedded rings," Microelectronics Journal, Elsevier, vol. 44, pp. 462-467, 2013.
- [7] S. Devkumar and C. K. Chakrabarty, "Using Lowpass and Highpass filters to Form UWB Bandpass filter," Proceedings of IEEE 2008 6th National Conference on Telecommunication Technologies and IEEE 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics, Putrajaya, Malaysia, 26-27 August 2008.
- [8] Z. Tie, Q. Dexin, W. Junhui, and H. Xing, "A Novel Microstrip Ultra-Wide Bandpass Filter with Highpass Filter and Lowpass Filter," IEEE, 2008.
- [9] A. Taibi, M. Trabelsi, A. Slimane, M. T. Belaroussi, and J.-P. Raskin, "A Novel Design Method for Compact UWB Bandpass Filters," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 25, no. 1, January 2015.
- [10] W. Tang, S. Yang, X. Wang, C. Wang, and Y. Leonard Chow, "A Novel UWB Bandpass Filter Using Highpass and Lowpass Filters" IEEE Conference Publications, pp. 1 - 2, 2012.
- [11] Z. Zhang and F. Xiao, "An UWB Bandpass Filter Based on a Novel Type of Multi-Mode Resonator" IEEE Journals & Magazines, pp. 506 - 508, 2012.
- [12] A. Munir, I. Pradibta, and M. R. Effendi, "Microstrip-based Ultra-Wideband Composite BPF with Short-circuited Stubs" IEEE, 2013.
- [13] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave filters, Impedance-Matching networks, and coupling structures", book, 2 edition, published 1980
- [14] David. M. Pozar, "Microwave Engineering", book, 4 edition, Wiley & Sons, December 2011.
- [15] Hong, J.-S. And M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, Wiley, New York, 2001.



شکل ۱۶. مقایسه افت عبوری شبیه‌سازی با اندازه‌گیری

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله نتایج طراحی و ساخت فیلتر میان‌گذر با پهنای باند ۹/۸GHz و پهنای باند کسری ۱۴۸٪ آورده شده است. این کار با استفاده از ترکیب دو فیلتر بالا‌گذر و پایین‌گذر انجام شد. مزیت این روش در آن است که دو فرکانس قطع به‌طور مستقل طراحی می‌شوند و تغییر یکی در دیگری اثری نمی‌گذارد. نتیجه افت خارج باند نیز بسیار مطلوب شده است دلیل آن هم به خاطر این است که ما فیلترها را پس از طراحی با هم سری کردیم و در حالت سری، افت عبوری فیلترها در حالت dB با هم جمع می‌شوند. ضمناً استفاده از خطوط رادیال باعث کاهش ریپل باند عبور و افزایش افت خارج باند شده است. در بخش استاب‌های مدار باز ما بخش انتهایی آنها را به‌صورت خط رادیال درآوردیم این کار خاصیت خازنی استاب‌ها را افزایش داده و نتایج مطلوب‌تری به فیلتر ما داده است. در خارج باند تا فرکانس ۲۰ GHz بیش از ۳۰ dB افت داشتیم. مزیت دیگری که در طراحی این مدار وجود دارد، طراحی فیلترها در مرتبه پایین است این کار محاسبات را کم می‌کند و نتیجه دقیق‌تری نسبت به مدارهای با مرتبه بالا به دست می‌دهد. حال اگر نتایج به‌دست‌آمده از مدار ساخته‌شده را با نتایج مقالات سال‌های اخیر قیاس کنیم که در جدول ۱ آمده است، می‌بینیم که افت خارج باند فیلتر ما نسبت به سایر فیلترها شدیداً بهبود یافته و پهنای باند کسری این فیلتر نسبت به بهترین فیلتر ساخته‌شده ۲٪ افزایش یافته است.

۷. مراجع

- [1] X. Luo, J.-G. Ma, K. S. Yeo, and E.-P. Li, "Compact Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter With Ultra-Narrow Dual- and Quad-Notched Bands" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 59, no. 6, 2011.
- [2] Pankaj Sarkar, Rowdra Ghatak, Manimala Pal, and D. R. Poddar, "Compact UWB Bandpass Filter With Dual Notch Bands Using Open Circuited Stubs" IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 22, no. 9, 2012.
- [3] L.-H. Hsieh and K. Chang, "Compact, Low Insertion-Loss, Sharp-Rejection, and Wide-Band Microstrip Bandpass

Design and Fabrication of a UWB Band Pass Micro-Strip Filter with an Improved Out-of-Band Rejection Using Serial Filters

M. Navaei*, A. Habibi Daronkola, Y. Ghane ghareh bagh

K. N. Toosi University of Technology

(Received: 29/08/2015, Accepted: 23/08/2016)

Abstract

In this paper, a band-pass filter with cutoff frequencies 1.7GHz and 11.5GHz is designed and fabricated. To do this task, first, two filters, a low pass and a high pass with respective cutoff frequencies of 1.7 GHz and 11.5GHz are designed and, second, they are combined in series. Then cutoff frequencies are set independently. That is, designing a cutoff frequency is not interfered with the other one. At the end, the serial combination of the two filters is fabricated on a Ro4003 substrate with thickness of 32mil and $\epsilon_r=3.38$. The simulation and measurement results are in agreement.

Keywords: Microstrip Filter, Series, Highpass, Lowpass, Bandpass, Out of Band Rejection.

* Corresponding author E-mail: moeinism.n@gmail.com