

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده مهندسی - گروه مخابرات
پایان نامه کارشناسی ارشد مخابرات میدان

طراحی، شبیه سازی، تحلیل و ساخت فیلترهای فشرده میکروویو

باند X با فناوری SIW

زهرا سادات طباطبائیان

استاد راهنما:

آقای دکتر نشاطی

شهریور ۱۳۹۱

اظہار نامہ

اینجانب زہرا سادات طباطبائیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - مخابرات (میدان) دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامہ طراحی، شبیه‌سازی، تحلیل و ساخت فیلترهای

فشرده میکروویو باند X با فناوری SIW تحت راهنمایی آقای دکتر نشاطی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامہ توسط اینجانب انجام شدہ است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفادہ از نتایج پژوهشہای محققان دیگر بہ مرجع مورد استفادہ استناد شدہ است.
- مطالب مندرج در پایان نامہ تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت ہیچ نوع مدرک یا امتیازی در ہیچ جا ارائہ شدہ است.
- کلیہ حقوق معنوی این اثر متعلق بہ دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » بہ چاپ خواہد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی کہ در بہ دست آمدن نتایج اصلی پایان نامہ تأثیرگذار بودہ‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامہ رعایت شدہ است.
- در کلیہ مراحل انجام این پایان نامہ، در مواردی کہ از موجود زندہ (یا بافتہای آنہا) استفادہ شدہ است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شدہ است.
- در کلیہ مراحل انجام این پایان نامہ، در مواردی کہ بہ حوزہ اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافتہ یا استفادہ شدہ است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شدہ است.

تاریخ امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیہ حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانہ‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساختہ شدہ) متعلق بہ دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید بہ نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطہ ذکر شود.
- استفادہ از اطلاعات و نتایج موجود در رسالہ/پایان نامہ بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.



برگه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد

دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام و نام خانوادگی دانشجو: **هوسا سادات مرادلو** شماره دانشجویی: **۸۹۱۳۴۶۳۰۱۳** گروه آموزشی: **فلسفه عرفان / فلسفه اسلامی**
 رشته و گرایش تحصیلی: **فلسفه اراترین سیران** تاریخ دفاع: **۱۳۹۱/۶/۲۸** نام و نام خانوادگی استاد راهنما: **دکتر محمد حسن شادانی**
 عنوان پایان نامه: **طراحی سبب ساز عقلی در سنت مفسرین فسرده ماکرودر بنده X افق فوری SIW**

ملاحظات	نمره کسب شده	حداکثر نمره	معیارهای ارزشیابی
/	۳۱-	۳	کیفیت نگارش انجام در تنظیم و تدوین مطالب، حسن نگارش و رعایت دستورالعمل کیفیت تصاویر، اشکال و منحنی های استفاده شده
/	۱۲-	۱۲	کیفیت علمی بررسی تاریخچه موضوع و بیان سابقه پژوهش در موضوع ابتکار و نوآوری ارزش علمی و با کاربردی استفاده از منابع و مواخذ به لحاظ کمی و کیفی (به روز بودن) کیفیت نظرات و پیشنهادات برای ادامه تحقیق
/	۳-	۳	کیفیت ارائه تسلط به موضوع و توانایی در پاسخگویی به سئوالات در جلسه دفاع نحوه ارائه (رعایت زمان-تفهم موضوع، کیفیت ترانس پرزی و ...)
/	۱-	۱	مقاله مقاله مستخرج از پایان نامه که بر اساس دستورالعمل تهیه و به تأیید استاد راهنما رسیده و به همراه پایان نامه تحویل گردیده است
/	۱-	۱	گزارشها انجام به موقع دوره و تحویل گزارشات
	۲۰۱-	۲۰	نمره پایان نامه

اعضا	نام دانشگاه	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
/	فردوسی مشهد	دانشیار	محمد حسن شادانی	استاد راهنما
/	فردوسی مشهد	استاد	نیر محمدی مرصافی	عضو دفاع استفسور
/	فردوسی مشهد	دانشیار	ایمیررضا عطاری	عضو دفاع (استاد مدعو)
/	فردوسی مشهد	استادیار	مهرداد شکوه عطاری	عضو نظاره نماینده تحصیلات تکمیلی گروه

جلسه دفاع با حضور هیأت داوران تشکیل و پایان نامه با اخذ نمره به عدد **۲۰۱** / حروف **بیست و یک** با درجه **عالی**

- بدون اصلاحات پذیرفته شد.
 با اصلاحات پذیرفته شد دانشجو موظف است تا تاریخ **هفتم شهریور ۹۱** پایان نامه اصلاح شده خود را که به تأیید استاد راهنما رسیده است به گروه آموزشی تحویل دهد.
 مردود شناخته شد

گزارش نماینده تحصیلات تکمیلی: **مهرداد شکوه عطاری**
 نام و امضای نماینده تحصیلات تکمیلی: **مهرداد شکوه عطاری**
 نام مدیر گروه: **مهرداد شکوه عطاری**
 تاریخ و امضا: **۹۱/۶/۲۸**

سپاس‌گزاری:

دورد نامعدود معبودی را سزاست که لوای آفرینش را در ساحت هستی افراخت و ستایش بری از آرایش پیغمبری را رواست که به نور التفات خود عرصه وجود را منور ساخت و بر آل اطهارش که زنگ کفر را از آینه کاینات پرداختند و بر پیروان پاکانش که سر از قدم نشناخته در راه ترویج طریقتشان تاختند و دور شوند از رحمت بی‌پایان خدا کسانی که ایشان را نشناختند و تیغ انکار به روی ایشان آختند.

اینجانب قدردانی ویژه خود را از استاد راهنمای این پایان‌نامه، آقای دکتر نشاطی، که در تمامی مراحل انجام پروژه از کمک‌های فراوان و راهنمایی‌های ارزنده ایشان بهره‌مند شدم، می‌نمایم. از اساتید محترم آقای دکتر عطاری و آقای دکتر میرصالحی نیز کمال تشکر را دارم.

از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به سبب حمایت مالی پروژه ممنونم.

در نهایت، از تمامی کسانی که در انجام این پروژه مرا یاری و راهنمایی کرده‌اند، به ویژه خانواده‌ام، نیز سپاس‌گزاری می‌کنم.



بسمه تعالی .
 مشخصات رساله /پایان نامه تحصیلی دانشجویان .
 دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان پایان نامه: طراحی، شبیه‌سازی، تحلیل و ساخت فیلترهای فشرده میکروویو باند X با فناوری SIW

نام نویسنده: زهرا سادات طباطبائیان

نام استاد(ان) راهنما: آقای دکتر نشاطی

دانشکده : مهندسی	گروه: برق	رشته تحصیلی: مخابرات (میدان)
تاریخ تصویب: اسفندماه ۱۳۹۰	تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۶/۲۸	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ●	دکتری ○	تعداد صفحات: ۶۴

چکیده پایان نامه :

مدارهای مجتمع شده در زیرلایه، دسته‌ی وسیعی از ساختارهای مسطح را شامل می‌شوند، که همگی با استفاده از فناوری مدار چاپی روی یک زیرلایه طراحی و ساخته می‌شوند. در سال‌های اخیر موجبر مجتمع شده در زیرلایه، به‌طور گسترده‌ای در طراحی مدارهای میکروویو و امواج میلی متری به‌کار رفته است. این موجبرها مشخصاتی مشابه موجبرهای مستطیلی داشته و تلفات کم و ضریب کیفیت بالایی را دارند. از طرف دیگر مدارهای طراحی شده با این فناوری سبک، کم‌حجم و ارزان قیمت بوده و به سادگی با سایر خطوط انتقال مسطح قابل اتصال می‌باشند.

در این پایان‌نامه پس از بررسی برخی فیلترهای طراحی شده با موجبر مجتمع شده در زیرلایه در سال‌های اخیر، فیلتر میان‌گذر باند X با محفظه‌های تشدید طراحی، شبیه‌سازی و برای اولین بار با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌سازی شده و یک نمونه از این فیلتر ساخته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی فیلتر بهینه شده با مشخصات اندازه‌گیری شده تطابق قابل قبولی دارند. مشخصات اندازه‌گیری فیلتر ساخته شده فرکانس مرکزی ۹/۷۴ GHz، پهنای باند نسبی ۰/۴٪، تلفات تعبیه‌ی ۱/۴ dB و حداقل تلفات بازگشتی ۲۰ dB در باند عبور می‌باشد.

ساختار دیگر طراحی شده در این پایان نامه فیلتر میان‌گذر باند X با پنجره‌های متقارن است. ابعاد این ساختار نیز با استفاده از شبکه‌ی عصبی بهینه‌سازی می‌شود. فرکانس مرکزی ۱۰/۰۳ GHz، پهنای باند نسبی ۱۳٪، تلفات تعبیه ۱/۸ dB و حداقل تلفات بازگشتی ۲۰ dB در باند عبور، برای این فیلتر به دست می‌آید. باند عبور مزاحم فیلتر از فرکانس ۱۵/۵ GHz آغاز می‌شود. با تعبیه‌ی یک ساختار پایین‌گذر، بر روی صفحه‌ی زمین فیلتر طراحی شده، حداقل تلفات ۱۷ dB، تا فرکانس ۴۱ GHz در باند توقف فیلتر ایجاد می‌شود. پس از تعبیه‌ی ساختار پایین‌گذر، یک نمونه آزمایشگاهی از فیلتر ساخته شده است. نتایج ساخت و شبیه‌سازی به خوبی با یکدیگر مطابقت دارند.

فیلترهای طراحی شده در این پایان‌نامه سبک، کم‌حجم و هزینه ساخت آن‌ها بسیار کم است و در بسیاری از سیستم‌های مخابراتی میکروویو قابل استفاده و کاربرد می‌باشند.

کلید واژه:	امضای استاد راهنما:
۱. موجبر مجتمع شده در زیرلایه	تاریخ:
۲. فیلتر	
۳. شبکه عصبی	
۴. پنجره متقارن	

چکیده

مدارهای مجتمع شده در زیرلایه، دسته‌ی وسیعی از ساختارهای مسطح را شامل می‌شوند، که همگی با استفاده از فناوری مدار چاپی روی یک زیرلایه طراحی و ساخته می‌شوند. در سال‌های اخیر موجبر مجتمع شده در زیرلایه، به‌طور گسترده‌ای در طراحی مدارهای میکروویو و امواج میلی‌متری به‌کار رفته است. این موجبرها مشخصاتی مشابه موجبرهای مستطیلی داشته و تلفات کم و ضریب کیفیت بالایی را دارند. از طرف دیگر مدارهای طراحی شده با این فناوری سبک، کم‌حجم و ارزان قیمت بوده و به سادگی با سایر خطوط انتقال مسطح قابل اتصال می‌باشند.

در این پایان‌نامه پس از بررسی برخی فیلترهای طراحی شده با موجبر مجتمع شده در زیرلایه در سال‌های اخیر، فیلتر میان‌گذر باند X با محفظه‌های تشدید طراحی، شبیه‌سازی و برای اولین بار با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌سازی شده و یک نمونه از این فیلتر ساخته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی فیلتر بهینه شده با مشخصات اندازه‌گیری شده تطابق قابل قبولی دارند. مشخصات اندازه‌گیری فیلتر ساخته شده فرکانس مرکزی 9.74 GHz، پهنای باند نسبی $1/4$ ، تلفات تعبیه‌ی $1/4$ dB و حداقل تلفات بازگشتی 20 dB در باند عبور می‌باشد.

ساختار دیگر طراحی شده در این پایان‌نامه فیلتر میان‌گذر باند X با پنجره‌های متقارن است. ابعاد این ساختار نیز با استفاده از شبکه‌ی عصبی بهینه‌سازی می‌شود. فرکانس مرکزی 10.03 GHz، پهنای باند نسبی $1/3$ ، تلفات تعبیه‌ی $1/8$ dB و حداقل تلفات بازگشتی 20 dB در باند عبور، برای این فیلتر به‌دست می‌آید. باند عبور مزاحم فیلتر از فرکانس $15/5$ GHz آغاز می‌شود. با تعبیه‌ی یک ساختار پایین‌گذر، بر روی صفحه‌ی زمین فیلتر طراحی شده، حداقل تلفات 17 dB، تا فرکانس 41 GHz در باند توقف فیلتر ایجاد می‌شود. پس از تعبیه‌ی ساختار پایین‌گذر، یک نمونه آزمایشگاهی از فیلتر ساخته شده است. نتایج ساخت و شبیه‌سازی به خوبی با یک‌دیگر مطابقت دارند.

فیلترهای طراحی شده در این پایان‌نامه سبک، کم‌حجم و هزینه ساخت آن‌ها بسیار کم است و در بسیاری از سیستم‌های مخابراتی میکروویو قابل استفاده و کاربرد می‌باشند.

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۲	فصل اول: فیلترهای مایکروویو با فناوری SIW
۲	۱-۱ دسته‌بندی فیلترهای مایکروویو
۲	۱-۱-۱ استفاده از محفظه‌ی تشدید در طراحی فیلترها
۴	۲-۱-۱ طراحی فیلتر با زمین تغییر شکل یافته (DGS)
۶	۳-۱-۱ طراحی فیلتر با استفاده از میله‌های فلزی
۸	۴-۱-۱ فیلترهای صفحه‌ی H
۱۰	فصل دوم: طراحی و بهینه‌سازی فیلتر باند X با محفظه‌های تشدید
۱۰	۱-۲ طرح فیلتر
۱۱	۲-۲ طراحی
۱۱	۱-۲-۲ طراحی ساختار SIW
۱۲	۲-۲-۲ ابعاد محفظه‌های تشدید
۱۳	۳-۲-۲ نتایج شبیه‌سازی فیلتر طراحی شده
۱۴	۳-۲ بهینه‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی
۱۴	۱-۳-۲ شبکه عصبی
۱۵	۲-۳-۲ پس انتشار
۱۶	۳-۳-۲ تابع آموزشی trainbr
۱۷	۴-۳-۲ بهینه‌سازی فیلتر
۲۲	۴-۲ بهبود باند توقف فیلتر
۲۲	۱-۴-۲ تغییر ساختار فیلتر
۲۶	۲-۴-۲ تغییر ابعاد محفظه‌ها
۲۹	۵-۲ تحلیل ساختار بهینه‌سازی شده
۳۰	۱-۵-۲ محاسبه‌ی ماتریس تزویج

۳۳	..... محل پورت‌ها	۲-۵-۲
۳۴	..... تلفات ساختار	۳-۵-۲
۳۵	..... فصل سوم: طراحی و بهینه‌سازی فیلتر باند X با پنجره‌های متقارن	
۳۵	..... طرح فیلتر	۱-۳
۳۶	..... طراحی	۲-۳
۳۶	..... طراحی ساختار SIW	۱-۲-۳
۳۶	..... ابعاد پنجره‌های متقارن و فاصله‌ی آن‌ها	۲-۲-۳
۳۸	..... نتایج شبیه‌سازی فیلتر طراحی شده	۳-۲-۳
۳۹	..... بهینه‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی	۳-۳
۳۹	..... تابع آموزشی trainlm	۱-۳-۳
۴۰	..... بهینه‌سازی فیلتر	۲-۳-۳
۴۴	..... بهبود باند توقف فیلتر	۴-۳
۴۷	..... تحلیل ساختار	۵-۳
۴۷	..... توزیع میدان الکتریکی فیلترها	۱-۵-۳
۴۸	..... تلفات ساختار	۲-۵-۳
۵۰	..... فصل چهارم: پیاده‌سازی فیلترهای طراحی شده	
۵۰	..... ساخت فیلتر با محفظه‌های تشدید	۱-۴
۵۴	..... ساخت فیلتر با پنجره‌های متقارن	۲-۴
۵۷	..... فصل پنجم: مقایسه و نتیجه‌گیری	
۵۷	..... مقایسه	۱-۵
۵۹	..... پیشنهادهایی جهت ادامه‌ی کار	۲-۵
۶۰	..... مراجع	

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) محفظه‌ی تشدید دایروی الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی به‌ازای زوایای مختلف α ۳
- شکل (۲-۱) فیلتر با ترکیب محفظه‌های تشدید و شکاف الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۳
- شکل (۳-۱) الف) فیلتر با محفظه‌های از کنار تزویج شده ب) فیلتر با محفظه‌های مستقیم تزویج شده ۴
- شکل (۴-۱) پاسخ فرکانسی فیلترهای شکل (۳-۱) ۴
- شکل (۵-۱) فیلتر با شکاف متناوب بر روی صفحه‌ی زمین الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۵
- شکل (۶-۱) فیلتر با شکاف بر روی صفحه‌ی زمین و در محل خط تغذیه الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۵
- شکل (۷-۱) فیلتر حاصل از سری کردن HMSIW و DGS الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۶
- شکل (۸-۱) فیلتر میان‌گذر طراحی شده با سری کردن یک فیلتر بالاگذر و یک فیلتر پایین‌گذر ۶
- شکل (۹-۱) ساختار فیلتر با میله‌های سلفی، قبل و بعد از یکسان‌سازی قطر میله‌ها ۷
- شکل (۱۰-۱) ساختار فیلتر با میله‌های سلفی متقارن الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۷
- شکل (۱۱-۱) ساختار بهبود یافته شکل (۱۰-۱) الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۸
- شکل (۱۲-۱) فیلتر با میله‌های سلفی متقارن با پاسخ بیضوی الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی ۸
- شکل (۱۳-۱) ساختمان فیلتر صفحه‌ی H ۹
- شکل (۱-۲) پیکربندی فیلتر و پارامترهای هندسی آن ۱۰
- شکل (۲-۲) پیکربندی فیلتر و پارامترهای هندسی آن ۱۳
- شکل (۳-۲) پارامترهای پراکندگی فیلتر طراحی شده ۱۴
- شکل (۴-۲) ساختار یک نورون ۱۵
- شکل (۵-۲) ساختار شبکه با یک لایه‌ی پنهان ۱۵
- شکل (۶-۲) مدل‌سازی تابع سینوسی توسط شبکه عصبی با داده‌های آموزش نویزی ۱۶
- شکل (۷-۲) نتیجه‌ی اعمال تابع آموزشی trainbr به شبکه‌ی عصبی ۱۷
- شکل (۸-۲) شبکه عصبی به‌کار رفته جهت بهینه‌سازی ۱۸
- شکل (۹-۲) تابع تقریب زده شده با شبکه‌ی عصبی ۲۰
- شکل (۱۰-۲) پارامترهای پراکندگی فیلتر با ابعاد بهینه ۲۱

- شکل (۱۱-۲) پارامترهای پراکندگی فیلتر با ابعاد بهینه در بازه‌ی فرکانسی وسیع ۲۱
- شکل (۱۲-۲) توزیع میدان الکتریکی در یک فیلتر الف) باند عبور اول ب) باند عبور دوم ۲۲
- شکل (۱۳-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر شکل (۱۱-۲) در باند عبور اول ۲۳
- شکل (۱۴-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر شکل (۱۱-۲) در باند عبور دوم ۲۳
- شکل (۱۵-۲) روند انتقال دریچه‌ها به وسط اضلاع محفظه‌های تشدید ۲۴
- شکل (۱۶-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور اول ۲۵
- شکل (۱۷-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور دوم ۲۵
- شکل (۱۸-۲) نتایج شبیه‌سازی فیلتر بعد از تغییر در باند عبور اول ۲۶
- شکل (۱۹-۲) نتایج شبیه‌سازی فیلتر بعد از تغییر در باند فرکانسی وسیع ۲۶
- شکل (۲۰-۲) پیکربندی فیلتر با تغییر ابعاد محفظه‌ها و پارامترهای هندسی آن ۲۷
- شکل (۲۱-۲) نتایج شبیه‌سازی فیلتر شکل (۲۰-۲) در باند عبور اول ۲۸
- شکل (۲۲-۲) نتایج شبیه‌سازی فیلتر شکل (۲۰-۲) در باند فرکانسی وسیع ۲۸
- شکل (۲۳-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور اول ۲۹
- شکل (۲۴-۲) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور دوم ۲۹
- شکل (۲۵-۲) ساختار شبیه‌سازی شده جهت یافتن ضرایب تزویج ۳۰
- شکل (۲۶-۲) نتایج شبیه‌سازی شکل (۲۵-۲) ۳۱
- شکل (۲۷-۲) ساختار شبیه‌سازی شده جهت یافتن ضریب کیفیت خارجی ۳۱
- شکل (۲۸-۲) نتایج شبیه‌سازی شکل (۲۷-۲) ۳۲
- شکل (۲۹-۲) شماره‌گذاری محفظه‌ها ۳۳
- شکل (۳۰-۲) حالات مختلف مکان پورت‌ها ۳۳
- شکل (۳۱-۲) تلفات تعبیه‌ی فیلتر در باند عبور ۳۴
- شکل (۱-۳) پیکربندی فیلتر و پارامترهای هندسی آن ۳۵
- شکل (۲-۳) پیکربندی فیلتر و پارامترهای هندسی آن ۳۸
- شکل (۳-۳) پارامترهای پراکندگی فیلتر طراحی شده ۳۹

- شکل (۳-۴) شبکه عصبی به کار رفته جهت بهینه‌سازی ۴۰
- شکل (۳-۵) پارامترهای پراکندگی فیلتر با ابعاد بهینه ۴۳
- شکل (۳-۶) پارامترهای پراکندگی فیلتر با ابعاد بهینه در بازه‌ی فرکانسی وسیع ۴۳
- شکل (۳-۷) ساختار شکاف پایین‌گذر ۴۴
- شکل (۳-۸) ساختار شکاف بر روی خط ریزنوار الف) صفحه‌ی فوقانی ب) صفحه‌ی زمین ۴۵
- شکل (۳-۹) نتایج شبیه‌سازی شکاف روی ساختار ریزنوار ۴۵
- شکل (۳-۱۰) ساختار فیلتر پس از اضافه شدن شکاف الف) صفحه‌ی فوقانی ب) صفحه‌ی زمین ۴۶
- شکل (۳-۱۱) پارامترهای پراکندگی فیلتر پس از تغییر صفحه‌ی زمین ۴۶
- شکل (۳-۱۲) پارامترهای پراکندگی فیلتر پس از تغییر صفحه‌ی زمین در باند فرکانسی وسیع ۴۷
- شکل (۳-۱۳) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور اول، قبل از بهبود باند توقف ۴۷
- شکل (۳-۱۴) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور دوم، قبل از بهبود باند توقف ۴۸
- شکل (۳-۱۵) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور اول، پس از بهبود باند توقف ۴۸
- شکل (۳-۱۶) توزیع میدان الکتریکی فیلتر در باند عبور دوم، پس از بهبود باند توقف ۴۸
- شکل (۳-۱۷) تلفات تعبیه‌ی فیلتر در باند عبور ۴۹
- شکل (۴-۱) تصویر صفحه‌ی فوقانی فیلتر ساخته شده ۵۰
- شکل (۴-۲) مقایسه‌ی تلفات تعبیه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۱
- شکل (۴-۳) مقایسه‌ی تلفات بازگشتی شبیه‌سازی و ساخت ۵۱
- شکل (۴-۴) تصویر پارامترهای پراکندگی فیلتر هنگام آزمون ۵۲
- شکل (۴-۵) تصویر صفحه‌ی فوقانی فیلتر ساخته شده ۵۲
- شکل (۴-۶) مقایسه‌ی تلفات تعبیه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۳
- شکل (۴-۷) مقایسه‌ی تلفات بازگشتی شبیه‌سازی و ساخت ۵۳
- شکل (۴-۸) تصویر صفحات فوقانی و زیرین فیلتر ساخته شده ۵۴
- شکل (۴-۹) مقایسه‌ی تلفات تعبیه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۵
- شکل (۴-۱۰) مقایسه‌ی تلفات بازگشتی شبیه‌سازی و ساخت ۵۵

شکل (۴-۱۱) تصویر تلفات تعبیه‌ی فیلتر هنگام آزمون ۵۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ پارامترهای هندسی فیلتر بر حسب میلی‌متر ۱۴
- جدول ۲-۲ داده‌های آموزش شبکه‌ی عصبی ۱۸
- جدول ۳-۲ داده‌های آزمون شبکه‌ی عصبی ۱۹
- جدول ۴-۲ پارامترهای هندسی فیلتر بر حسب میلی‌متر ۲۷
- جدول ۱-۳ پارامترهای هندسی فیلتر بر حسب میلی‌متر ۳۸
- جدول ۲-۳ داده‌های آموزش شبکه‌ی عصبی ۴۰
- جدول ۳-۳ داده‌های آزمون شبکه‌ی عصبی ۴۲
- جدول ۴-۳ پارامترهای هندسی ساختار بر حسب میلی‌متر ۴۵
- جدول ۱-۴ مقایسه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۲
- جدول ۲-۴ مقایسه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۴
- جدول ۳-۴ مقایسه‌ی شبیه‌سازی و ساخت ۵۶
- جدول ۱-۵ مشخصات فیلترهای طراحی شده در پایان‌نامه ۵۷
- جدول ۲-۵ مشخصات فیلترهای طراحی شده در چند سال اخیر ۵۸

اختصارات

ADS	Advanced Design System
BP	Back Propagation
CBCPW	Conductor-Backed Coplanar Waveguide
CPW	Coplanar Waveguide
DGS	Defected Ground Structure
FBW	Fractional BandWidth
HFSS	High Frequency Structure Simulator
HMSIW	Half Mode Substrate Integrated Waveguide
LTCC	Low Temperature Co-fired Ceramics
MSE	Mean Square Error
PCB	Printed Circuit Board
SIC	Substrate Integrated Circuit
SIW	Substrate Integrated Waveguide
TE	Transverse Electric

مقدمه

در سال‌های اخیر، موجبر مجتمع شده در زیرلایه (SIW)^۱، به‌طور گسترده در طراحی مدارهای امواج میلی‌متری به‌کار رفته است. این موجبرها متعلق به خانواده‌ی مدارهای مجتمع شده در زیرلایه (SIC)^۲، می‌باشند. این نوع موجبرها ساختارهای یک‌پارچه‌ای هستند که با دو ردیف استوانه‌ی هادی یا شکاف رسانا، که در بستر دی‌الکتریک جاسازی شده‌اند و دو صفحه‌ی فلزی را از لحاظ الکتریکی به یک‌دیگر متصل می‌کنند، ساخته شده‌اند. مدارهای مجتمع شده در زیرلایه برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ پیشنهاد شد [۱].

قطعات فعال معمولاً روی مدارهای چاپی صفحه‌ای ساخته می‌شوند، درحالی‌که اجزای غیرفعال با موجبرهای مستطیلی به این‌صورت قابل پیاده‌سازی نیستند. موجبرهای مستطیلی به دلیل عملکرد مناسب، به‌ویژه در فرکانس‌های بالا و قابلیت کنترل توان، کاربرد وسیعی در سیستم‌های امواج مایکروویو دارند. اما با توجه به قیمت بالا و عدم امکان ادغام این ابزارهای سه‌بعدی با مدارهای صفحه‌ای کاربرد آن‌ها محدود می‌شود.

با ابداع فناوری SIW، موجبرهای مستطیلی به‌صورت صفحه‌ای ساخته شدند. ساختارهای SIW، بیش‌تر ویژگی‌های موجبر مستطیلی متعارف را دارند. این ساختارها مشخصات انتشار مشابه موجبر مستطیلی (شامل الگوی میدان و مشخصات پراکندگی) را دارند و مانند موجبر مستطیلی مزایای ضریب کیفیت بالا و حفاظت الکتریکی را شامل می‌شوند. علاوه بر آن، ساختارهای SIW قیمت کمی دارند و به‌سادگی می‌توانند با مدارهای ریزنوار^۳ و موجبر هم‌صفحه^۴ ادغام شوند. در کنار مزایای فوق، ساختارهای SIW دارای مزایای مدارهای ریزنوار و هم‌صفحه شامل حجم و وزن کم می‌باشند. مدارهای SIW، معایب مدارهای ریزنوار، مانند تداخل به علت عدم حفاظت الکتریکی و تلفات توان زیاد به‌ویژه در فرکانس‌های بالا را ندارند [۲].

¹ Substrate-integrated waveguide

² Substrate-integrated circuit

³ Microstrip circuit

⁴ Coplanar waveguide

فصل اول

فیلترهای میکروویو با فناوری SIW

طراحی فیلترها با تلفات عبوری پایین و سادگی ساخت، نیاز روزافزون سیستم‌های مخابراتی است. با وجود این که فیلترهای موجبری متداول فلزی، ضریب کیفیت بالا و عملکرد مناسبی دارند، وزن زیاد، هزینه‌ی بالای ساخت و ابعاد بزرگ آن‌ها، مانع استفاده از این دسته از فیلترها در بسیاری از کاربردها می‌شود. فیلترهای ریزنواری اگرچه هزینه‌ی ساخت کم‌تر و ابعاد کوچک‌تری دارند، ولی نسبت به فیلترهای موجبری ضریب کیفیت کم‌تری دارند و تلفات تشعشی آن‌ها در فرکانس‌های بالا زیاد است. با استفاده از فناوری SIW می‌توان فیلترهای مسطح با ضریب کیفیت بالا و ابعاد کوچک طراحی کرد.

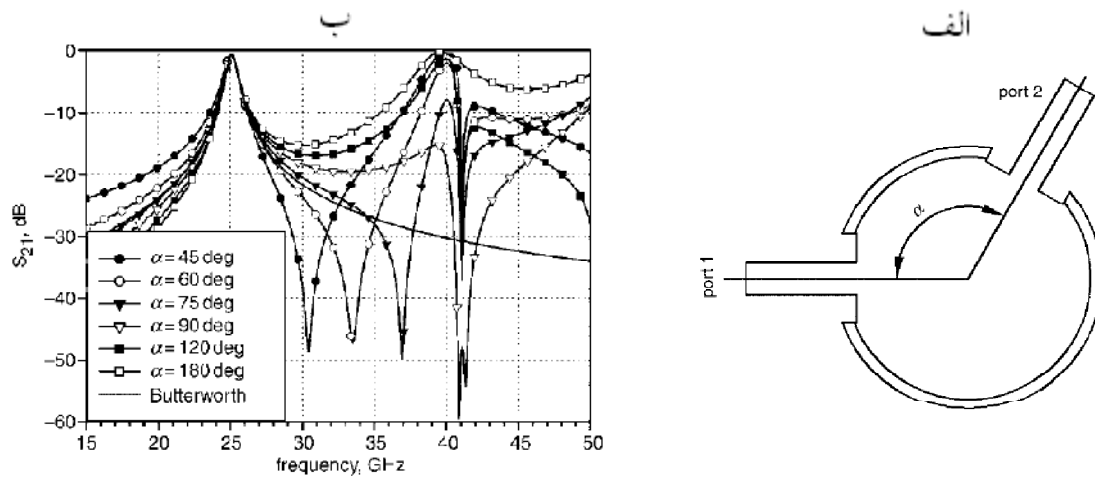
۱-۱ دسته‌بندی فیلترهای میکروویو

۱-۱-۱ استفاده از محفظه‌ی تشدید در طراحی فیلترها

الف) طراحی فیلتر با استفاده از محفظه‌ی تشدید دایروی [۳]

در طراحی فیلتر با محفظه‌ی تشدید دایروی، معمولاً پورت‌های ورودی و خروجی، روی یک خط قرار می‌گیرند. پاسخ فرکانسی این فیلترها مشخصه‌ی تیزی در باند توقف پایینی دارد، ولی در باند توقف بالایی، به‌ویژه برای فیلترهای پهن‌باند، پاسخ فرکانسی نامطلوب است.

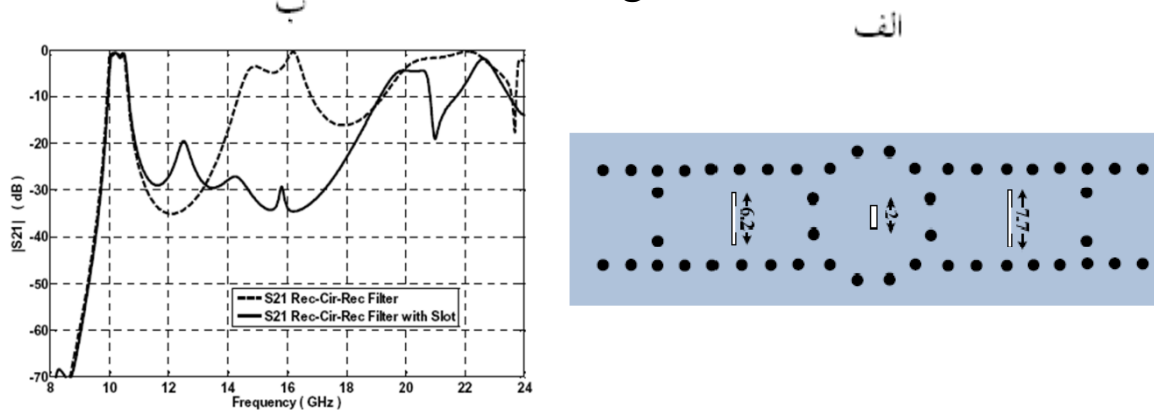
اگر یک محفظه‌ی تشدید دایروی SIW با زاویه‌ی α بین ورودی و خروجی در نظر گرفته شود (شکل (۱-۱))، در فرکانس‌های باند توقف موج ورودی به محفظه منعکس می‌شود. در نتیجه در طول خط تغذیه و داخل محفظه‌ی تشدید موج ایستا ایجاد می‌شود. در یک فرکانس خاص، صفر موج ایستا دقیقاً در پورت خروجی ظاهر شده و تشکیل یک صفر انتقال می‌دهد که محل آن به زاویه‌ی α بستگی دارد. شبیه‌سازی‌ها نشان داده است که اگر α برابر 75° باشد، پاسخ محفظه‌ی تشدید به پاسخ ایده‌آل بسیار نزدیک است.



شکل (۱-۱) محفظه‌ی تشدید دایروی [۳] الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی به‌ازای زوایای مختلف α

ب) طراحی فیلتر با روش ترکیب محفظه‌های تشدید دایروی و مستطیلی [۴]

پاسخ باند توقف فیلترهای میان‌گذر با تحریک مدهای مرتبه‌ی بالاتر محفظه‌ی تشدید خراب می‌شود. یکی از روش‌های بهبود مشخصه‌ی باند توقف سری کردن محفظه‌های تشدید مختلف، با مد غالب مشترک و مدهای مرتبه‌ی بالاتر متفاوت است. روش دیگر ایجاد شکاف روی سطح محفظه‌ی تشدید در مکان‌هایی است که جریان مدهای بالاتر را قطع کند و جریان مد غالب را تغییر ندهد، تا مدهای مرتبه‌ی بالا تشعشع کرده و میرا شوند و باند عبور بدون تغییر باقی بماند. این دو روش باهم در طراحی یک فیلتر میان‌گذر استفاده شده است. روش اول با سری کردن محفظه‌های تشدید دایروی و مستطیلی پیاده‌سازی شده است، که مد غالب آن‌ها برهم منطبق است و مد دوم محفظه‌ی تشدید دایروی فرکانس بالاتری از مستطیلی دارد. روش دوم نیز با ایجاد شکاف بر روی محفظه‌های تشدید پیاده‌سازی شده است. فیلتر طراحی شده و پاسخ فرکانسی آن در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

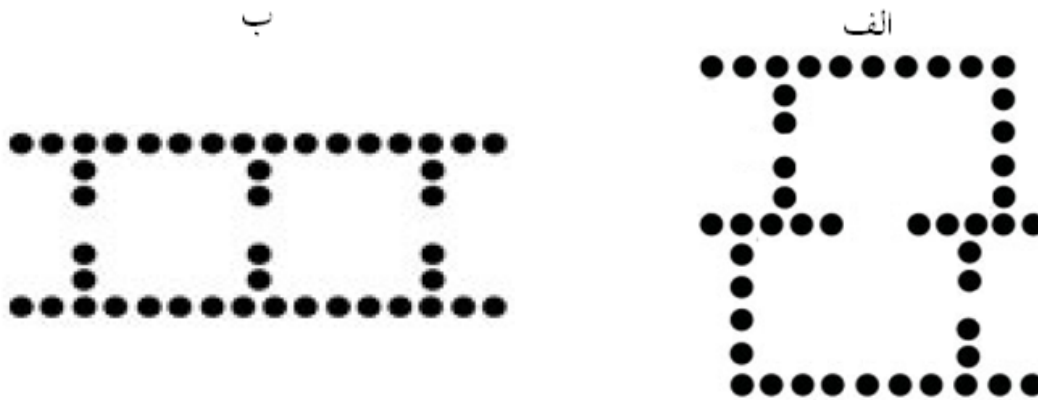


شکل (۲-۱) فیلتر با ترکیب محفظه‌های تشدید و شکاف [۴] الف) پیکربندی ب) پاسخ فرکانسی

ج) طراحی فیلتر با استفاده از دو محفظه‌ی تشدید مربعی تزویج شده [۵]

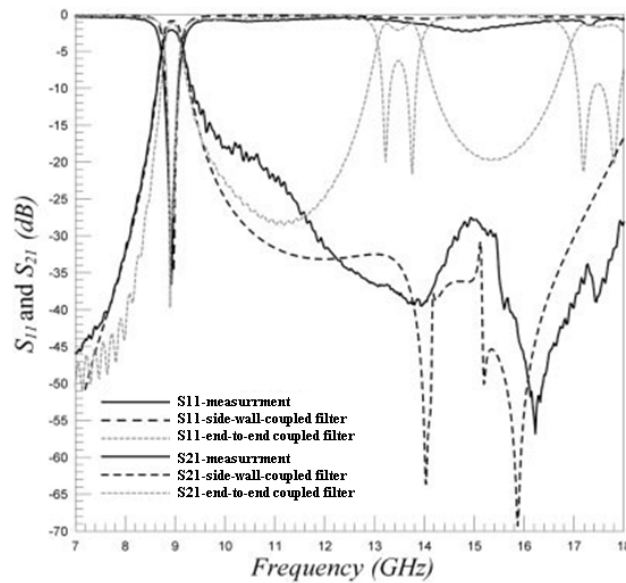
می‌توان با کمک دو محفظه‌ی تشدید که از کنار با یک‌دیگر تزویج شده‌اند، فیلتری با باند توقف بالای وسیعی طراحی نمود. علت افزایش باند توقف فیلتر، عدم انتقال فرکانس تشدید دوم آن، از محفظه‌ی اول به دوم می‌باشد. شکل (۳-۱) دو نوع فیلتر را که هر دو دارای دو محفظه‌ی تشدید می‌باشند نشان می‌دهد. در شکل (۳-۱) الف)

محفظه‌های تشدید از کنار با یکدیگر تشدید شده‌اند و در شکل (۳-۱) ب) محفظه‌ها به‌طور مستقیم با یکدیگر تشدید شده‌اند.



شکل (۳-۱) [۵] الف) فیلتر با محفظه‌های از کنار تزویج شده ب) فیلتر با محفظه‌های مستقیم تزویج شده

شکل (۴-۱) پاسخ فرکانسی فیلترها را نمایش می‌دهد. با مقایسه‌ی پاسخ فرکانسی دو فیلتر، می‌توان دید، فیلتری که محفظه‌های تشدید آن از کنار با یکدیگر تزویج شده‌اند، نسبت به حالتی که محفظه‌ها به‌طور مستقیم با یکدیگر تزویج شده‌اند، به دلیل حذف باند عبور دوم، باند توقف بسیار وسیع‌تری دارد.



شکل (۴-۱) پاسخ فرکانسی فیلترهای شکل (۳-۱) [۵]

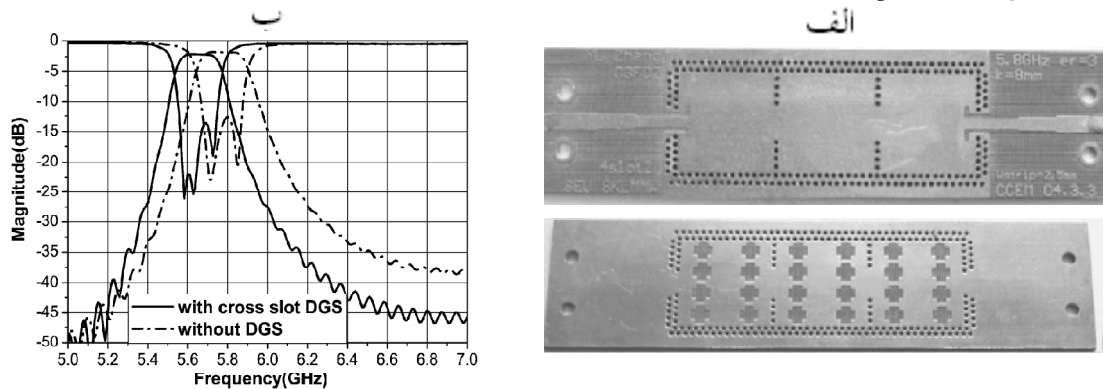
۲-۱-۱ طراحی فیلتر با زمین تغییر شکل یافته (DGS)^۱

الف) ایجاد شکاف‌های متناوب در صفحه‌ی زمین [۶]

یک فیلتر با استفاده از محفظه‌های تشدید که به‌طور سری به‌هم متصل شده‌اند، طراحی شده است. فرکانس تشدید محفظه‌ها برای محاسبه‌ی فرکانس مرکزی فیلتر به‌کار می‌رود. با استفاده از روش ایجاد ساختار متناوب

^۱ Defected Ground Structure

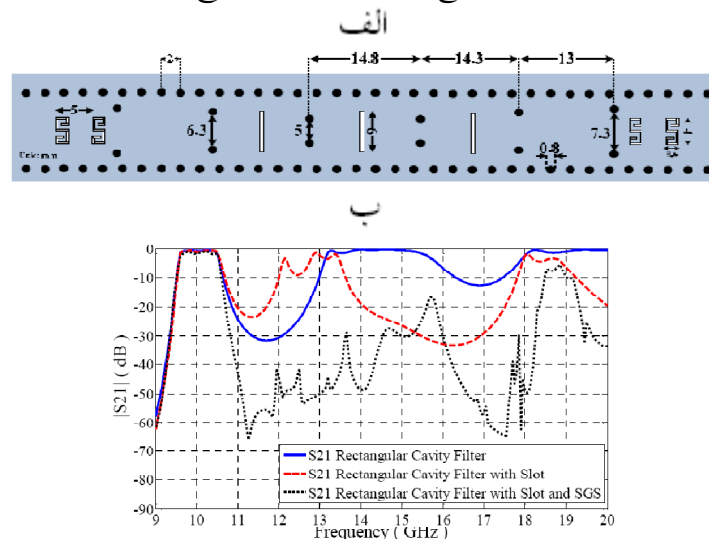
(پسخور توزیع شده) روی صفحه‌ی زمین این فیلتر، مشخصه‌ی باند قطع بالایی آن بهبود می‌یابد. ساختار این فیلتر و پاسخ فرکانسی آن در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱) فیلتر با شکاف متناوب بر روی صفحه‌ی زمین [۶] (الف) پیکربندی (ب) پاسخ فرکانسی

(ب) ایجاد شکاف در صفحه‌ی زمین در محل تغذیه [۷]

در این فیلتر برای بهبود مشخصه‌ی باند قطع سه روش استفاده شده است. ابتدا، محفظه‌های تشدید با شکل متفاوت طراحی شده‌اند که مد غالب یکسان و مدهای بالاتر متفاوت داشته باشند. سپس، با ایجاد شکاف روی محفظه‌های تشدید، در مسیر جریان مد دوم، مد دوم تشعشع کرده و میرا می‌شود، بدون این‌که به مد غالب آسیبی برسد. در نهایت با ایجاد شکاف روی صفحه‌ی زمین در محل خط تغذیه، باند قطع فیلتر وسیع می‌شود، زیرا شکاف ایجاد شده صرفه‌هایی در محل پیک‌های باند قطع دارد. این فیلتر و پاسخ آن در شکل (۶-۱) دیده می‌شود.



شکل (۶-۱) فیلتر با شکاف بر روی صفحه‌ی زمین و در محل خط تغذیه [۷] (الف) پیکربندی (ب) پاسخ فرکانسی

(ج) ایجاد باند عبور وسیع با سری کردن HMSIW و DGS [۸]

می‌توان برای طراحی فیلتری با انتخاب‌گری بالا و پایین مناسب، از سری کردن یک فیلتر بالاگذر و یک فیلتر پایین‌گذر، استفاده کرد. مشخصه‌ی بالاگذر فیلتر را HMSIW که ذاتا رفتار قطع تیزی دارد ایجاد می‌کند و رفتار