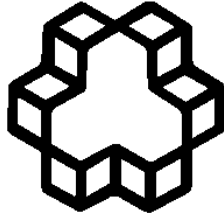


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه شیراز
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق
گرایش مخابرات میدان

طراحی و ساخت فیلتر میان گذر چند بانندی باریک با استفاده از تکنولوژی موجبر Ridge Gap در باند Ku

توسط:

میلااد شریفی سرخه ریزی

استاد راهنما: دکتر علی خالقی

تابستان ۱۳۹۱

تأییدیه هیئت داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهایی پایان نامه آقای: میلاد شریفی سرخه‌ریزی

را با عنوان: طراحی و ساخت فیلتر میان گذر چند بانده باریک با استفاده از تکنولوژی

موجبر *Ridge Gap* در باند *Ku*

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر علی خالقی	استادیار	
استاد ممتحن	دکتر آرش احمدی	استادیار	
استاد ممتحن	دکتر غلامرضا مرادی	دانشیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر آرش احمدی	استادیار	

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: طراحی و ساخت فیلتر میان گذر چند باندهی باریک با استفاده از تکنولوژی

موجبر *Ridge Gap* در باند *Ku*

استاد راهنما: دکتر علی خالقی

نام دانشجو: میلاد شریفی سرخه‌ریزی

شماره دانشجویی: ۸۹۰۴۱۹۴

اینجانب میلاد شریفی سرخه‌ریزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش مخابرات میدان دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد . هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

با سپاس فراوان از

استاد ارجمندم جناب آقای دکتر خالقی

که با راهنمایی‌های خود مرا در انجام این پروژه یاری کردند.

چکیده

هدف از انجام این پژوهش تحقق فیلتر باند باریک جهت استفاده در سیستم‌های مالتی‌پلکسر بر اساس تکنولوژی نوظهور موجبر Ridge Gap است. در تکنولوژی مذکور با استفاده از سطوح سخت و نرم در الکترومغناطیس و تحقق آن در بستر موجبر صفحه موازی، ساختار موجبری جدیدی ابداع شده است که مشخصات مناسبی جهت استفاده در باند فرکانسی بالا مانند باند میلی‌متری دارد. در این پایان‌نامه پس از معرفی و بررسی تاریخچه‌ی استفاده از سطوح سخت و نرم در الکترومغناطیس و معرفی موجبر Ridge Gap برای تحقق فیلتر میان‌گذر، دو ساختار محفظه‌ی رزونانسی قابل پیاده‌سازی بر روی این موجبر ارائه شده است. با استفاده از محفظه‌های پیشنهاد شده فیلترهای میان‌گذر و میان‌گذر باند باریک با مرتبه‌های مختلف طراحی و شبیه‌سازی شده است. در نهایت یک فیلتر درجه چهار برای یک کانال متداول در مخابرات ماهواره‌ای پس از طراحی و شبیه‌سازی ساخته شده است. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در تطابق نسبی قرار دارند.

واژگان کلیدی: موجبر Ridge Gap، سطح سخت و نرم، محفظه‌ی رزونانسی، فیلتر میان‌گذر، مالتی‌پلکسر

فهرست مطالب

مقدمه.....	۱
فصل ۱- سطوح نرم و سخت در الکترومغناطیس	۴
مقدمه.....	۴
۱-۱- سطوح نرم و سخت در آکوستیک	۴
۱-۱-۱- سطوح نرم و کاربرد آن در الکترومغناطیس	۵
۱-۱-۲- سطوح سخت و کاربرد آن در الکترومغناطیس	۶
۲-۱- تعریف و بررسی دقیق سطوح نرم و سخت با استفاده از روش نور هندسی.....	۸
۳-۱- روش‌های تحقق سطوح نرم در الکترومغناطیس.....	۱۱
۱-۳-۱- سطوح مسطح	۱۲
۲-۳-۱- رفلکتور متقارن چرخشی.....	۱۲
۳-۳-۱- استوانه‌ی دایروی.....	۱۴
۴-۳-۱- موجبر استوانه‌ای.....	۱۵
۴-۱- روش‌های تحقق سطوح سخت در الکترومغناطیس	۱۵
۱-۴-۱- رفلکتور مسطح	۱۶
۲-۴-۱- رفلکتور چرخشی متقارن.....	۱۷
۳-۴-۱- استوانه‌ی دایروی.....	۱۷
۴-۴-۱- موجبر استوانه‌ای.....	۱۸
۵-۱- کاربردهای سطوح نرم و سخت در الکترومغناطیس.....	۲۰
۱-۵-۱- استفاده از سطوح نرم و سخت در آنتن شیاری	۲۰
۲-۵-۱- کاربرد سطوح سخت و نرم در بهبود عملکرد آنتن دی‌پل	۲۵
۳-۵-۱- بهبود عملکرد پنجره‌ی تشعشعی به وسیله‌ی سطح نرم.....	۲۶
۴-۵-۱- بهبود عملکرد آنتن میکرواستریپ با استفاده از سطح نرم.....	۲۸
۵-۵-۱- کاهش انسداد و تشعشع با استفاده از سطح سخت	۲۹
فصل ۲- موجبر Ridge Gap	۳۲
مقدمه.....	۳۲
۱-۲- موجبر مستطیلی با قابلیت انتشار مد TEM	۳۵
۲-۲- موجبر متامتریال Ridge Gap در فاصله‌ی بین دو صفحه‌ی موازی	۳۷
۳-۲- مقایسه‌ی پهنای باند چند ساختار باند ممنوعه برای استفاده در موجبر صفحه موازی ۳۹	

۴۰	۱-۳-۲	سطح هادی مغناطیسی مصنوعی با استفاده از میله‌های هادی الکتریکی
۴۵	۲-۳-۲	سطح هادی مغناطیسی مصنوعی با استفاده از سطح شیاردار
۴۶	۳-۳-۲	هادی مصنوعی با استفاده از سطح قارچی شکل EBG
۴۹	۴-۲	امپدانس مشخصه موجبر Ridge Gap
۵۱	۵-۲	یک مدل مناسب از موجبر Ridge Gap در باند ku
۵۵	۶-۲	شبیه‌سازی موجبر Ridge Gap
۵۷	۷-۲	طراحی موجبر Ridge Gap در باند فرکانسی 10-13GHz
۵۸	۳	محفظه‌ی رزونانسی در ساختار Ridge Gap
۵۸		مقدمه
۵۸	۱-۳	شباهت موجبر Ridge Gap با ساختارهای کریستال فوتونی
۶۰	۲-۳	محفظه‌ی رزونانسی در ساختار EBG
۶۰	۱-۲-۳	کاربرد دی‌الکتریک در تولید محفظه‌ی رزونانسی
۶۳	۲-۲-۳	تولید محفظه‌ی رزونانسی بدون کاربرد دی‌الکتریک
۶۵	۳-۳	فیلتر میان‌گذر با استفاده از محفظه‌های پیشنهاد شده
۷۲	۴	فیلتر میان‌گذر بر اساس ساختار Ridge Gap
۷۲		مقدمه
۷۳	۱-۴	تبدیل فیلتر میان‌گذر به میان‌گذر
۷۸	۲-۴	طراحی فیلتر میان‌گذر درجه ۲ برای ۵ کانال مختلف
۷۸	۱-۲-۴	طراحی کانال‌های مجزا
۸۰	۲-۲-۴	طراحی مالتی‌پلکسر با قرار دادن کانال‌های مجزا در یک ساختار
۸۴	۳-۴	فیلترهای مرتبه بالاتر بر اساس ساختار Ridge Gap
۹۰	۵	ساخت، اندازه‌گیری و نتیجه‌گیری
۹۰	۱-۵	تغییرات مورد نیاز در طراحی برای ساخت
۹۱	۲-۵	مقایسه‌ی نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی
۹۵	۳-۵	نتیجه‌گیری
۹۷		مقالات مستخرج از پایان‌نامه
۹۸		منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: تحقق سطوح نرم و سخت در الکترومغناطیس ۵
- شکل ۲-۱: دستگاه مختصات نور هندسی ۹
- شکل ۳-۱: سطح شیاردار متقاطع ۱۱
- شکل ۴-۱: تحقق سطح سخت در الکترومغناطیس ۱۶
- شکل ۵-۱: ساختار آنتن شیاری ۲۰
- شکل ۶-۱: ساختار متشکل از یک آنتن دی‌پل قرار گرفته بر روی یک سطح نرم ۲۵
- شکل ۷-۱: پنجره‌ی تشعشعی قرار گرفته بر روی سطح نرم ۲۷
- شکل ۸-۱: ساختار آنتن میکرواستریپ قرار گرفته بر روی صفحه‌ی زمین با شرایط مرزی نرم ۲۸
- شکل ۹-۱: a- ساختار با انسداد کاهش یافته برای قطبش TE . b- مقدار حقیقی عرض انسداد معادل. C- اندازه‌ی عرض انسداد معادل ۳۰
- شکل ۱۰-۱: a- ساختار با انسداد کاهش یافته برای قطبش TM . b- مقدار حقیقی عرض انسداد معادل. C- اندازه‌ی عرض انسداد معادل ۳۱
- شکل ۱-۲: موجبر SIW ۳۳
- شکل ۲-۲: موجبر NRD ۳۴
- شکل ۳-۲: صفحه‌ی متشکل از نوارهای PEC و PMC. سطح برای موج با جهت انتشار سفید یک سطح سخت است ولی برای جهت انتشار مشکی به عنوان یک سطح نرم عمل می‌کند. ۳۴
- شکل ۴-۲: موجبر مستطیلی با یک سطح داخلی سخت و ابعاد آن ۳۵
- شکل ۵-۲: (a,b) موجبر Ridge Gap (c) خط میکرواستریپ معکوس شده ۳۸
- شکل ۶-۲: ساختار سطح پتانسیل بالا بر اساس میله‌های فلزی ۴۱
- شکل ۷-۲: ساختار مثلثی متناوب بر اساس میله‌های فلزی ۴۳
- شکل ۸-۲: ساختار سطح شیاردار با صفحه‌ی بالایی هادی برای تولید سطح امپدانس بالا ۴۵
- شکل ۹-۲: ساختار قارچی شکل EBG برای تولید ساختار با باند ممنوعه - انواع مختلف قرارگیری بین اتصال کوتاه ۴۷
- شکل ۱۰-۲: موجبر Ridge Gap و معادل آن بر اساس تئوری تصویر ۴۹
- شکل ۱۱-۲: تطبیق تغذیه کواکسیال به موجبر Ridge Gap با پارامترهای $d = 3.45mm, b = 12mm, s = 3.75mm$ ۵۳
- شکل ۱۲-۲: ساختار موجبر Ridge Gap همراه با چرخش ۹۰ درجه ۵۴

- شکل ۲-۱۳: دامنه‌ی مؤلفه‌ی عمودی میدان الکتریکی در سطح صفحه‌ی بالایی ساختار شکل ۲-۱۲. ۵۵
- شکل ۲-۱۴: ساختار موجبر Ridge Gap در نرم افزار HFSS ۵۵
- شکل ۲-۱۵: توزیع میدان الکتریکی در موجبر Ridge Gap ۵۶
- شکل ۳-۱: ساختار کریستال‌های فوتونی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی ۵۹
- شکل ۳-۲: ساختار فیلتر بازتابی تک حفره و طیف گذر آن در حوزه فرکانس ۵۹
- شکل ۳-۳: ساختار متناوب باند ممنوعه‌ی بکار رفته در موجبر Ridge Gap با نقص ایجاد شده در مرکز آن. پین سبز رنگ از جنس دی‌الکتریک با ضریب نفوذپذیری نسبی 5 است. ۶۰
- شکل ۳-۴: مدهای رزونانسی ساختار شکل ۳-۳: الف) مد اول، ب) مد دوم، پ) مد سوم، ت) مد چهارم ... ۶۱
- شکل ۳-۵: محفظه‌ی رزونانسی بر اساس ساختار Ridge Gap بدون وجود دی‌الکتریک ۶۳
- شکل ۳-۶: توزیع دامنه‌ی میدان الکتریکی چهار مدل اول ساختار شکل ۳-۵ ۶۴
- شکل ۳-۷: ایجاد یک محفظه‌ی دی‌الکتریکی در ساختار موجبر Ridge Gap با تولید نقص در سطح متناوب EBG به وسیله‌ی تغییر جنس یک پین مجاور به دی‌الکتریک با ضریب نفوذپذیری نسبی ۵. پین دی‌الکتریک با رنگ سبز مشخص شده است. ۶۶
- شکل ۳-۸: توزیع میدان الکتریکی در فیلتر میان‌نگذر با استفاده از پین دی‌الکتریک در فرکانس 15.13GHz ۶۷
- شکل ۳-۹: فیلتر میان‌نگذر بر اساس ساختار Ridge Gap با استفاده از محفظه‌ی رزونانسی بدون دی الکتریک ۶۹
- شکل ۳-۱۰: توزیع میدان الکتریکی فیلتر شکل ۳-۹ در فرکانس 16.08GHz ۷۰
- شکل ۳-۱۱: فیلتر میان‌نگذر با قرار دادن دو محفظه‌ی رزونانسی معرفی شده در اطراف موجبر Ridge Gap ۷۱
- شکل ۴-۱: ساختار پیشنهاد شده برای تبدیل فیلتر میان‌نگذر به میان‌گذر ۷۳
- شکل ۴-۲: توزیع میدان الکتریکی ساختار شکل ۴-۱ در فرکانس 15.1GHz ۷۴
- شکل ۴-۳: ساختار بهبود یافته فیلتر میان‌گذر بر اساس استفاده از محفظه‌ی دی‌الکتریکی ۷۵
- شکل ۴-۴: تبدیل فیلتر میان‌نگذر به میان‌گذر با محفظه‌ی بدون دی‌الکتریک ۷۶
- شکل ۴-۵: طراحی بهبود یافته فیلتر شکل ۴-۴ با ایجاد اتصال کوتاه در انتهای خط انتقال ۷۷
- شکل ۴-۶: مالتی‌پلکسر ۵ کاناله با فیلتر درجه ۲ ۸۰
- شکل ۴-۷: مالتی‌پلکسر ۵ کاناله با حذف پین‌های اضافی ۸۳
- شکل ۴-۸: فیلتر درجه ۲ در فرکانس مرکزی 11.59GHz ۸۵

- شکل ۴-۹: فیلتر درجه ۳ طراحی شده برای فرکانس مرکزی 11.59GHz. ابعاد ارائه شده بر حسب میلی‌متر است. ۸۶.....
- شکل ۴-۱۰: فیلتر درجه ۴ طراحی شده برای فرکانس مرکزی 11.59GHz. کمیت‌های تعریف شده به صورت زیر است: $l_1=l_4=29.98\text{mm}$, $l_2=l_3=29.8\text{mm}$, $w=14.55\text{mm}$, $d=39.85\text{mm}$, $h=6.9\text{mm}$. ۸۷.....
- شکل ۴-۱۱: طرح نهایی ارائه شده برای فیلتر درجه ۴ در فرکانس مرکزی 11.59GHz. ابعاد محفظه ها و خط با اندازه‌های ارائه شده در شکل ۴-۱۰ برابر است. ۸۹.....
- شکل ۵-۱: سطح پایینی فیلتر آماده شده برای ساخت. این سطح از دو ridge هدایت کننده و پین‌ها تشکیل شده است. ۹۰.....
- شکل ۵-۲: سطح بالایی فیلتر آماده شده برای ساخت. حفره‌های ایجاد شده برای قرار گیری تغذیه کواکسیال است. ۹۱.....
- شکل ۵-۳: مدل ساخته شده از فیلتر میان‌گذر مرتبه ۴ در فرکانس مرکزی 11.59GHz و پهنای باند 72MHz. ۹۱.....
- شکل ۵-۴: قسمت‌های فوقانی و تحتانی مدل ساخته شده در شکل ۵-۳. ۹۲.....

فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۱: ساختار رفلکتور چرخشی متقارن و نمودار ارتفاع شیارها بر حسب شعاع موجبر کواکسیال ۱۳
- نمودار ۲-۱: سطح نرم در سطح خارجی استوانه‌ی دایروی و رابطه‌ی ارتفاع شیارها با شعاع خارجی استوانه ۱۴
- نمودار ۳-۱: موجبر استوانه‌ای نرم و نمودار ارتفاع شیارها بر حسب شعاع داخلی موجبر ۱۵
- نمودار ۴-۱: سطح سخت خارجی در استوانه‌ی دایروی و رابطه ارتفاع شیارها بر حسب شعاع خارجی استوانه ۱۸
- نمودار ۵-۱: موجبر استوانه‌ای سخت و نمودار ارتفاع شیارها بر حسب شعاع داخلی ۱۹
- نمودار ۶-۱: الگوی تشعشی آنتن شیاری ۲۲
- نمودار ۷-۱: پرتوی تشعشی آنتن شیاری با سطح خارجی نرم ۲۳
- نمودار ۸-۱: پرتوی تشعشی آنتن شیاری با سطح خارجی سخت ۲۴
- نمودار ۹-۱: پرتوی تشعشی آنتن دی‌پل افقی قرار گرفته بر روی یک سطح نرم در مقایسه با حالت معمولی در صفحه‌ی 45° . عبارت nocorr مربوط به صفحه‌ی هادی مسطح و corr سطح نرم است ۲۶
- نمودار ۱۰-۱: الگوی تشعش پنجره‌ی قرار گرفته بر روی سطح نرم ۲۷
- نمودار ۱۱-۱: پرتوی تشعشی آنتن میکرواستریپ بر روی سطح زمین نرم ۲۸
- نمودار ۱-۲: مقدار مؤلفه‌ی میدان مغناطیسی برای بررسی شرایط سخت و نرم بودن سطح نواری متشکل از PEC/PMC و توزیع میدان از نمای بالا در موجبر ۳۶
- نمودار ۲-۲: مقدار مؤلفه‌های سخت و نرم میدان مغناطیسی برای حالت $D = 5mm$ و $\epsilon_r = 10$ و توزیع میدان الکتریکی در داخل موجبر ۳۷
- نمودار ۳-۲: مقدار مؤلفه‌های سخت و نرم میدان مغناطیسی برای حالت $D = 3.5mm$ و $\epsilon_r = 4$ و توزیع میدان الکتریکی در داخل موجبر ۳۷
- نمودار ۴-۲: فرکانس شروع و پایین باند ممنوعه‌ی میله‌های فلزی قرار گرفته بر روی سطح ۴۱
- نمودار ۵-۲: فرکانس شروع (a) و پایان (b) باند ممنوعه ساختار میله‌های فلزی بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی برای مقادیر مختلف دوره تناوب ۴۲
- نمودار ۶-۲: مقدار نرمالیزه فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه ساختار میله‌ای مربعی بر حسب شعاع به دوره‌ی تناوب برای ارتفاع‌های مختلف فاصله‌ی هوایی ۴۳

نمودار ۷-۲: مقایسه‌ی پهنای باند ساختار باند ممنوعه‌ی با میله‌های دایروی و مربعی ۴۴

نمودار ۸-۲: مقایسه پهنای باند ساختار باند ممنوعه‌ی مربعی و مثلثی ۴۴

نمودار ۹-۲: فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه سطح شیار دار برای دوره تناوب‌های مختلف بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی ۴۵

نمودار ۱۰-۲: فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه سطح شیاردار برای دوره تناوب λ_{08} بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی ۴۶

نمودار ۱۱-۲: فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه‌ی ساختار قارچی شکل برای مقادیر مختلف g بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی ۴۷

نمودار ۱۲-۲: فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه‌ی ساختار قارچی شکل برای مقادیر مختلف شعاع پین‌های اتصال کوتاه بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی ۴۸

نمودار ۱۳-۲: فرکانس شروع و پایان باند ممنوعه‌ی ساختار قارچی شکل برای محل‌های مختلف قرارگیری پین‌های اتصال کوتاه بر حسب ارتفاع فاصله‌ی هوایی ۴۸

نمودار ۱۴-۲: امپدانس مشخصه‌ی موجبر Ridge Gap برای دو حالت ایده‌آل و واقعی با استفاده از مدل V/I ۵۰

نمودار ۱۵-۲: ابعاد ساختار طراحی شده برای موجبر Ridge Gap در باند ku و دیاگرام‌های پراکنش برای a : ساختار نامتناهی متناوب تشکیل شده از میله‌ها مربعی شکل، b : ساختار متناهی همراه با دیواره‌های فلزی، c : ساختار کامل موجبر Ridge Gap ۵۱

نمودار ۱۶-۲: مقدار نرمالیزه‌ی مؤلفه‌های E_x و E_y در موجبر Ridge Gap در فاصله‌ی هوایی ۵۲

نمودار ۱۷-۲: پارامترهای اسکترینگ اندازه‌گیری شده‌ی برای شکل ۱۲-۲ ۵۴

نمودار ۱۸-۲: پارامترهای اسکترینگ موجبر Ridge Gap شبیه‌سازی شده در نرم افزار HFSS ۵۶

نمودار ۱۹-۲: ابعاد و مشخصات موجبر Ridge Gap در باند فرکانسی 10-13GHz ۵۷

نمودار ۱-۳: فرکانس رزونانس ساختار شکل ۳-۳ بر حسب جنس دی‌الکتریک ۶۲

نمودار ۲-۳: تغییرات فرکانس رزونانس مد اول بر حسب ابعاد دی‌الکتریک به کار رفته ۶۲

نمودار ۳-۳: فرکانس رزونانس محفظه‌ی ایجاد شده بدون دی‌الکتریک بر حسب عرض محفظه ۶۵

نمودار ۴-۳: تغییرات فرکانس مد اول در محفظه‌ی طراحی شده برای باند x ۶۵

نمودار ۵-۳: پارامترهای اسکترینگ ساختار شکل ۷-۳. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی فیلتر میان گذر در فرکانس 15.13GHz است. ۶۷

نمودار ۶-۳: مقادیر پارامترهای اسکترینگ برای فیلتر شکل ۷-۳ به ازای سه مقدار مختلف ϵ_r ۶۸

نمودار ۷-۳: پارامترهای اسکترینگ برای فیلتر شکل ۳-۷ به ازای سه اندازه مختلف پهن دی‌الکتریک	۶۸
نمودار ۸-۳: پارامترهای اسکترینگ فیلتر طراحی شده در شکل ۳-۹. حذف باند در فرکانس 16.08GHz انجام شده است.	۶۹
نمودار ۹-۳: پارامترهای اسکترینگ فیلتر شکل ۳-۹ برای سه مقدار مختلف عرض محفظه (w) ۷۰	۷۰
نمودار ۱۰-۳: پارامترهای اسکترینگ شبیه‌سازی شده برای فیلتر شکل ۳-۱۱	۷۱
نمودار ۱-۴: پارامترهای اسکترینگ شبیه‌سازی شده برای ساختار شکل ۴-۱	۷۴
نمودار ۲-۴: پارامترهای اسکترینگ فیلتر بهبود یافته در شکل ۴-۳	۷۵
نمودار ۳-۴: پارامترهای اسکترینگ فیلتر شکل ۴-۴	۷۶
نمودار ۴-۴: پارامترهای اسکترینگ شکل ۴-۵	۷۷
نمودار ۵-۴: پارامتر S12 در فیلتر شکل ۴-۵ برای عرض‌های مختلف محفظه	۷۸
نمودار ۶-۴: ساختار و پاسخ فیلتر درجه ۲ در فرکانس مرکزی 15.15GHz	۷۹
نمودار ۷-۴: ساختار و پاسخ فیلتر درجه ۲ در فرکانس مرکزی 15.35GHz	۷۹
نمودار ۸-۴: پاسخ کانال‌های طراحی شده به صورت مجزا برای باند 15.1-16GHz	۸۰
نمودار ۹-۴: پارامترهای اسکترینگ در خروجی کانال‌های شکل ۴-۶	۸۱
نمودار ۱۰-۴: پاسخ خروجی هر کانال در ساختار شکل ۴-۶ پس از بهینه‌سازی مجدد	۸۲
نمودار ۱۱-۴: پاسخ در خروجی کانال‌های طرح ارائه شده در شکل ۴-۷	۸۳
نمودار ۱۲-۴: پارامترهای اسکترینگ فیلتر درجه ۲ طراحی شده در شکل ۴-۸	۸۵
نمودار ۱۳-۴: پاسخ شبیه‌سازی شده فیلتر درجه ۳ (شکل ۴-۹)	۸۶
نمودار ۱۴-۴: پاسخ فیلتر درجه ۴ طراحی شده در شکل ۴-۱۰	۸۷
نمودار ۱۵-۴: تأخیر گروه محاسبه شده برای فیلتر درجه ۴ طراحی شده در شکل ۴-۱۰	۸۸
نمودار ۱۶-۴: مقایسه‌ی افت خارج باند برای فیلترهای درجه ۲ تا ۴ طراحی شده در فرکانس مرکزی 11.59GHz	۸۸
نمودار ۱۷-۴: پارامترهای اسکترینگ مدل نهایی طراحی شده در شکل ۴-۱۱	۸۹
نمودار ۱-۵: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای S11 و S12 و مقایسه‌ی آن‌ها با شبیه‌سازی	۹۳
نمودار ۲-۵: نتایج اندازه‌گیری S12 همراه با شبیه‌سازی در باند گذر فیلتر	۹۳
نمودار ۳-۵: مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده‌ی تأخیر گروه	۹۴
نمودار ۴-۵: نتایج میانگین‌گیری از مقادیر اندازه‌گیری شده در نمودار ۳-۵	۹۴

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: فرکانس رزونانس و ضریب کیفیت چهار مد اول ساختار شکل ۳-۳ ۶۱
- جدول ۲-۳: فرکانس رزونانس و ضریب کیفیت چهار مد اول تحریک شده در ساختار شکل ۵-۳ ۶۴
- جدول ۱-۴: کمیت‌های تعریف شده در طراحی شکل ۶-۴ ۸۱
- جدول ۲-۴: عرض محفظه‌ها پس از بهینه سازی مجدد در طرح شکل ۶-۴ ۸۲
- جدول ۳-۴: پهنای باند هر کانال مالتی پلکسر طراحی شده برای $insertion\ loss < 1.5dB$ ۸۲

مقدمه

لزوم دستیابی به نرخ بالای انتقال اطلاعات باعث شده است که تمایل به استفاده از باندهای فرکانسی بالا افزایش روز افزونی داشته باشد. از این رو در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای ارائه‌ی تکنولوژی‌های جدید در حوزه مدارات میکروویوی فرکانس بالا انجام شده است. استفاده از باندهای فرکانس بالای میلی‌متری^۱ و زیر میلی‌متری^۲ مشکلات جدیدی نیز مطرح می‌سازد. تکنولوژی‌های متداول در زمینه‌ی مدارات میکروویوی، موجبرهای توخالی (موجبر مستطیلی و استوانه‌ای) و خطوط استریپ^۳ و میکرواستریپ^۴ هستند که هر دوی آن‌ها دارای مشکلات اجتناب ناپذیری در فرکانس‌های بالا هستند. با افزایش فرکانس و در نتیجه کاهش طول موج، هزینه‌ی ساخت موجبرهای توخالی به صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد. از آن‌جا که این نوع از موجبرها نیاز به ایجاد اتصال الکتریکی بین صفحات دارند، و در فرکانس‌های بالا تحقق اتصال الکتریکی پرهزینه و دشوار است، لذا کاربرد آن‌ها مناسب و مقرون به صرفه نیست. در مورد خطوط میکرواستریپ نیز ائتلاف اهمی زیر لایه در باندهای فرکانسی بالا افزایش می‌یابد. در نتیجه نیاز به معرفی تکنولوژی جایگزینی در این حوزه وجود دارد.

تلاش‌های فراوانی برای معرفی ادوات موجبری جایگزین برای باندهای بالا انجام شده است. با این وجود در حال حاضر جایگزین استاندارد و متداول برای موجبرهای مورد استفاده وجود ندارد. ساختاری که در این حوزه بسیار مورد توجه است، موجبر صفحه موازی است که اصول اولیه‌ی آن در کتاب‌های کلاسیک الکترومغناطیس بررسی شده است. تلاش‌های فراوانی برای تغییر این ساختار ابتدایی و بهینه‌سازی مشخصات آن انجام شده است. از جمله تکنولوژی‌های موجبری پیشنهاد شده بر اساس موجبر صفحه موازی، موجبر SIW و NRD است که در هر دوی آن‌ها همچنان تلفات ناشی از وجود دی‌الکتریک مشکل‌ساز است.

اخیراً تکنولوژی جدیدی بر اساس ایجاد موجبر در فاصله‌ی هوایی بین دو صفحه‌ی هادی الکتریکی و حذف انتشار در جهات دیگر با قرار دادن شرایط مرزی سخت پیشنهاد شده است. سطوح سخت و نرم از مدت‌های طولانی در الکترومغناطیس کاربرد دارد. از مشهورترین کاربردهای آن استفاده در آنتن‌های

¹ - Millimeter wave Band

² - Submillimeter Wave Band

³ - Strip

⁴ - Microstrip

بوقی برای کاهش قطبش متقاطع و حذف لوب‌های فرعی است. با این حال در دهه ۹۰ میلادی برای اولین بار اصول و تعاریف اولیه مربوط به این سطوح معرفی شد. همچنین کاربردهای گوناگون دیگری برای سطوح سخت و نرم ارائه شد. در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای، پیشنهادی برای استفاده از این سطوح جهت تحقق یک ساختار موجبری بر پایه‌ی موجبر صفحه موازی ارائه شد. در این موجبر جدید که Ridge Gap Waveguide نامیده می‌شود، نیاز به ایجاد اتصال الکتریکی بین صفحات وجود ندارد. همچنین مواد دی‌الکتریک نقش اساسی در مکانیزم موجبری آن ایفا نمی‌کنند. از این رو مشاهده می‌شود که این تکنولوژی تمام ویژگی‌های لازم برای کاربرد در امواج فرکانس بالا را داراست. از آنجا که موجبر Ridge Gap به تازگی معرفی شده و مباحث آن در حال گسترش است، هنوز تمامی قطعات اساسی میکروویوی بر روی آن پیاده سازی نشده‌اند.

از جمله عناصر اساسی در هر سیستم مخابراتی پیشرفته مالتی پلکسر^۱ است که به صورت جدا کننده‌ی کانال‌های مخابراتی عمل می‌کند. یک مالتی پلکسر را به سادگی می‌توان به صورت تعدادی فیلتر میان‌گذر با باند عبور باریک تعریف کرد که مشخصات کل باند ارتباطی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از این رو عموماً تلاش فراوانی برای بهینه سازی مشخصات آن‌ها انجام می‌شود. در طراحی مالتی پلکسر ابتدا نیاز به طراحی فیلترهای لازم در کانال‌های مورد نیاز است. در مرحله‌ی بعدی فیلترهای طراحی شده در کنار هم به صورت یک مالتی پلکسر قرار می‌گیرند. در این مرحله نیاز به بهینه‌سازی مجدد جهت حذف اثر بارگذاری و تداخل کانال‌ها بر روی هم است.

عناصر اصلی تشکیل دهنده‌ی اکثر فیلترهای میکروویوی، محفظه‌های رزونانسی هستند. بنابراین برای طراحی فیلترهای میکروویوی نیاز به انتخاب ساختار محفظه‌ی مناسب و بررسی مشخصات و عوامل تأثیرگذار بر روی آن است. از آنجا که تکنولوژی Ridge Gap به تازگی معرفی شده، تا به حال مطلبی در مورد محفظه‌های رزونانسی قابل تحقق بر روی این ساختار منتشر نشده است.

در این پایان‌نامه قصد داریم تا به تحقق فیلترهای باند باریک میان‌گذر بر اساس موجبر جدید Ridge Gap جهت استفاده در سیستم‌های مالتی پلکسر پردازیم. برای این منظور نیاز است تا مشخصات و ویژگی‌های این موجبر جدید به دقت بررسی و مطالعه شود. از آنجا که زیر بنای موجبر Ridge Gap بر اساس سطوح سخت و نرم است، در فصل اول تعاریف، اصول اولیه و کاربردهای گوناگون سطوح سخت و

¹ -Multiplexer

نرم بررسی و معرفی شده است. در فصل دوم اصول عملکرد و طراحی این موجبر با استفاده از منابع مختلف منتشر شده آمده است. همچنین مدلی مناسب برای دستیابی به مشخصات مناسب موجبری در باند فرکانسی 11-13GHz طراحی و شبیه‌سازی شده است.

در فصل سوم دو محفظه‌ی رزونانسی مناسب با ویژگی‌های مختلف جهت کاربرد در موجبر Ridge Gap پیشنهاد شده است. ساختارهای ارائه شده به سادگی قابل پیاده‌سازی و مجتمع‌سازی¹ با این موجبر هستند. همچنین در انتهای فصل سوم به بررسی نحوه کوپلینگ توان از موجبر به محفظه پرداخته شده است، و در نهایت با قرار دادن محفظه‌های پیشنهاد شده در مجاورت موجبر به مشخصه‌ی فیلتر میان‌گذر دست یافتیم. چندین مدل از این فیلتر در فصل سوم ارائه شده است.

فیلتر میان‌گذر طراحی شده در فصل سوم با ایجاد تغییراتی قابل تبدیل به ساختاری با مشخصه‌ی میان‌گذر است که در فصل چهارم این مسئله بررسی شده است. با افزایش تعداد محفظه‌ها، فیلترهای درجه بالاتر برای دست یافتن به استانداردهای موجود در زمینه‌ی سیستم‌های مخابراتی قابل تحقق است. این مسئله در فصل چهارم بررسی شده است و در نهایت یک فیلتر درجه ۴ برای یک کانال متداول در مخابرات ماهواره‌ای طراحی شده است. فیلتر فوق در فرکانس مرکزی 11.59GHz و با پهنای باند 72MHz طراحی شده است. با توجه به مقالات علمی منتشر شده تا به حال، می‌توان گفت که ساختار ارائه شده اولین فیلتر میان‌گذر بر اساس موجبر Ridge Gap است. در نهایت در فصل پنجم اطلاعات مربوط به ساخت و اندازه‌گیری و مقایسه با نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود.

¹-Integration

فصل ۱- سطوح نرم و سخت در الکترومغناطیس

مقدمه

استفاده از سطوح شیاردار از گذشته کاربرد گسترده‌ای در ساخت آنتن‌های بوقی دارد. شیارهای ایجاد شده در سطح داخلی آنتن بوقی باعث حذف مؤلفه‌ی میدان عمود بر سطح آنتن می‌شود و از این طریق عملکرد آن‌ها را بهبود می‌دهد. هر چند از حدود دهه‌ی ۶۰ میلادی از سطوح شیاردار در الکترومغناطیس استفاده می‌شد، اما نام‌گذاری و تعاریف اولیه در مقاله‌ای در سال ۱۹۸۸ انجام شد [۱] و پس از آن کاربردهای مختلف دیگر و روش‌های پیاده‌سازی و تحقق این سطوح مصنوعی ارائه شد. در این فصل پس از معرفی و ارائه‌ی تعاریف اولیه در مورد سطوح نرم و سخت، به بررسی روش‌های تحقق این سطوح در الکترومغناطیس می‌پردازیم. در ادامه به صورت دقیق‌تر خواص سطوح نرم و سخت را با روش نور هندسی بررسی می‌کنیم. همچنین کاربردهای مختلف ارائه شده بررسی و معرفی می‌شود. علاوه بر کاربردهای مطرح شده در این فصل کاربرد اصلی این تعاریف در موجبر *Ridge Gap* است که در فصل بعد به صورت دقیق بررسی می‌شود.

۱-۱- سطوح نرم و سخت در آکوستیک

سطوح دندانه دار متعامد از گذشته کاربرد گسترده‌ای در ساخت آنتن‌های بوقی با تشعشع متقارن و قطبش متقاطع پایین دارند. این نوع آنتن‌ها به عنوان آنتن‌های با مد هیبریدی شناخته می‌شوند [۲]، [۳]. روش‌های جدیدتری نیز برای ساخت این نوع از آنتن‌ها مطرح شده است که بر اساس ایجاد سطوحی با خواص غیر ایزوتروپیک امپدانسی مانند سطوح دندانه‌دار است [۴]. این‌گونه سطوح به روش‌های مختلف قابل تحقق است و در مسائل مختلف الکترومغناطیس کاربرد دارد. ویژگی اصلی این سطوح در صفر بودن چگالی شار توان (بردار پوینتینگ) برای هر پلاریزاسیون میدان الکتریکی بر روی آن‌ها خلاصه می‌شود. در آکوستیک سطحی که چگالی شار توان بر روی آن صفر باشد، سطح نرم نامیده می‌شود [۱]. از این روست که سطوح دندانه‌ای متعامد و دیگر سطوح با ویژگی مشابه، سطوح نرم مصنوعی الکترومغناطیسی نامیده می‌شوند.