

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

(گرایش مخابرات)

طراحی، بهینه‌سازی و امکان‌سنجی ساخت فیلترهای صفحه-H با استفاده از صفحات طولی طرح‌دار

از:

محمد حاج نوروزی

استاد راهنما

دکتر حبیب قربانی‌نژاد

(دی ۱۳۹۲)

تقدیم بہ:

پیشگاہ حضرت ولی عصر (ع)

تقدیر و تشکر:

بدینوسیله بر خود لازم می‌دانم، از جناب آقای دکتر قربانی نژاد که زحمات راهمایی این پروژه را به عهده دارند داشته باشم و

همچنین از عزیزترین یارانم، پدر و مادر بزرگوارم، برادران و خواهر مهربانم، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

همچنین از مرکز تحقیقات محبرات به دلیل حمایت های مالی از این پروژه کمال تشکر را دارم و از همه آنهایی که اینجانب را

از هر نظریاری کردن به خصوص برخی دانشجویان و اساتید دانشگاه کیلان و علم و صنعت تشکر می‌کنم.

فهرست مطالب

چ	فهرست جداول	.....
ح	فهرست اشکال	.....
ذ	چکیده فارسی	.....
ر	چکیده انگلیسی	.....
۱	فصل اول: فیلترهای مایکروویوی	.....
۲	۱-۱ مقدمه	.....
۴	۲-۱ موجبرها	.....
۴	۱-۲-۱ ویژگیهای خاص موجبرها	.....
۵	۲-۲-۱ مروری بر کارهای انجام شده در تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی فیلترهای موجبری	.....
۵	۱-۲-۲-۱ طراحی کامپیوتری فیلترهای مود میراشونده با پره‌های غیر اتصالی	.....
۶	۲-۲-۲-۱ فیلترهای موجبری مستطیلی پر شده با دی‌الکتریک یا هوا	.....
۷	۳-۲-۲-۱ فیلترهای صفحه‌E بارگذاری شده به صورت متناوب	.....
۸	۴-۲-۲-۱ فیلترهای صفحه‌H جزئی فشرده	.....
۸	۵-۲-۲-۱ طراحی فیلترهای موجبری با استفاده از FSS های بهینه‌سازی شده با کمک الگوریتم ژنتیک	.....
۹	۳-۱ معرفی فیلترهای میانگذر	.....
۹	۱-۳-۱ فیلترهای میانگذر باند باریک	.....
۹	۱-۱-۳-۱ اصول طراحی فیلترهای کوپل شده رزونانسی	.....
۱۱	۲-۱-۳-۱ معکوس‌کننده‌های امپدانس و ادمیتانس	.....
۱۳	۳-۱-۳-۱ رزوناتورهای مدار گسترده	.....
۱۴	۲-۳-۱ فیلترهای پهن‌بند	.....
۱۴	۱-۲-۳-۱ فیلترهای میانگذر بر پایه رزوناتورهای خط انشعابی	.....
۱۶	فصل دوم: معرفی فیلتر صفحه‌E و H و مروری بر کارهای انجام شده	.....
۱۷	۱-۲ معرفی فیلترهای موجبری صفحه‌E و صفحه‌H	.....
۱۸	۲-۲ مروری بر کارهای انجام شده در تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی فیلترهای صفحه‌H جزئی	.....

- ۱۸-۲-۱ فیلترهای صفحه H جزئی فشرده ۱۸
- ۱۹-۲-۲ فیلترهای موجبری با رزوناتورهای دی الکتریک با استفاده از روش انتگرال کانتور چند مودی ۱۹
- ۱۹-۲-۳ فیلترهای صفحه H جزئی با صفرهای انتقال چندگانه ۱۹
- ۲۰-۲-۴ فیلترهای حفره ای کوپل مستقیم صفحه H با رزوناتورهای دی الکتریک ۲۰
- ۲۱-۲-۵ فیلتر صفحه H جزئی موجبر یکپارچه زیرلایه ای (SIW) ۲۱
- ۲۲-۲-۶ فیلترهای میانگذر صفحه H جزئی بر اساس موجبر تاشو یکپارچه زیرلایه ای (SIFW) ۲۲
- ۲۲-۲-۷ تحلیل مدل کارآمد از دستگاههای موجبر دو پورتی صفحه H به طور دلخواه شکل داده شده با استفاده از تابع گرین دو صفحه موازی ۲۳
- ۲۵-۲-۸ فیلتر صفحه H جزئی فشرده بر اساس خط انتقال دست راستی یا چپی مخلوط (CRLH) در زیرلایه تاشده ... ۲۵
- ۲۷-۲-۹ تاشده فیلتر میانگذر صفحه H با سپتوم صفحه H دوتایی بر اساس LTCC ۲۷
- ۲۷-۲-۱۰ یک فیلتر صفحه H جزئی چند لایه اجرا شده با موجبر مجتمع زیرلایه تاشو (FSIW) ۲۷
- ۲۸-۲-۱۱ مدل پهن باند از پیوندهای موجبر صفحه H کسکید با استفاده از نمایش ماتریس امیدانس تعمیم یافته ۲۸
- ۲۹-۲-۱۲ روش سنتز ابعادی برای طیف گسترده ای از باند فیلترهای آیرسی موجبری ۲۹
- ۲۹-۲-۱۳ فیلترهای موجبری باند W میکروماشینی با دو خمیدگی صفحه H جاسازی شده ۲۹
- ۳۰-۲-۱۴ نمونه اولیه وقفی برای ثابت کردن طول و فیلترهای صفحه H موجبری دو بانده ۳۰
- ۳۱-۲-۱۵ یک روش اصلی از کوپلینگ خازنی در فیلترهای موجبری ۳۱
- ۳۲-۲-۳ جزئیات فیلترهای صفحه H جزئی و نمونه های طراحی شده آن ۳۲
- ۳۲-۳-۱ فیلترهای صفحه H جزئی ۳۲
- ۳۲-۳-۲ جزئیات فیلتر صفحه H جزئی و نمونه طراحی شده ۳۲
- ۳۴-۳-۳ فیلترهای صفحه H جزئی نوع ۱ و ۲ ۳۴
- ۴۰-۳-۴ فیلتر صفحه H جزئی نوع ۳ ۴۰
- ۴۵ فصل سوم: فیلترهای صفحه H جزئی پیشنهاد شده با رزوناتورهای فشرده ۴۵

۴۶	۱-۳ مقدمه
۴۷	۲-۳ موجبر صفحه H جزئی و محاسبه طول موج
۴۷	۳-۳ فیلتر صفحه H جزئی پیشنهاد شده با سه رزوناتور
۴۷	۱-۳-۳ ساختار و هندسه فیلتر پیشنهادی
۴۹	۲-۳-۳ ساختار و هندسه رزوناتورهای پیشنهادی و روش طراحی
۵۰	۳-۳-۳ مثال طراحی و نتایج شبیه‌سازی
۵۲	۴-۳ فیلترهای صفحه H جزئی پیشنهاد شده با پنج رزوناتور
۵۲	۱-۴-۳ ساختار و هندسه فیلتر پیشنهادی
۵۴	۲-۴-۳ ساختار و هندسه رزوناتورهای پیشنهادی و روش طراحی
۵۴	۳-۴-۳ مثال طراحی و نتایج شبیه‌سازی
۶۱	۵-۳ نتایج
۶۲	فصل چهار : امکان سنجی ساخت
۶۳	۱-۴ تحقق عملی
۶۳	۲-۴ ساخت فیلترهای قبلی نوع ۱ و ۲ و ۳
۶۵	۳-۴ ساخت فیلتر پیشنهادی
۶۵	۱-۳-۴ محدودیت‌های عملی ساخت
۶۶	۲-۳-۴ نتایج شبیه‌سازی نهایی
۶۹	فصل پنج : نتیجه گیری نهایی و پیشنهادهای ادامه کار
۷۰	۱-۵ مقدمه
۷۰	۲-۵ نوآوری های پروژه
۷۱	۳-۵ دستاوردها
۷۱	۴-۵ پیشنهادهای ادامه کار
۷۲	مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ ابعاد و فرکانس کار برخی از موجبرهای مستطیلی و استوانه‌ای ۴
- جدول ۱-۲ اندازه‌های فیلتر طراحی شده نوع ۱ و فیلتر صفحه E ۳۹
- جدول ۲-۲ اندازه‌های فیلتر طراحی شده نوع ۲ و فیلتر صفحه H ۴۰
- جدول ۳-۲ اندازه‌های فیلتر طراحی شده نوع ۱ و ۳ ۴۲
- جدول ۱-۳ طول رزوناتورهای فشرده صفحه H در فیلتر پیشنهادی با سه رزوناتور و رزوناتور نصف یا ربع طول موج ۴۸
- جدول ۲-۳ مقادیر اولیه سلف‌ها و خازن‌ها و پارامتر g برای $N = 3$ ۵۰
- جدول ۳-۳ ابعاد فیلتر طراحی شده پیشنهادی با سه رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۵۲
- جدول ۴-۳ طول رزوناتورهای فشرده صفحه H در فیلتر پیشنهادی با پنج رزوناتور و رزوناتور نصف یا ربع طول موج ۵۳
- جدول ۵-۳ مقادیر اولیه سلف‌ها و خازن‌ها و پارامتر g برای $N = 5$ ۵۴
- جدول ۶-۳ ابعاد فیلتر طراحی شده پیشنهادی با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۵۶
- جدول ۷-۳ ابعاد فیلتر طراحی شده پیشنهادی با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی 0.1 mm ۵۸
- جدول ۸-۳ ابعاد فیلتر طراحی شده اولیه پیشنهادی با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۵۹
- جدول ۹-۳ ابعاد فیلتر طراحی شده ثانویه پیشنهادی با بهبود پهنای باند با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۶۰
- جدول ۱-۴ ابعاد فیلتر نتیجه (الف) ۶۸
- جدول ۲-۴ ابعاد فیلتر نتیجه (ب) ۶۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ ساختار فیلترهای مود میرا شونده با پره‌های غیر اتصالی ۶
- شکل ۲-۱ ساختار فیزیکی فیلتر دو مودی موجبری مستطیلی ۷
- شکل ۳-۱ فیلتر صفحه E ۸
- شکل ۴-۱ فیلتر صفحه H جزئی فشرده ۸
- شکل ۵-۱ مدل مداری اولیه فیلتر پایین‌گذر ۱۰
- شکل ۶-۱ مدل مداری فیلتر میانگذر ۱۰
- شکل ۷-۱ فیلتر میانگذر به کمک معکوس‌کننده‌های امپدانس ۱۱
- شکل ۸-۱ فیلتر میانگذر به کمک معکوس‌کننده‌های ادمیتانس ۱۱
- شکل ۹-۱ استفاده از معکوس‌کننده‌های امپدانس برای تبدیل سلف سری به خازن موازی ۱۲
- شکل ۱۰-۱ استفاده از معکوس‌کننده‌های ادمیتانس برای تبدیل خازن موازی به سلف سری ۱۲
- شکل ۱۱-۱ فیلتر میانگذر با استفاده از رزوناتورهای خط انشعابی دوتایی ۱۵
- شکل ۱۲-۱ فیلتر میانگذر با استفاده از رزوناتورهای خط انشعابی سه‌تایی ۱۵
- شکل ۱-۲ نمودار نمایش رابطه بین صفحات E و H برای یک آنتن ۱۷
- شکل ۲-۲ نمای کلی فیلتر موجبر صفحه E و موجبر صفحه H جزئی ۱۸
- شکل ۳-۲ فیلتر میانگذر در WR-75 موجبر با پست‌های دی‌الکتریک ۱۹
- شکل ۴-۲ ساختار فیلتر صفحه H جزئی با استفاده از رزوناتورهای نصف طول موج با پنج شکاف صفحه H ۲۰
- شکل ۵-۲ ساختار فیلتر صفحه H جزئی با استفاده از رزوناتورهای یک‌چهارم طول موج با دو شکاف صفحه H و سه septum صفحه H ۲۰
- شکل ۶-۲ طرح کلی فیلترهای حفره‌ای کوپل مستقیم چهار قطبی با رزوناتورهای دی‌الکتریک ۲۱
- شکل ۷-۲ مدل‌های لایه‌ای از فیلتر صفحه H-SIW با زیرساخت و پره فلزی بین آن ۲۲
- شکل ۸-۲ پیکربندی SIW و SIFW ۲۲
- شکل ۹-۲ ساختار فیلتر صفحه H جزئی پیشنهادی با septa صفحه H ۲۳
- شکل ۱۰-۲ ساختار فیلتر صفحه H جزئی پیشنهادی با intaglio صفحه H ۲۳
- شکل ۱۱-۲ موجبر مستطیلی با منبع خط ۲۴
- شکل ۱۲-۲ فیلتر چهار کاواکی (حفره‌ای) با کاواکهای رزونانوری ۲۵

- شکل ۲-۱۳ فیلتر چهار کاواکی با گوشه‌های گرد در پنجره تزویج ($r = 1 \text{ mm}$) ۲۵
- شکل ۲-۱۴ ساختار اولین نوع از فیلترهای صفحه H جزئی بر اساس ساختار FSIW-CRLH ۲۶
- شکل ۲-۱۵ ساختار دومین نوع از فیلترهای صفحه H جزئی با septa صفحه H ۲۶
- شکل ۲-۱۶ فیلتر صفحه H جزئی پیشنهاد شده با septa صفحه H دوتایی ۲۷
- شکل ۲-۱۷ یک فیلتر صفحه H جزئی چند لایه جدید اجرا شده با FSIW ۲۸
- شکل ۲-۱۸ هندسه یک فیلتر دو مودی همه القایی در تکنولوژی موجبر مستطیلی ۲۸
- شکل ۲-۱۹ هندسه یک فیلتر القایی پنج قطبی متقارن در تکنولوژی زیگزاگی ۲۹
- شکل ۲-۲۰ شکل فیلتر میانگذر آیرسی موجبری صفحه H ۲۹
- شکل ۲-۲۱ فیلتر طراحی شده باند w در سرتاسر موجبر با دو خمیدگی صفحه H پشت به پشت مدل شده ۳۰
- شکل ۲-۲۲ فیلتر دو بانده ۳۱
- شکل ۲-۲۳ فیلتر موجبری صفحه H مرتبه سه ۳۱
- شکل ۲-۲۴ طرح کلی شکل موجبر صفحه H جزئی ۳۳
- شکل ۲-۲۵ توزیع میدان الکتریکی از موجبر صفحه H جزئی ۳۳
- شکل ۲-۲۶ مشخصه پراکندگی موجبر صفحه H جزئی و موجبر مستطیلی در باند H ۳۴
- شکل ۲-۲۷ ساختار دو نوع از فیلترهای صفحه H جزئی ۳۵
- شکل ۲-۲۸ معکوس کننده امپدانس (معکوس کننده K) برای موجبر میراثونده ۳۵
- شکل ۲-۲۹ سلول‌های واحد از فیلتر صفحه H نوع ۱ و نوع ۲ ۳۶
- شکل ۲-۳۰ پاسخ فرکانسی فیلتر صفحه H جزئی نوع ۱ در مقایسه با فیلتر صفحه E ۳۸
- شکل ۲-۳۱ پاسخ فرکانسی فیلتر صفحه H جزئی نوع ۲ در مقایسه با فیلتر صفحه H ۳۹
- شکل ۲-۳۲ پاسخ‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده دو فیلتر صفحه H جزئی با اتصال کابل هم‌محور ۴۰
- شکل ۲-۳۳ ساختار فیلتر نوع ۳ ۴۱
- شکل ۲-۳۴ مدار معادل فیلتر نوع ۳ با رزوناتورهای یک‌چهارم طول موج ۴۱
- شکل ۲-۳۵ معکوس کننده ادیمیتانس (معکوس کننده J) برای intaglio صفحه H ۴۲
- شکل ۲-۳۶ پاسخ‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده از فیلتر صفحه H جزئی نوع ۳ ۴۳
- شکل ۲-۳۷ پاسخ‌های پهن باند از فیلتر صفحه H جزئی نوع ۳ در مقایسه با نوع ۱ و ۲ آنها ۴۳
- شکل ۳-۱ ساختار فیلتر میان‌گذر صفحه H جزئی پیشنهادی با رزوناتورهای فشرده (سه رزوناتور) ۴۷ و ۴۸

- شکل ۲-۳ هندسه رزوناتورهای صفحه H جزئی فیلترهای سه رزوناتوری پیشنهادی ۴۹
- شکل ۳-۳ فیلتر میان‌گذر نمونه با استفاده از رزوناتورهای موازی ۴۹
- شکل ۴-۳ پاسخ‌های فرکانسی مدل مداری و سه رزوناتور صفحه H جزئی طراحی شده با پره فلزی بدون ضخامت ۵۱
- شکل ۵-۳ پاسخ فرکانسی مدل مداری و فیلتر صفحه H جزئی طراحی شده با سه رزوناتور با پره فلزی بدون ضخامت ۵۱
- شکل ۶-۳ ساختار فیلتر میان‌گذر صفحه H جزئی پیشنهادی با رزوناتورهای فشرده (پنج رزوناتور) ۵۲
- شکل ۷-۳ پاسخ‌های فرکانسی مدل مداری و پنج رزوناتور صفحه H جزئی طراحی شده با ضخامت پره فلزی صفر ۵۵
- شکل ۸-۳ پاسخ فرکانسی مدل مداری و فیلتر صفحه H جزئی طراحی شده با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۵۶
- شکل ۹-۳ پاسخ‌های فرکانسی مدل مداری و پنج رزوناتور صفحه H جزئی طراحی شده با ضخامت پره فلزی $0/1 \text{ mm}$ ۵۷
- شکل ۱۰-۳ پاسخ فرکانسی مدل مداری و فیلتر صفحه H جزئی طراحی شده با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی $0/1 \text{ mm}$ ۵۸
- شکل ۱۱-۳ پاسخ فرکانسی مدل مداری و فیلتر صفحه H جزئی طراحی شده اولیه با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۵۹
- شکل ۱۲-۳ پاسخ فرکانسی مدل مداری و فیلتر صفحه H جزئی طراحی شده ثانویه با پنج رزوناتور با ضخامت پره فلزی صفر ۶۰
- شکل ۱-۴ دو فیلتر صفحه H جزئی ساخته شده ۶۴
- شکل ۲-۴ فیلتر صفحه H جزئی نوع ۳ ساخته شده ۶۵
- شکل ۳-۴ ساختار فیلتر میان‌گذر صفحه H جزئی پیشنهاد شده با پنج رزوناتور فشرده برای ساخت عملی ۶۶

طراحی، بهینه‌سازی و امکان‌سنجی ساخت فیلترهای صفحه-H با استفاده از صفحات طولی طرح دار

محمد حاج نوروزی

فیلترهای میان‌گذر موجبری به‌عنوان اجزای جدایی‌ناپذیر مدارات مخابراتی کاربردهای بسیار متنوعی در بسیاری از ادوات الکترومغناطیسی نظیر فیلترهای مرکب و مالتی‌پلکسرها و یا در فیلترهای ارتباطات ماهواره‌ای دارند. در این پایان‌نامه فیلتر میان‌گذر موجبری جزئی با استفاده از رزوناتورهای فشرده ارائه شده که در موجبر صفحه-H جزئی محقق شده است. سطح مقطع فیلترهای میان‌گذر صفحه-H جزئی طراحی شده در مقایسه با فیلترهای میان‌گذر صفحه-E مشابه، در یک بازه فرکانسی مشابه، یک‌چهارم است. علاوه بر اینکه طول این فیلترها ۶۰٪ کوتاهتر از فیلتر صفحه-E رایج است. فیلتر میان‌گذر موجبری صفحه-H جزئی که با استفاده از رزوناتورهای طولی طراحی شده‌اند، در مقایسه با فیلترهای صفحه-H مرسوم، طول کمتری حدود ۴۰٪ دارد. رزوناتورهای فشرده در موجبرهای صفحه-H جزئی، در بازه فرکانسی مشابه هنگامی که با فیلترهای صفحه-H جزئی رایج مقایسه شده‌اند، طول نهایی فیلتر را کاهش می‌دهند. در فرآیند طراحی، شکل رزوناتورها با تطبیق مشخصه فرکانسی (تابع انتقالی) رزوناتور مطلوب که از مدل مداری بدست آمده‌است، تعیین می‌شوند. فرآیند طراحی متکی بر بهینه‌سازی به‌وسیله یک شبیه‌ساز الکترومغناطیسی برای بدست‌آوردن مدهای مرتبه بالاتر (مدهای میرا شونده) است. مزیت فیلتر میان‌گذر صفحه-H جزئی ارائه شده و عملکرد آن به‌وسیله طراحی و شبیه‌سازی دو فیلتر محقق می‌شود.

کلید واژه: فیلتر میان‌گذر موجبری صفحه-H جزئی، فیلتر میان‌گذر موجبری صفحه-E، رزوناتورهای فشرده

Abstract

Design, Optimization and Feasibility Construction of H-plane Filters Using Longitudinal Patterned Planes

Mohammad Hajnorouzi

Microwave band-pass filters as inevitable requirements of communication systems have a large variety of application such as for components of composite filters and multiplexers or for satellite communication filters. In this dissertation partial band-pass waveguide filter using compact resonators is presented which is implemented in partial H-plane waveguide. The designed Partial H-plane band-pass filters compared with same E-plane band-pass filters, in the same frequency range, while their cross sections are one-quarter. In addition the length of this filter is shorter by 60% than that of conventional E-plane filters. Partial H-plane band-pass waveguide filter which has been designed using longitudinally resonators has less length about 40% relative to the conventional partial H-plane filters. Compact resonators in partial H-plane waveguides reduce the total length of filter, in the same frequency range while compared with conventional partial H-plane filters. In the design procedure, the shape of resonators is determined by fitting the frequency characteristic (transfer function) of a desired resonator to that obtained from the equivalent circuit model. The design process is based on optimization using an electromagnetic simulation to take the effect of higher order modes (evanescent mode). The usefulness of the proposed partial H-plane band-pass filter and its performance are verified by designing and simulating two filters.

Key words: Partial H-plane Waveguide Band-Pass Filter, E-plane Waveguide Band-Pass Filter, Compact Resonators

فصل ۱

فیلترهای میکروویوی

۱-۱ مقدمه

فیلترهای میکروویوی ادواتی هستند که با انتقال سیگنال در باند عبور و تضعیف آنها در باند حذف پاسخ فرکانسی را در نقاط خاصی از یک سیستم میکروویوی کنترل می‌کنند. پاسخ فرکانسی فیلترهای میکروویوی همانند فیلترهای دیگر، می‌تواند پایین‌گذر، بالا‌گذر، میان‌گذر و میان‌نگذر باشد. طراحی فیلترهای میکروویوی به روش‌هایی مانند: روش پارامترهای تصویر^۱ و روش تلفات عبوری^۲ انجام می‌شود. در این روش‌ها از المان‌های مدار فشرده^۳ استفاده می‌شود. فیلترهای طراحی شده در میکروویوی به صورت‌هایی چون موجبری، خط انتقالی، ریز-نواری^۴ و خط-نواری^۵ ساخته می‌شوند.

فیلترها، اساس طراحی بسیاری از مدارات میکروویوی را تشکیل می‌دهند. از فیلترها جهت ترکیب یا جداسازی سیگنال‌هایی با فرکانسهای مختلف در مبدلهای فرکانسی، چندبرابرکننده‌های فرکانسی و یا ارتباطات مالتی پلکسی^۶ استفاده می‌شود. طیف الکترومغناطیسی محدود است و امکان ایجاد تداخل بین سیگنال‌های مختلف وجود دارد. در گیرنده‌ها جهت جلوگیری از تداخل سیگنال‌های خارج از باند با سیگنال اصلی از فیلتر استفاده می‌شود. از فیلترها می‌توان جهت محدود کردن تشعشع در فرستنده‌های با توان بالا یا به منظور تطبیق امپدانس بهره برد، بعنوان مثال بین خطوط انتقال با امپدانس مشخصه‌های متفاوت و یا بین یک منبع اهمی و یک بار راکتیو^۷ مانند دیود. در تقویت‌کننده‌ها نیز از فیلتر جهت تطبیق امپدانس می‌توان بهره برد. در بسیاری از موارد از فیلتر جهت ایجاد مشخصه فازی خاصی برای جبران اعوجاج ایجاد شده بوسیله فیلتر و یا دیگر ساختارها استفاده می‌شود. از نظر تئوری استفاده از فیلتر محدود به فرکانس خاصی نیست. در تمامی فرکانسها، از فرکانسهای پایین تا میکروویو و فرکانسهای اپتیکی و بالاتر، لزوم استفاده از فیلتر محسوس است [۱].

امروزه با توجه به کاربردهای سیستم‌های پهن‌بند و چندبندی، طراحی فیلترهای پهن‌بند با تلفات عبوری کم اهمیت فراوان یافته است. کلیه ساختارهای مطرح شده برای فیلترهای میانگذر عمدتاً مبتنی بر رزوناتورهای خط انتقالی ربع طول موج و نصف طول موج اند، که رزوناتورهای مجاور از طریق عناصر کوپل‌کننده مانند خازن موازی یا سلف سری با یکدیگر مربوط می‌شوند و

¹-Image parameter method

²-Insertion loss method

³-Lumped circuit

⁴-Micro strip

⁵-Strip line

⁶-Multiplex communications

⁷-Reactive

بدین ترتیب قطبهای انتقال در باند عبور فیلتر را محقق می‌سازند. اما نکته مهم و کلیدی برای طراحی این دسته از فیلترها، بر پایه این تقریب است که هر رزوناتور خط انتقالی معادل با یک LC سری یا موازی و هر عنصر کوپل‌کننده به‌عنوان یک معکوس‌کننده امپدانس و یا معکوس‌کننده ادیتمانس جداگانه و مستقل از فرکانس در بازه فرکانسی مورد بحث در نظر گرفته می‌شوند. لذا کاملاً منطقی است که تکنیکهای مرسوم برای طراحی فیلترهای میانگذر در مورد فیلترهای باند باریک (پهنای باند نسبی کمتر از ۲۰٪) کارآیی داشته باشند.

در این پایان‌نامه یک روش نوین برای طراحی فیلترهای موجبری میانگذر صفحه-H با استفاده از رزوناتورهای فشرده با استفاده از صفحات طولی طرح‌دار بیان شده است. در فصل اول پایان‌نامه به معرفی فیلترهای میکروویوی به خصوص فیلترهای میانگذر میکروویوی و مشخصات عمومی آنها پرداخته شده است. در مورد فیلترهای پهن‌بند نیز صحبت شده است. فصل دوم مربوط به تاریخچه فیلترهای صفحه-H و مشخصات نمونه‌ای از آنها برای مقایسه فیلتر طراحی شده مورد نظر در فصول بعد می‌باشد. فصل سوم بخش اصلی پایان‌نامه می‌باشد که شامل روش طراحی فیلتر موجبری صفحه-H با سه رزوناتور و روش طراحی فیلتر صفحه-H با کمک پنج رزوناتور و نتایج حاصل از شبیه‌سازی آنها می‌باشد. در فصل چهارم امکان‌سنجی ساخت مطرح شده و در فصل پنجم نتایج نهایی، نوآوری، دستاوردها و پیشنهادهای ادامه کار بیان شده است.

۲-۱ موجرها

موجر از یک هادی توخالی ساخته شده که می‌تواند امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالاتر از فرکانس قطع را منتشر کند؛ عنصر مهمی در ساخت فیلترهای میکروویوی است.

موجرها در انواع مختلفی وجود دارند. موجرهای مستطیلی و استوانه‌ای از پرکاربردترین موجرها هستند. موجرهای مستطیلی در اندازه‌های مختلف برای استفاده در فرکانس‌های ۳۲۰ MHz تا ۳۳۳ GHz موجود می‌باشند. موجر WR-۲۳۰۰ که در فرکانس ۳۲۰ MHz استفاده می‌شود ابعاد داخلی $584/2 \text{ mm} \times 281/94 \text{ mm}$ دارد و موجری بزرگ است در مقایسه با آن WR-۳ که در فرکانس ۳۳۳ GHz استفاده می‌شود ابعاد $0/4318 \text{ mm} \times 0/8636 \text{ mm}$ دارد و بسیار کوچک است. موجر استاندارد باند X، WR-۹۰، ابعاد $10/16 \text{ mm} \times 22/86 \text{ mm}$ دارد و در باند $8/2 \text{ GHz}$ تا $12/5 \text{ GHz}$ استفاده می‌شود. موجرهای استوانه‌ای نیز موجرهای پرکاربردی هستند و در قطرهای $639/572 \text{ mm}$ تا $6/0706 \text{ mm}$ برای پوشش باند فرکانسی ۸۰۰ MHz تا ۱۱۶ GHz موجود اند [۲]. جدول ۱-۱ ابعاد برخی از موجرهای مستطیلی و استوانه‌ای را نشان می‌دهد. موجرهای توخالی امواج TEM را هدایت نمی‌کنند. در این نوع موجرها موج به صورت TE یا TM می‌باشد.

جدول ۱-۱ ابعاد و فرکانس کار برخی از موجرهای مستطیلی و استوانه‌ای

فرکانس کار	ابعاد	نوع موجر	
۳۳۳ GHz	$0/4318 \text{ mm} \times 0/8636 \text{ mm}$	WR-۳	مستطیلی
۳۲۰ MHz	$584/2 \text{ mm} \times 281/94 \text{ mm}$	WR-۲۳۰۰	
۱۱۶ GHz	$6/0706 \text{ mm}$	قطر کوچک	دایروی
۸۰۰ MHz	$639/572 \text{ mm}$	قطر بزرگ	

۱-۲-۱ ویژگیهای خاص موجرها [۳].

موجر می‌تواند تعداد نامحدودی مدهای TE یا TM را منتشر کند. معمولاً موجرها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در آنها انرژی توسط یک مود انتشار یابد. تحت این شرایط موجر می‌تواند مانند یک خط انتقال با ثابت انتشار γ و امپدانس مشخصه Z در نظر گرفته شود. امپدانس مشخصه موجر برابر با امپدانس هدایت، Z_w (نسبت میدان الکتریکی عرضی به میدان مغناطیسی عرضی در موجر)، در یک ضریب ثابت می‌باشد. مقدار این ضریب بستگی به تعریف امپدانس مشخصه (ولتاژ-جریان، ولتاژ-توان یا جریان-توان) دارد. بنابراین امپدانس مشخصه موجر مقدار یکتایی ندارد البته این عدم یکتایی در

محاسبات فیلترهای موجبری مشکلی ایجاد نمی‌کند. چرا که می‌توان همه‌المان‌های مدار معادل با موجبر را به امپدانس مشخصه نرمالیزه کرد. در یک موجبر بدون اتلاف پر شده از دی‌الکتریک با ثابت دی‌الکتریک نسبی ϵ_r ، بین طول موج هدایت λ_g ، طول موج فضای آزاد λ ، طول موج دی‌الکتریک λ_1 و طول موج قطع λ_c رابطه‌ای به صورت زیر برقرار است:

$$\frac{1}{\lambda_1^2} = \frac{\epsilon_r}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} \quad (1-1)$$

امپدانس مشخصه و ثابت فاز انتشار از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$Z_0 = \frac{1}{Y_0} = \begin{cases} \frac{377 \lambda_g}{\sqrt{\epsilon_r} \lambda_1} & \text{TE مدهای} \\ \frac{377 \lambda_1}{\sqrt{\epsilon_r} \lambda_g} & \text{TM مدهای} \end{cases} \quad (2-1)$$

$$\beta_t = \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad (\text{رادیان بر واحد طول}) \quad (3-1)$$

۲-۲-۱ مروری بر کارهای انجام شده در تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی فیلترهای موجبری

در این بخش در مورد برخی از انواع فیلتر موجبری مطالبی بیان می‌شود.

۱-۲-۲-۱ طراحی کامپیوتری فیلترهای مود میراشونده^۱ با پره‌های غیر اتصالی^[۴]

پره‌های غیر اتصالی صفحه^۲ E به‌عنوان عناصر خازنی در این ساختار پیشنهاد شده‌اند. ساختار فیلتر شامل تعدادی پره غیر اتصالی صفحه^۲ E داخل یک موجبر مستطیلی است که زیر فرکانس قطع کار می‌کند. پره‌ها یا فقط از جنس فلز بوده یا فلز با لایه^۳ دی-الکتریک هستند. موجبرهای بزرگتر بالای فرکانس قطع و موجبرهای کوچکتر زیر فرکانس قطع کار می‌کنند. در این روش ماتریس پراکندگی تعمیم‌یافته^۳ همراه با تحلیل حوزه طیف و روش تطبیق مود، برای تحلیل و طراحی چنین فیلترهایی به کاررفته است. در این روش تأثیر مود غالب و مدهای مرتبه بالاتر در نظر گرفته می‌شود. این فیلترها از سه بخش تشکیل یافته‌اند. پیوندهای موجبری دویله‌ای، قسمت پره^۴ صفحه^۲ E غیر اتصالی که ممکن است بیش از یک پره باشد و موجبری که زیر فرکانس قطع کار می‌کند. از مشخصات این گونه فیلترها فشردگی^۴ و پهنای باند توقف^۵ است. برای تحلیل ناپیوستگی‌های پره‌دار در طراحی اینگونه ساختارها سه روش مشخص مبتنی بر تطبیق مود وجود دارد که هر کدام مزیت منحصر به فرد خود را داراست. این روشها عبارتند از: روش رزونانس عرضی^۶، روش موج ایستایی رایج^۱ که مزیت آن تعداد مستقل توابع بسط در

^۱-Evanescent

^۲-Non touching fins

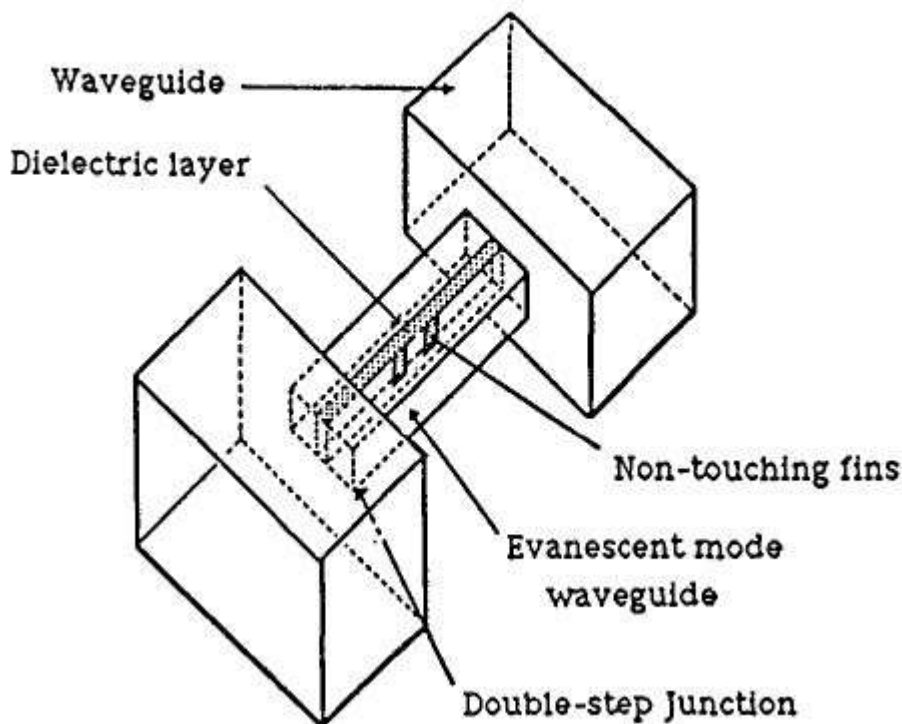
^۳-Generalized Scattering Matrix

^۴-Compactness

^۵-Wide stop band

^۶-Transverse resonance method

زیر ناحیه‌ها^۲ است، و روش رزونانسی^۳. با به کارگیری توصیف دقیقی از ماتریس پراکندگی ناپیوستگی‌های موجبر دنداندار^۴، روش کارآمدی برای طراحی فیلتر میان‌گذر مدارچاپی موج میلیمتری که درمورد میراشونده کار می‌کند؛ ارائه شده است.



شکل ۱-۱ ساختار فیلترهای مود میراشونده با پره‌های غیر اتصالی

۱-۲-۲-۲ فیلترهای موجبری مستطیلی پرشده با دی‌الکتریک یا هوا [۵]

با استفاده از مدل مداری، روشی قدرتمند و کارآمد برای طراحی فیلترهای موجبری مستطیلی دو مودی ارائه شده است. همین اصل و روش را می‌توان برای انواع دیگر فیلترهای دو مودی، شامل فیلترهای موجبری استوانه‌ای پرشده از هوا یا بارگذاری شده^۵ با دی‌الکتریک به آسانی به کار برد مشروط به اینکه ماتریس پراکندگی همه پیوندهای میکروویوی با روش‌های دقیق بدست آمده باشد. در این روش، تزویج دو مودی، با بخشی از یک موجبر مستطیلی که در آن یک برش گوشه مربعی^۶ تعبیه شده محقق شده است.

^۱-Conventional standing wave method

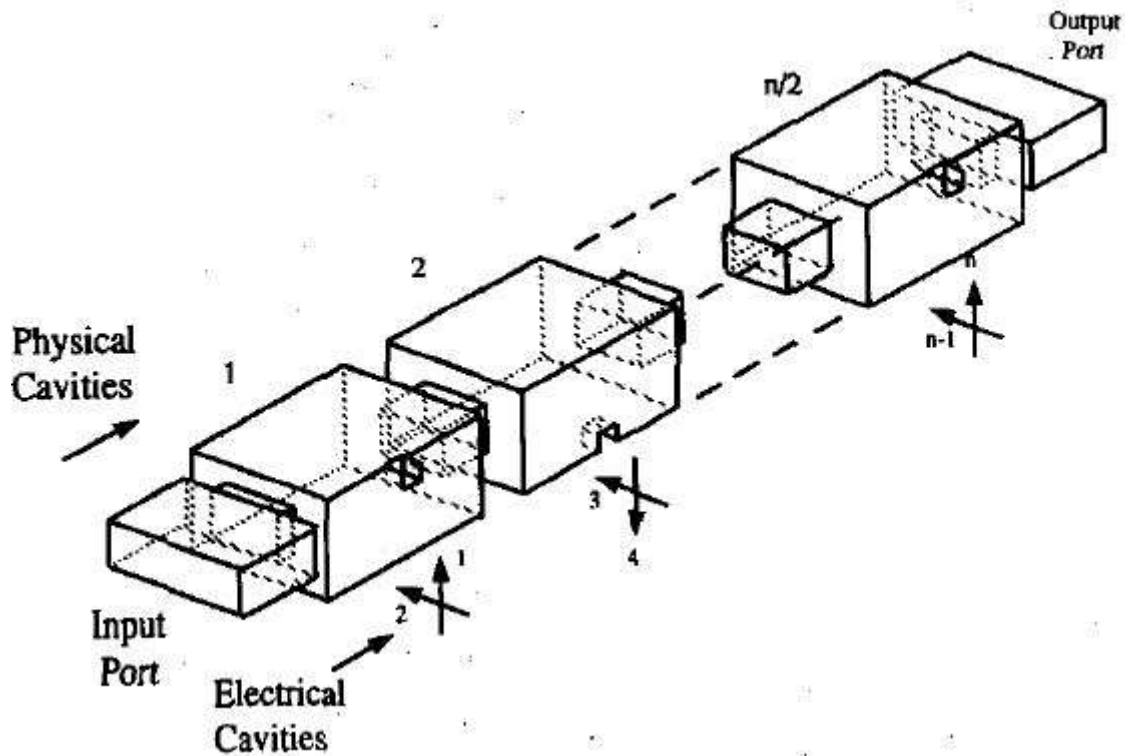
^۲-Sub regions

^۳-Resonator method

^۴-Ridge waveguide

^۵-Loaded

^۶-Square corner cut



شکل ۱-۲ ساختار فیزیکی فیلتر دو مودی موجبری مستطیلی

۱-۲-۳ فیلترهای صفحه‌ای بارگذاری شده به صورت متناوب [۶]

در فیلترهای صفحه‌ای دو مشکل اندازه و عملکرد باند توقف وجود دارد. در این روش ساختار فیلتر صفحه‌ای جدیدی پیشنهاد شده است که اندازه آن کاهش و عملکرد باند فرکانسی آن بهبود یافته است. در این روش رزوناتورهای بارگذاری شده به صورت متناوب پیشنهاد شده‌اند. فیلتر پیشنهادی در این روش با استفاده از اثر موج آهسته^۱ عملکرد باند توقف را بهبود بخشیده و اندازه فیلتر را حدوداً ۵۰ درصد کاهش داده است بدون اینکه هیچ‌گونه پیچیدگی در فرآیند ساخت ایجاد کند. با روش پیشنهاد شده، روش معادله انتگرالی برای تحلیل مجموعه وسیع‌تری از ساختارهای فیلتری به کار رفته است. با این روش فیلترهای کاواک مستطیلی بارگذاری شده با دیسک‌های^۲ فلزی و دی‌الکتریک تحلیل شده‌اند. همچنین روش معادله انتگرالی سطحی^۳ با روش تطبیق مود برای تحلیل فیلترهای موجبری حاوی پست‌های^۴ دی‌الکتریک با شکل دلخواه، داخل محفظه‌های موجبرهای

^۱-Slow wave

^۲-Pucks

^۳-Surface integral equation

^۴-Posts