دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مخابرات

پایان نامه

برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی برق، گرایش مخابرات میدان و موج

عنوان

بررسی کاربرد ساختارهای SIW بر روی المان‌های مایکروویوی

استاد راهنما

دکتر سعید نیک‌مهر

استاد مشاور

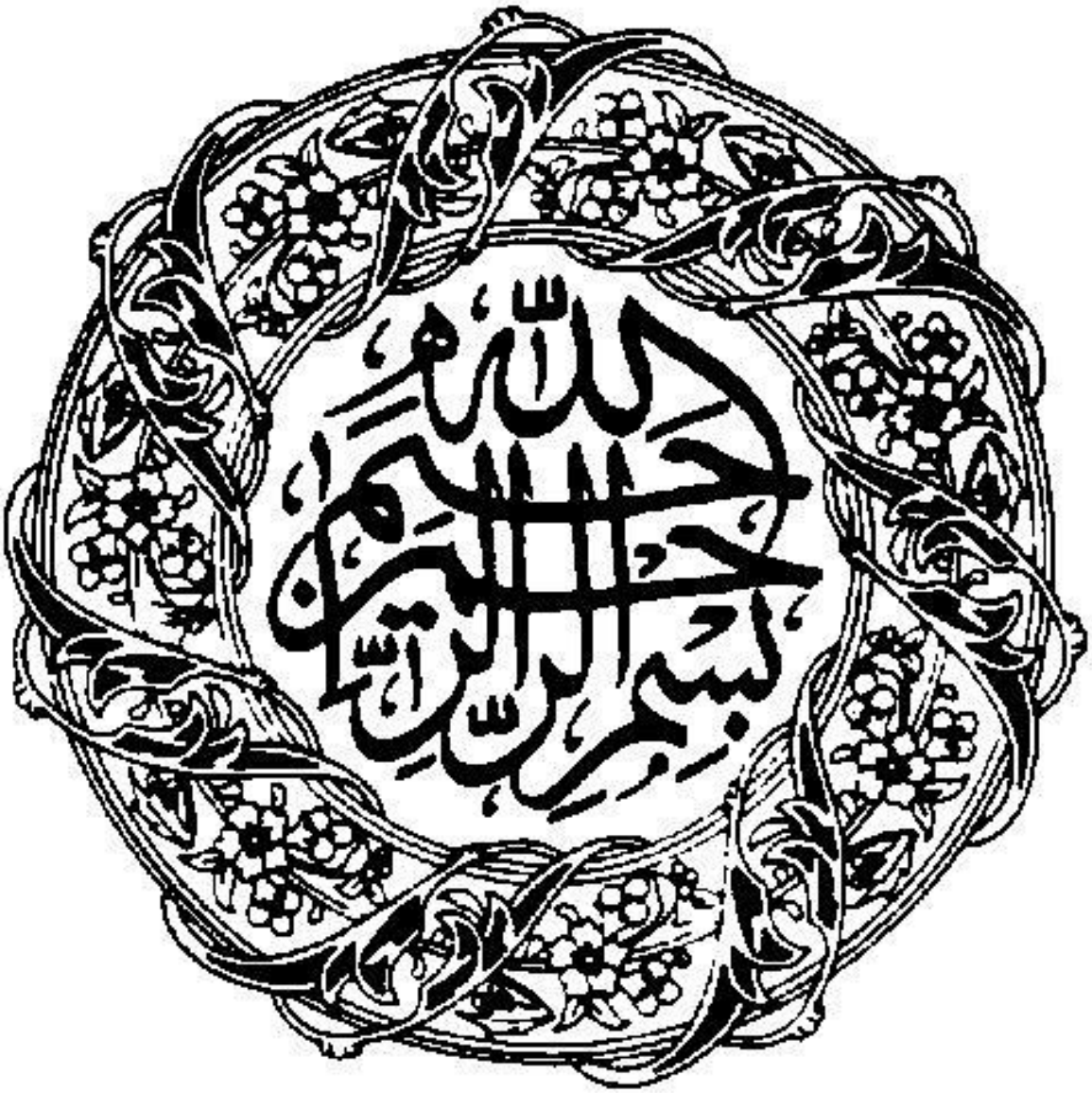
مهندس علی پورزیاد

پژوهشگر

بهرام خالیچی

بهمن ۱۳۹۱

نام‌خانوادگی دانشجو: خالیچی نام دانشجو: بهرام
عنوان: بررسی کاربرد ساختارهای SIW بر روی المان‌های مایکروویوی
استاد راهنما: دکتر سعید نیک‌مهر استاد مشاور: مهندس علی پورزیاد
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی برق گرایش: مخابرات میدان و موج
دانشگاه تبریز دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر تاریخ فارغ تحصیلی: بهمن ۱۳۹۱ تعداد صفحات: ۱۰۶
واژگان کلیدی: موجبر مجتمع زیرلایه‌ای، پراکندگی تکراری امواج الکترومغناطیسی، آنتن پهن باند، آنتن با قابلیت پیکربندی مجدد، کوپلر دو مده
چکیده: در این پایان‌نامه ابتدا اثرات و کاربردهای ساختارهای موجبر مجتمع زیرلایه‌ای (SIW) در المان‌های مایکروویوی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. روش‌های تحلیل تمام موج این ساختارها از لحاظ به دست آوردن فرکانس قطع و ماتریس پراکندگی بررسی گردیده و روش‌هایی برای تحلیل تمام موج این ساختارها پیشنهاد گردیده است. در ادامه با توجه به ویژگی‌های این گونه از ساختار، آنتن پهن باند، آنتن با قابلیت پیکربندی مجدد پترن و تزویج‌گر چند مده بر اساس تکنولوژی موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای طراحی و شبیه‌سازی شده است. در طراحی المان‌های مایکرویوی فوق از تشابه موجود بین موجبر مستطیلی (RWG) و موجبر مجتمع زیر لایه‌ای و نحوه‌ی چیدمان استوانه‌های فلزی موجود بین دو صفحه‌ی بالایی و پایینی در SIW استفاده شده است. المان‌های طراحی شده از مزایای مسطح بودن و قابلیت انطباق پذیری با مدارات چاپی و ابعاد کوچکتر نسبت به ساختارهای موجبری که به روش سنتی ساخته شده‌اند، برخوردار هستند. برای ارزیابی عمکرد تحقیق و اعتبار گذاری آن، ساختارهای پیشنهادی براساس شرایط امکان ساخت و نرم‌افزارهای شبیه سازی و تئوری‌های موجود مقایسه گردیده‌اند.


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

عزیزترین‌هایم

پدر

و

مادرم

خدایا...

من در کلبه‌ی فقیرانه‌ی خود چیزی دارم که تو در عرش کبریایی خود نداری

من چون تویی دارم و تو چون خودی نداری...

سپاس گذاری...

همیشه دست هایی هست برای حمایت من و تو، سپاس گزار خدایی هستم که این دست ها را خلق کرد...

با تشکر از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر سعید نیک مهر که همواره یاریگر من بودند و مرا از حمایت های بی دریغشان بهره مند ساختند و با لطف و عنایت خویش مرا در رسیدن به اهداف والا یاری رسانیدند. لطفی که غیر قابل جبران از طریق این جملات و تجربه ای که در سایه ی ایشان کسب شده غیر قابل توصیف.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر علی پور زیاد که دلسوزانه مرا راهنمایی کردند و در سخت ترین لحظات همواره در کنار من بودند و سخت به من امید بخشیدند، سپاس گزارم.

از استادان گرامی ام آقای دکتر شهرام حسین زاده و دکتر احسان خدا پناه که همواره با آغوش باز با علم خویش مرا هدایت نمودند تشکر فراوان را دارم

بر دست های پدر و مادرم که در همه مراحل زندگی مشوق پشتیبان من بودند، بوسه می زنم. از برادر و خواهرم به خاطر حمایت شان قدردانی می کنم.

بهرام خلیچی

بهمن ۱۳۹۱

فهرست مطالب

لیست تصاویر

فصل اول ۸
مروری بر کارهای پیشین ۸
۱.۱ مقدمه ۸
۲.۱ موجبر مجتمع زیرلایه‌ای ۹
فصل دوم ۱۷
مواد و روش‌ها ۱۷
۱.۲ فرکانس قطع، نحوه‌ی طراحی، تلفات و خصوصیات موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای ۱۷
۲.۲ محاسبه‌ی ثابت انتشار انواع ساختارهای موجبر مجتمع زیرلایه‌ای پریودیک با شبکه‌بندی مشخص ۳۱
۳.۲ بررسی تحلیل تمام موج مدارهای موجبر مجتمع زیرلایه‌ای ۳۵
٤.۲ تحلیل تمام موج مدارهای مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای بر اساس روش پراکندگی الکترومغناطیسی تکراری و تطبیق مدی ٤۲
۵.۲ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٤۸
فصل ۳ ..... ٤۹
بحث و نتایج ٤۹
۱.۳ آنتن شیپوری با قابلیت پیکربندی مجدد پترن براساس سوئیچ‌های میکروالکترومکانیکال فرکانس رادیویی مبتنی بر ساختارهای موجبری مجتمع شده در زیرلایه ٤۹
۱.۱.۳ مراحل طراحی ۵۰
۲.۱.۳ آنتن مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای ۵۳
۳.۱.۳ بررسی تغذیه‌ی آنتن پیشنهادی ۶۰
٤.۱.۳ نتایج شبیه‌سازی ۶۱

۵.۱.۳ مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با نتایج تئوری ٦٣
٦.١.٣ سوئیچ‌های میکروالکترومکانیکی فرکانس رادیویی ٦٤
٧.١.٣ نتایج اندازه‌گیری ٦٨
٨.١.٣ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٦٨
٢.٣ آنتن پهن باند شکافدار مبتنی بر تکنولوژی موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای ٧٠
١.٢.٣ روال طراحی موجبر مجتمع زیرلایه‌ای ٧٢
٢.٢.٣ پیکربندی آنتن ٧٣
٣.٢.٣ تغذیه‌ی آنتن ٧٥
تحریک موجبری ٧٨
تحریک از طریق کابل کواکسیال ٧٩
تحریک مایکرواستریپی ٨٣
٤.٢.٣ تاثیرات قسمت مثلثی شکل بر روی پارامترهای آنتن ٨٦
٥.٢.٣ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٨٨
٣.٣ تزویج‌گر دو مده براساس تکنولوژی موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای ٩٠
١.٣.٣ مراحل طراحی ٩١
٢.٣.٣ تشدیدگرهای مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای ٩١
٣.٣.٣ طراحی تزویج‌گر ٩٥
محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم ٩٦
محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم ٩٩
٤.٣.٣ بهبود تزویج مد دوم در دهانه‌ی سوم ١٠١
محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم ١٠١
محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم ١٠٣

۵.۳.۳ تاثیر شعاع پست‌های فلزی بر میزان تزویج مد دوم در دهانه‌ی سوم ۱۰٤
٦.۳.۳ بهبود ایزولاسیون ما بین مد اول و دوم دریافتی در دهانه‌ی سوم ۱۰٦
۷.۳.۳ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۹
فهرست منابع و مآخذ ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- ۲- ۱ نمونه‌ای از یک موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با استوانه‌های فلزی.....۹
شکل ۱- ۲- ۲ توزیع جریان مد TE_{10} بر روی موجبر مستطیلی با شکاف‌های متناوب [٤]. ۱۰
شکل ۱- ۲- ۳ آنتن آرایه‌ای شکافدار که تغذیه‌ی آن از طریق تشدیدگرهای SIW صورت می‌گیرد [۱۳].۱۲
شکل ۱- ۲- ٤ آنتن آرایه‌ای با شکافدار مبتنی بر SIW با پلاریزاسیون خطی ٤٥ درجه [١٤].....۱۳
شکل ۱- ۲- ٥ آنتن شیپوری مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیر لایه‌ای [١٥]. ١٤
شکل ۱- ۲- ٦ آنتن شیپوری آرایه‌ای مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای [١٥]. ١٤
شکل ۱- ۲- ۷ فیلتر طراحی شده با استفاده از پستهای فلزی مبتنی بر مدارات مجتمع زیرلایه‌ای [١٦]. ١٥
شکل ۱- ۲- ۸ نمونه‌ای از تقسیم کننده‌ی توان مبتنی بر مدارات مجتمع زیرلایه‌ای [١٧]. ١٥
شکل ۲- ۱- ۱ فرکانس مد اول و دوم موجبر مجتمع زیرلایه‌ای براساس تغییرات عرض و قطر پست‌های فلزی [۳]. ۱۹
شکل ۲- ۱- ۲ مقایسه‌ی ثابت انتشار مد غالب موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با استفاده از دو روش متفاوت [٤]. ۲۱
شکل ۲- ۱- ۳ ثابت تضعیف مد TE_{10} بر حسب فرکانس با استفاده از دو روش متفاوت [٤].....۲۲
شکل ۲- ۱- ٤ ثابت تضعیف مد TE_{20} بر حسب فرکانس با استفاده از دو روش متفاوت [٤]. ۲۲
شکل ۲- ۱- ٥ ثابت تضعیف مد TE_{30} بر حسب فرکانس با استفاده از دو روش متفاوت [٤].....۲۳
شکل ۲- ۱- ٦ نحوه‌ی انتشار مد TE_{n0} داخل موجبر.....۲۳
شکل ۲- ۱- ۷ برخورد موج الکترومغناطیسی به دیواره‌ای از پست‌های فلزی [٤]. ٢٤
شکل ۲- ۱- ۸ ثابت تضعیف مد TE_{10} بر حسب زاویه‌ی برخورد با استفاده از دو روش متفاوت [٤]. ٢٤
شکل ۲- ۱- ۹ ثابت تضعیف مد TE_{20} بر حسب زاویه‌ی برخورد با استفاده از دو روش متفاوت [٤]. ۲٥
شکل ۲- ۱- ۱۰ ثابت تضعیف مد TE_{30} بر حسب زاویه‌ی برخورد با استفاده از دو روش متفاوت [٤]. ۲٥
شکل ۲- ۱- ۱۱ ثابت تضعیف مد TE_{10} بر حسب زاویه‌ی برخورد با نسبت قطر به عرض متفاوت [٤]. .۲٦
شکل ۲- ۱- ۱۲ ثابت تضعیف مد TE_{10} بر حسب نسبت فاصلهی مجاور به قط پستهای فلزی با زاویه‌ی برخورد ثابت ۳۰ درجه [٤]. ۲۷
شکل ۲- ۱- ۱۳ ثابت انتشار مختلط مد TE_{10} برای حالت اول [٤]. ۲۸

شکل ۲- ۱- ۱٤ ثابت انتشار مختلط مد TE_{10} برای حالت دوم [٤]. ۲۹
شکل ۲- ۱- ۱۵ ثابت انتشار مختلط مد TE_{10} برای حالت سوم [٤]. ۳۰
شکل ۲- ۲- ۱ نمونه‌ای از موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با فاصله و اندازه‌های یکسان بین استوانه‌های فلزی [۲]. ۳۱
شکل ۲- ۲- ۲ نمونه‌ای از موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با پست‌های استوانه‌ای فلزی با اندازه‌های متفاوت اما شبکه‌بندی مشخص. ۳۲
شکل ۲- ۲- ۳ نمونه‌ای از موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با پست‌های استوانه‌ای فلزی با اندازه‌های یکسان و شبکه‌بندی مشخص. ۳۲
شکل ۲- ۳- ۱ نمونه‌ای از یک موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با پست‌های فلزی و دی‌الکتریکی [٦]. ۳۵
شکل ۲- ۳- ۲ نحوه‌ی توزیع الف)جریان الکتریکی و ب) مغناطیسی بر روی هر یک از پورت‌ها [٦]. ۳۷
شکل ۲- ۳- ۳ مکان‌های نسبی نقاط مشاهده و منبع بر روی سطوح استوانه‌ای الف) استوانه‌ی منبع جدا از استوانه‌ی مشاهده است. ب) استوانه‌ی منبع محصور در استوانه‌ی مشاهده. پ) استوانه‌ی مشاهده محصور در استوانه‌ی منبع [٦]. ۳۹
شکل ۲- ۳- ٤ نحوه‌ی پیکر بندی هر یک زیر پورت‌ها [٦]. ٤۱
شکل ۳- ۱- ۱ توزیع مکانی دو عنصر جریان واقع شده بر روی محور z [٤۲]. ۵۱
شکل ۳- ۱- ۲ اندازه‌ی فاکتور آرایه پیشنهادی بر حسب θ در فرکانس: الف) ۸/۵ گیگاهرتز ب) ۱۱/۵ گیگاهرتز. ۵۲
شکل ۳- ۱- ۳ تصویر ۳ بعدی آنتن پیشنهادی. ۵۳
شکل ۳- ۱- ٤ ضریب انعکاس آنتن پیشنهادی به ازای طول‌های مختلف الف) طول هسته‌ی کابل کواکسیال ۰/۸ میلیمتر ب) طول هسته‌ی کابل کواکسیال ۱/۲ میلیمتر. ٦۲
شکل ۳- ۱- ۵ شکل دو بعدی پترن تشعشعی آنتن پیشنهادی به ازای طول‌های مختلف با فرکانس‌های کاری متناظر آنها الف) طول هسته‌ی کابل کواکسیال برابر با ۰/۸ میلیمتر ب) طول هسته‌ی کابل کواکسیال برابر با ۱/۲ میلیمتر. ٦۳

شکل ۳- ۱- ٦ مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج تئوری الف) به ازای طول‌های برابر با ۳۲، ۳۹/٤، ٤۹ میلیمتر.....٦٥
شکل ۳- ۱- ۷ الف) شکل ۳ بعدی آنتن با قابلیت پیکربندی مجدد. ٦٦
شکل ۳- ۱- ۸ نتایج شبیه‌سازی ضریب انعکاس آنتن پیشنهادی با و بدون سوئیچ‌های میکروالکترومکانیکی. ٦۷
شکل ۳- ۱- ۹ نتایج شبیه‌سازی پترن تشعشعی ۲ بعدی آنتن پیشنهادی همراه و بدون سوئیچ‌های میکروالکترومکانیکی. ٦۷
شکل ۳- ۱- ۱۰ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی ضریب انعکاس به همراه نتایج ساخت برای آنتن پیشنهادی.....٦۹
شکل ۳- ۲- ۱ شکل کلی موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با ابعاد..... ۷۲
شکل ۳- ۲- ۲ امپدانس ورودی موجبر مجتمع زیرلایه‌ای و موجبر فلزی معادل با آن ۷٤
شکل ۳- ۲- ۳ نمای ۳ بعدی از آنتن پیشنهادی بدون بخش تغذیه‌ی آن.....۷٥
شکل ۳- ۲- ٤ مدل خط انتقالی آنتن شکافدار مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای.....۷٦
شکل ۳- ۲- ٥ الف) امپدانس ورودی آنتن بدون در نظر گرفتن بخش تغذیه‌ی آن.....۷۸
شکل ۳- ۲- ٦ مقایسه‌ی امپدانس ورودی موجبر مستطیلی با امپدانس ورودی آنتن بدون در نظر گرفتن بخش تغذیه‌ی آن. ۷۹
شکل ۳- ۲- ۷ ضریب انعکاس آنتن تحریک شده با استفاده از موجبر مستطیلی هم مقطع با آنتن. ۷۹
شکل ۳- ۲- ۸ مدل اتصال کابل کواکسیال به موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با دیواره‌ی اتصال کوتاه شده. ۸۱
شکل ۳- ۲- ۹ بررسی تاثیر الف) فاصله هسته‌ی داخلی کابل کواکسیال از دیواره‌ی اتصال کوتاه شده ب) ارتفاع هسته‌ی داخلی کابل کواکسیال پ) شعاع داخلی هسته‌ی کابل کواکسیال داخل موجبر مجتمع زیرلایه‌ای. ۸۲
شکل ۳- ۲- ۱۰ ضریب انعکاس آنتن تحریک شده از طریق کابل کواکسیال. ۸۳
شکل ۳- ۲- ۱۱ نحوه‌ی تغذیه‌ی آنتن با استفاده از مایکرواستریپ. ۸٥
شکل ۳- ۲- ۱۲ ضریب انعکاس آنتن تحریک شده از طریق خط انتقال مایکرواستریپی.....۸٦
شکل ۳- ۲- ۱۳ نمای بالایی از آنتن با طول‌های مختلف قسمت مثلثی شکل. ۸۷

شکل ۳- ۲- ١٤ ضریب انعکاس آنتن تحریک شده از طریق کابل کواکسیال به ازای طول‌های مختلف قسمت مثلثی شکل. ۸۷
شکل ۳- ۲- ۱۵ بهره و جهت‌دهی ماکزیمم آنتن تحریک شده از طریق کابل کواکسیال به ازای طول‌های مختلف قسمت مثلثی.....۸۸
شکل ۳- ۲- ١٦ پترن تشعشعی دو بعدی آنتن به ازای تحریک مایکرواستریپی و طول ماکزیمم قسمت مثلث شکل.....۸۸
شکل ۳- ۳- ۱ نمونه‌ای از یک تشدیدگر مستطیلی..... ۹۲
شکل ۳- ۳- ۲ پارامترهای پراکندگی یک تشدیدگر مستطیلی با طول ٤۲ و عرض۱۰ میلیمتر.....۹۳
شکل ۳- ۳- ۳ نحوه‌ی توزیع میدان الکتریکی تشدیدگر مستطیلی به ازای فرکانس‌ها و مدهای تشدید جدول (۳-۳-۱). ۹٤
شکل ۳- ۳- ٤ تصویر ۳ بعدی تزویج‌گر ارائه شده. ۹٦
شکل ۳- ۳- ۵ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی مد اول و دوم.....۹۸
شکل ۳- ۳- ٦ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد.....۹۸
شکل ۳- ۳- ۷ نحوه‌ی توزیع میدان الکتریکی تزویج‌گر به ازای فرکانس ۱۱/۱۱ گیگاهرتز. ۹۸
شکل ۳- ۳- ۸ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی مد دوم و سوم..... ۱۰۰
شکل ۳- ۳- ۹ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد..... ۱۰۰
شکل ۳- ۳- ۱۰ نحوه‌ی توزیع میدان الکتریکی تزویج‌گر به ازای فرکانس ١٦/٤۲ گیگاهرتز. ۱۰۰
شکل ۳- ۳- ۱۱ نحوه‌ی توزیع میدان الکتریکی تزویج‌گر به ازای فرکانس ۱۷/۵۸ گیگاهرتز. ۱۰۱
شکل ۳- ۳- ۱۲ تصویر ۳ بعدی تزویج‌گر ارائه شده با تزویج توان بهتر به دهانه‌ی سوم. ۱۰۲

شکل ۳- ۳- ۱۳ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم. ۱۰۲
شکل ۳- ۳- ۱٤ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد. ۱۰۳
شکل ۳- ۳- ۱۵ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم. ۱۰٤
شکل ۳- ۳- ۱٦ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد. ۱۰٤
شکل ۳- ۳- ۱۷ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم به ازای شعاع‌های مختلف پست‌های فلزی قرار داده شده در داخل تشدیدگر در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم. ۱۰۵
شکل ۳- ۳- ۱۸ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم به ازای شعاع‌های مختلف پستهای فلزی قرار داده شده در داخل تشدیدگر در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد. ۱۰۵
شکل ۳- ۳- ۱۹ تصویر ۳ بعدی تزویج‌گر ارائه شده با تزویج توان و ایزولاسیون بهتر بین دو مد دریافتی بهتر در دهانه‌ی سوم. ۱۰٦
شکل ۳- ۳- ۲۰ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی مد اول و دوم. ۱۰۷
شکل ۳- ۳- ۲۱ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه-ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد اول و دوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد. ۱۰۷
شکل ۳- ۳- ۲۲ ضریب انعکاس دهانه‌ی اول و ضریب انتقال از دهانه‌ی اول به دوم در محدوده‌ی فرکانسی مد دوم و سوم. ۱۰۷

شکل ۳- ۳- ۲۳ ضریب انتقال مد اول از دهانه‌ی اول به دهانه‌ی چهارم و ضرایب انتقال مد اول و دوم به دهانه‌ی سوم در محدوده‌ی فرکانسی ما بین مد دوم و سوم در صورتی که در دهانه‌ی اول فقط مد اول تحریک شده باشد..... ۱۰۸
شکل ۳- ۳- ۲٤ توزیع میدان الکتریکی در فرکانس ۱٤/۸ گیگاهرتز..... ۱۰۸
شکل ۳- ۳- ۲۵ توزیع میدان الکتریکی در فرکانس ۱۵/٦۸ گیگاهرتز..... ۱۰۸
شکل ۳- ۳- ۲٦ توزیع میدان الکتریکی در فرکانس ۱٦/٤٦ گیگاهرتز..... ۱۰۹
شکل ۳- ۳- ۲۷ توزیع میدان الکتریکی در فرکانس ۱۷/۷۸ گیگاهرتز..... ۱۰۹

فهرست جداول

جدول ۲- ۱- ۱ ابعاد موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای به منظور بررسی تاثیر شکاف‌های متناوب در باند عبور این نوع از موجبرها (ابعاد بر حسب میلی‌متر).....۲۸

جدول ۳- ۱- ۱ حالت‌های مختلف آنتن با قابلیت پیکر بندی مجدد..... ۶۱

جدول ۳- ۲- ۱ ابعاد آنتن پیشنهادی مطابق با شکل (۳-۲-۳)..... ۷۵

جدول ۳- ۲- ۲ ابعاد آنتن شکافدار با تغذیه‌ی مایکرواستریپی.....۸۵

جدول ۳- ۲- ۳ ابعاد قسمت مثلثی شکل آنتن پیشنهادی.....۸۷

جدول ۳- ۳- ۱ فرکانس‌های تشدید تشدیگر مستطیلی بر اساس شکل (۳-۳-۲)..... ۹۳

جدول ۳- ۳- ۲ ابعاد کلی تزویج‌گر.....۹۶

۱. فصل اول

مروری بر کارهای پیشین

۱.۱ مقدمه

در مهندسی مایکروویو، مایکرواستریپ‌ها بدلیل سایز کوچک و راحتی انطباق با مدارهای چاپی در ساخت انواع المان‌های غیر فعال به وفور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما با افزایش فرکانس، مدارهای مایکرواستریپی تشعشع نامطلوب از خود نشان می‌دهند. این نوع تشعشع نه تنها معرف نمونه‌ی دیگری از تلفات است بلکه تاثیر نامطلوبی بر روی سایر المان‌های واقع شده در اطراف آن را نیز دارد. به عنوان نمونه اگر یک آنتن آرایه‌ای توسط یک خط مایکرواستریپی تغذیه شود به علت تشعشع خط تغذیه، تاثیر نامطلوبی بر روی عملکرد آنتن مذکور خواهد داشت. همچنین موجبرهای فلزی با وجود انتقال توان بالا و عدم وجود تلفات تشعشعی، به علت عدم تطبیق‌پذیری با مدارهای چاپی و ابعاد بزرگ آن در مقایسه با مایکرواستریپ‌ها نمی‌توانند جایگزین خطوط انتقال مسطح شوند.

در سال‌های اخیر استفاده از ادوات الکترونیکی در رنج فرکانس‌های مایکروویوی به سرعت افزایش یافته است. از جمله‌ی این موارد می‌توان به موبایل، رادار، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و... اشاره کرد. بدین ترتیب با رشد تکنولوژی، المان‌های مختلف مایکروویوی اعم از فعال و غیر فعال نیز به سرعت در حال گسترش بوده و در این میان دستیابی به المان‌های مایکروویوی با تلفات کمتر، ابعاد کوچکتر و انتقال توان بهتر در فرکانس‌های مایکروویوی از توجه ویژه‌ای برخوردار گشته است [۱].

یکی از ساختارهایی که برای رسیدن به این ویژگی‌ها در سال ۱۹۹٤ توسط یک موسسه‌ی ژاپنی مطرح شد، موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای[1] است. این گونه از موجبرها نمونه‌ی جدیدی از انواع خطوط انتقال محسوب می‌شوند که از پست‌های فلزی یا دی الکتریکی ما بین دو صفحه‌ی فلزی، که این پست‌ها در یک زیر لایه‌ی دی‌الکتریکی کار گذاشته شده‌اند، ساخته می‌شوند [۱]. موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه را می‌توان به عنوان نمونه‌ای کم هزینه از موجبرهای فلزی قدیمی به کار گرفته شده در مدارهای مایکروویوی

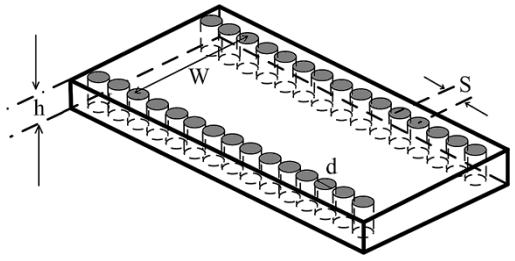
1- Substrate Integrated Waveguide (SIW)

یاد برد. در این موجبرها پست‌های فلزی نقش دیواره‌های کناری موجبرهای قدیمی را ایفا می‌کنند و دیواره‌های بالایی و پایینی موجبرهای مستطیلی از طریق لایه‌ی فلزی کشیده شده روی صفحات بالایی و پایینی زیرلایه ایجاد می‌شوند. این گونه از موجبرها مزایای انطباق‌پذیری با مدارات چاپی و عدم تلفات تشعشعی را یکجا شامل می‌شوند. همچنین هزینه‌ی ساخت کمی نسبت به موجبرهای فلزی معمولی دارند و از انتقال توان بالایی نسبت به مایکرواستریپ‌ها برخوردارند. علاوه بر آن امکان پیاده‌سازی مدارهای مبتنی بر موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای بر روی یک زیرلایه نیز امکان‌پذیر است.

۲.۱ موجبر مجتمع زیرلایه‌ای

در یک موجبر مجتمع زیرلایه‌ای، شعاع و فاصله‌ی بین پست‌های فلزی به منظور دستیابی به حداقل تلفات نشتی و ثابت انتشار مناسب، باید به دقت طراحی شوند. ثابت انتشار موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با دو ردیف پست فلزی از قبل مورد بررسی قرار گرفته است و معادلات لازم برای طراحی پست‌های فلزی ارائه شده است [۲-٤]. این در حالی است که برای مطالعه‌ی ماتریس پراکندگی موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای نیاز به تحلیل تمام موج این ساختارها است [۵-۸].

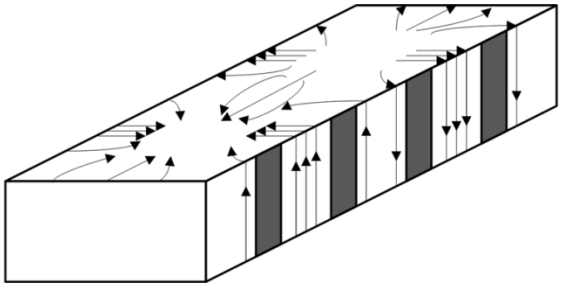
در شکل (۱-۲-۱) نمونه‌ای از این موجبرها نشان داده شده است.



شکل ۱- ۲- ۱ نمونه‌ای از یک موجبر مجتمع زیرلایه‌ای با استوانه‌های فلزی.

اگر موجبر مجتمع زیرلایه‌ای همانند یک موجبر فلزی شکافدار متناوب در نظر گرفته شود طوریکه شکاف‌ها بر روی دیواره‌های کناری قرار گرفته‌اند به علت نوع توزیع جریان بر روی ساختار، این موجبرها فقط قابلیت انتشار امواج TE_{n0} را دارند و امکان ایجاد سایر مدها به دلیل نوع شکاف‌های فوق وجود ندارد. پس فقط مدهایی در درون ساختار می‌توانند هدایت شوند که توزیع جریان بر روی ساختار را قطع نکنند و تنها مدهای TE_{n0} توزیع جریان را به صورت عرضی قطع نمی‌کنند [٤]. در شکل (۱-۲-۲) توزیع جریان مد غالب بر روی موجبر مستطیلی که دارای شکاف‌های متناوب بر روی دیواره‌های کناری است، نشان داده

شده است. این نوع از شکاف‌ها بیانگر عدم اختلال بر روی توزیع جریان است. در نتیجه تشعشعی نیز صورت نخواهد گرفت. اکنون با توجه به مدهای انتشاری داخل موجبرهای مجتمع زیرلایه‌ای می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات عمود بر زیرلایه وجود ندارد. در نتیجه فقط مولفه‌ی میدان الکتریکی عمود بر زیر لایه و مولفه‌ی افقی میدان‌های مغناطیسی حضور خواهند داشت [٤].



شکل ۱- ۲- ۲ توزیع جریان مد TE_{10} بر روی موجبر مستطیلی با شکاف‌های متناوب [٤].

در حالت کلی سه روش را می‌توان برای تحلیل و آنالیز الکترومغناطیسی انواع المان‌های مایکروویوی اشاره نمود.

۱) روش‌های تحلیلی
۲) روش‌های عددی
۳) روش‌های هیبریدی

از جمله روش‌های تحلیلی می‌توان به روش‌های ماتریس امپدانس تعمیم یافته[۱]، ماتریس ادمیتانس تعمیم یافته[۲] و ماتریس پراکندگی تعمیم یافته[۳] اشاره کرد. بسط مدی[٤] نیز نمونه‌ی آشنای دیگر از روش‌های تحلیلی به شمار می‌رود. اما روش‌های تحلیلی در برخی از موارد بسیار پیچیده می‌گردند. برای همین منظور از روش‌های عددی می‌توان استفاده کرد. روش‌های عددی متعددی از جمله روش‌های المان محدود[٥]، تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان[٦] و فرکانس[۷]، برای تحلیل مدارات مایکروویوی می‌توان به کار برد. اما هر یک از این روش‌ها دارای معایب و مزایای مخصوص به خود را دارند. به عنوان نمونه برخی این روش‌ها

1- Generalized Impedance Matrix Method (GIM)
2- Generalized Admittance Matrix Method (GAM)
3- Generalized Scattering Matrix Method (GIM)
4- Modal Expansion Method
5- Finite Element
6- Finite Difference Time Domain (FDTD) method
7- Finite Difference Frequency Domain (FDFD) method