

12vca4



دانشگاه بولوی

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی برق - مخابرات (گرایش میدان)

عنوان:

بررسی عددی آنتن‌های عایقی مستطیلی و رشته آن‌ها تغذیه شده با موجبر عایقی

اساتید راهنما:

آقای دکتر محمد حسن نشاطی

خانم دکتر فرحناز مهنا

۱۳۸۸/۸/۳

تحقیق و نگارش:

حمیده دشتی خویدکی

(این پایان نامه از حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران و معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و

بلوچستان بهره مند شده است)

تیر ۱۳۸۸

دفتر خدمات مرکز علمی بولوی
تسهیل کننده

۱۲۷۳۹۶



بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی عددی آنتن‌های عایقی مستطیلی و رشته آن‌ها تغذیه شده با موجبر عایقی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق توسط دانشجو حمیده دشتی خویدکی تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر محمد حسن نشاطی و دکتر فرحناز مهنا تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)
حمیده دشتی خویدکی
دانشجو

این پایان نامه ۸۸... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۸۸... توسط هیئت داوران بررسی و درجه کالی به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر محمد حسن نشاطی		۱۳۸۸/۴/۱۱
استاد راهنما: دکتر فرحناز مهنا		۱۳۸۸/۴/۱۱
داور ۱: دکتر جلیل راشد محصل		۱۳۸۸/۴/۱۱
داور ۲: دکتر مهدی رضایی		۱۳۸۸/۴/۱۱
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سعید توکلی افشاری		



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حمیده دشتی خویدکی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: حمیده دشتی خویدکی

امضاء
دشتی

تقدیم به:

وقتی چشم به دنیا گشودم، محبتشان سیرابم کرد و عشقشان مدهوش. دست در دستشان راه رفتن آموختم. فکر کردن، حرف زدن، زیستن و ...

هر چه بزرگتر میشدم، شوق حرکت و به بار نشستن تلاش سالیانه را در چشمه‌هایشان میدیدم. شوقشان بر سرعتم می‌افزود. میرفتم به آن امید که هر چه زودتر زمان فرصت جبران این همه لطف و بزرگی را به من بدهد و وقتی به قله رسیدم دو بال پروازم را بنوازم و بستایم،

اما افسوس! زمان بی رحم بود! چون زمان جبران و سپاس رسید پدر بار سفر بر بست و من ناباورانه رفتنش را به نظاره نشستم. من ماندم و خدا و مادر. آنچه در اینجاست تقدیم به مادر مهربان و یاد پدر بزرگوارم.

چکیده:

در دهه گذشته با توسعه سیستم‌های مایکروویو بی سیم، نیاز مبرمی به سیستم‌های مخابراتی با توان مصرفی کم و کارایی بالا می باشد. تشدید کننده‌های عایقی (Dielectric Resonator) دارای تلفات کمی در فرکانس‌های مایکروویو هستند که با توجه به حذف تلفات هادی می توان راندمان تشعشع بالایی بدست آورد. هم چنین استفاده از محیط‌های انتقال موج عایق مانند Dielectric Image Line (DIL) کاهش تلفات در فرکانس‌های بالا را به همراه دارد .

در این پایان نامه دو ساختار RDRA با تغذیه DIL و خط مایکرواستریپ و تزویج روزنه به طور عددی مطالعه می شود. برای این منظور هر دو ساختار به روش اجزاء محدود (FEM) با استفاده از نرم افزار HFSS و معادلات انتگرالی در حوزه زمان با استفاده از نرم افزار CST مطالعه و شبیه سازی می شود. مشخصات هر دو ساختار از قبیل منحنی تلفات برگشتی، نمودار تشعشع و تغییرات بهره با فرکانس ارائه و مقایسه می شود. تاثیر ابعاد روزنه بر ساختار تغذیه شده با DIL بررسی و ابعاد بهینه روزنه با طول 3/7 mm و عرض 0/144 mm مشخص می شود. آنتن در این وضعیت دارای بهره 7 dB در فرکانس 10/1 GHz می باشد. تاثیر تلفات صفحه زمین و عایق بررسی و با ساختار تغذیه شده با خط مایکرواستریپ مقایسه شده و نتایج نشان دهنده تلفات کمتری در ساختار تغذیه شده با DIL در مقایسه با ساختار تغذیه شده با خط مایکرواستریپ می باشد.

یک آرایه خطی سه تایی از RDRA با تغذیه DIL و خط مایکرواستریپ با تحریک روزنه بررسی و شبیه سازی می شود. فاصله بین المان‌ها برای داشتن نمودار تشعشع مناسب و تلفات برگشتی خوب تغییر داده می شود که به ازای فاصله 12/9 mm ساختار تغذیه شده با DIL دارای بهره 9/8 dB در فرکانس 10/1 GHz است که دارای افزایش 3/15 dB نسبت به ساختار آنتن RDRA تک دارد. مشخصات تشعشعی دو ساختار از نظر بهره، سطح گلبه‌های کناری و تشعشع در جهت معکوس مقایسه می شود.

کلمات کلیدی: آنتن عایقی تشدیدی مستطیلی – Dielectric Image Line – تزویج با روزنه – آرایه آنتن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول: مقدمه
۲.....	۱-۱ مقدمه
۴.....	فصل دوم: انتشار امواج در موجبرهای عایقی مستطیلی
۵.....	۱-۲ مقدمه
۶.....	۲-۲ موجبر عایقی مستطیلی
۶.....	۱-۲-۲ روش‌های تقریبی تعیین مدهای انتشار در موجبر عایق مستطیلی
۹.....	۲-۲-۱ روش‌های عددی تعیین مدهای انتشار در موجبر عایق مستطیلی
۱۰.....	۳-۲ Image Line
۱۲.....	۱-۳-۲ مشخصات تضعیف
۱۳.....	۲-۳-۲ امپدانس موج
۱۳.....	۳-۳-۲ امپدانس مشخصه
۱۴.....	۴-۲ روش تحریک Image Line
۱۵.....	۱-۴-۲ نکات طراحی
۱۷.....	فصل سوم: آنتن‌های عایقی تشدیدی و روش‌های تغذیه آن
۱۸.....	۱-۳ مقدمه
۱۹.....	۲-۳ انواع آنتن‌های عایقی تشدیدی
۲۰.....	۳-۳ آنتن عایقی تشدیدی مستطیلی
۲۳.....	۴-۳ الگوی تشعشعی
۲۴.....	۵-۳ روش‌های تحریک آنتن‌های عایقی تشدیدی
۲۴.....	۱-۵-۳ نظریه تزویج
۲۵.....	۲-۵-۳ تزویج از طریق روزنه
۲۷.....	۳-۵-۳ تزویج با کابل هم محور
۲۸.....	۴-۵-۳ تزویج با خط مایکرواستریپ
۳۰.....	۵-۵-۳ تزویج از طریق موجبر Co-Planar
۳۱.....	۶-۵-۳ تزویج با استفاده از Dielectric Image Line
	فصل چهارم: شبیه سازی آنتن عایقی تشدیدی مستطیلی تغذیه شده با Dielectric Image Line و خط
۳۳.....	مایکرواستریپ با تحریک روزنه ای
۳۴.....	۱-۴ مقدمه
۳۴.....	۲-۴ ساختمان آنتن

۳۴.....	ساختار ۱	۱-۲-۴
۳۵.....	ساختار ۲	۲-۲-۴
۳۶.....	ساختار آنتن RDRA با تغذیه DIL و تحریک روزنه	۳-۴
۳۶.....	نتایج شبیه سازی DIL	۱-۳-۴
۳۸.....	نتایج شبیه سازی DIL با ایجاد روزنه روی صفحه زمین	۲-۳-۴
۴۰.....	نتایج شبیه سازی RDRA با تغذیه DIL و تحریک روزنه	۳-۳-۴
۴۴.....	بررسی تاثیر ابعاد روزنه بر مشخصات آنتن	۴-۴
۴۷.....	RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ از طریق روزنه	۵-۴
۴۹.....	بررسی تاثیر تلفات در ساختار RDRA با تغذیه DIL و خط میکرواستریپ از طریق روزنه	۶-۴
فصل پنجم: طراحی و شبیه سازی آرایه سه تایی آنتن عایقی تشدید مستطیلی تغذیه شده با Dielectric Image Line و خط میکرواستریپ با تحریک روزنه ای		
۵۱.....		
۵۲.....	مقدمه	۱-۵
۵۲.....	ساختمان آنتن	۲-۵
۵۲.....	ساختار ۱	۱-۲-۵
۵۳.....	ساختار ۲	۲-۲-۵
۵۴.....	آرایه سه تایی از RDRA با تغذیه DIL و تحریک روزنه	۳-۵
۵۶.....	نتایج شبیه سازی آرایه سه تایی از RDRA با تغذیه DIL و تحریک روزنه	۱-۳-۵
۶۱.....	نتایج شبیه سازی آرایه سه تایی از RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ و تحریک روزنه	۲-۳-۵
۶۵.....	فصل ششم: نتیجه گیری و ارائه کارهای آینده	
۶۹.....	مراجع	

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان جدول
۳۶	جدول ۱-۴: مشخصات ساختار آنتن
۴۳	جدول ۲-۴: مشخصات موجبر WR90
	جدول ۳-۴: مقادیر بهره در فرکانس ۹/۹۲ GHz دو ساختار DIL و مایکرواستریپ در شرایط مختلف
۵۰	
۵۴	جدول ۱-۵: مشخصات ساختار آنتن

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
	شکل ۱-۲ موجبرهای عایقی الف) مستطیلی، ب) استوانه‌ای، ج) image line
۶	د) image line محاط شده توسط فلز و insulated image line
۶	شکل ۲-۲ موجبر عایقی با سطح مقطع مستطیل
۷	شکل ۳-۲ توزیع میدان در یک موجبر عایقی مستطیلی
۱۱	شکل ۴-۲ ساختار Image Line
۱۲	شکل ۵-۲ منحنی‌های پاشندگی مدهای E_{mn}^y در Image Line
۱۴	شکل ۶-۲ گذار از مد TE_{10} موجبر هادی به مد E_{11}^y در Image Line
۱۵	شکل ۷-۲ انواع ناحیه باریک شونده الف) متقارن ب) هرمی ج) نامتقارن
۱۸	شکل ۱-۳ انواع اشکال DRAs
۲۱	شکل ۲-۳ مدل آنتن عایقی تشدید مستطیلی
۲۲	شکل ۳-۳ منحنی فرکانس نرمالیزه یک آنتن عایقی تشدید مستطیل شکل
۲۳	شکل ۴-۳ مدل تشعشعی یک آنتن عایق تشدید مستطیلی
۲۶	شکل ۵-۳ انواع شکل‌های روزنه جهت تحریک DRAs
۲۷	شکل ۶-۳ توزیع میدان در تزویج شکاف مستطیلی به RDRA
۲۸	شکل ۷-۳ تزویج RDRA با استفاده از کابل هم محور
۲۹	شکل ۸-۳ روش‌های تزویج DRA با خط مایکرواستریپ
۳۰	شکل ۹-۳ میدان‌ها و مدل تشعشعی تزویج RDRA با خط مایکرواستریپ
۳۱	شکل ۱۰-۳ انواع مختلف تغذیه موجبر Co-planar
۳۱	شکل ۱۱-۳ تزویج حلقه Co-planar با DRA استوانه ای

- شکل ۳-۱۲ تزویج RDRA از طریق Dielectric Image Line ۳۲
- شکل ۴-۱ ساختار RDRA تغذیه شده با الف) DIL ب) خط مایکرواستریپ و تحریک روزنه ۳۴
- شکل ۴-۲ الف) نمای جانبی ساختار آنتن ب) نمای جانبی تحریک DIL ج) نمای فوقانی
تحریک DIL ۳۵
- شکل ۴-۳ ساختار شماتیک DIL با تحریک WR90 در نرم افزار HFSS ۳۷
- شکل ۴-۴ الف) منحنی تلفات برگشتی DIL ب) منحنی انتقال توان DIL ۳۷
- شکل ۴-۵ منحنی تلفات برگشتی و ب) انتقال توان DIL در محدوده فرکانسی ۹ GHz تا ۱۱ GHz ۳۸
- شکل ۴-۶ منحنی تلفات برگشتی و ب) انتقال توان روزنه ۳۹
- شکل ۴-۷ الف) نمودار تشعشع روزنه در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی تغییرات بهره بر
حسب فرکانس ساختار DIL و روزنه با زمین نامحدود ۴۰
- شکل ۴-۸ الف) نمودار تشعشع روزنه در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی تغییرات بهره بر
حسب فرکانس ساختار DIL و روزنه با زمین محدود ۴۰
- شکل ۴-۹ منحنی تلفات برگشتی و ب) انتقال توان ساختار RDRA با تحریک روزنه و
تغذیه DIL ۴۱
- شکل ۴-۱۰ الف) نمودار تشعشع در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی تغییرات بهره RDRA با
تحریک روزنه و تغذیه DIL ۴۲
- شکل ۴-۱۱ منحنی تلفات برگشتی (- HFSS . CST) ۴۳
- شکل ۴-۱۲ الف) نمودار تشعشع RDRA در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی تغییرات بهره بر
حسب فرکانس RDRA با صفحه زمین محدود ۴۳
- شکل ۴-۱۳ منحنی الف) تغییرات بهره با طول روزنه برای دو مقدار W ب) تغییرات بهره بر
حسب فرکانس برای طول های مختلف روزنه ۴۵
- شکل ۴-۱۴ منحنی تلفات برگشتی برای طول های مختلف روزنه به ازاء یک W ثابت ۴۶
- شکل ۴-۱۵ نمودار تشعشع الف) Co-Polarization ب) Cross Polarization ۴۶

- شکل ۴-۱۶ نمای بالایی و جانبی ساختار آنتن با تغذیه خط میکرواستریپ ۴۷
- شکل ۴-۱۷ (منحنی الف) تلفات برگشتی ب) انتقال توان RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ (- HFSS . CST) ۴۸
- شکل ۴-۱۸ الف) نمودار تشعشع در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی تغییرات بهره بر حسب فرکانس RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ ۴۸
- شکل ۴-۱۹ تاثیر تلفات هادی و عایق بر روی بهره آنتن تغذیه شده با الف) DIL ب) خط میکرواستریپ ۴۹
- شکل ۵-۱ الف) ساختار آرایه سه تایی RDRA با تغذیه DIL ب) نمای جانبی ساختار آنتن ۵۳
- شکل ۵-۲ ساختار آرایه سه تایی RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ ۵۴
- شکل ۵-۳ آرایه E-plane خطی در راستای محور x ۵۵
- شکل ۵-۴ فاکتور آرایه $AF(n, s/\lambda_0, \theta)$ در صفحه $\phi = 0$ برای آرایه E-plane با $n=2, 4, 8$ و $s = 0.25\lambda_0, 0.5\lambda_0, \lambda_0$ ۵۶
- شکل ۵-۵ الف) منحنی تلفات برگشتی ب) منحنی بهره بر حسب فرکانس آرایه سه تایی RDRA برای سه فاصله مختلف ۵۷
- شکل ۵-۶ نمودار تشعشع آرایه سه تایی RDRA در فرکانس ۱۰ GHz برای سه فاصله مختلف ۵۸
- شکل ۵-۷ الف) منحنی تلفات برگشتی ب) منحنی بهره بر حسب فرکانس برای $s=12/9$ mm به ازای سه طول مختلف روزه ۵۹
- شکل ۵-۸ منحنی تلفات برگشتی (- HFSS . CST) ۶۰
- شکل ۵-۹ الف) نمودار تشعشع در فرکانس ۹/۹۲۵ GHz ب) منحنی بهره بر حسب فرکانس آرایه سه تایی RDRA ۶۱
- شکل ۵-۱۰ منحنی Co-polarization و Cross-polarization آرایه سه تایی RDRA در فرکانس ۹/۹۲۵ GHz (الف) E-plane ب) H-plane ۶۱
- شکل ۵-۱۱ منحنی تلفات برگشتی آرایه سه تایی RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ و ۶۲

تحریک روزنه ای

- ۶۲ شکل ۱۲-۵ الف) نمودار تشعشع در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی بهره بر حسب فرکانس
آرایه سه تایی RDRA
- ۶۳ شکل ۱۳-۵ منحنی تلفات برگشتی آرایه سه تایی RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ و
تحریک روزنه ای و صفحه زمین محدود
- ۶۳ شکل ۱۴-۵ الف) نمودار تشعشع در فرکانس ۱۰ GHz ب) منحنی بهره بر حسب فرکانس
آرایه سه تایی RDRA با تغذیه خط میکرواستریپ و صفحه زمین محدود
- ۶۴ شکل ۱۵-۵ منحنی Co-polarization و Cross-polarization آرایه سه تایی RDRA با
تغذیه خط میکرواستریپ در فرکانس ۱۰ GHz الف) E-plane ب) H-plane

فهرست علائم

نشانه	علامت
تشدید کننده عایقی	DR
آنتن عایقی تشدید	DRA
آنتن عایقی تشدید مستطیل شکل	RDRA
Dielectric Image Line	DIL
روش اجزاء محدود	FEM
میدان‌های الکترومغناطیسی عرضی	TEM
ثابت دی الکتریک موثر	EDC
مدارات مجتمع مایکروویو	MMIC
طول موج در فضای آزاد	λ_0
ضریب نفوذ پذیری الکتریکی	ϵ_0
ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی	μ_0
ضریب کیفیت	Q - factor
روش ممنت	MoM
روش مشتقات جزئی در حوزه زمان	FDTD
High Frequency Structure Simulation	HFSS
Microwave Studio Packag	CST
موجبر استاندارد	WR90

فصل اول

مقدمه

در دهه گذشته با توسعه سیستم‌های میکروویو بی سیم، نیاز مبرمی به سیستم‌های مخابراتی با توان مصرفی کم و کارایی بالا است. بنابراین طراحی و ساخت سیستم‌هایی با بازدهی بالا شاید به عنوان مهمترین هدف شرکت‌های سازنده سیستم‌های مخابراتی بی سیم است. روش‌های مختلفی مانند مجتمع کردن قطعات فعال و غیر فعال و هم چنین استفاده از مواد عایق با تلفات کم به عنوان موجبر پیشنهاد و در عمل بکار رفته است. در مورد آنتن سیستم‌های مخابراتی با استفاده از تشدید کننده‌های عایقی (Dielectric Resonator) که دارای تلفات کمی در فرکانس‌های میکروویو هستند، می توان با توجه به حذف تلفات هادی راندمان تشعشع بالایی بدست آورد.

تشدید کننده‌های عایقی (DRS) از مواد عایق با تلفات کم ساخته می شوند و دارای اندازه کوچک، قیمت و وزن کم، پایداری حرارتی مناسبی بوده و با خطوط انتقال مختلفی قابل تحریک می باشند. این تشدید کننده‌ها جایگزین مناسبی برای محفظه‌های تشدید فلزی می باشند که از جهت اندازه دارای حجم کمتر و همان کارایی می باشند.

DRS می توانند به عنوان آنتن با داشتن تغذیه مناسب استفاده شوند. به خاطر تلفات کم مواد عایق، DRAS دارای راندمان تشعشع بالا می باشند که خصوصاً در سیستم‌های مخابراتی سیار بسیار مهم است. شکل‌های مختلف این تشدید کننده‌ها شامل استوانه ای، نیمه استوانه ای، حلقه استوانه ای، مستطیلی و کروی در مقالات مختلف به عنوان آنتن گزارش شده اند. آنتن‌های عایقی تشدید مستطیل شکل (RDRAS) در مقایسه با سایر انواع دارای دو درجه آزادی برای طراحی آنتن با توجه به تطبیق امپدانس و نمودار تشعشع دارند و به همین علت بیشتر مورد توجه می باشند. روش‌های مختلفی از قبیل کابل هم محور، خط میکرواستریپ، روزنه در خط میکرواستریپ و موجبرهای Co-planner برای تغذیه این آنتن‌ها به کار می رود.

در فرکانس‌های بالا تلفات هادی زیاد در خطوط میکرواستریپ باعث کاهش راندمان تشعشع سیستم مخابراتی می شود. اما استفاده از محیط‌های انتقال موج عایق مانند Dielectric Image Line (DIL) کاهش تلفات در فرکانس‌های بالا را به همراه دارد. با استفاده از این نوع خط انتقال که بر روی صفحه زمین قرار گرفته و روزنه‌ای نیز روی صفحه زمین قرار داده شده می توان آنتن DRA را حوالی فرکانس تشدید آن با موج متحرک تحریک نمود. با استفاده از این ساختار راندمان تشعشع بالا، تلفات برگشتی کم، نمودار تشعشع عمود بر صفحه زمین و تشعشع کم در جهت معکوس بدست آورد.

در فصل دوم موجبر عایقی مستطیلی معرفی و با بررسی روش‌های تحلیل موجبرهای عایقی مستطیلی مدهای انتشار مشخص و مولفه‌های میدان استخراج می‌شود. سپس Image Line به عنوان یکی از انواع موجبرهای عایقی مستطیلی ارائه و روابط و مدهای انتشار آن نیز بررسی می‌شود. هم‌چنین روش تغذیه آن توسط یک موجبر استاندارد فلزی معرفی و نکات عملی در طرح و کاربرد این نوع موجبر ارائه خواهد شد.

در فصل سوم شرح مختصری از انواع آنتن‌های عایقی تشدید یافته شده و در مورد آنتن عایقی تشدید یافته مستطیلی، روابط مولفه‌های میدان، مدهای کار آن، فرکانس تشدید و الگوی تشعشع آن بررسی می‌شود. هم‌چنین انواع روش‌های تغذیه آنتن‌های عایقی معرفی می‌شود.

در فصل چهارم ابتدا نتایج شبیه‌سازی یک DIL ارائه شده و سپس ساختار RDRA که از طریق DIL با ایجاد یک روزنه روی صفحه زمین، تحریک می‌شود، به روش اجزاء محدود (FEM) بررسی و شبیه‌سازی می‌شود. مشخصات ساختار از قبیل تلفات برگشتی، نمودار تشعشع و تغییرات بهره با فرکانس ارائه می‌شود. سپس تاثیر ابعاد روزنه بر این ساختار و تاثیر تلفات صفحه زمین و عایق بررسی و با ساختار تغذیه شده با خط میکرواستریپ مقایسه شده و ابعاد بهینه روزنه مشخص می‌شود.

در فصل پنجم یک آرایه سه تایی از RDRA با تغذیه DIL و خط میکرواستریپ و تحریک روزنه ای مورد مطالعه قرار گرفته است. فاصله مناسب بین هر RDRA و ابعاد مناسب روزنه مشخص شد و نتایج شبیه‌سازی ارائه شده است. با ارائه ساختار آرایه بهره حدود ۳/۱۵ dB در مقایسه با RDRA تک افزایش می‌یابد.

در فصل ششم نتایج بدست آمده در بخش‌های قبلی جمع بندی و ارائه شده است. هم‌چنین درباره تحقیقات بیشتر در این زمینه و ادامه کار در آینده اشاره شده است.

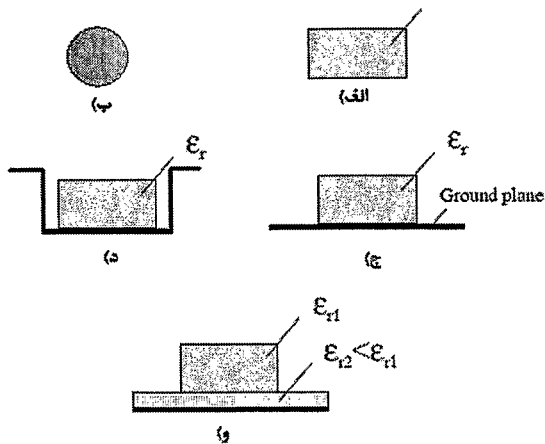
فصل دوم

انتشار امواج در موجبرهای عایقی مستطیلی

خطوط انتقال برای انتقال انرژی امواج الکترومغناطیس و هدایت آن‌ها در راستای خاص استفاده می‌شوند. موجبرهای عایقی از مواد عایق با تلفات کم و با سطح مقاطع مختلف ساخته شده‌اند [۱]. در سال‌های اخیر این نوع هدایت کننده‌های موج با توجه به حذف تلفات هادی و اثر پوستی (skin effect)، در فرکانس‌های مایکروویو و امواج میلیمتری کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند. تا حدود سال‌های ۱۹۴۰ انتشار موج در موجبرهای عایقی بطور کامل بررسی و مدهای انتشار در آن‌ها شناخته شده بود اما کاربرد آن‌ها در عمل با توجه به هزینه نسبتاً زیاد بسیار محدود بوده است. هم‌چنین در دهه ۵۰ با اختراع موجبرهای فلزی، استفاده از موجبرهای عایقی در سیستم‌های عملی مطرح نشده است. در سال‌های اخیر با گسترش سیستم‌های مخابراتی در فرکانس‌های مایکروویو و اهمیت تلفات اجسام هادی در این محدوده فرکانسی، استفاده از موجبرهای عایقی مورد توجه قرار گرفته است [۲].

انواع مختلف موجبرهای عایقی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. این نوع موجبرها عموماً در مدارهای مجتمع مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل‌های (۱-۲ الف) و (۱-۲ ج) ساده‌ترین و مناسب‌ترین نوع این هدایت کننده‌های امواج برای مدارات فشرده را نشان می‌دهد. مشکل ذاتی این موجبرها تلفات تشعشعی مربوط به قسمت‌های خمیده، اتصالات و ناپیوستگی‌های آن می‌باشد. این مشکل را می‌توان با استفاده از مواد عایق با ثابت دی‌الکتریک بالا کاهش داد. با این وجود مواد عایق با ثابت دی‌الکتریک بالا در فرکانس امواج میلیمتری به علت ابعاد کوچک و مشکلات ساخت، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشکل تلفات تشعشعی از بخش‌های خمیده با استفاده از ساختار محاط شده توسط فلز نشان داده شده در شکل (۱-۲ د) تا حد زیادی کاهش می‌یابد. اما موجبرهای شکل‌های (۱-۲ ج) و (۱-۲ د) دارای تلفات هادی می‌باشند. برای کاهش تلفات هادی صفحه زمین، ساختار شکل (۱-۲ و) که بنام *insulated image line* نامیده می‌شود بکار می‌رود. برای مقادیر $\epsilon_{r1} > \epsilon_{r2}$ بخش عمده انرژی انتشاری در لایه موجبری باقی مانده و در نتیجه تلفات هادی کاهش می‌یابد [۲].

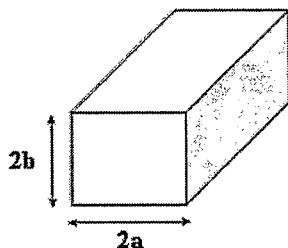
در این فصل موجبر عایقی مستطیلی معرفی و با بررسی روش‌های تحلیل موجبرهای عایقی مستطیلی مدهای انتشار مشخص و مولفه‌های میدان استخراج می‌شود. سپس *Image Line* به عنوان یکی از انواع موجبرهای عایقی مستطیلی ارائه و روابط و مدهای انتشار آن شرح داده شده است و روش تحریک و نکات عملی در کاربرد این موجبر ارائه شده است.



شکل ۱-۲ موجبرهای عایقی الف) مستطیلی، ب) استوانه‌ای، ج) image line، د) image line محاط شده توسط فلز و insulated image line

۲-۲ موجبر عایقی مستطیلی

شکل (۲-۲) موجبر عایقی با سطح مقطع مستطیل شکل در فضای آزاد، خلاء را نشان می‌دهد. موجبر شامل یک تیغه مستطیلی با ابعاد سطح مقطع $2a \times 2b$ و ضریب نفوذپذیری نسبی ϵ_r است. بررسی دقیق و حل کامل معادلات ماکسول و تعیین مدهای انتشار در این موجبر با توجه به ادامه یافتن میدان‌ها خارج از موجبر کار مشکلی است. در عمل روش‌های تقریبی متفاوتی برای تعیین مولفه‌های میدان در داخل موجبر بکار رفته است.



شکل ۲-۲ موجبر عایقی با سطح مقطع مستطیل

۱-۲-۲ روش‌های تقریبی تعیین مدهای انتشار در موجبر عایق مستطیلی

مارکاتیلی (Marcatili) در سال ۱۹۶۹ اولین روابط تقریبی برای مدهای مختلف انتشار موجبر عایقی مستطیلی را مطرح کرد [۳]. بر اساس این روش فرض می‌شود توزیع مولفه‌های میدان در داخل موجبر به صورت سینوسی و خارج از