بسمه تعالی

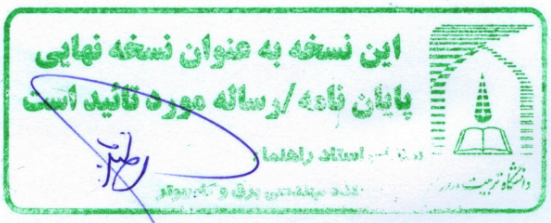
تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای رضا شمسائی مالفجانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنـوان: **طراحی و ساخت آنتن آرایه ای انعکاسـی دو باند (باندهای X و K)**

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجـه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر زهرا اطلس باف	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر کیوان فرورقی	استاد	
استاد ناظر	دکتر بیژن عباسی آرند	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مجتبی دهملائیان	استادیار	
مدیر گروه (یانماینده گروه تخصصی)	دکتر کیوان فرورقی	استاد	



آیین نامه چاپ پایان‌نامه های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی برق است که در سال ۱۳۹۰در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم دکتر زهرا اطلس باف از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب رضا شمسائی مالفجانی دانشجوی رشته مهندسی برق مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: رضا شمسائی مالفجانی

تاریخ و امضا: ۹۱/۳/۱۶

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه

تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی رضا شمس مالخلیفانی

امضاء

۹۱/۳/۱۶

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات

طراحی و ساخت آنتن آرایه ای انعکاسی دو بانده

(باندهای X و K)

نگارنده:

رضا شمسایی مالفجانی

استاد راهنما:

دکتر زهرا اطلس باف

اسفند ۱۳۹۰

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

تشکر و قدردانی

تسبیح خداوند عظیم را سزاست. شکر خدای بخشنده را که توفیق تحصیل در میان گروهی از بهترین اساتید و دانشجویان این مرز و بوم را به من عطا کرد؛ عطایی که از سر بخشندگی و بخشودگی اوست.

با تقدیر ویژه از استاد بزرگوار، سرکار خانم دکتر زهرا اطلس باف که در طول پروژه با راهنمایی ها و تشویق های خود مرا یاری داده اند. همچنین از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر کیوان فرورقی به خاطر رهنمودهایشان ممنونم.

در پایان از تمامی دوستانم به خصوص سرکار خانم مهندس مهسا شکیبا و جناب آقای مهندس بهزاد یکتا خواه که همیشه در طول دوران تحصیل مرا یاری کرده اند، سپاسگزاری می کنم.

چکیده

امروزه آنتن‌های آرایه بازتابی مایکرواستریپی به علت مسطح بودن، وزن و حجم کم، قابلیت شکل دهی و کنترل پرتو، هزینه پائین و سهولت در ساخت، در کاربردهای ارتباطات فضایی، بیسیم و ماهواره‌ای به جایگزین مناسبی برای آنتن‌های بازتابنده سهموی تبدیل شده‌اند. این آنتن‌ها که شامل آرایه‌ای از عناصر می‌باشند، مزایای آنتن‌های سهموی و آرایه‌های فازی را با هم ترکیب می‌کنند ولی اشکال عمده آن‌ها پهنای باند کم آن‌ها است. در این تحقیق روش‌های پهن باند کردن عناصر آرایه بازتابی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بهبود پهنای باند، محدوده تغییرات و خطی بودن پاسخ فاز عناصر آرایه بازتابی باید ارتقاء یابد. برای این منظور در این تحقیق از روش خطوط تأخیر فاز استفاده شده است که مزیت آن هزینه پائین و توانایی در ایجاد محدوده تغییرات فاز بالا می‌باشد. از آنجا که ساختارهای تک لایه به دلیل سهولت ساخت، کاهش هزینه و وزن کم نسبت به ساختارهای چند لایه برتری دارند، در این تحقیق ساختارهای تک لایه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تمامی عناصر ارائه شده از پچ دایروی مایکرواستریپی تک لایه متصل به خطوط تاخیر فاز استفاده شده است.

در این تحقیق سه نوع عنصر آرایه جدید با هدف افزایش پهنای باند معرفی شده‌اند. عنصر اول، دارای قطبش خطی و محدوده تغییرات فاز خطی بالای ۱۰۰۰ درجه با پهنای باند ۲۲٪ است که منجر به ساخت آنتن آرایه بازتابی با پهنای باند ۱۸٪ و سطح قطبش متعامد پائین شده است. عنصر دوم، دارای قطبش دایروی و یا خطی دوگانه و محدوده تغییرات فازی خطی بالای ۶۵۰ درجه با پهنای باند ۱۶٪ است که آنتن آرایه بازتابی ساخته شده از آن، قطبش دایروی با پهنای باند ۱۵/۵٪ دارد. عنصر سوم، در دو محدوده فرکانسی دارای پاسخ فاز خطی است و به صورت دو بانده در باند X و K عمل می‌کند. در این عنصر محدوده تغییرات خطی فاز در باند X بالای ۵۰۰ درجه و در باند K بالای ۸۰۰ درجه می‌باشد. آنتن ساخته شده با این عنصر عملکرد مناسبی را در مقایسه با کارهای قبلی نشان می‌دهد. محدوده وسیع فاز خطی عناصر ارائه شده، آن‌ها را برای کاربرد در آنتن‌های آرایه بازتابی بزرگ مناسب نموده است.

در تمام آنتن‌های ارائه شده، با چیدمان مناسبی که برای عناصر آرایه در نظر گرفته شده است، سطح قطبش متعامد کاهش یافته است.

کلید واژه: آنتن آرایه بازتابی، پچ مایکرواستریپی، خطوط تاخیر فاز، ساختار تک لایه

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۱. مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ توصیف آنتن های آرایه بازتابی ۲

۱-۳ ابداعات و توسعه های اوّلیه ۳

۱-۴ هدف از انجام پژوهش و نوآوری آن ۱۱

۱-۵ ساختار پایان نامه ۱۳

۲. آنتن های آرایه بازتابی مایکرواستریپی ۱۴

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۲ مزایای آنتن های آرایه بازتابی مایکرواستریپی چاپی ۱۵

۲-۳ معایب آنتن های آرایه بازتابی مایکرواستریپی چاپی ۱۶

۲-۳-۱ کاهش پهنای باند ناشی از عناصر پچ مایکرواستریپی ۱۶

۲-۳-۲ کاهش پهنای باند ناشی از اختلاف تأخیر فاز فضایی ۱۷

۲-۴ روش های تحلیل آنتن های آرایه بازتابی ۱۸

۲-۴-۱ معرفی کلی از روش های تحلیل ۲۰

۲-۴-۲ توزیع جابجایی فاز عنصر آرایه بازتابی ۲۳

۲-۴-۳ تحلیل پچ های مستطیلی با دنباله های متصل ۲۴

۲-۴-۴ عنصر جابجا کننده فاز به صورت پچ با اندازه متغیر در یک لایه ۲۶

۲-۴-۵ عنصر جابجا کننده فاز به صورت پچ با اندازه متغیر در چند لایه ۲۶

۲-۴-۶ عنصر جابجا کننده فاز بر مبنای پچ های روزنه-تزویجی ۲۸

۲-۴-۷ مدل آنتن تغذیه و الگوی تشعشعی ۳۱

۲-۴-۸ محاسبه بهره ۳۵

۲-۴-۹ اثرات عنصر و انتخاب آن ۳۵

۲-۴-۱۰ محاسبه الگوی تشعشعی آنتن آرایه بازتابی ۳۹

۲-۴-۱۱ طراحی ابعاد آنتن آرایه بازتابی ۴۱
۲-۴-۱۲ توان در آنتن آرایه بازتابی ۴۳
۲-۵ روش های افزایش پهنای باند ۴۴
۲-۵-۱ محدودیت پهنای باند ناشی از عنصر ۴۴
۲-۵-۲ عناصر جابجا کننده فاز پهن باند ۴۵
۲-۵-۳ محدودیت پهنای باند ناشی از اختلاف تأخیر فاز فضایی ۴۹
۲-۵-۴ روش افزایش پهنای باند برای آنتن های آرایه بازتابی بزرگ ۴۹
۲-۶ بررسی قطبش های مختلف در آنتنهای آرایه بازتابی ۵۲
۲-۶-۱ قطبش خطی ۵۳
۲-۶-۲ قطبش خطی دوگانه ۵۳
۲-۶-۳ قطبش دایروی ۵۳
۲-۷ نتیجه گیری ۵۴

۳. آنتن های آرایه بازتابی مایکرواستریپی دو بانده ۵۵

۳-۱ مقدمه ۵۶
۳-۲ دو باند فرکانسی با یک زیرلایه تک لایه ۵۶
۳-۲-۱ قطبش دایروی یا خطی دوگانه در دو باند فرکانسی مجزا و با فاصله زیاد از یکدیگر ۵۶
۳-۲-۲ قطبش دایروی در دو باند فرکانسی مجزا و نزدیک به یکدیگر ۵۷
۳-۲-۳ قطبش خطی با دو باند فرکانسی مجزا و با فاصله زیاد از یکدیگر ۵۸
۳-۳ دو باند فرکانسی با زیرلایه چند لایه ۵۸
۳-۳-۱ عناصر فرکانس بالا در بالای عناصر فرکانس پایین ۵۹
۳-۳-۲ عناصر فرکانس پایین در بالای عناصر فرکانس بالا ۵۹

۴. طراحی و ساخت آنتن های آرایه بازتابی ۶۳

۴-۱ مقدمه ۶۴
۴-۲ طراحی و ساخت آنتن اول ۶۶
۴-۲-۱ عنصر پچ دایروی ۶۶

۴-۲-۲ معرفی عنصر پهن باند با محدوده فازی بالا ۶۶
۴-۲-۳ روند طراحی عنصر پهن باند با محدوده فازی بالا ۶۷
۴-۲-۴ ساخت آنتن آرایه بازتابی پهن باند با محدوده فازی بالا ۷۳
۴-۳ طراحی و ساخت آنتن دوم ۷۶
۴-۳-۱ معرفی عنصر پهن باند با محدوده فازی بالا و قطبش دایروی و خطی دوگانه ۷۶
۴-۳-۲ ساخت آنتن آرایه بازتابی پهن باند با قطبش دایروی ۸۱
۴-۴ طراحی و ساخت آنتن سوم ۸۳
۴-۴-۱ معرفی عنصر آرایه با محدوده فاز خطی بالا برای دو باند X و K ۸۴
۴-۴-۲ ساخت آنتن آرایه بازتابی دو بانده ۹۲

۵. نتیجه گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش های آتی ۹۷

۵-۱ نتیجه گیری ۹۸
۵-۲ پیشنهادهایی برای پژوهش های آتی ۹۸

فهرست منابع ۹۹

پیوست: برنامه های متلب ۱۰۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۱۱

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان..... صفحه

شکل ۱-۱: ساختار کلی آرایه بازتابی. (الف) نمای دو بعدی. (ب) نمای سه بعدی[۱]..... ۳

شکل ۱-۲: عنصر های متفاوت مورد استفاده در آرایه های بازتابی..... ۵

شکل ۱-۳: چیدمان ارائه شده به منظور کاهش قطبش متعامد در سال ۱۹۹۵[۱۴]..... ۶

شکل ۱-۴: بزرگترین آنتن آرایه بازتابی ساخته شده با نمای عناصر بکار برده شده در آن [۱۹]..... ۷

شکل ۱-۵: عنصر آنتن آرایه بازتابی تقویتی در باند X[۲۰]..... ۸

شکل ۱-۶: آنتن آرایه بازتابی با ساختار کسگرین [۲۳]..... ۸

شکل ۱-۷: ترکیب عناصر آنتن آرایه بازتابی با سلول های خورشیدی[۲۴]..... ۹

شکل ۱-۸: شماتیک آنتن آرایه بازتابی با ساختار تاشده[۲۶]..... ۱۰

شکل ۱-۹: تصویر شماتیک از آنتن آرایه بازتابی کنترل شونده فوتونیکی[۲۷]..... ۱۰

شکل ۱-۱۰: آنتن آرایه بازتابی با ساختار فراماده[۲۸]..... ۱۱

شکل ۲-۱: آنتن آرایه بازتابی با عناصر پچ چاپی که خطوط تأخیر فاز با طول متغییر به آنها متصل شده است[۱۲]..... ۱۶

شکل ۲-۲: اختلاف تأخیر فاز فضایی در آرایه بازتابی..... ۱۷

شکل ۲-۳: دستگاه مختصات یک آنتن آرایه بازتابی مایکرواستریپی..... ۱۹

شکل ۲-۴: ساختار پچ با دنباله متصل به آن..... ۲۵

شکل ۲-۵: فاز میدان انعکاسی برای برخورد نرمال بازای طول دنباله در ۱۰ GHz، $L=L1+L2+L3$ ۲۵

شکل ۲-۶: پچ هایی با طول های مختلف روی زیرلایه زمین شده[۴۹]..... ۲۶

شکل ۲-۷: جابجایی فازی بر حسب طول پچ ها در سه فرکانس با فرض تابش عمودی روی عناصر پچ مربعی روی دی الکتریک زمین شده..... ۲۷

شکل ۲-۸: ساختار یک عنصر آرایه بازتابی دو لایه..... ۲۷

شکل ۲-۹: منحنی های جابجایی فازی در سه فرکانس برای برخورد نرمال در یک عنصر آرایه دو لایه که ساختار آن در شکل ۲-۸ نشان داده شده است (اندازه سلول=$14 \times 14\ mm^2$، $\varepsilon_r = 1/05$، $t_1=t_2=3\ mm$، $a_1= 0/7a_2$)..... ۲۸

شکل ۲-۱۰: سلول متناوب روزنه-تزویجی. (الف) تصویر گسترده. (ب) تصویر از بالا[۷۷]..... ۲۹

شکل ۲-۱۱: (الف)دامنه و (ب)فاز ضریب انعکاس در سلول متناوب بازای طول دوقطبی برای خط 50Ω و $\varepsilon_{rs1} = 3.2$ [۸۰]..... ۳۰
شکل ۲-۱۲: (الف)دامنه و (ب)فاز ضریب انعکاس برای عنصر آنتن آرایه بازتابی[۸۰]..... ۳۱
شکل ۲-۱۳: عنصر آرایه بازتابی با خط تأخیر U شکل. (الف) تصویر گسترده. (ب) تصوری از بالا[۸۱]..... ۳۲
شکل ۲-۱۴: (الف)دامنه و(ب)فاز ضریب انعکاس برای سلول متناوب بازای طول خط و با فرض دنباله تطبیقی اصلاح شده [۸۱]..... ۳۲
شکل ۲-۱۵: دستگاه مختصات آنتن آرایه بازتابی و تغذیه آن..... ۳۳
شکل ۲-۱۶: شبیه ساز موجبر با صفحه های موازی..... ۳۶
شکل ۲-۱۷: (الف) پیاده سازی شرایط مرزی مستر-اسلیو برای مدل کردن عنصر آرایه در ساختار متناوب بینهایت. (ب) نحوه قرارگیری پورت فلوکه[۷۳]..... ۳۷
شکل ۲-۱۸: اثر الگوی تشعشعی عنصر آنتن[۸۴]..... ۳۸
شکل ۲-۱۹: موج بازتابی و انتشاری در عنصر آنتن. (الف) عناصر نزدیک لبه. (ب) عناصر مرکزی[۸۴]. ۳۹
شکل ۲-۲۰: مختصات آنتن آرایه بازتابی..... ۴۰
شکل ۲-۲۱: سیستم مختصات مورد نظر برای تحلیل بازدهی آرایه بازتابی[۸۴]..... ۴۱
شکل ۲-۲۲: بازدهی روشنایی و سرریز برحسب پارامتر q در الگوی تشعشعی آنتن تغذیه [۸۴]..... ۴۳
شکل ۲-۲۳: بازدهی روزنه بر حسب نسبت f/D [۸۴]..... ۴۳
شکل ۲-۲۴: پاسخ فاز برای پچ مستطیلی با خط تأخیر دهنده فاز متصل به عنصر بر حسب طول دنباله با فرض تابش عمودی [۸۴]..... ۴۵
شکل ۲-۲۵: پاسخ فاز بر حسب طول خط برای عنصر روزنه-تزویجی [۸۴]..... ۴۶
شکل ۲-۲۶: پاسخ فاز عنصر دولایه شکل ۲-۸ با طول پچهای مختلف [۸۴]. $(a_1 = b_1, a_2 = b_2, P_x = P_y = 14mm, t_1 = t_2 = 3mm, \varepsilon_r = 1.05, a_1 = 0.7a_2)$ ۴۷
شکل ۲-۲۷: دو نمونه از عناصر تک لایه پهن باند[۹۶،۱۰۳]..... ۴۸
شکل ۲-۲۸: مسیر موج بازگشتی در (الف) آنتن سهموی و (ب) آنتن آرایه بازتابی[۱۰۸]..... ۵۱
شکل ۲-۲۹: الگوی تشعشعی محاسبه شده برای یک آنتن آرایه بازتابی با تغذیه مرکزی به قطر m ۱/۵ و با نسبت f/D برابر ۰/۷ با فرض عناصر ایدهآل [۸۴]..... ۵۱

شکل ۲-۳۰: ضریب انعکاس بر حسب طول خط درفرکانس ۱۰/۴ گیگاهرتز. (الف) تأخیر فاز شبیه سازی شده و مقایسه آن با $2\beta L-$. (ب) تلفات بازگشتی با و بدون صفحه زمین[۹۰]..... ۵۲
شکل ۲-۳۱: عناصر روزنه-تزویجی برای قطبش دو خطی[۸۴]..... ۵۲
شکل ۳-۱: عناصر دو بانده با استفاده از (الف) حلقه های مربعی با خطوط تأخیر فاز و (ب) دوقطبی های متقاطع با طول متغیر[۸۴]..... ۵۷
شکل ۳-۲: عناصر دو بانده با استفاده از حلقه های دایروی با زاویه چرخش متغیر[۸۴]..... ۵۸
شکل ۳-۳: عناصر دو بانده با استفاده از دو قطبی های با طول متغیر[۸۴]..... ۵۸
شکل ۳-۴: نمونه ای از عنصر آنتن آرایه بازتابی دوبانده[۸۴]..... ۶۰
شکل ۳-۵: عنصر آرایه بازتابی برای دو باند X و Ka[۱۱۲]..... ۶۰
شکل ۳-۶: عناصر حلقوی آرایه بازتابی برای دو باند X و Ka[۸۴]..... ۶۱
شکل ۴-۱: ساختار عنصر پچ دایروی..... ۶۸
شکل ۴-۲: پاسخ فاز عنصر دایروی در فرکانس ۱۱/۸ GHz..... ۶۸
شکل ۴-۳: ساختار عنصر ۶۸
شکل ۴-۴: عنصر در داخل موجبر برای بدست آوردن پاسخ فاز..... ۶۹
شکل ۴-۵: پاسخ فاز عنصر در فرکانس های مختلف برای تابش با قطبش خطی عمودی..... ۶۹
شکل ۴-۶: پاسخ فاز عنصر بازای زوایای برخورد مختلف..... ۷۰
شکل ۴-۷: توزیع جریان روی عناصر در آنتن آرایه بازتابی الف) روش متناوب معمولی ب) روش جدید [۱۰۴]..... ۷۰
شکل ۴-۸: سلول واحد در الف) روش متناوب معمولی ب) روش جدید [۱۰۴]..... ۷۰
شکل ۴-۹: پاسخ فاز برای دو سلول واحد نشان داده شده در شکل ۴-۸..... ۷۱
شکل ۴-۱۰: پاسخ دامنه موج بازتابش مطلوب برای دو ساختار نشان داده شده در شکل ۴-۸..... ۷۱
شکل ۴-۱۱: پاسخ دامنه موج بازتابش متعامد برای دو ساختار نشان داده شده در شکل ۴-۸..... ۷۱
شکل ۴-۱۲: توزیع فاز عناصر سطح آنتن آرایه بازتابی در فرکانس ۱۱/۸ GHz برای فاصله کانونی cm ۱۷/۱..... ۷۲
شکل ۴-۱۳: الگوی تشعشعی آنتن بوقی تغذیه. (الف) صفحه H . (ب) صفحه E..... ۷۲
شکل ۴-۱۴: آنتن شبیه سازی شده در محیط CST..... ۷۳
شکل ۴-۱۵: آنتن آرایه بازتابی ساخته شده..... ۷۳
شکل ۴-۱۶: نمودار بهره آنتن..... ۷۴

شکل ۴-۱۷: الگوی تشعشعی صفحه E در فرکانس ۱۱/۸ GHz ۷۴
شکل ۴-۱۸: الگوی تشعشعی صفحه H در فرکانس ۱۱/۸ GHz ۷۴
شکل ۴-۱۹: الگوی تشعشعی در صفحه E و H در فرکانس ۱۱/۸ GHz برای آنتن آرایه بازتابی به ابعاد ۲۸ cm × ۳۸ cm ۷۵
شکل ۴-۲۰: ساختار عنصر ۷۷
شکل ۴-۲۱: خطوط تأخیر فاز برای مقادیر مختلف φs . الف) $0 < \varphi s < 87°$ ب) $7887° > \varphi s > 174°$
شکل ۴-۲۲: پاسخ فاز موج منعکس شده بازای تغییرات φs در فرکانس مرکزی ۱۰/۳ GHz با موج تابشی با قطبش دایروی ۷۹
شکل ۴-۲۳: پاسخ فاز عنصر در فرکانس های مختلف برای تابش عمودی با قطبش دایروی ۷۹
شکل ۴-۲۴: نسبت محوری بر حسب فرکانس به ازای سه مقدار φs برای چیدمان متناوب معمولی ۷۹
شکل ۴-۲۵: سلول واحد. الف) روش متناوب معمولی. ب) روش جدید [۱۰۴]. ۸۰
شکل ۴-۲۶: نسبت محوری بر حسب فرکانس بازای سه مقدار φs برای چیدمان جدید[۱۰۴]. ۸۰
شکل ۴-۲۷: نسبت محوری بر حسب φs در فرکانس مرکزی برای چیدمان جدید و متناوب معمولی ۸۰
شکل ۴-۲۸: نسبت محوری بر حسب φs در فرکانس مرکزی برای چیدمان جدید و متناوب معمولی. ۸۱
شکل ۴-۲۹: فاز لازم برای عناصر روی سطح آنتن در فرکانس ۱۰/۳ GHz و فاصله کانونی ۲۲/۵ cm ۸۱
شکل ۴-۳۰: آنتن آرایه بازتابی ساخته شده ۸۲
شکل ۴-۳۱: نمودار بهره آنتن ۸۲
شکل ۴-۳۲: الگوی تشعشعی شبیه سازی و اندازه گیری شده برای قطبش دایروی در فرکانس GHz ۱۰/۳ ..... ۸۲
شکل ۴-۳۳: نسبت محوری اندازه گیری شده بر حسب فرکانس ۸۳
شکل ۴-۳۴: ساختار عنصر ۸۴
شکل ۴-۳۵: پاسخ فاز مربوط به شکل ۴-۳۴ بازای φs برای مقادیر مختلف h2 در فرکانس GHz ۱۰/۲ و ۲۲ GHz ۸۵
شکل ۴-۳۶: ساختار عنصر دو بانده ۸۶

شکل ۴-۳۷: پاسخ فاز بازای تغییرات φs برای مقادیر مختلف W_1 و L_1 در فرکانس ۱۰/۲ GHz و ۲۲ GHz ۸۶
شکل ۴-۳۸: پاسخ فاز بازای φs برای مقادیر مختلف L_3 و L_2 در فرکانس ۱۰/۲ GHz و ۸۷۲۲ GHz
شکل ۴-۳۹: پاسخ فاز شکل ۴-۳۶ بازای φs برای مقادیر مختلف h_2 در فرکانس ۱۰/۲ GHz و GHz ۲۲ ..... ۸۷
شکل ۴-۴۰: فرکانس تشدید در دو باند X و K ۸۸
شکل ۴-۴۱: پاسخ فاز موج منعکس شده بازای φs. (الف) باند X. (ب) باند K ۸۸
شکل ۴-۴۲: پاسخ فاز عنصر بازای زوایای تابش مختلف (الف) ۱۰/۲ GHz (ب) ۲۲ GHz ۸۹
شکل ۴-۴۳: جابجایی فازی مورد نیاز عناصر روی سطح آنتن. (الف) ۱۰/۲ GHz. (ب) ۲۲ GHz ۹۰
شکل ۴-۴۴: سلول واحد. (الف) روش متناوب معمولی. (ب) روش جدید [۱۰۴] ۹۱
شکل ۴-۴۵: پاسخ فاز برای دو سلول واحد نشان داده شده در شکل ۴-۴۴ ..... ۹۱
شکل ۴-۴۶: پاسخ دامنه موج بازتابش مطلوب برای دو ساختار نشان داده شده در شکل ۴-۸. (الف) ۱۰/۲ GHz. (ب) ۲۲ GHz ۹۱
شکل ۴-۴۷: پاسخ دامنه موج بازتابش متعامد برای دو ساختار نشان داده شده در شکل ۴-۸. (الف) ۱۰/۲ GHz. (ب) ۲۲ GHz ۹۲
شکل ۴-۴۸: آنتن آرایه بازتابی ساخته شده دو بانده ۹۳
شکل ۴-۴۹: تجهیزات اندازه گیری آنتن آرایه بازتابی ساخته شده دو بانده. (الف) باند X. (ب) باند K. ۹۳
شکل ۴-۵۰: الگوی تشعشعی صفحه E و H در فرکانس مرکزی ۱۰/۲ GHz ۹۴
شکل ۴-۵۱: الگوی تشعشعی صفحه E و H در فرکانس مرکزی ۲۲ GHz ۹۴
شکل ۴-۵۲: الگوی تشعشعی مطلوب و متعامد شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در ۱۰/۲ GHz ۹۵
شکل ۴-۵۳: الگوی تشعشعی مطلوب و متعامد شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در ۲۲ GHz. ۹۵
شکل ۴-۵۴: نمودار بهره اندازه گیری شده آنتن آرایه بازتابی دو بانده در باند X ۹۶
شکل ۴-۵۵: نمودار بهره اندازه گیری شده آنتن آرایه بازتابی دو بانده در باند K ۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان..... صفحه

جدول ۲-۱: ابعاد عنصر روزنه-تزویجی آنتن آرایه بازتابی ۳۰
جدول ۴-۱: مقایسه سه آنتن آرایه بازتابی تک لایه با آنتن ساخته شده..... ۷۵
جدول ۴-۲: مقایسه سه آنتن آرایه بازتابی تک لایه و چند لایه با قطبش دایروی با آنتن ساخته شده ۸۳
جدول ۴-۳: مقایسه سه آنتن آرایه بازتابی تک لایه و چند لایه دو بانده با آنتن ساخته شده.....۹۶

۱. مقدمه

۱-۱ مقدمه

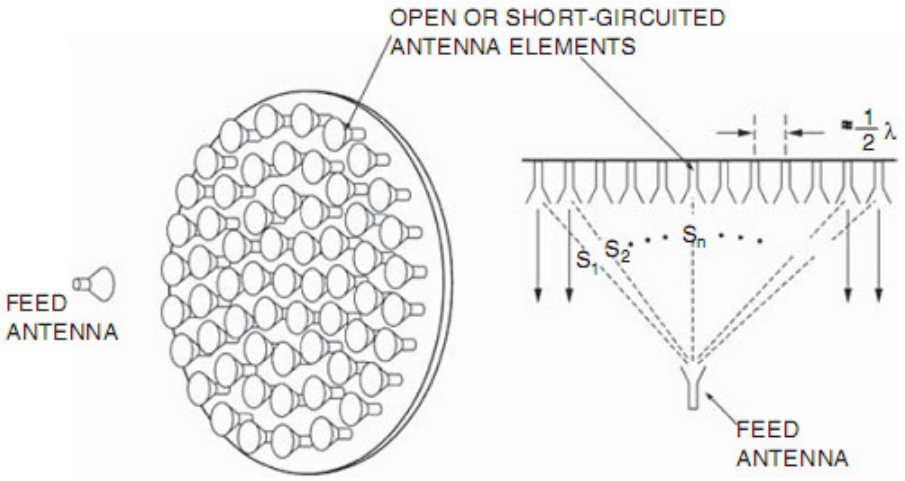
از آنجاییکه آنتن‌ها بزرگترین و سنگین‌ترین جزء ارتباطات مخابراتی راه دور می‌باشند، کوچک-سازی ابعاد آنتن یک نیاز ضروری برای ارتباطات راه دور است. با توجه به توسعه سریع ارتباطات راه دور و توجه روزافزون طراحان سناریوهای مخابراتی به آن، تحقیق و مطالعه در امر طراحی آنتن‌های صفحه‌ای کوچک ارزان با بهره بالا از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. سیستم‌های راداری و ارتباط راه دور نیازمند آنتن‌هایی با بهره بالا می‌باشند. در این گونه موارد به طور معمول از آنتن‌های سهموی و یا آرایه‌ها استفاده می‌شود. در هر حال ساخت آنتن‌های سهموی به خاطر شکل خاصشان، به خصوص در فرکانس‌های بالا، مشکل است. همچنین این آنتن‌ها نمی‌توانند در زاویه‌های بالا پوشش پرتو داشته باشند. آرایه‌ها نیز با وجود داشتن زاویه پرتو بالا، به دلیل ساختار پیچیده، تلفات زیاد و استفاده از جابجا کننده‌های فاز بسیار گران تمام می‌شوند. ابعاد بزرگ، وزن بالا و همچنین هزینه بالای ساخت این نوع آنتن‌ها، سبب شد که تکنولوژی آنتن‌های با بهره بالا، به سمت نوع دیگری از آنتن‌ها برای تعدیل نقایص منعکس‌کننده‌های سهموی و آرایه‌ها سوق داده شود.

با معرفی آنتن‌های آرایه بازتابی مایکرواستریپی[1]، پیشرفت شگرفی در طراحی و ساخت آنتن‌های مخابراتی راه دور حاصل شد. مسطح بودن ، سبک بودن ، هزینه تولید پائین و در عین حال بهره بالای آنتن های آرایه بازتابی آن‌ها را به جایگزین مناسبی برای آنتن های انعکاسی سهموی و آرایه‌ای تبدیل کرده است. در طول سال‌های اخیر آنتن‌های آرایه بازتابی توجه بسیار زیادی را در صنایع فضایی و نظامی به خود جلب کرده است. امروزه آنتن‌های آرایه بازتابی بطور گسترده در ناوهای جنگی، رادارها، مخابرات راه دور و ایستگاهای فضایی و زمینی ماهواره‌ها بکار برده می‌شوند. لذا تحقیق و مطالعه در امر طراحی آنتن‌های آرایه بازتابی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

۱-۲ توصیف آنتن های آرایه بازتابی

همان‌طور که در شکل ۱-۱ دیده می‌شود، آنتن آرایه بازتابی [۱]، آنتنی است شامل یک صفحه تخت یا با انحنای بسیار کم، متشکل از تعداد زیادی عنصر تشعشعی (مانند موجبرهای دهانه باز، پچ-های[2] مایکرواستریپی چاپی، دو قطبی‌ها و حلقه‌ها) که توسط یک آنتن تغذیه مورد تابش قرار می-

[1] Microstrip Reflectarray Antenna
[2] Patch



(ب) (الف)

شکل ۱-۱: ساختار کلی آرایه بازتابی. (الف) نمای دو بعدی. (ب) نمای سه بعدی[۱].

گیرد. عناصر تشعشعی طوری طراحی می‌شوند که میدان‌های تابشی از آنتن تغذیه را با فاز الکتریکی مناسب برای ایجاد یک صفحه فاز ثابت در ناحیه دور[۱] آنتن آرایه بازتابی، منعکس می‌سازند. فازهای متفاوت برای میدان تابشی که به واسطه مسیرهای با طول متفاوت بین آنتن تغذیه و عنصرها ایجاد می‌شود، توسط تغییر فازهای از پیش طراحی شده برای عنصرها جبران می‌شود. به عبارت دیگر عملکرد این آنتن شبیه به کارکرد بازتابنده سهموی می‌باشد که در آن با استفاده از خاصیت انحنای سطح، هنگامی که آنتن تغذیه درنقطه کانونی سهمی قرار گرفته باشد، یک جبهه موج مسطح در جلوی آنتن ایجاد می‌شود. از همین رو گاهی به این نوع آنتن ها، آنتن‌های بازتابنده تخت نیز گفته می‌شود چرا که از ترکیب دو فناوری بازتابنده‌ها و آرایه‌ها شکل گرفته است[۲].

۱-۳ ابداعات و توسعه‌های اوّلیه

با توجه به این نکته که اطلاع از سیر تکاملی هر پدیده، به درک آن پدیده کمک قابل توجهی می‌نماید، در ادامه به جزئیات تاریخچه آنتن‌های آرایه بازتابی از بدو ابداع آن‌ها خواهیم پرداخت.

مفهوم آرایه بازتابی برای اولین بار در اوایل دهه ۶۰ توسط بری[۲]، ملک[۳] و کندی[۴] مطرح شد [۱]. در این طرح از موجبرهای مستطیلی با طول متغیر و انتهای اتصال کوتاه برای ایجاد پترن فاز ثابت

[1] Far-field
[2] Berry
[3] Malech
[4] Kennedy