۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–مخابرات موج

طراحی و ساخت آنتن آرایه بازتابی مایکرواستریپ پهن‌باند در باند فرکانسی ۱۰ – ۱۲ گیگاهرتز

توسط:

حامد حسنی

استاد راهنما:

دکتر منوچهر کامیاب حصاری

استاد مشاور:

دکتر علی میرکمالی

شهریور ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

پدر و مادرم...

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**تأییدیه هیأت داوران**	شماره: تاریخ:

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

طراحی و ساخت آنتن آرایه بازتابی مایکرواستریپ پهن باند دوبانده فرکانس ۱۲-۱۰ گیگاهرتز

توسط آقای / ~~خانم~~ حامد حسن ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته برق - مخابرات گرایش موج در تاریخ ۲۴ / ۷ / ۱۳۸۹ مورد تأیید قرار می‌هند.

۱- استاد راهنمای اول	جناب آقای / ~~سرکار خانم دکتر~~	سید میرهادی	امضاء
۲- استاد راهنمای دوم	جناب آقای / سرکار خانم دکتر		امضاء
۳- استاد مشاور	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	علی میرکمالی	امضاء
۴- ممتحن داخلی	جناب آقای / سرکار ~~خانم~~ دکتر	توکل پاکیزه	امضاء
۵- ممتحن خارجی	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	رامین ن	امضاء
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	جناب آقای / سرکار خانم دکتر		امضاء

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**اظهارنامه دانشجو**	شماره: تاریخ:

اینجانب حامد حسنی دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی برق - مخابرات

گرایش مدرج دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

طراحی سامانه آنتن آرایه‌ای با کیفیت بهبود یافته در باند فرکانسی ۱۲ - ۱۰ گیگاهرتز

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار/خانم دکتر مهندس محمد کاویانی حصاری ، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ: ۸۹/۶/۲۱

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

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

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

با تقدیر ویژه از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر منوچهر کامیاب حصاری که در طول انجام پروژه با راهنمایی‌ها و تشویق‌های خود مرا یاری دادند. همچنین از استاد مشاور خود، جناب آقای دکتر علی میرکمالی برای کمک‌های فراوان ایشان در طول پروژه به خصوص در ویرایش مقالات، تشکر فراوانی دارم. و در آخر بر خود لازم می‌دانم از آقای مهندس ابوتراب که در تست آنتن‌های ارائه شده در این پروژه به من یاری رساندند، تشکر کنم.

از مرکز تحقیقات مخابرات ایران نیز به خاطر حمایت مالی این پروژه سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

در این پایان‌نامه به طراحی و ساخت یک آنتن آرایه بازتابی پهن باند در باند فرکانسی ۱۰ تا ۱۲ گیگاهرتز پرداخته شده است. بدین منظور سه آنتن آرایه بازتابی طراحی و ساخته شده است. در آنتن اول از المان‌های پچ دایروی ساده تک لایه استفاده شده است که نتایج تست نشان می‌دهند پهنای باند ۳ dB این آنتن ۹ درصد است که این مقدار برای این نوع آنتن‌ها پایین محسوب می‌شود. برای افزایش پهنای باند این آنتن، المان جدیدی ارائه شده که از یک پچ دایروی به همراه دنباله‌های متصل به این پچ، تشکیل شده است. این دنباله‌ها به دور پچ دایروی گردانیده شده است که این امر فاصله بین المانها را کاهش داده و از بازتابهای ناخواسته از صفحه زمین جلوگیری می‌کند. نتایج ساخت آنتن دوم که در آن از المان جدید استفاده شده، نشان می‌دهد که به رغم استفاده از زیر لایه نازک به ضخامت ۰/۸۳ میلیمتر، که البته کاهش هزینه را به دنبال دارد، پهنای باند ۳ dB آنتن دوم به ۱۸ درصد رسیده است.

علاوه بر این، به منظور افزایش بازدهی و کاهش قطبش متعامد آنتن دوم، روش جدیدی ارائه شده که در این روش، هر المان آینه المان مجاور خود است. با استفاده از این روش آنتن سوم طراحی و ساخته شده است که تمامی مشخصات آن، البته بجز نحوه چیدمان المان‌ها، دقیقاً مشابه آنتن دوم است. نتایج تست آنتن سوم نشان دهنده کاهش ۱ تا ۱۲dB در قطبش متعامد آنتن سوم نسبت به آنتن دوم، هستند.

کلید واژه: آنتن آرایه بازتابی، مایکرواستریپ، قطبش متعامد

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- آنتن‌های آرایه بازتابی ۱

۱-۲- آرایه بازتابی چاپی ۳

۱-۲-۱- مزایای آرایه بازتابی چاپی ۳

۱-۲-۳- معایب آرایه بازتابی ٤

۱-۳- آرایه بازتابی موجبری در سال ۱۹۶۰ ..... ٥

۱-۴- آنتن‌های آرایه بازتابی مایکرواستریپی ٦

۱-۵- پیشرفت های اخیر ۸

۱-۶- مقایسه با تکنولوژیهای مشابه ۱٦

۱-۶-۱- آرایه لنز ۱۷

۱-۶-۲- بازتاباننده فرنل ۱۹

فصل ۲- روشهای تحلیل آنتن آرایه بازتابی ۲۱

۲-۱- مقدمه ۲۱

۲-۲- مروری بر روش های تحلیل ۲٤
۲-۳- توزیع شیفت فاز ۲٦
۲-۴- تحلیل پچ‌های مستطیلی با دنباله های متصل ۲۸
۲-۵- المان شیفت دهندۀ فاز بر مبنای پچ با اندازۀ متغیر تک لایه و چند لایه..... ۳۲
۲-۵-۲- المانهای تک لایه ۳۲
۲-۵-۳- المانهای چند لایه..... ۳٤
۲-۵-۴- اندازه‌گیری شیفت فاز و تلفات در شبیه ساز موجبری ۳٦
۲-۶- المانهای شیفت دهندۀ فاز بر مبنای پچ‌های روزنه-کوپلی..... ۳۹
۲-۶-۲- طراحی المان آنتن آرایه بازتابی ٤۱
۲-۶-۳- منحنیهای تاخیر فاز ٤۲
۲-۷- مدل فید و پترن تشعشعی ۵۰
۲-۷-۱- میدان روی المانهای آنتن آرایه بازتابی..... ۵۱
۲-۷-۲- پترن تشعشعی ۵۳
۲-۷-۳- محاسبۀ بهره ۵٦
۲-۸- اثرات المان و انتخاب آن..... ۵۸
۲-۸-۱- فاز ضریب انعکاس المان ۵۸
۲-۸-۲- پهنای بیم المان..... ٦۰

۲-۸-۳- پهنای باند المان ٦١

۲-۸-۴- بازدهی بازتابی المان..... ٦١

۲-۸-۵- فاصلهٔ المان ٦٣

۲-۹- طول مسیر و محاسبهٔ تاخیر فاز..... ٦٣

۲-۱۰- محاسبهٔ پترن تشعشعی ٦٤

۲-۱۱- طراحی ابعاد آنتن آرایه بازتابی..... ٦٦

۲-۱۲- توان در آنتن آرایه بازتابی ۷۰

فصل ۳- طراحی و ساخت آنتن آرایه بازتابی با المانهای دایروی..... ۷۲

۳-۱-۱- المان..... ۷۲

۳-۱-۲- جایگذاری المانها..... ۷۳

۳-۱-۳- شبیه سازی..... ۷٦

۳-۱-۴- ساخت آنتن ۷٦

فصل ۴- روشهای افزایش پهنای باند ۸۲

۴-۱- محدودیت پهنای باند ناشی از المان ۸۲

۴-۲- المانهای شیفت دهندهٔ فاز پهن باند..... ۸٤

۴-۲-۲- پچهای روزنه کوپلی ۸۵

۴-۲-۳- پچ چند لایه ۸٦

۴-۲-۴- المانهای مختلف دیگر برای بهبود پهنای باند ۸۹

۴-۳- محدودیت پهنای باند ناشی از اختلاف تاخیر فاز فضایی..... ۹۰

۴-۴- روشهای افزایش پهنای باند برای آنتن‌های آرایه بازتابی بزرگ ۹۶

۴-۴-۱- آنتن‌های آرایه بازتابی با تاخیر زمانی حقیقی..... ۹۶

۴-۴-۲- جبران تاخیر فاز در یک باند فرکانسی ۹۹

فصل ۵- طراحی و ساخت آنتن نهایی ۱۰۴

۵-۱- معرفی المان..... ۱۰۴

۵-۲- روند طراحی المان..... ۱۰۵

۵-۳- کاهش قطبش متعامد..... ۱۱۰

۵-۴- ساخت آنتن سوم ۱۱۳

نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۱۸

لیست مقالات استخراج شده از پایان‌نامه..... ۱۱۹

منابع و مراجع..... ۱۱۹

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱) آنتن آرایه بازتابی.....۲

شکل (۱-۲) آنتن آرایه بازتابی چاپی با المانهای مختلف(a) پچ با اندازه متفاوت(b) دیپل(c) پچ با اندازه ثابت ولی با زاویه چرخان(d) پچ با دنباله‌هایی با اندازه متفاوت.....۲

شکل (۱-۳) آرایه بازتابی چاپی.....۳

شکل (۱-۴) اختلاف فاز فضایی دیفرانسیلی ۵

شکل (۱-۵) آنتن آرایه بازتابی با المانهای موجبری.....۶

شکل (۱-۶) آنتن آرایه بازتابی مایکرواستریپی با المانهای پچ دنباله‌دار ۷

شکل (۱-۷) ایجاد تقارن در المانها به منظور کاهش قطبش متعامد.....۸

شکل (۱-۸) آنتن آرایه بازتابی با دو قطبی چاپی با طول‌های مختلف.....۹

شکل (۱-۹) آنتن Fresnel-zone چاپی با حلقه‌هایی با قطرهای مختلف ۱۰

شکل (۱-۱۰) پویش پرتو بوسیلهٔ چرخاندن المانها با میکروموتورها ۱۱

شکل (۱-۱۱) آنتن آرایه بازتابی چندلایه برای افزایش پهنای باند.....۱۲

شکل (۱-۱۲) المان آنتن آرایه بازتابی تقویتی در باندX ۱۳

شکل (۱-۱۳) ترکیب المانهای آنتن آرایه بازتابی با سلولهای خورشیدی ۱۴

شکل (۱-۱۴) . آنتن آرایه بازتابی با ساختار تاشده به منظور کاهش حجم آنتن ۱۵

شکل (۱-۱۵) . تصویر شماتیک از آنتن آرایه بازتابی کنترل شوندهٔ فوتونیک.....۱۶

شکل (۱-۱۶) . ساختار آرایهٔ لنز.....۱۷

شکل (۱-۱۷) . المان یک آرایهٔ لنز.....۱۸

شکل (۱-۱۸) . حساسیت کم مسیرهای ۱و۲و۳ به ناهمواریهای سطح.....۱۸

شکل (۱-۱۹) . بازتابانندهٔ فرسنل ۲۰

شکل (۲-۱) . ساختار یک آنتن آرایه بازتابی نوعی.....۲۲

شکل (۲-۲) . المانهای آنتن آرایه بازتابی (a) پچ مربعی با دنباله‌های متصل (b) پچ‌هایی با اندازه‌های مختلف ۲۲

شکل (۲-۳) . توزیع شیفت فاز لازم در آنتن آرایه بازتابی با صفحهٔ مربعی.....۲۸

شکل (۲-۴) فاز موج بازگشتی برای تابش عمودی بر حسب طول دنباله [۳] $(t = 1.52mm, \varepsilon_r = 3.5)$ ۳۰

شکل (۲-۵) . پچ با دنباله متصل (a) خط فرورفته(b) خط خم شده ۳۱

شکل (۲-۶) . میدان بازگشتی برای تابش عمودی بر حسب طول دنباله $(t = 1.59mm, \varepsilon_r = 3.2)$ (a) شیفت فاز (b)تلفات ۳۱

شکل (۲-۷) . پچ‌هایی با طولهای مختلف روی دی‌الکتریک زمین شده ۳۲

شکل (۲-۸) . شیفت فازی با فرض تابش عمودی برای المانهای پچ مربعی روی دی‌الکتریک زمین شده بر حسب اندازهٔ پچ a_1 درسه فرکانس مختلف $(a = b = 14mm, t = 1mm, \varepsilon_r = 1.05)$ ۳۳

شکل (۲-۹) . آنتن آرایه بازتابی دولایه (a)سلول پریوریک (b)ساختار چند لایه ۳۴

شکل (۲-۱۰) . شیفت فازی با فرض تابش عمودی برای ساختار چند لایه تعریف شده در شکل ۳-۱۳ برحسب اندازهٔ پچ نزدیک به صفحهٔ زمین$\left(a_1 = b_1, a_2 = b_2, a = b = 14mm, t_1 = t_2 = 3mm, \varepsilon_r = 1.05\right)$ (a) دو لایه $\left(a_1 = 0.7a_2\right)$ (b) سه لایه $\left(a_1 = 0.7a_3, a_2 = 0.9a_3\right)$.....۳۵

شکل (۲-۱۱) . شیفت فازی برای زوایای تابش گوناگون برای ساختار پریودیک سه لایه، بر حسب اندازهٔ پچ: a_3 .....۳۶

شکل (۲-۱۲) . نمونه‌ها برای اندازه‌گیری در شبیه ساز موجبری.....۳۸

شکل (۲-۱۳) . مقایسهٔ شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در WGS (a) شیفت فازی برای سه نمونه (b) تلفات مربوط به پچ‌های بزرگ. ۳۸

شکل (۲-۱۴) . سلول پریودیک روزنه-کوپلی (a)تصویر گسترده (b)تصویر از بالا.....۴۰

شکل (۲-۱۵) . المان روزنه کوپلی. (a) مدل طراحی المان (b) مدل برای محاسبهٔ منحنیهای شیفت فاز ۴۱

شکل (۲-۱۶) . مشخصات خط مایکرواستریپ. (a)تلفات بازگشتی، (b) امپدانس ورودی ۴۲

شکل (۲-۱۷) . دامنه و فاز ضریب انعکاس در سلول پریودیک به عنوان تابعی از طول دوقطبی برای خط 50Ω و $\varepsilon_{rs1} = 3.2$. ۴۳

شکل (۲-۱۸) . دامنه و فاز ضریب انعکاس برای المان آنتن آرایه بازتابی ۴۴

شکل (۲-۱۹) . نمونه‌ها برای اندازه‌گیری در شبیه‌ساز موجبری WR112[۳].....۴۴

شکل (۲-۲۰) . شیفت فازی المانهای آرایه بازتابی در WGS.....۴۵

شکل (۲-۲۱) . تلفات بازگشتی در WGS ۴۵

شکل (۲-۲۲) . المان ارایه بازتابی با خط تاخیر Uشکل(a) تصویر گسترده (b) تصویر از بالا.....۴۶

شکل (۲-۲۳) دامنه وفاز ضریب انعکاس برای سلول پریودیک به عنوان تابعی از طول دوقطبی و با فرض دنباله تطبیقی اصلاح شده [۳].....۴۷

شکل (۲-۲۴) . شیفت فازی به عنوان تابعی از طول خط تاخیر و طول دنباله ۴۸

شکل (۲-۲۵) . ضریب انعکاس به عنوان تابعی از طول خط برای طول روزنهٔ 6.77mm (a) فاز شبیه-سازی شده و مقایسهٔ آن با مقدار ایده‌آل $-2\beta L$، (b) دامنهٔ انعکاسی با و بدون صفحهٔ زمین. ۴۹

شکل (۲-۲۶) . شیفت فازی برای زوایای تابش گوناگون در المان روزنه-کوپلی بر حسب طول خط. ۴۹

شکل (۲-۲۷) . دستگاه مختصات آنتن آرایه بازتابی و فید. ۵۲

شکل (۲-۲۸) . شبیه‌ساز موجبری با دیوار مغناطیسی برای محاسبهٔ شیفت فازی المان. ۵۹

شکل (۲-۲۹) . شیفت فازی نوعی برای المان آنتن آرایه بازتابی ۶۰

شکل (۲-۳۰) . اثر پترن المان آنتن. ۶۱

شکل (۲-۳۱) موج بازتابی و انتشاری در المان آنتن. شکل سمت راست زاویهٔ تابشی را برای المانهای کناری نشان می‌دهد. ۶۲

شکل (۲-۳۲) . مختصات آنتن آرایه بازتابی ۶۵

شکل (۲-۳۳) . بازدهی روشنایی و سرریز برا حسب شکل پترن فید [۳] ۶۷

شکل (۲-۳۴) . بازدهی روزنه بر حسب نسبت f/D [۳] ۶۸

شکل (۲-۳۵) . پترن تشعشعی محاسبه شده بدون درنظر گرفتن اثرات لبه، قطر روزنه: ۱۴۴برابر طول موج [۳] ۶۹

شکل (۲-۳۶) . پترن تشعشعی محاسبه شده با درنظر گرفتن اثرات لبه، قطر روزنه: ۱۴۴برابر طولموج [۳] ۶۹

شکل (۲-۳۷) . پترن تشعشعی محاسبه شده بدون درنظر گرفتن اثرات لبه، قطر روزنه: ۱۰برابر طولموج [۳].....۷۰

شکل (۲-۳۸) . پترن تشعشعی محاسبه شده با درنظر گرفتن اثرات لبه، قطر روزنه: ۱۰برابر طولموج [۳].....۷۰

شکل (۳-۱) ساختمان المان.....۷۲

شکل (۳-۲) پاسخ فاز المان دایروی به ازای S=11.4mm در فرکانس مرکزی 11.7GHz.....۷۳

شکل (۳-۳) توزیع فاز در فرکانس ۷/ ۱۱ گیگاهرتز برای تعداد المانهای ۱۹×۱۹.....۷۴

شکل (۳-۴) آنتن هورن به همراه پترن تشعشعی.....۷۶

شکل (۳-۵) آنتن شبیه سازی شده و ساخته شده.....۷۷

شکل (۳-۶) پترن صفحه E محاسبه شده، شبیه‌سازی شده و ساخته شده در فرکانس ۱۰/۷ گیگاهرتز.....۷۸

شکل (۳-۷) . پترن صفحه E محاسبه شده، شبیه‌سازی شده و ساخته شده در فرکانس ۱۱/۷ گیگاهرتز.....۷۸

شکل (۳-۸) پترن صفحه E محاسبه شده، شبیه‌سازی شده و ساخته شده در فرکانس ۱۲/۷ گیگاهرتز.....۷۹

شکل (۳-۹) . بهره شبیه‌سازی شده و ساخته شده در فرکانس ۱۲.۷ گیگاهرتز.....۸۰

شکل (۳-۱۰) بهره شبیه‌سازی شده برای اندازه‌های مختلف رفلکتور.....۸۱

شکل (۴-۱) . پاسخ فاز برای پچ با دنباله‌های متصل (a) المان (b) پاسخ فاز با فرض تابش عمودی بر حسب طول دنباله [۳] $t = 1.59mm, \varepsilon_r = 3.2$ ۸۳

شکل (۴-۲) . شیفت فازی با فرض تابش عمودی برای آرایهٔ پریودیک از پچ‌های مربعی روی دیالکتریک زمین شده بر حسب اندازهٔ پچ a_1: [۳] در سه فرکانس مختلف. $\left(P_x = P_y = 14mm, t = 1mm, \varepsilon_r = 1.05\right)$ ۸۳

شکل (۴-۳) . المان روزنه-کوپلی. (a) تصویر گسترده، (b) تاخیر فازی برحسب طول خط [۳]..... ۸۵

شکل (۴-۴) . المان دولایه با پچ‌های مختلف (a) سلول پریودیک (b) شیفت فازی [۳] $\left(a_1 = b_1, a_2 = b_2, P_x = P_y = 14mm, t_1 = t_2 = 3mm, \varepsilon_r = 1.05, a_1 = 0.7a_2\right)$ ۸۷

شکل (۴-۵) . پترن اندازه‌گیری شده برای یک آنتن دو لایه به قطر $40cm$ [۳] ۸۸

شکل (۴-۶) . آنتن آرایه بازتابی و آنتن سهمی وار معادل..... ۹۱

شکل (۴-۷) تاخیر فاز برای یک آنتن آرایه بازتابی به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر ۱ [۳] ۹۳

شکل (۴-۸) . شیفت فاز برای یک آنتن آرایه بازتابی به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر ۱ [۳] ... ۹۴

شکل (۴-۹) . اختلاف فاز برای یک آنتن آرایه بازتابی به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر ۱ در فرکانسهای $12.6GHz$ و $12.0GHz$ [۳]. ۹۴

شکل (۴-۱۰) پترن محاسبه شده برای یک آنتن آرایه بازتابی با تغذیهٔ آفست به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر ۱ با فرض المانهای ایده‌آل [۳]..... ۹۵

شکل (۴-۱۱) . پترن محاسبه شده برای یک آنتن آرایه بازتابی با تغذیهٔ مرکزی به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر ۱ با فرض المانهای ایده‌آل [۳]..... ۹۵

شکل (۴-۱۲) . ضریب انعکاس بر حسب طول خط(a) تاخیر فازی شبیه‌سازی شده و مقایسهٔ آن با $-2\beta L$ (b) تلفات بازگشتی با و بدون صفحهٔ زمین ۹۸

شکل (۴-۱۳) . المان آرایه بازتابی با خط تاخیر U شکل. (a) تاخیر فازی شبیه‌سازی شده و مقایسهٔ آن با $-2\beta L$ (b) تلفات بازگشتی با و بدون صفحهٔ زمین..... ۹۸

شکل (۴-۱۴) المانهای روزنه کوپلی برای قطبش دوخطی..... ۹۹

شکل (۴-۱۵) اختلاف در تاخیر فازی برای یک آنتن آرایه بازتابی به قطر $1.5m$ با نسبت f/D برابر واحد در فرکانسهای $12.6GHz$ و $11.4GHz$[۳]..... ۱۰۰

شکل (۴-۱۶) . ضریب انعکاس برای آنتن با ساختار پریودیک چند لایه با پچهای مربعی در فرکانسهای $f_0 = 12GHz, f_1 = 11.4GHz$ و $f_2 = 12.6GHz$. اختلاف فاز $(a_1 = 0.7a_2, t = 3mm)$ برای دولایه و $(a_1 = 0.7a_3, a_2 = 0.9a_3, t = 2mm)$ برای سه لایه(a) فاز (b) اختلاف فاز [۳]. ۱۰۱

شکل (۴-۱۷) . پترن تشعشعی در باند فرکانسی $11.4-12.6GHz$ باند(a) آنتن آرایه بازتابی بهینه-سازی نشده(b) آنتن آرایه بازتابی بهینه‌سازی شده [۳]. ۱۰۳

شکل (۵-۱) . ساختمان المان ۱۰۴

شکل (۵-۲) امپدانس ورودی آنتن از دید انتهای استاب ۱۰۶

شکل (۵-۳) .المان در داخل موجبر برای بدست آوردن پاسخ فاز..... ۱۰۶

شکل (۵-۴) پاسخ فاز المان در فرکانسهای مختلف..... ۱۰۷

شکل (۵-۵) آنتن ساخته شده به همراه نمودار بهره آنتن..... ۱۰۸

شکل (۵-۶) آنتن ساخته شده به همراه نمودارهای پترن صفحات E و H ۱۰۹

شکل (۵-۷) توزیع جریان روی المانها در آنتن آرایه بازتابی در a) روش ارائه شده در[۲۶] b) روش جدید..... ۱۱۱

شکل (۵-۸) تحریک سلول با جهت جریان برای a) روش معمول b) روش جدید..... ۱۱۱

شکل (۵-۹) پاسخ فاز دو سلول واحد به ازای زوایای تابش مختلف..... ۱۱۲

شکل (۵-۱۰) دامنه موج بازتابش برای هر دو سلول..... ۱۱۳

شکل (۵-۱۱) آنتن سوم ساخته شده با اعمال روش جدید ۱۱۴

شکل (۵-۱۲) آنتن ساخته شده سوم با روش جدید به همراه نمودارهای بهره و پترن صفحات E و H ۱۱۵

شکل (۵-۱۳) مقایسه سطح قطبش متعامد، سطح لوب کناری و سطح لوب پشتی آنتن‌های دوم و سوم ۱۱۶

شکل (۵-۱۴) مقایسه بهره دو آنتن ۱۱۷

فهرست جداول

جدول (۲-۱) مشخصات آنتن آرایه بازتابی ٤۳

جدول (۲-۲) مشخصات آنتن آرایه بازتابی ٤۷

جدول (٤-۱) . مقایسه آنتنهای آرایه بازتابی تک لایه و دولایه ۸۸

جدول (٤-۲) . ابعاد المان روزنه کوپلی آنتن آرایه بازتابی ۹۷