بسم الله الرحمن الرحيم

٩٨٩٨٧

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مخابرات میدان

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن آرایه‌ای با المان‌های شیپوری TEM

سجاد ترحمی

استاد راهنما:

دکتر حکاک

استاد مشاور:

دکتر علی‌رضا ملاح‌زاده

۱۳۸۷ /۷/ ۱۵

زمستان ۸۶

۹۸۹۸۷

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای **سجاد ترحمی** پایان نامه ۹ واحدی خود را **با عنوان طراحی،شبیه سازی وساخت آنتن آرایه پهن باند با المانهای شیپوری TEM** در تاریخ ۱۳۸٦/۱۲/۱۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد حکاک	استاد	
استاد مشاور	دکتر علیرضا ملاح زاده		
استاد ناظر	دکتر کیوان فرورقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فرخ آرزم	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر کیوان فرورقی	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها 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 پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای 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 ۵ماده 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.

۱۳۸۷ /۷/ ۱۵

نام و نام خانوادگی

امضاء

سعاد ترحیمی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

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

ماده۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علم 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/ رساله دکتری نگارنده در رشته مخابرات است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی - دفتر برق دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمد حکاک مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکت علیرضا ملاح زاده و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ——— از آن دفا شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر د معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند; به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سجاد ترحمی دانشجوی رشته مخابرات - میدان مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی

تاریخ و امضاء:

سجاد ترحمی

۸۶/۱۲/۱۹

این پایان نامه با استفاده از حمایتهای مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران طبق قرارداد
۵۰۰/۱۰۳۱۴/ت در تاریخ ۸۶/۷/۱۴ انجام شده است.

تقدیم به همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

اکنون که به لطف و کرم ایزد منان با ارائه‌ی این پایان‌نامه یکی دیگر از مراحل تحصیل را پشت سر می‌گذارم، حمد و سپاس فراوان خود را به درگاه با عظمتش تقدیم می‌کنم و توفیق به کارگیری این نعمت را در جهت کسب رضایت او و خدمت به بندگانش مسئلت دارم.

وظیفه‌ی خود می‌دانم که از زحمات استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد حکاک که راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و مرا در اجرای آن صمیمانه و با گشاده‌رویی یاری رساندند، تشکر و قدردانی کنم. انجام مراحل تحقیق، جز به پشتوانه‌ی ایشان امکان‌پذیر نبود.

از اساتید محترم خود دکتر کیوان فرورقی و دکتر زهرا اطلس باف که از راهنمایی و همکاری ایشان بهره‌ی فراوان برده‌ام سپاسگزارم. همچنین از زحمات دوست عزیز خود جناب آقای علی غلامرضایی که در مراحل مختلف پایان‌نامه مرا همراهی کردند تشکر می‌کنم.

در پایان موفقیت خود را مرهون خانواده‌ی خود می‌بینم که صبر و گذشت ایشان مایه‌ی دلگرمی و دعایشان امیدبخش زندگیم خواهد بود.

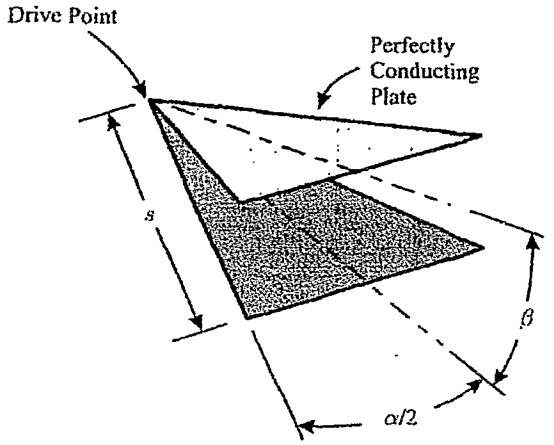
چکیده:

دو هادی که دهانه آنها از هم باز شده (باز شدگی به صورت یکنواخت یا پله ای) و مد TEM بین آنها قابل انتشار است ،آنتن های شیپوری TEM را تشکیل می دهند . این نوع شیپوریها بر خلاف شیپوری های موجبری که در آنها مد قطع وجود دارد، می توانند تا یک اکتاو پهنای باند و حتی بیشتر تشعشع کنند ، و لذا در خانواده آنتن های باند وسیع قرار می گیرد. به همین دلیل کاربرد این آنتن ها در رادار های باند پهن و سیستم های مخابراتی به دلیل پهن باند بودن و تشعشع جهت دار و اعوجاج کم که در آنها پالس های باریک به کار گرفته می شود مورد توجه قرار گرفته است. . این آنتن در واقع از یک خط انتقال "دو صفحه موازی" تشکیل شده است که به تدریج و به صورت خطی یا نمایی پهنای صفحات و فاصله آنها از یکدیگر زیاد می شوند. بنابراین به دلیل این که این آنتن می تواند امواج TEM را منتشر کند، به آن آنتن شیپوری TEM می گویند.

ساختار اساسی آنتن شیپوری TEM ترکیبی از دو صفحه فلزی با دو نوع بازشدگی نمایی و خطی است. برخلاف آنتن های شیپوری اصلی دیگر، دو صفحه از هم جدا شده و توسط خط کواکسیال تغذیه می شوند. جریان جاری شده درکابل کواکسیال با توجه به عدم تطبیق امپدانسی بین هادی داخلی ، کابل کواکسیال و صفحه بالایی در نقطه تغذیه تبدیل به موج می شود . در حالی که انتشار بین دو صفحه، موج تولید شده تحت تاثیر میدان های مغناطیسی به خاطر جریان موجود بین دو صفحه و میدان های الکتریکی به خاطر اختلاف ولتاژ بین دو صفحه می باشد. سپس امواج تحت میدان های الکتریکی و مغناطیسی که مدهای TEM را تشکیل می دهند، انتشار می یابند.

به خاطر عرض دهانه های متفاوت ، طول شیپوری، شکل هادی شیپوری، ورقه دی الکتریک، ثابت دی الکتریک و ضخامت آن و انواع تغذیه ، ارائه اطلاعات طراحی ، مخصوصا برای شیپوری های نسبتا کوچک که در آرایه ها مفید هستند، غیر ممکن است.

آنتن شیپوری TEM متداول ترین آنتن پهن باند به شمار مـی آیـد. سـاختار کلـی آنـتن دارای ساختاری ساده می باشد که فقط از دو صفه فلزی مثلثی شکل و یک سـاختار تغذیـه تشـکیل شـده است. با صرفنظر از ساختار تغذیه برای روش ممان ، آنتن شیپوری کاملا توسط سه پارامتر α ، βو s معین می شود. همان گونه که در شکل 1 نشان داده شده است ، α برابر با پهنای زاویه ای در هـر صفحه ، β براب با زاویه بازشدگی بین دو صفحه و s برابر با طول آنتن است که از نقطه تحریک تـا لبه صفحه اندازه گیری شده است.



شکل (۱) ،ساختار اصلی آنتن شیپوری TEM [3]

بسیاری از تحقیقات بر روی مشخص نمودن ساختار آنتن به منظور کارایی بهتـر متمرکـز شـده است. این تلاش ها بارگذاری مقـاومتی بـین دو صـفحه و-شـکل دهـی صـفحات را هـم شـامل مـی شود.آنچه مورد توجه است این است که اطلاعات طرح های بسیار اندکی برای آنـتن هـای شـیپوری TEM در مقایسه با سایر شیپوری ها مانند شیپوری های سکتورال و هرمی، در دسترس می باشد.

در این پروژه ، به معرفی ، طراحی و شبیه سازی و ساخت این نوع از آنتن ها می پردازیم. آنـتن های ساخته شده ، دارای مشخصات باند فرکانسی ۱ تا ۶ گیگاهرتز برای VSWR کمتـر از ۲.۵ مـی باشد. به طور کلی در این پروژه دو نوع از این آنتن مورد توجه قرار گرفته است. ابتدا یک تـک المـان را مورد بررسی قرار داده و سپس به بررسی یک آرایه ۲×۲ از المان هـای آنـتن شـیپوری TEM مـی پردازیم. در مدل آرایه ای فاصله بین مرکز آنتن هـا کمتـر از $\lambda/2$ در نظـر گرفتـه شـده اسـت. (λ

مربوط به بالاترین فرکانس در نظر گرفته شده است.) زیـرا نمـی خـواهیم در آرایـه Grating Lobe داشته باشیم. برای تغذیه این آنتن ها ساختار تغذیه به صورت مبدل تغذیه کواکسـیال بـه صـفحات موازی (Parallel Plate) یا موجبر انتخاب گردیده است .

با توجه به اطلاعات موجود در کشور آرایه آنتنی با المانهـای مـذکور طراحـی نشـده اسـت. لـذا طراحی آرایه فوق برای تابش پالسهای راداری مفید بوده و می تواند گـین مطلـوب را در فرکانسـهای پایین باند بدست دهد. ضمنا ، طراحی آرایه فوق در بردارنده نکات بسـیار ظریفـی در طراحـی آرایـه های باند وسیع است که از این لحاظ در جهت تولید دانش فنی مرتبط بـا طراحـی آرایـه هـای بانـد وسیع بسیار مفید است.

فهرست مطالب:

فصل ۱ : کلیات آنتن های شیپوری ۱۵

۱-۱- میدان ها و پترن تشعشعی آنتن شیپوری TEM ۲۳

۱-۲- سمتگرایی آنتن شیپوری TEM ۲۶

۱-۳- ضریب انعکاس آنتن شیپوری TEM ۲۹

۱-۴- امپدانس مشخصه آنتن شیپوری TEM ۳۱

۱-۵- مدل آنتن شیپوری TEM ۳۳

۱-۶- گراف های طراحی ۳۵

فصل ۲ : نگاهی گذرا به اصطلاحات و تعاریف مربوط به آرایه آنتن ها ۴۲

۲-۱- آرایه ها ۴۳

۲-۲- چرا آرایه؟ ۴۳

۲-۳- اصطلاحات و مولفه ها ۴۴

۲-۴- آرایه ها از دید روابط ریاضی ۴۹

۲-۵- آرایه ها و کاربرد ها ۵۰

فصل ۳ : طراحی آنتن شیپوری TEM ۵۴

۳-۱- مشخص کردن طول صفحات آنتن ۵۵

۳-۲- محاسبه تغییرات امپدانس در طول آنتن : ۵۵

۳-۳- مشخص نمودن نحوه باز شدگی صفحات هادی آنتن ۵۶

۳-۴- محاسبه پهنای صفحات هادی آنتن ۵۷

فصل ۴ : طراحی و شبیه سازی آنتن ۵۹

۴-۱- اصول کلی طراحی آنتن ۶۰

۴-۲- طراحی و شبیه سازی آنتن تک المان ۶۱
۴-۳- طراحی و شبیه سازی آرایه آنتن ۲×۲ ..... ۶۶
۴-۴- شبیه سازی آنتن ۷۰
۴-۵- نتایج شبیه سازی آرایه آنتن ۲×۲ ..... ۷۳
فصل ۵ : نتایج اندازه گیری و ساخت آنتن ۷۸
۵-۱- نتایج اندازه گیری مشخصات امپدانسی آنتن ۷۹
۵-۲- نتایج اندازه گیری پترن آنتن ۸۳
فصل ۶ : نتیجه گیری و پیشنهاد ۹۶
مراجع ۹۸

فهرست شکل‌ها:

شکل (۱-۱) ،ساختار اصلی آنتن شیپوری TEM [3]..... ۳

شکل (۱-۲) ساختار معادل تصویر آنتن شیپوری TEM [7]..... ۱۶

شکل (۱-۳) امپدانس مشخصه آنتن شیپوری TEM بر حسب زاویه α، با زاویه $\frac{\beta}{2}=16^0$ [7]..... ۱۷

شکل (۱-۴) امپدانس مشخصه آنتن شیپوری TEM بر حسب زاویه $\frac{\beta}{2}$، با زاویه $\alpha=60^0$ [7]..... ۱۷

شکل (۱-۵) امپدانس مشخصه برحسب زاویه α [7]..... ۱۸

شکل (۱-۶) آنتن شیپوری TEM ، ساختار سه بعدی و دو دید از بالا و کنار آن [3]..... ۱۹

شکل (۱-۷) ضریب بازتاب اندازه گیری شده برای آنتن شیپوری TEM با تغذیه مستقیم و متعادل .
ساختار هندسی آنتن شیپوری TEM و پارامترهای ابعاد آن نیز نشان داده شده است.[2]..... ۲۰

شکل (۱-۸)، توزیع جریان های به دست آمده روی یکی از صفحات آنتن شیپوری TEM در
فرکانس های 2 GHz ، 4 GHz و 7 GHz .[2]..... ۲۰

شکل (۱-۹) پترن های میدان دور اندازه گیری شده آنتن شیپوری TEM برای دو نوع تغذیه
متعادل و نامتعادل در فرکانس 2 GHz[2]..... ۲۱

شکل (۱-۱۰) پترن های میدان دور اندازه گیری شده آنتن شیپوری TEM برای دو نوع تغذیه
متعادل و نامتعادل در فرکانس 4 GHz[2]..... ۲۱

شکل (۱-۱۱) آنتن شیپوری TEM با تغذیه مستقیم [2]..... ۲۲

شکل (۱-۱۲)، آنتن شیپوری TEM با تغذیه متعادل . کابل کواکسیال به یکی از صفحات مثلثی
آنتن در نقطه به چگالی جریان کم متصل شده است. [2]..... ۲۲

شکل (۱-۱۳) توزیع تقریبی میدان الکتریکی در آنتن شیپوری TEM، الف-در راستای آنتن ب-
روی سطح روزنه آنتن [3] ۲۴
شکل (۱-۱۴) پرتو تشعشعی نرمالیزه E-plane یا H-plane به ازاء t های مختلف [3] ۲۶
شکل (۱-۱۵) سمتگرایی D_H نسبت به $\frac{A}{\lambda}$ برای مقادیر مختلف $\frac{R_1}{\lambda}$ [3] ۲۸
شکل (۱-۱۶) سمتگرایی بهینه برحسب فرکانس [3] ۲۸
شکل (۱-۱۷) ضریب انعکاس آنتن شیپوری برحسب طول نسبی آن [3] ۳۰
شکل (۱-۱۸) ضریب انعکاس آنتن برحسب فرکانس نسبی [3] ۳۱
شکل (۱-۱۹)امپدانس مشخصه ، Z_C، آنتن شیپوری TEM به عنوان تابعی از زوایای α و β.[4] ۳۲
شکل (۱-۲۰) امپدانس ورودی $Z = R + jX$ ، برحسب طول الکتریکی آنتن شیپوری . در این آنتن
، $\alpha = 47.30^0$ ، $\beta = 20^0$ و $Z_C = 100\Omega$ [4] ۳۲
شکل (۱-۲۱) آنتن شیپوری TEM ، که توسط خط انتقال صفحه موازی تغذیه شده است. [4] ۳۳
شکل (۱-۲۲) مدل به کار رفته برای تغذیه آنتن شیپوری TEM در شبیه سازی های عددی [4] ۳۴
شکل (۱-۲۳) گین روی محور $(\theta = 0^0, \varphi = 0^0)$ آنتن شیپوری TEM برحسب طول الکتریکی ،
برای همه آنتن ها $Z_C = 100\Omega$ می باشد. [4] ۳۶
شکل (۱-۲۴) گین روی محور $(\theta = 0^0, \varphi = 0^0)$ آنتن شیپوری TEM برحسب زاویه بازشدگی
صفحات ، برای همه آنتن ها $Z_C = 100\Omega$ می باشد. توجه کنید که در این گراف ، درجه بندی
خطی برای گین صورت پذیرفته است. [4] ۳۷

شکل (۱-۲۵) پترن های گین آنتن شیپوری TEM ، طول آنتن با حرکت از پایین به بالا از $\frac{S}{\lambda}=1$ تا $\frac{S}{\lambda}=5$ افزایش می یابد و زاویه بازشدگی صفحات با حرکت از چپ به راست از $\beta=10^0$ تا $\beta=30^0$ افزایش می یابد. برای همه آنتن ها ، $Z_C=100\Omega$ می باشد. [4]..... ۳۸

شکل ۱۰(۱-۲۶) توصیف چگونگی تغییرات پترن های گین برای آنتن های شیپوری TEM با نسبت $\frac{S}{\lambda}=5$: در صفحه عمودی $\varphi=0^0,180^0$ برای دو المان موج رونده که آنتن دی پل V شکل را تشکیل می دهند. [4]..... ۳۹

شکل (۱-۲۷) چگونگی تغییرات پترن های گین برای آنتن های شیپوری TEM با نسبت $\frac{S}{\lambda}=5$: تاثیرات بر هم نهی پترن های شکل (۱-۲۵) برای زوایای بازشدگی مختلف. [4]..... ۴۰

شکل ۱۰(۱-۲۸) توصیف چگونگی تغییرات پترن های گین برای آنتن های شیپوری TEM با نسبت $\frac{S}{\lambda}=5$: پترن در صفحه افقی $\left(\varphi=90^0,270^0\right)$ برای روزنه با توزیع جریان یکنواخت با تغییرات فاز ۹۰ درجه در راستای عرض آن که معادل با تغییرات فاز آنتن شیپوری TEMمی باشد. [4]..... ۴۰

شکل (۱-۲۹). نسبت توان تابشی تلف شده به دلیل عدم تطبیق ، $1-|\Gamma|^2$، برای آنتن های شیپوری TEM برحسب طول الکتریکی . برای همه آنتن ها $Z_C=100\Omega$ می باشد. [4]..... ۴۱

شکل (۲-۱) مکان عناصر در یک آرایه صفحه ای پنج ضلعی..... ۴۵

شکل (۲-۲)حداقل بین ۲۰ تا ۳۰ آنتن مختلف روی بدنه هواپیما قرار گرفته است. (From [Hopkins et al. 1997], reprinted by permission of the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.)..... ۴۶

شکل (۲-۳) آرایه آنتن همدیسی برای قرار گیری روی بال هواپیما همراه با مجتمع سازی [Kanno et al. 1996].....۴۷

شکل (۲-۴) آرایه آنتن ماکرواستریپ برای قرار گیری روی بال هواپیما در محفظه آزمایش.
(Courtesy of Air Force Research Lab./Antenna Technology Branch, Hanscom AFB, USA.) ۴۷

شکل (۴-۱) پارامترهای طراحی آنتن شیپوری TEM [5] ۶۲

شکل (۴-۲) مقدار بازشدگی صفحات آنتن بر حسب طول آنتن ۶۵

شکل (۴-۳) مقدار پهنای صفحات آنتن برحسب طول آنتن ۶۵

شکل (۴-۴) پهنای صفحات آنتن به کار رفته در آرایه ۲×۲ ۶۹

شکل (۴-۵)مقدار بازشدگی صفحات آنتن به کار رفته در آرایه ۲×۲ ۶۹

شکل (۴-۶) آنتن تک المان ۷۰

شکل (۴-۷) آنتن تک المان شبیه سازی شده ۷۰

شکل (۴-۸) آنتن تک المان شبیه سازی شده ۷۱

شکل (۴-۹) مشخصه S_{11} آنتن تک المان شبیه سازی شده در نرم افزار CST MICROWAVE ۷۱

شکل (۴-۱۱) پترن دایرکتیویته میدان دور آنتن تک المان در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ، شبیه سازی شده در نرم افزار CST MICROWAVE ۷۲

شکل (۴-۱۲) دایرکتیویته پلاریزاسیون چپگرد میدان دور در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز شبیه سازی شده به کمک نرم افزار CST MICROWAVE ۷۲

شکل (۴-۱۳) پترن سه بعدی میدان دور آنتن تک المان در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۳

شکل (۴-۱۴) آنتن به کار رفته درآرایه ۲×۲ ، شبیه سازی شده به کمک نرم افزار CST MICROWAVE ۷۳

شکل (۴-۱۵) آنتن بـه کـار رفتـه درآرایـه ۲×۲ ، شـبیه سـازی شـده بـه کمـک نـرم افـزار CST MICROWAVE ۷۴

شکل (۴-۱۶) آنتن بـه کـار رفتـه درآرایـه ۲×۲ ، شـبیه سـازی شـده بـه کمـک نـرم افـزار CST MICROWAVE ۷۴

شکل (۴-۱۷) پترن سه بعدی میدان دور آرایه آنتن ۲×۲ در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۴

شکل (۴-۱۸) پترن دایرکتیویته میدان دور آرایه آنتن ۲×۲ در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۵

شکل (۴-۱۹) پترن دایرکتیویته میدان دور بـا پلاریزاسـیون چپگـرد آرایـه آنـتن ۲×۲ در فرکـانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۵

شکل (۴-۲۱) مشخصه S_{11} آرایه آنتن ۲×۲ شبیه سازی شده در نرم افزار CST MICROWAVE ۷۵

شـکل (۴-۲۲) مشخصـه VSWR آرایـه آنـتن ۲×۲ ، شـبیه سـازی شـده در نـرم افـزار CST MICROWAVE ۷۶

شکل (۴-۲۳) پترن دایرکتیویته میدان دور آرایه آنتن ۲×۲ در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۶

شکل (۴-۲۴) پترن دایرکتیویته با پلاریزاسـیون چپگـرد میـدان دور آرایـه آنـتن ۲×۲ در فرکـانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۶

شکل (۴-۲۵) نتایج شبیه سازی آرایه آنتن ۸×۸ در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز ۷۷

شکل (۵-۱) مشخصه امپدانس ورودی آنتن برحسب فرکانس [3] ۷۹

شکل (۵-۲) مشخصه vswr آنتن تک المان برای باند فرکانسی یک تا شش گیگاهرتز ۸۰

شکل (۵-۳) مشخصه vswr آنتن آرایه ای ۲×۲ برای باند فرکانسی یک تا شش گیگاهرتز ۸۰

شکل (۵-۴) آرایه آنتن ۲×۲ ساخته شده ۸۱

شکل (۵-۵) آرایه آنتن ۲×۲ ساخته شده ۸۱
شکل (۵-۶) آنتن تک المان ساخته شده ۸۲
شکل (۵-۷) آنتن تک المان ساخته شده ۸۲
شکل (۵-۸) آنتن تک المان ساخته شده ۸۲
شکل (۵-۹) آرایه آنتن ۲×۲ ساخته شده ۸۳
شکل (۵-۱۰) آرایه آنتن ۲×۲ در حال تست ۸۳
شکل (۵-۱۱) آرایه آنتن ۲×۲ در حال تست ۸۴
شکل (۵-۱۲) پترن آنتن تک المان در صفحه H ، فرکانس ۸ گیگاهرتز ۸۴
شکل ۰۵-۱۳) پترن آنتن تک المان در صفحه E ، فرکانس ۸ گیگاهرتز ۸۵
شکل (۵-۱۴) پترن آنتن تک المان در صفحه PP ، فرکانس ۸ گیگاهرتز ۸۵
شکل (۵-۱۵) پترن آنتن تک المان در صفحه H ، فرکانس ۶ گیگاهرتز ۸۵
شکل (۵-۱۶) پترن آنتن تک المان در صفحه متقاطع H ، فرکانس 6 گیگاهرتز ۸۶
شکل (۵-۱۷) پترن آنتن تک المان در صفحه PP ، فرکانس 6 گیگاهرتز ۸۶
شکل (۵-۱۸) پترن آنتن تک المان در صفحه E ، فرکانس 2 گیگاهرتز ۸۶
شکل (۵-۱۹) پترن آنتن تک المان در صفحه H ، فرکانس 2 گیگاهرتز ۸۷
شکل (۵-۲۰) پترن آنتن تک المان در صفحه PP، فرکانس 2 گیگاهرتز ۸۷
شکل (۵-۲۱) پترن آنتن تک المان در صفحه PP، فرکانس 2 گیگاهرتز ۸۷
شکل (۵-۲۲) پترن آنتن تک المان در صفحه E ، فرکانس 4 گیگاهرتز ۸۸
شکل (۵-۲۳) پترن آنتن تک المان در صفحه H ، فرکانس ۴ گیگاهرتز ۸۸

شکل (۵-۲۴) پترن آنتن تک المان در صفحه PP ، فرکانس 4 گیگاهرتز..... ۸۹
شکل (۵-۲۵) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه H ، فرکانس ۲ گیگاهرتز..... ۸۹
شکل (۵-۲۶) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه H ، فرکانس ۴ گیگاهرتز..... ۸۹
شکل (۵-۲۷) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه E ، فرکانس 4 گیگاهرتز..... ۹۰
شکل (۵-۲۸) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه H ، فرکانس ۴ گیگاهرتز..... ۹۰
شکل (۵-۲۹) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه E ، فرکانس 4 گیگاهرتز..... ۹۰
شکل (۵-۳۰) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه H ، فرکانس ۶ گیگاهرتز..... ۹۱
شکل (۵-۳۱) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه E ، فرکانس 6 گیگاهرتز..... ۹۱
شکل (۵-۳۲) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه H ، فرکانس ۸ گیگاهرتز..... ۹۱
شکل (۵-۳۳) پترن آنتن آرایه ۱×۲ در صفحه E ، فرکانس 8 گیگاهرتز..... ۹۲
شکل (۵-۳۴) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه H ، فرکانس 2 گیگاهرتز..... ۹۲
شکل (۵-۳۵) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه E ، فرکانس 2 گیگاهرتز..... ۹۳
شکل (۵-۳۶) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه H ، فرکانس 4 گیگاهرتز..... ۹۳
شکل (۵-۳۷) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه E ، فرکانس 4 گیگاهرتز..... ۹۴
شکل (۵-۳۸) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه H ، فرکانس 6 گیگاهرتز..... ۹۴
شکل (۵-۳۹) پترن آنتن آرایه ۲×۲ در صفحه E ، فرکانس 6 گیگاهرتز..... ۹۵