بسم الله الرحمن الرحیم

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

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)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 (رساله)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 گرایش مخابرات (میدان)** است که در سال **۱۳۹۰/۱۱/۱۵** در دانشکده **مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **کیوان فرورقی** 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 **فرهاد فرزامی** دانشجوی رشته **مهندسی برق-مخابرات گرایش میدان** مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: فرهاد فرزامی

تاریخ و امضا:

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.

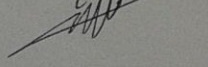
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

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 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 فرهاد فرزانه

امضاء



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

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

آقای فرهاد فرزامی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **بررسی کاربرد فراماده در آنتن های موجبری** در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ ارائه کردند.

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

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر کیوان فرورقی	استاد	
استاد ناظر	دکتر زهرا اطلس باف	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بیژن عباسی آرند	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علیرضا ملاح زاده	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر زهرا اطلس باف	دانشیار	

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–مخابرات

بررسی کاربرد فرامواد در آنتن های موجبری

فرهاد فرزامی

استاد راهنما:

دکتر کیوان فرورقی

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم به

خانواده ام

و تمامی دوستانم،

همچنین ارزش معنوی این پایان نامه را به پدر مهربان تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی

ابتدا لازم می دانم از جناب آقای دکتر کیوان فرورقی به دلیل فراهم نمودن فضایی مناسب برای انجام این پایان نامه و هم چنین راهنمایی هایشان تشکر نمایم. ایشان علاوه بر نظارت مدبرانهٔ خود، آزادی عمل بسیاری برای انجام پروژه های این پایان نامه در اختیار اینجانب قرار دارند و با پشتیبانی معنوی و مادی مشوق من برای پر بار کردن این تحقیق علمی بودند. از تمامی اساتیدی که برای داوری و نظارت بر این پایان نامه قبول زحمت فرمودند نیز کمال قدردانی را دارم. علاوه بر این از دوستانم و تمامی کسانی که من را در رسیدن به اهدفم یاری رساندند سپاس گذارم. اما در اینجا لازم می بینم از همکاری برادارنهٔ دوست خوبم جناب آقای مهندس مجید نوروزی عرب صمیمانه تشکر نمایم، امیدوارم همواره در زندگی پیروز و سر بلند باشند. در پایان ارزش معنوی این پایان نامه را به پدر مهربانم که مشوق اصلی من در تمامی مراحل تحصیلی است تقدیم می نمایم.

فرهاد فرزامی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرّس، زمستان ۱۳۹۰.

چکیده

فراماواد[1] ساختارهایی هستند که رفتار الکترومغناطیسی آنها در مواد طبیعی مشاهده نمی‌شود. به دلیل خواص این ساختارها در دهۀ اخیر تمرکز زیادی در حوزۀ الکترومغناطیس بر روی این ساختارها شده است. با استفاده از همین ویژگی ها، در این پایان نامه چند کاربرد جدید برای این ساختار در ساختارهای موجبری و آنتنی ارائه شده است. استفاده از ESRRs[2] در ساختارها موجبری SIW[3] باعث انتشار امواج در زیر فرکانس قطع آن گردید. باند عبوری که در ناحیۀ انتشار خود عرضی کمتر از نصف طول موج فرکانس قطع و در نتیجه کوچک سازی آن ساختار را در پی داشته است. استفاده از این چیدمان تشدید کننده های تعبیه شده، اولین بار در این پایان نامه ارائه شد و انتشار برای انواع تشدید کننده ها با فرکانس تشدید مختلف در آن به صورت تئوری ارائه گشته است. تلفات عبوری پایین در ناحیۀ گذر زیر فرکانس قطع و یا ناحیۀ قطع بسیار تیز در بالای فرکانس قطع که می تواند کاربردی فیلتری به آن ببخشد از جمله مزیت های این ساختار پیشنهاد شده می باشد. این ساختار می تواند به عنوان نامزدی برای طراحی ابزارهای مایکروویوی فشردۀ انتخاب شود.

طراحی زیرلایۀ مهندسی شده مغناطیسی-الکتریکی نوینی نیز در این پایان نامه بررسی شده است. ضخامت این زیرلایۀ مغناطیسی پیشنهاد شده می تواند به همان ضخامت دی الکتریک مهمان محدود شود، بنابراین دیگر مشکلات غیر هم صفحه شدن ساختار و ملاحظات ناشی از کنار هم قرار دادن تیغه های شامل تشدید کننده ها را نخواهد داشت. برای مقایسه چند نوع زیرلایۀ معادل برای نشان دادن اثبات درستی استخراج پارامترهای سازندگی زیرلایۀ و تاثیر وابستگی زیرلایه به فرکانس و تلفات بررسی

1 Metamaterial (MTM)

2 Embedded Split Ring Resonator

3 Substrate integrated Waveguide

شده است. در آخر برای نشان دادن درستی تحلیل ها و بررسی های این ساختارها، یک نمونه از هر کدام ساخته شده و اندازه گیری های انجام شده مطابقت خوبی با نتایج شبیه سازی داشته است. استفاده از تکنولوژی مداری های مایکروویوی چند لایه می تواند امکان تحقق ساختارهای تشدیدی تعبیه شدهٔ پیچیده تری را محقق می کند.

کلید واژه: فراماواد، پارامترهای سازندگی[1]، تشدید کننده های تعبیه شده در زیرلایه، کوچک سازی SIW، زیرلایهٔ مغناطیسی-الکتریکی، کوچک سازی آنتن مایکرو استریپ.

1 Constitutive Parameters

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- معرفی فراماده ۱۰

۱-۱- مقدمه ۱۰

۱-۲- تاریخچه ۱۱

۱-۳- معرفی ساختارهای با گذردهی الکتریکی و یا نفوذپذیری مغناطیسی منفی ۱۲

۱-۳-۱- معرفی ساختارهای با گذردهی الکتریکی منفی ۱۳

۱-۳-۲- معرفی ساختارهای با نفوذپذیری مغناطیسی منفی ۱۴

۱-۳-۳- ساختارهای با گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی منفی ۱۵

۱-۴- خواص ساختارهای فراماده ۱۷

۱-۴-۱- قانون اسنل در فراماواد ۱۸

۱-۴-۲- شرط آنتروپی (شرط انرژی) ۲۰

۱-۴-۳- اثر داپلر در فراماواد ۲۰

۱-۴-۴- تشعشع واویلوف_سرنکوف ۲۱

۱-۴-۵- شرایط مرزی در سطوح فراماواد ۲۲

فصل ۲- تحقق عملی و کاربردهای فراماده ۲۴

۲-۱- مقدمه ۲۴

۲-۲- سیم نازک (فراماده با گذردهی الکتریکی منفی ENG) ۲۴

۲-۳- رزوناتور با حلقه شکافدار یا SRR (فراماده با نفوذپذیری منفی: MNG) ۲۶

۲-۴- فراماده DNG متشکل از TW و SRR ۲۸

۲-۵- الگوریتم استخراج پارامترهای محیطی ۲۹

فصل ۳- موجبر مجتمع شده در زیرلایه ی دی الکتریکی ۳۲

۳-۱- مقدمه ۳۲

۳-۲- خواص موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه ۳۶

۳-۳- مدل سازی SIW ۳۹

۳-۴- کوچک سازی موجبر مستطیلی با استفاده از فراماده ۴۴

۳-۵- طراحی و مدل سازی SIW کوچک شده توسط فراموا د با μ منفی ۵۱

۳-۶- ساختار SIW بارگذاری شده ESRR ۵۸

۳-۶-۱- ماده ای با ضریب گذردهی و تراوایی مثبت ۶۶

۳-۶-۲- ماده ای با ضریب گذردهی و تراوایی منفی ۶۷

۳-۶-۳- ماده ای با ضریب گذردهی مثبت و تراوایی عرضی منفی ۶۸

۳-۷- بارگذاری SIW با ESRR های با فرکانس تشدید متفاوت ۶۸

۳-۷-۱- بارگذاری SIW با ESSR با فرکانس تشدید کمتر از فرکانس قطع ۷۱

۳-۷-۲- بارگذاری SIW با ESSR با فرکانس تشدید بیشتر از فرکانس قطع ۷۳

۳-۷-۳- بارگذاری SIW با ESSR با فرکانس تشدید نزدیک به فرکانس قطع ۷۳

۳-۸- ساخت و اندازه گیری ۷۴

۳-۹- نتیجه گیری ۷۶

فصل ۴- کوچک سازی آنتن مایکرواستریپ با استفاده از زیرلایه ی مغناطیسی مصنوعی فشرده شده ۷۸

۴-۱- مقدمه ۷۸

۴-۲- زیر لایه فریتی ۷۹

۴-۳- فواید مواد مغناطیسی ۸۱

۴-۴- آنتن مایکرو استریپ ۸۲

۴-۵- زیر لایه مغناطیسی-دی الکتریک ۸۴

۴-۶- زیرلایه ی مغناطیسی-دی الکتریکی تعبیه شده در زیرلایه ۹۱

۴-۷- آنتن مایکرواستریپ مستطیلی با زیرلایه ی مغناطیسی فشرده شده ۹۹

۴-۸- اندازه گیری و ساخت ۱۰۵
۴-۹- نتیجه گیری ۱۰۷
مقالات مستخرج از پایان نامه ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: مشخصات ۴ زیرلایه [۱۳]. ۳۴

جدول ۶-۱: ابعاد تشدید کننده های استفاده شده در [۳۹]. ۴۷

جدول ۷-۱: ابعاد آنتن با زیرلایهٔ مغناطیسی و زیرلایهٔ دی الکتریکی FR4 [۵۹]. ۸۷

جدول ۷-۲: مشخصات آنتنی با پچ مربعی به طول 0.077λ بر روی زیرلایهٔ مغناطیسی در فرکانس 250MHz. ۹۰

جدول ۷-۳: مشخصات زیرلایه های معرفی شده ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: جهت بردارهای شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی، بردار پوینتینگ و بردار موج در محیط های راستگرد و چپگرد. ۱۲

شکل ۲-۲: نمودار چگونگی انتشار موج الکترومغناطیسی در محیط هایی با ضریب گذردهی مغناطیسی و الکتریکی مختلف [۵]. ۱۳

شکل ۲-۳: ساختارهای ارائه شده توسط پندری، ساختار با سیم های موازی [۵]. ۱۴

شکل ۲-۴: آرایه ای از حلقه های شکافدار، ساختارهای ارائه شده توسط پندری برای دست یابی به ضریب گذردهی مغناطیسی منفی [۵]. ۱۵

شکل ۲-۵: ساختار ارائه شده توسط اسمیت برای دستیابی به یک ماده چپگرد [۴]. ۱۶

شکل ۲-۶: ساختار پیشنهادی پندری برای منفی شدن نفوذپذیری مغناطیسی در سه بعد [۶]. ۱۶

شکل ۳-۱: بررسی تفاوت برخورد در سطح جدایی دو محیط با دستی یکسان و یا متفاوت [۵]. ۱۹

شکل ۳-۲: بررسی اثر داپلر_تصویر سمت راست مربوط به محیط وسلاگو است [۵]. ۲۱

شکل ۳-۳: پدیده واویلوف_سرنکوف در محیط عادی ومحیطی با ضریب شکست منفی [۱]. ۲۲

شکل ۳-۴: شرایط مرزی میان دو سطح دست چپی و دست راستی [۱]. ۲۳

شکل ۴-۱: (الف) آرایه ای از سیمهای نازک رسانا (ب) واحد سلولی (پ) گذردهی االکتریکی موثر نسبی آرایه (ε_{reff}) ۲۵

شکل ۴-۲: (الف) آرایه های از SRR (ب) واحد سلولی: فرم یک بعدی (بالا)، فرم دوبعدی (پائین) (ج) گذردهی االکتریکی موثر نسبیآرایه (ε_{reff}) ۲۷

شکل ۴-۳: (الف) فراماده با واحد سلولی متشکل از سیم نازک و SRR (ب) واحد سلولی: فرم یک بعدی (بالا)، فرم دوبعدی (پائین) [۹]. ۲۸

شکل ۴-۴: اندازه گیری پارامترهای پراکندگی در ساختار (الف) تیغهٔ همگن در یک بعد، (ب) تیغهٔ غیر همگن غیر متقارن در یک بعد و (ج) تیغهٔ غیر همگن متقارن در یک بعد. ۳۰

شکل ۵-۱: منحنی تغییرات تلف خطوط مایکرواستریپ ساخته شده روی عایق های گوناگون. ۳۳

شکل ۵-۲: ساختار یک نمونه موجبر با دیواره های ستونی. ۳۵

شکل ۵-۳: توزیع جریان مود غالب، TE_{10}، در یک موجبر مستطیلی [۱۷]. ۳۸

شکل ۵-۴: ساختار SIW به همراه جزیات بررسی ها تئوری ۳۹

شکل ۵-۵: (الف) : نسبت عرض SIW به عرض موجبر معادل برحسب قطر ویا ها و ۴۲

شکل ۶-۱: موجبر بارگذاری شده با SRR به همراه سلول واحد سازندۀ آن. ۴۷

شکل ۶-۲: سلول واحد تشدید کننده های داخل موجبر، (الف) تشدید کنندۀ حلقوی، (ب) تشدید کنندۀ دو قطبی [۳۹]. ۴۷

شکل ۶-۳: (الف) نمودار انتشار در موجبر پر شده با تشدید کننده های حلقوی. (ب) نمودار انتشار در موجبر پر شده با تشدید کننده های دوقطبی [۳۹]. ۴۸

شکل ۶-۵: (الف) یک آرایه با ۹ المان تشدید کنندۀ حلقوی داخل موجبر. (ب) تشدید کنندۀ حلقوی و (ج) تشدید کنندۀ دوقطبی به همراه تحریک آنها از طریق خط کواکسیال [۳۹]. ۴۹

شکل ۶-۶: نتایج اندازه گیری موجبر پر شده با تشدید کننده های حلقوی. ۵۰

شکل ۶-۷: نتایج اندازه گیری موجبر پر شده با ۲۳۰ تشدید کنندۀ دوقطبی. ۵۰

شکل ۶-۸: حلقۀ شکاف دار تعبیه شده در زیر لایۀ دی الکتریکی.. ..... ۵۲

شکل ۶-۹: (الف) شرایط مرزی مناسب برای تابش موج صفحه ای به سلول واحد ساختار پیشنهادی [۳۸]. (ب) مد میدان الکتریکی برای شرایط مرزی سلول واحد. ۵۳

شکل ۶-۱۰: (الف) قطبش میدان الکتریکی، (ب) قطبش میدان مغناطیسی در موج صفحه ای تابیده شده به سلول واحد سازندۀ لایۀ مصنوعی مغناطیسی. ۵۳

شکل ۶-۱۱: (الف) ضریب موج بازگشتی و موج عبوری از سلول واحد (ب)، به همراه مقدار فاز آنها. ۵۴

شکل ۶-۱۲: محاسبۀ ضریب شکست و امپدانس موثر سلول واحد ارائه شده با استفاده از پارامترهای پراکندگی. ۵۵

شکل ۶-۱۳: محاسبۀ ضریب تراوایی مغناطیسی و گذردهی الکتریکی با استفاده از ضریب شکست و امپدانس موثر سلول واحد ارائه شده با استفاده از پارامترهای پراکندگی. ۵۶

شکل ۶-۱۴: مدار معادل ESSR. مقادیر المان ها برای سلول واحد شکل ۶-۸ ..... ۵۷

شکل ۶-۱۵: پاسخ فرکانسی مدار معادل (خط چین) و سلول واحد. ۵۸

شکل ۶-۱۶: سلول واحد SIW بارگذاری شده با ESSR (مقیاس حلقه به ساختار SIW باتوجه به ابعاد دده شده در بخش قبل برای وضوح بیشتر یکی نمی باشد). ۵۹

شکل ۶-۱۷: SIW بار گذاری شده با تشدید کننده های تعبیه شده در زیرلایه [۳۸]. ۵۹

شکل ۶-۱۹: (الف) سلول سازندۀ SIW بار گذاری شده با ESRR. (ب) موجبر مستطیلی معادل با SIW. ۶۰

شکل ۶-۲۰: (الف) اعمال تئوری تصویر بر روی سلول واحد سازندۀ SIW بارگذاری شده با ESSR. (ب) تعریف مسئله به صورت دو صفحۀ موازی موجبری. ۶۲

شکل ۶-۲۱: توزیع میدان ها در ساختار معادل باید از معادلات ماکسول در محیط بدون منبع تبعیت کند. ۶۳

شکل ۶-۲۲: تاثیر پر کردن موجبر با مواد مختلف در انتشار امواج در آن. ۶۷

شکل ۶-۲۳: ضریب تراوایی مغناطیسی به صورت مختلط برای ESSR هایی با طول حلقۀ متفاوت [۳۸]. ۷۰

شکل ۶-۲۴: پاسخ انتشار امواج عبوری در SIW بار گذاری شده با ESRR های با فرکانس تشدید متفاوت. پاسخ انتشار امواج برای حالت بدون بارگذاری برای مقایسه آورده شده است [۳۸]. ۷۱

شکل ۶-۲۵: فاز عبوری در خط انتقال پیش رونده و پس رونده. ۷۲

شکل ۶-۲۶: فاز سیگنال عبوری در باند گذر زیر فرکانس قطع در دو طول فیزیکی متفاوت [۳۸]. ۷۳

شکل ۶-۲۷: (الف) نمونۀ ساخت SIW بارگذاری شده با ESSR. (ب) نتایج اندازه گیری. ۷۵

شکل ۶-۲۸:نتایج حاصل از اندازه گیری توسط Network analyzer (الف) S_{11}، (ب) S_{12}. ۷۶

شکل ۷-۱: اندازه گیری ضریب تراوایی مغناطیسی و تانژانت تلفات فریت کبالت هگزا فریت. ۸۱

شکل ۷-۲: آنتن مایکرواستریپ با تغذیۀ از لبه. توزیع میدان های التریکی (بردارهایی در جهت z) و توزیع میدان ها مغناطیسی (بردارهای برون سو و عمود بر سطح صفحه). ۸۳

شکل ۷-۳: تشدید کننده های استفاده شده برای تحقق زیر لایۀ مغناطیسی، از راست به چپ: تشدید کنندۀ امگا، تشدید کنندۀ مربعی و حلقۀ شکاف دار [۵۷]. ۸۴

شکل ۷-۴: ساختار سلول سازندۀ حلقۀ حلزونی ارائه شده در [۵۹]. ابعاد به میلی متر هستند و زیرلایۀ استفاده شده FR4 است. ۸۵

شکل ۷-۵: (الف) مقادیر موثر پارامترهای سازندگی در نزدیکی فرکانس تشدید (2.48 GHz). (اب) مقدار تانژانت تلفات [۵۹]. ۸۶

شکل ۷-۶: (الف) شماتیک زیرلایه مغناطیسی به همراه آنتن پچ مستطیلی روی آن. (ب) نمونهٔ ساخته شده از آنتن با زیرلایهٔ مغناطیسی [۵۹]. ۸۷

شکل ۷-۷: ضریب تلفات بازگشتی آنتن با زیرلایهٔ مغناطیسی و زیرلایهٔ دی الکتریکی [۵۹]. ۸۸

شکل ۷-۸: (الف) سلول واحد سازندهٔ زیرلایهٔ مغناطیسی پیشنهاد شده در [۶۰]. ۸۹

شکل ۷-۹: آنتن با زیرلایهٔ مغناطیسی، هر ردیف شامل ۱۲ حلقه می باشد [۶۰]. ۹۰

شکل ۷-۱۰: (الف) ردیفی از حلقه های شکاف دار که ساختار سلونوئیدی را تشکیل می دهد. (ب) زیرلایهٔ مغناطیسی تشکیل شده از ساختار سلونوئیدی که زیر یک پچ مستطیلی قرار گرفته است. ۹۲

شکل ۷-۱۱: سلول واحد زیرلایهٔ مغناطیسی پیشنهاد شده. ۹۴

شکل ۷-۱۲: سلول سازندهٔ فرازیرلایه، به همراه شرایط مرزی روی آن برای تابش موج صفحه ای با قطبش مناسب [۶۲]. ۹۵

شکل ۷-۱۳: (الف) قطبش میدان الکتریکی، (ب) قطبش میدان مغناطیسی در موج صفحه ای تابیده شده به سلول واحد سازندهٔ لایهٔ مصنوعی مغناطیسی. ۹۵

شکل ۷-۱۴: (الف) ضریب موج بازگشتی و موج عبوری از سلول واحد، (ب) به همراه مقدار فاز آنها. ۹۶

شکل ۷-۱۵: محاسبهٔ ضریب شکست و امپدانس موثر سلول واحد ارائه شده با استفاده از پارامترهای پراکندگی. ۹۷

شکل ۷-۱۶: محاسبهٔ ضریب تراوایی مغناطیسی و گذردهی الکتریکی با استفاده از ضریب شکست و امپدانس موثر سلول واحد ارائه شده با استفاده از پارامترهای پراکندگی. ۹۸

شکل ۷-۱۷: ضریب گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی به همراه مقدار حاصل ضریب آنها. مجموع تلفات نیز نشان داده شده است [۶۲]. ۹۹

شکل ۷-۱۸: آنتن ماکرواستریپ با پچ مستطیلی و تغذیه از لبه. قطبش میدان های الکترومغناطیسی در این آنتن نشان داده شد است. ۱۰۰

شکل ۷-۱۹: ساختار زیرلایهٔ پیشنهاد شده در آنتن مایکرواستریپی. ۱۰۲

شکل ۷-۲۰:تلفات بازگشتی آنتن هایی با زیرلایه های معرفی شده [۶۲]. ۱۰۳

شکل ۷-۲۱: نمونهٔ آنتن ساخته شده با زیرلایهٔ مهندسی مغناطیسی؛ بارگذاری پچ آنتن با تشدید کننده هایی پیشنهاد شده که به صورت جدا در کنار آنتن به نمایش در آمده انجام شده است.....۱۰۶

شکل ۷-۲۲: (الف) الگوی تشعشعی آنتن در صفحهٔ E-Plane، (ب) الگوی تشعشعی آنتن در صفحهٔ H-Plane، (ج) تلفات بازگتشی آنتن. اندازه گیری ها با خط پر نشان داده شده است. ۱۰۷

فصل ۱- معرفی فراماده

۱-۱- مقدمه

تحقق عملی فراماواد، در حالی که تئوری آن حدود نیم قرن پیش توسط یک فیزیکدان روسی[۱] ارائه شده بود [۱]، باعث شد توجه بسیاری از دانش پژوهان در حوزهٔ الکترومغناطیس به این ساختارها جلب شود. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد این ساختارها، کاربردهای فراوانی برای این ساختارها پیشنهاد شد. یکی از این کاربردها استفاده از آنها در ساختارهای موجبری بود، ساختاری که باعث ایجاد باند عبوری در زیر فرکانس قطع موجبر می گشت. این امر به مفهوم ایجاد موجبری با ابعاد بزرگ تر بود، بنابراین کوچک سازی[۲] ساختارهای موجبری را در پی داشت. همچنین بارگذاری ساختارهای فراماواد در انواع آنتن ها از جمله کاربردهای این ساختارها می باشد که می تواند باعث کاهش ابعاد آنتن و یا بهبود مشخصه های آن گردد.

در این فصل به معرفی ساختار های با ضریب گذردهی الکتریکی[۳] منفی یا ضریب تراوایی مغناطیسی[۴] منفی و یا ساختارهایی با ε و μ منفی پرداخته شده است. فصل ۲ به بررسی خواص ساختار هایی با ε و μ منفی پرداخته و با مقایسهٔ آنها با مواد طبیعی دید خوبی را برای مقایسهٔ این ساختارها فراهم نموده است. تحقق عملی این ساختار به صورت محیط های متشکل از مواد غیر مغناطیسی که می توانند خاصیت فرامادی از خود نشان دهند و همچنین در مورد استخراج پارامترهای سازندگی آنها نیز بحث شده است.

---

1 V. G. Veselago

2 Miniaturization

3 Permittivity

4 Permeability

در فصل ۳ موجبر های مجتمع شده در زیرلایه (SIW) معرفی و خواص آن مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر مدل سازی طراحی SIW مناسب نیز انجام پذیرفته است. طراحی و مدل سازی SIW کوچک شده توسط فراماده با μ منفی برای اولین بار در این فصل پایان نامه بررسی شده است. در این فصل علاوه بر ارائه ی تئوری دقیق برای توضیح رفتار فرکانسی ساختار، این ساختار ساخته شده و نتایج حاصل از اندازه گیری مطابقت خوبی با تحلیل های تئوری داشته است. در فصل آخر این پایان نامه به معرفی ساختاری نوین برای دست یابی به زیرلایه های مغناطیسی مصنوعی فشرده شده در یک زیر لایه پرداخته می شود. این ساختار پیشنهادی علاوه بر مقایسه با انواع زیرلایه های مشابه، برای کوچک سازی آنتن مایکرواستریپ با پچ مستطیلی به کار رفته و علاوه بر شبیه سازی، ساخته و نتایج حاصل از اندازه گیری ها به دست آمده است.

۱-۲- تاریخچه

عنوان فراماده، به طور کلی به محیط‌هایی اطلاق می‌شود که دو مشخصه گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی آنها بتوانند مقادیر کوچکتر از واحد و منفی داشته باشند. مواد موجود در طبیعت گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی نسبی مثبت و بزرگتر از واحد دارند. البته در همین مواد طبیعی نیز تحت فرکانس‌های خاص این دو پارامتر می‌تواند از این محدوده خارج شود، مانند آنچه در مورد فریت ها که در شکل های خاص و تحت بایاس مغناطیسی، ممکن است رخ دهد. وسلاگو در دهۀ ۶۰ میلادی امکان وجود محیطی با گذردهی و تراوایی منفی به صورت همزمان را مورد بررسی قرار داد [۱]. وسلاگو نشان داد بردار میدان الکتریکی $\vec{E}$، بردار میدان مغناطیسی $\vec{H}$ و بردار انتشار موج $\vec{k}$ سه بردارعمود بر هم بوده و بر خلاف محیط های معمولی موجود در طبیعت که سه بردار ذکر شده با قانون دست راست با یکدیگر مرتبط می شوند در این محیط، جهت این سه بردار طبق قانون دست چپ با هم ارتباط دارند. واژۀ محیط چپ گرد برگرفته از همین خاصیت می باشد. در محیط های چپ گرد، بردار پوینتینگ $\vec{S}$ و بردار انتشار $\vec{k}$ با یکدیگر موازی بوده ولی در دو جهت مخالف یکدیگر هستند. چیدمان سه بردار در محیط راست و چپ گرد در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.