

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٣٢٥



دانشکده فنی
گروه مهندسی برق

ساختارهای متمتریال و کاربرد آن در بهبود عملکرد آتن‌ها

رضا موحدی نیا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مخابرات-گرایش میدان

استاد راهنما:

دکتر محمد نقی آذرمنش

شهریور ماه ۱۳۸۸

۱۳۸۹ / ۲ / ۸

حق چاپ و انتشار برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

سازمان اطلاعات مذکور علمی است
تسبیح روزگار

۱۳۸۶۲۵

بیان نامه خانم/ آقای رضا بوحسینی با... به تاریخ ۲۱/۴/۸۸
شماره.....مورد پذیرش هیات محترم داوران بارتبه عالی
و نمره.....قرار گرفت.
۱۹/۵ نوزده و پنج

- ۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران دکتر محمدتقی کدخدایی
- ۲ - داور خارجی : دکتر ابراهیم عباسپورنای
- ۳ - داور داخلی : دکتر خلیزه قبادی
- ۴ - نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جواد نوری

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم بہ

خانوادہ مہربانم

تقدیر و تشکر

سپاس ایزدمنان را که توفیق به پایان رسیدن این پژوهش را عطا فرمود. در انجام این پژوهش افراد زیادی سهمیم بودند، که بر خود لازم می‌دانم، از ایشان تشکر و قدردانی نمایم.

نخست از استاد راهنمای بزرگوام جناب آقای دکتر محمد نقی آذرمنش که در انجام این پژوهش و در طول دو دوره تحصیل، مرا با صبر و درایت خویش راهنمایی نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از آقای مهندس جواد محمد بیگی، که در امور نرم‌افزار بسیار کمک نمودند، و آقای مهندس فرهاد خسروی، بخاطر کمک‌های بی‌دریغشان در تکمیل این مجموعه کمال تشکر را دارم. از تمامی اساتید محترم گروه مهندسی برق، دانشگاه ارومیه، آقایان؛ دکتر قبادی، دکتر نوری نیا و دیگر اساتید و کارشناسان گروه بخاطر زحمات جبران ناپذیرشان در طول دوره تحصیلی خود در گروه، بسیار سپاسگزارم.

از همکلاسی‌ها و دوستان بسیار خوبم، آقایان؛ مهندس محمد اجارودی، مهندس عقیل درخشان، و خانم‌ها؛ مهندس مدنی که در سختی‌های انجام این تحقیق سهمیم بودند، کمال تشکر را دارم. در پایان از محبت‌های بی‌پایان خانواده عزیزم، که مشوق همیشگی من در طول زندگی هستند، کمال تشکر را دارم.

سلامتی و سربلندی تک تک این عزیزان را از خداوند مهربان خواستارم.

چکیده

ساختارهای متامتریال^۱ با توجه به ویژگی‌های منحصر بفرد خود، توانسته است خود را به عنوان یکی از مهمترین موضوعات طراحی مایکروویوی مطرح نماید. کاربرد این ساختارها در طراحی موجبرها، فیلترها، کوپلرها و بخصوص در مبحث آنتن‌ها به سرعت در حال گسترش می‌باشد، ولی تعداد کمی از کاربردهای این ساختارها در بهبود عملکرد آنتن‌های تک قطبی مسطح^۲ تا به امروز گزارش شده است. این نوع از آنتن‌ها دارای ویژگی‌های لازم برای تکنولوژی حال حاضر بوده و بهترین گزینه برای نسل آینده به حساب می‌آیند. در این پایان نامه این نوع از آنتن‌ها برای بررسی‌های بیشتر و ارائه روش‌ها و فرضیات جدید انتخاب شده است. در این پایان نامه سه هدف اصلی وجود دارد:

- ۱- طراحی و شبیه سازی آنتن تک قطبی مسطح در پهنای باند بسیار وسیع.
- ۲- بدست آوردن نفوذپذیری منفی با استفاده از ساختارهای دوگان تشدید کننده الکتریکی سلفی - خازنی (CELC).
- ۳- جای گذاری CELC در پیچ تشعشی آنتن تک قطبی مسطح و ایجاد عملکرد فیلترینگی متغیر و اعتبار بخشیدن این فرضیه از طریق نتایج شبیه سازی و ساخت.

در ابتدا آنتن تک قطبی مسطح پایه با پیچ تشعشی دایروی شبیه سازی شده است. با بهره گیری از کنترل فاصله پیچ تشعشی آنتن تا صفحه زمین و تغییر در صفحه زمین، توانستیم بصورت همزمان پهنای باند و تطبیق امپدانس را کنترل نماییم که نتیجه آن افزایش چشمگیر پهنای باند و امکان پوشش سیستم UWB^۳ (از ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگا هرتز) و همچنین بهبود محسوس پارامتر VSWR^۴ (که معیار تطبیق امپدانس است) بوده است.

به منظور ایجاد عملکرد فیلترینگی متغیر در آنتن تک قطبی مسطح، از میان ساختارهای متعدد متامتریال، ساختارهای CELC انتخاب گردید. دلیل این انتخاب، به علت ویژگی‌های منحصر بفرد این مواد جدید همچون ابعاد بسیار کوچکتر از طول موج و آسان بودن استفاده از آنها در صفحات مسطح می‌باشد. ساختارهای CELC با قرار گرفتن در ماده میزبان، پارامترهای موثر ماده را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند و باعث ایجاد نفوذپذیری منفی در بازه‌هایی از فرکانس می‌گردند. در این پایان نامه با استفاده از تحلیل تمام موج این پارامترهای موثر بدست آمده شده است.

در نهایت از میان ساختارهای پیشنهادی CELC، ۳ آنتن تک قطبی بسیار پهن باند جدید با عملکرد فیلترینگی متغیر طراحی و ارائه شده است. عملکرد فیلترینگی برای اولین بار با استفاده از ساختارهای CELC بوجود آمده و نشان داده شده است که

^۱ Metamaterial

^۲ Printed (planar) Monopole Antenna

^۳ Ultra-Wideband (UWB)

^۴ Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

ساختارهای CELC تا زمانی که دارای ضریب کیفیت بالا و ابعاد کوچک همانند ساختارهای CSRR می‌باشند، می‌توانند به طور موثرتری در تولید باند ممنوعه در آنتن‌های تک قطبی به کار روند. علاوه بر این بر خلاف ساختارهای CSRR، پهنای باند فیلتر در این حالات در محدوده ۰/۸ تا چندین گیگا هرتز در هر فرکانس فیلتر شده‌ای قابل تنظیم می‌باشد.

فهرست

مقدمه ۱

فصل اول مروری بر ساختارهای متامتریال و خواص آنها ۵

۱-۱ مقدمه ۵

۲-۱ توصیف ساختارهای متامتریال ۶

۳-۱ انواع ساختارهای متامتریال ۸

۱-۳-۱ ساختار متامتریال با سیمهای فلزی ۸

۲-۳-۱ ساختار رزوناتور رینگ شکافدار ۹

۳-۳-۱ ساختار ماده مرکب DNG ۱۱

۴-۱ پارامترهای موج در مواد DNG ۱۲

۵-۱ برخورد عمود موج به یک دیواره DNG ۱۳

۶-۱ امواج پسرو ۱۴

۷-۱ شکست منفی ۱۶

۸-۱ متامتریالها با ضریب شکست نزدیک به صفر ۱۸

نتیجه گیری ۱۹

فصل دوم کاربرد ساختارهای متامتریال در بهبود عملکرد آنتن‌ها ۲۰

۱-۲ مقدمه ۲۰

۲-۲ کاربرد ساختارهای متامتریال DNG و SNG در آنتن‌ها ۲۰

۱-۲-۲ پوششی از متامتریال برای بهبود عملکرد آنتن ۲۱

۳-۲ تحقق ساختارهای متامتریال به عنوان رساناهای مصنوعی مغناطیسی به منظور کاربرد در آنتن ۲۳

۴-۲ متامتریال با ضریب شکست صفر برای افزایش سمنگرایی ۲۶

- ۲۷..... ۵-۲ استفاده از متامتریال بعنوان زیر لایه در آنتن پچ
- ۲۸..... ۶-۲ کاهش تلفات برگشتی و افزایش پهنای باند در آنتهای مسطح
- ۳۰..... ۷-۲ ساختارهای دو بعدی مسطح با ضریب شکست صفر و کاربردهای آن در آنتنها
- ۳۰..... ۱-۷-۲ خطوط انتقال MTM
- ۳۳..... ۲-۷-۲ استفاده از خطوط انتقال MTM در آرایه‌های آنتن با تغذیه سری
- ۳۴..... ۳-۷-۲ آنتهای رینگی با ابعاد کوچک
- ۳۶..... ۸-۲ تشدید کننده‌های متامتریال
- ۳۶..... ۱-۸-۲ رزونانس مثبت، منفی و صفر در تشدید کننده‌های CRLH
- ۳۶..... ۲-۸-۲ آنتهای مرتبه صفر
- ۳۷..... ۳-۸-۲ آنتهای دو بانده رینگی
- ۳۷..... ۹-۲ تولید باند ممنوعه در آنتهای پهن باند
- ۳۹..... نتیجه گیری

فصل سوم طراحی و شبیه سازی آنتن تک قطبی مسطح با عملکرد فیلترینگی متغیر بر اساس ساختارهای دوگان تشدید کننده‌های سلفی-خازنی..... ۴۰

- ۴۰..... ۱-۳ مقدمه‌ای بر سیستمهای UWB
- ۴۰..... ۱-۱-۳ مفهوم سیستمهای UWB
- ۴۱..... ۲-۱-۳ مزایای سیستمهای UWB
- ۴۲..... ۱-۲-۱-۳ توانایی به اشتراک گذاشتن طیف فرکانسی
- ۴۲..... ۲-۲-۱-۳ ظرفیت کانال بالا
- ۴۲..... ۳-۲-۱-۳ توانایی کار با نسبت سیگنال به نویز پایین
- ۴۳..... ۴-۲-۱-۳ کاهش احتمال ردیابی و حائل شدن
- ۴۳..... ۵-۲-۱-۳ پایداری در برابر پدیده گیرافتادگی

- ۶۳-۱-۲-۳ عملکرد بالا در کانالهای چند مسیره..... ۴۳
- ۷-۲-۱-۳ خصوصیت نفوذپذیری بالا..... ۴۳
- ۸-۲-۱-۳ ساده بودن سبک معماری فرستنده-گیرنده..... ۴۴
- ۲-۳ کاربردهای سیستم UWB..... ۴۵
- ۳-۳ آنتن پچ میکرواستریپ..... ۴۵
- ۴-۳ آنتنهای تک قطبی مسطح..... ۴۸
- ۱-۴-۳ انواع مختلف آنتنهای تک قطبی مسطح..... ۴۸
- ۲-۴-۳ روشهای تغذیه..... ۴۹
- ۱-۲-۴-۳ تغذیه CPW..... ۴۹
- ۲-۲-۴-۳ خطوط میکرواستریپ..... ۵۰
- ۱-۲-۲-۴-۳ ثابت دی الکتریک موثر خط تغذیه میکرواستریپ..... ۵۱
- ۲-۲-۲-۴-۳ امیدانس مشخصه خط تغذیه میکرواستریپ..... ۵۲
- ۳-۴-۳ روشهای افزایش پهنای باند..... ۵۲
- ۴-۴-۳ تولید باند ممنوعه در آنتنهای تک قطبی..... ۵۵
- ۵-۳ روش طراحی آنتن تک قطبی دایروی مورد نظر با پهنای باند بسیار وسیع..... ۶۲
- ۱-۵-۳ طراحی آنتن تک قطبی مسطح دایروی..... ۶۳
- ۲-۵-۳ طراحی آنتن تک قطبی مسطح دایروی در باند بسیار وسیع..... ۶۴
- ۶-۳ طراحی و بکارگیری ساختار متامتریال ELC در تولید باند ممنوعه در آنتن تک قطبی پهن باند..... ۶۵
- ۱-۶-۳ مقدمهای بر ساختارهای ELC..... ۶۵
- ۲-۶-۳ ساختارهای دوگان تشدید کنندههای ELC..... ۶۸
- ۳-۶-۳ مدل نمودن CELC در نرم افزار HFSS و بدست آوردن پارامترهای موثر آن..... ۶۸
- ۱-۳-۶-۳ روشهای موجود برای بدست آوردن پارامترهای موثر ساختارهای متامتریال..... ۶۸
- ۲-۳-۶-۳ شبیه سازی CELC در HFSS و بدست آوردن پارامترهای موثر آن..... ۷۲

۴-۶-۳ بکارگیری CELC در آنتنهای تک قطبی برای تولید باند ممنوعه ۷۴

۷-۳ مطالعه پارامتری و نتایج اندازه‌گیری ۷۵

۸-۳ نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات ۸۱

مراجع ۸۲

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

فصل اول

- شکل ۱-۱ نمونه‌ای از ساختارهای متامتریال که از تزریق به ماده میزبان بوجود می‌آید ۵
- شکل ۲-۱ طبقه بندی مواد بر اساس پارامترهای ساختاری ۷
- شکل ۳-۱ نمایی از سیم‌های فلزی به هم پیوسته ۹
- شکل ۴-۱ نمایی از ساختار استوانه‌ای SRR ۱۰
- شکل ۵-۱ اولین ساختار DNG که توسط اسمیت و همکارانش ارائه گردید. در این ساختار از SRR و TW بطور همزمان استفاده شده است. الف) در یک بعد ب) در دو بعد ۱۲
- شکل ۶-۱ آرایش ماده مرکب همسانگرد الف) یک بعدی ب) دو بعدی ج) سه بعدی ۱۲
- شکل ۷-۱ نمایی شماتیک از برخورد عمود موج به دیواره‌ای از متامتریال ۱۴
- شکل ۸-۱ جریان سطحی ایجاد شده در میان دو سطح (پیکان مشکی و آبی بترتیب نشان دهنده بردار موج و بردار پوئیتینگ می‌باشند) ۱۶
- شکل ۹-۱ نمایی از برخورد مایل موج بر سطح مشترک DPS-DNG ۱۷
- شکل ۱۰-۱ شکست موج منفی شبیه سازی شده با روش FDTD (ارائه شده در مرجع [۳۲]). ۱۸
- شکل ۱۱-۱ خط ضریب شکست منفی در تقاطع انواع مختلف مواد ۱۸

فصل دوم

- شکل ۱-۲ یک پوشش DNG که با ترکیب با آنتن دو قطبی تولید رزونانس می‌نماید ۲۲
- شکل ۲-۲ بهره توان تشعشعی آنتن دو قطبی قرار گرفته شده در پوشش‌های مختلف DNG ۲۲
- شکل ۳-۲ بلوک متامتریال تشکیل شده از دو CLL که با برخورد موج از سمت شکافهای خازنی، همانند AMC عمل نموده و یا تابش در جهت مخالف همانند AEC عمل می‌نماید. ۲۴
- شکل ۴-۲ الف) نمایی از آنتن دو قطبی و ساختار AMC ب) شبیه سازی HFSS برای بدست آوردن رزونانس میان آنتن و ساختار AEC (ارائه شده در مرجع [۳۷]) ۲۴
- شکل ۵-۲ الگوی تشعشعی میدان دور برای آنتن دو قطبی و ساختار AMC الف) صفحه E ب) صفحه H (مرجع [۳۷]) ۲۵
- شکل ۶-۲ میدان الکتریکی نزدیک شبیه سازی شده توسط HFSS الف) صفحه E ب) صفحه H (مرجع [۳۷]) ۲۵

- شکل ۷-۲ نمایی از خروج امواج متعامد از دیواره‌ای با ضریب شکست صفر
- شکل ۸-۲ توزیع شدت میدان الکتریکی پیش بینی شده توسط $FDTD$ در زمانهای گوناگون الف ($t = 167\Delta t$ ب) $t = 1000\Delta t$ پ) $t = 4833\Delta t$
- شکل ۹-۲ تلفات برگشتی آنتن پیچ با سه زیرلایه متفاوت.
- شکل ۱۰-۲ الف) آنتن پیچ متداول ب) آنتن پیچ بارگذاری شده با SRR
- شکل ۱۱-۲ مقایسه تلفات برگشتی آنتن پیچ بارگذاری شده با لایه‌های مختلف (ارائه شده در مرجع [۳۴])
- شکل ۱۲-۲: سلولی واحد ارخط انتقال بارگذاری شده با المان‌های راکتیو
- شکل ۱۳-۲ نمودار پراکندگی یک سلول واحد MTM
- شکل ۱۴-۲ نمایش انتشار خارج از مخروط تشعشع با استفاده از نمودار پراکندگی
- شکل ۱۵-۲: نمایی از ساختار خط انتقال دهنده فاز MTM
- شکل ۱۶-۲ الف) آرایه آنتن با تغذیه خطوط متداول ب) آرایه آنتن با تغذیه خطوط MTM
- شکل ۱۷-۲ عملکرد پویایی زاویه آرایه آنتن بر اساس تغذیه‌های متفاوت (ارائه شده در مرجع [۱۷])
- شکل ۱۸-۲ نمونه‌ای از آنتن رینگی در فرکانس ۱/۵ گیگا هرتز
- شکل ۱۹-۲ الگوی تشعشعی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده آنتن رینگی الف) صفحه E ب) صفحه H (ارائه شده در مرجع [۴۶])
- شکل ۲۰-۲ آنتن مرتبه صفر، تشکیل شده از ۴ سلول واحد تحریک شده در فرکانس ۷/۶۱ گیگا هرتز الف) نمودار تلفات برگشتی به همراه شکل آنتن ب) مقایسه نتایج اندازه گیری و شبیه سازی و حتی نتایج یک آنتن ۳۰ سلوله (ارائه شده در مرجع [۴۶])
- شکل ۲۱-۲ آنتن دو بانده رینگی شکل الف) نمودار تلفات برگشتی به همراه شکل آنتن ب) الگوی تشعشعی در دو فرکانس متفاوت
- شکل ۲۲-۲ الف) آنتن ارائه شده در مرجع [۴۹] ب) مقایسه پارامتر VSWR شبیه سازی شده و اندازه گیری شده
- شکل ۲۳-۲ آنتن اسلات ارائه شده در مرجع [۵۱] ب) مقایسه پارامتر VSWR شبیه سازی شده و اندازه گیری شده
- ### فصل سوم
- شکل ۱-۳ یک سیگنال باند باریک در الف) حوزه زمان ب) حوزه فرکانس
- شکل ۲-۳ یک پالس UWB در الف) حوزه زمان ب) حوزه فرکانس. (پهنای باند و شدت طیف توان را با شکل ۱-۳ مقایسه نمایید).
- شکل ۳-۳ همزیستی سیگنال‌های UWB با پهنای باند باریک و سیگنال‌های پهن باند در طیف RF
- شکل ۴-۳ الف) پدیده چند مسیره در لینک‌های مخابراتی ب) تاثیر پدیده چند مسیره بر سیگنال‌های باند باریک ج) تاثیر پدیده چند مسیره بر سیگنال‌های بسیار پهن باند
- شکل ۵-۳ الف) ساختار متداول یک فرستنده - گیرنده باند باریک ب) ساختار یک فرستنده - گیرنده پهن باند
- شکل ۶-۳ ساختار آنتن مسطح میکرواستریبی

- شکل ۳-۷ ساختار آنتن تک قطبی چاپی میکرواستریپی با پارامترهای تعریف کننده آن ۴۸
- شکل ۳-۸ نمایی از اشکال متفاوت آنتن های تک قطبی ۴۹
- شکل ۳-۹ نمایی از خط تغذیه CPW ۵۰
- شکل ۳-۱۰ نمونه ای از آنتن تک قطبی مسطح با تغذیه CPW ارائه شده در مرجع [۵۹] ۵۰
- شکل ۳-۱۱ نمایی از خط میکرواستریپ ۵۰
- شکل ۳-۱۲ نمونه ای از آنتن تک قطبی مسطح با تغذیه میکرواستریپ ارائه شده در مرجع [۶۰] ۵۱
- شکل ۳-۱۳ آنتن تک قطبی چاپی با پهنای باند افزایش یافته با استفاده از شکاف های توسعه یافته در لبه های کناری پیچ تشعشعی، صفحه زمین تغییر شکل یافته و دو شکاف باریک در محل اتصال خط تغذیه به پیچ تشعشعی [۶]. ۵۳
- شکل ۳-۱۴ الف) نمایی از ۴ آنتن متفاوت که با خطوط مختلف به نمایش در آمده است ب) نمودار VSWR ۴ آنتن مورد نظر (مرجع [۳۴]) ۵۴
- شکل ۳-۱۵ الف) جریان سطحی شبیه سازی شده در فرکانس ۷ گیگا هرتز ب) تغییرات پارامتر VSWR بر حسب S_h (مرجع [۳۴]) ۵۵
- شکل ۳-۱۶ مثالهایی از روشهای دیگر افزایش پهنای باند در آنتن های تک قطبی مسطح ارائه شده در الف) مرجع [۴] ۵۵
ب) مرجع [۳۵] ج) مرجع [۳۴]
- شکل ۳-۱۷ آنتن های تک قطبی با قابلیت فیلترینگی تک بانده ارائه در الف) مرجع [۶۸] و ب) مرجع [۶]. ۵۶
- شکل ۳-۱۸ نمودار VSWR برای طول های مختلف از بازوهای شکاف U-شکل در آنتن تک قطبی فیلتر شده، ارائه شده در [۲۱]. ۵۷
- شکل ۳-۱۹ توزیع جریان سطحی در فرکانس فیلترینگ (مرجع [۶]). ۵۷
- شکل ۳-۲۰ آنتن ارائه شده در مرجع [۶۲] الف) نمای روبرو ب) نمای پشت ۵۸
- شکل ۳-۲۱: توزیع جریان سطحی در فرکانس الف) ۳ گیگا هرتز ب) ۵/۵ گیگا هرتز ج) ۷ گیگا هرتز د) ۱۰ گیگا هرتز (ارائه شده در مرجع [۶۲]) ۵۹
- شکل ۳-۲۲ آنتن های تک قطبی چاپی با عملکرد فیلترینگی تک بانده ارائه شده در الف) مرجع [۱۹] و ب) مرجع [۶۳]. ۶۰
- شکل ۳-۲۳ الف) نمودار VSWR برای طول های مختلفی از بازوی متصل به پیچ تشعشعی در آنتن مرجع [۱۹]، ب) نمودار توزیع جریان سطحی روی بدنه همان آنتن در فرکانس فیلتر (۵/۵ گیگا هرتز). ۶۰
- شکل ۳-۲۴ الف) اولین تحقق استفاده از CSRR در آنتن تک قطبی ب) نمودار تلفات برگشتی آنتن (ارائه شده در مرجع [۵۰]) ۶۱
- شکل ۳-۲۵ آنتن تک قطبی دایروی با دو بانده فیلتر شده [۷۵]؛ الف) ساختار آنتن، ب) ساختار شکاف های C-شکل تو در تو قرار گرفته در داخل پیچ دایروی. ۶۲
- شکل ۳-۲۶ نمودار VSWR برای آنتن تک قطبی دایروی با دو بانده فیلتر شده [۷۵]. ۶۳
- شکل ۳-۲۷ نمایی از ساختمان اولیه آنتن مورد نظر ۶۳

- شکل ۳-۲۸ تغییرات پارامتر VSWR بر حسب فاصله h ۶۴
- شکل ۳-۲۹ مقایسه تغییرات پارامتر VSWR بر اساس دو ساختار متفاوت صفحه زمین ۶۵
- شکل ۳-۳۰ نمایی از یک سلول واحد Swiss Roll ۶۶
- شکل ۳-۳۱ (الف) نمایی از ساختار ELC ساخته شده ب) مدار معادل ۶۷
- شکل ۳-۳۲ ساختارهای ELC (نشان داده شده با OE1-OE6) به همراه ساختارهای دوگان خود (نشان داده شده با CE1-CE6) ۶۹
- شکل ۳-۳۳ مقایسه نتایج شبیه سازی انجام شده الف) مقاله [۶۹] ب) شبیه سازی انجام شده در پایان نامه ۷۲
- شکل ۳-۳۴ الف) نمونه‌ای از CELC قرار گرفته در موجبر برای بدست آوردن پارامترهای موثر ب) نتایج شبیه سازی شده تلفات برگشتی ۷۳
- شکل ۳-۳۵ پارامتر موثر بدست آمده از نتایج شبیه سازی ۷۳
- شکل ۳-۳۶ سه نمونه انتخاب شده از CELC برای ایجاد عملکرد فیلترینگی متغیر در آنتنهای تک قطبی مسطح (متامتریال مسطح (O1-O3) و دوگان آنها (C1-C3) (قسمتهای فلزی با رنگ خاکستری و شکافها با رنگ سفید مشخص شده‌اند)). ۷۴
- شکل ۳-۳۷ نمایی از سه آنتن پیشنهاد شده الف) نوع ۱ ب) نوع ۲ پ) نوع ۳ ۷۵
- شکل ۳-۳۸ نمودار VSWR شبیه سازی شده آنتنهای پیشنهادی ۷۵
- شکل ۳-۳۹ نمودار VSWR شبیه سازی شده آنتن با مقادیر مختلف L_s ۷۶
- شکل ۳-۴۰ نمودار VSWR شبیه سازی شده آنتن با مقادیر مختلف W_s ۷۷
- شکل ۳-۴۱ توزیع جریان در سه فرکانس متفاوت الف) ۳/۱ گیگا هرتز ب) ۵/۴ گیگا هرتز ج) ۹ گیگا هرتز ۷۷
- شکل ۳-۴۲ نمایی از آنتن ساخته شده ۷۸
- شکل ۳-۴۳ نمودار VSWR اندازه گیری شده آنتن، با شکاف CELC و نیز بدون آن. ۷۹
- شکل ۳-۴۴ بهره اندازه گیری شده آنتن با شکاف CELC و نیز بدون آن. ۷۹
- شکل ۳-۴۵ الگوی تشعشعی اندازه گیری شده در صفحات E و H الف) فرکانس ۳.۵ گیگاهرتز ب) فرکانس ۹ گیگاهرتز. ۸۰

مقدمه

ساختارهای متمتریال برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط ویکتور وسلایگو^۱ به صورت تئوری ارائه شد [۱]. پس از سه دهه پندری^۲ و همکارانش ساختارهای متناوب از سیمهای فلزی را معرفی کردند که گذردهی منفی را در باندهای فرکانسی معینی نشان می‌داد [۲]. در سال ۱۹۹۹، پندری مطالعاتش را ادامه داد و آرایه‌ای متناوب از ساختارهای مصنوعی به نام تشدید کننده‌های رینگ شکافدار (SRR)، پیشنهاد نمود [۳]. پس از مدت کوتاهی از انتشار [۲] و [۳]، شلبی^۳ و همکارانش بر اساس مقاله‌ی پندری، ساختارهایی متناوب با رینگ شکافدار و سیمهای فلزی را طراحی کردند که دارای گذردهی و نفوذپذیری همزمان منفی بود [۴] که باعث جذابیت تشدید خصوصیات و روشهای تحقق عملی این مواد شد. کاربردهایی نظیر کوپلرهای پسر [۵ و ۶]، جبران فاز در تشدید کننده‌های کوچک الکتریکی [۷]، موجبرهای کوچکتر از طول موج با ابعاد افقی قرار گرفته در محدوده پایین انکسار [۱۲-۸]، افزودن تمرکز گرایی [۱۳ و ۱۴]، تابش کرنو^۴ [۱۵]، اثر داپلر، تونل فوتونی و آنتن‌های موج پیشرو [۱۶] و دیگر کاربردها، تنها نمونه‌های کوچکی از وسعت کاربرد این مواد در طراحی مایکروویوی می‌باشند.

هرچند امروزه ساختارهای متمتریال بطور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند ولی توجه کمتری به استفاده از این مواد در آنتن‌ها صورت گرفته است. یکی از دلایل کاهش استفاده این مواد در آنتن‌ها، حجم بزرگ این نوع از ساختارها می‌باشند. در سالهای اخیر، محققان روش دیگری برای طراحی ساختارهای متمتریال ارائه نمودند که در آن بر اساس اصل باینیت از دوگان ساختارهای تشدید کننده رینگ شکافدار (CSRR) و یا دوگان تشدید کننده الکتریکی سلفی-خازنی (CELC) استفاده می‌شود [۱۷ و ۱۸]. ابعاد بسیار کوچکتر از طول موج این مواد و آسان بودن استفاده از آنها در خطوط میکرواستریپ از ویژگی‌های شاخص این ساختارهای جدید می‌باشند. با استفاده از این ساختارها می‌توان بر مشکل افزایش حجم ساختارهای متمتریال غلبه نمود و به راحتی از آنها در طراحی مدارات گوناگون و بخصوص در بهبود عملکرد آنتن‌ها استفاده نمود.

در ارتباطات مدرن امروز و بخصوص در دهه‌های اخیر، سیستم‌های مخابراتی باند بسیار وسیع یا UWB جهت انتقال پر سرعت انواع مختلف داده‌ها در فواصل نسبتاً کوتاه و با توان عملیاتی بالا، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۲ میلادی، مجمع ارتباطات فدرال وابسته به دولت آمریکا (FCC^۵) استفاده از این سیستم مخابراتی (UWB) را در چندین باند فرکانسی مختلف (0-960 MHz، ۳/۱-۱۰/۶-GHz و 22-29 GHz) و با داشتن توان تشعشعی همه جهته مؤثر (EIRP^۶) تحقق بخشید [۱۹] و [۲۰].

¹ Veselago

² Pendry

³ Shelby

⁴ Čerenkov radiation

⁵ Federal Communications Commission

⁶ Effective Isotropic Radiation Power (EIRP < -41.3 dBm/MHz)

بخش اصلی در این سیستم، آنتن باند پهن با ویژگی‌های خاص خود می‌باشد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در این زمینه و شناسایی و بکارگیری انواع باندهای فرکانسی متنوع توسط مهندسين و سازندگان ابزارهای مخابراتی، نیاز به افزایش دامنه عملکردی این نوع خاص از آنتن‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. آنتنهای بکار گرفته شده در تکنولوژی UWB علاوه بر پهنای باند امیدانسی بالا باید دارای مشخصات تشعشی مناسب (از جمله پترن تشعشی همه جهته، راندمان بالا و تغییرات کم برای بهره در کل باند)، ابعاد کوچک و ساختاری مسطح نیز باشند. از جمله کاربردهایی که اخیراً برای این نوع از آنتن‌ها معرفی شده است، می‌توان به مورد استفاده قرار گرفتن در مدارات¹ RFID، شبکه‌های جستجوگر، رادار و همچنین شبکه‌های ارتباطی محلی همچون WLAN اشاره کرد [۱۹-۲۱].

انواع مختلفی از ساختارها برای بدست آوردن پهنای باند امیدانسی بالا ارائه شده و تحقیقات گسترده‌ای برای پیشرفت عملکرد هر کدام انجام گرفته است. این تحقیقات به عمل آمده، آنتن‌های چاپی شکافدار² و آنتن‌های مسطح تک یا دو قطبی را به عنوان بهترین گزینه برای استفاده در سیستم UWB معرفی می‌نمایند. دلیل اصلی انتخاب این نوع از آنتن‌ها وجود ویژگی‌هایی همچون ۱- مکان تولید پهنای باند خیلی بالا، پترن تشعشی همه جهته در کل باند، امکان تطبیق امیدانسی آسان و بهره مناسب، در عملکرد فرکانسی آنها می‌باشد [۱۹-۲۲].

در این پایان نامه نیز آنتن تک قطبی مسطح برای تحقیقات بیشتر انتخاب شده است. این نوع آنتن‌ها جزء خانواده آنتنهای تک قطبی، مانند یک رشته سیم نازک با ساختار عمودی نسبت به صفحه زمین و با تغذیه کابل کوکسیالی محسوب می‌شوند که برای بهبود کارایی و افزایش هرچه بیشتر دامنه عملکردی آنها، به حالت مسطح و با تغذیه میکرواستریبی تغییر شکل داده اند و تمامی اشکال استفاده شده در این نوع آنتن‌ها مانند مخروطی، کروی و یا دیسک‌های بیضوی، دایروی و چند ضلعی‌ها به عنوان بخش تشعشی آنتن، این بار در حالت چاپ شده بر روی زیرلایه دوباره مورد استفاده و بررسی قرار گرفته‌اند. در ساختار آنتن تک قطبی چاپی از یک خط میکرواستریپ که از پشت زیرلایه توسط یک صفحه فلزی ناقص (زمین آنتن) مورد پوشش قرار گرفته است، برای تغذیه پیچ تشعشی استفاده می‌شود. بخش تشعشی این آنتن توسط صفحه زمین پوشش داده نمی‌شود و در نتیجه ثابت دی الکتریک موثر (ϵ_{eff}) و همچنین ضریب کیفیت سیستم در این حالت مقادیری متغیر و بسیار پایین خواهند داشت. این موارد از عوامل اصلی در ایجاد پهنای باند بالا برای این ساختار به حساب می‌آید. با انجام تحقیقات بسیار وسیع در چند سال اخیر مشخص شده است که این نوع آنتن می‌تواند با وجود داشتن ابعاد کوچک، هزینه ساخت پایین و طراحی نسبتاً آسان دارای باند فرکانسی خیلی بالا (فراتر از مقدار لازم برای سیستم UWB) با مشخصات تشعشی خیلی خوب (پترن همه جهته و بهره مناسب) در کل باند باشد. علاوه بر این به علت داشتن ساختاری کاملاً مسطح و نوع تغذیه آن بهترین گزینه برای قرار گرفتن روی برد در کنار دیگر مدولهای RF به حساب بیاید. همچنین نشان داده شده است که ایجاد عملکرد فیلترینگی بر روی این ساختارها بدون نیاز به

¹ Radio Frequency Identification

² Printed Slot antenna

افزایش ابعاد یا وزن محصول و یا ایجاد پیچیدگی‌های خاصی برای طراحی، با حفظ ویژگی‌های قبلی، براحتی در حالات تحقیقاتی و صنعتی قابل حصول است.

مبحث بعدی جلوگیری از ایجاد تداخل (و کاهش تلفات حاصل از آن) ما بین این تعداد وسیع از باندهای فرکانسی بکار گرفته شده می‌باشد. باند فرکانسی در محدوده ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگا هرتز مربوط به سیستم UWB دارای اشتراکات متعددی با سیستم‌های دیگر از جمله WLAN و HIPERLAN/2 (در محدوده ۵ تا ۶ گیگا هرتز) می‌باشد. بنابراین طراحی یک آنتن با ویژگی‌های مذکور برای داشتن کارایی مناسب در سیستم UWB و همچنین قابلیت چند کاره بودن آن و یا به عبارتی تشعشع در یک باند فرکانسی وسیع و همزمان با آن فیلتر کردن یک یا چندین محدوده فرکانسی خاصی برای از بین بردن تداخل احتمالی، لازم و مناسب بنظر می‌رسد. البته باید این را نیز در نظر داشت که در حالت کلی اضافه نمودن بخشی بر ساختار آنتن برای تحقق بخشیدن قابلیت فیلترینگی، سیستم را پیچیده‌تر می‌نماید [۱۹-۲۲].

در این پایان نامه و در تحقیقات انجام شده، سعی شده است تمامی نتایج، مشاهدات و مقایسه بین آنها و همچنین فرضیات جدید، ذکر شده و به حالات مختلفی نمایش داده شود و علاوه بر این، موارد ضروری با دلیل و ارجاعات لازم به تحقیقات قبلی به تأیید برسد. در متن این پایان نامه سعی شده است تا حدالامکان از ذکر مطالب تکراری جلوگیری شود. در این پایان نامه، برای پوشش کامل کلیه تحقیقات انجام گرفته شده، ۱ نمونه آنتن بهینه سازی شده، ساخته و تست شد که نتایج اندازه گیری و شبیه سازی مشابهت‌های بسیاری داشتند. نوع زیرلایه در این آنتن FR4 با ضخامت ۱ میلی‌متر بوده که از بابت هزینه بسیار پایین می‌باشد. این نوع زیرلایه دارای ضریب دی‌الکتریک در حدود ۴/۴ الی ۴/۶ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ می‌باشد. در شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پایان نامه، از نرم افزارهای HFSS^۱ (ver. 10) [۲۱] و Ansoft Designer که برترتیب از الگوریتم‌های Element Finite و Moment Method بهره می‌گیرند، استفاده شده است.

متن این پایان نامه از ۳ فصل تشکیل شده است. فصل اول شامل مروری بر ساختارهای ماتریال و ویژگی‌های منحصر بفرد آن می‌باشد. شاخص‌ترین کاربردهای این نوع از ساختارها در بهبود عملکرد آنتن‌ها در فصل دوم بررسی شده است. فصل ۳ به بررسی مراحل شبیه سازی و ساخت آنتن تک قطبی مسطح با استفاده از ساختارهای ماتریال می‌پردازد. این فصل شامل مروری اجمالی بر سیستم‌های UWB، روند پیشرفت آنتن‌های تک قطبی مسطح و روش‌های مختلف افزای پهنای باند و تولید عملکرد فیلترینگی متغیر نیز می‌باشد. در این فصل تمامی روشهای جدید برای ایجاد عملکرد فیلترینگی متغیر ارائه شده توسط مؤلف معرفی شده و بطور دقیق مورد بررسی، ارزیابی و مقایسه‌های لازم قرار می‌گیرد. در همین بخش نتایج اندازه‌گیری‌ها به همراه مقایسه آنها با نتایج شبیه‌سازی، مربوط به دو نمونه آنتن ارائه شده در این پایان نامه می‌باشد. در فصل آخر، نتیجه گیری کلی از این مطالعات ارائه شده و همچنین پیشنهادات مناسبی برای کارهای آینده در جهت پیشرفت هرچه بیشتر عملکرد فیلترینگی این نوع از

^۱ High Frequency Structure Simulator (HFSS-Ver. 10), Ansoft Corporation 2005

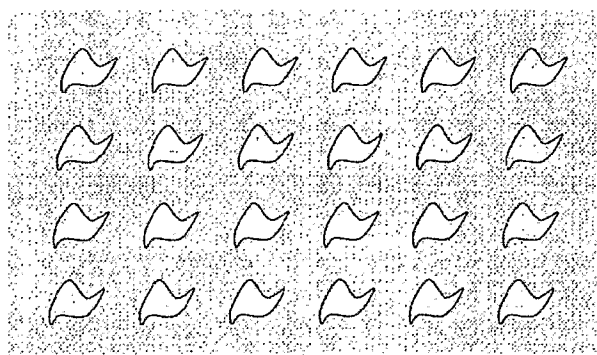
آتن‌ها معرفی خواهد شد. این پیشنهادات شامل روش‌های دیگری برای افزودن قابلیت چند کاره بودن برای این نوع آتن‌ها نیز می‌باشد.

فصل اول

مروری بر ساختارهای متامتریال و خواص آنها

۱-۱ مقدمه

اولین تلاش علمی برای ساخت مواد مصنوعی توسط چاندر بس^۱ در اواخر قرن نوزدهم انجام گرفت. او توانست آزمایش تجربی را بر روی ساختار دوگانه‌ی مایکروویوی یا به اصطلاح امروزی اولین چیرال^۲ مصنوعی را ایجاد نماید [۲۳]. در سال ۱۹۱۴، لیندمن^۳ بر روی مواد مصنوعی کار کرد که از قرار دادن تکه‌های کوچک سیم در داخل ماده میزبان بدست می‌آید [۲۴]. در سال ۱۹۴۸، کاک^۴ توانست با قرار دادن کره‌های هادی، دیسکها، و نوارهای هادی به صورت متناوب، ضریب شکست مؤثری ایجاد نماید که آنرا در ساخت لنز مایکروویوی بکار گیرد [۲۵]. از آن به بعد ساختارهای مرکب به عنوان موضوع اصلی تحقیقات در سراسر جهان مطرح شد. در سالهای اخیر تکنیکهای جدیدی برای بدست آوردن موادی مصنوعی که دارای رفتار مشابه با مواد موجود در طبیعت و یا حتی رفتاری که احقاق آن در طبیعت امکان پذیر نباشد، به وجود آمده است. امروزه از این مواد مصنوعی به عنوان فراموادها و یا در اصطلاح متامتریال یاد می‌شود. متامتریالها از قرارگیری ساختارهایی با اشکال جدید در ماده میزبان بوجود می‌آیند (شکل ۱-۱). انواع مختلفی از مواد مرکب الکترومغناطیسی همانند متامتریالهای جفت-منفی، DPS، مواد چیرال، مواد امگا شکل، سیمها، مواد جفت - همسانگرد، مواد خطی و غیر خطی، و مواد محلی و غیر محلی در سراسر جهان توسط گروه‌های تحقیقاتی مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از ساختارهای متامتریال که از تزریق به ماده میزبان بوجود می‌آید.

¹ Chunder Bose

² Chiral

³ Lindman

⁴ Kock