بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق - الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی برق گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

طراحی و شبیه سازی و ساخت فیلتر پایین گذر مایکرواستریپ با استفاده از ساختار فرکتال برای کاربرد در سیستمهای مخابراتی

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا کریمی

نگارش:

حسام سیاه‌کمری

مهر ماه ۱۳۹۲

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی برق - الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق گرایش الکترونیک

نام دانشجو : حسام سیاه‌کمری

تحت عنوان

طراحی و شبیه سازی و ساخت فیلتر پایین گذر مایکرواستریپ با استفاده از ساختار فرکتال برای کاربرد در سیستمهای مخابراتی

در تاریخ ۹۲/۷/۱۷ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه، دکتر غلامرضا کریمی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه، دکتر محمد مهدی کارخانه‌چی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه، سید وهاب الدین مکی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

سپاس‌گزاری

نخست خدای خود را سپاس می‌گویم که در غم‌ها و شادی‌ها همواره در کنار من بوده است و از فیض نعمت و رحمتش برخوردار بوده‌ام.

سپاس خالصانه‌ی خود را به همه‌ی آنان که در مراحل مختلف زندگی مرا یاری کرده و مهربانی و لطف و تلاش خود را در جهت رشد و تربیت و سعادت من صرف نموده‌اند، تقدیم می‌کنم.

از زحمات و راهنمایی‌های استاد فرزانه و دانشمند، آقای دکتر غلامرضا کریمی که در کلیه‌ی مراحل تحصیل و انجام این پایان نامه پشتیبان اینجانب بوده‌اند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

و همچنین از دوستان خوبم، خانم مهندس فرناز خامین همدانی، علی ملکوتی، علی لعلبخش ، خاطره دهقانی، سعیده لطفی، حامد کرمی، میلاد جسری، محسن هوکری، میثم یزدانی و ... که در انجام پروژه‌ها به این جانب کمک کردند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم

چکیده :

در این پایان نامه، نوع جدیدی از فیلترهای پایین گذر مایکرواستریپی برای کاربرد در فرکانس‌های مایکروویو، طراحی گردیده، بهینه سازی گشته و ساخته شده‌اند.به در این پژوهش، یک فیلتر با پهنای باند قطع وسیع، با استفاده از یک رزوناتور نیمه فراکتالی ارائه گردید. نتایج تجربی نمایانگر آن است که در مقایسه با فیلترهای دیگر، فیلتر ارائه گردیده، دارای پهنای باند قطع وسیع در ناحیه‌ی قطع می‌باشد و تیزی قابل قبولی را در ناحیه‌ی گذار از خود به نمایش می‌گذارد.

نتایج شبیه سازی و اندازه‌گیری شده‌ی فیلتر ارائه شده، قابل قبول بوده و با هم هم‌خوانی داشته و عملکرد مناسب فیلتر را در مقایسه با ساختارهای پیشین ارائه شده تأیید می‌ساختند. با تمامی مشخصات و فوائد ذکر شده، فیلتر ساخته شده می‌تواند برای کاربردها و اهداف مایکروویو مخابراتی مورد استفاده قرار بگیرد و ساختار پیشنهاد شده به عنوان واحدی مناسب برای طراحی‌های آتی مد نظر باشد.

کلمات کلیدی:

۱-تکنولوژی مایکرواستریپ
۲-رزوناتور فراکتالی شکل
۳-رزوناتور U شکل
۴-فیلتر پایین گذر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- امواج مایکروویو.....۲

۱-۱-۱- امواج مایکروویو و کاربرد آن..... Error! Bookmark not defined.

۱-۱-۲- باندها و طیف های فرکانسی امواج مایکروویو Error! Bookmark not defined.

۱-۲- فیلتر کردن امواج Error! Bookmark not defined.

فصل ۲- تئوری پارامترهای پراکندگی و انواع فیلترهای پایین گذر

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- پارامترها برای فرکانسهای پایین تر.....۸

۲-۳- پارامترهای پراکندگی (S).....۱۲

۲-۳-۱- پارامترهای پراکندگی برای یک شبکه دو قطبی.....۱۳

۲-۳-۲- تعریف پارامترهای S دوپورتی.....۱۶

۲-۳-۳- ارزیابی پارامترهای S..... ۱۸

۲-۳-۴- بعضی روابط پارامترهای S بویژه در طراحی فیلترها مفید هستند.....۱۹

۲-۳-۵- خلاصه پارامترهای پراکندگی.....۲۱

۲-۴- انواع فیلتر ۲۲
۲-۵- فیلترهای پایین گذر ۲۳
۲-۵-۱- انواع پاسخ های یک فیلتر پایین گذر ۲۴
۲-۵-۲- پاسخ باتروورث ۲۶
۲-۵-۳- پاسخ چبی چف ۲۸
۲-۵-۴- پاسخ الپتیک ۳۰
۲-۵-۵- پاسخ گاوسی (بسل) ۳۳
۲-۶- متغیرهای اساسی در یک شبکه ۳۷
۲-۶-۱- تلفات ورودی ۳۷
۲-۶-۲- تلفات بازگشتی ۳۷
۲-۶-۳- باند گذار ۳۷
۲-۶-۴- عرض باند قطع ۳۶
۲-۶-۵- فرکانس قطع ۳۶
۲-۶-۶- تیزی پاسخ ۳۶
۲-۶-۷- ابعاد فیزیکی فیلتر ۳۸
فصل ۳- سازه های فرکتالی
۳-۱- مقدمه ۳۸
۳-۲- فرکتال برفی یا Koch ۴۱
۳-۳- فرکتال سیپرینسکی ۴۲
فصل ۴- تکنولوژی مایکرواستریپ
۴-۱- امپدانس مشخصه ۴۴

۴-۲- نفوذ پذیری نسبی (εeff) ریز نوار..... ۴۶

۴-۳- طول موج λg و طول فیزیکی l..... ۴۷

۴-۴- فرمولی برای محاسبه دقیق TEM استاتیک..... ۴۸

۴-۴-۱- فرمول سنتز ($\varepsilon r, Z\circ$ داده شده اند)..... ۴۹

۴-۴-۲- فرمول تحلیلی (W/h و εr داده شده اند)..... ۵۰

۴-۴-۳- دقت کلی مورد نظر فرمولهای قبل..... ۵۱

۴-۵- اثرات ضخامت محدود نوار..... ۵۱

۴-۶- مدار معادل چند ساختار ساده ی مایکرواستریپ و بدست آوردن مقادیر پارامترهای آن..... ۵۴

۴-۶-۱- المان‌های شبه فشرده..... ۵۴

۴-۶-۱-۱- خم..... ۵۴

۴-۶-۱-۲- خطوط سلفی..... ۵۵

۴-۶-۱-۳- اتصال انتها – باز..... ۵۵

۴-۶-۱-۴- ساختار فاصله دار..... ۵۷

۴-۶-۱-۵- خازن اینتر دیجیتال..... ۵۸

فصل ۵- مروری بر کارهای پیشین

۵-۱- فیلترهای ساده..... ۶۰

۵-۲- طراحی فیلتر میکرواستریپ پایین گذر با استفاده از رزوناتور فرکتالی..... ۶۵

فصل ۶- طراحی فیلتر پیشنهادی

۶-۱- طراحی رزوناتور سنجاقی شکل پیشنهادی..... ۷۲

۶-۲- مدارمعادل..... ۷۸

۶-۳- رزوناتور U شکل..... ۸۱

۶-۴- ابعاد فیلتر..... ۸۳

۶-۲- نتایج شبیه سازی و اندازه گیری..... ۸۴

۶-۵-۱ محاسبه ی تیزی پاسخ منحنی باند گذر (ξ)..... ۸۶

۶-۵-۲ محاسبه‌ی پهنای باند قطع نسبی(RSB)..... ۸۶

فهرست مراجع :..... Error! Bookmark not defined.

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱:انواع فیلترها..... Error! Bookmark not defined.

شکل ۲-۱ : شبکه دو پرتی.....**۹**

شکل ۲-۲:نمای کلی یک شبکه ی دو قطبی..... Error! Bookmark not defined.

شکل ۲-۳ شبکه دو پرتی همراه با مقاومت ورودی و خروجی.....**۱۴**

شکل ۲-۴: شبکه ی دو قطبی با موج های تابیده و بازتابیده شده.....**۱۶**

شکل ۲-۵: عنصر سوسپتانس..... Error! Bookmark not defined.

شکل ۲-۶: شکست توان.....**۳۱**

شکل ۲-۷: پاسخ یک فیلتر پایین‌گذر باتروورث.....**۳۱**

شکل ۲-۸: توزیع قطب‌ها برای پاسخ باتروورث.....**۳۳**

شکل ۲-۹: تلفات عبور فیلتر باتروورث با درجات مختلف.....**۲۷**

شکل ۲-۱۰: پاسخ چپی چف یک فیلتر پایین گذر.....**۳۰**

شکل ۲-۱۱: توزیع قطب ها برای پاسخ چبی چف یک فیلتر پایین گذر.....۳۰

شکل ۲-۱۲: پاسخ الیپتیک یک فیلتر پایین گذر..... Error! Bookmark not defined.

شکل ۲-۱۳: توزیع قطب ها برای پاسخ الیپتیک یک فیلتر پایین گذر.....۳۲

شکل ۲-۱۴: پاسخ گاوسی یک فیلتر پایین گذر (الف) دامنه (ب) تاخیر گروه.....۵۶

شکل ۲-۱۵: انواع دامنه ی پاسخ های فیلترهای پایین گذر.....۵۷

شکل ۳-۱: نمایشی ساده از بعد کسری با در کنار هم قرار دادن پیچ در پیچ یک رشته نخ در بین دو تکه چوب.....۳۹

شکل ۳-۲: نمونه ای از یک هندسه فرکتالی در طبیعت.....۴۰

شکل ۳-۳: دانه برف Koch به عنوان یک مثال معروف از هندسه فرکتالی.....۶۲

شکل ۳-۴: مراحل تشکیل فراکتال سیپرینسکی تا مرحله ۴.....۴۲

شکل ۴-۱: ساختار هندسی خط مایکرواستریپ.....۶۴

شکل ۴-۲: تغییرات توزیع میدان الکتریکی.....۵۲

شکل۴-۳ :خم و مدار معادلش..... Error! Bookmark not defined.

شکل ۴-۴ : خطوط سلفی و مدار معادل آن.....۵۵

شکل ۴-۵: شکل ۴ ۵: اتصال انتها – باز و مدار معادل آن.....۶۵

شکل ۴-۶ :ساختار فاصله دار مایکرواستریپ و مدار معادل lc ساختار فاصله دار.....۵۷

شکل ۴-۷: خازن اینتر دیجیتال و مدار معادل آن.....۵۸

شکل ۵-۱ :ساختار پیشنهادی مرجع[۸].....۶۰

شکل ۵-۲: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۸].....۶۰

شکل ۵-۳ :ساختار پیشنهادی مرجع[۹].....۶۱

شکل ۵-۴: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۹].....۶۱

شکل ۵-۵ :ساختار پیشنهادی مرجع[۱۰].....۶۲

شکل ۵-۶: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۱۰].....۶۲

شکل ۵-۷ :ساختار پیشنهادی مرجع[۱۱].....۶۳

شکل ۵-۸: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۱۱] ۶۳

شکل ۵-۹ :ساختار پیشنهادی مرجع[۱۲].....۶۴

شکل ۵-۱۰: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۱۲].....۶۴

شکل ۵-۱۱ :ساختار پیشنهادی مرجع[۱۳].....۶۵

شکل ۵-۱۲: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مرجع[۱۳] ۶۵

شکل ۵-۱۳: فیلتر میان‌گذر(الف) توزیع‌های فرکتالی و متناوب (ب) پاسخ فیلتر[۱۴].....۶۶

شکل ۵-۱۴: فیلتر فرکتالی کچ دانه برفی(الف)ساختار فیلتر(ب) پاسخ فیلتر[۱۵].....۶۷

شکل ۵-۱۵: فیلتر میان‌گذر باندپهن با ساختار فرکتال و رزوناتور پچ مثلثی(الف)ساختار فیلتر(ب)پاسخ فیلتر[۱۶].....۶۸

شکل ۵-۱۶: فیلتر میان‌گذر**dual mode** (الف)ساختار فیلتر (ب)پاسخ فیلتر[۱۷].....۶۸

شکل ۵-۱۷: فیلتر میان‌گذر فرکتالی با رزوناتور رینگ[۱۸] ۶۹

شکل ۵-۱۸: فیلتر میان‌گذر با ساختار کچ دانه برفی (الف) ساختار فیلتر با کوپلاژ موازی(ب)پاسخ فیلتر[۱۹].....۶۹,۷۰

شکل ۵-۱۹: (الف) ساختار فیلتر فرکتالی هیلبرت (ب)پاسخ فیلتر[۲۰].....۷۰

شکل ۶-۱ رزوناتور سنجاقی شکل.....۷۲

شکل ۶-۲ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورسنجاقی شکل.....۷۳

شکل ۶-۳ رزوناتورهای سنجاقی شکل نیمه متقارن.....۷۳

شکل ۶-۴ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی شکل نیمه متقارن.....۷۴

شکل ۶-۵ رزوناتورهای سنجاقی شکل نیمه متقارن هشت تایی.....۷۴

شکل ۶-۶ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی شکل نیمه متقارن هشت تایی.....۷۵

شکل ۶-۷ رزوناتورهای سنجاقی فراکتال.....۷۵

شکل ۶-۸ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی فراکتال.....۷۶

شکل ۶-۹ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی فراکتال و ساده از ۰,۱ تا ۳۵ گیگا هرتز..۷۶

شکل ۶-۱۰ نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی فراکتال و ساده از ۰,۱ تا ۵ گیگا هرتز...۷۷

شکل۶-۱۱ : (a) رزوناتور ۱، (b) رزوناتور ۲، (c) رزوناتور ۳، (d) رزوناتور ۴ ..... ۷۷

شکل۶-۱۲ : پاسخ فرکانسی (a) رزوناتور ۱، (b) رزوناتور ۲،۳و۴ .....۷۸

شکل ۶-۱۳:یک تکه از مدار فراکتال.....۷۹

شکل ۶-۱۴: مدار معادل (a) : ترکیبهای انتها باز(b) استاپهای کوتاه (c) خطوط با زاویه ۹۰ درجه (d) فاصله هوایی.....۷۹،۸۰

شکل ۶-۱۵: مدار معادل.....۸۰

شکل ۶-۱۶: نتایج شبیه‌سازی شده‌ی رزوناتورهای سنجاقی فراکتال و ساده از ۲ تا ۵ گیگا هرتز.....۸۱

شکل ۶-۱۷: مدار معادل (a) : ترکیبهای انتها باز(b) خم (c) فاصله هوایی.....۸۲

شکل ۶-۱۸: مدار معادل u شکل.....۸۳

شکل ۶-۱۹ : ابعاد مدار زوناتور اصلی.....۸۳

شکل ۶-۲۰: ابعاد معادل u شکل.....۸۴

شکل۶-۲۱ فیلتر ساخته شده.....۸۴

شکل۶-۲۲ : نمودار فیلتر ساخته شده و اندازه گیری شده.....۸۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: تقسیمات فرکانسی امواج مایکروویو.....۴،۵

جدول ۲-۱:ماتریس ارتباط داخلی پارامترها.....۹

جدول ۶-۱: مقایسه‌ی اجمالی بین فیلتر ساخته شده و کارهای پیشین.....۸۶،۸۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱ امواج مایکروویو[1]

امروزه خطوط مایکرواستریپ پایه طراحی مدارهای فرکانس بالا در صنعت می باشد. این خطوط که بصورت خطوط انتقال با ضریب دی الکتریکی موثر ارائه می شود، می تواند به عنوان خط انتقال یا سلف و خازن معادل مدارهای فرکانس بالا بکار گرفته شود، بنابراین در جهت تطبیق عوامل فعال به منبع و یا بار، از این خطوط بخوبی استفاده می شود. البته تا موقعی که این خطوط بصورت انتقال انرژی بکار برده شود، باید از تشعشع آن جلوگیری نمود ولی اگر به عنوان آنتن مایکرواستریپ استفاده شود، تشعشع در اولویت اول خواهد بود.

۱-۱-۱ امواج مایکروویو و کاربرد آن

امواج مایکروویو به فرکانس‌های۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز اطلاق می‌گردد. که متناظر با طول موج یک سانتیمتر تا یک متر می‌باشد. امواج الکترومغناطیسی با طول موج یک تا ده میلیمتر امواج میلیمتری نامیده می‌شوند. [۱] در عصر پیشرفت تکنولوژی ، کاربرد و استفاده از طیف های فرکانسی و امواج رادیویی در حال گسترش روزافزون است. مهم ترین مزیت این فناوری کاهش حجم اتصالات و وسایل رابط همچون سیم ها و کابل ها هستند ، که در نتیجه موجب کاهش چشم گیر هزینه ها می گردند . به طوری که روابط بدون سیم جایگزین مطمئن آنها می شوند . از کاربرهای امواج مایکروویو می توان به ارتباطات ، رادار ، ناوبری ، اختر شناسی و همچنین به وسیله ای برای گرم کردن در صنایع و درمان حرارتی در دیاترمی اشاره کرد اشاره نمود .

۱-۱-۲ باندها و طیف های فرکانسی امواج مایکروویو

[1] Microwave

موسسه مهندسان الکترونیک و الکتریک یا IEEE باندهای فرکانسی ذیل را بر اساس استاندارد را در شماره ۵۲۱ خود تعریف و نام گذاری می کند :

باند پی : (P) از ۰/۲۳ تا ۱ گیگاهرتز

باند ال : (L) از ۱ تا ۲ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در خدمات ماهواره ای سیار

باند اس : (S) از ۲ تا ۴ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های سنجشی

باند سی : (c) از ۴ تا ۸ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباطات تجاری

باند اکس : (X) از ۸ تا ۱۲ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های نظامی از ۸ تا ۱۲/۵ گیگاهرتز در ایالات متحده)

باند کی . یو : (KU) از ۱۲ تا ۱۸ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباط تجاری (از ۱۲/۵ تا ۱۸ گیگاهرتز در ایالات متحده)

باند کی : (K) از ۱۸ تا ۲۷ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباط تجاری (از ۱۸ تا ۲۶/۵ گیگاهرتز در ایالات متحده)

باند کی . ای (KA) از ۲۷ تا ۴۰ گیگاهرتز ، بیشتر کاربرد در ماهواره های ارتباطات تجاری (از ۲۶/۵ تا ۴۰ گیگاهرتز در ایالات متحده)

باند اُ : (O) از ۴۰ تا ۵۰ گیگاهرتز

باند وی : (V) از ۵۰ تا ۷۵ گیگاهرتز

قابل ذکر است که این محدوده گذاری چندان بر استاندارد اتحادیه ارتباط بین الملل یا آی . تی . یو (ITU) ، منطبق نیست . مثلاً بر خلاف استاندارد ارائه شده از طرف آی . تی . یو (ITU) ، آی . تریپل . ئی (IEEE) محدوده باند یو اچ . اف را از ۳۰۰ مگاهرتز تا ۱ ۱ گیگاهرتز ذکر می کند . به هر حال ، یک استاندارد مشخص جهان شمول برای این دسته بندی وجود ندارد . در مراجع مختلف باندهای فرکانسی ذیل نیز تعریف شده اند :

باند آر : (R) از ۱/۷۶ تا ۲/۶ گیگاهرتز

باند اچ : (H) از ۳/۹۵ تا ۵/۸۵ گیگاهرتز

باند کیو : (Q) از ۳۳ تا ۵۰ گیگاهرتز

باند یو : (U) از ۴۰ تا ۶۰ گیگاهرتز

باند دابلیو : (W) از ۷۵ تا ۱۱۰ گیگاهرتز

باند مایکروویو : از ۱ تا ۳۰۰ گیگاهرتز

اما باید توجه داشت که اگر چه تعریف و نام گذاری محدوده های متفاوت است ، اینکه هر محدوده مشخص فرکانسی (بدون در نظر گرفتن نام آن محدوده) برای چه منظوری و تحت چه ضوابطی مورد استفاده قرار گیرد . فقط بر عهده آی . تی . یو است و همه کشورهای جهان موظف به رعایت آن هستند .

جدول ۱-۱ تقسیمات فرکانسی فوق را به صورت خلاصه نمایش می دهد .

جدول ۱-۱: تقسیمات فرکانسی امواج مایکروویو

برخی از کاربردها	نام باند	باند فرکانسی
جهت یابی، سونار	VLF	3_30 KHz
کمک‌های کشتیرانی ، دستگاه‌های رادیویی	LF	30 -300 KHz
سیستم های پخش AM، رادیوی دریایی، 300 ارتباطات گارد ساحلی، جهت یابی	MF	300-3000 KHz
تلفن، تلگراف، فکس، پخش موج کوتاه بین المللی، رادیو آماتور، باند شهروندی، ارتباطات کشتی با ساحل یا هواپیما	HF	3-30MHz
تلویزیون، پخش موج FM، کنترل ترافیک هوایی، پلیس، رادیو بی سیم، تاکسی	VHF	30-300MHz
تلویزیون، ارتباطات ماهواره ای، رادارهای نظارتی، رادارهای نقشه برداری	UHF	300-3000zHM
رادار هوابرد، لینک های مایکروویو،	SHF	3-30HzG