**دانشگاه یزد**

**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**گروه مخابرات**

**پایان‌نامه**

**برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**مهندسی برق-مخابرات (میدان)**

# تحلیل و طراحی آنتن‌های موج نشتی بر پایه‌ی موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه

**استاد راهنما:**

**دکتر عباسعلی حیدری**

**استاد مشاور:**

**دکتر مسعود موحدی**

**پژوهش و نگارش:**

**سیدساسان حقیقی**

**اسفند ۱۳۹۲**

بسم الله الرحمن الرحیم

**کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه / رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه / رساله برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخهبرداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه / رساله منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.**

تقدیم به

# «پدر و مادر و خواهر»

عزیزم

# سپاسگزاری

جناب آقایان دکتر عباسعلی حیدری و دکتر مسعود موحدی اساتید راهنما و مشاورم:
شما روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما، مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

# چکیده:

از آنتن‌های موج نشتی در کاربردهای پویش فرکانسی استفاده می‌شود. جهت پرتوی اصلی این آنتن‌ها با فرکانس تغییر می‌کند به‌طوری‌که با افزایش فرکانس، پرتوی تشعشعی در آنتن‌های موج نشتی راستگرد از پهلوتاب تا جلوتاب و در آنتن‌های موج نشتی چپگرد-راستگرد ترکیبی (CRLH) از پشت‌تاب تا جلوتاب حرکت می‌کند. در این پایان‌نامه در ابتدا موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه (SIW)، آنتن‌های موج نشتی و خطوط انتقال چپگرد-راستگرد ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه ساختارهای جدیدی برای بهبود عملکرد آنتن‌های موج نشتی CRLH پیشنهاد شده‌است. در ابتدا برای افزایش پهنای باند آنتن‌های موج نشتی CRLH، با به کارگیری شکاف‌های دایره‌ای به جای شکاف‌های مستطیلی یا بین انگشتی، پهنای باند وسیعی از فرکانس ۱۸ تا ۳۲ گیگاهرتز حاصل شده‌است. این پهنای باند ۱۴ گیگاهرتزی، نسبت به کارهای انجام شده‌ی قبلی بسیار وسیع‌تر می‌باشد. در ادامه، با همین شکاف‌های دایره‌ای، یک آنتن موج نشتی چپگرد که زاویه‌ی پویش زیادی از پشت‌تاب تا پهلوتاب دارد نیز طراحی شده است. هدف بعدی، چند بانده کردن آنتن‌های موج نشتی CRLH می‌باشد. با استفاده از دو شکاف بین‌انگشتی مجاور هم در هر سلول CRLH از این آنتن، که نوار باریک بین این دو شکاف با اتصال فلزی به زمین وصل شده است، دو باند CRLH (یکی متوازن و دیگری نامتوازن) و یک باند راستگرد (RH) مجزا به دست آمده است. نسبت به دیگر آنتن‌های موج نشتی CRLH چند باندی، ساختار آنتن پیشنهادی در این پایان‌نامه، دارای تعداد باندهای بیشتری می‌باشد. علاوه براین، بهره، زاویه پویش پرتو و پهنای باند فرکانسی این آنتن نیز نسبت به آنتن‌های چند بانده قبلی، افزایش یافته است. این آنتن ساخته شده و پارامترهای پراکندگی و نماد تشعشعی آنتن در فرکانس و باندهای مختلف اندازه‌گیری شده‌است. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری به طور کامل در پایان‌نامه ارائه شده و تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده می‌شود. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آنتن‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه با نرم‌افزار CST Microwave Studio انجام شده است.



**واژه‌های کلیدی: آنتن‌های موج نشتی، خط انتقال چپگرد-راستگرد ترکیبی (CRLH-TL)، موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه (SIW).**

## فهرست مطالب

**عنوان ..... صفحه**


**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

**فصل دوم: موجبرهای مجتمع شده در زیرلایه ..... ۷**

۲-۱ مشخصات انتشار موج در SIW ..... ۷

۲-۲ مکانیسم تلفات در SIW ..... ۹

۲-۳ خط انتقال و تغذیه از ریزنوار به SIW ..... ۱۰

۲-۴ روش‌هایی برای کاهش اندازه SIW ..... ۱۳

۲-۵ روش‌های افزایش پهنای باند SIW ..... ۱۵

**فصل سوم: آنتن‌های موج نشتی برپایه خط انتقال چپگرد-راستگرد ترکیبی ۱۷**

۳-۱ خطوط انتقال چپگرد-راستگرد ترکیبی ..... ۱۷

۳-۱-۱ مدل مداری و پارامترهای RH-TL و LH-TL ..... ۱۸

۳-۱-۲ مدل مداری و پارامترهای CRLH-TL ..... ۲۰

۳-۱-۳ ضریب گذردهی الکتریکی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی معادل ..... ۲۴

۳-۲ آنتن‌های موج نشتی ..... ۲۵

۳-۲-۱ اصول طراحی آنتن موج نشتی متناوب ..... ۲۸

۳-۲-۲ تاثیر تناوب بر رفتار پویش آنتن موج نشتی ..... ۲۹

۳-۲-۳ جهت پرتو، پهنای پرتوی نیم توان و بازدهی تشعشعی ..... ۳۰

۳-۳ مرور کارهای انجام شده‌ی قبلی ..... ۳۲

۳-۳-۱ آنتن‌های موج نشتی راستگرد ..... ۳۲

۳-۳-۲ آنتن‌های موج نشتی CRLH ..... ۳۵

۳-۳-۳ آنتن‌های موج نشتی CRLH چند بانده ..... ۴۴

**فصل چهارم: آنتن‌های موج نشتی SIW پیشنهادی با شکاف‌های دایره‌ای ۴۹**

۴-۱ آنتن موج نشتی چپگرد (LH) پیشنهادی ..... ۴۹

۴-۲ آنتن موج نشتی CRLH پیشنهادی با شکاف‌های دایره‌ای بر پایه SIW ..... ۵۶

**فصل پنجم: آنتن موج نشتی CRLH چند بانده پیشنهادی ..... ۶۳**

۵-۱ ساختار آنتن موج نشتی CRLH چند بانده پیشنهادی ..... ۶۳

۵-۲ نتایج طراحی، شبیه‌سازی و ساخت ..... ۶۷

**فصل ششم: جمع‌بندی و پیشنهادها ..... ۸۱**

۶-۱ نتیجه‌گیری ..... ۸۱

۶-۲ پیشنهادها ..... ۸۲

**مراجع** ..... ۸۵

# فهرست شکل‌ها


شکل ۲-۱: شکل هندسی SIW [۸]..... ۸

شکل ۲-۲: میدان الکتریکی درون موجبر مستطیلی و SIW [۸]..... ۹

شکل ۲-۳: انتقال مخروطی ریزنواری به SIW [۹]..... ۱۱

شکل ۲-۴: ابعاد بهینه خط انتقال ریزنواری به SIW [۹]..... ۱۲

شکل ۲-۵: الف) نمای افقی HMSIW ب) نمای بالای SIW، HMSIW و توزیع میدان در آن‌ها[۱۰]..... ۱۳

شکل ۲-۶: الف) نمای جلوی FSIW ب) نمای بالای FSIW [۱۱]..... ۱۴

شکل ۲-۷: الف) نمای جلوی SISW ب) نمای بالای SISW [۸] و[۱۲]..... ۱۵

شکل ۲-۸: ساختار الف) RSIW تعمیم یافته ب) RSIW [۱۴]..... ۱۷

شکل ۳-۱: مدار معادل یک سلول الف)RH-TL ب)LH-TL..... ۱۸

شکل ۳-۲: تغییرات $\beta$ بر حسب فرکانس برای RH-TL و LH-TL [۶]..... ۲۰

شکل ۳-۳: مدار معادل یک سلول CRLH-TL..... ۲۱

شکل ۳-۴: تغییرات $\beta$ بر حسب فرکانس برای الف) CRLH-TL متوازن ب) CRLH-TL نامتوازن[۶]..... ۲۳

شکل ۳-۵: موجبر مستطیلی با یک شکاف پیوسته طولی بر دیواره‌ی جانبی آن[۷]..... ۲۶

شکل ۳-۶: یک نمونه آنتن موج نشتی متناوب (موجبر مستطیلی دی‌الکتریک با آرایه‌ای از نوارهای فلزی بر روی سطح بالایی آن)[۷]..... ۲۸

شکل ۳-۷: ساختار آنتن با شکاف‌های مستطیلی عرضی[۱۷]..... ۳۲

شکل ۳-۸: پارامترهای پراکندگی آنتن با شکاف‌های عرضی[۱۷]..... ۳۳

شکل ۳-۹: نمای ساختار آنتن با شکاف‌های H شکل[۱۸]..... ۳۳

شکل ۳-۱۰: آنتن موج نشتی شبه یکنواخت با الف) شکاف خم‌دار ب) دیواره‌ی جانبی خم‌دار[۱۹]..... ۳۴

شکل ۳-۱۱: الگوی تشعشعی صفحه‌ی H الف) آنتن نوع ۱ ب) آنتن نوع ۲[۱۹]..... ۳۴
شکل ۳-۱۲: آنتن موج نشتی CRLH با عنصر تشعشع کننده الف) یک طرفه ب) دو طرفه[۲۰].
..... ۳۵
شکل ۳-۱۳: آنتن CRLH با تشعشع یک طرفه الف) نیم‌مد ب) نیم‌مد با زمین تاخورده[۲۰].۳۶
شکل ۳-۱۴: الف) یک سلول CRLH ب) ساختار کلی آنتن[۲۱]..... ۳۷
شکل ۳-۱۵: الگوی تشعشعی آنتن با تشعشع دو طرفه در باند الف) RH ب) LH [۲۰]..... ۳۷
شکل ۳-۱۶: نسبت محوری برای فرکانس‌ها و فاصله‌ی $w_4$ متفاوت[۲۱]..... ۳۸
شکل ۳-۱۷: نمای آنتن ساخته شده[۲۲]..... ۳۹
شکل ۳-۱۸: الف) نمای سطح مقطع عرضی ب) قسمت‌های مختلف سلول واحد[۲۲]..... ۳۹
شکل ۳-۱۹: بهره محوری بر حسب تعداد سلول‌های دوتایی واحد در فرکانس 9GHz [۲۲]. ۴۰
شکل ۳-۲۰: پارامترهای پراکندگی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده[۲۲]..... ۴۰
شکل ۳-۲۱: بهره‌ی تشعشعی آنتن[۲۲]..... ۴۱
شکل ۳-۲۲: نمای آنتن ساخته شده دو لایه با شکاف‌های طولی[۲۳]..... ۴۱
شکل ۳-۲۳: الف) نماهای سلول CRLH ب) نمای لایه‌ها[۲۳]..... ۴۲
شکل ۳-۲۴: پارامترهای پراکندگی آنتن[۲۳]..... ۴۳
شکل ۳-۲۵: پرتوی تشعشی آنتن[۲۳]..... ۴۳
شکل ۳-۲۶: مدار معادل و نمای کلی تناوب یک در میان سلول‌های متفاوت[۲۵]..... ۴۴
شکل ۳-۲۷: پارامترهای پراکندگی الف) S11 ب) S21 [۲۴]..... ۴۵
شکل ۳-۲۸: زاویه‌ی اسکن آنتن بر حسب فرکانس[۲۴]..... ۴۵
شکل ۳-۲۹: الگوی تشعشعی آنتن شبیه‌سازی(خط چین) و ساخته شده(خط توپر) در چند نمونه
فرکانسی[۲۴]..... ۴۶
شکل ۳-۳۰: آرایش و ابعاد یک سلول CRLH از این آنتن[۲۶]..... ۴۶
شکل ۳-۳۱: نمای ورودی آنتن ساخته شده[۲۶]..... ۴۷

شکل ۳-۳۲: پارامترهای پراکندگی آنتن با ۲۵ سلول[۲۶]..... ۴۷
شکل ۳-۳۳: الگوی تشعشعی شبیه‌سازی شده برای الف) باند CRLH اول ب) باند CRLH دوم[۲۶]..... ۴۸
شکل ۴-۱: نمای کلی آنتن چپگرد پیشنهادی..... ۵۰
شکل ۴-۲: نمای بزرگ‌تری از شکاف‌ها و پارامترهای فیزیکی آنتن چپگرد..... ۵۱
شکل ۴-۳ : پارامترهای پراکندگی آنتن چپگرد طراحی شده..... ۵۲
شکل ۴-۴: نمودار بهره‌ی آنتن در پهنای باند فرکانسی..... ۵۳
شکل ۴-۵: نمودار بازدهی تشعشعی(خط‌چین) و بازدهی کل آنتن(خط پیوسته)..... ۵۳
شکل ۴-۶: الگوی تشعشعی آنتن طراحی شده در فرکانس‌های مختلف..... ۵۵
شکل ۴-۷: نمای کلی آنتن CRLH پیشنهادی..... ۵۶
شکل ۴-۸: الف) یک سلول CRLH آنتن ب) نمای صفحه بالایی آنتن ج)خط تغذیه مخروطی. ۵۷
شکل ۴-۹: نمای سطح مقطع و داخل SIW ..... ۵۸
شکل ۴-۱۰: پارامترهای پراکندگی آنتن CRLH طراحی شده..... ۵۸
شکل ۴-۱۱: نمودار بهره‌ی آنتن در پهنای باند فرکانسی..... ۵۹
شکل ۴-۱۲: نمودار بازدهی تشعشعی و بازدهی کل آنتن CRLH پیشنهادی..... ۵۹
شکل ۴-۱۳: الگوی تشعشعی آنتن طراحی شده در فرکانس‌های مختلف..... ۶۱
شکل ۵-۱: نمای کلی آنتن موج نشتی CRLH سه بانده..... ۶۴
شکل ۵-۲: نمای بزرگ شده‌ی یک سلول CRLH از آنتن پیشنهادی با پارامترهای فیزیکی آن. ۶۴
شکل ۵-۳: خط تغذیه ورودی آنتن..... ۶۵
شکل ۵-۴: نمای کلی آنتن ساخته شده..... ۶۶
شکل ۵-۵: نمای بزرگ شده‌ی شکاف‌ها و وایاهای آنتن ساخته شده..... ۶۶
شکل ۵-۶: پارامترهای پراکندگی (S11 خط پیوسته قرمز رنگ و S21 خط‌چین سبز رنگ).. ۶۷
شکل ۵-۷: ساختار سلولی جدید (اصلاح شده)..... ۶۸

شکل ۵-۸: تلفات بازگشتی در ورودی(خط‌چین مربوط به شبیه‌سازی و خط توپر مربوط به ساخت)..... ۶۹
شکل ۵-۹: تلفات انتقالی در خروجی(خط‌چین مربوط به شبیه‌سازی و خط توپر مربوط به ساخت). ..... ۶۹
شکل ۵-۱۰: نمودار بهره‌ی آنتن چند بانده..... ۷۰
شکل ۵-۱۱: نمودار بازدهی تشعشعی (خط پیوسته آبی رنگ) و بازدهی کل (خط‌چین قرمز رنگ). ..... ۷۱
شکل ۵-۱۲: زاویه‌ی اسکن پرتوی آنتن در باندهای مختلف..... ۷۲
شکل ۵-۱۳: الگوی تشعشعی آنتن در باند CRLH اول (خط‌چین نتایج شبیه‌سازی و خط توپر نتایج ساخت )..... ۷۴
شکل ۵-۱۴: الگوی تشعشعی آنتن در باند CRLH دوم (خط‌چین مربوط به نتایج شبیه‌سازی و خط توپر نتایج ساخت)..... ۷۵
شکل ۵-۱۵: الگوی تشعشعی آنتن در باند راستگرد (خط‌چین مربوط به نتایج شبیه‌سازی و خط توپر نتایج ساخت)..... ۷۶
شکل ۵-۱۶: الگوی تشعشعی آنتن در باند CRLH اول در مختصات دکارتی..... ۷۶
شکل ۵-۱۷: الگوی تشعشعی آنتن در باند CRLH دوم در مختصات دکارتی..... ۷۷
شکل ۵-۱۸: الگوی تشعشعی آنتن در باند RH در مختصات دکارتی..... ۷۷

# فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱: خلاصه‌ی از شش پلاریزاسیون خاص تحت تحریک‌های متفاوت در ورودی‌ها[۲۱].
۳۸.....

جدول ۴-۱: معرفی پارامترها و مقادیر بهینه شده‌ی آن‌ها در آنتن چپگرد پیشنهادی.....۵۱

جدول ۴-۲: معرفی پارامترها و مقادیر بهینه شده‌ی آن‌ها در آنتن CRLH .....۵۷

جدول ۵-۱: معرفی پارامترها و مقادیر بهینه شده‌ی آن‌ها در آنتن CRLH چند بانده.....۶۵

جدول ۵-۲: خلاصه‌ای از مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی آنتن چند بانده‌ی پیشنهادی با مراجع
دیگر.....۷۸