



دانشگاه ارومیه

**دانشکده فنی و مهندسی**

**گروه برق – مخابرات**

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مخابرات میدان

**عنوان :**

**طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن چاپی برای کاربرد در سیستم‌های فرایهن باند**

**استاد راهنمای اول: دکتر چنگیز قبادی**

**استاد راهنمای دوم: دکتر جواد نوری نیا**

**تنظیم و نگارش:**

**سجاد فرجی**

**بهمن ماه ۱۳۹۱**

**حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است**





تاریخ :  
شماره :

پایان نامه خانم / آقای کیا دفین به شماره دانشجویی ۸۹۱۷۸۱۰۰۸ رشته مهندسی مکانیک - مخبر  
تحت عنوان : بیمبازی بهرام و مسافت یک آنتن جایی برای کاربرد در سیستم های MSB  
به تاریخ ۹۱/۱۱/۱۵ و به شماره پایان نامه ۹۰۸-۲ ف و بارتبه ۹۱/۱۱/۱۵ و نمره ۱۹/۵  
توسط هیئت محترم داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.  
نورالدین

ردیف	کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	تاریخ و امضاء
۱	استاد راهنمای اول و رئیس هیات داوران	<u>جواری نورانی</u>	<u>[Signature]</u>
۲	استاد راهنمای دوم	<u>محمد جباری</u>	<u>[Signature]</u>
۳	استاد مشاور (در صورت وجود)		
۴	داور خارجی	<u>بهروز مستوفی</u>	<u>[Signature]</u> ۹۱/۱۱/۱۵
۵	داور داخلی	<u>محمد آذرش</u>	<u>[Signature]</u> ۹۱/۱۱/۱۵
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده		<u>[Signature]</u>

تقدیم به:

پدرم

آنکه کوشید تا کوشنده باشم

آنکه استوار بود تا تکیه گاهم باشد

مادرم

دریای بی کران فدکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

پروردگارا:

نه می توانم موباشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست های پینه بسته شان که شمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه سگم گزاشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم...

و همزادایم در مسیر زندگی

مصطفی محمد مهدی

## تشکر و قدردانی

حمد و سپاس بی کران شایسته الطاف و اسعه خدائی است که توفیق سلامتی، تحصیل علم و تحقیق در رشته مورد علاقه ام را به من عطا فرمود. ابتدا لازم می دانم از اساتید دانشمند و فرزانه جناب آقایان دکتر چنگیز قبادی و دکتر جواد نوری نیا که در طول دوره آموزش و تحقیق، مرا از دانش، تجربه و راهنمائیهای ارزنده خویش بهره مند ساخته اند، صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم. همچنین تشکر خویش را از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدنقی آذرمنش به خاطر زحماتی که طی مراحل تحصیل متحمل شده اند ابراز می نمایم. همچنین از دوستان عزیزم: سرکارخانم زندی، آقایان رضا سلمانی بنابی، اصغر موسوی، نادر فعله گری، احمد فراقی، وحید زارعی، محمدپورباقر، آرش ولی زاده و عبدالخالق محمدی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## چکیده

رشد سریع و روز افزون صنایع مخابراتی به همراه نیاز سیستم‌ها به آنتن‌های فرایپهن باند، حوزه جدیدی از تحقیق و پژوهش را بر روی پژوهشگران گشود. آنتن‌های طراحی شده برای مخابرات باند وسیع باید دارای سایز کوچک، پترن همه جهته، توان مصرفی کم و تاخیر گروهی ناچیز باشند.

در این پایان نامه دو آنتن میکرواستریپی پهن باند طراحی و مورد تست‌های میدانی لازم قرار گرفتند. زیرلایه هر دو آنتن از جنس FR4 بوده و ابعاد آنتن اول برابر  $14 \times 16 \times 1 \text{ mm}^3$  و ابعاد آنتن دوم  $26 \times 26 \times 1/6 \text{ mm}^3$  انتخاب شدند. در آنتن اول از سه شکاف پله‌ای با طول‌های مختلف در پیچ آنتن، به همراه دو شکاف بیضوی در زمین آنتن جهت افزایش پهنای باند بهره گرفته شده است. آنتن دارای پایداری پترن بسیار خوبی است. پترن آنتن در صفحه H همه جهته است و توانایی کار تا فرکانس 18 گیگاهرتز را دارد. شکل و ظاهر آنتن نسبتاً ساده بوده و تولید آن جهت کاربرد در سیستم‌های فرایپهن باند از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است.

در آنتن دوم که شکافدار از نوع تغذیه CPW است، جهت کاهش مولفه پلاریزاسیون متقاطع آنتن، شکل پیچ و شکاف مشابه در نظر گرفته شده‌اند. جهت افزایش پهنای باند آنتن، از سیستم تغذیه سه شاخکی استفاده شده است. در این آنتن از دو عدد دیود فرکانس بالا جهت سویچ کردن آنتن و تغییر ابعاد شکاف بهره گرفته شده است. طراحی شکاف بر اساس ربع طول موج بوده و سعی شده که فاصله شکاف در دورترین فاصله نسبت به خط تغذیه تعبیه شود.

فصل اول: آنتن های میکرواستریپ.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
۲-۱ ساختار آنتن های میکرواستریپ.....	۱
۱-۲-۱ تحلیل آنتن های میکرواستریپ.....	۲
۲-۲-۱ تغذیه آنتن های میکرواستریپ.....	۲
۳-۲-۱ میدان های تشعشی.....	۵
۳-۱ نتیجه گیری.....	۶
فصل دوم: آنتن های میکرواستریپ فراپهن باند و راه های تطبیق امپدانسی.....	۷
۱-۲ مقدمه.....	۷
۲-۲ راه های افزایش تطبیق امپدانسی.....	۷
۱-۲-۲ استفاده از برش مستطیلی در خط تغذیه.....	۷
۲-۲-۲ تصحیح ساختار تغذیه.....	۹
۳-۲-۲ تصحیح ساختار زمین.....	۱۵
۴-۲-۲ استفاده از استاب تغذیه.....	۱۷
۵-۲-۲ ساختارهای فرکتالی.....	۱۷
۶-۲-۲ ساختار هم صفحه.....	۲۰
۳-۲ نتیجه گیری.....	۲۳
فصل سوم: باندهای فرکانسی.....	۲۴
۱-۳ مقدمه.....	۲۴
۲-۳ تاریخچه UWB.....	۲۴
۳-۳ تکنولوژی UWB.....	۲۵
۴-۳ مزایای سیستم های UWB.....	۲۶
۵-۳ معایب سیستم های UWB.....	۲۷

۲۹	فصل چهارم: بررسی آنتن‌های UWB با عملکرد حذف باند.....
۲۹	۱-۴ مقدمه.....
۳۰	۲-۴ حذف باند با استفاده از ساختار U شکل.....
۳۱	۳-۴ استفاده از کوپلاژ الکترومغناطیس.....
۳۱	۴-۴ استفاده از شکاف‌های رینگ‌ی شکل.....
۳۶	۵-۴ ماریپج کردن زمین آنتن.....
۳۷	۶-۴ استفاده از المان‌های پارازیتیک.....
۵۳	۷-۴ استفاده از شاخک‌های ربع و نیم موج جهت عملکرد فیلترینگی.....
۵۵	۸-۴ برش همسان با پچ.....
۵۷	۹-۴ نتیجه‌گیری.....
۵۸	فصل پنجم: بررسی آنتن‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه.....
۵۸	۱-۵ مقدمه.....
۵۸	۲-۵ طراحی آنتن پیشنهادی اول پایان‌نامه.....
۵۹	۱-۲-۵ بررسی نقش فاصل هوایی.....
۶۰	۲-۲-۵ بررسی شکاف‌های اعمال شده.....
۶۲	۳-۲-۵ نتایج تست عملی آنتن.....
۶۴	۴-۲-۵ تاخیر گروه آنتن.....
۶۵	۵-۲-۵ آنالیز حوزه زمانی آنتن.....
۶۶	۶-۲-۵ مقایسه آنتن پیشنهادی با کارهای انجام شده.....
۶۶	۳-۵ بررسی آنتن پیشنهادی دوم پایان‌نامه.....
۶۷	۱-۳-۵ بررسی ساختار آنتن دوم.....
۶۸	۲-۳-۵ بررسی ساختار تغذیه ای.....
۷۰	۳-۳-۵ مراحل تشکیل آنتن.....



۷۱.....	۴-۳-۵ بررسی فرایند فیلترینگی در آنتن.....
۷۲.....	۵-۳-۵ نتایج تست آنتن.....
۷۳.....	۶-۳-۵ نتایج میدان دور آنتن.....
۷۵.....	۴-۵ نتیجه گیری.....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی آنتن‌های میکرواستریپ ..... ۱
- شکل ۲-۱: مد  $TM_{01}$  در آنتن‌های میکرواستریپ ..... ۲
- شکل ۳-۱: انواع تغذیه آنتن میکرواستریپ ..... ۳
- شکل ۴-۱: نمایش خطوط میدان الکتریکی و مغناطیسی در خط  $cpw$  ..... ۴
- شکل ۵-۱: (الف) میدان اطراف پیچ (ب) جریان و ولتاژ اطراف پیچ ..... ۵
- شکل ۱-۲: آنتن مرجع [۱۰] ..... ۸
- شکل ۲-۲: بررسی رزنانس‌های آنتن مرجع [۱۰] ..... ۸
- شکل ۳-۲: تحلیل پارامتریک آنتن مرجع [۱۰] ..... ۹
- شکل ۴-۲: آنتن مرجع [۱۱] ..... ۹
- شکل ۵-۲: جریان‌های جاری بر سطح پیچ به ازای تغییر در مکانیزم تغذیه ..... ۱۰
- شکل ۶-۲: افت برگشتی آنتن به ازای تغذیه ساده، دوتایی و سه تایی ..... ۱۰
- شکل ۷-۲: آنتن تک قطبی با تغذیه سه گانه و برابری طول صفحه زمین با طول پیچ تشعشعی مرجع [۱۲] ..... ۱۱
- شکل ۸-۲: نتایج اندازه‌گیری و آنالیز نرم‌افزاری پارامتر  $VSWR$  برای آنتن تک قطبی ارائه شده در [۱۲] ..... ۱۱
- شکل ۹-۲: پترن‌های تشعشعی اندازه‌گیری شده در  $H$ -plane برای آنتن تک قطبی ارائه شده در [۱۲] ..... ۱۲
- شکل ۱۰-۲: تغییر در ساختار تغذیه ..... ۱۳
- شکل ۱۱-۲: امپدانس ورودی آنتن‌های پیشنهادی با توجه به جدول ۱-۲ ..... ۱۴
- شکل ۱۲-۲: (الف) تصویر آنتن با تغذیه دوزنقه‌ای (ب) بررسی پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  ..... ۱۴
- شکل ۱۳-۲: (الف) پترن صفحه  $H$  (ب) پترن صفحه  $E$  در فرکانس ۳ گیگاهرتز ..... ۱۵
- شکل ۱۴-۲: زمین شکافدار بعنوان شبکه تطبیق ..... ۱۵
- شکل ۱۵-۲: (الف) آنتن مرجع [۱۵] (ب) پاسخ فرکانسی آنتن در حضور/عدم حضور شکاف در زمین ..... ۱۶
- شکل ۱۶-۲: پترن آنتن در فرکانس ۱۱ گیگاهرتز ..... ۱۶
- شکل ۱۷-۲: آنتن مرجع [۱۷] ..... ۱۷
- شکل ۱۸-۲: آنتن فراکتالی برای کاربرد در سیستم‌های فرابهن باند ..... ۱۸
- شکل ۱۹-۲: (الف) آنتن فراکتالی برای پوشش بازه فرکانسی  $uw$  (ب) فاز افت برگشتی ..... ۲۰
- شکل ۲۰-۲: (الف) ساختار آنتن مرجع [۲۱] ..... ۲۱
- شکل ۲۱-۲: (الف) آنتن  $CPW$  با زمین برشی (ب) تحلیل پارامتریک شکاف ..... ۲۲
- شکل ۲۲-۲: هندسه آنتن مرجع [۲۲] ..... ۲۲

- شکل ۲-۲۳: جریان سطحی در سه فرکانس ..... ۲۲
- شکل ۲-۲۴: منحنی افت برگشتی آنتن مرجع [۲۲] ..... ۲۳
- شکل ۳-۱: مقایسه سیستم‌های مخابراتی موجود بر حسب سرعت انتقال داده و موقعیت متحرک ..... ۲۵
- شکل ۳-۲: مقایسه‌ای بین سیگنال باند باریک و سیستم UWB ..... ۲۵
- شکل ۴-۱: (الف) استفاده از دو شکاف u شکل (ب) جریان سطحی در فرکانس حذف باند ..... ۳۰
- شکل ۴-۲: آنتن مرجع [۲۷] ..... ۳۰
- شکل ۴-۳: نسبت موج ساکن در آنتن مرجع [۲۷] ..... ۳۱
- شکل ۴-۴: (الف) فیلتر میکرواستریپ (ب) پاسخ فرکانسی ..... ۳۲
- شکل ۴-۵: (الف) هندسه آنتن مرجع [۲۸] (ب) نسبت موج ساکن ..... ۳۲
- شکل ۴-۶: (الف) فاز  $S_{11}$  در حالت بدون رینگ (ب) فاز  $S_{11}$  در حالت فیلترینگی ..... ۳۳
- شکل ۴-۷: هندسه آنتن با سه رینگ و جریان سطحی ..... ۳۴
- شکل ۴-۸: ساختار آنتن تک قطبی حلقوی با شکاف حلقوی ..... ۳۵
- شکل ۴-۹: تغییرات نمودار VSWR آنتن شکل ۴-۸ با زاویه بازشدگی  $\alpha$  ( $s = 2/5 \text{ mm}$ ) ..... ۳۶
- شکل ۴-۱۰: تغییرات نمودار VSWR آنتن شکل ۴-۸ بر عرض شکاف حلقوی ( $\alpha = 20.5 \text{ deg}$ ) ..... ۳۶
- شکل ۴-۱۱: ساختار آنتن پیشنهادی مرجع [۳۰] ..... ۳۷
- شکل ۴-۱۲: (الف) افت برگشتی (ب) بهره آنتن ..... ۳۷
- شکل ۴-۱۳: المان‌های پارازیتی در شکل‌های اولیه با ربع و نیم طول موج ..... ۳۸
- شکل ۴-۱۴: (الف) عملکرد آنتن در باند عبور (ب) عملکرد آنتن در باند قطع ..... ۳۸
- شکل ۴-۱۵: ساختار هندسی مرحله چهارم فراکتال تک قطبی چندباند ارائه شده برای کاربردهای WLAN/WiMAX ..... ۴۰
- شکل ۴-۱۶: نتایج اندازه‌گیری آنتن مرجع [۳۲] با مقادیر بهینه شده ..... ۴۰
- شکل ۴-۱۷: آنتن پیشنهادی UWB (الف) بدون ساختار فیلتر، (ب) به همراه ساختار فیلتر ..... ۴۱
- شکل ۴-۱۸: نمودار تلفات بازگشتی برای آنتن پیشنهادی UWB با و بدون المان پارازیتی ..... ۴۱
- شکل ۴-۱۹: نمودار تلفات بازگشتی برای آنتن پیشنهادی UWB برای مقادیر مختلف زاویه  $M$  ..... ۴۲
- شکل ۴-۲۰: (الف) ساختار آنتن [۳۵]، (ب) جریان‌های سطحی ..... ۴۳
- شکل ۴-۲۱: المان‌های U شکل ..... ۴۴
- شکل ۴-۲۲: ساختار آنتن تک قطبی با شکاف روی زمین و یک المان پارازیتیکی H شکل زیر پیچ تشعشعی مرجع [۳۶] ..... ۴۴
- شکل ۴-۲۳: مدل مداری المان پارازیتیکی ..... ۴۵
- شکل ۴-۲۴: ساختار آنتن پیشنهادی مرجع [۳۶] ..... ۴۶
- شکل ۴-۲۵: VSWR به ازای مقادیر مختلف  $W_g$  ..... ۴۷
- شکل ۴-۲۶: VSWR به ازای مقادیر مختلف  $L_g$  ..... ۴۷

- شکل ۴-۲۷: جریان سطحی ..... ۴۸
- شکل ۴-۲۸: VSWR آنتن به ازای مقادیر مختلف  $g$  ..... ۴۹
- شکل ۴-۲۹: نسبت موج ساکن در آنتن مرجع [۳۶] به ازای تغییر طول  $L_h$  ..... ۴۹
- شکل ۴-۳۰: آنتن مرجع [۳۶] با دو حذف باند ..... ۵۰
- شکل ۴-۳۲: پهنای باند امیدانسی در دو حالت تغذیه ..... ۵۱
- شکل ۴-۳۳: ساختار آنتن تک قطبی دوبانده با المان پارازیتیکی ..... ۵۲
- شکل ۴-۳۴: نمودار تلفات بازگشتی بر اساس فرکانس برای آنتن شکل ۴-۳۱ ..... ۵۲
- شکل ۴-۳۵: نتایج شبیه سازی و اندازه گیری تلفات بازگشتی برای آنتن شکل ۴-۲ با و بدون المان پارازیتیکی ..... ۵۳
- شکل ۴-۳۶: شکل هندسی آنتن تک قطبی مرجع [۳۹] ..... ۵۴
- شکل ۴-۳۷: تلفات برگشتی شبه سازی شده و اندازه گیری شده آنتن مرجع [۳۹] ..... ۵۵
- شکل ۴-۳۸: تصویر آنتن مرجع [۴۰] ..... ۵۵
- شکل ۴-۳۹: تاثیر شکاف ها در تطبیق امیدانسی آنتن مرجع [۴۰] ..... ۵۶
- شکل ۴-۴۰: افت برگشتی و پترن تشعشعی آنتن مرجع [۴۰] ..... ۵۶
- شکل ۴-۴۱: (الف) آنتن مرجع [۴۱] با برش همسان. (ب) افت برگشتی آنتن ..... ۵۷
- شکل ۵-۱: ساختار آنتن پیشنهادی ..... ۵۹
- شکل ۵-۲: پاسخ فرکانسی آنتن شکل ۵-۱ به ازای تغییرات فاصله هوایی ..... ۵۹
- شکل ۵-۳: توزیع جریان سطحی ..... ۶۰
- شکل ۵-۴: نمایی از قسمت بهینه ساز نرم افزار HFSS ..... ۶۱
- شکل ۵-۵: فرآیند تشکیل آنتن ..... ۶۱
- شکل ۵-۶: پاسخ فرکانسی آنتن های شکل ۵-۵ ..... ۶۲
- شکل ۵-۷: تصویر آنتن ساخته شده ..... ۶۳
- شکل ۵-۸: (الف) آنتن تحت تست (ب) پاسخ فرکانسی آنتن شبیه سازی شده و تست شده ..... ۶۳
- شکل ۵-۹: منحنی پترن آنتن در صفحات و فرکانس های مختلف ..... ۶۴
- شکل ۵-۱۰: بهره آنتن ..... ۶۴
- شکل ۵-۱۱: تاخیر گروه آنتن اندازه گیری شده ..... ۶۵
- شکل ۵-۱۲: شبیه سازی پالس های فرستاده شده ..... ۶۶
- شکل ۵-۱۳: محاسبه عرص خط و شکاف برای آنتن دوم توسط نرم افزار MWO ..... ۶۸
- شکل ۵-۱۴: ساختار آنتن پیشنهادی دوم ..... ۶۸
- شکل ۵-۱۵: پاسخ فرکانسی آنتن در حالت تذبذبه سه شاخکی و معمولی ..... ۶۹
- شکل ۵-۱۶: جریان سطحی در آنتن ..... ۷۰

- شکل ۵-۱۷: مراحل تشکیل آنتن ..... ۷۰
- شکل ۵-۱۸: منحنی های افت برگشتی آنتن های شکل ۵-۱۶ ..... ۷۱
- شکل ۵-۱۹: جریان سطحی در فرکانس ۴ گیگاهرتز ..... ۷۲
- شکل ۵-۲۰: یک نمونه از خازن **Interdigital** ..... ۷۲
- شکل ۵-۲۱: نسبت موج ساکن در آنتن در هنگام روشن شدن دیودها ..... ۷۲
- شکل ۵-۲۲: تصویر آنتن ساخته شده ..... ۷۳
- شکل ۵-۲۳: نتایج تست افت برگشتی آنتن ها ..... ۷۳
- شکل ۵-۲۴: اختلاف مولفه های میدان الکتریکی در دو جهت  $X$  و  $Y$  ..... ۷۴
- شکل ۵-۲۵: پترن تشعشعی صفحه **H** ..... ۷۴

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: پهنای باند یک آنتن میکرواستریپ به ازای نسبت  $\frac{h}{\lambda}$  و با  $\epsilon_r$  های مختلف (معیار  $VSWR < 2$ ) ..... ۳
- جدول ۱-۲: مقایسه اثر پارامترهای خط تغذیه بر پهنای باند امپدانسی ..... ۱۳
- جدول ۱-۴: نتایج شبیه‌سازی براساس تغییر در مقادیر عرضی المان پارازیتیکی ..... ۵۳
- جدول ۱-۶: مقایسه آنتن پیشنهادی با آنتن‌های دیگر ..... ۶۷

# فصل اول

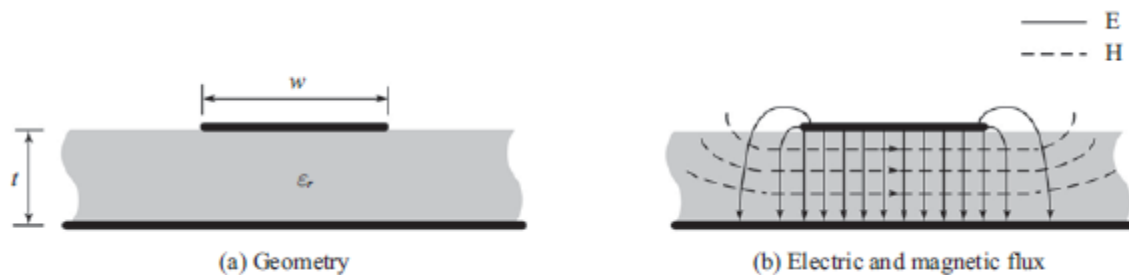
## آنتن‌های میکرواستریپ

### ۱-۱ مقدمه

هر چند استفاده از آنتن‌های میکرواستریپ قدمت زیادی ندارد، ولی استفاده از آن به ویژه در سیستم‌هایی که دارای پهنای باند بالایی هستند یا در چند باند فرکانسی کار می‌کنند، روز به روز بیشتر می‌شود. آنتن‌های میکرواستریپ به علت استحکام نسبتاً خوب و فرم مسطح، نه تنها قابلیت مجتمع شدن با المان‌های RF را دارند، بلکه به واسطه فرم آیرودینامیکی در صنعت هوایی نیز قابلیت استفاده پیدا کرده‌اند. حتی بهره نسبتاً پایین آنتن‌های میکرواستریپ هم مانع مهمی در استفاده از آن‌ها در خانواده‌های آنتن‌های بازتابی نشده است (در ساختار این آنتن‌ها، یک آنتن هورن کوچک به صفحه‌ای شامل تعدادی عنصر آرایه‌ای غیرفعال می‌تابد، موج تابشی توسط المان‌ها دریافت شده و پس از ایجاد شیفت فاز معینی بازتابیده می‌شود. فاز موج بازتابشی از المان‌ها به گونه‌ای تنظیم می‌شود که الگوی تشعشعی کلی آنتن به شکل مورد نظر درآید. المان‌های مورد استفاده عموماً المان‌های پچ با استاب، پچ با تزویج دریچه‌ای، حلقه‌ها و دوقطبی‌ها هستند).

### ۱-۲ ساختار آنتن‌های میکرواستریپ

آنتن میکرواستریپ در ساده‌ترین فرم خود از یک پچ تشعشعی، زمین و یک زیرلایه دی الکتریک تشکیل شده است [1]. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

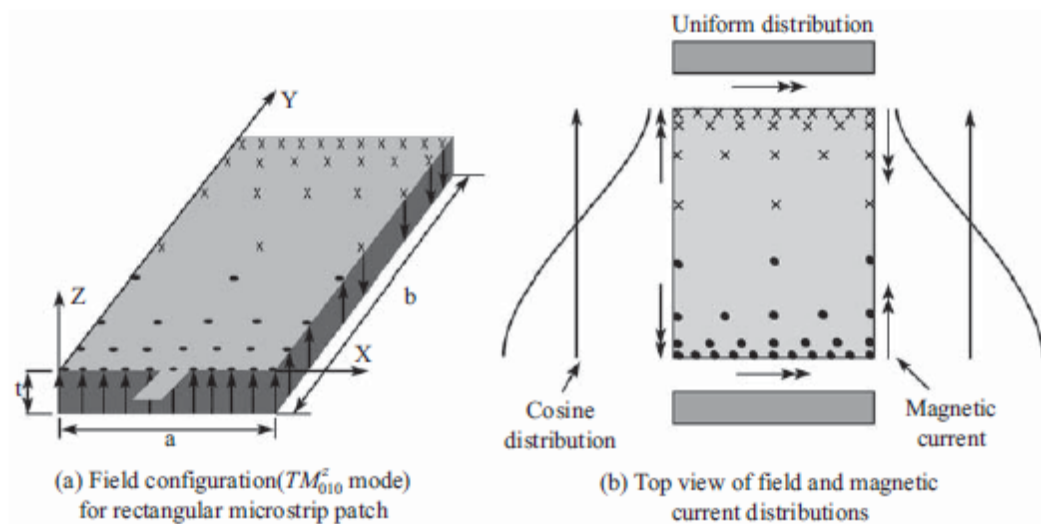


شکل ۱-۱: میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی آنتن‌های میکرواستریپ.

اگر زیرلایه آنتن از جنس هوا استفاده شود ( $\epsilon_r = 1$ ) می‌توان ساختار را مانند یک خط انتقال دو سیمه فرض کرد که سرعت فاز برابر سرعت نور در هوا است و مد انتشاری در این حالت TEM می‌باشد ( $v_p = c$  &  $\beta = k_0$ ) اگر جنس زیرلایه از دی الکتریک باشد میدان‌ها در این حالت شبه TEM هستند و سرعت فاز در آنها به میزان  $\frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$  می‌رسد.

### ۱-۲-۱ تحلیل آنتن‌های میکرواستریپ

از آنجاییکه ضخامت زیرلایه استفاده شده در مقایسه با طول موج در دی الکتریک بسیار نازک است، تغییرات میدان در طول ارتفاع می‌تواند ثابت فرض شود و میدان الکتریکی عمود بر سطح پچ است. در نتیجه پچ می‌تواند بصورت یک محفظه مایکروویو با دیواره‌های الکتریکی در بالا و پایین و چهار دیواره مغناطیسی در طول لبه‌های پچ مدل شود. در این محفظه فقط مدهای TM می‌توانند وجود داشته باشند. توزیع میدان الکتریکی برای مود غالب  $TM_{10}$  در محفظه در شکل ۲-۱ رسم شده است.



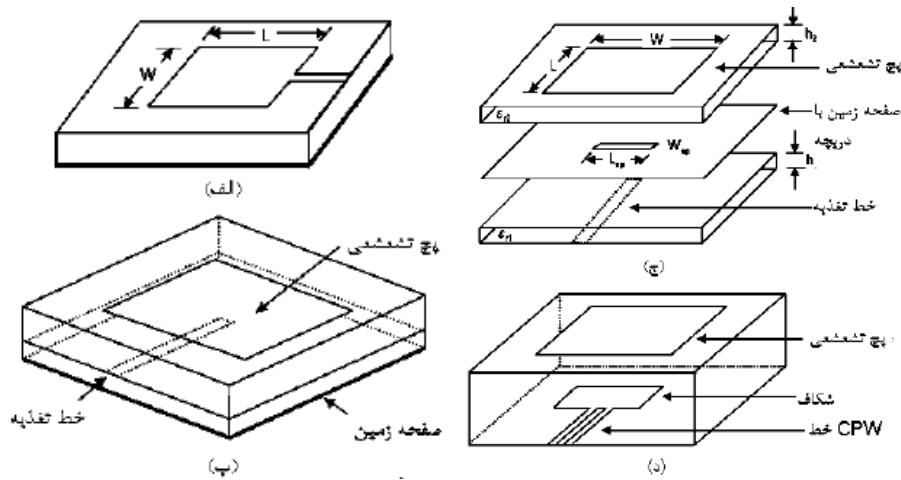
شکل ۲-۱: مد  $TM_{01}$  در آنتن‌های میکرواستریپ.

روش‌های تحلیل دیگری نیز معرفی شده‌اند که در مراجع [2-3] به خوبی بحث شده‌اند.

### ۱-۲-۲ تغذیه آنتن‌های میکرواستریپ

آنتن‌های مایکرواستریپ می‌توانند به صورت مستقیم با پروب کوآکسیال یا خط میکرواستریپ تغذیه شوند. همچنین، می‌توانند به صورت غیرمستقیم با استفاده از کوپلینگ الکترومغناطیسی یا کوپلینگ روزنه‌ای و تغذیه موجبری هم‌صفحه نیز تغذیه شوند. در روش‌های غیرمستقیم هیچ ارتباط فلزی بین خط تغذیه و پچ وجود ندارد [5-6]. نحوه تغذیه، تأثیر زیادی بر روی امپدانس ورودی و مشخصات آنتن دارد و به عنوان یک پارامتر مهم طراحی می‌باشد.





شکل ۱-۳: آنتن میکرواستریپ تغذیه شده با الف) خط میکرواستریپ، ب) القای الکترومغناطیسی، ج) القای دریچه‌ای، د) CPW.

یک پیچ که با استفاده از خط میکرواستریپ تغذیه می‌شود در شکل ۱-۳ الف) نشان داده شده است. مزیت این ساختار تغذیه در این است که بر روی زیرلایه طوری قرار می‌گیرد که کل ساختار مسطح باقی می‌ماند، تنها اشکال کار تشعشع ناخواسته از لایه‌های خط میکرواستریپ می‌باشد، که باعث افزایش تشعشع ناخواسته می‌شود. اگر اضلاع پیچ را مستطیلی با ابعاد  $a$  و  $b$  در نظر بگیریم مقاومت معادل آنتن در این حالت برابر است با

$$R_{01} = \frac{120\lambda_{01}Q_t}{\epsilon_r ab} \cos^2\left(\frac{\pi y_0}{b}\right) \quad (1-1)$$

$$R_{10} = \frac{120\lambda_{10}Q_t}{\epsilon_r ab} \cos^2\left(\frac{\pi x_0}{b}\right) j_0^2\left(\frac{\pi x_0}{2a}\right) \quad (1-2)$$

در فرمول‌های فوق  $\lambda$  طول موج و  $Q_t$  ضریب کیفیت کل بوده همچنین معادلات بالا نشان می‌دهد که مقاومت تشعشعی آنتن میکرواستریپ وابستگی معکوسی با فرکانس دارد. برای افزایش پهنای باند راه‌های گوناگونی پیشنهاد شده است [4-5]. یکی از این راه‌ها کاهش ضریب گذردهی است (اصولا آنتن‌های میکرواستریپ را می‌توان مانند صفحات خازن فرض کرد که با کاهش  $\epsilon_r$  ظرفیت خازن کمتر شده در نتیجه انرژی محصور شده در بین صفحات کاهش می‌یابد (به عبارتی آنتن انرژی به فضا تشعشع می‌کند). همچنین افزایش ارتفاع نیز می‌تواند پهنای باند را افزایش دهد البته در این حالت وزن آنتن افزایش یافته و احتمال تحریک امواج سطحی نیز وجود دارد (در این حالت یک مصالحه‌ای صورت می‌گیرد). جدول ۱-۱ میزان پهنای باند آنتن را به ازای نسبت  $\frac{h}{\lambda}$  و با  $\epsilon_r$  های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱ پهنای باند یک آنتن میکرواستریپ به ازای نسبت  $\frac{h}{\lambda}$  و با  $\epsilon_r$  های مختلف (معیار  $VSWR < 2$ ).

$h/\lambda_0$	BW(%)			
	$\epsilon_r = 1.00$	$\epsilon_r = 2.55$	$\epsilon_r = 4.70$	$\epsilon_r = 10.2$
0.005	1.16	0.85	0.76	0.50
0.020	3.55	1.96	1.38	0.79
0.040	7.14	3.84	2.62	1.47
0.060	10.85	5.86	3.93	2.27
0.080	14.61	7.96	5.45	3.18
0.100	18.42	10.15	7.02	4.17

در جدول فوق در می‌یابیم که با افزایش  $\frac{h}{\lambda}$ ، پهنای باند نیز افزایش می‌یابد. همچنین به ازای یک  $\frac{h}{\lambda}$ ، پهنای باند آنتنی بیشتر است که  $\epsilon_r$  کمتری دارد.

القای الکترومغناطیسی به عنوان یک القای تقریبی شناخته شده است، خط تغذیه بین پیچ و صفحه زمین قرار می‌گیرد که با دو نوع دی‌الکتریک از یکدیگر جدا شده‌اند. مزایای این نوع تغذیه یکی حذف کردن تشعشعات نامطلوب خط تغذیه و قدرت انتخاب دو نوع زیرلایه برای پیچ و تغذیه و انتخاب زیرلایه‌هایی با کارایی بهتر، و همچنین افزایش پهنای باند به خاطر افزایش ارتفاع کلی زیرلایه می‌باشد. عیب این روش این است که دو لایه باید به صورت کامل با یکدیگر هم‌تراز شوند که این باعث افزایش اندازه آنتن می‌شود. یک روش دیگر برای تغذیه غیرمستقیم این است که از القای روزه‌ای استفاده کنیم. در تغذیه القای روزه‌ای، میدان از خط مایکرواستریپ توسط یک روزه الکترومغناطیسی کوچک یا یک شکاف در صفحه زمین به پیچ القا می‌شود که در شکل ۱-۳ (ج) نشان داده شده است. روزه القایی معمولاً در زیر پیچ قرار داده می‌شود، به طوری که به خاطر تقارن، مولفه متقاطع کم شود. شکل، اندازه و مکان روزه، مشخص کننده میزان القای خط تغذیه به پیچ هستند. روزه‌ها می‌توانند هم‌رزونانسی باشند و هم غیر رزونانسی شکاف‌های رزونانسی باعث ایجاد یک رزونانسی دیگر علاوه بر رزونانس پیچ می‌شوند که باعث افزایش پهنای تشعشع از پشت می‌شود. بنابراین، از شکاف‌های غیر رزونانسی استفاده می‌شود. مشابه روش القای الکترومغناطیسی پارامترهای زیرلایه‌ها می‌توانند به صورت مجزا برای بهبود کارکرد آنتن مورد بررسی قرار گیرند. تغذیه با موجبر به صورت هم‌صفحه، در شکل ۱-۳ (د) نشان داده شده است. در این روش، موجبر هم‌صفحه در صفحه زمین ایجاد می‌شود. خط با یک تغذیه کواکسیال که ختم به یک شکاف می‌شود انجام می‌گیرد، که اندازه طول آن بین ۰/۲۵ تا ۰/۲۹ برابر طول موج شکاف می‌باشد. اصلی‌ترین اشکال این نوع تغذیه، تشعشع بسیار زیاد از شکاف نسبتاً بلند آن می‌باشد که منجر به نسبت تشعشع جلو به عقب<sup>۱</sup> ضعیف می‌شود. نسبت تشعشع جلو به عقب با کم کردن ابعاد شکاف و بهینه کردن شکل آن به صورت یک حلقه بهبود پیدا می‌کند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به فرم زیر می‌باشند:

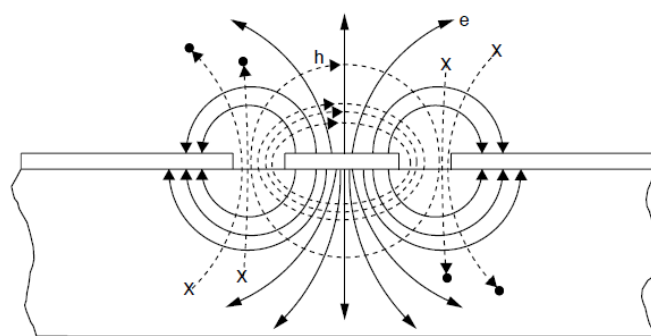


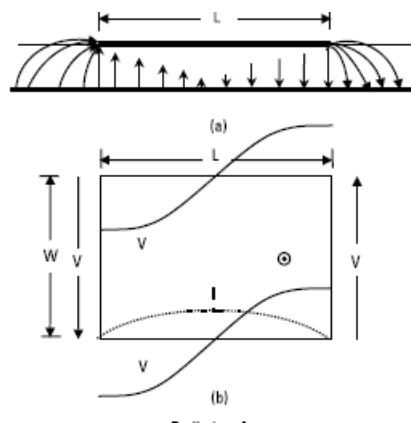
Figure 10.2.1

شکل ۱-۴: نمایش خطوط میدان الکتریکی و مغناطیسی در خط CPW.

<sup>۱</sup> Front to back ratio

## ۱-۲-۳ میدان‌های تشعشی

تشعشع آنتن‌های میکرواستریپ از میدان‌های پراکندگی، بین لبه هادی آنتن میکرواستریپ و صفحه زمین آن بوجود می‌آید. برای ساده شدن مطلب، آنتن مستطیلی میکرواستریپی را که ضخامت لایه عایق آن در مقایسه با طول موج بسیار کوچک است، در نظر می‌گیریم. اگر میدان الکتریکی در عرض و ضخامت ساختمان آنتن ثابت در نظر گرفته شود، شکل میدان الکتریکی آن بصورت توزیع میدان یکنواخت خواهد بود و میدان‌ها در طول پچ که اندازه آن حدود نصف طول موج می‌باشد، تغییر خواهند کرد. تشعشع می‌تواند نسبت به میدان‌های پراکندگی در لبه‌های مدار باز پچ، سنجیده شود. میدان در لبه‌های انتهایی می‌تواند به مولفه‌های عمود و مماس بر صفحه زمین تجزیه شود که مولفه‌های عمودی، در فاز مقابل قرار دارند. بنابراین، میدان‌های دور تولید شده توسط آن، در لبه‌های جانبی یکدیگر را خنثی می‌کنند. مولفه‌های مماسی (که با صفحه زمین موازی هستند) هم‌فازند، بنابراین پچ را می‌توان به صورتی که در فاصله نصف طول موج از یکدیگر قرار دارند مدل کرد که بصورت هم‌فاز تحریک می‌شوند و تشعشع در نیم فضای بالای صفحه زمین وجود خواهد داشت. شکل ۱-۵ میدان‌ها و جریان یک آنتن میکرواستریپ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: (الف) میدان اطراف پچ (ب) جریان و ولتاژ اطراف پچ.

همچون دیگر آنتن‌ها در آنتن‌های میکرواستریپ نیز تعاریف پهنای باند فرکانسی، پهنای باند پترنی، پهنای باند نسبت محوری و... حاکم است که از ذکر جزئیات خودداری می‌شود. جهت مراجعه بیشتر می‌توان به مراجع [7-9] مراجعه کرد.

### ۳-۱ نتیجه گیری

در این فصل معادلات و روش‌های معمول آنتن‌های میکرواستریپ به اختصار بحث شد. به علت سادگی ساختار آنتن‌های میکرواستریپ و عدم نیاز به بالون‌های مختلف یا ترانسفورماتورهای فرکانس بالا، این آنتن‌ها کم‌کم جای خود را در صنعت باز کرده‌اند. آزادی نسبتاً زیاد طراح که جای مانور را، هم در زمین آنتن و هم در المان تشعشعی فراهم کرده است، می‌تواند به عنوان یکی دیگر از مزایای این خانواده از آنتن‌ها به شمار رود، مضافاً اینکه اصلاح و بهینه‌سازی این آنتن‌ها حتی پس از تولید به مراتب راحت‌تر از آنتن‌های سیمی و غیره می‌باشد.