

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایاننامه کارشناسی ارشد مخابرات-میدان

طراحی و ساخت آنتن آرایه‌ای مایکرواستریپ با تمرکز توان بیشتر در ناحیه
میدان نزدیک

فرشته صمدی

اساتید راهنما

پروفسور جواد نوری‌نیا

پروفسور چنگیز قبادی

شهریور ۱۳۹۳

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی

طراحی و ساخت آنتن آرایه‌ای مایکرواستریپ با تمرکز توان بیشتر در ناحیه میدان نزدیک

دانشجو:
فرشته صمدی

این پایاننامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی فنی و مهندسی گرایش مخابرات - میدان در تاریخ ۹۳/۶/۳۰ توسط هیئت داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنمای اول: پروفسور جواد نوری‌نیا

استاد راهنمای دوم: پروفسور چنگیز قبادی

داور خارجی: پروفسور محمد نقی آذرمنش

داور داخلی: دکتر مهدی چهل امیرانی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر مهدی چهل امیرانی

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.



دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجو میباشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام میشود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد میشوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.
۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.
۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **فرشته صمدی** دانشجوی گرایش **مخابرات-میدان** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم میشوم.

تاریخ و امضا دانشجو

نخست سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای میکران اندیشه قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازیهایشان پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دارم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از اساتید گرامتقدیرم آقایان پروفور نوری‌نیا و پروفور قبادی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم.

سپاس از مهربانترین همرازان زندگیم، مادر و پدرم و همچنین برادران عزیزم سعید و حمید که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است.

و در پایان از راهنمایان صادقانه آقای مهندس فرزاد توفیق، آقای مهندس بهمن محمدی و سرکار خانم سارا میهن-دوست کمال تشکر را دارم.

تقدیم به مهربان فرشتگانی که محطات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن،

جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون

حضور سبز آنهاست.

تقدیم به پدر و مادرم

چکیده

آنتن های میدان نزدیک با هدف تمرکز بیشتر دامنه امواج در یک سطح با اندازه ی محدود در ناحیه میدان نزدیک آنتن معرفی شده اند. جهت بالا بردن سطح کارایی آنتن آرایه میدان نزدیک، بهبود ویژگی هایی همچون اندازه ی نقطه ی تمرکز، چگالی توان و سطح بیم های فرعی (*SLLs*)، مطلوب بوده است. تکنیک هایی همچون افزایش تعداد المان ها، افزایش اندازه دریچه، استفاده از روش های متفاوت توزیع جریان و تحریک المان ها و موارد دیگر پیشنهاد و بررسی شده اند، که هر یک در ازای بهبود برخی ویژگی های آنتن آرایه سبب ایجاد مشکلات همچون افزایش اندازه و هزینه افزایش سطح بیم های فرعی شده اند. از این رو در این پایان نامه بر آن شدیم تا با تغییر و بهبود المان تشعشع کننده ی آرایه به صورت هم زمان افزایش چگالی توان و کاهش سطح بیم های فرعی را داشته باشیم. آنتن آرایه 4×4 مورد نظر با پچ های پنج ضلعی جهت کار در باند فرکانسی *ISM*، طراحی شد.

کلمات کلیدی: آنتن آرایه مایکرواستریپ میدان نزدیک، افزایش چگالی توان در ناحیه ی میدان نزدیک، کاربرد پزشکی، بهبود ویژگی های آنتن آرایه ی میدان نزدیک

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱

- ۱-۱- آنتن‌های میکرواستریپ ۱
- ۲-۱- انواع آنتن‌های میکرواستریپ ۱
- ۳-۱- مروری بر آنتن‌های پیچ میکرواستریپ ۱
- ۴-۱- انواع روش‌های تغذیه‌ی آنتن‌های میکرواستریپی ۳
- ۴-۱-۱- خط میکرواستریپ ۳
- ۵-۱- هدف پایان‌نامه ۷

فصل دوم: انواع آنتن‌ها

۹

- ۱-۲- آنتن‌های جهت‌دار ۹
- ۲-۲- آنتن‌های همه‌جهته ۹
- ۳-۲- لوب‌های فرعی در آنتن‌ها *Side lobes* ۱۰

فصل سوم: طراحی المان آرایه

۱۳

- ۱-۳- مقدمه ۱۳
- ۲-۳- طراحی آنتن دوبانده با پترن تشعشی جهت‌دار ۱۳
- ۳-۳- طراحی آنتن پنج ضلعی جهت‌دار در باند فرکانسی *ISM* ۱۹
- ۳-۳-۱- بررسی عملکرد آنتن بر روی بدن ۲۳

فصل چهارم: آنتن‌های آرایه‌ای

۲۹

- ۲۹-۴-۱- آنتن‌های آرایه‌ای و انواع آن ۲۹
- ۳۰-۴-۱-۱- آرایه‌ی خطی N المانه ۳۰
- ۳۳-۴-۱-۲- آرایه‌ی خطی N المانه یکنواخت ۳۳
- ۳۵-۴-۱-۳- آرایه‌ی همه‌جهته و سرآتش ۳۵
- ۳۹-۴-۱-۴- آنتن آرایه‌ای مسطح ۳۹

فصل پنجم: تئوری مقسم‌ها و کوپلرهای توان میکروویوی

۴۳

- ۴۳-۵-۱- مقدمه ۴۳
- ۴۳-۵-۲- مقسم توان T ۴۳
- ۴۷-۵-۳- آنالیز میدله‌های امیدانس ۴۷
- ۴۸-۵-۴- شبیه‌سازی‌های مقسم توان T ۴۸
- ۵۰-۵-۵- توزیع فاز آرایه‌ی طراحی‌شده و بهینه‌سازی شبکه تغذیه ۵۰

فصل ششم: آنتن‌های میدان نزدیک

۵۳

- ۵۳-۶-۱- نواحی میدان ۵۳
- ۵۴-۶-۱-۱- ناحیه‌ی میدان نزدیک راکتیو ۵۴
- ۵۴-۶-۱-۲- ناحیه‌ی میدان نزدیک راکتیو (*Fresnel Region*) ۵۴
- ۵۴-۶-۱-۳- ناحیه‌ی میدان دور ۵۴

فصل هفتم: طراحی و ساخت آنتن آرایه‌ی میدان نزدیک پیشنهادی

۶۰

- ۶۰-۷-۱- مقدمه ۶۰
- ۶۲-۷-۲- آنتن آرایه‌ی میکرواستریپ میدان نزدیک و آرایش المان‌های آن ۶۲

۱-۲-۷- نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده آنتن پیشنهادی و مقایسه آن با آنتن معرفی شده در [۲۸]

۶۳

۶۹

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۸- نتیجه‌گیری ۶۹

۲-۸- پیشنهادات ۶۹

۷۰

مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: ساختار یک آنتن پیچ میکرواستریپی ۲
- شکل ۲-۱: اشکال مختلف برای پیچ میکرواستریپی ۳
- شکل ۳-۱: تغذیه به روش خط میکرواستریپ ۴
- شکل ۴-۱: نمایی از مود TEM گوسی ۵
- شکل ۵-۱: امپدانس مشخصه میکرواستریپ استاندارد برای سه ماده با ضریب دی‌الکتریک نسبی $\epsilon_r = 1$ ،
 $\epsilon_r = 3/87$ (کوارتز) و $\epsilon_r = 9/5$ (آلومینا)، به صورت تابعی از w/h ، نشان داده شده است. ۶
- شکل ۶-۱: استفاده از روش هایپرترمیا برای درمان غدد سرطانی ۷
- شکل ۷-۱: تأثیر منفی روش درمانی هایپرترمیا روی DNA ۸
- شکل ۱-۲: نحوه‌ی تشعشع در آنتن‌ها (الف) جهت‌دار و (ب) همه‌جهته ۹
- شکل ۲-۲: پترن تشعشعی آنتن و لوب‌های آن ۱۰
- شکل ۳-۲: پترن دو بعدی آنتن دریچه‌ای گسسته ۱۲
- شکل ۱-۳: شکل آنتن دوبانده طراحی شده (الف) نما از پهلو و (ب) نما از بالا ۱۴
- شکل ۲-۳: (الف) آنتن ساده با پیچ باریک‌شونده و خط تغذیه‌ی متقارن، (ب) آنتن با شکاف مستطیلی و (ج) آنتن با خط تغذیه‌ی متقارن ۱۴
- شکل ۳-۳: نمودار تلفات بازگشتی برای آنتن‌های معرفی شده در شکل ۲-۳ ۱۵
- شکل ۴-۳: نمودار تلفات بازگشتی برای مقادیر متفاوت طول و عرض شکاف مستطیلی (L_3 و W_9) ۱۵
- شکل ۵-۳: نمودارهای تلفات بازگشتی برای تغییرات محل خط تغذیه (g) ۱۶
- شکل ۶-۳: توزیع جریان سطحی شبیه‌سازی شده روی پیچ تشعشعی در باند اول برای پیچ تشعشعی (الف) بدون شکاف (ب) با شکاف ۱۶

- شکل ۳-۷: توزیع جریان سطحی شبیه‌سازی شده روی پچ تشعشعی در باند اول برای پچ تشعشعی با شکاف مستطیلی با خط تغذیه (الف) متقارن و (ب) غیر متقارن ۱۷
- شکل ۳-۸: عکس آنتن ساخته شده ۱۷
- شکل ۳-۹: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تلفات بازگشتی آنتن مورد نظر ۱۸
- شکل ۳-۱۰: پترن تشعشعی اندازه‌گیری شده آنتن (الف) ۲/۴۵ گیگا هرتز (ب) ۳/۴۴ گیگا هرتز ۱۸
- شکل ۳-۱۱: هندسه‌ی آنتن پیشنهادی که در آن $W_f=3$ ، $d=22$ ، $L=60$ ، $W=50$ ، $L_s=13$ ، $W_s=2/5$ ۲۰
- شکل ۳-۱۲: اشکال آنتن‌های پچ چندضلعی ۲۰
- شکل ۳-۱۳: نمودارهای تلفات بازگشتی شبیه‌سازی شده برای آنتن‌های شکل ۳-۱۲ ۲۱
- شکل ۳-۱۴: نمودار تلفات بازگشتی برای آنتن با شکاف و بدون شکاف ۲۱
- شکل ۳-۱۵: نمودارهای تلفات بازگشتی شبیه‌سازی شده برای مقادارهای متفاوت طول و عرض شکاف ۲۱
- شکل ۳-۱۶: نحوه‌ی چرخش پچ حول مرکز (الف) برای زاویه‌ی چرخش ۰ درجه (ب) برای زاویه‌ی چرخش ۱۰ درجه ۲۲
- شکل ۳-۱۷: نمودارهای شبیه‌سازی شده تلفات بازگشتی برای زوایای چرخش : ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ ۲۲
- شکل ۳-۱۸: باندهای فرکانسی برای $WBAN$ [۱۳] ۲۳
- شکل ۳-۱۹: مدل شبیه‌سازی شده بافت‌های بدن ۲۴
- شکل ۳-۲۰: (الف) آنتن ساخته شده و (ب) آنتن تست شده روی دست ۲۵
- شکل ۳-۲۱: نمودار تلفات بازگشتی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده ۲۶
- شکل ۳-۲۲: نمودارهای بهره‌ی اندازه‌گیری شده در فضای آزاد و روی دست ۲۶
- شکل ۳-۲۳: پترن‌های تشعشعی (الف) در فضای آزاد و (ب) بر روی بدن انسان ۲۷

- شکل ۳-۲۴: پارامتر SAR ، شبیه سازی شده برای ماکزیمم توان ورودی ۱ وات ۲۸
- شکل ۴-۱: آنتن دایپل مثال فوق الذکر و شماتیک آن در میدان دور ۳۰
- شکل ۴-۲: یک آرایه‌ی خطی N المانه که با فاصله‌ی d از هم جدا شده‌اند. ۳۱
- شکل ۴-۳: نمودارهای فاکتور آرایه برای تعداد المان‌های متفاوت ۳۴
- شکل ۴-۴: نشان‌دهنده‌ی تغییر پترن آنتن آرایه‌ای پنج المانه برای ۶ حالت متفاوت فاصله‌ی بین المان‌ها ۳۶
- شکل ۴-۵: فاکتور آرایه همه جهت‌ها برای $d = 0.25\lambda$ و $N=2,5,10,20$ ۳۷
- شکل ۴-۶: پترن آرایه‌ی ۷ المانه دایپل ۳۹
- شکل ۴-۷: آنتن آرایه‌ای K المانه با که در آن فاصله المان‌ها از هم d می باشد، و موج را در راستای R دریافت می کند. ۴۰
- شکل ۴-۸: پترن تشعشی تک المان و آرایه‌ی خطی ۴۲
- شکل ۴-۹: پترن تشعشی تک المان و آرایه‌ی مسطح ۴۴
- شکل ۵-۱: مقسم‌های توان بلوک‌بندی شده ۴۴
- شکل ۵-۲: مقسم توان و اصول پایه‌ی آن ۴۵
- شکل ۵-۳: مبدل امپدانسی طول موج یک چهارم بین دو خط انتقال ۴۸
- شکل ۵-۴: راکتانس پارازیتی برای خط انتقال میکرواستریپی، (الف) مدار معادل الکتریکی و (ب) ایجاد شکاف برای جبران راکتانس پارازیتی ۴۸
- شکل ۵-۵: ضریب انعکاس و انتقال مقسم توان T با $K=I$ ۴۹
- شکل ۵-۶: نتایج حاصل از شبیه‌سازی خطوط انتقال و فازهای حاصله ۵۱
- شکل ۵-۷: شبکه‌ی تغذیه‌ی طراحی شده با استفاده از نرم‌افزار ADS ۵۲
- شکل ۶-۱: اشعه‌هایی که از نقاط مختلف آنتن ساطع می‌شوند در میدان دور موازی هستند. ۵۳

- شکل ۶-۲: ناحیه‌بندی میدان‌ها برای آنتن با بزرگترین طول D را نشان می‌دهد. ۵۵
- شکل ۶-۳: تشعشع کروی در نقطه‌ی P از یک منبع نقطه‌ای ایده‌آل ۵۶
- شکل ۶-۴: شماتیک میدان نزدیک برای نقطه‌ی P با تشعشع‌کننده‌ی غیر ایده‌آل ۵۶
- شکل ۶-۵: پترن میدان نزدیک آنتن روی محور چگالی توان (نرمالیزه)، برای دریچه‌های تشعشعی متفاوت ۵۸
- شکل ۷-۱: آنتن آرایه دو المانه با پیچ‌های (الف) مستطیلی شکل، (ب) مثلثی شکل و (ج) دایروی شکل ۶۱
- شکل ۷-۲: هندسه‌ی آنتن آرایه‌ی میدان نزدیک مایکرواستریپ ۶۲
- شکل ۷-۳: عکس آنتن آرایه‌ی ساخته‌شده ۶۳
- شکل ۷-۴: نمودار تلفات بازگشتی اندازه‌گیری شده برای آنتن آرایه‌ی میدان نزدیک ۶۳
- شکل ۷-۵: پترن میدان دور تک المان آنتن در صفحه‌ی E در فرکانس $۲/۴$ گیگاهرتز، (الف) برای پیچ پنج ضلعی و (ب) برای پیچ مستطیلی ۶۴
- شکل ۷-۶: چگالی توان نرمالیزه در راستای محور Z ۶۵
- شکل ۷-۷: پترن نرمالیزه‌ی چگالی توان در ناحیه‌ی میدان نزدیک که نسبت به بیشترین مقدار توان نرمالیزه شده اند. (الف) برای آنتن آرایه‌ای با پیچ پنج ضلعی و (ب) آنتن آرایه‌ای با پیچ مستطیلی ۶۶
- شکل ۷-۸: پترن نرمالیزه‌ی چگالی توان در ناحیه‌ی میدان نزدیک آنتن در فاصله‌ی ۸۰ سانتی‌متری از دریچه‌ی آنتن (الف) برای آنتن با پیچ پنج ضلعی و (ب) برای آنتن با پیچ مستطیلی ۶۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: پترن دریچه‌ای تشعشی مستطیلی برای مقادیر مختلف X ۱۱
- جدول ۱-۳: اندازه‌ی نهایی پارامترهای آنتن ۱۴
- جدول ۲-۳: مقدار اندازه‌گیری‌شده‌ی گین و پهنای باند آنتن ۱۹
- جدول ۳-۳: ویژگی‌های الکترومغناطیسی بافت‌های بدن ۲۵
- جدول ۴-۳: پارامترهای اندازه‌گیری شده آنتن در دو حالت تست شده روی بدن و فضای آزاد ۲۸
- جدول ۱-۵: توزیع فاز لازم برای المان‌های آرایه 4×4 ۵۰
- جدول ۱-۷: مقایسه‌ی عملکرد دو آنتن آرایه با پیچ پنج‌ضلعی و پیچ مستطیلی ۶۸

فصل اول: مقدمه

۱-۱- آنتن های میکرواستریپ

امروزه اغلب در سیستم های مخابراتی، آنتن‌هایی که از نظر شکل انعطاف‌پذیر باشند در عین حال دارای وزن و حجم کم و قیمت پایین باشند مورد توجه هستند. مفهوم تشعشع کننده‌های میکرواستریپ اولین بار توسط *Deschamps* [۱]، در سال ۱۹۵۳ پیشنهاد شده است. اما چندین دهه گذشت تا آنتن‌های عملی ساخته شدند. پیشرفت در سال های دهه ی ۱۹۷۰ با وجود زیر لایه‌های خوب با بستر با تانژانت تلفات کم و خواص حرارتی و مکانیکی مناسب و روش‌های بهبود یافته فتو لیتوگرافی^۱ و مدل‌های نظری بهتر شتاب گرفت. اولین آنتن عملی توسط *Howell* [۲] و *Munson* [۳] تکامل یافت.

۱-۲- انواع آنتن های میکرواستریپ

این آنتن‌ها مانند تشعشع کننده‌های دیگر دارای انواع مختلفی با شکل و مشخصات مخصوص به خود بوده و برای کاربردهای متفاوت از آنتن با انواع متفاوت استفاده می‌شود، انواع آنتن‌های میکرواستریپ به قرار زیر هستند:

(۱) آنتن های پچ میکرواستریپ

(۲) آنتن های دایپل میکرواستریپ

(۳) آنتن های اسلات میکرواستریپ

(۴) آنتن های میکرواستریپ موج رونده

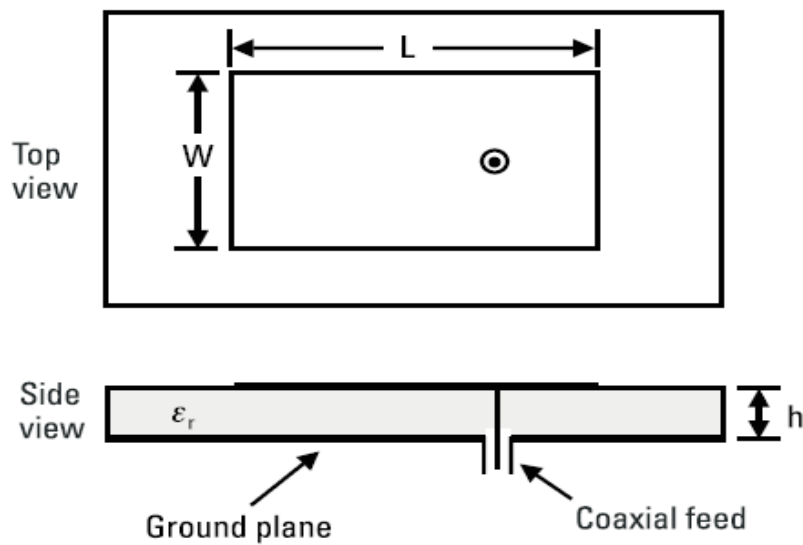
۱-۳- مروری بر آنتن های پچ میکرواستریپ

این آنتن‌ها در دستگاه‌های پیشرفته، فضاپیماها، ماهواره‌ها، گوشی‌های موبایل و... به کار گرفته می‌شوند. هرچا نیاز به آنتن باشد که از نظر شکل انعطاف پذیر باشد. از ویژگی های این آنتن‌ها، حجم و وزن

¹potolithographic

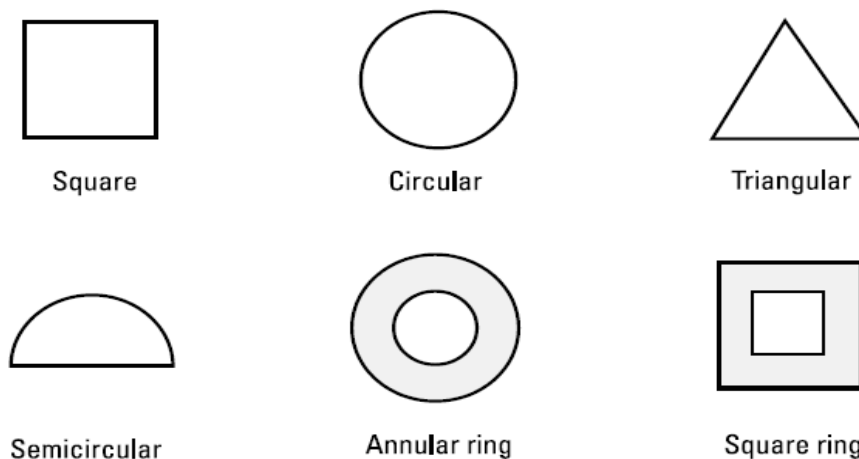
کم، قیمت پایین، نصب راحت و... می باشد. از معایب این آنتن ها نیز می توان به راندمان کم و توان کم اشاره کرد. ضریب کیفیت بالای آنتن ها باعث می شود. عرض باند آن ها کم شود. این آنتن ها معمولا روی یک زیر لایه پرینت می شوند، زیر لایه دارای عایقی به ضخامت h است، $0.003\lambda < h < 0.05\lambda$ انتخاب می شود. شکل ۱-۱ آنتن پچ میکرواستریپی را نشان می دهد.

ابعاد آنتن در فرکانس های بالا خیلی کوچک است. برای اینکه تجمع میدان ها ریز خط بیشتر شود، و از خروج میدان ها به خارج خط جلوگیری شود، ϵ_r بزرگ انتخاب می شود. اما برای آنتن اگر بخواهیم تشعشع اتفاق بیفتد از ϵ_r کوچک استفاده می شود. پس محدوده ϵ_r ، $2.2 < \epsilon_r < 12$ ، در نظر گرفته می شود [۴].



شکل ۱-۱: ساختار یک آنتن پچ میکرواستریپی

همان طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، اشکال زیادی را می توان در این زمینه در نظر گرفت، اگر بخواهیم عرض باند بالایی داشته باشیم، از پچ بیضوی استفاده می کنیم. با تغییر ابعاد و شکل پچ ها می توان مشخصات آنتن را تغییر داد.



شکل ۱-۲: اشکال مختلف برای پچ مایکرواستریپی

۱-۴-۱- انواع روش‌های تغذیه آنتن‌های مایکرواستریپی

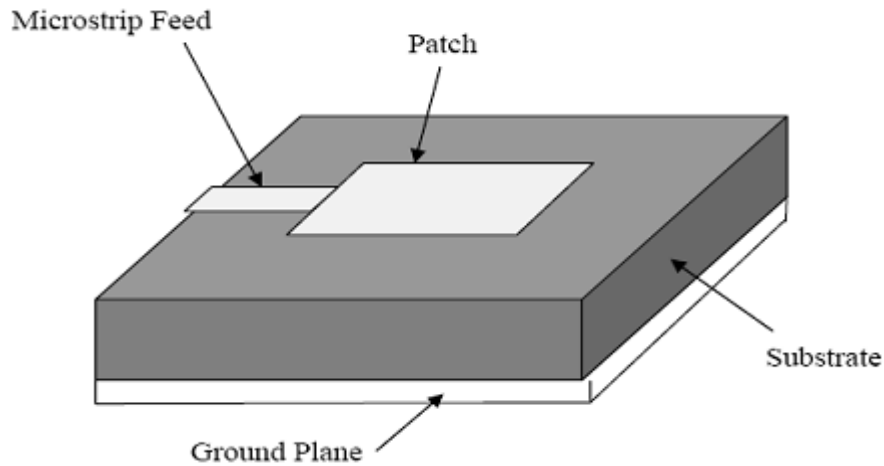
روش‌های تغذیه امپدانس ورودی و مشخصه آنتن را تحت تاثیر قرار می‌دهد و یکی از پارامترهای مهم طراحی آنتن می‌باشد. برای تغذیه آنتن‌های پچ پیکربندی و روش‌های متعددی وجود دارد، اما از چهار تکنیک اصلی و متداول برای تغذیه آنتن‌های مایکرواستریپ می‌توان استفاده کرد که عبارتند از:

- ۱) خط مایکرواستریپ (*Edge – Fed Patches*)
- ۲) تغذیه کواکسیال (*Probe – Fed Patches*)
- ۳) تزویج روزنه ای (*Aperture Coupling*)
- ۴) تزویج مجاورتی (*Proximity Coupling*)

۱-۴-۱-۱- خط مایکرواستریپ

یکی از متدهای اساسی تحریک یک آنتن پچ مایکرواستریپ تغذیه از لبه یا خط تغذیه مایکرواستریپ می‌باشد. ساختار تغذیه با این روش در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. برای مدل کردن تغذیه به روش خط مایکرواستریپ از اصل هویگنس^۱ استفاده می‌شود. در این روش خط مایکرواستریپ به صورت یک *cavity* که توسط دایره‌های مغناطیسی احاطه شده فرض می‌شود. مزایای این روش نسبت به روش‌های دیگر عبارت است از ساخت آسان، زیرا خط تغذیه و پچ در یک سطح قرار می‌گیرند. مدل کردن آسان و تطبیق از دیگر مزایای آن است. اما با افزایش ارتفاع زیر لایه امواج سطحی زیاد شده و تشعشعات ناخواسته

¹Huygens Principle



شکل ۱-۳: تغذیه به روش خط میکرواستریپ

مربوط به قسمت تغذیه زیاد می‌شود، که در عمل پهنای باند مدار را محدود می‌کند. خطوط میدان مغناطیسی به صورت کامل در داخل زیرلایه نیستند، در صورتی که معادلات الکترومغناطیسی را برای به-دست آوردن توزیع میدان حل کنیم، در می‌یابیم که دارای پترن TEM می‌باشد. این بدان معنی است که نواحی اندکی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در راستای انتشار موج می‌باشند. شکل ۱-۴ رفتار TEM گوسی را برای خطوط میکرواستریپی نشان می‌دهد. با فرض انتشار مود TEM گوسی در خطوط میکرواستریپی، سرعت فاز برابر است:

$$\frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1-1)$$

که در آن c سرعت نور و ϵ_{eff} ضریب دی‌الکتریک نسبی میکرواستریپ است. ضریب دی‌الکتریک نسبی موثر به ضریب دی‌الکتریک ثابت زیر لایه و نیز تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی خارجی وابسته است.

با توجه به اینکه

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-1)$$

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3-1)$$

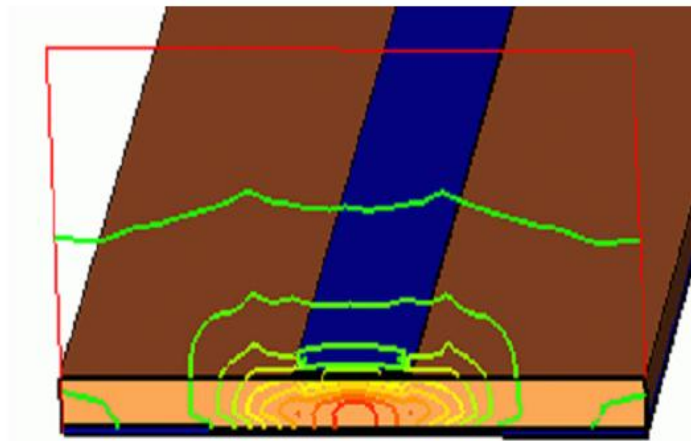
امپدانس مشخصه خط میکرواستریپی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Z_0 = \frac{1}{V_p C} \quad (4-1)$$

طول موج در مایکرواستریپ به صورت زیر به دست می آید:

$$\lambda = \frac{V_p}{f} = \frac{C}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5-1)$$

که در آن λ_0 طول موج فضای آزاد است.



شکل ۴-۱: نمایی از مود TEM گوسی

داشتن زیر لایه با ثابت دی الکتریک بالا و سرعت انتشار موج پایین جزو مزیت‌های مایکرواستریپ محسوب می‌شود و اتلاف تشعشع را در مدارات کاهش می‌دهد.

یکی از مشخصه‌های مایکرواستریپ تضعیف آن می‌باشد. ثابت تضعیف تابعی از هندسه‌ی مایکرواستریپ می‌باشد، که می‌توان به مشخصه‌های الکتریکی زیر لایه‌ی دی الکتریکی، هادی‌ها و فرکانس اشاره کرد. در خطوط تغذیه‌ی مایکرواستریپی دو نوع اتلاف داریم:

۱. اتلاف زیر لایه‌ی دی الکتریکی

۲. تلفات اهمی پوسته‌ی هادی‌ها. این تلفات به صورت اتلاف در واحد طول، با نام فاکتو تضعیف α بیان می‌شود. در زیر لایه‌ی دی الکتریکی، تلفات دی الکتریکی کمتر از تلفات هادی می‌باشد.

امپدانس مشخصه‌ی مایکرواستریپ با دقت ۰/۲۵ در $0 \leq w/h \leq 10$ با استفاده از معادلات زیر به دست می‌آید.

$$z_o = 60 \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \text{ ohm} \quad \frac{w}{h} \leq 1 \quad (6-1)$$