

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۲۲۴ھ



طراحی و ساخت آنتن جدید میکرواستریپ نواری برای باند ۲/۴

گیگاهرتز بلوتوث و ۵/۲ و ۵/۸ گیگاهرتز WLAN

مقصود رضواندوست

دانشکده فنی

گروه برق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

اساتید راهنما:

دکتر جواد نوری نیا

دکتر چنگیز قبادی

۱۳۸۸/۸/۲۰

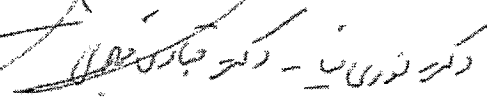
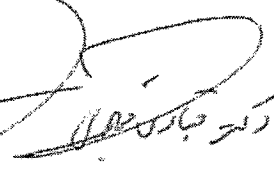
۱۳۸۸

اطلاعات درج شده در این سند
توسط سیستم مدارک

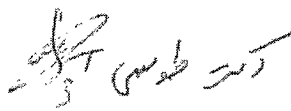
۱۲۲۴۴۷


پایان نامہ مقررہ اصولوں پر بہ تاریخ ۲۲/۶/۸۸ شماره ۲۴۷-۲۳۳ مورد پذیرش حیات محترم
داوران با رتبہ عالی و نمبر ۱۸ قرار گرفت۔


شعبہ نگار

1- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران :  دکتر نوری -  دکتر جبار

2- استاد مشاور :

3- داور خارجی :  دکتر طہی

4- داور داخلی :  دکتر آذین

5- نماینده تحصیلات تکمیلی :  دکتر نوری

تشکر

از زحمات و راهنماییهای اساتید راهتما، کلیه اساتیدم در دوره کارشناسی ارشد، کارمندان محترم دانشگاه ارومیه و مرکز آموزشهای نیمه حضوری و تمامی دوستانم در طی این دوره سپاسگزارم. نویسنده مراتب تشکر و قدردانی خود را از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به دلیل حمایت مالی پروژه و انجام تستهای پارامتری و همچنین استفاده از آزمایشگاه آنتن آن مرکز به دلیل انجام تستهای میدانی و همچنین شرکت مخابرات استان آذربایجان غربی اعلام می دارد.

فهرست مطالب

فصل ۱- آنتن‌های مایکرواستریپ	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۱-۱ مشخصات اصلی	۲
۲-۱-۱ روشهای تغذیه	۳
۳-۱-۱ روشهای تحلیل	۵
۲-۱ پیچ مستطیلی	۵
۱-۲-۱ مدل خط انتقال	۵
۲-۲-۱ مدل محفظه	۹
۳-۱ ضریب کیفیت ، پهنای باند و راندمان	۱۲
فصل ۲- آنتن‌های چند بانندی	۱۵
۱-۲ مقدمه	۱۵
۲-۲ طراحی آنتن چند بانندی	۱۶
۳-۲ معرفی چند نمونه از آنتنهای چند بانندی	۱۷
۱-۳-۲ آنتن منوپل دو بازویی	۱۷
۲-۳-۲ آنتن منوپل سه بازویی	۲۱
۳-۳-۲ آنتن های منوپل چند بانندی حلقوی	۲۴
۴-۳-۲ آنتن بلوتوث	۲۷

۲۸.....	۵-۳-۲ آنتن چند باندهی مثلثی شکل
۳۰.....	۶-۳-۲ آنتن سیمی
۳۳.....	۷-۳-۲ آنتن پهن باند
۳۴.....	۸-۳-۲ آنتن دوباندهی برای لپ‌تاپ
۳۵.....	۹-۳-۲ آنتن گوشی تلفن همراه
۳۶.....	۱۰-۳-۲ آنتن دوباندهی با المانهای پاراسیتیک برای کاربردهای WLAN
۳۸.....	۴-۲ خلاصه
	فصل ۳- طراحی و ساخت آنتن جدید مایکرواستریپ نواری برای باند ۲/۴ گیگاهرتز بلوتوث و
۳۹.....	۵/۸ و ۵/۲ گیگاهرتز WLAN
۳۹.....	۱-۳ مقدمه
۴۰.....	۲-۳ تئوری آنتن مورد نظر
۴۱.....	۳-۳ شبیه سازی آنتن
۴۱.....	۱-۳-۳ طرح‌های مقدماتی
۵۲.....	۲-۳-۳ بررسی اثر اسلات و محل آن در تطبیق امپدانس
۵۴.....	۳-۳-۳ بررسی اثر بازوی ۱
۵۶.....	۴-۳-۳ بررسی جریان سطحی آنتن
۵۸.....	۴-۳ ساخت آنتن
۵۹.....	۱-۴-۳ تست افت برگشتی آنتن
۵۹.....	۲-۴-۳ تست پترن آنتن
۶۱.....	۳-۴-۳ تست بهره آنتن

۳-۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه کار ۷۴

مراجع ۷۵

فهرست شکلها و جدولها

- شکل ۱-۱: خط مایکرواستریپ و خطوط میدان الکتریکی مربوط به آن..... ۶
- شکل ۲-۱: طول فیزیکی و موثر آنتن مایکرواستریپ مستطیلی..... ۸
- شکل ۳-۱: راندمان و پهنای باند آنتن پچ مستطیلی بر اساس ارتفاع زیرلایه در فرکانس رزونانس ثابت برای دو زیرلایه مختلف..... ۱۴
- شکل ۱-۲: آنتن منوپل دو بازویی..... ۱۸
- شکل ۲-۲: نمودار S11 آنتن دو بازویی..... ۱۹
- شکل ۳-۲: پترن تشعشعی آنتن دو بازویی..... ۲۰
- شکل ۴-۲: نمونه هایی از اشکال آنتنهای نواری..... ۲۱
- شکل ۵-۲: آنتن منوپل سه بازویی..... ۲۲
- شکل ۶-۲: نمودار S11 آنتن سه بازویی..... ۲۲
- شکل ۷-۲: پترن تشعشعی آنتن سه بازویی..... ۲۳
- شکل ۸-۲: اثر تزویج..... ۲۵
- شکل ۹-۲: آنتن WLAN..... ۲۶
- شکل ۱۰-۲: نمودار S11 آنتن WLAN..... ۲۶
- شکل ۱۱-۲: آنتن بلوتوث..... ۲۷
- شکل ۱۲-۲: نتایج شبیه سازی و اندازه گیری افت برگشتی آنتن بلوتوث..... ۲۸
- شکل ۱۳-۲: آنتن مثلثی شکل..... ۲۹
- شکل ۱۴-۲: نتایج شبیه سازی و تست آنتن مثلثی..... ۲۹
- شکل ۱۵-۲: آنتن سیمی..... ۳۰
- شکل ۱۶-۲: تست افت برگشتی آنتن سیمی..... ۳۱
- شکل ۱۷-۲: نتایج اندازه گیری پترن تشعشعی آنتن سیمی..... ۳۲

- شکل ۲-۱۸: آنتن پهن باند ۳۳
- شکل ۲-۱۹: نمودار S_{11} آنتن پهن باند ۳۳
- شکل ۲-۲۰: آنتن دو بانده برای لپ تاب ۳۴
- شکل ۲-۲۱: افت برگشتی آنتن لپ تاب ۳۵
- شکل ۲-۲۲: آنتن پهن باند برای گوشی همراه ۳۵
- شکل ۲-۲۳: افت برگشتی آنتن گوشی همراه ۳۶
- شکل ۲-۲۴: آنتن دوبانده با المانهای پاراسیتیک برای کاربرد های WLAN ۳۶
- شکل ۲-۲۵: نتایج افت برگشتی آنتن ۳۷
- شکل ۳-۱: محل قرارگیری آنتنهای میکرواستریپ در یک رایانه قابل حمل ۳۹
- شکل ۳-۲: توزیع میدان در زیر لایه و هوا ۴۱
- شکل ۳-۳: طرح اولیه یک آنتن PIFA ۴۲
- شکل ۳-۴: نمودار افت برگشتی آنتن PIFA ۴۲
- شکل ۳-۵: یک آنتن PIFA با المانهای پاراسیتیک ۴۳
- شکل ۳-۶: منحنی افت برگشتی آنتن PIFA با المانهای پاراسیتیک ۴۴
- شکل ۳-۷: آنتن با تغذیه از انتها ۴۴
- شکل ۳-۸: نمودار افت برگشتی آنتن ۴۵
- شکل ۳-۹: یک نمونه آنتن دی پل ۴۵
- شکل ۳-۱۰: تنظیم ابعاد بازوها برای بدست آوردن فرکانس مورد نظر ۴۶
- شکل ۳-۱۱: منحنی افت برگشتی آنتن بعد از تنظیم بازوها ۴۶
- شکل ۳-۱۲: طراحی آنتن با استفاده از صفحه گراند تجهیزات ۴۷
- شکل ۳-۱۳: منحنی افت برگشتی آنتن با گراند خارجی ۴۸
- شکل ۳-۱۴: آنتن با زمین خارجی ۴۸
- شکل ۳-۱۵: منحنی افت برگشتی آنتن دو بانده با زمین خارجی ۴۹

شکل ۳-۱۶: آنتن با سه بازوی فرکانسی .	۴۹
شکل ۳-۱۷: منحنی افت برگشتی آنتن با سه بازوی فرکانسی .	۵۰
شکل ۳-۱۸: اثر بازوهای ۱ و ۲ .	۵۰
شکل ۳-۱۹: منحنی افت برگشتی بازوهای ۱ و ۲ .	۵۱
شکل ۳-۲۰: آنتن با بازوی سوم .	۵۱
شکل ۳-۲۱: منحنی افت برگشتی بازوی ۳ .	۵۲
شکل ۳-۲۲: الف) ابعاد کلی آنتن ب) تاثیر تغییرات محل اسلات در کلیه فرکانسها ج) تاثیر محل اسلات در دو فرکانس بالایی .	۵۳
شکل ۳-۲۳: الف) تغییر طول بازوی ۱ ب) منحنی افت برگشتی در اثر تغییرات بازوی ۱ .	۵۴
شکل ۳-۲۴: ابعاد فیزیکی آنتن .	۵۵
شکل ۳-۲۵: منحنی افت برگشتی نهایی الف) با $VSWR < 3$ ب) با $VSWR < 2$.	۵۶
شکل ۳-۲۶: جریان سطحی آنتن در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز .	۵۷
شکل ۳-۲۷: جریان سطحی آنتن در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز .	۵۷
شکل ۳-۲۸: جریان سطحی آنتن در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز .	۵۷
شکل ۳-۲۹: عکس نمونه ساخته شده و تست شده .	۵۸
شکل ۳-۳۰: مقایسه افت برگشتی شبیه سازی و اندازه گیری شده .	۵۹
شکل ۳-۳۱: نتایج اندازه گیری پترن آنتن الف) در فرکانس 2.4GHZ ب) در فرکانس 5.2 GHz ج) در فرکانس 5.8 GHz	۶۰
شکل ۳-۳۲: بهره آنتن در فرکانسهای مربوطه .	۶۱

چکیده- در این پایان نامه شکل جدیدی از آنتن پیچ، با نام پیچ نازک، جهت کاربردهای سیار معرفی شده است. با پیشرفت سیستمهای ارتباطی سیار، کاربرد آنتنهای با ابعاد کوچک اهمیت پیدا کرده و انواع مختلفی از آنها طراحی شده است. آنتن معرفی شده میتواند توسط یک کانکتور ۵۰ اهم و یا توسط کابل کوآکسیال ۵۰ اهم تغذیه شده تا نصب آن در فضای محدود تجهیزات سیار میسر گردد. این آنتن در سه باند 2.4 GHz مربوط به Bluetooth و در دو باند 5.2 GHz و 5.8 GHz مربوط به WLAN کار می کند. با توجه به نسبت ابعاد آن که طول آن در مقایسه با عرض آن خیلی بیشتر بوده و این باعث می شود که آنتن پیچ بجای تشعشع در یک سمت پیچ به صورت Broadside عمل نماید. از ویژگیهای این آنتن نازک بودن و داشتن پترن همه جهته می باشد بطوری که ابعاد کلی آن $3 \times 60 \text{ mm}$ می باشد. این آنتن دارای سه بازوی موثر در سه باند مذکور بوده بطوری که در هر باند بازوی مربوط به آن فرکانس باعث ایجاد رزونانس می گردد.

فصل ۱

آنتن‌های مایکرواستریپ

۱-۱ مقدمه

در این فصل بخشهایی از مباحث آنتن‌های مایکرواستریپ که به موضوع آنتن ارائه شده مربوط می‌شود به طور مختصر بحث خواهد شد. در هواپیماهای پیشرفته، فضاپیماها، کاربردهای موشکی و ماهواره‌ها، جایگاه محدودیتهایی نظیر اندازه، ابعاد، وزن، هزینه، کارایی، سهولت نصب و فرم آئرودینامیکی وجود دارد اغلب آنتن‌هایی با فرم سبک و مسطح مورد نیاز است. در حال حاضر کاربردهای دولتی و تجاری بیشمار دیگری نیز نظیر رادیو سیار، موبایل و مخابرات بی‌سیم وجود دارد که همگی خصوصیات مشابهی را در مورد آنتن طلب می‌کنند. برای پاسخگویی به این نیازها آنتن‌های مایکرواستریپ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۱-۱۱]. این نوع از آنتن‌ها دارای فرم سبک، شکل‌پذیر بصورت سطوح صفحه‌ای و غیر صفحه‌ای، ساده و ارزان قیمت هستند که برای چاپ از تکنولوژی چاپ برد بهره می‌گیرند و پس از نصب روی سطوح سفت و محکم استحکام مکانیکی خوبی دارند. از دیگر ویژگیهای آنتن‌های مایکرواستریپ، تطابق آنها با طراحیهای مدارهای مجتمع مایکروویو^۱ است. در آنتن‌های مایکرواستریپ، هنگامیکه شکل خاص پیچ و مد فعالیت در آنتن مورد نظر انتخاب شود، از نظر فرکانس رزونانس، پلاریزاسیون، پترن و امپدانس دارای تنوع می‌باشد. بعلاوه با اضافه کردن بار مابین پیچ و صفحه زمین، نظیر پین یا دیود واراکتور، المانهایی تطبیق‌پذیر با فرکانس رزونانس، پلاریزاسیون، امپدانس و پترن متغیر می‌توان طراحی کرد [۱۴-۱۲]. عمده معایب آنتن‌های مایکرواستریپ راندمان پایین، توان کم، خلوص پلاریزاسیون ضعیف، قابلیت اسکن ضعیف، تشعشعات ناخواسته و غیر مطلوب مربوط به قسمت تغذیه آنتن و پهنای باند کم آنهاست. در برخی از کاربردها نظیر

^۱ MMIC

سیستمهای امنیت دولتی پهنای باند کم مطلوب است. بهر حال متدهایی نیز، نظیر افزایش ارتفاع زیر لایه جهت افزایش راندمان آنتن تا حدود ۹۰٪ و افزایش پهنای باند تا حدود ۳۵٪ وجود دارد. در هر حال با افزایش ارتفاع زیرلایه امواج سطحی مطرح می‌شود که اغلب و معمولاً نامطلوب می‌باشد چرا که از شدت امواج فضایی آماده برای تشعشع مستقیم می‌کاهد. امواج سطحی در طول زیر لایه منتشر شده و در ناپیوستگیها و خمیدگیها این امواج دچار پراکندگی می‌شود [۱۵]-[۱۷] و مشخصات پترن و پلاریزاسیون آنتن را دچار تنزل می‌نماید. امواج سطحی را ضمن حفظ پهنای باند می‌توان با استفاده از محفظه‌ها از بین برد [۱۸] و [۱۹]. انباشته سازی المانهای میکرواستریپ نظیر سایر متدها می‌تواند جهت افزایش پهنای باند بکار گرفته شود [۲۰]-[۲۲]. علاوه بر این، آنتنهای میکرواستریپ از نظر فیزیکی برای بکارگیری در باند VHF و UHF بزرگ هستند و در آرایه‌های بزرگ تعاملی مابین پهنای باند و حجم اسکن موجود است [۲۳].

۱-۱-۱ مشخصات اصلی

آنتنهای میکرواستریپ از اوایل دهه ۱۹۷۰ بسیار مورد توجه قرار گرفت، اگرچه ایده این نوع آنتن‌ها به سال ۱۹۵۳ باز می‌گردد [۲] و اولین نمونه در سال ۱۹۵۵ ثبت شده است [۳]. آنتنهای میکرواستریپ، از یک نوار فلزی بسیار نازک (به ضخامت $t \ll \lambda_0$ که λ_0 طول موج در فضای آزاد است) که در ارتفاع کسر کوچکی از طول موج در بالای صفحه زمین واقع شده است. آنتن میکرواستریپ به گونه‌ای طراحی شده است که حداکثر تشعشع آن در راستای عمود بر صفحه آنتن می‌باشد و به اصطلاح پترن آن پهلوآتش^۱ است. این امر با انتخاب صحیح مد عملکرد آنتن، که بیانگر آرایش میدان در زیر پیچ است، صورت می‌گیرد. با انتخاب مناسب مد میدان می‌توان شکل پترن تشعشع از انتها^۲ نیز داشت. برای یک آنتن پیچ مستطیلی طول L آنتن در حدود $\frac{\lambda_0}{2} < L < \frac{\lambda_0}{3}$ انتخاب می‌شود. پیچ و صفحه زمین بوسیله یک لایه دی‌الکتریک تحت عنوان زیرلایه مطابق شکل الف. ۱-۱ از هم جدا شده است. برای طراحی آنتنهای میکرواستریپ انواع مختلفی از زیرلایه وجود دارد که ضریب گذردهی آنها معمولاً در رنج $12 \leq \epsilon_r \leq 2/2$ متغیر است. اما معمولاً زیرلایه‌های با ضخامت بیشتر و با ضریب گذردهی پایین تر جهت کاربردهای آنتنی مطلوب تر هستند چرا که موجب افزایش راندمان آنتن، پهنای باند بیشتر، تقید کمتر میدان ها و تشعشع بیشتر آن می‌شود اما در مقابل موجب افزایش ابعاد آنتن می‌گردد [۲۴]. زیرلایه‌های نازکتر با ضریب

^۱ Broadside

^۲ Endfire

گذردهی بالاتر برای مدارات میکروویو مطلوب است زیرا در اینگونه مدارها نیازمند میدان‌های مقید بمنظور جلوگیری از تشعشعات ناخواسته و تزویج مابین اجزای مدار هستیم و استفاده از اینگونه زیرلایه‌ها منجر به کاهش ابعاد المان‌ها می‌شود اما بهر حال به دلیل تلفات بیشتر آنها کارایی کمتری داشته و نسبتاً پهنای باند کمتری دارند. از آنجاییکه آنتن‌های میکرواستریپ اغلب بطور مجتمع در کنار سایر مدارات میکروویو قرار دارند باید سازشی مابین کارایی خوب آنتن و طراحی مدار صورت پذیرد. آنتن‌های میکرواستریپ اغلب بعنوان آنتن‌های پیچ شناخته می‌شوند. المانهای تشعشع‌کننده و خطوط تغذیه بر روی زیرلایه دی‌الکتریک چاپ می‌شود. پیچ تشعشع‌کننده می‌تواند به شکل مربع، مستطیل، نوار نازک (دوقطبی)، دایره، بیضی، مثلث و یا هر شکل دیگری باشد.

مربع، مستطیل، نوار (دوقطبی) و دایره متداولترین اشکال هستند چرا که تحلیل و ساخت آنها راحتتر بوده و خصوصیات تابشی آنها نظیر سطح پایین پلاریزاسیون نامطلوب مورد توجه است. دوقطبی‌های میکرواستریپ به دلیل پهنای باند ذاتا وسیعشان و حجم اشغالی کم آنها جهت بکارگیری در آرایه‌ها مورد توجه می‌باشند. پلاریزاسیون خطی و دایروی بوسیله المان واحد یا آرایه‌ای از المان‌های پیچ قابل دستیابی است. آرایه‌ای از المان‌های میکرواستریپ به همراه تغذیه واحد یا چندگانه جهت آرایه توانایی اسکن یا سمتگرایی بالا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۱-۲ روشهای تغذیه

پیکربندی و روشهای متعددی وجود دارد که برای تغذیه آنتن‌های پیچ می‌توان از آنها استفاده کرد اما چهار روشی که متداولتر می‌باشد عبارتست از خط میکرواستریپ، کابل کواکسیال، تزویج صفحه‌ای^۱ و تزویج مجاورتی^۲. خط تغذیه میکرواستریپ یک نوار هادی است که بسادگی قابلیت ساخت داشته و براحتی قابل تطبیق با مدار بوده و مدل کردن آن نیز نسبتاً راحت می‌باشد. با افزایش ارتفاع زیرلایه امواج سطحی زیاد شده و تشعشعات ناخواسته مربوط به قسمت تغذیه مدار نیز زیاد می‌شود که در موارد عملی پهنای باند مدار را محدود می‌نماید (نوعاً ۵-۲٪).

در تغذیه با کابل کواکسیال (پروب^۳) هادی داخلی کابل به پیچ تشعشع‌کننده و هادی بیرونی به صفحه زمین متصل می‌شود. این نوع از تغذیه نیز بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته براحتی قابل ساخت و تطبیق است و تشعشع ناخواسته

^۱ Aperture coupling
^۲ Proximity coupling
^۳ Probe

کمی دارد. پهنای باندهای حاصل از بکارگیری این روش تغذیه کم بوده و مدل کردن آن نیز جهت تحلیل دشوارتر است بخصوص به ازای زیرلایه‌های ضخیم ($h > 0.02\lambda_0$).

هر دو متد تغذیه اشاره شده تا به اینجا بطور ذاتی تقارن مدار را بر هم زده و مدهای مرتبه بالاتر را تحریک می‌نماید که موجب تشعشع با پلاریزاسیون غیر موافق می‌گردد. روش تزویج صفحه‌ای نشان داده شده در شکل سخت‌ترین متد از بین چهار متد ارایه شده از نظر ساخت بوده و پهنای باندهای کمی دارد. از طرف دیگر مدل کردن آن آسانتر بوده و تشعشعات غیرمطلوب آن نیز متعادل است. تغذیه به روش تزویج صفحه‌ای متشکل است از دو زیرلایه که بوسیله صفحه زمین از هم جدا شده است. در سمت زیرین زیرلایه پایینی یک خط تغذیه میکرواستریپ وجود دارد که انرژی آن از طریق یک شیار موجود در صفحه زمین به پیچ تزویج می‌شود. این آرایش امکان بهینه‌سازی مستقل المان تشعشعی و مکانیسم تغذیه را بطور مجزا فراهم می‌سازد. بطور معمول از یک ماده با ضریب دی‌الکتریک بالا برای زیرلایه پایینی استفاده می‌شود و زیرلایه بالایی ضخیم و با ضریب دی‌الکتریک کم انتخاب می‌شود. صفحه زمین مابین زیرلایه‌ها، خط تغذیه را از پیچ جدا کرده و تداخل تشعشعات غیرمطلوب را به حداقل می‌رساند. در این روش پارامترهای الکتریکی زیرلایه، عرض خط تغذیه و اندازه و محل شیار می‌تواند جهت بهینه کردن طراحی تنظیم شود [۲۴]. تطبیق نیز بوسیله تنظیم عرض خط تغذیه و طول شیار صورت می‌گیرد. تزویج از طریق شیار را می‌توان به کمک تئوری بث^۱ مدل کرد [۲۵]. این تئوری جهت آنالیز تزویج کننده‌های موجبری و تزویج از طریق حفره بکار گرفته شده است [۲۶]. در این تئوری شیار بوسیله یک دوقطبی الکتریکی نرمال جهت مدلسازی مولفه نرمال (روی شیار) میدان الکتریکی و یک دوقطبی مغناطیسی افقی جهت مدلسازی مولفه مماسی (روی شیار) میدان مغناطیسی برآورد می‌شود. اگر شیار در مرکز صفحه زیر پیچ قرار داشته باشد، جایگاه بطور ایده‌آل در مد غالب میدان الکتریکی صفر و میدان مغناطیسی حداکثر است، تزویج مغناطیسی غالب خواهد بود. این امر همچنین موجب خلوص پلاریزاسیون شده و تشعشعات با پلاریزاسیون نامطلوب را در صفحات اصلی حذف می‌کند [۲۴]. از چهار متد ارایه شده در اینجا روش تزویج مجاورتی بیشترین پهنای باندها را داشته، براحتی قابل مدل کردن بوده و تشعشعات ناخواسته کمی دارد. از طرفی ساخت آن تا حدی دشوار می‌باشد. برای تطبیق می‌توان طول خط تغذیه و نسبت عرض به طول پیچ را کنترل نمود.

^۱ Bethe theory

۱-۱-۳ روشهای تحلیل

روشهای متعددی جهت تحلیل و آنالیز آنتن های مایکرواستریپ موجود است. متداول ترین آنها روش خط انتقال [۲۷]، روش محفظه [۲۷-۲۸]، و روش تحلیل تمام موج (شامل معادلات انتگرالی اولیه/ممان متد) می باشد [۲۹-۳۰]. روش تحلیل خط انتقال آسانترین آنهاست که دید فیزیکی خوبی می دهد اما دقت کمتری داشته و مدل کردن تزویج بوسیله آن دشوار است. در مقایسه با روش خط انتقال، روش محفظه دقیقتر و در عین حال پیچیده تر است. این روش دید فیزیکی خوبی ارایه داده و مدل کردن تزویج با آن دشوار است در عین حال بطور موفقیت آمیز بکار گرفته شده است. در حالت کلی، در صورت استفاده بجا، روشهای تحلیل تمام موج بسیار دقیق و متنوع بوده و قابلیت اعمال برای حالت تک المان، آرایه های محدود و نامحدود، المانهای روی هم قرار گرفته، المانهای با شکل دلخواه و تزویج را دارد. در عین حال آنها پیچیده ترین مدلها هستند و کمترین درک فیزیکی از آنها بدست می آید. در این متن تنها روشهای خط انتقال و محفظه بحث می شود اما نتایج و منحنی های مربوط به روشهای تمام موج نیز ارائه می شود. شکل متداولتر و کاربردپذیر از پیچ یعنی پیچ مستطیلی مورد توجه قرار گرفته است. البته برخی نتایج مربوط به سایر اشکال پیچ نیز گنجانده شده است.

۲-۱ پیچ مستطیلی

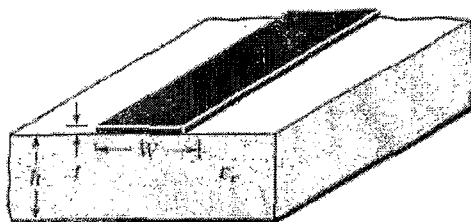
پیچ مستطیلی کاربردپذیرترین شکل از آنتن پیچ است که براحتی توسط هر دو روش خط انتقال و محفظه، که برای زیرلایه های نازک دقیقترین روشها می باشد، قابل تحلیل است. در اینجا با روش خط انتقال که نمایش آن آسانتر نیز می باشد آغاز می کنیم.

۱-۲-۱ مدل خط انتقال

پیش از این بیان شده بود که مدل خط انتقال بین متدهای تحلیلی ارائه شده آسان ترین روش است در عین حال دقت آن به نسبت سایر روشها کمتر بوده و تنوع کمتری دارد. در عین حال این روش دید فیزیکی خوبی می دهد. همان گونه که در بخش ۱-۲-۲ نشان داده خواهد شد با استفاده از مدل خط انتقال یک آنتن مایکرواستریپ مستطیلی به صورت آرایه ای از دو سطح (شیار) باریک تشعشع کننده، هر یک به عرض W و ارتفاع h و با فاصله L از یکدیگر، بیان می شود. اساسا مدل خط انتقال آنتن مایکرواستریپ را بوسیله دو شیار که با یک خط انتقال با امپدانس پایین Z_c و طول L از هم جدا شده اند نشان می دهد.

الف. اثرات لبه ای

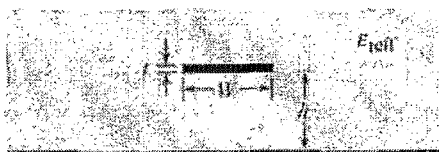
از آنجایی که ابعاد پیچ از نظر طول و عرض محدود است میدان ها در لبه های پیچ به حاشیه می روند. این مساله در شکل ب، الف. ۱-۱ برای المانهای تشعشع کننده آنتن میکرواستریپ نشان داده شده است. مقدار این میدان های کناره ای تابعی از ابعاد پیچ و ارتفاع زیر لایه است. در صفحه ی اصلی E (صفحه xy) میدان کناره ای تابعی از نسبت طول پیچ L به ارتفاع h زیر لایه (L/h) و ثابت دی الکتریک ϵ_r می باشد. از آنجایی که در آنتن های میکرواستریپ $L/h \gg 1$ و $\epsilon_r \gg 1$ میدان کناره ای کم است اما به هر حال اثرات بر روی فرکانس آنتن باید در نظر گرفته شود. این مساله در مورد هر دو بعد طول و عرض آنتن صادق است.



الف. خط میکرواستریپ



ب. خطوط میدان الکتریکی



ج. ثابت دی الکتریکی موثر

شکل ۱-۱: خط میکرواستریپ و خطوط میدان الکتریکی مربوط به آن.

برای خط میکرواستریپ نشان داده شده در شکل الف. ۱-۱ خطوط میدان مربوط به آن در شکل ب. ۱-۱ نمایش داده شده است. این یک خط غیر متناجس از دو دی الکتریک هوا و زیر لایه می باشد. همانطور که دیده می شود بیشتر خطوط میدان الکتریکی در قسمت زیر لایه قرار گرفته و برخی از این خطوط به سمت هوا خارج می شود. به ازای $W/h \gg 1$ و $\epsilon_r \gg 1$ خطوط میدان الکتریکی غالباً در زیر لایه متمرکز می شود. میدان های کناره ای در این مورد سبب می شود که طول خط میکرواستریپ از نظر الکتریکی بیشتر از طول فیزیکی آن باشد. از آنجایی که برخی از امواج در زیر لایه و برخی دیگر در هوا

منتشر می شود جهت در نظر گرفتن انتشار موج و میدان های کناره ای پارامتر دیگری به عنوان ثابت دی الکتریک موثر ϵ_{reff} معرفی می شود.

برای معرفی ثابت دی الکتریک موثر فرض می کنیم که هادی مرکزی خط میکرواستریپ به همراه ابعاد و ارتفاع اصلی آن در بالای صفحه زمین مانند شکل ج. ۱-۱ در یک دی الکتریک قرار دارد. ثابت دی الکتریک موثر در این حالت همان ثابت دی الکتریک ماده دی الکتریک یکنواخت است و خطوط شکل ج. ۱-۱ خصوصیات الکتریکی مشابهی نظیر ثابت انتشار دارد. برای یک خط که هوا در بالای زیر لایه آن وجود دارد ثابت دی الکتریک موثر مقداری در رنج $1 < \epsilon_{reff} < \epsilon_r$ خواهد داشت. برای بسیاری از کاربردها جایی که ثابت دی الکتریک زیر لایه بسیار بزرگتر از یک است مقدار ϵ_{reff} به مقدار ثابت دی الکتریک واقعی زیر لایه نزدیک است. ثابت دی الکتریک موثر تابعی از فرکانس است. با افزایش فرکانس کاری بیشتر خطوط میدان در زیر لایه متمرکز می مانند. از این رو خط میکرواستریپ بیشتر شبیه خطی همگن از یک دی الکتریک رفتار می کند و مقدار ثابت دی الکتریک موثر با مقدار ثابت دی الکتریک زیر لایه مساوی می شود. برای فرکانس های پایین ثابت دی الکتریک نسبی ضرورتاً ثابت است. در فرکانسهای میانه مقدار آن به طور یکنواخت شروع به افزایش کرده و نهایتاً به مقدار ثابت دی الکتریک زیر لایه می رسد. به مقادیر اولیه ثابت دی الکتریک در فرکانسهای پایین مقادیر ساکن اطلاق می شود که بوسیله رابطه زیر بیان می شود.

$$W/h > 1$$

که W عرض پیچ و h ارتفاع زیر لایه می باشد

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (1-1)$$

ب. طول موثر، فرکانس رزونانسی و عرض موثر

به دلیل اثرات کناره ای از نظر الکتریکی پیچ در آنتن میکرواستریپ از نظر الکتریکی نسبت به ابعاد فیزیکی آن بزرگتر دیده می شود. در صفحه اصلی E (صفحه xy) این امر مشهود است. که طول پیچ از هر دو سمت به اندازه ΔL گسترش یافته که خود تابعی از ϵ_{reff} و نسبت عرض به طول (W/h) می باشد. یک رابطه تقریبی کاربردی و متداول برای انبساط طولی نرمالیزه چنین است.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2-1)$$

از آنجایی که طول پچ از دو سمت به اندازه ΔL افزایش یافته طول حاضر پچ (به ازای $L = \lambda/2$ برای مد غالب TM_{010} بدون در نظر گرفتن میدان های کناره ای)

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (3-1)$$

برای مد غالب TM_{010} فرکانس رزونانس آنتن مایکرواستریپ تابعی از طول آن است.

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4-1)$$

جایی که v_0 سرعت نور در فضای آزاد است. از آنجایی که (4-1) اثرات میدان کناره ای را در نظر نمی گیرد برای شامل شدن اثرات لبه ای این فرمول باید تغییر یابد.

$$(f_{rc})_{010} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{1}{2(L+2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = q \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = q \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5-1)$$

که

$$q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}} \quad (5-1 \text{ الف})$$

فاکتور q به عنوان فاکتور کناری (فاکتور کاهش طول) شناخته می شود. با افزایش ارتفاع زیرلایه میدانهای کناره ای افزایش یافته و منجر به فاصله بیشتر لبه های تشعشع کننده و فرکانس رزونانس پایین تر می شود.



الف. نمای بالایی



ب. نمای جانبی

شکل ۲-۱: طول فیزیکی و موثر آنتن مایکرواستریپ مستطیلی.

مبتنی بر فرمولهای ساده شده که تشریح شد یک پروسه طراحی که منجر به طراحی عملی آنتن مایکرواستریپ مستطیلی می شود، بیان می گردد. مفروضات این پروسه عبارت است از زیرلایه با ثابت دی الکتریک ϵ_r ، فرکانس رزونانسی f_r و ارتفاع زیرلایه h پروسه طراحی به ترتیب زیر است:

مشخص کردن:

$$h \text{ و } f_r \text{ (Hz), } \epsilon_r$$

تعیین کردن:

$$L, W$$

روش طراحی:

۱- برای یک تشعشع کننده موثر عرض پیچ که منجر به راندمان تشعشعی خوبی شود مساوی است با

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (۶-۱)$$

که v_0 سرعت نور در فضای آزاد است.

۲- ثابت دی الکتریک موثر آنتن مایکرواستریپ با استفاده از (۱-۱) تعیین می شود.

۳- پس از تعیین W با استفاده از (۶-۱) به کمک فرمول (۲-۱) طول ΔL معین می گردد.

۴- طول عملی پیچ اینک با حل (۵-۱) برای L یا به ترتیب زیر مشخص می شود.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (۷-۱)$$

۱-۲-۲ مدل محفظه

آنتن های مایکرواستریپ به عنوان محفظه های بار شده از دی الکتریک در نظر گرفته می شود و رزونانس های مرتبه بالاتر از خود نشان می دهد. میدان های نرمالیزه درون زیرلایه دی الکتریک (بین پیچ و صفحه زمین) با در نظر گرفتن آن ناحیه به عنوان محفظه ای که بوسیله هادی الکتریکی از بالا و پایین و دیواره های مغناطیسی (برای شبیه سازی مدار باز) در طول محیط آن محصور شده، با دقت بیشتری قابل محاسبه است. این یک مدل تقریبی است که به امپدانس ورودی راکتیو (مقاومت