۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–مخابرات

طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن آرایه ای شکافی با استفاده از EBG (باند ممنوعه الکترومغناطیسی) برای کاهش تزویج متقابل

توسط:

احسان قهرمانی

استاد راهنما:

دکتر رمضانعلی صادق زاده

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: احسان قهرمانی

را با عنوان: طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن آرایه‌ای شکافی با استفاده از EBG (باند ممنوعه الکترومغناطیسی) برای کاهش تزویج متقابل

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر رمضانعلی صادق‌زاده	دانشیار	
۲- استاد ممتحن (داخلی)	دکتر سمیه چمانی	استادیار	
۳- استاد ممتحن (خارجی)	دکتر غلامرضا داداش‌زاده	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سمیه چمانی	استادیار	

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آنان که از خواسته‌هایشان گذشتند،

سختی‌ها را به جان خریدند

و خود را سپر بلای مشکلات و نا ملایمات کردند

تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم

تشکر و قدردانی

سخن خود را با جمله گوهر از امام رضا(علیه السلام) آغاز می‌کنم که فرمود: « من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزوجل[1]» یعنی هر کس سپاس مردم نعمت دهنده را نگوید، سپاس خداوند بزرگ را نگفته است. بنابراین فرصت را غنیمت شمرده و ابتدا خداوند بزرگ را شاکرم که توفیقی دوباره در عرصه علم نصیبم کرد. از استاد راهنما جناب آقای دکتر صادق زاده و دوست گرامی جناب آقای مهندس سربندی فراهانی که قبول زحمت فرموده و اینجانب را در تعریف و ساخت پروژه همراهی نموده کمال تشکر و سپاس را دارم. همچنین از اساتید محترم ممتحن سرکار خانم دکتر چمانی و دکتر داداش زاده نیز که در جلسه دفاع قبول زحمت فرموده و در جلسه به عنوان داور شرکت فرموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از دوستان عزیز آقایان محمود کرمی، بهزاد برومندی، نوید نوله دان، مجید شریفی، آرش خسرونژاد و محمدرضا سهیلی فر و سایر عزیزانی که در جلسه دفاع شرکت داشته و موجبات دلگرمی اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم و برای همه‌ی این عزیزان آرزوی توفیق و سربلندی دارم.

[1] تفسیر نور الثقلین ج ۴/ ص۲۰۱- البحارج ۷۱/ ص۴۴ –الوسائل ج ۱۱/ص ۵۴۲

چکیده

هدف از این پایان نامه طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن آرایه‌ای شکافی با استفاده از EBG (باند ممنوعه الکترومغناطیسی) برای کاهش تزویج متقابل در باند X است و از قطعات تجاری موجود در بازار ایران استفاده شده است. متوقف کردن امواج سطحی روی آنتن، ایجاد توزیع میدان یکنواخت در زیرلایه موجبری یکپارچه (SIW)، افزایش بهره آنتن و کاهش تزویج متقابل بین عناصر تشعشعی مهمترین موضوع در طراحی آنتن‌های آرایه‌ای است. در این پایان نامه یک ساختار باند ممنوعه الکترومغناطیسی فشرده مسطح (UC-EBG) معرفی و بین دو آنتن آرایه‌ای شکافی رزونانسی SIW قرار گرفته است و با متوقف کردن امواج سطحی مزاحم، تزویج متقابل را کاهش و بهره را افزایش می‌دهد. ساختار باند ممنوعه الکترومغناطیسی را می‌توان به راحتی با استفاده ازتکنیک‌های استاندارد میکرواستریپ ساخت. نتایج شبیه-سازی و ساخت نشان می‌دهد در حالتی که فرکانس کاری آنتن در ناحیه فرکانسی باند ممنوعه قرار گیرد تزویج متقابل در آنتن آرایه شکافی می‌تواند تقریباً ۸/۵ دسی بل در پهنای باند تقریبی ۲/۵ گیگاهرتز کاهش و بهره آنتن نیز ۱/۴ دسی بل افزایش یابد. همچنین انتظار می‌رود که ساختار باند ممنوعه الکترومغناطیسی بتواند در آنتن‌های گوناگون با متوقف کردن امواج سطحی کارایی آنتن‌ها را بهبود بخشد.

کلید واژه: آنتن آرایه شکافی، زیرلایه موجبری یکپارچه، کاهش تزویج متقابل، باند ممنوعه الکترومغناطیسی فشرده مسطح.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه‌ای بر آنتن‌ها ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تاریخچه آنتن ۱

۱-۳- پارامترهای اساسی آنتن ۲

۱-۳-۱- الگوی تشعشعی ۲

۱-۳-۲- گلبرگ‌های الگوی تشعشعی ۳

۱-۳-۳- پهنای پرتو ۴

۱-۳-۴- جهت‌داری ۴

۱-۳-۵- بهره توان ۴

۱-۳-۶- مقاومت آنتن ۵

۱-۳-۷- قطبی‌شدگی ۵

۱-۴- انواع آنتن‌ها ۵

۱-۴-۱- آنتن‌های سیمی ۵

۱-۴-۲- آنتن‌های روزنه‌ای ۶

۱-۴-۳- آنتن‌های آرایه‌ای ۷

۱-۴-۴- آنتن‌های بازتابنده ۸

۱-۴-۵- آنتن‌های لنز ۹

۱-۴-۶- آنتن‌های میکرواستریپ ۹

۱-۵- آنتن آرایه‌ای ۱۰

۱-۶- انواع آرایش هندسی آرایه ۱۰

۱-۷- روابط کلی آنتن‌های آرایه‌ای ۱۰
۱-۸- آنتن آرایه خطی ۱۲
۱-۸-۱- آنتن آرایه خطی یکنواخت ۱۳
۱-۸-۲- آرایه برادساید ۱۵
۱-۸-۳- آرایه اندفایر ۱۷
۱-۹- امپدانس متقابل ۱۸
۱-۱۰- تزویج متقابل در آرایه‌ها ۲۱
۱-۱۰-۱- تزویج در حالت فرستندگی ۲۱
۱-۱۰-۲- تزویج در حالت گیرندگی ۲۲
۱-۱۰-۳- تأثیر تزویج متقابل بر عملکرد آرایه ۲۳
فصل ۲- بررسی آنتن‌های روزنه‌ای ۲۴
۲-۱- مقدمه ۲۴
۲-۲- آنتن‌های شیاری ۲۴
۲-۳- مفهوم امپدانس (ادمیتانس) شکاف ۲۸
۲-۴- آنتن آرایه شکافی تشدید با تغذیه موجبری ۲۹
۲-۵- معادلات طراحی آرایه شکاف‌های طولی در دیواره پهن موجبر مستطیلی ۳۱
۲-۶- طراحی آرایه‌های شکافی خطی با تغذیه موجبری ۳۳
فصل ۳- بررسی ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی (*EBG*) ۳۶
۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۱-۱- تعریف ساختارهای EBG ۳۶
۳-۲- مطالعه پارامتریک ساختارهای EBG ۳۹
۳-۳- مقایسه طراحی EBG قارچ شکل با تک صفحه ۴۲
۳-۴- روش‌های تحلیل ساختارهای EBG ۴۳
۳-۵- کاربرد ساختارهای EBG در آنتن‌های میکرواستریپی ۴۵

فصل ۴- نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای آنتن SIW با ساختار UC-EBG ۴۶

۴-۱- مقدمه ۴۶

۴-۲- نتایج شبیه‌سازی ۴۸

۴-۲-۱- پیشگفتار ۴۸

۴-۲-۲- طراحی آنتن ۴۹

۴-۳- نتایج ساخت ۵۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۵۷

فهرست مراجع... ..... ۵۸

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۶۰

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۶۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: ابعاد آنتن آرایه شکافی *SIW* ۵۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: تشعشع یک خط انتقال ۲

شکل ۱-۲: گلبرگ‌های الگوی تشعشعی آنتن ۳

شکل ۱-۳: مدل‌های آنتن سیمی ۶

شکل ۱-۴: مدل‌های آنتن روزنه‌ای ۷

شکل ۱-۵: مدل‌های انواع آنتن‌های آرایه‌ای ۸

شکل ۱-۶: آنتن بازتابنده سهموی با تغذیه در جلو ۹

شکل ۱-۷: آنتن آرایه خطی ۱۲

شکل ۱-۸: آنتن آرایه خطی یکنواخت با اختلاف فاز یکسان ۱۳

شکل ۱-۹: اختلاف دامنه پرتو اصلی با دامنه اولین گلبرگ فرعی با مقیاس خطی و لگاریتمی ۱۵

شکل ۱-۱۰: آرایه برادساید ۱۶

شکل ۱-۱۱: پرتو اصلی و گلبرگ‌های فرعی براساس فاصله آنتن‌ها ۱۷

شکل ۱-۱۲: آرایه اندفایر ۱۷

شکل ۱-۱۳: آرایه اندفایر و برادساید $\boldsymbol{d = \lambda}$ ۱۸

شکل ۱-۱۴: شبکه مداری تزویج بین دو آنتن ۲۰

شکل ۱-۱۵: تزویج دو آنتن در حالت فرستندگی ۲۲

شکل ۱-۱۶: تزویج دو آنتن در حالت گیرندگی ۲۳

شکل ۲-۱: خطوط جریان ۲۵

شکل ۲-۲: شکل‌های مختلف شیار روی موجبر مستطیلی ۲۵

شکل ۲-۳: شیار طولی بر روی دیوار پهن موجبر مستطیلی ۲۶

شکل۲-۴: شیار عمودی بر روی دیوار پهن موجبر مستطیلی ۲۷

شکل۲-۵: شیار مایل بر روی دیوار پهن موجبر مستطیلی ۲۷

شکل ۲-۶: شکاف با تغذیه موجبری ۲۹
شکل ۲-۷: معادل مداری آنتن آرایه‌ای شکافی ۳۰
شکل ۲-۸: عنصر موازی معادل آنتن شکافی ۳۲
شکل ۳-۱: ساختار سه بعدی *EBG* دی الکتریکی توده هیزمی ۳۷
شکل ۳-۲: ساختار *UC-EBG* و ساختار دو بعدی قارچ شکل ۳۸
شکل ۳-۳: ساختار *EBG* تک بعدی خط انتقال ۳۸
شکل ۳-۴: اثر تغییر عرض پچ بر فاز انعکاسی ۳۹
شکل۳-۵: اثر عرض گپ بر فاز انعکاسی ۴۰
شکل ۳-۶: اثر ضخامت زیرلایه بر فاز انعکاسی ۴۱
شکل۳-۷: اثر مقدار گذردهی الکتریکی بر فاز انعکاسی ۴۲
شکل ۳-۸: نمایی از دو ساختار رایج *EBG* قارچ شکل (چپ) و تک صفحه (راست) ۴۳
شکل ۳-۹: مدل عناصر فشرده برای ساختار قارچ شکل ۴۴
شکل ۳-۱۰: روش خط انتقال پریودیک ۴۴
شکل ۴-۱: آنتن آرایه شکافی موجبری *SIW* ۴۷
شکل ۴-۲: *SIW* و موجبر مستطیلی معادل ۴۷
شکل ۴-۳: سلول واحد ساختار *UC-EBG* ۴۹
شکل ۴-۴: نمودار پاشندگی ساختار *UC-EBG* ۵۰
شکل ۴-۵: آنتن آرایه شکافی *SIW* ۵۰
شکل ۴-۶: آنتن آرایه‌ای *SIW* ۵۱
شکل ۴-۷: نتایج شبیه‌سازی تزویج متقابل *(S12)* و افت بازگشتی *(S11)* ۵۲
شکل ۴-۸: شبکه تغذیه خط میکرواستریپ ۵۲
شکل ۴-۹: نتایج شبیه‌سازی بهره آنتن ۵۳
شکل ۴-۱۰: *E-plane* و *H-plane* آنتن با ساختار *UC-EBG* و بدون ساختار *UC-EBG* ۵۴
شکل ۴-۱۱: بازده تشعشعی آنتن با *UC-EBG* ۵۵

شکل ۴-۱۲: آنتن ساخته شده ۵۶
شکل ۴-۱۳: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی آنتن ۵۶

فصل ۱– مقدمه‌ای بر آنتن‌ها

۱–۱– مقدمه

برای تزویج خروجی یک فرستنده و یا ورودی یک گیرنده به فضا نوعی سیستم واسطه ضروری است. این کار معمولاً توسط یک دستگاه فلزی (به صورت میله یا سیم) جهت تشعشع یا دریافت امواج الکترومغناطیسی به نام آنتن صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر آنتن ساختار انتقالی بین فضای آزاد و دستگاه هدایت است. این سیستم برای تبدیل جریان فرکانس بالا به امواج الکترومغناطیسی و یا بالعکس به کار برده می‌شود [۱].

مکانیزم واقعی تشعشع را می‌توان توسط معادلات ماکسول به طورکمی تشریح نمود. مطالعه رفتار جریان در یک سیستم نشان می‌دهد که تمام انرژی اعمال شده به یک سر سیم به انتهای آن نرسیده و قسمتی از آن فرار می‌کند یعنی تشعشع حاصل می‌شود.

۱–۲– تاریخچه آنتن

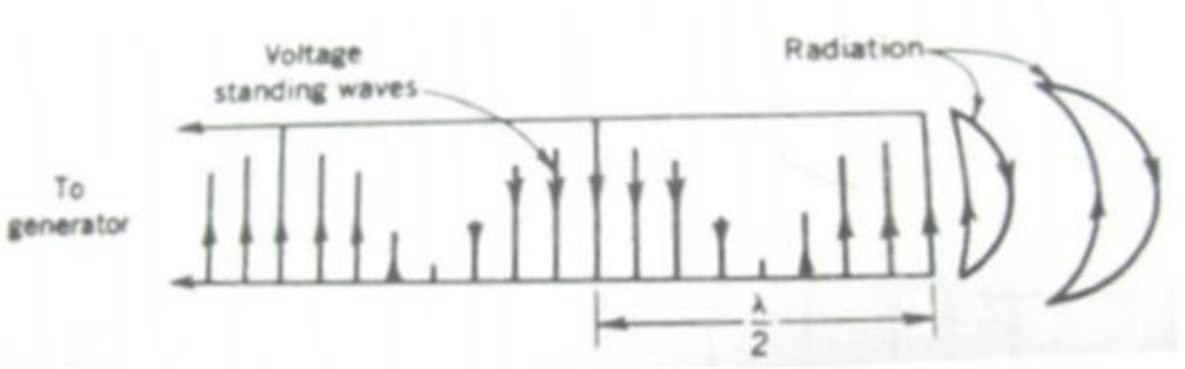
قدمت آنتن به جیمز کلارک ماکسول باز می‌گردد که بیانگر نظریه‌های برق و مغناطیس بود و فصاحت روابط خود را از طریق مجموعه‌ای از معادلات عمیق که به عنوان بهترین معادلات مغناطیس شناخته می‌شود نشان داد. کار او برای اولین بار در سال ۱۸۷۳ منتشر شد [۲]. او همچنین نشان داد که نور یک پدیده الکترومغناطیسی است. در سال ۱۸۸۶، پروفسور هاینریش رودولف هرتز اولین سیستم بی‌سیم الکترومغناطیسی را نشان داد.

تا قبل از سال ۱۹۰۱ به جزء مارکونی که سیگنال را در مسافت‌های طولانی ارسال می‌کرد کسی قادر به انجام این کار نبود. در دوازده دسامبر سال ۱۹۰۱ بود که وی در یک اتاق اجاره‌ای دستگاه فرستنده‌ای کار گذاشته بود که از ساعت ۱۵ تا ۱۸ علائم رادیویی می‌فرستاد. این پیام به دنبال هم از دستگاه فرستنده‌ای به صورت امواج الکترومغناطیسی صادر می‌شد. وی توانسته بود این امواج را از روی دریای مانش عبور دهد و این کار او با موفقیت همراه بود.

۱–۳– پارامترهای اساسی آنتن

۱–۳–۱– الگوی تشعشعی

خط انتقال مدار باز شکل ۱-۱ را در نظر بگیرید، مشاهده می‌شود امواج رفت و برگشت با یکدیگر ترکیب شده و موج ساکن در حالی که شکم ولتاژ در نقطه مدار باز است، عرضه می‌گردد. در این‌جا تمام انرژی از محل مدارباز به خط انتقال منعکس نمی‌گردد بلکه قسمت کمی از انرژی الکترومغناطیسی از سیستم فرار نموده و بنابراین تشعشع حاصل می‌شود.

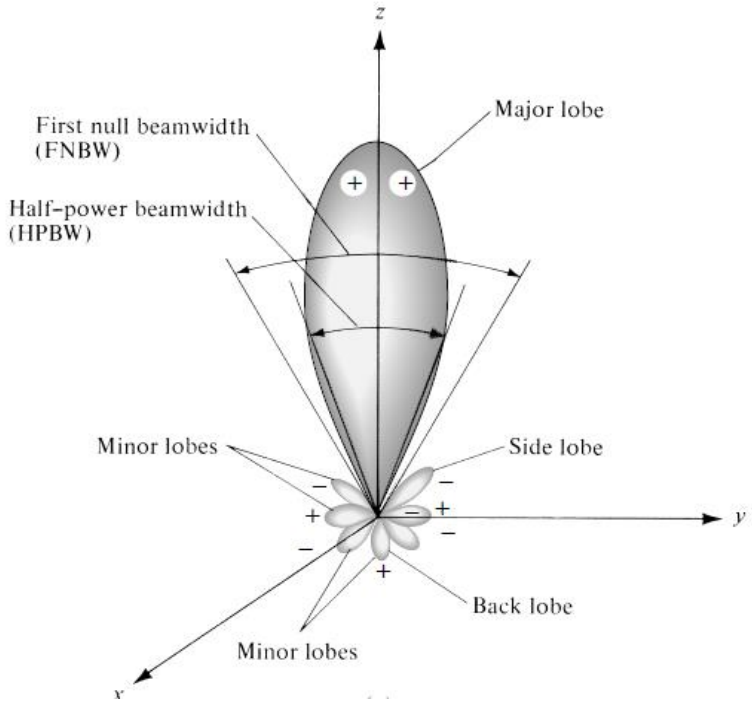


شکل ۱-۱: تشعشع یک خط انتقال

در اغلب موارد الگوی تشعشعی در منطقه میدان دور تعیین و به عنوان تابعی از مختصات جهت‌دار نشان داده می‌شود. این الگو دارای خواصی می‌باشد که عبارتند از: چگالی شار توان، شدت تشعشع، قدرت میدان، جهت‌دهی، فاز و یا قطبش. مهم‌ترین خواص تشعشعی، توزیع دو یا سه بعدی فضایی از انرژی تشعشعی است که به عنوان یک تابع از موقعیت ناظر در امتداد یک مسیر یا سطحی با شعاع ثابت است. تشعشع به خاطر این است که در خطوط، نیرویی که به طرف مدار باز در حرکت هستند به صورت معکوس شدن فاز، وقتی که به مدار باز می‌رسد رخ می‌دهد. اگر محیط اطراف را به عنوان بار خط انتقال به حساب آوریم، دیده می‌شود که عدم تطبیق به وقوع می‌پیوندد لذا قسمتی از موج که از سیستم فرار می‌کند نسبت به باقی مانده موج خیلی کوچک است، در نتیجه مقدارکمی از توان در بار تلف می‌شود. باید در نظر داشت که خطوط انتقال دو سیمه در فرکانس پایین تشعشع نمی‌کنند.

۱-۳-۲- گلبرگ[1]های الگوی تشعشعی

بخش‌های مختلف از الگو به عنوان گلبرگ به گلبرگ‌های اصلی[2]، فرعی[3]، جانبی[4] و پشتی[5] طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱-۲ الگوی قطبی سه بعدی متقارن با تعداد گلبرگ‌ها را نشان می‌دهد. برخی شدت تابش بزرگتری نسبت به دیگری دارند اما همه آن‌ها به عنوان گلبرگ طبقه‌بندی می‌شوند. گلبرگ اصلی به عنوان گلبرگ تشعشعی در جهت حداکثر تشعشع تعریف می‌شود. گلبرگ فرعی، هر گلبرگ به جزء گلبرگ اصلی است. گلبرگ جانبی در کنار گلبرگ اصلی در نظر گرفته می‌شود. گلبرگ عقبی یک زاویه ی ۱۸۰ درجه با گلبرگ اصلی آنتن می‌سازد. این گلبرگ‌ها به صورت کامل در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. گلبرگ‌های فرعی معمولاً نشان دهنده تشعشع در جهت نامطلوب بوده و باید به حداقل برسد.



شکل ۱-۲: گلبرگ‌های الگوی تشعشعی آنتن [۳]

---

[1] - Lobe
[2] - Major lobe
[3]- Minor lobe
[4] - Side lobe
[5] - Back lobe

۱-۳-۳- پهنای پرتو[1]

پهنای پرتو به عنوان جداساز زاویه‌ای بین دو نقطه یکسان در دو طرف گلبرگ اصلی تعریف می‌شود. همچنین این همان زاویه بین دو نقطه با ۳dB کمتر از حداکثر شدت میدان در پرتو تشعشعی آنتن است. در یک الگوی آنتن تعدادی پهنای پرتو وجود دارد. یکی از آن‌ها به طور گسترده استفاده می‌شود که به آن پهنای پرتو نیم توان (HPBW)[2] گویند که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است و در IEEE به این صورت تعریف می‌شود: در یک سطح که شامل جهت حداکثر تشعشع است زاویه‌ای بین دو جهت وجود دارد که در آن مقدار شدت تشعشع نیمی از پرتو است. عبارت پهنای پرتو را معمولاً در مورد آنتن‌های با اشعه باریک به کار برده و به گلبرگ اصلی ارجاع داده می‌شود.

۱-۳-۴- جهت‌داری[3]

جهت‌داری آنتن به صورت نسبت شدت تشعشع در یک جهت داده شده از آنتن، معمولاً در جهت ماگزیمم، به شدت تشعشع متوسط در تمام جهات تعریف می‌شود. شدت تشعشع متوسط برابر است با کل توان تابشی آنتن تقسیم بر 4π. مقدار جهت‌داری برای مقایسه دو آنتن با یکدیگر به کار می‌رود. در فرم ریاضی می‌توان رابطه جهت‌داری را به صورت معادله زیر نوشت:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \qquad (۱-۱)$$

۱-۳-۵- بهره توان[4]

توانی که باید توسط یک آنتن همه جهته[5] تشعشع شود تا شدت میدان مشخصی را در فاصله‌ای معین ایجاد کند را بهره توان گویند. در بهره توان اتلاف آنتن نیز در نظر گرفته شده و فرمول آن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$A_p = \eta D \qquad (۱-۲)$$

که در آن A_p بهره توان و η بازدهی آنتن می‌باشد. جهت‌داری را به صورت نظری می‌توان محاسبه کرد اما بهره آنتن دارای اهمیت عملی زیادی است.

---

[1] - Beam Width
[2] - Half Power Band Width
[3] - Directivity
[4] - Gain
[5] -Isotropic

۱–۳–۶– مقاومت آنتن

مقاومت یک آنتن دارای دو جزء است. مقاومت تشعشعی نتیجه توانی است که تبدیل به امواج الکترومغناطیسی می‌شود و همچنین مقاومت مربوط به اتلاف آنتن که این دو مقاومت را این‌جا بررسی می‌کنیم:

الف) مقاومت تشعشعی آنتن: مقاومتی است که اگر به جای آنتن قرار گیرد تمام توان تشعشعی آنتن را در خود تلف می‌سازد و به صورت نسبت توان تشعشعی آنتن به مجذور جریان در نقطه تغذیه بیان می‌شود. این مقاومت dc نبوده و یک مقاومت ac می‌باشد و قسمتی از امپدانس ورودی آنتن است. همچنین با در نظر گرفتن آن محاسبات مربوط به بازدهی آنتن بسیار ساده‌تر می‌شود.

ب) مقاومت تلفاتی آنتن: علاوه بر انرژی که توسط یک آنتن تشعشع می‌شود مقداری از توان تلف می‌شود.

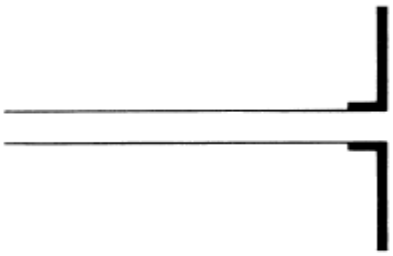
۱–۳–۷– قطبی‌شدگی

عبارت است از جهت بردار شدت میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی تشعشعی از آنتن در فضا که موازی با خود آنتن است. همچنین آنتن‌ها را با قطبی‌شدگی آن‌ها مثلاً عمودی یا افقی و یا به صورت دایروی و ... مشخص می‌کنند. بیشتر آنتن‌های فرکانس بالا به سبب نزدیکی به زمین با قطبی‌شدگی عمودی می‌سازند. البته استفاده از آنتن‌های با قطبی‌شدگی افقی در فرکانس‌های بالا نیز دارای مزایایی است. به خصوص اغلب نویز ساخت بشر دارای قطبی‌شدگی عمودی می‌باشد. آنتن‌هایی با قطبی‌شدگی غیرخطی نیز وجود دارند که در بعضی مواقع به‌کار برده می‌شوند.

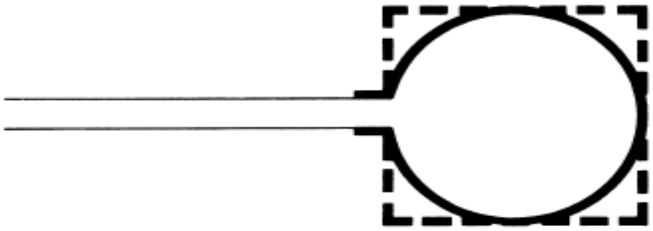
۱–۴– انواع آنتن‌ها [۳]

۱–۴–۱– آنتن‌های سیمی

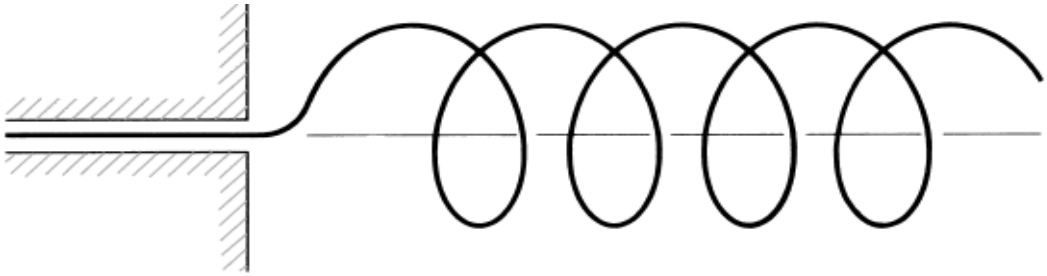
این آنتن‌ها کاربرد زیادی دارند. از قدیمی‌ترین و در عین حال متداول‌ترین انواع آنتن‌ها هستند زیرا عملاً در همه‌جا مانند: اتومبیل، ساختمان، کشتی، هواپیما و غیره دیده می‌شوند. اشکال مختلفی از آنتن‌های سیمی مانند سیم مستقیم (دو قطبی)، حلقه و مارپیچ وجود دارد که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. تقریباً هر شکل یا آرایه‌ای از سیم‌ها یک کاربرد مفید تشعشعی دارند.



الف)آنتن دوقطبی



ب) آنتن حلقوی



ج) آنتن مارپیچی

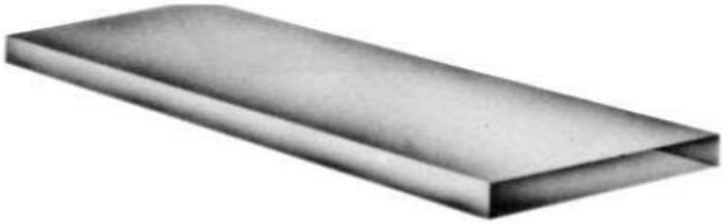
شکل ۱-۳: مدل‌های آنتن سیمی [۳]

۱-۴-۲- آنتن‌های روزنه‌ای

یک آنتن با یک روزنه در ساختارش که از طریق آن امواج الکترومغناطیسی عبور می‌کند. آنتن‌های روزنه‌ای امروزه نسبت به قبل به صورت گسترده‌ای به دلیل افزایش تقاضا برای شکل‌های پیچیده‌تر آنتن و استفاده از فرکانس‌های بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از انواع این آنتن‌ها در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. از این نوع آنتن‌ها در هواپیما و فضاپیما استفاده می‌شود زیرا به راحتی می‌تواند بر روی پوسته نصب شوند. علاوه براین، می‌توان آن‌ها را با مواد عایق (دی الکتریک) جهت حفاظت از شرایط بد جوی پوشاند.

الف)آنتن بوقی هرمی شکل

ب)آنتن بوقی مخروطی شکل



ج) موجبر مستطیلی

شکل ۱-۴: مدل‌های آنتن روزنه‌ای [۳]

۱-۴-۳- آنتن‌های آرایه‌ای

پرتو آنتن‌های سیمی اغلب نسبت به محور آنتن متقارن بوده و بنابراین بهره آن‌ها محدود است. برای افزایش بهره و یا کم کردن پهنای پرتو می‌توان از چند آنتن به طور همزمان استفاده کرد که آن را آنتن آرایه‌ای می‌نامیم. معمولاً همه آنتن‌های به کار رفته در آنتن آرایه‌ای دارای یک شکل و یک وضعیت هستند.

شکل آنتن‌های آرایه‌ای معمولاً به صورت خطی[1] که آنتن‌ها با فاصله مساوی روی یک خط قرار می‌گیرند، صفحه‌ای[2] که آنتن‌ها در یک صفحه مسطح با وضعیت‌های مختلف مانند: دایروی، مثلثی و یا ماتریسی قرار می‌گیرند و یا در حالت کلی روی یک سطح انحنادار[3] ویا حتی داخل یک حجم واقع می‌شوند. نمونه‌هایی از این آنتن‌ها در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

---

[1] - linear
[2] - Planar
[3] - Conformal