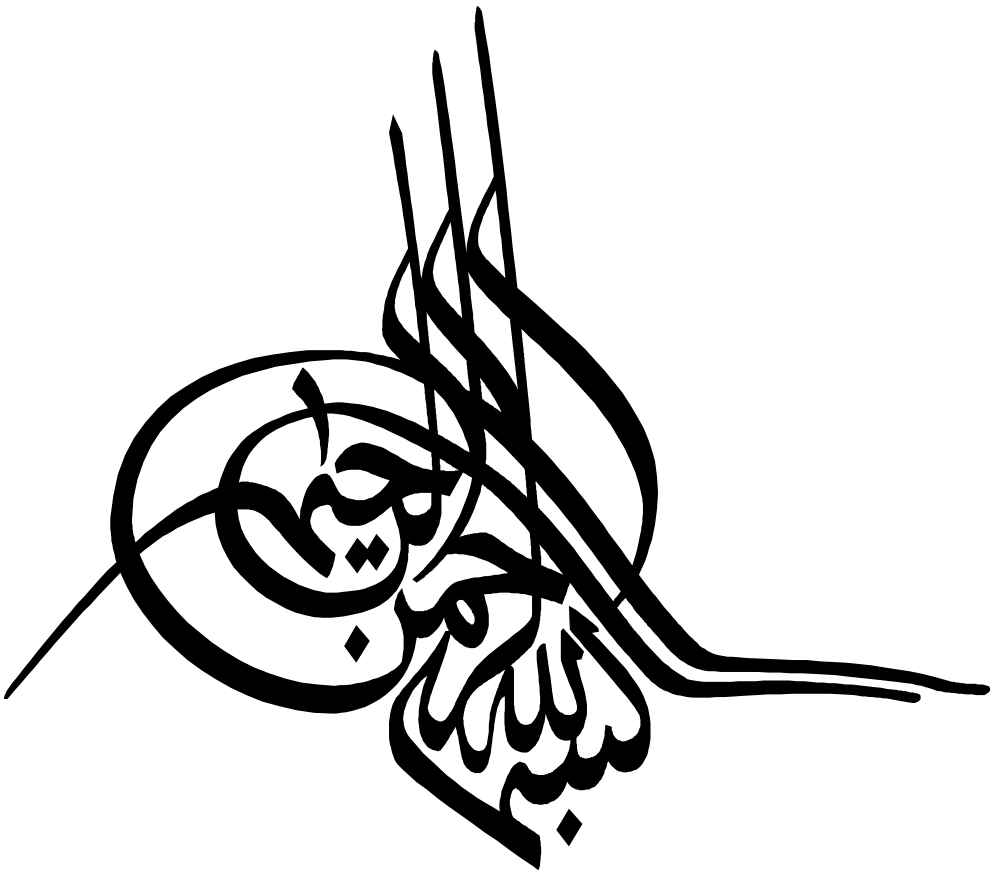

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی «نوشیروانی» بابل

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی برق- مخابرات

موضوع:

طراحی پترن تشعشعی آنتن های آرایه ای با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی

استاد راهنما:

دکتر عطاءالله ابراهیم‌زاده

استاد مشاور:

دکتر بیژن ذاکری

نام دانشجو:

رضا غلامی

بهمن ماه ۱۳۹۲

چکیده

آنتن های آرایه ای نقش مهمی را در پردازش سیگنال هایی که از مسیرهای مختلف به آنها می رسند ایفا می کند. یکی از مهمترین اهداف در طراحی آنتن های آرایه ای ایجاد ساختار هندسی مناسب به منظور دستیابی به پترن تشعشعی مورد دلخواه می باشد. در این پایان نامه یک روش طراحی به منظور دستیابی به پترن تشعشعی با ویژگی هایی مانند دارا بودن صفر در زوایای از قبل تعریف شده و نیز کمترین میزان سطح گلبرگ های فرعی، در ساختارهای هندسی مختلف ارائه شده است. از الگوریتم اجتماع ذرات به منظور بهینه سازی مقادیر دامنه تشعشعی و مکان قرارگیری هر المان برای دستیابی به پترن دلخواه استفاده شده است. نتایج شبیه سازی شده بیانگر توانایی روش پیشنهاد شده در کاهش سطح گلبرگ های فرعی و دستیابی به صفر های از قبل تعریف شده بطور همزمان در پترن می باشد. همچنین به دلیل ملاحظات عملی در آنتن های آرایه ای، دو روش برای کنترل اثر تزویج بین المان ها بکار برده شده است. در روش اول به محدود کردن مقادیر امپدانس نقطه موثر المان های آرایه های خطی و دایروی به منظور امکانپذیر کردن طراحی شبکه تطبیق آنها پرداخته شده است. همچنین در روش دوم نیز پارامتر نسبت محدودیت پویایی در طراحی پترن آرایه صفحه ای به منظور ساده سازی در طراحی شبکه تغذیه این آرایه پرداخت شده است. نتایج شبیه سازی شده برای پترن آرایه های بیان شده نشان می دهد که با در نظر گرفتن ملاحظات عملی نیز الگوریتم استفاده شده قابلیت بالایی در طراحی آنتن های آرایه ای دارد.

واژه‌های کلیدی:

آنتن آرایه ای، طراحی پترن تشعشعی، کنترل کردن صفر، امپدانس نقطه موثر، نسبت محدوده پویایی.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه: ۱

فصل اول: آنتن‌ها و مقدمه‌ای بر آنتن های آرایه ای ۳

۱-۱ آنتن‌ها و پارامترهای بنیادی ۳

۱-۱-۱ پارامترهای بنیادی آنتن‌ها ۶

۱-۲ مقدمه‌ای بر آنتن های آرایه ای ۲۴

۱-۲-۱ تعاریف اولیه و پارامترهای اساس در آرایه ها ۲۵

فصل دوم: طراحی پترن آنتن های آرایه ای با ساختار های هندسی گوناگون به منظور دستیابی به اهداف مختلف ۳۲

۲-۱ روش های مختلف در طراحی آنتن های آرایه ای ۳۲

۲-۱-۱ روش های کلاسیک ۳۲

۲-۱-۲ روش های جدید ۳۳

۲-۲ طراحی های انجام شده در پترن آنتن های آرایه ای توسط الگوریتم های بهینه سازی ۳۴

۲-۲-۱ طراحی های انجام شده در آنتن های آرایه خطی ۳۴

۲-۲-۲ طراحی های انجام شده در آنتن های آرایه دایروی ۳۷

۲-۲-۳ طراحی های انجام شده در آنتن های آرایه صفحه ای ۴۳

۲-۲-۴ طراحی های انجام شده در آنتن های آرایه تطبیقی ۴۷

۲-۲ جمع بندی ۴۹

فصل سوم: طراحی آنتن های آرایه ای برای چند ساختار هندسی مختلف با در نظر گرفتن ملاحظات عملی ۵۱

۳-۱ مقدمه ای بر ملاحظات عملی در نظر گرفته شده ۵۱

۳-۲ طراحی پترن آرایه های غیر متناوب با درنظر گرفتن محدودیت امپدانسی ۵۶

۳-۲-۱ کلیات طرح ۵۶

۳-۲-۲ طراحی آرایه خطی متقارن ۵۷

۳-۲-۳ طراحی آرایه دایروی ۶۸

۳-۳ طراحی پترن آرایه های غیر متناوب با درنظر گرفتن محدودیت پارامتر DRR ۷۴

۳-۳-۱ طراحی آرایه صفحه ای ۷۴

۳-۴ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۸۲

فصل چهارم: پیشنهاد برای کارهای آینده ۸۴

پیوست (۱) ۸۶

پیوست (۲) ۸۹

پیوست (۳) ۹۶

منابع ۹۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۱-۱: آنتن به عنوان یک وسیله انتقال ۴

شکل۱-۲: معادل تونن خط انتقال آنتن در حالت فرستندگی..... ۵

شکل۱-۳: دستگاه مختصات برای تحلیل آنتن [۱] ۸

شکل۱-۴: پترن برای یک آنتن شیپوری هرمی [۱] ۹

شکل۱-۵: پترن آنتن همه جهتی [۱]..... ۹

شکل۱-۶: چرخش یک موج الکترومغناطیسی صفحه‌ای و پلاریزاسیون بیضوی آن در z=0 [۱] ۱۹

شکل۱-۷: آنتن فرستنده و مدارات معادل آن [۱] ۲۳

شکل۱-۸: کاربردهای مختلف آنتن های آرایه ای ۲۵

شکل۱-۹: هندسه قرارگیری المان ها در آرایه خطی ۲۶

شکل۱-۱۰: هندسه قرارگیری المان ها در آرایه دایروی..... ۲۷

شکل۱-۱۱: هندسه قرارگیری المان ها در آرایه صفحه ای..... ۲۷

شکل۱-۱۲: هندسه قرارگیری المان ها در آرایه تطبیقی..... ۲۸

شکل۲-۱: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۰] ۳۵

شکل۲-۲: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۱]، بهینه سازی مقادیر فاز و فاصله بین المان ها با هم (خطوط پیوسته)، و بهینه سازی تنها مقادیر فاز (خطوط بریده شده) ۳۶

شکل۲-۳: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۲] ۳۷

شکل۲-۴: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۴] ۳۸

شکل۲-۵: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۶] برای شکل دهی بیم بصورت کسکانتی..... ۳۸

شکل۲-۶: پترن طراحی شده در آنتن آرایه خطی [۱۶] برای شکل دهی بیم بصورت مسطح..... ۳۹

شکل۲-۷: هندسه قرار گیری المان ها بر روی حلقه دایروی در آرایه [۲۱]..... ۴۰

شکل۲-۸: مقایسه پترن نهایی طراحی شده با پترن آرایه مرجع در [۲۱]..... ۴۰

شکل۲-۹: هندسه قرارگیری المانها روی دو حلقه دایروی در آرایه [۲۲]..... ۴۱

شکل۲-۱۰: پترن طراحی شده به منظور کم کردن اندازه آرایه و داشتن کمترین سطح گلبرگ های فرعی در [۲۲] ۴۱
شکل۲-۱۱: هندسه قرارگیری المانها روی دو حلقه دایروی در آرایه [۲۳] ۴۲
شکل۲-۱۲: پترن طراحی شده برای آرایه دایروی [۲۳] ۴۲
شکل۲-۱۳: هندسه قرار گیری المان ها به صورت آرایه صفحه ای [۲۸] ۴۳
شکل۲-۱۴: پترن سه بعدی طراحی شده برای آرایه با قابلیت چرخش بیم [۲۸] ۴۴
شکل۲-۱۵: پترن سه بعدی طراحی شده برای آرایه با شکل بیم مسطح در [۲۸] ۴۴
شکل۲-۱۶: مقایسه پترن دو بعدی طراحی شده برای آرایه با شکل بیم مسطح در [۲۸] ۴۵
شکل۲-۱۷: هندسه قرار گیری المان های باقی مانده در آرایه صفحه ای [۲۹] ۴۶
شکل۲-۱۸: پترن دو بعدی طراحی شده به منظور ایجاد صفر برای آرایه [۲۹] ۴۶
شکل۲-۱۹: پترن سه بعدی طراحی شده ایجاد نه بیم اصلی در آرایه [۳۰] ۴۶
شکل۲-۲۰: هندسه قرارگیری المان ها روی آرایه تطبیقی [۳۸] ۴۷
شکل۲-۲۱: پترن نهایی طراحی شده برای آرایه تطبیقی [۳۸] ۴۸
شکل۲-۲۲: هندسه قرارگیری المان ها روی آرایه تطبیقی [۴۲] ۴۸
شکل۲-۲۳: پترن نهایی طراحی شده برای آرایه تطبیقی در زوایای چرخش بیم ۰ و ۴۵ درجه [۴۲] ۴۹
شکل۲-۲۳: پترن نهایی طراحی شده برای آرایه تطبیقی در زوایای چرخش بیم ۰ و ۳۰ درجه [۴۲] ۴۹
شکل۳-۱: ساختار هندسی قرارگیری المان های دوقطبی در [۴۴] ۵۲
شکل۳-۲: پترن تشعشعی بهینه نشده در آنتن آرایه ای [۴۴] برای زاویه چرخش بیم اصلی تا ۶۰ درجه .. ۵۳
شکل۳-۳: نمودار سطح گلبرگ های تشعشعی بر حسب زوایای چرخش بیم در پترن آنتن آرایه [۴۴] برای تعداد المان های مختلف ۵۴
شکل۳-۴: مکان قرارگیری المان ها پساز بهینه شدن بدون در نظر گرفتن شرط امپدانس (بالا) و با درنظر گرفتن شرط امپدانس (پایین) ۵۴
شکل۳-۵: پترن تشعشعی طراحی شده برای آرایه [۴۴] در زاویه چرخش ۶۰ درجه بدون در نظر گرفتن محدودیت امپدانس (خط بریده) و با درنظر گرفتن شرط محدودیت امپدانس (خط پیوسته) ۵۵
شکل۳-۶: هندسه آنتن آرایه خطی متقارن نسبت به صفحه y-z ۵۸
شکل۳-۷: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه خطی متقارن، بهینه شده توسط الگوریتم اجتماع (الف) برای

۱۲ المان و (ب) برای ۱۶ المان..... ۶۲
شکل۳-۸: (الف) شبکه دوقطبی سیستم آنتنی دو المانه ، (ب) شبکه تی معادل این دوقطبی ۶۴
شکل۳-۹: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه خطی متقارن، بهینه شده توسط الگوریتم اجتماع با در نظر گرفتن شرط محدودیت امپدانس، (الف) برای ۱۲ المان و (ب) برای ۱۶ المان ۶۷
شکل۳-۱۰: هندسه آرایه دایروی N المانه روی صفحه x-y..... ۶۹
شکل۳-۱۱: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه دایروی، بهینه شده توسط الگوریتم اجتماع بدون در نظر گرفتن شرط محدودیت امپدانس، (الف) برای ۱۰ المان و (ب) برای ۱۵ المان ۷۱
شکل۳-۱۲: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه دایروی، بهینه شده توسط الگوریتم اجتماع با در نظر گرفتن شرط محدودیت امپدانس، (الف) برای ۱۰ المان و (ب) برای ۱۵ المان..... ۷۳
شکل۳-۱۳: هندسه آرایه صفحه ای N المانه روی صفحه x-y ۷۵
شکل۳-۱۴: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه صفحه ای ۳۶ المانه، بهینه شده با روش تنها فاصله مکانی (الف) با هدف ایجاد یک صفر (ب)) با هدف ایجاد دو صفر ۷۸
شکل۳-۱۵: فاکتور آرایه نرمالیزه شده برای آرایه صفحه ای ۳۶ المانه، بهینه شده با روش دامنه و فاصله مکانی با محدود کردن DRR (الف) با هدف ایجاد یک صفر (ب) با هدف ایجاد دو صفر..... ۸۱
شکل پ(۱)-۱ رفتار دسته جمعی گروهی از ماهیان و پرندگان ۸۷
شکل پ(۱)-۲ مفهوم به روز رسانی یک ذره در الگوریتم اجتماع ذرات ۸۷
شکل پ(۲)-۱ نحوه قرارگیری دو آنتن دوقطبی روبروی هم ۹۰
شکل پ(۲)-۲ هندسه آنتن دوقطبی برای تحلیل میدان های راه نزدیک..... ۹۱
شکل پ(۲)-۳ ساختارهای قرارگیری مختلف دو المان دوقطبی یکسان در کنار هم برای محاسبه امپدانس متقابل ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۳-۱: دامنه نرمالیزه و مکان بهینه شده بر حسب طول موج برای آرایه خطی طراحی شده ۱۲ المانه ۶۲
جدول۳-۲: دامنه نرمالیزه و مکان بهینه شده بر حسب طول موج برای آرایه خطی طراحی شده ۱۶ المانه ۶۳
جدول۳-۳: امپدانس ورودی، دامنه نرمالیزه، و مکان بهینه شده بر حسب طول موج برای آرایه خطی طراحی شده۱۲ المانه ۶۷
جدول۳-۴: امپدانس ورودی، دامنه نرمالیزه، و مکان بهینه شده بر حسب طول موج برای آرایه خطی طراحی شده ۱۶ المانه ۶۷
جدول۳-۵: دامنه نرمالیزه و زاویه بهینه شده بر حسب درجه برای آرایه دایروی طراحی شده ۱۰ المانه ... ۷۱
جدول۳-۶: دامنه نرمالیزه و زاویه بهینه شده بر حسب درجه برای آرایه دایروی طراحی شده ۱۵ المانه ... ۷۱
جدول۳-۷: دامنه نرمالیزه، زاویه بهینه شده و قسمت حقیقی امپدانس ورودی بر حسب درجه برای آرایه دایروی طراحی شده ۱۰ المانه ۷۳
جدول۳-۸: دامنه نرمالیزه، زاویه بهینه شده و قسمت حقیقی امپدانس ورودی بر حسب درجه برای آرایه دایروی طراحی شده ۱۵ المانه ۷۳
جدول۳-۹: مکان بهینه شده المان ها برای پترن طراحی شده دارای یک صفر (با روش بهینه سازی تنها مکان المان ها) ۷۸
جدول۳-۱۰: مکان بهینه شده المان ها برای پترن طراحی شده دارای دو صفر(با روش بهینه سازی تنها مکان المان ها) ۷۹
جدول۳-۱۱: مکان و دامنه بهینه شده المان ها برای پترن طراحی شده دارای یک صفر(با روش بهینه سازی مکان و دامنه المان ها)..... ۸۱
جدول۳-۱۲: مکان و دامنه بهینه شده المان ها برای پترن طراحی شده دارای دویک صفر(با روش بهینه سازی مکان و دامنه المان ها) ۸۲

مقدمه:

در دنیای امروز استفاده از فناوریهای نوین اطلاعـات و ارتباطـات و توانـائی و آمـادگی کشـورها بـرای بکارگیری از آنها، به عنوان شاخص مهم پیشرفت صنایع در کشورهای مختلف جهان محسـوب مـی گـردد. از مهمترین کاربردهای آنتن های آرایه ای می توان به استفاده آنها در رادارهای آرایه فازی به منظور جسـتجو و ردیابی اهداف تا فواصل دور و همچنین کنترل اهداف دور برد اشاره کرد. این آنتن ها به نسبت بهره بالایشـان دارای ابعاد کوچکی نیز هستند که کاربرد آنها در ادوات متحرک نظامی مانند ناوهای دریایی، هلی کوپتر هـا، هواپیما ها، موشک ها و ... از جایگاه بالایی برخوردار است. همچنین این نوع از آنـتن هـا نقـش کلیـدی را در توسعه انقلابی امور مختلف ارتباطات و فناوری اطلاعات و در راس آنها صنایع و امور مخابراتی ایفـا مـی کنـد که باعث افزایش بهره وری و بالا رفتن کیفیت سرویس های مخابراتی و در نتیجه رضایتمندی هر چه بیشـتر مشترکین استفاده کننده از این سرویس ها می گردد. طراحی و بهینه سازی سازی این نوع آنتن ها و مـرتبط ساختن آن با مفاهیم و کاربردهای جدید تجارت الکترونیک و استراتژ ی الکترونیکی درکشور، به عنوان موتور پیشرفت در بخش ICT، در سرعت بخشیدن و تبادل ارتباطات نقش اساسی را ایفا می نماید.

به علت کاربردهای وسیع این آنتن ها، دستیابی به طرح بهینه یکی از مهمترین چالش ها در این نوع از آنتن هاست. روش های تحلیلی و تئوری زیادی برای طراحی این نوع آنتن ها از سال های ۱۹۶۰ به بعد پیشنهاد شده که هر کدام به نوعی ضعف های خاص خودشان را داشتند طوری که دسترسی به طرح بهینه امکان نداشت. با روی کار آمدن کامپیوتر ها و معرفی الگوریتم های بهینه سازی در اواخر دهه ۱۹۹۰ زمینه برای بهبود بخشیدن طرح بهینه این نوع از آنتن ها فراهم آمد. طوری که در سالهای اخیر این مسئله به یکی از مهمترین مسائل در زمینه طراحی آنتن های آرایه ای مبدل شده است. الگوریتم هایی چون الگوریتم ژنتیک، اجتماع پرندگان، اجتماع مورچگان و... در بهینه سازی این مسئله کاربرد زیادی دارند.

در فصل اول به بررسی پارامترهای بنیادی آنتن در حالت کلی پرداخته شده اسـت. در بخـش دوم ایـن فصل ابتدا به معرفی آنتن های آرایه ای و کاربردهای مختلف آن پرداخته شده اسـت. در ادامـه‌ی ایـن فصـل جهت درک چالش هایی که در آنتن های آرایه ای یک طراح با آن روبرو می شـود، بـه توضـیح مختصـری از چند تعریف اولیه و پارامترهای اساسی آنتن آرایه ای پرداخته شده است.

در ابتدای فصل دوم به معرفی روش‌های مختلف در طراحی آنتن‌هـای آرایـه ای اختصـاص داده شـده است. در ادامه نیز به منظور آشنایی با اهداف مختلف در طراحی آنتن های آرایه ای، به تحقیقات انجـام شـده

در این زمینه برای آرایه هایی با ساختار های هندسی مختلف (خطی، دایروی، صفحه ای، و تطبیقی) پرداخته شده است و آنتن‌های آرایه ای که اخیراً مورد تحقیق قرار گرفته‌اند نیز معرفی می‌شوند.

در فصل سوم از الگوریتم بهینه سازی خاصی جهت طراحی آنتن های آرایه ای با ساختار های هندسی مختلف به منظور دستیابی به پترن دلخواه استفاده شده است. در ادامه نتایج شبیه سازی برای پترن های طراحی شده آورده شده و همچنین جداول مقادیر پارامتر های بهینه شده در الگوریتم برای این ساختارهای آرایه ای ارائه شده است. همچنین اثر تزویج بین المان ها که از مهمترین بحث ها در زمینه آنتن های آرایه ای می باشد نیز در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز به کاهش اثر تزویج بین المان ها و نیز استفاده از روش هایی به منظور در نظر گرفتن ملاحظات عملی در طراحی آنتن های آرایه ای پرداخته شده است. در انتها نتایج شبیه سازی شده برای پترن آرایه های مختلف که در آنها این ملاحظات در نظر گرفته شده است نیز مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل چهارم به معرفی راههای پیشنهادی برای کارهای آینده اختصاص یافته است.

فصل ۱- آنتن‌ها و مقدمه‌ای بر آنتن های آرایه ای

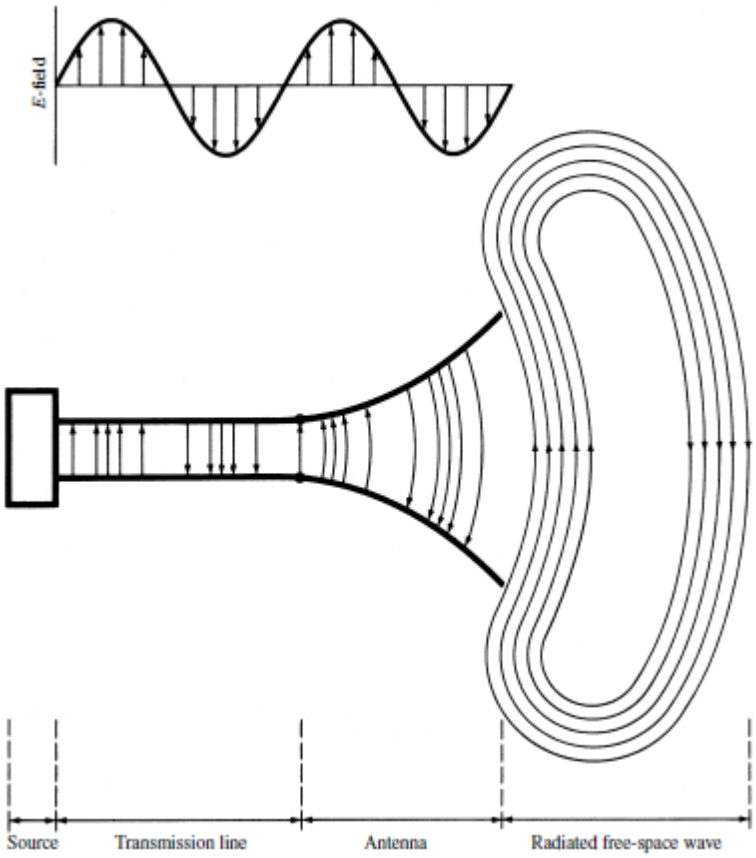
در بخش اول این فصل به بررسی پارامترهای بنیادی آنتن در حالت کلی پرداخته شده است. پترن تشعشعی و انواع آن، چگالی توان تشعشعی، سمت گرایی، بهره، پهنای باند، پلاریزاسیون و امپدانس ورودی از جمله مهم‌ترین پارامترهای هر آنتنی می‌باشند که معرف خصوصیات و ویژگی‌های بارز و تأثیرگذار آن هستند و کاربردها و محدودیت‌های آن را نشان می‌دهند. در بخش دوم به معرفی آنتن های آرایه ای و کاربردهای آن در سیستم های مختلف پرداخته شده است. همچنین جهت درک چالش هایی که در آنتن های آرایه ای یک طراح با آن روبرو می شود، به توضیح مختصری از چند تعریف اولیه و پارامترهای اساسی آنتن های آرایه ای پرداخته شده است.

۱-۱آنتن‌ها و پارامترهای بنیادی

یک آنتن، در فرهنگ لغت وِبستر[1]،"یک قطعه فلزی معمولی (مانند یک میله یا یک سیم) برای تشعشع یا دریافت امواج رادیویی" تعریف شده است. فرهنگ تعاریف اصطلاحات استاندارد IEEE[2] برای آنتنها، یک آنتن را (وسیله‌ای برای تشعشع یا دریافت امواج رادیویی) تعریف می‌کند. به عبارت دیگر، آنتن یک ساختار انتقالی بین فضای آزاد و یک وسیله‌ی هدایتی است، همچنان که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

[1] Webster
[2] IEEE Std 145-1983

وسیله هدایتی یا خط انتقال ممکن است یک خط هم محور[1] یا لوله تو خالی (موجبر[2]) باشد کـه بـرای انتقال انرژی الکترومغناطیسی از منبع فرستنده به آنتن یا از آنتن به گیرنده استفاده می‌شـود. در حالـت اول، ما یک آنتن فرستنده و در حالت دوم،یک آنتن گیرنده داریم.

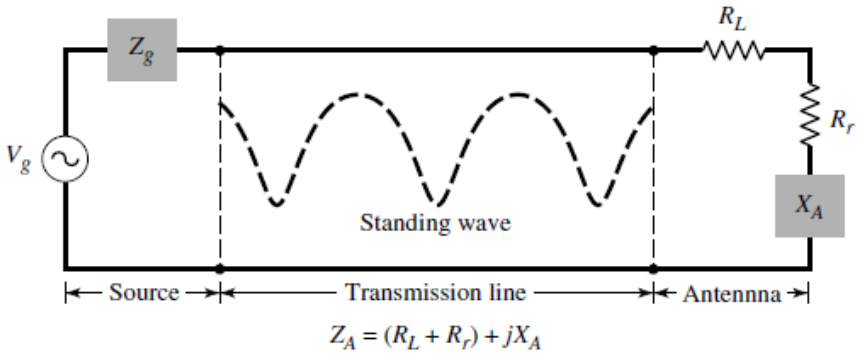


شکل ۱-۱ آنتن به عنوان یک وسیله انتقال [۱]

یک معادل تونن[3] خط انتقال برای حالت فرستندگی سیستم آنـتن شـکل ۱-۱، در شـکل ۱-۲ نشـان داده شده است که منبع با یک مولد ایده ال، خط انتقال به وسیله یک خط با امپـدانس مشخصـه Z_c و آنـتن توسط یک بار Z_A که به خط انتقال متصل می شود، نمایش داده شده اند. مقاومت بار R_L برای نمایش تلفات دی الکتریکی و هدایتی مربوط به ساختار آنتن است، در صورتی که مقاومت R_r به عنوان مقاومـت تشعشـعی، به کار رفته و معرف تشعشع آنتن است. راکتانس X_A برای نمایش بخش موهومی امپدانس مربوط به تشعشـع آنتن به کار می رود. تحت شرایط ایده آل، انرژی تولید شده منبع باید کـاملاً بـه مقاومـت تشعشـعی R_r کـه

[1] Coaxial Line
[2] Waveguide
[3] Thevenin

نماینده تشعشع آنتن است، انتقال یابد. در هر صورت، در سیستمهای عملی، تلفات دی الکتریکی و هدایتی در خط انتقال و آنتن وجود دارند، هم چنان که در فصل مشترک آنتن و خط انتقال تلفات بازتابش (عدم تطبیق) وجود دارد. با در نظر گرفتن امپدانس داخلی منبع و با چشم پوشی از تلفات خط و بازتابش (عدم تطبیق)، بیشترین توان، تحت شرایط تطبیق مزدوج به آنتن می رسد.



شکل ۱-۲ معادل تونن خط انتقال آنتن در حالت فرستندگی [۱]

امواج بازتاب یافته که در محل اتصال خط انتقال و آنتن به وجود می آید، با امواج حرکت کننده[1] از منبع به آنتن، امواج ایستا[2] را در داخل خط انتقال تولید می کنند که مانند یک قطعه تشدید شده، معرف متراکم شدن و ذخیره شدن انرژی است. یک پترن معمولی از موج ایستا در شکل۱-۲ به صورت خط چین نشان داده شده است. اگر سیستم آنتن به طور مناسبی طراحی نشده باشد، خط انتقال به جای هدایت موج و انتقال انرژی، مانند یک عنصر ذخیره کننده انرژی عمل می کند. اگر شدت میدان های ماکزیمم موج ایستا به قدر کافی بزرگ باشد، باعث جرقه در داخل خط انتقال می شود.

تلفات ناشی از خط و آنتن و نیز امواج ایستا نامطلوب هستند. تلفات خط با انتخاب یک خط کم اتلاف، کاهش می یابد و تلفات آنتن را می توان با کاهش مقاومت تلفات که در شکل ۱-۲ با R_L نشان داده شده است، کاهش داد. امواج ایستا و هم چنین میزان انرژی ذخیره شونده در خط انتقال، توسط تطبیق امپدانس آنتن (بار) با امپدانس مشخصه خط، کاهش می یابد. یک مدار معادل، مشابه مدار معادل شکل ۱-۲، برای نمایش سیستم آنتن در حالت گیرندگی استفاده می شود که در این حالت، گیرنده جایگزین منبع می شود. همه بخشهای خط انتقال به همان صورت باقی می ماند. مقاومت تشعشعی R_r در حالت گیرندگی،

[1] Traveling Wave
[2] Standing Wave

انتقال انرژی از فضای آزاد به آنتن را نشان می دهد.

معمولاً برای دریافت یا ارسال انرژی در سیستمهای پیشرفته بی سیم، یک آنتن نیاز است تا انرژی تشعشعی را در برخی جهات متمرکز و در جهات دیگر حذف کند. یک آنتن می تواند براساس نیازهای متفاوت، اشکال مختلفی داشته باشد. یک آنتن ممکن است یک تکه سیم رسانا، یک روزنه، یک پچ[1] (تکه صفحه فلزی)، مجموعه‌ای از عنصرها (آرایه)، یک بازتابنده[2]، یک لنز[3] و غیره باشد.

برای سیستم‌های مخابراتی بی سیم، آنتن یکی از مهمترین اجزا است. یک طراحی خوب آنتن می تواند بسیاری از نیازمندی‌های سیستم را برآورده کند و عملکرد سیستم را بهبود ببخشد. یک مثال معمولی، تلویزیون می باشد. با استفاده از یک آنتن با کارایی بالا می توان دریافت خوبی از پخش برنامه‌های تلویزیونی داشت. نقش آنتن در سیستم‌های مخابراتی مانند نقش چشمها و عینکها برای انسان است. گستره فعالیت آنتنها بسیار وسیع و پویا است و در طی ۶۰ سال گذشته، فناوری آنتن، سهم غیرقابل انکاری در انقلاب ارتباطات داشته است. بسیاری از پیشرفتهای مهم که در طی این مدت اتفاق افتاده است، در حال حاضر استفاده عمومی دارند. هر چند امروزه با بسیاری از پی آمدها و چالشها مواجه هستیم، به ویژه از زمانی که کارآیی های سیستم بیشتر مورد توجه واقع شده است. بسیاری از پیشرفتهای فناوری آنتن که از دهه ۱۹۷۰ تا اوایل دهه ۱۹۹۰ تکمیل شده است، هم چنین کارهای در دست اقدام و نشانه‌هایی از یافته‌های آینده در قالب یک نشریه ویژه از مقالات منتشر یافته IEEE (Vol.80, No.1, January 1992) جمع آوری شده است.

۱-۱-۱ پارامترهای بنیادی آنتن‌ها

برای توصیف عملکرد یک آنتن، تعریف پارامترهای مختلف آن ضروری است. بعضی از این پارامترها به هم وابسته اند و برای شرح کامل عملکرد آنتن، نیاز به تعریف همه آنها نداریم .در این بخش، پارامترهای آنتن تعریف خواهند شد. اغلب تعاریفی که در گیومه قرار گرفته اند، از فرهنگ تعاریف استاندارد اصطلاحات IEEE برای آنتن‌ها (IEEE Std 145-1983) اقتباس شده است که نسخه جدید IEEE Std 145-1973 می باشد.

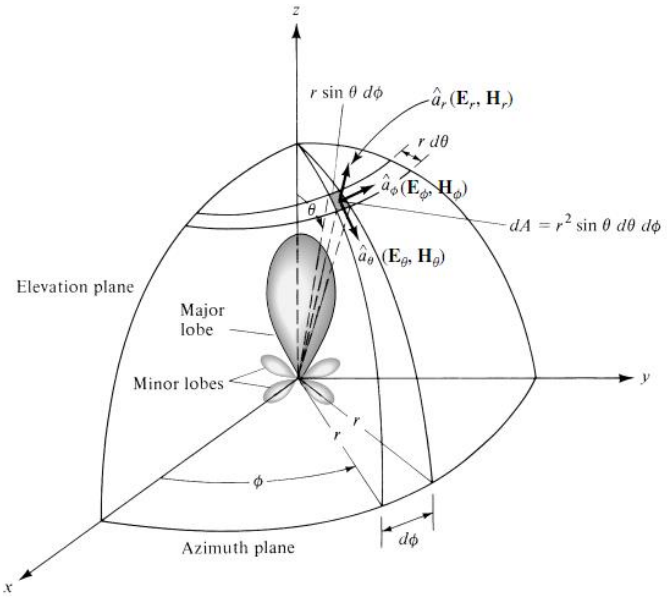
[1] Patch
[2] Reflector
[3] Lens

۱-۱-۱-۱ پترن تشعشعی[۱]

پترن تشعشعی آنتن یا پترن آنتن، به این صورت تعریف می شود: "یک تابع ریاضی یا یک نمایش گرافیکی از خواص تشعشعی آنتن به صورت تابعی از مختصات فضایی. در اغلب موارد، پترن تشعشعی در ناحیه میدان دور[۲] تعریف می شود و به صورت تابعی از مختصات جهتی نمایش داده می شود. خواص تشعشعی شامل چگالی شار توان، شدت تشعشعی، شدت میدان، سمتگرایی[۳]، فاز و پلاریزاسیون می شوند". مهمترین خاصیت تشعشعی، توزیع فضایی دو بعدی یا سه بعدی انرژی تشعشع شده به عنوان تابعی از موقعیت ناظر، در طول یک مسیر یا سطح با شعاع ثابت است. یک دستگاه مختصات مفید و مناسب در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. یک ترسیم میدان الکتریکی (مغناطیسی) دریافت شده در یک شعاع ثابت، پترن دامنه میدان[۴] نامیده می شود. هم چنین یک نمودار از تغییر فضایی چگالی توان در امتداد شعاع ثابت، یک پترن توان دامنه[۵] نامیده می شود.

اغلب، پترن‌های میدان و توان به مقدار ماکزیمم خود نرمالیزه می شوند که در این صورت پترن‌های میدان و توان نرمالیزه شده نامیده می شوند. هم چنین، معمولاً پترن توان روی یک مقیاس لگاریتمی یا بر حسب دسیبل (dB) رسم می شود. معمولاً این مقیاس یک مقیاس مطلوب و قابل قبول است، چون یک مقیاس لگاریتمی می تواند بخشهایی از الگو را که مقادیر بسیار کوچک دارند با جزئیات بیشتری برجسته نماید که بعداً برای سطح گلبرگ کناری[۶] به آن اشاره خواهد شد.

[1] Radiation Pattern
[2] Far-field
[3] Directivity
[4] Amplitude Field Pattern
[5] Amplitude Power Pattern
[6] Side Lobe Level



شکل ۱-۳ دستگاه مختصات برای تحلیل آنتن [۱]

برای یک آنتن:

الف-پترن میدان (در مقیاس خطی) معمولاً یک نمودار از اندازه میدان الکتریکی یا مغناطیسی را به عنوان تابعی از مکان زاویه‌ای نمایش می دهد.

ب-پترن توان (در مقیاس خطی) معمولاً یک نمودار از مربع دامنه میدان الکتریکی یا مغناطیسی را به عنوان تابعی از مکان زاویه‌ای نمایش می دهد.

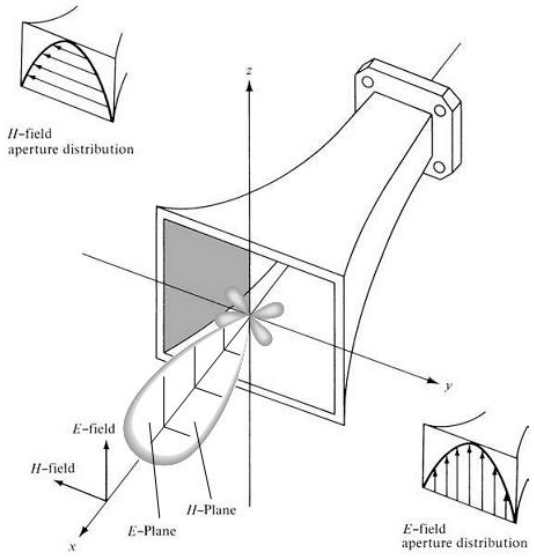
پ-پترن توان (بر حسب dB) اندازه میدان الکتریکی یا مغناطیسی را بر حسب دسی بل به عنوان تابعی از مکان زاویه‌ای نمایش می دهد.

۱-۱-۱-۲ پترن‌های ایزوتروپیک[1]، جهتی[2] و همه جهتی[3]

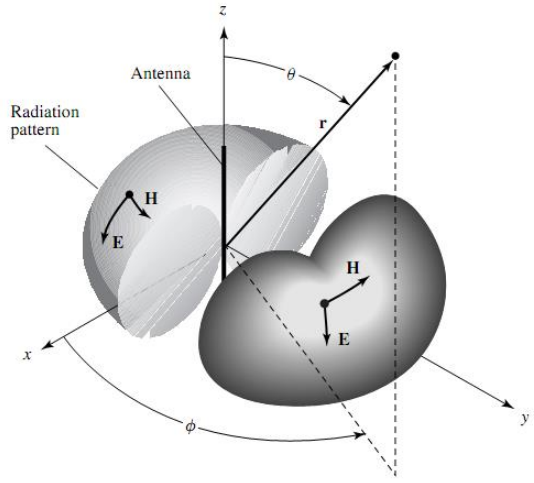
تشعشع کننده ایزوتروپیک تعریف می شود:"یک آنتن فرضی بدون تلفات که در همه جهت‌ها تشعشع یکسانی دارد". گرچه این امر ایده ال و از نظر فیزیکی غیرقابل تحقق می باشد، اما اغلب به عنوان مرجعی در بیان خواص جهتی آنتنها به کار می رود. آنتن جهتی" آنتنی است که خاصیت تشعشعی یا گیرندگی امواج الکترومغناطیسی آن در بعضی جهت‌ها بیشتر از سایر جهت‌ها می باشد. این عبارت بیشتر در مورد آنتن‌هایی

[1] Isotropic Pattern
[2] Directional Pattern
[3] Omnidirectional Pattern

به کار برده می شود که سمتگرایی ماکزیمم آن، به طور قابل توجهی بزرگتر از سمتگرایی یک آنتن نیم موج باشد". مثالهایی از آنتن‌های با پترن‌های تشعشعی جهتی و همه جهتی در شکل ۱-۴ و ۱-۵ نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود پترن شکل ۱-۵ در صفحه افقی[$f(\varphi),\ \theta=\pi/2$] غیر جهتی است و در صفحه غیرعمودی [ثابت =φ ,$g(\theta)$] جهتی است. این نوع الگو، پترن همه جهتی نامیده می شود و برای آنتنی تعریف می شود که در یک صفحه معلوم، پترن غیرجهتی دارد (در این مورد صفحه افقی) و در هر صفحه عمود بر آن (در این مورد صفحه عمودی) پترن جهتی دارد.



شکل ۱-۴ پترن برای یک آنتن شیپوری هرمی [۱]



شکل ۱-۵ پترن آنتن همه جهتی [۱]

۱-۱-۱-۳ چگالی توان تشعشعی

امواج الکترومغناطیسی برای انتقال اطلاعات از طریق محیطهای بی سیم یا ساختارهای هدایت کننده از یک نقطه به نقطه دیگر، استفاده می شوند. بنابراین، طبیعی است که فرض کنیم در میدان های الکترومغناطیسی توان و انرژی وجود دارد. کمیتی که برای توصیف توان مربوط به امواج الکترومغناطیسی به کار گرفته می شود، بردار پویین‌تینگ لحظه‌ای[1] است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

$\mathcal{W}$ (W/m^2): بردار پویین‌تینگ لحظه‌ای

$\mathcal{E}$ (V/m): شدت میدان الکتریکی لحظه‌ای

$\mathcal{H}(A/m)$: شدت میدان مغناطیسی لحظه‌ای

می باشد.

قابل توجه است که میدان ها و کمیت های لحظه‌ای با حروفی نمایش داده می شوند که نوشتار آنها با نوشتار کمیت های همتای مختلط آنها، تفاوت دارد.

از آن جا که بردار پویین‌تینگ یک چگالی توان است، کل توان عبور کننده از سطح بسته با انتگرال گیری از مؤلفه عمودی بردار پویین‌تینگ روی سطح به دست می آید.

$$\mathcal{P} = \oiint_S \mathcal{W}.ds = \oiint_S \mathcal{W}.\hat{n}\,da \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

$\mathcal{P}(W)$: توان کل لحظه‌ای

$\hat{n}$: بردار واحد عمود بر سطح

$da(m^2)$:مساحت بسیار کوچک سطح بسته است.

[1] Instantaneous Poynting Vector

اغلب در کاربردهای متغیر با زمان، مطلوب است که میانگین چگالی توان را که از انتگرال گیری بـردار پویین‌تینگ لحظه‌ای روی یک تناوب و تقسیم آن بر یک تناوب به دست می آیـد، محاسـبه کنـیم. در مـورد تغییرات هماهنگ زمانی به شکل $e^{j\,\omega t}$، میدان های مختلطH وE به صورت زیر با میدان های لحظه‌ای خود ارتباط دارند:

$$\mathcal{E}(x,y,z;t) = Re[E(x,y,z)e^{j\,\omega t}] \qquad (۳-۱)$$

$$\mathcal{H}(x,y,z;t) = Re[H(x,y,z)e^{j\,\omega t}] \qquad (۴-۱)$$

با استفاده از روابط (۱-۳) و (۱-۴) و با توجه بـه ایـن کـه $Re\left[Ee^{j\,\omega t}\right] = \frac{1}{2}[Ee^{j\,\omega t} + E^{*}e^{-j\,\omega t}]$ ، رابطه (۱-۱) به صورت زیر نوشته می شود.

$$\mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} = \frac{1}{2}Re[E \times H^{*}] + \frac{1}{2}Re\left[E \times He^{j\,2\omega t}\right] \qquad (۵-۱)$$

اولین عبارت از رابطه (۱-۵) تابع زمان نیست و تغییرات زمانی عبارت دوم، دو برابر فرکانس داده شـده است. میانگین زمانی بردار پویین‌تینگ (چگالی توان میانگین) می تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$W_{av}(x,y,z) = [\mathcal{W}(x,y,z;t)]_{av} = \frac{1}{2}Re[E \times H^{*}] \qquad (۶-۱)$$

ضریب ۰/۵ در روابط (۱-۵) و (۱-۶) به ایـن دلیـل بـه کـار مـی رود کـه میـدان هـایEو H مقـادیر ماکزیمم را نشان می دهند و برای مقادیر موثر، باید این ضرایب حذف شوند.

۱-۱-۱-٤ شدت تشعشع

شدت تشعشع در یک جهت مشخص، به صـورت " تـوان تشعشـع شـده از آنـتن در هـر واحـد زاویـه فضایی" تعریف می شود. شدت تشعشع یک پارامتر میدان دور است و به سادگی از ضرب چگـالی تشعشـع در مربع فاصله به دست می آید. برای شکل ریاضی آن می توان نوشت:

$$U = r^{2}\, w_{rad} \qquad (۷-۱)$$

که در آن: