



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مخابرات - گرایش میدان

طراحی آنتن آرایه خطی باند وسیع با پترن مربع کسکانت

بوسیله:

ضحی کربلائی

استاد راهنما:

دکتر مسعود محزون

استاد مشاور:

دکتر محمد جواد دهقانی

شهریور ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

طراحی آنتن آرایه خطی باند وسیع با پترن مربع کسکانت

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

توسط:

ضحی کربلائی

گروه مخابرات - میدان، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر مسعود محزون، استادیار مهندسی برق مخابرات-میدان (استاد راهنما)

دکتر محمد جواد دهقانی، دانشیار مهندسی برق مخابرات-سیستم (استاد مشاور)

دکتر شاهرخ جم، استادیار مهندسی برق مخابرات-میدان (داور)

دکتر طاهر نیکنام، استادیار مهندسی برق قدرت (داور)

دکتر محمد رضا صالحی، دانشیار مهندسی برق الکترونیک (نماینده تحصیلات تکمیلی)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: مهندس نصرت الله علی قنبری

شهریور ۱۳۸۹

سپاس

قلم یارای نوشتن آنچه قلبم را به تپش واداشته است، ندارد و بر خود می لرزد. سخن از شکر است و سپاس؛ سپاس از معبودی که بیکرانگی نعماتش زبان را عاجز و زبون نموده است. چه بگویم؟ چه بنویسم؟ خداوندا در این مهمترین مهم-سپاس از خویش- (همانند سابق) کمکم فرما.

آفریدگارم؛

بر عرش ملکوتی و کبریاییت سرمی سایم به پاس الطاف بیشمارت، که نخست لطفت در حق من (انسان)، طفیل هستی بود و رهاوردش نعمت بندگی. و سپاس می گذارم تو را در همه حال و غنیمت می دانم این شکرگزاری از تو را؛ از آن باب که شکرگزاری تنها مختص آدمیان است و بس.

از جناب آقای دکتر محزون به پاس تمام لحظه هایی که پنجره فهم مرا با دنیایی از چشم اندازهای بکر و بدیع آشنا نمودند و باران دانش را بر آسمان روح و سرزمین اندیشه ام - که تشنه درک و دانایی بوده و هست - جاری ساختند، صمیمانه کمال تشکر را دارم.

در اینجا، قدردانی ویژه ام را نثار دو گوهر گرانسنگ زندگانی ام - پدر و مادر مهربانم - می نمایم.

قدردان پدرم هستم؛ که راه رفتن بر سبیل عشق و راستی را از سلویشان آموخته ام؛ پدری که روح زندگی، شوق و شکر را با نیایش بامدادی خویش، به خانه پر ز مهران دعوت می کنند و با نجوای اشراق گونه شان اسرار و رموز آفرینش را دیگر بار برایم زمزمه می نمایند.

قدردان مادرم هستم که به راستی خورشید از چشمانشان طلوع می کند، نسیم بهاری از نفس پاکشان وزیدن را آغاز می نماید و دریا، آرامشش را از دل بی آایشان به ودیعه می گیرد.

آری، چنین است خانه ای که مأمن سرشار از الفت و محبت برایم بوده است و من در آن پرورش یافته ام؛ حال مملو از حس سپاس بودنم، کمترین پیشکشی است که به والدین و تک تک اعضای خانواده عزیزم تقدیم می کنم.

از تمامی اساتید بزرگوام که در طی این سالیان دانش آموختگی، رنج شیرین یادگیری را بر من هموار نموده اند، سپاسگزارم.

در آخر اینکه؛ من سخت بر سنت تغییر استوارم؛ که این تنها تفاوت میان فطرت انسانی است و غریزه حیوانی.

چکیده: در مخابرات بی سیم آنتن‌ها با پترن تشعشی خاص به منظور کنترل بهتر توان به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه پترن‌ها معمولاً با آرایه‌ها پیاده‌سازی می‌شوند و پترن مطلوب به وسیله کنترل دامنه و فاز المان‌های آرایه ایجاد می‌شود.

در این پروژه آرایه خطی با پهنای باند وسیع ۲۳٪ و میزان گلبرگ کناری کمتر از 18dB- و پترن مربع کسکانت با المان‌های دی پل صفحه‌ای در فرکانس ۱۰۸۸ مگاهرتز طراحی شده است. بدین منظور ابتدا تک المان با پهنای باند زیاد با معیار تلفات بازگشتی کمتر از 15dB- طراحی شده و با استفاده از مشخصات این عنصر در آرایه و الگوریتم ژنتیک تطبیق‌پذیر دامنه و فاز المان‌ها با محدودیت‌هایی بر وضعیت دامنه المان‌ها و مقادیر فاز تعیین شده‌اند و نتایج حاصل از آن در نرم افزار CST STUDIO SUITE 2009 شبیه سازی شده و با نتایج الگوریتم ژنتیک مقایسه شده‌اند.

کلمات کلیدی: شکل‌دهی بیم، پترن مربع کسکانت، سنتز پترن آرایه خطی، دی پل صفحه‌ای،

باند وسیع، گلبرگ کناری کم، الگوریتم ژنتیک

فهرست

۹	فصل اول مقدمه و کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ معرفی آرایه
۳	۳-۱ تاریخچه سنتز پترن آرایه
۵	۴-۱ پترن مربع کسکانت
۷	۵-۱ هدف تحقیق
۸	۶-۱ روند کلی پایان نامه
۹	فصل دوم مبانی آنتن آرایه و سنتز تحلیلی پترن
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ تعاریف پهنای باند
۱۱	۱-۲-۲ پهنای باند امیدانسی
۱۲	۳-۲-۲ پهنای باند پترن تشعشعی
۱۳	۴-۲-۲ پهنای باند پلاریزسیون یا نسبت محوری
۱۴	۳-۲ ساختارهای صفحه ای
۱۵	۱-۳-۲ آنتن های صفحه ای معلق
۱۸	۲-۳-۲ آنتن ها با صفحه خمیده
۲۰	۴-۲ آرایه
۲۱	۱-۴-۲ محاسبه AF برای آرایه خطی
۲۲	۲-۴-۲ ضرب پترن ها
۲۴	۵-۲ سنتز پترن
۲۴	۱-۵-۲ روش تبدیل فوریه
۲۶	۲-۵-۲ روش سنتز Schelkunoff

۲۸.....	۳-۵-۲ روش سنتز Woodward
۳۰.....	۴-۵-۲ روش سنتز Dolph-Chebyshev
۳۲.....	۵-۵-۲ روش سنتز Taylor برای منابع پیوسته خطی
۳۶.....	۶-۵-۲ روش سنتز Bayliss برای منابع پیوسته خطی
۳۸.....	۷-۵-۲ سنتز پترن بر مبنای پترن Taylor: پترن اصلاح شده Taylor توسط Elliott و روش تکرار Elliott
۴۰.....	۸-۵-۲ سنتز پترن با ریشه های مختلط و سنتز پترن توان
۴۱.....	۱-۸-۵-۲ روش سنتز پترن توان Steyskal
۴۴.....	۲-۸-۵-۲ روش سنتز پترن توان Orchard
۵۱.....	فصل سوم بهینه سازی در آرایه و الگوریتم ژنتیک
۵۲.....	۱-۳ مقدمه
۵۳.....	۲-۳ بهینه سازی تابع چند متغیره
۵۴.....	۱-۲-۳ روش جستجوی تصادفی
۵۵.....	۲-۲-۳ روش جستجوی خط
۵۸.....	۳-۲-۳ روش الگوریتم Nelder_Mead Downhill Simplex
۶۰.....	۴-۲-۳ مقایسه الگوریتم های بهینه ساز محلی
۶۳.....	۵-۲-۳ روش نوب فلزات
۶۵.....	۳-۳ الگوریتم ژنتیک
۶۶.....	۱-۳-۳ تشکیل جمعیت اولیه
۶۷.....	۲-۳-۳ ارزیابی شایستگی
۶۸.....	۳-۳-۳ انتخاب طبیعی
۷۳.....	۴-۳-۳ تولید نسل جدید
۷۶.....	۵-۳-۳ جهش
۷۷.....	۶-۳-۳ پایان الگوریتم
۷۷.....	۴-۳ بهینه سازی آنتن های آرایه ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک
۷۸.....	۱-۴-۳ بهینه سازی دامنه المان های آنتن های آرایه ای
۷۹.....	۲-۴-۳ بهینه سازی فاز المان های آنتن های آرایه ای
۸۰.....	۳-۴-۳ بهینه سازی سطح لوب فرعی با الگوریتم ژنتیک از طریق تعیین فاز
۸۱.....	۴-۴-۳ بهینه سازی دامنه و فاز آنتن های آریهای
۸۱.....	۵-۴-۳ الگوریتم ژنتیک تطبیق پذیر
۸۷.....	فصل چهارم طراحی و شبیه سازی آرایه خطی باند وسیع با پترن مربع کسکانت
۸۸.....	۱-۴ مقدمه
۸۸.....	۲-۴ مشخصات پترن مطلوب

۸۸	..... ۳-۴ تعیین ساختار تک المان
۸۹	..... ۱-۳-۴ دی پل میله ای
۹۰	..... ۲-۳-۴ ساختار مستطیلی
۹۱	..... ۳-۳-۴ ساختار مثلثی
۹۲	..... ۴-۳-۴ ساختار بیضوی
۹۳	..... ۵-۳-۴ ساختار جدید
۹۶	..... ۴-۴ پترن تشعشی دی پل در آرایه
۹۸	..... ۵-۴ سنتز پترن آرایه به روش الگوریتم ژنتیک
۹۸	..... ۱-۵-۴ نحوه عملکرد الگوریتم
۱۰۰	..... ۲-۵-۴ تابع هدف
۱۰۱	..... ۳-۵-۴ نتایج حاصل از محاسبات الگوریتم ژنتیک
۱۰۸	..... ۶-۴ بررسی آماری الگوریتم
۱۱۰	..... فصل پنجم جمع بندی و پیشنهادات
۱۱۱	..... ۱-۵ جمع بندی
۱۱۱	..... ۲-۵ پیشنهادات
۱۱۲	..... منابع
۱۱۷	..... الف-۱ نگاهی به روش تحلیل در نرم افزار
۱۲۰	..... الف-۲ نگاهی کوتاه به نحوه کار با نرم افزار
۱۲۲	..... الف-۲-۱ رسم ساختار و تعیین پورتهای
۱۲۲	..... الف-۲-۲ تعیین رنج فرکانسی و مشخصات مرزی
۱۲۲	..... الف-۲-۳ تعیین پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه
۱۲۳	..... الف-۲-۴ مش بندی و شبیه سازی
۱۲۴	..... الف-۲-۵ مشاهده و استخراج نتایج

فهرست جدول ها

- جدول (۱-۲) تابع لوبهای فرعی دور نسبت به پارامتر تحریک α ۳۳
- جدول (۱-۳) مقایسه میانه پاسخ های چهار روش بهینه سازی برای آرایه با تعداد المان های مختلف ۶۲
- جدول (۱-۴) مشخصات دی پل مستطیلی ۹۰
- جدول (۲-۴) ابعاد ساختار طراحی شده برحسب میلی متر ۹۴
- جدول (۳-۴) دامنه و فاز المان های آرایه مطلوب ۱۰۴
- جدول (۴-۴) دامنه و فاز المان ها برای بدست آوردن پترن مربع کسکانت ۱۰۶
- جدول (۵-۴) نتایج بررسی آماری الگوریتم ۱۰۸
- جدول (۶-۴) تعدادی از پاسخ های بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) هدف در ارتفاع ثابت h و فاصله R از آنتن ۶
- شکل (۲-۱) تغییر فرم رفلکتور برای دستیابی به پترن مربع کسکانت ۷
- شکل (۳-۱) استفاده از چند آنتن هورن در کانون رفلکتور برای دستیابی به پترن مربع کسکانت ۷
- شکل (۱-۲) آنتن صفحه ای معلق بالای صفحه زمین ۱۵
- شکل (۲-۲) امپدانس ورودی آنتن صفحه ای به ازای مقادیر مختلف h و d ۱۶
- شکل (۳-۲) تلفات بازگشتی برحسب فرکانس برای آنتن صفحه ای ۱۷
- شکل (۴-۲) پهنای باند امپدانسی قابل دستیابی و فرکانس رزونانس نسبت به فاصله h ۱۷
- شکل (۵-۲) امپدانس ورودی برحسب فرکانس برای $h=9\text{mm}$ تا $h=21\text{mm}$ ، $f=1-2\text{GHz}$ ۱۷
- شکل (۶-۲) آنتن صفحه خمیده ۱۸
- شکل (۷-۲) نسبت co-to-cross-pol در صفحه $x-z$ نسبت به l_v / λ_1 برای آنتن شکل (۶-۲) ۱۹
- شکل (۸-۲) پترن تشعشی E_θ و E_ϕ در صفحه $x-z$ ۲۰
- شکل (۹-۲) امپدانس ورودی به ازای l_v / λ_1 های در نواحی مختلف کاری ۲۰
- شکل (۱۰-۲) شمای یک آرایه ساده ۲۱
- شکل (۱۱-۲) شمای آرایه برای تعیین AF ۲۲
- شکل (۱۲-۲) شمای آرایه با عناصر دی پل کوتاه ۲۴
- شکل (۱۳-۲) سنتز سری فوریه برای پترن پالسی (منحنی پیوسته برای آرایه با ۱۶ المان ونقطه چین برای آرایه با ۸ المان) [۲۶] ۲۵

- شکل (۲-۱۴) دایره واحد Schelkunoff برای آرایه یکنواخت با ۸ المان با تحریک یکسان مکان ریشه ها (دایره ها) و محدوده مسیر (پیکان) قابل رویت برای $0 \leq u \leq 1$ (الف) فاصله المان $\lambda/4$ (ب) فاصله المان $3\lambda/4$ [۳]..... ۲۷
- شکل (۲-۱۵) سنتز پترن Woodward و Lawson (الف) بیم های متعامد آرایه با N المان (ب) دو بیم متعامد زسم شده در تمام بازه برای $i=1/2, i=-7/2$ (ج) پترن پالسی سنتز شده با روش Woodward و Lawson [۲۷]..... ۲۹
- شکل (۲-۱۶) پترن Chebyshev با ۸ المان به ازای لوب های فرعی -20dB, -30dB, -40dB [۲۷]..... ۳۲
- شکل (۲-۱۷) پترن Taylor خطوط پیوسته برای منبع خطی و نقطه چین برای منبع با 36 المان (الف) $\bar{n} = 2$ (ب) $\bar{n} = 18$ [۲۷]..... ۳۶
- شکل (۲-۱۸) پترن Bayliss با $\bar{n} = 4$ خط پیوسته برای منبع خطی نقطه چین برای آرایه نمونه برداری شده با ۱۶ المان [۷]..... ۳۸
- شکل (۲-۱۹) پترن سنتز شده به روش Elliott [۲]..... ۴۰
- شکل (۲-۲۰) سنتز پترن Steyskal (الف) پترن مطلوب به صورت نقطه چین و پترن قابل دستیابی (ب) تابع ضریب وزنی خطا (ج) تقریب بهترین هارمونیک..... ۴۵
- شکل (۲-۲۱) سنتز پترن توان Orchard (الف) کل پترن شامل بیم اصلی و ناحیه لوبهای فرعی پترن مطلوب به صورت نقطه چین (ب) ماکزیمم و مینیمم های پترن در ناحیه بیم اصلی..... ۴۶
- شکل (۲-۲۲) پترن $\csc^2 \theta \cos \theta$ با ۱۶ المان با ریپل (الف) $\pm 1.5dB$ (ب) $\pm 1.0dB$ (ج) $\pm 0.5dB$ (د) $\pm 0.1dB$ ۵۰
- شکل (۳-۱) آرایه با ۶ المان با دو ضریب مستقل و قابل تنظیم..... ۵۳
- شکل (۳-۲) AF یک آرایه ۶ عنصری با توزیع دامنه یکنواخت..... ۵۳
- شکل (۳-۳) AF_2 به ازای مقادیر مختلف دامنه..... ۵۴
- شکل (۳-۴) AF_2 به ازای مقادیر مختلف فاز..... ۵۴
- شکل (۳-۵) سی حدس تصادفی برای یافتن مینیمم AF_2 ۵۵
- شکل (۳-۶) الگوریتم مینیمم سازی روش جستجوی خط..... ۵۶
- شکل (۳-۷) جستجوی خط بر مبنای مختصات برای یافتن سه مینیمم محلی AF_2 ۵۷
- شکل (۳-۸) مسیر حرکت در الگوریتم Nelder_Mead downhill simplex برای یافتن مینیمم AF_2 ۶۰
- شکل (۳-۹) نقاطی که در صورت شروع الگوریتم از آنها همگرایی صورت می گیرد..... ۶۰

- شکل (۳-۱۰) فلوجارت الگوریتم ژنتیک ۶۶
- شکل (۳-۱۱) انتخاب بر مبنای چرخه رولت بر اساس برآزندگی کروموزوم ۷۰
- شکل (۳-۱۲) انتخاب بر مبنای چرخه رولت بر اساس رتبه ۷۲
- شکل (۳-۱۳) انتخاب مسابقه ای ۷۳
- شکل (۳-۱۴) جهش در کروموزوم ها (الف) کد گذاری باینری (ب) کد گذاری مقدار (ج) جهش با تغییر ترتیب ۷۶
- شکل (۳-۱۵) پترن تشعشی آنتن با ۵۰ المان آرایه اول با تحریک یکسان آرایه دوم آرایه بهینه با تغییر دامنه
۱۰ المان [۴۵] ۷۹
- شکل (۳-۱۶) دامنه المان ها در حالت بهینه [۴۵] ۷۹
- شکل (۳-۱۷) پترن تشعشی بهینه برای المان ها با توزیع دامنه تیلور سمت چپ نمودار توزیع دامنه و نمودار
سمت راست توزیع فازرانشان می دهد [۴۰] ۸۱
- شکل (۳-۱۸) الگوریتم ژنتیک در آرایه ۸۳
- شکل (۳-۱۹) الگوریتم ژنتیک نظارتی ۸۶
- شکل (۴-۱) دی پل میله ای ۸۹
- شکل (۴-۲) تلفات بازگشتی دی پل میله ای به ازای شعاع های مختلف ۸۹
- شکل (۴-۳) دی پل مستطیلی ۹۰
- شکل (۴-۴) تلفات بازگشتی دی پل مستطیلی ۹۱
- شکل (۴-۵) دی پل مثلثی ۹۱
- شکل (۴-۶) تلفات بازگشتی دی پل مثلثی ۹۲
- شکل (۴-۷) دی پل بیضوی ۹۳
- شکل (۴-۸) تلفات بازگشتی دی پل بیضوی ۹۳
- شکل (۴-۹) دی پل طراحی شده ۹۴
- شکل (۴-۱۰) ابعاد دی پل طراحی شده ۹۴
- شکل (۴-۱۱) (الف) نمودار تلفات بازگشتی (ب) مقاومت ورودی (ج) راکتانس ورودی - خطوط پیوسته برای
آنتن با زیرلایه با ضریب گذردهی $1/4$ و نقطه چین برای گذردهی $2/17$ ۹۶
- شکل (۴-۱۲) پترن تشعشی دی پل طراحی شده در $\phi = 0$ خط نقطه چین پترن تقریبی ۹۶

- شکل (۴-۱۳) (الف) پترن تشعشی دی پل با $\epsilon_r = 2.17$ (ب) پترن تشعشی دی پل با $\epsilon_r = 4.1$ در آرایه ۹۷
- شکل (۴-۱۴) (الف) مولفه E_θ در E-plane (ب) مولفه E_ϕ در E-plane ۹۷
- شکل (۴-۲۳) پترن مطلوب نمونه برداری شده ۱۰۱
- شکل (۴-۲۴) (الف) تغییرات رنج جهش (ب) تغییرات مقدار جهش (ج) تغییرات مقدار تابع هدف برحسب شماره تکرار (د) دامنه المان ها (ه) فاز المان ها (و) پترن بدست آمده ۱۰۳
- شکل (۴-۲۶) خط نقطه چین پترن حاصل از محاسبه الگوریتم ژنتیک و خط پیوسته پترن حاصل از شبیه سازی در نرم افزار CST ۱۰۵
- شکل (۴-۲۷) پترن به دست آمده در لبه های باند ۱۰۶
- شکل (۴-۲۸) (الف) دامنه المان ها (ب) فاز المان ها (ج) خط پیوسته پترن حاصل از شبیه سازی با CST خط نقطه چین پترن حاصل از الگوریتم ژنتیک ۱۰۷
- شکل (۴-۲۹) نمای قطبی پترن برش در صفحه $\phi = 0$ ۱۰۷
- شکل (۱) نحوه مش بندی در روش FIT ۱۱۷
- شکل (۲) فرمول بندی مش ها در روش FIT ۱۱۸
- شکل (۳) توالی زمانی e و b ۱۲۰
- شکل (۴) صفحه انتخاب محیط ۱۲۱
- شکل (۵) شمای صفحه اصلی CST ۱۲۱
- شکل (۶) تعیین رنج فرکانس و شرایط مرزی ۱۲۲
- شکل (۷) تعیین محاسبات مطلوب ۱۲۳
- شکل (۸) شبیه سازی با روش Transient Solver ۱۲۴

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱- مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی راداری و نیاز به ساختارهای تعقیب هدف با سرعت بالا و تعقیب چند هدف، آنتن‌های آرایه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کردند. آنتن آرایه از کنار هم قرار گرفتن چند آنتن تشکیل می‌شود. که در سنتز این آنتن‌ها، مسئله اصلی تعیین ضرایب وزنی، دامنه و فاز المان‌ها، و موقعیت المان‌ها به منظور رسیدن به پترن مطلوب است. مسئله سنتز پترن آرایه در طی سالیان بسیار مورد توجه بوده و تکنیک‌های زیادی برای افزایش دقت و بهبود آنها به کار رفته است. در بسیاری از کاربردها لازم است که پترن محدودیتهای خاصی نظیر توزیع دامنه المان-ها، میزان گلبرگ کناری، پهنای باند و... داشته باشد. در این فصل به معرفی مختصر آرایه‌ها و ساختار بررسی شده پرداخته می‌شود.

۲-۱ معرفی آرایه

قرار دادن تعدادی آنتن کنار هم در فضا و تغذیه کردن آنها به منظور به دست آوردن یک پترن تشعشی جهت‌دار، ساختاری را به وجود می‌آورد که آنتن آرایه‌ای و یا برای سادگی آرایه نامیده می‌شود. می‌توان تعدادی آنتن کوچک را به گونه‌ای کنار هم قرار داد که کار آنتن‌های بزرگ تک عنصری را انجام دهند. به هر حال مشکلات مکانیکی نصب آنتن‌ها در برابر مشکلات تغذیه آنتن-های کوچک قرار دارند. با این حال با پیشرفت تکنولوژی حالت جامد^۱، می‌توان شبکه تغذیه برای تحریک آنتن‌ها با قیمت مناسب به دست آورد. آرایه همچنین قابلیت یکتای اسکن الکتریکی بیم اصلی را دارد که این کار با تغییر فاز جریان تحریک هر یک از المان‌های آرایه صورت می‌گیرد و پترن می‌تواند فضا را اسکن کند. به این نوع آرایه، آرایه فازی گفته می‌شود. آرایه فازی کاربردهای ویژه‌ای به خصوص در رادار دارد. همزمان با جنگ جهانی دوم آرایه‌ها در فرکانس‌های VHF و UHF کار می‌کردند و بعد از آن فرکانس‌های مایکروویوی برای استفاده از سیستم‌های رادار معرفی شدند. امروزه آرایه‌ها به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

آرایه‌ها ساختارهای هندسی متعددی دارند. رایج‌ترین آنها آرایه خطی است که در آن مرکز عناصر آرایه روی خط مستقیمی است. المان‌های آرایه می‌توانند ساختار صفحه‌ای نیز داشته باشند. یک فرم معمول آرایه صفحه‌ای آرایه مستطیلی است که مرکز عناصر آن درون مستطیل

¹solid-state

است. فرم دیگر آنها آرایه روی سطح‌های غیر مسطح است که مرکز عناصر روی سطح غیر صفحه‌ای قرار می‌گیرد. این امتیاز مهم آرایه برای قرار دادن آنتن بر روی وسایل نقلیه نظیر هواپیما بسیار کاربرد دارد.

آرایه امتیازهای زیادی نسبت به آنتن‌های روزنه‌ای دارد. برای مثال بیم باریک یک رفلکتور با چرخش کل ساختار قادر به اسکن کردن است در حالیکه آرایه با تغییر فاز المان‌ها با همان سرعتی که عناصر الکتریکی را کنترل می‌کند می‌تواند فضا را اسکن کند. همچنین می‌توان چندین هدف را با آرایه فازی تعقیب کرد. و همچنین آرایه می‌تواند بر روی سطح باشد. ولی آرایه‌ها به هر حال معایبی دارند. امتیاز اجتناب از تجهیزات مکانیکی در برابر مشکلات و پیچیدگی‌های شبکه مورد نیاز برای تغذیه المان‌های آنتن است. مشکلات دیگر محدودیت پهنای باند و کوپلینگ متقابل بین عناصر است. میدان آنتن‌ها را می‌توان نظیر مدار به دو دسته آنالوگ و دیجیتال تقسیم کرد. ساختارهای پیوسته و از نظر الکتریکی بزرگ بخش آنالوگ می‌باشند که با معادلات انتگرالی آنالیز می‌شوند. آرایه‌ها بخش دیجیتال را تشکیل می‌دهند و می‌توانند با یک مجموع آنالیز شوند. پترن تشعشعی آرایه با توجه به مشخصات المان‌های مورد استفاده، نحوه و جهت قرار گرفتن المان‌ها در آرایه و موقعیت آنها در فضا و دامنه و فاز تغذیه اعمالی به آنها تعیین می‌شود. و این امتیاز بزرگ آرایه است که از طریق تعیین دامنه و فاز المان‌ها می‌توان به پترن مطلوب دسترسی پیدا کرد. آنتن آرایه یکی از مسائل اولیه بهینه‌سازی در الکترو مغناطیس بوده و در اینجا با روند بهینه‌سازی این ساختار آشنا می‌شویم، البته توضیح مفصل این روش‌ها در فصل دوم آمده است.

۳-۱ تاریخچه سنتز پترن آرایه

اولین توزیع بهینه آنتن آرایه ای توزیع دو جمله‌ای پیشنهادی از Ston است در این توزیع ضرایب دامنه المان‌ها نظیر ضرایب دو جمله ای هاست و AF نظیر آن لوب فرعی^۱ ندارد. در سال ۱۹۴۳ Schelkunof روشی ارائه کرد که برای پترن‌هایی با محل صفر معین و بیم یکنواخت کاربرد دارد. در سال ۱۹۴۶، در مقالات بعدی Dolph ضرایب چند جمله‌ای Chebyshev را به جملات AF نگاشت کرد تا لوب فرعی‌های برابری بدست آورد. ضرایب چند جمله ای AF در نهایت توزیع دامنه Dolph_Chebyshev را نتیجه می‌دهد. این توزیع دامنه برای زمانی که

¹ side lobe (SL)

تعیین ماکزیمم سطح لوب فرعی ای^۱ که منجر به کمترین پهنای بیم می‌شود، یا تعیین پهنای بیمی که منجر به کمترین مقدار ماکزیمم سطح لوب فرعی شود بهینه است. در سال ۱۹۴۷ Woodward از خاصیت تعامد دسته بیم قابل تشکیل به وسیله آرایه با توزیع یکنواخت استفاده کرد و یک روش برای سنتز آرایه با شکل بیم اصلی دلخواه ارائه کرد. که این روش بر ناحیه لوب‌های فرعی کنترلی نداشت. در سال ۱۹۵۵، Taylor روشی برای کنترل لوب فرعی و پهنای بیم برای منابع خطی پیوسته ارائه کرد که ایرادهای پترن Dolph_Chebyshev را اصلاح می‌کرد. این روش رفتار لوب‌های فرعی نزدیک نظیر لوب‌های فرعی پترن Chebyshev، و برای لوب‌های فرعی دور نظیر لوب‌های فرعی، $\frac{\sin \pi z}{\pi z}$ است. این پترن بازده خوبی برای آرایه‌های بزرگ دارد. در سال ۱۹۶۸، بایلیس از ایده Taylor استفاده کرد و آن را برای ساختارهای مونوپالس استفاده کرد. در سال ۱۹۸۱، Elliott پترن Taylor را بدین صورت تغییر داد که لوب‌های فرعی در دو طرف بیم یکسان نباشند و باید توجه کرد که این ساختار بر خلاف روش‌های قبل که فقط دامنه را تنظیم می‌کردند، ضرایب مختلطی ارائه می‌دهد که به معنای کنترل همزمان دامنه و فاز می‌باشد. وی این روش را به پترن بایلیس نیز اعمال کرد. در سال ۱۹۸۴، Villeneuve پترن Taylor را برای ساختارهای مجزا توسعه داد. همچنین در زمینه سنتز پترن توان آرایه که از حاصلضرب AF و مزدوج مختلط آن به دست می‌آید تحقیقاتی انجام شده که می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد. در سال ۱۹۷۰، Steyskal روشی بر مبنای یافتن بهترین تقریب برای پترن توان مطلوب، که ممکن است این تقریب غیر فیزیکی باشد، و سپس یافتن بهترین تقریب قابل پیاده سازی برای این تقریب از پترن توان است به گونه‌ای که مجموع مربعات خطا مینیمم شود. این روش برای پترن‌های پالسی استفاده شده است. در سال ۱۹۸۴، Orchard و همکارانش نیز روشی برای سنتز پترن ارائه کردند که در آن از ایده دایره واحد Schelkunof استفاده کردند با این تفاوت که در آن از صفرهای مختلط استفاده کردند. این روش هم بر لوب‌های فرعی‌ها و هم بر روی ناحیه بیم اصلی کنترل دارد. استفاده از روش‌های عددی برای یافتن توزیع دامنه و فاز مناسب در سال ۱۹۷۰ آغاز شد. روش‌های تحلیلی برای آنالیز آرایه به خوبی توسعه یافته بودند. روش‌های عددی بر مبنای تکرار برای شکل‌دهی بیم آنتن‌های آرایه به کار گرفته می‌شدند و این در حالی بود که بر سطح لوب فرعی کنترل نداشتند و سطح لوب فرعی به ساختار تحمیل می‌شد. طراحی آرایه با فواصل غیر یکسان در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ بسیار مورد توجه قرار گرفت. روش‌های عددی از این جهت مورد توجه

¹ Side lobe level

قرار گرفتند که روش تحلیلی برای سنتز پیدا نمی شد. از این روش‌ها می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد.

روش جستجوی تصادفی، در این روش جستجو مسئله را به صورت یک فرایند تصادفی مدل می‌کنند و سپس فرایند جستجوی مینیمم آغاز می‌گردد.

روش جستجوی خط، جستجوی خط با یک نقطه دلخواه بر روی سطح آغاز می‌شود. یک بردار یا خطی که سطح را قطع کند انتخاب می‌شود. گام‌ها بر روی این خط در نظر گرفته می‌شوند تا مینیمم پیدا شود. سپس یک بردار دیگر یافت می‌شود و این پروسه تکرار می‌شود. در صورتیکه این بردار در جهت منفی گرادیان در نظر گرفته شود منجر به روش شیب حد اکثر^۱ می‌شود.

روش ذوب فلزات، که در این روش از ایده ذوب کردن فلزات و آرام سرد کردن آنها که منجر به تولید کریستال پایدار می‌شود استفاده می‌شود.

اما روشی که در حل مسائل سخت بهینه سازی در طراحی الکترومغناطیس اخیرا مورد توجه بسیاری قرار گرفته الگوریتم ژنتیک^۲ است. این الگوریتم الهام گرفته از فرایند ژنتیک و تکامل است. الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی مسائل الکترومغناطیس بسیار موفق بوده است. البته ادعایی بر اینکه این الگوریتم بهترین الگوریتم برای کلیه مسائل می‌باشد نیست. ولی این الگوریتم در حل بسیاری مسائل موفق بوده که سایر الگوریتم‌ها در حل آنها شکست خورده‌اند. در این پایان‌نامه از این الگوریتم برای سنتز پترن مطلوب استفاده شده است.

۴-۱ پترن مربع کسکانت

اصولا آنتن‌ها با پترن مربع کسکانت برای رادارهای نظارت هوایی طراحی می‌شوند. پترن مربع کسکانت ابزاری برای دست‌یافتن به شدت سیگنال یکسان در ورودی به ازای یکسان بودن ارتفاع اهداف در فواصل متفاوت است. به عبارتی این پترن توان کمتری به اهداف نزدیک نسبت

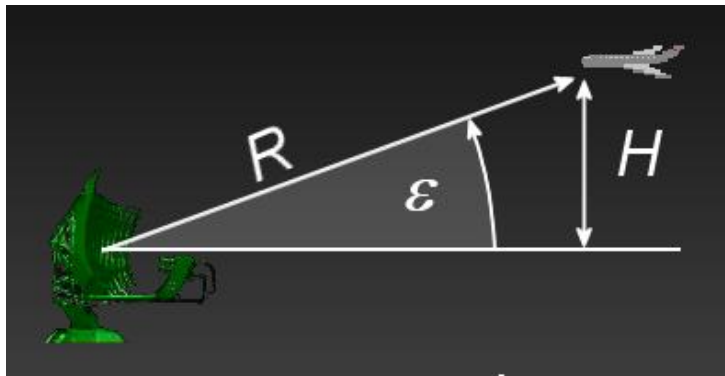
¹ steepest descent

² genetic algorithm

به اهداف دور در ارتفاع ثابت ارسال می‌کند. که نحوه استخراج رابطه مربع کسکانت به صورت زیر است.

فرض کنیم هدف در ارتفاع h و فاصله R از گیرنده قرار گرفته باشد، در این صورت، مطابق شکل (۱-۱)، رابطه مثلثاتی بین h و R به فرم زیر می‌باشد.

$$R = \frac{h}{\sin \varepsilon}$$



شکل (۱-۱) هدف در ارتفاع ثابت h و فاصله R از آنتن

با توجه به معادله رادار که در آن ارتباط بهره آنتن (G) و توان دریافتی به صورت

$$P_E \approx \frac{G^2}{R^4} \quad (1-1)$$

مشخص است برای داشتن توان دریافتی یکسان در ورودی باید

$$G \approx R^2 \quad (2-1)$$

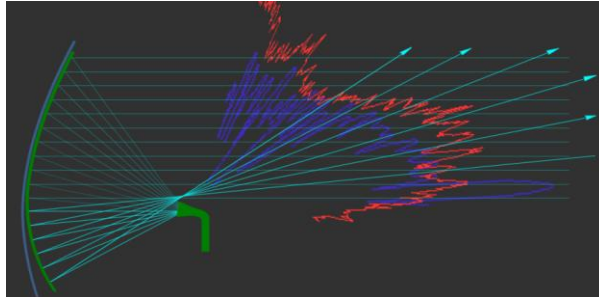
با جایگذاری R از رابطه (۱) داریم

$$G \approx (h \csc \varepsilon)^2 \Big|_{h=\text{const}} \quad (3-1)$$

از آنجا که ارتفاع هدف ثابت است شرط داشتن توان یکسان در ورودی مربع کسکانت بودن پترن آنتن است. این پترن را به روش‌های زیر می‌توان محقق کرد.

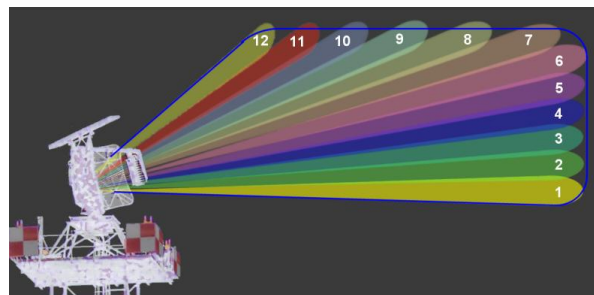
۱. تغییر فرم رفلکتورهای سهمی‌گون: از آنجاکه در یک رفلکتور در حالت ایده‌آل المان تشعشی در کانون رفلکتور قرار دارد و دسته پرتویی به رفلکتور ارسال می‌کند که پرتوهای بازتابی آن یک دسته موازی هستند، برای به دست آوردن پترن مربع کسکانت باید قدری از

توان تشعشی در نزدیکی لبه بالا به سمت بالا تغییر مسیر بدهد، (که این کار به اهداف نزدیک توان کمتری اختصاص داده می‌شود) به این منظور باید انحنای لبه بالایی رفلکتور را کاهش داد. به طریق مشابه می‌توان این کار را با افزایش انحنای لبه پایین نیز انجام داد.



شکل (۱-۲) تغییر فرم رفلکتور برای دستیابی به پترن مربع کسکانت

۲. با استفاده از دسته بیم حاصله از تغذیه رفلکتور سهمی‌گون به وسیله آنتن‌های هورن: در این روش دو یا چند هورن به‌عنوان تغذیه آنتن مورد استفاده قرار می‌گیرند که با تنظیم توان اسالی به آنها می‌توان به پترن مربع کسکانت دست یافت.



شکل (۱-۳) استفاده از چند آنتن هورن در کانون رفلکتور برای دستیابی به پترن مربع کسکانت

۳. با استفاده از آرایه‌ها: در این روش با تنظیم ضرایب وزنی می‌توان به پترن مطلوب دست یافت که موضوع کار این پایان نامه است.

۱-۵ هدف تحقیق

در این پایان نامه هدف طراحی یک آنتن آرایه با پترن مربع کسکانت و مشخصات زیر است.

۱. پوشش زاویه‌ای ۳۴ درجه
۲. فرکانس کاری ۹۶۲ تا ۱۲۱۳ مگاهرتز با پهنای باند امپدانسی و تشعشی ۲۳٪
۳. پهنای بیم نیم توان حداقل ۵ درجه
۴. تلفات بازگشتی المان کمتر از -15dB