دانشگاه زنجان

عنوان:

آنتن‌های آرایه بازتابی

استاد گرامی:

جناب آقای دکتر رضایی

دانشجو:

علیرضا اشرفی

تابستان ۹۲

فهرست مطالب

عنوان مطالب **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول: معرفی آنتن آرایه بازتابی

۱-۱ توصیف آرایه بازتابی ۵

۱-۲ آرایه بازتابی‌های چاپی ۷

۱-۲-۱ مزایای آرایه بازتابی ۷

۱-۲-۲ معایب آرایه بازتابی ۹

۱-۲-۲-۱ پهنای باند محدود شده با المان ۹

۱-۲-۲-۲ پهنای باند محدود شده با تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی ۱۰

فصل دوم: تاریخچه توسعه

۲-۱ تحولات و نوآوری‌های اولیه ۱۴

۲-۱-۱ آرایه بازتابی موجبر در دهه‌ی ۱۹۶۰ ..... ۱۴

۲-۱-۲ آرایه بازتابی‌های فاز حلزونی (فاز مارپیچی) (spiral phase) در دهه‌ی۱۹۷۰ ..... ۱۴

۲-۱-۳ آرایه بازتابی‌های مایکرواستریپ در دهه‌ی ۱۹۸۰ ..... ۱۶

۲-۲ پیشرفت‌های اخیر ۲۰

۲-۳ مقایسه با تکنولوژی‌های مشابه ۲۹

۲-۳-۱ لنز آرایه‌ای (Array lens) ۲۹

۲-۳-۲ رفلکتور صفحه‌ای Fresnel-zone ۳۱

فصل سوم: تکنیک‌های تحلیل آنتن آرایه بازتابی

۳-۱ مقدمه ۳۵

۳-۲ مروری بر تکنیک‌های آنالیز ۳۸

۳-۳ توزیع شیفت فاز ۴۵

۳-۴ آنالیز pathe‌های مستطیلی با stubهای الحاقی ۴۷

۳-۵ آنالیز تمام موج ساختارهای متناوب چندلایه ۵۱

۳-۵-۱ مشخصه سازی یک رابط تناوبی به عنوان یک بلوک ساختمانی ۵۳

۳-۵-۲ آنالیز المان‌های آرایه بازتابی در یک محیط متناوب ۵۹

۳-۶ المان شیفت دهنده‌ی فاز مبتنی بر پچ‌های با سایز متغیر پشته ای و منفرد ۶۴

۳-۶-۱ المان‌های تک لایه ۶۵

۳-۶-۲ المان‌های چندلایه ۶۷

۳-۶-۳ اندازی گیری شیفت فاز و برخورد در شبیه سازی موجبر ۶۹

۳-۷ المان شیفت دهنده‌ی فاز مبتنی بر پچهای دهانه کوپلی ۷۲

۳-۷-۱ طراحی المان آرایه بازتابی ۷۴
۳-۷-۲ منحنی‌های تاخیر فاز ۷۶
۳-۸ الگوهای تشعشع و مدل تغذیه ۸۴
۳-۸-۱ میدان روی المان‌های آرایه بازتابی ۸۶
۳-۸-۲ الگوهای تشعشع ۸۸
۳-۸-۳ نتایج تجربی ۹۳
۳-۸-۴ محاسبات گینی (بهره) ۹۴

فصل چهارم: روش طراحی عملی

۴-۱ انتخاب و اثرات المان ۹۸
۴-۱-۱ فاز بازتاب المان ۹۸
۴-۱-۲ پهنای پرتوی المان ۱۰۱
۴-۱-۳ پهنای باند المان ۱۰۲
۴-۱-۴ راندمان بازتاب المان ۱۰۲
۴-۱-۵ فاصله گذاری المان ۱۰۴
۴-۲ محاسبه تأخیر فاز و طول مسیر ۱۰۵
۴-۳ محاسبه‌ی الگوی تشعشع ۱۰۶
۴-۴ طراحی هندسه‌ی آرایه‌ی بازتابی ۱۰۸
۴-۵ کنترل توان آرایه بازتابی ۱۱۴
مراجع ۱۱۵

مقدمه

مفهوم آنتن آرایه بازتابی در ۱۹۶۳ با استفاده از عناصر موجبر مطرح شد، اما علاقه مندی اصلی در آرایه بازتابی‌ها، تنها در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، با توسعه‌ی آنتن‌های چاپی کم ولتاژ، اتفاق افتاد. به همین دلیل، آرایه بازتابی چاپی می‌تواند به عنوان یک نوع جدید و خوبی از آنتن، مورد توجه قرار گیرد. یک آرایه بازتابی تشکیل شده است از یک آرایه ای از المان‌های تشعشع کننده که فازبندی از قبل تعیین شده ای را برای شکل‌دهی یک پرتوی متمرکز، زمانیکه، همانند آنتن سهموی، توسط یک منبع روشن می‌شود، فراهم می‌کند. آرایه بازتابی‌های چاپی مزایای خاصی از آنتن‌های بازتابنده و آرایه‌های فازی را با هم ترکیب می‌کنند. آنها در یک بستر مسطح با استفاده از تکنولوژی مدار چاپی تولید و امکان هدایت پرتو در آرایه‌های فازی را می‌دهند، از سوی دیگر، مکانیزم تغذیه ـ مشابه آنتن بازتابنده ـ پیچیدگی وتلفات تغذیه‌ی مورد استفاده در آرایه‌های مسطح را حذف می‌کند، با این کاربازدهی بالاتری را فراهم می‌کند. آرایه بازتابی‌ها توانایی خود را برای تولید پرتوهای مرئی (contoured beams) نشان داده اند، که این پرتوها، علی‌القاعده، با استفاده از بازتابنده‌های شکل یافته یا آرایه‌های فازی، تولید شده اند. به تازگی پژوهش‌هایی در مورد برخی از کاربردهای بالقوه‌ی آرایه بازتابی ها در فضا، انجام شده است، مانند آنتن‌های پرتو مرئی برای سفینه‌های پخش مستقیم (Direct Broadcast Satellites) و آنتن‌های قابل تورم بسیار بزرگ. به هرحال، یک ضعف عمده ای در آرایه بازتابی وجود دارد، که آن رفتار پهنای باند باریک آن است، اما در پیشرفت‌های اخیر پهنای باند آن به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است.

هدف این کتاب، ارائه‌ی مروری جامع بر آنتن‌های آرایه بازتابی است که شامل اصول کاربردی (عملی)، مزایای آن ها نسبت به دیگر آنتن‌ها، تاریخچه‌ی توسعه‌ی آن ها، تکنیک‌های تجزیه و تحلیل، روش‌های طراحی عملی، مسائل مربوط به پهنای باند، و تکنیک‌های باند پهن و همچنین کابردهای آن‌ها و پیشرفت‌های اخیر، می‌شود.

این مقاله در ۶ فصل تدوین شده است، فصل ۱ به ارائه‌ی یک مقدمه‌ی کلی از آنتن‌های آرایه بازتابی می‌پردازد که شامل اصول کاربردی آن ها، رایج ترین راههای پیاده سازی، مهمترین ویژگی‌های آن ها، و یک شرحی از مزایا و معایب آن ها با توجه به انواع دیگر آنتن، می‌باشد. در فصل ۲ یک تاریخچه‌ی توسعه‌ی دقیقی از زمان اختراع آرایه بازتابی ارائه شده است. این مقاله تا حد زیادی، توانایی درک سیستم آرایه بازتابی را برای مهندسی که با سیر تکاملی آنتن آرایه بازتابی آشنا است، ارتقا می‌دهد. در همین فصل، مقایسه‌ی عملکرد با دو تکنولوژی مشابه لنز آرایه‌ای و بازتابنده‌ی بشقابیِ Fresnel-Zone، به طور خلاصه ای بحث شده است.

آرایه بازتابی یک آنتن نسبتا پیچیده است و یک تکنیک دقیق آنالیز برای پیشگویی دقیق و ویژگی‌های تشعشع الزامی است. مانند بازدهی، الگوهای تشعشعی هم قطب و قطب متقابل (co- and cross-polar radiation patterns)، و پهنای باند. فصل ۳ یک بحث مفصلی از روش‌های مختلف مورد استفاده برای آنالیز آرایه بازتابی ها ارائه می‌دهد. یک تکنیک تمام موج برمبنای روش ممان‌ها (Method of Moments) در حوزه‌ی طیفی و بسط مقیدِ Floquet، تحت فرضِ تناوب محلی برای در نظر گرفتن کوپلینگ‌های متقابل، با جزئیات شرح داده شده است. اگرچه روش آنالیز قبلا در مقالات و مجلات تشریح شده است، در این فصل این روش به آنالیز خاصی از آنتن آرایه بازتابی متمرکز شده است. این روش آنالیز برای محاسبه‌ی پاسخ فاز و تلفات انواع مختلفی از المان‌های آرایه بازتابی، مانند پچ‌های چاپی و stubهای الحاقی یا دهانه کوپلی و پچ‌های سایز متغیر، در ساختارهای تک لایه ای و چندلایه ای، مورد استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی این ابزار آنالیز و برای نشان دادن قابلیت ها و محدودیت‌های هرنوع المان، نتایج بسیاری ارائه می‌شوند. و در نهایت، این فصل تکنیکی را برای محاسبه‌ی الگوهای تشعشع هم قطب و قطب متقابل، که شامل مدلسازی تغذیه بوقی می‌شود، شرح می‌دهد.

فصل ۴ به ارائه‌ی مهارت‌های عملی برای برای طراحی آنتن‌های آرایه بازتابی، اختصاص یافته است. به غیر از تکنیک تجزیه و تحلیل، برخی از جوانب وجود دارند که، در طول یراحی آنتن آرایه بازتابی، باید به حساب آورده شوند، مانند انتخاب معیارها برای المان‌های فازی، فضادهی مناسب برای فراهم کردن رنج فاز کافی و جلوگیری از بروز گلبرگ‌های ساینده (gratin lobes)، تعریف هندسی آنتن و غیره. این جوانب برای دستیابی به یک بازده خوب ضروری هستند و در فصل ۴ بحث شده اند.

شدیدترین نقطه ضعف در عملکرد آرایه بازتابی، باند فرکانسی باریک آن است، و برای غلبه براین محدودیت در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. فصل ۴ به بهبود پهنای باند در آرایه بازتابی اختصاص یافته است. پهنای باند در آرایه بازتابی عمدتا توسط دو عامل متفاوت محدود می‌شود: پاسخ فازی المان تشعشع کننده و طول مسیرهای مختلف(مسیرهایی با طول‌های مختلف) از منبع تا جبهه‌ی فاز (phase front). بعد از بحث دقیق درمورد این دو عامل، چندین راه حل برای بهبود پهنای باند، در فصل ۵ ارائه می‌شود. دو نوع مختلف از المان‌های آرایه بازتابی باند پهنمورد آنالیز قرار گرفته اند: یکی مبنی بر پچ‌های انباشته شده‌ی سایز متغیر، و دیگری استفاده از پچ‌هایی با خطوط دهانه کوپلی. با بکارگیری دو پچ انباشته شده به عنوان المان آرایه بازتابی، یک پهنای باند ۱۶ درصدی بدست آمد. از طرفی ، تاثیر طول مسیرهای مختلف تنها در آرایه بازتابی‌های بزرگ، نظیر آنتن هایی در کاربردهای فضایی، قابل توجه است. تکنیک‌های مختلفی برای غلبه بر محدودیت پهنای باندِ ایجاد شده توسط طول مسیرهای مختلف توصیف شده اند و برخی نتایج برای آنتن‌های بزرگ داده شده اند. روش اول مبنی بر

اجرای خطوط دهانه کوپل شده به پچ‌های چاپی، برای جبرانسازی برای تاخیر فاز واقعی در کل رنج (چند برابر 360°) است، روش دوم شامل جبران سازی تاخیر فاز فضایی در یک باند فرکانسی مفروض با فاز ضریب انعکاس است، و روش آخر،که بیشتر برای دهانه‌های بسیار بزرگ مناسب است، از یک ساختار وجهی (faceted configuration)، که شکل یک سهموی را تقریب می‌زند، استفاده می‌کند.

فصل ۶ تکنیک‌های دوبانده و چندبانده ای برای یک آرایه بازتابی منفرد برای هَندل کردن چندین فرکانسِ بسیار مجزا ازهم را ارائه می‌دهد.

در فصل آخر چند کاربرد مهم جدید، نظیر کاربردهای ممکن در آینده، معرفی می‌شوند. نمونه هایی مانندآرایه بازتابی قابل تورم، کابردهای پرتوی مرئی، آرایه بازتابی‌های چند پرتوئی، آرایه بازتابی‌های تقویت کننده، یک پیکربندی کم ولتاژ تاخورده،یک ساختار آفست Cassegrain، کاربردهای دهانه‌ی بسیار بزرگ، و آرایه بازتابی‌های اسکنرِ پرتو، با بعضی جزئیات توضیح داده شده‌اند. به دلیل کثرت قابلیت‌ها، انتظار می‌رود توسعه و کاربرد آرایه بازتابی ها در دهه‌های آتی ادامه یابد.

فصل اول

معرفی آنتن آرایه بازتابی

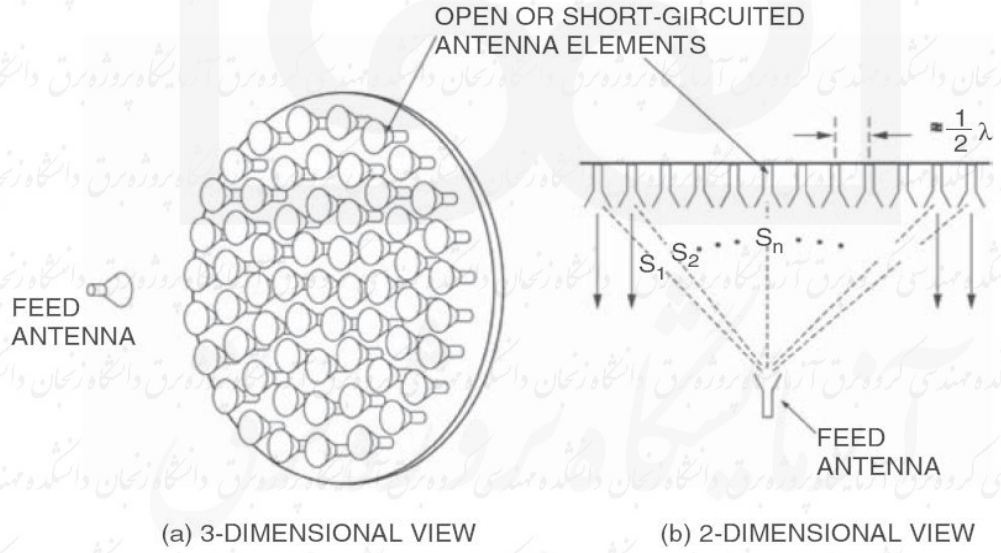
برای بیشتر ارتباطات راداری و راه دور، نیاز به نیاز به آنتن‌های گین- بالا، اجتناب ناپذیر است. کاربردهای گین- بالا، صرفا بر بازتابنده‌ها یا آرایه بازتابی‌ها متکی بوده اند [۱]. ولی ساخت بازتابنده‌ی سهموی، در بسیاری از موارد، به خاطر سطح منحنی خاص آن، دشوار است، خصوصا در فرکانس‌های مایکروویو بالاتر. و همچنین فاقد توانای دستیابی به اسکن پرتوی الکترونیکی زاویه باز (wide-angle) می‌باشد. از سوی دیگر، آنتن آرایه ای گین- بالا، زمانی که به شیفت‌دهنده‌های فازی قابل کنترل مجهز شده باش، می‌تواند به اسکن الکترونیکی پرتوی زاویه باز دست یابد، ولی عموما به دلیل شکل دهنده‌ی (beamformer) پیچیده‌ی آن و تعداد زیادی ماژول تقویت کننده‌ی پرهزینه، بسیار گران میشود. ماژول‌های تقویت کننده باید برای کم کردن مشکلِ ناکارآمدی (کم بازدهی) توان که در شکل دهنده‌ی تلف- بالا و شیفت دهنده‌های فاز رخ می‌دهد، مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه یک نوع سومی از آنتن، به نام "آرایه بازتابی"، برای کاهش معایب مرتبط با هم بازتابنده‌های سهموی و هم آرایه‌ی معمولی (مرسوم)، تکامل یافته است.

۱-۱ توصیف آرایه بازتابی

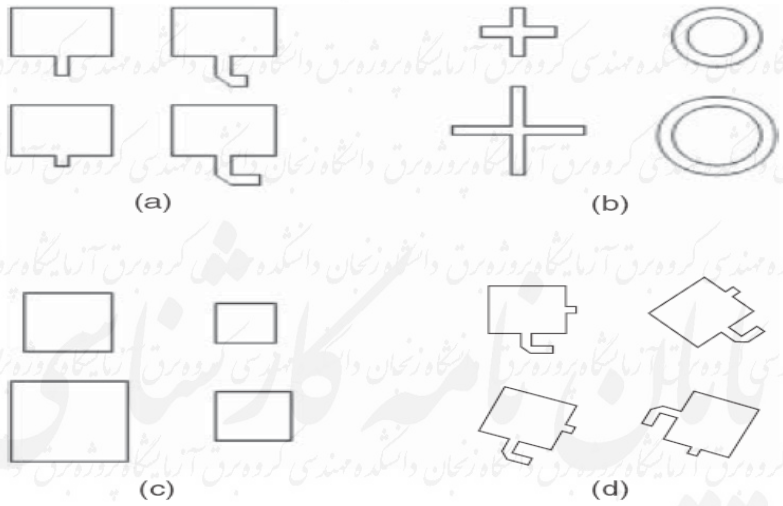
آرایه بازتابی[۲و۳]، یک آنتن متشک از سطح منعکس کننده‌ی هم صاف و هم کمی خمیده و یک آنتن تغذیه‌ی روشن کننده[1]، که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در روی سطح منعکس کننده، المان‌های تشعشع کننده‌ی بسیاری (مثل موجبرهای open –ended ، پچ های مایکرواستریپ چاپی، دوقطبی ها، و یا حلقه ها) بدون هیچگونه خطوط انتقال تقسیم توان، وجود دارند. آنتن تغذیه، این المان‌های آرایه بازتابی را که از قبل، برای متشعشع کردن و پراکندن میدان برخ.ردی، با فازهای الکتریکی ای که برای تشکیل یک جبهه‌ی فاز مسطح در فاصله‌ی میدان راه دور مورد نیاز هستند، به طور فضایی، روشن می‌سازد. به عبارت دیگر، فازهای از پیش طراحی شده‌ی همه‌ی المان ها، برای جبرانسازی برای فازهای

[1] . illuminating feed antenna

مختلف مربوط به طول مسیرهای مختلف ($S_1,S_2,...,S_n$ در شکل۱-۱) از منبع روشن کننده، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عملکرد، در مفهوم، مشابه کاربرد یک بازتابنده‌ی سهموی است که از انحنای منحصر به فرد خود برای انعکاس و تشکیل یک جبهه‌ی فاز مسطح، زمانیکه یک منبع در نقطه‌ی کانونی آن قرار گرفته است، بهره می‌گیرد. از این رو واژه‌ی "بازتابنده‌ی تخت" بعضی اوقات برای توصیف آرایه بازتابی، که از هر دو تکنولوژی بازتابنده و آرایه بهره می‌گیرد، به کار می‌رود. همانطور که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است چندین روش برای المان‌های آرایه بازتابی برای دستیابی به یک جبهه‌ی فاز مسطح وجود دارد. یک روش، استفاده از پچ‌های مایکرواستریپ یکسان با خطوط تاخیر فاز طول- متغیر متصل شده است [۴و۵]، به طوری که این‌ها (پچ‌های مایکرواستریپ و ...) بتوانند تاخیرهای فازی در طول مسیرهای مختلف از منبع روشنایی را جبران کنند. روش دیگر استفاده از پچ‌های سایز متغیر، دوقطبی ها،یا حلقه‌ها است [۶-۸]، به طوری که المان‌ها بتوانند امپدانس‌های پراکندگی مختلفی، و از این رو فازهای مختلفی برای جبرانسازی برای تاخیرهای مسیر- منبع مختلف، داشته باشند. و روش سوم، فقط برای پلاریزاسیون دایروی، این است که آرایه بازتابی تمامی المان‌های پلاریزه‌ی دایروی یکسان را، البته با چرخش‌های زاویه ای متفاوت [۹] برای جبرانسازی برای تفاوت‌های طول مسیرهای منبع، دارد.



شکل ۱-۱ : پیکربندی یک آنتن آرایه بازتابی



شکل ۲-۱ : المان‌های آرایه بازتابی مختلف (a) پچ‌های یکسان با خطوط تاخیر فاز طول- متغر، (b) دوقطبی‌ها یا حلقه‌های سایز متغیر، (c) پچ‌های سایز متغیر، (d) چرخش‌های زاویه ای متغیر

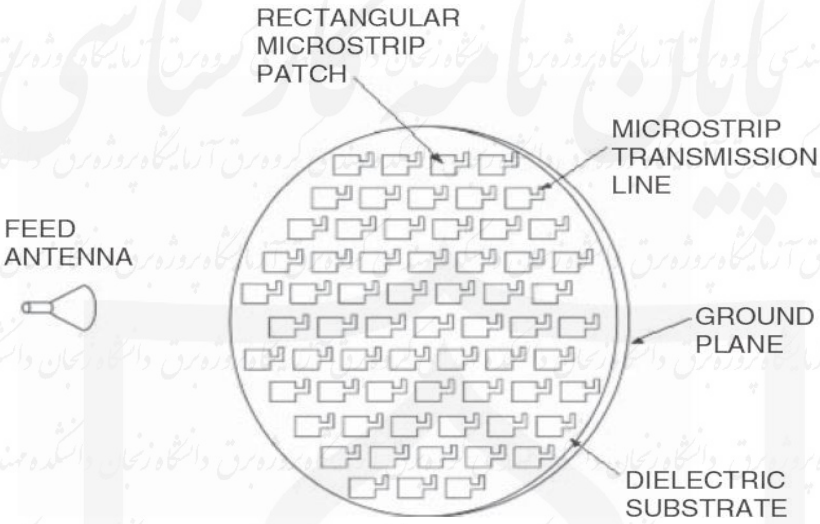
۲-۱ آرایه بازتابی‌های چاپی

آرایه بازتابی هایی که در آن‌ها از المان‌های مایکرواستریپ چاپی استفاده شده است، برای دستیابی به واتاژ سطح بازتابنده‌ی کم، جرم آنتن کم و هزینه‌ی تولید کم، توسعه یافته اند. در شکل ۳-۱ یک پیکربندی از یک آرایه بازتابی که در آن از المان‌های پچ چاپی با خطوط تاخیر طول- متغیر استفاده شده، نشان داده شده است. این آرایه بازتابی‌های چاپی برخی از مشخصه‌های بارز آنتن بازتابنده‌ی سهموی سنتی و تکنولوژی آرایه مایکرواستریپ را با هم ترکیب کرده است. مزایا و معایب آن، وقتی که به عنوان یک آنتن دهانه بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طور جداگانه، در زیر بحث شده است.

۱-۲-۱ مزایای آرایه بازتابی

مشابه یک بازتابنده‌ی سهموی، از آن جا که آرایه بازتابی به هیچ مقسم قدرتی نیاز ندارد، می‌تواند به بازدهی بسیار خوبی (بیش از ۵۰٪)، برای یک دهانه‌ی بسیار بزرگ، دست یابد و از این رو با افت درج مفاومتی بسیار کمی دراینجا مواجه هستیم. از سوی دیگر، بسیار مشابه یک آنتن آرایه ای ، آرایه بازتابی می‌تواند پرتوی اصلی طراحی شده‌ی خودرا، برای تمایل بسوی یک زاویه‌ی بزرگ (بیش از$^{\circ}$۵۰) از سمت

سطح پهن آن، داشته باشد. برای اسکن پرتوی الکترونیکی زاویه باز، می‌توان شیفت دهنده‌های فاز الکترونیکی کم تلف را درون المان‌ها کنجاند [۱۰و۱۱]. با این قابلیت اسکنِ پرتوی آرایه بازتابی، دیگر نیازی به شبکه‌ی پیچیده‌ی تلف بالای شکل دهی پرتو و ماژول‌های تقویت کننده‌ی سند/رسیو پر هزینه‌ی یک آرایه فازی معمولی نیست.



شکل ۳-۱ : آرایه بازتابی با استفاده از المان‌های پچ چاپی با خطوط تاخیر طول- متغیر

یک مزیت قابل توجه آرایه بازتابی چاپی این است که، هنگامی که یک آنتن فضایی دهانه بزرگ (مثلا با سایز $۱۰m$) نیاز به یک مکانیزم استقرار پیدا می‌کند، ساختار مسطح آرایه بازتابی یک مکانیزم تا شونده‌ی ساده تر و قابل اعتمادتری را نسبت به مکانیزم مورد نیاز برای سطح منحنی مضاعفِ (doubly curved surface) یک بازتابنده‌ی سهموی، امکان می‌دهد. به علاوه، یک سیستم تورم که با دهانه‌ی آرایه بازتابی غشا- نازک تخت و بزرگ تکمیل شده است، می‌تواند با استفاده از یک مکانیزم لوله کننده (rolling mechanism) استقرار یابد، تا تشکیل یک آنتن قابل تورم را بدهد. همچنین سطح تخت آرایه بازتابی، بدون اضافه کردن مقدار قابل توجهی از جرم و حجم به ساختار کلی سیستم، خودرا برای سوار شدن (اتصال) ناگهانی به روی یک سطح تخت موجود خم می‌کند. یک آرایه بازتابی با صدها یا هزاران المان را، که به شکل یک آتن مایکرواستریپ چاپی است، می‌توان با یک فرایند قلم زنی (حکاکی) شیمیایی ساده و کم هزینه ساخت، خصوصا وقتی که در مقادیر یاد تولید شود.

یک مشخصه‌ی بارز دیگر این آنتن این است که با تعداد زیادی از المان‌ها در آرایه بازتابی ای که دارای قابلیت تنظیم فاز المانی است، آرایه بازتابی می‌تواند، با استفاده از تکنیک سنتز فازی، به شکل پرتوی کانتوری (contour beam shape) بسیار دقیقی دست یابد [۱۲و۱۳]. مشابه بازتابنده‌ی سهموی قابلیت چند پرتویی، توسط قرار دادن المان‌های چند منبعی در ناحیه‌ی کانونی آنتن، نیز قابل دستیابی است. تکنولوژی آرایه بازتابی را می‌توان در سراسر طیف مایکروویو و همچنین در فرکانس‌های موج میلی متری، اعمال کرد.

۲-۲-۱ معایب آرایه بازتابی

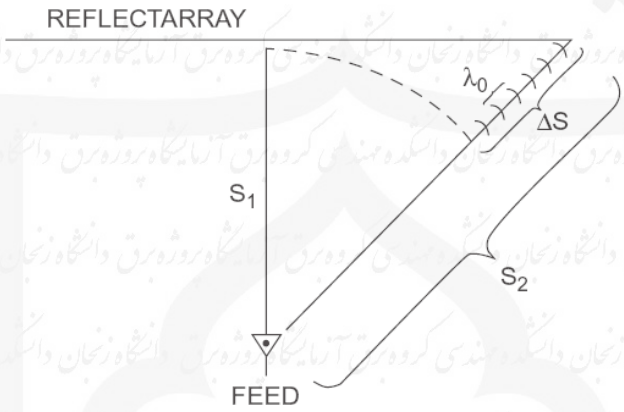
با وجود تمام قابلیت‌های بالا، یک عیب متمایزی در مورد آنتن آرایه بازتابی وجود دارد. و این عیب، ویژگی ذاتی پهنای باند باریک آن است که معمولا بسته به نوع طراحی المان آن، اندازه دهانه، فاصله کانونی، و ... نمی نواند خیلی بیشتر از ۱۰درصد تجاوز کند. عملکرد پهنای باند باریک آرایه بازتابی [۱۴و۱۵] هیچ مطابقتی با عملکرد پهنای باند یک بازتابنده‌ی سهموی ندارد، که در آن از لحاظ نظری پهنای باند بی نهایت وجود دارد. برای یک آرایه بازتابی مایکرواستریپ چاپی، پهنای باند آن عمدتا توسط دو عامل محدود می‌شود. یکی پهنای باند باریک (نازک) المان‌های پچ مایکرواستریپ که روی سطح آرایه بازتابی هستند و دیگری تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی است.

۱-۲-۲-۱ پهنای باند محدود شده با المان

المان پچ مایکرواستریپ پهنای باندی عموما در حدود ۳ تا ۵ درصد دارد. برای رسیدن به پهنای باند پهن‌تری برای یک آرایه مایکرواستریپ معمولی، روش‌هایی مانند استفاده از بستر ضخیم برای پچ، انباشته کردن پچ‌های متعدد [۱۶و۱۷]، و استفاده از المان‌های زیر آرایه ایِ پی‌درپی چرخیده، به کار گرفته شده اند، بیش از ۱۵درصد پهنای باند گزارش شده است.

۲-۲-۲-۱ پهنای باند محدود شده با تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی

دومین عامل محدود کننده‌ی آرایه بازتابی، تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی است، که بامراجعه به شکل ۴-۱ به بهترین نحو توضیح داده می‌شود، که در آن تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی ΔS، اختلاف فاز بین دو مسیر S_1 و S_2 از تغذیه تا المان‌های آرایه بازتابی است. این ΔS می‌تواند چندین برابر طول موج (λ) در فرکانس عامل مرکزی باشد. می‌توان آن را به صورت $\Delta S = (N + d)\lambda$ بیان کرد که درآن N یک عدد صحیح و d یک کسری از طول موج فضای آزادλ است.



شکل ۴-۱ : تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی آرایه بازتابی

در محل هر المان، d توسط تاخیر فاز مناسب، که با طراحی المان آرایه بازتابی بدست آمده است، (از سایز پچ متغیر، طول خط تاخیر متغیر و ... بدست آمده است)، جبران می‌شود. همینکه فرکانس تغییر می‌کند قسمت $(N + d)\lambda$ به $(N + d)(\lambda + \Delta\lambda)$ تبدیل می‌شود. از آن جا که طراحی و جبرانسازی فاز در فرکانس مرکزی برای هر المان ثابت است، یک خطای گردشی فرکانسی[1] در جبهه‌ی فاز بازتابیده[2] رخ خواهد داد. مقدار تغییر فاز در هر مسیر در مقایسه با یک مسیر مرجع، به نام S_1، $(N + d)\Delta\lambda$ است که می‌تواند بخش قابل توجهی از یک طول موج یا ۳۶۰°باشد.

برای کاهش مقدار خطای گردش فرکانسی، عدد صحیح N باید کاهش یابد. چندین روش برای کاهش N وجود دارد. یکی این است که آرایه بازتابی را با یک نسبت فاصله‌ی کانونی به قطر (f/D) بزرگ تر

[1] . frequency excursion error
[2] . reradiated phase front

طراحی کنیم و از این رو باعث حداقل شدن تفاوت بین مسیر S_1 و S_2 شویم. راه دوم این است که به سادگی از استفاده از یک آرایه بازتابی با یک قطر الکتریکی بزرگ اجتناب کنیم. و روش سوم برای کاهش این خطا، استفاده از خطوط تاخیر زمانی یا خطوط تاخیر زمانی جزئی به جای تاخیرات فازی است.به عبارت دیگر وقتی از روش خط تاخیر فازی (نه روش سایز پچ متغیر)، به جای $d.\Delta\lambda$ برای طول خط تاخیر استفاده می‌شود، $(N+d)\Delta\lambda$ می‌تواند برای خط تاخیر به کار رود. افت ورودی خط اضافی و املاک و مستغلات مورد نیاز برای این خطوط، قطعا مباحثی برای مواجهه هستند.

روش دیگر برای افزایش پهنای باند این است که به جای یک سطح آرایه بازتابی تخت کامل، از یک آرایه بازتابی مقعر با سطوح تخت تکه ای استفاده شود. این آرایه بازتابی صاف تکه ای مزایایی نسبت به یک بازتابنده‌ی سهموی دارد: پرتوی آن قابلیت اسکن شدن در زوایای بزرگ با شیفت دهنده‌های فازی جا داده شده در هر المان را دارد، و در برخی موارد برای یک آنتن گسترش پذیر فضایی، سطوح صاف تکه‌ای راحت تر به حجم کوچکتری تا خورده و انباشته می‌شود.

رفتار پهنای باند باریک آرایه بازتابی بیشتر در فصل ۵ مورد بحث قرار خواهد گرفت. همچنین تکنیک‌هایی برای گسترش پهنای باند ارائه خواند شد. با وجود اینکه آرایه بازتابی محدودیت پهنای باند دارد، به خاطر کثرت قابلیت‌های آن، توسعه، تحقیق و کاربرد آنتن آرایه بازتابی چاپی، در آینده بدون مرز خواهد ماند.

این مقاله به ۶ فصل تقسیم شده که جوانب مختلف آرایه بازتابی را پوشش می‌دهند. فصل ۲ تاریخچه توسعه‌ی مفصلی از زمان اختراع آرایه بازتابی ارائه می‌دهد. در صورتیکه یک مهندس با سیرتکاملی آنتن آرایه بازتابی آشنا باشد، توانایی درک او ازسیستم آرایه بازتابی بسیاربالا می‌رود. درهمین فصل مقایسه اجرایی مختصری بین دو تکنیک مشابه، لنزهای آرایه‌ای و بازتابنده‌ی تخت Fresnel-Zone، صورت گرفته است. آرایه بازتابی یک آنتن نسبتا پیچیده است. بازدهی تشعشع آن وابستگی بالایی به دقت تکنیک آنالیز و دانش طراحی دارد. فصل ۳ چندین روش آنالیز متغیر را مفصلا ارائه می‌دهد و فصل ۴ نکات طراحی عملی برای المان و طراحی‌های ژئومتری آنتن را ارائه می‌دهد. از آنجا که اشکال اصلی آرایه بازتابی پهنای باند نسبتا باریک آن است، پژوهشگران تکنیک هایی را برای پهن کردن پهنای باند آن، ازچند درصد تا بیش از۱۰درصد، توسعه داده اند. فصل۵ درمورد محدودیتهای پهنای باند آرایه بازتابی

وتکنیک‌های باند پهن بحث می‌کند. فصل۶ تکنیک‌های دوبانده و چندبانده را برای هَندل کردن چندین فرکانسِ بسیار مجزا ازهم دریک آرایه بازتابی منفرد ارئه می‌دهد. با وجود اینکه آرایه بازتابی حدود۴۰ سال پیش اختراع شده است، کاربرد آن تا سالهای اخیر به دلیل توسعه آرایه بازتابی‌های مایکرواستریپ چاپی، متنوع نشده است.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

مراجع

فصل ۱ :

1. H. Jasik ,*Antenna Engineering Handbook* , Chapters 12 and 15, MaGraw - Hill , New York , 1961 .
2. D. G. Berry , R. G. Malech , and W. A. Kennedy , " The reflectarray antenna , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. AP - 11 , Nov. 1963 , pp. 645 – 651 .
3. H. R. Phelan , " Spiralphasereflectarray for multitarget radar , " *Microwave Journal* , Vol. 20 , July 1977 , pp. 67 – 73 .
4. R. E. Munson and H. Haddad , " Microstripreflectarray for satellite communication and RCS enhancement and reduction , " U.S. patent 4,684,952, Washington, D.C., August 1987 .
5. J. Huang , " Microstripreflectarray , " IEEE AP - S/URSI symposium, London, Canada, June 1991 , pp. 612 – 615 .
6. D. M. Pozar and T. A. Metzler , " Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size , " *Electronics Letters* , April 1993 , pp. 657 – 658 .
7. A. Kelkar , " FLAPS: conformal phased reflecting surfaces , " *P roc. IEEE National Radar Conf*., Los Angeles , California , March 1991 , pp. 58 – 62 .
8. Y. T. Gao and S. K. Barton , " Phase correcting zonal reflector incorporating rings , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 43 , April 1995 , pp. 350 – 355 .
9. J. Huang and R. J. Pogorzelski , " A Ka - band microstripreflectarray with elements having variable rotation angles , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 46 , May 1998 , pp. 650 – 656 .
10. J. M. Colin , " Phased array radars in France: present and future , " IEEE symposium on Phased Array System and Technology, Boston, Massachusetts, October 1996 , pp. 458 – 462 .
11. A. A. Tolkachev , V. V. Denisenko , A. V. Shishlov , and A. G. Shubov , " High - gain antenna system for millimeter - wave radars with combined electrical and mechanical beam steering , " IEEE symposium on Phased Array System and Technology, Boston, Massachusetts, October 1996 , pp. 266 – 271 .
12. D. M. Pozar , S. D. Targonski , and R. Pokuls , " A shaped - beam microstrip patch reflectarray , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 47 , July 1999 , pp. 1167 – 1173 .
13. J. A. Encinar and J. A. Zornoza , " Three - layer printed reflectarrays for contour beam space applications , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 52 , May 2004 , pp. 1138 – 1148 .

فصل ۲ :

15. J. Huang , " Bandwidth study of microstripreflectarray and a novel phased reflectarray concept , " IEEE AP - S/URSI symposium, Newport Beach, California, June, 1995 , pp. 582 – 585 .
17. F. S. Johansson , " A new planar grating - reflector antenna , " *I EEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 38 , Sept. 1990 , pp. 1491 – 1495 .
18. Y. T. Gao and S. K. Barton , " Phase correcting zonal reflector incorporating rings , " *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 43 , April 1995 , pp. 350 – 355 .
21. L. Boccia , F. Venneri , G. Amendola , and G. Di Massa , " Application of varactor diodes for reflectarray phase control , " IEEE AP - S/URSI Symposium, San Antonio, Texas, June 2002 , Vol. 3, pp. 132 – 135 .
22. S. V. Hum and M. Okoniewski , " An electronically tunable reflectarray using varactor - diode - tuned elements , " IEEE AP - S/URSI Symposium, Monterey, California, June 2004 , Vol. 2, pp. 1827 – 1830 .
23. S. V. Hum , G. McFeetors , and M. Okoniewski , " A reflectarray cell based on a tunable MEMS capacitor , " IEEE AP - S/URSI Symposium, Albuquerque, New Mexico, July 2006 , URSI session 458.
24. A. Martynyuk , J. Lopez , J. Cuevas , and Y. Sydoruk , " Wideband reflective array based on loaded metal rings , " IEEE MTT - S Microwave symposium, Long Beach, California, June 2005 .
25. V. F. Fusco , " Mechanical beam scanning reflectarray , " *IEEE Trans. Antennas Propag*., Vol. 53 , Nov. 2005 , pp. 3842 – 3844 .

26. R. H. Phillion and M. Okoniewski , “ Measuring the reflection from a polarization selectivereflectarray element , ” IEEE AP - S/URSI Symposium, Albuquerque, New Mexico, July 2006 , pp. 4343 – 4347 .
27. J. Huang and A. Feria , “ A 1 - m X - band inflatablereflectarray antenna , ” *M icrowave and Optical Technology Letters* , Vol. 20 , January 1999 , pp. 97 – 99 .
28. J. Huang , “ Capabilities of printed reflectarray antennas , ” IEEE symposium on Phased Array System and Technology, Boston, Massachusetts, October 1996 , pp. 131 – 134 .
29. D. M. Pozar , S. D. Targonski , and R. Pokuls , “ A shaped - beam microstrip patch reflectarray , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 47 , July 1999 , pp. 1167 – 1173 .
30. J. A. Encinar , “ Design of two - layer printed reflectarray using patches of variable size , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 49 , October 2001 , pp. 1403 – 1410 .
31. J. A. Encinar and J. A. Zornoza , “ Broadband design of three - layer printed reflectarrays , ”*IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 51 , July 2003 , pp. 1662 – 1664 .
32. J. Huang , V. A. Feria , and H. Fang , “ Improvement of the three - meter Ka - band inflatablereflectarray antenna , ” IEEE AP - S/URSI symposium, Boston, Massachusetts, July 2001 , pp. 122 – 125 .
33. M. Bialkowski , A. W. Robinson , and H. J. Song , “ Design, development, and testing of X - band amplifying reflectarrays , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 50 , August 2002 , pp. 1065 – 1076 .
34. R. E. Zich , M. Mussetta , M. Tovaglieri , P. Pirinoli , and M. Orefice , “ Genetic Optimization ofmicrostripreflectarrays , ” IEEE AP - S/URSI symposium, San Antonio, Texas, June 2002 , pp. III - 128 – 131.
35. B. Khayatian and Y. Rahmat - Samii , “ Characterizing reflectarray antenna radiation performance , ” IEEE AP - S/URSI symposium, Columbus, Ohio, June 2003 .
REFERENCES **25**
26 DEVELOPMENT HISTORY

فصل ۳ :

43. P. Gay - Balmaz , J. A. Encinar , and J. R. Mosig , “ Analysis of a multilayer printed arrays by a modular approach based on the generalized scattering matrix , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 48 , No. 1 , pp. 26 – 34 , January 2000 .
44. J. R. James , P. S. Hall , and C. Wood , *M icrostrip Antenna Theory and Design* , Peter PeregrinusLtd ., Stevanage, UK , pp. 100 , 1981 .
45. M. Lambea and J. A. Encinar , “ Analysis of multilayer frequency selective surfaces with rectangular geometries, ” Ninth Int. Conf. on Antennas and Propagation ICAP ’ 95, Eindhoven, The Netherlands, pp. 528 – 531 , 1995 .
46. P. W. Hannan and M. A. Balfour , “ Simulation of phased array antennas in waveguides , ” *IEEE Trans. on Antennas Propagat.* , Vol. 13 , pp. 342 – 353 , May 1965 .
47. A. W. Robinson , M. E. Bialkowski , and H. J. Song , “ An 137 - element active reflect - array with dual - feed microstrip patch elements , ” *Microwave and Optical Technology Letters* , Vol. 26 , No. 3 , pp. 147 – 151 , August 2000 .
48. J. R. James and P. S. Hall ,*Handbook of Microstrip Antennas* , Peter Peregrinus Ltd . pp. 330 – 337 , 1989 .
49. D. M. Pozar , “ Microstrip antennas , ” *P roc. of IEEE* , Vol. 80 , pp. 79 – 91 , Jan. 1992 .

فصل ۴ :

1. D. M. Pozar and T. A. Metzler , “ Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size , ” *Electronics Letters* , April 1993 , pp. 657 – 658 .
2. D. Pozar , S. D. Targonski , and H. D. Syrigos , “ Design of millimeter wave microstrip reflectarrays , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 45 , February 1997 , pp. 287 – 296 .
3. E. Girard , R. Moulinet , R. Gillard , and H. Legay , “ An FDTD optimization of a circularly polarizedreflectarray unit cell , ” IEEE AP - S/URSI symposium, San Antonio, Texas, June 2002 , pp. III - 136 – 139.
4. J. A. Encinar , “ Design of two - layer printed reflectarray using patches of variable size , ” *IEEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 49 , October 2001 , pp. 1403 – 1410 .
5. J. A. Encinar and J. A. Zornoza , “ Three - layer printed reflectarrays for contour beam space applications , ” *I EEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 52 , May 2 004 , pp. 1138 – 1148 .

6. D. C. Chang and M. C. Huang , “ Multiple polarization microstripreflectarray antenna with high efficiency and low cross - polarization , ” *I EEE Trans. Antennas Propagat*., Vol. 43 , August 1995 , pp. 829 – 834 .
7. J. Huang , “ Analysis of a microstripreflectarray antenna for microspacecraft applications , ” JPL TDA Progress Report No. 42 - 120, February 15, 1995 .
8. J. Huang , “ Microstripreflectarray antenna for the SCANSCAT radar application , ” JPL Publication No. 90 - 45, November 15, 1990 .
9. R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak , “ A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface , ” Proceedings IEEE, Vol. 62, Nov. 1974 , pp. 1448 – 1461 .