دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش : مخابرات

عنوان : تحلیل پچ های میکرواستریپ در آنتن های رفلکت اری

استاد راهنما : آقای دکتر میرکمالی

نگارش : سید حمیدرضا امام جمعه

تیر ۸۹

فهرست

مقدمه ۱

مقدمه ای بر آنتن رفلکت اری ۲

شرح رفلکت اری ۲

رفلکت اری چاپی ۵

مزایای استفاده از رفلکت اری ۶

اشکالات رفلکت اری ۷

پهنای باند محدود شده توسط عنصر ۷

پهنای باند محدود شده توسط تاخیر فاز فضایی تفاضلی ۸

تاریخچه و توسعه ۱۰

نوآوری های اولیه و تحولات ۱۰

رفلکت اری موجبر در دهه ی ۱۹۶۰ ..... ۱۰

رفلکت اری فازمارپیچی (SPIRAPHASE) در دهه ی ۱۹۷۰ ..... ۱۱

رفلکت اری میکرو استریپ در دهه ی ۱۹۸۰ ..... ۱۳

پیشرفت های اخیر ۱۷

فنون تجزیه و تحلیل آنتن ۲۱

توزیع PHASE SHIFT ۲۹

تجزیه و تحلیل پچ های مستطیلی ، همراه با استاب های پیوسته ۳۱

عنصر PHASE SHIFTER بر اساس پچ های APERTURE COUPLED ۳۶

طراحی عنصر رفلکت اری ۳۹

منحنی های تاخیر فاز ۴۱
مدل تغذیه و پترن های تابش ۴۸
میدان بر روی عناصر رفلکت اری ۴۹
پترن تابش ۵۲
نتایج تجربی ۵۸
محاسبات بهره ۶۰
روش طراحی عملی ۶۲
اثرات عنصر و انتخاب ۶۲
فاز انعکاس عنصر ۶۴
طول مسیر و محاسبه تاخیر فاز ۶۴
مراجع ۶۶

مقدمه

مفهوم آنتن رفلکت اری در سال ۱۹۶۳ با استفاده از عناصر موجبر معرفی شد، اما علاقه واقعی به رفلکت اری ها در اواخر سال ۱۹۸۰همراه با توسعه آنتنهای چاپی اتفاق افتاد .به همین دلیل، رفلکت اری چاپی می تواند به عنوان نوع نسبتا جدید از آنتن در نظر گرفته شود. رفلکت اری متشکل است از آرایه ای از عناصر پرتوزا که هنگامی که بواسطه ی تغذیه پرتو می افکند در روشی مشابه به آنتن سهموی یک فاز از قبل تنظیم شده را به شکل یک پرتوی متمرکز تامین می کند. رفلکت اری ها چاپی مزایای خاصی از آنتن رفلکتور و phased array را ترکیب می کند. آنها بر لایه مسطح با استفاده از تکنولوژی چاپ مدار ساخته شده اند و امکان هدایت پرتو به عنوان آرایه فازی را پیشنهاد می کند؛ در سوی دیگر، مکانیسم تغذیه (مانند آنتن رفلکتور) پیچیدگی ها و تلفات شبکه تغذیه استفاده شده در آرایه های مسطح را حذف می کند ، بنابراین بازده بالاتری را فراهم می کند . رفلکت اری ها توانایی خود را برای تولید contoured beams نشان داده اند ، که مطابق قرارداد با استفاده از رفلکتور شکل داده شده یا phased array تولید شده اند. به تازگی ، برخی از کاربردهای بالقوه رفلکت اری ها در فضا تحقیق شده است ، مانند آنتن های contoured beams برای ماهواره های پخش مستقیم Direct (Broadcast Satellites) و آنتن های inflatable بسیار بزرگ. با این حال ، یک کمبود بزرگ در رفلکت اری وجود دارد، و آن اینست که آنها narrow-bandwith هستند ، اما پهنای باند در پیشرفت های اخیر افزایش قابل توجهی یافته است.

مقدمه ای بر آنتن رفلکت اری

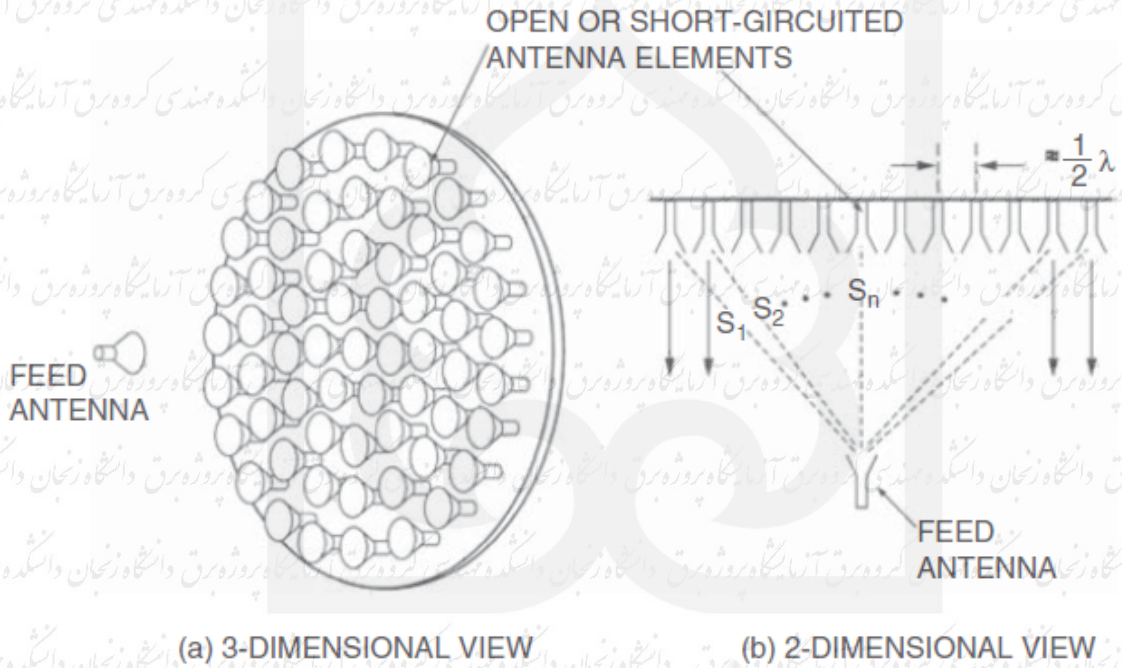
برای بسیاری از رادارها و ارتباطات راه دور، نیاز به آنتن های با بهره بالا اجتناب ناپذیر می باشد. به طور سنتی ، برنامه های کاربردی با گین بالا اتکا به رفلکتورهای سهموی یا آرایه ها دارند. با این حال ساخت رفلکتورسهموی در بسیاری از موارد ، به دلیل آن سطح منحنی مخصوص ، سخت است ، مخصوصا در فرکانسهای مایکروویو بالا. همچنین فاقد توانایی برای دستیابی به اسکن الکترونیکی پرتو wide – angle هستند. در سوی دیگر ،آنتن های آرایه ی با گین بالا ، هنگامی که با phase shifters قابل کنترل مجهز می شود ، می تواند به اسکن الکترونیکی پرتو wide – angle دستیابی پیدا کند ، اما به طور کلی به علت beamformer پیچیده خود و بسیاری از ماژول های تقویت کننده (modules) با ارزش خیلی گران می شود. ماژول های تقویت کننده باید برای کاهش مشکل در ارتباط با ناکار آمدی توان استفاده شود ، که دراتلاف بالای beamformer و phase shifters اتفاق می افتد. در نتیجه ، نوع سوم از آنتن ، یعنی "reflectarray " ، کاهش معایب مربوط به رفلکتور سهموی یا آرایه معمولی را نتیجه می دهد.

شرح رفلکت اری

رفلکت اری آنتنی است متشکل از سطح منعکس کننده تخت یا کمی خمیده و آنتن تغذیه. در سطح منعکس کننده ، بسیاری از عناصر تابش وجود دارد (به عنوان مثال ، موجبرهای انتها باز ، پچ های میکرو استریپ چاپی ، دو قطبی ، یا حلقه ها) بدون هیچ گونه خط انتقال تقسیم توان. آنتن تغذیه فضایی پرتو

افکنی میکند بر عناصر رفلکت اری که از قبل برای بازتابش و پراکنده کردن میدان رسیده با فاز الکتریکی که برای تشکیل دادن فاز مسطح در مقابل میدانهای دور لازم هستند طراحی شده اند.

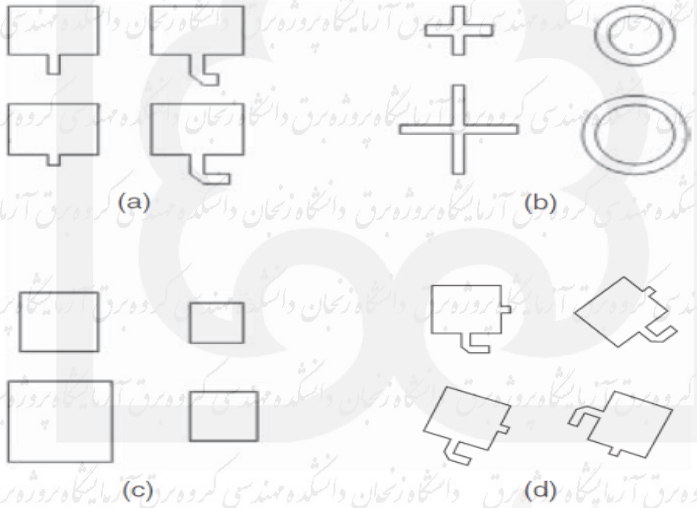
به عبارت دیگر ، فازهای از قبل طراحی شده ی تمام عناصر برای جبران کردن فازهای مختلف وابسته به طول مسیرهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرند ($S_1, S_2, \ldots, S_N$) از تغذیه پرتو افکن . شکل ۱.۱. این عمل مشابه به مفهوم استفاده شده در رفلکتور سهموی است که از تنها انحنای آن، برای رفلکت و تشکیل فاز مسطح زمانی که تغذیه در نقطه ی کانونی آن قرار داده شده است استفاده می کند.



شکل ۱.۱ آنتن رفلکت اری

بنابراین ، اصطلاح "flat reflector" گاهی برای توصیف رفلکت اری بکار می رود ، که از هر دو تکنولوژی رفلکتور و آرایه بهره می گیرد. همانطور که در شکل. ۱.۲ نشان داده شده است ، روشهای

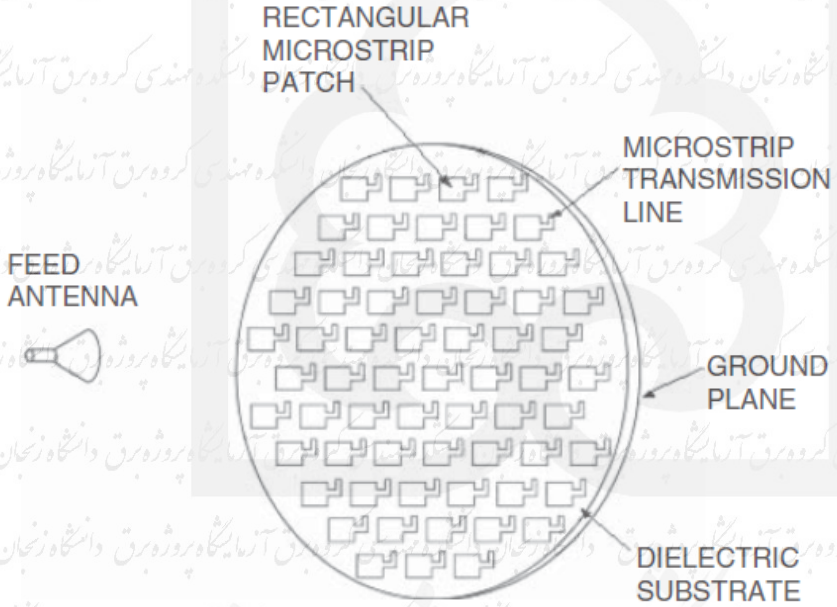
متعددی برای عناصر رفلکت اری برای دستیابی به فاز مسطح وجود دارد. یکی از آنها استفاده از پچ های میکرو استریپ یکسان با خطوط پیوسته تاخیر فاز با طول متغیر است به طوری که آنها می توانند تاخیر فاز در طول مسیرهای مختلف از تغذیه پرتو افکن را جبران کنند. دیگری استفاده از پچ های با اندازهای متغیر ، دو قطبی ، و یا حلقه هستند به طوری که عناصر می تواند امپدانس پراکندگی مختلف و ، بنابراین ، فازهای مختلفی را برای جبران کردن تاخیر راه مختلف از تغذیه را داشته باشند. با استفاده از روش سوم ، برای فقط پلاریزاسیون دایروی ، رفلکت اری تمام عناصر با پلاریزاسیون یکسان را دارد اما با چرخش زاویه ای متفاوت برای جبران اختلاف طول مسیر تغذیه



شکل۱.۲ عناصر مختلف رفلکت اری

رفلکت اری چاپی

رفلکت اری ها با استفاده از عناصر میکرو استریپ چاپ شده برای دستیابی به سطح مقطع عرضی منعکس کننده کم ، جرم کوچک آنتن و هزینه کم تولید توسعه یافته اند. یک شکل از رفلکت اری با استفاده از عناصر پچ چاپی همراه با خطوط تاخیر با طول متغیر در شکل۱.۳ نشان داده شده است. این رفلکت اری های چاپی ترکیب برخی از ویژگی های برجسته آنتن سنتی سهموی و فن آوری آرایه میکرواستریپ است. مزایا و همچنین معایب آن ، وقتی به عنوان آنتن large - aperture مورد استفاده قرار بگیرند به طور جداگانه مورد بحث قرار می گیرند.



شکل ۱.۳ رفلکت اری با استفاده از عناصر پچ چاپی همراه با خطوط تاخیر با طول مختلف

مزایای استفاده از رفلکت اری

مشابه رفلکتور سهموی ، رفلکت اری می تواند به بازده بسیار خوب برسد (بیشتراز۵۰ درصد). برای یک دهانه بسیار بزرگ از آنجا که هیچ مقسم توانی مورد نیاز نیست و در نتیجه اینجا تلفات مقاومتی بسیار کمی دارد . از طرف دیگر، بسیار مشابه به آنتن آرایه ای ، رفلکت اری می تواند پرتو اصلی خودش که طراحی شده برای کج شدن در زاویه بزرگ (بیشتراز ۵۰ درجه) از سمت پهلوی خودش را داشته باشد. phase shifters الکترونیکی با تلفات کم را می توان در عناصری برای اسکن الکترونیکی پرتو wide angle - گنجانید . با استفاده از این قابلیت اسکن پرتو رفلکت اری ، شبکه beamforming پیچیده با تلفات بالا و ماژول های (modules) تقویت کننده فرستنده/گیرنده گران از یک phased array متداول دیگر مورد نیاز نیست.

یکی از مزایای مهم رفلکت اری چاپی این است که ، زمانی که یک آنتن فضاپیمای دهانه ای بزرگ (به عنوان مثال ۱۰ متر) به مکانیزم استقرار نیاز پیدا می کند ، ساختار مسطح رفلکت اری یک مکانیسم تاشو خیلی ساده تر و قابل اعتمادتر در مقایسه با آن سطح منحنی مضاعف مورد نیاز از رفلکتور سهموی را دارد. سطح مسطح منعکس کننده ی یک رفلکت اری نیز خودش را برای تراز کردن پایه هایش بر روی ساختار مسطح موجود بدون افزودن مقدار مهمی جرم و حجم به ساختار کلی سیستم قرض می دهد.

یک رفلکت اری با صدها یا هزاران عنصر ، به شکل آنتن میکرو استریپ چاپی ، می توانند با فرایند حک کردن شیمیایی ساده و کم ارزشی ساخته شود، به ویژه هنگامی که در مقادیر زیاد تولید می شود.

یکی دیگر از ویژگی های عمده این آنتن این است که ، با تعداد زیادی از عناصر در رفلکت اری داشتن عنصری با قابلیت تنظیم فاز ، می تواند به شکل بسیار دقیق contour beam با استفاده از روش سنتز فاز دستیابی پیدا کند. مشابه رفلکتور سهموی ، چندین قابلیت پرتو می تواند با قرار دادن عناصر تغذیه

در چند منطقه از فاصله کانونی آنتن فراهم آورد . تکنولوژی رفلکت اری را می توان در سراسر طیف مایکروویو ، و همچنین در فرکانس موج میلیمتری بکار برد.

اشکالات رفلکت اری

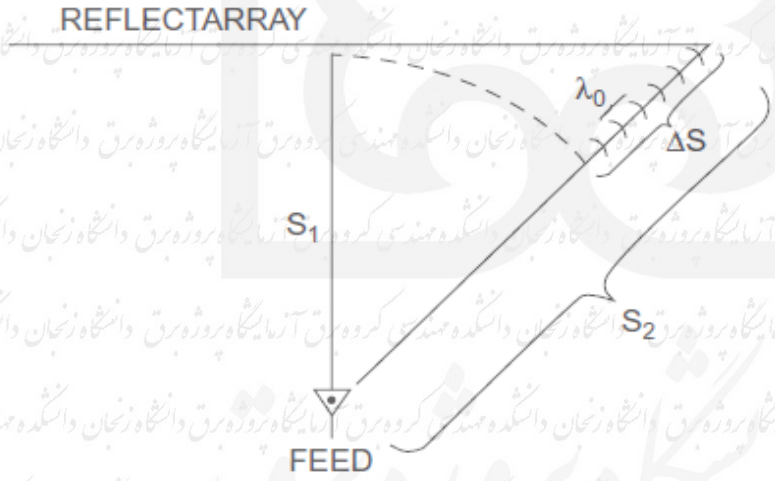
با تمام قابلیت های بالا ، یک نقطه ضعف مشخص در ارتباط با آنتن رفلکت اری وجود دارد . این ویژگی ذاتی خودش ، پهنای باند محدود است ، که معمولا نمی تواند بیش از اندازه فراتر از ده درصد تجاوز کند بستگی دارد به نوع طراحی عنصر آن ، اندازه دهانه ، فاصله کانونی و غیره. عملکرد پهنای باند رفلکت اری ، با رفلکتور سهموی ، درجایی که فرض پهنای باند نا محدود وجود دارد یکسان نیست. برای رفلکت اری میکرو استریپ چاپی ، پهنای باند آن در درجه اول توسط دو عامل محدود است. یکی پهنای باند باریک عناصر پچ میکرو استریپ در سطح رفلکت اری و دیگری تاخیر فاز فضایی تفاضلی .

پهنای باند محدود شده توسط عنصر

عنصر پچ میکرو استریپ به طور کلی داری پهنای باند در حدود ۳ تا ۵ درصد است. برای رسیدن به پهنای باند وسیع تر برای آرایه میکرو استریپ معمولی ، روش هایی مانند استفاده از لایه ای ضخیم برای پچ ، چندین پچ انباشته ، و استفاده از عناصر sequentially rotated subarray بکار گرفته شده است. بیش از ۱۵ درصد پهنای باند گزارش شده است.

پهنای باند محدود شده توسط تاخیر فاز فضایی تفاضلی

دومین عامل محدود کننده رفلکت اری ، تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی را می توان با مراجعه به شکل ۱.٤ به بهترین شکل توضیح داد جایی که تاخیر فاز فضایی دیفرانسیلی ΔS ، اختلاف فاز بین دو راه S_1 و S_2 از تغذیه تا عناصر رفلکت اری است. ΔS می تواند مضاربی از طول موج درفرکانس کار مرکزی باشد. می توان اینگونه بیان نمود که $\Delta S = (n+d)\lambda$ درجایی که n عدد صحیح است و d کسری از طول موج فضای آزاد λ است. در محل هر عنصر ، d بوسیله یک تاخیر فاز مناسب طراحی شده توسط عنصر رفلکت اری جبران می شود. (بدست آمده توسط پچ های با اندازه متغییر ، طول متغیر خط تغییر فاز ، و غیره).



شکل۱.٤ تاخیر فاز فضایی تفاضلی رفلکت اری

دانشجویان محترم:

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

با تغییرات فرکانس، عامل $(N + d)\lambda$ می شود $(N + d)(\lambda + \Delta\lambda)$. از آنجا که طراحی و مرحله جبران برای هر عنصر برای فرکانس مرکز ثابت شده است ، یک خطای گردش فرکانس در بازتابش فاز به جلو اتفاق می افتد. مقدار تغییر فاز در هر راه زمانیکه با راه مرجع مقایسه می شود ، مثلا S_1 ، $(n+d)\Delta\lambda$است که می تواند بخش مهمی از طول موج یا ۳۶۰ درجه باشد.

برای کاهش میزان خطای فرکانس گردش، عدد صحیح N باید کاهش یابد. چند روش برای کاهش N وجود دارد.یکی این است : طراحی رفلکت اری با نسبت فاصله کانونی به قطر بزرگتر (f/d) و از این رو به حداقل رساندن تفاوت بین مسیرهای S_1 و S_2 . راه دوم ساده است، و برای جلوگیری از استفاده از رفلکت اری با ضخامت الکتریکی بزرگتراست . سومین روش برای کاهش خطای فرکانس گردش ، استفاده از خطوط هم تاخیر و یا خطوط بازمان تاخیر جزئی به جای تاخیر فاز است. به عبارت دیگر ، هنگامی که از روش خطوط تاخیر فاز استفاده می شود (نه روش اندازه پچ متفاوت) ، به جای استفاده از$d\Delta\lambda$ برای طول خط تاخیری می توان از $(N+d)\Delta\lambda$ برای خط تأخیر استفاده کرد.

روش دیگر برای افزایش پهنای باند استفاده از رفلکت اری خمیده مقعر با پچ های کوچک صاف به جای رفلکت اری مسطح کامل می باشد.این پچ های مسطح در رفلکت اری مزایای بیشتری نسبت به رفلکتور سهموی خمیده دارد : پرتوی آن قادر است به زوایای بزرگ با phase shifter درج شده به هر عنصر اسکن شود ، و برای آنتن توسعه پذیر فضایی ، در بعضی موارد پچ های مسطح برای رسیدن به حجم کوچکتر به آسانی قابل تا کردن هستند. اگرچه رفلکت اری محدودیت پهنای باند دارد ، ممکن است در آینده به سبب توانایی های زیاد ، توسعه، پژوهش و کاربردهای آنتن های رفلکت اری چاپی بی اندازه شود.

مراجع

1. John Huang and José A. Encinar , *Reflctarray Antenna* , Chapters 1 , 2 , 3 , 4 Copyright © 2008 by Institute of Electrical and Electronic Engineers

2. H. Jasik , *Antenna Engineering Handbook* , Chapters 12 and 15, MaGraw - Hill , New York , 1961 .

3. D. G. Berry , R. G. Malech , and W. A. Kennedy , " The refl ectarray antenna , " *IEEE Trans. Antennas Propagat* ., Vol. AP - 11 , Nov. 1963 , pp. 645 – 651 .

4. H. R. Phelan , " Spiralphase reflectarray for multitarget radar , " *Microwave Journal* , Vol. 20 , July 1977 , pp. 67 – 73 .

5. R. E. Munson and H. Haddad , " Microstrip reflectarray for satellite communication and RCS enhancement and reduction , " U.S. patent 4,684,952, Washington, D.C.,

6. J. Huang , " Microstrip reflectarray , " IEEE AP - S/URSI symposium, London, Canada, June 1991 , pp. 612 – 615 .

7. 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 .