Archive of SID

کنترل دامنه میدان بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی به منظور دستیابی به حداکثر بازدهی دهانه

سید مصطفی موسوی[1]، سید عبدالله میرطاهری[2]
۱دانشجوی دکتری مخابرات میدان، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، mousavi@ee.kntu.ac.ir
۲دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۹

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای دستیابی به حداکثر بازدهی دهانه در آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه ارائه شده است. این تکنیک با بهره‌گیری از یک آنتن آرایه بازتابی با پرتو شکل داده شده که به عنوان سطح بازتابنده فرعی به کار گرفته شده و سطح بازتابنده اصلی را به صورت بهینه روشن می‌کند محقق می‌شود. به کارگیری این تکنیک مشکل ذاتی آنتن‌های آرایه بازتابی را که عبارت است از عدم امکان کنترل دامنه میدان بر روی سطح بازتابنده اصلی، حل می‌نماید. در این راستا و به منظور اثبات قابلیت روش ارائه شده، بازدهی دهانه یک آنتن آرایه بازتابی دوگانه با استفاده از این تکنیک به طور قابل توجهی افزایش داده شده است. تحلیل‌های ارائه شده نشان می‌دهند که با به کارگیری این روش، بهبودی در حدود ۱۲٪ در بازدهی دهانه در مقایسه با آنتن‌های آرایه بازتابی متداول ایجاد شده است.

کلیدواژه

آنتن آرایه بازتابی، آنتن با پرتو شکل داده شده، بازدهی دهانه، آنتن دو-رفلکتوری

مقدمه

آنتن‌های آرایه بازتابی که در سالیان اخیر مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته‌اند سطوح بازتابنده مسطحی هستند که تعیین فاز جبهه موج در آن‌ها با تنظیم صحیح ابعاد هندسی المان‌هایی که بر روی یک زیرلایه دی‌الکتریک چاپ شده‌اند انجام می‌شود. این آنتن‌ها امروزه در بسیاری از کاربردها از قبیل مخابرات نظامی، مخابرات فضایی و سنجش از راه دور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در گذشته، آنتن‌های به کار رفته در چنین سیستم‌هایی به طور گسترده با بهره‌گیری از تکنولوژی آنتن‌های رفلکتوری و آرایه فازی که هزینه بسیار زیاد و نیز روند طراحی پیچیده‌ای را به طراح تحمیل می‌کنند پیاده‌سازی می‌شدند. این در حالی است به دلیل ویژگی‌های بسیار مطلوب آنتن‌های آرایه بازتابی، بسیاری از آنتن‌های رفلکتوری و آنتن‌های آرایه فازی به سرعت در حال جایگزین شدن توسط آنتن‌های آرایه بازتابی هستند. این ویژگی‌ها شامل حجم کم، وزن کم، روند طراحی گام به گام، قابلیت شکل‌دهی پرتو و هزینه بسیار پایین‌تر پیاده‌سازی این دسته از آنتن‌ها است [۱].

برخلاف آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه[1]، تئوری آنتن‌های آرایه بازتابی تک‌گانه در سالیان اخیر به بلوغ قابل توجهی دست یافته و اکثر سوالات در این حیطه در مقالات مختلف پاسخ داده شده است. در یک آنتن با دو سطح بازتابنده، می‌توان از آنتن آرایه بازتابی به عنوان یکی از دو سطح بازتابنده اصلی یا فرعی و یا به عنوان هر دو سطح بازتابنده بهره برد [۲و۳]. به کارگیری آنتن آرایه بازتابی در چنین ساختارهایی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان از مزایای آنتن‌های آرایه بازتابی و آنتن‌های با دو سطح بازتابنده به طور همزمان بهره برد. این مطلب از آن‌جا حائز اهمیت است که آنتن‌های با دو سطح بازتابنده دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که آن‌ها را از آنتن‌های با یک سطح بازتابنده متمایز می‌کند. در این میان می‌توان به ویژگی‌ها و مزایایی از قبیل امکان قرار دادن آنتن تغذیه در مکان مناسب، کاهش مقدار سرریز توان، کاهش سطح پلاریزاسیون متعامد و نیز امکان اسکن پرتو با حرکت دادن یکی از سطوح بازتابنده اشاره کرد [۴].

همان‌طور که می‌دانیم، دامنه میدان بر روی سطح آنتن‌های آرایه بازتابی قابل کنترل نبوده و توزیع آن با توجه به الگوی تابشی آنتن هورن تغذیه، به سطح بازتابنده تحمیل می‌شود. این مساله که از معایب آنتن‌های آرایه بازتابی در مقایسه با آنتن‌های آرایه فازی به شمار می‌رود باعث عدم وجود قابلیت کنترل الگوی تابشی با تنظیم توزیع دامنه میدان در آنتن‌های آرایه بازتابی می‌شود. در نتیجه با استفاده از ساختارهای آرایه بازتابی متداول، امکان مصالحه بین بهره آنتن و سطح لوب‌های کناری که دارای اهمیت بسیار زیادی

۱ Dual Reflectarray Antenna (DRA)

www.SID.ir

Archive of SID

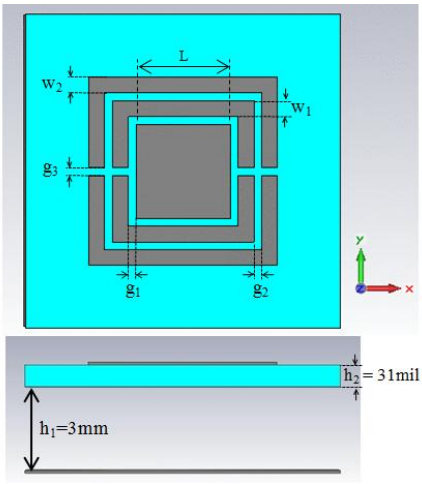
در کاربردهای مختلف به ویژه در مخابرات فضایی است [۵ و۶]، وجود ندارد. به منظور غلبه بر این مشکل، در این مقاله یک راه حل جدید به منظور ایجاد امکان کنترل دامنه میدان بر روی دهانه آنتن‌های آرایه بازتابی و با هدف دستیابی به حداکثر راندمان تشعشعی ارائه شده است. در این میان نکته‌ای که حائز اهمیت است آن است که تنها مرجعی که به کنترل دامنه میدان بر روی سطح آنتن‌های آرایه بازتابی پرداخته، مرجع [۷] است که با به کارگیری المان‌هایی با ضریب تلفات متفاوت، توزیع میدان را بر روی دهانه آنتن آرایه بازتابی تنظیم می‌کند. این روش دارای معایبی است که از آن‌ها می‌توان به کاهش بهره نهایی آنتن به دلیل ساختار تلفاتی المان‌ها و نیز تنها امکان کاهش دامنه میدان بر روی سطح المان‌ها و نه کنترل آن، اشاره کرد. این در حالی است که روش ارائه شده در نوشتار حاضر بر کنترل دامنه میدان بر روی دهانه آنتن آرایه بازتابی با طراحی مناسب میدان تابشی بر سطح بازتابنده استوار بوده و هیچونه تلفاتی به دامنه میدان تحمیل نمی‌کند.

به منظور اثبات اعتبار روش ارائه شده، یک آنتن آرایه بازتابی دوگانه مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا سعی شده است تا با استفاده از تکنیک ارائه شده، بهره و در نتیجه بازده دهانه این آنتن در بازه فرکانسی ۱۳/۵-۱۵GHz بیشینه شود. علاوه بر آن و به منظور نشان دادن میزان بهبود ایجاد شده در بهره و بازدهی دهانه آنتن طراحی شده، نتایج به دست آمده با نتایج شبیه‌سازی چندین آنتن آرایه بازتابی رایج مقایسه شده است. نکته حائز اهمیت در این میان، به کارگیری روشی مبتنی بر اصل دوم هم‌ارزی در الکترومغناطیس به منظور تحلیل و شبیه‌سازی آنتن‌های آرایه بازتابی بوده که این روش به اختصار در مقاله آورده شده است.

علاوه بر مطالب بیان شده و به منظور تحقق توزیع فاز به دست آمده بر روی سطوح بازتابنده اصلی و فرعی، یک سلول واحد با محدوده فازی وسیع با استفاده از پچ بارگذاری شده توسط حلقه‌های شکاف‌دار طراحی و ارائه شده است. هم‌چنین انتخاب المان مناسب، با استفاده از یک روش بهینه‌سازی جدید که خطای فاز ناشی از تحقق فاز توسط المان‌های آنتن را در سراسر پهنای باند کمینه می‌کند صورت گرفته است.

طراحی المان

به منظور تحقق توزیع فاز بر روی سطوح بازتابنده آنتن آرایه بازتابی دوگانه، ابعاد المان‌های قرار گرفته بر روی این سطوح بایستی به نحوی تنظیم شوند تا فاز مورد نظر برای هر سلول بر روی شبکه آنتن آرایه بازتابی محقق گردد. بر این اساس، المانی متشکل از کلاس‌های مختلف یک پچ مربعی شکل بارگذاری شده توسط حلقه‌های شکاف‌دار معرفی و در شکل ۱ نشان داده شده است. این المان با تغییر فاصله بین پچ و حلقه اول (g_1)، فاصله بین حلقه‌ها (g_2)، عرض خط حلقه اول (w_1)، عرض خط حلقه دوم (w_2) و ابعاد پچ مربعی شکل (L) فازهای مورد نیاز را ایجاد می‌کند. مشخصات ساختاری این المان که کلاس‌های مختلف پاسخ فاز این المان را ایجاد می‌کنند در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که المان معرفی شده نمونه بهبود یافته المان ارائه شده در مقاله [۸] است که با به کارگیری حلقه‌های شکاف‌دار در آن، پاسخ فاز المان برای پلاریزاسیون عمودی و افقی متفاوت شده‌اند. این تفاوت نهایتا باعث کاهش سطح مولفه پلاریزاسیون متعامد در پرتو تابشی آنتن خواهد شد.



شکل ۱. المان آنتن آرایه بازتابی

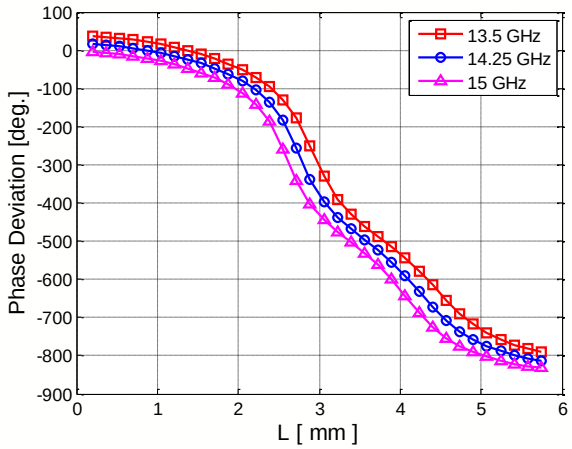
جدول ۱. مشخصات پارامترهای ساختاری المان آنتن آرایه بازتابی

w_1,w_2 (mm)	g_1, g_2 (mm)	g_3 (mm)	L (mm)
۰/۲-۰/۶ گام : ۰/۲	۰/۲-۰/۳ گام : ۰/۲	۰/۲۵	۰/۲-۵/۸ گام : ۰/۰۵

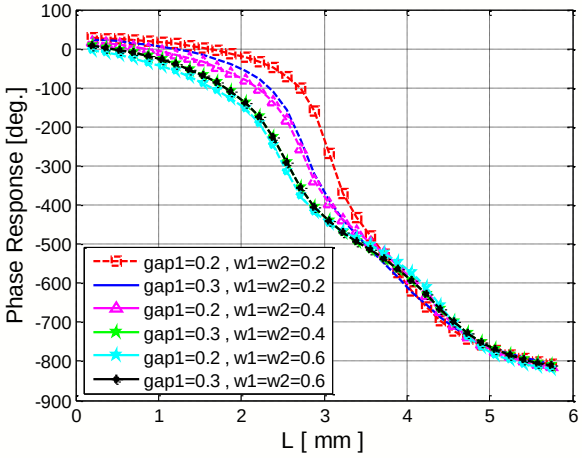
این المان‌ها بر روی یک زیرلایه ارزان قیمت RO4730 که مس لایه زیرین آن به طور کامل پاک شده و توسط استوانه‌هایی از جنس فلکسی‌گلس به فاصله ۳mm بالاتر از صفحه زمین نگه داشته شده، چاپ می‌شوند. رفتار المان معرفی شده با شبیه‌سازی کلاس‌های مختلف سلول واحد آن در فرکانس‌های ابتدایی، انتهایی و وسط باند به دست آمده و در شکل ۲ آورده شده است. علاوه بر آن پاسخ فاز المان آنتن آرایه بازتابی به ازای مقادیر مختلف ابعاد پچ (L) در حالات مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، این المان از محدوده فازی وسیعی بهره می‌برد که این خود امکان پهن‌باند کردن آنتن آرایه بازتابی را فراهم می‌آورد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. پاسخ فاز سلول واحد در فرکانس‌های ابتدایی، انتهایی و وسط باند به ازای $w_1=w_2=0/4$ و $g_1=g_2=0/2$



شکل ۳. پاسخ فاز آلمان آنتن آرایه بازتابی به ازای مقادیر مختلف عرض خط و فاصله بین حلقه‌ها

آنالیز آنتن های آرایه بازتابی دوگانه

از آن‌جا که هدف این مقاله بهبود مشخصات تشعشعی آنتن‌های آرایه بازتابی دو گانه می‌باشد، لذا لازم است مروری مختصر و تیتروار بر نحوه آنالیز این دسته از آنتن‌ها که مبتنی بر اصل هم ارزی در الکترومغناطیس بوده داشته باشیم. آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه از سه المان آنتن تغذیه و دو آنتن آرایه بازتابی به عنوان سطوح بازتابنده فرعی و اصلی تشکیل شده‌اند. از آن‌جا که میدان تابشی بر روی هر یک از المان‌های سطح بازتابنده اصلی ناشی از میدان بازتابش شده از تمامی المان‌های بازتابنده فرعی می‌باشد، از این رو آنالیز آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه به مراتب پیچیده تر از آنالیز آنتن‌های آرایه بازتابی تک‌گانه می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده در [۳] می‌توان روند آنالیز آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه را به چهار مرحله تقسیم بندی نمود که به ترتیب به صورت زیر خواهد بود:

- در گام اول، میدان تابیده شده بر سطح هر یک از المان‌های آنتن آرایه بازتابی فرعی، ناشی از تابش آنتن تغذیه، محاسبه می‌شود. در این راستا میدان تشعشعی آنتن تغذیه به صورت $\cos^q\theta$ و یا به صورت یک تابع گاوسی در نظر گرفته می‌شود.
- در گام دوم، میدان بازتابی از هر یک از المان‌های آنتن آرایه بازتابی فرعی با در نظر گرفتن میدان تابیده شده به هر یک از آن‌ها و پاسخ فاز بازگشتی المان محاسبه می‌شود.
- در گام سوم، میدان ایجاد شده بر روی سطح بازتابنده اصلی محاسبه می‌شود. برای این منظور، میدان ایجاد شده توسط هر یک از المان‌های سطح بازتابنده فرعی در محل تک تک المان‌های سطح بازتابنده اصلی محاسبه شده و با استفاده از اصل برهم‌نهی، میدان ایجاد شده بر روی سطح هر یک از المان‌های قرار گرفته بر روی بازتابنده اصلی محاسبه می‌شود.
- در گام چهارم، میدان تابشی ساختار آنتنی با استفاده از پاسخ فاز المان‌های قرار گرفته بر روی بازتابنده اصلی و نیز میدان الکتریکی تابیده شده بر سطح آن محاسبه می‌شود.

لازم به ذکر است که روابط مربوط به هر یک از مراحل ذکر شده نسبتا پیچیده بوده و به طور مفصل در [۳] شرح داده شده است.

روش طراحی

با به کارگیری قابلیت شکل‌دهی پرتو در آنتن آرایه بازتابی که به عنوان بازتابنده فرعی در ساختار آنتنی مورد نظر استفاده شده است می‌توان نحوه توزیع دامنه میدان بر روی بازتابنده اصلی را به شکل دلخواهی تعیین نمود. از سوی دیگر، دستیابی به بیشینه بازدهی دهانه که در آنتن‌های آرایه بازتابی از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و ارتباط مستقیمی با شکل میدان آنتن تغذیه دارد را می‌توان با یکنواخت روشن کردن سطح دهانه و نیز با کاهش میزان توان سرریز از لبه‌ها محقق نمود. تکنیک ارائه شده در این مقاله، بر اساس بیشینه کردن مقدار بازدهی دهانه از طریق بیشینه کردن حاصلضرب بازدهی سرریز و بازدهی روشنایی و با استفاده از شکل‌دهی مناسب پرتو بازتابنده فرعی، پایه‌گذاری شده است. در عمل این مساله زمانی محقق می‌شود که سطح بازتابنده اصلی توسط یک پرتو بخشی[۲] که به صورت مناسبی طراحی شده است روشن شود. لازم به ذکر است که یک پرتو بخشی در واقع یک الگوی تابشی شکل داده شده است که دامنه آن بر روی یک سطح بسته از زوایایی کروی مقداری ثابتی داشته و در مابقی زوایا، دامنه میدان صفر باشد. این رویکرد در آنتن‌های رفلکتوری که در آن‌ها از آنتن‌های آرایه فازی به عنوان آنتن تغذیه استفاده می‌شود معمول بوده و در عین حال هزینه و پیچیدگی بسیار زیادی را به طراح تحمیل می‌کند. در این مقاله، این نیاز با شکل‌دهی مناسب پرتو بازتابنده‌ی فرعی در ساختاری متشکل از دو آنتن آرایه بازتابی با هزینه‌ای به مراتب کمتر، برآورده شده است. در این ساختار، مرکز فاز ساختار آنتنی نقطه‌ای است که امتداد میدان‌های تابیده

2 Sector Beam

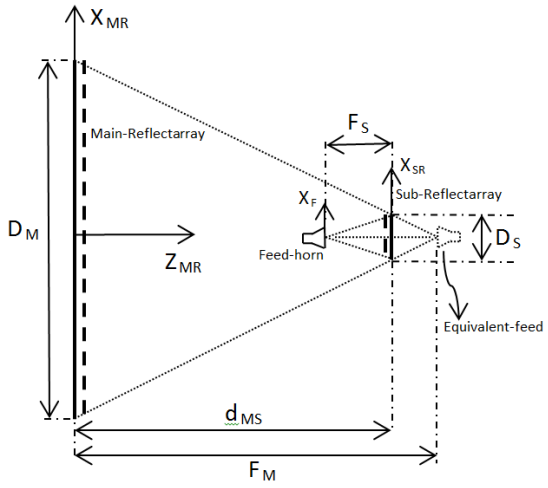
www.SID.ir

Archive of SID

شده بر سطح بازتابنده‌ی اصلی از آن نقطه عبور می‌کنند. بر این اساس، برای تعیین ماسک مورد نیاز به منظور شکل‌دهی پرتو بازتابنده‌ی فرعی، زوایای کروی از دستگاه مختصات واقع بر این مرکز فاز مجازی محاسبه می‌شوند. این ماسک در صفحه‌ی u-v که u و v زوایای کروی ($u=\sin\theta\cos\varphi$, $v=\sin\theta\sin\varphi$) هستند تعریف می‌شود.

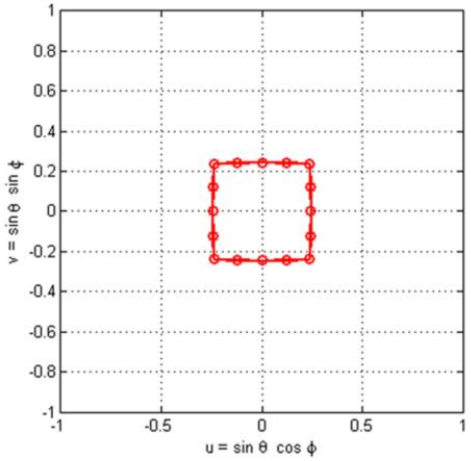
این ماسک بایستی به نحوی طراحی شود که دامنه‌ی میدان الکتریکی یکنواختی بر روی سطح تمامی المان‌های بازتابنده‌ی اصلی ایجاد شده و در مابقی زوایا، دامنه‌ی میدان الکتریکی صفر باشد. برای ایجاد ماسک مناسب برای آنتن آرایه بازتابی دوگانه‌ی مورد بررسی، لازم است که ابتدا مختصات نقاط قرار گرفته در لبه‌ی بازتابنده‌ی اصلی در مختصات مرکز فاز مجازی ذکر شده تعیین شود. با اتصال نقاط به دست آمده به یکدیگر یک چندوجهی در صفحه‌ی u-v ایجاد می‌شود که در واقع مرزهای ماسک مورد نظر برای شکل‌دهی پرتو را ایجاد می‌کند. آنتن آرایه بازتابی قرار گرفته به عنوان سطح بازتابنده‌ی فرعی باید به نحوی طراحی شود که دامنه میدان پرتو تابشی آن در زوایای قرار گرفته در داخل این چندوجهی مقدار ثابتی داشته و در بقیه‌ی زوایا برابر با صفر باشد. هرچند تحقق عملی این مطلب با توجه به تغییر ناگهانی میدان در مرزهای این چندوجهی غیر ممکن است ولی نهایت تلاش در راستای ایجاد پرتویی مشابه پرتو ایده‌آل صورت پذیرفته است. بلوک دیاگرام روند طراحی بیان شده در شکل ۴ آورده شده است.

شکل ۴. بلوک دیاگرام روند طراحی روش ارائه شده برای کنترل دامنه میدان بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی



شکل ۵. نمایی از ساختار هندسی آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه مورد مطالعه

به منظور نشان دادن کارایی و عملی بودن روش ارائه شده، یک آنتن آرایه بازتابی دوگانه با هدف دستیابی به حداکثر بازدهی دهانه در باند فرکانسی ۱۵-۱۳/۵ GHz طراحی شده است. ساختار انتخاب شده یک ساختار متقارن محوری بوده و پلاریزاسیون آنتن هورن تغذیه در راستای محور x در نظر گرفته شده است (شکل ۵). المان‌ها بر روی هر دو سطح بازتابنده فرعی و اصلی در یک چیدمان با دوره تناوب ۱۰mm در راستای محور x و y قرار گرفته‌اند. علاوه بر آن، سطوح بازتابنده فرعی و اصلی به صورت مربعی شکل و به ترتیب با ابعاد ۱۹cm×۱۹cm و ۲۰۱cm×۲۰۱cm در نظر گرفته شده‌اند. آنتن هورن تغذیه به فاصله ۱۲ سانتی‌متری از مرکز بازتابنده فرعی بوده و بازتابنده فرعی به صورت موازی با بازتابنده اصلی و در فاصله ۳/۵ متری آن قرار گرفته است. به منظور طراحی بازتابنده فرعی و تعیین توزیع فاز مناسب بر روی سطح آن، ماسک مناسب برای الگوی تابشی این آنتن با در نظر گرفتن ساختار آنتنی مورد نظر محاسبه شده و در شکل ۶ نشان داده شده است.



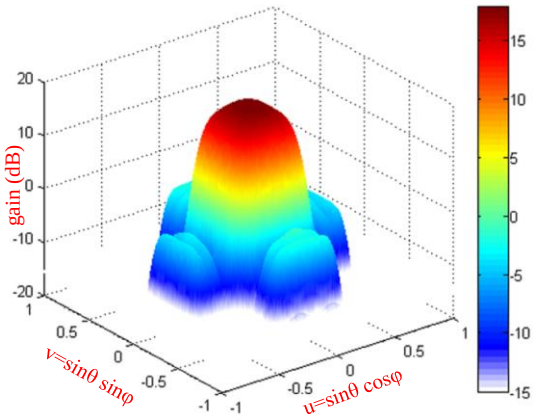
شکل ۶. مرزهای ماسک مناسب برای پرتو بخشی آنتن آرایه بازتابی فرعی

www.SID.ir

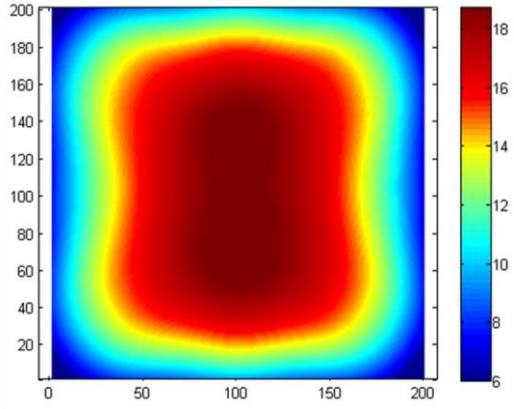
Archive of SID

با به کارگیری روش ارائه شده در [۹] برای شکل‌دهی پرتو و با استفاده از حدود ماسک نشان داده شده در شکل ۶، توزیع فاز مناسب بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی فرعی تعیین می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، این آنتن دارای پرتویی بخشی است که بهره آن در برخی از زوایای کروی مقداری ثابت داشته و در زوایای دیگر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

با استفاده از روش بیان شده در بخش‌های قبلی برای آنالیز آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه، توزیع دامنه میدان بر روی سطح بازتابنده اصلی محاسبه شده و در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود دامنه میدان در سطح وسیعی از بازتابنده اصلی یکنواخت بوده و با شیب قابل توجهی در لبه‌ها کاهش می‌یابد



شکل ۷. بهره پرتو شکل داده شده آنتن آرایه بازتابی فرعی در صفحه u-v



شکل ۸. توزیع دامنه میدان الکتریکی بر روی سطح بازتابنده اصلی

به منظور نشان دادن توانمندی روش ارائه شده و نیز درک بهتر بهبود ایجاد شده در مشخصات آنتن طراحی شده، دو آنتن آرایه بازتابی دوگانه دیگر به همراه یک آنتن آرایه بازتابی تک‌گانه طراحی و مشخصات تشعشعی آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. مقایسه الگوی تابشی آنتن‌های طراحی شده میزان بهبود بازدهی دهانه آنتن در تکنیک ارائه شده را به وضوح نشان می‌دهد. مشخصات سه آنتن طراحی شده دیگر که به عنوان مرجع و برای مقایسه طراحی شده‌اند به شرح زیر است. هم‌چنین، ابعاد هندسی این آنتن‌ها، با توجه به ساختار نشان داده شده در شکل ۵، در جدول ۲ آورده شده است.

- آنتن آرایه بازتابی دوگانه ، نوع اول: در این آنتن، بازتابنده فرعی یک آنتن آرایه بازتابی با پرتو مدادی شکل می‌باشد. تنها تفاوت ساختاری این آنتن با آنتن آرایه بازتابی اصلاح شده، در اندازه بازتابنده فرعی آن است که اندازه آن برای ایجاد روشنایی لبه ۱۰dB- در سطح بازتابنده اصلی کاهش یافته است.
- آنتن آرایه بازتابی دوگانه، نوع دوم: مشخصات ساختاری این آنتن کاملا مشابه آنتن آرایه بازتابی اصلاح شده است. تنها تفاوت ایجاد شده در پرتو بازتابنده فرعی است که یک پرتو مدادی شکل خواهد بود.
- آنتن آرایه بازتابی تک‌گانه: ابعاد سطح بازتابنده در آنتن آرایه بازتابی تک‌گانه طراحی شده دقیقا مشابه بازتابنده اصلی در آنتن آرایه بازتابی دوگانه اصلاح شده بوده و مرکز فاز آنتن هورن تغذیه آن بر مرکز فاز مجازی آنتن اصلاح شده منطبق است. علاوه بر آن، آنتن هورن طوری طراحی شده است که حداکثر بازدهی دهانه آنتن به دست آید.

جدول ۲. مشخصات ساختاری آنتن‌های آرایه بازتابی مورد مطالعه

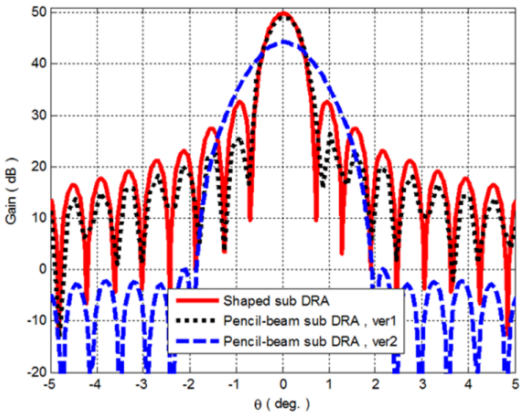
	ابعاد بازتابنده اصلی	ابعاد بازتابنده فرعی	فاصله بین سطوح بازتابنده
آنتن اصلاح شده	۲۰۱cm×۲۰۱cm	۱۹cm×۱۹cm	۳/۵m
آنتن نوع اول	۲۰۱cm×۲۰۱cm	۹cm×۹cm	۳/۵m
آنتن نوع دوم	۲۰۱cm×۲۰۱cm	۱۹cm×۱۹cm	۳/۵m
آنتن آرایه بازتابی تک‌گانه	۲۰۱cm×۲۰۱cm	—	۳/۸۶ m (فاصله مرکز فاز هورن تا سطح بازتابنده)

آنتن‌های آرایه بازتابی طراحی شده با استفاده از روش‌های ارائه شده در [۳و۹] مورد تحلیل قرار گرفته و الگوی تابشی صفحه E آن‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است. در این شکل مقایسه‌ای بین الگوی تابشی آنتن آرایه بازتابی دوگانه با سطح بازتابنده اصلاح شده و دو آنتن آرایه بازتابی دوگانه با بازتابنده‌هایی که پرتو مدادی شکل دارند صورت گرفته است. در رابطه با آنتن آرایه بازتابی نوع دوم این نکته لازم به ذکر است که بهره این آنتن به جهت استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

از یک بازتابنده فرعی با بهره بالا، به شدت کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که از دست دادن بهره در این ساختار منتج به کاهش شدید سطح لب‌های فرعی شده که می‌تواند در بسیاری از کاربردها مطلوب باشد. در رابطه با این مطلب، مهمترین نکته‌ای که به چشم می‌آید ایجاد امکان مدیریت و مصالحه بین بهره و سطح لب‌های کناری در آنتن‌های آرایه بازتابی پیاده‌سازی شده توسط این روش می‌باشد.



شکل ۹. الگوی تابشی صفحه E آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه طراحی شده

ورای مسائل بیان شده، بهره آنتن آرایه بازتابی دوگانه با سطح بازتابنده شکل داده شده، برابر ۴۹/۸۴dB بوده که این مقدار معادل بازدهی دهانه ۸۴/۱٪ در فرکانس مرکزی است. علاوه بر آن میزان افزایش بهره در ساختار اصلاح شده در حدود ۰/۶dB بیشتر از بهره آنتن آرایه بازتابی دوگانه‌ای متداول مشابه با بیشترین بهره ممکن است. بهبود ایجاد شده در ساختار اصلاح شده معادل افزایش ۱۲ درصدی بازدهی دهانه در مقایسه با آنتن‌های آرایه بازتابی ارائه داده شده در این مقاله بوده که این میزان بهبود در آنتن‌های رفلکتوری و آنتن‌های آرایه بازتابی بسیار قابل توجه می‌باشد. برای درک بهتر مطلب، مقایسه‌ای بین بهره، بازدهی دهانه و سطح لب‌های کناری آنتن اصلاح شده و سه آنتن آرایه بازتابی دیگر در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. حداکثر بهره، بازدهی دهانه و سطح لب‌های کناری آنتن‌های آرایه بازتابی طراحی شده

	حداکثر بهره (dBi)	بازدهی دهانه	SLL (dBc)
آنتن اصلاح شده	۴۹/۸۴	۸۴/۱٪	۱۷/۳۵
آنتن نوع اول	۴۹/۲۲	۷۲/۹٪	۲۳/۶
آنتن نوع دوم	۴۴/۱۹	۲۲٪	۴۳/۲
آنتن آرایه بازتابی تک‌گانه	۴۹/۳۹	۷۵/۱٪	۲۳/۱

انتخاب المان مناسب برای تحقق فاز مورد نظر و بررسی رفتار فرکانسی آنتن‌های طراحی شده

به منظور کنترل الگوی تابشی آنتن‌های آرایه بازتابی طراحی شده در باند فرکانسی مورد نظر و نیز به منظور رهایی از خطای فاز ایجاد شده در توزیع فاز محقق شده توسط المان‌ها و در نتیجه آن دستیابی به الگوی تابشی مناسب در سراسر باند فرکانسی مورد نظر، ابتدا توزیع فاز مورد نیاز بر روی سطوح بازتابنده در فرکانس‌های ابتدایی (f_L)، انتهایی (f_H) و وسط باند (f_C) محاسبه می‌شود. در ادامه با توجه به پاسخ فاز المان‌های به دست آمده و نیز فاز مورد نظر، المان مناسب برای تحقق فاز در تک تک نقاط سطح آنتن آرایه بازتابی انتخاب می‌شود. جزئیات این مطلب به طور مفصل در مرجع [۱۰] شرح داده شده است. نکته‌ای که در این میان توجه به آن بسیار حائز اهمیت است آن است که هر چند روش ارائه شده در این مقاله بهترین روش موجود برای انتخاب المان مناسب می‌باشد ولی توجه به دو نکته ارزشمند در به کارگیری این روش باعث می‌شود که خطای فاز حین انتخاب المان به حداقل کاهش یابد. این نکات عبارتند از:

- توزیع فاز محاسبه شده بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی، تنها توزیع فازی نیست که منجر به تحقق الگوی تابشی مورد نظر می‌شود. به بیان دیگر اگر [Ψ]، ماتریس مربوط به توزیع فاز مناسب در هر یک از فرکانس‌های ابتدایی، انتهایی و یا وسط باند فرکانسی باشد، آنگاه ماتریس "[Ψ]+θ" که در آن θ یک فاز ثابت دلخواه است نیز همان الگوی تابشی مورد نظر را ایجاد می‌کند.
- از آنجا که توان بیشتری به المان‌های قرار گرفته در نقاط نزدیکتر به مرکز سطح بازتابنده می‌رسد در نتیجه این المان‌ها تاثیر بیشتری در شکل پرتو نهایی آنتن خواهند داشت. بر این اساس به منظور دستیابی به الگوی تابشی مورد نظر و کاهش خطا می‌توان یک تابع وزنی به المان‌های مختلف با توجه به میزان نزدیک یا دور بودن آن‌ها از مرکز آرایه تعیین کرد.

www.SID.ir

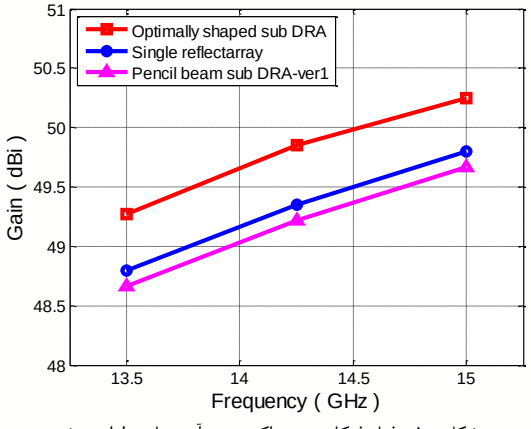
Archive of SID

$$Error_{min}=\min\left\{\sum_{m,n}e(m,n)\right\}=\min\left\{\sum_{m,n}\sum_{i=L,C,H}\left[\left|\Psi_{Desired}(f_i)(m,n)-\Psi_{Achieved}(f_i)(m,n)+\theta_L+\theta_U\right|\times w(m,n)\right]\right\} \quad (1)$$

$$for \quad -180^\circ < \theta_L < 180^\circ \quad \& \quad -180^\circ < \theta_H < 180^\circ$$

با توجه به دو نکته بیان شده در بالا، رابطه موجود در [۱۰] برای کمینه کردن خطای فاز به هنگام تحقق فاز مورد نظر می‌تواند به صورت رابطه ۱ اصلاح شده و مناسب‌ترین چیدمان المان بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی حاصل می‌شود. در این رابطه (m,n) معرف محل المان مورد نظر بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی بوده و $\Psi_{Desired}$ و $\Psi_{Achieved}$ به ترتیب توزیع فاز مطلوب و توزیع فاز محقق شده توسط المان‌ها بر روی سطح آنتن آرایه بازتابی در هر یک از فرکانس‌های ابتدایی، انتهایی یا میانی باند می‌باشد. به منظور انتخاب مناسب‌ترین المان برای هر محل (m,n) بر روی شبکه آنتن آرایه بازتابی، لازم است که رابطه (۱) برای تمامی حالات پاسخ فاز المان طراحی شده و نیز تمامی مقادیر θ_L و θ_H محاسبه شود. چیدمانی از المان‌ها که خطای فاز ناشی از تحقق فاز توسط المان‌ها را کمینه کند در نهایت به عنوان چیدمان بهینه انتخاب می‌شود. در این مقاله از آن‌جا که سطح بازتابنده اصلی آنتن آرایه بازتابی دوگانه به صورت یکنواختی روشن می‌شود، تابع وزنی به ازای تمامی المان‌ها برابر مقدار یک در نظر گرفته شده است. این در حالی است که برای سایر آنتن‌ها که برای مقایسه در اینجا آورده شده‌اند به جهت یکنواخت نبودن توزیع دامنه میدان بر روی بازتابنده اصلی، تابع وزنی بر روی بازتابنده اصلی به صورت w(m,n)=۲ برای مقادیر ۵۰<m,n<۱۵۰ و w(m,n)=۱ برای سایر نقاط در نظر گرفته شده است.

با توجه به مطالب بیان شده بهترین چیدمان المان بر روی سطح بازتابنده آنتن‌های آرایه بازتابی طراحی شده در بازه فرکانسی ۱۳/۵-۱۵GHz تعیین شده و حداکثر بهره هر یک از این ساختارها در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. رفتار فرکانسی حداکثر بهره آنتن‌های طراحی شده

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بهره آنتن آرایه بازتابی طراحی شده با تکنیک ارائه شده در این مقاله حدود ۰/۶dB بیشتر از بهره آنتن‌های آرایه بازتابی دوگانه و تک‌گانه متداول در باند فرکانسی موردنظر بوده و این مبین بهبود ۱۲درصدی در بازدهی دهانه است که مقدار قابل توجهی به شمار می‌رود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله امکان کنترل توزیع دامنه میدان بر روی سطح آنتن‌های آرایه بازتابی با هدف دستیابی به حداکثر بهره ممکن مورد بررسی قرار گرفته است. این هدف با به‌کارگیری یک آنتن آرایه بازتابی که به عنوان سطح بازتابنده فرعی در یک ساختار آرایه بازتابی دوگانه به کار گرفته شده، محقق شده است. علاوه بر آن و به منظور تحقق فاز مورد نظر بر روی سطوح آنتن آرایه بازتابی، المانی با گستره فازی وسیعی طراحی شده و با استفاده از روشی نو، المان مناسب برای هر یک از سلول‌های آنتن آرایه بازتابی اختصاص داده شده است. مثال‌های آورده شده در این مقاله مبین کارایی روش ارائه شده برای بیشینه کردن بهره آنتن در باند فرکانسی مورد نظر بوده به طوری‌که نتایج شبیه‌سازی افزایشی در حدود ۰/۶dB در بهره و افزایشی در حدود ۱۲٪ را در بازدهی دهانه آنتن اصلاح شده نشان می‌دهند.

مرجع‌ها

[1] J. Huang and J. A. Encinar, Reflectarray antennas, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008

[2] C. Tienda, M. Arrebola, and J. A. Encinar, "General analysis tool for reflectarray antennas in dual reflector configurations," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Rome, Apr. 2011, pp. 992-996.

[3] C. Tienda, M. Arrebola, and J. A. Encinar, G. Toso, "Analysis of a dual-reflectarray antenna," IET Microwaves, Antennas & Propag., Vol. 5, no. 13, pp. 1636-1645, Oct. 2011.

[4] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005.

[5] B.G. Evans, Satellite Communication Systems (3rd edition), IEE Telecommunications Series, 1999, pp. 321-346.

[6] V. Galindo, "Design of dual-reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distributions," IEEE Trans Antennas Propag., Vol. 12, no. 4, pp. 403–408, Jul. 1964.

[7] J. Li, Q. Chen, K. Sawaya, and Q. Yuan, "Amplitude controlled reflectarray using non-uniform

www.SID.ir

Archive of SID

FSS reflection plane," IEEE Int. Sym. Antennas and Propag. (APSURSI), Spokane, WA, 2011, pp. 2180 – 2183.

[8] A. Vosoogh, K. Keyghobad, A. Khaleghi, and S. Mansouri, "A High-Efficiency Ku-Band Reflectarray Antenna Using Single-Layer Multiresonance Elements," IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 13, pp. 891-894, Apr. 2014.

[9] J. A. Zornoza and J. A. Encinar, "Efficient phase-only synthesis of contoured-beam patterns for very large reflectarrays," Int. Journal of RF and Microwave CAE, vol. 14, no. 5, pp. 415-423, Sep. 2004.

[10] M. R. Chaharmir, J. Shaker, N. Gagnon, and D. Lee, "Design of broadband, single layer dual-band large reflectarray using multi open loop elements," IEEE Trans Antennas Propag., Vol. 58, no. 9, pp. 2875–2883, Sep. 2010.

www.SID.ir