

لنز مسطح میکرواستریبی با تنوع پلاریزاسیون در باند X

محمد رضا مهدویانی^{۱*}، نادر کمجانی^۲

۱- کارشناسی ارشد ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت: ۹۲/۱۲/۲۶، پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۹)

چکیده

در این مقاله ساختار یک لنز جدید با تنوع پلاریزاسیون معرفی می‌شود. این لنز، بسته به جهت پلاریزاسیون خطی آنتن تغذیه، می‌تواند دارای پلاریزاسون دایروی راستگرد، دایروی چپگرد و یا پلاریزاسون خطی باشد. این عمل به وسیله طراحی آرایه‌ای انتقالی از عناصر پچ مربعی میکرواستریبی با تزویج دهانه‌ای صورت گرفته است. عناصر این آرایه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که امکان انتقال میدان الکتریکی برای هر دو امتداد x و y را دارند. برای تولید پلاریزاسیون دایروی با عناصر دارای پلاریزاسیون خطی، از روش چرخش ترتیبی استفاده می‌نماییم. پهنای باند کلی این ساختار جدید ۵ درصد و کارایی دهانه آن در حدود ۱۵ درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی

لنز مسطح، تنوع پلاریزاسیون، آرایه انتقالی، تغذیه فضایی، چرخش ترتیبی

۱. مقدمه

قرار می‌گیرند. عناصر لنزهای آرایه‌ای از نوع انتقالی هستند اما عناصر آرایه‌های انعکاسی از نوع انعکاسی می‌باشند. لنزهای مسطح (برای این نوع لنزها از واژه‌های لنزهای گسسته^۱ و یا آرایه‌های انتقالی^۲ نیز استفاده می‌کنند) دارای مزایای قیمت و وزن مثل آنتن‌های آرایه انعکاسی می‌باشند در حالی که مزایای لنزهای دی‌الکتریک را نیز دارند. این لنزها عیب مسدود شدن موج توسط تغذیه در آرایه‌های انعکاسی را برطرف می‌کنند و می‌توانند همزمان چندین تغذیه داشته باشند. همچنین برای آرایه‌های بزرگ، لنزها عملکرد بهتری نسبت به آرایه‌های انعکاسی دارند و نسبت به خطاهای ساخت حساسیت کمتری دارند. از معایب لنزها این است که نیاز به عناصر دریافت و ارسال دارند (حداقل دولایه) اما آرایه‌های انعکاسی فقط به عناصر انعکاسی نیاز دارند. همچنین لنزها نسبت به آرایه‌های انعکاسی فضای بیشتری اشغال می‌کنند.

از کاربردهای لنزها می‌توان به مرور پرتو، تصحیح جبهه فاز آنتن و شکل‌دهی به پرتو اشاره کرد که در سیستم‌های ماهواره‌ای

موضوع آنتن لنز از کارهای انجام‌شده در زمینه اپتیک تأثیر گرفته است. در اپتیک، لنزها برای شکست نور و آینه‌ها برای انعکاس نور به کار می‌روند. در مایکروویو نیز لنزها برای همگرا یا واگرا کردن امواج الکترومغناطیسی به کار می‌روند و جبهه فاز تابشی را به جبهه فاز دلخواه تبدیل می‌کنند که معمولاً این تبدیل از جبهه فاز کروی به جبهه فاز مسطح صورت می‌گیرد. لنز به همراه آنتن تغذیه، یک آنتن با دهانه بزرگ را تشکیل می‌دهد. وقتی که آنتن در مود گیرنده است، لنز میدان برخوردی به دهانه را در تغذیه متمرکز می‌کند و در مود فرستنده، لنز تشعشع از تغذیه را در یک پرتو باریک متمرکز می‌کند.

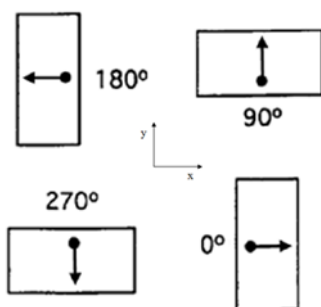
لنزهای آرایه‌ای شامل یک تغذیه و آرایه‌ای از عناصر، همانند آرایه‌های انعکاسی می‌باشند. این عناصر می‌توانند پچ‌های میکرواستریبی باشند که در یک ساختار مسطح یا ساختار منحنی

¹ Discrete lens

² Transmit array

۲. ساختار لنز

مزیت لنز معرفی شده در [۱] تبدیل پلاریزاسیون خطی به پلاریزاسیون دایروی با پهنای باند نسبت محوری زیاد می باشد. همچنین پهنای باند -1dB این لنز $17/6$ درصد است که نسبتاً خوب است اما کارایی دهانه این لنز پایین و به مقدار 15 درصد می باشد. علت این امر، گسسته‌سازی فاز و استفاده از عناصر خطی با روش چرخش ترتیبی [۱۵، ۱۶] برای تولید پلاریزاسیون دایروی می باشد که منجر به کاهش جهت‌دهی می‌شود. روش چرخش ترتیبی برای تولید پلاریزاسیون دایروی با استفاده از عناصر خطی به کار می‌رود. با داشتن چهار عنصر با پلاریزاسیون خطی، فاز مورد نیاز برای تغذیه این عناصر، $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ درجه است که متناسب با این فاز، عناصر نیز باید دارای چرخش مکانی به اندازه فاز تغذیه شوند. این روش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. روش چرخش ترتیبی برای تولید پلاریزاسیون دایروی از عناصر خطی

همان‌طور که از اسم این روش مشخص است ترتیب چرخش و اختلاف فاز تغذیه دارای اهمیت بوده و تعیین کننده نوع پلاریزاسیون دایروی چپگرد و راستگرد می‌باشد.

ساخت لنز [۱] نیز به دلیل استفاده از میله‌های رسانا دشوار است که از معایب آن می‌باشد. همچنین این لنز فقط امکان تولید یک نوع پلاریزاسیون دایروی را دارد و توزیع پچ‌ها روی دهانه لنز غیر منظم است که باعث محدودیت کوپل و فاصله بین عناصر می‌شود. در این مقاله به معرفی لنزی می‌پردازیم که با استفاده از ساختار شکافی که ساخت آسان‌تری دارد و پچ‌های با توزیع منظم، امکان تولید هر دو پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد را داشته باشد. این لنز به گونه‌ای است که اگر منبع با پلاریزاسیون خطی در امتداد محور x به آن بتابد، پلاریزاسیون دایروی راستگرد تولید می‌شود و اگر امتداد پلاریزاسیون خطی منبع در راستای y باشد پلاریزاسیون دایروی چپگرد تولید می‌شود. برای این منظور، سلول واحد طرح باید امکان انتقال هر دو مولفه میدان الکتریکی در امتداد x و y را داشته باشد.

و سیستم‌های راداری استفاده می‌شوند. از جمله کاربردهای پلاریزاسیون دایروی نیز استفاده در سیستم‌های فضایی می‌باشد که باعث بی‌اثر شدن چرخش فارادی در یونسفر می‌شود. همچنین این پلاریزاسیون نیاز به هم راستا بودن آنتن‌های فرستنده و گیرنده در پلاریزاسیون خطی را حذف می‌کند و اثر انعکاس از زمین و پدیده چند مسیری را از بین می‌برد.

یکی از روش‌های ایجاد اختلاف فاز که در پلاریزاسیون دایروی کاربرد دارد چرخش عناصر می‌باشد. این روش برای لنزهای مایکرواستریپی نیز به کار گرفته شده است. لنز [۱] از عناصری شامل پچ‌های مستطیلی در دو طرف صفحه زمین تشکیل شده و از میله رسانا^۱ برای اتصال پچ‌ها به یکدیگر استفاده کرده است. این لنز به وسیله یک تغذیه با پلاریزاسیون خطی تحریک می‌شود و عناصر نیز پلاریزاسیون خطی دریافت و ارسال می‌کنند. با توزیع سلول‌ها متناسب با فاز تغذیه می‌توان پلاریزاسیون دایروی ایجاد کرد. عناصر لنزی که در [۲] معرفی شده شامل چهار پچ مایکرواستریپی با تزویج دهانه‌ای^۲ می‌باشند. برای تامین اختلاف فاز، تمامی چهار پچ و شکاف باید با هم چرخش کنند. این لنز دارای تغذیه با پلاریزاسیون دایروی بوده و موج تابشی را همگرا می‌کند. استفاده از عناصر پچ با تزویج دهانه‌ای به‌عنوان سلول لنز مسطح در [۳] معرفی شده است. اولین لنز که از چرخش عناصر برای تغییر فاز استفاده کرد در سال ۱۹۶۰ معرفی شد [۴ و ۵] که شامل یک تغذیه و آرایه‌ای مسطح از عناصر است. هر عنصر شامل دو آنتن حلزونی^۳ است که در دو طرف صفحه زمین قرار گرفته و به وسیله خط انتقال به یکدیگر متصل می‌شوند. کاربرد این لنز برای دریافت و ارسال موج با پلاریزاسیون دایروی می‌باشد. یک نمونه دیگر از لنزها که از چرخش عناصر استفاده کرده در [۶] معرفی شد. اصول این لنز همانند لنز قبلی با این تفاوت که در این لنز از آنتن مارپیچی^۴ و خط انتقال هم‌محور استفاده شده است.

استفاده از چرخش عناصر در آرایه‌های انعکاسی نیز به خوبی شناخته شده می‌باشد. معرفی چرخش عناصر برای آرایه‌های انعکاسی به سال ۱۹۷۶ برمی‌گردد [۷]. آرایه‌های انعکاسی به خاطر ساخت با مدارات چاپی و مسطح بودن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. طراحی پچ با استفاده از استاب^۵ و چرخش آن، در سال ۱۹۹۸ معرفی شد [۸]. از آن زمان، عناصر مختلفی با این روش ساخته شده‌اند که می‌توان به شکاف‌های دایروی [۹]، دیپل روی صفحه زمین [۱۰]، دیسک‌های اتصال کوتاه در لبه [۱۱]، عناصر حلقه‌ای [۱۲]، شکاف‌های بار شده [۱۳] و حلقه‌های مربعی [۱۴] اشاره کرد.

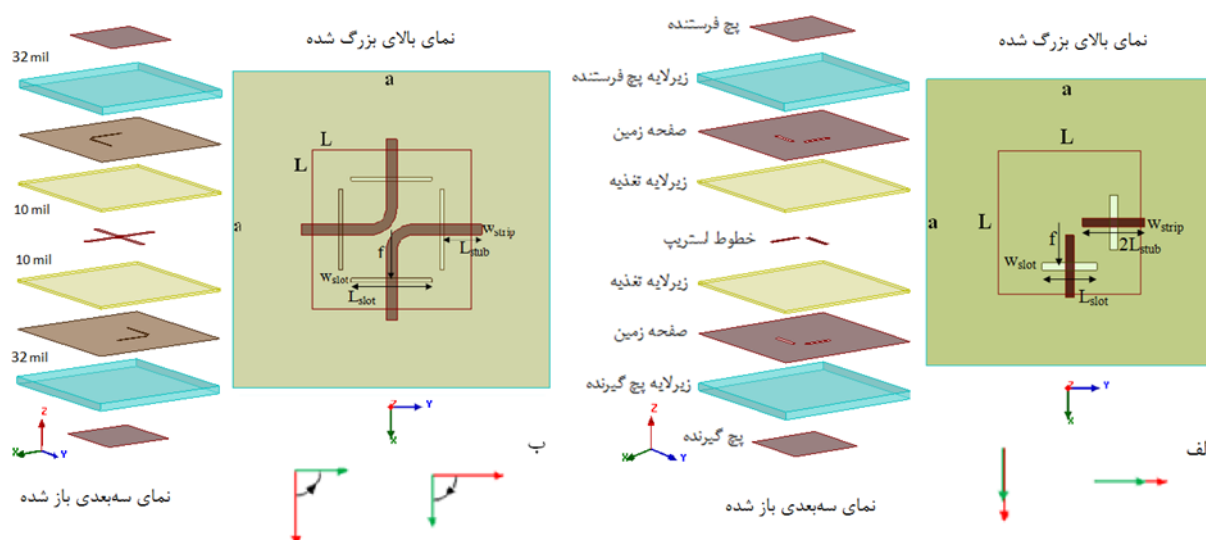
¹ Via

² Aperture-coupled

³ Spiral

⁴ Helix

⁵ Stub



شکل ۲. الف) سلول شماره ۱ ب) سلول شماره ۲

توجه به عملکرد انتقالی سلول‌ها، روش چرخش ترتیبی پیاده‌سازی شود.

سلول‌های این طرح دارای دو شکاف عمود بر محورهای x و y در صفحه زمین پچ سمت تغذیه و دو شکاف در صفحه زمین پچ سمت فضای آزاد می‌باشند که این شکاف‌ها و خطوط استریپ مربوطه به عنوان سیستم تغذیه پچ برای ایجاد پلاریزاسیون خطی در دو امتداد x و y استفاده می‌شوند. فرکانس مرکزی طراحی ۱۰GHz است که در این فرکانس، طول موج فضای آزاد ۳۰mm و ابعاد سلول $۱۵mm \times ۱۵mm$ می‌باشد. مقادیر پارامترهای سلول واحد باتوجه به روابط طراحی آنتن‌های مایکرواستریبی [۱۷] محاسبه شده است.

در ادامه، شکل و عملکرد سلول‌ها آمده است. در این شکل‌ها فلش‌های بزرگتر بیانگر جهت تابشی از آنتن هورن به پچ گیرنده یعنی پچ سمت آنتن هورن است که در دو امتداد x و y قرار دارند و فلش‌های کوچکتر جهت موج تشعشع شده از پچ سمت فضای آزاد یا جهت موج انتقالی است.

اندازه پارامترهای سلول‌های شماره ۱، ۲ و ۴ در جدول ۱ و اندازه پارامترهای سلول شماره ۳ در جدول ۲ آمده است.

عملکرد سلول شماره ۱ به این گونه است که اگر تغذیه در راستای محور y این سلول را تحریک کند فقط شکاف زیرین که عمود بر محور y است تحریک می‌شود و موج دریافتی را به وسیله خط

جدول ۱. پارامترهای سلول‌های شماره ۱ و ۲ بر حسب میلی‌متر

	a	L	f	L_{soft}	W_{strip}	L_{stub}	W_{slot}
سلول ۱	۱۵	۷/۴۸	۲/۳	۲/۸	۰/۴	۱/۶	۰/۴۶
سلول ۲و ۴	۱۵	۷/۴	۲/۴	۳/۸	۰/۱۸	۱/۸	۰/۵

برای داشتن عملکرد فرکانسی یکسان در دو حالت، پچ‌ها باید نسبت به هر دو مولفه x و y یکسان باشند که منجر به پچ مربعی می‌شود.

این لنز با معرفی ۴ سلول جدید و گسسته‌سازی ۹۰ درجه و با استفاده از پیاده‌سازی روش چرخش ترتیبی روی سیستم تغذیه پچ طراحی شده است. با این روش، به سلول چهار لایه‌ای نیاز است که دو لایه وسطی آن، سیستم تغذیه و عمل چرخش آن را پیاده‌سازی می‌کنند و دو لایه بیرونی آن پچ‌های دریافت و ارسال هستند. جنس زیرلایه‌های تغذیه RT/duroid 6010 با ضریب دی‌الکتریک ۱۰/۲ و تانژانت تلفات ۰/۰۰۲۳ و ضخامت ۱۰ mil و جنس زیرلایه‌های پچ RO4003 با ضریب دی‌الکتریک ۳/۵۵ و تانژانت تلفات ۰/۰۰۲۷ و ضخامت ۳۲ mil می‌باشد. ضریب دی‌الکتریک زیرلایه تغذیه از ضریب دی‌الکتریک زیرلایه پچ بزرگتر می‌باشد که دلیل این امر تطبیق امپدانس شکاف با تغذیه و کوچکتر شدن عرض خطوط استریپ برای جلوگیری از برخورد آنها می‌باشد.

برای تغییر پلاریزاسیون دایروی از چپگرد به راستگرد، ترتیب چرخش و انتقال میدان‌های تابشی عناصر برای راستای x و y خلاف یکدیگر در نظر گرفته شده است اما فاز تغذیه، یعنی فازی که از آنتن هورن به عناصر برخورد می‌کند برای راستای x و y در یک سلول برابر است. این بدین معنی است که مرکز فاز آنتن تغذیه برای تحریک لنز در امتداد x و y یک نقطه ثابت است و فقط فاصله آن نقطه تا مرکز هر سلول تعیین‌کننده فاز تحریک آن سلول است. در گسسته‌سازی، این فازها به چهار مقدار تقسیم‌بندی می‌شوند. به ازای فاز بین ۳۱۵ تا ۳۶۰ درجه یا ۰ تا ۴۵ درجه سلول ۱، فاز بین ۴۵ تا ۱۳۵ درجه سلول ۲، فاز بین ۱۳۵ تا ۲۲۵ درجه سلول ۳ و فاز بین ۲۲۵ درجه تا ۳۱۵ درجه سلول ۴ مورد استفاده قرار می‌گیرند تا با

جدول ۲. پارامترهای سلول شماره ۳ بر حسب میلی‌متر

a	L	f ₁	L _{soft1}	W _{strip1}	L _{stub1}	W _{slot1}
۱۵	۷/۴	۲/۲۷	۲/۴۶	۳/۷	۰/۲	۱/۹
W _{strip1}	L _{slot2}	W _{slot2}	L _{stub2}	W _{strip2}	L ₁	L ₂
۰/۵	۳/۷	۰/۳	۱/۷	۰/۶۶	۲/۱	۴/۵

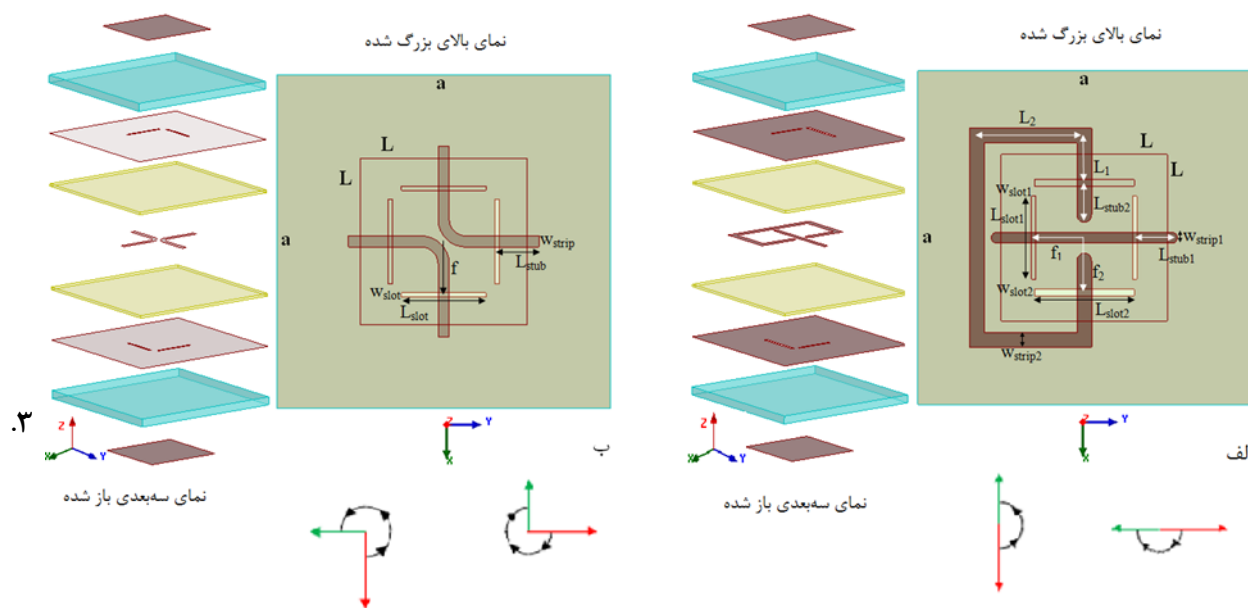
محورهای x و y یکسان نبوده و به این طریق پلاریزاسیون چپگرد و راستگرد تولید شود. همان طور که ذکر شد فاز تحریک که ناشی از آنتن هورن است، برای راستای x و y در هر سلول یکسان می‌باشد. در شکل ۳، سلول شماره ۳، موج در امتداد محور x+ را به موجی در امتداد محور x- منتقل می‌کند و همچنین موج در امتداد محور y+ را به موجی در امتداد محور y- منتقل می‌کند. در شبیه‌سازی این امر بوسیله تغییر نکردن پلاریزاسیون موج انتقالی و تغییر فاز ۱۸۰ درجه‌ای این موج برای هر دو امتداد x و y نسبت به سلول مشخص می‌شود. این اختلاف فاز با قرینه کردن محل تغذیه در پچ بالایی نسبت به محل تغذیه پچ زیرین صورت گرفته است. برای جلوگیری از برخورد دو استریپ انتقال دهنده، استریپی که موج امتداد محور x را منتقل می‌کند به طور چرخشی و با طول بیشتری به کار گرفته شده است. در طراحی، این طول باید متناسب با فاز مورد نیاز انتخاب شود.

پارامترها و اندازه‌های سلول شماره ۴ مشابه سلول شماره ۲ می‌باشد و تنها ساختار هندسی آن متفاوت است. یعنی زوایای چرخش شکاف‌های بالایی نسبت به شکاف زیرین متفاوت می‌باشد.

استریپ به پچ بالایی منتقل می‌کند که این پچ نیز موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور y تولید می‌کند. در این حالت، شکاف عمود بر محور x تحریک نمی‌شود. به طریق مشابه، اگر تغذیه در امتداد محور x سلول را تحریک کند شکاف عمود بر محور x تحریک شده و موج دریافتی را به پچ بالایی منتقل می‌کند که این پچ نیز موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور x تولید می‌کند. در این حالت شکاف عمود بر محور y تحریک نمی‌شود.

در شکل ۲، عملکرد سلول شماره ۲ به این صورت است که اگر تغذیه در راستای محور y این سلول را تحریک کند فقط شکاف زیرین که عمود بر محور y قرار دارد تحریک می‌شود و موج را از طریق خط انتقال استریپ به شکاف بالایی که عمود بر محور x قرار دارد منتقل می‌کند و پچ بالایی موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور x تولید می‌کند. به طریق مشابه اگر تغذیه در امتداد محور x این سلول را تحریک کند پچ بالایی موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور y تولید می‌کند.

در این سلول نیز دو شکاف در صفحه زمین پچ زیرین و دو شکاف در صفحه زمین پچ بالایی وجود دارد که با دو استریپ به هم تزویج می‌گردند. شکاف بالایی در صفحه زمین بالایی که عمود بر محور x است، نسبت به شکاف در صفحه زمین زیرین که عمود بر محور y است به اندازه ۹۰- درجه حول محور z چرخش یافته است. این دو شکاف با یک خط استریپ به یکدیگر تزویج می‌گردند و باعث انتقال میدان برخوردی در امتداد محور y+ به میدانی در امتداد محور x+ می‌شوند. برای استریپ و دو شکاف دیگر، زاویه چرخش شکاف بالایی نسبت به شکاف زیرین ۹۰ درجه می‌باشد. این امر باعث می‌شود که ترتیب چرخش موج انتقالی برای تحریک در راستای

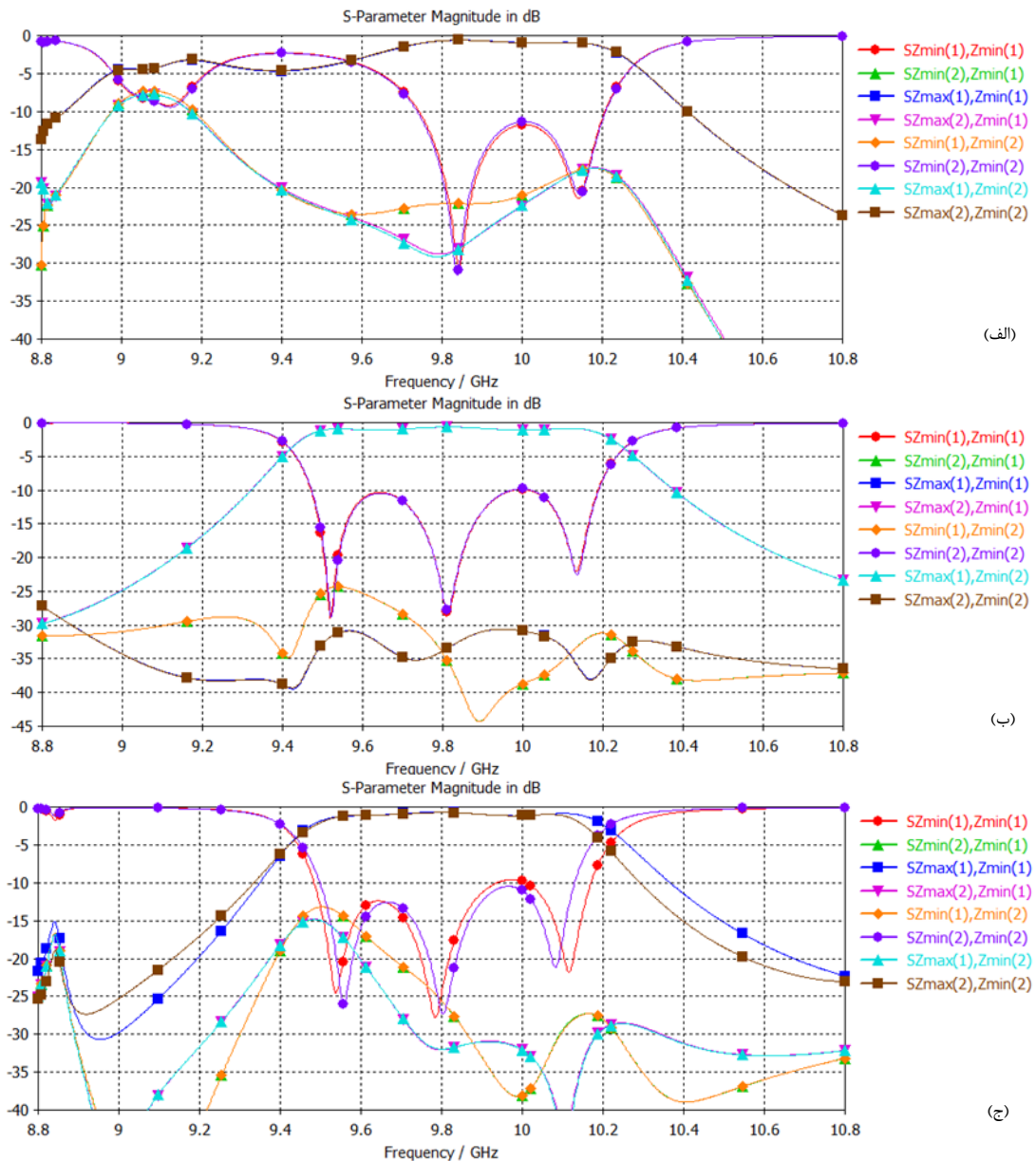


شکل ۳. الف) سلول شماره ۳، ب) سلول شماره ۴

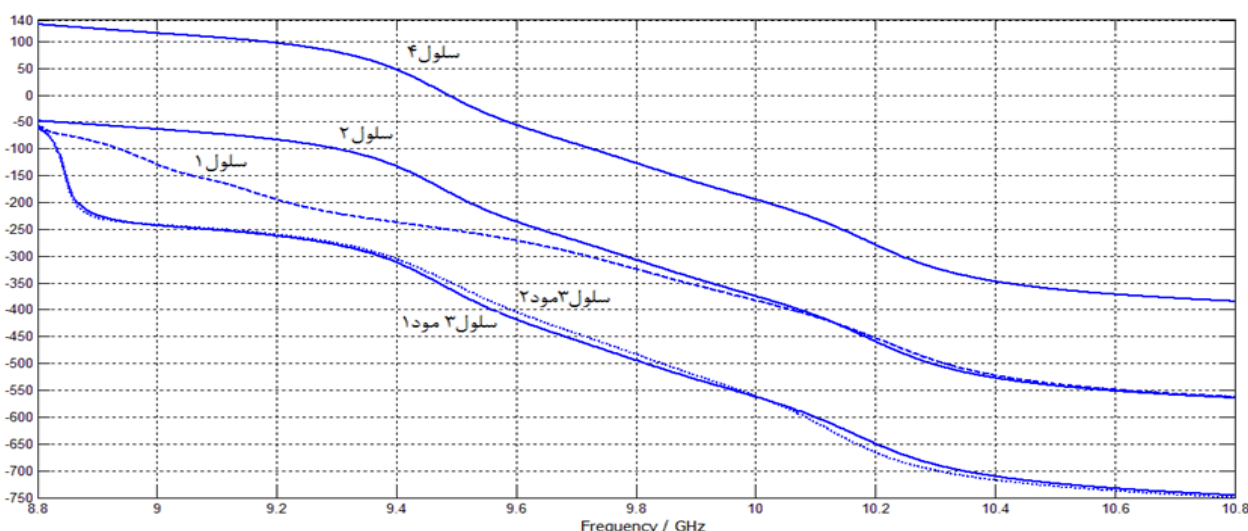
۳. مشخصات انتقالی و انعکاسی سلول‌ها

پارامترهای پراکندگی سلول‌ها شامل تلفات انتقال و انعکاس هر سلول و فازهای مربوطه می‌باشد. با شبیه‌سازی سلول‌ها در نرم‌افزار CST و با استفاده از شرایط مرزی متناوب می‌توان این مشخصات را به دست آورد. تحریک سلول واحد از سطح زیرین (Z_{min}) و با دو مود اصلی (مود ۱ یا TM برای میدان الکتریکی در راستای محور x و مود ۲ یا TE برای میدان الکتریکی در راستای محور y) صورت گرفته است. سلول ایده‌آل، تمام تحریک ورودی را به سطح بالایی (Z_{max}) منتقل می‌کند که در عمل چنین نیست و در محدوده فرکانس طراحی، تلفات انتقال دارای کمترین مقدار است. این مشخصات در شکل‌های زیر آورده شده است.

در این سلول نیز چهار شکاف وجود دارد که با دو استریپ به هم تزویج می‌گردند. شکاف در صفحه زمین بالایی که عمود بر محور x است نسبت به شکاف در صفحه زمین زیرین که عمود بر محور y است به اندازه 270° درجه حول محور z چرخش یافته و با استریپ به هم تزویج می‌گردند و برای استریپ و دو شکاف دیگر زاویه چرخش شکاف بالایی نسبت به شکاف زیرین 270° درجه می‌باشد. بنابراین این سلول موج امتداد y را به $-x$ و موج امتداد x را به $-y$ منتقل می‌کند. این سلول عملکرد انتقالی مشابه سلول شماره ۲ دارد و تنها فاز انتقالی برای هر دو راستای x و y نسبت به سلول ۲ به اندازه 180° درجه تفاوت دارد که مشخص کننده معکوس شدن جهت موج انتقالی می‌باشد.



شکل ۴. نمودار اندازه پارامترهای پراکندگی (الف سلول ۱، ب سلول ۲ و ج سلول ۳)



شکل ۵. نمودار فاز انتقالی برای سلول‌ها

۴. شبیه‌سازی لنز

برای آنتن تغذیه می‌توان از آنتن هورن مستطیلی یا دایروی استفاده کرد که پلاریزاسیون خطی دارند. الگوی تشعشی تغذیه باید کل دهانه را تحریک و روشن کند و در عین حال توانی را که از دهانه سرریز می‌شود کم کند. این دو هدف به عنوان مشخصه‌های کارایی دهانه شناخته می‌شوند. هر دو کارایی تنویر^۱ و سرریز^۲ به الگوی تشعشی آنتن هورن و نسبت F/D وابسته می‌باشند. برای یک آنتن هورن مشخص، کارایی تنویر با افزایش فاصله هورن از دهانه افزایش می‌یابد (یعنی دهانه به صورت یکنواخت‌تری تغذیه می‌شود) در حالی که کارایی سرریز کاهش می‌یابد (یعنی توان بیشتری از دهانه عبور می‌کند و تلف می‌شود). کارایی سرریز (ϵ_{sp}) به صورت نسبت توان رسیده به دهانه تشعشی (Pinc) به توان کل تشعشی از تغذیه (Prad) تعریف می‌شود.

$$\epsilon_{sp} = \frac{P_{inc}}{P_{rad}} \quad (1)$$

کارایی تنویر (ϵ_{ta}) به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\epsilon_{ta} = \frac{\left(\iint |E| ds \right)^2}{s \iint |E|^2 ds} \quad (2)$$

$|E|$ شدت میدان الکتریکی در سطح s می‌باشد. بیشترین بهره برای یک آنتن که مساحت دهانه آن s می‌باشد از رابطه زیر به دست می‌آید.

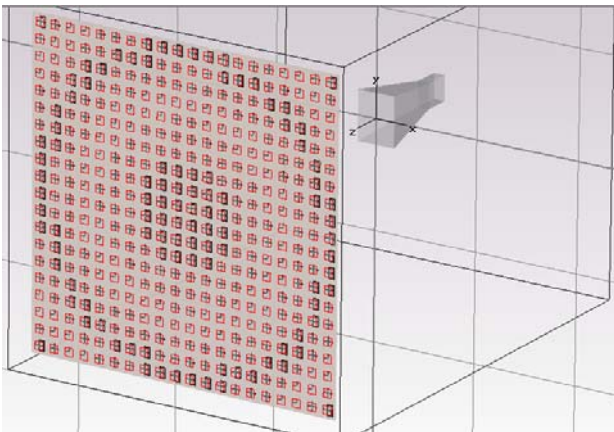
$$G_{ap} = 4\pi \frac{s}{\lambda^2} \quad (3)$$

λ طول موج در فضای آزاد می‌باشد. بهره حقیقی یک آنتن تغذیه فضایی به خاطر کارایی‌های تنویر و سرریز کمتر از این خواهد شد.

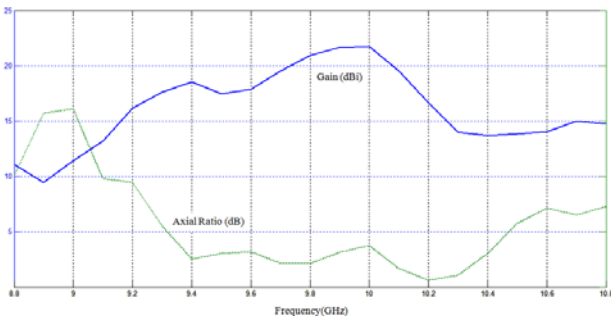
از شکل ۴ مشخص است که تمام سلول‌ها برای هر دو مود ۱ و ۲ دارای تلفات بازگشتی قابل قبولی هستند که منجر به تلفات انتقالی کم برای محدوده ۹/۶ GHz تا ۱۰/۲ GHz می‌شود. همان‌طور که گفته شد سلول‌های ۱ و ۳ مودهای ۱ و ۲ از سطح زیرین را به ترتیب به مودهای ۱ و ۲ در سطح بالایی منتقل می‌کنند اما سلول‌های ۲ و ۴ مودهای ۱ و ۲ از سطح زیرین را به ترتیب به مودهای ۲ و ۱ در سطح بالایی منتقل می‌کنند.

نمودار شبیه‌سازی شده فاز انتقالی برای سلول‌ها در شکل ۵ آمده است. همان‌طور که ذکر شد ایجاد هر دو پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد با تغییر ترتیب چرخش مولفه‌های انتقالی صورت می‌گیرد و فاز انتقالی ۲ مود نباید تغییر کند. بنابراین، فاز انتقالی برای مودهای ۱ و ۲ (TE و TM) در سلول‌های ۱ و ۲ و ۴ که دارای تقارن هستند یکسان است و در سلول ۳ نیز تفاوت خیلی کمی دارند. همچنین در محدوده فرکانس کاری، نمودار فاز انتقالی برای سلول‌های ۱ و ۲ اختلاف اندکی دارند و فاز انتقالی برای سلول‌های ۳ و ۴ به اندازه ۱۸۰ درجه با فاز سلول‌های ۱ و ۲ متفاوت می‌باشد. نکته قابل توجه این است که در نرم‌افزار فقط راستای +x و +y تعریف شده است و انتقال موج +x به -x همانند انتقال موج +x به +x با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه مشخص می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که اگر عملکرد سلول‌ها را طبق فلش‌های تعیین کننده جهت موج انتقالی در نظر بگیریم فاز انتقالی همه سلول‌ها برابر است. همچنین فاز رسیده از آنتن هورن تا مرکز یک سلول برای ۲ راستای x و y نیز برابر است و این سلول‌ها عملکرد تغییر جهت چهار حالت را با دو ترتیب مختلف برای راستای x و y انجام می‌دهند که باعث ایجاد پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد طبق روش چرخش ترتیبی می‌شود.

^۱ Taper Efficiency
^۲ Spillover Efficiency



شکل ۷. ساختار شبیه‌سازی شده در حالت اول



شکل ۸. نمودار بهره و نسبت محوری برای حالت اول

می‌دهد. در حالت اول، پلاریزاسیون خطی هورن در امتداد محور x می‌باشد و موج همگرا شده دارای پلاریزاسیون دایروی راستگرد می‌شود و در حالت دوم، این پلاریزاسیون در امتداد محور y می‌باشد و موج همگرا شده دارای پلاریزاسیون دایروی چپگرد خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی حالت اول در ادامه آمده است.

در شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی تغییرات بهره لنز بر حسب dB و همچنین تغییرات نسبت محوری بر حسب dB در فرکانس‌های مختلف در یک نمودار رسم شده است. محدوده پهنای باند -۳dB از فرکانس ۹/۶۵ GHz تا فرکانس ۱۰/۱ GHz است که در این محدوده نسبت محوری نیز دارای مقدار مناسبی برای عملکرد پلاریزاسیون دایروی می‌باشد. بنابراین پهنای باند این حالت ۴۵۰ MHz است. بیشترین بهره دهانه با توجه به رابطه ۳ مقدار ۳۱dB است اما بیشترین بهره این ساختار ۲۲dB می‌باشد که حاصل تقسیم غیر لگاریتمی این دو مقدار منجر به کارایی دهانه ۱۵ درصد می‌شود. علت پایین بودن بهره لنز طبق رابطه ۴ تلفات تنویر و سرریز و تلفات مربوط به گسسته‌سازی می‌باشد. مقدار تلفات سرریز و تنویر طبق روابط ۲ و ۱ به ترتیب ۴/۲۶dB و ۰/۳۲dB می‌باشد و مجموع دیگر تلفات شامل تلفات گسسته‌سازی و تلفات انتقالی سلول‌ها در حدود ۴dB می‌باشد.

$$G = G_{ap} \epsilon_{sp} \epsilon_{ta} \epsilon_{oth} \quad (۴)$$

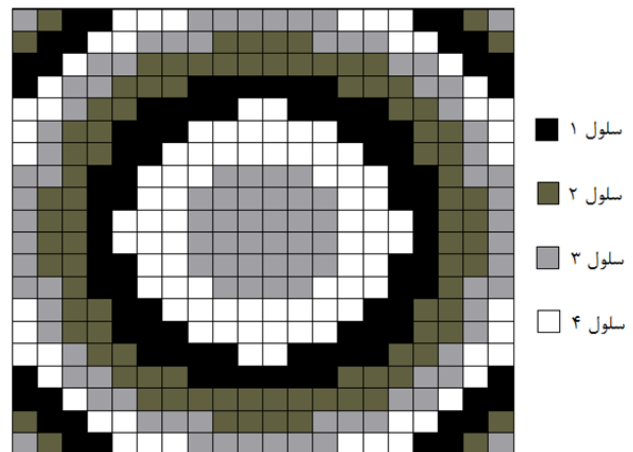
که در آن، ϵ_{oth} شامل تمامی کاهش‌ها در بهره می‌باشد که می‌تواند ناشی از کارایی تشعشعی، کارایی پلاریزاسیون، کارایی تغذیه، کارایی انعکاس، کارایی انتقال، و گسسته‌سازی فاز باشد. برای آنتن‌ها تغذیه فضایی نسبت $F/D=1$ طوری انتخاب می‌شود که حاصلضرب کارایی‌های تنویر و سرریز حداکثر می‌باشد.

ابعاد لنز $10\lambda_0 \times 10\lambda_0$ می‌باشد که در فرکانس ۱۰GHz مقدار $30 \times 30 \text{ cm}^2$ می‌شود. با توجه به اندازه هر سلول، لنز شامل ۴۰۰ سلول می‌باشد. همچنین $F=30\text{cm}$ است یعنی $F/D=1$. لنز که در سطح $z=F$ قرار دارد، موج تابشی هورن را که در جهت $+z$ است و مرکز فاز آن در مبدأ قرار دارد همگرا می‌کند. بنابراین جهت پرتوی کل، در جهت $+z$ یعنی برود ساید است. هورن دارای بهره ۱۳dBi در فرکانس ۱۰GHz است. توزیع سلول‌ها روی دهانه لنز بر اساس فاز موج رسیده به هر سلول که فاصله مبدا مختصات تا مرکز سلول را طی کرده است صورت می‌گیرد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\xi_{ij} = \frac{\omega}{c} \sqrt{X_i^2 + Y_j^2 + F^2} \quad (۵)$$

در این رابطه، c سرعت نور در فضای آزاد، ω فرکانس زاویه‌ای و X_i و Y_j مختصات مرکز سلول‌ها در سطح $Z=F$ می‌باشد ($1 \leq i, j \leq 20$) فاز به‌دست‌آمده از این رابطه برحسب رادیان می‌باشد که با تبدیل آن به درجه و کسر مقادیر صحیح ۳۶۰ درجه (یک طول موج) به یک فاز بین ۰ تا ۳۶۰ درجه می‌رسیم. سپس این فاز به ۴ مقدار ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه گسسته‌سازی می‌شود و نوع سلول استفاده شده در آن محل با توجه به این فاز به‌دست می‌آید. توزیع سلول‌ها در شکل ۶ آمده است.

شبیه‌سازی لنز با استفاده از نرم‌افزار CST و برای دو حالت انجام شده است. شکل ۷ ساختار شبیه‌سازی شده برای حالت اول را نشان

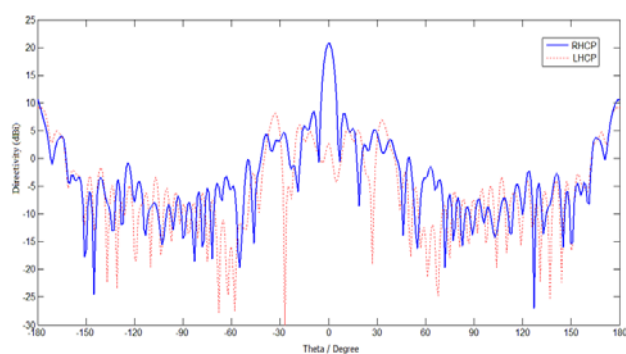


شکل ۶. توزیع سلول‌ها روی دهانه لنز

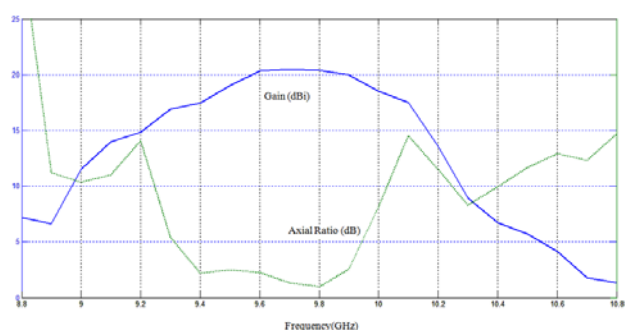
برای حالت دوم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این حالت، محدوده مناسب برای عملکرد پلاریزاسیون دایروی و بهره خوب، از فرکانس ۹/۴GHz تا فرکانس ۹/۹GHz می‌باشد که دارای پهنای باند ۵۰۰MHz است و با حالت اول کمی تفاوت دارد که دلیل عمده آن ناشی از اختلاف ساختاری دو حالت در سلول ۳ و یکسان نبودن شیب منحنی فاز انتقالی در چهار سلول (شکل ۵) می‌باشد. همچنین الگوی تشعشعی صفحه E برای مولفه‌های چپگرد و راستگرد در فرکانس ۹/۸GHz برای این حالت در شکل ۱۱ آورده شده است. این حالت برعکس حالت قبل است و سطح مولفه چپگرد خیلی بیشتر از مولفه راستگرد می‌باشد. در این حالت نیز بیشترین بهره برای جهت برود ساید، یعنی $\theta = 0$ حاصل شده است. بهره و نسبت محوری رسم‌شده در شکل‌های ۸ و ۱۰ نیز برای این زاویه می‌باشد. همچنین پهنای باند -3dB در حدود ۵ درجه می‌باشد و نسبت محوری در کل این محدوده، زیر مقدار 3dB می‌باشد. علت وجود قله در محدوده $\theta = 30$ تلفات سرریز آنتن هورن می‌باشد که بیان کننده موجی است که بدون برخورد به لنز از آن عبور می‌کند. همچنین وجود قله در زاویه $\theta = 180$ بیانگر موج منعکس شده از لنز می‌باشد که نزدیک بودن سطح مولفه‌های چپگرد و راستگرد، حاکی از خطی بودن پلاریزاسیون موج انعکاسی می‌باشد.

این لنز برای داشتن پلاریزاسیون‌های چپگرد و راستگرد طراحی شده بود که نتایج مطلوب حاصل شد. اما اگر پلاریزاسیون خطی موج تابشی از آنتن هورن در امتداد قطر لنز یعنی خطوط $y=x$ یا $y=-x$ باشد، می‌توان این حالت را با تابش دو مولفه هم‌اندازه و هم‌فاز در امتداد محورهای x و y در نظر گرفت. این مولفه‌ها در انتقال از لنز به دو موج با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد همگرا شده تبدیل می‌شوند که حاصل جمع آنها موجی با پلاریزاسیون خطی است که همگرا شده. یعنی لنز طراحی شده علاوه بر همگرا کردن موج با پلاریزاسیون خطی و تبدیل آن به پلاریزاسیون دایروی، امکان همگرا کردن موج با پلاریزاسیون خطی بدون تغییر پلاریزاسیون را نیز دارد.

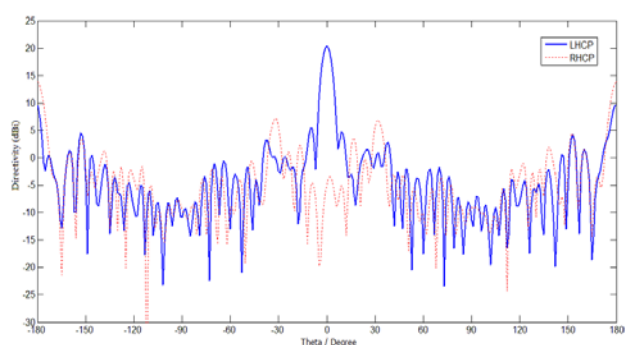
حالت دیگر این است که موج تابشی به لنز دارای پلاریزاسیون دایروی باشد. این حالت را نیز می‌توان با تابش دو مولفه هم‌اندازه در امتداد محورهای x و y که دارای اختلاف فاز ۹۰ درجه هستند در نظر گرفت. این مولفه‌ها نیز در انتقال از لنز به دو موج با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد همگرا شده تبدیل می‌شوند که حاصل جمع آنها موجی با پلاریزاسیون خطی است که همگرا شده؛ یعنی لنز امکان همگرا کردن موج با پلاریزاسیون دایروی و تبدیل آن به موجی با پلاریزاسیون خطی که همگرا شده است را نیز دارد.



شکل ۹. الگوی تشعشعی صفحه E برای حالت اول در فرکانس ۹/۸GHz



شکل ۱۰. نمودار بهره و نسبت محوری برای حالت دوم



شکل ۱۱. الگوی تشعشعی صفحه E برای حالت دوم در فرکانس ۹/۸GHz

در شکل ۹، الگوی تشعشعی صفحه E برای مولفه‌های راستگرد و چپگرد در فرکانس ۹/۸GHz نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است بیشترین بهره مربوط به پلاریزاسیون دایروی راستگرد می‌باشد و سطح مولفه چپگرد خیلی کمتر از مولفه راستگرد می‌باشد. آنتن هورن به تنهایی دارای بهره 13dB بود و با گذاشتن لنز در مقابل این آنتن، بهره ساختار کلی به حدود 22dB می‌رسد که به معنی همگرا شدن موج می‌باشد. بنابراین موج رسیده از آنتن هورن با عبور از لنز علاوه بر تغییر پلاریزاسیون، همگرا نیز می‌شود. نتایج شبیه‌سازی حالت دوم در ادامه آمده است.

نتایج شبیه‌سازی تغییرات بهره و نسبت محوری با تغییر فرکانس

- [11] R. Phillion and M. Okoniewski, "Rotary spatial phase shifter for reflectarray beamsteering," in Proc. Int. Conf. on Antennas and Propagation, ICAP 2003, Exeter, UK, 2003, pp. 341–344.
- [12] B. Strassner, C. Han, and K. Chang, "Circularly polarized reflectarray with microstrip ring elements having variable rotation angles," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 52, pp. 1122–1125, Apr 2004.
- [13] A. Martynyuk, J. Lopez, and N. Martynyuk, "Spiraphase-type reflectarrays based on loaded ring slot resonators," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 52, pp. 142–153, Jan 2004.
- [14] A. Yu, F. Yang, A. Elsherbeni, and J. Huang, "An x-band circularly polarized reflectarray using split square ring elements and the modified element rotation technique," in Proc. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium AP-S 2008, 2008, pp. 1–4.
- [15] P. S. Hall, "Application of sequential feeding to wide bandwidth, circularly polarised microstrip patch arrays," in IEE Proc. Microw., Antennas, and Propag., Oct. 1989, Vol. 136, No. 5, pp. 390–398.
- [16] P. S. Hall, J. S. Dahele, and J. R. James, "Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarised microstrip antennas," in IEE Proc. Microw., Antennas, and Propag., Oct. 1989, Vol. 136, No. 5, pp. 381–389.
- [17] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, Microstrip Antennas Design Handbook, Artech House, 2001.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از عناصر پچ میکرواستریبی با تغذیه شکافی، یک لنز جدید با تنوع پلاریزاسیون معرفی شد؛ به این معنی که بسته به جهت پلاریزاسیون خطی موج تابشی، موج همگراشده می تواند دارای پلاریزاسیون خطی، دایروی راستگرد یا چپگرد باشد. اصول طراحی بر پایه روش چرخش ترتیبی برای تولید پلاریزاسیون دایروی از عناصر خطی بود. به دلیل استفاده از سلول چهار لایه با آنتن پچ و تزویج دهانه‌ای، پهنای باند کلی لنز طراحی شده در حدود ۵ درصد است که از نمونه مرجع اول کمتر است اما کارایی دهانه دو نمونه تقریباً یکسان و برابر ۱۵ درصد می باشد.

۶. مراجع

- [1] H. Kaouach, L. Dussopt, J. Lanteri, T. Koleck, and R. Sauleau, "Wideband low-loss linear and circular polarization transmit-arrays in V-band," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 99, No. 7, July 2011.
- [2] Phillion and M. Okoniewski, "Lenses for circular polarization using planar arrays of rotated passive elements," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 59, No. 4, pp. 1217–1227, 2011.
- [3] D. Pozar, "Flat lens antenna concept using aperture coupled microstrip patches," Electronics Letters, Vol. 32, No. 23, pp. 2109–2111, 1996.
- [4] A. Marston, "Antenna system having beam control members consisting of array of spiral elements," U.S. Patent 3,045,237, 1962.
- [5] R. Brown and R. Dodson, "Parasitic spiral arrays," in IRE International Convention Record, vol. 8, Mar 1960, pp. 51–66.
- [6] D. Nakatani and J. Ajioka, "Lens designs using rotatable phasing elements," in Proc. Antennas and Propagation Society Int. Symp, Vol. 15, pp. 357–360, 1977.
- [7] H. Phelan, "Spiraphase-a new, low cost, lightweight phased array," Microwave J., Vol. 19, pp. 41–44, Dec 1976.
- [8] J. Huang and R. Pogorzelski, "A Ka-band microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 46, pp. 650–656, May 1998.
- [9] A. Martynyuk and J. Martinez Lopez, "Reflective antenna arrays based on shorted ring slots," in IEEE Int. Microwave Symp. Digest, MTT-S 2001, Vol. 2, May 2001, pp. 1379–1382.
- [10] Subbararo, V. Fusco, and R. Cahill, "Spatial phase shifter for reflect array (circular polarisation) applications," in Proc. 7th IEEE High Frequency Postgraduate Student Colloquium, V. Fusco, Ed., 2002, p. 6.

MicroStrip Flat Lens with Polarization Diversity in the X-Band

M. R. Mahdaviyani*, N. Komjani

*Iran University of Science and Technology

(Received: 17/03/2014, Accepted: 20/12/2014)

Abstract

This paper presents a new lens with polarization diversity. This lens can have right-hand or left-hand circular polarization or linear polarization depending on the direction of the linear polarization of the feed antenna. This ability is achieved by designing a transmit array of aperture-coupled microstrip patch antenna. The sequential rotation method is used for generation of circularly-polarized beam with linearly-polarized cells. These cells are designed in a way that can transmit electric field in both x and y direction. The resulting bandwidth is 5 % with aperture efficiency of about 15%.

Keywords: Flat lens, Polarization Diversity, Transmit-array, Spatial Feed, Sequential rotation