

لنز مسطح میکرواستریپی 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 پلاریزاسیون دایروی راستگرد، دایروی چپگرد و یا پلاریزاسون خطی باشد. این عمل به وسیله طراحی آرایه‌ای انتقالی از عناصر پچ مربعی میکرواستریپی 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 میکرواستریپی باشند که در یک ساختار مسطح یا ساختار منحنی

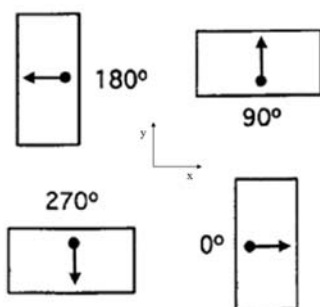
¹ Discrete lens

² Transmit array

* رایانامه نویسنده پاسخگو: m_mahdaviyani@elec.iust.ac.ir

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، گسسته سازی فاز و استفاده از عناصر خطی با روش چرخش ترتیبی [۱۵، ۱۶] برای تولید پلاریزاسیون دایروی می باشد که منجر به کاهش جهت دهی می شود. روش چرخش ترتیبی برای تولید پلاریزاسیون دایروی با استفاده از عناصر خطی به کار می رود. با داشتن چهار عنصر با پلاریزاسیون خطی، فاز مورد نیاز برای تغذیه این عناصر، 0° ، 90° ، 180° و 270° 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

همان طور 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 می باشد.

ساخت لنز [۱] نیز به دلیل استفاده از میله های رسانا دشوار است که از معایب آن می باشد. همچنین این لنز فقط امکان تولید یک نوع پلاریزاسیون دایروی را دارد و توزیع پچ ها روی دهانه لنز غیر منظم است که باعث محدودیت کوپل و فاصله بین عناصر می شود. در این مقاله به معرفی لنزی می پردازیم که با استفاده از ساختار شکافی که ساخت آسان تری دارد و پچ های با توزیع منظم، امکان تولید هر دو پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد را داشته باشد. این لنز به گونه ای است که اگر منبع با پلاریزاسیون خطی در امتداد محور x به آن بتابد، پلاریزاسیون دایروی راستگرد تولید می شود و اگر امتداد پلاریزاسیون خطی منبع در راستای y باشد پلاریزاسیون دایروی چپگرد تولید می شود. برای این منظور، سلول واحد طرح باید امکان انتقال هر دو مولفه میدان الکتریکی در امتداد x و y را داشته باشد.

و سیستم های راداری استفاده می شوند. از جمله کاربردهای پلاریزاسیون دایروی نیز استفاده در سیستم های فضایی می باشد که باعث بی اثر شدن چرخش فارادی در یونسفر می شود. همچنین این پلاریزاسیون نیاز به هم راستا بودن آنتن های فرستنده و گیرنده در پلاریزاسیون خطی را حذف می کند و اثر انعکاس از زمین و پدیده چند مسیری را از بین می برد.

یکی از روش های ایجاد اختلاف فاز که در پلاریزاسیون دایروی کاربرد دارد چرخش عناصر می باشد. این روش برای لنزهای میکرواستریپی نیز به کار گرفته شده است. لنز [۱] از عناصری شامل پچ های مستطیلی در دو طرف صفحه زمین تشکیل شده و از میله رسانا^۱ برای اتصال پچ ها به یکدیگر استفاده کرده است. این لنز به وسیله یک تغذیه با پلاریزاسیون خطی تحریک می شود و عناصر نیز پلاریزاسیون خطی دریافت و ارسال می کنند. با توزیع سلول ها متناسب با فاز تغذیه می توان پلاریزاسیون دایروی ایجاد کرد. عناصر لنزی که در [۲] معرفی شده شامل چهار پچ مایکرواستریپی با تزویج دهانه ای^۲ می باشند. 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 می کند. استفاده از عناصر پچ با تزویج دهانه ای به عنوان 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 آرایه ای 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 می شوند. کاربرد این لنز برای دریافت و ارسال موج با پلاریزاسیون دایروی می باشد. 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 هم محور استفاده شده است.

استفاده از چرخش عناصر در آرایه های انعکاسی نیز به خوبی شناخته شده می باشد. معرفی چرخش عناصر برای آرایه های انعکاسی به سال ۱۹۷۶ برمی گردد [۷]. آرایه های انعکاسی به خاطر ساخت با مدارات چاپی و مسطح بودن از اهمیت ویژه ای 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 شده اند که می توان به شکاف های دایروی [۹]، دیپل روی صفحه زمین [۱۰]، دیسک های اتصال کوتاه در لبه [۱۱]، عناصر حلقه ای [۱۲]، شکاف های بار شده [۱۳] و حلقه های مربعی [۱۴] اشاره کرد.

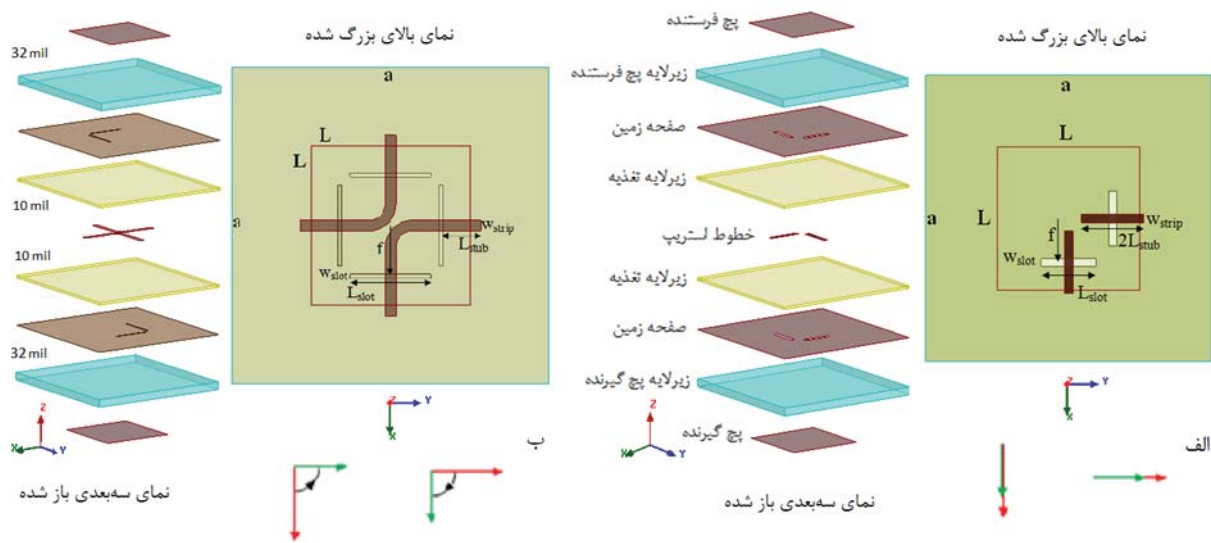
¹ Via

³ 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 ۱۰ GHz است که در این فرکانس، طول موج فضای آزاد ۳۰ mm و ابعاد سلول ۱۵ mm × ۱۵ mm 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 ۲ و 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 ۱/۰/۲ 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 میلی متر

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

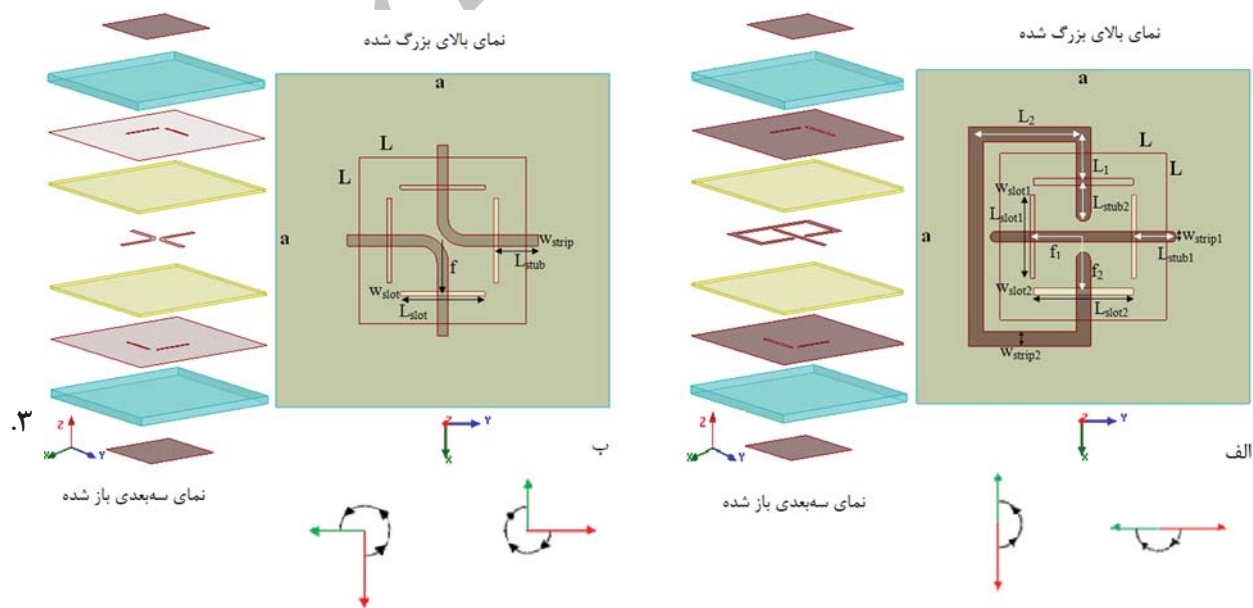
محورهای x و y یکسان نبوده و به این طریق پلاریزاسیون چپگرد و راستگرد تولید شود. همان طور که ذکر شد فاز تحریک که ناشی از آنتن هورن است، برای راستای x و y در هر سلول یکسان می باشد. در شکل ۳، سلول شماره ۳، موج در امتداد محور x+ را به موجی در امتداد محور x- منتقل می کند و همچنین موج در امتداد محور y+ را به موجی در امتداد محور y- منتقل می کند. در شبیه سازی این امر بوسیله تغییر نکردن پلاریزاسیون موج انتقالی و تغییر فاز ۱۸۰ درجه ای این موج برای هر دو امتداد x و y نسبت به سلول مشخص می شود. 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 می کند 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 اندازه های سلول شماره ۴ مشابه سلول شماره ۲ می باشد و تنها ساختار هندسی آن متفاوت است. یعنی زوایای چرخش شکاف های بالایی نسبت به شکاف زیرین متفاوت می باشد.

استریپ به پچ بالایی منتقل می کند که این پچ نیز موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور y تولید می کند. در این حالت، شکاف عمود بر محور x تحریک نمی شود. 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 می کند که این پچ نیز موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور x تولید می کند. در این حالت شکاف عمود بر محور y تحریک نمی شود.

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 می شود و موج را از طریق خط انتقال استریپ به شکاف بالایی که عمود بر محور x قرار دارد منتقل می کند و پچ بالایی موجی با پلاریزاسیون خطی و در امتداد محور x تولید می کند. 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 می کند.

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 می گردند. 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 می گردند و باعث انتقال میدان برخوردی در امتداد محور y+ به میدانی در امتداد محور x+ می شوند. برای استریپ و دو شکاف دیگر، زاویه چرخش شکاف بالایی نسبت به شکاف زیرین ۹۰ درجه می باشد. این امر باعث می شود که ترتیب چرخش موج انتقالی برای تحریک در راستای

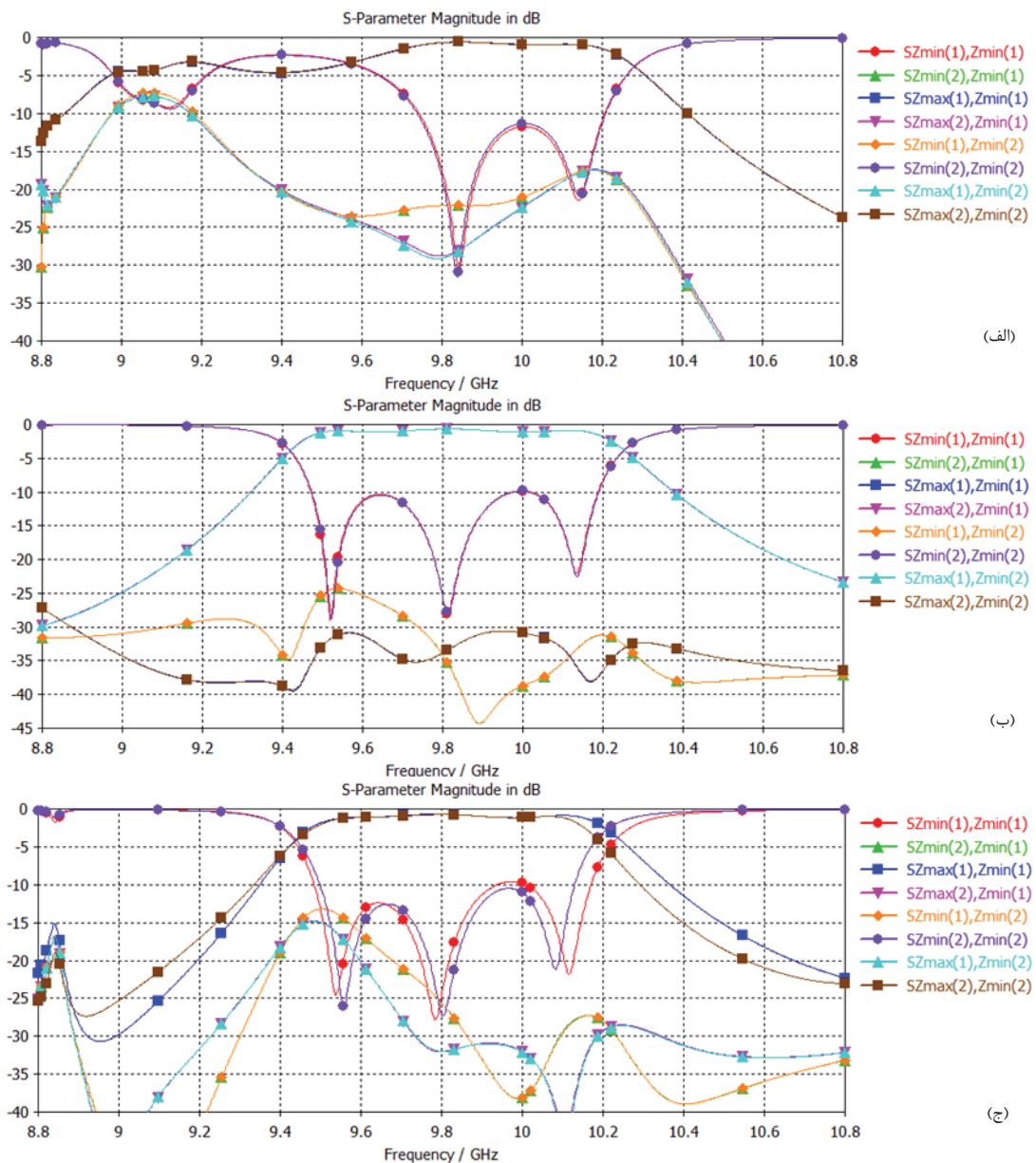


شکل ۳. الف) سلول شماره ۳ ب) سلول شماره ۴

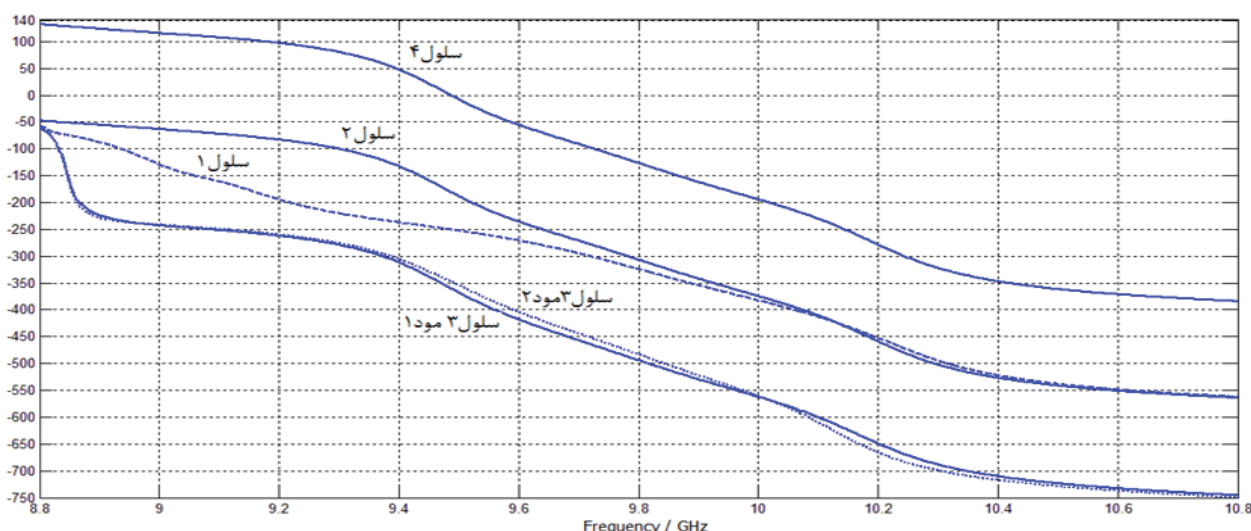
۳. مشخصات انتقالی و انعکاسی سلول‌ها

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 مشخص‌کننده 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 به‌صورت یکنواخت‌تری تغذیه می‌شود) در حالی که کارایی سرریز کاهش می‌یابد (یعنی توان بیشتری از دهانه عبور می‌کند و تلف می‌شود). کارایی سرریز (ϵ_{sp}) به‌صورت 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}) به‌وسیله 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 به‌دست می‌آید.

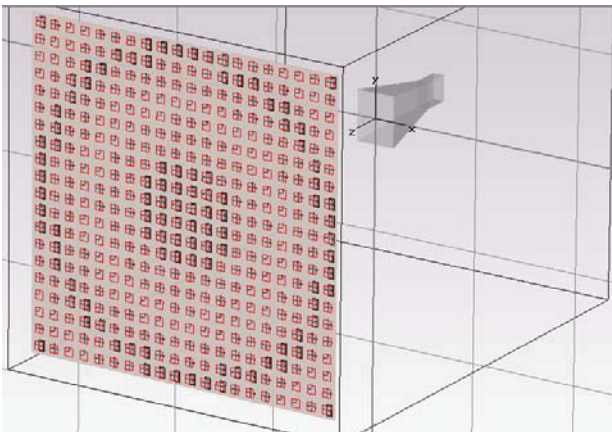
$$G_{ap} = 4\pi \frac{s}{\lambda^2} \quad (3)$$

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

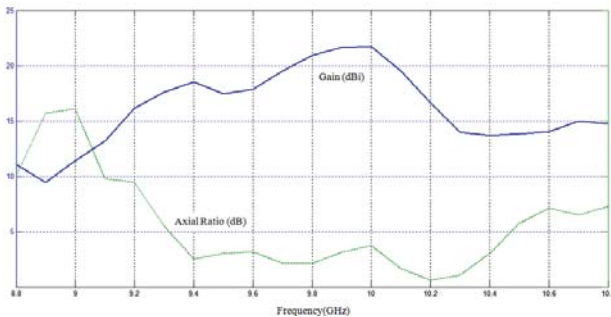
از شکل ۴ مشخص است که تمام سلول‌ها برای هر دو مود ۱ و ۲ دارای تلفات بازگشتی قابل قبولی هستند که منجر به تلفات انتقالی کم برای محدوده ۹/۶ GHz تا ۱۰/۲ GHz می‌شود. همان‌طور که گفته شد سلول‌های ۱ و ۳ مودهای ۱ و ۲ از سطح زیرین را به ترتیب به مودهای ۱ و ۲ در سطح بالایی منتقل می‌کنند اما سلول‌های ۲ و ۴ مودهای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

نمودار شبیه‌سازی‌شده 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 تعیین‌کننده 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 -3dB 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 ۳۱ dB است اما بهترین بهره این ساختار ۲۲ dB 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 ۴/۲۶ dB و ۰/۳۲ dB می‌باشد و مجموع دیگر تلفات شامل تلفات گسسته‌سازی و تلفات انتقالی سلول‌ها در حدود ۴ dB می‌باشد.

$$G = G_{ap} \epsilon_{sp} \epsilon_{ta} \epsilon_{oth} \quad (4)$$

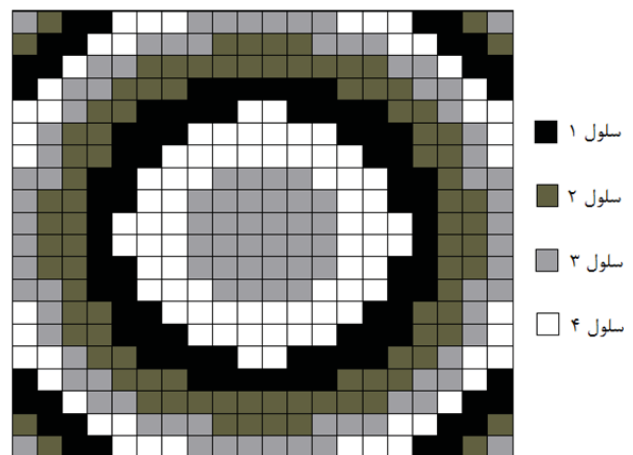
که در آن، ϵ_{oth} شامل تمامی کاهش‌ها در بهره می‌باشد که می‌تواند ناشی از کارایی تشعشعی، کارایی پلاریزاسیون، کارایی تغذیه، کارایی انعکاس، کارایی انتقال، و گسسته‌سازی فاز باشد. برای آنتن‌ها تغذیه فضایی نسبت $F/D=1$ طوری انتخاب می‌شود که حاصلضرب کارایی‌های تنویر و سرریز حداکثر می‌باشد.

ابعاد لنز $10\lambda_0 \times 10\lambda_0$ می‌باشد که در فرکانس ۱۰ GHz 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 بروی دهانه است. هورن دارای بهره ۱۳ dBi در فرکانس ۱۰ GHz 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.

$$\xi_{ij} = \frac{\omega}{c} \sqrt{X_i^2 + Y_j^2 + F^2} \quad (5)$$

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

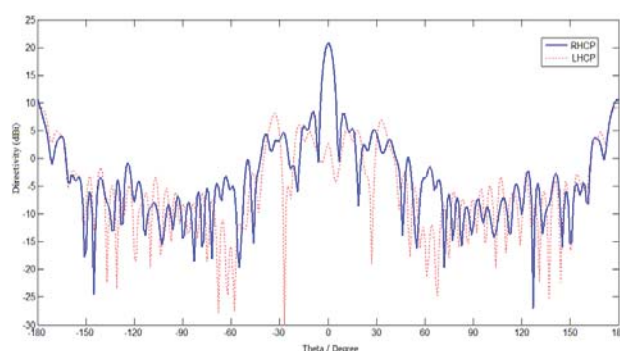


شکل ۶. توزیع سلول‌ها روی دهانه لنز

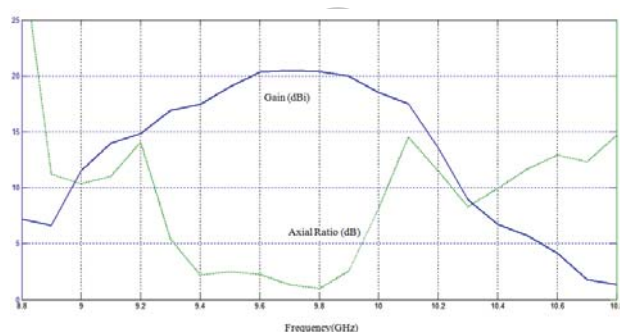
برای حالت دوم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این حالت، محدوده مناسب برای عملکرد پلاریزاسیون دایروی و بهره خوب، از فرکانس ۹/۴GHz تا فرکانس ۹/۹GHz می‌باشد که دارای پهنای باند ۵۰۰MHz است و با حالت اول کمی تفاوت دارد که دلیل عمده آن ناشی از اختلاف ساختاری دو حالت در سلول ۳ و یکسان نبودن شیب منحنی فاز انتقالی 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 رسم شده در شکل‌های ۸ و ۱۰ نیز برای این زاویه می‌باشد. همچنین پهنای باند ۳dB در حدود ۵ درجه می‌باشد و نسبت محوری در کل این محدوده، زیر مقدار ۳dB 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.

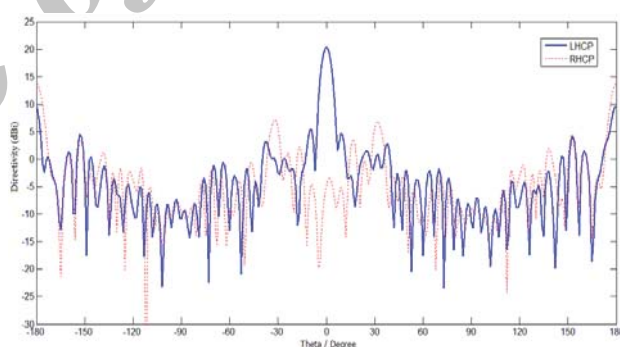
حالت دیگر این است که موج تابشی به لنز دارای پلاریزاسیون دایروی باشد. این حالت را نیز می‌توان با تابش دو مولفه هم‌اندازه در امتداد محورهای x و y که دارای اختلاف فاز ۹۰ درجه هستند در نظر گرفت. این مولفه‌ها نیز در انتقال از لنز به دو موج با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد همگرا شده تبدیل می‌شوند که حاصل 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 ۱۳dB بود و با گذاشتن لنز در مقابل این آنتن، بهره ساختار کلی به حدود ۲۲dB 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 همگرا شده 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. Lantéri, 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.