

طراحی و ساخت سوئیچ پلاریزر موجبری با قابلیت ایجاد پلاریزاسیون خطی و دایروی

علی ایمانی^۱، بیژن عباسی آرند^۲

^۱ کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، aliimani@iust.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۸

چکیده

در این مقاله یک پلاریزر موجبری با قابلیت ایجاد دو پلاریزاسیون خطی و دایروی طراحی، ساخته و تست شده است. ورودی این ساختار یک موجبر WR112 و خروجی آن موجبری مربعی است. فرکانس کاری این پلاریزر باند x است و توان بالایی را تحمل می‌کند. این ساختار یک قطعه الکترومکانیکی است که از چند قطعه موجبری تشکیل شده و این قطعات با استفاده از یک موتور الکتریکی نسبت به یکدیگر می‌چرخند و در نتیجه تغییر پلاریزاسیون را ایجاد می‌کنند. برای تست درستی عملکرد این سوئیچ، ساختار دیگری نیز طراحی و ساخته شده است که به آن پلاریزر سپتوم می‌گویند. در این مقاله روابط مورد نیاز برای تحلیل و تست نیز بطور کامل استخراج شده است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار CST انجام شده است و نتایج آن با نتایج اندازه‌گیری مقایسه شده‌اند که تطابق بسیار خوبی با هم دارند. همچنین سعی شده است که ساختار طراحی شده، حداقل اندازه را داشته باشد.

کلیدواژه

پلاریزاسیون، موجبر، تغییردهنده فاز، پارامترهای S.

مقدمه

دادن فاز یکی از آنها به اندازه ۹۰ درجه نسبت به دیگری است [۸-۱۵]. توانایی حذف پژواک‌های مزاحم از کلاترهای آب و هوایی توسط یک آنتن با پلاریزاسیون دایروی بستگی به این دارد که تا چه حد می‌توان یک پلاریزاسیون دایروی ایده‌آل توسط آن آنتن ایجاد کرد. همچنین هر چقدر که کلاتر کروی‌تر باشد سیگنال مزاحم ایجاد شده در این حالت راحت‌تر از بین می‌رود. سطح مقطع راداری اهداف پرنده مثل هواپیما عموماً برای سیگنال با پلاریزاسیون دایروی، کوچکتر از سیگنال با پلاریزاسیون خطی است. در گزارشات موجود، متوسط سطح مقطع راداری برای سیگنال با پلاریزاسیون دایروی ۶dB تا ۸dB کمتر از سیگنال با پلاریزاسیون خطی است [۱]. به دلیل اینکه عموماً سیگنال دریافتی با پلاریزاسیون دایروی ضعیف‌تر از سیگنال با پلاریزاسیون خطی است، آنتن طوری باید طراحی شود که هر کدام از سیگنال‌ها با انتخاب کاربر رادار قابل آشکارسازی باشد. وقتی که هوا صاف و بدون کلاتر است، از سیگنال با پلاریزاسیون خطی و زمانی که هوا دارای کلاتر است از سیگنال با پلاریزاسیون دایروی استفاده شود [۹].

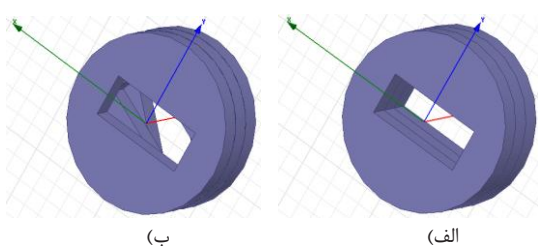
سیستم‌های راداری برای داشتن بهترین کارایی، باید توانایی سوئیچ میان دو نوع پلاریزاسیون سیگنال را داشته باشند. برای ایجاد این توانایی نیاز به سوئیچی هست که بتواند آنتن رادار را

آشکارسازی موفق یک هدف در حضور متفرق‌کننده‌های مزاحم مثل کلاترهای آب و هوا به مقدار تفاوت سیگنال‌های مزاحم با سیگنال اصلی وابسته است. هر چقدر این تفاوت بیشتر باشد توانایی آشکارسازی هدف بیشتر خواهد شد [۱]. یک موج با پلاریزاسیون دایروی زمانی که به یک متفرق‌کننده برخورد می‌کند، به صورت یک موج با پلاریزاسیون دایروی خلاف جهت چرخش پلاریزاسیون موج اولیه بازتاب می‌شود. موج با پلاریزاسیون دایروی موجی است که در حین انتشار، مولفه میدان الکتریکی آن با اندازه ثابت حول محور انتشار می‌چرخد. این موج را راستگرد گوئیم، هرگاه میدان الکتریکی آن طبق قاعده دست راست بچرخد و چپگرد گوئیم هرگاه خلاف آن چرخش کند [۴-۲]. زمانی که آنتن یک موج با یک جهت چرخش را تشعشع می‌کند، این موج از متفرق‌کننده‌ها در همان جهت ولی از دید آنتن با جهت چرخش مخالف بازتاب می‌کند.

یک موج دایروی را می‌توان شامل دو موج با پلاریزاسیون خطی دانست که نسبت به هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند. در نتیجه یکی از روش‌های ایجاد موج با پلاریزاسیون دایروی تقسیم توان به دو مولفه برابر، یکی پلاریزه شده افقی و دیگری عمودی و تاخیر

پیچش با قابلیت سوئیچ شدن

برای این قسمت، ساختاری باید استفاده شود که توانایی آن را داشته باشد که بین دو حالت پیچش ۴۵ درجه و پیچش صفر درجه (بدون پیچش) تغییر وضعیت دهد. این ساختار باید در این دو حالت مشخصات مطلوبی از نظر تلف توان سیگنال و همچنین تلف توان برگشتی داشته باشد و تا حد ممکن نیز ساختار اندازه کوچکی داشته باشد. ساختاری که بدین منظور در این مقاله طراحی شده، در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است ساختار این قسمت، از سه قطعه موجبر WR112 که نسبت به هم قابلیت چرخش دارند تشکیل شده است. طریقه کار این ساختار بدین گونه است که در حالت عادی این موجبرها در مقابل یکدیگر بدون چرخش قرار دارند که پلاریزاسیون بصورت خطی خواهد بود. زمانی که بخواهیم سیگنال پلاریزاسیون دایروی داشته باشد باید پیچش ۴۵ درجه داشته باشیم که به صورت مکانیکی موجبر دوم را به اندازه ۲۲/۵ درجه و موجبر سوم را به اندازه ۴۵ درجه نسبت به موجبر اول می-چرخانیم.



شکل ۲. ساختار پیچش؛ الف) پیچش صفر درجه، ب) پیچش ۴۵ درجه.

جدول ۱. مشخصات قطعه پیچشی

حالت پیچش	S_{11}	S_{21}
بدون پیچش	$< -30 \text{ dB}$	$> -0.1 \text{ dB}$
پیچش ۴۵ درجه	$< -30 \text{ dB}$	$> -0.1 \text{ dB}$

در این مقاله موجبر استاندارد WR112 در نظر گرفته شده است و بنابراین مسئله بهینه‌سازی فقط به یافتن طول مناسب برای سه قطعه مختلف موجبری خلاصه می‌شود. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده طول مناسب برای هر سه قطعه بدست آمده است.

بررسی اثرات ناشی از تنظیم نبودن تغییر زوایا در پارامترهای S

در اینجا به بررسی اثرات ناشی از دقیق نبودن زوایای چرخش قطعات پیچش می‌پردازیم. بدین منظور شبیه‌سازی‌هایی برای حالات مختلف قرار گرفتن و چرخیدن قطعات نسبت به یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه زاویه قطعه دوم و زاویه قطعه

برحسب نیاز با پلاریزاسیون خطی یا دایروی تحریک کند. این سوئیچ در سیستم‌های راداری قبل از تغذیه آنتن قرار می‌گیرد و پلاریزاسیون مطلوب را برای آنتن ایجاد می‌نماید. در این مقاله سوئیچی طراحی خواهد شد که بتواند به صورت بهینه این عمل را انجام دهد. سوئیچ و قطعه تست کننده آن، در اینجا ساخته و تست شده است و نتایج تست آن مطابقت بسیار خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد.

طراحی و شبیه‌سازی

ساختار پیشنهادی به منظور تحقق سوئیچ پلاریزور در شکل ۱ ارائه داده شده است. برای سادگی، در شکل ۱ بخش‌های داخلی ساختار مورد نظر نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، این ساختار متشکل از چهار بخش است که با اعداد ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند و به ترتیب عبارتند از:

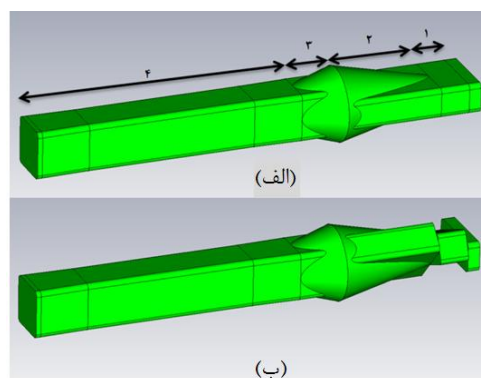
۱. پیچش با قابلیت سوئیچ شدن

۲. گذار از موجبر مستطیلی به موجبر دایروی

۳. گذار از موجبر دایروی به موجبر مربعی

۴. تغییر دهنده فاز

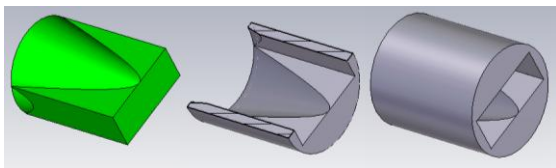
اساس این روش برای تبدیل موج با پلاریزاسیون خطی به موج با پلاریزاسیون دایروی، استخراج دو مولفه از آن توسط پیچش ۴۵ درجه و ایجاد اختلاف فاز میان این دو مولفه به اندازه ۹۰ درجه توسط تغییردهنده فاز است. در شکل (۱-الف) دو حالت از ساختار مورد نظر نشان داده شده است که در حالت (الف) بدون زاویه پیچش و در حالت (ب) با زاویه پیچش ۴۵ درجه است. در حالت (الف) توان از یک موجبر مستطیلی وارد ساختار و بدون تغییری در پلاریزاسیون از طرف دیگر خارج می‌شود. در حالتی که بخواهیم پلاریزاسیون دایروی داشته باشیم باید سوئیچ را همانند شکل (۱-ب) در حالت پیچش ۴۵ درجه قرار دهیم.



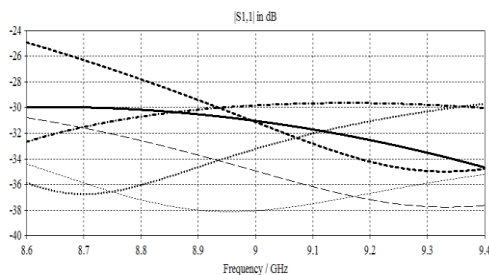
شکل ۱. ساختار پیشنهادی به منظور تحقق سوئیچ پلاریزور الف) پلاریزاسیون خطی ب) پلاریزاسیون دایروی.

در این بخش، هر قسمت جداگانه شبیه‌سازی شده و ابعاد و اندازه‌های آن بهینه می‌گردد.

می‌کنیم. شکل ۴ نشان دهنده گذار از موجبر WR112 به موجبر دایروی است. در این شکل برشی از گذار به همراه قسمت داخلی آن نشان داده شده است.



شکل ۴. گذار طراحی شده از موجبر WR112 به موجبر دایروی

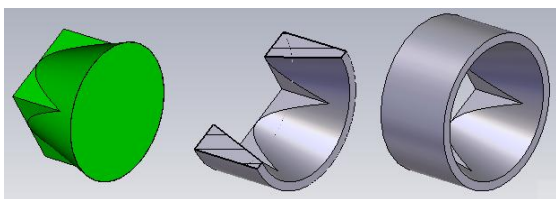


شکل ۵. نمودار S_{11} در تمام بازه فرکانسی برای طول‌های مختلف گذار از ۲۵mm تا ۵۰mm

با توجه به اینکه ابعاد موجبر مستطیلی همان ابعاد موجبر WR112 است، بنابراین حداقل شعاع موجبر دایروی باید گونه‌ای باشد که موجبر WR112 داخل آن جا بگیرد. در نتیجه قطر این موجبر باید حداقل برابر قطر بزرگ موجبر WR112 شود. به منظور کاهش اندازه پلاریزر قطر موجبر دایروی را ۳۰mm در نظر گرفته شده است. جهت استخراج اندازه بهینه برای طول این قطعه (T_1) چند شبیه‌سازی انجام شده است. شکل ۵، S_{11} برای چند طول مختلف این قطعه را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل پیداست از طول ۴۰mm به بعد S_{11} برای تمام بازه فرکانسی زیر -۳۰dB است.

طراحی گذار از موجبر دایروی به موجبر مربعی

در ادامه نیاز به طراحی گذار موجبر دایروی به موجبر مربعی است. شکل ۶ نشان‌دهنده ساختار این گذار است. این دو ساختار همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، به یکدیگر متصل می‌شوند. اتصال به گونه‌ای است که در محل اتصال توانایی چرخیدن نسبت به یکدیگر را داشته باشند. در این شکل برای سادگی نمایش قسمت داخلی ساختار نمایش داده شده است.



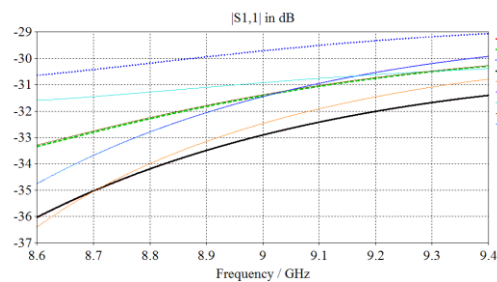
شکل ۶. ساختار گذار از موجبر دایروی به موجبر مربعی

سوم در حالت چرخیده نسبت به قطعه اول به ترتیب باید ۲۲/۵ و ۴۵ درجه باشد، برای مطالعه اثرات دقیق نبودن این زوایا ۹ حالت را در نظر گرفته و شبیه‌سازی می‌شود.

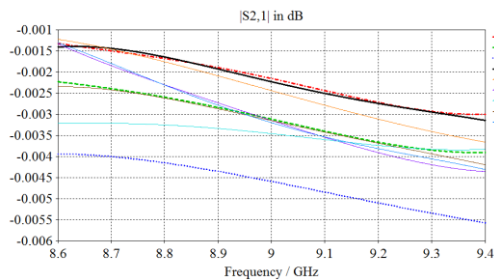
جدول ۲. حالات مختلف شبیه‌سازی زوایای چرخش سوئیچ

	$\phi_1=47/5$	$\phi_1=45$	$\phi_1=42/5$
$\phi_1=20$	Curve3	Curve2	Curve1
$\phi_1=22/5$	Curve6	Curve5	Curve4
$\phi_1=25$	Curve9	Curve8	Curve7

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است بدترین حالتی که رخ می‌دهد برای Curve 3 است که در آن طبق جدول ۲، زاویه قطعه اول ۲۰ درجه و زاویه قطعه سوم ۴۷/۵ درجه است. در این حالت بیشترین S_{11} و همچنین کمترین S_{21} مشاهده می‌شود. شکل ۳ نشانگر این است که در بدترین حالت نیز نتایج در گستره قابل قبولی خواهد بود.



(الف)



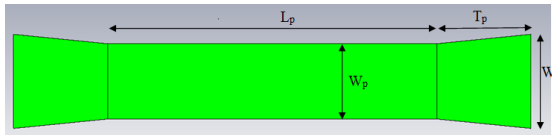
(ب)

شکل ۳. پارامترهای S پیچش سوئیچ در حالات مختلف عملکردی اشاره شده در جدول ۲.

طراحی گذار از موجبر WR112 به موجبر دایروی و مربعی

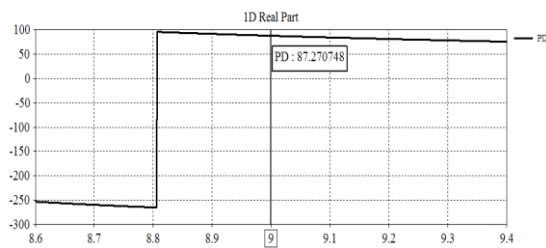
مربعی

در این قسمت به بررسی طرح پیشنهاد شده برای ساخت گذار از موجبر WR112 به موجبر مربعی می‌پردازیم. با توجه به اینکه ساختار باید توانایی چرخش داشته باشد ابتدا موجبر WR112 را به موجبر دایره‌ای و سپس موجبر دایره‌ای را به موجبر مربعی تبدیل

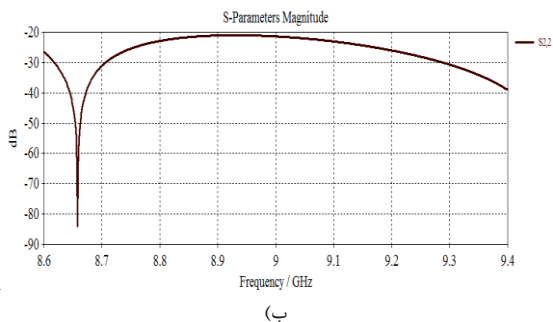
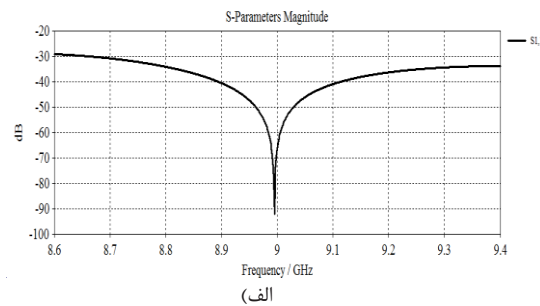


شکل ۹. نمای از کنار ساختار تغییر دهنده فاز

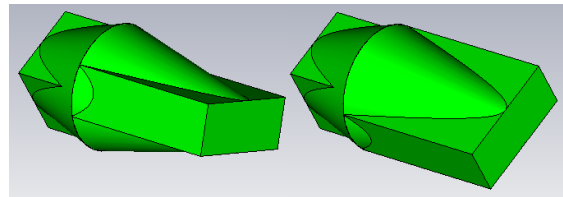
برای ابعاد بدست آمده سه پارامتر مهم ساختار که اولی اختلاف فاز مودهای عبوری، دومی پارامتر S مربوط به توان برگشتی برای مود اول و در نهایت پارامتر S مربوط به توان برگشتی از مود دوم است، محاسبه می‌شود. اختلاف فاز مودهای عمودی و افقی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود در تمام پهنای باند فرکانسی اختلاف فاز ۹۰ درجه با خطای کمی در کل بازه حاصل شده است. شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب پارامتر S مربوط به بازگشت توان از مودهای عمود بر هم را نشان می‌دهد. مود افقی و عمودی را به ترتیب مودهای ۱ و ۲ نامگذاری شده‌اند. در شکل (الف) S_{11} و در شکل (ب) نیز S_{22} نمایش داده شده‌اند. همانطور که در این شکل‌ها می‌بینیم توان برگشتی برای هر دو مود زیر ۲۰dB است.



شکل ۱۰. اختلاف فاز عبوری مودهای عمود بر هم از تغییر دهنده فاز



شکل ۱۱. پارامتر S مربوط به توان برگشتی برای (الف) مود عمودی (ب) مود افقی

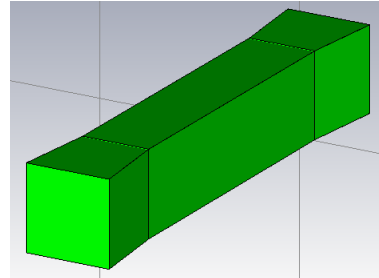


شکل ۷. دو حالت مختلف قرارگیری گذارها

با بهینه‌سازی انجام شده، طول بهینه برای این گذار ۱۸mm بدست می‌آید.

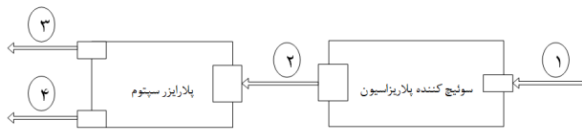
تغییر دهنده فاز

ساختاری که به منظور تغییردهنده فاز در اینجا مطرح شده، در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است، این ساختار متشکل از دو گذار از موجبر مربعی به موجبر مستطیلی در ابتدا و انتهای ساختار و همچنین یک موجبر مستطیلی در وسط است. اگر فرض کنیم که دو مود عمود بر هم از موجبر مربعی وارد این ساختار شود، با توجه به اینکه این ساختار برای این دو مود ثابت انتشارهای متفاوتی دارد، می‌توان ساختار اندازه‌ها را طوری طراحی کرد که دو مود در انتهای این ساختار اختلاف فاز ۹۰ درجه نسبت به هم پیدا کنند.



شکل ۸. ساختار تغییر دهنده فاز

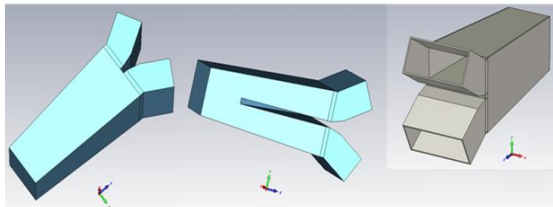
ملاحظات آنی که در مورد طراحی این ساختار باید در نظر گرفت مربوط به بازگشت توان برای دو مود عمود بر هم است. بدین منظور می‌بایست که طول قسمت ابتدا و انتها را بزرگ در نظر بگیریم. همچنین برای کاهش توان برگشتی لازم است که کاهش عرض موجبر نیز کم باشد. بنابراین مجبور می‌شویم که طول آن را بزرگ اختیار کنیم. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده ابعاد ۲۰mm برای T_p و ۷۰mm برای L_p بدست آمده است. همچنین عرض موجبر مستطیلی میانی مقدار ۸/۱۸mm بدست می‌آید. با این ابعاد در فرکانس مرکزی ۹GHz دو مود عمود بر هم که از این ساختار می‌گذرند اختلاف فاز ۹۰ درجه پیدا می‌کنند.



شکل ۱۳. چیدمان تست پلاریزیزر

پلاریزیزر سپتوم

پلاریزیزر سپتوم از سه پورت موجبری تشکیل شده است که ساختار آن در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، این ساختار از یک موجبر مربعی که به وسیله یک تیغه به دو موجبر مستطیلی تبدیل شده است، تشکیل می‌شود. در شکل (۱۴-ب) تیغه موجود در ساختار به صورت یک فرورفتگی در ساختار نشان داده شده است.



شکل ۱۴. چند نما از پلاریزیزر سپتوم طراحی شده

استخراج مولفه‌های راستگرد و چپگرد از یک موج دلخواه

میدان الکتریکی در دهانه موجبر مربعی، با فرض اینکه این دهانه در صفحه x قرار دارد را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$E = E_x \hat{x} + E_y \hat{y} \quad (1)$$

که در این رابطه E_x مولفه میدان الکتریکی در جهت x و E_y مولفه میدان الکتریکی در جهت y است. حال اگر این دو مولفه را با بخش‌های حقیقی و موهومی‌شان بنویسیم، داریم:

$$E_x = a + jb \quad (2)$$

$$E_y = c + jd \quad (3)$$

که a و c به ترتیب بخش‌های حقیقی E_x و E_y بوده و b و d بخش موهومی آن‌ها هستند. حال با جایگذاری روابط (۲) و (۳) در رابطه (۱) به رابطه (۴) می‌رسیم.

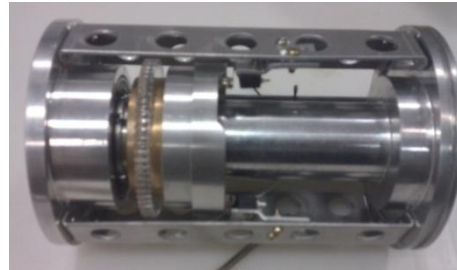
$$E = (a + jb)\hat{x} + (c + jd)\hat{y} \quad (4)$$

در ادامه با مرتب کردن رابطه (۴) سعی در استخراج مولفه‌های پلاریزاسیون دایروی از آن می‌کنیم.

(۵)

$$E = \frac{1}{2} \{ 2(a + jb)\hat{x} + j(a + jb)\hat{y} - j(a + jb)\hat{y} + 2(c + jd)\hat{y} + j(c + jd)\hat{x} - j(c + jd)\hat{x} \}$$

شکل ۱۲ پلاریزیزر ساخته شده را نشان می‌دهد. این ساختار بصورت الکترومکانیکی کار می‌کند. قسمت مرکزی ساختار در شکل (۱۲-الف)، همان مسیر موجبری مد نظر است. نمای از جلو و پشت پلاریزیزر به ترتیب در شکل‌های (۱۲-ب و پ) نشان داده شده است.



الف) نمای کلی ساختار پلاریزیزر



پ) نمای از پشت پلاریزیزر

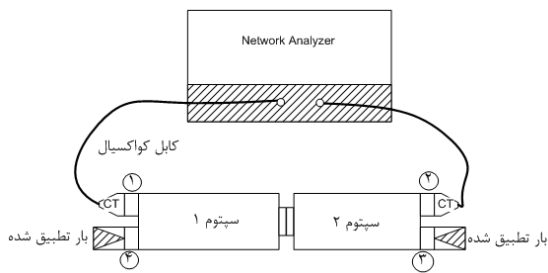
ب) نمای از جلوی پلاریزیزر

شکل ۱۲. مونتاژ کامل سوئیچ پلاریزیزر

چیدمان و روش تست

در این بخش به بررسی چیدمان تست و نتایج استخراج شده از تست پلاریزیزر اشاره می‌کنیم. چیدمان تست پلاریزیزر در شکل ۱۳ نشان داده شده است. قسمت اول همان سوئیچ پلاریزاسیون طراحی شده در این مقاله است. برای تست این پلاریزیزر از یک پلاریزیزر سپتوم استفاده می‌شود. پلاریزیزر سپتوم در حالت ایده‌آل موج راستگرد ورودی از موجبر مربعی را از یک پورت خروجی‌اش و موج چپگرد ورودی را از پورت دیگرش خارج می‌کند [۱۰-۱۲]. این افزاره برای تست سوئیچ پلاریزاسیون ساخته شده، می‌تواند استفاده شود. طبقه تست بدین‌گونه است که موجی از ورودی ۱ که در شکل ۱۳ نشان داده شده است وارد سوئیچ می‌شود. موج خروجی که با شماره ۲ نشان داده شده است وارد سپتوم شده و مولفه‌های راستگرد و چپگرد آن جدا می‌شوند. موج خارج شده از پورت ۳ مولفه راستگرد و موج خارج شده از پورت ۴ مولفه چپگرد آن را نشان می‌دهد. در صورتی که سوئیچ در حالت پلاریزاسیون خطی تنظیم شده باشد موج خروجی از پورت ۳ و پورت ۴ هم اندازه بوده و در حالتی که برای پلاریزاسیون دایروی راستگرد تنظیم شده باشد همه‌ی موج از پورت ۳ باید خارج شود و پورت ۴ عملاً نباید سیگنالی داشته باشد. همچنین در صورت تنظیم شدن برای خروج موج دایروی با پلاریزاسیون چپگرد نیز باید تمامی موج از پورت ۴ خارج شده و عملاً پورت ۳ بدون سیگنال باشد.

وصل شده و پورت های ۳ و ۴ به بارهای تطبیق شده وصل شده-
اند.



شکل ۱۶. استخراج پارامترهای سیستم

به منظور استخراج پارامترهای اصلی سیستم، دو اندازه‌گیری مورد نیاز است. یکی اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی پورت‌های ۱ و ۲ و دیگری اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی پورت‌های ۱ و ۳.

$$S_{31} = S_{L1}S_{L1} + S_{R1}S_{R1} \quad (9)$$

$$S_{21} = S_{L1}S_{L2} + S_{R1}S_{R2} \quad (10)$$

معادلات (۹) و (۱۰) با در نظر گرفتن تقارن موجود و اینکه $SL2=SR1$ و $SL1=SR2$ ، به دو معادله زیر ساده می‌شوند.

$$S_{31} = S_{L1}^2 + S_{R1}^2 \quad (11)$$

$$S_{21} = 2S_{L1}S_{R1} \quad (12)$$

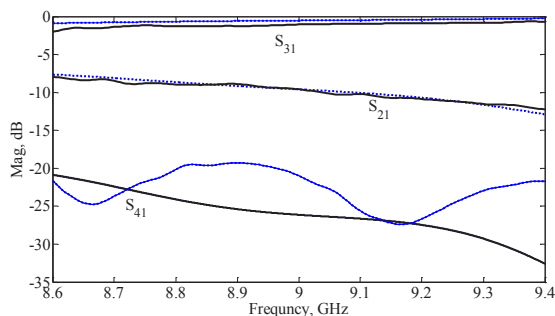
با توجه به اینکه در صورت طراحی درست پلاریزور، عدد $SR1$ باید کوچک باشد، معادله (۱۲) به معادله زیر ساده می‌شود.

$$S_{L1} \approx \sqrt{S_{31}} \quad (13)$$

در نتیجه

$$S_{R1} \approx \frac{S_{21}}{2\sqrt{S_{31}}} \quad (14)$$

در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نتایج شبیه‌سازی با نتایج تست برای پارامترهای S مقایسه شده‌اند. همانطور که از شکل پیداست، تطابق بسیار خوبی بین آنهاست که نشان از صحت طراحی و ساخت دارد.



شکل ۱۷. مقایسه نتایج تست (خط‌های ممتد) و شبیه‌سازی (خط چین‌ها) اندازه پارامترهای S برای دو پلاریزور سیستم.

(۶)

$$E = \frac{1}{2} \{ (a+d)(\hat{x} + j\hat{y}) + j(b-c)(\hat{x} + j\hat{y}) + (a-d)(\hat{x} - j\hat{y}) + j(b+c)(\hat{x} - j\hat{y}) \}$$

در نهایت با مرتب کردن رابطه (۶) به رابطه زیر که در آن مولفه-های راستگرد و چپگرد پلاریزاسیون دایروی جدا هستند، می‌رسیم. مولفه راستگرد

$$E_r = \frac{1}{2} \{ (a+d) + j(b-c) \} (\hat{x} + j\hat{y}) \quad (7)$$

مولفه چپگرد

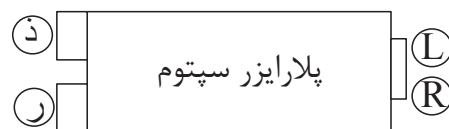
$$E_l = \frac{1}{2} \{ (a-d) + j(b+c) \} (\hat{x} - j\hat{y}) \quad (8)$$

همانطور که نشان داده شد امواج الکترومغناطیسی انتشاری را می‌توان به صورت مجموع دو مولفه راستگرد و چپگرد با فرمولاسیون فوق تجزیه کرد.

در طراحی پلاریزور راستگرد و یا چپگرد مهمترین پارامتر نسبت توان پلاریزاسیون مخالف به توان پلاریزاسیون مورد نظر است. هر چقدر این نسبت کم باشد یعنی طراحی بهتری انجام شده است. معمولاً این نسبت را به صورت لگاریتمی نشان می‌دهند.

کالیبراسیون پلاریزور سیستم

همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است برای پلاریزور سیستم که سه موجبر ورودی دارد می‌توان ۴ پورت متصور شد. پورت‌های ۱ و ۲ به ترتیب ورودی‌های موجبر WR112 هستند. پورت‌های L و R هر دو برای موجبر مربعی خارج شده از پلاریزور سیستم هستند. این موجبر به دلیل دو موده بودن در فرکانس کاری نیاز به تعریف دو پورت دارد. در اینجا برای سادگی کار دو پورت را برای مودهای راستگرد (R) و چپگرد (L) در نظر می‌گیریم. پارامترهای $SL1$ ، $SR1$ ، $SL2$ ، $SR2$ پارامتر اصلی‌ای هستند که باید استخراج شوند.



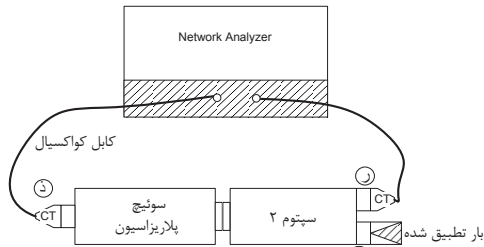
شکل ۱۵. پلاریزور سیستم

به منظور کالیبراسیون پلاریزور سیستم و استخراج پارامترهای آن، دو عدد از آن‌ها ساخته می‌شوند. سپس این دو پلاریزور سیستم به صورت ساختار نشان داده شده در شکل ۱۶ نسبت به هم قرار می‌گیرند. حال برای حالات مختلف هر بار دو پورت که با شماره‌های ۱ تا ۴ نامگذاری شده است را به بار تطبیق شده وصل کرده و پارامترهای پراکندگی دو پورت دیگر اندازه‌گیری می‌شود. مثلاً در شکل ۱۶ پورت‌های ۱ و ۲ از طریق یک تبدیل به کابل کوآکسیال

با توجه به اینکه S_L و S_{L1} به ترتیب بسیار بزرگتر از S_R و S_{R1} هستند، معادلات فوق را می توان به صورت های زیر ساده کرد.

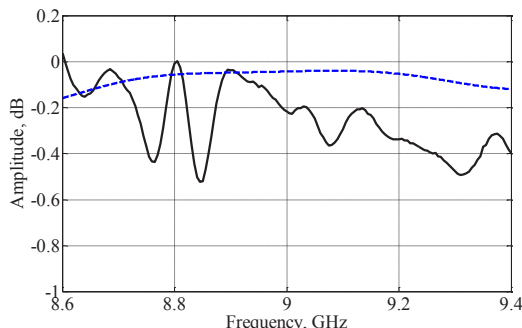
$$S_L \approx \frac{S_{31}}{S_{L1}} \quad (16)$$

$$S_R \approx \frac{S_{21} - S_L S_{R1}}{S_{L1}} \quad (17)$$

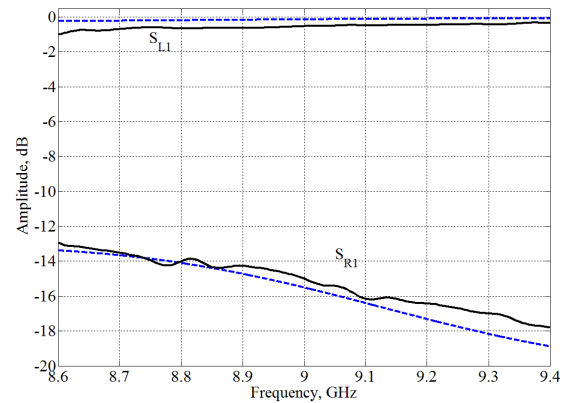


شکل ۲۰. چیدمان تست سوئیچ پارالیزاسیون

در ادامه با انجام آزمایش های لازم و اندازه گیری پارامترهای پراکندگی چیدمان نشان داده شده در شکل ۲۰ به مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و نتایج حاصل از تست می پردازیم. شکل های ۲۱ و ۲۲ به ترتیب نمودارهای S_L و S_R را که از طریق معادله های ۱۶ و ۱۷ استخراج شده اند، در حالتی که پارالیزر موج دایروی چپگرد تولید می کند، نشان می دهند. همانطور که گفته شد در صورتی که پیچش موجود در حالت ۴۵ درجه قرار گیرد، موج خروجی به صورت دایروی خواهد بود. در این دو شکل، نمودار نشان داده شده با خط چین نتایج حاصل از شبیه سازی ساختار و نمودار نشان داده شده با خط پیوسته نتایج حاصل از اندازه گیری را نشان می دهد. همانطور که شکل ۲۱ نشان می دهد با افت بسیار کمی در حد حداکثر ۰/۵dB در حالت چرخش ۴۵ درجه پیچش، موج با پارالیزاسیون دایروی خارج می شود. در ادامه با توجه به شکل ۲۲ نیز می توان دریافت که در این حالت موج با پارالیزاسیون دایروی راستگرد افت بسیار زیادی پیدا کرده است.



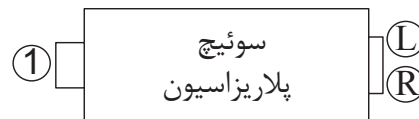
شکل ۲۱. مقایسه نمودارهای S_L استخراج شده از طریق اندازه گیری (خط پیوسته) و از طریق شبیه سازی (خط چین)



شکل ۱۸. مقایسه نتایج تست (خط ممتد) و شبیه سازی (خطوط نقطه چین) پارامترهای استخراج شده پارالیزر سپتوم

استخراج پارامترهای پارالیزر ساخته شده

شکل ۱۹ شماتیک پارالیزر ساخته شده را نشان می دهد. ساختار شامل یک موجبر مستطیلی تک مود WR112 و یک موجبر مربعی با دو مود است. موجبر تک مود مستطیلی را با عدد ۱ و پورت مربوط به موجبر مربعی را به علت داشتن دو مود انتشاری با L و R نمایش داده شده است. پارامترهای مهمی که باید استخراج شوند شامل S_L و S_R است. این دو پارامتر به ترتیب نشان دهنده نسبت توانی خروجی دایروی چپگرد و راستگرد به نسبت توان ورودی از پورت ۱ است.



شکل ۱۹. نمایش شماتیکی پارالیزر

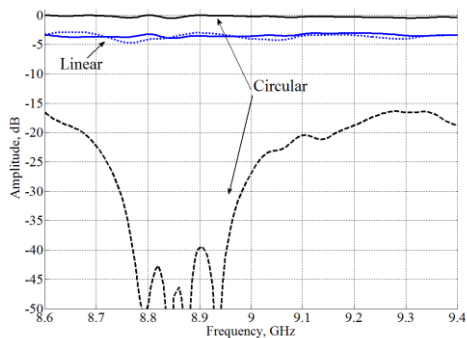
شکل ۲۰ چیدمان تست پارالیزر را نشان می دهد. همانطور که در شکل می بینیم پارالیزر با استفاده از یک تبدیل از سمتی که موجبر WR112 دارد به تحلیلگر شبکه وصل است و سر دیگر آن که موجبری مربعی است به سپتوم پارالیزر متصل است. طریقه اندازه گیری بدین گونه است که یکی از خروجی های سپتوم را به بار تطبیق و سر دیگر آن را از طریق تبدیل به تحلیلگر شبکه وصل می شود. با استخراج پارامترهای پراکندگی برای هر دو پورت ۲ و ۳ با استفاده از روابط گفته شده در قسمت قبل پارامترها استخراج می شوند.

$$S_{31} = S_L S_{L1} + S_R S_{R1} \quad (14)$$

$$S_{21} = S_L S_{R1} + S_R S_{L1} \quad (15)$$

از پارامترهای مهم دیگر ساختار مقدار S_{11} در دو حالت خروجی دایروی (پیمچش ۴۵ درجه) و خروجی خطی است. شکل‌های ۲۴ و ۲۵ به ترتیب نمودار S_{11} برای حالت خطی و دایروی را نشان می‌دهند. همانطور که در این دو شکل مشهود است هر دو در تمام پهنای باند مقدار قابل قبول زیر -15dB هستند.

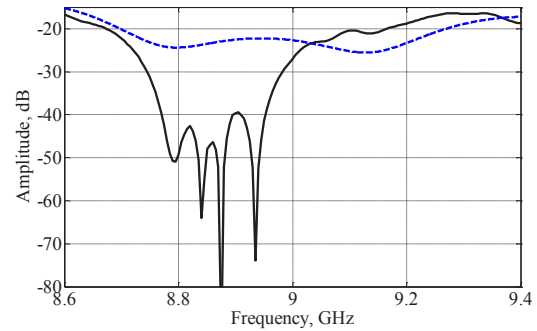
در نهایت به منظور مطالعه عملکرد ساختار در حالت‌های خروجی خطی و خروجی دایروی شکل ۲۶ آورده شده است. این شکل پارامترهای S ساختار را برای دو حالت نشان می‌دهد. خطوط پیوسته نمودار مربوط به پلاریزاسیون چپگرد و خط چین‌ها برای پلاریزاسیون راستگرد هستند. در حالتی که پلاریزور در مود خطی کار می‌کند هر دو پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد نصف توان خروجی را تشکیل می‌دهند. موقعی که پلاریزور در مود دایروی قرار می‌گیرد تقریباً توان خروجی همگی با پلاریزاسیون دایروی چپگرد خارج می‌شود.



شکل ۲۶. نمودار پارامترهای S پلاریزور برای دو مود خطی خروجی و دایروی خروجی.

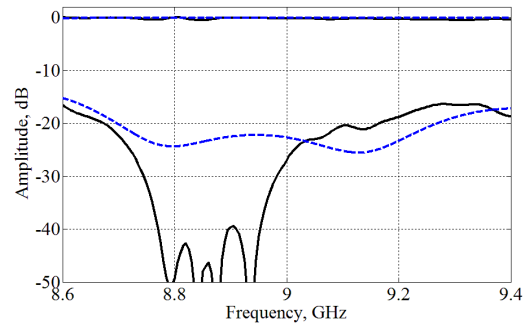
نتیجه‌گیری

پلاریزاسیون خطی و دایروی در شرایط مختلف مورد نیاز سیستم‌های راداری است. یک سوئیچ پلاریزور می‌تواند با قرار گرفتن قبل از آنتن و با تغییر پلاریزاسیون، سیگنال مطلوب را برای ارسال به آنتن ایجاد نماید. در این مقاله یک سوئیچ پلاریزور موجبری در باند X طراحی، ساخته و تست شده است که پارامترهای حاصل از آن بسیار مناسب می‌باشند. در این پلاریزور از یک ساختار برای ایجاد دو مولفه و از یک تغییردهنده فاز برای ایجاد اختلاف فاز 90° درجه بین دو مولفه استفاده شده است که در نهایت پلاریزاسیون خطی و دایروی را ایجاد می‌کند. جهت تست سوئیچ ساخته شده، نیاز به یک تست کننده می‌باشد که آن نیز در این مقاله طراحی و ساخته شده است و روابط تحلیل آن نیز به صورت مبسوط بیان شده است. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج تست نشان می‌دهد که مطابقت خوبی بین آن‌ها برقرار است که صحت طراحی و عملکرد را نشان می‌دهد. این سوئیچ برای استفاده در سیستم‌های راداری بسیار مفید و پرکاربرد است.

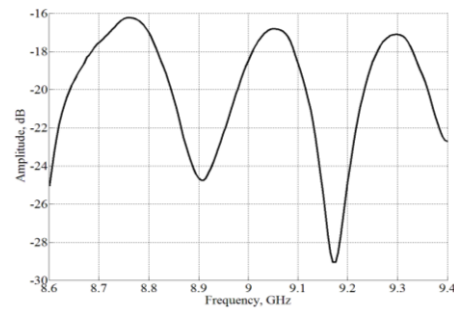


شکل ۲۲. مقایسه نمودارهای S_R استخراج شده از طریق اندازه‌گیری (خط پیوسته) و از طریق شبیه‌سازی (خط چین)

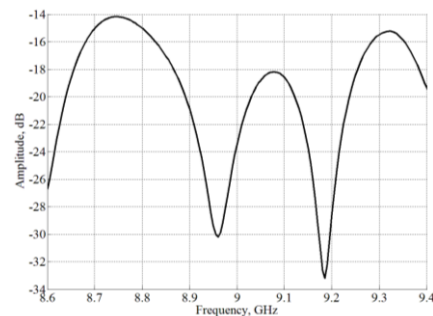
در نهایت برای مقایسه بهتر هر دو نمودار پلاریزاسیون‌های راستگرد و چپگرد را در در نمودار شکل ۲۳ نشان داده‌ایم.



شکل ۲۳. مقایسه نمودارهای S_R استخراج شده از طریق اندازه‌گیری (خط پیوسته) و از طریق شبیه‌سازی (خط چین)



شکل ۲۴. نمودار S_{11} استخراج شده از طریق اندازه‌گیری برای پلاریزاسیون خطی خروجی



شکل ۲۵. نمودار S_{11} استخراج برای حالت پلاریزاسیون دایروی خروجی

- [1] M. I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems," McGraw-Hill, 1962.
- [2] C. A. Ballanice, "Modern antenna handbook," John Wiley & sons, 2008, pp. 47.
- [3] R. C. Johnson, "Antenna engineering handbook," McGraw-Hill, 1993, pp. 797.
- [4] J. L. Volakis, "Antenna engineering handbook," McGraw-Hill, 2007, pp. 854.
- [5] T. A. Milligan, "Modern antenna design," John Wiley & sons, 2005, pp. 37.
- [6] Yoneda, N., Miyazaki, R., Matsumura, I., Yamato, M., "A design of novel grooved circular waveguide polarizers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 48, pp. 2446-2452, Dec. 2000.
- [7] R. Tascone, O. A. Peverini, G. Addamo, and R. Orta, "Combined-Phase-Shift Waveguide Polarizer," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 18, pp. 509-511, Aug. 2008.
- [8] E. Lier, "An extremely broad-band waveguide polarizer," *International Symposium of Antennas and Propagation Society*, vol. 3, pp. 1286-1289, Syracuse, Jun. 1988.
- [9] W. B. Offutt, "A review of circular polarization as a means of precipitation clutters suppression and examples," *Proc. National Electronics Conference, Chicago*, Vol. II, pp. 94- 100, 1955.
- [10] N. C. Albertsen and Per Skov-Madsen, "A Compact Septum Polarizer," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-31, No. 8, August 1983.
- [11] A. J. Simmons, "Phase shift by periodic loading of waveguide and its application to broad-band circular polarization," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-3, pp. 18-21, Dec. 1955.
- [12] Y. Li, C. Jiao, and J. Luo, "A Mode Converter with Multi-waveguide Output from the TE_{01} Circular Waveguide Mode to the TE_{10} Rectangular Mode for Millimeter Wave Gyro-device Applications," *Int. J. Infrared Millim. Waves* 28, 1155 (2007).

