

شبکه تغذیه هشت دهانه ای غیر هم صفحه برای استفاده در رادارهای مونو پالس

تاریخ دریافت:

۲۸ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۹ خرداد ماه ۱۴۰۳

مرتضی محمدی شیرکلایی^{*۱}

۱. استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.

چکیده

سیستم های ردگیری تک پالس بیشتر در کاربردهای ردگیری هدف استفاده می شوند. در حالت کلی، آنتن یک سیستم ردگیری تک پالس به چهار ربع تقسیم می شوند که ورودی های این آنتن با استفاده از یک شبکه مجموع و تفاضل ترکیب می شوند، تا سیگنال های مجموع و تفاضل افقی و عمودی را بدهند. مطابق قرارداد، سیگنال های مجموع و تفاضل یک سیستم ردگیری به وسیله شبکه تغذیه مجموع و تفاضل به دست می آید. این شبکه اغلب از چهار تی جادویی ترکیب می شوند، یک تی جادویی معمولی یک موجبر تطبیق شده با دو تی می باشد، که بازوهایش در چهار جهت متفاوت واقع می شود، که حجم زیادی را اشغال می کند. در این مقاله یک شبکه تغذیه هشت دهانه ای به جای چهار تی جادویی چهار دهانه ای، پیشنهاد شده است. شبکه تغذیه هشت دهانه ای در باند X به روش تمام موج تحلیل شده و دارای پایداری فاز و توان مناسب بین دهانه ها می باشد. ساختار پیشنهادی در شبکه تغذیه رادارهای مونو پالس استفاده می شود.

واژه های کلیدی: تزویج کننده جهتی، تی جادویی، تغییر دهنده فاز، رادار تک پالس

Non Planar Eight-Port Feeding Network for Use in Monopulse Radars

Morteza Mohammadi Shirkolaei^{*1}

1. Assistant professor, Department of Electrical Engineering, Shahid Sattari Aeronautical University, Tehran, Iran.

Abstract

Mono pulse tracking systems are mostly used in target tracking applications. In general, the antenna of a mono pulse tracking system is divided into four quadrants, and the inputs of this antenna are combined using a sum and difference network, to give horizontal and vertical sum and difference signals. According to the convention, the sum and difference signals of a tracking system are obtained by the sum and difference feeding network. This network is often composed of four magic tees which combined with two tees, whose arms are located in four different directions, which occupies a large volume. In this article, an eight-port feeding network is proposed instead of four four-port magic tees. The eight-port feeding network in the X-band is analyzed by the full-wave method and has phase stability and suitable power between the ports. The proposed structure is used in the feeding network of monopulse radars.

Key words: Directional coupler, magic tee, phase shifter, mono pulse radar.

مدارات موجبری در فرکانسهای موج میلیمتری و سیستمهای مایکروویو توان بالا و رادارها به علت تلفات کم و طولنایی جا به جایی توان مورد توجه واقع شده‌اند. در هر دو کاربرد، دستیابی به ساختار مداری ساده بدور از پیچیدگی‌هایی از قبیل روزنه‌های تزویج، و ستون‌های تنظیم، برای سادگی ساخت و دوری از اشباع میدان الکتریکی بیش از اندازه، مورد توجه می‌باشد [۱-۴]. آنتنهای شکافدار موجبری تک پالس به علت ساختار یکپارچه و سخت، راندمان تشعشع بالا، کنترل دقیق روی دامنه و فاز و توانایی جا به جایی توان بالا امروزه کاربردهای نظامی و غیر نظامی بسیاری، پیدا کرده است. وزن، اندازه و شکل آنتن‌های شکافدار به ماژول‌های هر یک از آرایه‌ها مثل تزویج‌کننده‌ها و تشعشع‌کننده‌های موجبری، شبکه‌های تغذیه و شبکه‌های مقایسه‌گر تک پالس بستگی دارد. شبکه مقایسه‌گر تک پالس یک قسمت حساس از یک سیستم آنتنی را تشکیل می‌دهد. این شبکه توان را از چهار آنتن برای ایجاد یک پترن مجموع و دو پترن تفاضل عمودی و افقی استخراج می‌کند. هر خطا در شبکه می‌تواند به شدت روی کارایی آنتن تاثیر بگذارد. یک تی جادویی اساس ساخت یک مقایسه‌گر تک پالس (که نقش مهمی را در ساختمان آرایه‌های کم وزن و بهم فشرده بازی می‌کند) می‌باشد و کارایی این مقایسه‌گر تک پالس به میزان دقت طراحی تی جادویی تکی بستگی دارد. با توجه به مطلب فوق این مقایسه‌گرها بعنوان یک قسمت جدایی ناپذیر از آنتن‌های تک پالس می‌باشند [۵]. سیستم‌های ردگیری تک پالس بیشتر در کاربردهای ردگیری هدف استفاده می‌شوند. در حالت کلی، آنتن یک سیستم ردگیری تک پالس به چهار ربع تقسیم می‌شوند که ورودی‌های این آنتن با استفاده از یک شبکه مجموع و تفاضل ترکیب می‌شوند، تا سیگنال‌های مجموع و تفاضل افقی و عمودی را بدهند. مطابق قرارداد، سیگنال‌های مجموع و تفاضل یک سیستم ردگیری به وسیله شبکه مجموع و تفاضل به دست می‌آید. سیگنال دریافتی و پرتو تفاضل دامنه، خطای زاویه را معین می‌کند و سیگنال دریافتی با پرتو مجموع اندازه‌گیری فاصله را ممکن می‌سازد و همچنین به عنوان یک مرجع برای استخراج علامت سیگنال خطا به کار می‌رود [۶]. چون مقایسه فاز بین خروجی کانالهای مجموع و تفاضل انجام می‌گیرد، لازم است که اختلاف فاز ایجاد شده توسط هر یک از کانالها یکسان باشد. بر اساس ادعای آقای پیچ اختلاف فاز بین دو کانال باید کمتر از ۲۵ درجه باشد تا عملکرد خوبی بدست آید. همچنین بهره کانال نایبستی تفاوت چندانی با هم داشته باشد [۶].

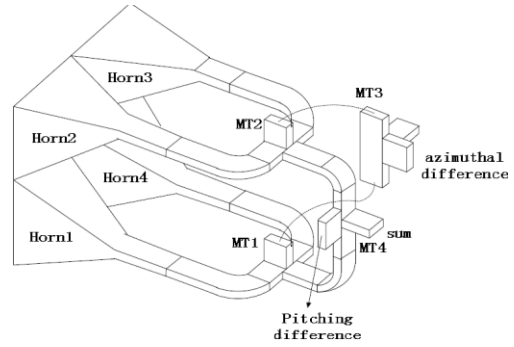
پالس با چهار آنتن هورن، نشان می‌دهد. در این شکل شبکه مجموع و تفاضل از چهار تی جادویی معمولی تشکیل شده‌است. برای سادگی نمایش، اتصالات MT1 و MT2 به MT3 با خط تیره نشان داده شده‌اند. این شبکه‌های ترکیب شده از تی‌های جادویی معمولی حجم زیادی را اشغال می‌کند، که کوچک سازی سیستم ردگیری را محدود می‌کند. یک تی جادویی معمولی یک موجبر تطبیق شده با دو تی می‌باشد، که بازوهایش در چهار جهت متفاوت واقع می‌شود، که در دسرهایی برای مجموعه دارد (شکل ۲). بنابراین، برای چهار بازوی تی جادویی معمولی واقع شده در چهار جهت متفاوت برای پیوستن به تی‌های دیگر و آنتن باید خم شود. در چنین موقعیت‌هایی، تی جادویی هشت دهانه‌ای پیشنهادی در این مقاله مورد نیاز می‌باشد. تزویج‌کننده جهتی ۳dB و شیفت دهنده فاز ۹۰ درجه می‌تولند برای به دست آوردن کارایی تی جادویی استفاده شود [۷]. هایبرید هشت دهانه‌ای به عنوان یک مقایسه‌گر در یک سیستم راداری تک پالس و یک جمع‌کننده یا تقسیم‌کننده توان چهار کلنله، و کارهای مختلف دیگر که با استفاده از خطوط انتقال صفحه‌ای از قبیل خطوط اسلانی و مایکرواستریپی [۸-۱۱] و موجبرهای مستطیلی [۱۲] ساخته شده‌اند، به کار برده می‌شوند [۱۳]. در این مقاله یک مقایسه‌گر یا هایبرید هشت دهانه‌ای یک مدار تطبیق شده است که کاملاً خصوصیتی شبیه به هایبرید ۳dB معمولی جدا از هم، دارای تعدادی دهانه‌ای ورودی و خروجی با مشخصات زیر است:

۱) هشت دهانه به دو گروه چهار دهانه‌ای ایزوله شده از هم دیگر تقسیم می‌شوند

۲) یک توان ورودی در یک دهانه اختیاری به چهار قسمت مساوی تقسیم و به چهار دهانه گروه دیگر با یک نسبت فازی معین جابجا می‌شوند.

چهار دهانه مربوط به چهار ورودی از آنتن‌ها می‌باشد. طراحی ما به گونه‌ای است که با استفاده از تزویج‌کننده و شیفت‌دهنده فاز در یک دهانه مجموع این چهار ورودی و در دهانه دوم تفاضل ورودی بصورت افقی و در دهانه سوم تفاضل ورودی بصورت عمودی را داشته باشیم و خروجی دهانه چهارم - که به آن نیاز نداریم - به یک بار تطبیق شده منتهی می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و کمبود مراجع در به کار گیری از تی جادویی هشت دهانه‌ای برای رادارهای تک پالس ما می‌خواهیم یک تی جادویی هشت دهانه‌ای را با کمترین تلفات برگشتی و تلفات تبدیل از طریق بهبود شکل خم در ابتدای موجبر، تزویج‌کننده‌های استفاده شده و نیز شیفت‌دهنده فاز مناسب و بهینه‌سازی آنها در باند X برای رادار تک پالس طراحی و شبیه‌سازی

کنیم. در این طراحی سعی می‌کنیم که توان بصورت مساوی و با نسبت فاز مساوی بین دهانه‌های خروجی تقسیم شود.

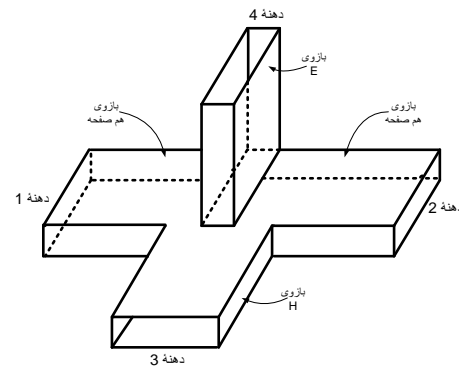


شکل ۱ - سیستم تغذیه قدیمی برای آنتن تک پالس [۵]

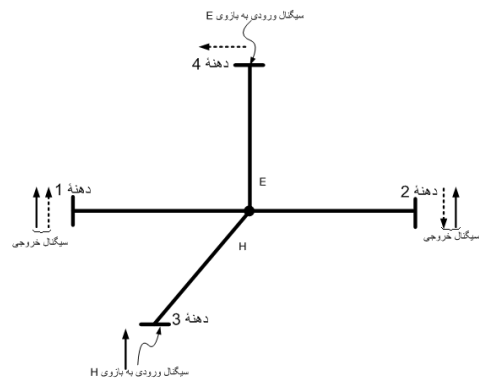
تک مد، موج وارد شده به بازوی E نمی‌تواند به بازوی H تزویج شود زیرا بردار میدان الکتریکی آن با جدار پهن بازوی H موازی بوده، زیر حالت قطع قرار می‌گیرد. از استدلال زیر معلوم می‌شود که اگر بازوهای E و H تطبیق داشته باشند، انشعاب چهار دهانه یک هیبرید 3dB تشکیل خواهد داد که معمولاً تی جادویی نامیده می‌شود. فرض می‌کنیم دو سیگنال هم دامنه به دهانه‌های ۳ و ۴ وارد می‌شوند. سیگنال وارد شده به بازوی H به تساوی بین دو بازوی هم صفحه تقسیم می‌شود. اگر طول بازوهای هم صفحه با هم برابر باشند، سیگنالهای خروجی در دهانه‌های ۱ و ۲ همفاز خواهند بود. در شکل ۳ فاز بردارهای مربوط با پیکانهای توپر نشان داده شده‌اند. سیگنال وارد شده به بازوی E نیز به تساوی تقسیم می‌شود، اما در این حالت همان طور که با پیکانهای خط چین نشان داده شده است، سیگنالهای دهانه‌های ۱ و ۲ با هم ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند. اگر هر دو بازوی E و H تطبیق داشته باشند، دامنه هر چهار فاز بردار خروجی یکسان خواهند بود. بنابراین اگر فرض کنیم طول خطوط با هم برابرند، سیگنالها در دهانه ۱ با هم جمع و در دهانه ۲ از هم کم می‌شوند. چون شبکه مزبور متقابل است، این مطلب به این معنی است که سیگنال وارد شده به دهانه ۱ بین دو بازوی E و H به تساوی تقسیم شده، هیچ سیگنالی به بازوی هم صفحه دیگر نمی‌رسد. به علاوه، هیچ انعکاسی در دهانه ۱ وجود ندارد، زیرا تمام ورودی به دهانه‌های ۳ و ۴ (در صورت تطبیق با امپدانس انتهایی) تحویل می‌شود. به همین ترتیب، سیگنال ورودی به دهانه ۲ به تساوی بین دهانه‌های ۳ و ۴ تقسیم می‌شود، و هیچ سیگنالی به دهانه ۱ نمی‌رسد. بنابراین اگر بازوهای E و H تطبیق داشته باشند و بدون تزویج نیز باشند، بازوهای هم صفحه نیز تطبیق دار و بدون تزویج خواهند بود. توان وارد شده به هر یک از دهانه‌ها، باعث تقسیم توان به صورت مساوی بین دو دهانه خروجی می‌شود، و بنابراین تی جادویی یک هیبرید ۳dB است. بر اساس ویژگی ذکر شده، ماتریس پراکندگی در یک تی جادویی ایده ال را می‌توان چنین نوشت:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

تی جادویی شبیه سازی شده در باند X با استفاده از نرم‌افزار HFSS در شکل ۴ نشان داده شده است. که اندازه المانهای آن به شرح زیر می‌باشد: (همه پارامترها واحداً میلی متر می‌باشد). موجبر استفاده



شکل ۲ - شمای از یک تی جادویی معمولی



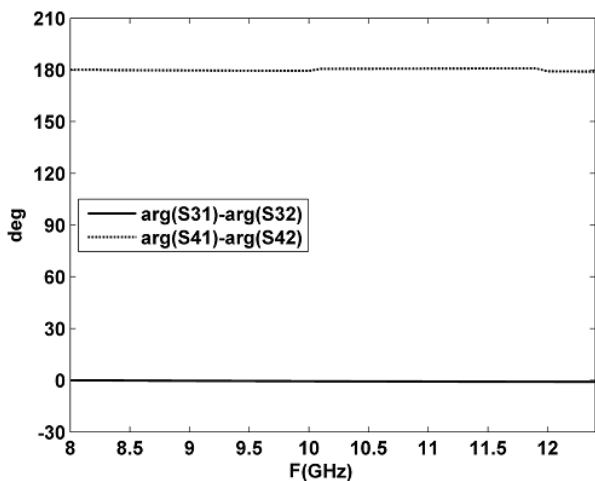
شکل ۳ - شمای از یک تی جادویی معمولی

در این مقاله در بخش دوم، به طراحی تی جادویی چهار دهانه‌ای، تزویج کننده جهتی و تغییر دهنده فاز پرداخته می‌شود. در بخش سوم با اتصال این سه المان با یکدیگر شبکه تغذیه هشت دهانه‌ای طراحی شده و نتایج آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در نهایت نتایج این مقاله ارائه خواهد شد.

۲- اجزایی تشکیل دهنده شبکه تغذیه هشت دهانه ای

الف) تی جادویی چهار دهانه ای

یک روش تحقق هیبرید 3dB این است که مطابق شکل ۲ یک سه راهی E و یک سه راهی H را با هم ترکیب شوند. با توجه به جهت بازوهای E و H، دهانه‌های ۳ و ۴ بدون تزویج‌اند. مثلاً با فرض انتشار



شکل ۶ - مشخصه فازی تی جادویی تطبیق شده با پستهای پله‌ای در محل پیوند

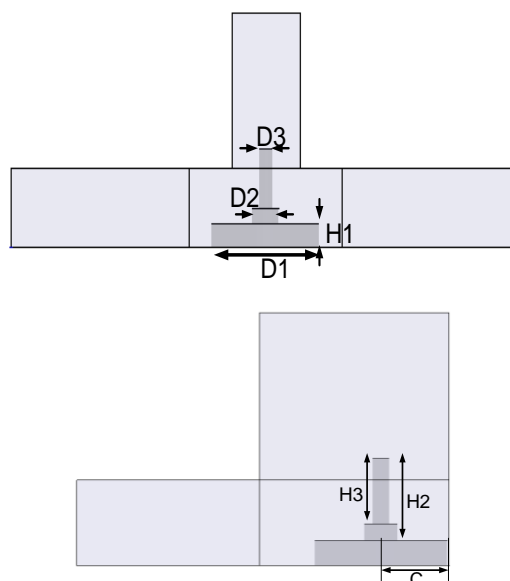
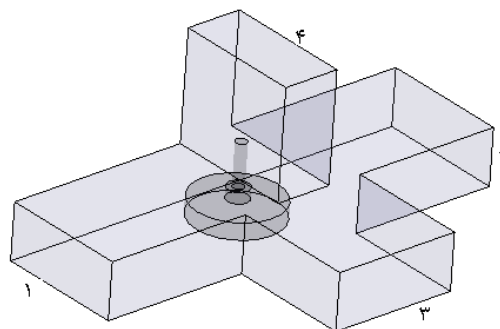
ب) تزویج کننده جهت دار

یک تزویج کننده جهتدار شبکه‌ای چهار دهانه‌ای است که در آن بخشی از امواج سیار پیشرو و پسرو در روی خط به صورت جداگانه به دو دهانه‌ای آن تزویج می‌شود. در نتیجه، این تزویج کننده در سیستمهایی که اندازه‌گیری دامنه و فاز موج ساکن در آنها لازم است استفاده گسترده‌ای دارد. در موجرها، متداولترین روش تزویج، استفاده از روزنه‌هایی است که معمولاً به شکل شیارهای نازک یا سوراخهای گرد در جدارهای موجبر قرار می‌گیرد. یکی از این تزویج کننده‌ها، تزویج کننده شیار کوتاه ریبلت با خصوصیتی همچون: تقسیم توان برابر، ایزولاسیون بالا، VSWR پایین و اختلاف فاز دقیق ۹۰ درجه بین دو دهانه خروجی با پهنای باند ۱۵ درصد می‌باشد [۱۴]. شکل ۷ تزویج کننده شیار کوتاه ریبلت را نشان می‌دهد. این تزویج کننده از دو موجبر مستطیلی با سطح مقطع $a \times b$ تشکیل شده است که قسمتی از جدار باریک مشترک آنها برداشته می‌شود. عرض و طول ناحیه تزویج آن به ترتیب عبارتند از: $2a$ و L . یک موج TE_{10} تابیده به دهانه ۱ را می‌توان به صورت مجموع جفت سیگنالهای با مد زوج و فرد در دهانه‌های ۱ و ۴ در نظر گرفت [۱۵]. عرض و طول موج قطع موجبر در ناحیه تزویج برای جفت سیگنال با مد زوج به ترتیب برابر با $2a$ و $a = 4\lambda_c$ است، بنابراین طول موج برای حالت زوج در فرکانس f برابر است با:

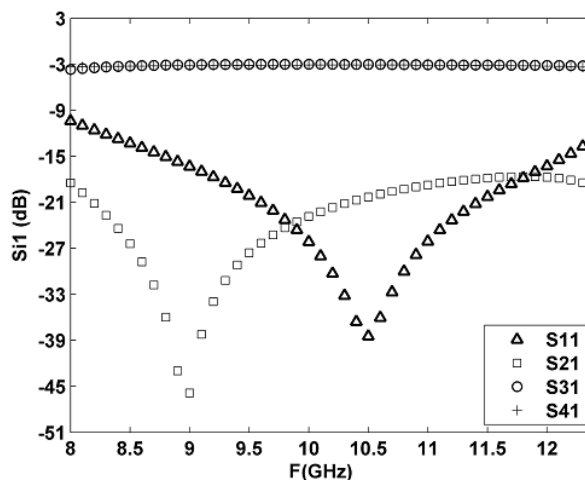
$$\lambda_{ge} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{4a}\right)^2}}, \lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

از آنجائیکه سیگنالهای ورودی در ناحیه تزویج با تحریک جفت سیگنال فرد ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند، مد TE_{20} در آن ایجاد

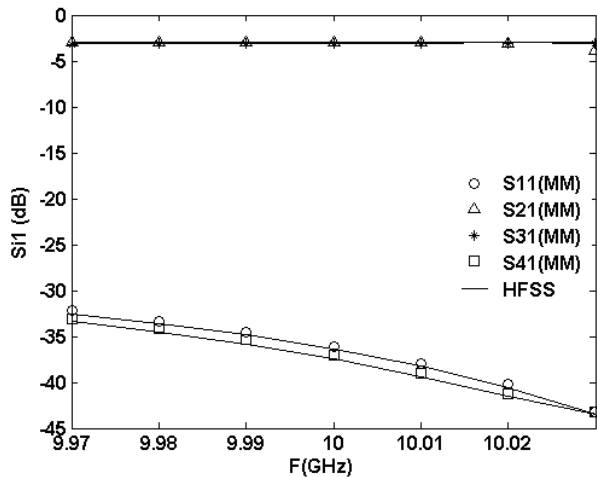
شده: $WR90$ (22.9×10.2)، $D1=16$ ، $D2=4$ ، $D3=2$ ، $H1=3$ ، $H2=9.8$ ، $H3=7.8$ و $C=8.25$ می‌باشد. شکل ۵ پارامترهای پراکندگی تی جادویی تطبیق شده را نشان می‌دهد، که دارای پهنای باند خوب در باند X می‌باشد. شکل ۶ مشخصه فازی ذاتی تی جادویی را در باند مورد نظر تایید می‌کند.



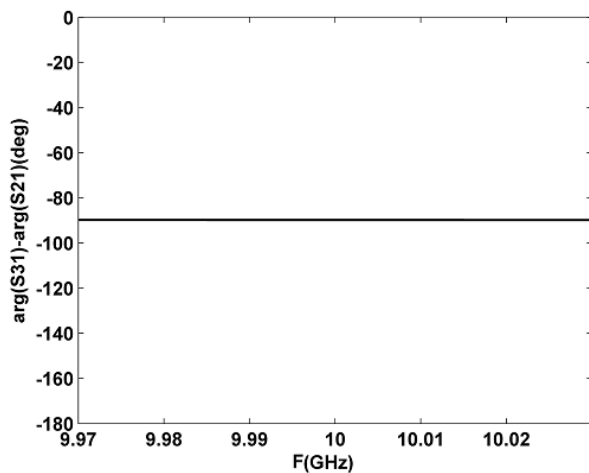
شکل ۴ - ساختار تی جادویی تطبیق شده با پستهای پله‌ای در محل پیوند



شکل ۵ - پارامترهای پراکندگی تی جادویی تطبیق شده با پستهای پله‌ای در محل پیوند



شکل ۸ - پارامترهای پراکنندگی تزویج کننده جهتی



شکل ۹ - مشخصه فازی تزویج کننده جهتی

با توجه به رابطه بیان شده تغییر فاز را می توان با تغییر ϵ_r ، عرض موجبر a و یا تغییر طول موجبر انجام داد. μ_r و ϵ_r به ترتیب قابلیت نفوذ الکتریکی و مغناطیسی نسبی موجبر می باشد. در این مقاله برای ایجاد فاز ۹۰ درجه از تغییر طول در ورودی های شبکه تغذیه استفاده شده است.

۳- شبکه تغذیه هشت دهانه ای و بررسی نتایج آن

در این بخش به بررسی نتایج تی جادویی هشت دهانه ای غیر هم صفحه می پردازیم (شکل ۱۰). برای طراحی آن از اتصال دو عدد تی جادویی تطبیق شده، دو عدد تزویج کننده جهتی و دو عدد تغییر دهنده فاز موجبری استفاده شده است. با فرض اینکه بیم رسیده به ورودی دهانه های تی جادویی بصورت شکل ۱۱ باشد، در آن صورت دهانه پنجم دهانه مجموع، دهانه های ۶ و ۸ به ترتیب دهانه های تفاضل عمودی و افقی سیگنال های ورودی به تی جادویی می باشند. دهانه هفتم به دلیل غیر استفاده بودن در ردیابی هدف به یک بار تطبیق شده وصل می گردد.

می شود. بنابراین در این مد $\lambda_c = a$ است، پس طول موج آن در فرکانس f برابر است با:

$$\lambda_{go} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}, \lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

در این حالت اختلاف فاز بین دو مد زوج و فرد بصورت زیر می باشد:

$$\varphi = 2\pi \left(\frac{L}{\lambda_{ge}} - \frac{L}{\lambda_{go}} \right) \quad (4)$$

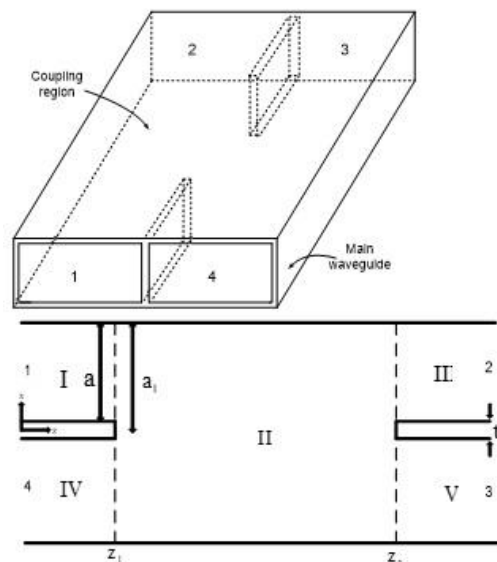
با توجه به روابط بالا برای بدست آوردن خاصیت تزویج کننده یعنی $\varphi = \frac{\pi}{2}$ در فرکانس ۱۰ GHz، مقدار L برابر ۳۹.۶ mm بدست می آید.

بر اساس تحلیل تمام موج پارامترهای پراکنندگی تزویج کننده جهتی با ابعاد $a=22.9$ mm، $b=10.2$ mm، $Z_2 - Z_1=36$ mm و $t=1$ mm در شکل ۸ نشان داده شده است. مشخصه فازی نشان داده شده در شکل ۹ بیانگر اختلاف فاز دقیق ۹۰ درجه بین دو دهانه خروجی تزویج کننده جهتی می باشد.

ج) تغییر دهنده فاز موجبری

تاخیر فاز مربوط به موجبر به طول L و عرض a در فرکانس f از رابطه $\varphi = \beta L$ بدست می آید [۱۵]، که در آن:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}, \lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r - \left(\frac{\lambda_o}{2a}\right)^2}}, \lambda_o = \frac{c}{f} \quad (5)$$



شکل ۷ - تزویج کننده شیار کوتاه ریپلت

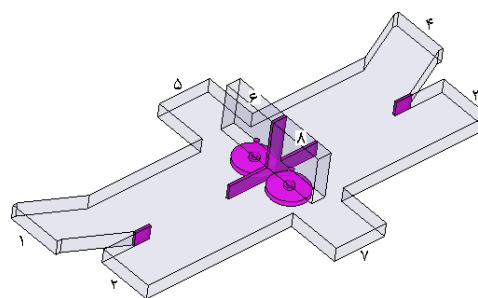
که λ_g طول موج در موجبر است. اگر مولد و بار با امپدانس موجبر تطبیق داشته باشند، این کمیت بیانگر فاز تعبیه موجبر نیز خواهد بود.

۴- نتیجه گیری و بحث

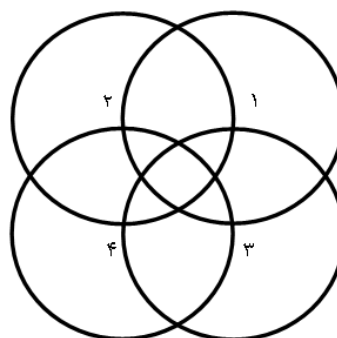
کاهش حجم یکی از مهمترین معیار در شبکه‌های مقایسه‌گر تک پالس می‌باشد. با اتصال دو تی جادویی چهار دهانه‌ای، دو تزویج کننده جهتدار و دو عدد تغییر دهنده فاز موجبری با استفاده از تغییر طول، شبکه تغذیه هشت دهانه‌ای در باند X طراحی و شبیه سازی شده است. ساختار پیشنهادی دارای تقسیم توان 6dB- و تلفات برگشتی کمتر از 28dB- و ایزولاسیون بین پورت ها کمتر از 23dB- در پهنای باند مورد نظر می باشند. استفاده از این شبکه تغذیه منجر به ایجاد نال کمتر از 22dB- در پترن آنتن مونوپالس خواهد شد که مقدار مطلوب در اینگونه رادارها می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] Rossi R, Vincenti Gatti R. An H-Plane Groove Gap Waveguide Magic-T for X-Band Applications. Electronics. 2022; 11(24):4075.
- [2] Wave Waveguide Magic Tees and Power Dividers for Manufacturing Ability," 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), London, United Kingdom, 2022, pp. 229-232.
- [3] M. M. M. Ali, S. Patel and A. -R. Sebak, "A Novel Wideband Ridge Gap Waveguide Magic Tee for Millimeter-Wave Application," 2022 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt), Alexandria, Egypt, 2022, pp. 1-6.
- [4] M. Mohammadi, F. Hojjat-Kashani, "Planar eight port waveguide mono-pulse comparator," Progress In Electromagnetics Research C, vol. 6, pp. 103-113, 2009.
- [5] M Mohammadi, FH Kashani, J Ghalibafan, "A compact planar monopulse combining network at W-band", 5th IEEE GCC Conference & Exhibition, 2009, 1-5.
- [6] L. Skolnik, M. I., Introduction to Radar Systems, 2nd edition, Tata McGraw Hill, New Delhi, 1999.
- [7] L. Ren and Y. Shu, "Full-Band Millimeter Wave Waveguide Magic Tees and Power Dividers for Manufacturing Ability," 51st European Microwave Conference (EuMC), London, United Kingdom, 2022, pp. 229-232.
- [8] Z.X. Wang, W.B. Dou, G.H. Li, "A Design of H-Plane Magic Tee at W Band," ICMMT2008 Proc., pp. 280-283, Dec 2008.
- [9] Varghese, J.; Easwaran, M.S.; Christopher, S.; Rao, Y.M, "Computer aided design of planar waveguide monopulse comparator for low height airborne antennas," Radar 97 (Conf. Publ. No. 449 Volume , Issue , 14-16, pp. 522-525, Oct 1997.
- [10] G. P. Riblet, "Compact planar microstrip-slotline symmetrical ring eightport comparator circuits," IEEE Trans. MTT, 38, no. 10, pp.1421-1426, Oct. 1990.
- [11] T. Kawai, K. Iio, I. Ohta, and T. Kaneko, "A branch-line-type eight-port comparator circuit," IEEE MTT-S, IMS, Z-6, pp.869-872, June 1991.
- [12] C. D. Nantista, and S. G. Tantawi, "A compact, planar, eight-port waveguide power divider/combiner: The cross potent superhybrid," IEEE MGWLett., 10, pp.520-522, Dec. 2000.
- [13] Toda, K. Isao Ohta Kishihara, M A, " Parallel-Crossed H-Plane Waveguide Eight-Port Hybrid and Its Application to a Planar Magic Tee", IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, pp.1003-1006, June 2007.
- [14] L. T. Hildebrand, "Results for a simple compact narrow-wall directional coupler," IEEE Microwave and Guided Wave Lett., vol.10, 6, pp. 231- 232, June 2000.
- [15] Rizzi, P. A., *Microwave Engineering Passive Circuits*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988.

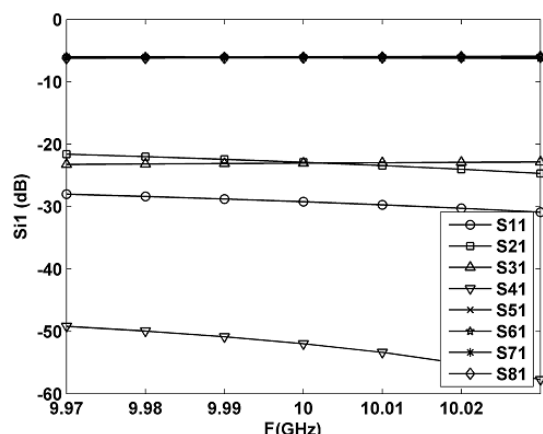


شکل ۱۰- شبکه تغذیه هشت دهانه ای غیر هم صفحه

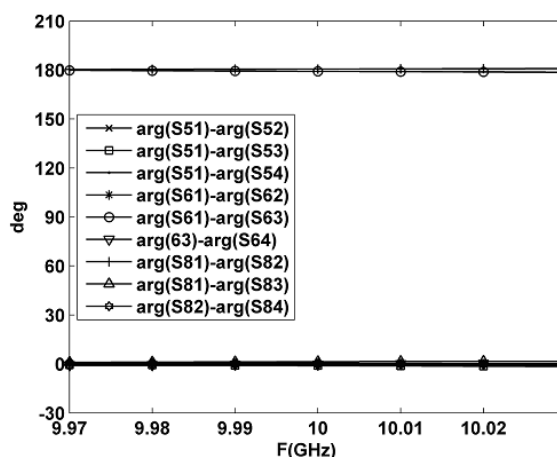


شکل ۱۱ - بیم رسیده به ورودی های تی جادویی

پارامترهای پراکندگی و مشخصه فازی شبکه تغذیه هشت دهانه‌ای غیر هم صفحه به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ رسم شده است، که بیانگر عملکرد خوب ساختار پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۱۲ - پارامترهای پراکندگی شبکه تغذیه هشت دهانه ای



شکل ۱۳ - مشخصه فازی شبکه تغذیه هشت دهانه ای