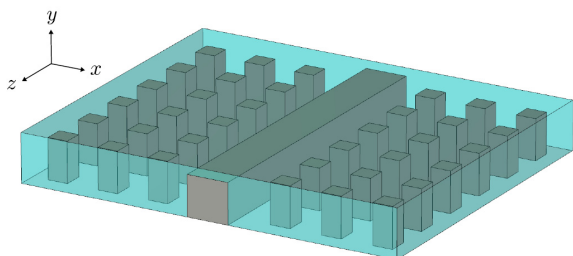
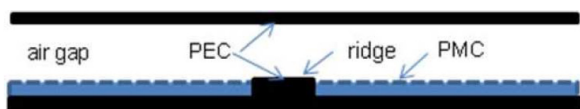


طراحی و شبیه‌سازی مقسم توان مایکروویو (۱۵-۱۸ GHz) با استفاده از فناوری RGW برای استفاده در SSPA توان بالا

عباس کریمی نویندگانی و سیداسماعیل حسینی



شکل ۱: ساختار موج‌بر فاصله هوایی (RGW) [۳].



شکل ۲: نمای از روبه‌روی موج‌بر فاصله هوایی (RGW) [۱].

هادی مغناطیسی کامل (PMC) اگر با فاصله کمتر از یک‌چهارم طول موج روبه‌روی هم قرار گرفته‌اند موج نمی‌تواند عبور کند [۱] و [۳]. نمای از روبه‌روی ساختار شکل ۱ در شکل ۲ آمده است. توجه شود که ساختار متناوب به شکل میخ در شکل ۲ نشان داده نشده و همان طور که مشاهده می‌شود در موج‌بر RGW نیز از همین ویژگی استفاده شده است. قسمت متناوب موج‌بر در حکم یک صفحه با امپدانس بالا یا یک PMC عمل می‌کند و تیغه وسط نیز یک PEC است، در نتیجه موج‌بر روی تیغه مرکزی محبوس می‌ماند و حرکت می‌کند. مود انتشاری در این موج‌بر مود شبه TEM^۴ است. مزیت موج‌بر RGW در مقایسه با ساختارهای رایج موج‌بری و ridge waveguide این است که چون مود غالب انتشاری در آن مود شبه TEM است بنابراین دارای دیسپرزین کمتر و پهنای باند بیشتر هستند. به علاوه به دلیل آن که امواج نشتی در RGW توسط ساختار متناوب به شدت تضعیف می‌شوند بنابراین نیاز به اتصال الکتریکی کامل نیست که باعث می‌شود ساخت آن در فرکانس‌های بالا مانند موج میلی‌متری راحت‌تر باشد و حساسیت آن به خطای ساخت کمتر شود. تا کنون از این فناوری در کاربردهای زیادی مانند کوپلر [۴]، اتصال Y شکل [۵] و [۶]، فیلتر [۷] و ... استفاده شده است. در این مقاله با استفاده از فناوری RGW یک مقسم/ ترکیب‌کننده توان در باند Ku (در محدوده فرکانس ۱۵-۱۸ GHz) طراحی و شبیه‌سازی می‌شود. این ساختار قابلیت افزودن ادوات فعال نیمه‌هادی برای ساخت تقویت‌کننده توان حالت جامد را خواهد داشت.

۲- طراحی و شبیه‌سازی سلول واحد RGW

در این بخش یک سلول واحد RGW طراحی و شبیه‌سازی می‌شود و منحنی پاشندگی آن برای تعیین باند گذر و عدم گذر رسم می‌گردد. سلول

چکیده: در این مقاله، یک مقسم/ ترکیب‌کننده توان مایکروویو ۱:۸ در باند Ku (محدوده فرکانسی ۱۵-۱۸ GHz) با استفاده از فناوری موج‌بر فاصله هوایی (Ridge Gap Waveguide) طراحی و شبیه‌سازی شده که قابل تعمیم به مقسم/ ترکیب‌کننده توان ۱:N دلخواه است. در این طرح از ساختار فلزی یکپارچه و اتصال با شکل T و همچنین تطبیق امپدانس چندقسمتی استفاده شده است. مقسم توان شبیه‌سازی شده دارای تلف بازگشتی بهتر از ۱۰ dB- در پهنای باند مورد نظر است. همچنین اندازه ضریب انتقال از دهانه ورودی به هر کدام از دهانه‌های خروجی حدود ۹ dB- است که مورد انتظار است. همچنین تفاوت بین فاز ضریب انتقال از دهانه ورودی به هر کدام از دهانه‌های خروجی کمتر از ۰/۹ درجه است.

کلیدواژه: مقسم توان مایکروویو، اتصال T، موج‌بر فاصله هوایی، تلف بازگشتی، افت عبوری.

۱- مقدمه

در طی سال‌های اخیر مطالعات جدید باعث تولید ساختار موج‌بری جدیدی شده است. این ساختار موج‌بری که اصطلاحاً به آن RGW^۱ می‌گویند برای اولین بار در سال ۲۰۰۹ معرفی شد [۱]. فناوری RGW دارای مزایای زیادی از جمله تلفات کم، پهنای باند زیاد، حساسیت کم به خطای ساخت، قابلیت استفاده در فرکانس‌های بالا مانند موج میلی‌متری، قابلیت اتصال آسان به ادوات فعال و ... است و اساس آن بر مبنای تعریف صفحه سخت و نرم که در سال ۱۹۸۸ معرفی گردید است [۲]. یک صفحه در یک راستا سخت (نرم) نامیده می‌شود اگر بتواند موج را در آن راستا انتشار ندهد (بدهد).

نمای کلی ساختار موج‌بر RGW در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود کل موج‌بر از جنس هادی الکتریکی کامل^۲ (PEC) می‌باشد و از چند بخش کلی ساخته شده است: ۱) ساختاری متناوب به شکل میخ، ۲) تیغه‌ای که در وسط قرار گرفته و به آن Ridge می‌گویند، ۳) یک صفحه PEC در پایین و چسبیده به ساختار متناوب و ۴) یک صفحه PEC که در بالا و به فاصله کمتر از ربع طول موج از آنها قرار گرفته است.

می‌توان نشان داد بین دو صفحه PEC که روبه‌روی هم قرار گرفته‌اند موج می‌تواند منتشر شود در حالی که بین یک صفحه PEC و یک صفحه

این مقاله در تاریخ ۱۲ تیر ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۷ بازنگری شد.

عباس کریمی نویندگانی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، (email: ab.karimi@shirazu.ac.ir).

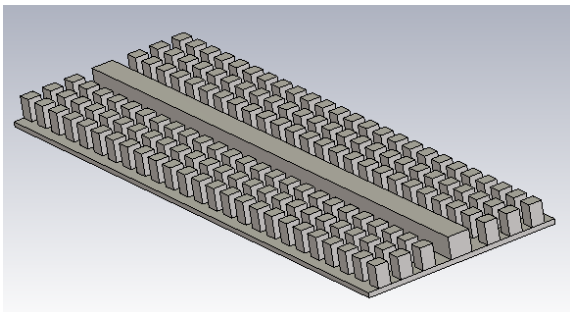
سیداسماعیل حسینی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، (email: se.hosseini@shirazu.ac.ir).

3. Perfect Magnetic Conductor

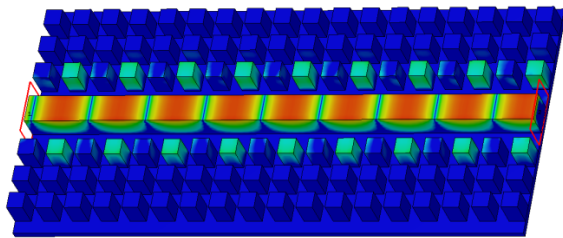
4. Quasi-TEM

1. Ridge Gap Waveguide

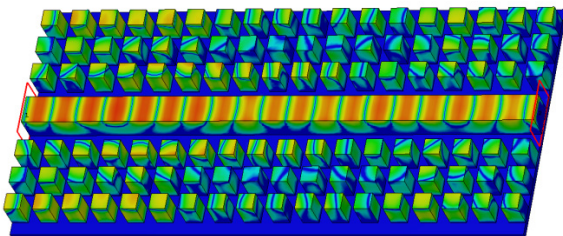
2. Perfect Electric Conductor



شکل ۴: ساختار موجبر فاصله هوایی (RGW).



شکل ۵: حرکت موج در فرکانس ۱۶٫۵ GHz (درون ناحیه شکاف باند).



شکل ۶: حرکت موج در فرکانس ۳۵ GHz (بیرون ناحیه شکاف باند).

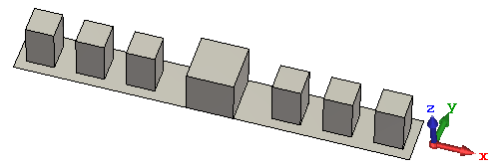
همچنین طول موج نیز با استفاده از $\lambda = 2\pi/\beta$ در فرکانس‌های مختلف قابل محاسبه است. مثلاً در فرکانس مرکزی ۱۶٫۵ گیگاهرتز طول موج برابر با $\lambda = 2\pi/328.20 = 19.14 \text{ mm}$ است.

همچنین می‌توان ثابت تضعیف این موجبر را با شبیه‌سازی به دست آورد. در یک موجبر RGW بدون تلف ایده‌آل پارامتر $|S_{r1}|$ از شبیه‌سازی با استفاده از ماده PEC قابل محاسبه است. همچنین $|S_{r1}|$ با احتساب تضعیف در موجبر مورد بحث با هادی‌های مختلف در نرم‌افزار CST مستقیماً قابل مشاهده است. به عنوان مثال اگر جنس موجبر از مس انتخاب شود و طول کل موجبر L باشد آن گاه $|S_{r1_{PEC}}| e^{-\alpha L} = |S_{r1_{Cu}}|$ که از این رابطه ثابت تلفات موجبر RGW با جنس مثلاً مس بر حسب Neper/m یا dB/m قابل محاسبه است. با شبیه‌سازی این مقدار حدود 0.15 dB/m به دست آمد که در باز فرکانسی مورد نظر (۱۵-۱۸ گیگاهرتز) تقریباً ثابت است و تغییرات خیلی کمی دارد.

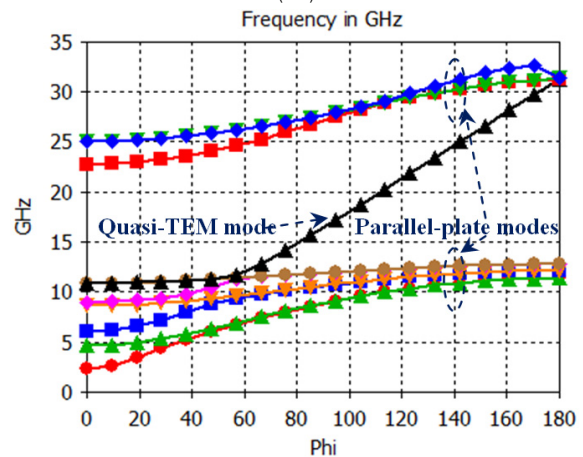
۳- طراحی و شبیه‌سازی موجبر فاصله هوایی (RGW)

با قراردادن یک Ridge با عرض 4.48 mm در بین پهن‌های متناوب و تکرار ساختار در راستای y (در شکل ۳-الف)، یک موجبر فاصله هوایی (RGW) تحقق می‌یابد که در شکل ۴ نشان داده شده است. مهم‌ترین ابعاد RGW، ارتفاع فاصله هوایی و پهنای Ridge است زیرا این پارامترها بر روی امپدانس موجبر تأثیر مستقیم دارند. ساختار متناوب می‌تواند علاوه بر مکعب به شکل استوانه نیز باشد [۸].

حرکت موج در این موجبر RGW در فرکانس‌های 16.5 GHz (درون ناحیه شکاف باند) و 35 GHz (خارج از ناحیه شکاف باند) به ترتیب در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در



(الف)



(ب)

شکل ۳: (الف) سلول واحد RGW که در راستای y تکرار می‌شود و (ب) منحنی پاشندگی آن.

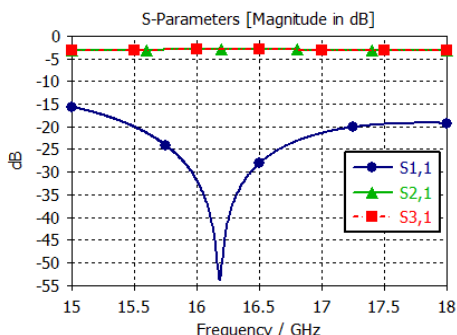
جدول ۱: ابعاد ساختار RGW.

۴٫۴۸ mm	پهنای Ridge
۰٫۷ mm	ارتفاع فاصله هوایی
۴٫۸۱ mm	دوره تکرار ساختار متناوب
۴٫۴ mm	ارتفاع Ridge
۲٫۷۱ mm	طول و عرض ساختار متناوب
۳٫۳ mm	فاصله ساختار متناوب از Ridge

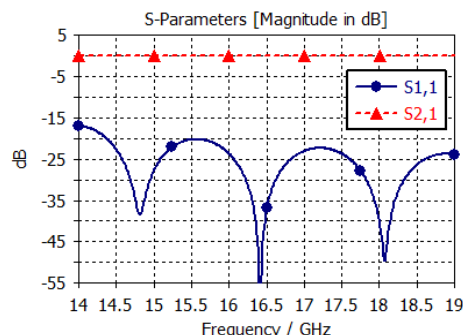
مورد استفاده برای ساختار متناوب، ساختار متداول با سطح مقطع مربعی است که در شکل ۳-الف نشان داده شده و ابعاد ساختار در جدول ۱ آمده است. قابل ذکر است که این ابعاد با استفاده از مطالب مطرح‌شده در [۱] و نیز بهینه‌سازی با نرم‌افزار CST برای کار به صورت تک مود و نیز رسیدن به بهترین ضریب انتقال و افت بازگشتی در پهنای باند مورد نظر به دست آمده است. منحنی پاشندگی این ساختار با شبیه‌سازی با نرم‌افزار CST در شکل ۳-ب نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود این ساختار با این ابعاد دارای یک شکاف باند^۱ در محدوده فرکانسی $11-22 \text{ GHz}$ است که فقط تک مود شبه TEM در آن منتشر می‌شود.

قابل ذکر است ثابت انتشار این ساختار با استفاده از نتایج شبیه‌سازی در شکل ۳-ب قابل محاسبه است. تغییر فاز مودهای مختلف بر حسب فرکانس‌های مختلف در طول یک دوره تناوب ساختار در شکل ۳-ب نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود در بازه فرکانسی $11-22$ گیگاهرتز تنها مود شماره ۷ انتشار می‌یابد و برای محاسبه ثابت انتشار به این مود باید توجه شود. برای مثال تغییر فاز در فرکانس 16.5 گیگاهرتز در طول یک دوره تناوب، 90.45 درجه است و برای محاسبه ثابت انتشار در این فرکانس کافی است تغییر فاز بر طول دوره تناوب تقسیم شود که برابر $\beta = \varphi/L = 328.20 \text{ (rad/m)}$ می‌شود. ثابت انتشار در بقیه فرکانس‌ها نیز به شکل مشابه قابل محاسبه است.

1. Band Gap



شکل ۹: افت بازگشتی ($|S_{11}|$) و تلف عبوری ($|S_{21}|$) شبیه‌سازی شده مقسم توان ۱:۲ با استفاده از RGW.



شکل ۷: افت بازگشتی ($|S_{11}|$) و تلف عبوری ($|S_{21}|$) شبیه‌سازی شده موجبر RGW.

معرفی شده با استفاده از تشابه بین خط استریپ و RGW به دست آمده و روشی تقریبی برای محاسبات اولیه است. به دلیل این که ساختار متناوب را نمی‌توان یک PMC کامل دانست و شکل میدان‌ها بین RGW و خط استریپ دقیقاً یکسان نیست نمی‌توان آن را یک رابطه دقیق دانست. میدان‌ها اگرچه مشابهت دارند اما دقیقاً یک‌شکل نیستند و تفاوت عمده‌ای که دو شکل با یکدیگر دارند مربوط به موج‌هایی هستند که در کناره تیغه مرکزی حرکت می‌کنند که می‌توان به وضوح آنها را در شکل ۵ مشاهده کرد و دلیل اصلی حرکت موج در کناره‌های تیغه آن است که در کناره‌های آن یک PMC ایده‌آل نیست. به جز این روش، روش‌های دیگری نیز در [۶] و [۹] معرفی شده که با محاسبات نرم‌افزارهای مختلف می‌توان به امپدانس موجبر رسید که نشان داده شده است در امپدانس موجبر RGW تابعیت کمی به فرکانس دارد. گرچه این وابستگی در ناحیه فرکانسی که موجبر با تک مود شبه TEM کار می‌کند خیلی کم است و تقریب (۱) تقریب خوبی است.

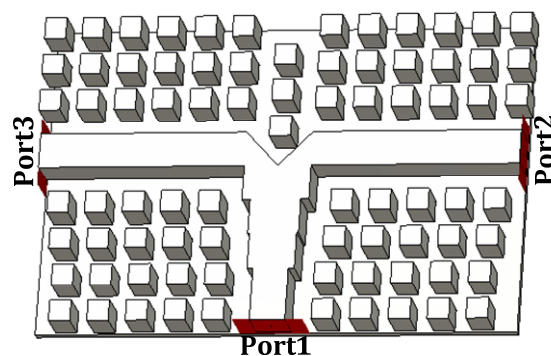
اگر بخواهیم امپدانس موجبرهای دهانه‌های خروجی برابر با Z_0 باشد بنابراین امپدانس ورودی نقطه اتصال موجبرهای دهانه‌های خروجی $Z_0/2$ می‌شود و در صورتی که بخواهیم امپدانس دهانه ورودی نیز $Z_0/2$ باشد نیاز به تطبیق امپدانس داریم. روش‌های مختلفی برای تطبیق امپدانس وجود دارند. یک روش استفاده از میدل ربع طول موج استفاده است. بنابراین برای تطبیق امپدانس در ورودی نیاز به موجبری با امپدانس $Z_0/\sqrt{2}$ و به طول ضریب فردی از ربع طول موج است.

ساختار مقسم ۱:۲ با استفاده از RGW در شکل ۸ نشان داده شده است. در اینجا با بهینه‌سازی به جای یک‌قسمتی بودن تطبیق، از تطبیق سه‌قسمتی [۱۰] با سه بخش به عرض‌های ۵/۹۸، ۶/۴۱ و ۸/۴۷ میلی‌متری استفاده شده تا در پهنای باند بیشتری تطبیق امپدانس برقرار شود. بدیهی است که هر چه تعداد قسمت‌های تطبیق بالاتر باشد به تطبیق مناسب‌تری می‌توان رسید.

نتایج شبیه‌سازی ساختار مقسم ۱:۲ با استفاده از نرم‌افزار CST در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود این مقسم دارای افت بازگشتی ($|S_{11}|$) بهتر از -۱۵ dB در پهنای باند ۱۵-۱۸ GHz است. همچنین ضریب انتقال به هر دو دهانه خروجی ($|S_{21}|$ و $|S_{31}|$) تقریباً ۳ dB است که برای یک مقسم ۱:۲ مطابق انتظار است.

۵- شبیه‌سازی مقسم توان مایکروویو ۱:۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW

در این بخش یک مقسم توان مایکروویو ۱:۸ با استفاده از مقسم ۱:۲ طراحی و شبیه‌سازی می‌شود. روش‌های متنوعی برای طراحی یک مقسم



شکل ۸: ساختار مقسم توان ۱:۲ با استفاده از RGW.

فرکانس ۱۶/۵ GHz (درون ناحیه شکاف باند) میدان در راستای طولی و بر روی Ridge حرکت می‌کند و در راستای عرضی و در جهتی که ساختار متناوب وجود دارد اندازه میدان الکتریکی به سرعت افت می‌کند و میدان به خوبی بر روی Ridge محدود می‌ماند. افت میدان در راستای عرضی در دو دوره تناوب اول زیاد است و در واقع میدان از دوره تناوب سوم به بعد تقریباً وجود ندارد، بنابراین استفاده از دوره تناوب سوم به بعد تأثیر زیادی در روند عملکرد موجبر نخواهد داشت. اما در فرکانس ۳۵ GHz (خارج از ناحیه شکاف باند) میدان بر روی Ridge محدود نمی‌ماند و از طریق ساختار متناوب نیز منتشر می‌شود.

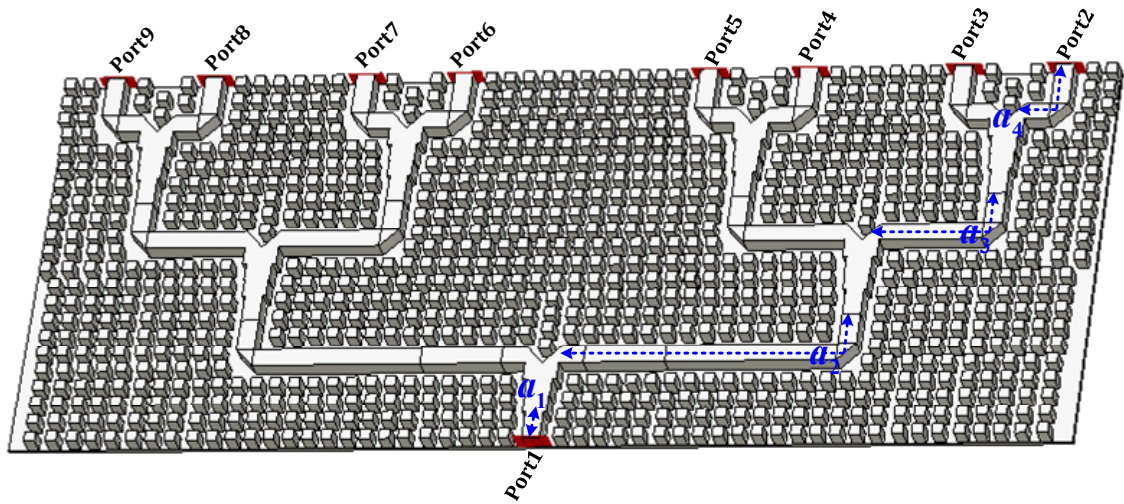
نتایج افت بازگشتی ($|S_{11}|$) و تلف عبوری ($|S_{21}|$) موجبر RGW شبیه‌سازی شده در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود این ساختار دارای افت بازگشتی بهتر از -۲۰ dB و تلف عبوری بهتر از -۰/۰۵ dB در پهنای باند مورد نظر (۱۸-۱۵ GHz) است.

۴- شبیه‌سازی مقسم توان مایکروویو ۱:۲ با استفاده از RGW

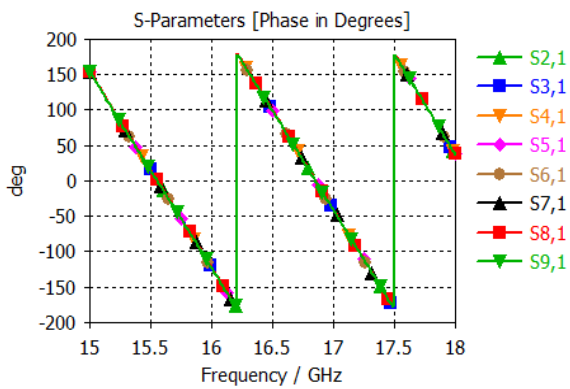
برای طراحی یک مقسم توان $1:N$ (یک ورودی و N خروجی) با استفاده از ساختار دودویی ابتدا نیاز به طراحی یک مقسم ۱:۲ (با یک ورودی و دو خروجی) است. برای طراحی مقسم توان ۱:۲ با استفاده از اتصال T باید تطبیق امپدانس مناسبی داشته باشیم. برای طراحی در این مرحله نیاز به دانستن امپدانس موجبر است که این امپدانس قبلاً معرفی شده است [۶] و [۹]

$$Z = \frac{\eta}{\frac{W}{h} + 0.882} \quad (1)$$

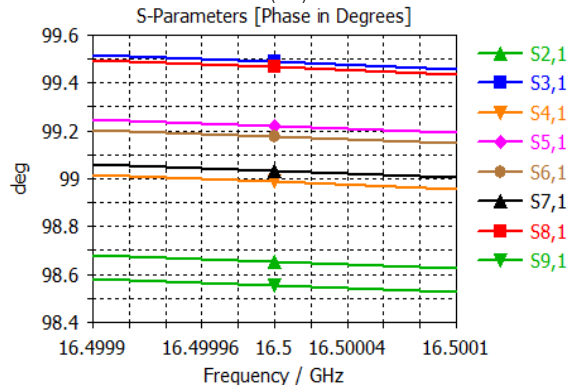
که در این رابطه η امپدانس موج فضای آزاد و W و h به ترتیب عرض Ridge و فاصله هوایی بین صفحه PEC بالا و سطح بالایی Ridge است. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که امپدانس



شکل ۱۰: ساختار مقسم توان ۱:۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW. $(a_1 = 0.36\lambda, a_2 = 4.36\lambda, a_3 = 2.1\lambda, a_4 = 0.88\lambda)$.



(الف)

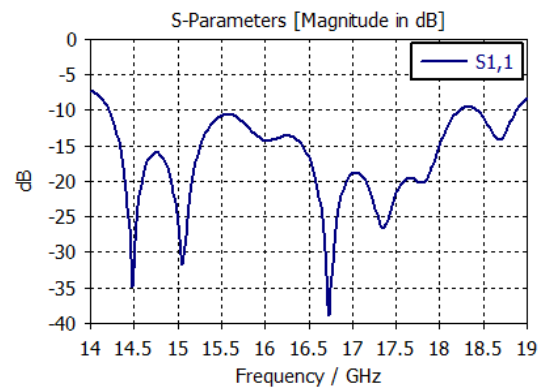


(ب)

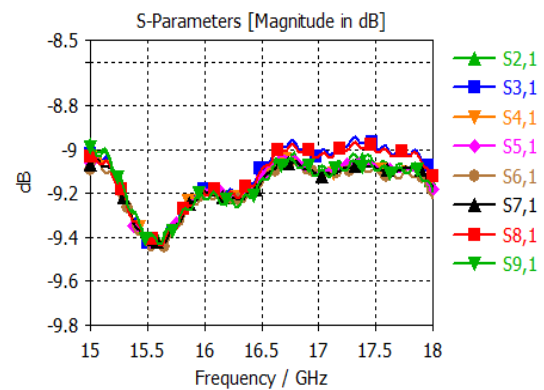
شکل ۱۳: (الف) فاز عبوری از دهانه ورودی به دهانه‌های مختلف خروجی ($\angle S_{m,1}$) مقسم توان ۱:۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW و (ب) بزرگ‌شده شکل الف حول فرکانس مرکزی ۱۶.۵ GHz.

کمتر از ۲۰ dB می‌باشد. همچنین ضریب انتقال از دهانه ورودی به دهانه‌های مختلف خروجی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود این مقسم توان دارای ضریب انتقال حدود ۹ dB در پهنای باند ۱۸-۱۵ GHz است که برای یک مقسم توان ۱:۸ مطابق انتظار است.

زمانی که از این مقسم توان در یک SSPA استفاده شود تغییر فاز عبوری از دهانه یک به دهانه‌های مختلف خروجی اهمیت دارد. نتایج شبیه‌سازی در CST تغییر فاز عبوری از دهانه ورودی به دهانه‌های مختلف خروجی مقسم توان ۱:۸ در شکل ۱۳-الف نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود تغییر فاز از دهانه ورودی به دهانه‌های



شکل ۱۱: افت بازگشتی ($|S_{1,1}|$) شبیه‌سازی شده مقسم توان ۱:۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW.



شکل ۱۲: تلف عبوری ($|S_{m,1}|$) شبیه‌سازی شده مقسم توان ۱:۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW.

توان مایکروویو ۱:۸ وجود دارد که ما از ساختار دودویی برای داشتن توان خروجی یکسان و حداقل بودن تفاوت تغییر فاز آنها استفاده می‌کنیم [۱۱]. در اینجا از ۷ مقسم توان ۱:۲ RGW برای تحقق مقسم توان ۱:۸ با ساختار دودویی استفاده شده است. در حالت کلی این ساختار قابل تعمیم به یک مقسم توان $1:N$ با N زوج دلخواه می‌باشد. نمای این مقسم توان در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

نتایج شبیه‌سازی در CST افت بازگشتی مقسم توان ۱:۸ در شکل ۱۱ آمده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود این مقسم توان دارای افت بازگشتی بهتر از حدود ۱۰ dB در پهنای باند ۱۸-۱۵ GHz است. البته قابل ذکر است که در بخشی از باند، کمتر از ۱۵ dB و حتی

برای بازه فرکانسی ۱۵-۱۸ GHz بوده است اما از این موج‌بر در بازه‌های فرکانسی بالاتر می‌توان استفاده کرد و حتی می‌توان با رعایت ملاحظات بیشتر و صرف زمان بیشتر، پهنای باند بیشتری گرفت.

۷- سپاس‌گزاری

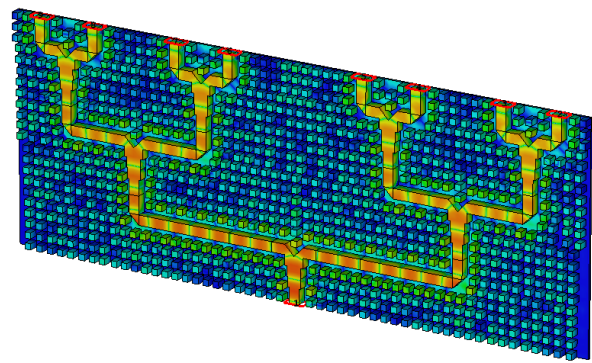
از مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی برای حمایت از این پژوهش قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] P. S. Kildal, E. Alfonso, A. Valero-Nogueira, and E. Rajo-Iglesias, "Local metamaterial-based waveguides in gaps between parallel metal plates," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 8, no. Apr., pp. 84-87, 2009.
- [2] P. S. Kildal, "Erratum: definition of artificially soft and hard surfaces for electromagnetic waves," *Electron. Lett.*, vol. 24, no. 6, pp. 168-170, Feb. 1988.
- [3] E. Alfonso, et al., "New waveguide technology for antennas and circuits," *Waves*, year 3, pp. 65-75, 2011.
- [4] B. Ahmadi and A. Banai, "A power divider/combiner realized by ridge gap waveguide technology for millimeter wave applications," in *Proc. Fourth Int. Conf. Millimeter-Wave Terahertz Technology, MMWaTT'17*, pp. 5-8, Tehran, Iran, 20-22 Dec. 2017.
- [5] S. I. Shams and A. A. Kishk, "Wide band power divider based on ridge gap waveguide," in *Proc. 17th Int. Symp. Antenna Technol. Appl. Electromagn. ANTEM'16*, pp. 3-4, Montreal, Canada, 10-13 Jul. 2016.
- [6] E. Alfonso, M. Baquero, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz, and P. S. Kildal, "Power divider in ridge gap waveguide technology," in *Proc. of the 4th European Conf. on Antennas and Propagation, EuCAP'10*, vol. 4, pp. 10-12 Apr. 2010.
- [7] B. Ahmadi and A. Banai, "Direct coupled resonator filters realized by gap waveguide technology," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 10, pp. 3445-3452, Aug. 2015.
- [8] B. Ahmadi and A. Banai, "Direct coupled resonator filters realized by gap waveguide technology," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 10, pp. 3445-3452, Oct. 2015.
- [9] P. S. Kildal, A. U. Zaman, E. Rajo-Iglesias, E. Alfonso, and A. Valero-Nogueira, "Design and experimental verification of ridge gap waveguide in bed of nails for parallel-plate mode suppression," *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 5, no. 3, pp. 262-270, Mar. 2011.
- [10] P. Colantonio and F. Giannini, *High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifiers*, Wiley, pp. 369-343, 2009.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Wiley, pp. 6-158, 2012.

عباس کریمی نویندگانی در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی مهندسی برق - قدرت خود را از دانشگاه شهید باهنر کرمان دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۵ دوره کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات میدان در دانشگاه شیراز دنبال می‌کند. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان آنتن و ادوات غیر فعال مایکروویو در بستر موج‌بر فاصله‌هوایی است.

سیداسماعیل حسینی در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه شیراز و در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ مدارک کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی شریف دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۳ در مرکز لیزرهای الکترون آزاد در هامبورگ آلمان مشغول به فعالیت بوده است. نام‌برده از سال ۱۳۹۳ تاکنون عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز هستند. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان سیستم‌های فعال و غیرفعال مایکروویو، موج میلیمتری، فوتونیک و مایکروویوفوتونیک است.



شکل ۱۴: حرکت موج در مقسم توان ۱۵.۸ با استفاده از ساختار دودویی RGW (فرکانس ۱۶.۵ GHz).

مختلف خروجی یکسان است. بزرگ‌شده شکل ۱۳- الف حول فرکانس مرکزی ۱۶.۵ GHz در شکل ۱۳- ب آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات تغییر فاز از دهانه ورودی به دهانه‌های مختلف خروجی کمتر از ۰.۹ درجه در پهنای باند ۱۵-۱۸ GHz است که مطلوب می‌باشد. همچنین نمایش حرکت موج در این مقسم توان در شکل ۱۴ نشان داده شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود موج روی Ridge منتشر گردیده و بین دهانه‌های خروجی تقسیم می‌شود.

با توجه به آن که این مقسم توان بر مبنای استفاده از ساختار دودویی و اتصال به شکل T است بنابراین دارای مزایای کلی این روش (مانند داشتن توان خروجی یکسان در دهانه‌های خروجی و حداقل بودن تفاوت تغییر فاز از دهانه ورودی به هر کدام از دهانه‌های خروجی) است ولی معایب آن مانند ایزولاسیون نامناسب بین دهانه‌های خروجی را نیز دارد. برای رفع این عیب می‌توان به عنوان مثال از هیبریدهای مختلف استفاده کرد که دارای ایزولاسیون خوب است.

از این مقسم توان RGW می‌توان در یک تقویت‌کننده توان حالت جامد (SSPA) با توان بالا استفاده کرد و بنابراین حداکثر توان قابل تحمل ساختار باید تحلیل و شبیه‌سازی شود. تحلیل و شبیه‌سازی حداکثر توان قابل تحمل این ساختار کاری ساده نیست و با اطلاعات نویسندگان، تاکنون کاری در این زمینه انجام نشده است. بنابراین یکی از کارهای آتی که پیشنهاد می‌شود تحلیل و شبیه‌سازی حداکثر توان قابل تحمل مقسم توان RGW است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از فناوری RGW یک مقسم/ ترکیب‌کننده توان در باند فرکانسی ۱۵-۱۸ GHz برای استفاده در SSPA توان بالا طراحی و شبیه‌سازی شده است. در اینجا ۸ خروجی مد نظر قرار گرفته بود که با کمی ملاحظه می‌توان تعداد خروجی‌ها را به راحتی افزایش داد. مقسم/ ترکیب‌کننده توان طراحی و شبیه‌سازی شده دارای افت بازگشتی بهتر از ۱۰ dB- در پهنای باند فرکانسی ۱۵-۱۸ GHz است. همچنین ضریب انتقال از دهانه ورودی به هر کدام از دهانه‌های خروجی حدود ۹ dB- است که مورد انتظار بود. همچنین تفاوت بین تغییر فاز از دهانه ورودی به هر کدام از دهانه‌های خروجی کمتر از ۰.۹ درجه است. اگرچه این طراحی