

طراحی تقسیم کننده توان ویلکینسون ابعاد کوچک با قابلیت تضعیف هارمونیک با استفاده از رزوناتور تشکیل شده از استاب های امیدانسی پایین و بالا

هانیه آشنا^۱، محسن حیاتی^{۲*}

۱- گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* mohsen_hayati@yahoo

ارسال: اردیبهشت ماه ۹۸ پذیرش: خرداد ماه ۹۸

چکیده

از آنجا فیلترهای پایین گذر مایکرواستریپی یکی از عناصر مهم در سیستمهای مخابراتی بیسیم هستند، در این مقاله یک تقسیم کننده توان ویلکینسون با کمک ساختار مستطیل شکل طراحی و ارائه شده است. فرکانس مرکزی این تقسیم کننده توان GHz ۱/۷۸۵ می باشد که با توجه به ساختار رزوناتوری و استفاده از فیلتر پایین گذر، این تقسیم کننده توان دارای حذف هارمونیک می باشد. به طوری که این مقسم ۶ هارمونیک را حذف می کند. اندازه مقسم توان طراحی شده به دلیل استفاده از رزوناتورها نسبت به مقسم توان مرسوم ۵۵٪ کاهش یافته و اندازه آن $13/1 \times 11/8 \text{ mm}^2$ می باشد. همچنین این ساختار دارای باند کاری با پهنای نسبی ۳۵٪ می باشد که نشان دهنده باند کاری عریض آن است. جهت انجام شبیه سازی، طراحی و تحلیل نتایج این مقسم توان از نرم افزار ADS استفاده شده است. این تقسیم کننده بر روی برد Rt-Duroid 5880 ساخته و اندازه گیری شده است که پاسخ ساخت و شبیه سازی تطبیق مناسبی دارند.

کلمات کلیدی: تقسیم کننده توان ویلکینسون، رزوناتور، حذف هارمونیک، اندازه کوچک.

۱- مقدمه

به موج های با فرکانس از ۳۰۰MHz تا ۳۰۰GHz امواج مایکروویو اطلاق می گردد. این موج ها همانند نور مرئی از جنس موج های الکترومغناطیسی هستند که فرکانس خیلی بالا و طول موج خیلی کمی دارند. این موج ها عموماً برای ارتباطات ماهواره ای، تلفن همراه، رادار، کمک به راه یابی در آسمان و دریا به کار می روند. توجه روز افزون به این موج ها بنا به مجموعه ای از عوامل و دلایل از جمله فضای طیفی بیشتر در فرکانس های رادیویی و امکان اختصاص تعداد کمتری کاربر به هر فرکانس رو به فزونی نهاده است. اما، در فرکانس های بالای مایکروویو، مشکلات و محدودیت هایی پیش می آید که مهم ترین آن ها ناکارآمد بودن عنصرهای فشرده ی مداری است. خاصیت کلی عنصرهای فشرده، کوچکی اندازه ی آن ها در مقایسه با طول موجی که با فرکانس طبیعی کار آن ها متناسب است، می باشد [۱]. از دیگر چالش های موجود در فرکانس های بالا محدودیت ابزار و وسایل اندازه گیری می باشد که در مقایسه با ابزارهای متداولی که پیرامون مدارات فشرده موجود می باشد، ناچیز و گران قیمت هستند.

پیشرفت ادوات و سیستم‌های میکروویو جامد به کاربرد وسیع شکل خاصی از خط‌های صفحه‌ای موازی به نام خط‌های میکرواستریپ منتهی شده است [۱]. این نوارهای فلزی که عموماً در فرکانس‌های پایین، به طور اتصال کوتاه عمل می‌کنند، در فرکانس‌های بالا رفتارهای خازنی و سلفی از خود نشان می‌دهند که با طراحی هوشمندانه و هدفمند می‌توان آن‌ها را به جای سلف‌ها و خازن‌های فشرده به کار برد [۱].

خط‌های میکرواستریپ، کاندیدای مناسبی برای طراحی فیلترهای میکروویو، تقسیم‌کننده‌های توان و کوپلرها هستند. از مواردی که فیلترهای میکرواستریپ را برجسته می‌کند می‌توان به کم هزینه بودن، فشرده بودن از نظر اندازه، سبک وزن بودن، ساخت آسان و قابلیت مجتمع شدن با عنصرهای دیگر مدارات میکروویو بر روی یک برد مداری را، اشاره نمود [۱]. از دیگر کاربردهای خط‌های ریز نوار می‌توان ساخت انواع موج برها، نوسانگرها و تقسیم‌کننده‌های توان میکروویو می‌باشد.

۱-۱- انواع تقسیم‌کننده‌های توان

تقسیم‌کننده‌های توان عنصرهای سه پورته مهمی برای کار در ادوات میکروویو و سیستم آنتن هستند. همان‌گونه که از نام آن‌ها پیدا است هنگامی که پورت ورودی آن‌ها تحریک شود وظیفه تقسیم توان و در جهت برعکس وظیفه ترکیب توان را بر عهده دارند. خیلی از انواع تقسیم‌کننده/ترکیب‌کننده‌های توان در سال ۱۹۴۰ در آزمایشگاه تشعشعات MIT ابداع شد که شامل موج برهای E-plane و H-plane و اتصال T-junction بودند که با ابداع خط‌های Stripline و Microstrip این خط‌های انتقال به دلیل خاصیت ارزان بودن و ساختار سطحی در طراحی دوباره تقسیم‌کننده‌های توان مورد استفاده قرار گرفتند. تقسیم‌کننده‌های توان به طور کلی در شبکه تغذیه آرایه آنتن [۲]، تقویت‌کننده‌های توان [۲] و میکسرها [۲] کاربرد دارند. این تقسیم‌کننده‌های توان دارای اشکال متفاوتی هستند که بر پایه چند ساختار پایه بر مبنای خط‌های ریز نوار پیاده سازی می‌شوند [۳].

۲-۱- پیشینه تحقیق

تاکنون مقالات متعددی در زمینه طراحی مقسم‌های توان به چاپ رسیده است. شرح تعدادی از مهمترین این مقالات به این شرح است که:

در مرجع [۴]، یک مقسم توان Gyssel با سرکوب ۱۲ هارمونیک ارائه شده که این مقسم توان از شش فیلتر پایین گذر مشابه در حالت معمولی استفاده شده و تقسیم قدرت به این طرح اعمال می‌شود. مقسم توان ارائه شده فقط ۹ درصد منطقه را نسبت به مقسم توان Gyssel متعارف اشغال کرده و ۹۱٪ اندازه را کاهش داده است. مدل ارائه شده مدیریت با قدرت بالا را حفظ می‌کند. همچنین نویسندگان در این مقاله از تحلیل سلفی خازنی برای تحلیل مقسم توان کمک گرفته اند. در مرجع [۵] یک تقسیم‌کننده قدرت ویلکینسون با سرکوب هارمونیک و فوق باریک پیشنهاد شده است. در این مقاله ساختار پیوند انتخابی در طول موج چهارم خط تعبیه شده که می‌تواند با تحقق بخشیدن به سه صفر انتقال، یک سرکوب هارمونیک فوق العاده گسترده ایجاد کند. این مقسم توان با پهنای باند ۲۰ dB از ۱/۷۴ تا ۳/۷۱ گیگاهرتز کار می‌کند و با نوار توقف فوق العاده ای برای سرکوب ۷ عدد هارمونیک پیشنهاد شده است. در مرجع [۶]، یک مقسم توان Gyssel با تقسیم قدرت دلخواه ارائه شده است. این مدل، یک دستگاه پنج پورت و دارای ماتریس پراکنندگی استاندارد می‌باشد. برای این مقسم توان، معادلات طراحی به صورت تحلیلی به دست آمده اند. با استفاده از معادلات طراحی، مقسم توان برای نسبت تقسیم قدرت در ۲ GHz شبیه سازی شده است. یک تقسیم‌کننده توان نابرابر به صورت یکنواخت در مرجع [۷] ارائه گردیده است. این تقسیم‌کننده با تغییر طول خط‌های انتقال تنظیم می‌شود. چنین تغییراتی در خط‌های انتقال موجب نسبت توان دلخواه بین پورت خروجی می‌شود. فرکانس مرکزی این مقسم توان ۲ GHz است. در مرجع [۸] تقسیم‌کننده قدرت Gyssel با قدرت بالا بر پایه ساختار زمین شکست DGS ارائه شده است. این مقسم برای دستیابی به ویژگی باند دوگانه سه قطعه باز طراحی گردیده که فرمول‌های بسته با استفاده از مدار مشتق می‌شوند و نظریه ماتریس انتقال برای این طرح ارائه گردیده است. نمونه اولیه در ۰/۹ و ۱/۸ گیگاهرتز با نسبت تقسیم قدرت ۱۰ ساخته و

آزمایش شده است. در مرجع [۹] مقسم توانی با استفاده از دو فیلتر طراحی شده که قابل تنظیم و چهار طرفه می باشد. فرکانس کاری این مقسم توان ۲/۰۸ GHz است که تلفات بازگشتی ای بهتر از ۱۸ dB دارد. همچنین ایزولاسیون آن بهتر ۱۹/۵ dB می باشد و پهنای باند آن حدود ۲۲/۶ درصد است. نویسندگان برای تحلیل این مقسم از توان از تحلیل LC استفاده کرده اند. در مرجع [۱۰] مقسم توانی برای حذف هارمونیک ها با استفاده از رزوناتور T شکل طراحی گردیده است که فرکانس کاری آن ۱ گیگاهرتز و ۳۴ درصد پهنای باند قطع دارد. همچنین ۵۵ درصد کاهش سایز نسبت به ویلکینسون مرسوم داشته و تا هارمونیک هشتم را حذف کرده است. برای تحلیل این مقسم توان از تحلیل سلفی و خازنی بهره گرفته شده و پاسخ مناسبی دارد.

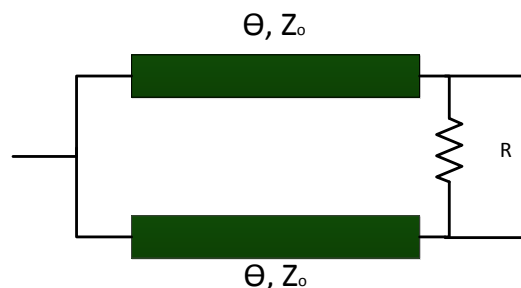
ساختار SIW یکی از روش های جدید در طراحی مقسم های توان هستند در ساختار مقسم جای سل ارائه شده در مرجع [۱۱]، از این نوع روش استفاده شده است. در مرجع [۱۲]، یک ساختار زمین تغییر شکل یافته استفاده شده است که موجب بهبود باند کاری شده است. این مقسم توان جای سل دارای باند کاری خیلی عریضی می باشد. در مرجع [۱۳]، یک مقسم توان جای سل با توانایی تقسیم اختیاری توان و سایز کوچک شده ارائه گشته است. در این مقسم فقط از یک مقاومت ایزوله استفاده شده و باند آن افزایش یافته است. در این مقسم توان، تقسیم توان فقط از یک پایانه ی ایزوله انجام می پذیرد. در مرجع [۱۴]، یک مقسم توان جای سل مایکرو استریپ با باند دو گانه ارائه شده است و توانایی تولید دو باند فرکانسی همزمان را دارد و دو شیفت دهنده ی فاز در آن تعبیه شده است. این دو باند فرکانسی بین پرت های خروجی می توانند توسط خط های انتقال کنترل و همچنین با دو خط انتقال متصل به پورت های خروجی می توان دو ناحیه ایزوایز و مجزا از هم را بین نواحی عبور ایجاد نمود. در نتیجه یک باند فرکانسی وسیع و ایزوله ایجاد و در آخر مقسم توان از دو مقسم دو بانده ارائه شده ایجاد می گردد.

با توجه به پیشینه بیان شده، در این مقاله نیز یک تقسیم کننده توان ویلکینسون با کمک ساختار مستطیل شکل طراحی و ارائه شده است. با توجه به ساختار رزونانسی و استفاده از فیلتر پایین گذر در مدل طراحی شده، این مقسم توان توانایی حذف هارمونیک را دارد. به طوری که این مقسم توان توانایی حذف ۶ هارمونیک را دارا بوده و دارای باند کاری با پهنای نسبی ۳۵٪ می باشد که نشان دهنده باند کاری عریض آن است.

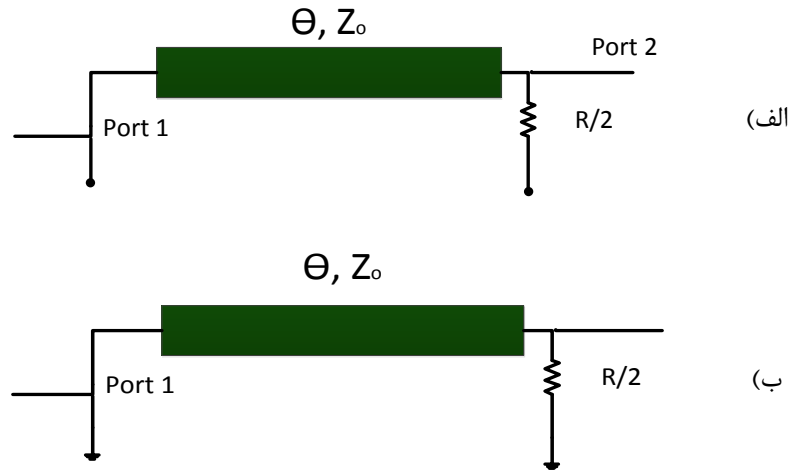
به طور کلی سایر بخش های مقاله به این ترتیب می باشد که، در بخش دوم روش پیشنهادی، در بخش سوم طراحی مقسم توان، در بخش چهارم نتایج شبیه سازی و ساخت و در نهایت در بخش پنجم نتیجه گیری ارائه شده است.

۲- روش پیشنهادی

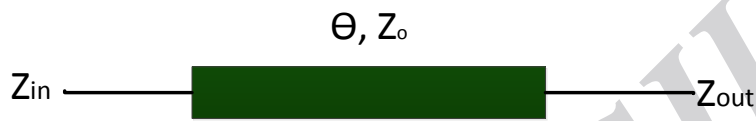
تقسیم کننده ویلکینسون مرسوم از دو استاب تشکیل شده که در شکل (۱) نشان داده شده است. برای بررسی این تقسیم کننده کافی است که مقادیر Z و θ هر استاب محاسبه گردد که برای به دست آوردن این مقادیر می توان از روش زوج و فرد استفاده کرد [۲]. قسمت زوج به صورت مدار باز و قسمت فرد به صورت اتصال کوتاه مدل می گردند (شکل (۲)). با کمک ساختار استاب که در شکل (۳) نشان داده شده و معادله (۱) می توان مقدار Z و θ را محاسبه نمود. برای محاسبه این دو پارامتر، مقدار θ برابر $\frac{\pi}{2}$ فرض شده است.



شکل ۱- تقسیم کننده توان ویلکینسون مرسوم [۲]



شکل ۲- (الف) قسمت زوج تقسیم کننده توان ویلکینسون، (ب) قسمت فرد تقسیم کننده توان ویلکینسون



شکل ۳- ساختار استاب

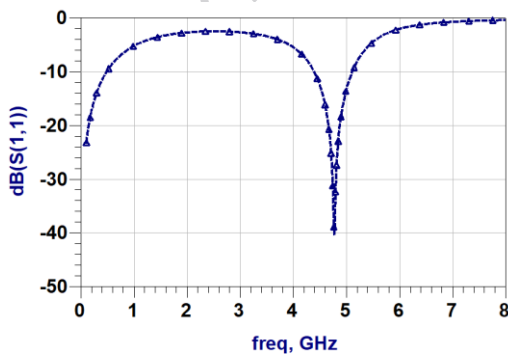
$$Z_{in} = \frac{Z_0(Z_{out} + jz_0 \tan \theta)}{Z_0 + jz_0 \tan \theta} \quad (1)$$

۲-۱- طراحی رزوناتور اصلی

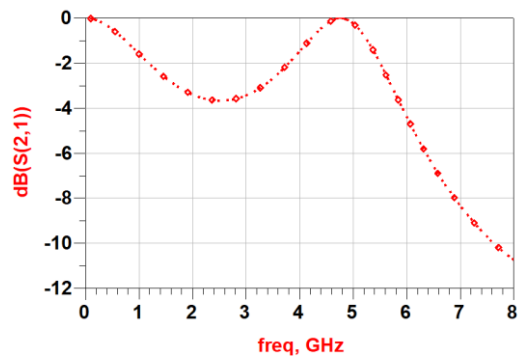
برای طراحی رزوناتور از یک رزوناتور مستطیل شکل بهره گرفته شده که در مدارات میکرواستریپ به کار می‌روند. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌کنید این رزوناتور از طریق خط‌های امپدانس پایین به پورت‌ها متصل می‌باشد. طول مستطیل در این مدل برابر ۲/۹ میلی‌متر می‌باشد. پاسخ فرکانسی پارامترهای S این طراحی در شکل‌های (۵) نمایش داده است.



شکل ۴- چینش رزوناتور مستطیل شکل اولیه



پاسخ S11 رزوناتور مستطیل شکل اولیه



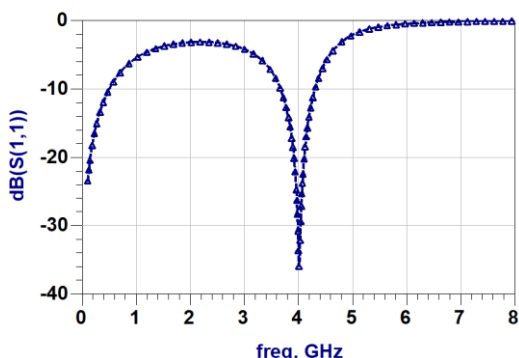
پاسخ S21 رزوناتور مستطیل شکل اولیه

شکل ۵- پاسخ فرکانسی پارامترهای S

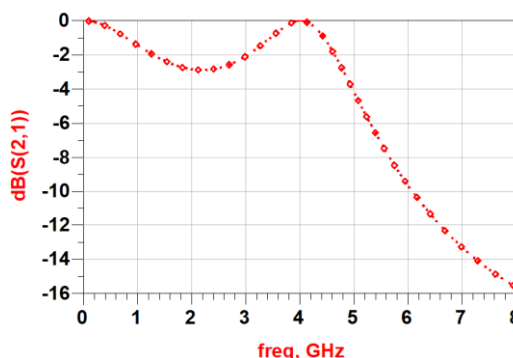
با تغییر در ابعاد رزوناتور مستطیل شکل می توان پاسخ نمودارها را به طور دلخواه تغییر داد، به طوری که در شکل (۶) با اضافه کردن به طول مستطیل، می بینیم که صفر و قطب در نمودارهای S11 و S21 جابه جا شده و مقدار فرکانس آنها کمتر شده است. طول مستطیل در این مدل برابر ۴/۹ میلی متر می باشد. پاسخ های فرکانسی این رزوناتور در شکل (۷) قابل مشاهده است.



شکل ۶- رزوناتور مستطیلی با طول بیشتر



پاسخ S11 رزوناتور مستطیل شکل اولیه



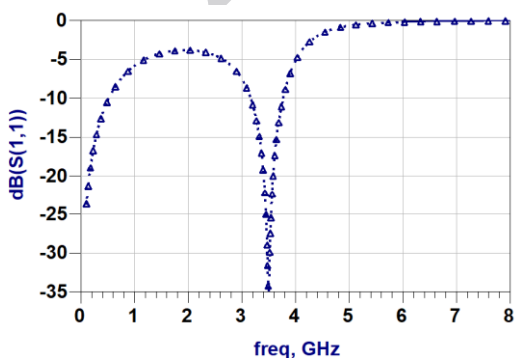
پاسخ S21 رزوناتور مستطیل شکل اولیه

شکل ۷- پاسخ فرکانسی پارامترهای S پس از تغییر ابعاد

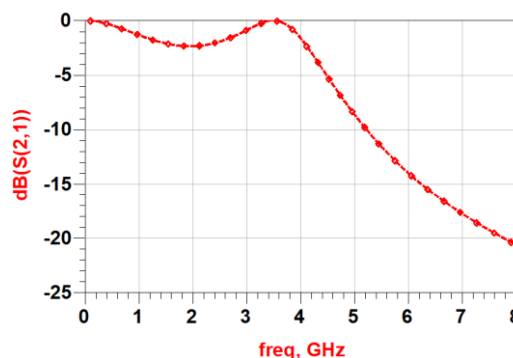
با انتخاب طول بزرگتر برای استاب مستطیل شکل به رزوناتور شکل (۸) که رزوناتور اصلی ما می باشد دست خواهیم یافت. طول مستطیل در این مدل برابر ۵ mm می باشد. پاسخ فرکانسی پارامترهای S مربوط به این رزوناتور در شکل (۹) نشان داده شده است. از روی نمودار S21 مربوط به رزوناتور اصلی مشاهده می شود که یک قطب در فرکانس ۳/۵ گیگاهرتز دارد. همچنین نمودار با شیب ملایمی به سمت باند قطع حرکت می کند. به همین منظور نیازمند رزوناتورهای دیگری هستیم که در کنار رزوناتور اصلی بتواند شیب تیزی را برای باند گذار ایجاد نماید.



شکل ۸- رزوناتور اصلی



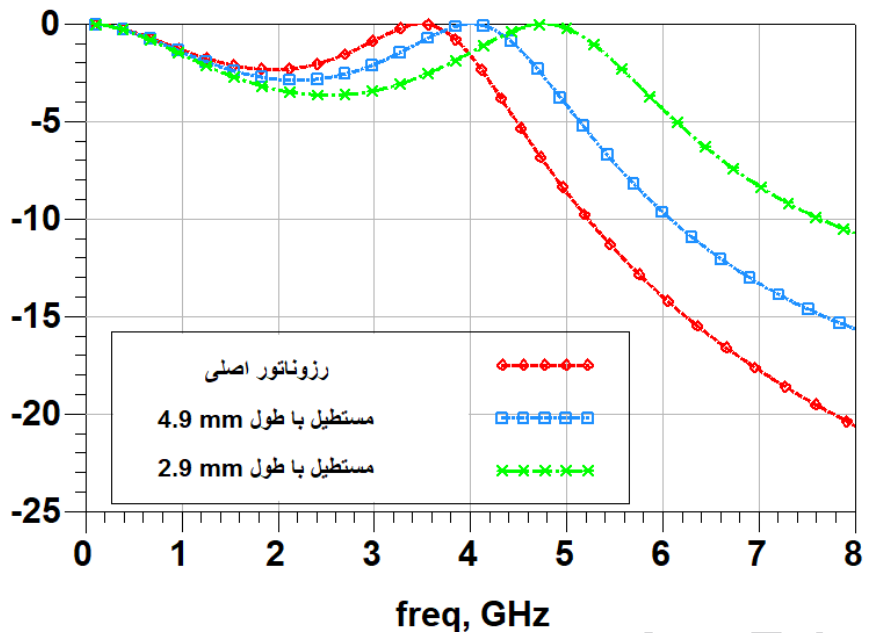
پاسخ S11 رزوناتور مستطیل شکل اولیه



پاسخ S21 رزوناتور مستطیل شکل اولیه

شکل ۹- پاسخ فرکانسی پارامترهای S پس از تغییر ابعاد

جهت بررسی دقیقتر تغییر طول برای استاب مستطیل شکل به رزوناتور، مقایسه ای در شکل (۱۰) ارائه شده است.



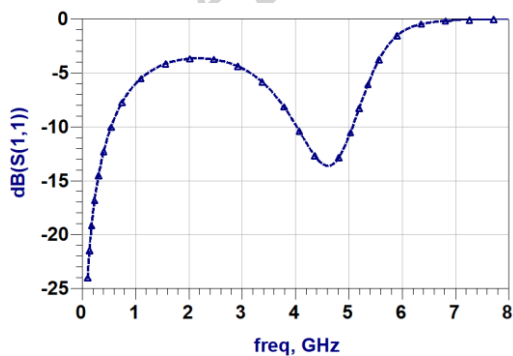
شکل ۱۰- مقایسه پاسخ رزوناتور در سه حالت متفاوت

۲-۲- طراحی رزوناتور جانبی

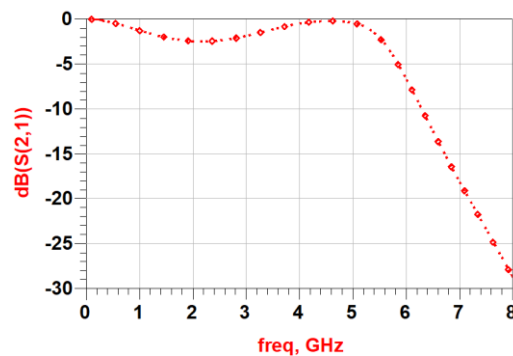
در این قسمت می‌خواهیم رزوناتوری را طراحی کنیم که در کنار رزوناتور اصلی، بتواند پاسخ مطلوبی را جهت رسیدن به یک فیلتر پایین‌گذر که در تقسیم‌کننده توان پیشنهادی می‌خواهیم از آن بهره‌گیریم، تولید کند. ما قصد داریم رزوناتور مستطیل شکلی را به عنوان رزوناتور جانبی طراحی کنیم که با رزوناتور اصلی نیز تناسب داشته باشد. شکل (۱۱) ایده‌ی اولیه یک رزوناتور جانبی را نشان می‌دهد. طول پایه‌های پایین مستطیل شکل رزوناتور جانبی برابر 0.3 mm می‌باشد. پاسخ فرکانسی پارامترهای S مربوط به این رزوناتور در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- رزوناتور جانبی اولیه



پاسخ S11 رزوناتور جانبی اولیه



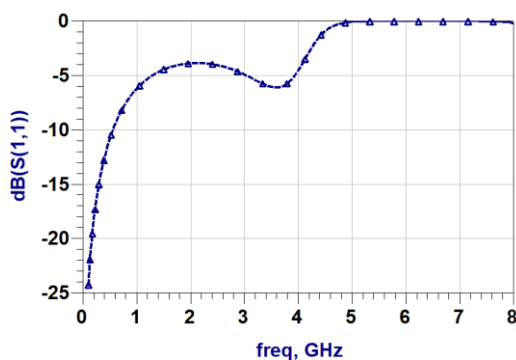
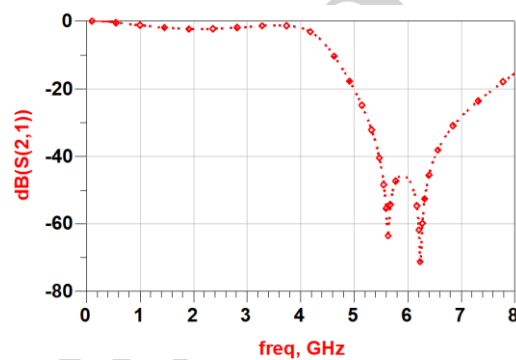
پاسخ S21 رزوناتور جانبی اولیه

شکل ۱۲- پاسخ فرکانسی پارامترهای S برای رزوناتور جانبی اولیه

با توجه به پاسخ فرکانسی رزوناتور جانبی مشاهده می‌گردد، پاسخ مناسبی برای ایجاد تیزی در باند گذار نداریم و همینطور باند حذف هارمونیک تا فرکانس ۸ گیگاهرتز مشاهده نمی‌شود. به همین منظور برای رسیدن به پاسخ مورد نظر از روش خم کردن بهره می‌گیریم، به گونه‌ای که به طول پایه متصل به استاب مستطیل شکل می‌افزاییم و آن را به صورت خم به رزوناتور وصل می‌کنیم. این رزوناتور در شکل (۱۳) نشان داده شده که پاسخ‌های فرکانسی آن نیز در شکل (۱۴) ارائه گردیده است. با توجه به پاسخ S_{21} این رزوناتور می‌بینیم که دو نقطه تقعر بر روی نمودار در فرکانس‌های $5/6$ و $6/4$ گیگاهرتز ایجاد شده است که می‌تواند به افزایش باند قطع کمک کند.

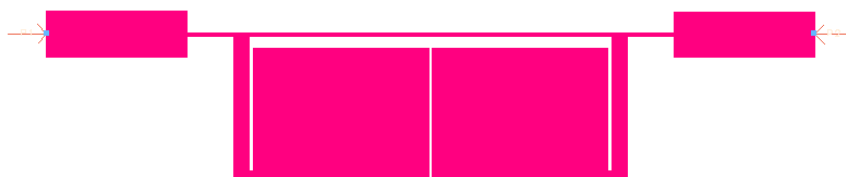


شکل ۱۳- رزوناتور جانبی با پایه خم

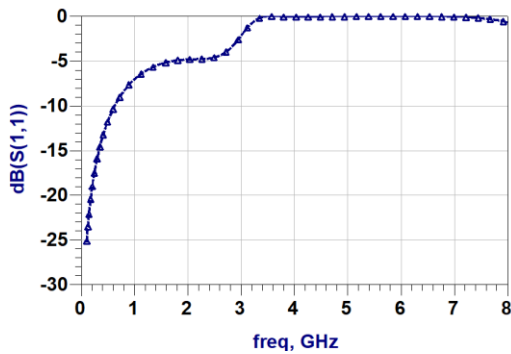
پاسخ S_{11} رزوناتور جانبی با پایه خمپاسخ S_{21} رزوناتور جانبی با پایه خم

شکل ۱۴- پاسخ فرکانسی پارامترهای S برای رزوناتور جانبی با پایه خم

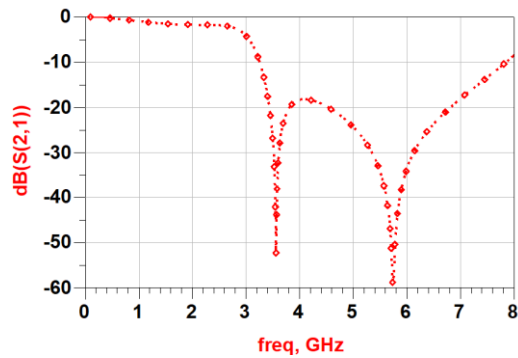
با توجه به پاسخ فرکانسی رزوناتور جانبی باز هم مشاهده می‌گردد، پاسخ مناسبی برای ایجاد تیزی در باند گذار نداریم و همینطور باند حذف هارمونیک تا فرکانس ۸ گیگاهرتز مشاهده نمی‌شود. به همین منظور برای رسیدن به پاسخ مورد نظر به طول پایه‌های پایینی اضافه گردیده است. این رزوناتور در شکل (۱۵) نشان داده شده که پاسخ‌های فرکانسی آن نیز در شکل (۱۶) ارائه گردیده است. با توجه به پاسخ S_{21} این رزوناتور می‌بینیم که دو نقطه تقعر بر روی نمودار در فرکانس‌های $5/8$ و $3/5$ گیگاهرتز ایجاد شده است که می‌تواند به افزایش باند قطع کمک کند.



شکل ۱۵- چینش رزوناتور جانبی نهایی



پاسخ S11 رزوناتور جانبی نهایی



پاسخ S21 رزوناتور جانبی نهایی

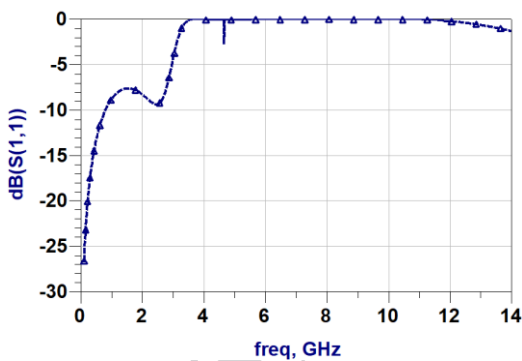
شکل ۱۶- پاسخ فرکانسی پارامترهای S برای رزوناتور جانبی نهایی

۲-۳- فیلتر پایین گذر طراحی شده

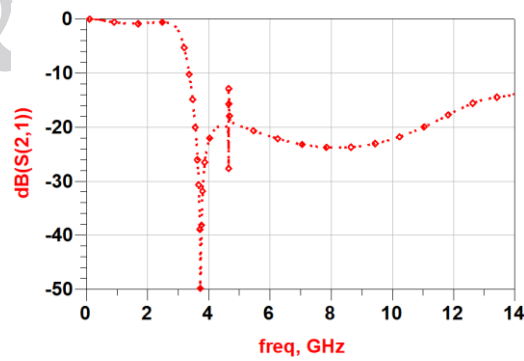
با کنار هم قرار دادن رزوناتور و تضعیف گر به فیلتر پایین گذری که در شکل (۱۷) نشان داده شده می‌رسیم. این فیلتر مزایایی همچون ابعاد کوچک دارد که موجب می‌شود مقسم توان کوچکی داشته باشیم، همچنین باند قطعی تا فرکانس ۱۳ گیگاهرتز دارد که برای حذف هارمونیک‌ها مناسب است و باند عبور آن نیز بدون اتلاف است. پاسخ‌های فرکانسی این فیلتر در شکل- های (۱۸) ارائه شده است.



شکل ۱۷- فیلتر پایین گذر طراحی شده



پاسخ S11 فیلتر پایین گذر طراحی شده



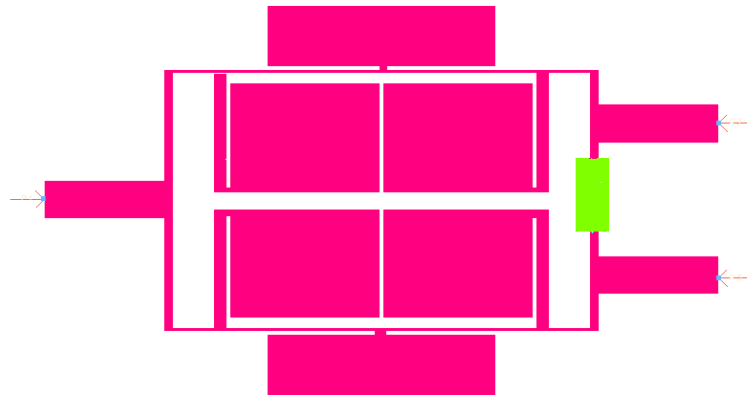
پاسخ S21 فیلتر پایین گذر طراحی شده

شکل ۱۸- پاسخ فرکانسی پارامترهای S فیلتر پایین گذر طراحی شده

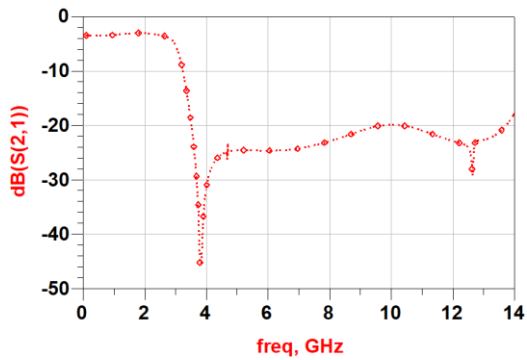
حال با جایگذاری رزوناتور به جای خط‌های ۷۰/۷ اهم می‌توانیم به یک مقسم توان کوچک برسیم که در بخش بعدی ارائه می‌گردد.

۲-۴- طراحی مقسم توان

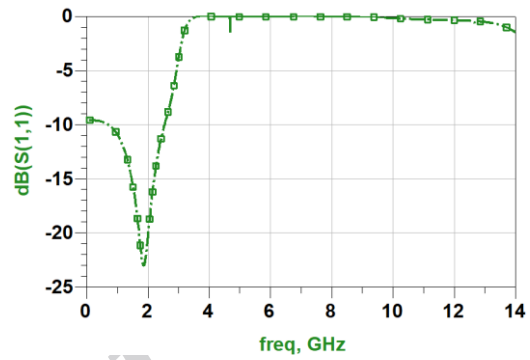
در این جا از فیلتر پایین گذری که در شکل (۱۷) نشان داده شد برای طراحی مقسم توان پیشنهادی بهره می‌گیریم که در شکل (۱۹) ساختار نهایی مقسم توان و در شکل (۲۰) نمودارهای پاسخ فرکانسی و در شکل (۲۱) مقایسه پاسخ پارامترهای S تقسیم کننده توان ویلکینسون پیشنهادی نشان شده است.



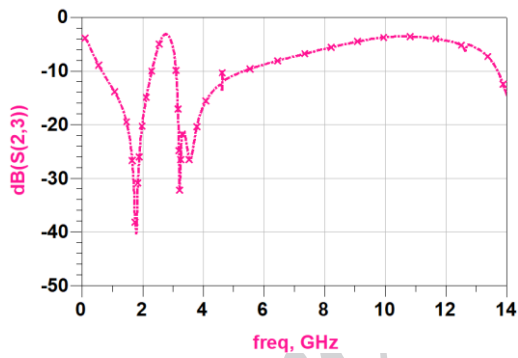
شکل ۱۹- تقسیم کننده توان ویلکینسون پیشنهادی



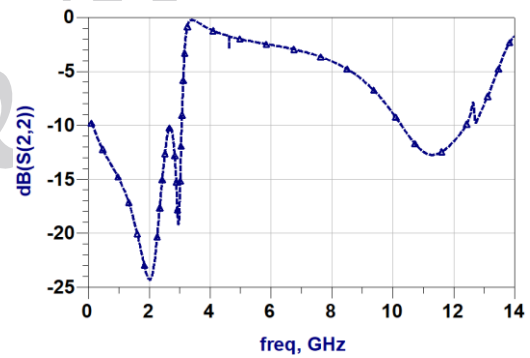
(ب)



(الف)

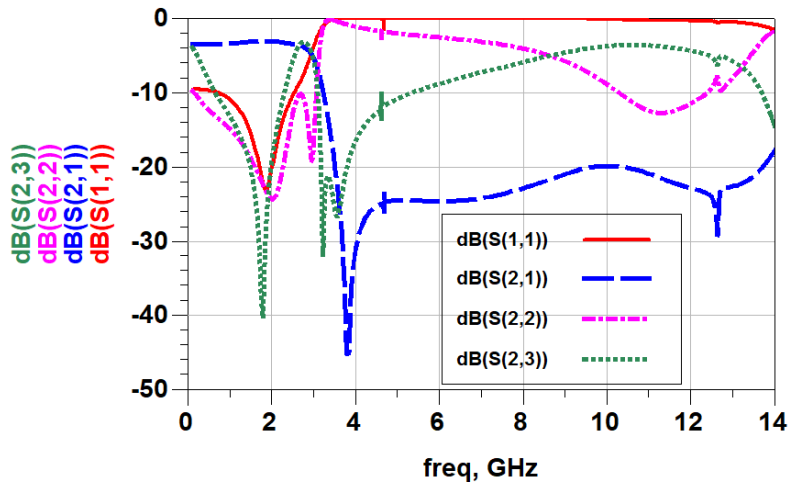


(د)



(ج)

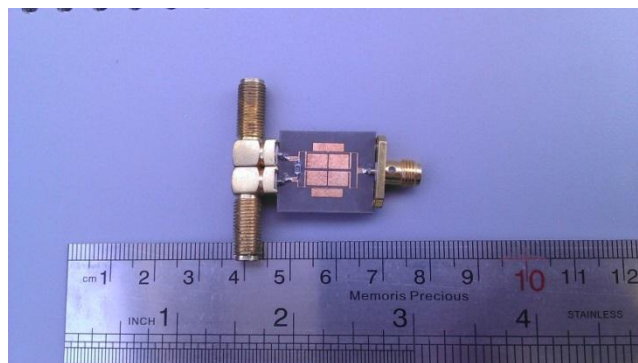
شکل ۲۰- پاسخ های فرکانسی تقسیم کننده توان ویلکینسون پیشنهادی



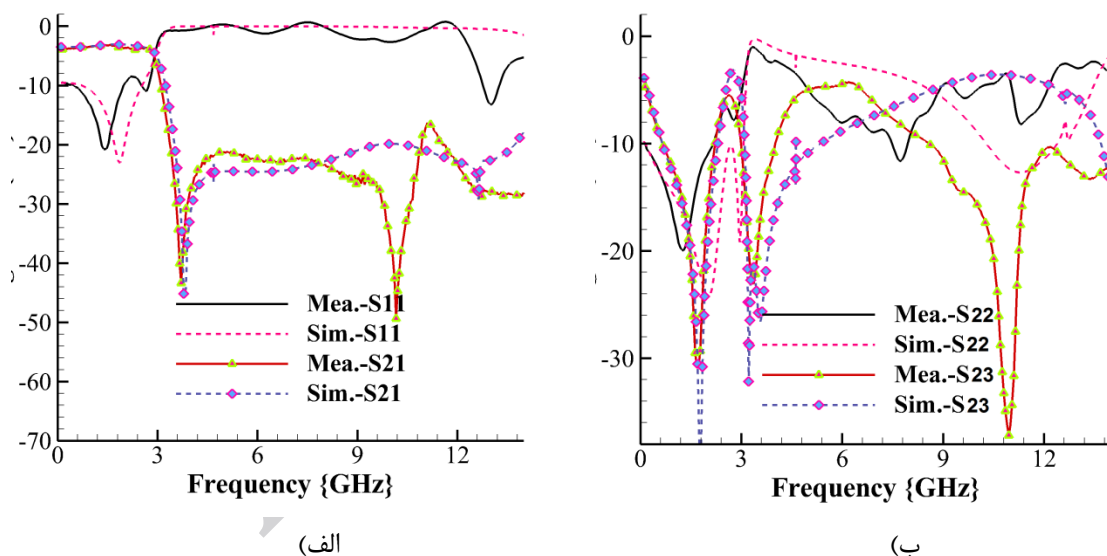
شکل ۲۱- مقایسه پاسخ پارامترهای S تقسیم کننده توان ویلکینسون پیشنهادی

۳- نتایج شبیه سازی و ساخت

همانگونه که در قسمت قبل توضیح داده شد رزوناتورها نقش پایه ای در کوچک سازی و حذف هارمونیک به طور همزمان دارند. این مدار بر روی برد RT-Duroid 5880 با $\epsilon_r = 2.2$ ، $\text{TanD} = 0.0009$ و با ضخامت 0.787 میلی متر شبیه سازی و ساخته شده است (شکل (۲۲)). فرکانس کاری این مدار برابر با $1/785$ گیگاهرتز و پهنای باند آن با احتساب -20 dB برابر 35% می باشد. نتایج حاصل از شبیه سازی و ساخت و مقایسه آن ها بر روی یک نمودار در شکل (۲۳) نشان داده شده است. همینطور ابعاد مدار بدون در نظر گرفتن خط های مورد نیاز برای پورت ها به مقدار بیش از 55% کاهش یافت.



شکل ۲۲- مدار ساخته شده



شکل ۲۳- نتایج شبیه سازی و ساخت

همانگونه که از نتایج مشاهده می گردد در فرکانس اصلی میزان تلفات بازگشتی پورت ۱، پورت ۲، ایزولاسیون، و تلفات عبوری به ترتیب برابر با -23 ، -24 ، -40 و $-3/05$ dB است. اگر مقدار -20 dB را به عنوان مرجع قرار دهیم به آسانی می بینیم که ۶ هارمونیک حذف می شود. در جدول (۱) نیز مقایسه ای بین مقسم توان پیشنهادی با دیگر مقسم های توان ارائه شده در مقالات ارائه گردیده است که نشان از عملکرد بهتر مقسم توان پیشنهادی دارد.

جدول ۱- مقایسه مقسم توان پیشنهادی با دیگر مقسم های ارائه شده در مقالات

| Ref | F(GHz) | Harmonic suppression | Isolation | Insertion Loss | Size (Landa) | Size reduction |
|------------------|--------|----------------------|-----------|----------------|-----------------|----------------|
| [15] | 1.8 | 2 | 15 | 0.7 | 0.3*1.1 | - |
| [16] | 0.9 | - | 16.6 | 0.4 | 0.19*0.12 | 18.5% |
| [17] | 1.5 | - | 32 | 0.4 | 0.20*0.20 | - |
| [18] | 2.2 | 3 | 15 | 0.6 | - | - |
| [19] | 0.65 | 7 | 20 | 0.3 | - | 64% |
| [20] | 1 | 5 | - | - | - | - |
| [21] | 1.4 | - | - | 3.1 | - | 43% |
| [22] | 1 | 3 | - | - | - | - |
| [23] | 2.65 | 2 | - | - | - | 36.5% |
| This work | 1.785 | 6 | 40 | 3.05 | 0.097* 0.087 | 55% |

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک تقسیم کننده توان ویلکینسون میکرواستریپ با فرکانس کاری ۱/۷۸۵ گیگاهرتز طراحی و ارائه شده است. این مقسم توان از دو فیلتر پایین گذر مشابه تشکیل شده که استفاده از این فیلترها باعث کاهش سایز می شود، به طوری که این تقسیم کننده نسبت به مقسم توان ویلکینسون مرسوم ۵۵٪ کاهش سایز داشته است. همچنین این تقسیم کننده توان توانسته ۶ هارمونیک را حذف کند، که حذف هارمونیک با این تعداد، یکی از مطلوبات ما بوده است. برای پیشنهاد کارهای آینده می توان با اضافه کردن استاب های دیگری به این طراحی، هارمونیک های بیشتری را حذف نمود که در این صورت مقدار توان مصرفی کمتر می شود. همینطور با تغییر نوع زیرلایه و ضخامت آن می توان این تقسیم کننده را در حالات دیگری طراحی کرد که برای کارهای آینده عملی است.

۵- مراجع

1. C. A. Desoer and E. H. Kuh, "Basic circuit theory", ISBN: 9780070682573 Pub Date: SEP 09, copyright Year: 2009.
2. D. K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", Second Edition, Addison Wesley, 1989.
3. J-S. Hong, M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", John Wiley & Sons, 2001.
4. Roshani, Saeed, Payam Siahkamari, and Hesam Siahkamari. "Compact, harmonic suppressed gysel power divider with plain structure." *Frequenz* 71, no. 5-6 (2017): 221-226.
5. Yadav, Amar Nath, and Ratnajit Bhattacharjee. "Unbalanced-to-Balanced Power Divider With Arbitrary Power Division." *Progress In Electromagnetics Research C* 76 (2017): 43-54.
6. Yoon, Youngchul, and Young Kim. "Bagley Power Divider with Uniform Transmission Lines for Arbitrary Power Ratio and Terminated in Different Impedances." *Progress In Electromagnetics Research C* 77 (2017): 195-203.
7. Gai, Chao, Yong-Chang Jiao, Zi-Bin Weng, Gang Zhao, and Yu-Long Zhao. "Dual band gysel power divider with high power dividing ratio." *Microwave and Optical Technology Letters* 59, no. 10 (2017): 2428-2431.
8. Ch. Zhu, J. Xu, W. Kang, and W. Wu, 'Four-Way Microstrip Lumped-Element Reconfigurable Dual-Mode Filtering Power Divider', *IEEE Industrial Electronics Society*, p. 1 – 1, August 2017
9. H. Siahkamari, Z. Yasoubi, M. Jahanbakhshi, S. M. Mousavi, P. Siahkamari, M. E. Nouri, S. and R. Azadi, 'Design of Compact Wilkinson Power Divider with Harmonic Suppression using T-Shaped Resonators', *freq*, p. 2016-0219. 10, 10-2017

10. Luo, Ming, et al. "A Compact Balanced-to-Balanced Filtering Gysel Power Divider Using Resonators and Short-Stub-Loaded Resonator." *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 27.7 (2017): 645-647.
11. Chen, Haidong, et al. "Miniaturized SIW Gysel power divider based on LTCC multilayer technology." *Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM), 2017 International Workshop on*. IEEE, 2017.
12. Sangeetha Velan, Saffrine Kingsly, Malathi Kanagasabai, M. Gulam Nabi Alsath, Yogeshwari Panneer Selvam, and Sangeetha Subbaraj "Quad-Band Rat-Race Coupler With Suppression of Spurious Pass-Bands." *IEEE microwave and wireless components letters*, VOL. 26, NO. 7, JULY 2016
13. Bei, Lulu, et al. "Out-of-Phase Power Divider with Complex Impedance Transformation Based on Miniaturized Isolation Network." *Electromagnetics* 37.3 (2017): 139-149.
14. Jiuchao Li, Hui Zhou, Qiang Ma, Yuan Chai, Kai Yan "Planar Power Divider with Arbitrary Power Ratio for High Power Application and Its Miniaturization" 978-1-4673-8983-9/16/\$31.00 ©2016 IEEE
15. Xu, Kai, et al. "A balanced-to-unbalanced microstrip power divider with filtering function." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 63.8 (2015): 2561-2569.
16. Ren, Xue, et al. "Miniaturized Gysel power divider based on composite right/left-handed transmission lines." *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 25.1 (2015): 22-24.
17. Bei, Lulu, et al. "Out-of-Phase Power Divider with Complex Impedance Transformation Based on Miniaturized Isolation Network." *Electromagnetics* 37.3 (2017): 139-149.
18. Shahi, Hamed, and Hossein Shamsi. "Compact Wideband Gysel Power Dividers with Harmonic Suppression and Arbitrary Power Division Ratios." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* (2017).
19. Karimi, Gholamreza, Hesam Siahkamari, and Farnaz Khamin-Hamedani. "A novel miniaturized Gysel power divider using lowpass filter with harmonic suppression." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 69.5 (2015): 856-860.
20. M. Hayati, S. Roshani, , 'A Novel Wilkinson Power Divider Using Open Stubs for The Suppression of Harmonics', *Applied Computational Electromagnetics Society Journal* 28(6):501-506 · June 2013
21. D. -J. Woo and T. Lee: 'Suppression of harmonics in Wilkinson power divider using dual-band rejection by asymmetric DGS', *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 53, No. 6, p. 2139-2144, June 2005.
22. Lin, Shih-Cheng, et al. "Tunable Wilkinson Power Divider Utilizing Parallel-Coupled-Line-Based Phase Shifters." *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 27.4 (2017): 335-337.
23. Y. Peng, L. Zhang, Y. Leng, and J. Guan, "A modified microstrip Wilkinson power divider with high order harmonics suppression," *Prog Electromagnet Res C*, vol. 36, pp. 159-168, 2013