جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب برای حذف هارمونیک دوم برای کاربردهای راداری

تاریخ دریافت:
٦ شهریور ماه ١٤٠٣

تاریخ پذیرش:
٢٩ دی ماه ١٤٠٣

مرتضی محمدی شیرکلائی*[1]

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

چکیده

در این مقاله یک جمع کننده دو پورتی با کوپلر کواکسیالی و استاب برای حذف هارمونیک دوم با ظرفیت توان بالا مورد بررسی قرار گرفته است. این طراحی بر اساس یک جمع کننده کواکسیالی ۲ به ۱ و یک کوپلر کواکسیالی و یک استاب در دو بازوی جمع کننده طراحی شده است. در ورودی ها و خروجی این جمع کننده از به ترتیب از کانکتورهای ۷/۱۶ و ۵/۸ ۱ به دلیل قابلیت جابجایی توان بالا استفاده شده است. ابعاد این جمع کننده به همراه کوپلر کواکسیالی و استاب ها ۳۰۰mm*۱۹۲mm*۲۷۰mm می‌باشد. یک نمونه اولیه جمع کننده بصورت تمام موج مورد اریابی قرار گرفته است. نشان داده شده است که جمع کننده توان بالا پیشنهادی دارای تلفات برگشتی بهتر از 20dB، عدم تعادل دامنه کمتر از 0.1dB در باند ۷۵۰مگاهرتز تا ۹۵۰ مگاهرتز است. ساختار پیشنهادی هارمونیک دوم را می‌تواند به اندازه 50dB- کاهش دهد. از آنجائیکه این جمع کننده در خروجی یک فرستنده توان بالا قرار می‌گیرد، جهت تست تقویت کننده و اطلاع از میزان توان خروجی آن از کوپلر در بازوی خروجی آن استفاده می‌شود. این کوپلر کواکسیالی دارای کوپلینگ 34dB و جهت دهی 30dB می‌باشد. ساختار پیشنهادی در واقع کار سه قطعه (جمع کننده، فیلتر و کوپلر) را در فرستنده‌های راداری می‌تواند انجام دهد و برای ترکیب توان در سطح کیلووات مناسب است.

واژه‌های کلیدی: جمع کننده، رادار، توان بالا، کوپلر، استاب، هارمونیک دوم

High Power Coaxial Combiner with Coaxial Coupler and Stub to Eliminate the Second Harmonic for RADAR Aplications

Morteza Mohammadi Shirkolaei*[3]

1. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Shahid Sattari Aviation University,Tehran, Iran.

Abstract

In this article, a two-port adder with a coaxial coupler and stub for removing the second harmonic with high power capacity is investigated. This design is based on a 2 to 1 coaxial adder and a coaxial coupler and a stub in the two arms of the adder. 7.16 and 1.58 connectors have been used in the inputs and outputs of this collector, respectively, due to the ability to transfer high power. The dimensions of this collector, along with the coaxial coupler and stubs, are 300 mm*192 mm*270 mm. A full-wave collector prototype has been evaluated. It is shown that the proposed high power combiner has better than 20dB return loss, less than 0.1dB amplitude imbalance in the 750MHz to 950MHz band. The proposed structure can reduce the second harmonic by -50dB. Since this collector is placed at the output of a high power transmitter, a coupler is used in its output arm to test the amplifier and to know its output power. This coaxial coupler has 34dB coupling and 30dB directivity. The proposed structure can actually perform the work of three parts (collector, filter and coupler) in radar transmitters and is suitable for combining power at the kilowatt level.

Key words: Combiner, Radar, High power, Coupler, Stub, Second harmonic.

ایمیل نویسنده مسئول: mor_mohammadi@alumni.iust.ac.ir

۱-مقدمه

جمع کننده‌های توان دستگاه های غیر فعالی هستند که توان الکترومغناطیسی را از چندین پورت ورودی به یک پورت خروجی متصل می‌کنند. آنها به طور گسترده ای در اجزا و سیستم های مایکروویو مانند میکسرهای متعادل، تنظیم کننده های فاز، داپلکسرهای متعادل و سیستم های آرایه فازی استفاده شده اند. کارکردهای اصلی جمع کننده‌ها عبارتند از: (۱) ترکیب کانال‌های متعدد در یک سیگنال واحد برای پردازش سیگنال پشتیبان. (۲) به دست آوردن یک خروجی مایکروویو با توان بالا از چندین منبع توان کمتر. تلفات کم، ایزولاسیون بالا و تطبیق امپدانس پهن باند الزامات اساسی در این کاربردها هستند. در برخی از کاربردهای خاص، اندازه دستگاه فشرده و ظرفیت توان بالا نیز باید در نظر گرفته شود. تکنیک‌های مختلفی برای تحقق ترکیب توان پیشنهاد شده‌اند، از جمله ساختارهای موجی متحرک، ساختارهای خط شعاعی و ساختارهای دی‌الکتریک مسطح. تقسیم‌کننده‌ها/ترکیب‌کننده‌های توان موج متحرک، توان را همراه با فرآیند انتشار در کانال اصلی جفت می‌کنند. جداسازی و عدم تعادل فاز بین پورت های ورودی چندان خوب نیست [۱، ۲]. تقسیم‌کننده‌ها/ترکیب‌کننده‌های توان خط شعاعی دارای دامنه و عدم تعادل فاز عالی در مقایسه با سازه‌های دیگر به دلیل تقارن دورانی بالا هستند. اما جداسازی بین پورت های ورودی چندان خوب نیست [۳-۷]. سازه های دی الکتریک مسطح ویژگی های انتقال خوبی دارند و ساخت و مونتاژ سازه ها آسان است. با این حال، آنها به سختی می توانند در کاربردهای توان بالا به دلیل ویژگی های کم توان مدارهای مسطح استفاده شوند [۸، ۹].

یکی از راه های افزایش ظرفیت توان دستگاه، طراحی دستگاه ها بر اساس ساختار موجبر است. هیبریدهای موجبر در بسیاری از کاربردها به دلیل ویژگی های جداسازی بالای خود استفاده می شوند. هیبریدهای موجبر را می توان به طور کلی به دو نوع تقسیم کرد: هیبریدهای ۹۰ درجه و هیبریدهای ۱۸۰ درجه. هیبریدهای ۹۰ درجه از تزویج کننده جهتی ۳ دسی بل استفاده شده اند، در حالی که هیبریدهای ۱۸۰ درجه از magic-T استفاده می‌شود[۱۰، ۱۱]. برخی از کوپلرهای جهت دار بر اساس اصل کوپلینگ دیواره باریک طراحی شده اند. از آنجائیکه ساختارهای موجبری در فرکانس‌های UHF بزرگ می‌باشد، لذا طراحی و ساخت یک جمع‌کننده در این باند بزرگ می‌شود. برای حل این مشکل، در این مقاله یک جمع کننده کواکسیالی ۲ به ۱ پیشنهاد شده است. این جمع کننده در دو بازوی خود دارای یک جفت استاب اتصال کوتاه در فرکانس هارمونیک دوم فرکانس مرکزی جمع کننده پیشنهادی می‌باشد.

برای تست فرستنده‌های توان بالا نیاز به کوپلر در خروجی می‌باشد. برای این کار در بازوی خروجی جمع کننده پیشنهادی یک کوپلر کواکسیالی طراحی شده است. در مهایت طرح پیشنهادی در این مقاله سه عمل زیر را در خروجی رادارها انجام خواهد داد:

۱- جمع کننده توان

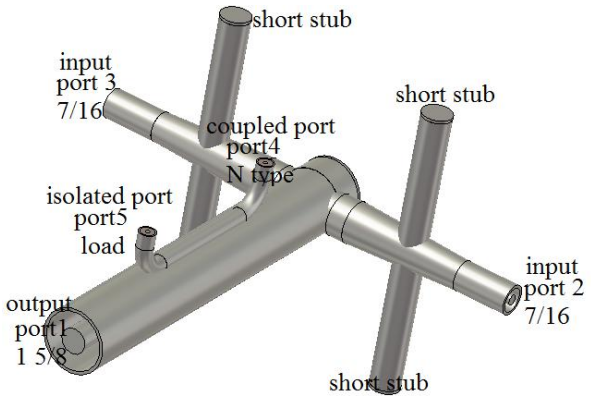
۲- حذف هارمونیک دوم

۳- کوپلینگ توان جهت تست خروجی تقویت کننده‌ها

در این مقاله در بخش دوم، به طراحی جمع‌کننده کواکسیالی به همراه استاب جهت حذف هارمونیک و تزویج کننده کواکسیالی پرداخته می شود. در بخش سوم با اتصال این سه المان با یکدیگر ساختار پیشنهادی طراحی شده و نتایج آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در نهایت نتایج این مقاله ارائه خواهد شد. یکی از کاربردهای مهم جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب استفاده از آن خروجی های فرستنده راداد قبل از آنتن رادار می‌باشد. بطوریکه جمع کننده آن برای افزایش توان به دو برابر، استاب آن برای حذف هارمونیک دوم فرستنده، و کوپلر کواکسیالی آن برای اندازه‌گیری میزان توان خروجی فرستنده و صحت کارکرد آن استفاده می‌شود.

۲-جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب

شکل ۱ جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب برای حذف هارمونیک دوم را نشان می‌دهد این جمع کننده شامل سه بخش جمع کننده، استاب برای حذف هارمونیک دوم و کوپلر جهت تست خروجی فرستنده رادار می‌باشد که در این بخش هر یک بصورت مجزا توضیح داده می‌شود:



شکل ۱ – جمع کننده کواکسیالی

۲-۱- جمع کننده کواکسیالی

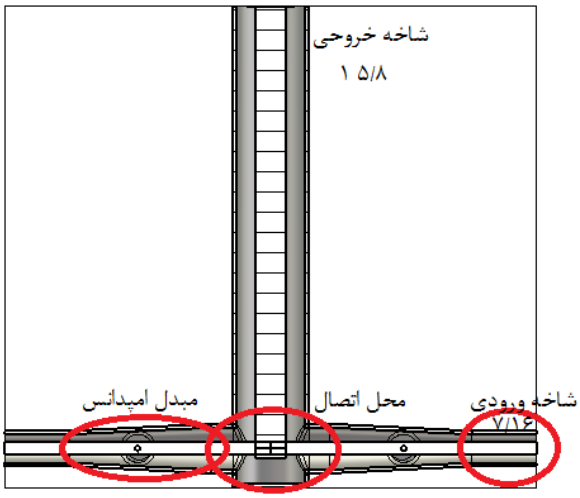
همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، بخش جمع کننده کواکسیالی را می توان به ۴ بخش زیر تقسیم کرد:

۱- شاخه‌های ورودی با امپدانس مشخصه ۵۰ اوهمی و کانکتور ۷/۱۶

۲- مبدل امپدانس نصف طول موج که بصورت تدریجی امپدانس مشخصه آن از ۵۰اوهمی به ۷۰.۷۱ اوهم تبدیل می‌شود

۳- محل اتصال دو شاخه با امپدانس مشخصه ۷۰.۷۱اوهم

٤- شاخه خروجی با امپدانس مشخصه ۵۰اوهمی و کانکتور ۱ ۵/۸

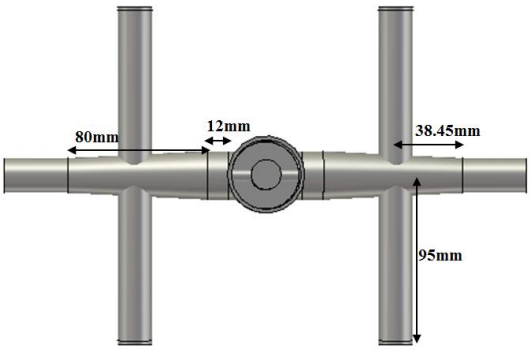


شکل ۲ – جمع کننده کواکسیالی

از آنجائیکه شـاخه خروجی باید توان بیشـتری را تحمل کند ابعاد آن باید به اندازه یک کانکتور ۱ ۵/۸ باشـد در نتیجه قطر مغزی داخلی 16.9mm و قطر داخلی محفظه 38.9mm می‌باشـد. با توجه به اینکه شاخه خروجی دارای امپدانس مشخصه ۵۰اوهمی می‌باشد و با دو شاخه موازی در محل اتصال وصل می‌شود، باید امپدانس هر یک از شـاخه‌ها در محل اتصـال ۱۰۰اوهم باشـد. برای تبدیل امپدانس ۵۰اوهمی شـاخه ورودی به ۱۰۰اوهم از مبدل امپدانس ربع طول موج در فرکانس مرکزی 850MHz استفاده شده است. ابعاد شاخه ورودی به اندازه یک کانکتور۷/۱۶ می‌باشـد (قطر مغزی داخلی 7mm و قطر داخلی محفظه 16mm می‌باشد).

۲-۲-استاب اتصال کوتاه شده

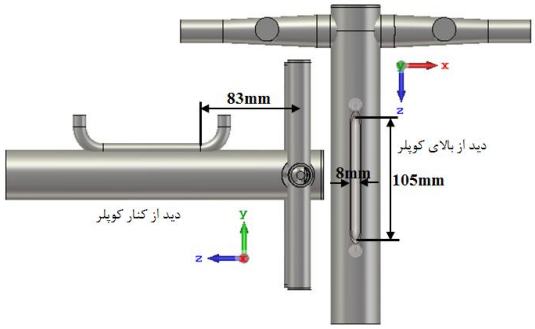
بـا توجـه بـه اینکـه خروجی تقویـت کننـده‌هـا همواره دارای هارمونیک‌های مرتبه بالاتر می‌باشـد و این هارمونیک‌ها باعث اعوجاج در گیرنده‌های رادار می‌شـوند باید در حد امکان این هـارمونیـک‌هـا را کـاهش داد. هـارمونیـک دوم تقویت کننـده‌ها معمولا دارای توان قلبل توجه می‌باشـد. یکی از راه‌های کاهش این هارمونیک‌ها اسـتفاده از اسـتاب اتصـال کوتاه به طول نصف طول موج هـارمونیـک دوم (ربع طول موج فرکـانس کـاری) در خروجی تقویت کننده‌ها می‌باشـد. شـکل ۳ محل قرار گیری و طول اسـتاب اتصـال کوتاه را در فرکانس 1700MHz نشـان می‌دهد. جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و اسـتاب برای حذف هارمونیک دوم را نشـان می‌دهد این جمع کننده شـامل سـه بخش جمع کننده، اسـتاب برای حذف هارمونیک دوم و کوپلر جهت تسـت خروجی فرسـتنده رادار می‌باشـد که در این بخش هر یک بصـورت مجزا توضـیح داده می‌شود:



شکل ۳ – استاب اتصال کوتاه شده در شاخه‌های ورودی جمع کننده برای حذف هارمونیک دوم

۲-۳-تزویج کننده کواکسیالی

برای اندازه گیری توان خروجی فرسـتنده‌های مورد اسـتفاده در رادارها به دلیل توان زیاد آن‌ها (در حد چندین کیلو وات و بزرگتر از آن) نیاز به کوپلر در خروجی فرسـتده‌ها می‌باشـد. خروجی کوپلینگ را به اسپکتروم آنالیزر یا توان سنج (power meter) وصل کرده و توان نمایش داده شـده روی دسـتگاه را قرائت کرده و به میزان کوپلینگ افزوده می‌شود. عدد بدست آمده مقدار توان ارسال شده به آنتن رادار را نشـان خواهد داد. شـکل ۴ محل قرار گیری کوپلر و طول آن را نمایش می‌دهد.

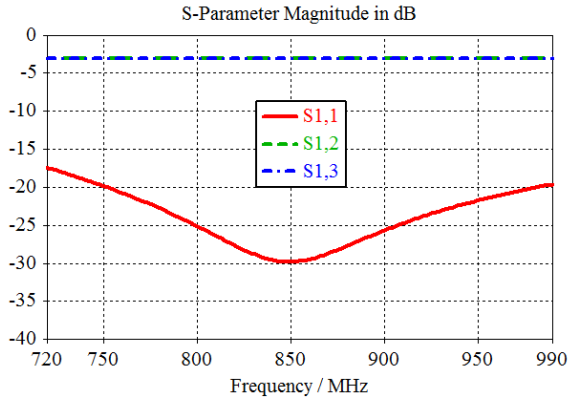


شکل ٤ – کوپلر کواکسیالی در شاخه خروجی جمع کننده

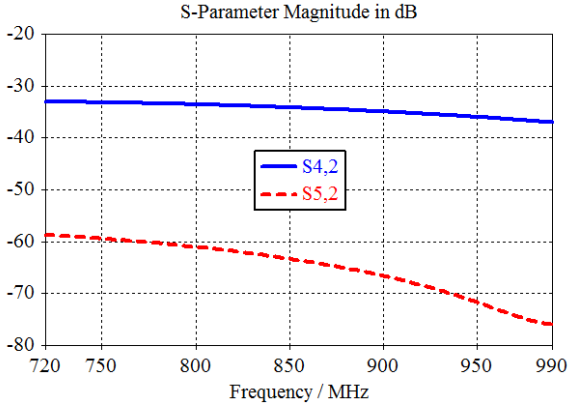
۳-نتایج جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب

در این بخش به بررسـی نتایج جمع کننده کواکسـیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب جهت خذف هارمونیک دوم پراخته خواهد شد. برای طراحی آن از یک جمع کننده ۲ به ۱، دو جفت اسـتاب اتصـال کوتاه شده در دو شاخه ورودی و کوپلر کواکسیالی در شاخه خروجی استفاده شـده اسـت. با فرض اینکه شـماره گذاری پورت های این سـاختار پیشـنهادی بصـورت شـکل ۱ باشـد، در آن صـورت نتایج پارامترهای پراکندگی بصـورت زیر می‌باشـد. شـکل ۵ تلفات برگشـتی و تلفات عبوری جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب را نشان می‌دهد. همانگونه که در شـکل مشـاهده می‌شـود تلفات برگشـتی در محدوده فرکانسی ۷۵۰ مگاهرتز تا ۹۵۰مگاهرتز دارای تلفات برگشتی

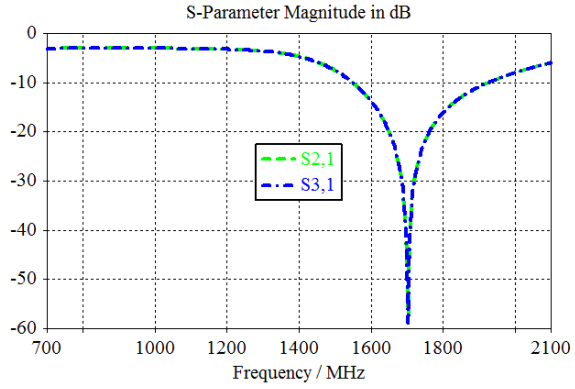
کمتر از 20dB- می‌باشد. علاوه بر این تلفات عبوری در این محدوده فرکانسی تقریبا برابر 3dB- می‌باشد که بیانگر توازن توان دو پورت ورودی می‌باشد. شکل ۶ میزان تزویج و ایزولاسیون کوپلر نسبت به ورودی پورت دوم جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود میزان کوپلینگ توان کوپلر مورد استفاده در این جمع کننده در محدوده فرکانسی ۷۵۰ مگاهرتز تا ۹۵۰مگاهرتز تقریبا 34dB- می‌باشد. میزان ایزولاسیون در این محدوده فرکانسی تقریبا برابر 64dB- می‌باشد. در نتیجه جهت دهی کوپلر کواکسیالی استفاده شده در این جمع کننده برابر با 30dB می‌باشد.



شکل ۵ –تلفات برگشتی و تلفات عبوری جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب



شکل ٦ –میزان تزویج و ایزولاسیون کوپلر نسبت به ورودی پورت دوم جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب



شکل ۷ –حذف هارمونیک دوم در فرکانس 1750MHz جمع کننده کواکسیالی با کوپلر کواکسیالی و استاب

همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود هارمونیک دوم فرکانس ۸۵۰مگاهرتز (۱۷۰۰مگاهرتز) به دلیل استفاده از استاب اتصال کوتاه شده در شاخه‌های ورودی به میزان 50dB- کاهش می‌یابد. این مقدار یک عدد قابل توجه‌ای در سامانه رادارد و مراقبت هوایی می‌باشد. نحوه ساخت جمع کننده کواکسیالی توان بالا با کوپلر کواکسیالی و استاب به این صورت می‌باشد که بازوهای جمع کننده و خروجی آن را از وسط نصف کرده و با ماشین کاری داخل آن را به اندازه کانکتور ۷/۱۶ و ۱ ۵/۸ به ترتیب خالی می کنیم. استاب ها را بصورت جداگانه ماشین کرده و به بازوی ورودی پیچ می‌کنیم. در انتها کوپلر را از طریق ماشین کاری ساخته و به بازوی خروجی پیچ می‌کنیم.

٤-نتیجه گیری و بحث

در این مقاله یک جمع کننده دو پورتی با کوپلر کواکسیالی و استاب برای حذف هارمونیک دوم با ظرفیت توان بالا مورد بررسی قرار گرفته است. جمع کننده پیشنهادی دارای تلفات برگشتی بهتر از 20dB و عدم تعادل دامنه کمتر از0.1dB در باند ۷۵۰مگاهرتز تا ۹۵۰ مگاهرتز است. ساختار پیشنهادی هارمونیک دوم را می تواند به اندازه 50dB- کاهش دهد. کوپلر استفاده شده در بازوی خروجی آن دارای کوپلینگ 34dB- و جهت دهی 30dB می باشد. ساختار پیشنهادی در واقع کار سه قطعه (جمع کننده، فیلتر و کوپلر) را در فرستنده های راداری می تواند انجام دهد و برای ترکیب توان در سطح کیلووات مناسب است.

٥-مراجع

[1] B. R. Mahafza, “Radar Signal Analysis And Processing Using Matlab”, Colsa Corporation, Huntsville, Alabama, Book, 2009.

[2] Chu, Q.-X., Kang, Z.-Y., Wu, Q.-S., et al.: ‘An in-phase output Ka-band traveling-wave power divider/combiner using double ridge-waveguide couplers’, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2013, 61, (9), pp. 3247–3253.

[3] Fathy, A.E., Lee, S.-W., Kalokitis, D.: ‘A simplified design approach for radial power combiners’, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2006, 54, (1), pp. 247–255.

[4] He, F.F., Wu, K., Hong, W., et al.: ‘A planar magic-T structure using substrate integrated circuits concept and its mixer applications’, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2011, 59, (1), pp. 72–79.

[5] Song, K.J., Xue, Q.: ‘Planar probe coaxial-waveguide power combiner/ divider’, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2009, 57, (11), pp. 2761–2767.

[6] Song, K., Fan, Y., Zhang, Y.: ‘Investigation of a power divider using a coaxial probe array in a coaxial waveguide’, IET Microw. Antennas Propag., 2007, 1, (4), pp. 900–903.

[7] Secmen, M., Demir, S., Hizal, A.: ‘E-plane sectoral horn power divider’, IET Microw. Antennas Propag., 2010, 4, (2), pp. 191–199.

[8] Ahmadzadeh, M., Rasekh, P., Safian, R., et al.: ‘Broadband rectangular high power divider/combiner’, IET Microw. Antennas Propag., 2015, 9, (1), pp. 58–63.
[9] Song, K., Hu, S., Zhang, F., et al.: ‘Four-way chained quasi-planar power divider using rectangular coaxial waveguide’, IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett., 2015, 25, (6), pp. 373–375.
[10] U-yen, K., Wollack, E.J., Papapolymerou, J., et al.: ‘A broadband planar magic-T using microstrip–slotline transitions’, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2008, 56, (1), pp. 172–177.
[11] M. Mohammadi, F. H. Kashani and J. Ghalibafan, "A compact planar monopulse combining network at W-band," 2009 5th IEEE GCC Conference & Exhibition, Kuwait, Kuwait, 2009, pp. 1-5
[12] M. Mohammadi, F. H. Kashani, "Planar eight port waveguide mono-pulse comparator," Progress In Electromagnetics Research C, vol. 6, 2009, pp. 103-113.