



## تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند با به کار گرفتن شیفت دهنده فاز ریزنواری- شکافت

حامد اسماعیل زاده<sup>۱\*</sup>، مسعود موحدی<sup>۲</sup>، خدیجه رضانی<sup>۳</sup>، علی غفورزاده<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران h.esmailzadeh@stu.yazd.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴- استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### چکیده

در این مقاله طراحی یک تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند در تکنولوژی ریزنواری تک لایه ارائه شده است. ساختار پیشنهادی، با استفاده از یک مقسم توان ویلکینسون فوق پهن باند و شیفت دهنده فاز ریزنواری- شکافت ارائه می شود. ساختار طراحی شده پهنای باند وسیع از نظر تلفات بازگشتی، ایزولاسیون، تقسیم توان و اختلاف فاز  $90 \pm 5$  درجه در سراسر باند فرکانسی از ۳ - ۱۱ گیگاهرتز نسبت به ساختارهای از پیش ارائه شده را نشان می دهد. طراحی مقسم توان پهن باند مورد نظر، با نرم افزار HFSS شبیه سازی و به منظور ارزیابی صحت ساختار، نتایج شبیه سازی و اندازه گیری مقسم توان مطابقت داده شده است.

**واژه های کلیدی:** تقسیم کننده توان، شیفت دهنده فاز ریزنواری-شکافت، اختلاف فاز ۹۰ درجه، مدارات ریزنواری

### ۱- مقدمه

برای سیستم های مداری مایکروویو و موج میلیمتری، تقسیم کننده / ترکیب کننده توان از جمله بخش های مهم در تقویت کننده های متعادل، میکسر و شبکه های تغذیه آنتن هستند. در سال های اخیر، سیستم های ارتباطی بی سیم مانند تلفن همراه، WLAN، ETC به طور قابل ملاحظه ای توسعه یافته است. بر این اساس دستگاه های مختلف مایکروویو با عملکرد بالا، اندازه کوچک، تلفات کم، کم هزینه، پهنای باند وسیع و چند بانده نیازمند است.

تقسیم کننده های توان ویلکینسون نقش مهمی در سیستم های مایکروویو و گیرنده های بی سیم نظیر سیستم های آرایه فازی، شبکه های شکل دهنده پرتو، آنتن های آرایه ای [۱]، [۲] و میکسرها [۳] بازی می کنند. تقسیم کننده توان ویلکینسون تقسیم کننده ای است که به طور عمومی مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین در درگاه ها تطبیق ایجاد می نماید [۴].

شیفت دهنده ایده آل، یک بلوک دو قطبی است که بدون ایجاد تلفات، اختلاف فاز بین سیگنال های ورودی و خروجی را تغییر می دهد. شیفت دهنده های فاز در پیاده سازی سیستم های آنتن های آرایه فازی، مدولاتورها، سیستم های رادار، سیستم های اندازه گیری و دیگر ماژول های کنترلی کاربرد گسترده ای دارند. [۵-۷]

شیفت دهنده های فاز را، می توان به دو گروه آنالوگ و دیجیتال تقسیم بندی کرد. در حال حاضر بسیاری از شیفت دهنده های فاز دیجیتال طراحی شده موجود، دارای پهنای باند باریک هستند. با توجه به افزایش روز افزون سرعت انتقال اطلاعات، نیاز به مداراتی با پهنای باند زیاد، روز به روز، افزایش می یابد. از این رو، تکنیک های زیادی جهت افزایش پهنای باند شیفت دهنده های فاز استفاده شده است که می توان از جمله ی آنها، استفاده از ساختار تزویج [۸]، متامتریال [۹]، خطوط



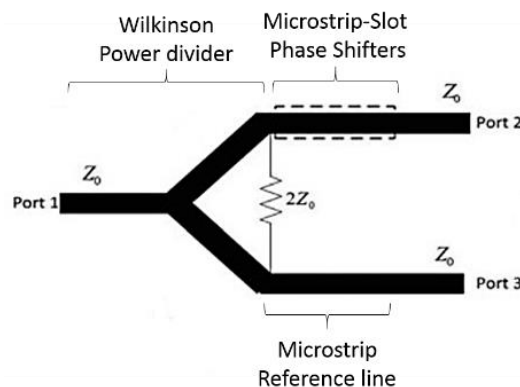
انتقال بارگذاری شده [۱۰]، SIW [۱۱]، و کوپلرهای جهتی [۱۲] را نام برد.  
در مرجع [۱۳]، یک تقسیم کننده توان تربیع با استفاده از خط انتقال فراماده ارائه شده است که برای بدست آوردن یک اختلاف فاز ۹۰ درجه می تواند با ترکیبات مختلف شیفت دهنده فاز مثبت و منفی از خطوط تحقق یابد. برای مثال (۳۰۰-)-۹۰=۶۰، (۴۵-)-۹۰=۴۵.

استفاده از خط انتقال فراماده دارای مشکلاتی است از جمله اینکه اضافه کردن المان های فشرده (سلف، خازن) به یک خط ریزنواری باعث افزایش مساحت ساختار، کاهش پهنای باند این ساختار و عدم کنترل اجزای پارازیتی می گردد. بنابراین آنها در فرکانس های رزونانس خود، پهنای باند شیفت دهنده فاز و همچنین تلفات بازگشتی را محدود می کنند.  
یک روش جایگزین برای بدست آوردن یک اختلاف فاز ۹۰ درجه پایدار، معکوس فاز است [۱۴]. از ویژگی های سودمند این روش، عملکرد فوق پهن باندی آن است اما نیاز به استفاده از ساختار های چند لایه در تکنولوژی ریزنواری می باشد.  
روش دیگر برای تقسیم توان برابر و همچنین اختلاف فاز ۹۰ درجه در خروجی ها، استفاده از تزویج کننده های هیبرید ۹۰ درجه است. در این ساختار ها برای افزایش پهنای باند از تکنیک های آبخاری کردن [۱۵]، DGS [۱۶] و معکوس کننده فاز [۱۷] استفاده می شود.

این گونه ساختارها دارای پهنای باند باریک هستند. برای پیاده سازی این ساختارها در پهنای باند وسیع روش آبخاری کردن مورد استفاده قرار می گیرد، که علاوه بر افزایش اندازه، ساختار دارای محدودیت ساخت می باشد.  
در این مقاله از ترکیب تقسیم کننده توان ویلکینسون و شیفت دهنده فاز، یک تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند در تکنولوژی ریزنواری تک لایه ارائه شده است که علاوه بر کوچک بودن، ساختار نسبت به ساختار های قبلا ارائه شده فوق پهن باند می باشد.

## ۲- طراحی و شبیه سازی

پیکربندی کلی تقسیم کننده توان تربیع در شکل ۱ نشان داده شده است. طراحی مقسم توان تربیع به دو قسمت ارائه شده است: یک مقسم توان ویلکینسون و یک شیفت دهنده فاز ریزنواری-شکافت برای اختلاف فاز ۹۰ درجه.

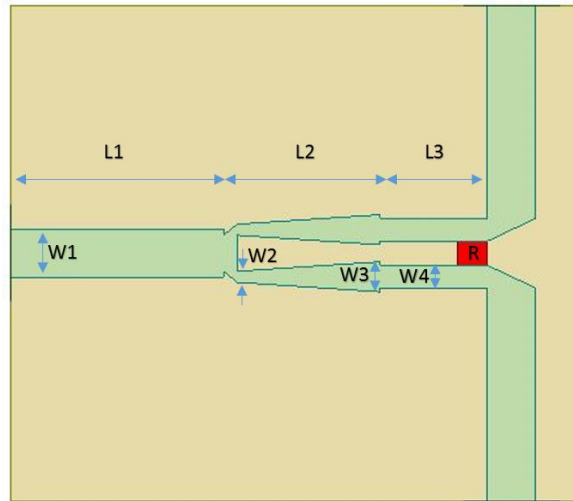


شکل ۱: پیکربندی کلی تقسیم کننده توان تربیع

طراحی با هدف عملکرد فوق پهن باند در سراسر باند ۳-۱۱ گیگاهرتز است. در طراحی، زیر لایه Rogers 4003 با ثابت دی الکتریک ۳٫۵۵، تانژانت تلفات ۰٫۰۰۲۷ و ضخامت ۰٫۵۰۸ میلی متر استفاده شده است. طراحی مقسم توان پهن باند مورد نظر، با نرم افزار HFSS شبیه سازی و به منظور ارزیابی صحت ساختار، نتایج شبیه سازی و اندازه گیری مقسم توان تطابق داده شده است.

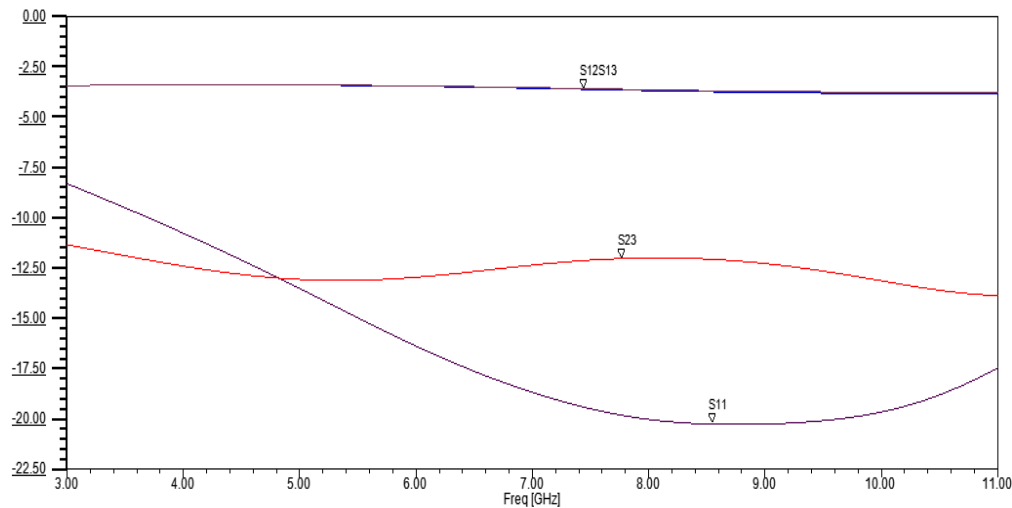


ابتدا، پیکربندی مدار یک تقسیم کننده توان ویلکینسون فوق پهن باند، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، ارائه گردیده است. این تقسیم کننده توان بر اساس خطوط انتقال مخروطی است [۱۸]. خط انتقال مخروطی برای افزایش پهنای باند و کاهش اندازه تقسیم کننده توان مورد استفاده قرار می گیرند. این ساختار تنها با یک مقاومت ایزوله برای پورت های خروجی طراحی شده است.



شکل ۲: تقسیم کننده توان ویلکینسون فوق پهن باند

شکل ۳ نتایج شبیه سازی شده از تقسیم کننده توان تلفات بازگشتی و ایزولاسیون بیش از ۱۰dB و تقسیم توان برابر (۴، ±۰dB) در سراسر باند ۳ تا ۱۱ گیگاهرتز نشان می دهد.



شکل ۳: تقسیم کننده توان ویلکینسون فوق پهن باند

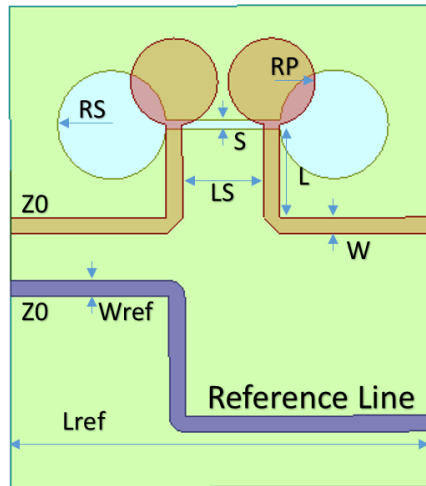
جدول ۱ شامل مقادیر تمام پارامترهای بهینه سازی شده از طراحی تقسیم کننده توان فوق پهن باند است. اندازه کلی از ساختار ۱۱،۴۷ × ۱۳،۲۶ میلی متر و مقاومت ایزولاسیون برابر با (R= ۱۰۰ Ω) است.

جدول ۱: ابعاد ساختار در شکل ۲ (برحسب میلی متر)

Parameter	W1	L1	W2	W3	L2	W4	L3
Value(mm)	۱،۱۱	۴،۹۲	۰،۲۵	۰،۶۹	۳،۳	۰،۵۲	۲،۴۸



طراحی شیفت دهنده فاز ۴ دهانه ی ۹۰ درجه ریزنواری- شکافت به عنوان یک مدار تنظیم فاز تقسیم کننده توان تربیع به پیروی از ایده در مرجع [۱۹] است. پیکربندی شیفت دهنده فاز ریزنواری-شکافت برای طراحی شیفت فاز پهن باند در بستر دی الکتریک تک لایه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴: پیکربندی شیفت دهنده فاز ریزنواری- شکافت

در مدل ارائه شده از استاب های دایروی و خطوط انتقال استفاده شده است. رویه بالایی زیرلایه، شامل استاب های دایروی و خطوط انتقال اتصال دهنده آن ها، می باشد. در رویه پایینی ساختار، استاب دایروی و خط انتقال وصل کننده آن ها، بصورت شکافی از صفحه زمین کنده شده اند. در این انتقال، سیگنال در یکی از پورت های ریزنواری، جاری می شود. سپس با یک خط شکافت در صفحه زمین تزویج می شود و تا زمانی که با پورت دوم ریزنواری تزویج نشده است، در خط شکافت گردش می نماید. مدل ارائه شده دارای چهار پورت می باشد. اختلاف فاز بین شیفت دهنده فاز ریزنواری-شکافت و خط مرجع برابر با ۹۰ درجه می باشد.

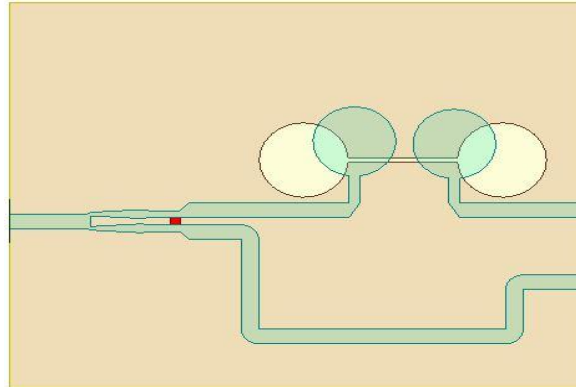
جدول ۲ شامل مقادیر تمام پارامترهای بهینه سازی شده از طراحی شیفت دهنده فاز فوق پهن باند است. اندازه کلی از ساختار ۱۷,۶۸ × ۱۵,۶۴ میلی متر است.

جدول ۲: ابعاد ساختار در شکل ۴ (برحسب میلی متر)

Parameter	W	L	S	RP	RS	LS	Lref
Value(mm)	۱,۱	۲,۵	۰,۲	۲,۷	۲,۹	۶,۵	۲۸



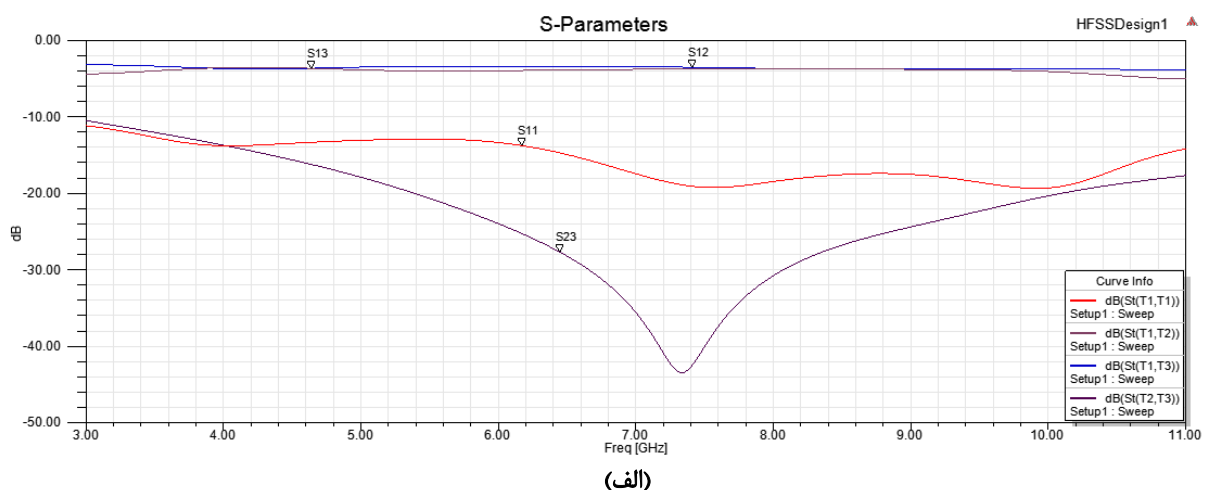
نمای کلی تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند با بکار گرفتن شیفت دهنده فاز ریزنواری- شکافت در شکل ۵ نشان داده شده است.

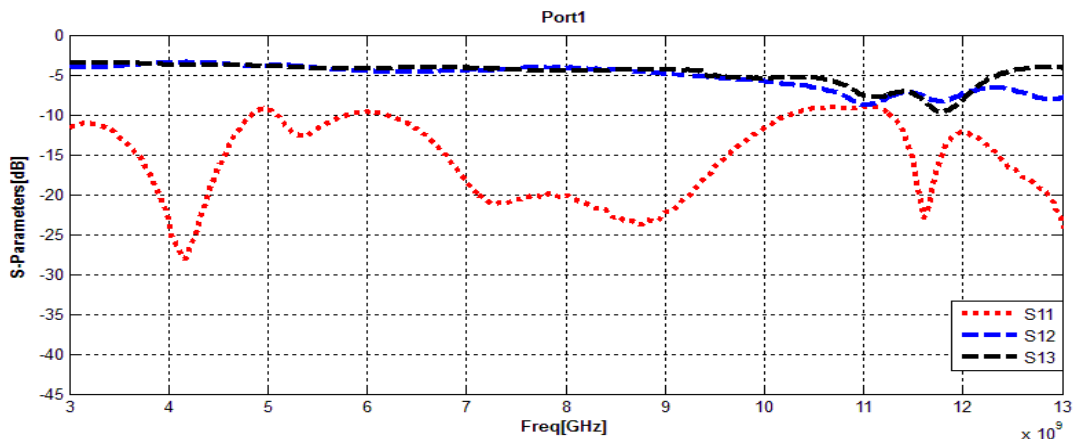


شکل ۵: تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند با بکار گرفتن شیفت دهنده فاز ریزنواری-شکافت

### ۳- نتایج شبیه سازی و اندازه گیری

شبیه سازی و بهینه سازی ساختار پیشنهادی با نرم افزار Ansoft HFSS انجام شده است. برای دستیابی به عملکرد قابل قبول در محدوده ی پهنای باند زیاد، ابعاد به کار رفته در ساختار، چندین بار بهینه سازی شده اند. در طراحی، زیر لایه Rogers 4003، با ثابت دی الکتریک از ۳٫۵۵، تانژانت تلفات ۰٫۰۰۲۷، و ضخامت ۰٫۵۰۸ میلی متر استفاده شده است. ابعاد بهینه شده ی نهایی به واحد (mm) در جدول (۲و۱) نشان داده شده است. پارامترهای پراکندگی تقسیم کننده ی ساخته شده در هر دو حالت، اندازه گیری و شبیه سازی در شکل ۶ نشان داده شده اند.



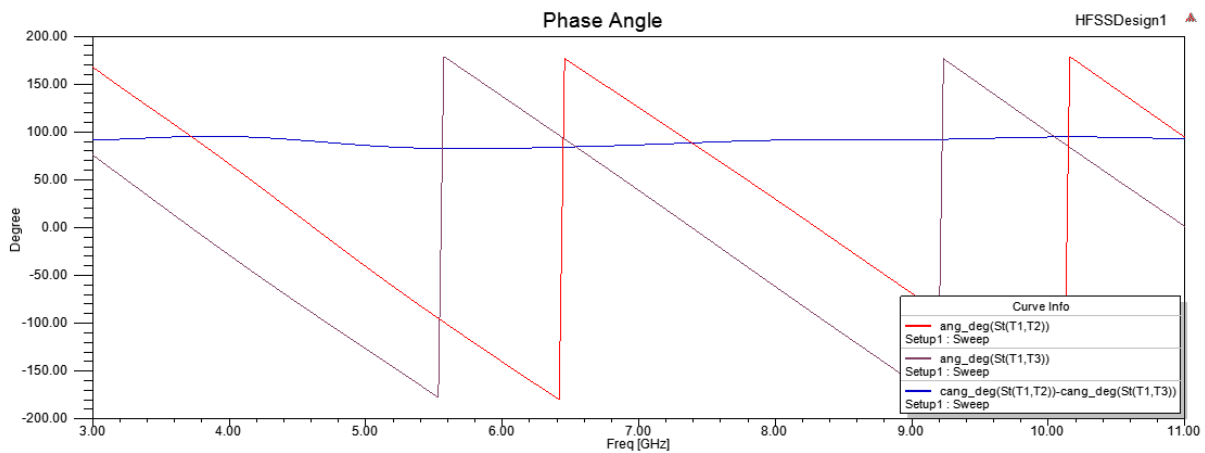


(ب)

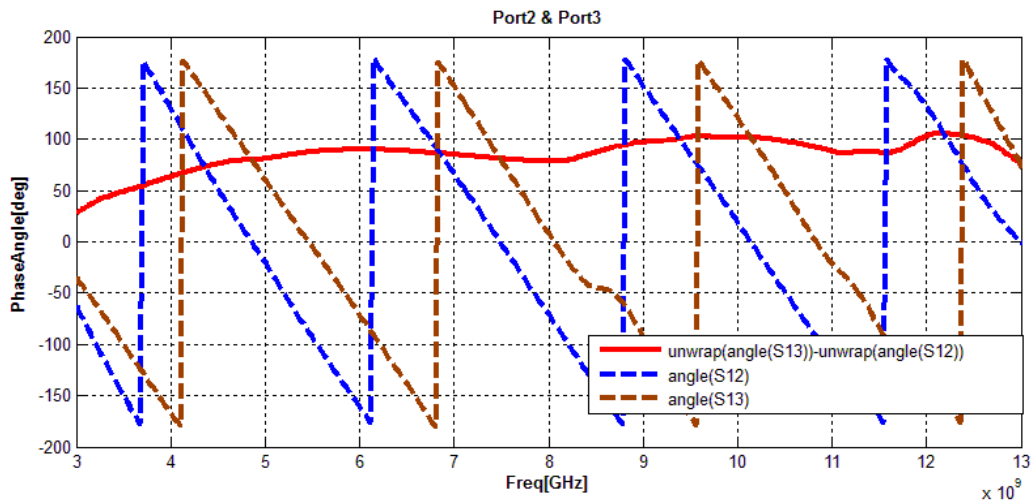
شکل ۶: نتایج پارمترهای پراکندگی ساختار شکل ۵. (الف) شبیه سازی. (ب) اندازه گیری.

شکل ۷: نتایج شبیه سازی و اندازه گیری اختلاف فاز بین خروجی های ساختار ساخته شده نشان داده شده را نشان

می دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۷: نتایج اختلاف فاز ساختار شکل ۵. (الف) شبیه سازی. (ب) اندازه گیری.

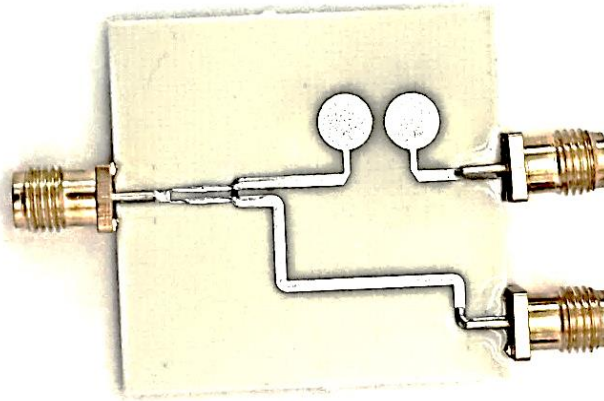


در جدول ۳ مقایسه بین کارهای انجام شده با ساختار پیشنهادی آورده شده است.

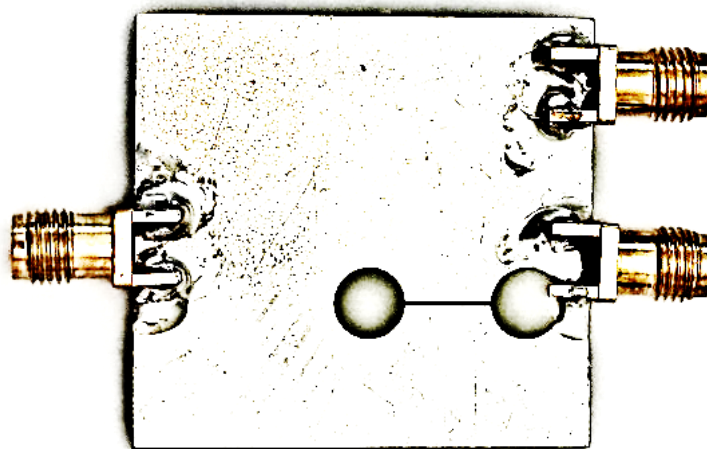
جدول ۳: مقایسه بین کارهای انجام شده با ساختار پیشنهادی

	Frequency range(GHz)	Phase error	Relative bandwidth	Circuit size( $\lambda \times \lambda$ )
[۱۳]	۱,۱-۳,۵	$\pm 5$	%۱۰۳	۵×۵,۵
[۲۰]	۲,۹-۷,۲	$\pm 5$	%۸۵	۷,۱×۶,۲
[۲۱]	۲-۳	+۳	%۴۰	۰,۹×۰,۷
This work	۳-۱۱	$\pm 5$	%۱۱۴	۳×۳,۷

در شکل ۸، نمای ساخته شده ی تقسیم کننده تربیع فوق پهن باند مورد نظر را از دو طرف نشان می دهد. ابعاد کلی این تقسیم کننده برابر با ۳×۳,۷ سانتی متر است.



(الف)



(ب)

شکل ۸: نمای ساخته شده ی تقسیم کننده تربیع فوق پهن باند. (الف) نمای بالا. (ب) نمای پایین.



#### ۴- نتیجه گیری

به طور کلی تقسیم کننده های توان ویلکینسون به دلیل امکان طراحی ساده، پیاده سازی آسان و قابلیت های عملکردی که از خود نشان می دهند، از پرکاربردترین نوع تقسیم کننده ها به شمار می روند. تقسیم کننده های توان تربیع ارائه شده در جدول ۳ دارای دو نقص، مشخصات باند باریک و فضای فیزیکی زیاد بودند. در این مقاله ایده ی جدید برای طراحی تقسیم کننده ی توان تربیع با پهنای باند زیاد و تا حد امکان با ابعاد کوچک، پیشنهاد شده است. یکی از ویژگی های مهمی که ساختار طراحی شده دارد، بهره مندی از ساختار صفحه ای و از جنس ریزنوری است که این ویژگی باعث می شود که ساختار طراحی شده به راحتی قابل مجتمع شدن با مدارات میکروویوی باشد. همچنین، تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند از طراحی ساده ای برخوردار است و در طراحی آن، از ساختار پیچیده ای استفاده نشده است. در نهایت، تقسیم کننده مورد نظر دارای مشخصات عملکردی بالا همچون تلف تزریقی پایین، ایزولاسیون بالا، ابعاد کوچک، تعادل دامنه ای مناسب، تعادل فازی مناسب و ... در محدوده ی فرکانسی پهن باند است. این روش از لحاظ ساخت، عملی بوده و بر اساس آن، تقسیم کننده توان تربیع فوق پهن باند ساخته و تست شده است. اختلاف بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری به دلیل ناهمگون بودن اتصال کانکتورهای SMA و مقاومت SMD از نظر مونتاژ و لحیم کاری است.

#### مراجع

- [1] Y. Yang, Z. Wang, and A. E. Fathy, "Design of compact Vivaldi antenna arrays for UWB see through wall applications," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 82, pp. 401–418, 2008.
- [2] T. Ji, H. Yoon, J. K. Abraham, and V. K. Varadan, "Ku-band antenna array feed distribution network with ferroelectric phase shifters on silicon," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 3, March 2006.
- [3] H. Hayashi, H. Okazaki, A. Kanda, T. Hirota, and M. Muraguchi, "Millimeter-wave-band amplifier and mixer MMICs using a broadband 45° power divider/combiner," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 46, no. 6, Jun. 1998.
- [4] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", 2nd ed. New York, 1998.
- [5] A. Abbosh, M. Bialkowski and D. Thiel, "Tunable Ultra Wideband Phase Shifter Using Liquid Crystal Polymer", *Microwave Conference, 2009. APMC 2009. Asia Pacific*, pp. 2076-2079, 2009.
- [6] X. Tang and K. Mouthaan, "Design of a UWB Phase Shifter Using Shunt  $\lambda/4$  Stubs", *Microwave symposium Digest. MTT '09. IEEE MTT-S International*, pp. 1021-1024, June 2009.
- [7] M. Bialkowski, A. Abbosh, N. Seman, "Compact microwave six-port vector voltmeters for ultra-wideband applications," *IEEE Transactions on Microwave Theory And Techniques*, vol. 55, no. 10, pp. 2216-2223, 2007.
- [8] S. H. Yeung, K. F. Man, and W. S. Chan, "The multiple circular sectors structures for phase shifter designs," *IEEE Transactions on Microwave Theory And Techniques*, vol. 59, no. 2, pp. 278–285, Feb. 2011.
- [9] P. Sobis, J. Stake, and A. Emrich, "High/low-impedance transmissionline and coupled line filter networks for differential phase shifters," *IET Microw., Antennas Propag.*, vol. 5, no. 4, pp. 386–392, 2011.
- [10] S. H. Yeung, Z. Mei, T. K. Sarkar, and M. Salazar-Palma, "Design and testing of a single-layer microstrip ultrawideband 90 degree differential phase shifter," *IEEE Microwave. Wireless Components. Letters.*, vol. 23, no. 3, pp. 122–124, Mar. 2013.
- [11] Y. Cheng, W. Hong, and K. Wu, "Broadband self-compensating phase shifter combining delay line and equal-length unequal-width phaser," *IEEE Transactions on Microwave Theory And Techniques*, vol. 58, no. 1, pp. 203–210, Jan. 2010.
- [12] B. Schiffman, "A new class of broad-band microwave 90-degree phase shifters," *Microwave Theory and Techniques, IRE Transactions on*, vol. 6, no. 2, pp. 232–237, 1958.





- [13] T. Chao-Hsiung and C. Chih-Lin, "A broadband quadrature power splitter using metamaterial transmission line," IEEE Microwave Wireless Compon Lett 18 (2008), pp. 25–27.
- [14] N. Seman and M. Bialkowski, "Microstrip-slot transition and its applications in multilayer microwave circuits," Passive microwave components and antennas, IN-TECH, Austria, 2010, pp. 247–266.
- [15] M. Muraguchi, T. Yukitake, and Y. Naito, "Optimum Design of 3-dB Branch-Line Couplers Using Microstrip Lines," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-31, no. 8, pp. 674-678, Aug. 1983.
- [16] C.-W. Tang, M.-G. Chen, Y.-S., "Broadband microstrip branch-line coupler with defected ground structure," Electron. Lett., Vol. 42, No. 25, Dec 2006.
- [17] Leung Chiu, Quan Xue, "Investigation of a Wideband 90 Hybrid Coupler With an Arbitrary Coupling Level," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 58, No. 4, April 2010.
- [18] Farooq Razzaz, Majeed A. S. Alkanhal, "UWB Wilkinson Power Divider Using Tapered Transmission Lines," PIERS Proceedings, pp. 19–23, Aug. 2012
- [19] Y. Wang, M.E. Bialkowski and A.M. Abbosh, "Double Microstrip-Slot Transitions for Broadband Microstrip Phase Shifters," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 22, No2, pp. 58-60, Feb 2012.
- [20] P.-S. Huang, Y.-L. Chang, and H.-C. Lu, "A compact broadband quadrature power splitter on LTCC," in Proc. Asia-Pacific Microw. Conf., Dec. 2011, pp. 33–36.
- [21] D. Kuylenstierna, S. E. Gunnarsson, and H. Zirath, "Lumped-element quadrature power splitters using mixed right/left-handed transmission Lines," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 53, no. 8, pp. 2616–2621, Aug. 2005.