

طراحی جدید تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر سه بانده

سینا داراب^۱، دکتر حسین میار نعیمی^۲، دکتر بیژن ذاکری^۳

چکیده

این مقاله یک تقسیم‌کننده توان ویلکینسون سه بانده که می‌تواند توان ورودی را بین درگاه‌های خروجی با نسبت تقسیم نابرابر تقسیم کند ارائه می‌دهد. آنالیز و طراحی ساختار پیشنهادی مبتنی بر تئوری خط انتقال انجام می‌گردد. ساختار پیشنهادی از یک تقسیم‌کننده توان ویلکینسون استفاده می‌کند که شاخه‌های ربع طول موج آن با ساختار T شکل که در ۳ فرکانس مختلف مانند خط انتقال ربع طول موج رفتار می‌کند جایگزین می‌گردد. برای ساختار T شکل نسبت دو فرکانس اول و دوم قابل انتخاب است در حالی که فرکانس میانی به سبب شکل فیزیکی ساختار در واقع میانگین دو فرکانس دیگر است. برای تایید صحت عملکرد ساختار پیشنهادی یک تقسیم‌کننده برای تقسیم توان ورودی با نسبت ۱:۳ طراحی و ساخته شده است که می‌تواند در فرکانس‌های ۲/۷، ۱/۲ و ۲/۴ GHz عمل نماید. ساختار ایجاد شده و تخمین زده شده نشان می‌دهد که تطبیق خوبی بین اهداف طراحی، نتایج تخمین و شبیه‌سازی وجود دارد.

کلیدواژه

ساختار T شکل، ماتریس انتقال، تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر، تقسیم‌کننده‌ی ۳ فرکانسی

مقدمه

استفاده شده است [۱۱]، [۱۲]. در این مقاله با استفاده از تئوری بیان شده در [۱۳] ساختاری ارائه شده است که امکان عملکرد در ۳ باند فرکانس را فراهم می‌آورد.

در این مقاله یک تقسیم‌کننده نابرابر که پیش‌تر ارائه شده است بررسی گردیده و شاخه‌های $\lambda/4$ آن با دوقطبی T شکل که در ۳ فرکانس مختلف مانند خط انتقال ربع طول موج رفتار می‌کند جایگزین می‌گردد و بنابراین تقسیم نابرابر به ۳ باند فرکانسی توسعه می‌یابد. بقیه مقاله به صورت زیر است. در بخش بعد تئوری لازم در تقسیم‌کننده پیشنهادی معرفی شده است. پس از آن بخش‌ها با امپدانس‌های متفاوت طراحی شده است و در نهایت نیز نتایج مربوط به شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ارائه گردیده است.

تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون نقش مهمی در سیستم‌های میکروویو و گیرنده‌های بی‌سیم نظیر سیستم‌های آرایه فازی، شبکه‌های شکل دهنده پرتو^۴، آنتن‌های آرایه‌ای [۱]، [۲] و میکسرها [۳] بازی می‌کنند. تقسیم‌کننده توان ویلکینسون تقسیم‌کننده‌ای است که به طور عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین در درگاه‌ها تطبیق ایجاد می‌نماید [۴]. نخستین تقسیم‌کننده‌ی توان نابرابر تک فرکانسی در ۱۹۶۵ ارائه شد [۵]. تعدادی دیگر از پژوهش‌ها برای تقسیم توان RF به صورت نابرابر در دو باند فرکانسی تلاش‌هایی انجام داده‌اند [۹]- [۶]. این پژوهش‌ها عمدتاً مبتنی بر تئوری ارائه شده توسط C.Monzon هستند [۱۰]. در دیگر مقالات از خطوط انتقال کوپل شده برای طراحی تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر

^۱ کارشناسی ارشد الکترونیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، sina.darab@stu.nit.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۳ استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۴ Beam-forming

تاریخ دریافت: ۱۲ آبان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۱۴ بهمن ۱۳۹۲

$$A_1 = \begin{pmatrix} \cos \theta/2 & jZ_1 \sin \theta/2 \\ \frac{j \sin \theta/2}{Z_1} & \cos \theta/2 \end{pmatrix}$$

$$A'_1 = \begin{pmatrix} \cos \theta & jZ'_1 \sin \theta \\ \frac{j \sin \theta}{Z'_1} & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$A_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-j \cot \theta}{Z_s} & 1 \end{pmatrix}$$

همچنین برای ماتریس انتقال خط انتقال ربع طول موج نشان داده شده در شکل ۱.(ب) خواهیم داشت:

$$\begin{pmatrix} A_C & B_C \\ C_C & D_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & jZ_C \\ \frac{j}{Z_C} & 0 \end{pmatrix} \quad (۲)$$

از برابر قرار دادن ماتریس انتقال ساختار شکل ۱.(الف) با خط انتقال ربع طول موج شکل ۱.(ب) پارامترهای ساختار فوق به شکل زیر به دست می‌آیند:

$$Z'_1 = \frac{Z_C Z_1 - Z_1^2 \tan^2(\frac{\theta}{2})}{Z_1 \tan \theta + Z_C \tan \theta \tan(\frac{\theta}{2})} \quad (۳)$$

$$Z_S = -\frac{Z_1}{2 \tan \theta} \cdot \frac{Z_1(Z_1 \tan \frac{\theta}{2} + Z_C) - Z_1(Z_C \tan \frac{\theta}{2} - Z_1) \tan \theta}{Z_1(Z_1 - Z_C \tan \theta) - (Z_1^2 \tan \theta + Z_C Z_1) \tan \frac{\theta}{2}} \quad (۴)$$

برای سادگی در طراحی $Z_1 = Z_C$ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین روابط فوق به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z'_1 = \frac{Z_C(1 - \sin \theta)}{\sin \theta} \quad (۵)$$

$$Z_S = Z'_1 \frac{1 - \sin \theta}{2 \sin \theta - 1} \quad (۶)$$

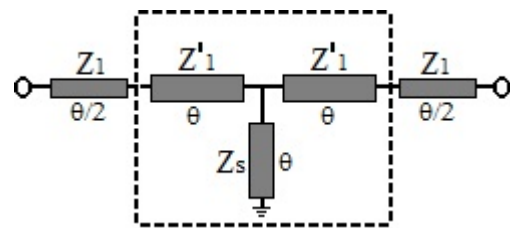
همانطور که از روابط فوق برمی‌آید، مقادیر امپدانس مشخصه‌ی Z_1 و Z_S همواره در $\theta_2 = \pi - \theta_1$ طول الکتریکی ثابت

تئوری و طراحی

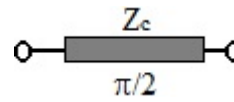
در این قسمت ابتدا روابط مربوط به ساختار T شکل که قرار است با جایگزینی با خط انتقال مرسوم زمینه‌ی عملکرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر را در ۳ فرکانس فراهم آورد ارائه می‌شود و سپس این تقسیم‌کننده برای انجام تقسیم توان به صورت نابرابر تحلیل و طراحی می‌گردد.

دو قطبی T شکل

شکل ۱ ساختار T شکل یاد شده را نشان می‌دهد [۱۲]. ناحیه‌ی مستطیلی، ساختار T شکل با استاب اتصال کوتاه است که برای دستیابی به عملکرد دو فرکانسی طراحی شده است. برای تحقق عملکرد سه فرکانسی خطوط انتقال $(Z_1, \theta/2)$ به ساختار T شکل اضافه شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱.(الف) ساختار T شکل توسعه یافته. (ب) خط انتقال ربع طول موج [13]

ماتریس انتقال برای شکل ۱.(الف) می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = A_1 A'_1 A_S A'_1 A_1 \quad (۱)$$

که A_1, A'_1 و A_S به ترتیب ماتریس انتقال بخش‌هایی با امپدانس مشخصه‌های Z_1, Z'_1 و Z_S است. این ماتریس‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

در نتیجه از دو رابطه‌ی فوق خواهیم داشت:

$$Z_{in2} = (1 + K^2)Z_0 \quad (10)$$

$$Z_{in3} = \frac{(1+K^2)}{K^2} Z_0 \quad (11)$$

با استفاده از دو رابطه‌ی فوق و پس از تحلیل مدار در مد زوج و فرد، پارامترهای مدار به شکل زیر به دست می‌آیند.

$$Z_1 = \sqrt{K(1+K^2)}Z_0 \quad (12)$$

$$Z_1 = \frac{\sqrt{K(1+K^2)}}{K^2} Z_0 \quad (13)$$

$$Z_1 = \sqrt{K}Z_0 \quad (14)$$

$$Z_1 = \frac{Z_0}{\sqrt{K}} \quad (15)$$

$$R = \left(K + \frac{1}{K}\right)Z_0 \quad (16)$$

نسبت تقسیم توان $1:k^2$ در فرکانس‌های طراحی بر حسب پارامترهای پراکنده‌گی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\left|\frac{S_{31}}{S_{21}}\right|^2 = K^2 \quad (17)$$

تقسیم‌کننده‌ی ویلکینسون نابرابر عمومی فوق قابلیت عملکرد در تنها یک فرکانس را دارد. با قرار دادن ساختار شکل ۱(الف) به جای خطوط انتقال ربع طول موج شکل ۱(ب) در این تقسیم‌کننده، امکان عملکرد این تقسیم‌کننده در ۳ فرکانس را می‌توان فراهم نمود.

با جایگذاری امپدانس مشخصه‌های ۱۵-۱۲ به جای Z_C در روابط ۶،۵ می‌توان پارامترهای مربوط به ساختار پیشنهادی برای تقسیم‌کننده توان ویلکینسون نابرابر ۳ بانده را به دست آورد.

بدین ترتیب امکان عملکرد یک تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر در ۳ فرکانس فراهم می‌آید.

می‌باشند زیرا که مقدار $\sin \theta$ در این دو زاویه یکسان خواهد بود. همچنین در طول الکتریکی $\theta = \pi/2$ امپدانس ورودی استاب اتصال کوتاه بی‌نهایت می‌شود و نیز امپدانس مشخصه‌ی Z'_1 صفر می‌گردد که این موجب می‌گردد که ساختار فوق تبدیل به یک خط انتقال ربع طول موج گردد.

در نتیجه برای فرکانس‌های عملکرد ساختار فوق داریم:

$$\frac{f_2}{f_1} = g$$

$$\theta_{f_2} = \pi - \theta_{f_1}$$

$$\theta_{f_1} = \frac{\pi}{1+g}$$

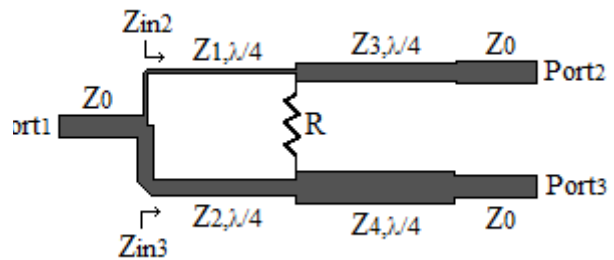
(7)

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$\theta_{f_m} = \frac{\theta_{f_2} + \theta_{f_1}}{2} = \frac{\pi}{2}$$

تقسیم‌کننده‌ی نابرابر

اکنون ساختار یک تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر را در نظر می‌گیریم [۱۴]. برای تقسیم توان به صورت $P_3 = k^2 P_2$ ، بایستی امپدانس‌های دیده شده از سر هر شاخه از سوی درگاه ورودی رابطه‌ی زیر را ارضاء کنند:

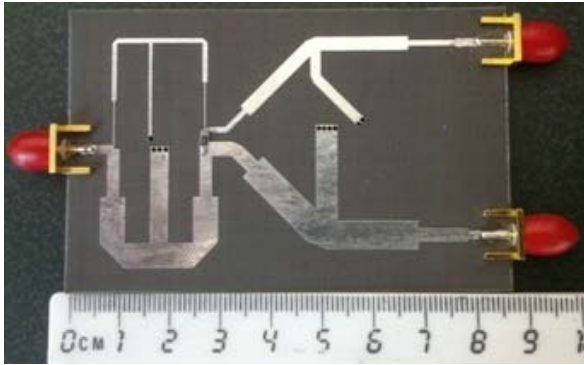


شکل ۲. تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر عمومی

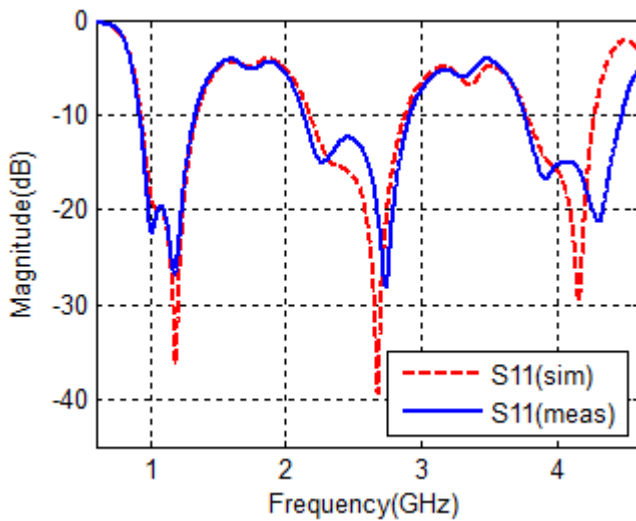
$$Z_{in2} = K^2 Z_{in3} \quad (8)$$

همچنین برای تطبیق در درگاه ورودی نیز همواره باید رابطه‌ی زیر برقرار باشد:

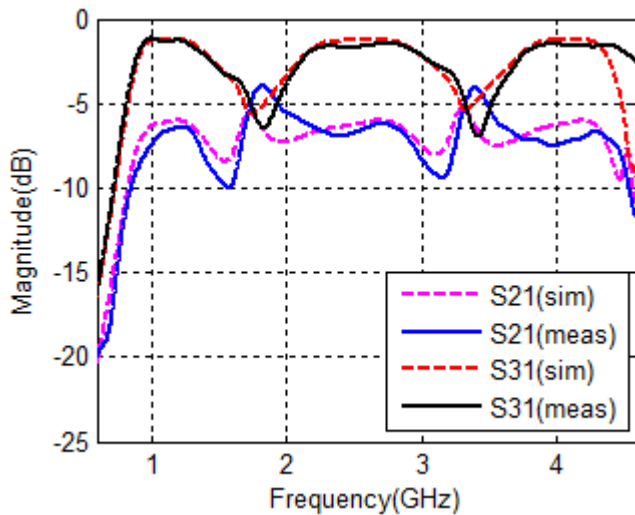
$$Z_{in2} \parallel Z_{in3} = Z_0 \quad (9)$$



شکل ۳. طرح تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر پیشنهادی



شکل (الف)



شکل (ب)

طراحی امپدانس مشخصه‌ها

در این بخش با استفاده از روابط بیان شده مداری برای انجام تقسیم توان با نسبت ۱:۳ طراحی می‌گردد.

با استفاده از روابط ۱۵-۱۲ ابتدا مقادیر مربوط به امپدانس مشخصه‌های تقسیم‌کننده‌ی ویلکینسون نابرابر عمومی را برای نسبت تقسیم ۱:۳ به دست می‌آوریم و سپس با استفاده از روابط ۵،۶ مقادیر امپدانس مشخصه‌ی تقسیم‌کننده‌ی پیشنهادی را مشخص می‌کنیم. مقادیر مربوط به این امپدانس مشخصه‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۱. مقادیر امپدانس مشخصه‌های تقسیم‌کننده‌ی ویلکینسون نابرابر عمومی با نسبت تقسیم ۱:۳

Parameter	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	R	K^2
Value(Ω)	۱۳۱.۶	۴۳.۸۷	۶۵.۸	۳۸	۱۱۵.۵	۱:۳

جدول ۲. مقادیر امپدانس مشخصه‌های تقسیم‌کننده‌ی نابرابر پیشنهادی

Characteristic Impedance	Z'_1	Z_{S1}	Z'_2
Value(Ω)	۷۳.۱۳	۹۱.۴۸	۲۴.۳۸
Characteristic Impedance	Z_{S2}	Z'_3	Z_{S3}
Value(Ω)	۳۰.۵	۳۶.۵۷	۴۵.۷۴
Characteristic Impedance	Z'_4	Z_{S4}	g
Value(Ω)	۲۱.۱۱	۲۶.۴۲	۳.۵

نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

تقسیم‌کننده‌ی طراحی شده‌ی فوق بر روی زیرلایه‌ی TLX-9- با ضخامت زیرلایه‌ی ۰.۶۳۵ mm ساخته شده است. شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار ADS/Momentum صورت گرفته و پارامترهای پراکندگی تقسیم‌کننده‌ی ساخته شده در هر دو حالت تجربی و شبیه‌سازی در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. نمودار S_{11} ساختار پیشنهادی که مبین ضریب انعکاس است در شکل ۴(الف) و نمودار S_{21}, S_{31} نیز که مبین ضریب عبور هستند برای تعیین نسبت تقسیم ۱:۳ در شکل ۴(ب) نمایش داده شده‌اند.

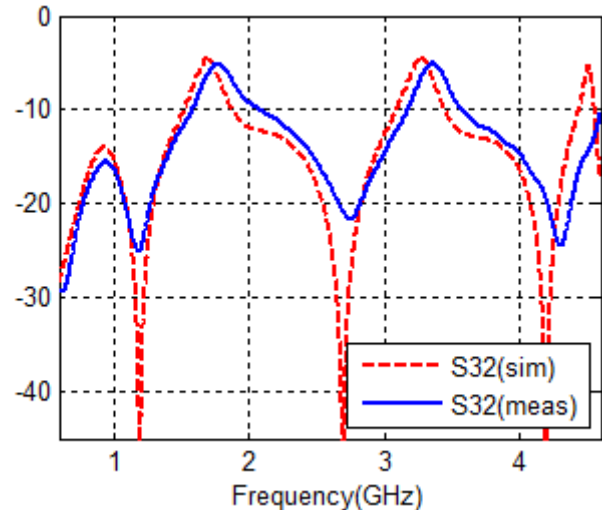
همانطور که در شکل ۴.ج) نشان داده شده است پارامتر ایزوله‌سازی S_{32} در این ۳ فرکانس مقداری کمتر از -20 dB دارد. به طور کلی پارامترهای پراکندگی S_{11} ، S_{22} و S_{33} در تمامی فرکانس‌ها بهتر از -15 dB هستند. همچنین پهنای باند این تقسیم‌کننده نیز در فرکانس‌های طراحی برای $S_{11} < -10$ dB بین 400 MHz تا 800 MHz می‌باشند.

نتیجه‌گیری

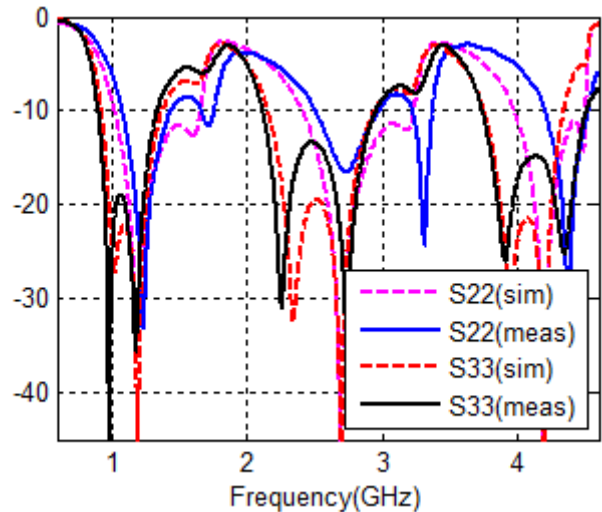
در این مقاله تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون با قابلیت تقسیم توان نابرابر ارائه و ساخته شده است که قابلیت عملکرد در ۳ فرکانس را دارد که نسبت به سایر پژوهش‌هایی که تا به امروز در خصوص تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون نابرابر صورت گرفته تعداد باندهای فرکانسی مطلوب مدار یک باند افزایش یافته است که از این ۳ فرکانس نسبت ۲ فرکانس قابل انتخاب و فرکانس میانی نیز در واقع میانگین دو فرکانس دیگر است. ساختار پیشنهادی به طور کلی تطبیق خوبی در درگاه‌ها و نیز ایزوله‌سازی خوبی بین درگاه‌های خروجی در فرکانس‌های کاری خود دارد.

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, pp. 1131–1138, Mar. 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, pp. 811–819, Jun. 1998.
- [4] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", 2nd ed. New York, 1998.
- [5] L. I. Parad and R. L. Moynihan, "Split-tee power divider," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 13, no. 1, pp. 91–95, Jan. 1965.



شکل(ج)



شکل(د)

شکل ۴. نمودار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تقسیم‌کننده‌ی پیشنهادی (الف) S_{11} (ب) S_{12}, S_{13} (ج) S_{32} (د) S_{22}

همانطور که در شکل ۴.الف) نشان داده شده است S_{11} اندازه‌گیری شده در فرکانس 1.18 GHz مقداری در حدود -26.8 dB، در فرکانس 4.33 GHz مقداری در حدود -21.6 dB و نیز در فرکانس مرکزی 2.74 GHz مقداری نزدیک به -28.24 dB دارد.

از شکل ۴.ب) می‌توان دید که S_{21} در فرکانس 1.18 GHz مقداری برابر با -6.5 dB، در فرکانس 4.33 GHz مقداری برابر با -6.75 dB و نیز در فرکانس میانی 2.74 GHz مقداری برابر با -6.2 dB دارد و این در حالی است که S_{31} متناظرا در این فرکانس‌ها به ترتیب مقداری در حدود -1.35 dB، -1.62 dB و -1.45 dB دارد که بیان‌گر نسبت تقسیم توان در حدود $1:3$ بین درگاه‌های خروجی در این فرکانس‌ها است.

- [10] C. Monzon, "A small dual-band transformer in two-segments," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 51, no. 4, pp. 1157–1161, Apr. 2003.
- [11] Yongle Wu, Yuanan Liu, Quan Xue, "An Analytical Approach for a Novel Coupled-Line Dual-Band Wilkinson Power Divider," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Vol. 59, no. 2, pp. 286-294, Feb 2011.
- [12] Myun-Joo Park, "Two-Section Cascaded Coupled Line Wilkinson Power Divider for Dual-Band Applications," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, Vol. 19, no. 4, pp. 188-190, Apr 2009.
- [13] Bo Li, Xidong Wu, Changzhou Hua, Nan Yang, Daohong Zhu, and Wen Wu. (2011), "A Tri-Band Wilkinson Power Divider Using Extended T-Shaped Stubs,". Presented at CJMW Proceedings.
- [14] Jia-Lin Li, Bing-Zhong Wang "Novel Design of Wilkinson Power Dividers With Arbitrary Power Division Ratios," *IEEE Trans. Industrial electronics.*, Vol. 58, no. 6, pp. 2541-2546, Jun 2011.
- [6] Xiaolong Wang, Iwata Sakagami, Kensaku Takahashi, Shingo Okamura, "A Generalized Dual-Band Wilkinson Power Divider With Parallel L,C and R Components," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 60, no. 4, pp. 952–964, Apr. 2012.
- [7] Yong-Le Wu, Hui Zhou, Ya-Xing Zhang, Yuan-An Liu, "An Unequal Wilkinson Power Divider for a Frequency and Its First Harmonic," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech. Lett.*, Vol. 18, no. 11, pp. 737-739, Nov 2008.
- [8] Yongle Wu, Yuanan Liu, Yaxing Zhang, Jinchun Gao, and Hui Zhou, "A Dual Band Unequal Wilkinson Power Divider Without Reactive Components," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Vol. 57, no. 1, pp. 216-222, Jan 2009.
- [9] Sung-hwan Ahn, Jae W. Lee, Choon Sik Cho, Taek K. Lee, "A Dual-Band Unequal Wilkinson Power Divider With Arbitrary Frequency Ratios," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech. Lett.*, Vol. 19, no. 12, pp. 783-785, Nov 2009.