

# A Reduced-size Wilkinson Power Divider Using Low Pass Structure 使用低通濾波結構的縮小化威爾金森功率分配器

洪楷涵

國立勤益科技大學電子工程系  
buy00225@yahoo.com.tw

曾振東

國立勤益科技大學電子工程系  
jdtseng@ncut.edu.tw

## 摘要

本文提出一種縮小化威爾金森功率分配器，將威爾金森功率分配器內傳輸線加入柴比雪夫低通濾波器，利用低通濾波器在通帶產生的相移量來縮短傳輸線，達到電路縮短化。電路分析使用 ABCD 矩陣轉散射參數，再求得濾波器的相移量。電路模擬以電磁模擬軟體 IE3D 完成，操作頻率設定在 925MHz 時信號可通過，由模擬與測量的頻率響應得知電路特性具有良好的一致性。

**關鍵詞：**柴比雪夫、低通濾波器、威爾金森、功率分配器、相移量

## 1. 前言

功率分配器在通訊系統中是不可或缺的電路，被廣泛的應用於陣列天線[1]、功率放大器[2]和混波器[3]等。J. Wilkinson 於 1960 年提出功率分配器結構[4]，可實現於傳輸線路如同軸電纜與微帶線，結構以功率一分二為例，由兩段四分之一波長傳輸線及一個並聯電阻組成。

威爾金森功率分配器廣泛使用，如使用步階阻抗諧正器(SIR)且電阻的地方並聯電感和電容，此結構可以形成雙頻的效果[5]；或傳輸線中間加入開路殘段，以達抑制諧波的效果[6]。傳統的威爾金森功率分配器應用時，原結構四分之一波長之傳輸線，於電路製作上會有較大的體積，近年來研究如何縮小體積及抑制高次諧波是相當重要的，有利用光子能隙(Photonic-Bandgap, PBG)[7]的止帶特性來抑制諧波、使用鑿空接地面結構(Defected Ground Structure, DGS)的慢波效應達到抑制諧波的目的[8]、使用互補式分離式環型共振器(Complementary Split Rings Resonators, CSRRs)來縮小電路[9]、在傳輸線內加入並聯電容來縮短傳輸線[10]，而本文提出在傳輸線內加入低通濾波器，利用低通濾波器在通帶產生的相移量來縮短傳輸線，使傳輸線縮短化。

本文將傳統威爾金森功率分配器，兩傳輸線內分別加入柴比雪夫低通濾波器，使傳輸線達到縮短化，縮小型威爾金森功率分配器電路結構如圖 1 所示。電路以電磁模擬軟體 IE3D 進行電路模擬，並利用公式推導驗證電路於設計頻率上具有通過的效果。

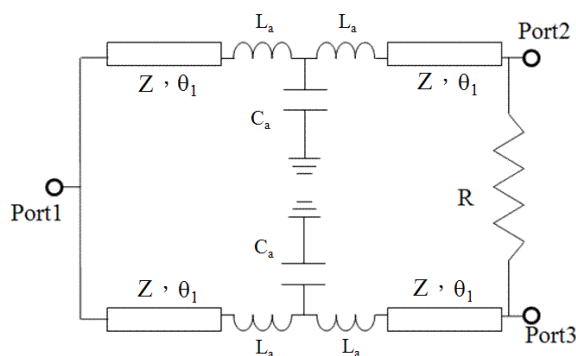


圖 1. 縮小結構的威爾金森功率分配器

## 2. 電路分析與設計

縮小結構威爾金森功率分配器，將傳統威爾金森功率分配器的傳輸線加入低通濾波器，圖 1 中的  $L_a$  和  $C_a$  為柴比雪夫低通濾波器的電感值與電容值， $\theta_1$  為縮短後傳輸線的電氣長度，Port1 為輸入端，Port2 和 Port3 為輸出端。

柴比雪夫低通濾波器使用 ABCD 矩陣分析 [11]，如(1)所示。

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{L1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{C2}} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_{L3} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

將 ABCD 矩陣轉換成散射參數，如(2)、(3)所示。

$$S_{11} = \frac{Z_{L1}Z_{L3} + Z_{L1}Z_o + Z_{L1}Z_{C2} + Z_{L3}Z_{C2} - Z_{L3}Z_o - Z_o^2}{2 + Z_{L1}Z_{L3} + Z_{L1}Z_o + Z_{L3}Z_o + Z_{L1}Z_{C2} + Z_{L3}Z_{C2} + Z_o^2} \quad (2)$$

$$S_{21} = \frac{2}{2 + Z_{L1}Z_{L3} + Z_{L1}Z_o + Z_{L3}Z_o + Z_{L1}Z_{C2} + Z_{L3}Z_{C2} + Z_o^2} \quad (3)$$

由(3)式可計算出  $S_{21}$  的相位公如(4)所示。

$$\theta_{21} = -\tan^{-1} \left( \frac{\frac{\omega L_1 + \omega L_3 - \omega^3 L_1 L_3 C_2}{Z_o} + \omega C_2 Z_o}{2 - \omega^2 L_1 C_2 - \omega^2 L_3 C_2} \right) \quad (4)$$

柴比雪夫低通濾波器設計公式如(5)、(6)所示，式中  $f_c$  為低通濾波器的 3dB 點截止頻率， $Z_o$  為傳輸線特性阻抗， $l_n$  與  $c_n$  為柴比雪夫低通濾波器原型的電感與電容值。

$$L_n = \frac{Z_o l_n}{2\pi f_c} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{c_n}{2\pi f_c Z_0} \quad (6)$$

利用(5)、(6)兩式將(4)式取代為(7)式。

$$\theta_{21} = -\tan^{-1} \left( \frac{4\pi^2 f_c^2 \omega l_1 + 4\pi^2 f_c^2 \omega l_3 - \omega^3 l_1 l_3 c_2 + 4\pi^2 f_c^2 \omega c_2}{16\pi^3 f_c^3 - 2\pi f_c \omega^2 l_1 c_2 - 2\pi f_c \omega^2 l_3 c_2} \right) \quad (7)$$

柴比雪夫濾波器設計如下表所示：

表 1 柴比雪夫低通濾波器原型的電感與電容值

濾波率	$l_1$	$c_2$	$l_3$
0.01dB	1.181	1.821	1.181
0.1dB	1.423	1.594	1.433
0.5dB	1.864	1.280	1.834
1.0dB	2.216	1.088	2.216

利用表 1 的值代入(7)式可以繪出設計曲線，如圖 2 所示。

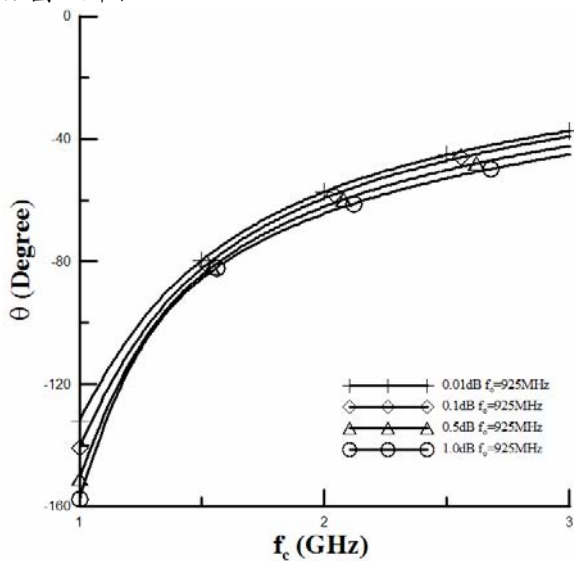


圖 2. 925MHz 濾波器設計曲線圖

由圖 2 可知，當需要多少相移量(Y 軸)則對應柴比雪夫低通濾波器的截止頻率(X 軸)，即可設計出中心頻率為 925MHz 所需相移量的濾波器。

### 3. 電路實作與量測

圖 3 為實體電路結構圖，中心頻率為 925MHz、 $Z=70.70\Omega$ 、 $\theta=15^\circ$ ，輸入及輸出埠特性阻抗為  $50\Omega$ ，以電磁模擬軟體(IE3D)內建的 Line Gauge 可計算出結構參數， $W_1=1.64\text{mm}$ 、 $W_2=3.1\text{mm}$ 、 $W_3=1\text{mm}$ 、 $L_1=5.64\text{mm}$ 、 $L_2=5\text{mm}$ 、 $L_3=1\text{mm}$ 、 $L_a=6.8\text{nH}$ 、 $C_a=2.2\text{pF}$ 、 $R=100\Omega$ ，圖 4 為實際電路圖，使用雙面 FR4 板製作，基板厚度為  $1.6\text{mm}$ ，相對介電常數為  $4.3$ ，電路尺寸為  $22.9\text{mm} \times 13\text{mm}$ 。

圖 5 為縮小型威爾金森功率分配器散射參數模擬與實測頻率響應圖，實線表示實際測量結果，虛線表示 IE3D 模擬之結果，在 925MHz 其  $S_{11}$  為  $-19.6\text{dB}$ 、 $S_{21}$  為  $-3\text{dB}$ 、 $S_{31}$  為  $-3.9\text{dB}$ 、 $S_{23}$  為  $-18.5\text{dB}$ ，圖 6 為模擬和實測的  $\angle S_{21}$  和  $\angle S_{31}$  相位比較圖，實

線為實測值，虛線為 IE3D 模擬值，在中心頻率  $\angle S_{21}$  為  $131.8^\circ$ 、 $\angle S_{31}$  為  $119.9^\circ$ ，模擬與測量結果具有良好的一致性。

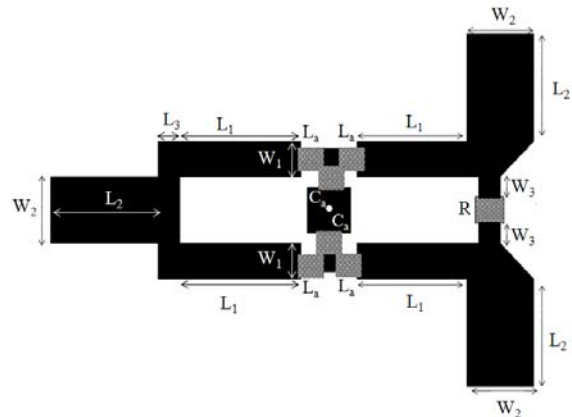


圖 3. 縮小型威爾金森功率分配器實體電路結構 ( $W_1=1.64\text{mm}$   $W_2=3.1\text{mm}$   $W_3=1\text{mm}$   $L_1=5.64\text{mm}$   $L_2=5\text{mm}$   $L_3=1\text{mm}$   $L_a=6.8\text{nH}$   $C_a=2.2\text{pF}$   $R=100\Omega$ )

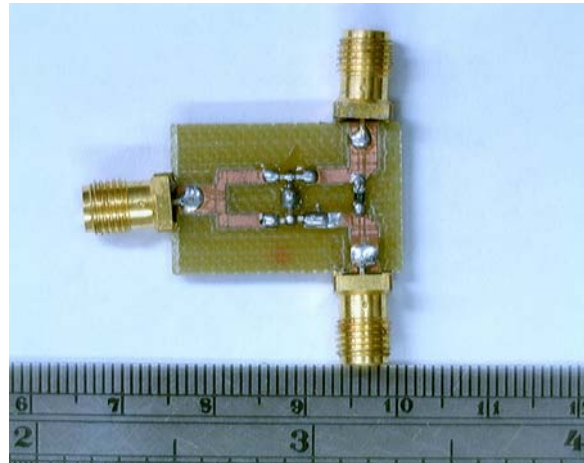


圖 4. 縮小型威爾金森功率分配器實體電路圖 ( $22.9\text{mm} \times 13\text{mm}$ )

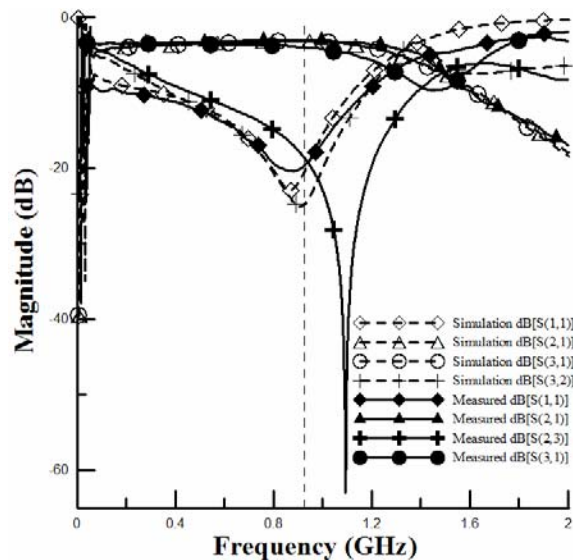


圖 5. 中心頻率 925MHz 縮小型威爾金森功率分配器散射參數模擬與實測頻率響應圖

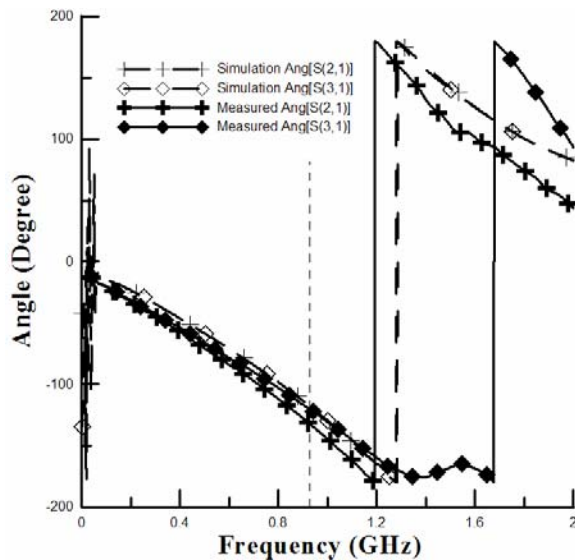


圖 6. 中心頻率 925MHz 縮小型威爾金森功率分配器相位模擬與實測頻率響應圖

#### 4. 結論

本文提出一種縮小型威爾金森功率分配器，將威爾金森功率分配器內的傳輸線加入柴比雪夫低通濾波器，利用低通濾波器在通帶產生的相移量來縮短傳輸線，使原本電器長度 90 度的傳輸線，縮短為二段電器長度為 15 度的傳輸線，讓傳統威爾金森功率分配器傳輸線總長縮短為原長的三分之一，面積縮小為原來的 28.5%。再經由電路實作與模擬，結果顯示出模擬與實際量測的頻率響應具有良好的一致性。

#### 參考文獻

- [1] M. Y. -W. Chia, T. -H. Lim, J. -K. Yin, P. -Y. Chee, S. -W. Leong and C. -K. Sim, "Electronic beam-steering design for UWB phased array," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 6, pp. 2431-2438, June 2006.
- [2] T. M. Weller, L. P. B. Katehi, M. I. Herman, P. D. Wamhof, K. Lee, E. A. Kolawa and B. H. Tai, "New results using membrane-supported circuits: a Ka-band power amplifier and survivability testing," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, no. 9, pp. 1603-1606, Sept. 1996.
- [3] L. Zhiyang and R. M. Weikle, "High-order subharmonically pumped mixers using phased local oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 7, pp. 2977-2982, July 2006.
- [4] E. J. Wilkinson, "An N-Way Hybrid Power Divider," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 8, no. 1, pp. 116-118, Jan. 1960.

- [5] L. Wu, H. Yilmaz, T. Bitzer, and A. Pascht. M. Bertho, "A Dual-Frequency Wilkinson Power Divider: For a Frequency and Its First Harmonic," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 15, no. 2, pp. 107-109, Feb. 2005.
- [6] Kun-Hui Yi and Bongkoo Kang "Modified Wilkinson Power Divider for nth Harmonic Suppression," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 13, no. 5, pp.178-180, May 2003.
- [7] Bao-qin Lin, Qiu-rong Zheng, and Nai-chang Yuan, "A Novel Planar PBG Structure for Size Reduction," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no. 5, pp.178-180 May 2006.
- [8] Duk-Jae Woo and Taek-Kyung Lee, "Suppression of Harmonics in Wilkinson Power Divider Using Dual-Band Rejection by Asymmetric DGS," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 6 pp. 2139-2144, June 2005.
- [9] Marta Gil, Jordi Bonache, Ignacio Gil, Joan Garcia-Garcia and Ferran Martin "Artificial Left-handed Transmission Lines for Small Size Microwave Components : Application to Power Dividers," *Proceedings of the 36th European Microwave Conference*, pp.1135-1138 Sept. 2006.
- [10] Errikos Lourandakis, Matthias Schmidt, Stefan Seitz, Robert Weigel, "Reduced Size Frequency Agile Microwave Circuits Using Ferroelectric Thin-Film Varactors," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 56, no. 12, pp.3093-3099, Dec. 2008.
- [11] D.M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.