

Lumped/distributed Mixed Type Branch Line

混合式元件枝幹耦合器

林懷鈺

國立勤益科技大學電子工程系

s55684@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

本文提出混合式元件枝幹耦合器設計，將傳輸線部分等效成 PI 型結構，利用並聯電容方式等效原傳輸線之特性，達到電路縮小化之功能。電路分析以傳輸線等效 PI 型結構，求得傳輸線特性阻抗和電容值的設計公式，再利用設計公式得出設計曲線，做為電路設計的依據。電路模擬以電磁模擬軟體(IE3D)進行，模擬與實際量測結果顯示具有良好的一致性。

關鍵字：混合式枝幹耦合器、傳輸線、縮小化

1. 前言

隨著近年來科技蓬勃的發展下，通訊系統趨向無線化與縮小化，目前無線通訊系統廣泛使用在超高頻(UHF)頻段上，範圍從 300MHz 到 3GHz 之間，一般應用在超高頻(UHF)的系統有：數位電視系統、無線藍芽系統[1]、WiMAX 系統[2]和無線射頻標籤系統[3]等。在這些系統中有許多被動電路，例如：威爾金森功率分配器[4]、枝幹耦合器[5]、相移器[6]和衰減器[7]等等，因此為使整體系統有效改善面積尺寸，電路縮小化就更為重要。

近年來的縮小化方法眾多，例如鼠鬚式耦合器的傳輸線切成許多段，使用兩個開路殘段連接傳輸線的 PI 型網路，串接起來達到縮小化[8]；兩個傳輸線串接開路殘段的 T 型網路，使傳輸線與開路殘段的特性阻抗與電氣長度都不相同，有效的利用枝幹耦合器內的空白面積，達到在中心頻率 2.4GHz 的電路面積為傳統枝幹耦合器電路面積的 45%[9]；將枝幹耦合器的傳輸線等效成步階阻抗，使在中心頻率 1GHz 的電路面積縮小 60%[10]。本文是使用 PI 型結構方法，傳輸線串接兩並聯電容在枝幹耦合器上，進行電路縮小化。

本文提出混合式元件枝幹耦合器，電路結構將傳輸線部分等效成 PI 型結構，傳輸線串接兩並

聯電容，並利用公式得出設計曲線，進行縮小化探討。電路特性以電磁模擬軟體 IE3D 進行模擬，並使用雙面 FR-4 基板製作電路。

2. 電路分析

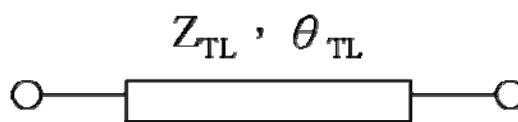


圖 1. (a) 傳輸線結構

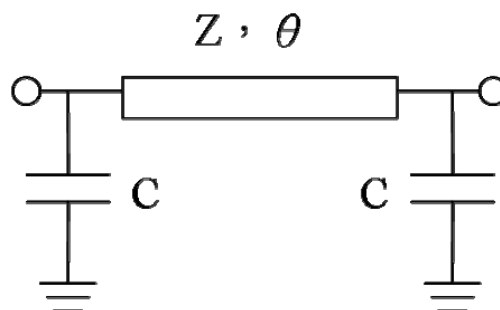


圖 1. (b) PI 型等效結構

本文使用的 PI 型縮小化傳輸線方法，將傳輸線，圖 1(a)，等效成 PI 型結構，如圖 1(b)所示。傳輸線的阻抗矩陣，式(1)；PI 型結構的阻抗矩陣，如式(2)所示，將式(2)阻抗矩陣化簡後，可得式(3)，再將式(1)等於式(3)，可得到等效條件：式(4)和式(5)。整理式(4)和式(5)，可得設計公式，式(6)為傳輸線設計公式和式(7)為並聯電容值的計算公式。

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_{TL} & jZ_{TL} \sin \theta_{TL} \\ jY_{TL} \sin \theta_{TL} & \cos \theta_{TL} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ\sin\theta \\ jY\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta - \omega CZ\sin\theta & jZ\sin\theta \\ jY\sin\theta + j2\omega C\cos\theta - j\omega^2 C^2 Z\sin\theta & \cos\theta - \omega CZ\sin\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\cos\theta_{TL} = \cos\theta - \omega CZ\sin\theta \quad (4)$$

$$Z_{TL}\sin\theta_{TL} = Z\sin\theta \quad (5)$$

$$Z = \frac{Z_{TL}\sin\theta_{TL}}{\sin\theta} \quad (6)$$

$$C = \frac{\cos\theta - \cos\theta_{TL}}{\omega Z_{TL}\sin\theta_{TL}} \quad (7)$$

為使傳輸線等效 PI 型結構有方便的設計，因此將式(6)和式(7)的設計公式，分別畫出 Z_{TL} 等於 35.35Ω、50Ω 和 70.7Ω 的設計曲線圖，如圖 2(a)、(b)和(c)所示。設計曲線圖中，水平軸為電氣長度 θ ，範圍從 0° 到 135°；左邊垂直軸為特性阻抗值 Z ；右邊垂直軸為電容值 C ，實線電氣長度 θ_{TL} 分別為 45°、90° 和 135° 的特性阻抗值 Z ；虛線電氣長度 θ_{TL} 分別為 45°、90° 和 135° 的電容值 C 。

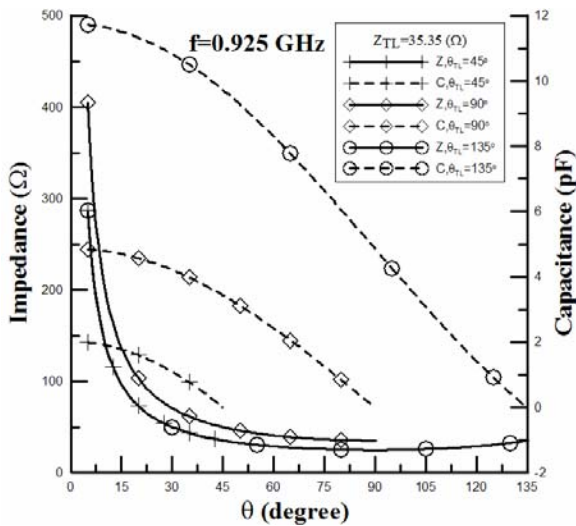


圖 2. (a) 設計曲線 ($Z_{TL}=35.35 \Omega$)

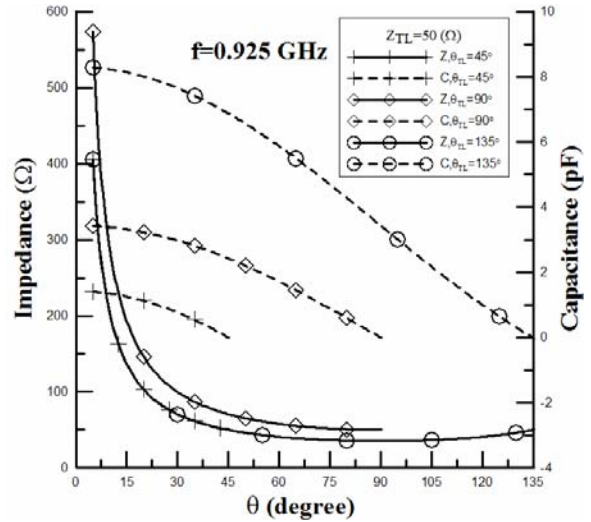


圖 2. (b) 設計曲線 ($Z_{TL}=50 \Omega$)

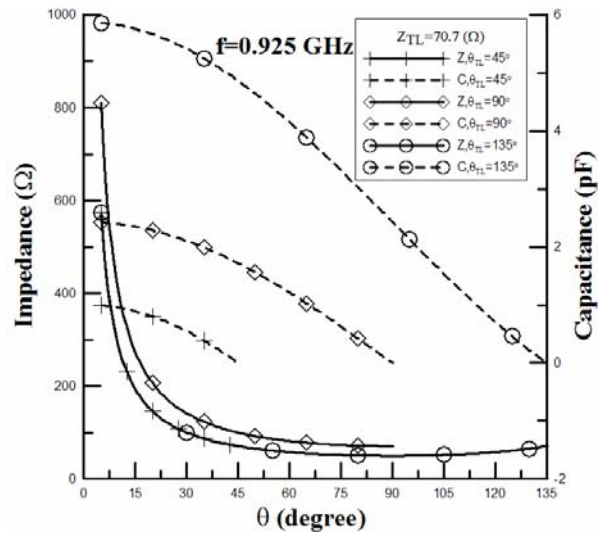


圖 2. (c) 設計曲線 ($Z_{TL}=70.7 \Omega$)

圖 3(a)為傳統枝幹耦合器，圖示中的傳輸線特性阻抗 Z_1 為 35.35Ω 和 Z_2 為 50Ω，電氣長度 θ_1 和 θ_2 為 90°。本文提出的混合式元件枝幹耦合器，如圖 3(b)所示，將傳統枝幹耦合器的傳輸線等效成 PI 型結構，圖示中的 Z_3 和 Z_4 為傳輸線特性阻抗， θ_3 和 θ_4 為電氣長度， C_1 和 C_2 分別為 Z_3 和 Z_4 因 PI 型結構等效所補償之電容，Port1 為輸入端，Port2 和 Port3 為輸出端，Port4 為隔離端。所有電容合併成一個電容 C_3 ，如圖 3(c)所示。

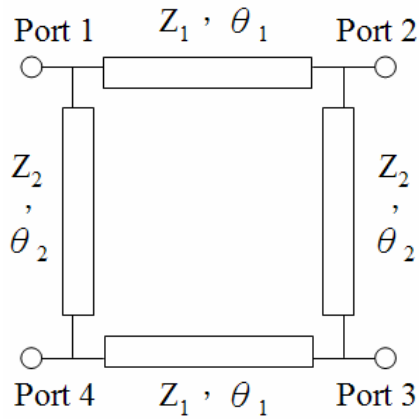


圖 3. (a) 傳統枝幹耦合器

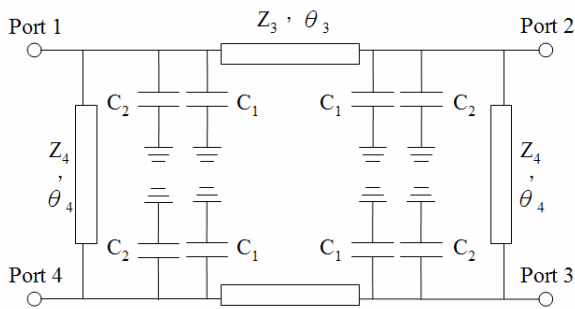


圖 3. (b) 混合式元件枝幹耦合器之電容合併前

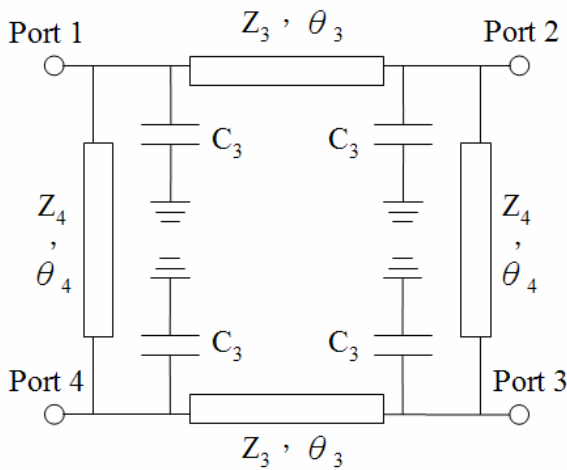


圖 3. (c) 混合式元件枝幹耦合器之電容合併後

3. 電路設計與量測

圖 4 為實體電路結構，中心頻率為 0.925GHz， $Z_3=98\Omega$ ， $Z_4=98\Omega$ ， $\theta_3=21.14^\circ$ ， $\theta_4=30.68^\circ$ ， $C_3=7.5\text{pF}$ ，輸入及輸出埠特性阻抗為 50Ω ，以電磁模擬軟體(IE3D)內建的 Line Gauge 計算出結構參數， $L_1=3\text{mm}$ 、 $L_2=2\text{mm}$ 、 $L_3=10.87\text{mm}$ 、 $L_4=0.76\text{mm}$ 、 $W_1=3.1\text{mm}$ 、 $W_2=14.84\text{mm}$ 、 $W_3=1.6\text{mm}$ 、 $C_3=7.5\text{pF}$ 。

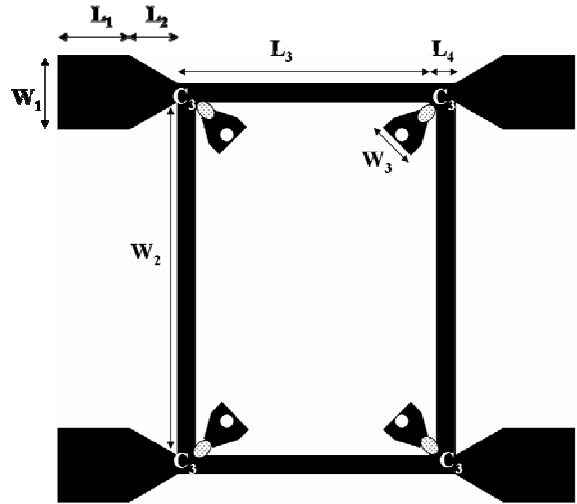


圖 4. 實體電路結構

($L_1=3\text{mm}$ 、 $L_2=2\text{mm}$ 、 $L_3=10.87\text{mm}$ 、 $L_4=0.76\text{mm}$ 、 $W_1=3.1\text{mm}$ 、 $W_2=14.84\text{mm}$ 、 $W_3=1.6\text{mm}$ 、 $C_3=7.5\text{pF}$)

圖 5 為實際電路圖，使用雙面 FR-4 基板製作，基板厚度為 1.6mm，相對介電常數為 4.3，電路尺寸為 $11.63\text{mm}\times 16.36\text{mm}$ ，而傳統枝幹耦合器的電路尺寸為 $47.59\text{mm}\times 53.3\text{mm}$ ，本文提出結構電路面積為傳統枝幹耦合器電路面積的 7.5%。

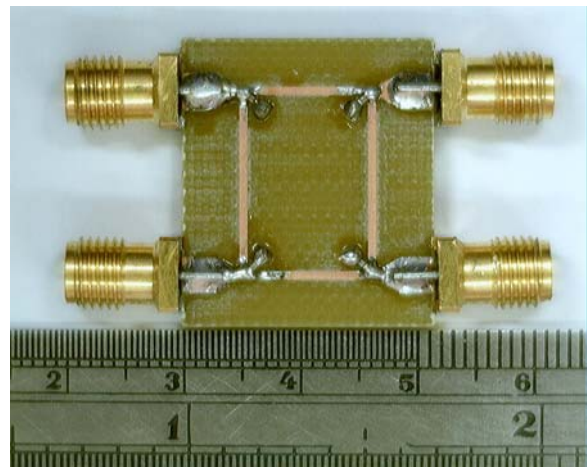


圖 5. 實際電路圖($11.63\text{mm}\times 16.36\text{mm}$)

圖 6 (a) 為模擬和實測的散射參數 $|S_{11}|$ 、 $|S_{21}|$ 、 $|S_{31}|$ 和 $|S_{41}|$ 頻率響應圖，虛線為 IE3D 模擬值，實線為實測值， $|S_{11}|$ 以 -10dB 為參考點其量測值之截止頻帶，範圍為 $0.82\sim 0.97\text{GHz}$ ， $|S_{41}|$ 以 -10dB 為參考點其量測值之截止頻帶，範圍為 $0.8\sim 1\text{GHz}$ ， $|S_{11}|$ 在中心頻率 0.925GHz 為 -11.46dB ， $|S_{41}|$ 在中心頻率 0.925GHz 為 -14.99dB ， $|S_{21}|$ 在中心頻率 0.925GHz 為 -2.88dB ， $|S_{31}|$ 在中心頻率 0.925GHz 為 -4.62dB ，由結果顯示模擬與實測結果相當一致。圖 6 (b) 為模擬和實測的 $\angle S_{21}$ 和 $\angle S_{31}$ 相位頻率響應圖，虛線為 IE3D 模擬值，實線為實測值， $\angle S_{21}$ 在中心頻率

0.925GHz 為 -143.83° ， $\angle S_{31}$ 在中心頻率 0.925GHz 為 -130.06° ，其相位差為 86.11° ，顯示模擬與實測結果相當一致。

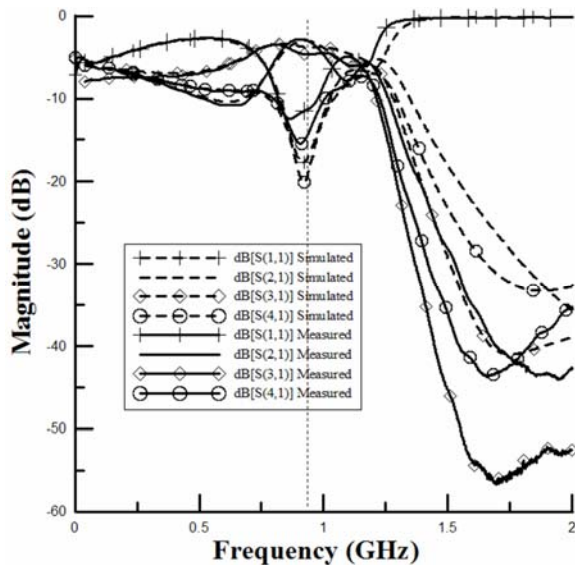


圖 6. (a) 混合式元件枝幹耦合器之散射參數實測與模擬結果(中心頻率：0.925GHz)

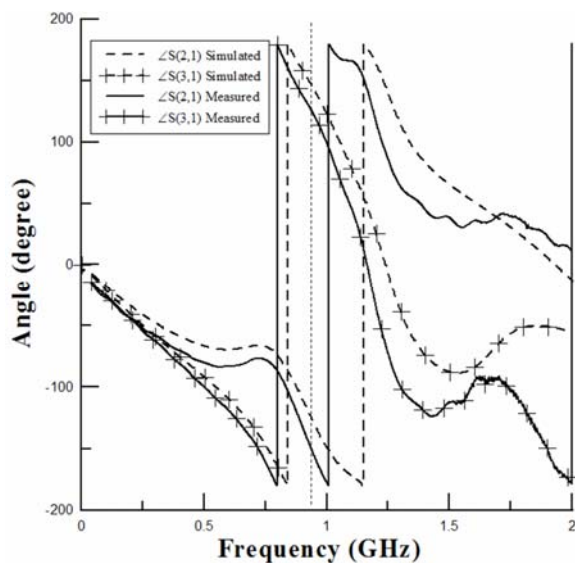


圖 6. (b) 混合式元件枝幹耦合器之相位實測與模擬結果(中心頻率：0.925GHz)

4. 結論

本文提出的混合式元件枝幹耦合器，將傳輸線部分等效成 PI 型結構，利用並聯電容方式等效為原傳輸線特性，達到縮小化之功能。電路分析以傳輸線等效 PI 型結構，求得傳輸線特性阻抗和電容值的設計公式，再將設計公式得出設計曲線，做為電路設計的依據。電路模擬以電磁模擬軟體

(IE3D)完成模擬，模擬與實際量測的頻率響應，具有良好的一致性。混合式元件枝幹耦合器電路面積有效地縮小並為傳統枝幹耦合器電路面積的 7.5%。

參考文獻

- [1] C.D.M. Cordeiro, S. Abhyankar, R. Toshiwal, D.P. Agrawal, "A novel architecture and coexistence method to provide global access to/from Bluetooth WPANs by IEEE 802.11 WLANs," *Performance, Computing, and Communications Conference, 2003. Conference Proceedings of the 2003 IEEE International*, pp. 23-30, April 2003.
- [2] Kejie Lu, Yi Qian, Hsiao-Hwa Chen, "WIRELESS BROADBAND ACCESS: WIMAX AND BEYOND - A Secure and Service-Oriented Network Control Framework for WiMAX Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 5, pp.124-130, May 2007.
- [3] R. Weinstein, "RFID: a technical overview and its application to the enterprise," *IT Professional*, vol. 7, no. 3, pp. 27-33, May / June 2005.
- [4] E.J. Wilkinson, "An N-Way Hybrid Power Divider," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 8, no. 1, pp. 116-118, January 1960.
- [5] J. Reed, G.J. Wheeler, "A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port Networks," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 4, no. 4, pp. 246-252, October 1956.
- [6] K. Nakada, T. Marumoto, R. Iwata, "180°/α° combined phase shifter," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 218-221, July 1999.
- [7] Kae-Oh Sun, Min Ki Choi, van der Werde, D., "A PIN diode controlled variable attenuator using a 0-dB branch-line coupler," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 6, pp. 440-442, June 2005.
- [8] Ming-Lin Chuang, "Miniaturized ring coupler of arbitrary reduced size," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 16-18, January 2005.
- [9] Shry-Sann Liao, Pou-Ton Sun, Nien-Chung Chin, Jen-Tee Peng, "A novel compact-size branch-line coupler," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 9, pp. 588-590, September 2005.
- [10] Kae-Oh Sun, Sung-Jin Ho, Chih-Chuan Yen, D. van der Weide, "A compact branch line coupler using discontinuous microstrip lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 519-520, August 2005.