

# 具可調式止帶之小型化微帶線超寬頻雙頻帶通濾波器

許承穎、莊惠如\*

國立成功大學電機資訊學院電腦與通信工程研究所

[k1006849@ms18.hinet.net](mailto:k1006849@ms18.hinet.net)

\* [chuang\\_hr@ee.ncku.edu.tw](mailto:chuang_hr@ee.ncku.edu.tw)

*Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 23, no. 5-6, pp. 617-626, 2009.

## Abstract

本文採用一新式耦合型開路短枝結合多模諧振器來設計具有止帶特性的超寬頻濾波器，透過奇偶模的分析可以得到耦合開路短枝傳輸線的奇偶模態等校電路，並且可以利用兩開路短枝的互容值來調整所需止帶的頻寬。在本文中我們設計出一個具有5-6 GHz止帶特性的超寬頻帶通濾波器。第一個通帶的通帶範圍為2.8 GHz 到 5 GHz，量測之插入損失約為0.8 dB，返回損失小於-15 dB。第二個通帶的通帶範圍從6 GHz至10.6 GHz，量測之插入損失約為1.5 dB，返回損失小於-15 dB。止帶的中心頻率設計在5.6 GHz，最高衰減量達52 dB。本文提出的濾波器可用於超寬頻的通訊系統中以濾除系統中頻譜內的干擾信號，提升通訊系統的效能。

## 1. 簡介

超寬頻無線通訊技術（如IEEE 802.15.3a）具有良好的可擴充性、低成本、低功耗特性、高速數據傳輸能力等特性，適合於室內多媒體分佈應用、手持無線數據傳輸應用和定位系統等。因此如何設計具有超寬頻特性的濾波器和天線是一個值得被探討和研究的課題。在近年中，許多種平面式超寬頻帶通濾波器相繼被提出<sup>[1]-[10]</sup>，但大多數的文獻中的設計都是強調濾波器的頻寬大小、傳輸零點的多寡、或是縮小化能力。然而，在3-10 GHz的頻譜中，有部份的頻帶例如無線網路通訊協定IEEE 802.11a也同時操作在5 GHz的頻帶中，這可能會對該通訊系統造成額外的信號干擾，因此本文提出一個具有5 GHz 止帶特性的超寬頻帶通濾波器，使用了兩對耦合式步階阻抗開路短枝加上多模諧振器，其止帶的衰減特性和頻寬是可以透過機制調整，且不需要任何鑽孔或是破壞接地的金屬，是一個簡單且完全平面化的設計。



## 2. 設計方法

本文提出的耦合式開路短枝的等校電路如圖1所示，為了分析該電路的特性，首先由具有負載的傳輸線的輸入阻抗公式我們得知一個四分之一波長的開路短枝可以等效為一LC串聯諧振電路，其輸入阻抗為

$$Z_{in} = -jZ_{0n} \cot \theta_n \quad (1)$$

其中  $\theta_n = \pi/2$  而  $Z_{0n}$  是該傳輸線的特性阻抗。透過兩段式步階阻抗的設計，則可以縮短該開路短枝的長度，其中特性阻抗較低的線段可以近似為LC串聯電路中的電容性元件C；在特性阻抗較高的線段則可以近似為LC串聯電路中的電感性元件L，如圖2所示，其中兩段式步階阻抗的特性阻抗和電子長度分別定義為 $Z_1$ 、 $Z_2$ 及 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 。在文獻<sup>[17]</sup>中該兩段式步階阻抗中  $\theta_1$  和總長度 $\theta_T$  的關係可以被分析得知，首先兩段線段的特性阻抗比值定義為， $k$

$$k=Z_2/Z_1=\tan\theta_1\tan\theta_2 \quad (2)$$

總長度 $\theta_T$ 則可以堆得

$$\theta_T=\theta_1+\theta_2=\theta_1+\tan^{-1}(k/\tan\theta_1) \quad (3)$$

接著考慮兩個開路短枝分別接於一段傳輸線的兩端，則可以將兩條開路短枝電路替代成兩組LC串聯對地諧振電路，如圖1所示，其中單一個開路短枝的共振角頻率為 $(LC)^{-1/2}$ ，而當兩組串聯諧振電路距離靠的夠近的時候，則會發生耦合作用，而耦合的現象又可以分為電容性耦合或稱電場耦合和電感性耦合又稱磁場耦合，本例以電容性耦合進行分析，其中 $C_m$ 表示為兩LC串聯諧振的互容值，接著進行奇偶模的分析，在奇模的條件下，其對稱面為電牆亦代表著該對稱面為短路面，所以LC串聯諧振的共振角頻率可以表示成 $1/2\pi\sqrt{L(C+C_m)}$ ，我們可以發現在奇模的條件下其共振頻率是比尚未耦合前來得低；相同地，接著進行偶模的分析，其對稱面置入一磁牆亦代表著該對稱面為開路面，其共振角頻率為 $1/2\pi\sqrt{L(C-C_m)}$ ，在此條件下具有比尚未耦合前更高的共振頻率，因此，在兩個LC串聯諧振電路相互耦合的時候，就會使得原本單一共振頻率分裂成兩個共振頻率，隨著耦合的強弱不同，互容值 $C_m$ 也會呈現不同的大小，因此就可以利用耦合特性來控制該止帶的頻寬。

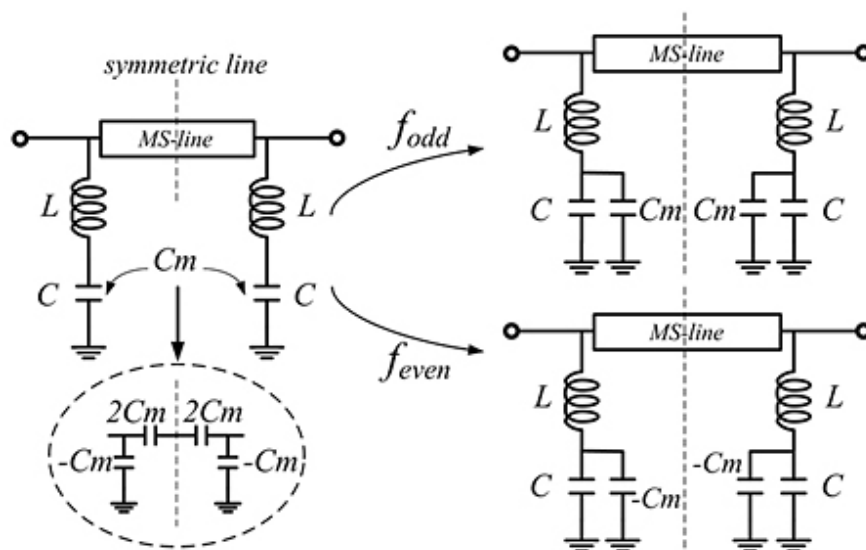


圖1 耦合式開路短枝的等效電路圖

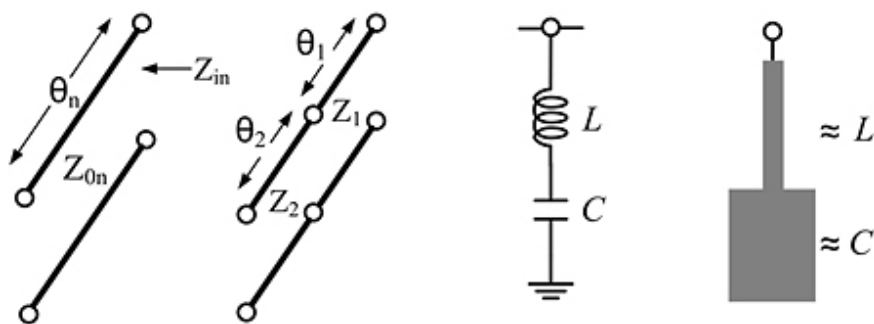


圖2 步階阻抗開路短枝的等效電路示意圖

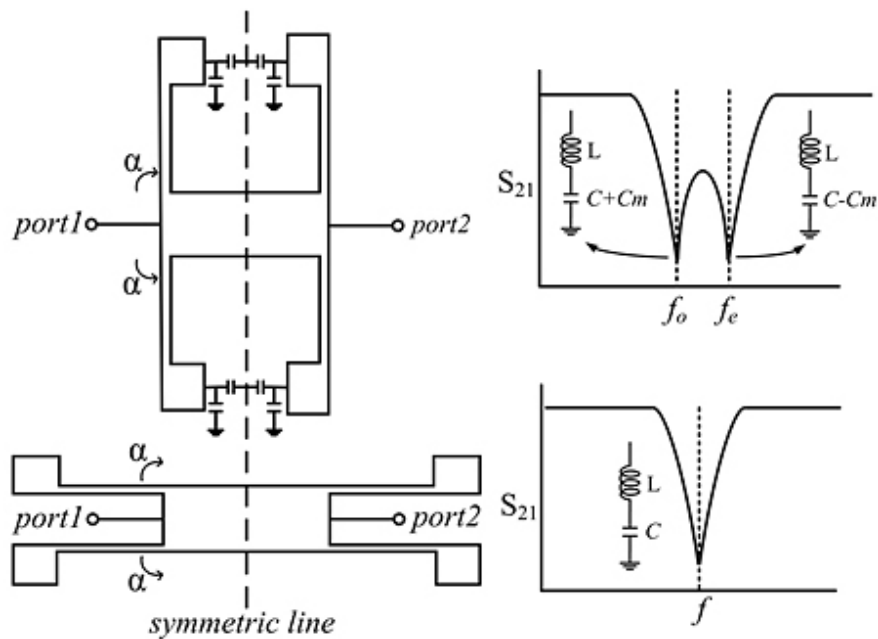


圖3 兩種不同耦合型開路短枝排列方式的示意圖和頻率響應

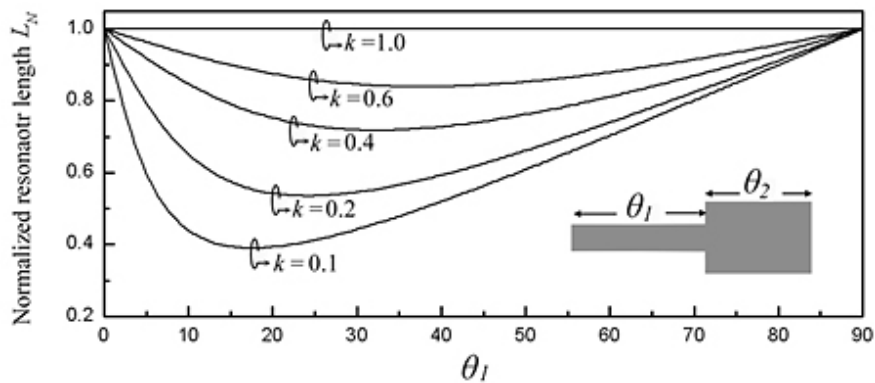


圖4 兩段式步階阻抗開路短枝的共振條件

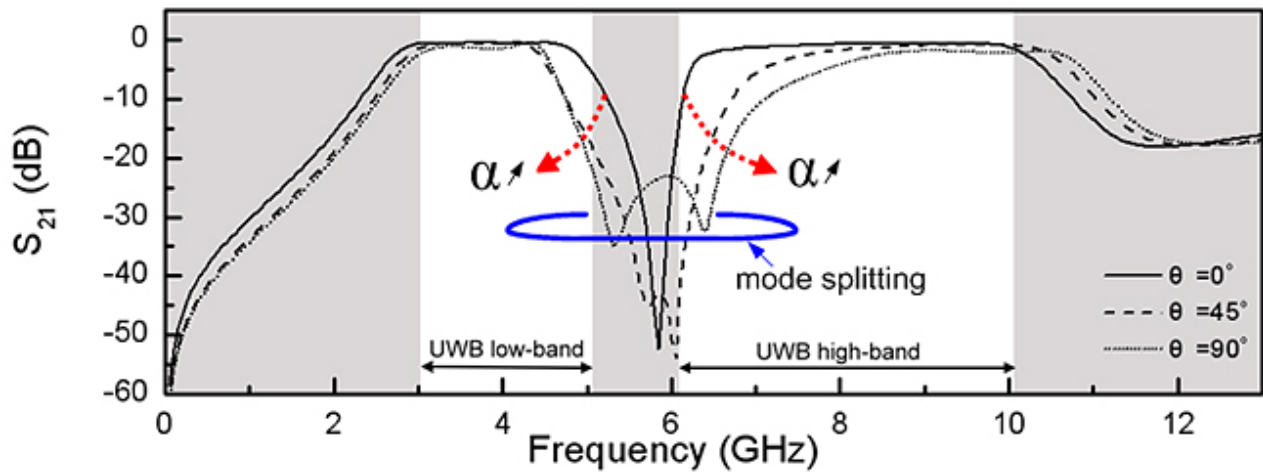


圖5 使用不同角度的開路短枝之頻率響應模擬圖

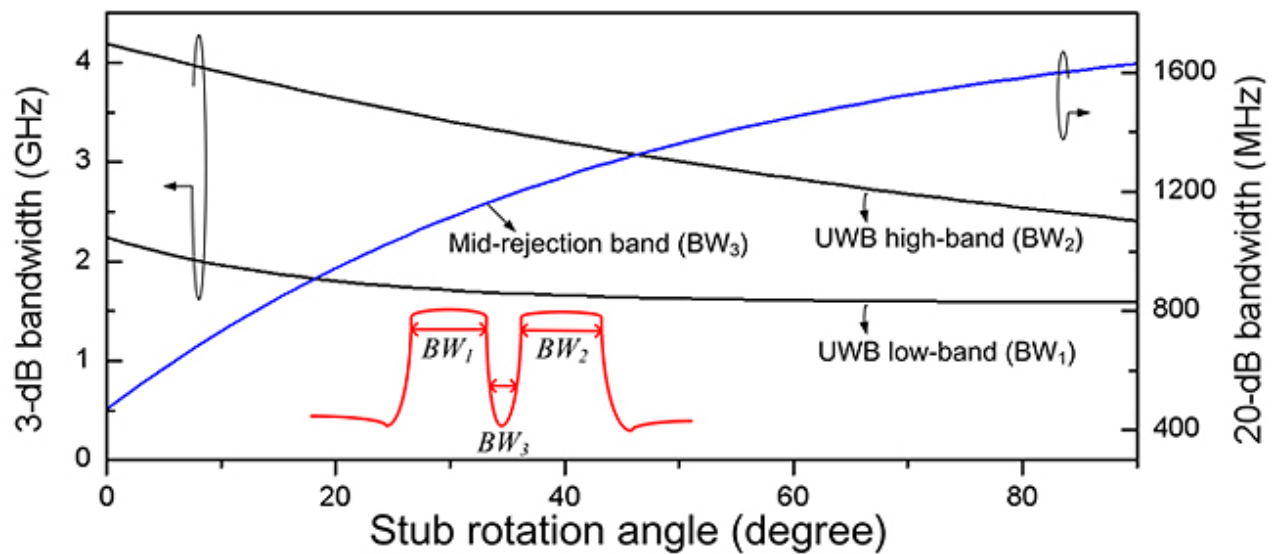


圖6 開路短枝的角度對止帶頻寬的影響曲線

### 3. 具有5-6 GHz止帶特性的3-10 GHz超寬頻帶通濾波器設計

本文利用一個多模諧振器搭配四個開路短枝來設計一超寬頻雙頻帶通濾波器，其開路短枝的止帶中心頻率設計在5 GHz，讓該頻段的信號因為阻抗的不匹配造成能量反射並於止帶中心頻率的兩側分別產生一個超寬頻頻寬的通帶，藉以完成超寬頻雙頻帶通濾波器的設計。在本文中，分析了兩種不同排列方式的耦合式開路短枝，如圖3所示，第一種為垂直式的開路短枝，其開路短枝線段與中間的傳輸線段互相垂直；第二種為平行式開路短枝，其開路短枝線段與中間的傳輸線段是平行的。再圖3中可以清楚看到使用平行式步階阻抗開路短枝形式的方式只有產生一個共振頻率 $f_0$ ，這代表在這種排列方式的條件下開路短枝之間並沒有耦合的情況發生。而在垂直式開路短枝的排列方式條件下，可以觀察到原本單一的共振頻率已經明顯分裂成兩個共振頻率 $f_e$ 和 $f_o$ ，這意味著上下兩組開路短枝具有相互耦合的效應。

由前一節的敘述可以得知，當兩LC串聯電路的互容值愈高的時候，奇模和偶模的共振頻率就會分離愈遠，因此本文分析了不同角度對兩分裂模態的頻率響應做分析，圖4是兩段式步階阻抗共振器的共振條件，在本設計中，阻抗比 $k$ 選用0.55，而共振頻率設計於5.6 GHz。圖5為開路短枝之角度 $\alpha = 0^\circ$ 、 $45^\circ$ 和 $90^\circ$ 條件下的頻率響應模擬。隨著角度的增加，兩開路短枝的耦合距離也隨之增加導致兩個模態也分離愈遠，而止帶的頻寬就愈寬。圖6為開路短枝角度對兩個通帶頻寬和止帶的影響曲線。本文最後以角度為 $0^\circ$ 的例子實作，圖7為所設計的超寬頻濾波器，採用微帶線架構，相關的參數列於圖7下方，為了提升阻抗匹配的頻寬，輸出出入級採用三條指叉式的方法，文獻<sup>[18]</sup>也指出該方法比起傳統兩條式的耦合線具有更高的阻抗匹配頻寬。

#### 1. 模擬與量測結果

本濾波器實作於 RT/Duroid 5880 板材上，介電層厚度為125 mil，介電常數 $\epsilon_r$ 為2.2。模擬與量測結果如圖8所示。該濾波器具有兩個傳輸通帶，第一個通帶範圍從2.8 GHz 到5 GHz，通帶插入損失約為0.8 dB，返回損失皆優於-12 dB。第二個通帶範圍從6.3 GHz到10.6 GHz，通帶插入損失約為1.8 dB，返回損失皆優於-15 dB。置入了四個開路短枝後，止帶的範圍介於 5.8 GHz 到 6.05 GHz之間，其最高衰減量為52 dB。在寬頻的通訊系統中，群延遲的表現也是相當重要，量測與模擬的群延遲如圖 9所示，在通帶內的表現內均小於0.4 ns。

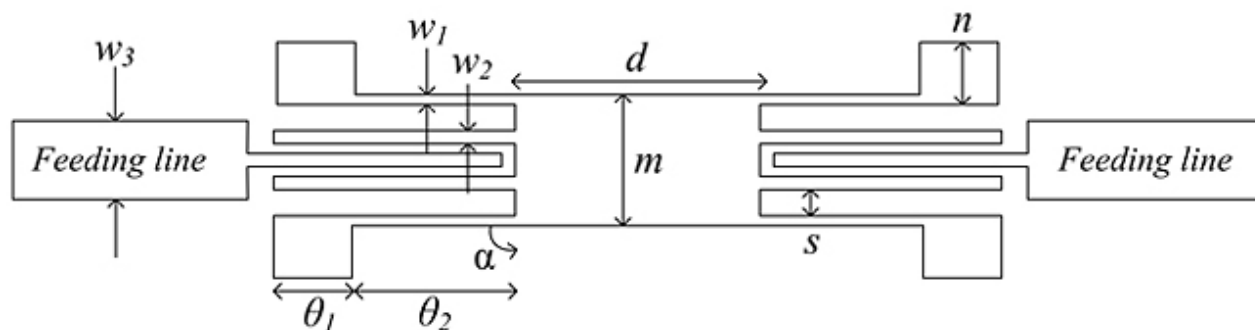


圖7 本文提出的超寬頻雙頻帶通濾波器結構示意圖。(  $l = 8$  mm,  $m = 3.2$  mm,  $n = 1.7$  mm,  $w_1 = 0.3$  mm,  $w_2 = 0.3$  mm,  $w_3 = 3.9$  mm, and  $d = 6.7$  mm.)

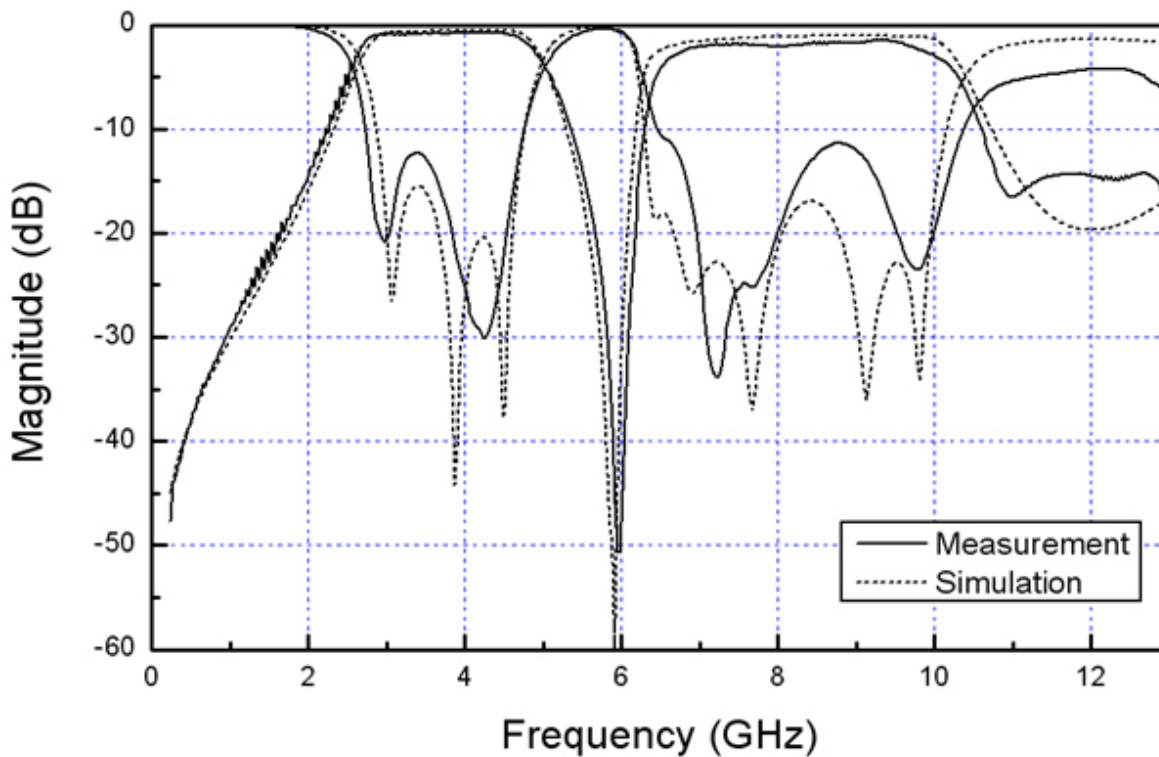


圖8 本文實作的濾波器之模擬與量測結果

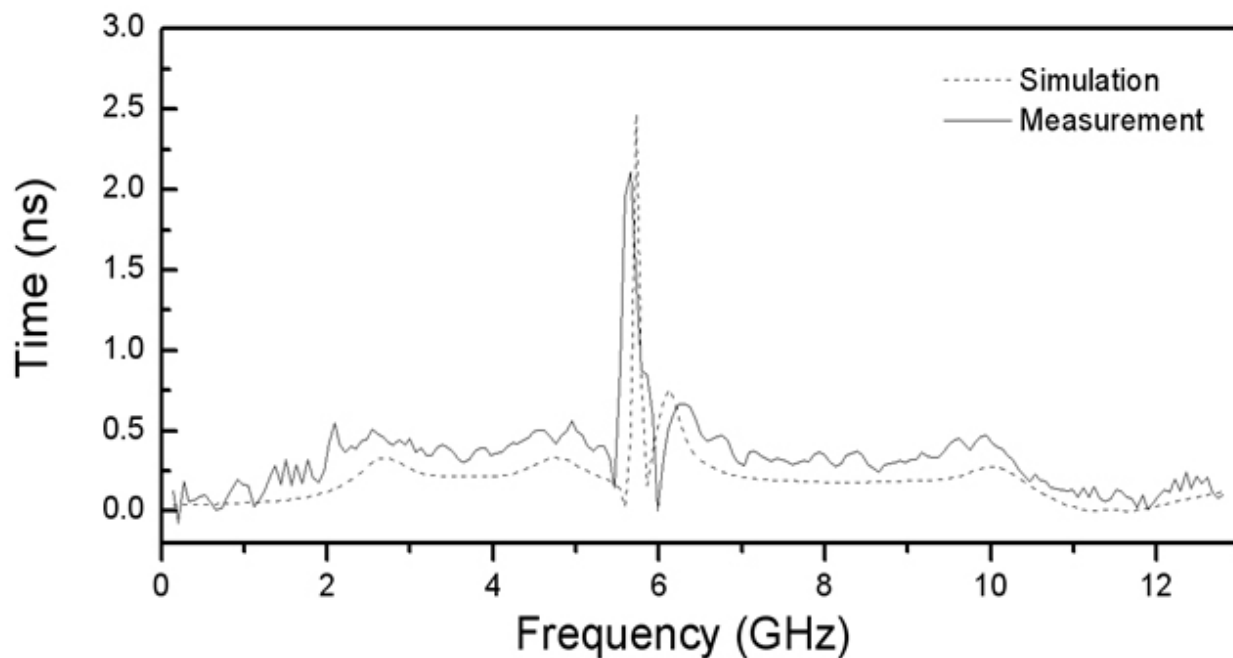


圖9 群延遲量測與模擬結果

## 2. 結論

本文成功地利用多模諧振器搭配簡單的步階式開路短枝來實現超寬頻雙頻帶通濾波器，並透過奇偶模的分析，找出控制止帶頻寬的機制，且在置入四個開路短枝後並不會影響本來多模共振器的特性，且架構相當簡單，最後本文將止帶頻寬最小的例子進行實作驗證，其模擬與量測的響應相當接近，具有很高的一致性。該濾波器可以被整合於超寬頻的通訊系統當中，以提升系統的效能。

## REFERENCES

1. H. Wang, L. Zhu, and W. Menzel, "Ultra-Wideband bandpass filter with hybrid microstrip/CPW structure," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 12, pp. 844-846, Dec. 2005.
2. L. Zhu, S. Sun, and W. Menzel, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters using multiple-mode resonator," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 796-798, Nov. 2005.
3. S. Sun and L. Zhu, "Capacitive-ended interdigital coupled lines for UWB bandpass filters with improved out-of-band performances," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 8, pp. 440-442, Aug. 2006.
4. P. K. Singh, S. B. and Y. H. Wang, "Planar ultra-wideband bandpass filter using edge coupled microstrip lines and stepped impedance open stub," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 649-651, Sep. 2007.
5. H. Chen and Y. Zhang, "A Novel and Compact UWB bandpass filter using microstrip Fork-Form resonators," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 77, 273-280, 2007.
6. M. S. Razalli, A. Ismail, M. A. Mahdi, and M. N. Hamidon, "Novel compact microstrip ultra-wideband filter utilizing short-circuited stubs with less vias," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 88, 91-104, 2008.
7. J. An, G.-M. Wang, W.-D. Zeng, and L.-X. Ma, "UWB filter using defected ground structure of von Koch fractal shape slot," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 6, 61-66, 2009.
8. M. Naghshvarian-Jahromi and M. Tayarani, "Miniature planar uwb bandpass filters with circular slots in ground," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 3, 87-93, 2008.
9. M. Shobeyri and M. H. Vadjed-Samiei, "Compact Ultra-Wideband bandpass filter with defected ground structure," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 4, 25-31, 2008.

10. Gao, J., W. Menzel, and F. Begelsack, "Short-circuited CPW multiple-mode resonator for ultra-wideband (UWB) bandpass filter," *Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 16, No. 3, 104–106, March 2006.
11. W. Menzel and P. Feil, "Ultra-Wideband (UWB) filter with WLAN notch," in *Proceedings of the 36th European Microwave Conference*, pp. 595-598, Manchester, UK, Aug. 2006.
12. G.-M. Yang, R. Jin, C. Vittoria, V.-G Harris and N.-X. Sun, "Small Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter With Notched Band," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , vol.18, no.3, pp.176-178, Mar. 2008
13. H. Shaman and J.-S. Hong, "Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter With Embedded Band Notch Structures," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , vol.17, no.3, pp.193-195, Mar. 2007
14. K. Li, D. Kurita and T. Matsui, "UWB bandpass filters with multi notched bands," *Microwave Conference, 2006. 36th European* , vol., no., pp.591-594, Sep. 2006
15. Y. H. Jang, H. Park, S. W. Jung, and J. H. Choi, " A Compact band-selective filter and antenna for UWB application," *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Beijing, China. 1263-1266, Mar. 2007.
16. F. Wei, L. Chen, X.-W. Shi, X. H. Wang, and Q. Huang, "Compact UWB bandpass filter with notched band," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 4. 121-128, 2008.
17. M. Makimoto and S. Yamashita, "Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators," *IEEE Trans Microw. Theory Tech.*, vol. 28, no. 12, pp. 1413–1417, Dec. 1980.
18. V. K. Tripathi, Y. K. Chin, H. S. Chang and N. Orhanovic, "Coupled line multiports," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp.1021 –1024, May. 1992.
19. J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microstrip Applications," New York, Wiley. 2001.
20. M. Makimoto and S. Yamashita, "Microwave resonators and filters for wireless communication- Theory, design and application," Berlin, Germany, Springer, 2001.

*Copyright 2010 National Cheng Kung University*