

雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器

林柏蒼^{*a}、陳建宏^b、林宏安^a、林憶芳^a

國立高雄應用科技大學 光電與通訊工程研究所^a

空軍軍官學校 航空電子工程學系^b

摘要—本次設計採用 FR4 玻璃纖維基板，設計於 LTE (Long Term Evolution) 通訊協定 2305 - 2400 MHz 頻段，本次帶通濾波器提出一種新穎的雙層結構，藉由雙層斜對角饋入方式耦合，控制其頻率響應的表現，有效地降低雜訊量的大小，使各系統及元件間的傳輸雜訊降到最低。並採用斜對角饋入 C 型共振器，藉由電容性耦合共振器結構，可以控制濾波器高、低頻傳輸零點，達到所需頻段帶通濾波的效果，以及增加頻帶選擇性。

一、簡介

近年來隨著無線通訊蓬勃的發展，對於傳遞的資料量大幅增加，另外根據使用者的不同其無線的資訊服務也不同，為了滿足所有使用者的需求，其整合在系統中的濾波器頻寬與頻帶數量也跟著的增加。而在無線通訊產品中，射頻濾波器是一個重要的關鍵性被動元件，其用於篩選訊號予以通過而對非必要訊號予以阻隔，使系統正常運作。

無論是濾波器還是其它電路元件，不外乎要求體積範圍，達到輕薄短小的功能，因此如何在有限的空間中，實現濾波需求的功能，都將是微波電路重要考量之一。

在參考文獻中[1-2]，天線雙饋入耦合於雙層結構，跟濾波器有些類似，天線考慮因素為頻寬與插入損失大而濾波器剛好相反，濾波器主要是注重插入損失要越小，這樣才能使訊號通過把雜訊抑制掉，透過天線的耦合饋入方式，可在有限的空間中實現出濾波器需求，下面加以分析與探討。

在一些參考文獻中[3-4]，天線雙饋入耦合於雙層結構中，跟濾波器有些類似，天線考慮因素為頻寬與插入損失大而濾波器剛好相反，濾波器主要是注重插入損失要越小，這樣才能使訊號通過把雜訊抑制掉，透過天線的耦合饋入方式，可以在有限的空間中實現出濾波器需求的功能，來加以分析與探討。

在本實驗，以低成本 FR4 板，用簡單的平面(Patch)形式，在空氣層內對輸入與輸出埠位置改變，經由三種饋入耦合位置探討，深入研究最佳饋入耦合位置，是以斜對角方式設計具有濾波器的效果。最後利用 Patch 形式，對結構加以變化，達成一個可涵蓋 LTE 通訊系統定義的 2305 - 2400 MHz 頻段帶通濾波器的效果

二、設計原理

本次設計為懸浮式微帶線[5-8]的結構，此結構可提

供較高品質因素(Q factor)，由圖一懸浮式微帶線結構圖上可以看出金屬訊號線的下方是無損耗之空氣。經由有效介電常數公式(1)，可得知介電常數為 2.99

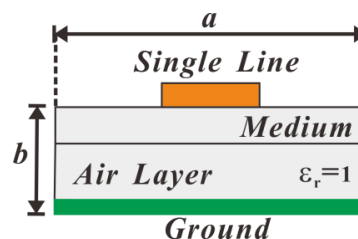
$$\sqrt{\epsilon_{eff}} = \left[1 + \frac{a}{b} \left(a_1 - b_1 \ln \frac{w}{b} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

微帶線結構的共振器，大致可分為開路端共振器(open-end resonator)、分支共振器(stub resonator)以及環形共振器(ring resonator)。在本實驗中，使用開路端共振器來做設計[9-12]，一個共振器的形成，必須是一個在金屬邊緣處，具有電牆或是磁牆的特性，藉由這些效應，使共振器在電場與磁場的交換中來儲存能量。

在兩端開路共振器之最大電壓值坐落在開路端，因此共振效應發生在長度 L 為 $0.5\lambda_g$ 的整數倍，其中 $\lambda_g = c/f\sqrt{\epsilon_{eff}}$ 為導波長，因此長度 L 與共振時之波導波長 λ_g 關係為：

$$l = n \left(\frac{1}{2} \lambda_g \right), n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

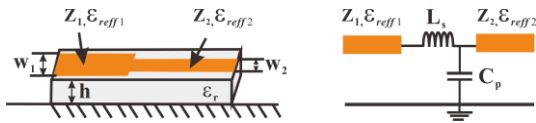
上述公式其中心頻率，由長度 l 所決定，藉由調整兩個開路端共振器之間距，來調整頻寬，以形成帶通濾波器。本結構為類步階式阻抗微帶線，微帶線的導體線寬不連續現象，代表從低阻抗到高阻抗，其特性為可以將第一個混附波，響應推至二倍頻率之後，但基板的介電常數 ϵ_r 與厚度 h 沒有任何的改變。由於導體線寬變化，使電流密度隨著微帶線寬度變化，導致電場出現不連續效應，並在導體線邊緣產生的漏電磁場。



圖一：懸浮式微帶線結構圖

此次設計採用類步階式阻抗微帶線，圖二所示為類步階式阻抗微帶線的結構與其等效電路。微帶線的導體線寬不連續現象係指導體線的寬度從 W_1 變至 W_2 ，就代表說從低阻抗到高阻抗，但基板的介電常數 ϵ_r 與厚度 h 沒有任何的改變。由於導體線寬從 W_1 變至 W_2 時，不連

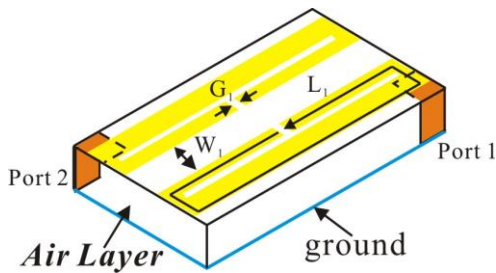
續介面上電流密度的變化，導致電場出現不連續效應，並在導體線邊緣產生的漏電磁場。在圖二中，電流密度的改變及產生一等效電感 L_s ，以及電場的不連續產生一等效並聯電容 C_p 。



圖二：類步階式阻抗微帶線 (a)結構 (b)等效電路

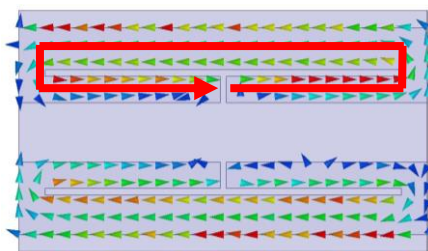
三、濾波器模擬與實作

如圖三為本次設計雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器結構圖，分為上下兩層，下層主要是接地面而中間介質為空氣層，採用斜對角輸入與輸出埠耦合到共振器，整體尺寸長度 (L) 31 mm 寬度 (W) 18.3 mm 厚度 (H) 5 mm。濾波器使用 FR4 作為基板介質，基板厚度為 0.4 mm，介電常數 ϵ_r 為 4.4，損耗正切為 0.02，設計之濾波器其頻率為 LTE 頻段 (2305~2400 MHz)。



圖三：雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器結構圖

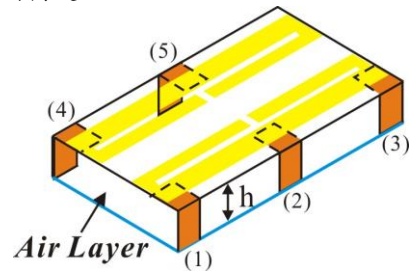
如圖四為本文濾波器表面電流圖，由斜對角饋入耦合到共振器，共振路徑為懸浮式微帶線與電容耦合段由紅色箭頭所標示，根據圖示可輕易發現在開路末端電壓值為最大，但電流最小，總共振路徑為 70.3 mm 為共振頻率 2.4 GHz 之 $0.56 \lambda_0$ 。



圖四：雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器電流圖

首先用一個簡單共振器形式設計，來探討濾波器結構的擺放不同的位置作探討，從研究中找到最佳饋入點，設計成帶通濾波器，對於耦合饋入位置，輸入與輸出埠的不同是否有濾波器特性，我們可以看到圖五，分為三種不同輸入與輸出結構，分為擺放中心處、擺放為同邊

處與擺放斜對角處。

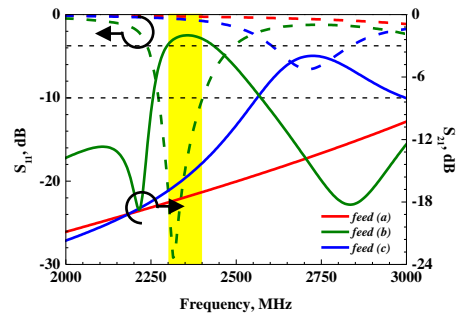


圖五：饋入位置擺放探討之結構圖

表 I

feed	Port 1	Port 2
feed (a)	(2)	(5)
feed (b)	(1)	(4)
feed (c)	(3)	(4)

可以從參數圖六可以得知，在 S 參數圖中，可明顯發現在上述結構中阻抗匹配最好的是斜對角饋入結構，且在插入損失圖中，也可明顯發現在斜角對稱饋入結構中，訊號在通過濾波器時，造成的插入損失較小，帶通濾波器插入損失通常以 3 dB 作為一個濾波器的基準，損失過大將是不良的設計，而本結構優點在於通帶的兩側產生一對傳輸零點。



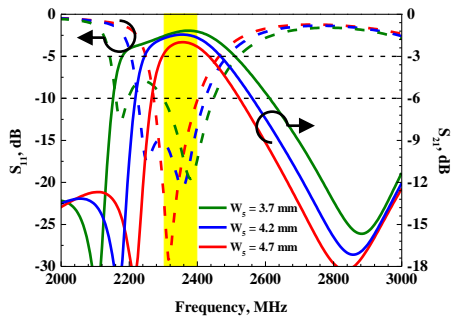
圖六：雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器之 S 參數圖

如圖七為探討共振器耦合間距參數 W_5 ，可以發現在兩共振器的距離越近，其電磁場的耦合效應便會越強，圖七可以發現反射損失在寬度越小頻率下降使模態分離導致頻寬減少，相反的插入損失影響不大。

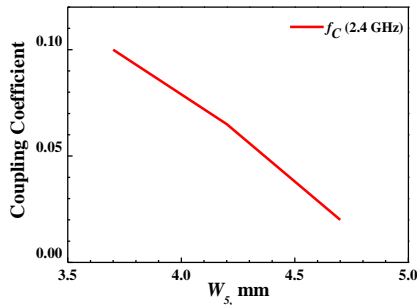
本次結構屬於一個電容性耦合共振器，對此結構作耦合係數分析，其耦合係數定義為：

$$k = \frac{f_{p2}^2 - f_{p1}^2}{f_{p2}^2 + f_{p1}^2} \quad (3)$$

其中， f_{p1} 與 f_{p2} 分別為在較低頻模態及較高頻模態所對應的頻率，如圖八內部耦合係數分析，當 W_5 從 3.7 mm 到 4.2 mm 逐漸增加，可看出耦合係數 K 從 0.1 mm 到 0.02 mm 逐漸降低，表示耦合量隨 W_5 增大而減少，當兩個分離模態合併後，其 K 值趨近為 0。

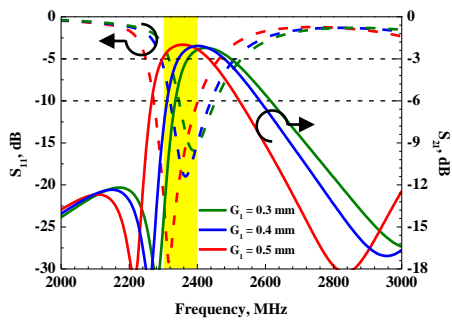


圖七：參數 W_5 之 S 參數圖



圖八：參數 W_5 之耦合係數圖

圖九為探討共振器耦合間距參數 G_1 ，圖九從反射損失圖與插入損失圖看到，間距的變化量從 0.3 mm 到 0.5 mm，中心頻率從 2300 MHz 往 2500 MHz 高頻偏移，主要在開路端共振器有最大電壓值在開路端，其中心頻率由長度 L 所決定，當 L 增加使共振路徑變長，而中心頻率會往低頻偏移，反之減少，而中心頻率會往高頻偏移，藉由調整開路端共振器之間的耦合量來調整頻寬，而插入損失對傳輸零點影響劇烈，可明顯發現在通帶的右側間距從 0.3 mm 到 0.5 mm，傳輸零點頻率從 2800 MHz 到 3000 MHz，影響程度約為 200 MHz 左右。

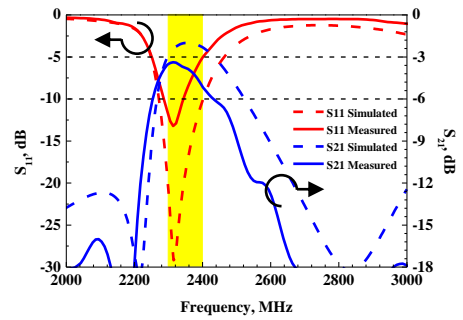


圖九：參數 G_1 反射損失與插入損失圖

如圖十為單頻 2360 MHz 帶通濾波器模擬與實測反射損失與插入損失比較圖，HFSS 模擬與實測結果非常相近，實作除了中心頻率，往低頻偏移及低頻傳輸零點的誤差外，因為在空氣層中能量損失較大，導致匹配與模擬誤差，其它部分與模擬非常相似，由表 II 可得知實

作整體頻寬比約 8.5%，與模擬相差 4%，有涵蓋到所需頻段 2305 – 2400 MHz。

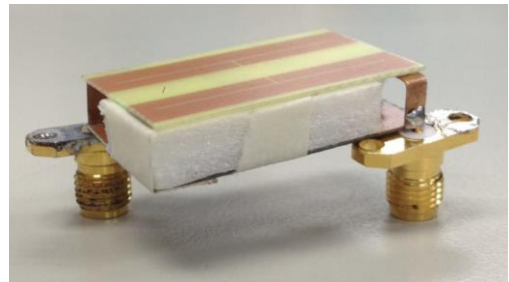
圖十一為本次設計之雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器，實作的實體圖。



圖十：模擬與實測之 S 參數圖

表 II
本文濾波器 2.35 GHz 模擬與實測比較

LTE 2305 MHz	f_c (MHz)	f_1 - f_2 (MHz)	BW (MHz, %)
Measured	2350	2210~2410	200, 8.5%
Simulated	2350	2210~2510	300, 12.7%



圖十一：雙層斜對稱饋入 C 型共振器之帶通濾波器實體圖

結論

本設計採用雙層結構方式，藉由雙層饋入方式，以斜對角雙饋入耦合，中間使用空氣作為夾層，利用空氣作為介質使整體頻寬變寬，且設計比以往文獻的整體體積相比達到縮小化，實測頻寬為 2210 - 2410 MHz，涵蓋到 LTE 通訊協定規範頻段，利用斜對角饋入可以使通帶兩側產生一對傳輸零點的特性，以開路端共振器之調整耦合係數，使模態分離達到所需的頻段，亦可控制傳輸零點，將可利用這樣的設計方式與微波電路作結合，在有限的空間中實現出濾波需求的功能。

致謝

本計畫承蒙國科會計畫編號: NSC 102-2218-E-013-001 支持，特此感謝。

参考文献

- [1] J. Deng, Y. Yin, L. Guo, and F. Gao "Double tuned patch antenna design for bandwidth enhancement," *IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE)*, pp.225-226, May 2011.
- [2] J.Y. Deng, L.X. Guo, Y.Z. Yin, J. Qiu, and Z. S. Wu "Broadband patch antennas fed by novel tuned loop," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, April 2013.
- [3] C. F. Chen, T. M. Shen, T. Y. Huang and R. B. Wu, "Design of compact quadplexer based on the tri-mode net-type resonators," *IEEE, Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 21, no. 10, October 2011.
- [4] J. Deng, Y. Yin, L. Guo, and F. Gao "Double tuned patch antenna design for bandwidth enhancement," *IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE)*, pp.225-226, May 2011.
- [5] P. Mondal, Y. L. Guan "A coplanar stripline ultra-wideband bandpass filter with notch band," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 20, no. 1, January 2010.
- [6] R. Ruf, W. Menzel, "A novel compact suspended stripline resonator," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 22, no. 9, September 2012.
- [7] A. Contreras, M. Ribó, L. Pradell, P. Blondy, "Uniplanar bandpass filters based on multimodal imittance inverters and end-coupled slotline resonators," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 1, January 2013.
- [8] N. Sekiya, H. Matsuura, M. Akiya, Y. Tanaka, and S. Ohshima, "Novel HTS double-strip resonator for high power application," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 23, no. 3, June 2013.
- [9] H. Chen, Z. Q. Zhao, H. S. Zhong and Y. X. Zhang, "A compact narrow bandpass filter using meandered lines shunted with microstrip open-ended stepped impedance resonators," *2010 International Conference on Communications Circuits and Systems*, pp.28-30, July 2010.
- [10] T. Jiang, X. C. Zhang, T. Liu, "New dual-band open-loop resonator bandpass filters with controllable bandwidths and transmission zeros," *2012 International Conference on Computational Problem-Solving*, pp.19-21, October 2012.
- [11] Y. Mu, Z. Ma, D. Xu, "Multilayered stripline interdigital-hairpin bandpass filters with small-size and improved stopband characteristics," *Asia-Pacific Conference Proceedings Microwave Conference Proceedings*, pp.4-7, December 2005.
- [12] C. Y. Chang, C. C. Chen, "A novel coupling structure suitable for cross-coupled filters with folded quarter-wave resonators," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, vol. 13, No. 12, pp. 517-519, Dec. 2003.