

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫二：多頻道、多標準、低成本共生式濾波器之設計與 發展(1)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2219-E-002-027-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：莊晴光

計畫參與人員：吳憲順、蔣孟儒

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 8 月 24 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多頻道多標準無線通訊系統關鍵射頻技術之研發(I)

子計畫二：

多頻道、多標準、低成本共生式濾波器之設計與發展(I)

計畫編號：NSC 93-2219-E-009-028

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：莊晴光教授 國立台灣大學電信工程學研究所

計畫參與人員：吳憲順 國立交通大學電信工程學系

蔣孟儒 國立台灣大學電信工程學研究所

一、中文摘要

無線通信的蓬勃發展，已成功地改變無線電工業成消費性電子產業。然通信品質的提昇確是射頻電子電路更形複雜的主因。目前有一趨勢即利用所謂 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 突破 Shannon 理論的通信模式；另一趨勢則是多重模式(或 standard)在多頻道的環境下進行無線通信服務。

本子計畫提出系統化方式來設計簡潔又低成本之多層介質波導濾波器，同時滿足 MIMO 或多重模式的無線通信系統。本案分三年計畫執行。子計畫 II 於第一年提出一種以微帶線於能階止帶接地上實現之頻率選擇式共振器(Frequency selective resonator)；它可大幅地降低多工式濾波器之設計複雜度，而不須靠單純地增加多工濾波器來滿足系統的需要。

第一年著重上述可選擇式的共振器之理論設計與實驗建立，以強化其可行性。第二年著重不同之多頻帶濾波器系統設計，盼能找出更成熟之濾波器架構。藉由頻率選擇式共振器之設計已解決傳統 MIMO system 需要多個濾波器之要求。然觀察多模通訊系統之演進，系統為求在不同模式工作下能有相同通信品質，因此系統元件設計時仍偏向元件單模單頻化。故子計畫 II 於第三年著重在以系統化設計多層微小射頻濾波器，同時定義多模無線射頻前端模組(Front-end module, FEM)之概念與所需之波導系統。

關鍵詞：能階止帶、多層微小射頻濾波器、射頻前端模組

Abstract

Advances in wireless communication have transformed the radio industry toward consumer electronics. Nevertheless the improvement over quality of service (QoS) behind the modern wireless services have resulted in increasing complexity in RF electronics including active and passive circuitry. One trend toward increasing spectral efficiency and QoS is the adoption of multiple-input and multiple-output (MIMO) communication system, in which plural of antennas and RF electronics are arranged appropriately in accordance with the vector signal generator and vector signal processor at the transmitter and receiver ends, respectively.

This project aims specifically for a generic solution for RF filtering in the complicated event of RF transceiver system acquiring multiple standards and multiple frequency bands, thus with sophisticated filter frequency planning and design procedure involved in practical RF filtering electronics.

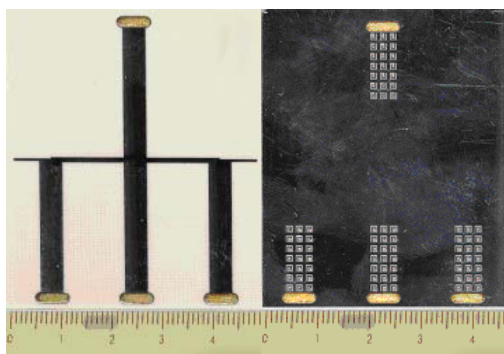
The project is divided into three-year. The concept of frequency-selective resonator (FSR) was proposed at sub-project II in the first year. The FSR, which is realized by the microstrip on the electromagnetic bandgap (EBG) ground plane, can greatly simplify the multiplexed filter bank into a so-called coalesced single-input and single-output architecture. First year will devote most of efforts to consolidate the concept of FSR for streamline multi-band filter design. The following year focuses on several coalesced filter architecture designs that may be

promising for multi-standard or MIMO applications. However, the evolution of the multi-mode system reveals that the components in MIMO system are designed based on only signal band operation for maintaining the same system performances. Therefore, the sub-project II focused on the miniaturized RF filter realization followed by the proposed systematic design procedures. The procedures not only can be applied for realizing front-end module (FEM) design but also assist to define the architecture for the system integrations.

Keywords: Electromagnetic bandgap, miniaturized RF filter, front-end module

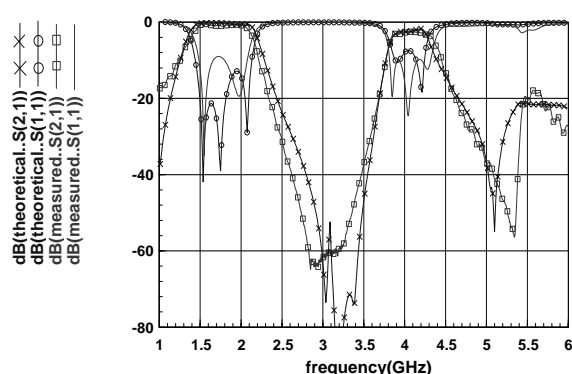
二、緣由與目的

圖一所示為子計劃 II 於第二年所實現之共生、多頻段傳輸線濾波器 (Transmission line filter) 之照像圖 [1]。該濾波器以標準四層之印刷電路板技術製作。



圖一、共生式雙頻濾波器之照像圖

圖二為實際測量結果，顯示通帶 (Passband) 包含 2.4 GHz 與 5 GHz 之 ISM bands。

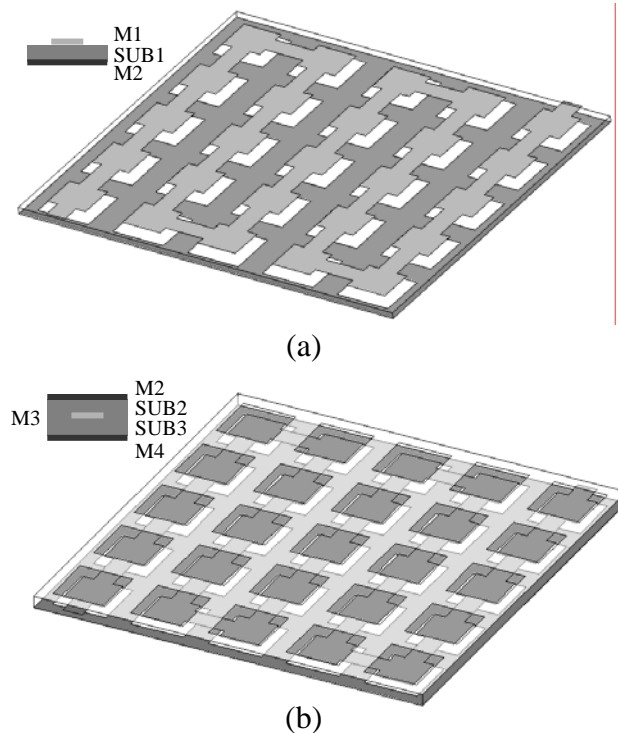


圖二、共生式雙頻濾波器量測結果

另一方面，以相同之頻率選擇式共振器亦可應用於單一通帶濾波器之設計。藉由不同能階止帶元素 (Electromagnetic bandgap cell, EBG cell) 之設計，可實現任意頻段之頻率選擇式共振器、滿足濾波器合成時於通帶與通帶以外之阻抗要求。由於低頻之頻率選擇式共振器需要較大體積之能階止帶元素實現，另一方面，為滿足現今通訊系統需要寬止帶頻段 (Wide rejection band)，多種能階止帶元素不利於該濾波器進行模組化整合。故子計劃 II 於第三年提出以多層近橫向電磁模微帶線 (Multi-layer quasi-TEM transmission line) 實現傳輸線濾波器。

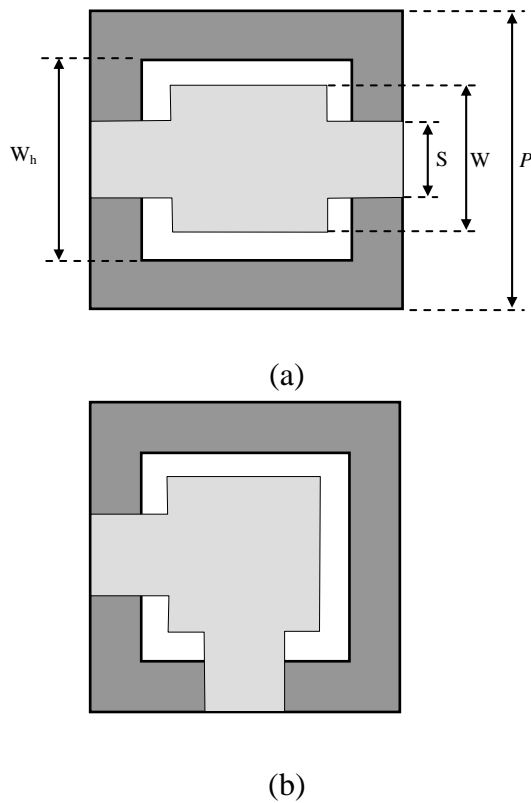
三、多層近橫向電磁模微帶線

圖三所示為多層近橫向電磁模微帶線。該架構為標準四層印刷電路板，M1 為最上層訊號層 (Signal layer) 且該訊號層之參考電位由 M2 定義 [2]。M3 為第二訊號層且該參考電位由 M2 與 M4 定義。此外，兩者訊號層共用參考電位層，M2。當系統整合時，所有參考電位層，包括 M2、M4 皆以導通孔 (Conducting via) 連接。更進一步，以該波導系統設計傳輸線時，傳輸線由元素 (Unit cell) 組成 [3]。



圖三、多層近橫向電磁模微帶線

圖四所示為基本元素之上視圖(Top view)。如圖所示，設計元素之結構參數包括 S 、 W 、 P 與 W_h ，且元素尺寸必須遠小於該傳輸線工作頻率之相對於波長 [3]。

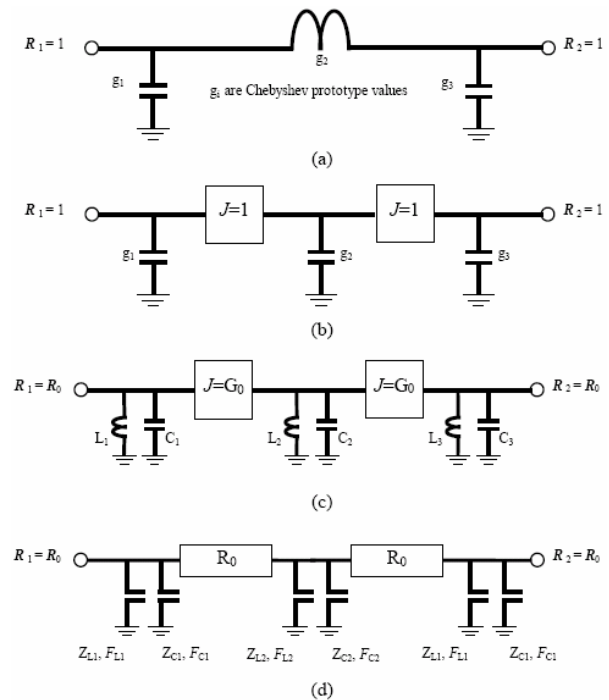


圖四、近橫向電磁模微帶線之組成元素

經由元素結構參數的設計，該近橫向電磁模微帶線可在不改變製程參數下合成出一種以上之特徵阻抗(Characteristic impedance)、相位常數(Phase constant)、損耗常數(Attenuation constant) [3]。更進一步， W_h 之尺寸遠小工作頻率之波長，可有效隔離上下層與同一層訊號線之間的耦合 [2-3]。除此之外，透過元素巧妙的安排，可使近橫向電磁模微帶線在有限的佈局空間中作出最大限度的面積使用率，故可有效縮小平面電路之使用面積或體積 [2]。該結構已成功應用到印刷電路板以微帶線為主之微波電路設計，例如，180 度 hybrid [3] 且該電路之面積使用率為傳統 hybrid 之 13% [3]。此外，該傳輸線亦應用到多層的 CMOS 半導體製程，例如，5GHz 的 CMOS 振盪器 [3]，該傳輸線為振盪原理之振盪器之尺寸幾乎等於傳統以集總元件(Lumped element)為基礎之振盪器 [3]。

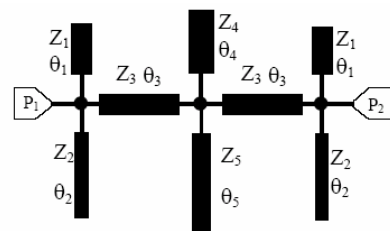
四、傳輸線濾波器設計步驟

圖五所示為傳輸線濾波器之設計步驟。濾波器設計是從標準集總之低通濾波器電路開始 [4]。經過一連串之等效電路代換，串聯電感可轉換成一並聯電容與兩個串聯之 J-inverter。之後，進行低通濾波器對帶通濾波器之等效轉換 [4]。最後，以傳輸線來實現該帶通濾波器之等效並聯電感與並聯電容。



圖五、傳輸線帶通濾波器設計步驟

經由上述設計步驟，圖六所示為一實際 2.4GHz WLAN 傳輸線濾波器之等效模型。而傳輸線之電氣參數亦顯示如圖五。該濾波器提供四個傳輸零點 (Transmission zero)，分別為 1.78GHz、1.88GHz、3.19GHz 與 3.95GHz，可抑制 1.75GHz 至 2.1GHz 之 GSM 頻段訊號約 40dB。同時，亦可抑制 3 至 4GHz 訊號約 40dB。



$Z_1=41.03\Omega$, $\theta_1=90^\circ$ @ 3.95 GHz
 $Z_2=60.88\Omega$, $\theta_2=90^\circ$ @ 1.88 GHz
 $Z_3=48.67\Omega$, $\theta_3=64.428^\circ$ @ 2.5 GHz
 $Z_4=56.85\Omega$, $\theta_4=90^\circ$ @ 3.19 GHz
 $Z_5=40.34\Omega$, $\theta_5=90^\circ$ @ 1.78 GHz

圖六、2.4GHz 傳輸線濾波器等效電路

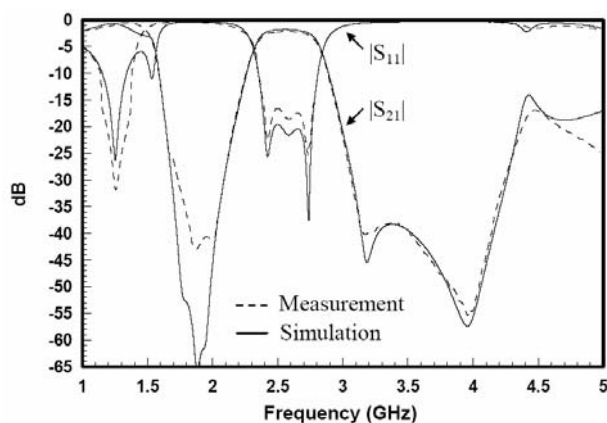
五、微小化傳輸線濾波器之實現

圖七為 2.4GHz 傳輸線濾波器之實體照像圖。該濾波器以傳統四層印刷電路板完成，濾波器大小為 5.0mm X 5.0mm X 0.18mm。



圖七、2.4GHz 傳輸線濾波器之實體圖

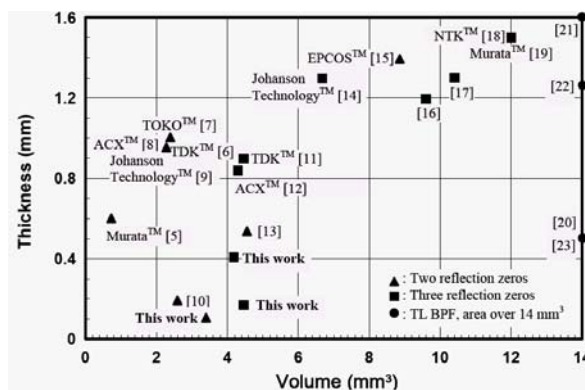
圖八為實際圖七測量結果與理論值的比較結果。該濾波器在 2.2GHz 到 2.65GHz 之傳輸損耗(Insertion loss)約為 2.4dB，而通帶(2.4GHz 至 2.5GHz)以 50ohm 為參考之輸入反射係數(Input reflection coefficient)低於 -12dB。相似於理論值與等效電路所設計，提供通帶頻段以外之足夠能量抑制(Energy suppression)。



圖八、2.4GHz 傳輸線濾波器之測量結果

更進一步，圖九為現在商用或技術文件所發表之 2.4GHz 帶通濾波器其體積與濾波器厚度之統計圖。一般而言，以傳輸線為主之帶通濾波器之體積約大於 14mm³，而由本子計劃所提出之設計理念

實現之傳輸線濾波器可有效縮小電路體積。更進一步，當製程技術不同，更多訊號層用於電路佈局時，以多層近橫向電磁模微帶線實現之波導系統可維持相同電路體積要求。換句話說，所設計結果接近製程技術之極限。



圖九、2.4GHz 帶通濾波器體積與厚度統計

六、結論

本子計劃 II 提出一系統化設計方式，結合多層近橫向電磁模微帶線(Multi-layer quasi-TEM transmission line)之波導技術，實現射頻帶通濾波器，以提供 MIMO system 於系統整合時之多種濾波器要求。一個 2.4GHz 之多層帶通濾波器以實作的方式驗證其設計方式。實體帶通濾波器之大小為 5.0mm X 5.0mm X 0.18mm，以 3 個傳輸線為基礎(Transmission-Line based)之並聯共振器(Parallel resonator)架構而成。另一方面，經由收集、統計已存在與已發表於商用或技術文件之同頻段濾波器。實體濾波器可符合現今市場主流。更進一步，並適用於製程技術改變時，由本計劃提出之設計方式亦可將濾波器之體積維持在近乎相同之體積要求

七、參考文獻

- [1] C. H. Chang, Hsien-Shun Wu, Ching-Kuang C. Tzuang, "Coalesced single-input single output dual band filter," 2003 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Session IFTU-18, June 10, 2003.
- [2] Hsien-Shun Wu, Hsiung-Jay Yang, Ching-Juang Peng, and Ching-Kuang C. Tzuang, "Miniaturized microwave passive filter incorporating multilayer synthetic quasi-TEM transmission line," to appear in Sept. issue of IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2005.

- [3] Chih-Chiang Chen, Ching-Kuang C. Tzuang, "Synthetic quasi-TEM meandered transmission lines for compacted microwave integrated circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 52, No. 6, pp. 1637-1647, June 2004.
- [4] G. L. Matthaei, L. Young, E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. Dedham, MA: Artech House, 1980.
- [5] *LFB182G45SG9A246*, Murata Manufacturing Co. Available: <http://www.murata.com/>.
- [6] *DEA202450BT-1213C1*, TDK Co. of America. Available: <http://www.component.tdk.com/>.
- [7] *LTF2012B-F2R4B*, TOKO America Inc.. Available: <http://www.tokoam.com/>.
- [8] *BF2012-F2R4DAA*, Advanced Ceramic X Co.. Available : <http://www.acxc.com.tw/>.
- [9] *2450BP15B100*, Johanson Technology Inc.. Available : <http://www.johansontechnology.com/>.
- [10] Tatsuya Tsujiguchi, Haruo Matsumoto, Toshio Nishikawa, "A miniaturized double-surface CPW bandpass filter improved spurious responses," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 49, No. 5, pp. 879-885, May 2001.
- [11] *DEA252450BT-2027A1*, TDK Co. of America. Available: <http://www.component.tdk.com/>.
- [12] *BF3216-B2R4BAA*, Advanced Ceramic X Co. Available: <http://www.acxc.com.tw/>.
- [13] Lap Kun Yeung, Ke-Li Wu, "A compact second-order LTCC bandpass filter with two finite transmission zeros," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 51, No. 2, pp. 337-341, Feb. 2003.
- [14] *2450BP18C100D*, Johanson Technology Inc.. Available : <http://www.johansontechnology.com/>.
- [15] *B69812N2457C101*, EPCOS. Available: http://www.epcos.com/web/home/html/home_e.html.
- [16] Ching-Wen Tang, Yin-Ching Lin, Chi-Yang Chang, "Realization of transmission zeros in combline filters using an auxiliary inductively coupled ground plane," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 51, No. 10, pp. 2112-2118, Oct. 2003.
- [17] Ching-Wen Tang, "Harmonic-suppression LTCC filter with the step-impedance quarter-wavelength open stub," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 52, No. 2, pp. 617-624, Feb. 2004.
- [18] *LFS2450-01BB-C*, NTK Technologies Inc.. Available: <http://www.ntktech.com/>.
- [19] *LFB322G45SNIA504*, Murata Manufacturing Co. Available: <http://www.murata.com/>.
- [20] Y. W. Kong, S. T. Chew, "EBG-based dual mode resonator filter," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, Vol. 14, No.3, pp. 124-126, March 2004.
- [21] Yu-Kang Kuo, Chi-Hsueh Wang, Chun Hsiung Chen, "Novel reduced-size coplanar-waveguide bandpass filters," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, Vol. 14, No.3, pp. 65-67, Feb. 2001.
- [22] Jen-Tsai Kuo, Ming-Jyh Maa, Ping-Han Lu, "A microstrip elliptic function filter with compact miniaturized hairpin resonators," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, Vol. 10, No.3, pp. 94-95, March 2000.
- [23] Kao-Cheng Huang, David Hyland, Alan Jenkins, David Edwards, David Dew-Hughes, "A miniaturized interdigital microstrip bandpass filter," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, Vol. 9, No. 2, pp. 3889-3892, June 1999.