

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：NSC92-2219-E-009-022-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系

計畫主持人：莊晴光

共同主持人：林育德

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 11 日

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。然而通信品質的提昇確是持續成長的動力，也是RF 電子電路更形複雜的因素。目前有一趨勢即是利用所謂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)在多頻道的環境下做無線通信的服務。這二種大趨勢都是造成RF系統日益複雜的原因。

本計劃書提出一明確而廣泛地能如何解決日益複雜的多工濾波器系統設計的設計方案，而非針對某一特殊用途而設計的解決方案。本計劃提出一項突破性的方式來設計簡潔又低成本之多層介質波導濾波器能同時滿足多模、多頻道、等不同之規格，使適用MIMO 或多重模式的無線通信系統。

本案提出一種新型的可選擇頻率式的共振器(Frequency-Selective Resonator); 它可大幅地降低多工式的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。後者會使多重模式或MIMO 之RF front-end系統過度複雜至成本過高的程度。

本案分三年執行。第一年著重上述可選擇式的共振器之理

論與基礎設計，實驗之建立，以強化它的可行性。第二年著重不同的多頻帶濾波器系統的設計，盼能找出幾個更實用的濾波器系統架構。第三年則完成研究提出一套如何做垂直調整(Orthogonal tuning)方式之濾波調整步驟，使每一個頻道之調整(含設計及製作後)能獨立運作。

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. Furthermore the wireless system has become more and more popular in adopting various standards, thereby further increasing the RF system hardware complexity. This proposal 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 proposal is not intended for specific application, rather for a conceptual breakthrough in designing a generic class of multi-layered, cost-effective filters, capable of streamline integration of multiple-band and multiple-standard filters which are capable of large RF system signal multiplexing and filtering as demanded by the multi-standard or MIMO radio systems.

The concept of frequency-selective resonator is proposed to greatly simplify the multiplexed filter bank into a so-called coalesced single-input and single-output architecture, by which

a larger RF filter electronic system can grow with ease and without resorting to brute-force additions of frequency multiplexers that will eventually become uncontrollable when more antennas or more standards are added to the advanced radio system design.

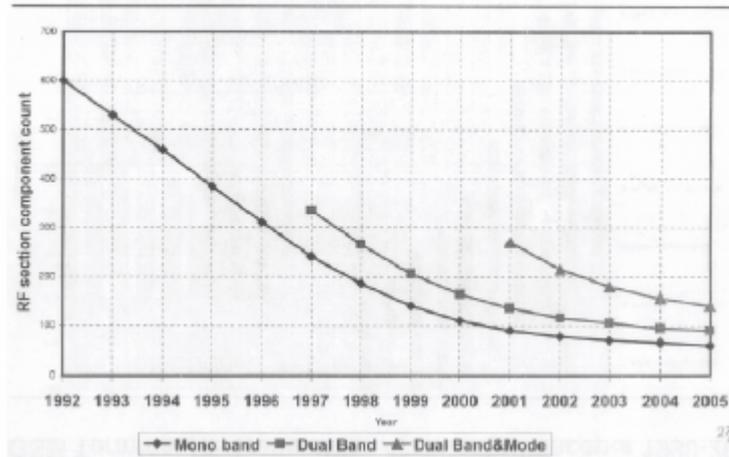
The proposal is divided into three-year efforts. First year will devote most of efforts to consolidate the concept of frequency-selective resonator for streamline multi-band filter design. The following year focuses on several coalesced filter architecture designs that may be promising for multi-standard or MIMO applications. The third year will select few promising designs and improve them with new algorithms that will be capable of orthogonal tuning in adjusting filters at various bands with little impacts on the different bands.

本 文

(一) 研究方法：

適合多重規格與模式的多頻帶濾波器，迄今尚未有完整的報導或設計方法為人所習知。但是任何多模式的複合規格濾波器，可用頻率分工器(frequency multiplexer)及濾波器的組合來完成。比方說，一個dual-band filter，可用duplexer來完成。Triple-band filter可用triplexer完成。換言之N-band filter，就有N個filters配合 $2N$ 個 $(1+N)$ -way frequency multiplexer來完成。用這樣的方式來設計陣列式的filter bank供MIMO或多模、多頻帶RF front-end使用，其複雜程度約正比於頻帶數之平方(參考圖一)。本案提出的方法，使filter bank設計約正比於MIMO之spatial multiplexing所需之channel數目。因此製造成本可望大幅降低；但是這種作法須配合transceiver RFIC，具備有多模、多頻帶之設計，同時將部分頻道選擇權移至synthesizer用軟體控制。

2G & 3G RF Section Component Count



圖一、2G and 3G RF front-ends 元件數

(二) 進行步驟：

因此，如果能設計一個多模、多頻帶且共用濾波器共振腔之濾波器，即可把所有頻帶之濾波器壓縮至一個濾波器之圖面，進而大幅縮小設計之面積。因為一個N-band 之濾波器，看似只有一個濾波器。在本案我們稱這種濾波器為 coalesced filter(共生濾波器)[5]。在本節我們附上剛接受發表之論文，其中闡述這種共生濾波器之設計可以是如何完成的。但這只是一系列研究之開端，共生濾波器之設計將有許多變化，我們盼能就此基礎研究打下實用的基礎。此論文的第一節(Introduction)重複地介紹共生濾波器之研究背景。第二節說明共生濾波器如何利用 frequency-selective resonator

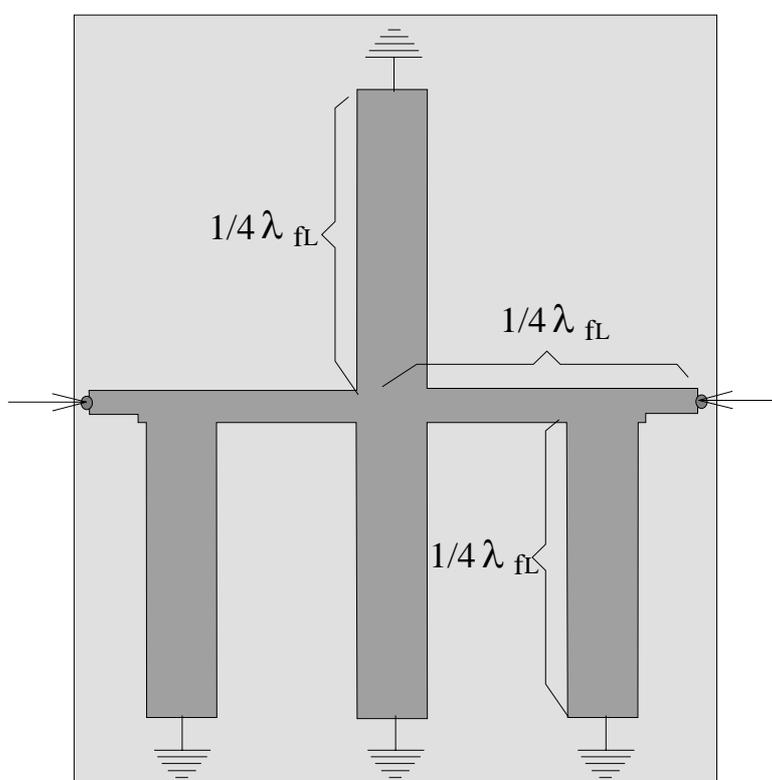
改變了一個 $1/4 \lambda_f$ resonator(奇數 multiples)之特性。這種 resonator 頻率可用 photonic-bandgap(PBG) stopband 特性來改變的方式，就提案者所知是首度的嘗試。參看論文之第二節可知這種 frequency-selective resonator 是利用 PBG stopband 之 open 特性來改變 resonator 第二個 open-end 之位置，而且是可以由設計者來控制的方式。據此，論文第三節及第四節報告的製作的 dual-band filter 真的達到 single input 及 single output 之設計目標，只有二個信號端點供 Input/Output 用，大幅地簡化多頻道濾波器之設計方法。雖然初步構想獲得實現，但是這種多重模式濾波器仍有許多困難待克服：

- (1) Resonator 之多頻控制對設計者仍是艱辛的問題，因為共振頻率是相互牽引的。這點仍極需電路模型來克服，不是單靠場論模擬可以掌握的。
- (2) 如果換成三個頻道時，resonator 必須作如何修正？目前這點仍是需要克服的。
- (3) 每個頻道如何增加其自由度調節頻寬而不致影響其它頻道。我們仍相信精確的模型所建立的數學方程式將有助澄清這個問題，同時可克服(1)及(2)之問題。

(三) 執行進度：

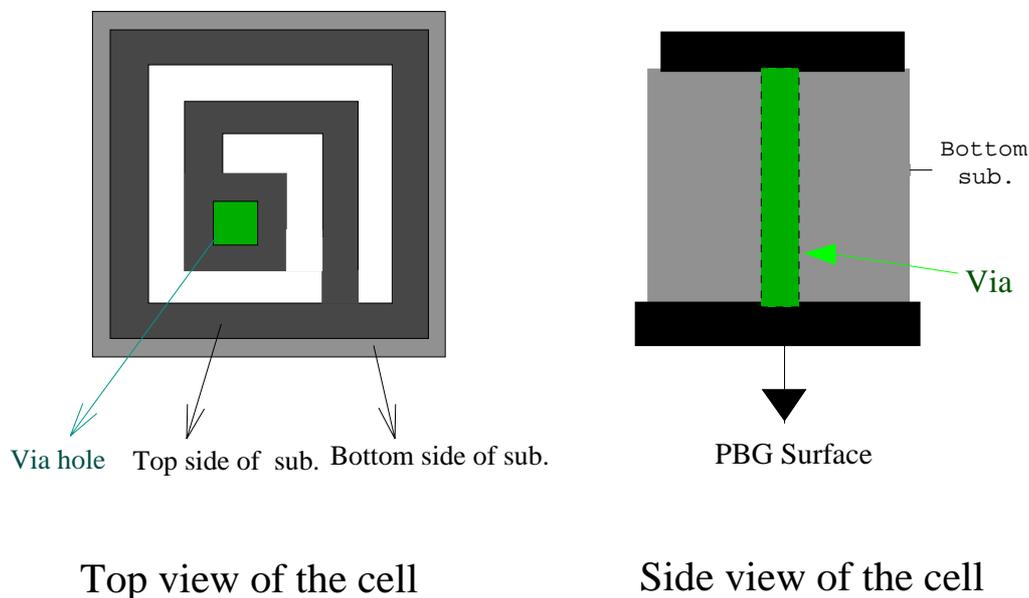
本案採用 $1/4 \lambda_f$ short-circuited stub resonator 方式設計原始的低頻端帶通濾波器，在同一個共生結構下再配合PBG週期結構的stopband特性作frequency-selective resonator的設計，用以產生高頻端的帶通濾波器。其工作執行的進度分列如下：

- (1) 首先設計4個低頻端的 $1/4 \lambda_{fL}$ short-circuited stub resonators(其中中間的兩個resonators是同一節點而相互平行)，配合連結的二段傳輸線($1/4 \lambda_{fL}$)形成一個初始低頻端帶通濾波器(參考圖二)。



圖二、初始低頻端帶通濾波器

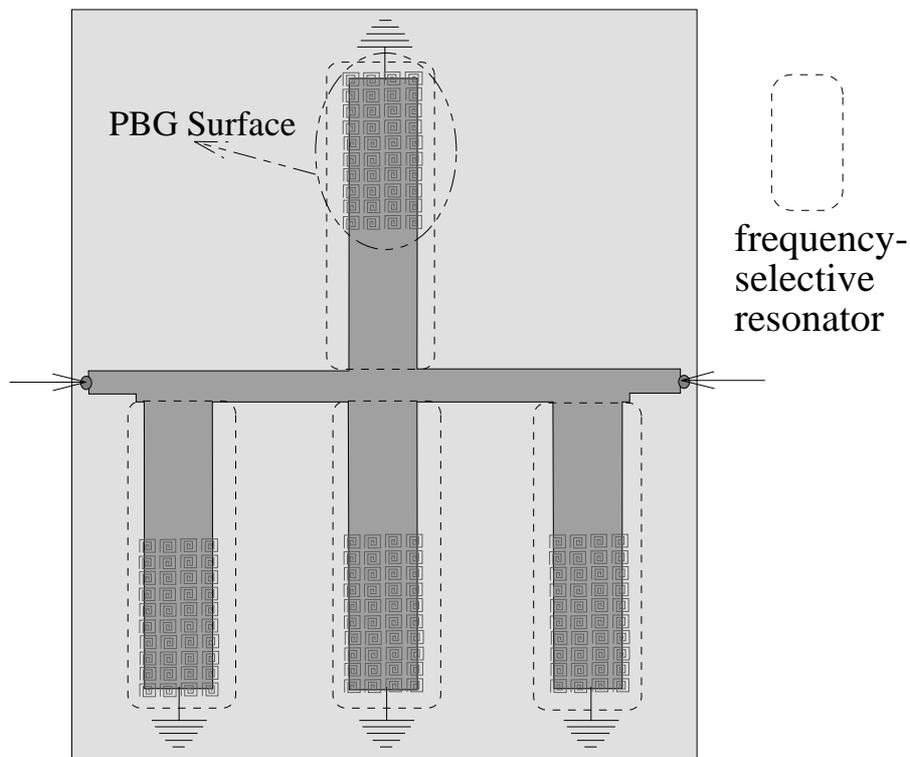
- (2) 其次選擇與設計適當的PBG Cell(參考圖三)，以便由PBG結構產生一個stopband恰在高於高頻端的帶通濾波器的上緣處，如此以PBG結構的方式克服微帶線濾波器的週期的頻率響應的特性，將高頻端與低頻端的帶通濾波器的中心頻率位置與頻寬作較彈性的設計。



圖三、雙頻濾波器之PBG cell

- (3) 將初始stub filter與PBG cells結合，先預估高頻端帶通濾波器所需要的resonator的長度，然後將PBG cells放入初始stub filter之resonators接地層，使其將高頻端帶通濾波器之resonator長度外的部分放置PBG cells(參考圖四)，如此控制含有PBG cell之resonator長度，即可控制帶通濾波器中心頻率位置，但是因為PBG結構是

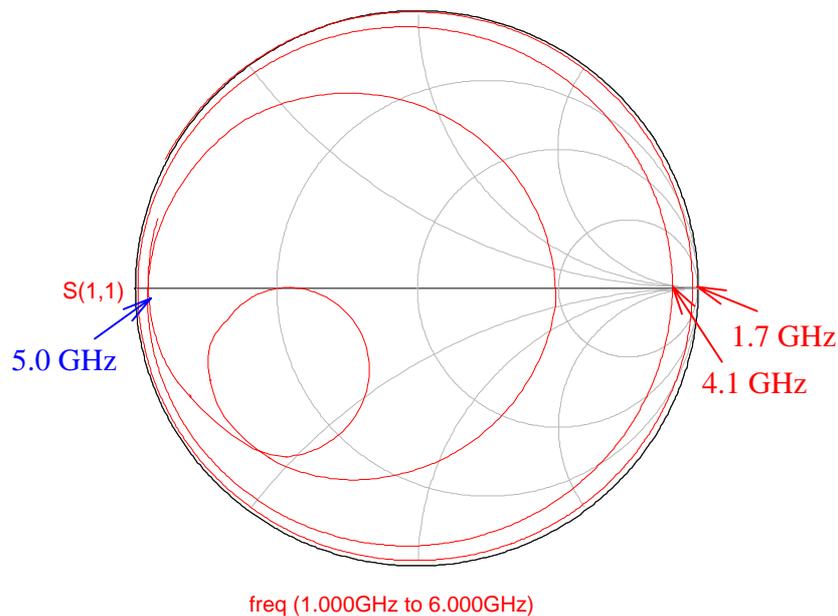
高阻抗表面(High impedance surface)的結構，具有慢波(Slow wave)的特性，會造成初始的低通濾波器所需的resonator的長度變長，使低頻端的響應愈趨低頻移動，因此我們需修正原始長度使其使低頻端的響應恢復原始的響應位置，如此反覆修正數次即可調整至所需之頻寬與中心頻率，此即為frequency-selective resonator。



圖四、共生式雙頻帶通濾波器

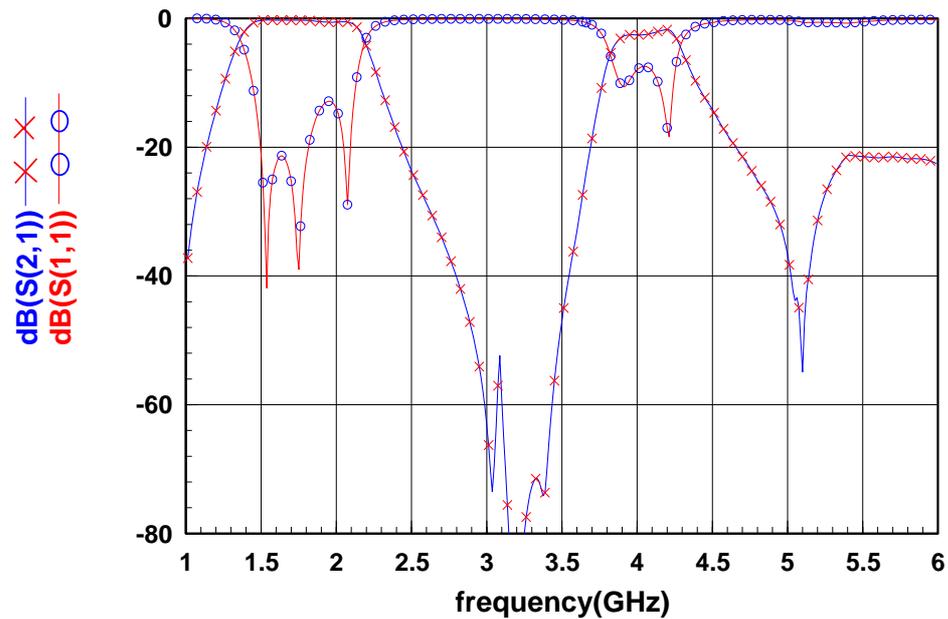
- (4) 進行雙頻濾波器的電路模擬驗證，先以resonator(同時具有微帶線不含PBG結構與微帶線含PBG結構)進行Smith chart的分析，以證明其具有雙頻的特性(參考圖

五)，由圖五Smith chart顯示低頻端的short-circuited stub(接近Smith chart右端的open circuit位置)在1.7GHz而第二個的open circuit位置則在4.1GHz，此證實具有雙頻的特性存在。



圖五、圖四之 the frequency-selective resonator 輸入阻抗之模擬

其後針對整個共生式雙頻濾波器之電路模擬，使用 MOMENTUM 與 IE3D 進行全波模擬分析(參考圖六)，亦得到低頻端與高頻端的中心頻率分別為 1.7GHz 與 4.1GHz，其中高頻端的 S_{11} 的響應較不理想，其因為受到 PBG 結構的影響，需要進一步微調與修正，但此結構提供一個 transmission zero 使得低頻端與高頻端之間的抑制度(Rejection)超過 55dBm。

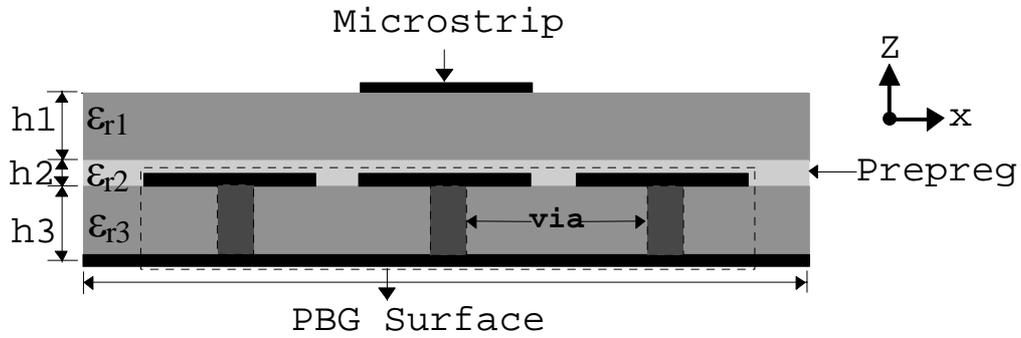


圖六、共生式雙頻濾波器之 S_{11} 與 S_{21} 響應曲線圖

- (5) 共生式雙頻濾波器的製作，以RO4003的基板的4層金屬板的多層結構設計雙頻濾波器，其相對介電係數(ϵ_r)為3.38且一層基板厚度為0.203mm，其結構圖如圖七所示，四層金屬板中的最上層為濾波器之訊號路徑線，第二層金屬板完全洗掉，第三層金屬板用來設計上層PBG表面結構，而最底層金屬板則用來製作PBG下層表面結構與接地層。而最上層的short-circuited stub的部分則透過via holes直接與最底層金屬板相連接。其次除每層基板厚度為0.203mm，黏著層厚度為0.05mm，其相對介電係數為4.4。

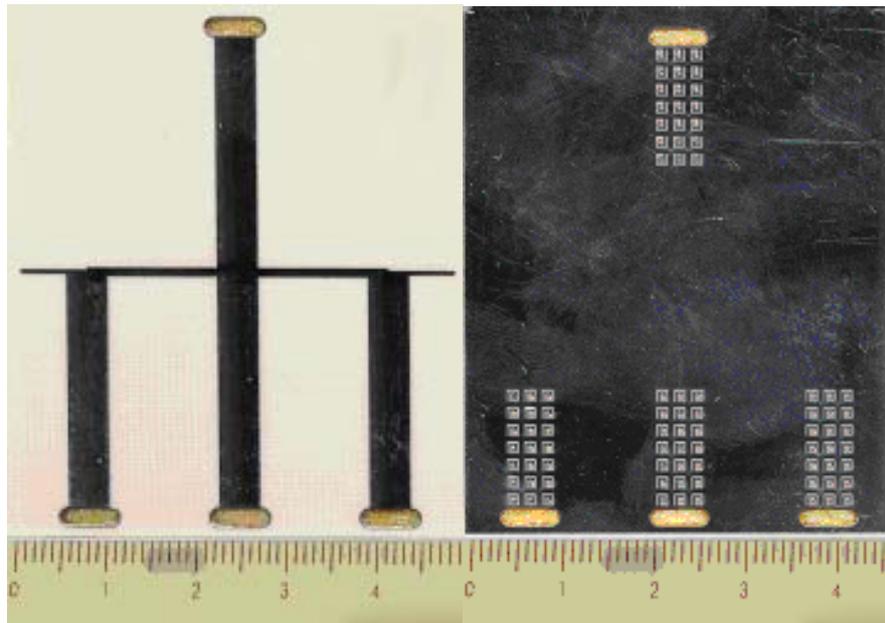
其後透過電路板外包製作，得到5mm × 5mm大小的共

生式雙頻濾波器(參考圖八)。



$$h_1 = h_3 = 0.2 \text{ mm}, h_2 = 0.05 \text{ mm}, \epsilon_{r1} = \epsilon_{r3} = 3.38, \epsilon_{r2} = 4.4.$$

圖七、共生式雙頻濾波器之橫截面圖

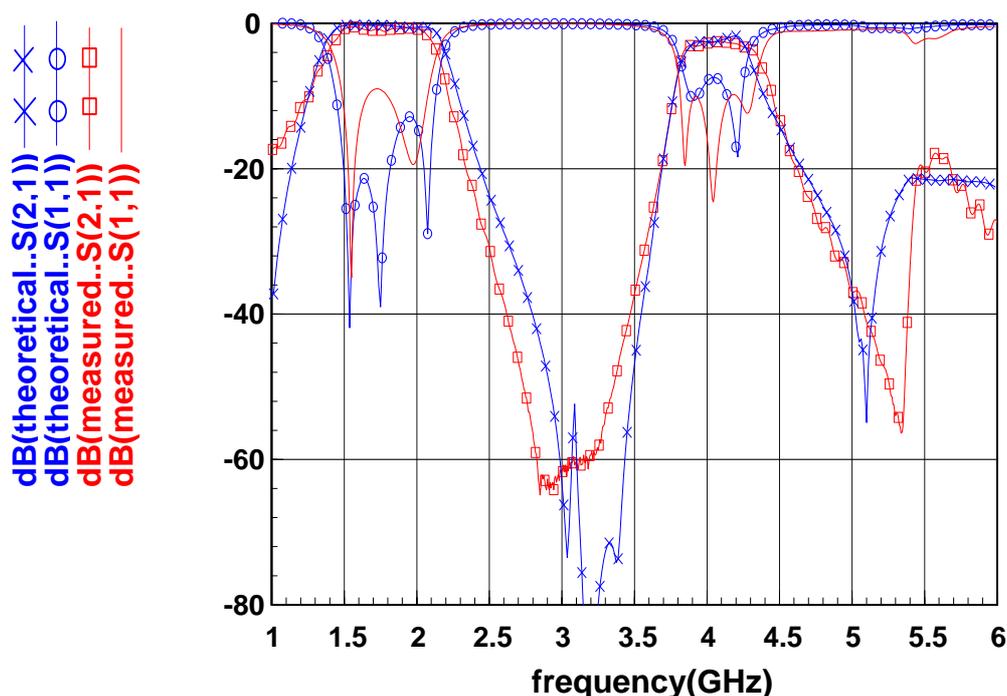


(top metal layer)

(bottom metal layer)

圖八、共生式雙頻濾波器之照相圖

(6) 最後進行共生式雙頻濾波器的量測，透過HP 8510C向量信號分析儀針對共生式雙頻濾波器作S-parameter量測分析(參考圖九)，發現理論的模擬數據與實驗量測資料非常一致，因此證實設計的概念是可行的。



圖九、共生式雙頻濾波器量測數據與理論數據的比較

在本年度所定的目標是設計與發展一種全新的共生式的濾波器，其為低單價且適合多頻與多標準的規格，現以共生式雙頻濾波器來實現本年度的目標，並且其理論值與量測值非常一致，因此設計的理念是可實現的。

銜接第一年及第二年之研究工作，我們再提出了二種方式來實現共生濾波器，第一種方式延續原始計劃書之設計方

式，改採用 parallel coupled lines 傳輸線，並以 2.4/5GHz WLAN 雙頻帶架構來測試不同的共振器設計及其對共生式雙頻濾波器之影響。第二種方式設計了新的濾波器架構，取名 fishbone filter(魚骨式濾波器)。目前這方面之研究工作，隨同上述第一種方式，皆準備論文和數據，送至相關單位審查。

預期完成之工作及研究成果

雖然提案人希望這裡所提的創新觀念能有朝一日能付諸實際的設計中並廣為利用，但在本案的準備期中，已陸續折損數位碩士班學生，他們並沒有能力在交大完成如附論文之工作。這令提案者有點訝異，但也更體認到維護創新研究之不易。因此，本案最欲完成的，倒是藉此研究機會訓練且有創新及獨立研究的學生。其次才是建立本案的實用性。預估每年的工作目標和成果如下：

第一年：由更多的角度切入，將frequency-selective resonator 之形式及相關filter 之設計更確定它的功效。

第二年：多嘗試不同coalesced filter(共生濾波器)之設計，建立精確的物理模型，以利辨識好的濾波器架構，並證明之。

第三年：設計出實用價值之coalesced filter 供多模、多頻道之MIMO 或其它無線通信系統使用，形成真正可行的核心無線電RF front-end 技術之一。

參考文獻：

1. Josef Fenk, "Gigahertz radio front-ends," *2003 ISSCC*, San Francisco.
2. H. Sampath, S. Talwar, J. Tellado, and V. Erceg, "A Fourth-Generation MIMO-OFDM Broadband Wireless System: Design, Performance, and Field Trial Results", *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.9, pp.143-149, September 2002.
3. H. Hashemi, A. Hajimiri, "Concurrent Multiband Low-Noise Amplifiers—Theory, Design, and Applications," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 50, No.1, pp.288-301, January 2002.
4. H. Miyake, S. Kitazawa, "A Miniaturized Monolithic Dual Band Filter Using Ceramic Lamination Technique for Dual Mode Portable Telephones," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Vol. 2, pp.789-792, June 1997.
5. Chang et al., "Coalesced Single-input Single Output Dual band filter," *2003 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Session IFTU-18, June 10, 2003.