

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

具 DGS 之新型微小化微帶線與共平面波導微波濾波器之設計  
與製作

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-018-006-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立彰化師範大學電子工程學系

計畫主持人：李清和

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

# 具 DGS 之新型微小化微帶線與共平面波導微波濾波器之設計與製作 (Design and Implementation of New Miniaturized Microstrip and CPW Microwave Filters with DGS)

計畫編號：NSC 94-2213-E-018-006

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：李清和 國立彰化師範大學 電子工程學系

E-mail: iecher@cc.ncue.edu.tw

計畫參與人員：黃繼徵 羅時樞 莊賀凱 曾禹博

## 中文摘要

本計畫旨在針對微帶線及共面波導帶通與帶阻濾波器之結構創新、特性改善與尺寸縮小化等作探討。在微帶線帶通濾波器部份，我們以 H 型結構作為緩波週期性微帶線之負載，使其在通帶兩側產生傳輸零點，以設計窄頻帶通濾波器。由於是直接饋入，故實質上減少了介入損失。其次我們探討具折線型 DGS 之開迴路三角形共振器帶通濾波器結構，三角形共振器之設計可縮小濾波器尺寸，同時此新提出之折線形 DGS 具帶阻特性，電路尺寸較小且有多個傳輸零點，其第二傳輸零點的裙襬並較第一零點者陡峭。將此 DGS 的基本模態或二次模態 3 dB 頻率點設計在帶通或低通濾波器之 3 dB 頻率位置上，可改善裙襬之衰減特性。

在共平面波導濾波器部份，首先我們利用具有雙週期與漸變式之 DGS 所產生的四個止帶互相堆疊，來設計寬禁帶 CPW 帶阻濾波器。其次我們探討耦合線型 CPW 帶通濾波器之高階倍頻諧波抑制問題，我們將利用三種方式來抑制由於奇波模態與偶波模態相速不匹配所產生的濾波器高階倍頻諧波。此三種方式分別為利用 DGS 所造成的止帶特性、耦合線段不對稱(即一耦合端適當調整其耦合段長度)設計與使用鋸齒耦合結構等。最後再分別將後兩種結構與 DGS 做結合，以增強高階倍頻諧波的抑制效應。本研究之成果可提供 2.4 GHz 與 5 GHz 頻段無線通訊系統中微波濾波器設計之有用參考。

關鍵詞：傳輸零點、非對稱饋入、缺

陷地結構(DGS)、漸變式雙週期、高倍頻諧波抑制。

## Abstract

In this project, we place efforts on new structure development, performance improvement, and circuit miniaturization of the microstrip and CPW bandpass and bandstop filters. For the study of microstrip bandpass filters (BPFs), we first employ a slow-wave periodic microstrip which is loaded with H-shaped structures to form the BPF. The loaded periodic microstrip is designed to produce transmission zeros at the two sides of the passband, and thus results in narrow-band bandpass characteristic. Also, since the H-shaped structure is designed to be directly coupled to the strip, the insertion loss can effectively be reduced. Next, a BPF using triangular open-loop resonators and folded-line shape DGS in the ground plane is investigated and implemented. Resonators designed in triangular shape can reduce the circuit size. Also, the proposed folded-line shape DGS can provide multi-pole characteristic and its skirt of the second pole is sharper than that of the first one. The multi-pole characteristic can provide more flexibility for the design work.

For the study of CPW filters, we first employ the tapered double-period (TDP) DGS to design the bandstop filter (BSF). Such DGS pattern not only improves impedance matching, but also provides wider stopband bandwidth. The latter is

achieved by overlapping the four stop bands of the DGS structure. The second underlined work of this part is the suppression of the higher-order harmonic passband of the coupled-line CPW bandpass filters. The coupled-line bandpass filters inherently have parasitic higher-order passband due to the unequal even- and odd-mode phase velocities. In this research, several techniques including using DGS structures, over-coupled (i.e., asymmetric coupled at two ends) structures, and wiggly coupled structures are adopted for performance improvement. Results obtained in this research are expected to serve as useful references in design of microwave filters for use in 2.4 GHz and 5 GHz bands wireless communication systems.

Key words: transmission zero, asymmetric tapping lines, defect ground structure (DGS), tapered double period, higher-order spurious passband suppression.

## 1. 前言

微波濾波器為通訊系統射頻前端之關鍵性組件之一，經常作為接收機頻道選擇時之干擾訊號濾除元件或發射機之雜波與諧波訊號濾除裝置。實用上，微波濾波器視其類型須具有低帶通損耗、高帶拒衰減率及高頻率選擇特性等，而其尺寸也是重要之考量參數。時下之微波濾波器常用傳輸線架構如微帶線、帶線(strip line)，槽線(slot line)與共平面波導(coplanar waveguide)等來設計，而其中以微帶線和共平面波導結構最為常見，因為它們非常適合與單晶微波積體電路(MMIC)整合。

微波濾波器設計之趨勢為微小化、模組化、低成本及易於製造等，本計畫針對較為常用之微帶線和共平面波導結構微波濾波器來做探討。為了縮小濾波器的尺寸，過去研究學者發展出髮夾線型及混合髮夾線型(hybrid hairpin-line) [1]帶通濾波器結構，其要點為將平行耦合微帶線帶通濾波器中部份二分之一波長開路共振器

(resonator)彎曲，以縮小電路總面積。而在傳統髮梳型及交趾式帶通濾波器[2]方面，吾人可將二分之一波長開路共振器改為四分之一波長短路共振器，但其缺點為共振器終端須短路接地，對微帶線結構而言此意謂須由電路面貫孔至接地面，故可能產生貫孔(via hole)之電感效應。

此外，微帶線帶通濾波器在通帶(passband)兩側之衰減量常不足，易受雜訊之干擾，因此在過去之研究中[3]-[6]，常使用在通帶兩側附近產生傳輸零點(transmission zero)之設計技術，以增加衰減量，改善通帶兩側裙襬之陡峭度。例如文獻[6]利用  $0^\circ$  相位差(不對稱)饋入兩個半波長共振器的方法，不需外加  $\lambda/4$  殘段即可在通帶裙襬兩側產生傳輸零點。但其缺點為濾波器通帶中心頻率較高時(例如 5 GHz 以上)，以此法所設計之通帶高頻端裙襬下降陡峭程度並不如低頻者效果好

除了在共振器設計方式改進之外，近年來 PBG (photonic bandgap) 及 DGS (defected ground structure) 結構也被廣泛運用在微波濾波器之設計上來修整、改進其工作特性，並微小化電路尺寸。設計上 PBG 結構通常為在電路板的接地面(ground plane)或訊號線上做週期性蝕刻，藉由其阻抗做週期性變化以產生禁帶；而 DGS 結構概念則是來自於 PBG，其蝕刻形狀本身的一個單元即可形成一個 LC 並聯共振等效電路以產生傳輸零點。PBG 及 DGS 之此特性可用來設計低通濾波器 [7]-[8]，而帶通濾波器一樣可用相同的原理來產生傳輸零點，文獻[9]即是利用傳統半波長平行耦合線在接地面加入 DGS 結構取代共振器來設計帶通濾波器以達到尺寸之微小化。DGS 結構較常見使用在微帶傳輸線上，對於應用在 CPW 微波濾波器上的討論則較少。

上述文獻所述都是針對濾波器通帶兩側裙襬陡峭度做改善，然在另一方面耦合線帶通濾波器因其奇波模態與偶波模態相速不匹配，使得其會有高階倍頻寄生通帶產生。此在過去研究學者曾提出多種改善

的方法，例如使用過耦合共振器(over coupled resonator) [10]-[11]與波狀(wiggly)耦合微帶線結構[12]，可以延長奇波模態相位路徑，使奇、偶模態相位延遲一致達成消除高階倍頻通帶之目的。另外在文獻[13]中提出平行耦合步階式阻抗共振器(steped impedance resonator, SIR)之設計，利用調整共振器阻抗比(impedance ratio)使諧振腔的第二、第三階諧波的諧振頻率往更高頻偏移(即高於通帶中心頻率的兩倍與三倍)，以改善高頻截止帶的性能等。而利用 PBG 或 DGS 結構來做高階寄生通帶的抑制亦是最近常被採用的的方式。

綜合上述文獻所述，通(禁)帶兩側之衰減量不足與高階倍頻諧波是影響帶通(或帶拒)濾波器特性的兩大因素。為了改善或解決上述問題，本計畫擬定數項相關研究以進行探討。

## 2. 研究目的

本研究之目的在於一、針對微帶線具負載緩波週期結構、新型微小化共振器及新型(例如折線型) DGS 做分析、設計、模擬、製作、量測與驗證，以及濾波器等效電路之萃取等；二、雙週期漸變式 DGS 結構與濾波器高階諧波抑制的探討與應用，除了以 DGS 來抑制高階倍頻諧波之外，亦進一步使用耦合線段不對稱(即一耦合端適當調整其耦合段長度)與鋸齒耦合結構來增強抑制高階倍頻諧波的效應，以設計出具寬禁帶特性的帶通濾波器。

## 3. 結果與討論

圖 1(a)所示為本計畫所完成之 5 GHz 具折線型 DGS 之三角形開迴路共振器微帶線帶通濾波器，此乃為三角型開迴路共振器加入折線形 DGS 而成。過去文獻所載之共振器型帶通濾波器，其共振器大多為方形或類方形開路環，本計畫所提出之開路三角形環共振器相對只須較小之電路面積，因此可達到微小化電路之目的。在此

電路設計中，我們利用不對稱方式饋入共振器以產生兩個零點，並結合新設計之折線型 DGS 結構，以增加通帶高頻端裙襬之陡峭度。

本設計中之折線型 DGS (圖 2(a))為一個 LC 並聯共振等效，如圖 2 (b)所示，藉此等效電路可其估計出極點位置對應之 LC 值。為萃取折線型 DGS 中電容及電感值，可先求出圖 3(a)中之電納  $B_a$  及圖 3 (b)中之電納  $B_1$ ，再藉由圖 3 (a)中並聯共振帶拒電路與圖 3 (b)中低通電路在低頻 3 dB 轉角頻率特性相似之概念，令電納  $B_a$  與  $B_1$  等即可求得電容、電感值。其相關原理分析如下。

由圖 3(a)可計算 LC 並聯共振電路之電納為

$$jB_a = j\omega C_1 + \frac{1}{j\omega L_1} = j(\omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1})$$

由此得

$$B_a = \omega_0 C_1 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

(1)

其中  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$ 。而圖 3 (b)之電納為

$$B_1 = \frac{1}{\omega'} Y_0 \frac{1}{g_1}$$

(2)

其中  $\omega'$  定義為正規化角頻率( $\omega' = 1$ )。令(1)式等於(2)式得

$$B_a |_{\omega=\omega_c} = B_1 |_{\omega'=1}$$

(3)

其中  $\omega_c$  定義為 3 dB 轉角頻率。得

$$C_1 = Y_0 \frac{\omega_c}{g_1(\omega_0^2 - \omega_c^2)}$$

(4)

由(4)及  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$  可得

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_1} \quad (5)$$

利用式(4)及(5)可以萃取所設計之折線型 DGS 之等效電感 L 及電容 C 的值。

至於圖 1 電路中各部份之尺寸同理可於濾波器中心頻率、3dB 頻率、微帶線特徵阻抗及微波基板材質決定後，以 RF 模擬軟體算出。值得一提者為本設計中之折線型 DGS 也可應用在低通或帶拒濾波器上，以改善 3dB 頻率處裙襬陡峭度。

圖 4 示出折線型與簡單方形 DGS 之微帶線帶拒濾波器特性比較。圖 5 則為圖 1 微帶線帶通濾波器之 S 參數模擬與實測結果。

本報告中示出之第二個電路為以具有 H 形負載之緩波週期性微帶線結構設計之 2.45 GHz 帶通濾波器。圖 6 所示為其結構，此乃為如圖 7 在傳統週期性傳輸線之  $\lambda/8$  殘段末端加入一耦合負載而成。過去文獻所載者，其耦合負載為一簡單方形環，較諸本計畫所提出之 H 形負載須較大之電路面積，此意謂將耦合負載設計成 H 形可以微小化電路。由分析可知當  $\tan \beta l$  甚小且負載阻抗  $Z_L$  為零或無限大時，可令此微帶線結構分別產生禁帶或通帶，故可作為一實用之微波帶通濾波器。而圖 6 所示之 H 形耦合負載，在不同之對應頻率即呈並聯共振(形同開路)或串聯共振(形同短路)，此即可使整體電路如前述產生通帶或禁帶。此外，由於本設計之  $\lambda/8$  殘段直接饋入 H 形負載，可進一步減少介入損失。圖 8 所示為圖 6 電路之 S 參數模擬與實測結果，由圖可知兩者相當吻合。

在具漸變式雙週期 DGS 之 CPW 寬頻帶拒濾波器研究方面，本計畫探討了 DGS 之週期、外型與尺寸對傳播特性之影響，並應用來設計具漸變式雙週期(tapered double period) DGS 之 CPW 帶拒濾波器，以達到寬止帶之效果。週期性結構截止頻率發生在週期為半波長的整數倍時，利用此特性及 DGS 本身之諧振特性可用來設計寬止帶之帶拒濾波器。圖 9 為本計畫所提出之具有漸變式雙週期方形 DGS 的 CPW 帶拒濾波器，其止帶範圍設計在 4 ~ 10 GHz。雙週期 DGS 結構主要是利用兩個不同週期所產生的共振頻率特性重疊，以產生較寬的截止頻帶；而採用漸變式結

構則在獲得較佳之阻抗匹配以降低通帶漣波。在圖 9 之結構中我們使用指數式(exponential)分佈函數來做 DGS 之漸變式設計[25]，其設計公式為

$$e^{\frac{1}{n}} \dots e^{\frac{1}{2}} e^1 e^{\frac{1}{2}} \dots e^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

與單一週期均勻 DGS 外型結構者比較，具雙週期漸變式 DGS 結構之 CPW 帶拒濾波器不只止帶頻寬提昇，同時也可縮小電路尺寸。圖 10 所示為圖 9 之實作結果，由圖可知其 -20 dB 止帶範圍確實在 4 ~ 10 GHz 間。

本報告最後探討由四個步階式開路殘段(或稱為兩個耦合之上開 U-型非對稱  $\lambda/2$ -type SIRs)構成之微帶線帶通濾波器，其結構如圖 11 所示。此電路設計主要為調整步階式阻抗共振器(SIR)之阻抗比(impedance ratio)，使共振器的第二、第三階諧波的諧振頻率往更高頻偏移(即高於通帶中心頻率的兩倍與三倍)，以改善高頻截止帶的特性。圖 12 為圖 11 電路之 S 參數模擬與實測結果，由圖可知其止帶頻寬約可達 5 GHz。

#### 4. 成果自評

雖然在本精簡報告中，限於篇幅我們僅示出代表性之成果，然本研究在原計畫書中所規劃之研究項目皆已大致完成。本研究之成果可作為設計新型微帶線及共面波導帶通與帶拒濾波器之有用參考。本計畫之成果共發表了二篇期刊論文及數篇研討會論文。本報告中擇要列出發表之期刊論文如下：

1. Ching-Her Lee and Chi-Cheng Huang, "New compact microstrip bandpass filter using triangular open-loop resonator and folded-line DGS," *Microwave and Optical Technology Lett.*, vol. 48, no. 1, pp.43-47, Jan. 2006. (SCI Expanded, EI) (NSC 94-2213-E-018-006)
2. Ching-Her Lee, Chung-I G. Hsu, and He-Kai Jhuang, "Design of a new bandpass filter using anti-Parallel coupled asymmetric SIRs," *IEICE Transactions on*

Electronics, vol. E89-C, no. 4, pp. 571-575, Apr. 2006. (SCI Expanded, EI) (NSC 94-2213-E-018 -006)

## References

- [1] E. G. CRISTAL, S. FRANKEL, "Hairpin-line and hybrid hairpin-line / half-wave parallel-coupled-line filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Nov. 1972.
- [2] R. Levy, R. V. Snyder, and G. Matthaei, "Design of microwave filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 3, pp. 783-793, Mar. 2002.
- [3] J. S. Hong and M. J. Lancaster. "Couplings of Microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filter," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp.2099-2108, Dec 1996.
- [4] C. C. Yu and K. Chang, "Novel compact elliptic-function narrow-band bandpass filters using microstrip open-loop resonator with coupled and crossing lines," *IEEE Trans, Microwave Theory Tech.*, vol.46, pp.952-958, July 1998.
- [5] J. R. Lee, J-H. Cho, and S.-W.S.-Won. Yun "New compact bandpass filter using microstrip  $\lambda/4$  resonators with open stub inverter," *IEEE Trans, Microwave Guided Wave Lett.*, vol.10, pp.526-572, Dec. 2000.
- [6] S. Y. Lee and C. M. Tsai, "New cross-coupled filter design using improved hairpin resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, no. 12, pp. 2482-2490, Feb. 2002.
- [7] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [8] J. I. Park, C. S. Kim, Y. Qian, D. Ahn, "Modeling of a photonic bandgap and its application for the low-pass filter design," 1999 Asia Pacific Microwave Conference, vol. 2, pp. 331-334, Dec. 1999.
- [9] J. S. Park, J. S. Yun, and D. Ahn, "A design of the novel coupled-line bandpass filter using defected ground structure with wide stopband performance," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 9, pp.2037-2043, Sept. 2002.
- [10] J. T. Kuo, S. P. Chen, and M. Jiang, "Parallel-coupled microstrip filters with over-coupled end stages for suppression of spurious responses," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.13, no.10, pp.440-442, Oct. 2003.
- [11] Riddle, A., "High performance Parallel Coupled Microstrip Filters," *IEEE Int. Microwave Symp. Digest*, 1998, pp.427-430
- [12] T. Lopetegi, M. A. G. Laso, J. Hernanedez, M. Bacaicoa, D. Benito, M. J. Garde, M. Sorolla and M. Guglielmi, "New Microstrip "wiggly-Line" Filters With Spurious Passband Suppression," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.49, no.9, pp. 1593-1598, Sept. 2001.
- [13] M. Makimoto and S. Yamashita, "Bandpass filters Using Parallel-Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.28, pp. 1413-1417, Dec. 1980.

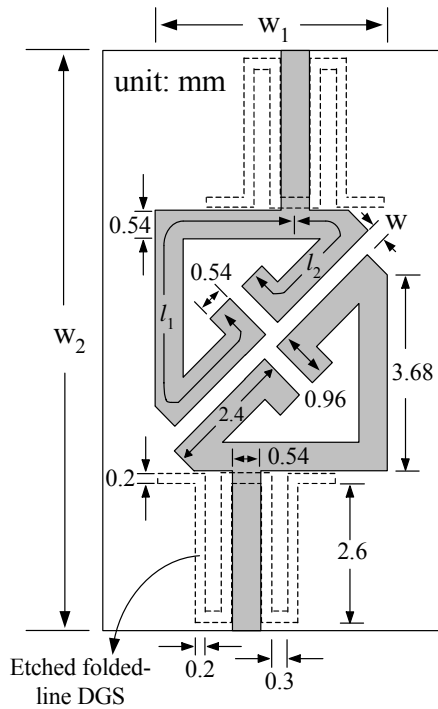


圖 1、5 GHz 具折線型 DGS 之三角形開迴路共振器微帶線帶通濾波器。

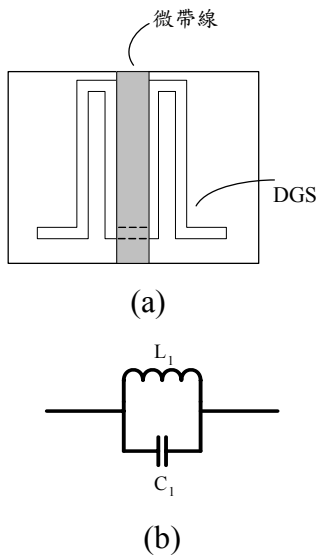


圖 2、(a) 折線型 DGS 結構圖，(b) 等效電路。

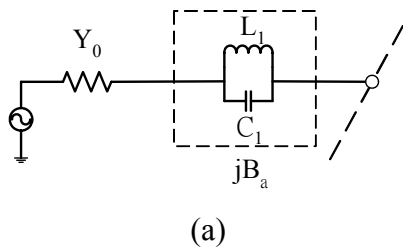


圖 3、(a) Folded-line DGS 等效電路，(b) Butterworth-type 低通模型電路。

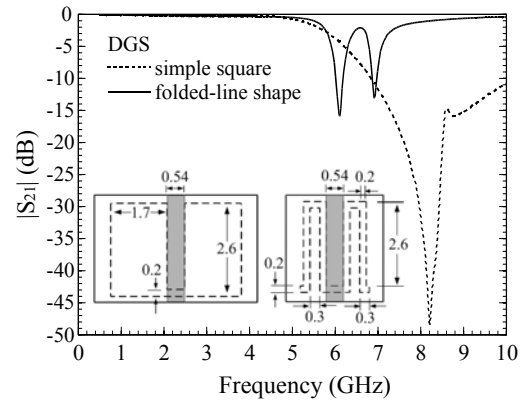


圖 4、具折線型與簡單方形 DGS 之微帶線帶拒濾波器特性比較。使用之微波基板為 RT/Duroid 6010 (thickness = 25 mils,  $\epsilon_r = 10.2$ )。

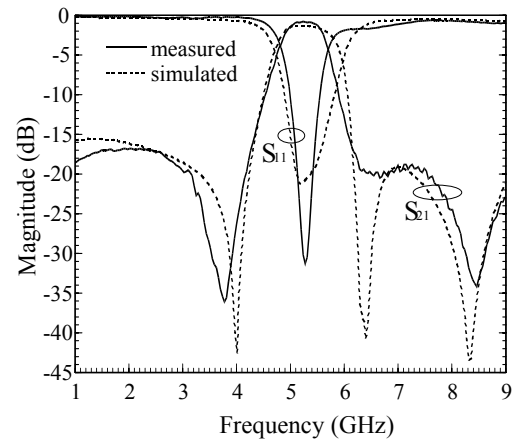


圖 5、圖 1 微帶線帶通濾波器之 S 參數模擬與實測結果。

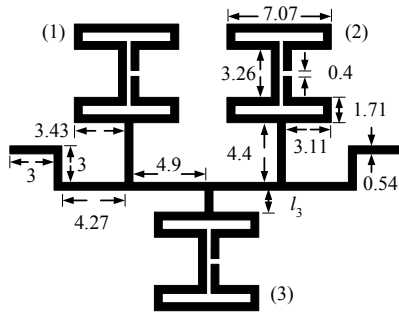


圖 6、於兩側加有緩波 H 型共振器之微帶線帶通濾波器。

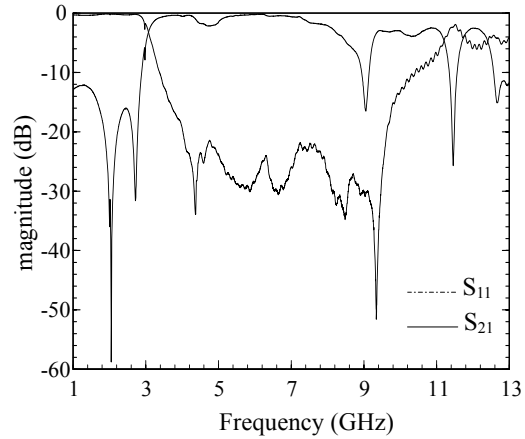


圖 10、具雙週期漸變式方形 DGS 之 CPW 帶通濾波器實作結果。

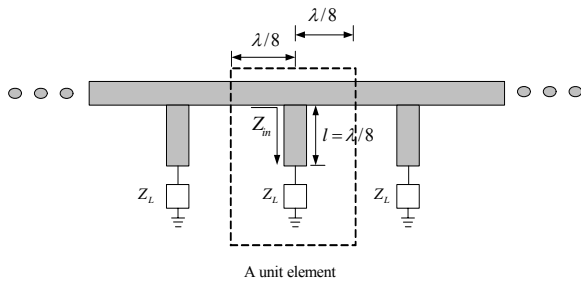


圖 7、具負載緩波結構之週期性微帶線。

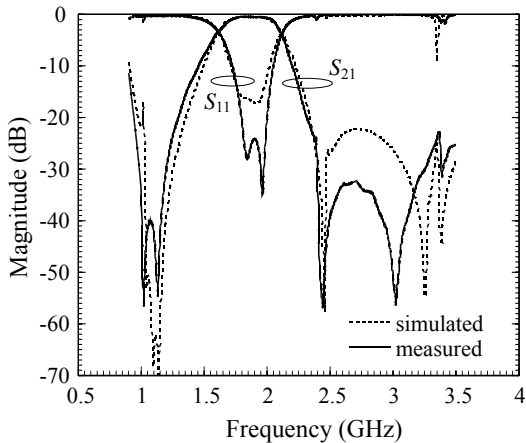


圖 8、圖 6 電路之 S 參數模擬與實測結果。

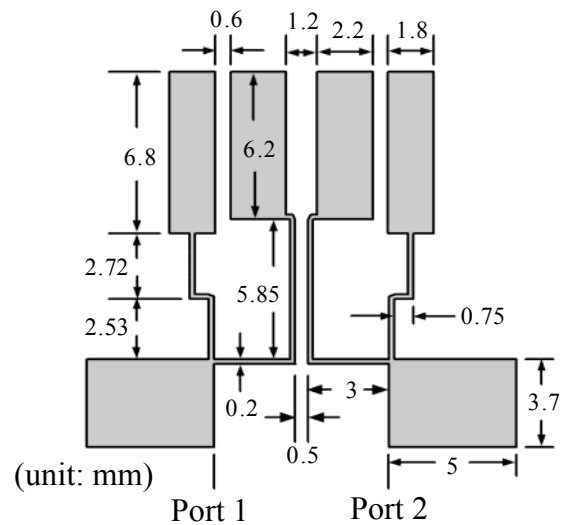


圖 11、由四個步階式開路殘段(或稱為兩個耦合之上開 U 型非對稱  $\lambda/2$ -type SIRs)構成之微帶線帶通濾波器。

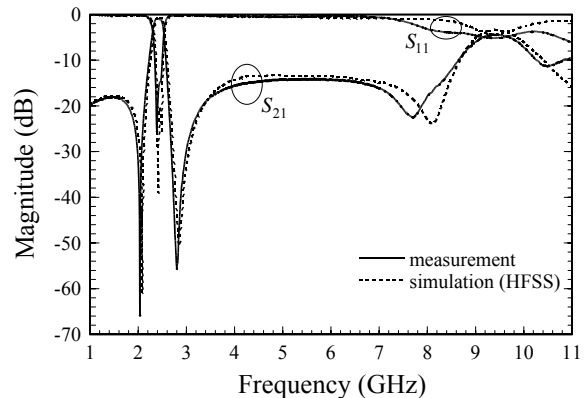


圖 12、圖 11 之 S 參數模擬與實測結果。

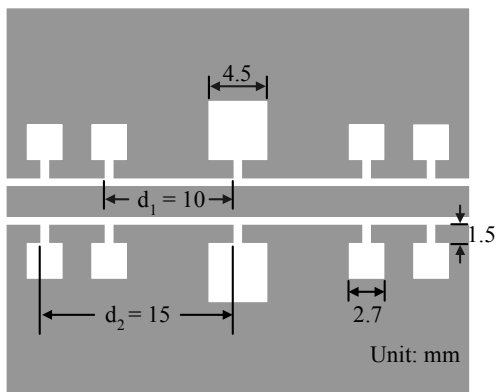


圖 9、具雙週期漸變式方形 DGS 之 CPW 帶通濾波器。



可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：95年10月31日

<p><b>國科會補助計畫</b></p>	<p>計畫名稱：具 DGS 之新型微小化微帶線與共平面波導微波濾波器之設計與製作                  計畫主持人：李清和                  計畫編號：NSC 94-2213-E-018-006 學門領域：電信學們</p>
<p><b>技術/創作名稱</b></p>	<p>Design of a New Bandpass Filter using Anti-Parallel Coupled Asymmetric SIRs</p>
<p><b>發明人/創作人</b></p>	<p>李清和</p>
<p><b>技術說明</b></p>	<p>中文：本計畫所設計之由四個步階式開路殘段(或稱為兩個耦合之上開 U-型非對稱 <math>\lambda/2</math>-type SIRs)構成之微帶線帶通濾波器，採用非對稱式之 SIR，故其兩個零點位置可有較大之設計彈性，此與過去常用之 <math>0^\circ</math> 饋入對稱式 SIR 設計方式不同，在電路設計概念上算是一種創新。</p>
	<p>英文：</p>
<p><b>可利用之產業及可開發之產品</b></p>	<p>可應用於無線通訊系統前端模組之濾波器設計。</p>
<p><b>技術特點</b></p>	
<p><b>推廣及運用的價值</b></p>	

※ 1.每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2.本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

3.本表若不敷使用，請自行影印使用