

## Coupling Structures in Comblne Resonators

Byungwook Kim and Young-Soo Kim  
 Dept. of EE., POSTECH, Pohang, Korea.  
 E-mail: david@postech.ac.kr

### Abstract

Three types of the coupling structures in comblne resonators are presented: magnetic, electric, and mixed coupling structures. The magnetic coupling structure is provided by the window, and the electric coupling is provided by the electric probe. The mixed coupling structure which is the superposition of the magnetic and electric coupling structures, is proposed for the electric coupling in comblne resonators with easy tuning capability. The responses of each coupling structure are shown. A 4-pole comblne filter is designed and fabricated as an application of those coupling structures, and shows good filter responses.

*Key word: coupling structure, mixed coupling, comblne resonator, filter.*

### 1. INTRODUCTION

일반적으로 여파기 설계에 있어서 물리적인 크기는 공진기의 형태와 결합구조에 의해 결정된다. 여파기의 크기를 줄이기 위해 comblne 형태의 공진기를 많이 사용한다. 공진기 형태가 결정되면 여파기의 전달특성을 만족하기 위한 각 공진기 간의 결합을 결정하는 결합구조에 대한 설계가 이루어져야 한다. 결합구조는 공진기의 형태에 의존하게 되고, 실제 구현 전에 원하는 결합량을 만족할 수 있는 구조에 대한 확인이 필요하다. 하지만, comblne 공진기를 이용한 여파기의 경우, 일반적으로 주된 결합구조는 결합창에 의한 자계결합 구조로 구현되고, 저지대역에서 전달영점을 구현하기 위한 비인접 공진기 간의 결합은 프로브에 의한 전계결합 구조로 구현된다. 결합창에 의한 자계결합의 경우 구현이 용이한 반면, 프로브에 의한 전계결합은 구현 및 tuning 에 있어서 자계결합에 비하여 쉽지 않다.

구현 및 tuning 을 용이하게 하기 위한 목적으로, 마이크로스트립 여파기에서 언급된 복합결합 (mixed coupling) 개념 [1,2] 을 이용하여 comblne 공진기 내에서 전계결합을 구현하는 복합결합 구조를 제안하고 이것의 전달특성 및 여파기에 적용한 결과를 제시한다. 4단 comblne 여파기에서 전달영점을 구현하기 위해 비인접 공진기 간의 전계결합을 제안한 복합결합 구조로 구현하였고 설계치와 잘 일치하는 측정결과를 얻었다.

### 2. COUPLING COEFFICIENT OF TWO RESONATORS

그림 1 에서와 같이 표현된 두 개의 공진기 간의 결합계수는 식 1 과 같이 표현할 수 있다 [3].

식 1 과 같은 방법으로 결합계수를 구하는 것은 공진기 내부의 정확한 필드값을 필요로 하고, 이를 이용한 적분식을 계산해야 하는 아주 복잡한

방법이다. 하지만, 이를 등가의 회로로 변환하여 공진주파수를 이용한 식 2 와 같이 나타낼 수 있다.

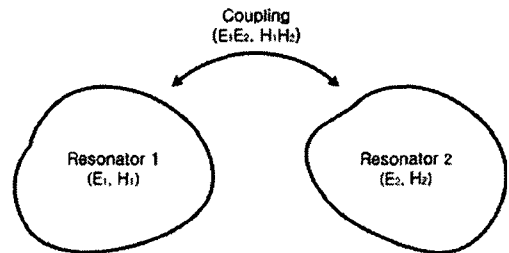


Figure 1. General coupled microwave resonators.

$$k = \frac{\iiint \mu H_1 \cdot H_2 dv}{\sqrt{\iiint \mu |H_1|^2 dv} \times \sqrt{\iiint \mu |H_2|^2 dv}} + \frac{\iiint \epsilon E_1 \cdot E_2 dv}{\sqrt{\iiint \epsilon |E_1|^2 dv} \times \sqrt{\iiint \epsilon |E_2|^2 dv}} \quad (1)$$

식 2 의 우변의 마지막 항은 동일한 형태의 두 개의 공진기 사이의 결합일 경우의 결합계수를 나타내는 식이 된다. 즉, 동일한 공진기 사이의 물리적인 대칭면에 PEC (perfect electric conductor) 와 PMC (perfect magnetic conductor) 가 형성될 경우의 공진주파수로 결합계수를 표현할 수 있다.

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_1 L_2}} \text{ or } \frac{C_m}{\sqrt{C_1 C_2}} = \pm \frac{f_{z1}^2 - f_{z2}^2}{f_{z1}^2 + f_{z2}^2} = \frac{f_e^2 - f_m^2}{f_e^2 + f_m^2} \quad (2)$$

여기서  $f_{z1}$  과  $f_{z2}$  는 각각 두 공진기에 입력 임피던스의 영점을 나타내는 주파수 있고,  $f_e$  와  $f_m$  은 동일 공진기 결합에서 물리적인 대칭면에 각각 PEC 와 PMC 를 형성했을 때 공진기의 공진주파수이다.

### 3. COUPLING STRUCTURES

#### 3.1 Magnetic coupling structure

그림 2 에서 두 개의 동일한 combine 공진기 사이의 결합창에 의한 자계결합 구조를 보이고, 그림 3 에서 이의 등가회로를 제시한다. 결합계수는 식 2 의 인덕턴스로 이루어진 식과 같이 표현된다.

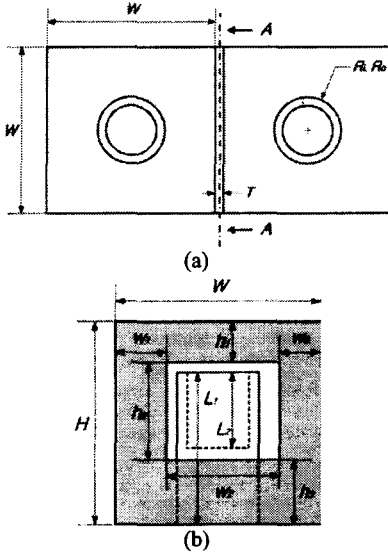


Figure 2 Configuration of two coupled identical combine resonators: (a) top view of the coupling structure and (b) cross section (AA). Dimensions (in mm):  $W = 37$ ,  $H = 40$ ,  $T = 2$ ,  $R_o = 8$ ,  $R_i = 6$ ,  $L_1 = 30$ , and  $L_2 = 15$ .

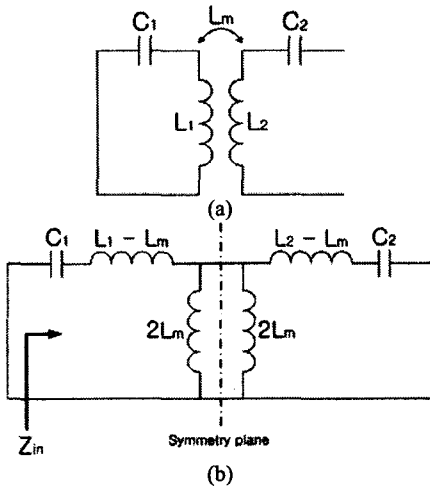


Figure 3. Equivalent circuit model of the magnetic coupling: (a) coupled resonant circuit and (b) its equivalent circuit, where the symmetry plane is valid when the resonators are identical.

일반적으로 결합창에 의한 자계결합의 경우 결합창의 크기에 비례하여 결합계수가 증가하고, 이를 고주파 해석과 실측을 통해 그림 4 와 같이 확인할 수 있다. 그림 4 에서 보듯이 결합창의 높이는 공진기의 높이와 같이 설정하고 결합창의 폭을 공진기의 중간에서 좌우 동일하게 확장할 경우 결합계수가 폭에 비례하여 증가함을 보인다. 그리고 고주파 해석과 실측결과가 잘 일치함도 알 수 있다.

측정한 자계결합의 전달특성은 그림 5 의 결과와 같다.

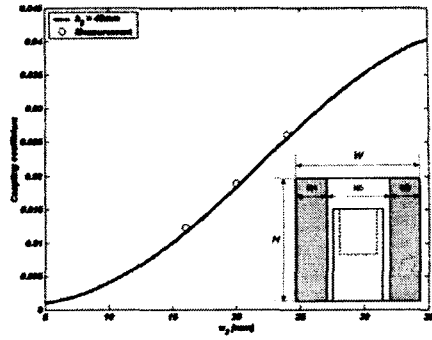
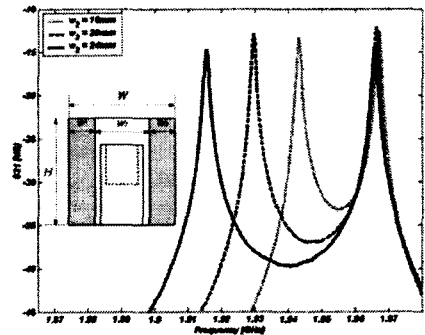
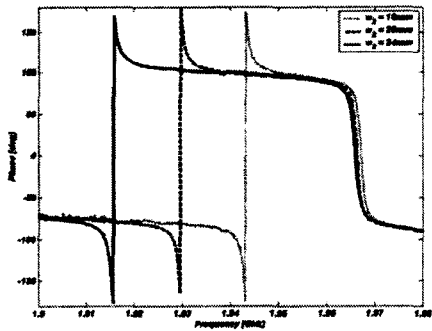


Figure 4. Magnetic coupling of two coupled identical combine resonators with the coupling window at the center of the wall, where  $w_1 = w_3$ ,  $h_1 = h_3 = 0\text{mm}$ , and  $h_2 = 40\text{mm}$ .



(a)



(b)

Figure 5. Measured transmission responses of the magnetic coupling of two coupled identical combine resonators with the coupling window at the center of the wall: (a) magnitude responses and (b) phase responses, where  $w_1 = w_3$ ,  $h_1 = h_3 = 0\text{mm}$ , and  $h_2 = 40\text{mm}$ .

#### 3.2 Electric coupling structure

자계결합과 비슷하게 전계결합의 구조는 그림 6 과 같다. 등가회로는 그림 3 에서 보인 자계결합 구조에서 결합인덕터와 공진기 자신의 인덕터를 각각 결합커패시터와 공진기 자신의 커패시터로 대체하면 같은 형태의 등가회로를 구성하게 되고 여기서는 생략한다. 결합계수는 식 2 에서 커패시턴스로 이루어진 것으로 주어진다.

그림 7 에서 프로브 크기의 변화에 따른 전계결합계수의 변화를 보였다. 전계결합의 경우 프로브의 반지름과 길이에 비례하여 결합계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 전계결합의 측정결과는 그림 8 과 같다.

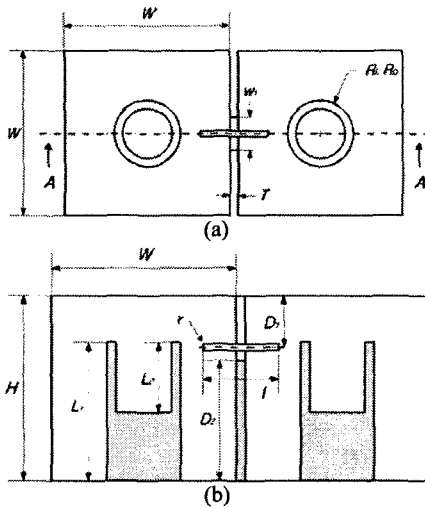


Figure 6. Configuration of the electric coupling in two coupled identical combline resonators: (a) top view of the coupling structure and (b) cross section (AA). Dimensions (in mm):  $W = 37, H = 40, T = 2, Ro = 8, Ri = 6, w_1 = 4.1, L_1 = 30, L_2 = 15, D_1 = 10,$  and  $D_2 = 27.95$ .

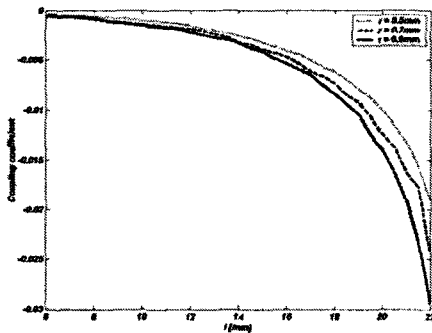
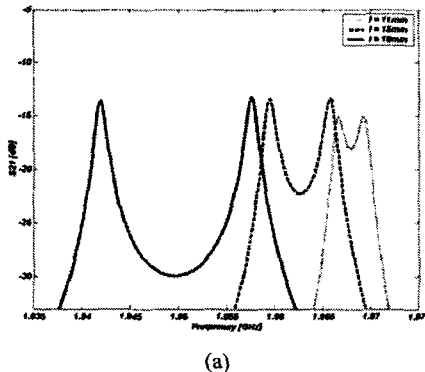
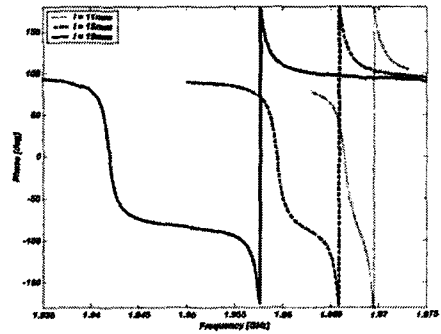


Figure 7. Coupling coefficient of the electric coupling probe in two identical combline resonators.



(a)

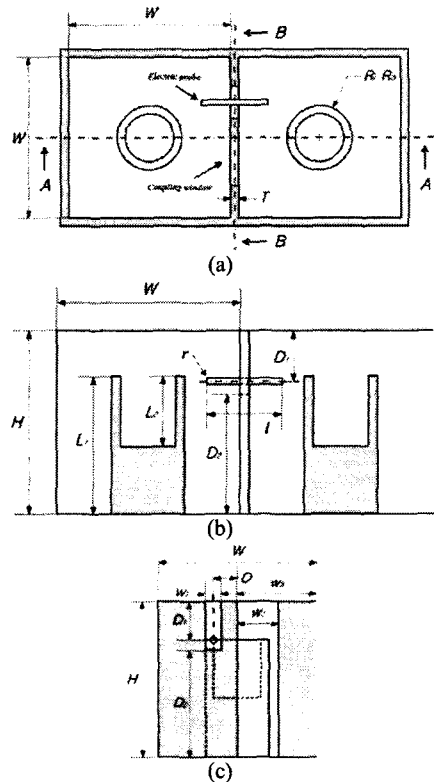


(b)

Figure 8. Measured transmission responses of the electric coupling of two coupled identical combline resonators: (a) magnitude responses and (b) phase responses, where  $r = 0.65mm$ .

### 3.3 Mixed coupling structure

프로브로 구현한 전계결합의 제작 후 tuning 을 쉽게 하기 위한 목적으로 자계결합과 전계결합의 중첩으로 구성된 복합결합 구조는 그림 9 와 같다. 그림 9 의 구조는 그림 10 의 등가회로와 같이 변환할 수 있다. 결합계수는 등가회로의 자계결합과 전계결합 소자값을 이용한 식 3 과 같이 나타낼 수 있다.



(c)

Figure 9. Configuration of the mixed coupling in two identical combline resonators: (a) top view of the coupling structure, (b) cross section (AA), and (c) cross section (BB). Dimensions (in mm):  $W = 37, H = 40, T = 2, Ro = 8, Ri = 6, w_1 = 4.1, w_3 = 18.5, L_1 = 30, L_2 = 15, D_1 = 10,$  and  $D_2 = 27.95$ .

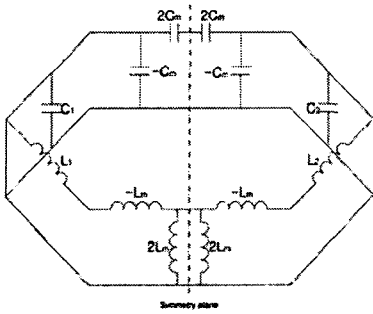


Figure 10. Equivalent circuit model of the mixed coupling, where the symmetry plane is valid when the resonators are identical.

$$k_{mix} = \frac{f_e^2 - f_m^2}{f_e^2 + f_m^2} = \frac{L_m C - L C_m}{LC - L_m C_m} \quad (3)$$

$LC \gg L_m C_m$  와 같이 가정할 경우, 식 3 은 다음 과 같이 근사화 할 수 있다.

$$k_{mix} \approx \frac{L_m}{L} - \frac{C_m}{C} = k_m + k_e \quad (4)$$

여기서  $k_m$  과  $k_e$  는 각각 자계결합과 전계결합 계수를 나타낸다.

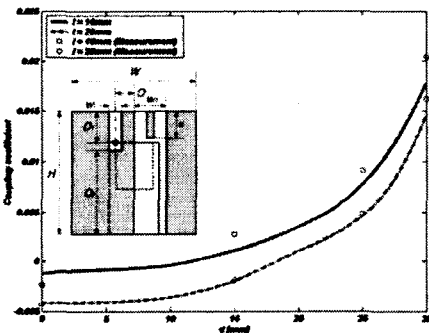


Figure 11. Mixed coupling in two identical combline resonators against the tuning screw depth (radius = 1.5mm) with a fixed window width. Dimensions (in mm):  $W = 37$ ,  $H = 40$ ,  $w_1 = 4.1$ ,  $w_2 = 8$ ,  $D_1 = 10$ ,  $D_2 = 27.95$ ,  $O = 6$ , and  $r = 0.65$ .

식 4 에서 보듯이 자계결합과 전계결합의 양에 따라서 전체 결합계수가 결정되기 때문에 복합결합 구조를 이용해서 자계 및 전계결합을 모두 구현할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이 구조를 이용하여 전계결합의 구현에 있어서 용이성을 얻고자 함이 목적이다. 즉, 구현하고자 하는 전계결합을 만족하기 위해 실제 여파기 구현 후, 발생하는 여러가지 오차들에 의한 결합량의 구현오차를 tuning 이 용이한 자계결합량을 조정하여 전체 전계결합량을 조정하게 된다. 자계결합량은 결합창에 삽입하는 tuning screw 의 삽입 깊이에 의해서 쉽게 조정되고 전체 복합결합량 또한 같이 조정된다. 이러한 복합결합 구조에 의한 결합의 변화는 그림 11 과 같다.

#### 4. DESIGN EXAMPLE USING MIXED COUPLING STRUCTURE

앞서 살펴본 결합구조들을 이용한 generalized Chebyshev 함수 4단 combline 대역통과 여파기를 제작하였다. 통과대역 내에서 반사손실을 25 dB 로 낮고 정규화한 주파수  $\pm 2.5$  에서 전달영점을 갖는 전달함수를 만족하는 여파기의 결합행렬과 입출력 정규화 저항값은 다음과 같다.

$$[M] = \begin{bmatrix} 0 & 1.003 & 0 & -0.1481 \\ 1.003 & 0 & 0.8208 & 0 \\ 0 & 0.8208 & 0 & 1.003 \\ -0.1481 & 0 & 1.003 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_I = R_N = 1.2986 \quad (6)$$

식 5 와 6 의 결과를 중심주파수 1.855 GHz, 대역폭 30 MHz 의 대역통과 여파기에 맞게 변환하여 여파기를 그림 12 와 같은 구조로 구현하였다. 여파기에 사용된 결합구조의 주요 크기는 표 1 과 같다. 응답특성은 그림 13 과 같다.

Table 1. Dimensions of the coupling structures (in mm).

Coupling window		Electric probe		Resonator	
$m_{12}, m_{14}$	$w_2 = 16.0$	Offset(O)	6.0	A	37.0
$m_{23}$	$w_2 = 16.0$	Length(l)	20.0	T	2.0
$m_{14}$	$w_2 = 8.0$	Depth(d)	10.0	$R_i, R_o$	8.0, 6.0

그림 13 의 결과에서 보듯이 이론치와 제작한 결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있고, 이를 통해 복합결합 구조가 전계결합 목적으로 여파기에서 사용될 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 5. CONCLUSION

본 논문에서는 combline 공진기 내에서 구현할 수 있는 결합구조에 대해서 살펴보았고, 여파기의 저지대역에서 전달영점을 구현하기 위한 전계결합을 구현하기 위한 프로브와 결합창을 동시에 이용한 복합결합 구조를 제안하였다. 그리고 이를 실제 여파기 제작에 적용하였다. 여파기 제작 결과를 통해 제안한 복합결합 구조의 전계결합 구조로의 사용에 대한 타당성을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

본 논문의 연구는 국방과학연구소와 BK21 사업의 지원을 받아 수행되었음.

#### REFERENCES

- [1] J.S. Hong and M.J. Lancaster, "Bandpass characteristics of new dual-mode microstrip square loop resonators," *Elec. Letters*, vol. 31, pp. 891-892, 1995.
- [2] K.S.K. Yeo, M.J. Lancaster, and J.S. Hong, "The design of microstrip six-pole quasi-elliptic filter with linear phased response using extracted-pole

technique," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-49, no. 2, pp. 321-327, Feb. 2001.

- [3] J. S. Hong, "Couplings of asynchronously tuned coupled microwave resonators," *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, vol. 147, no. 5, pp. 354-358, Oct. 2000.

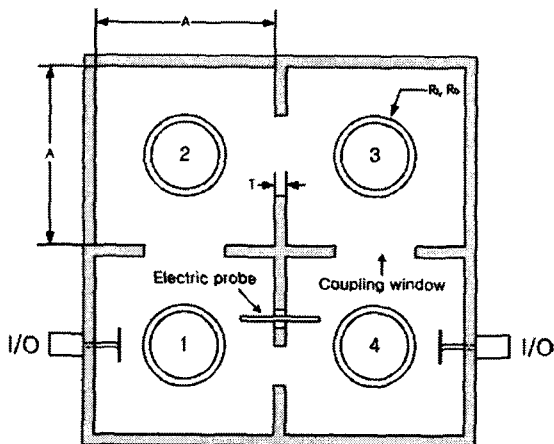
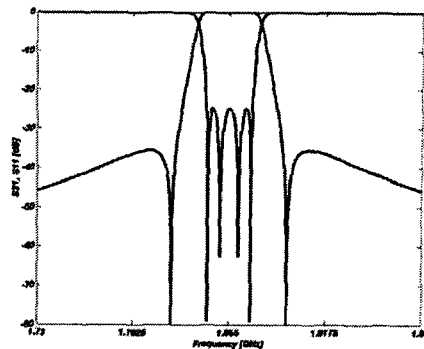
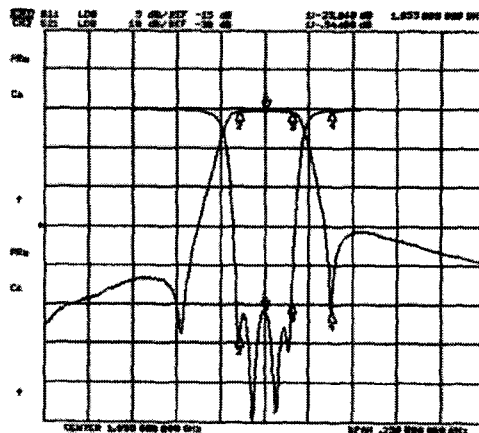


Figure 12. Schematic configuration of 4-pole cross-coupled combline filter.



(a)



(b)

Figure 13. Responses of the insertion and return losses: (a) ideal responses and (b) measured responses.