

## Hairpin 공진기를 이용한 무선 LAN용 RF필터에 관한 연구

오 태 성<sup>\*,</sup> 이 영 훈<sup>\*\*</sup>

호남대학교 전파공학과

전화 : (062) 940-5073 / 팩스 : (062) 940-5077

### A Study on the RF filter of Wireless LAN using Hairpin Resonator

T. S. Oho<sup>\*</sup>, Y. H. Lee<sup>\*\*</sup>

Dept. of Radio Comm. Honam Univ

E-mail : radio21@orgio.net, radiolee@honam.honam.ac.kr

#### Abstract

In this paper, a MIC(Microwave Integrated Circuit) bandpass filter for wireless LAN(local area network) band is designed using hairpin resonators. The coupling between the hairpin resonators in the filter can be implemented with Y-Tpye coupling or X-Tpye coupling instead of conventional coupling in order to reduce the filter size. The filter with miniaturized hairpin resonator using parallel coupling is smaller in size by 50% more than that of a general hairpin filter

#### I. 서론

최근 무선통신 기술 발달과 더불어 이용자의 수가 급증함에 따라 무선통신 시스템에 필요조건으로 초소형, 고성능, 저비용 등이 요구되고 있다. 이러한 요구 조건들은 MIC(Microwave Integrated Circuit), MMIC(monolithic microwave intergrated circuit) 등에 기술발달로 가능하게 되었으며, 특히 집적화와 제작이 용이한 마이크로스트립선로를 이용한 능동소자 및 수동소자의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

RF 통신 시스템에 사용되는 소자 중에 하나인 필터는 시스템에 성능을 좌우하는 중요한 핵심 소자라 할 수 있으며, 필터에 주요 파라미터로는 소형화, 적은 삽입손실, 통과대역에서의 선형적인 위상특성, 평탄한 군 지연 속도 등을 갖추고 있어야 한다. 이러한 요구 사항들을 만족하기 위한 효과적인 방법으로 Hairpin 공진기를 이용한 RF 필터가 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 마이크로스트립 선로를 이용한 RF 필터를 구현하는데 있어 소형화를 이루기 위한

요소들을 수치해석하였으며, 소형화된 Hairpin 공진기의 두께 선로폭 주파수 변화에 의하여 공진기의 특성을 분석하며, 이들의 결과를 바탕으로 무선 LAN용 RF 대역통과 필터를 설계 제작하여 실험을 통해 고찰하였다.

#### II. Hairpin 공진기 및 결합구조해석

Hairpin 공진기는 마이크로스트립 선로에서 길이가 반 파장이므로 소형화에 있어 많이 이용되고 있으며, 그림 1은 Hairpin 형태의 소형화에 따른 구조적인 변화를 나타내고 있으며, 그림 1(c)은 소형화된 Hairpin 공진기로서 결합에 따라 공진 길이를 결정하게 된다. 이러한 형태는 단일 Hairpin 공진기의 실제길이에 30% 이상 감소시킬 수 있다.

그림 1은 일반적인 Hairpin 공진기에서 소형화를 나타내기 위해 변화되는 구조적인 형태를 보이고 있다. Hairpin 공진기는 반 파장 길이인데 비해 소형화된 형태의 Hairpin 공진기는 선로의 임피던스비( $Z_0/Z_s$ ), 결합도에 따라 실제길이가 결정된다.

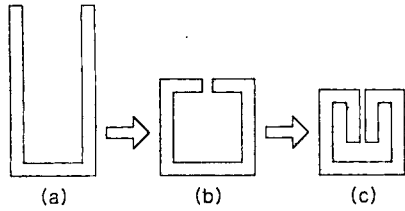


그림 1. 소형화된 Hairpin 공진기

그림 2에 병렬 결합선로와 전송선로로 등가모델링 할 수 있으며, 이로부터 전체 ABCD 행렬을 이용하여 공진조건 식(1)과 같이 유도된다.

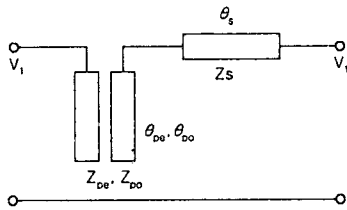


그림 2. 소형화된 Hairpin 공진기의 등가모델

$$(Z_{pe} \cdot Z_{po} \cdot \cot(\theta_p) - Z_s^2 \cdot \tan(\theta_p)) \cdot \sin(\theta_s) + Z_s(Z_{pe} + Z_{po}) \cdot \cos \theta_s - Z_s(Z_{pe} - Z_{po}) = 0 \quad (1)$$

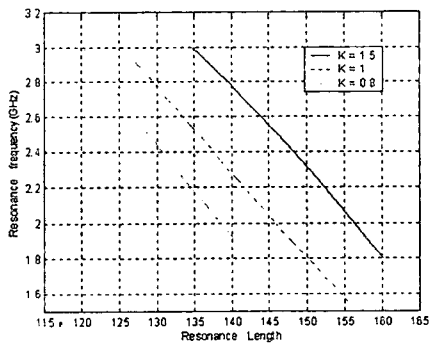


그림 3. 임피던스 비  $K(Z_p/Z_s)$  변화에 따른 공진길이

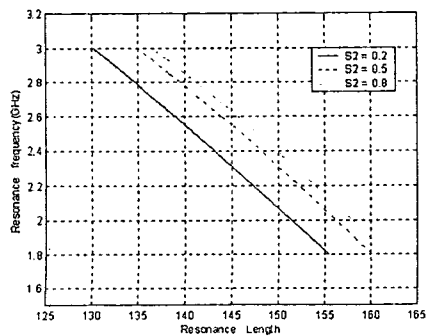


그림 4. 공진기의 간격 ( $S_2$ ) 변화에 따른 공진길이 변화

그림 3, 4는 유전율  $\epsilon_r=2.4$ , 유전체 두께  $h=0.4\text{mm}$ 에서 수치해석되었다. 임피던스 비  $K(Z_p/Z_s)$ 가 늘어날수록 공진 길이는 늘어나게 되고, 공진기의 간격( $S_2$ )이 작아지므로 전체 공진길이는 작아진다. 또 공진길이를 결정하는 유전율, 유전체 두께 등을 수치해석하므로 소형화된 Hairpin 공진기를 구현할 수 있다.

### III. 필터의 결합구조 해석

소형화된 Hairpin 공진기를 이용한 결합구조 형태는 그림 5와 같이 다양한 형태의 결합구조를 나타내며 이러한 결합구조에 변화에 따라 전자기적 결합구조로 구별할 수 있다.

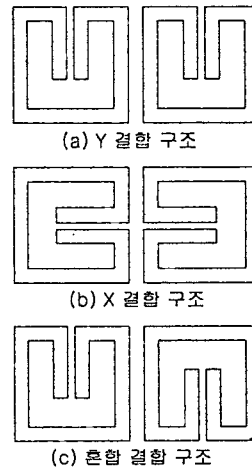


그림 5. 다양한 형태의 결합구조

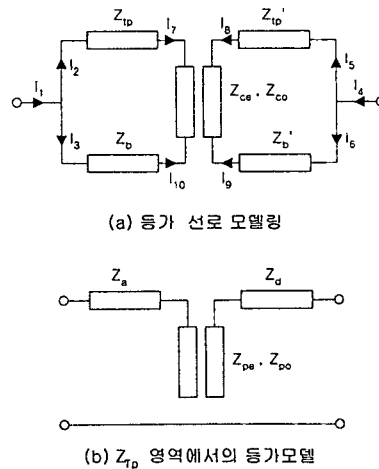


그림 6. Y결합 구조에 대한 공진기의 등가모델

본 논문에서는 이러한 구조변화에 따른 결합특성을 해석하였다.

그림 6(b)은 공진기 내의 결합영역으로 단일선로 등가 모델  $Z_{Tp}$ 로 나타낼 수 있으며, 이들 결합선로 영역에서의 전압전류 방정식은

$$V_2 = Z_{Tp11} I_2 - Z_{Tp12} I_7 \quad (2a)$$

$$V_7 = Z_{Tp21} I_2 - Z_{Tp22} I_7 \quad (2b)$$

$$V_3 = Z_{b11} I_3 - Z_{b12} I_{10} \quad (2c)$$

$$V_{10} = Z_{b21} I_3 - Z_{b22} I_{10}$$

$$V_5 = Z_{Tp11} I_5 - Z_{Tp12} I_8 \quad (2c)$$

$$V_8 = Z_{Tp21} I_5 - Z_{Tp22} I_8$$

$$V_6 = Z_{b11} I_6 - Z_{b12} I_9 \quad (2d)$$

$$V_9 = Z_{b21} I_6 - Z_{b22} I_9$$

$$V_7 = Z_{c11} I_7 + Z_{c12} I_8 + Z_{c13} I_9 + Z_{c14} I_{10} \quad (2e)$$

$$V_8 = Z_{c21} I_7 + Z_{c22} I_8 + Z_{c23} I_9 + Z_{c24} I_{10}$$

$$V_9 = Z_{c31} I_7 + Z_{c32} I_8 + Z_{c33} I_9 + Z_{c34} I_{10}$$

$$V_{10} = Z_{c41} I_7 + Z_{c42} I_8 + Z_{c43} I_9 + Z_{c44} I_{10}$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_4 = I_5 + I_6 \quad (2f)$$

$$V_1 = V_2 = V_3$$

$$V_4 = V_5 = V_6$$

이다.

전체 등가모델은 4 port 전압전류방정식과 4개의 2 port 방정식으로 해석된다. 이들 입·출력 전압 전류 방정식은 식(3)와 같이 2port 어드민턴스 행렬로 변환되어 해석할 수 있다.

$$I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_4 \quad (3)$$

$$I_4 = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_4$$

따라서 전자계 결합구조의 특성은 상기 결과를 이용하므로 쉽게 구현 할 수 있다.

#### IV. 수치해석 및 특성고찰

그림 5. 에서와 같이 다양한 결합구조 형태의 마이크로스트립선로를 이용하여 해석하였으며, 여기서 Y결합 구조 필터를 기준으로 수치해석 하였다.

본 연구에서는 필터특성을 변화시키는 요소들을 각각 수치해석하였고, 이에 따른 요소들로는 공진기의 임피던스 비  $K(Z_p/Z_s)$ 에 따른 변화,  $Z_{Tp}$ 의 결합영역에서의 간격변화, 공진기간의 결합영역에서

의 간격변화, 선로의 길이 변화 등에 대하여 수치해석 하였다.

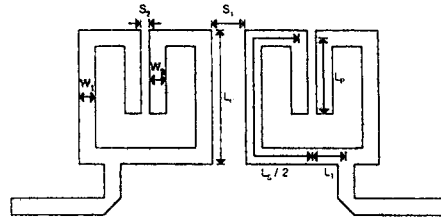


그림 7. 마이크로스트립 선로에 의한 Hairpin 필터구성

표 1. 마이크로스트립 Y-Type 필터의 규격 및 특성

$Z_s$ ( $W_1$ )	$Z_p$			$Z_c$ ( $S_1$ )	BW (MHz)	Fc (GHz)	Type
	$S_2$	$W_2$	$L_s$				
1.05	0.5	0.8	135	0.2	89	2.4	A1
1.05	0.2	0.8	130	0.2	100	2.4	A2
1.05	0.2	0.5	135	0.2	96	2.4	A3
1.05	0.5	0.5	144	0.2	44	2.4	A4
1.05	0.5	1.0	130	0.2	115	2.4	A5
1.05	0.2	0.8	135	0.2	92	2.333	A6
10.5	1.0	0.8	135	0.2	88	2.436	A7

표 1. 공진기의 구조에 대한 특성을 고찰한 것으로 Y 결합구조 경우 A1을 기준으로 공진기 폭( $W_2$ ), 공진기 결합영역에서의 간격( $S_2$ ) 등에 관하여 수치해석 하였다. 수치해석 결과 공진기의 임피던스 비  $K(Z_p/Z_s)$ 에 따라 대역폭 증가 또는 감소하는 특성을 보이며, 공진기 간격( $S_2$ ) 변화에 따라 주파수가 변화를 관찰 할 수 있다. 또  $Z_p$ 의 길이에 따라 민감한 공진 주파수 특성을 보이고 있다.

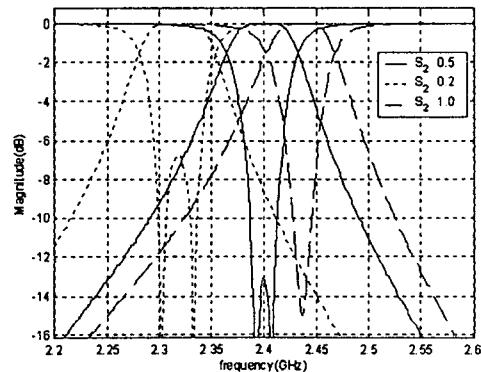


그림 8. 공진기 간격( $S_2$ ) 변화에 따른 주파수 특성

그림 8 은  $Z_s$ 의 선로 폭 1.05mm (50 $\Omega$ ), 공진기의 결합기의 간격  $S_2=0.5$ mm,  $Z_p$ 의 선로 폭  $W_2=0.8$ mm, 공진기간의 결합 간격은  $S_1=0.2$ mm일 때 공진주파수 2.4GHz, 대역폭 89MHz이다. 이 같이 A1을 기준으로 공진주파수, 대역폭, 결합계수 등에 변화를 수치해석하였다.

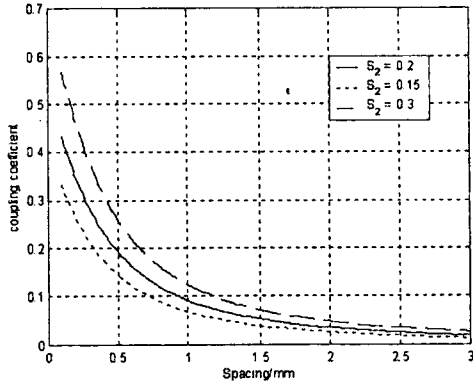


그림 9. 임피던스 비  $K (Z_p/Z_s)$ 에 따라 결합계수

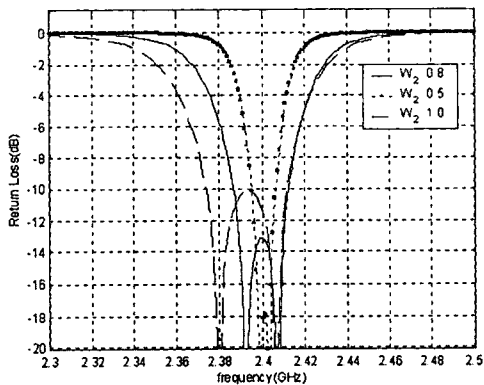


그림 10. 임피던스 비  $K (Z_p/Z_s)$ 에 따라 대역폭의 변화

그림 9는  $S_2$  변화에 따른  $S_1$ 의 간격에 따른 결합계수를 나타내고있으며, 그림 10는 공진기 폭의 변화에 대하여 반사손실 특성을 나타내고 있다. 폭의 변화에 따라 임피던스 비( $Z_p/Z_s$ )가 변화하므로 공진길이 변화하게 된다. 그러므로 2.4GHz에서 공진주파수를 얻기위해서는 표 1 Type A4, A5에서와 같이 공진길이( $L_s$ ), Tapping 길이 ( $L_T$ ) 조절되어야 한다.

공진기 폭  $W_2=0.8$ mm를 기준으로 0.5mm 1.0mm를 변화하였을 때 선로 폭이 줄어들수록 대역폭도 현저하게 감소하는 특성을 보이고 있다.

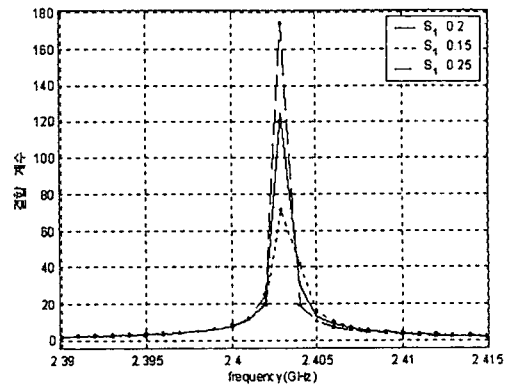


그림 11 공진기간의 간격( $S_1$ ) 변화에 대한 결합계수

그림 11은 공진기간의 간격변화를 주었을 때 공진 주파수와 무관하고 공진주파수 대역에서 결합계수만 변화함을 확인할 수 있다. 이는 결합계수가 높을수록 Q값이 증가하므로 삽입손실이 줄어들고, 날카로운 스킵트 특성을 보이나 대역폭이 상대적으로 감소하게되므로 온만한 완충 포인트를 찾아 설계 해야한다.

본 논문에서 수치해석의 결과를 볼 때 결합기의 구조적인 특성에 의해서 민감한 필터특성의 변화함을 확인하였다. 따라서 이들 결과를 바탕으로 무선 LAN용 RF 필터 설계에 적용할 수 있을 것이다.

### V. 실험 및 결과고찰

본 논문에서는 유전율  $E_r = 2.4$ , 유전체 두께,  $h = 0.4$ mm, Loss tangent  $\tan\delta = 0.0018$ 의 마이크로 스트립 기판을 이용하여 제작되었다.

표 2 마이크로스트립 Hairpin 필터의 실험결과

3dB Band Width (MHz) (이론치 - 실험치)			공진주파수( $f_0$ ) (GHz) (이론치 - 실험치)			삽입 손실 (dB)	반사 손실 (dB)	Type
The.	Exp.	Diff.	The.	Exp.	Diff.			
89	93	-4	2.4	2.378	0.022	1.838	15.2	A1
100	107	-7	2.4	2.354	0.046	1.735	19.3	A2
98	115	-17	2.4	2.313	0.087	1.8	12	A3

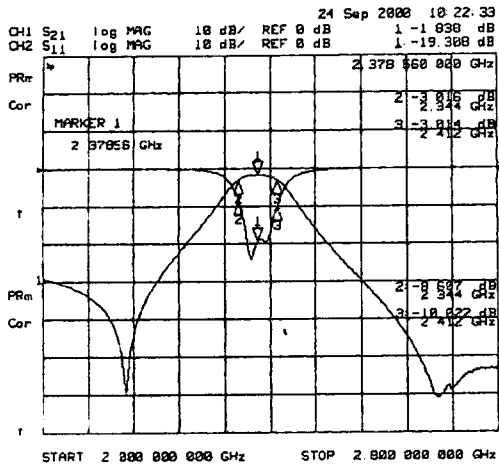


그림 12. 표 2의 A1의 주파수 특성

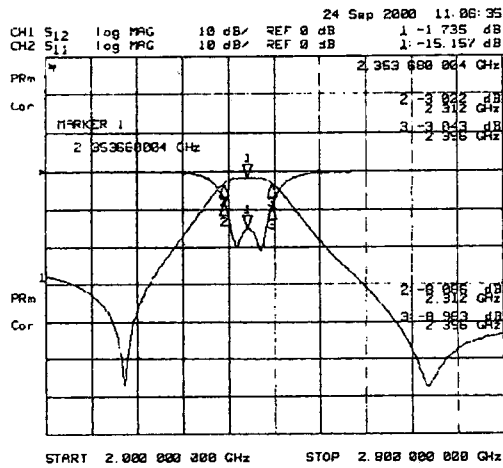


그림 13. 표 2의 A2의 주파수 특성

표 2는 수치해석 결과와 마이크로스트립 기판에 제작한 결과를 비교한 것으로 3dB 밴드 폭은 수치해석결과와 거의 유사한 특성을 보이고있으며, 공진주파수 역시 근사한 차를 보이고 있다. 이 같은 오차는 제작 상에 오차가 가장 큰 원인으로 분석되며, 측정 상에 오차와 같은 미소한 오차들에 의한 것으로 사료된다.

그림 12,13는 중심주파수 2.4GHz, span 0.8GHz에서  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ 의 특성을 제시하고 있다. 본 결과로부터 무선LAN용 RF 필터로 적용됨을 확인하였다.

## VI. 결론

본 논문에서는 소형화된 Hairpin 공진기를 이용한 무선 LAN용 RF 필터에 관하여 연구하였다. 수

치해석을 바탕으로 제작된 결과는 설계 치와 근사한 값을 보이며, 무선 LAN용에 적용됨을 확인할 수 있었다. 이 같은 수치해석 결과를 보면 공진기의 구조변화에 따라 대역폭, 공진주파수, 결합계수 등에 민감하게 변화하므로 이 같은 결과를 잘 조율함에 따라 무선 LAN용 뿐만 아니라 RF 시스템에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

향후 후속 연구로서는 높은 유전율에 마이크로스트립 선로를 이용하여 소형의 필터구현과 필터의 스킴 특성을 개선할 수 있는 결합구조에 대한 연구가 수행하여야한다.

## 참고문헌

- [1] M. Makimoto, M. Sagawa, K. Takahashi, "Miniaturized Hairpin Resonator Filters and Their Application to Receiver Front-End MIC's" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 37, NO.12, pp. 1991-1997. Dec. 1989.
- [2] M. Makimoto, and S. Yamashita, "Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripling Stepped Impedance Resonators" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-28, pp. 1413-1417. Dec. 1980.
- [3] U. H. GYSEL, "New Theory and Design for Hairpin-Line Filter" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-22, pp. 523-531. May. 1974.
- [4] E. M. T. JONES and J. T. BOLLJAHN, "Coupled Strip-Line Filter and Directional Couplers" IRE, pp. 75-81. April. 1956.
- [5] J. S. WONG, "Microstrip Tapped-Line Filter Design", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-27, pp. 44-50. Jan. 1979
- [6] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwave Filters", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 44, NO. 12, pp. 2099-2109. Dec. 1996.