

# 접지면에 어퍼쳐를 사용한 협대역 hairpin-comb 대역통과 여파기

이진택\*, 박정훈\*\*, 신철재\*

\*아주대학교 전자공학부, \*\*인천전문대학 통신학과

전화: (031) 219-2374 / 팩스: (031) 212-9531

## Narrowband Hairpin-comb Bandpass Filter Using Gound Aperture

Jin-Taek Lee\*, Jeong-Hoon Park\*\*, and Chull-Chai Shin\*

\*School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

\*\*Dept. of Communication, Incheon City College

E-mail : ljt1234@ajou.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 접지면에 어퍼쳐를 갖는 협대역 hairpin-comb 대역 통과 여파기를 제안하였다. Hairpin-comb 공진기는 두 공진기 사이의 간격이 매우 좁더라도 약한 커플링을 유지하는 특성이 있으므로 협대역 대역통과 여파기 제작시 여파기의 전체적인 크기를 작게 할수 있는 장점이 있다. 그러나 일반적인 마이크로 스트립에서는 공진기 사이가 최소한의 거리가 되더라도 커플링이 너무 미약하여 사용할수 없다. 그러므로 접지면의 어퍼쳐를 사용하여 약한 커플링을 보상함으로써 일반 마이크로 스트립에서도 협대역을 대역통과 여파기를 제작할수 있었다. 또한 공진기 사이의 거리 변환 없이 어퍼쳐의 크기에 의해서 커플링을 조절함으로써 전체 여파기의 크기를 고정시킨 상태에서 대역폭을 조절할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 중심 주파수가 1.78 GHz 이고 대역폭이 62MHz (3.5%)인 여파기를 제작하였다.

### I. 서론

대역 통과 여파기는 마이크로 웨이브 통신 시스템에서 필수적인 부품이다. 이 여파기는 일반적으로 RF 시스템 종단이나 증폭기, 혼합기 등에 사용된다. 최근 무선 통신과 이동통신의 급격한 성장은 부품의 크기, 성능에 있어서 새로운 기술에 대한 요구를 빠르게 증가시키고 있다. 여파기 구조에 있어서 크기는 매우 중요한 문제이다. 특히, 협대역 대역 통과 여파기에 있어서

이러한 문제는 기관의 유전율이 클때 기모드와 우모드의 파동속도의 차이가 커져 매우 중요한 문제를 유발하게 된다. 즉, 이러한 현상은 두 공진기 사이의 커플링을 커지게 하는 역할을 하게 되며 협대역을 얻기 위해서는 공진기 사이의 간격을 크게 띄어야 하며 결과적으로 여파기의 전체적인 크기를 커지게 하는 결과를 초래한다.[1-2] 그러므로 여파기의 전체적인 크기를 최소화하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔으며, hairpin-comb 여파기는 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안되었다.[3] 그러나 이 hairpin-comb 공진기는 두 공진기 사이의 간격이 매우 좁더라도 매우 약한 커플링을 가지게 되어 일반적인 마이크로 스트립에는 사용할수 없으며 최근의 많은 연구에서 초고온 전도체(High Temperature Superconductor)에 많이 응용 되었다.[4]

접지면에 어퍼쳐를 이용하여 대역폭을 확장하는 기법이 많은 논문에서 제안 되었다. 즉 커플되는 두 공진기 사이 하단의 접지면에 어퍼쳐를 적용하여 커플링을 강하게 함으로써 대역폭을 확장시키는 방법이 연구되어 졌다.[5-6] 그러므로 본 논문에서는 hairpin-comb 여파기의 접지면에 어퍼쳐를 적용함으로써 두 hairpin-comb 공진기의 약한 커플링을 보상하였다. 이렇게 함으로써 hairpin-comb 여파기를 일반적인 마이크로 스트립에서도 적용할 수 있었다. 접지면에 어퍼쳐를 갖는 hairpin-comb 여파기는 공진기 사이의 간격이 작아 전체적인 여파기의 크기를 작게 유지하면서 협대역을 얻을 수 있는 장점을 가졌다. 또한 어퍼쳐의 크기를 변화시켜 커플링을 조절함으로써 공진기 사이의 간격을 일정하게 고정하여 여파기의 전체적인 크기의 변화

없이 대역폭을 변화시킬수 있는 장점을 가졌다. 이러한 장점을 살리기 위해 hairpin-comb 공진기 사이의 간격을 일정하게 고정시켜놓고 접지면의 어퍼처를 조절하여 대역통과 여파기를 설계 하였다. 이때 여파기 설계를 위한 커플링계수 및 외부 Q 등의 파라미터들은 각 변수에 대하여 MoM에 기초한 EM 시뮬레이터인 IE3D를 이용해 계산하였다. 본 논문에서는 중심주파수가 1.78 GHz이고 대역폭이 62 MHz (3.5%)인 대역통과 여파기를 제작하였으며 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교함으로써 소형 협대역 여파기를 설계 가능함을 확인할 수 있었다.

## II. 접지면에 어퍼처를 사용한 hairpin-comb 대역통과 여파기 구조

Hairpin 공진기는 일반적인 공진기의 전체적인 길이( $\lambda/2$ )를 반으로 접었기 때문에 높이가 약  $\lambda/4$ 이며 많은 대역 통과 여파기 설계에 사용되었다. 그러나 hirpin 공진기로 협대역 대역통과 여파기를 만들기 위해서는 공진기 사이의 결합 크기를 작게하기 위하여 공진기 사이의 간격을 띄어야 하며 이런 현상은 여파기의 전체적인 크기를 크게 한다. 이러한 단점을 해결하기 위해 제안된 것이 콤팩트인 여파기를 응용한 hairpin-comb 공진기 이다. 그림 1은 접지면에 어퍼처를 사용한 hairpin-comb 공진기를 나타낸다. 기존의 hairpin-comb 여파기는 커플링이 약하여 실제로 일반적인 마이크로 스트립구조에서는 사용하기 힘들다. 그러므로 그림 1처럼 접지면에 어퍼처를 적용함으로써 약한 커플링을 보상하여 일반 마이크로 스트립에서도 적용 가능하게 하였다. 입력과 출력 포트는 협대역 대역통과 여파기에서 많이 사용되는 간접 커플링 방법을 적용하였다.[4]

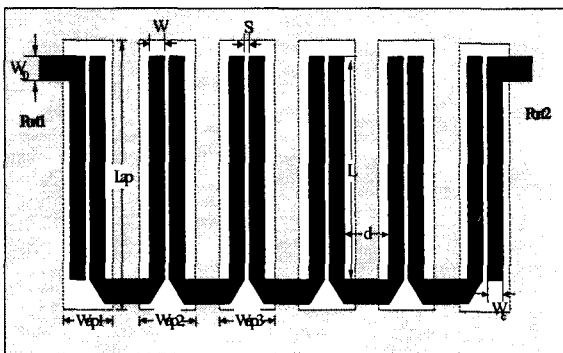


그림 1. 제안된 접지면에 어퍼처를 사용한 hairpin-comb 대역통과 여파기

## III. 제안된 대역통과 여파기의 특성

대역통과 여파기를 설계하는데 있어서 공진기 사이의 결합 계수 및 입출력단에서 여파기 와 급전선 사이의 결합 정도를 나타내는 공진기의 외부 Q를 알아내는 것은 매우 중요한 일이다. 이는 여파기를 구성하는 공진기의 구조와 그 배열이 점점 더 복잡할수록 등가 회로를 이용하여 여파기를 설계하는 것보다 공진기 사이의 결합 계수와 공진기의 외부 Q를 이용해서 여파기를 설계하는 것이 훨씬 효율적이기 때문이다.[7]

그러므로 대역통과 여파기에서 설계 변수는 입력과 출력 포트에 연결된 공진기의 외부 Q값과 각 공진기 사이의 결합 계수에 의해서 결정된다. 본 논문에는 비유전율  $\epsilon_r = 6.15$  mm이며, 두께  $h = 0.635$  mm인 기판을 이용하여 외부 Q값과 결합 계수를 계산하였다.

접지면에 어퍼처를 갖는 hairpin-comb 공진기의 외부 Q 값은 공진기와 신호 인가 포트와의 간격과 어퍼처의 크기에 의해서 변화된다. 그림 2는 어퍼처의 크기를 변화시키면서 신호 인가 포트와 공진기 사이의 거리에 따른 외부 Q를 구한 것이다. 이때 어퍼처의 크기에서 길이는  $L_{ap}=21$  mm로 고정하고 어퍼처의 폭  $W_{ap}$ 만을 변화시켰다. 이때 계산은 MoM에 기초한 EM 시뮬레이터인 IE3D를 이용하였다. 그림에서 보듯이 외부 Q값은 신호인가포트와 공진기 사이의 거리  $d$ 가 커질수록 증가하며, 접지면 어퍼처의 크기가 작아질수록 전체적인 외부 Q값이 커짐을 알수 있다. 이러한 현상은 거리  $d$ 가 멀어질수록 또한 어퍼처의 크기가 작아질수록 신호 인가포트에서 공진기로 신호를 인가할 때 더 많은 신호가 손실됨을 의미한다.

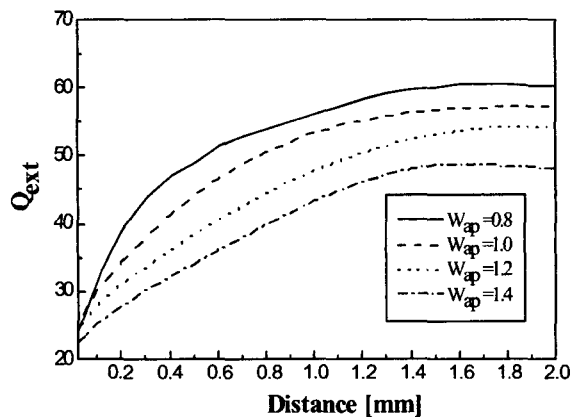


그림 2. 계산된 외부 Q값

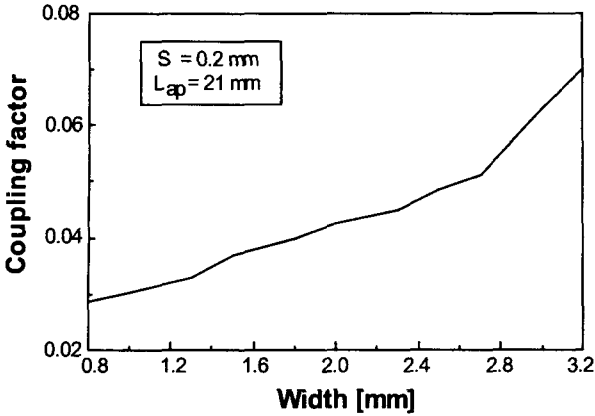


그림 3. 계산된 결합 계수

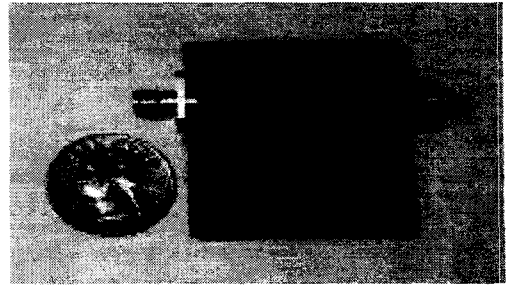
접지면에 어퍼처를 사용한 hairpin-comb 여파기는 공진기간의 간격뿐만 아니라 어퍼처의 크기에 의해서 결합 계수가 결정된다. 결합 계수를 구하기 위해 두 hairpin-comb 공진기를 간격(S)를 두고 배열하고 디커플링을 위한 캐패시터를 두 포트에 연결하였다. 어퍼처의 크기에 따른 커플링 계수의 변화를 알아보기 위하여 접지면 어퍼처의 길이는  $L_{ap}=21$  mm로 고정시켜놓고 어퍼처의 폭만을 변화시키면서 결합계수를 계산하였다. 이때 공진기의 간격 S를 고정시킨 이유는 공진기의 간격은 고정시킨 상태에서 어퍼처의 크기를 변화시켜 결합 크기를 조절하여 대역통과 여파기를 설계하기 위함이다. 그림 3은 어퍼처의 폭에 따른 결합 계수를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 어퍼처의 크기가 작아질수록 결합 계수가 감소한다. 즉 협대역 대역통과 여파기를 제작하기 위해서는 어퍼처의 크기를 작게 유지해야 함을 알 수 있다.

IV. 대역통과 여파기 설계 및 측정

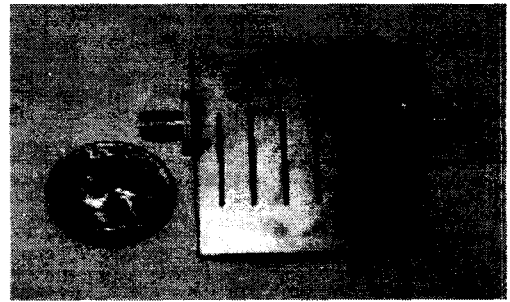
본 논문에서는 공진기간의 간격을 유지한 상태에서 어퍼처의 간격에 의해서 대역폭이 조절 가능함을 보이기 위해 두가지 경우의 대역통과 여파기를 설계하였다. 하나는 중심주파수가 1.78GHz이고 대역폭이 62 MHz (3.5%)인 대역통과 여파기이고 다른 하나는 중심주파수가 1.86GHz이고 대역폭이 180MHz (10%)인 대역통과 여파기이다.

표 1. 제안된 대역통과 여파기의 설계 변수

변 수	BW=3.5 %	BW=10 %	공 통
$W_{ap1}$	0.92	1.70	$L_{ap}=21.0, L=18.0$
$W_{ap2}$	1.10	1.80	$W_{50}=0.95, W_c=1.15,$
$W_{ap3}$	0.92	1.70	$W=0.9, S=0.2, d=4.0$



(a)



(b)

그림 4. 제작된 5 폴 대역 통과 여파기

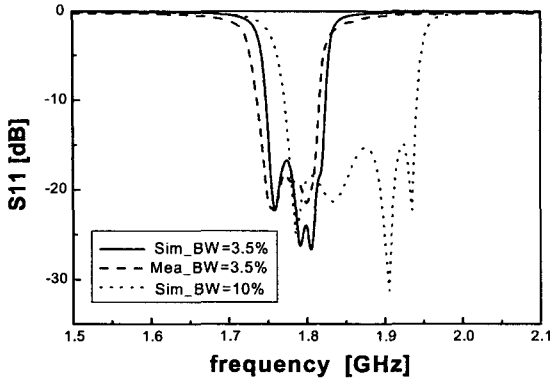
(a) 상면도 (b) 하면도

이때 공진기간의 거리와 어퍼처의 길이는 각각 0.2 mm와 21 mm로 두 가지 경우에 대하여 동일하게 고정하였다. 이때 앞에서 계산된 외부 Q값과 결합 계수에 기초하여 IE3D 시뮬레이터를 사용하여 몇 번의 시행착오를 거쳐 어퍼처의 폭을 계산하였다. 두가지 경우의 대역 통과 여파기에 대한 계산된 설계변수를 표. 1에 나타내었다. 표에서 알수있듯이 접지면의 어퍼처만을 변화시켜 대역폭을 변화시킬수 있었다.

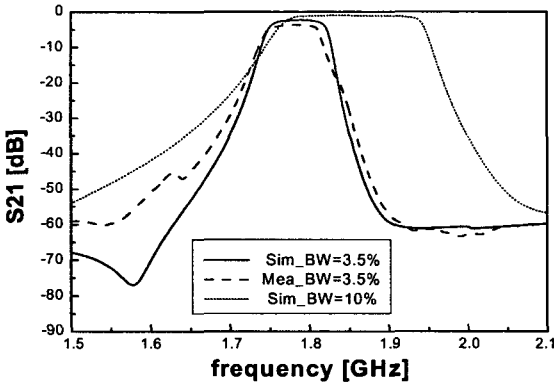
앞에서 설계된 여파기중 중심주파수가 1.78GHz이고 대역폭이 62 MHz (3.5%)인 대역통과 여파기를 비유전율  $\epsilon_r = 6.15$ 이며, 두께  $h = 0.635$  mm이고 접지면의 크기가  $40 \times 45$  mm<sup>2</sup>인 Duroid 기판에 제작하였으며 HP8510C network analyzer를 사용하여 측정하였다.

그림 5는 대역통과 여파기의 삽입손실 및 반사손실의 계산된 결과와 측정된 결과를 비교한 그래프이다. 그림에서 보여지듯이 중심주파수가 1.78GHz이고 대역폭이 62 MHz (3.5%)인 대역통과 여파기의 두 결과를 비교하면 거의 유사한 특성을 보임을 알 수 있다. 그러나 통과대역에서 삽입손실( $S_{21}$ )이 계산된 결과는 약 2dB 정도이나 측정된 결과는 약 3.7 dB로써 약 1.7 dB의 차이를 보였다. 또한 두 결과가 정확히 일치하지 않는 것은 제작 공정상에서 어퍼처의 위치가 공진기와 공진기가 결합되는 지점과 정확하게 일치하지 않아 발생한 오차로 사료된다.

참고문헌



(a)



(b)

그림 5. 대역통과 여파기의 삽입손실 및 반사손실의 계산된 결과와 측정된 결과,  
(a) 반사손실 (b) 삽입손실

V. 결론

접지면에 어퍼처를 사용한 협대역 hairpin-comb 대역 통과 여파기가 제안 되었다. Hairpin-comb 공진기의 약한 커플링을 이용하여 전체적인 여파기의 크기를 작게 하였으며 접지면의 어퍼처에 의해서 hairpin-comb 공진기의 약한 커플링을 보상함으로써 협대역 대역통과 여파기를 설계할 수 있었다. 중심 주파수 1.78GHz 이고 대역폭이 62 MHz(3.5%)인 5폴 대역통과 여파기를 제작하여 계산된 결과와 비교적 잘 일치함을 알수 있었다. 본 논문에서 제안된 접지면에 어퍼처를 갖는 협대역 hairpin-comb 대역 통과 여파기는 전체적인 여파기 크기의 변화없이 어퍼처의 폭을 조절함으로써 대역폭을 조절할 수 있는 장점이 있을뿐만 아니라 hairpin-comb 공진기를 이용하므로써 공진기 사이의 간격을 작게 유지함으로써 전체적인 여파기의 크기를 소형화 할 수 있는 장점을 가진다.

[1] G. L. Matthai and G. L. Hey-Shipton, "Concerning the use of high temperature super conductivity in planar microwave filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, pp. 1287-1293, July. 1994.

[2] M. Sagawa, K. Takahashi and M. Makimoto, "Miniaturized Hairpin Resonator Filters and Their Application to Receiver Front-End MIC's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, no. 12, pp. 1991-1997, Dec. 1989.

[3] G. L. Matthai, N. O. Fenzi, R. J. forse, and S. M. Rohlifng, "Hairpin-comb filters for HTS and other narrow-band applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp. 1226-1231, Aug. 1997.

[4] H. T. Kim, B. C. Min, Y. H. Choi, S. H. Moon, S. M. Lee, and B. Oh, "A compact narrowband HTS microstrip filters for PCS application." *IEEE Trans. Appl. superconductivity*, vol. 9, pp. 3909-3912, June. 1999.

[5] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Aperture-Coupled microstrip open-loop resonators and their applications to the design of novel microstrip bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1848-1855, Sep. 1999.

[6] S. Im, C. Seo, J. Kim, Y. Kim, and N. Kim, "Improvement of microstrip open loop resonator filter using aperture," *IEEE MTT-S Int. Symp. Dig., Seattle, WA*, vol 3. pp. 1801-1804, June 2002.

[7] R. Mongia, I. Bahl, P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled-line Circuits*. Artech House, 1999.

[8] J. S. Hong, and M. J. Lancaster, *Microstrip filters for RF/Microwave application*, John Williy & Sons, Inc., 2001