

Aperture를 이용한 개방형 루프공진 여파기 성능개선에 관한 연구

정희원 임석순*, 서철헌*, 김재훈*, 김영완**, 김내수**

Microstrip Open Loop Resonator Filter Using Aperture

Serksun Im*, Chulhun Seo*, Jaehoon Kim*, Youngwan Kim** and Neosoo Kim**

Regular Members

요약

본 논문에서는 개방형 루프공진 여파기의 대역폭을 넓히기 위하여 접지면에 aperture를 구현하였다. 마이크로스트립 개방형 루프공진기의 세가지 결합형태인 전계결합, 자계결합, 혼합결합의 그라운드 일부를 에칭하여 aperture를 구현하였다. Aperture의 면적에 따라 기존의 개방형 루프공진 여파기의 대역폭이 변화되었으며 통과대역의 군지연, 선택도는 비슷한 수준으로 유지할 수 있었다. 따라서 aperture를 적용하였을 때는, 더 넓은 루프간 커플링간격(coupling space)으로도 동일한 대역폭을 구현할 수 있기 때문에, 루프의 커플링간격이 너무 좁아서 발생하는 필터의 민감도를 완화시킴으로서 제작을 용이하게 하였다.

ABSTRACT

Aperture has been employed on the ground plane in the open loop resonator filter. Aperture was made on the ground of three types of coupling structure; electric, magnetic, mixed coupling by etching the part of the ground. Bandwidth of the filter was varied with aperture width and group delay, and selectivity was same as conventional open loop resonator filter. The coupling spacing between loops has been widened to easily implement filter and the sensitivity of filter depending on the coupling space has been reduced.

1. 서론

근래의 무선통신에서 RF(IF)필터는 소형화, 제작의 용이성, 평탄한 군지연, 그리고 특히 고속의 전송 속도에 의하여 넓은 대역폭을 요구한다. SAW 필터는 뛰어난 선택도를 가지고 있기 때문에 지금까지 이동 통신에 많이 쓰여왔다. 그러나 군지연 특성이 나쁘고 대역폭이 넓지 않기 때문에 넓은 대역폭을 요구하는 곳의 적용은 힘들다.

마이크로스트립을 이용한 필터는 제작과 내장이 용이하여 여러 가지 형태에 대한 많은 연구가 진행되어왔다. 이 중에서도 반파장의 길이를 가지는 개방

형 루프 공진기를 이용한 필터는 다른 형태에 비하여 작은 면적을 차지하며, 이를 더 작게 구현하기 위한 여러 가지 연구 또한 진행되어왔다^[1-7].

지금까지 개방형 루프 공진기를 이용한 필터는 이동통신과 같은 협대역 특성을 가지는 회로의 적용에 초점을 두고 있다. 그러나 위성통신 IF모듈과 같은 시스템에는 광대역필터가 필요하다. 개방형 루프 공진기의 대역폭을 넓히기 위해서는 루프간의 결합이 강하게 일어나도록 하면 되며, 이는 라인의 두께와 루프간의 간격을 좁힘으로서 실현할 수 있다. 그러나 루프간 간격을 좁히면 두 개의 공진주파수의 차이는 점점 커지게 되며, 결국 통과대역의 리플이 증가할 수 있다. 또한 루프간 간격을 좁히는 데

* 숭실대학교 정보통신 전자공학부 이동 및 위성통신 연구실 (prettydevil@hotmail.com)

** ETRI 무선방송기술연구소

논문번호 : 020028-0122, 접수일자 : 2002년 1월 22일

는 한계가 있고, 이것이 극단적으로 좁아졌을 때는 간격에 따른 민감도가 문제가 될 수 있어 회로 제작이 매우 어려워지게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 aperture를 마이크로스트립 접지면에 적용하였다. 루프간 간격을 좁히는 대신 결합이 일어나는 곳의 뒤의 접지면의 일부를 에칭한 aperture를 구현하여 스트립라인과 그라운드간의 결합은 감소시키고, 두 개의 루프간의 결합을 증가시켰다. 이는 결국 결합 계수를 증가시키게되고 루프간의 간격의 변화 없이 aperture 폭을 조절함으로써 대역폭을 조절할 수 있어 회로의 제작시 민감도 문제를 해결할 수 있었다.

II. 개방형 루프공진기 필터의 결합

개방형 루프 공진기에서는 전계결합, 자계결합, 혼합결합의 세가지 형태의 결합이 존재한다. 세가지 결합형태에 대하여 aperture를 적용하여 기존의 개방형 루프공진기와 비교하였다.

1. 전계결합

개방형 루프 공진기의 전계결합에서 결합계수와 두 개의 공진주파수는 다음과 같이 주어진다¹⁵⁻¹⁶.

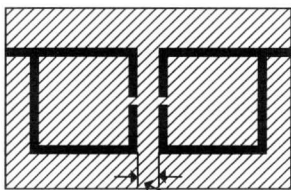
$$K_E = C_m / C \tag{1a}$$

$$f_e = 1/2\pi\sqrt{L(C + C_m)} \tag{1b}$$

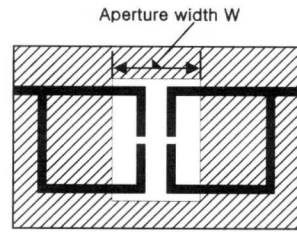
$$f_m = 1/2\pi\sqrt{L(C - C_m)} \tag{1c}$$

C, L, and C_m 은 각각 자기 커패시턴스, 자기 인덕턴스, 상호 커패시턴스를 나타낸다.

그림 1은 기존의 개방형 루프 공진기와 aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 전계결합 형태를 보여준다. Fig. 1(a)의 일반적인 개방형 루프 공진기의 형태에서 커플링 간격 d가 줄어들 때 커플링 계수는 증가하며 두 개의 공진주파수 f_e와 f_m의 간격은 벌어지게된다¹⁷⁻¹⁸. 이는 강한 커플링 계수에 의한 넓은 대역폭을 의미하게된다.



(a) 기존의 개방형 루프 공진기 구조



(b) Aperture 적용된 구조

그림 1. 개방형 루프 공진기의 전계결합구조

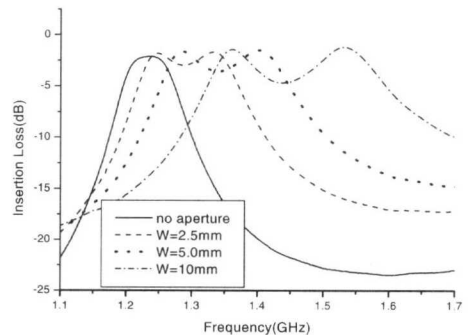


그림 2. Aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 전계결합의 삽입손실과 반사손실.

그림 2는 기존의 개방형 루프 공진기와 aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 전계결합에 대한 삽입손실과 반사손실을 보여준다. Aperture의 폭 W가 넓어짐에 따라 두 개의 공진주파수의 간격이 점점 넓어지는 것을 알 수 있다. 따라서 aperture의 폭 W가 커질때와 커플링 간격 d가 작아질 때 회로에 미치는 영향은 비슷하다.

그러나 aperture가 적용된 구조에서 커플링 간격이 좁아질때와는 달리 중심주파수 자체가 높아지는 것을 그림 2로부터 알 수 있다. 이것은 자기 커패시턴스 C가 감소했기 때문이며, 결과적으로 aperture가 식(1a-1c)의 자기 커패시턴스와 상호 커패시턴스에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

$$C = C_0 - C_a \tag{2a}$$

$$C_m = C_{m0} + C_{ma} \tag{2b}$$

C₀, C_{m0}, C_a, C_{ma} 는 각각 aperture의 영향이 고려되지 않은 자기 커패시턴스와 상호 커패시턴스 그리고 aperture의 영향으로 인한 자기 커패시턴스와 상호 커패시턴스이다. 따라서 (1a-1c)에 주어진 결합계수와 두 개의 공진주파수는 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$k_E = (C_{m0} + C_{ma}) / (C_0 - C_a) \quad (3a)$$

$$f_e = 1/2\pi\sqrt{L[(C_0 - C_a) + (C_{m0} + C_{ma})]} \quad (3b)$$

$$f_r = 1/2\pi\sqrt{L[(C_0 - C_a) - (C_{m0} + C_{ma})]} \quad (3c)$$

상호 커플링이 없을 때의 공진주파수를 f_r 이라 하면 다음과 같다.

$$f_r = 1/2\pi\sqrt{LC} \approx \sqrt{f_e f_m} \quad (4)$$

일반적으로 $C \gg C_m$ 이기 때문에 식(4)는 식(1b-1c)로부터 성립될수 있다. Aperture의 폭이 변화함에 따라 f_e, f_m, f_r 은 각각 변화하며 식(2-4)에 의하여 C_{m0}, C_{ma}, C_a 와 C 의 비, 그리고 커플링 계수를 구할수 있다.

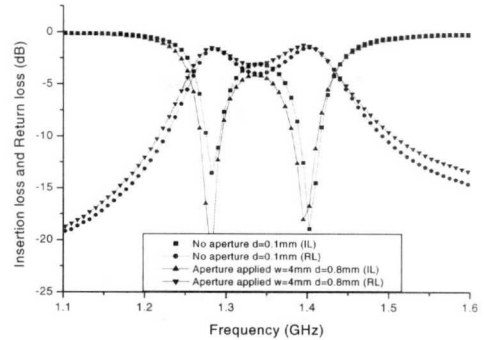
표 1. Aperture의 폭 W에 따른 커플링 계수와 C_{m0}, C_{ma}, C_a 와 C 의 비

	No aperture	W=2.5mm	W=5.0mm	W=10mm
K_E	0.0195	0.0710	0.091	0.1185
C_a/C_0	0	0.0952	0.1616	0.2759
C_{m0}/C_0	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195
C_{ma}/C_0	0	0.0457	0.0567	0.0663

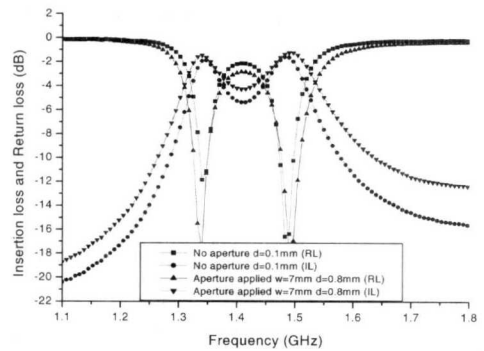
표 1 에서 볼수 있듯이 aperture의 폭이 넓어질수록 자기 커패시턴스 C는 감소하고 상호 커패시턴스 C_m 는 증가함을 알수 있다.

그림 3은 전계결합에 대한 기존의 개방형 루프 결합 공진기와 aperture가 적용된 개방형 루프 결합 공진기의 대한 삽입손실과 반사손실이다. 두 가지 형태의 특성을 직접적으로 비교하기 위하여 두 개의 공진주파수가 같도록 루프의 길이를 적절히 조절하였다. 두 회로의 주파수 응답특성은 거의 동일 하지만 aperture가 적용된 공진기가 약간 작은 통과대역 리플을 가지는 것을 볼 수 있다. 이는 광대역에 적용하여 같은 대역폭의 필터를 제작하였을 때 기존의 형태보다 aperture를 적용한 경우 더 작은 통과대역 리플을 가질 수 있음을 의미한다. 게다가 위의 실험에서, 커플링 간격 d 는 기존의 형태의 경우 0.1mm로, aperture를 적용 하였을때 0.8mm보다 매우 작음을 알수 있다. 따라서 개방형 루프 공진기를 광대역에 적용할 때, 너무 좁은 커플링 간격 d 로 인하여 가질 수 있는 제작상의 어려움이 aperture를

이용하여 해결될 수 있음을 알 수 있다.



(a) $f_r=1.32\text{GHz}$ $W=4\text{mm}$.



(b) $f_r=1.4\text{GHz}$ $W=7\text{mm}$

그림 3. 기존의 구조와 aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 비교

2. 자계결합

개방형 루프 공진기의 자계결합에서 결합계수와 두 개의 공진주파수는 다음과 같이 주어진다^[5-6].

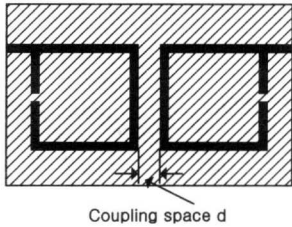
$$k_M = L_m / L \quad (5a)$$

$$f_e = 1/2\pi\sqrt{(L - L_m)C} \quad (5b)$$

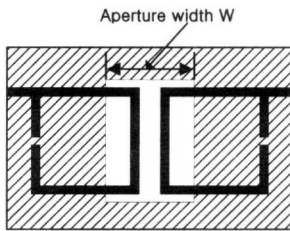
$$f_m = 1/2\pi\sqrt{(L + L_m)C} \quad (5c)$$

그림 4는 기존의 개방형 루프 공진기와 aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 자계결합 형태를 보여준다. Fig. 4(a)의 일반적인 개방형 루프 공진기의 형태에서 커플링 간격 d 가 줄어들 때 커플링 계수는 증가하며 두 개의 공진주파수 f_e 와 f_m 의 간격은 벌어지게 된다^[7-8]. 이는 전계결합의 경우와 같다.

그림 5는 기존의 개방형 루프 공진기와 aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 자계결합에 대한



(a) 기존의 개방형 루프 공진기 구조



(b) Aperture 적용된 구조

그림 4. 개방형 루프 공진기의 자체결합 구조

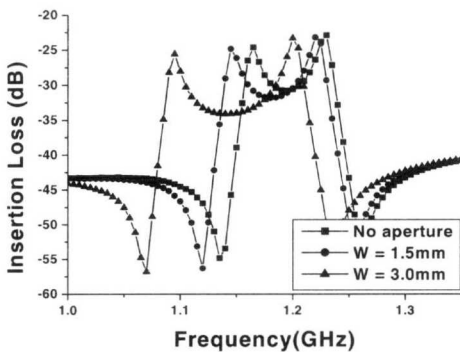


그림 5. Aperture가 적용된 개방형 루프 공진기의 자체결합의 삽입손실과 반사 손실.

삽입손실을 보여준다. Aperture의 폭이 증가함에 따라 S_{21} 은 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이는 L_m 의 증가를 의미한다. 자체결합의 경우 전계결합의 경우와는 반대로 중심주파수가 낮아지며 이것은 L 의 증가를 의미한다. 따라서 aperture가 자체결합에 미치는 영향을 고려하면

$$L = L_0 + L_a \tag{6a}$$

$$L_m = L_{m0} + L_{ma} \tag{6b}$$

L_0 , L_{m0} , L_a , L_{ma} 는 각각 aperture의 영향이 고려되지 않은 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스 그리고 aperture의 영향으로 인한 자기 인덕턴스와 상호 인

덕턴스이다. 따라서 (6a-6c)에 주어진 결합계수와 두 개의 공진주파수는 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$k_M = (L_{m0} + L_{ma}) / (L_0 + L_a) \tag{7a}$$

$$f_e = 1/2\pi\sqrt{L[(L_0 + L_a) + (L_{m0} + L_{ma})]} \tag{7b}$$

$$f_m = 1/2\pi\sqrt{L[(L_0 + L_a) - (L_{m0} + L_{ma})]} \tag{7c}$$

III. Aperture를 적용한 광대역 개방형 루프 공진 여파기

II장에서, 기존의 개방형 루프 공진 여파기와 같은 커플링 간격 d 에 대하여 aperture를 적용한 경우 더욱 강한 결합계수를 가짐을 알 수 있었다. 그러나 전계결합에 대해서는 중심주파수가 높아졌으며, 자계결합에 대해서는 낮아졌다. 따라서 aperture를 혼합결합에 적용하면 전계결합과 자계결합의 특성을 동시에 지니기 때문에 중심주파수는 거의 변화가 없음을 예측할 수 있다. 따라서 대칭성을 위하여 그림 6과 같이 4개의 폴을 가지는 기존의 개방형 루프 공진 여파기의 혼합결합이 일어나는 뒤쪽 접지에 aperture를 구현하였다.

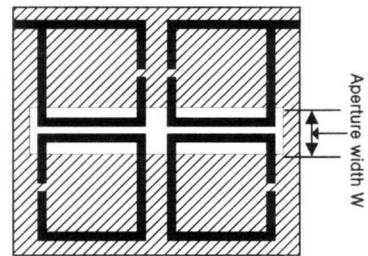


그림 6. 4개의 폴을 가지는 aperture 적용된 개방형 루프 공진 여파기 구조(혼합결합 적용)

그림 7은 제작된 4개의 폴을 가지는 개방형 루프 공진 여파기의 삽입손실과 반사손실을 보여준다. 예상한 바와 같이 aperture의 폭이 증가됨에 따라 통과대역이 양쪽으로 확장되는 것을 볼 수 있다. 다만 그림 7에서 볼 수 있듯이, aperture를 지나치게 넓히는 경우 통과대역의 리플이 증가할 수 있기 때문에 리플이 생기지 않도록 주의하여 aperture의 면적을 결정하여야 한다.

여파기를 광대역에 응용하기 위하여, 이번에는 그림 6과 같은 회로가 더 넓은 대역폭을 갖도록 제작하였다. 넓은 대역폭을 위하여 커플링 간격 d 는 적

절하게 감소되었으며, 통과대역의 리플이 발생하지 않도록 aperture의 폭도 적절히 조절되었다.

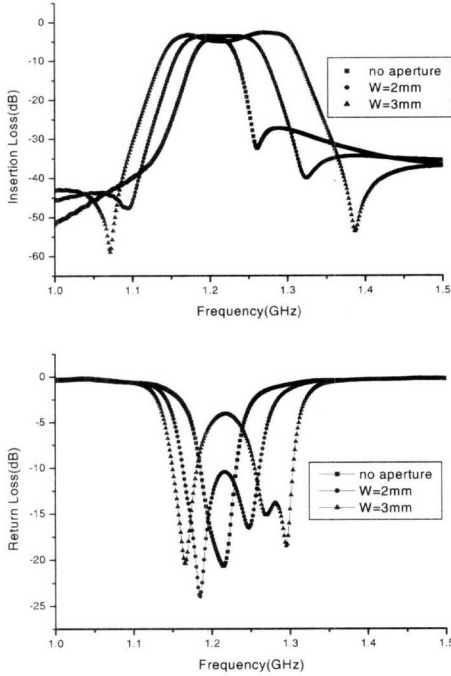


그림 7. Aperture가 적용된 4폴 개방형 루프 공진 여파기의 삽입손실과 반사손실(혼합결합).

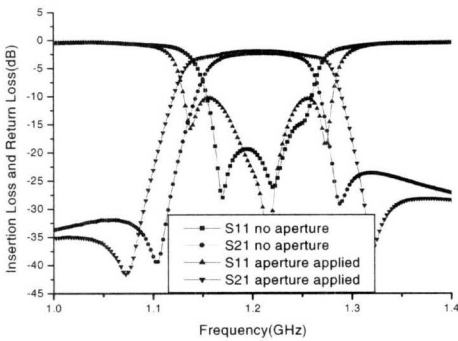
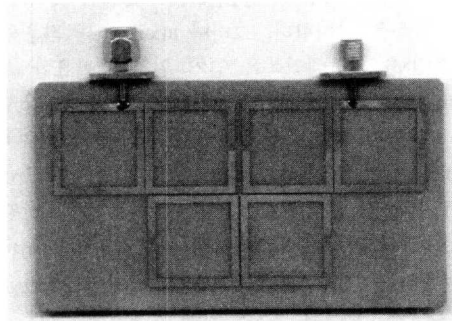


그림 8. 광대역에 적용된 4폴 개방형 루프 공진여파기의 삽입손실과 반사손실.

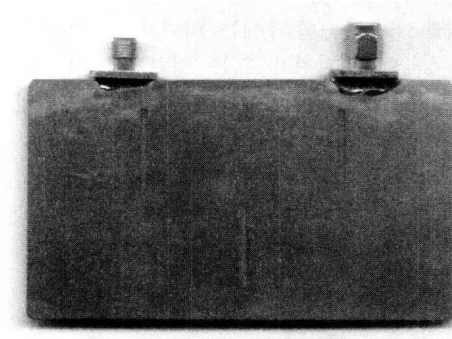
그림 8은 제작된 광대역 필터의 삽입손실과 반사손실을 보여준다. Aperture를 적용함으로써 중심주파수 1.2GHz에서 대역폭이 100MHz에서 140MHz로 40MHz확장된 것을 볼수 있다. 실험한 모든 회로의 제작에는 유전율 3.2와 두께 0.76mm를 가지는 GML1000기판을 사용하였다.

마지막으로 6개의 폴을 가지는 개방형 루프 공진기의 자체결합에 aperture를 적용하였다. 그림 9는

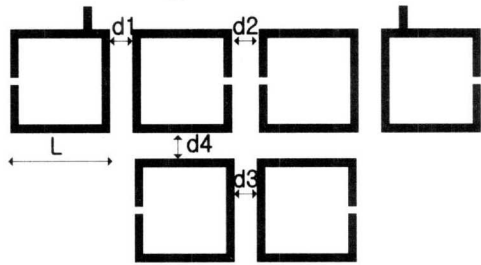
제작된 여파기의 회로도이다. 기판 뒷면의 위쪽과 아래쪽에 위치한 aperture의 폭은 각각 1.6mm, 1mm이다.



(a) Top view



(a) Bottom view



(c) 구조적인 변수 ($d_1=0.2\text{mm}$ $d_2=1.7\text{mm}$ $d_3=0.5\text{mm}$ $d_4=0.4\text{mm}$ $L=21.5\text{mm}$)

그림 9. 제작된 6폴 개방형 루프 공진 여파기.

그림 10은 제작된 여파기의 삽입손실과 군지연 (Group delay) 을 보여준다. 결과적으로 중심주파수 1.2GHz에서 aperture를 적용한 경우 대역폭이 185MHz로 기존의 개방형 공진 여파기가 가지는 대역폭 148MHz보다 12.3%에서 15%로약 2.7%증가한 것을 볼 수 있다. 기판 앞쪽에 있는 커플링 간격 중 가장 좁은 것은 0.2mm이다. 실험 데이터로부터 aperture를 적용하지 않은 기존형태의 경우

144MHz의 대역폭을 얻기 위하여 $d_1=0.2\text{mm}$ 가 되어야 하므로, 더 넓은 대역폭을 얻기 위해서는 d_1 이 더 작아야한다. 이는 제작시 여파기의 성능이 d_1 의 오차에 대하여 대단히 민감해지는 문제가 발생하게 될 수 있음을 의미한다. 그러나 aperture를 적용하게 되면 148MHz의 대역폭을 얻기 위하여 필요한 d_1 이 0.2mm 보다 크기 때문에, 회로의 민감도를 감소시켜줄 수 있다. 다만 통과대역의 리플은 1.2dB에서 2.3dB로 약간 증가하였으며 동일한 군지연(Group delay) 특성을 보여주고 있다. 리플이 증가한 원인은 그림 5에 나타난 바와 같이 자계결합에 aperture를 적용하는 경우 중심주파수가 낮아지는 현상이 있기 때문에 필터의 응답특성에 비대칭적인 요소가 나타나기 때문이다. 따라서 혼합결합구조가 aperture의 적용이 가장 용이 하며 자계결합이나 전계결합에 이를 응용하는 경우에는 비대칭으로 인하여 필터의 성능이 나빠지지 않는 범위에서 사용하도록 세심한 주의를 기울여야한다. 이러한 비대칭적인 특

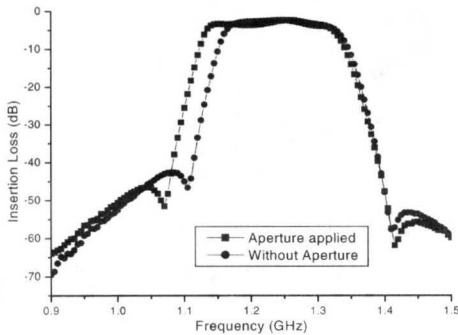
성은 루프의 길이를 약간 짧게 하는 등의 오프셋(offset)을 부여함으로써 어느 정도 보상이 가능하다.

IV. 결론

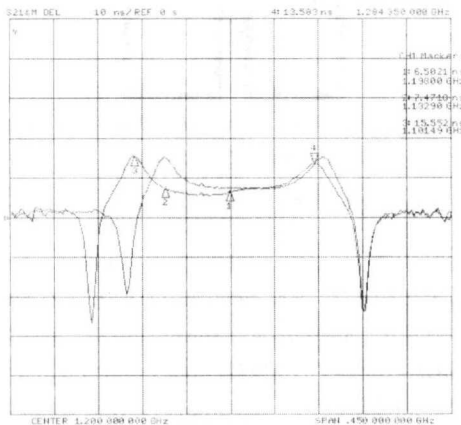
본 논문에서는 aperture를 개방형 루프 공진 여파기에 적용하였다. Aperture를 개방형 루프 공진기의 전계, 자계, 혼합결합에 각각 적용하여 이들의 주파수 응답에 미치는 영향을 분석하였다. 동일한 넓이의 대역폭에 대하여는 aperture를 적용한 쪽이 기존의 결합형태보다 약간 작은 통과대역 리플을 가지는 것을 보였으며, 4개의 폴을 가지는 개방형 루프 공진 여파기의 혼합결합에 aperture를 적용하여 대역폭을 조절하였다. 6개의 폴을 가지는 개방형 루프 공진 여파기의 자계결합에도 aperture를 적용, 제작하여 대역폭이 변화되는 것을 보였다. 따라서 aperture는 다양한 형태의 결합에 대하여 응용되어 대역폭을 조절하는 것이 가능하며, 너무 작은 커플링 간격으로 인한 회로의 제작상의 어려움을 해소시킬 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Theory and Experiment of Novel Microstrip Slow-Wave Open-Loop Resonator Filters," *IEEE Trans. MTT*, vol.45, no.12, pp. 2358-2365, Dec. 1997.
- [2] C. C. YU, K. Chang, "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Microstrip Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines," *IEEE Trans. MTT*, vol.46, no.7, pp. 952-958, July 1998.
- [3] J. S. Hong, M. J. Lancaster, Compact Microwave Elliptic Function Filter Using Novel Microstrip Meander Open-Loop Resonators, *Electronics Letters*, 32, pp. 563-564, March. 1996.
- [4] M. Sagawa, K. Takahashi, and M. Makimoto, Miniaturized Hairpin Resonator Filters and Their Application to Receiver Front-End MICs, *IEEE Trans. MTT*, vol.37, pp. 1991-1997, Dec. 1989.
- [5] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Coupling of Microstrip Square Open-Loop Resonators For Cross-Coupled Planar Microwave Filters," *IEEE Trans. MTT*, vol.44, pp. 2099-2109, Nov. 1996.



(a) 삽입손실.



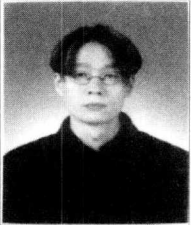
(b) 군지연 (Group delay).

그림 10. Aperture가 적용된 6폴 개방형 루프공진 여파기의 삽입손실과 군지연(group delay).

[6] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Design of Highly Selective Microstrip Bandpass Filters with Single Pair of Attenuation Poles at Finite Frequencies, *IEEE Trans. MTT*, vol.48, pp. 1098-1107, July 2000.

[7] 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. MTT*, vol.47, no.9, pp. 1848-1855, Sep. 1999.

임 석 순(Serksun Im) 정회원



2001년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 졸업(학사)
 2001년 3월~현재 : 숭실대학교 원 정보통신 전자 공학부 석사과정

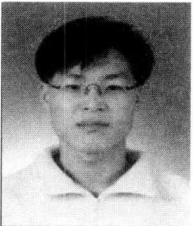
<주관심 분야> 이동 및 위성통신 시스템, RF 부품, RF 모듈
 email : prettydevil@hotmail.com

서 철 현(Chulhun Seo) 정회원

email : chulhun@wave.ssu.ac.kr

제23권 제1호 참조

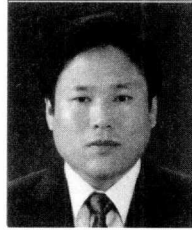
김 재 훈(Jaehoon Kim) 정회원



2000년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업(학사)
 2002년 2월: 숭실대학교 정보통신 전자공학부 졸업(석사)
 2002년 2월~현재 : (주)에이스 테크놀로지 재직중

<주관심 분야> RF 부품, RF 모듈, Microwave

김 영 완(Youngwan Kim) 정회원



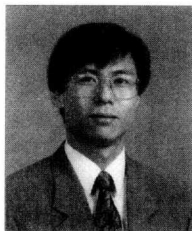
1983년 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1985년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (석사)
 2000년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
 1985년~1990년 : 동양정밀공업 (주)중앙연구소 근무

1992년~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 근무

<주관심 분야> : 디지털 통신, 위성통신시스템, 마이크로웨이브 디바이스

e-mail: ywk@etri.re.kr

김 내 수(Neosoo Kim) 정회원



1985년 : 한남대학교 수학과 졸업(학사)
 1989년 : 한남대학교 대학원 수학과(석사)
 2001년 : 한남대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)
 1976년~1990년 : 국방과학 연구소 근무

1990년~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 초고속위성통신연구팀장

<주관심 분야> 위성통신, ATM, 컴퓨터네트워크, 통신프로토콜

e-mail: nskim@etri.re.kr