

가변 감쇠극을 갖는 새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기의 설계

조상호*, 성영제, 김영식
고려대학교 전파공학과

A Novel Dielectric Resonator Bandpass Filter with Variable Attenuation Poles for Duplexer Applications

Sang-Ho Cho, Young-Je Sung, and Young-Sik Kim
Dept. of Radio Sciences and Engineering, Korea University, Seoul, Korea
TEL: +82-2-929-9909, FAX: +82-2-922-6141
E-mail: shcho@korea.ac.kr

ABSTRACT

In this paper a novel dielectric resonator (DR) bandpass filter (BPF) with flexible arrangement of attenuation poles is proposed. This DR filter is similar to a conventional DR filter except adding a microstrip line below a DR, which not only shifts the location of attenuation poles, but also improves skirt characteristics. The duplexer with the proposed DR BPF has been yielded better isolation and sharper skirt behavior than that with a conventional DR filter. The implemented duplexer has shown a good performance and been well agreed with the simulation.

1. 서론

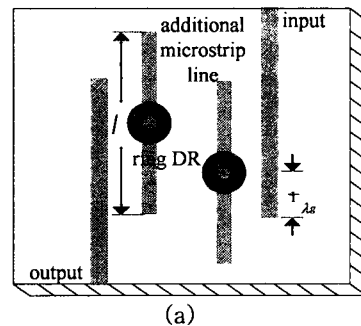
최근 위성과 이동통신의 빠른 성장으로 마이크로파 여파기는 낮은 삽입손실, 예리한 차단 특성 등과 같은 우수한 성능 조건 뿐만 아니라 소형화가 절실히 요구되고 있다. 감쇠극의 위치를 조정할 수 있는 여파기는 통과대역 바깥의 차단 특성을 향상시키는데 매우 유용하며, 이중 모드 여파기나 타원함수 여파기 등이 통과대역 외부의 차단 특성을 향상시키기 위하여 연구되고 있다 [1, 2]. 유전체 공진기는 낮은 삽입손실과 높은 유전상수를 가진 소형 소자로서 마이크로파 집적 회로 (MIC)에서 하이브리드 회로 소자로서 널리 이용되고 있다 [3]. 1970년대 이래로 저역통과 여파기 기본형과 여파기의 변환을 통하여 유전체 공진기를 사용한 대역통과 여파기는 설계, 제작되어왔다 [4, 5].

본 논문에서는 가변 감쇠극을 갖는 새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기와 이것을 이용한 듀플렉서를 제시하였다. 유전체 공진기 여파기의 감쇠극 위치는 추가되는 마이크로스트립 선로의 길이를 변화시킴으로써 조절할 수 있으며, 이것은 유전체 공진기 여파기의 차단 특성에 영향을 준다.

제안된 여파기와 듀플렉서는 FEM simulator 를 이용하여 모의실험 하였고, 측정 결과와 비교하였다 [6].

2. 여파기 설계

일반적인 구조의 대역통과 여파기는 유전체 공진기와 입출력 포트를 위한 마이크로스트립 선로로 구성된다. 여기에 유전체 공진기 아래에 마이크로스트립 선로를 추가하여 그림 1 과 같은 새로운 구조의 대역통과 여파기를 제시하였다.



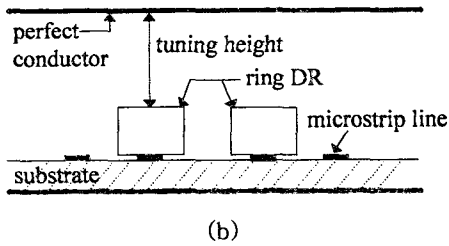


그림 1. 새로운 구조의 대역통과 여파기. (a) 구조도. (b) 측면도.

일반적으로 유전체 공진기는 TE₀₁₈ 모드에서 최대의 무부하 양호도 (Q_u)를 갖는데, 새로운 구조의 유전체 공진기 여파기에서는 부가되는 마이크로스트립 공진기로 인하여 다른 모드들이 발생하게 된다. 마이크로스트립 선로가 유전체 공진기 아래에 삽입됨으로써 유전체 공진기 여파기는 이중 모드 여파기와 같은 특성을 나타내게 된다.

이러한 구조에서는 두 가지 형태의 결합, 전기 결합과 자기 결합 (electric and magnetic coupling)이 나타난다. 유전체 공진기와 선로 사이의 일반적인 결합은 공진기의 자기력선이 마이크로스트립의 자기력선과 연결되도록 기판에 수직으로 유전체 공진기의 자기 모멘트를 배열함으로써 발생하고 [7], 이러한 자기 결합에 덧붙여 추가되는 마이크로스트립 선로에 의하여 전기 결합이 증가하게 된다.

그림 2 에서 전기 및 자기 결합을 포함하는 집중정수 소자 등가회로 모델을 나타내고 있다.

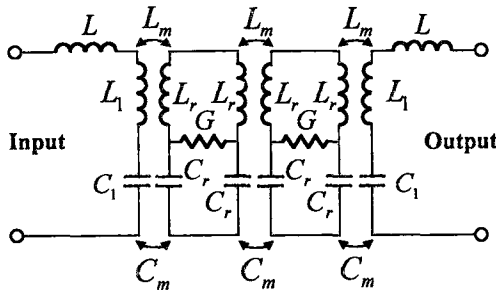


그림 2. 새로운 유전체 공진기 여파기의 등가회로.

이 전기결합에 의해 추가된 신호 경로가 감쇠극을 형성한다 [8]. 마이크로스트립 공진기의 길이를 조정함으로써 전기 결합량을 변화시키고, 바뀐 전기 결합량에 따라 특정 주파수에서 병렬저로 임피던스가 영이 되도록 하여 전송영점을 형성하므로 감쇠극이 나타나게 된다. 따라서 원하는 주파수에서 감쇠극을 얻기 위하여 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이와 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기 사이의 간격을 조정하여 두 가지 결합량을 결정할 수 있다.

또한 공진기를 여러 개 사용함으로써 늘어나는 면적을 축소시키기 위하여 유전체 공진기를 마이크로스트립 선로와 수직하게 나란히 배열하여 결합시키지 않고 비스듬히 (45°) 놓아 결합시킴으로써 여파기가

차지하는 면적을 15% 정도 줄일 수 있다. 외부 양호도 Q_e 는 다음과 같이 결정된다 [9]

$$Q_e = \frac{g_i g_{i+1}}{\omega} \quad (1)$$

$$\kappa_{i,i+1} = \frac{\omega}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \quad (2)$$

여기서 Q_e 와 ω 는 외부 양호도와 fractional bandwidth 를, $\kappa_{i,i+1}$ 은 i 번째와 $i+1$ 번째 공진기 사이의 결합계수를 나타낸다. g_i ($i=0, 1, 2, \dots$)는 최대 평탄 응답에 대한 저역통과 여파기 기본형의 i 번째 소자값이다. $g_0=g_3=1, g_1=g_2=1.4142$ 이고 [10], 식 (1)과 (2)로부터 3dB 대역폭이 50 MHz 일 때, $Q_e=307.7$ 과 $\kappa_{12}=0.0046$ 이 된다.

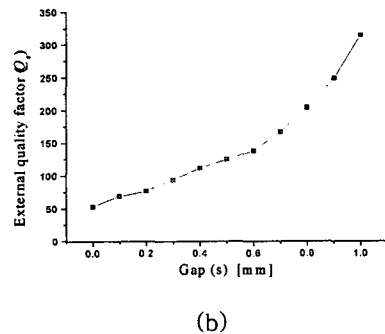
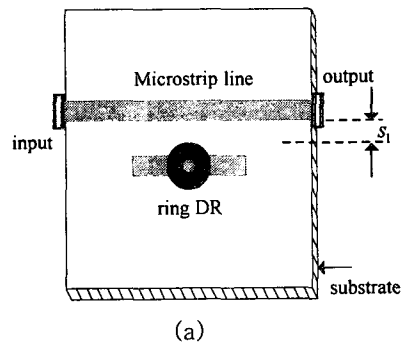


그림 3. Q_e 측정. (a) 구조도. (b) Q_e vs. s_1 .

유전체 공진기 여파기에서 위의 Q_e 와 κ_{12} 를 얻기 위하여 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기 사이의 간격 s_1 는 그림 3 에서처럼 실험적으로 산출할 수 있다. 그림 3 (a)에서 주파수 특성은 대역저지 여파기와 같고, 무부하 양호도 Q_u 와 최대 삽입손실 L_0 를 측정할 수 있다. 외부 양호도 Q_e 는 $Q_e=Q_u/\kappa$ 로부터 얻어지며, 여기서 부가된 마이크로스트립 공진기를 포함한 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로 사이의 결합계수 κ 는 $\kappa=10 \exp(1L_0/20-1)$ 로 가정한다 [7]. 그림 3. (b)는 Q_e 측정 결과를 나타내고 있다.

그림 4 는 공진기 사이의 결합계수 κ_{12} 측정에 대한 구조도 및 결과를 나타낸 것이다. 그림 4 (a)의 주파수 특성은 역쌍봉 특성을 갖고 각각의 최저 삽입손실에 대한 두 개의 주파수로부터 다음의 관계식을 이용

하여 유전체 공진기 사이의 결합계수를 구할 수 있다 [2].

$$\kappa_{12} = \frac{f_e^2 - f_m^2}{f_e^2 + f_m^2} \quad (3)$$

링 유전체 공진기의 내경, 외경 및 높이는 각각 2 mm, 7.69 mm, 3.41 mm 이고, 유전율은 37.4 이다. Substrate의 유전율은 2.5, 두께는 0.635 mm 이다.

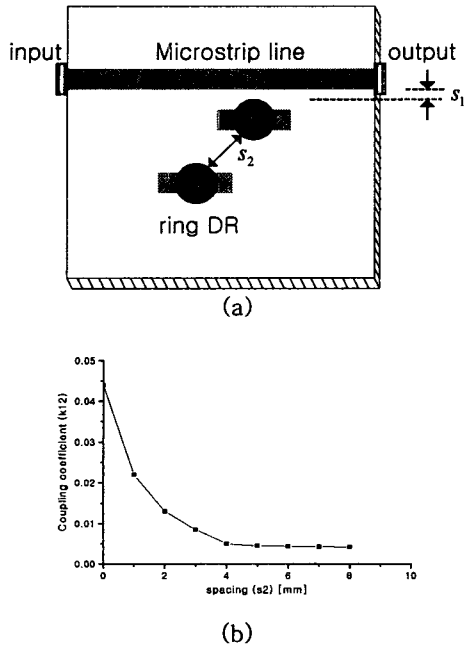


그림 4. κ_{12} 측정. (a) 구조도. (b) κ_{12} vs. s_2 .

그림 5는 일반적인 구조의 유전체 공진기 여파기와 새로운 구조의 여파기에 대한 FEM 모의실험 결과이다. 일반적인 구조의 경우 통과대역 상위 부분에서 상당한 스퓨리어스가 발생하는 것을 알 수 있다. 유전체 공진기 아래 마이크로스트립 공진기를 삽입한 새로운 구조의 경우 마이크로스트립 선로의 길이에 따라 감쇠극이 이동하는 것을 확인할 수 있다.

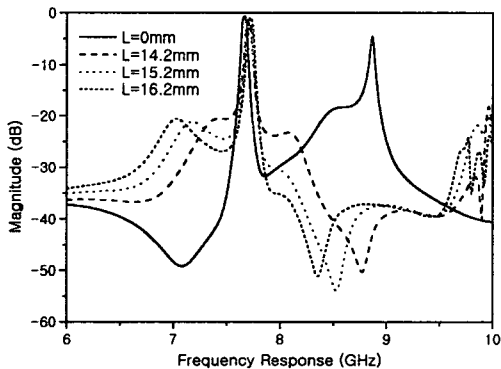


그림 5. 유전체 공진기 여파기의 모의실험 결과.

그림 6은 제작된 일반적인 여파기의 주파수 응답을 보여주고 있다. 모의실험 결과와 마찬가지로 통과대역의 윗부분에서 상당한 스퓨리어스가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이의 변화에 따른 새로운 구조의 여파기의 주파수 응답을 나타내고 있다. 제작된 여파기의 측정결과 통과대역의 상위 부분에서 나타나던 스퓨리어스는 억제되고 모의실험 결과와 비슷하게 감쇠 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이를 조정함으로써 통과대역의 변화 없이 특정 주파수 대역이 저지되고 있음을 보여준다.

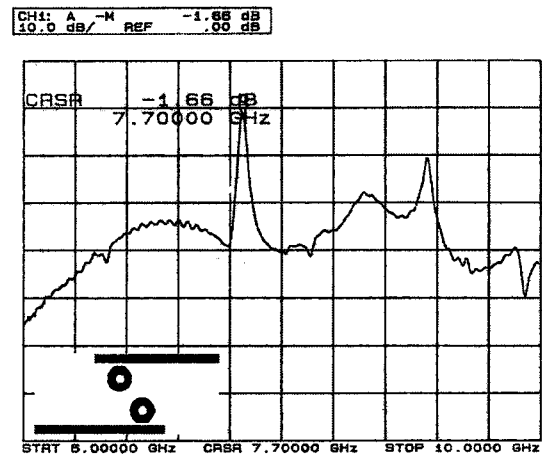


그림 6. 일반적인 유전체 공진기 여파기의 주파수 응답.

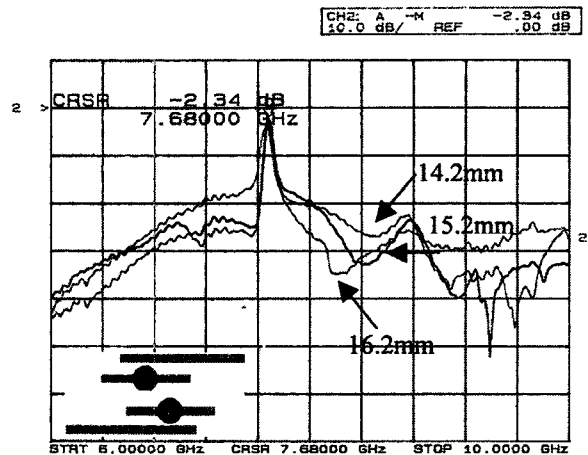


그림 7. 새로운 여파기의 주파수 응답.

3. 듀플렉서 설계

그림 8은 유전체 공진기 여파기를 이용하여 제작된 듀플렉서의 실물 사진이다. 새로 제안된 유전체 공진기 여파기는 듀플렉서의 낮은 통과대역에서 사용되었고, 일반적인 유전체 공진기 여파기는 높은 통과대역에서 사용되었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 일반적인

유전체 공진기 여파기는 통과대역의 아래부분에서 감쇠극을 가지지만 상위 부분에서는 상당한 스퓨리어스가 존재한다. 반면에 새로 제시된 여파기는 통과대역의 상위 부분에서 저지 대역을 형성한다. 따라서 보나온 격리도 (isolation) 특성을 얻기 위하여 감쇠극을 상대편 통과대역에 위치 시키기 위하여 듀플렉서의 낮은 통과대역에는 새로운 유전체 공진기 여파기를, 높은 통과대역에는 일반적인 형태의 여파기를 사용하였다.

그림 10 (a)는 송수신 여파기를 모두 일반적인 구조의 여파기로 사용한 듀플렉서의 주파수 응답 특성을 보여주고 있다. 그림 10 (b)는 듀플렉서의 낮은 통과대역은 새로운 구조의 여파기를, 높은 통과대역은 일반적인 구조의 여파기를 사용한 듀플렉서의 주파수 응답 특성을 나타내고 있다. 여기서 높은 통과 대역에서 쓰인 링 유전체 공진기의 내경, 외경 및 높이는 각각 2 mm, 7.07 mm, 3.14 mm 이고 낮은 통과대역에서 쓰인 것의 내경, 외경 및 높이는 각각 2 mm, 7.69 mm, 3.41 mm 이다.

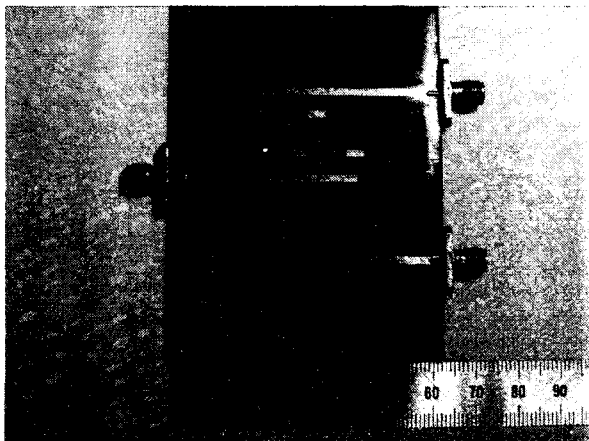


그림 8. 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서의 실물 사진.

4. 결과

듀플렉서에 대한 FEM 모의실험 결과를 그림 9 에서 보여주고 있다. 그림 10 은 제작된 듀플렉서의 산란계수 측정결과 이다. 새로운 구조의 듀플렉서는 일반적인 구조의 것보다 모의실험 결과와 측정 결과에서 모두 우수한 격리도와 차단 특성을 나타냈다. 새로운 구조의 듀플렉서는 낮은 통과대역에서 -37.48dB, 높은 통과대역에서는 -44.20dB 의 격리도를 보여주었다. 표 1 에서 듀플렉서의 측정 결과를 자세히 요약하였다.

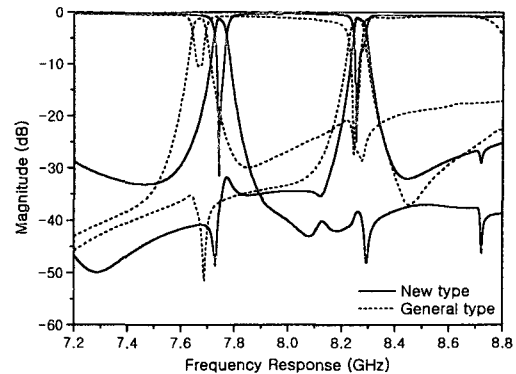


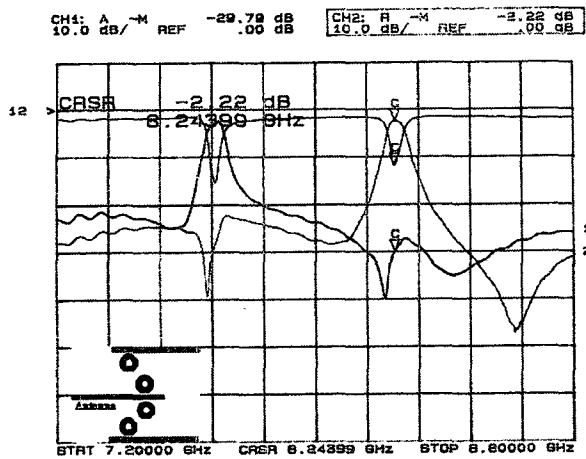
그림 9. 듀플렉서에 대한 모의실험 주파수 응답.

표 1. 듀플렉서 비교

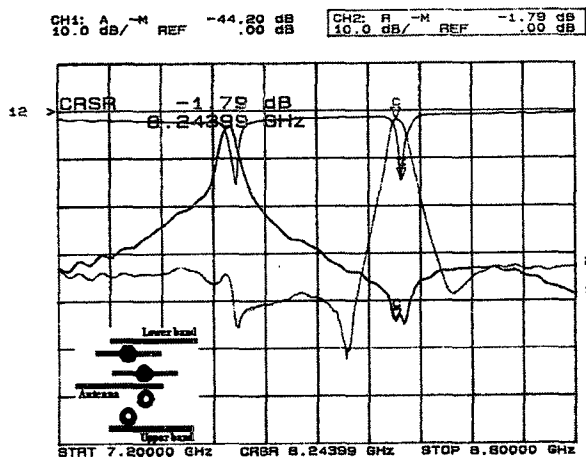
		The general type	The new type
Lower band	Center freq. (GHz)	7.70	7.74
	BW (MHz)	54.03	41.38
	I. L. (dB)	-2.21	-2.85
	Isolation (dB)	-25.70	-37.48
Upper band	Center freq. (GHz)	8.24	8.24
	BW (MHz)	57.04	48.49
	I. L. (dB)	-2.22	-1.79
	Isolation (dB)	-29.79	-44.20

5. 결론

새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기가 설계, 제작되었다. 제작된 여파기는 삽입된 마이크로 스트립 선로의 길이를 조정함으로써 감쇠극의 위치를 이동시킬 수 있으며, 이를 이용한 듀플렉서는 일반적인 구조의 것보다 우수한 격리도와 차단 특성을 나타냈다. 모의실험 결과는 측정 결과와 일치했으며, 듀플렉서의 반대편 통과 대역에 감쇠극을 위치시켜 우수한 격리도와 차단 특성을 얻을 수 있었다. 이 구조의 장점은 추가적인 삽입손실 없이 평면구조 상에서 감쇠극의 위치를 쉽게 조정할 수 있다는 점이다.



(a)



(b)

그림 10. 듀플렉서의 주파수 응답. (a) 일반적인 유전체 공진기 여파기를 이용한 것. (b) 새로운 구조의 여파기를 이용한 것.

사사의 글

본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- [1] C.-C. Yu and K. Chang, "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, pp. 952-958, July 1998.
- [2] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwave Filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 2099-2108, Dec. 1996.
- [3] L. A. Trinogga, G. Kaizhou, and I. C. Hunter, *Practical Microstrip Circuit Design*, Ellis Horwood,

Chap. 7, 1991.

- [4] T. D. Iveland, "Dielectric Resonator Filters for Application in Microwave Integrated Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19, no.7, pp. 643-652, July 1971.
- [5] J.-S. Sun and Y.-L. Huang, "Design and Implementation of an X-band DR Bandpass Filter," *Microwave Journal*, vol. 42, pp. 92-103, Nov. 1999.
- [6] J.-S. Sun and J.-C. Hsieh, "3D FEM and EM Simulations for DRFs," *Microwave Journal*, vol. 43, pp. 106-112, Dec. 2000.
- [7] D. Kajfez and P. Guillon, *Dielectric Resonators*, Second Edition, Noble Publishing Corporation, Atlanta, pp. 473-480, 1998.
- [8] I. Awai, A. C. Kundu, and T. Yamashita, "Equivalent-Circuit Representation and Explanation of Attenuation Poles of a Dual-Mode Dielectric-Resonator Bandpass Filter," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, pp. 2159-2163, Dec. 1998.
- [9] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House Inc., Washington, pp. 427-434, 1980.
- [10] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 449, 1998.