

가변 감쇠극을 갖는 새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기의 설계

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

조 상 호 · 성 영 제 · 김 영 식

Sang-Ho Cho · Young-Je Sung · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 가변 감쇠극을 갖는 새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기를 제안하였다. 새로운 구조의 여파기는 일반적인 유전체 공진기 여파기와 유사하지만 유전체 공진기 아래에 마이크로스트립 선로를 추가하여 감쇠극의 위치를 옮길 수 있을 뿐만 아니라 여파기의 차단 특성을 향상시킬 수 있다. 제안된 여파기를 이용한 듀플렉서는 일반적인 여파기를 이용한 것보다 우수한 격리도와 차단 특성을 나타냈고, 제작된 듀플렉서의 측정 결과는 모의실험 결과와 일치하였다.

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.

I. 서 론

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 삽

입손실과 높은 유전상수를 가진 소형 소자로서 마이크로파 집적 회로(MIC)에서 하이브리드 회로 소자로서 널리 이용되며^[3], 저역통과 여파기 기본형과 여파기의 변환을 통하여 유전체 공진기를 사용한 대역통과 여파기는 설계, 제작되어 왔다^{[4],[5]}.

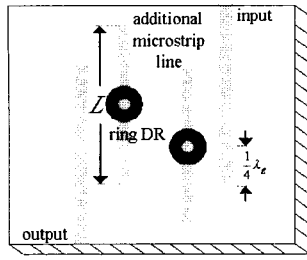
본 논문에서는 가변 감쇠극을 갖는 새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기와 이것을 이용한 듀플렉서를 제시하였다. 유전체 공진기 여파기의 감쇠극 위치는 추가되는 마이크로스트립 선로의 길이를 변화시킴으로써 조정할 수 있으며, 이것은 유

「본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.」

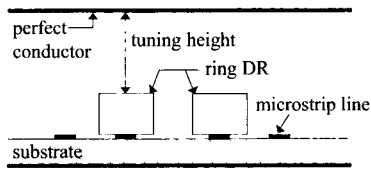
고려대학교 전파공학과 (Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20011103-03S

· 수정완료일자 : 2001년 11월 30일



(a)



(b)

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

Fig. 1. A New DR BPF. (a) Geometry, (b) Side view.

전체 공진기 여파기의 차단 특성에 영향을 준다. 제안된 여파기와 듀플렉서는 FEM simulator를 이용하여 모의실험 하였고, 측정 결과와 비교하였다^[6].

II. 여파기의 설계

유전체 공진기 아래에 마이크로스트립 선로를 추가하여 그림 1과 같은 새로운 구조의 대역통과 여파기를 제시하였다.

일반적으로 유전체 공진기는 $TE_{01\delta}$ 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 결합이 나타난다. 유전체 공진기와 선로 사이의 일반적인 결합은 공진기의 자기력선이 마이크로스트립 선로의 자기력선과 연결되도록 기관에

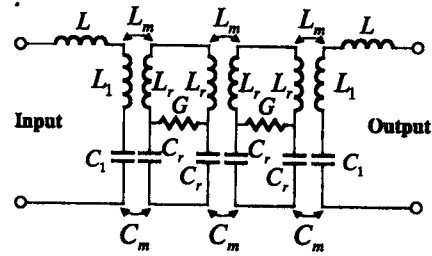


그림 2. 새로운 유전체 공진기 여파기의 등가회로.
Fig. 2. Equivalent circuit of the new DR BPF.

수직으로 유전체 공진기의 자기 모멘트를 배열함으로써 발생하고^[7], 이러한 자기 결합에 덧붙여 추가되는 마이크로스트립 선로에 의하여 전기 결합이 증가하게 된다.

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

이 전기결합에 의해 추가된 신호 경로가 감쇠극을 형성한다^[8]. 마이크로스트립 공진기의 길이를 조정함으로써 전기 결합량을 변화시키고, 바뀐 전기 결합량에 따라 특정 주파수에서 병렬저항 임피던스가 영이 되도록 하여 전송영점을 형성하므로 감쇠극이 나타나게 된다. 따라서 원하는 주파수에서 감쇠극을 얻기 위하여 삽입된 마이크로스트립 공진기의 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].

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

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

여기서 Q_e 와 w 는 외부 양호도와 fractional bandwidth를, $k_{i,i+1}$ 은 i 번째와 $i+1$ 번째 공진기

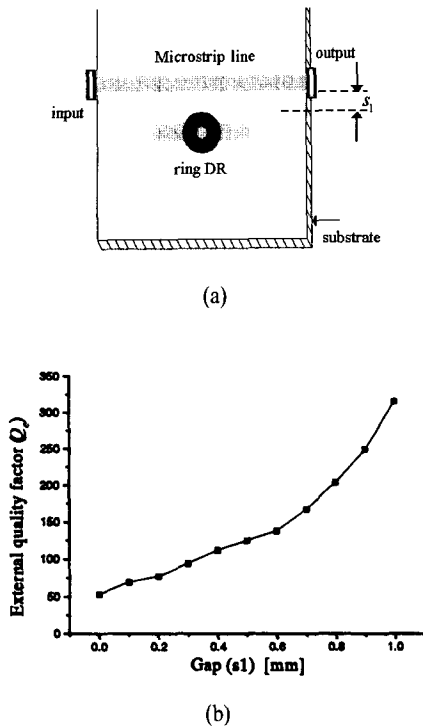


그림 3. Q_e 측정. (a) 구조도, (b) Q_e vs. s_1 .
Fig. 3. Q_e measurement. (a) Geometry, (b) Q_e vs. s_1 .

사이의 결합계수를 나타낸다. g_i ($i=0, 1, 2, \dots$)는 최대 평균 응답에 대한 지역통과 여파기 기본형의 i 번째 소자값이다. $g_0 = g_3 = 1$, $g_1 = g_2 = 1.4142$ 이고^[10], 식 (1)과 (2)로부터 3 dB 대역폭이 50 MHz일 때, $Q_e = 307.7$ 과 $k_{12} = 0.0046$ 이 된다.

유전체 공진기 여파기에서 위의 Q_e 와 k_{12} 를 얻기 위하여 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기 사이의 간격 s_1 는 그림 3에서처럼 실험적으로 산출할 수 있다. 그림 3 (a)에서 주파수 특성은 대역저지 여파기와 같고, 무부하 양호도 Q_0 와 최대 삽입손실 L_0 를 측정할 수 있다. 외부 양호도 Q_e 는 $Q_e = Q_0/k$ 로부터 얻어지며, 여기서 부가된 마이크로스트립 공진기를 포함한 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로 사이의 결합계수 k 는 $k = 10 \exp(-L_0/20)$ 로 가정한다^[7]. 그림 3 (b)는 Q_e 측정 결과를 나타내고 있다.

그림 4는 공진기 사이의 결합계수 k_{12} 측정에 대

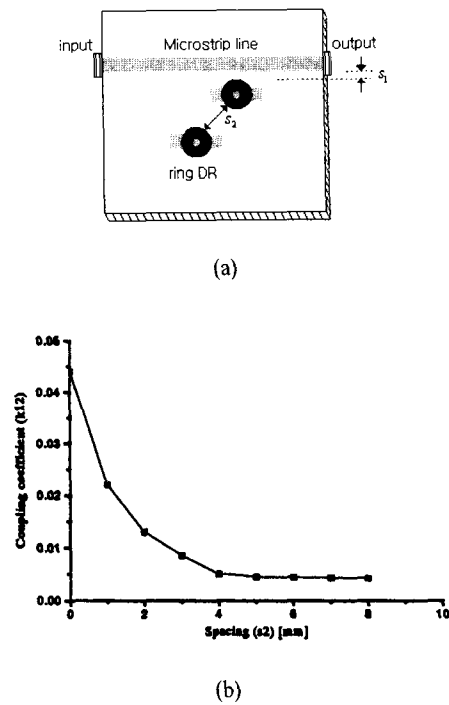


그림 4. k_{12} 측정. (a) 구조도, (b) k_{12} vs. s_2 .
Fig. 4. k_{12} measurement. (a) Geometry, (b) k_{12} vs. s_2 .

한 구조도 및 결과를 나타낸 것이다. 그림 4 (a)의 주파수 특성은 역쌍봉 특성을 갖고 각각의 최저 삽입손실에 대한 두 개의 주파수로부터 다음의 관계식을 이용하여 유전체 공진기 사이의 결합계수를 구할 수 있다^[2].

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

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

그림 5는 일반적인 구조의 유전체 공진기 여파기와 새로운 구조의 여파기에 대한 FEM 모의실험 결과이다.

일반적인 구조($L=0$ mm)의 경우 통과대역 상위 부분에서 상당한 스푸리어스가 발생하는 것을 알 수 있다. 유전체 공진기 아래 마이크로스트립 공진기를 삽입한 새로운 구조의 경우 마이크로스트립 선로의 길

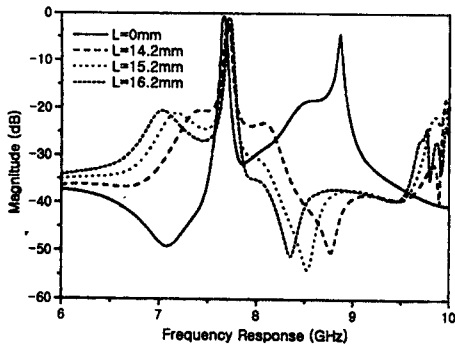


그림 5. 유전체 공진기 여파기의 모의실험 결과.

Fig. 5. Simulated results of the DR BPF.

이에 따라 감쇠극이 이동하는 것을 확인할 수 있다.

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 측정 결과 통과대역의 상위 부분에서 나타났던 스퓨리어스는 억제되고 모의실험 결과와 비슷하게 감쇠 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이를 조정함으로써 통과대역의 변화없이 특정 주파수 대역이 저지되고 있음을 보여준다.

III. 듀플렉서의 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 아래 부분에서 감쇠극을 가지지만 윗부분에서는 상당한 스퓨리어스가 존재한다. 반면에 새로 제시된 여파기는 통과대역의 상위 부분에서 저지 대역을 형성한다.

따라서 듀플렉서에서 보다 나은 격리도(isolation) 특성을 얻기 위하여 감쇠극을 상대편 통과대역에 위치시키기 위하여 듀플렉서의 낮은 통과대역에는

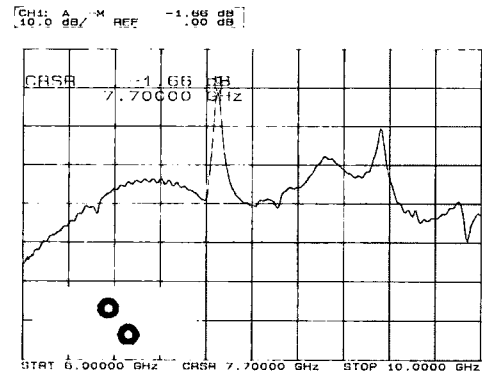


그림 6. 일반적인 여파기의 주파수 응답 측정 결과.

Fig. 6. Measured result of the general DR BPF.

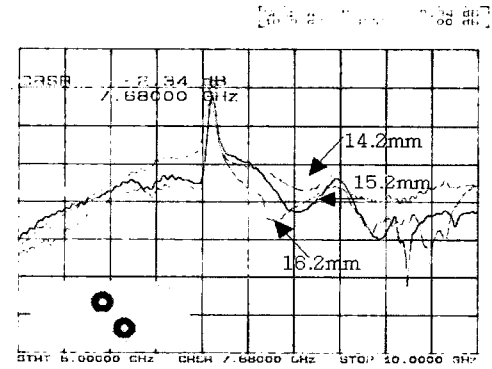


그림 7. 새로운 여파기의 주파수 응답 측정 결과.

Fig. 7. Measured results of the new DR BPF.

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 응답을 나타내고 있다.

여기서 높은 통과대역에서 쓰인 링 유전체 공진기의 내경, 외경 및 높이는 각각 2 mm, 7.07 mm, 3.14 mm이고 낮은 통과대역에서 쓰인 것의 내경, 외경 및 높이는 각각 2 mm, 7.69 mm, 3.41 mm 이다.

IV. 결 과

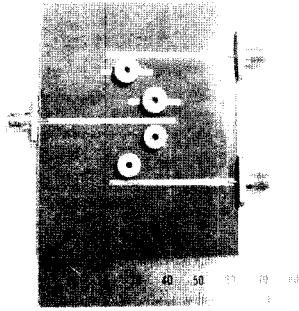


그림 8. DR을 이용한 듀플렉서의 실물 사진.
Fig. 8. A photo of the DR duplexer.

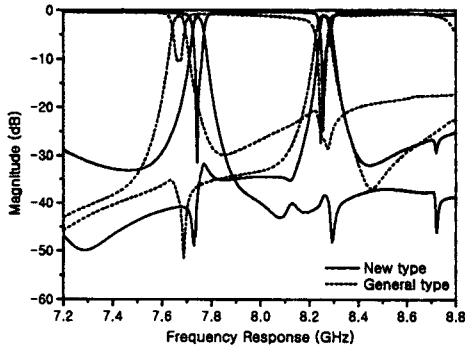


그림 9. 듀플렉서의 모의실험 결과.
Fig. 9. Simulated results of the duplexer.

듀플렉서에 대한 FEM 모의실험 결과를 그림 9에서 보여주고 있다. 그림 10은 제작된 듀플렉서의 산란계수 측정 결과이다. 새로운 구조의 듀플렉서는 일반적인 구조의 것보다 모의실험 결과와 측정 결과에서 모두 우수한 격리도와 차단 특성을 나타냈다. 새로운 구조의 듀플렉서는 낮은 통과대역에서 11.78 dB, 높은 통과대역에서 14.41 dB의 격리도 향상을 보여주었다. 표 1에서 듀플렉서의 측정 결과를 자세히 요약하였다.

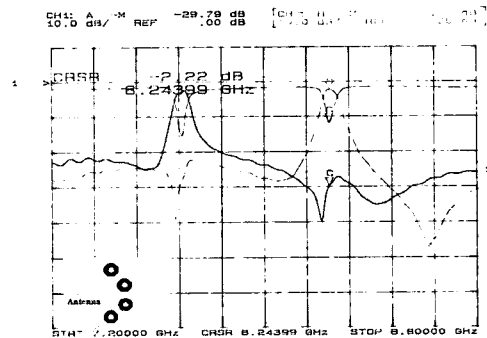
V. 결 론

새로운 구조의 유전체 공진기 대역통과 여파기가 설계, 제작되었다. 제작된 여파기는 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이를 조정함으로써 감쇠극의 위치를 이동시킬 수 있으며, 이를 이용한 듀플렉서는 일반적인 구조의 것보다 우수한 격리도와 차단 특성을 나타냈다. 모의실험 결과는 측정 결과와 일치

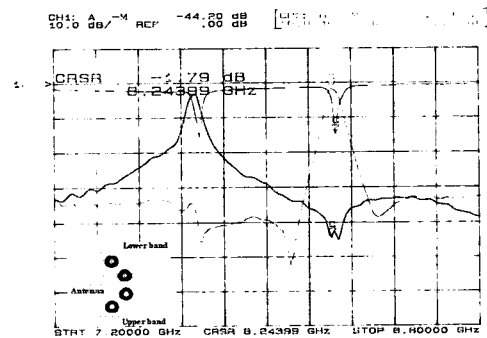
표 1. 듀플렉서 비교.

Table 1. Comparison of the duplexers.

		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



(a)



(b)

그림 10. 듀플렉서의 주파수 응답 측정 결과. (a) 일반적인 구조의 여파기를 이용한 것, (b) 새로운 구조의 여파기를 이용한 것.

Fig. 10. Measured results of the duplexer. (a) with the general DR BPF, (b) with the new DR BPF.

했으며, 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.

참 고 문 헌

- [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.

조 상 호



1998년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
 2000년 3월 ~ 현재: 고려대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] DR Filter, Antenna, RF Active Devices

성 영 제



2000년 2월: 고려대학교 전기전자 전파공학부 (공학사)
 2000년 3월 ~ 현재: 고려대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 급전을 위한 도파관 구조 및 밀리미터파 대역 배열 안테나

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업
대학 전자과 조교수

1982년 2월~1988년 3월: Univer-
sity of Massachusetts at Amherst,
Research Assistant

1988년 3월~1989년 2월: Univer-
sity of Massachusetts at Amherst,
Post doc

1989년 3월~1993년 2월: ETRI 이동통신연구단 무선기
술 연구실 실장

1993년 3월~현재: 고려대학교 전파공학과 교수