

## CSRR을 이용한 광대역 BPF 최적 설계 연구

김군태\*, 이제광\*, 고재형\*, 김형석\*  
 중앙대학교대 전자전기공학부\*

### A Study on Optimization Design of Wideband Band-pass Filter Using CSRR

Koon-Tae Kim\*, Je-Kwang Lee, Jae-Hyeong Ko, Hyeong-Seok Kim\*  
 School of Electrical Electronics of Engineering Chung-Ang University\*

**Abstract** - 본 논문에서는 CSRR을 이용하여 0.5~1.5GHz 대역의 광대역 필터를 최적 설계 연구 하였다. Metamaterial의 일종인 CSRR은 LC 공진기 역할을 하며 전송선로와 결합하여 필터 특성을 나타낸다. 또한 높은 Q-factor의 특성을 갖기 때문에 협대역 대역통과 필터 특성을 갖는다. 이에 본 논문에서는 CSRR을 이용하여 광대역 대역통과 특성을 갖기 위해서 전송선로의 형태를 변형하고 진화알고리즘중 하나인 진화전락기법을 이용하여 단일 셀의 최적 설계를 수행하였다. 이후 단위 셀을 다단으로 연결하여 최종 광대역 필터를 설계하였다. 본 논문에서 설계된 광대역 필터는 0.5~1.5GHz의 대역폭을 갖으며 00~00dB의 삽입손실을 갖는다. 그리고 저지대역에서 00~00dB의 저지 특성을 갖는다.

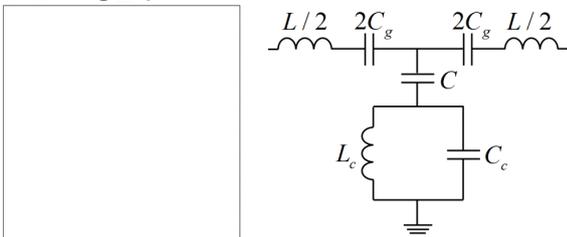
#### 1. 서 론

산업이 발달함에 따라 산업체나 일반 가정에서 전기에 대한 의존도가 날로 증가하고 있으며, 전력설비의 대형화, 밀집화, 다기능화로 전력설비의 고장으로 인한 전기사고 발생 시에는 그 경제, 산업적 피해가 막대하다. 전력의 안정적인 운여를 위해서는 전력기기의 예방진단이 필수적으로 요구된다. 전력기기의 노후화나 이물질 침투에 의한 부분방전으로 인하여 생길 수 있는 문제를 부분방전 모니터링 시스템을 통하여 해결할 수 있다. 부분방전에 의하여 생기는 부분방전 신호를 검출하기 위한 RF 전지부의 개발이 요구되어진다. 광대역 필터는 부분방전 모니터링 시스템에서 중요한 부품이다. PCB보드에 패턴을 삽입하는 평면형 광대역 필터는 전송선로와 공진기의 결합으로 이루어진다. 이러한 필터는 낮은 주파수에서 넓은 공간을 필요로 하는 단점이 있다. 본 논문에서 사용된 CSRR 공진기는 LH-metamaterial의 일종으로 크기가 작고, 가격이 싸며, 높은 Q-factor를 갖고 있어서 무선통신 시스템에 많이 사용되고 있다[1].

CSRR을 이용한 필터에는 SIR과 개방회로 필터, 사각루프 커플링 필터, 평행 전송선로 필터 등 다양하게 연구되고 있다[2][3]. 그러나 현재까지 연구된 필터는 구조가 복잡하고 설계변수가 많아서 체계적이 최적 설계가 필요하다. 본 논문에서는 CSRR 공진기와 전송선로의 gap capacitance를 증가시키기 위해 변형된 구조를 제안하고 진화알고리즘중 하나인 진화전락기법을 이용하여 광대역 필터 단위 셀의 최적 설계를 수행하였다. 저지 대역의 저지 특성을 향상시키기 위해서 단위 셀을 다단으로 연결하여 최종 광대역 필터를 설계하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 CSRR 공진기

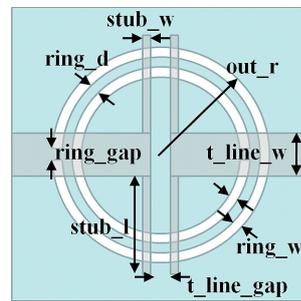


〈그림 1〉 전송선로와 CSRR 결합 구조 및 등가회로 모델

SRR과 CSRR은 많은 문헌에서 그 해석 방법이 연구되었다[2],[3]. CSRR은 전송선로의 그라운드 면에 식각 되어져 있으며 전송선로에서의 E-field가 CSRR에 수직으로 입사되어 LC 공진기로 동작하게 된다. 그림 1에서 CSRR의 일반적인 구조와 등가회로 모델을 나타내고 있다. CSRR은  $L_c$ 와  $C_c$ 로 구성된 공진기이고  $L$ 은 전송선로의 inductance,  $C_g$ 는 전송선로의 gap capacitance,  $C$ 는 전송선로와 그라운드간의 커플링을 나타내고 있다[4].

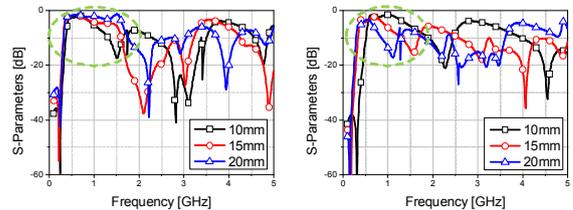
##### 2.2 CSRR을 이용한 광대역 필터 단위 셀

등가회로 모델의 각 소자 중에서 gap capacitance인  $C_g$ 는 필터의 대역폭에 큰 영향을 준다. 이에 전송선로에서  $C_g$ 를 증가시키기 위해 선로의 모양을 변형시켜야 한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 광대역 필터의 구조 및 설계 변수이다.



〈그림 2〉 제안된 광대역 필터의 구조 및 설계 변수

그림 2의 제안된 광대역 필터는  $C_g$ 를 증가시키기 위해서 전송선로 사이에 평행한 가지선로를 추가하였다. 제안된 광대역 필터 단위셀의 각 설계변수의 특성 및 민감도를 분석하였다. 그림 3은 주요 설계변수의 삽입손실 특성을 나타내고 있다.



〈그림 3〉 광대역 필터의 설계변수 삽입손실 특성

설계변수 ring\_w와 stub\_x는 저지대역의 특성에 영향을 주며, out\_r은 통과대역 중심주파수, stub\_y는 통과대역의 대역폭에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 그 외의 설계변수는 광대역 필터의 특성에 미미한 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 설계변수가 광대역 필터의 특성에 대한 민감도를 갖고 최적설계에 적용하였다.

##### 2.3 광대역 필터의 단위 셀 최적 설계

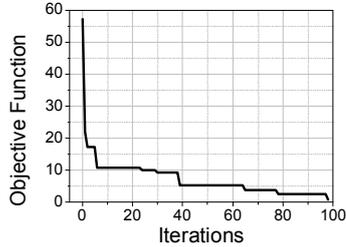
본 논문에서 사용된 (1+1)진화전락기법은 진화알고리즘 최적화 기법중 하나로 하나의 부모 세대와 하나의 자식 세대의 목적함수를 비교하여 가장 적합한 설계 변수 집합을 선택하고 선택된 집합을 다음 부모 세대를 구성하여 최적화 된 설계 변수를 찾아가는 알고리즘이다.

식 1은 본 논문에서 사용된 최적설계의 목적함수와 구속조건을 나타내고 있다.

$$F = \sum_{i=1}^6 (S_{o1} - S_i)^2 + \sum_{j=1}^6 (S_{o2} - S_j)^2 + \sum_{k=1}^6 (S_{o3} - S_k)^2 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S_{o1} &= -20dB \text{ at } 0 \sim 0.3GHz \\ S_{o2} &= -3dB \text{ at } 0.5 \sim 1.5GHz \\ S_{o3} &= -15dB \text{ at } 2 \sim 3GHz \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $S_{01}$ ,  $S_{02}$ ,  $S_{03}$ 는 각 주파수 대역의 목적 삽입손실이고,  $S_i$ ,  $S_j$ ,  $S_k$ 는 각 iteration에서 주파수 대역의 삽입손실이다. 최적 설계 과정에서 앞의 설계변수의 특성 분석에서 가장 민감했던 ring\_w, out\_r, stub\_x, stub\_y의 변수 변화 폭을 세밀하게 조정하여 수행하였다. 그림 4는 최적설계의 목적함수 수렴도를 나타내고 있다. 총 98번의 반복 계산을 통해서 목적함수에 수렴 하였다. 표 1은 초기 설계 변수와 최적 설계 변수의 값을 나타내고 있다.

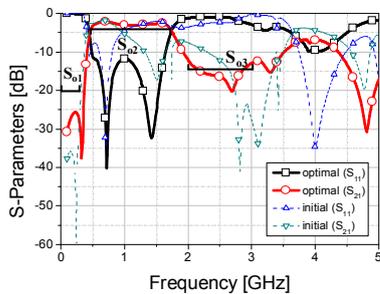


〈그림 4〉 최적 설계 목적 함수 수렴도

〈표 1〉 초기 설계변수와 최적 설계변수

설계 변수	단위	초기값	최적값
out_r	mm	15	14.75
ring_w		0.2	0.46
ring_d		0.2	0.36
t_line_w		2.2	2.06
t_line_gap		0.4	0.28
ring_gap		0.4	0.48
stub_x		0.4	0.8
stub_y		20	16.45

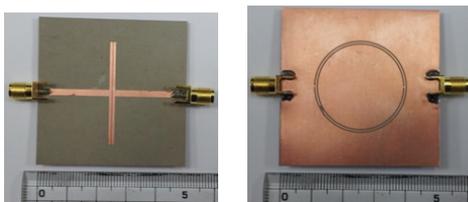
표 1의 초기 설계변수와 최적 설계변수를 비교해 보면 가장 민감했던 설계변수에서 큰 변화가 일어난 것을 확인할 수 있다. 광대역 필터 단위 셀은 유전율 6.15, 높이 0.625mm의 Rogers RT/duroid 6006 기판을 사용하여 설계 하였다. 그림 5는 초기설계와 최적설계의 삽입손실을 비교한 그래프이다. 각 주파수 대역의 구속조건을 붉은 실선으로 표시하였다. 최적 설계 결과 구속조건을 만족한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 초기설계와 최적설계 결과 비교

#### 2.4 광대역 필터의 단위 셀 제작 및 측정

최적 설계된 광대역 필터의 단위 셀을 제작, 측정하였다. 그림 6은 제작된 광대역 필터의 단위 셀이다. 그리고 그림 7은 시뮬레이션과 측정결과를 비교한 그래프이다. 표 2에 시뮬레이션과 측정결과를 대역폭과 삽입손실로 정리하였다.



〈그림 6〉 광대역 필터의 단위셀 제작 사진

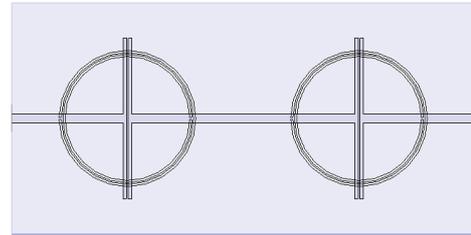
〈표 2〉 시뮬레이션과 제작 결과 비교

	대역폭 (GHz)	삽입손실 (dB)
Optimal	0.5 ~ 1.5	-1.63 ~ -3.05
Measure	0.5 ~ 1.5	-0.49 ~ -1.73

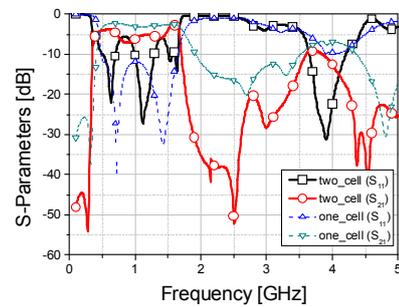
제작 측정 결과 통과대역의 손실이 더 감소하였으며 저지대역의 특성 또한 좋아 진것을 확인할 수 있다. 대역 및 삽입손실이 검증된 단위 셀을 이용하여 다단으로 구성된 광대역 필터를 설계하였다.

#### 2.4 광대역 필터의 단위 셀 다단 설계

광대역 필터 단위 셀에서 저지 대역의 특성이 -20dB로 일반적인 필터에 비해 낮은 것을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 저지대역 특성을 향상시키기 위해서 단위 셀을 다단으로 연결하여 설계 하였다. 그림 7은 2개의 단위 셀을 연결한 광대역 필터이다. 그림 8은 2개의 단위 셀 연결한 광대역 필터의 삽입손실 특성 그래프이다.



〈그림 7〉 2개의 단위 셀로 구성된 광대역 필터



〈그림 8〉 2개의 단위 셀로 구성된 광대역 필터

2개의 단위 셀을 다단으로 연결한 결과 저지 대역이 -20dB에서 -40dB로 향상된 것을 확인할 수 있다. 그러나 통과대역에서 삽입손실이 조금 낮아졌다. 이는 각 단위 셀의 간격에 따른 오차로 판단되어 이 부분에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 3. 결 론

CSRR공진기를 이용하여 광대역 필터를 설계하였다. CSRR공진기의 대역폭을 증가시키기 위해서 gap capacitance에 영향을 주는 가지선로를 추가하여 설계하였으며 진화전략기법을 이용하여 최적 설계하였다. 최적설계 결과 0.5~1.5GHz의 광대역 필터가 설계 되었으며 저지대역에서는 -20dB 저지특성을 갖게 되었다. 광대역 필터의 저지대역 특성을 향상시키기 위해서 광대역 필터의 단위 셀을 다단으로 설계하였으며 설계 결과 -40dB이상의 저지대역 특성이 향상 되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구(2010T100100605) 주관으로 수행된 과제임

#### 참고 문헌

- [1] Ricardo marques, et. al "Comparative Analysis of Edge-and Broadside-Coupled Split Ring Resonators for Metamaterial Design-Theory and Experiments" IEEE Trans. on AP, vol. 51, no. 10, pp. 2572-2581, Oct, 2003
- [2] J.D. Baena, et. al "Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission line," IEEE Trans. on MTT, vol. 53, no. 4, pp. 1451-1461, 2005.
- [3] J. Bonache, M. Gil, I. Gil, J. Garcia-Garcia and F. Martin, "On the electrical characteristic of complementary metamaterial resonators," IEEE MWCL vol. 16, no. 10, pp. 543-545, Oct. 2006.
- [4] X. Luo, H. Qian, J-G. Ma and E.-P. Li, "Wideband bandpass filter with excellent selectivity using new CSRR-based resonator," EL, vol. 46, no. 20, pp. 1390-1391, 2010.