

원형 CSRR를 이용한 소형 협 대역통과 필터 설계

정희원 최 동 목*, 김 당 오* , 김 채 영 **°

Design of a Compact Narrow Band Pass Filter Using the Circular CSRR

Dong-Muk Choi*, Dang-Oh Kim**, Che-Young Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 원형 Complementary split-ring resonator(CSRR)를 이용하여 마이크로스트립 기판상에 구현될 소형 협 대역통과 필터설계기법을 제안한다. 이 필터의 설계기법은 원형 CSRR, 패치사이의 용량성 갭, 그리고 미앤드 구조를 가진 유도성 스텐브의 조합으로 구성된 필터 단들의 중속 연결에 근거를 두고 있다. 그 기법하에서 거의 대칭인 필터응답, 가변 대역폭, 그리고 소형필터를 구현할 수 있었다. 제안된 필터는 기존의 필터보다 저지대역에서 우수한 차단특성을 가졌다. 측정결과, 삽입손실은 중심주파수($f_0=1\text{GHz}$)에서 -4.0dB , 통과대역에서 -9.4dB 이하, 3dB 대역폭은 약 4%로 나타났다. 제작된 필터의 관심 영역 주파수응답은 HFSS로 전산모의 실험된 값과 잘 일치되었다.

Key Words : Complementary Split Ring Resonators, Microstrip lines, Microwave Filter

ABSTRACT

In this paper, a design method of the compact narrow band filter on the microstrip board is proposed using complementary split-ring resonators(CSRRs). The design technique of this filter is based on cascading filter stages consisting of the combination of circular CSRRs, capacitive gaps between patches, and inductive grounded stubs with the meander configuration. By these means, it was possible to get the nearly symmetric frequency responses, adjustable bandwidths, compact sizes. And also excellent characteristic of the out-of-band rejection is achieved in contrast to the conventional filter design technique. The measured insertion shows good results about -4.0dB at the center frequency($f_0=1\text{GHz}$) and passband return loss is less than -9.4dB . The 3dB fractional bandwidth(FBW) is approximately 4%. The results of the frequency response measured on the fabricated band pass filter substrate show satisfactory agreement with the simulated frequency responses by the HFSS in the region of interest.

1. 서 론

최근 이동통신의 급속한 발달과 더불어 보다 많은 통신채널이 요구됨에 따라 각 채널간의 간격이 점점 좁아지고 있다. 이는 채널간의 간섭을 증가시키게 된다. 따라서 채널간의 간섭을 줄이기 위해서

는 높은 선택도와 통과대역 끝에서 차단율이 높은 대역통과필터가 필요하다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 다수개의 극점을 갖는 필터 설계법이 제안되어야 한다. 다수개의 극점을 갖는 필터는 높은 삽입손실, 크기 및 비용의 증가와 더불어 신호의 왜곡을 심화시킨다. 따라서 필터의 차수가 작으

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 ** 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수 (cykim@ee.knu.ac.kr) (°:교신저자)
논문번호 : KICS2009-04-168, 접수일자: 2009년 4월 20일, 최종논문접수일자: 2009년 11월 6일

면서 우수한 차단특성을 가지는 필터의 설계가 필요하다. 이러한 필터를 구현하기 위한 방법으로서 공진 구조를 이용한 설계법이 연구되어 왔다¹¹⁻¹⁴. 이러한 형태의 필터 구현시 소형 경량화 요구조건을 충족시키기 위해 마이크로스트립라인이 이용되었다. 그러나 마이크로스트립라인을 이용한 공진기는 품질계수(Q)가 작을 뿐만 아니라 2, 3차 공진에 의한 고조파가 생김으로 인해 특히 저지대역 특성이 나빠진다. 저지대역 특성을 개선하기 위해 여러 가지 방법이 제안되었다^{15,16}.

최근에 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 CSRR을 이용한 필터 설계법이 소개되고 있다^{7,9}. 이 구조를 이용하면, 공진주파수에서 높은 품질계수를 가지면서도 신호의 파장보다 훨씬 작은 크기의 공진기 설계가 가능해진다. 본 논문에서는 이러한 종류의 공진기를 이용하여 소형이면서도 우수한 선택도를 가지는 협대역 대역통과필터를 설계하였다. 마이크로스트립 기판의 하부 접지면에 원형 CSRR을 제작하고, 윗면 신호선에 용량성 갭과 미앤드 구조의 유도성 스텐브를 추가하여 필터를 구성하였다. 신호선에 부가된 용량성 갭과 유도성 스텐브를 조정함으로써 대역폭과 삽입손실의 가변이 가능하고, 광대역에 걸쳐 우수한 저지대역 특성을 갖는 필터를 구현하였다.

II. 필터설계

일반화된 대역통과필터는 어드미턴스 인버터와 공진주파수 f_0 를 가지는 공진기가 교대로 종속 연결된 형태를 갖는다¹⁰. 그 형태를 그림 1에 나타내었다.

제안된 필터의 기본 셀의 구조는 기판의 접지면에 원형 CSRR이 식각(蝕刻)되어 있다. 상부면은 신호선 사이에 있는 사각패치에 미세하게 식각된 갭과 비아홀을 통해 접지된 미앤드 구조로 되어있는 금속 스텐브로 구성되어있다. 이 구조에서 CSRR은 L_p 과 C_r 로 구성된 공진기이고, 용량 C_c 는 CSRR 사이에 존재하는 금속과 갭 사이의 패치와의 결합(Coupling)량이다. 접지된 스텐브는 인덕턴스 L_p 로 나타낼 수

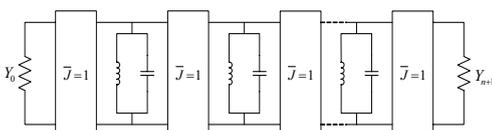


그림 1. 어드미턴스 인버터와 병렬 공진기로 구성된 일반화된 대역통과 필터

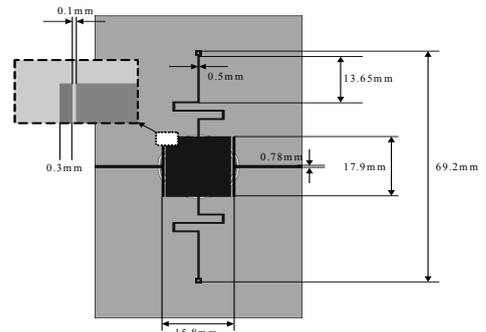
있고, 두 개의 갭은 C_s 로 표현될 수 있다.

이 구조에서 인덕턴스 L_p 는 통과대역 상부끝에서의 주파수 천이특성을 개선하고, 광대역에 걸친 대역 저지특성을 개선하기 위해 도입되었다. 어드미턴스 인버터를 구현하기 위해서는 90° 위상변이를 가지는 회로를 설계하여야 한다. 이를 위해 패치사이에 미세한 갭을 식각하였다. 이 방법은 전송선을 이용하여 구현하는 것 보다 필터의 전체사이즈를 줄이는데 있어서 훨씬 효과적이다. 그림 2에 보인 등가회로를 근거로 하여 중심주파수 f_0 가 1GHz이고, 비 대역폭(FBW)이 5%인 대역통과 필터를 설계하였다. 중심주파수에서 기본 셀의 입출력 포트사이의 위상변이 θ 는 90°, Bloch 임피던스 Z_B 는 그림 1 회로의 포트 임피던스 Z_0 로 주어진다⁸. 그림 2(b)에서 나타난 T형 회로가 반복되는 구조에서 Z_B 와 θ 는 다음과 같이 주어진다⁹.

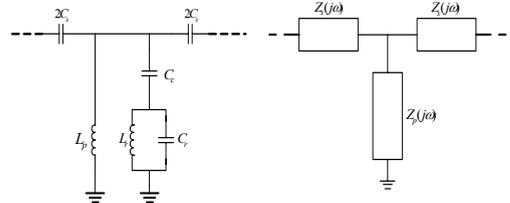
$$\cos \theta = 1 + \frac{Z_s(j\omega)}{Z_p(j\omega)} \tag{1}$$

$$Z_B(j\omega) = \sqrt{Z_s(j\omega)[Z_s(j\omega) + 2Z_p(j\omega)]} \tag{2}$$

그림 2(b)에 주어진 회로의 값을 구하기 위해 식



(a) 기본 셀 구조



(b) 등가회로

그림 2. 제안된 필터의 기본 셀과 등가회로

(1), (2)에 f_o 의 조건을 부가하면 $Z_s = -jZ_0$, $Z_p = jZ_0$ 가 된다. $Z_s = -jZ_0$ 로부터 C_s 값은 다음과 같이 주어진다.

$$C_s = \frac{1}{2\omega Z_0} \quad (3)$$

선트 임피던스 $Z_p = jZ_0$ 라는 조건으로부터 식 (4)를 유도할 수 있다.

$$\frac{L_p L_r \omega_0^3 (C_c + C_r) - L_p \omega_0}{L_r \omega_0^2 (C_c + C_r) - C_c \omega_0^2 L_p (L_r C_r \omega_0^2 - 1) - 1} = Z_0 \quad (4)$$

Z_p 값은 4개의 소자로 구성되어 있으므로 3개의 조건이 더 필요하다. f_z 는 그림 2(b)의 회로에서 전송계수(S_{21})값이 0 인 주파수이며, 다음과 같이 주어진다.

$$f_z = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r (C_r + C_c)}} \quad (5)$$

나머지 두 개의 조건은 기본 셀을 구성하는 공진기의 3dB 대역폭(Δ)과 관련되어 있다. 그 값은 식 (6)으로 표현된다.

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (6)$$

여기서 ω_0 , ω_2 , ω_1 는 각각 중심 각 주파수와 상, 하측파대 3dB 각 주파수를 나타낸다. 이 값은 주기 구조로 설계한 필터의 비 대역폭(FBW)과 다음과 같은 관계가 있다⁹⁾.

$$\Delta = \frac{2FBW}{g_i} \quad (7)$$

여기서 g_i 값은 지역통과필터 설계를 위해 주어지는 값이다. 3dB 각 주파수에서 선트 임피던스 Z_p 값은 각각 $Z_0/2$ 와 무한대가 된다. 이로부터

$$\frac{L_p L_r \omega_1^3 (C_c + C_r) - L_p \omega_1}{L_r \omega_1^2 (C_c + C_r) - C_c \omega_1^2 L_p (L_r C_r \omega_1^2 - 1) - 1} = \frac{Z_0}{2} \quad (8)$$

$$L_r \omega_2^2 (C_c + C_r) - C_c \omega_2^2 L_p (L_r C_r \omega_2^2 - 1) - 1 = 0 \quad (9)$$

가 된다. 설계된 필터의 구조는 기본 셀의 반복적인 병렬결합이므로 Δ 의 값들은 모두 동일하다. 따라서 기존의 필터 설계를 위해 주어진 g_i 값들을 사용할 수 없다. 이 값을 얻기 위해 동일한 소자 값을 가지면서, 필터의 차수가 3인 지역통과필터 기본형을 기준으로 하고, 이 필터의 차단 각 주파수 ω_c 가 1[rad/s]에서 -3dB를 갖도록 설계하였다. 이 조건을 만족하는 g_i 값을 구하기 위해 상용 프로그램인 ADS를 이용하여 주파수 응답특성을 전산모의실험 하였고, 그 결과 최적의 g_i 값은 1.521 이었다.

전송계수(S_{21})를 0으로 만드는 주파수 f_z 의 설정 기준은 설계된 필터의 통과대역의 상측부 가장자리에서 변화율을 크게 하는 것과 저지대역에서의 고조파응답을 억제하는 것과 절충을 해야만 한다. 본 논문에서는 f_z 값을 $2f_0$ 로 설정하였다. CSRR의 초기값 결정은 참고문헌^[11]에서 제시된 방법을 이용하였다. 결합용량 C_c 는 CSRR과 결합된 상측부분의 금속을 부분적으로 제거하면 조정가능하다. 인덕턴스 L_p 와 직렬용량 C_s 를 구성하는 접지된 스테브의 길이, 굵기와 선간 간격, 갭 간격은 상용툴인 HFSS를 이용하여 전산모의실험을 통해 구현하였다. 이를 바탕으로 설계된 필터의 형상은 그림 3과 같다.

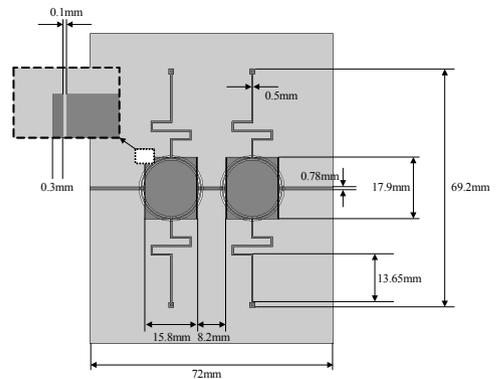


그림 3. 제안된 필터의 형상

III. 특성측정 및 평가

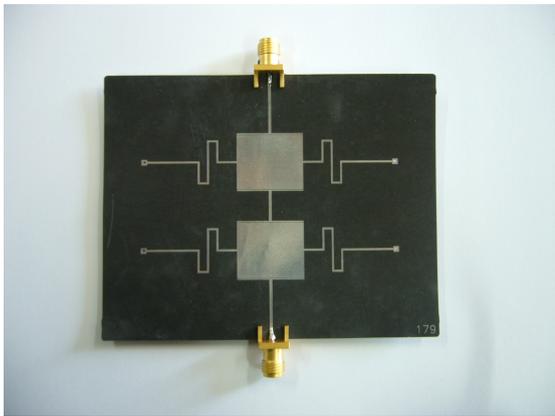
제안된 필터를 비 유전율(ϵ_r)이 2.2이고 두께가 0.254mm이고, 넓이가 72×90인 Duroid 5880 기판에 제작하였다. 그림 4(a), (b)에서 제작된 필터를

보여주고 있다. 회로망 분석기 Anritsu 37397C를 이용하여 제작된 필터의 주파수 특성을 측정하였다. 그림 5는 제작된 필터의 전산모의실험 및 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 5(a)는 통과대역에서의 주파수 특성이다. 중심주파수 f_0 에서 측정된 삽입손실 S_{21} 은 -4.0dB , 반사손실 S_{11} 은 통과대역에서 -9.4dB 이하였고, 대역폭이 40MHz ($\text{FBW}=4\%$)임을 알 수 있었다. 그림 5(b)는 광대역 주파수 특성을 보여준다.

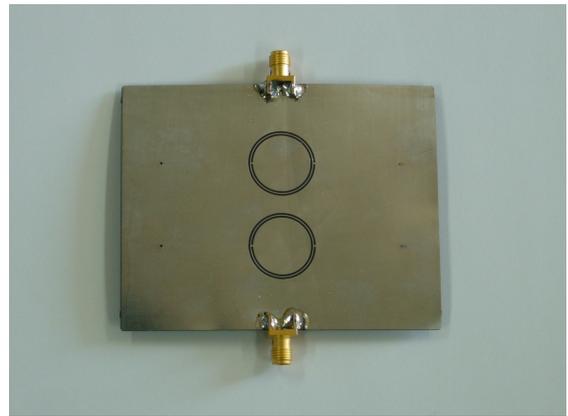
접지된 스테브에 의해 저지 대역에서 고조파 특성이 억제되며, 2.4GHz 에 걸친 범위까지 -26.4dB 이하의 우수한 차단특성을 보여주고 있다. 또한 측정값과 전산모의 실험값은 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CSRR을 이용하여 우수한 선택도를 가진 소형 협대역 필터를 설계 및 제작하였다. 측정결과 제작된 필터의 중심주파수 f_0 는 약 1GHz , 비대역폭(FBW)은 4% , 삽입손실 S_{21} 은 -4.0dB 이고, 통과대역에서 반사손실 S_{11} 은 -9.4dB 이하이었다. 그리고 광 대역에 걸쳐 -26.4dB 이하의 우수한 차단특성을 보여주었다. 측정된 주파수 응답은 통과대역 부근에서 HFSS로 전산모의 실험한 결과와 잘 일치하였다. 마이크로스트립 기판을 이용하여 제작된 필터는 소형화된 대역통과 필터 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

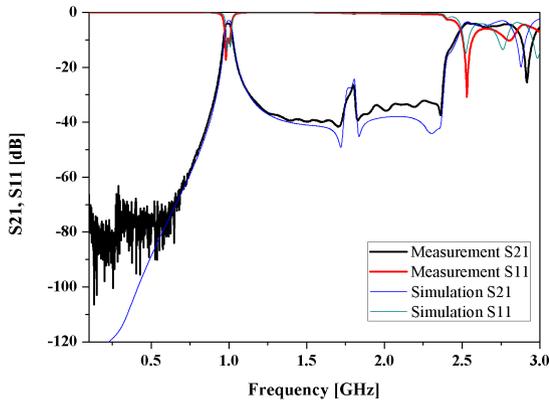


(a) 상부면



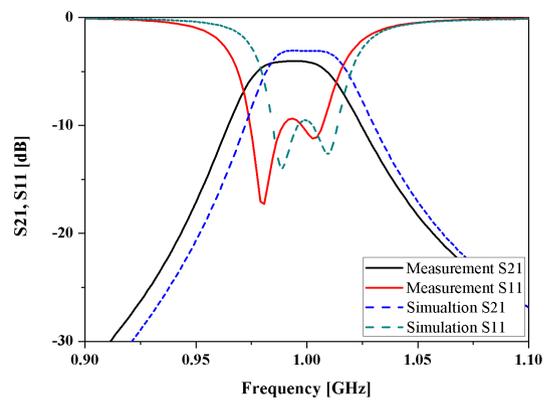
(b) 하부면

그림 4. 제작된 필터의 형상



(b) 광대역 주파수 특성

그림 5. 설계된 필터의 측정 및 전산모의실험 결과



(a) 통과대역 주파수 특성

참 고 문 헌

[1] A. E. Atia, A. E. Williams, "A Solution for narrow-band coupled cavities," *COMSAT Laboratories Tech. Memo. CL-39-70*, Sept. 22, 1970.

[2] A. E. Atia, A. E. Williams, "Narrow band- pass waveguide filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-20, pp. 258-265, Apr. 1972.

[3] A. E. Atia, A. E. Williams, R. W. Newcomb, "Narrow-band multiple-coupled cavities synthesis," *IEEE Trans. Circuits Systems*, vol. CAS-21, pp. 649-655, Sept. 1974.

[4] R. J. Cameron, J. D. Rhodes, "Asymmetric realizations for dual-mode bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-29, pp.51-58, Jan. 1981.

[5] C. F. Chen, T. Y. Huang, and R. B. Wu, "Novel compact net-type resonators and their applications to microstrip bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.54, No.2, pp.755-762, Feb. 2006.

[6] S. C. Lin, P. H. Deng, Y. S. Lin, C. H. Wang and C. H. Chen, "Wide-stopband microstrip bandpass filters using dissimilar quarter-wavelength stepped-impedance resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 3, pp. 1011-1018, Mar. 2006.

[7] F. Falcone, T. Lopetegi, J. D. Baena, R. Marques, F. Martin and M. Sorolla, "Effective negative- ϵ stopband microstrip lines based on complementary split ring resonators," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 14, no. 6, pp. 280-282, June 2004.

[8] J. Bonache, I. Gil, F. Martin, I. Gil, J. Garcia-Garcia, R. Marques and M. Sorolla, "Microstrip bandpass filters with wide bandwidth and compact dimensions," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 46, no. 4, pp. 343-346, Aug. 2005.

[9] M. Gil, J. Bonache, I. Gil, J. Garcia-Garcia, and F. Martin, "On the transmission properties of left-handed microstrip lines implemented by complementary split rings resonators," *Int. J.*

Numerical Modelling, vol. 19, pp. 87-103, Mar. 2006.

[10] J. S. Hong, M. J. Lancaster, *Microwave Filter for RF/Microwave Applications*, New York : John Wiley & Sons, pp. 56-61, 2001.

[11] J. D. Baena, J. Bonache, F. Martin, R. M. Sillerol, F. Falcone, T. Lopetegi, Miguel A. G. Laso, J. Garcia-Garcia, I. Gil, M. F. Portillo, and M. Sorolla, "Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary splitting resonators coupled to planar transmission lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.53, No.4, pp.1451-1461, Apr. 2005.

최 동 목 (Dong-Muk Choi)

정회원



1988년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사)

2003년 8월 경북대학교 전자공학과(공학박사)

1991년 3월~1992년 4월 LG 전자 연구원

1993년 4월~1998년 10월 국방품질관리연구소 연구원

2004년 3월~2006년 8월 한국해양대학교 산업기술연구소 전임연구원

2006년 8월~2009년 7월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 BK21 계약교수

2009년 8월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 박사후연수연구원

<관심분야> 마이크로파 소자 및 안테나 설계, 메타물질

김 당 오 (Dang-Oh Kim)

정회원



2007년 2월 한밭대학교 전파
공학과(공학사)
2009년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부(공학석사)
2009년 3월~현재 경북대학교
전자전기컴퓨터학부 박사과정

<관심분야> EMI/EMC, 마이크로파 소자 및 안테나
설계

김 채 영 (Che-Young Kim)

정회원



1976년 2월 경북대학교 전자
공학과(공학사)
1978년 2월 한국과학원 전기
및 전자공학과(공학석사)
1990년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과(공학박사)
1985년 9월~1986년 8월 미국
Syracuse 대학 방문 연구원

1991년 9월~1993년 2월 미국MIT공대 연구과학자
1979년 4월~1992년 9월 경북대학교 전자공학과전
임강사, 조교수, 부교수
1992년 10월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
교수

<관심분야> 이동통신 전파환경, 전자파 수치해석,
전자파이론 및 응용, 메타물질