

Parallel Coupled SIR을 이용한 이중대역 통과필터 설계 연구

Design of Dual-Band Pass Filter Using Parallel Coupled SIR

김 군 태*, 백 현*, 김 형 석**

Koon-Tae Kim, Hyun Paek, Hyeong-Seok Kim

Abstract

In this paper, Dual-band bandpass filter studied design using Parallel Coupled SIR(Stepped Impedance Resonator). This Dual-band bandpass filter design SIR of half-wavelength by Parallel-coupled type that is available to RFID system and Changed structure in Meander form by size reduce. Because seen Dual-band bandpass filter is designed so that is applicable for frequency 433MHz and 2.45GHz of RFID system is very wide distance between two pass-band, establish 433MHz by fundamental frequency and controlled 2.45GHz by 2st spurious resonance frequency bandstop filter of 1st spurious resonance frequency and Parallel coupled SIR Combine to remove 1st spurious resonance frequency.

Keywords : Parallel Coupled, SIR, Dual-band Filter, RFID, Meander

I. 서 론

최근 RF 기술을 이용한 통신 방법은 음성 통신을 벗어나 문자 및 기호의 전송을 통하여 많은 분야에 적용되고 있다. 물류/유통, 의료, 홈 네트워크, 환경 등에 적용하기 위한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 무선통신 시스템 및 서비스의 개발에 따라 다양한 주파수 대역에서 서로 다른 방식을 지원하는 멀티 모드, 멀티 밴드 통신 단말기가 개발되고 있다. 현재 RFID용 주파수 활용은 선박 및 항공의 컨테이너 관리용도의 433MHz와 유통/물류 전반에 사용되는 2.45GHz 및 912MHz 이 있다. 이에 따라 멀티 모드, 멀티 밴드로 사용할 수 있는 필터가 필요하다[1].

평행 결합 선로를 이용한 대역 통과 여파기(bandpass filter)는 Cohn이 처음 제안 후 널리 사용되었다[2]. 그러나 이 여파기는 설계가 용이하다는 장점을 가지고 있지만 크기가 크고 입출력단의 결합 선로 간격이 좁아 제작이 용이하지 않은 단점을 가지고 있다. 이러한 여파기의 단점을 보완하고자 Wiggly-line 및 홈 등을 이용한 많은 연구들이 있으나, SIR 공진기를 이용한 대역 여파기는 설계의 간편성과 고조파들에 대한 억압 특성 설계가 용이하여 널리 사용되고 있다[3-4].

본 논문에서는 RFID 사용 주파수인 433MHz 대역과 2.45GHz 대역의 이중대역 필터 설계를 목적으로 하였으며, chebyshev type의 Parallel Coupled SIR을 이용하여 설계하였다. 또 두 대역 사이의 Spurious 성분을 억제하기 위해서 broadband bandstop filter를 삽입하여 시뮬레이션 및 제작 설계하였다.

II. SIR의 Spurious 공진 주파수

기본 반파장($\lambda/2$) SIR(Stepped Impedance Resonators)는 그림 1과 같이 좌우 대칭 형태의 서로 다른 임피던스 라인 Z_1 과 Z_2 로 구성된다. 두 마이크로스트립 라인의 전기적 길이는 각각 θ_1 과 θ_2 로 주어진다[5][6].

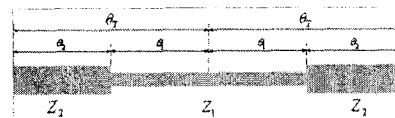


그림 1. 기본 반파장($\lambda/2$) SIR의 구조

Fig. 1. Fundamental structure of half-wavelength SIR

그림 1과 같이 주어진 기본 형태의 SIR의 어드미턴스는 식 (1)과 같다.

$$Y_i = jY_2 \frac{2(K \tan \theta_1 + \tan \theta_2)(K - \tan \theta_1 \tan \theta_2)}{K(1 - \tan^2 \theta_1)(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 + K^2) \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (1)$$

$K = Z_2/Z_1$ 는 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 비율이다. 식 (1)에서 공진 조건은 $Y_i = 0$ 이다. 식 (1)과 공진 조건으로부터 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 비율은 식 (2)와 같다.

$$K = \tan \theta_1 \tan \theta_2 \quad (2)$$

두 마이크로스트립 라인의 전기적 길이가 $\theta_1 = \theta_2$ 로 서로 같다고 가정하면 설계 방정식은 매우 간단하게 된다. 그러므로 SIR에서는 서로 다른 임피던스의 전기적 길이가 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 로 똑같다고 간주하고, 식 (1)은 아래 식 (3)과 같이 정리된다.

$$Y_i = jY_2 \frac{2(1 + K)(K - \tan^2 \theta) \tan \theta}{K - 2(1 + K + K^2) \tan^2 \theta + K \tan^4 \theta} \quad (3)$$

위의 공진 조건에서 기본 공진 주파수 f_0 와 전기적 길이

접수일자 : 2009년 8월 10일

최종완료 : 2009년 8월 14일

*중앙대학교 전자전기공학부 대학원

**중앙대학교 전자전기공학부

교신처, E-mail : Kimcaf2@cau.ac.kr

θ_0 를 사용하면 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 비율과 전기적 길이는 식 (4)와 같이 정리가 된다[7].

$$\tan^2\theta_0 = K \quad \text{or} \quad \theta_0 = \tan^{-1}\sqrt{K} \quad (4)$$

식 (3)에서 Spurious 공진 주파수 $f_{sn}(n=1,2,3,\dots)$ 와 전기적 길이를 고려하면 식 (5)와 같이 각 Spurious 공진 주파수와 기본 공진 주파수와의 관계를 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 비율로 정리 할 수 있다.

$$\frac{f_1}{f_0} = \frac{\theta_{s1}}{\theta_0} = \frac{\pi}{2\tan^{-1}\sqrt{K}}$$

$$\frac{f_2}{f_0} = \frac{\theta_{s2}}{\theta_0} = 2\left(\frac{f_1}{f_0}\right) - 1 \quad (5)$$

III. Parallel Coupled SIR 설계

SIR의 Shunt 형태 공진기의 Susceptance 기울기는 식 (6)과 같이 정의되어지며,

$$b = \frac{\omega_0}{2} \cdot \left. \frac{dB}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \frac{\theta_0}{2} \cdot 2(1+K) \cdot \frac{2}{1+K} Y_2 = 2\theta_0 Y_2 \quad (6)$$

여기서 B는 공진기의 Susceptance를 나타낸다[4].

따라서 설계하고자 하는 여파기의 기본 공진 주파수의 Fractional 대역(w) 및 단수(N)가 결정되면 Chebyshev 저역 통과대역 기본형 값(g_n)을 구할 수 있고, 이를 이용하여 각 단의 J-인버터의 값을 결정할 수 있다[8-9].

$$J_{01} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_0g_1}}$$

$$J_{j,j+1} = Y_0 \frac{2w\theta_0}{\sqrt{g_jg_{j+1}}} \quad (j=1 \sim n-1)$$

$$J_{n,n+1} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_n g_{n+1}}} \quad (7)$$

그림 2의 전기적 길이 θ 를 가지는 Parallel Coupled는 J-인버터와 두 개의 Z_0 , θ 의 특성을 가지는 선로를 Parallel Coupled로 변환이 가능하고 두 사이의 관계는 식 (8)과 같다[6].

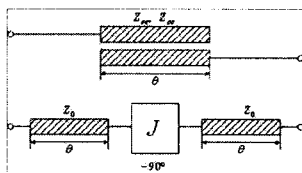


그림 2. Parallel Coupled와 J-인버터 등가회로
Fig. 2. Parallel Coupled and equivalent of J-inverter

$$\frac{Z_{oc}}{Z_0} = \frac{1 + (J/Y_0)\text{cosec}\theta + (J/Y_0)^2}{1 - (J/Y_0)^2\text{cot}^2\theta}$$

$$\frac{Z_{oo}}{Z_0} = \frac{1 - (J/Y_0)\text{cosec}\theta + (J/Y_0)^2}{1 - (J/Y_0)^2\text{cot}^2\theta} \quad (8)$$

III. 이중대역 통과 필터 설계

본 논문에서 설계한 Dual-band bandpass filter는 RFID

주파수인 433MHz와 2.45GHz를 통과대역을 갖는 Filter이다. 식 (5)에서 SIR의 Spurious 공진 주파수와 기본 공진 주파수와의 관계를 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 관계로 나타내고 있다. 이 관계를 이용하여 433MHz를 기본 공진 주파수로 하여 2.45GHz를 1st Spurious로 설정하여 두 선로의 임피던스 비율을 계산하면 두 대역 사이의 주파수 간격이 2GHz로 매우 큰 임피던스 비율을 가지게 되어 설계가 매우 어려워진다.

본 논문에서는 1st Spurious 공진 주파수가 아닌 2st Spurious 공진 주파수를 2.45GHz로 맞추어 설계 후 1st Spurious 공진 주파수를 억제하는 방법으로 설계 하였다.

표 1은 식 (5)에서 결정된 임피던스 비율과 식 (8)으로 결정된 Parallel Coupled SIR을 이용한 0.1dB 리플 Chebyshev 3단 대역 통과 필터의 우수, 기수모드 임피던스이다.

표 1. 3단 Parallel Coupled SIR의 주요 파라미터
Table 1. Parameter of 3-order Parallel coupled SIR

		Z_{oc}	Z_{oo}
J_{01}	0.188	83.82	35.95
J_{12}	0.043	55.19	45.71
J_{23}	0.043	55.19	45.71
J_{34}	0.188	83.82	35.95

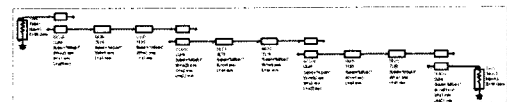


그림 3. 3단 Parallel Coupled SIR 필터
Fig. 3. 3-order Parallel coupled SIR filter

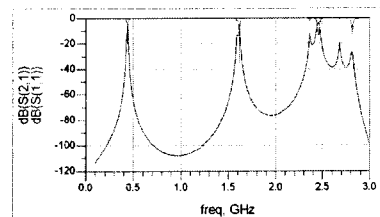


그림 4. Parallel Coupled SIR 필터 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result of Parallel coupled SIR filter

그림 3은 표 1의 Parallel Coupled SIR의 주요 파라미터로 설계한 필터의 구조이고, 그림 4는 그림 3의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 설계대로 433MHz를 기본 공진 주파수로 2.45GHz는 2st Spurious 공진주파수가 되고 두 대역 사이에 1st Spurious 공진 주파수가 발생된 것을 알 수 있다.

IV. 대역 저지 필터 설계

그림 4에서 나타난 1st Spurious 공진 주파수는 본 논문에서 설계하고자 하는 Dual-band bandpass filter에서는 노이즈 성분으로 1st Spurious 공진 주파수는 억제가 되어야 한다.

그림 5는 Broadband bandstop filter의 구조를 보여주고 있다. 1st Spurious 공진 주파수를 억제하기 위하여 3단 평행 결합 설로 SIR 필터 시뮬레이션 결과에서 나타난 1st

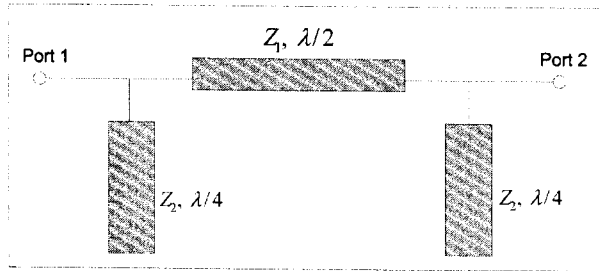


그림 5. 광대역 대역저지 필터의 구조
 Fig. 5. Architecture of the broadband bandstop filter

Spurious 공진 주파수인 1.6GHz를 중심으로 한 Bandstop filter를 구성하였다. 그림 6은 1.6GHz를 중심 주파수로 설계된 1st Spurious 공진 주파수를 억제용 Bandstop filter의 시뮬레이션 결과이다.

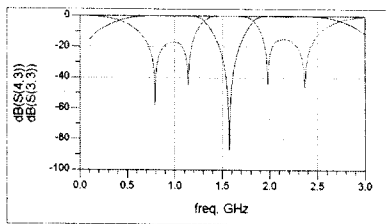


그림 6. 1st Spurious 공진 주파수 억제용 bandstop filter 시뮬레이션 결과
 Fig. 6. Simulation result of 1st spurious resonance frequency control bandstop filter

V. 제작 및 측정결과

그림 7은 그림 3의 Parallel coupled SIR과 그림 5의 Broadband bandstop filter를 결합한 최종형태의 Dual-band bandpass filter의 회로도이다. Parallel Coupled SIR을 중심에 두고 SIR의 입출력 부분에 Broadband bandstop filter를 결합하였다. 그리고 전체적인 크기를 줄이기 위해서 Parallel Coupled SIR을 미앤더 구조로 설계하였다.

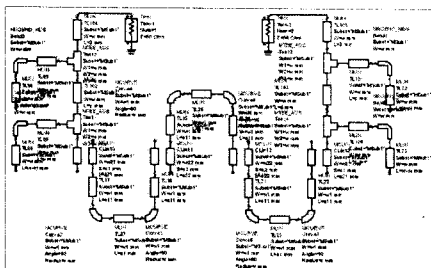


그림 7. Parallel Coupled SIR 이용한 이중대역 통과 필터
 Fig. 7. Dual-band bandpass filter using Parallel Coupled SIR

그림 8은 Dual-band bandpass filter의 시뮬레이션 결과이다. 그림 4와 비교하면 1st Spurious 공진 주파수인 1.6GHz 대역이 억제되며 433MHz와 2.45GHz에서는 통과 대역을 형성하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9는 제작된 SIR를 이용한 RFID용 이중대역 통과 필터의 제작 사진이다. 설계에 사용된 기판은 비유전율 $\epsilon_r = 2.33$, 두께 $h=0.787\text{mm}$ 인 duroid 5870이다.

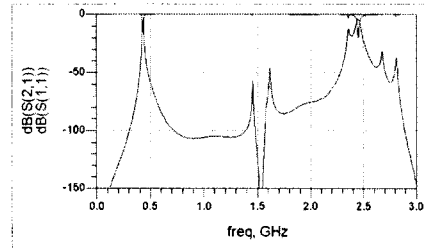


그림 8. Dual-band bandpass filter 시뮬레이션 결과
 Fig. 8. Simulation result of Dual-band bandpass filter

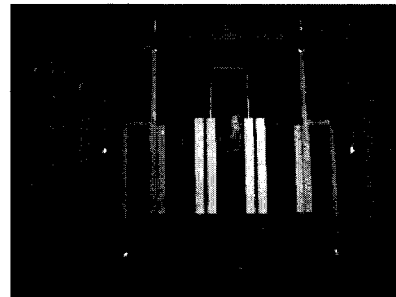


그림 9. 제작된 Dual-band bandpass filter
 Fig. 9. Dual-band bandpass filter

그림 10과 표 2는 제작된 Dual-band bandpass filter의 시뮬레이션 및 측정 결과를 보여주고 있다. 각각 목표 통과 대역에서 $-3.5 \sim -4.9\text{dB}$ 의 손실을 가지면 통과를 하고 1st 공진 주파수는 억제되었다.

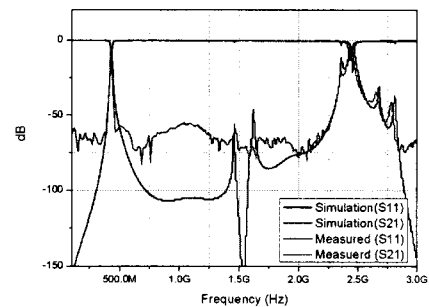


그림 10. Dual-band bandpass filter 시뮬레이션 및 측정 결과
 Fig. 10. Measured and simulation result of Dual-band bandpass filter

표 2. Dual-band bandpass filter 시뮬레이션 및 측정 결과
 Table 2. Measured and simulation result of Dual-band SIR

중심 주파수	반사손실 [dB]		삽입손실 [dB]	
	시뮬레이션	측정	시뮬레이션	측정
433MHz	-45.72	-12.91	-7.14	-4.99
2.45GHz	-14.93	-13.04	-3.74	-3.52

VI. 결론

본 논문에서는 Parallel Coupled SIR을 이용한 RFID 주파수 대역인 433MHz, 2.45GHz에서 동작하는 Dual-band bandpass filter를 설계 및 제작 하였다. SIR을 평행 결합선로로 구성하고 1st 공진주파수를 대역저지 필터를 결합하여 억제하고 미앤더 구조로 크기를 줄여서 설계하였다. 시뮬레이션과 측정 결과 유사한 결과를 나타냈으며 두 대역에서 약 $-3.5 \sim -4.9\text{dB}$ 의 삽입손실과 -13dB 의 반사손실을

가졌다. 제작과 측정상의 오차로 인해서 433MHz 통과대역에서의 반사손실 및 삽입손실이 시뮬레이션과 차이를 나타냈으며, 두 대역의 통과 대역폭이 감소하였다. 그리고 대역 저지 필터를 결합하여 1st 공진 주파수 및 관심 외 주파수 대역에서 -50dB의 대역 저지 특성을 나타내었다. 향후 미앤더 구조이외의 필터 크기를 소형화 하는 연구가 더 필요할 것으로 생각되며 본 논문의 결과를 통해서 SIR을 이용하여 다중대역 시스템의 대역 통과 필터 설계 및 제작에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-14) 주관으로 수행된 과제임.

[참고 문헌]

[1] 장세욱, 최진규, 고재형, 김형석, "마이크로스트립 선로의 전류분포를 이용한 이중대역 필터 구현에 관한 연구", 대한전기학회 2008년도 제39회 하계학술대회, pp.1420-1421, 2008년 7월

[2] S. B Cohn, "Parallel-coupled transmission-line resonator filter", *IRE Trans, Microwave Theory and Tech.*, pp. 223-231, 1958.

[3] T. Lopetegi, Migule A. G. Laso, J. Herna'ndez, M. Bacaicoa, D. Benito, M. J. Garde, M. Sorolla, and M. Guglielmi, "New microstrip Wiggly line filters with spurious passband suppression", *IRE Trans, Microwave Theory and Tech.*, vol. 49, no. 9, Sep. 2001.

[4] 양승식, 염경환, "개별 공진기의 EM 조정을 통한 SIR로 구성된 대역 여파기의 설계", 한국전자과학기술논문지, 18(7), pp. 748-756, Jun. 2007.

[5] M. Makimoto, S. Yamashita, "Bandpass filter using parallel coupled stripline stepped impedance resonator", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-28, no. 12, Dec. 1980.

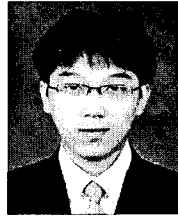
[6] M. Makimoto, S. Yamashita, "Microwave Resonators and Filters for Wireless Communications-Theory and Design" *Berlin, Germany : Springer-Verlag*, 2001

[7] Yue Ping Zhang and Mei Sun. "Dual-band Microstrip Bandpass Filter Using Stepped-Impedance Resonators With New Coupling Schemes", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 10, Oct. 2006.

[8] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. Jones, "Micro-wave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", *New York : McGraw-Hill*, 1964

[9] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", *John Wiley & Sons, Inc.*, 1998.

[10] Ching-Wen Tang, "A Microstrip Ultra-Wideband Bandpass Filter With Cascade Broadband Bandpass and Bandstop Filters", *IRE Trans, Microwave Theory and Tech.*, vol. 55, no. 11, Nov. 2007.



김 군 태

2008년 서경대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정

<관심분야> 전자기 응용 소자 및 최적설계, Antenna, Optimization Design,

<e-mail> anodrr@naver.com



백 현

2008년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업

2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사재학중

<관심분야> EMI/EMC, Passive Component,

<e-mail> darmi@hanafos.com



김 형 석

1985년 서울대학교 전기공학 졸업(공학사)

1987년 서울대학교 전기공학(공학석사)

1990년 서울대학교 전기공학(공학박사)

1990년~2002년 순천향대학교 정보기술공학부 부교수

2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 설계, RFID 시스템 연구, SoC 응용회로, 전력 IT

<e-mail> kimcaf2@cau.ac.kr