

## SIR을 이용한 RFID용 이중대역 필터 설계 연구

김군태, 고재형, 백현, 권소현, 김형석  
 중앙대학교 전자전기공학부

### Design of RFID Dual-band Bandpass Filter Using SIR

Koon-Tae Kim, Jae-Hyeong Ko, Hyun Paek, Hyeong-Seok Kim  
 School of Electrical and Electronics of Engineering Chung-Ang University

**Abstract** - 본 논문에서는 SIR(Stepped Impedance Resonator)를 이용하여 RFID 주파수 대역의 이중대역 필터를 설계 연구하였다. 반파장 SIR을 parallel-coupled 형태로 설계하고 넓은 주파수 간격의 이중대역 필터를 구현하기 위해서 2st 공진 주파수를 2.45GHz 대역에 맞추고 1st 공진 주파수를 억제하기 위해서 대역저지 필터를 결합하였다. 입출력에 대역 저지 필터를 구성하고 반파장 parallel-coupled SIR은 미앤더 구조로 설계하여 크기를 줄였다. 본 논문에서 설계된 필터는 두 대역에서 -3.5~3.9dB의 삽입 손실을 가지며 433MHz에서 8MHz, 2.45GHz에서 21MHz의 대역폭을 나타낸다. 관심 주파수 이외의 대역에서는 -50dB 이상의 저지 특성을 가진다.

#### 1. 서 론

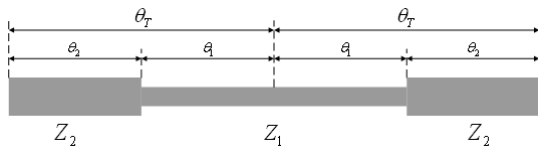
최근 RF 기술을 이용한 통신 방법은 음성 통신을 벗어나 문자 및 기호의 전송을 통하여 많은 분야에 적용되고 있다. 물류/유통, 의료, 홈 네트워크, 환경 등에 적용하기 위한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 무선통신 시스템 및 서비스의 개발에 따라 다양한 주파수 대역에서 서로 다른 방식을 지원하는 멀티 모드, 멀티 밴드 통신 단말기가 개발되고 있다. 현재 RFID용 주파수 활용은 선박 및 항공의 컨테이너 관리용도의 433MHz와 유통/물류 전반에 사용되는 2.45GHz 및 912MHz 이 있다. 이에 따라 멀티 모드, 멀티 밴드로 사용할 수 있는 필터가 필요하다[1]. 평행 결합 선로를 이용한 대역 통과 여파기는 Cohn이 처음 제안 후 널리 사용되었다[2]. 이러한 여파기의 단점을 보완하고자 Wiggly-line 및 홉 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 SIR을 이용한 RFID 사용 주파수인 433MHz 대역과 2.45GHz 대역의 이중대역 필터를 설계 목적으로 하였으며, chebyshev type으로 설계 하였다. 또 두 대역 사이의 스푸리어스 성분을 억제하기 위해서 대역저지 필터를 삽입하여 설계 제작하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 반 파장 SIR을 이용한 대역통과 필터 설계

기본 반파장( $\lambda/2$ ) SIR(Stepped Impedance Resonators)는 그림 1과 같이 구성된다.



〈그림 1〉 기본 반파장( $\lambda/2$ ) SIR의 구성도

좌우 대칭 형태로 서로 다른 임피던스  $Z_1$ ,  $Z_2$ 를 가지고 전기적 길이  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 인 두 마이크로 스트립 라인이 결합된 형태를 가진다[5][6]. 기본 형태의 공진 조건은 식 1과 같다.

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

$K = Z_2/Z_1$ 는 두 마이크로스트립 라인의 임피던스 비율이다. 식 1에서 공진 조건은 공진 주파수에서  $Y_i = 0$ 이고 공진 조건에서 임피던스 비율은 식 2와 같다.

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

식 2에서 두 마이크로스트립 라인의 전기적 길이가  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 와 같다면 식 2는 식 3과 같이 된다[7].

$$\tan^2 \theta = k, \quad \theta_0 = \tan^{-1} \sqrt{K} \quad (3)$$

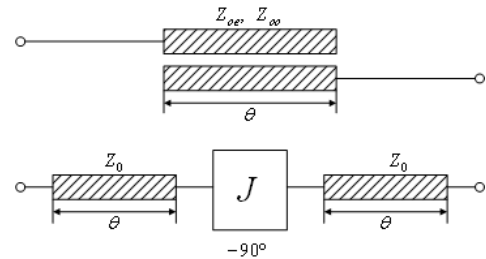
식 3과 같은 임피던스 비율을 가지는 SIR의 Spurious 공진 주파수는 식 1과 식3을 통해서 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

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

$$\frac{f_2}{f_0} = \frac{\theta_{s2}}{\theta_0} = 2 \frac{f_1}{f_0} - 1 \quad (4)$$

SIR의 Susceptance 기울기는 다음 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$b = \frac{\omega_0}{2} \cdot \left. \frac{dB}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \frac{\theta_0}{2} \cdot 2(1+K) \cdot \frac{2}{1+K} Y_2 = 2\theta_0 Y_2 \quad (5)$$



〈그림 2〉 평행 결합 선로의 J-인버터 등가회로

그림 2는 어드미턴스 인버터를 이용한 평행 결합 선로를 보여주고 있다. J-인버터와 두 개의  $Z_0$ ,  $\theta$ 의 특성을 가지는 선로를 평행 결합 선로로 변환이 가능하고 두 사이의 관계는 식 6과 같다[6].

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

$$\frac{Z_{oo}}{Z_0} = \frac{1 - (J/Y_0) \operatorname{cosec} \theta + (J/Y_0)^2}{1 - (J/Y_0)^2 \cot^2 \theta} \quad (6)$$

기본 공진 주파수의 Fractional 대역(w) 및 단수(N)이 결정되면 Chebyshev 저역 통과대역 기본형 (g)가 결정되 식 7을 이용하여 J-인버터의 값을 결정할 수 있고, 대역 통과 필터를 설계할 수 있다[8][9].

$$J_{01} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_0 g_1}}$$

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

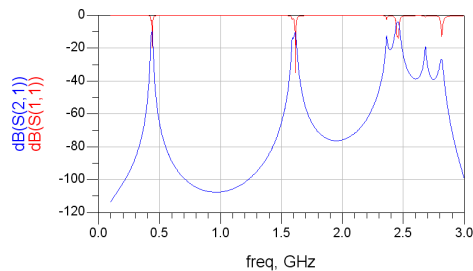
$$J_{n,n+1} = Y_0 \sqrt{\frac{2w\theta_0}{g_n g_{n+1}}} \quad (7)$$

## 2.2 이중대역 통과 필터 설계

본 논문에서 설계한 SIR를 이용한 RFID용 이중대역 필터의 통과 대역은 433MHz와 2.45GHz로 두 대역의 사이가 2GHz로 대역 넓은 간격을 가진다. 앞의 반파장 SIR을 이용한 필터설계에서 식 4를 자세히 살펴보면 기본 공진 주파수와 Spurious 공진 주파수와와의 임피던스 관계를 보여주고 있다. 본 논문에서는 1st Spurious 공진 주파수가 아닌 2st Spurious 공진 주파수를 2.45GHz로 맞추어 설계 후 1st Spurious 공진 주파수를 억제하는 방법으로 설계 하였다.

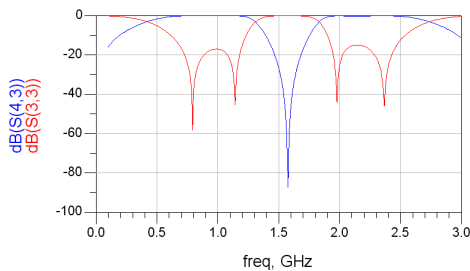
〈표 1〉 3단 평행 결합 선로 SIR 주요 파라미터

|          |       | $Z_{oe}$ | $Z_{oo}$ |
|----------|-------|----------|----------|
| $J_{01}$ | 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    |



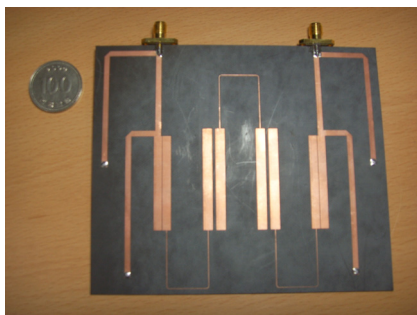
〈그림 3〉 3단 평행 결합 선로 SIR 필터 시뮬레이션 결과

표 1은 중심 주파수 433MHz, 0.1dB 리플 3단 Chebyshev 타입의 설계된 필터의 주요 파라미터를 나타내고, 그림 3은 위의 표 1의 SIR 주요 파라미터로 설계한 필터의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 설계대로 433MHz를 기본 공진 주파수로 2.45GHz는 2st 공진주파수가 되고 두 대역 사이에 1st 공진 주파수가 있다.



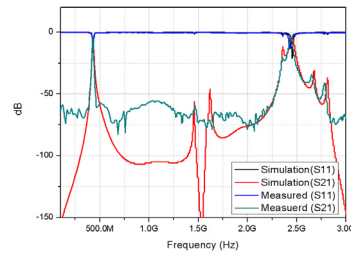
〈그림 3〉 1st 공진 주파수 억제용 대역저지 필터 시뮬레이션 결과

1st 공진 주파수를 억제하기 위해서 사용된 대역 저지 필터의 시뮬레이션 결과이다. 1st 공진 주파수인 1.5GHz를 억제하기 위해서 평행 결합 선로 SIR의 입출력에 각각 결합하여 구성하였다.



〈그림 3〉 제작된 SIR을 이용한 RFID용 이중대역 필터 사진

그림 3은 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. 기본 공진 주파수는 433MHz이고 2st 공진 주파수는 2.45GHz이다. 1st 공진 주파수는 pi형 대역 저지 필터를 사용하여 억제된 3단 평행 결합 SIR를 미앤더 구조로 설계하였다.



〈그림 4〉 이중대역 필터의 시뮬레이션 및 측정 결과

〈표 2〉 시뮬레이션 과 측정 결과 비교

| 중심 주파수  | 반사손실[dB] |        | 삽입손실[dB] |       | 대역폭[MHz] |    |
|---------|----------|--------|----------|-------|----------|----|
|         | 시뮬레이션    | 측정     | 시뮬레이션    | 측정    | 시뮬레이션    | 측정 |
| 433MHz  | -45.72   | -12.91 | -7.14    | -3.99 | 12       | 8  |
| 2.45GHz | -14.93   | -13.04 | -3.74    | -3.52 | 34       | 21 |

그림 4와 표 2는 제작된 이중대역 필터의 시뮬레이션과 측정 결과를 보여주고 있다. 각각 목표 통과 대역에서  $-3.5\sim-3.9\text{dB}$ 의 손실을 가지면 통과를 하고 1st 공진 주파수는 억제되었다. 제작 결과 시뮬레이션과 유사한 결과를 얻었으나 제작과 측정의 오차로 인해서 433MHz 통과 대역에서 반사손실이 올라갔다. 또한 두 대역의 통과대역폭이 미세하게 감소하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 SIR을 이용한 RFID 주파수 대역인 433MHz, 2.45GHz에서 동작하는 이중대역 필터를 설계 및 제작 하였다. SIR을 평행 결합 선로로 구성하고 1st 공진주파수를 대역저지 필터를 결합하여 억제하고 미앤더 구조로 크기를 줄여서 설계하였다.

시뮬레이션과 측정 결과 유사한 결과를 나타냈으며 두 대역에서 약  $-3.5\sim-3.9\text{dB}$ 의 삽입손실과  $-13\text{dB}$ 의 반사손실을 가졌다. 제작과 측정상의 오차로 인해서 433MHz 통과대역에서의 반사손실 및 삽입손실이 시뮬레이션과 차이를 나타냈으며, 두 대역의 통과 대역폭이 감소하였다. 그리고 대역저지 필터를 결합하여 1st 공진 주파수 및 관심 외 주파수 대역에서  $-50\text{dB}$ 의 대역 저지 특성을 나타내었다. 향후 미앤더 구조 이외의 필터 크기를 소형화 하는 연구가 더 필요 할 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 제 39회 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. Lopetegui, Migule A. G. Laso, J. Herna'ndez, M. Bacacoia, D. Benito, M. J. Garde, M. Sorolla, and M. Guglielmi, "New microstrip Wiggly line filters with spurious and passband suppression", *IRE Trans, Microwave Theory and Tech.*, vol. 49, no. 9, Sep. 2001.
- [4] 김봉수, 이재욱, 송명선, "고조파 감쇠특성을 향상시킨 변형된 마이크로 스트립 여파기", 한국전자과학회논문지, 13(10), pp. 1054-1060, Dec. 2002.
- [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.