

# P형 계단형 임피던스 공진기를 이용한 소형화된 마이크로스트립 이중 대역 저지 필터

박영배\* · 김기래\*

\*신라대학교 전자공학과

## MINIATURIZED MICROSTRIP DUAL BAND-STOP FILTER USING STEPPED IMPEDANCE RESONATORS

Young-Bae Park\* · Girae Kim\*

Dept. of Electronics Engineering, Silla University, Busan, Korea

E-mail : [grkim@silla.ac.kr](mailto:grkim@silla.ac.kr)

### ABSTRACT

A novel circuit structure of dual-band bandstop filters is proposed in this paper. This structure comprises two shunt-connected tri-section stepped impedance resonators with a transmission line in between. Theoretical analysis from the equivalent circuit and design procedures are described. We represented graphs for filter design from the derived synthesis equations by resonance condition of circuits. Notably, advantages of the proposed filter structure are compact size in design, wide range of realizable resonance frequency ratio, and more realizable impedances.

### 키워드

dual-band bands-stop filter, tri-section stepped impedance resonators

### I. 서론

이중 대역 또는 다중 대역 RF/마이크로파 시스템은 무선 이동통신 시스템에서 가입자 효율 증대 필요성이 대두되면서 최근 많은 관심을 끌고 있다. 마이크로웨이브 시스템에서 대역 저지 필터는 회로에서 발생하는 하모닉 성분이나 기생 주파수 성분들을 제거하며, 주로 특정 주파수의 유입을 차단하기 위해 사용된다. 따라서 마이크로웨이브 통신 시스템에서 수신기와 송신기에서 필수적으로 사용되는 중요한 부품이다. 본 논문에서는 소형화를 위해 3단 계단형 임피던스 공진기(TSSIR)를 사용하여 보다 소형화된 듀얼 밴드 대역 저지 필터를 제안 한다. 실질 실험적인 결과와 시뮬레이션 결과는 거의 일치하며 기존의 구조와 비교하여 23% 정도의 소형화를 이룰 수 있었다.

### II. 전송특성 해석

일반적으로, 그림 1(a)와 같은 개방종단  $\lambda/4$  스텝터브는 설계가 단순하고 편리하기 때문에 단일 대역 대역저지 필터로 많이 사용되었다. 선로의 임피던스는 균일하기 때문에 단일 주파수에서  $90^\circ$ 의 전기적 길이를 가지고 특정 주파수에서 공진한다.

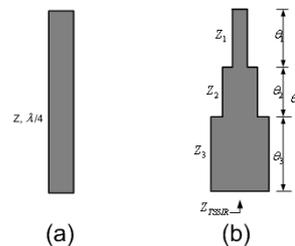


그림 1. 마이크로 스트립 선로 공진기  
(a)  $\lambda/4$  스텝 (b) 3단 계단형 임피던스 공진기

그림 1(b)는 제안된 3단 계단형 임피던스 공진기의 구성으로 세 종류의 다른 특성 임피던스와 전기적 길이를 각각  $(Z_1, \theta_1)$   $(Z_2, \theta_2)$   $(Z_3, \theta_3)$ 로 나타내었다. 제안된 3단 계단형 임피던스 공진기의 임피던스는 비균일 하여 두 개의 서로 다른 주파수에서 공진이 일어나기 때문에 듀얼 밴드 대역 저지 필터 설계에 응용 할 수 있는 구조이다.

그림 2(a)는 그림 1(b)의 TSSIR을 이용하여 구성된 이차 듀얼 밴드 대역저지 필터의 구조를 나타낸다.

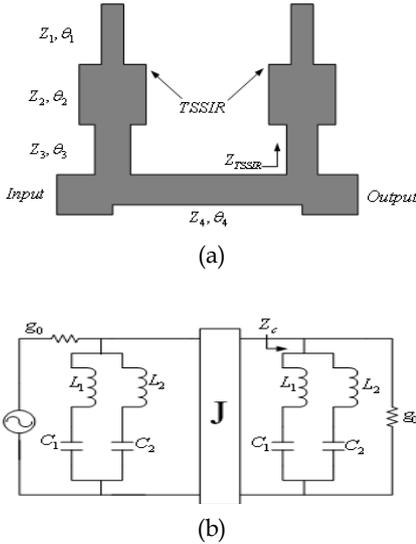


그림 2. TSSIR 듀얼밴드 대역저지 필터 (a) 2차 대역 저지 필터 구조 (b) J-인버터를 이용한 등가회로

그림 2(a)의 3단 계단형 임피던스 공진기의 입력 임피던스  $Z_{TSSIR}$  는 식(1)과 같이 된다.

$$Z_{TSSIR} = j Z_3 \frac{\tan \theta_3 - Q \Delta}{1 + Q \tan \theta_3 \Delta} \quad (1)$$

여기서,

$$\Delta = (P \cot \theta_1 - Q \tan \theta_2) / (Q + P \cot \theta_1 \tan \theta_2)$$

식(1)에서 2개의 공진 주파수  $\omega_1$ 와  $\omega_2$ 를 구하기 위하여 공진주파수에서  $Z_{TSSIR} = 0$ 이 되는 조건을 이용한다.

병렬-직렬 LC 공진기의 임피던스  $Z_c$  는 식(2)와 같이 된다.

$$Z_c = \frac{j}{\omega} \frac{\sqrt{L_1 L_2} (\omega^2 - \omega_1^2) (\omega^2 - \omega_2^2)}{\omega_1 \sqrt{C_1 L_2} (\omega^2 - \omega_2^2) + \omega_2 \sqrt{C_2 L_1} (\omega^2 - \omega_1^2)} \quad (2)$$

제안된 TSSIR과 그 등가회로의 리액턴스 슬로프 파라미터,  $x = \omega_i/2 \cdot dX/d\omega_i$  가 같아야 필요한 대역폭을 갖게 된다. 따라서 공진조건 ( $Z_{TSSIR} = 0$ ) 과 두 공진 주파수에서 리액턴스 슬로프 파라미터 조건으로부터 식(3)을 구할 수 있다.

$$\tan \theta_3 = Q \frac{P \cot \theta_1 - Q \tan \theta_2}{Q + P \cot \theta_1 \tan \theta_2} \quad (3a)$$

$$\tan(r_f \theta_3) = Q \frac{P \cot(r_f \theta_1) - Q \tan(r_f \theta_2)}{Q + P \cot(r_f \theta_1) \tan(r_f \theta_2)} \quad (3b)$$

$$\frac{0.5 Z_3 \sec^2 \theta_3 A}{[Q + P(\tan \theta_2 + Q \tan \theta_3) \cot \theta_1 - Q^2 \tan \theta_2 \tan \theta_3]^2} = \frac{1}{g_1 \Delta_f} \quad (3c)$$

$$\frac{0.5 Z_3 r_f \sec^2(r_f \theta_3) B}{Q + P[\tan(r_f \theta_2) + Q \tan(r_f \theta_3)] \cot(r_f \theta_1) - Q^2 \tan(r_f \theta_2) \tan(r_f \theta_3)^2} = \frac{1}{g_1 \Delta_s} \quad (3d)$$

여기서,

$$A = P(Q^2 \theta_1 + Q P \theta_2 + P \theta_3) \cot^2 \theta_1 \tan^2 \theta_2 + 2 Q P (1 - Q^2) \theta_3 \cot \theta_1 \tan \theta_2 + Q P (Q \theta_1 + P \theta_2 + Q P \theta_3) \cot^2 \theta_1 + Q^2 (P \theta_1 + Q \theta_2 + Q^2 \theta_3) \tan^2 \theta_2 + Q^2 (P \theta_1 + Q \theta_2 + \theta_3)$$

$$B = P(Q^2 \theta_1 + Q P \theta_2 + P \theta_3) \cot^2(r_f \theta_1) \tan^2(r_f \theta_2) + 2 Q P (1 - Q^2) \theta_3 \cot(r_f \theta_1) \tan(r_f \theta_2) + Q P (Q \theta_1 + P \theta_2 + Q P \theta_3) \cot^2(r_f \theta_1) + Q^2 (P \theta_1 + Q \theta_2 + Q^2 \theta_3) \tan^2(r_f \theta_2) + Q^2 (P \theta_1 + Q \theta_2 + \theta_3)$$

여기서  $r_f = \omega_1/\omega_2$  이고,  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 모두 첫 번째 공진 주파수  $\omega_1$ 에 대한 선로의 위상각이다.

식(3)의 4개의 합성 방정식은 3단 공진기를 설계 할 때 필요한 6개의 파라미터 ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, Z_1, Z_2, Z_3$ )를 결정하는데 사용된다.

### III. 필터의 설계 특성 곡선

위에서 얻은 결과 식을 이용하여 설계하고자 하는 듀얼 밴드 대역저지 필터는 최대 평탄 특성 (maximally flat response)을 갖는 2차 필터 ( $g_1 = 1.4142$ )이고, 두 개의 공진 주파수는 1.5와 3.15GHz ( $r_f = 2.1$ ), 대역폭이 각각  $\Delta_1 = 50\%$ ,  $\Delta_2 = 25\%$  인 사양을 갖는다.

본 논문에서 설계의 목적은 소형화이기 때문에 가장 좋은 범위는  $P = 0.4 \sim 2.4$  와  $Q = 0.2 \sim 0.7$ 이다.

그림 3은 설계의 편의성을 위해 다양한 P와 Q에 대해  $T_{SSIR}$ 의 선로의 전체 길이  $\theta_L$ 를 나타낸다. 그림 3의 U자형 곡선에서 각 Q 값에 대해 가장 낮은  $\theta_L$ 를 갖게 되는 최적의 P값을 찾을 수 있다. 따라서  $P > 1 > Q$ 일 때 즉,  $Z_1 > Z_3 > Z_2$ 일 때 회로 크기를 효과적으로 줄일 수 있다.

그림 4는  $T_{SSIR}$ 의 디자인 곡선  $(P, Q) = (1.0, 0.3), (1.2, 0.4), (1.4, 0.5)$  대 주파수 비율  $r_f$ 는 필터 설계를 위한 그래프를 나타낸다.

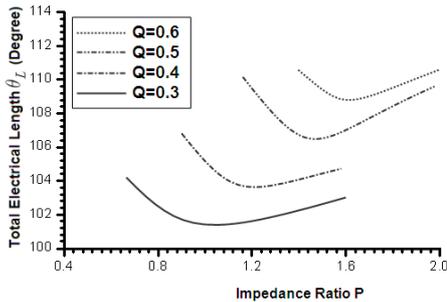
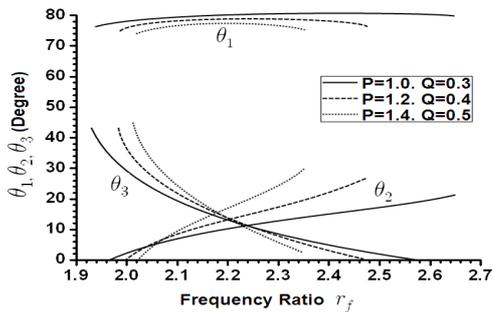
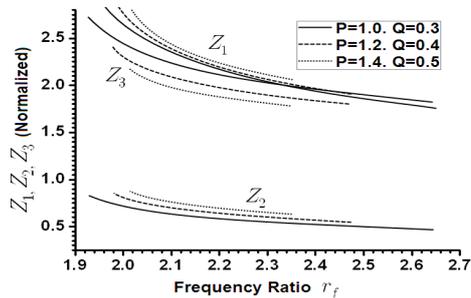


그림 3. TSSIR의 P와 Q에 대한 선로의 길이  $\theta_L$



(a)  $r_f$ 에 대한  $\theta_1, \theta_2$  및  $\theta_3$



(b)  $r_f$ 에 대한 임피던스  $Z_1, Z_2, Z_3$

그림 4.  $r_f$ 에 대한 위상과 임피던스

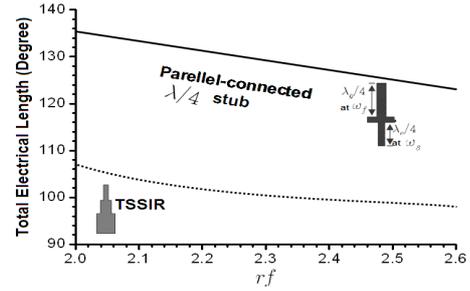


그림 5. TSSIR의 전체 길이 감소효과 비교

그림 4(a)는  $(P, Q)$ 에 따른 주파수 비율  $r_f$ 에 대한  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 의 전기적 길이를 나타낸다.

그림 4(b)는  $(P, Q)$ 에 따른 주파수 비율  $r_f$ 에 대한 정규화 임피던스  $Z_1, Z_2, Z_3$ 로서 TSSIR의 최고 및 최저 임피던스는  $Z_1 = P \times Z_3$ 와  $Z_2 = Q \times Z_3$ 로 나타낼 수 있다. 그림 5는  $r_f$  증가에 따른 기존의 병렬연결  $\lambda/4$  스텐브와 비교하여 TSSIR의 총 길이의 축소 효과를 비교하여 나타내었다.

#### IV. 필터의 설계

본 논문에서 제시한 P형 3단 계단형 임피던스 필터를 앞의 이론을 증명하기 위해 실제로 2.33(1.8/4.2 GHz)로 제작하여 측정하였다. 필터 제작은 비유전율이 4.4,  $\tan \delta = 0.02$ , 유전체 두께가 1.6mm인 FR4 에폭시 기판을 사용하였다.

필터의 두 개의 공진 주파수는 1.8GHz와 4.2GHz, 대역폭은 각각  $\Delta_1 = 50\%$ ,  $\Delta_2 = 25\%$ 이다. 식(3)을 이용하여 TSSIR의 설계 매개변수를 구해 보면 다음과 같다.

$$g_1 = 1.4142, \quad r_f = 2.33 \quad P = 1.0, \quad Q = 0.4$$

$$\theta_1 = 80.6985^\circ, \quad Z_1 = 99.7226\Omega$$

$$\theta_2 = 7.46681^\circ, \quad Z_2 = 29.91678\Omega$$

$$\theta_3 = 13.2123^\circ, \quad Z_3 = 99.7226\Omega$$

TSSIRs 사이 단순화된 입력 변환장치의 설계 매개변수는  $\theta_4 = n\pi/(r_f + 1)$ ,  $Z_4 = 1/\sin\theta_4$ 를 사용하여,  $\theta_4 = 61.8187^\circ$ ,  $Z_4 = 53.9502$  결과를 산출할 수 있다.

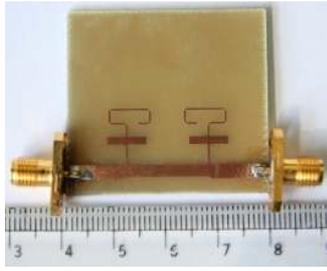


그림 6. 설계된 필터 사진

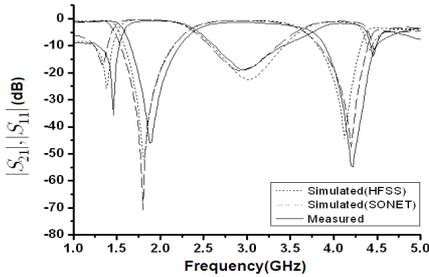


그림 7. 필터 특성 결과 비교

계산된 데이터를 바탕으로 설계된 듀얼밴드 대역 저지 필터의 제작된 샘플의 사진을 그림 6에 나타내었다.

설계된 필터의 특성을 구하기 위해 시뮬레이션은 SONET 9.52 와 HFSS10을 사용하였으며, 측정 결과는 Anritsu사의 VNA MS4644A를 사용하였다. 그림 7은 설계한 필터의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었으며, 비교한 결과 상호 일치함을 알 수 있다.

### V. 결론

이중 대역 대역 저지 필터의 새로운 회로 구조가 본 논문에 제시 되었다. 제안된 필터의 이중 대역은 마이크로웨이브 회로에서 발생하는 하모닉(harmonic) 성분이나 기생 성분들을 제거할 수 있으며, 특정 주파수의 유입을 차단하기 위해 사용 될 수 있다. 이 소형의 이중 대역 대역 저지 필터는 완벽하게 제어할 수 있는 중심 주파수와 대역폭을 가지며, 제안된 P형 3단 계단형 임피던스 공진기는 더 많은 설계 유연성을 가질 수 있다. 광범위하게 실현 가능한 주파수 비율과 소형의 사이즈 및 구현 가능한 특성 임피던스의 3개의 이점은 적당한 (Q, P)을 선택하여 설계 할 수 있다. 제안된 이중 대역 대역 저지 필터는 시뮬레이션 결과 및 측정 결과가 일치함을 확인 할 수 있으며, 기존의 필터보다 23% 축소된 크기로 설

계되었음을 확인 할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Uchida, H., H. K. Totani, N. Yoneda, M. Miyazaki, Y. Konishi, S. Makino, J. Hirokawa, and M. Ando, "Dual-band-rejection filter for distortion reduction in RF transmitters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, 2550-2556, Nov. 2004.
- [2] Chen, J.-X., T. Y. Yum, J.-L. Li, and Q. Xue, "Dual-mode dual-band bandpass filter using stacked-loop structure," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, Vol. 16, 502-504, Sep. 2006.
- [3] Kuo, J.-T., T.-H. Yeh, and C.-C. Yeh, "Design of microstrip bandpass filter with a dual-passband response," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 53, 1331-1337, Apr. 2005.
- [4] Tseng, C.-H. and T. Itoh, "Dual-band bandpass and bandstop filters using composite right/left-handed metamaterial transmission lines," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 931-934, 2006.
- [5] Fan, J.-W., C.-H. Liang, and X.-W. Dai, "Design of cross-coupled dual-band filter with equal-length split-ring resonators," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 75, 285-293, 2007.
- [6] Quando, C., E. Rius, and C. Person, "Narrow bandpass filters using dual-behavior resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 51, 734-743, Mar. 2003.
- [7] Tsai, C.-M., H.-M. Lee, and C.-C. Tsai, "Planar filter design with fully controllable second passband," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 53, 3429-3439, Nov. 2005.
- [8] Ma, Z., K. Kikuchi, Y. Kobayashi, T. Anada, and G. Hagiwara, "Novel microstrip dual-band bandstop filter with controllable dual-stopband response," *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, 1177-1180, Dec. 2006.
- [9] Chin, K.-S., J.-H. Yeh, and S.-H. Chao, "Compact dual-band bandstop filters using stepped-impedance resonators," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, Vol. 17, No. 12, 849-851, Dec. 2007.
- [10] Zhang, H. and K. J. Chen, "Miniaturized coplanar waveguide bandpass filters using multisection stepped-impedance resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 54, 1090-1095, Mar. 2006.