

단락형 스텐브를 이용한 이중모드 공진기의 필터 응용을 위한 수식적 해석

노순국* · 윤태순**

Numerical Analysis of the Dual-mode Resonator Using Shunt-Stub for the Filter Application

Sun-Kuk Noh* · Tae-Soon Yun**

요약

본 논문에서는 이중모드 공진기를 필터로 활용하기 위해 단락형 스텐브로 구현되는 이중모드 공진기에 대해 인버터 값 및 특성을 수식적으로 해석하였다. 인버터 값은 공진기와 단락형 스텐브의 임피던스 및 전기적 길이의 함수로 주어지며, 각각 제곱근의 함수로 비례 증가하는 특성을 가진다. 또한, 공진기의 임피던스 및 리플이 증가할수록 인버터 값이 감소하는 특성을 보였다. 필터의 대역폭은 리플의 크기 및 임피던스 비에 따라 증가하였다. 또한, 설계 임피던스에 따라 필터의 중심주파수가 이동되는 것을 확인하였다. 계산식의 확인을 위해 공진기와 스텐브의 임피던스를 각각 70.7Ω , 56.56Ω 으로 하여 인버터 값을 계산하고 중심주파수 이동 특성을 반영하여 필터를 설계하는 예를 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, the value of inverter and the characteristics of the dual-mode resonator with the shunt-stub are analyzed and calculated. The value of inverter is function of the impedances and electrical lengths of the resonator and shunt-stub. According to suggested equation, the value of inverter is increased for the square root function. And the value of inverter is decreased as higher impedance of resonator and higher ripple. The bandwidth of the filter is increased as the ripple and the impedance ratio. Also, the center frequency of the filter is shifted as designed impedance. In order to show the designed method, the filter with the resonator's and stub's impedances of 70.7Ω and 56.56Ω , respectively, is suggested by example.

키워드

Dual-mode Resonator, Filter, Inverter, Electrical Length, Impedance Ratio
이중 모드 공진기, 필터, 인버터, 전기적 길이, 임피던스 비율

1. 서론

최근 사물인터넷 (IoT: internet of thing)의 개념이 사회 전반적으로 도입되면서 사물인터넷의 기반이 되

는 무선 통신 시스템이 더욱 다양화되어야 하는 수요가 증가하고 있어서 다양한 응용 분야의 다양한 주파수 특성을 만족시키기 위해 주파수를 선택하는 고주파 필터의 연구가 더욱 필요해 지고 있다. 고주파 필

* 조선대학교 SW융합교육원 (nsk7078@hanmail.net)

** 교신저자 : 호남대학교 전자공학과

• 접수일 : 2017. 12. 04

• 수정완료일 : 2018. 02. 08

• 게재확정일 : 2018. 04. 15

• Received : Dec. 04, 2017, Revised : Feb. 08, 2018, Accepted : Apr. 15, 2018

• Corresponding Author : Tae-Soon Yun

Dept. of Electronics Eng., Honam University,

Email : easteryun@gmail.com

터는 원하는 주파수를 선택하기 위해 손실 특성, 기울기 특성, 위상 지연 특성 및 필터의 소형화가 중요한 설계 사양으로 제시되고 있다[1-4].

전송 선로로 구현되는 공진기 중간 지점에 개방형 또는 단락형 스텐브를 연결하여 하나의 공진기로 두 개의 공진 특성을 보이는 이중모드 공진기는 필터의 공진기 수를 줄일 수 있어 필터의 소형화 방법으로 큰 장점을 가진다[5-10]. 개방형 스텐브에 의해 구현되는 이중모드 공진기는 필터로 구현하였을 때, 비아홀을 요구하지 않아 단일 평면에 구현할 수 있는 장점이 있지만, 전송 영점을 가지지 않는 저지 대역에서의 기울기 특성이 일반적인 공진기에 의한 필터보다도 좋지 않은 결과를 보이는 비대칭적 특성을 가지는 단점이 있어 원하는 설계사양의 필터를 설계하기에 어려움이 있다[9].

본 논문에서는 단락형 스텐브에 의해 구현되는 이중모드 공진기의 설계 파라미터에 대한 수식적 해석을 하고 이를 통한 필터 설계 방법을 제시하고자 한다.

II. 이중모드 공진기의 인버터 값 계산

그림 1은 단락형 스텐브를 이용한 이중모드 공진기의 구조를 나타내고 있다.

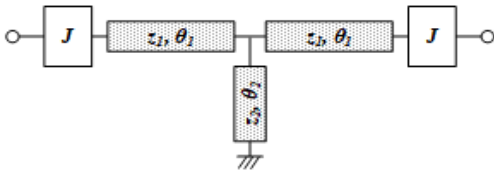


그림 1. 단락형 스텐브를 이용한 이중모드 공진기의 구조

Fig. 1 Structure of the dual-mode resonator using the shunt-stub

그림 1에서 공진기의 임피던스와 전기적 길이는 z_1, θ_1 으로, 단락형 스텐브의 임피던스와 전기적 길이는 z_2, θ_2 으로 나타내었다. 이중모드 공진기의 두 공진 주파수를 대칭적으로 형성하기 위해 일반적인 반파장 공진기의 전기적 길이를 단락형 스텐브의 전기적 길이만큼 줄여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha, \quad \theta_2 = \alpha \quad (1)$$

해석에 앞서 이중모드 공진기의 인버터 값을 계산하기 위해 두 공진 주파수 사이에 발생하는 리플 값을 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$|S_{21}|^2 = 10^{-L/10} \equiv L \quad (2)$$

이제, 전송 선로와 단락형 스텐브로 구성되는 이중모드 공진기의 ABCD 파라미터를 식 (3) ~ 식 (5)와 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} a = d &= \cos 2\theta_1 + \frac{z_1}{2z_2} \sin 2\theta_1 \cdot \cot \theta_2 \\ &= -\cos 2\alpha + \frac{z_1}{z_2} \cos^2 \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} jb &= j \left(z_1 \sin 2\theta_1 + \frac{z_1^2 \sin^2 \theta_1}{z_2} \cdot \cot \theta_2 \right) \\ &= j \left(z_1 \sin 2\alpha + \frac{z_1^2 \cos^2 \alpha}{z_2} \cdot \cot \alpha \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} jc &= j \left(\frac{1}{z_1} \sin 2\theta_1 - \frac{\cos^2 \theta_1}{z_2} \cdot \cot \theta_2 \right) \\ &= j \left(\frac{1}{z_1} - \frac{1}{2z_2} \right) \cdot \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (5)$$

공진기는 그림 1과 같이 앞·뒷단에 인버터를 연결하여 사용되므로 인버터를 추가하여 전달 함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{|S_{21}|^2} = a^2 + \left(\frac{bJ}{2} + \frac{c}{2J} \right)^2 \equiv \frac{1}{L} \quad (6)$$

식 (6)을 정리하여 인버터 값은 식 (7)과 같이 제곱근 함수로 나타낼 수 있다.

$$J = \sqrt{\frac{\sqrt{L - a^2} - \sqrt{L - a^2 - bc}}{b}} \quad (7)$$

식 (7)에 의해 계산된 인버터 값을 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 공진기와 단락형 스테브의 임피던스를 특성 임피던스로 하였을 때, 스테브의 전기적 길이에 따른 인버터 값을 나타낸 것이다. 인버터 값은 스테브의 전기적 길이가 늘어남에 따라 커지고, 리플이 증가함에 따라 작아지는 것을 알 수 있다.

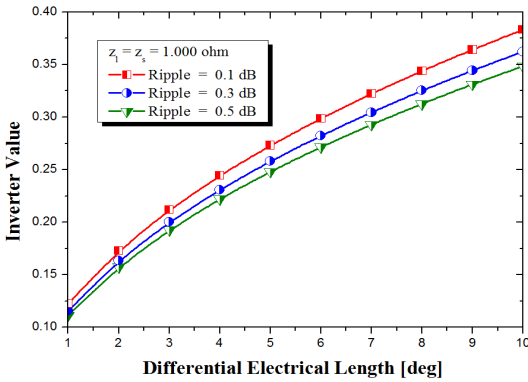


그림 2. 단락형 스테브의 전기적 길이에 따른 인버터 값
Fig. 2 Inverter's values as the electrical length of the shunt-stub

그림 3은 공진기와 단락형 스테브의 임피던스를 임의로 형성하였을 때의 인버터 값을 나타낸 것이다. 이때, 리플은 0.1dB, 단락형 스테브의 전기적 길이는 5°로 고정하고 계산하였다.

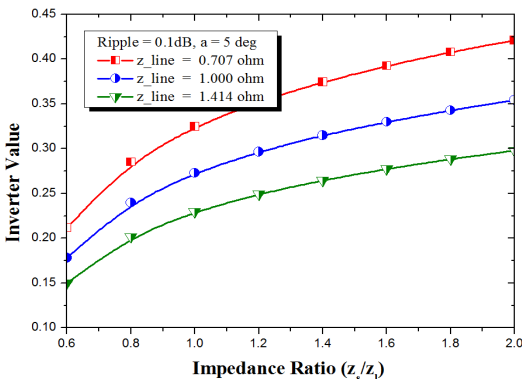


그림 3. 공진기와 단락형 스테브의 임피던스 비에 따른 인버터 값
Fig. 3 Inverter's values as the impedance ratio between the resonator and shunt-stub

그림 3을 통해 공진기와 단락형 스테브의 임피던스의 비가 증가할수록 인버터 값이 커지는 것을 알 수 있다. 또한, 임피던스 값들이 작을수록 인버터 값이 큰 것을 확인할 수 있다.

III. 이중모드 공진기에 의한 필터 설계

계산된 인버터 값을 적용하여 간단한 대역통과 필터를 설계할 수 있다. 인버터는 캡 커플링, 전송 선로를 통한 커플링, 탭 선로 등을 통해 구현할 수 있는데, 본 논문에서는 전송 선로를 통한 커플링을 통해 필터의 특성을 확인하였다. 즉, 식 (8)을 통해 우수, 기수 모드 임피던스를 계산하여 적용하는 방법이다. 그림 4는 이중모드 공진기를 이용한 필터의 비대역폭을 나타내고 있다.

$$z_e = z_l \cdot (1 + J + J^2)$$

$$z_o = z_l \cdot (1 - J + J^2) \quad (8)$$

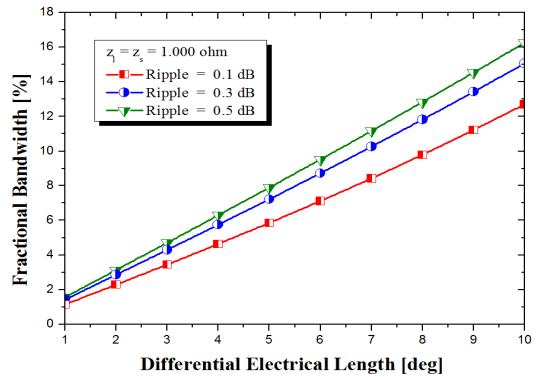


그림 4. 단락형 스테브의 전기적 길이에 따른 필터의 비대역폭
Fig. 4 Fractional bandwidth of filter as the electrical length of the shunt-stub

그림 4는 공진기와 단락형 스테브의 임피던스를 특성 임피던스로 하였을 때, 스테브의 전기적 길이에 따른 필터의 비대역폭을 나타낸 것으로 스테브의 전기적 길이에 따라 대역폭이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 또한, 리플 값이 증가함에 따라 대역폭이 증가하는 것을 알 수 있다. 공진기와 스테브의 임피던스를

임피던스로 형성하였을 때의 필터의 비대역폭은 그림 5에 나타내었다.

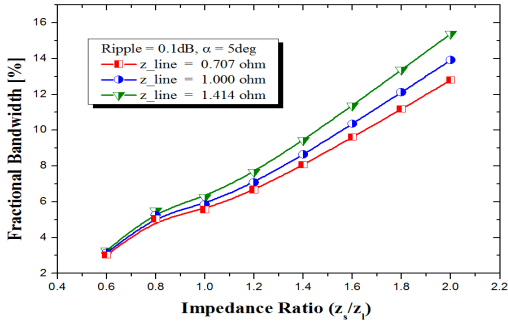


그림 5. 공진기와 단락형 스텐브의 임피던스 비에 따른 필터의 비대역폭

Fig. 5 Fractional bandwidth as the impedance ratio between the resonator and shunt-stub

그림 5는 리플은 0.1dB, 단락형 스텐브의 전기적 길이는 5°로 하였을 때의 필터 대역폭을 계산한 것으로 공진기와 스텐브의 임피던스 비율이 증가함에 따라 대역폭이 증가하고 임피던스가 커질수록 조금씩 대역폭이 증가하고 있다. 그림 4와 그림 5에 나타난 결과를 통해 원하는 대역폭을 얻기 위해서는 선로 및 스텐브의 임피던스, 스텐브의 전기적 길이와 함께 리플 특성을 고려해야 함을 알 수 있다. 특히, 선로 및 스텐브의 임피던스를 특성 임피던스가 아닌 임의의 임피던스로 선택하였을 경우, 필터의 중심주파수가 이동을 하게 되는데, 이에 대한 결과는 그림 6과 같다.

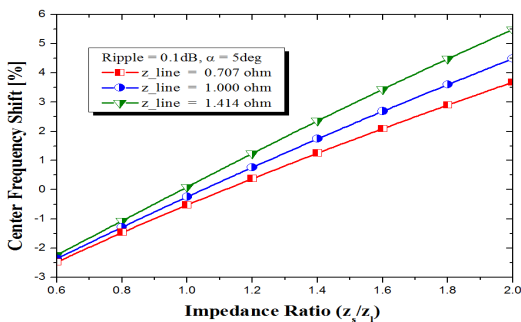


그림 6. 공진기와 단락형 스텐브의 임피던스에 따른 필터 중심주파수의 이동

Fig. 6 Center frequency shift of the filter as impedances of resonator and shunt-stub

그림 6의 결과를 통해 단락형 스텐브의 임피던스가 공진기의 임피던스보다 작을 경우 필터의 중심주파수가 하향되고, 임피던스 비가 증가할수록 중심주파수는 상향 이동되는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 임피던스를 크게 설정하였을 때 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

주파수 이동에 따른 필터의 설계 예로써 선로의 임피던스와 단락형 스텐브의 임피던스를 각각 70.7Ω, 56.56Ω으로 한 필터를 설계해 본다. 리플 값을 0.1dB로 하고 스텐브의 전기적 길이를 5°로 설정하였을 때 인버터의 값은 식 (7)에 의해 0.2019로 계산되고, 중심주파수의 이동은 1.07% 하향되므로 이를 공진기 및 스텐브의 전기적 길이에 보상하여 설계한다. 공진기와 스텐브의 연결을 위한 T-접합부와 단락형 스텐브 구현을 위한 비아 홀에 의한 선로길이의 미세 조절을 통해 원하는 주파수의 필터 특성을 얻을 수 있다. 그림 7은 구현된 필터 회로, 그림 8은 구현된 필터의 설계 결과를 나타낸다.

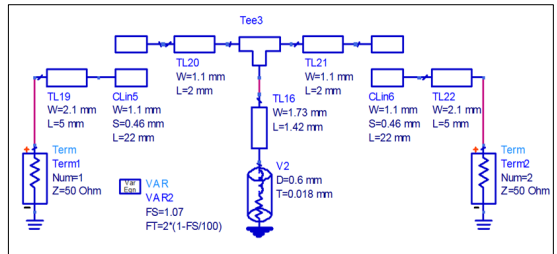


그림 7. 주파수 이동을 보정한 필터 회로
Fig. 7 Filter's circuit with the frequency shift

그림 7의 회로는 유전율 2.55, 기판 두께 0.76mm의 테프론 기판을 기반으로 설계된 회로도이며, 인버터 구현을 위한 결합선로와 단락형 스텐브의 기생 커플링을 최소화하기 위해 스텐브 방향으로 전송 선로를 추가하였다.

ADS 툴을 이용하여 설계된 결과는 그림 8에 나타내었다. 기판의 유전체 손실에 의해 필터의 삽입 손실이 다소 증가한 것을 제외하고는 이론적인 값과 동일한 특성을 보이고 있다.

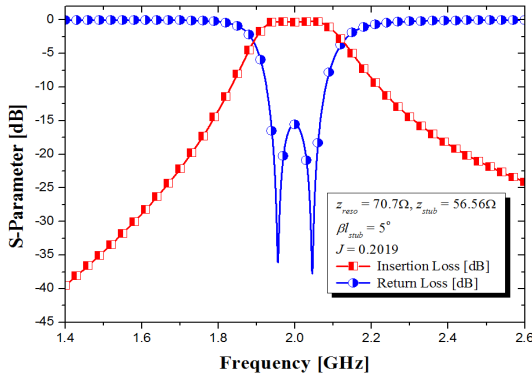


그림 8. 이중모드 공진기에 의한 필터의 설계 결과
 Fig. 8 Simulated results of the filter using the dual-mode resonator

IV. 결 론

본 논문에서는 단락형 스테르브를 이용한 이중모드 공진기의 인버터 값을 ABCD 파라미터를 통한 전달 함수를 구해 계산하였고, 구해진 인버터 값을 통해 구현된 대역통과 필터의 대역폭 및 중심 주파수 이동 특성을 분석하였다.

인버터 값은 단락형 스테르브의 전기적 길이에 따라 증가하고, 공진기와 스테르브의 임피던스 비에 따라서도 다소 증가하는 특성을 보였다. 또한, 이중모드 공진기를 이용한 필터의 대역폭 특성은 스테르브의 전기적 길이에 따라 증가하였다. 또한, 임의의 임피던스로 이중모드 공진기를 구현하였을 경우 임피던스 값들에 의해 필터의 중심주파수가 이동되므로 예제로 제시된 필터와 같이 공진기와 단락형 스테르브의 전기적 길이를 보상에 주어야 한다.

이중모드 공진기는 필터를 소형화할 수 있는 우수한 장점이 있는 만큼 본 논문에서 제시된 계산식을 이용하여 보다 간편하게 소형화된 필터를 설계할 수 있어 이중모드 공진기를 더 쉽게 활용할 수 있으리라 기대한다.

References

- [1] T. Yun, "Harmonic-Suppressed Hairpin Bandpass Filter for the Microwave Radiometer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1169-1174.
- [2] S. Kim and J. Song, "Miniaturized UWB BPF design that is applicable to Ultrafast Wireless Communication Systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 620-624.
- [3] J. Crute and L. Davis, "A compact microstrip interdigital stepped-impedance band-pass filter with enhanced stop band," *Microw. Optical Tech. Lett.*, vol. 34, no. 7, 2002, pp. 336-340.
- [4] S. Rhee, S. Lee, and O. Kim, "Stepped Impedance LPF using MCSI," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 3, 2008, pp. 153-157.
- [5] J. Lee, J. Cho, and S. Yun, "New Compact Bandpass Filter Using Microstrip $\lambda/4$ Resonators with Open Stub Inverter," *IEEE Microw. Guided. Wave Lett.*, vol. 10, no. 12, 2000, pp. 526-527.
- [6] L. Zhu and W. Menzel, "Compact Microstrip Bandpass Filter with Two Transmission Zeros Using a Stub-Tapped Half-Wavelength Line Resonator," *IEEE Microw. Wireless Comp. Lett.*, vol. 13, no. 1, 2003, pp. 16-18.
- [7] W. Tu, "Compact Double-mode Cross-coupled Microstrip Bandpass Filter with Tunable Transmission zero," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 2, no. 4, 2008, pp. 373-377.
- [8] T. Yun, S. Noh, H. Kim, E. Oh, H. Son, and J. Lee, "Compact Dualband Bandpass Filter with Two Transmission Zeros Using Dual-mode Microstrip Resonator and Tapped-line Geometry," *Microw. Optical Tech. Lett.*, vol. 53, no. 1, 2011, pp. 108-111.
- [9] T. Yun, H. Nam, B. Lee, J. Choi, J. Kim, and J. Lee, "Harmonic Rejected Compact Bandpass Filter Using Dual-mode Microstrip Resonator with Additional Open Stub," *Microw. Optical Tech. Lett.*, vol. 52, no. 10, 2010, pp.

2288-2291.

- [10] J. Hong and M. Lancaster, *Microwave filters for RF/Microwave applications*. New York: Wiley, 2001.

저자 소개

노순국(Sun-Kuk Noh)



1995년 조선대학교 전자공학과
(공학사)
1997년 조선대학교 전자공학과
(공학석사)
2000년 조선대학교 전자공학과
(공학박사)

2002년 03월~2004년 08월: 전북대학교 전자정보
공학과 BK사업단 기금교수

2004년 09월~2012년 02월: 호남대학교 이동통신
공학과 조교수

2012년 10월~2018년 03월: 조선이공대학교 전자
과 조교수

2018년 04월~현재: 조선대학교 SW융합교육원
부교수

※ 관심분야 : 마이크로파 소자, 전파전파, 무선이
동통신, 센서네트워크

윤태순(Tae-Soon Yun)



2000년 국민대학교 전자공학과
(공학사)

2002년 광운대학교 전파공학과
(공학석사)

2006년 광운대학교 전파공학과
(공학박사)

2007년 10월~2008년 09월: The SUNY at Buffal
o Post Doc.

2008년 10월~2010년 02월: 광운대 BK사업단 연
구교수

2010년 03월~현재: 호남대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 마이크로파 소자, 무선전력전송, C
RLH 전송 선로