

# 개선된 링구조 공진기 설계 및 제작

홍상준\*, 하성재, 이영준, 박병규, 김창범, 이근태, 안창돈, 홍의석

광운대학교 전파공학과, 전자공학과

T. 02-940-5185, F. 02-941-9176

## A Design of Improved Ring Resonator

Sang-Joon Hong\*, Sung-Jae Ha, Young-Jun Lee, Byung-Kyu Park, Chang-Bum Kim,  
Keun-Tae Lee, Chang-Don An, Ui-Seok Hong

Dept. of Radio Science & Eng. of Kwangwoon Univ.

E-mail: freechal.com

### Abstract

In this paper, newly constructed 5.6 GHz ring resonator by using a T-Junction and a parallel transmission line. The resonator's size reduced twice more than a current ring and a hair-pin resonator at this paper's center frequency. The loaded Q value is 240~250 at center frequency. also, It was explained by RLC equivalent equation for the resonator.

### I. 서론

마이크로스트립 링 공진기(Microstrip Ring Resonator)는 1969년에 위상속도와 분산특성(Dispersive characteristic)을 측정하기 위해서 P. Troughton에 의해 처음으로 소개되었었다. 그후 10년동안 마이크로스트립라인의 불연속점(Discontinuity)을 측정하기 위해서만 사용되었었다. 1980년도에 이르러서, 안테나와 발진기, 혼합기, 여파기, 결합기 등에 응용한 논문이 발표되었었다. 최근에는 코플라나 웨이브가이드(Coplanar

Waveguide)나 슬롯라인(Slotline)에 응용되어 우수한 특성을 보이고 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 마이크로스트립 라인에서 제작된 기존의 링 공진기보다 적은 사이즈(Size)의 공진기를 설계 및 제작하였다.

### II. 제안된 공진기의 이론

#### 1. 일반적인 링 공진기 이론



그림 1. 일반적인 링 공진기.

$$2\pi r = n\left(\frac{\lambda_g}{2}\right), \text{ for } n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{c}{f} \quad (2)$$

$$f = \frac{nc}{2\pi r \sqrt{\epsilon_{eff}}}, \text{ for } n=1,2,3, \dots \quad (3)$$

$$f = \frac{nc}{4\pi r \sqrt{\epsilon_{eff}}}, \text{ for } n=1,2,3, \dots \quad (4)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi C_0 \sqrt{20 \times 10^3}} \quad (9)$$

$$C_0 = \frac{1}{2\pi f_0 \sqrt{20 \times 10^3}} \quad (10)$$

일반적으로 마이크로스트립 링 공진기의 둘레는 식(1)에서 처럼 지름(r)의 둘레에 의해 결정된다. 식(2)는  $\lambda_g$  나타내는 수식이다. 여기서, 식(3)과 (4)에 의해서 공진주파수가 결정된다<sup>[1]</sup>.

기존의 링 공진기(Ring resonator)의 경우 공진기의 둘레 길이가 공진기의 중심 주파수(Dominant Frequency)를 결정하게 되어 초고주파 대역중에서 비교적 주파수가 낮은 5 GHz 대역의 공진기를 제작할 경우 공진기의 크기가 커진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 공진기의 특성 및 크기를 줄이고자 공진기 사이에 결합회로를 사용하고 T-Junction을 사용하였다.

## 2. 본 논문의 공진기 이론

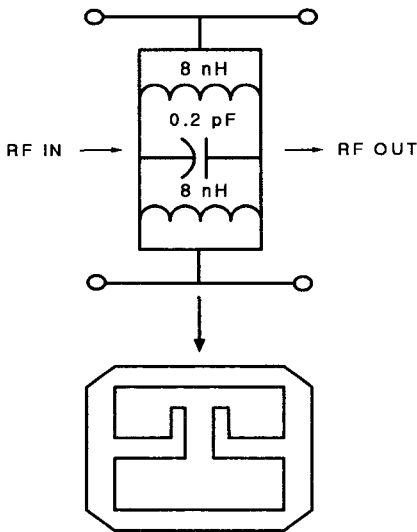


그림 2. 5.6 GHz 대역의 공진기 등가모델.

$$L_0 = C_0 (20 \times 10^3) \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{L_0}{20 \times 10^3} \quad (6)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 C_0}} \quad (7)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_0^2 (20 \times 10^3)}} \quad (8)$$

그림 2는 본 논문의 공진기를 등가회로 모델로 구현한 것이다. 식(5)와 (6)을 통해서 공진기의  $L_0$ ,  $C_0$ 값을 알 수 있으며, 식(5)를 식(7)에 대입하면 식(8)이 나오며 식(9)와 같은 결과가 나온다. 결국, 식(10)으로 중심주파수( $f_0$ )만 대입하면  $C_0$ 값을 구할 수 있다.

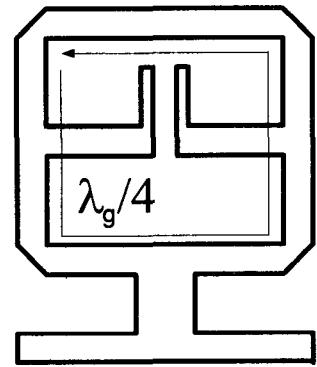


그림 3. 공진기의 둘레길이.

$$2\pi r = \frac{\lambda_g}{4} \quad (11)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{c}{f} \quad (12)$$

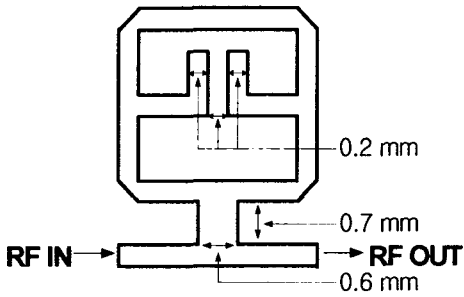
그림 3은 공진기의 내부둘레의 길이를  $\lambda_g/4$ 로 나타내고 있다. 식(11)과 (12)에서 볼 수 있듯이 기존의 링 공진기보다 2배의 길이가 줄어든 것을 볼 수 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문의 공진기는  $C_0$ 값을 크게 함으로써  $L_0$ 값을 줄였다.  $L_0$ 값이 줄었다는 것은 공진기의 구현시 마이크로스트립라인의 길이가 줄어드는 것을 의미한다. 이 현상은 식(13)을 보면 증명이 된다<sup>[2]</sup>.

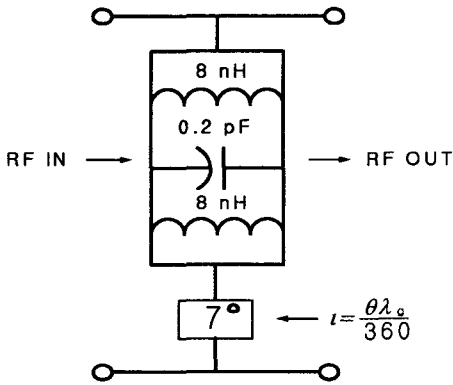
$$L(nH) = \frac{2 \times 10^{-4}}{\ln\left(\frac{l}{W+t}\right) + 1.193 + 0.2235 \frac{W+t}{l}} \cdot K_g \quad (13)$$

여기서,  $K_g$  = correction factor이다.

### 3. 본 논문 공진기의 최종 등가모델



(a)



(b)

그림 4. (a) 공진기의 최종 설계도.

(b) 공진기의 최종 등가모델.

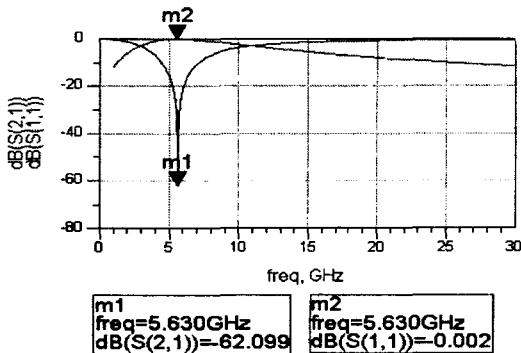


그림 5. 등가회로 공진기의 모의실험.

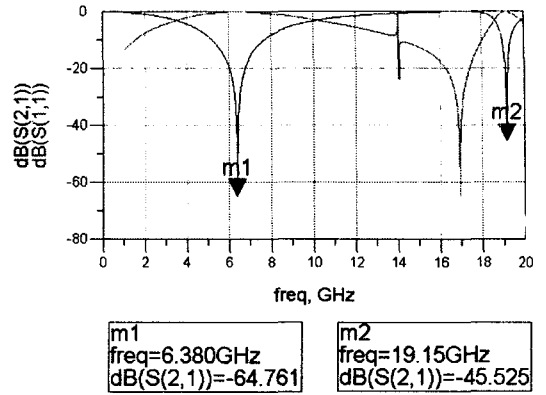


그림 6. 제작된 공진기의 광대역 모의실험.

그림 4(a)는 마이크로스트립라인으로 구성된 5.6 GHz 대역의 최종 공진기의 설계도이다. 그림 4(b)는 공진기의 최종등가 모델이다. T정선의 길이를 Electrical length  $10^\circ$ 로 표기 하였다<sup>[3]</sup>. 그림 5는 등가회로의 모의 실험 결과이다. 실제로 구현된 회로와 거의 비슷한 특성을 나타내고 있다. 그림 6은 제작된 공진기의 광대역 모의실험 결과이다.

T-Junction부분의 두께( $W_{1,2}$ )는 그림 7과 식(14)에서 볼 수 있듯이 임피던스의 비율이 5:8로 되었을 때 최적화 된 공진기의 설계가 이루어진다. 이때, 적절한 Capacitance값을 갖게 하여 정확한 중심주파수를 조절하게 만든다<sup>[4]</sup>.

또한, 식(15), (16), (17)로 L과 C값을 알 수 있다. 그러므로, T-Junction부분의 두께( $W_{1,2}$ )는 중심주파수( $f_0$ )에 영향을 준다고 볼 수 있다<sup>[2]</sup>.

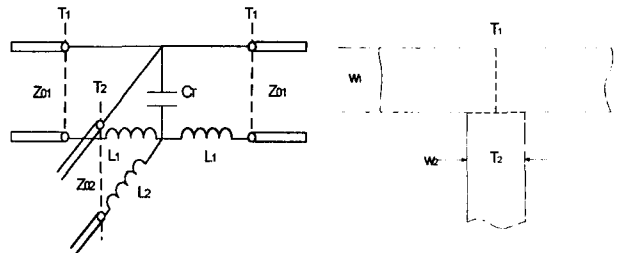


그림 7. 티정선 등가회로.

$$Z_{0(1)}/Z_{0(2)} \geq 0.5:$$

$$\frac{\omega C \lambda_{gl}}{Y_{0(1)} w_{eff}} = \left( \frac{2w_{eff}}{\lambda_{gl}} - 1 \right) \frac{Z_{0(1)}}{Z_{0(2)}}$$

$$\text{여기서, } w_{eff.2} = \frac{h\eta}{Z_{0(1.2)}\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (14)$$

$$\frac{C_T}{w_1} (pF/m) = \frac{100}{\tanh(0.0072Z_{02})} + 0.64Z_{02} - 261$$

$$(25 \leq Z_{02} \leq 100) \quad (15)$$

$$\frac{L_1}{h} (nH/m) = -\frac{w_2}{h} \left\{ \frac{w_2}{h} (-0.016 \frac{w_1}{h} + 0.064) + \frac{0.016}{w_1/h} \right\} L_{w_1}$$

$$0.5 \leq \left( \frac{w_1}{h}, \frac{w_2}{h} \right) \leq 2.0 \quad (16)$$

$$\frac{L_2}{h} (nH/m) = \left\{ (0.12 \frac{w_1}{h} - 0.47) \frac{w_2}{h} + 0.195 \frac{w_1}{h} - 0.357 + 0.0283 \sin(\pi \frac{w_1}{h} - 0.75\pi) \right\} L_{w_2}$$

$$1 \leq \frac{w_1}{h} \leq 2.0, 0.5 \leq \frac{w_2}{h} \leq 2.0 \quad (17)$$

$$\text{여기서, } L_w = \frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}}{c} (H/m). c = 3 \times 10^8 m/s$$

### III. 제안된 구조의 공진기 설계

본 논문에서 설계 및 제작된 공진기는 Agilent ADS 2001 version을 이용하였다. 그림 8은 공진기의 레이아웃(Layout)이며, 그림 9은 모의실험 측정치이다.

모의 실험은 ADS 2001 version의 EM Simulator를 사용하였다. 측정치는 중심주파수에서  $S_{21}$ 이 -49.039 dB,  $S_{11}$ 이 -0.016 dB를 나타내었다.

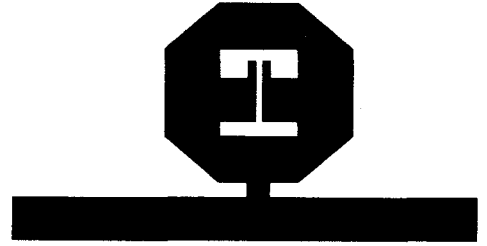


그림 8. 공진기의 레이아웃(Layout).

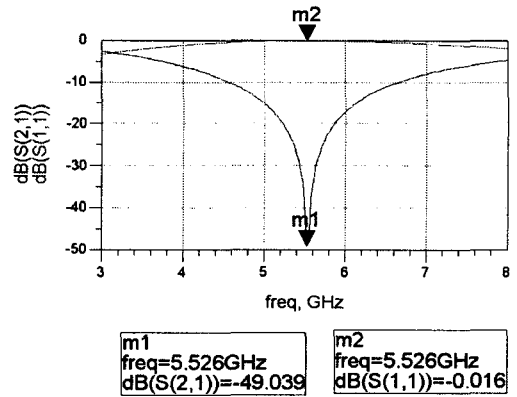


그림 9. EM Simulator 측정결과.

### IV. 제작 및 측정

공진기의 측정장비는 HP사의 8510C Network Analyzer를 이용하였다. 기판은 비유전율 2.52( $\epsilon_r \approx 2.52$ )인 테플론 기판을 이용하였다. 그림 10은 제작된 공진기의 측정 결과치를 ADS 2001 version에서 디스플레이(Display)시킨 것이다. 중심주파수에서  $S_{21}$ 이 -45.175 dB,  $S_{11}$ 이 -0.067 dB의 특성을 나타내었다. 이때, Loaded Q값은 약 240~250을 나타내었다. 그림 11은 광대역(1GHz~19GHz)에서 측정한 것이다. 중심주파수외에 생성되는 공진주파수가 없는 것을 볼 수 있다. 그림 12은 제작된 공진기의 실물사진이다.

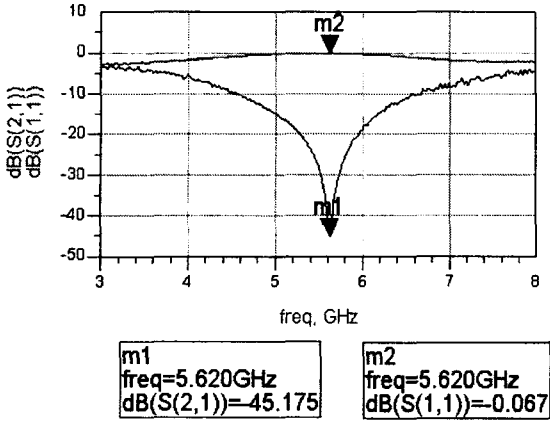


그림 10. 제작된 공진기의 측정결과.

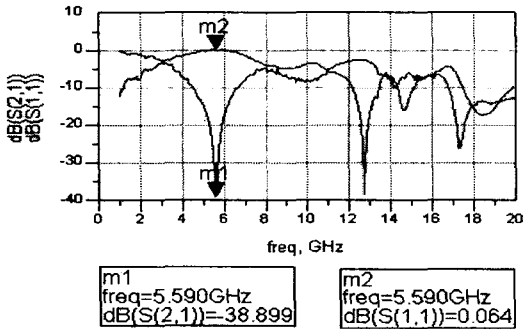


그림 11. 공진기의 광대역 측정결과.

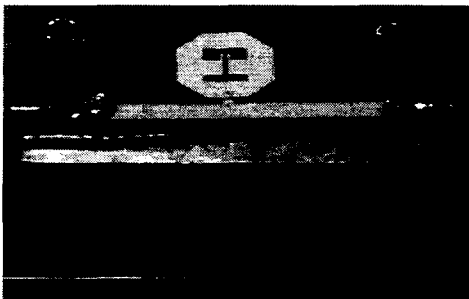


그림 12. 공진기의 실물사진.

### V. 결론

본 논문에서는 기존의 링 공진기의 특성 및 크기를 개선하기 위해서 공진기 중심에 병렬선로를 삽입하여 캐패시턴스 값을 늘리고, T-Junction을 연결한 구조의 공진기를 설계 및 제작하는 과정을 보여 주었다. 이 공진기의 수식은 등가회로

(RLC)를 이용한 해석으로 정리하였다. Loaded Q값은 기존의 링 공진기나 헤어핀 공진기보다 높은 값(약 240~250)을 나타내었다.

향후 과제로는 전자기학적인 수식의 해석으로 좀 더 정확한 공진기의 해석을 요구하고 있다.

표1은 기존의 공진기들과의 특성을 비교, 설명하고 있다.(비유전율 2.52인 테플론기판에서 제작)

resonator	loaded Q	내부둘레길이
general ring	100이하	18.4 mm@5.6 GHz
hair-pin	150~200	16.6 mm@5.6 GHz
this work	240~250	9.2 mm@5.6 GHz

표1. 기존의 공진기와의 특성비교.

### 참고 문헌

- [1] Kai Chang, *Microwave Ring Circuits and Antennas*, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [2] Kai Chang, Inder Bhal, and Vijay Nair, *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless System*, John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [3] Kenneth S. K. Yeo, Michael J. Lancaster and Jia-Sheng Hong, "The Design of Microstrip Six-Pole Quasi-Elliptic Filter with Linear Phase Reponse Using Extracted-Pole Technique," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-49, pp.321-327, Feb. 2001.
- [4] Terry Edwards, *Foundation for Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1992.