

## Microstrip Bandpass Filter을 이용한 향상된 T-Shaped Meander Loop 공진기.

정주현<sup>o</sup>, 오인열, 나극환  
광운대학교 전자공학과

## Microstrip Bandpass Filter Using of a T-Shaped Meander Loop Resonator

Joo-Hyun Chung, Inn-yeal Oh, Kuck-Hwan Ra  
Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.

### 요 약

본 논문에서 5.8GHz의 주파수 대역에서 사용할 수 있는 향상된 커플링 구조와 크기를 줄인 dual-mode microstrip bandpass filter를 설계하였다. 여기서 meander loop resonator를 쓰는 이유는 크기가 작고 방사 손실이 적으며 패턴이 간단하기 때문이다. 또한 이와 비슷한 특성을 갖는 ring, square patch, disk등은 불연속 성분을 가짐으로써 이중 모드의 구현이 가능하다.

향상된 형태의 dual-mode microstrip bandpass filter의 변형된 T-shaped meander loop resonator를 소형으로 발전되고. 높은 선택도를 가지는 구조이다. 이 형태의 filter에서 150MHz의 bandwidth을 가지고 5.8GHz주파수를 가지는 구조로 설계하였다.

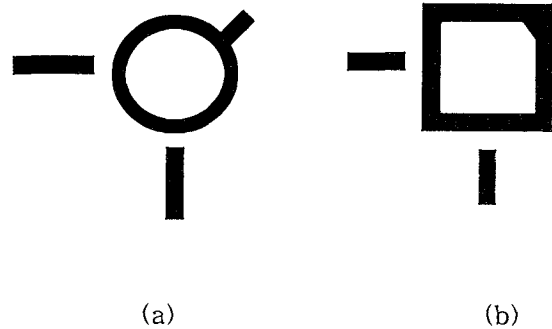
### 1. 서론

소형화로 많이 이용되는 narrow-band microwave bandpass filters 들은 다음 세대에서도 많이 이용될 것이다 . 특히 satellite 와 mobile communications systems에 적용된다. 여기서는 dual-mode microstrip filter [1]-[3]는 많은 발전을 하였다. 왜냐하면 공간과 무게 가격이 저렴하다는 장점 때문에 많이 이용되고 있다.

Dual-mode microstrip resonator는 ring 과 disk 그리고 square patch[1] 형태로 많이 쓰이고 있다. 왜냐하면 낮은 방사 손실과 높은 Q값 그리고 2개의 orthogonal resonator mode 이기 때문이다. 높은 microwave frequency band는 satellite and mobile communications system, dual-mode microstrip filters의 형태는 회로의 크기를 작게 하는데 아주 편리하다.

최근에는 dual-mode square loop resonator는 소형의 microstrip dual-mode filters로 제안되어 진다[4]. 이 연구의 목적은 회로의 면적을 더욱 효율적인 방법으로 활용하는 것이다. 특히 높은 주파수대역에서 선택에도 많은 영향을 준다. 우리는 여기서 dual-mode microstrip filter를 사용하여 변형된T-shaped meander loop resonator를 설계하였다. 새로운 filter의 구조는 다른 dual-mode microstrip filters와 비교하면 작은 크기이다. Meander loop resonator를

mode splitting하는 것은 filter design하는데 중요하다. Fig, 1 (a).(b)는 기본적으로 Dual-mode Resonator의 모양이며, Fig, 1 (c)은 변형된 Meander loop Resonator의 모양이다.



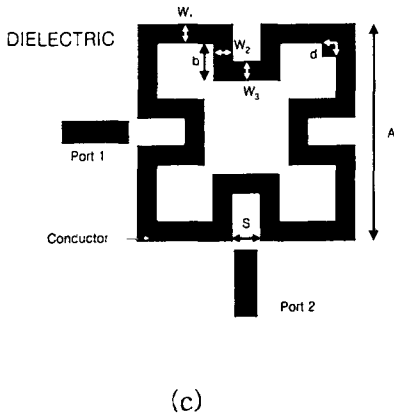


Fig. 1. 기본적인 DUAL-MODE RESONATOR

- (a) ring resonator
- (b) square resonator
- (c) Dual-mode microstrip meander loop resonator

Fig. 1(a)을 보면 구조는 단지 적분된 다수의 파장을 같은 원주에 있는 파이다[5]. 이것을 표현하면.

$$2\pi\gamma = n\lambda_g, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

여기서  $n$  는 the mode number,  $\gamma$  는 the mean radius of the ring, 그리고  $\lambda_g$  는 the guided wavelength in the ring.

첫 번째 mode에서는 coupling gap에 의해 최대가 field에서 발생되고, coupling gap의 위치로부터  $90^\circ$  일 때 최대가 된다.

링 회로에서 전송과 반사 효율이 아래의 식(2)에서 주어진다.

$$S_{11} = (\Gamma_{even} + \Gamma_{odd})/2 \quad (2)$$

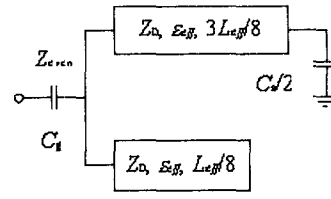
$$S_{21} = (\Gamma_{even} - \Gamma_{odd})/2$$

$$\Gamma_{even, odd} = \frac{Z_{even, odd} - Z_T}{Z_{even, odd} + Z_T} \quad (3)$$

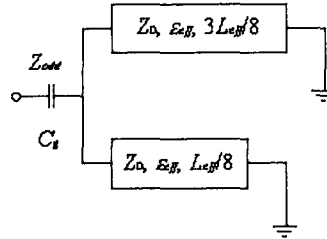
Dual-mode filter의 일반적인 ring 공진기의 한 파장은 다음과 같다.

- 1) 입력과 출력포트는 서로간에 공간적으로  $90^\circ$ 만큼 분리되어 있다.
- 2) 불연속 또는 연속일 때도 공진기에의 입사파와 반사파가 생긴다.
- 3) 대칭인 평면에서는 기하학적인 회로가 존재한다.

$Z_0$ 는 terminated impedance이다.  $Z_{even}$ 과  $Z_{odd}$ 는 반원에 입력 impedance이고 Fig.2에서 even과 odd가 대칭성을 잘 나타내지고 있다.



(a)



(b)

Fig. 2 Equivalent circuit

- (a) Even-mode
- (b) Odd-mode

식(4)에서  $Z_{even}$ 과  $Z_{odd}$ 을 유추할 수 있다.

$$Z_{even} = jZ_T \left( \frac{1}{\cot(\theta) + \cot(3\theta)} - \frac{1}{y_g} \right) \quad (4)$$

$$Z_{odd} = jZ_T \left[ \left( \frac{\tan(3\theta) + y_g}{y_g \tan(3\theta) - 1} - \tan(\theta) \right)^{-1} - \frac{1}{y_g} \right]$$

여기서  $\theta = \pi f / 4f_r$ ,  $y_g = 2\pi f C_g Z_T$ ,  $y_s = \pi f C_s Z_r$  이고,  $Z_r$  과  $f_r (= v_{eff} / L_{eff})$  는 선의 특성 임피던스와 중심 공진 주파수이다.  $C_g$  그리고  $C_s$ 는 평행한 capacitors의 coupling gaps와 stub를 나타낸다. 이 구조의 목적은 필터의 중심주파수  $f_c$  와  $Z_T$ 는,  $C_g$ ,  $C_s$  그리고  $f_r$ 는 pre-specified parameter이기 때문에 회로에서 변수를 결정할 수 있다. 만약 링에서 손실이 없다면,  $f_{z1}$ 과  $f_{z2}$ 의 주파수에서 transmission zero이면, 그 위치를 아래의 식으로 해석이 가능하다.

$$Z_{even} - Z_{odd} = 0 \quad (5)$$

식 (4),(5)를 간단히 하면,

$$\frac{\sin(4\theta)\cos(2\theta)}{\sin^2(3\theta)} = y_s \quad (6)$$

위 식을 근사화 하면,  $a \ll 1$  ( $a = \pi f_c C_s Z_T$ )일 때,

$$f_{z1,z2} = f_r(1 \pm \sqrt{a/\pi}) \quad (7)$$

또한 주목할 것은 transmission zero이면  $f_r$  측면에서 대칭이다 ( $f_c$ 는 아니다). 마찬가지로 링 필터의 pole 주파수를 결정 할 수 있다.

$$Z_{even}Z_{odd} - Z_o^2 = 0 \quad (8)$$

식 (4),(8)를 합치면 필터의 중심 주파수를 근사화 할 수 있다. 여기서  $\beta \ll 1 (\beta = 2\pi f_c C_g Z_T)$  일 때,

$$f_c = f_r \left( 1 - \frac{a + \beta}{2\pi} \right) \quad (9)$$

이 결과는  $f_c < f_r$  과  $f_c \approx f_r$  의 상태를 암시한다. 또 filter에서는 passband ripple (<0.2dB)보다 작아야 한다.  $C_s$ 와  $C_g$ 는 아래의 식에서 선택해야 한다.

$$a \approx \frac{1 + \sqrt{1 + 16z^2}}{4} \beta^2 \quad (10)$$

여기서  $z = Z_o/Z_T$  그리고  $0.5 < z < 2$ 이다.

## 2. Dual-Mode Meander Loop Resonator

Dual-mode filters 핵심적인 목적은 dual-mode microstrip meander loop resonator, shown in Fig. 1(c). meander loop의 기본적인 resonator이다. 그림에서 loop내에 square patch를 내부 안쪽에 가장자리에 붙이면 한 쌍이 coupling된다. (전파상수를 가지게 된다.) 이런 형태를 dual-mode resonator라 한다.

여기서  $d=0$  일 때 추가적으로 침투하지 못하고 그리고 단지 single mode로 활동한다. 여기서 electric field 형태에서 EM simulator를 사용하였다. 그림에서 resonator가 이루어지는 곳이  $TM_{100}^z$  mode에서와 일치한다. port 1에서  $z$ 축 수직으로 Square patch resonator 일어난다. 만약 resonator port가 port 2로 바뀌면 영역의 모양이  $90^\circ$ 로 변형되어.  $TM_{010}^z$  mode square patch resonator와 일치한다.

$d \neq 0$ 일 때 excitation port는 문제가 되지 않는다. 여기서 excited와 coupling은 서로 간에 변형이 된다. 그 이유는 resonator frequency가 splitting되기 때문이다.

splitting 된 mode가 제어되어 돌아온다. Mode splitting의 주파수 특징은  $d$ 의 값에 따라 달라진다.  $d$ 가 1.5 to 2.5mm로 증가하면, resonance frequency splitting가 35 to 100MHz로 증가한다. square patch( $d=0$ )가 공진 주파수로 나누어지지 않고. bandpass 응답이 지켜지지 않는다. 그 이유는 출력 short-circuit(0)된다. Fig. 3을 보면 mode 1에서 field patten ( $|E_z|$ )이 계산된다.

위에서 이 pole과 zero의 위치에 따라 4개의 코너가 나타나 진다. Mode 2의 field pattern에서 높은 공진이 일어난다. mode 1에서  $90^\circ$ 로 변하게 된다. Meander loop resonator의 크기의 축소를 증명하기 위해 2-D resonators를 ring, square patch, 그리고 disk로 설계하고 실험하였다[5]. 모든 공진기의 resonated의 주파수 범위를 5.8GHz로 측정하였다.

회로의 크기에 따라 공진 이 달라졌다. 그리고 RT/Duriod 기판과 두께는 1.27mm

그리고 dielectric constant가 10.8, 크기는  $16 \times 16\text{mm}^2$ ,  $23.5 \times 23.5\text{mm}^2$ ,  $28.5 \times 28.5\text{mm}^2$ , 그리고  $33 \times 33\text{mm}^2$  이 크기로 ring, square patch, disk을 만들었다. 그 결과 크기가 53%, 68%, 76%가 meander loop에서 감소되었다. 명확히 크기가 줄어 들었다. 특히 회로와 시스템에서 크기를 줄일 수 있는 결과를 얻었다.

## 3. Dual-Mode Bandpass Filter

여기서 보는 것 과 같이 2개의 pole bandpass filter는 dual-mode microstrip meander loop resonator로 제작, 설계되었고 RT/Duriod 기판을 사용했고 두께는 1.27mm이고 유전상수는 10.8 이다.

Filter dimension 그림 1(c). 에서  $a=16$  mm,  $b=3.25$  mm,  $w_1=d=2$  mm,  $w_2=w_3=s=1.5$  mm. 5.8GHz 주파수에서 150MHz의 bandwidth을 가지며. 최소의 삽입손실이 1.6dB결과를 얻었다. 여기서 conductor의 손실을 줄이면 삽입 손실과 크기가 작아지는 것을 알 수 있다[6].

## 4. Dual-mode microstrip Bandpass Filter T-Shaped meander loop

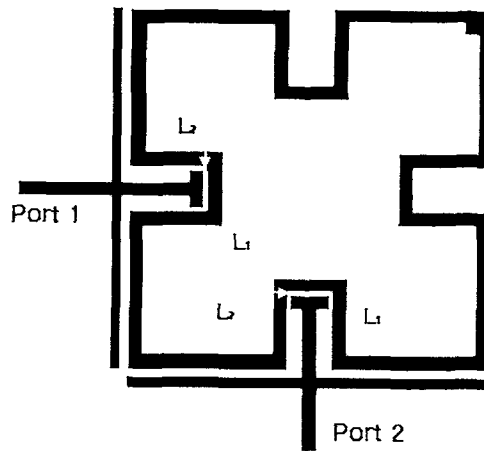
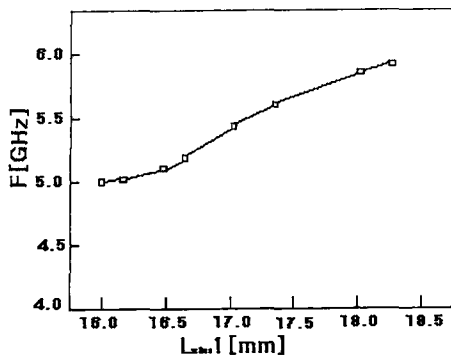


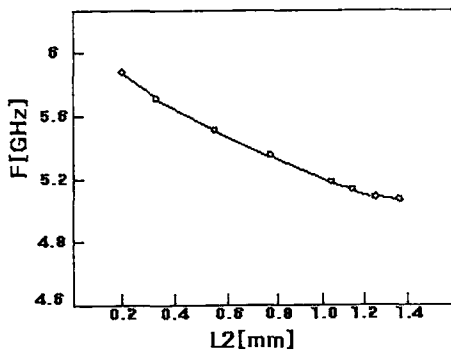
Fig. 3 . Dual-mode microstrip T-shaped meander resonator

Fig 3은 변형된 새로운 형태의 T-shaped meander resonator 이다. dual-mode인 형태로 좀더 효율을 높이기 위하여 설계, 제작하였다.

이 구조의 목적은 insertion length  $L_1$ 에 따라 ripple 과 bandwidth, center 주파수를 insertion length에 따라 결정할 수 있다.  $L_1$ 이 증가하면 또한 bandwidth가 감소하고, 크기에 따라 center 주파수를 결정할 수 있다. 설계의 목적은 효율을 더 높이기 위하여 설계, 제작하게 되었다.



(a)



(b)

Fig. 4 Resonance frequency of the meander resonator as a function

(a) cut length(L<sub>1</sub>) (b) gap length(L<sub>2</sub>)

Fig 4를 보면 L<sub>1</sub>에서 길이에 따라 변화량을 보여주고 있고, 길이가 점점 증가함에 따라 주파수의 변동이 줄어들고 있고, L<sub>2</sub>를 보면 gap의 크기에 따라 주파수 변동을 보여주고 있다. 위 Fig 5는 tool을 이용한 Simulation 값이다.

회로의 면적을 효율적으로 활용할 수 있다. 이 구조를 살펴보면 기판은 RT/Rogers 5880이고, 유전율 ( $\epsilon_r$ )은  $2.2 \pm 0.02$ , 기판의 두께 ( $h$ )는 0.508mm, 도체의 두께 ( $t$ )는 0.0170mm, 기판의 loss tangent  $\tan \delta=0.009$ 이다. feedline 폭은 0.3mm, meander loop 폭은 0.4, tapped line 폭은 0.2mm, T-shaped와 meander loop의 폭은 0.2mm, patch는 3mm, coupling gap은 0.2mm이다.

Fig 2의 측정은 Ansoft software의 tool로 제작하였다. 중심 주파수는 5.8GHz이고, 삽입 손실은 -2.18dB, 반사 손실은 -23.35dB이다.

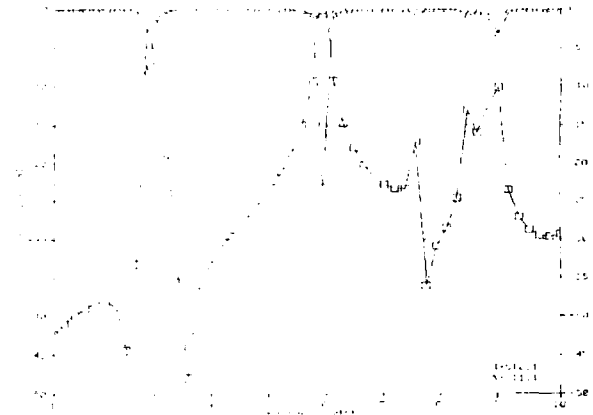


Fig. 5 Dual-mode microstrip T-shaped meander resonator의 시뮬레이션 결과

#### 4. Conclusion

향상된 형태의 dual-mode microstrip bandpass filter를 사용하여 변형된 dual-mode T-shaped meander loop resonator를 기술하였고, splitting mode의 특징을 묘사하였다. Dual-mode bandpass filter는 150MHz의 bandwidth이고 5.8GHz되는 소형 microwave filter를 설계, 제작하였다. 이것은 새로운 dual-mode microstrip meander loop resonator로 기대 된다. 이것은 특별히 monolithic microwave integrate circuit(MMIC)의 장점을 가지고 있다. 그리고 High temperature superconducting (HTS)로 발전할 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

- [1] J. A Curtis and S. J. Fiedziuszko, "Miniature dual mode microstrip filters, " in 1991, pp. 443-446.
- [2] R. R. Mansour, "Design of superconductive multiplexers using single mode and dual-mode filters," IEEE T문. Microwave Theory Tech, vol.42, pp1411-1418, 1994.
- [3] U. Karacaoglu, I.D. Robertson, and M. Guglielmi, "An improved dual-mode microstrip ring resonator filter with simple geometry," in Proc.European Microwave Conf., 1994,pp. 472-477.
- [4] J. S. Hong and M.J.Lancaster,"Bandpass characteristics of new dual-mode microstrip square loop resonators"Electron. Lett., vol. 31, no. 11,pp. 891-892, 1995.
- [5] EM User's Manual Sonnet Software, Inc., Version 2.4, 1993
- [6] I. Wolff's "Microstrip bandpass filter using degenerator modes of a microstrip ring resonator," Electron. Lett., vol. 8, pp. 302-3-3, 1972.