

論文99-36D-8-4

결합 갭의 영향을 고려한 링 공진기의 설계

(The Design of Ring Resonator with Considering Effect of Coupling Gap)

吳 德 禮 氏 *, 金 興 洙 *

(Teresa Oh and Heungsoo Kim)

요 약

링 공진기의 반경은 공진 주파수에 의해서 결정된다. 실제로 파장의 정수 배인 원주를 갖는 링 공진기는 설계하고자 하는 공진 주파수에 맞게 설계하기가 어렵다. 본 논문에서는 결합 갭을 갖는 링 공진기가 원하는 공진 주파수에서 공진할 수 있도록 설계하는 방법을 제시한다. 전송선로 해석법을 이용하여 갭 크기에 따라 반경을 줄일 수 있는 관계식을 유도하고, 유전율에 따라서 반경을 결정할 수 있는 조건식을 제시한다. 새로운 방법에 의해 설계된 링 공진기는 크기 면에서 초기의 공진 주파수에 의해 설계한 링 공진기 크기의 1/3정도의 크기를 갖고, 초기에 설계하고자 하는 정확한 공진 주파수를 갖는다. S_{11} 이 통과대역에서 많이 감쇠하는 특성을 얻기 위해서 링 공진기와 인접하는 결합선로를 T형으로 설계한다. 이러한 병렬 결합 선로의 캐패시턴스는 갭 캐패시턴스 보다 훨씬 작기 때문에 공진 주파수에 영향을 주지 않는다.

Abstract

A radius of ring resonator is determined by the resonant frequency. Resonant frequencies of resonators with the circumference which is integer times of wave length are not same the expected. In this paper, we suggest the design method of a ring resonator with coupling gap, which has the resonant frequency of desire. The equation which can make reduction of the radius of the resonators depending on the gap space is derived by the method of transmission line analysis. The criterion is suggested to determine the radius of the resonator in accordance with relative permittivity. A ring resonator by the proposed method is as small as one-third of basic ring in size and it has the resonant frequency of desire. T-type coupling line is designed to obtain large attenuation of S_{11} at pass-band. These coupling line capacitances are very lower than the gap capacitances, it does not affect the resonant frequency.

I. 서 론

마이크로파대의 소형시스템에서 사용되는 필터들은 대부분 공진기를 많이 이용하고 있으며, 공진기에는 크게 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로형 공진기가 있다. 마이크로스트립 선로를 이용한 링 공진기는 유전체 공진기에 비하여 제작이 쉽고 크기 면에서도 소형화가 가능하다. 링 공진기가 갖는 이러한 장점을 이용하면 최근 이동통신용 부품의 소형, 경량화 요구

* 正會員, 濟州大學校 通信工學科

(Department of Telecommunications Engineering, Cheju National University)

※ 본 논문은 제주대학교 '98발전기금 연구지원금으로 수행되었습니다.

接受日字:1999年3月23日, 수정완료일:1999年7月9日

에 부합되는 필터로 제작 가능하다. 링 공진기에 대한 해석은 선로 폭이나 곡률 등을 고려한 공진 주파수에 서의 분산효과 등을 연구하기 위해서 많이 제시되었다. Vijai는 삽동법을 이용하여 링 사이에 갭을 갖는 open 링과 closed 링 공진기를 해석하였으며^[1], 자계 벽 모델에 의한 해석법을 이용하여 링 공진기의 전자계 필드를 해석하였다^[2]. 그러나 이러한 해석들은 링 공진기만의 해석으로써 실제 응용에 있어서는 링 공진기와 그 이외의 결합 선로들을 포함한 경우의 해석과는 차이가 있게 된다. 최근에 Cheng은 전송선로 해석법을 이용하여 링 공진기와 결합선로 사이의 결합 용량을 구하였다^[3]. 그리고 안달은 대역통과 필터를 설계하기 위한 J인버터변환을 이용하여 링 공진기의 해석에 전송선로 해석법^[4]을 제안하였다.

마이크로스트립 링 공진기는 선로에 의한 결합 갭의 효과를 고려하지 않는다면 단지 링의 평균 둘레에 의하여 공진 주파수가 결정되는 간단한 구조로 되어있다. 결합 선로에 의한 커플링 갭에 의해서 공진 주파수가 약간 변하게 된다. 그러나 링 공진기에 대한 대부분의 해석에서 갭 크기의 효과는 무시되어 왔으며^[5], 평균 곡면이 파장의 정수배가 되는 기본 설계에 의하여 구성된 링 공진기는 크기가 다소 크고, 원하는 공진 주파수에서 공진을 하기가 어려운 단점이 있었다.

본 논문에서는 결합 갭을 갖는 링 공진기가 원하는 공진 주파수에서 공진할 수 있도록 설계하는 방법을 제시한다. 링 공진기를 구성하는 마이크로스트립의 폭과 반경의 비인 w/R 에 따라 이동하는 공진 주파수에 대한 수식을 유도한다. 전송선로 해석법을 이용하여 갭 크기에 따라 반경을 줄일 수 있는 관계식을 유도하고, 유전율에 따라서 원하는 공진 주파수에서 공진을 할 수 있도록 반경을 다시 보상해줌으로써 공진 주파수를 정확히 예측할 수 있는 새로운 식을 제안한다. 그리고 링 공진기와 인접하는 결합선로를 T형으로 설계하여 좋은 통과대역특성을 갖도록 설계한다. 제안된 수식의 타당성을 입증하기 위해서 유전율이 다른 링 공진기를 설계하고 시뮬레이션 한 결과를 통하여, 각각의 공진기가 원하는 공진 주파수에서 공진 하고 있음을 확인하였다.

II. 링 공진기의 설계이론

링 공진기는 그림 1과 같이 결합선로와 링으로 구성되어 있다.

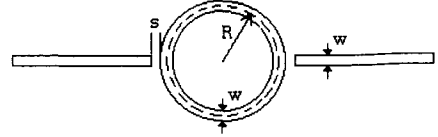


그림 1. 링 공진기 구조
Fig. 1. Structure of ring resonator.

여기서 R 은 공진 주파수에 따른 중심 반경이며 s 는 갭 간격이고 w 는 선로 폭이다. 링 공진기의 평균 곡면이 파장의 정수 배 ($n=1,2,3,\dots$)일 때 공진이 되므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$n\lambda_g = 2\pi R = l \quad (1)$$

위의 식에서 알 수 있듯이 링 공진기는 중심 주파수가 결정되면 공진기의 중심 반경이 정해지며, 크기가 다소 크다는 단점이 있으며, 반경에 대한 선로 폭의 비에 따라 공진 주파수가 이동하므로 정확한 공진 주파수를 예측하기가 어렵다. 그래서 링 공진기의 크기를 줄이면서 공진 주파수를 정확히 예측할 수 있는 설계 방법이 요구된다. 링 공진기와 결합 선로 사이의 등가회로는 그림 2와 같다. 링 공진기가 공진이 되기 위해서는 공진기의 반경에 따른 곡률 반경과 밀접한 관련이 있으며 공진기가 결합 선로 사이의 갭에 의한 캐패시턴스로부터 반경 R 과 갭 간격 s 의 관계식은 다음 수식에서 유도할 수 있다. 링에 해당하는 마이크로스트립 선로의 길이 [1]은

$$l = 2\pi R' + 2 \frac{C_{\text{even}} Z_0}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_r}} \quad (2)$$

이며 여기서 ϵ_r 는 링의 유효 유전율이며, R' 는 변형된 반경이다. (2)식을 R' 에 대하여 다시 쓰면

$$R' = \frac{1}{2\pi} \left(l - 2 \frac{C_{\text{even}} Z_0}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_r}} \right) \quad (3)$$

이 된다. 여기서 even모드 캐패시턴스 C_{even} 은 다음과 같다^[3].

$$C_{\text{even}}(\epsilon_r) = 1.167 C_{\text{even}}(\epsilon_r = 9.6) (\epsilon_r / 9.6)^{0.9} \quad (4)$$

$$\frac{C_{\text{even}}(\epsilon_r = 9.6)}{w} = 12 \left(\frac{s}{w} \right)^{m_s} e^{k_s} \quad (pF/m) \quad (5)$$

$$m_e = 0.8675 \quad k_e = 2.043 \left(\frac{w}{h}\right)^{0.12} \quad 0.1 \leq s/w \leq 0.5 \quad (6)$$

$$m_e = \frac{1.565}{\left(\frac{w}{h}\right)^{0.16}} - 1 \quad k_e = 1.97 - \frac{0.03}{\frac{w}{h}} \quad 0.5 \leq s/w \leq 1.0 \quad (7)$$

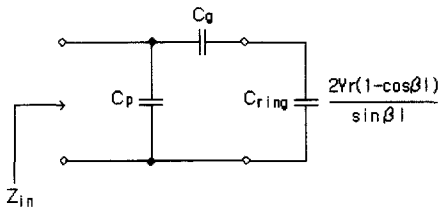


그림 2. 결합 갭을 포함한 링 공진기의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of ring resonator with coupling gap.

그리고 odd모드 캐패시턴스와 병렬 캐패시턴스, 갭 캐패시턴스는 각각 C_{odd} , C_p , C_g 으로써 그림 2에서 결합 갭을 포함한 등가회로에 잘 나타나 있으며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{odd}(\epsilon_r) = 1.1 C_{odd}(\epsilon_r = 9.6) (\epsilon_r / 9.6)^{0.8} \quad (8)$$

$$\frac{C_{odd}(\epsilon_r = 9.6)}{w} = \left(\frac{s}{w}\right)^{m_0} e^{k_0} \quad (pF/m) \quad (9)$$

$$m_0 = \frac{w}{h} \times \left(0.619 \times \log_{10}\left(\frac{w}{h}\right) - 0.3853\right) \quad 0.1 \leq s/w \leq 1.0 \quad (10)$$

$$k_0 = 4.26 - 1.435 \times \log\left(\frac{w}{h}\right) \quad 0.1 \leq s/w \leq 1.0 \quad (11)$$

$$C_p = \frac{C_{even}}{2} \quad (12)$$

$$C_g = \frac{2C_{odd} - C_{even}}{4} \quad (13)$$

(8)식과 (12)식으로부터 (13)식을 구하고 얻은 C_g 의 결과는 그림 3과 같다.

링 공진기와 결합 선로 사이의 갭 캐패시턴스가 존재하고, 이러한 갭 캐패시턴스는 링 공진기에 대하여 부하로 작용하기 때문에 갭 간격이 클수록 부하효과를 줄일 수 있지만 갭 간격이 크게 되면 결합하기가 어렵게 된다. 그러므로 부하효과를 작게 하면서 갭 캐패

시턴스를 크게 하기 위해서는 적당한 선로 간격을 설정하는 일이 중요하다.

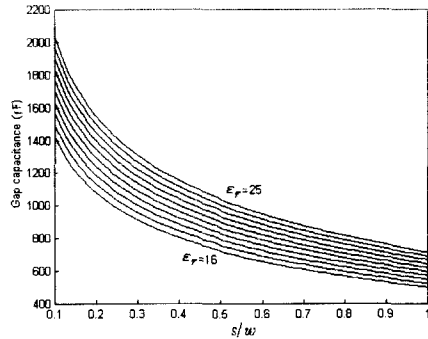


그림 3. C_g 의 변화
Fig. 3. Variation of C_g .

그림 4는 (3)식으로부터 s/w 의 변화에 따른 링 공진기의 반경을 나타내고 있다. 이때 중심주파수는 1.8GHz이며, $w/R=0.08$, 특성 임피던스는 $Z_0=50\Omega$ 이다.

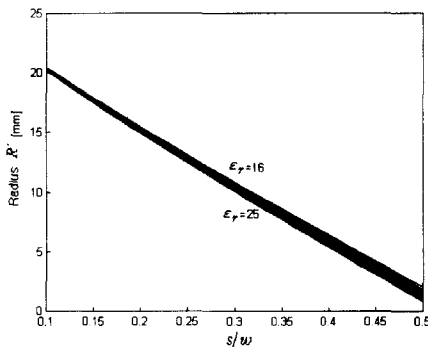


그림 4. s/w 변화에 따른 링 공진기 반경 R
Fig. 4. Radius R of ring resonator as a function of s/w .

링 공진기는 선로의 폭이 일정할 경우, 갭 간격에 따라 공진기의 반경이 달라지고 있으며, 유전율이 높고 갭 간격이 클수록 반경을 작게 설계할 수 있다는 것을 보여준다. 이러한 커플링은 링에 부하를 갖게 하므로 공진 주파수를 약간 변하게 하므로, 원하는 주파수에서 공진하는 링 공진기를 설계하기 위해서는 반경을 보상에 줄 필요가 있다.

이상에서 보았듯이 링 공진기에서 갭 간격과 C_{even} 은 링 공진기의 크기를 결정하는데 있어 중요한 역할을 하고 있으며 상호 밀접한 관계가 있다. 그림 1에서 처럼 링 공진기는 급전선로와 결합을 위해서 갭 간격

s의 거리를 두고 마이크로스트립 선로와 결합하면 공진 주파수가 이동하게 된다. 공진 주파수 f_0 에서 약간 이동된 주파수를 Δf 라고 하면

$$\beta l = \frac{2\pi fl}{u_p} = \frac{2\pi(f_0 - \Delta f)l}{u_p} \quad (14)$$

이 된다. 여기서 u_p 는 위상속도이다. s/u 의 비에 따른 캐패시턴스 C_{even} 과 f_0 의 관계식을 유도하기 위해 (2)식을 (14)식에 대입하면

$$2\pi\beta R' = \frac{2\pi(f_0 - \Delta f)}{u_p} \left(2\pi R' + 2 \frac{C_{even} Z_0}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_r}} \right) \quad (15)$$

이 된다. Δf 에 대하여 다시 정리하면

$$\Delta f = f_0 - \frac{\beta R' u_p \sqrt{\mu_0 \epsilon_r}}{2\pi R' \sqrt{\mu_0 \epsilon_r} + 2 C_{even} Z_0} \quad (16)$$

이 된다.

그림 5는 (16)식으로부터 공진 주파수가 C_{even} 의 변화 즉 s/w 의 변화에 따라서 어떻게 변하는지를 보여준다.

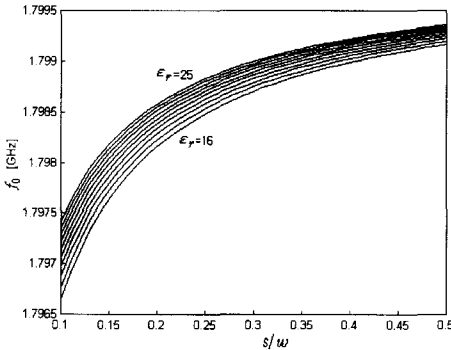


그림 5. s/w 의 변화에 따른 공진 주파수의 변화
Fig. 5. Variation of resonant frequency as a function of s/w .

공진 주파수가 유전율과 s/w 의 비에 따라서 변화하며, 유전율이 클수록 그리고 s/w 의 비가 증가할수록 원래 공진주파수 f_0 에 근접하고 있다. 그런데 그림 3에서는 s/w 가 증가할수록 캡 캐패시턴스는 감소하므로 갭 캐패시턴스는 작으면서 초기 공진 주파수에 가까운 s/w 값의 선택이 중요하다.

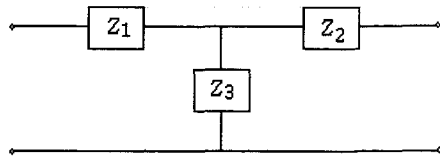
특성 임피던스가 Z_0 이고 링 공진기의 원주 길이 l 을 갖는 전송선로를 T형의 등가회로로 나타내면 그림 6과 같으며, 2포트 전송선로의 ABCD파라미터로부터 Z파라미터를 다시 쓰면

$$Z_{11} = Z_{22} = \frac{A}{C} = -jZ_0 \cot \beta l \quad (17)$$

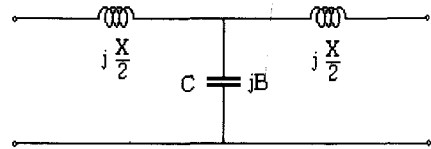
$$Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{C} = -jZ_0 \csc \beta l \quad (18)$$

과 같다. T형 등가회로의 직렬 성분은 다음과 같다.

$$Z_{11} - Z_{12} = -jZ_0 \left[\frac{\cos \beta l - 1}{\sin \beta l} \right] = jZ_0 \tan \left(\frac{\beta l}{2} \right) \quad (19)$$



(a)



(b)

그림 6. 전송선로의 T형 등가회로
Fig. 6. T-type equivalent circuit of a transmission line.

T형 등가회로의 병렬 성분은 Z_{12} 이다. 그림 6(a)는 6(b)와 같은 집중형 등가회로로 변환할 수 있으며 이때 등가회로의 파라미터는 각각

$$\frac{X}{2} = Z_0 \tan \left(\frac{\beta l}{2} \right) \quad (20)$$

$$B = \frac{1}{Z_0} \sin \beta l \quad (21)$$

이 된다. (3)식에 의한 링 공진기의 새로운 원주 길이가 $l' = 2\pi R'$ 이므로, C_{even} 에 의해 링 공진기에 미치는 효과를 고려해주기 위해서 (21)식을 l' 에 대하여 다시 정리하면 캐패시터에 의한 새로운 평균 원주를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$l'' = \frac{l'}{2\pi} \sin^{-1}(\omega C_{even} Z_0) \quad (22)$$

여기서 $l'' = 2\pi R''$ 이다. s/w 의 변화에 따른 새로운 반지름 R' 와 R'' 의 결과는 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림 7을 보면 R' 은 s/w 의 값이 커짐에 따라 줄어들고 있고, R'' 은 $s/w = 0.456$ 에서 오히려

R' 보다 커지고 있는 현상을 볼 수 있다. 그림 8은 $w/R=0.1$ 인 경우에 대하여 반경 R' 과 R'' 을 보여준다. w/R 의 비가 클수록 R' 과 R'' 의 교차점은 s/w 의 비가 작은 값에서 만나고 있다. 링 공진기의 갭 간격에 대하여 Cheng^[3]은 $s/w=0.4$ 인 경우가 적당하다고 하고 있다. 그러나 그림 7과 그림 8에서 알 수 있듯이 갭 간격은 (17)식으로부터 평균 반경에 대한 선로의 폭 w/R 과 연관이 있으며 선로 폭을 크게 하면 $s/w \leq 0.4$ 에서도 링 공진기를 설계할 수 있게 된다.

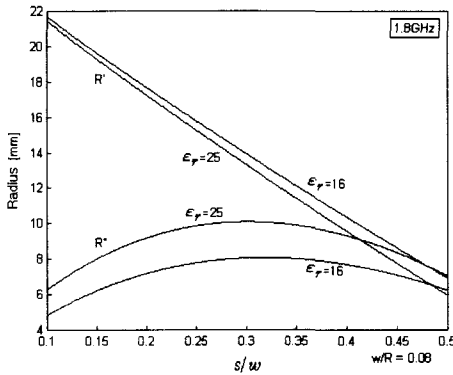


그림 7. $w/R=0.08$ 인 링 공진기 경우 반경 R' 과 R''
 Fig. 7. Radius R' and R'' of ring resonator with $w/R=0.08$.

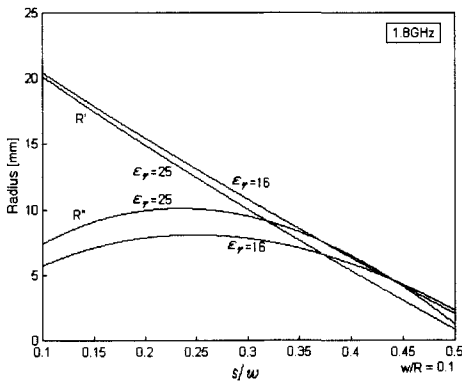


그림 8. $w/R=0.1$ 인 링 공진기 경우 반경 R' 과 R'' .
 Fig. 8. Radius R' and R'' of ring resonator with $w/R=0.1$.

원하는 공진 주파수에서 공진하는 링 공진기를 설계하기 위해서는 $R' = R''$ 을 만족하는 s/w 을 찾음으로써 가능하게 되는데, 실제 설계에 있어서 본 연구에서 제시한 w/R 의 비가 0.1이하인 경우 공진 주파수는 원하는 공진 주파수에서 약간 벗어나게 된다. 이것

을 보상하기 위해 다음과 같은 설계 조건을 제시한다.

$$|R' - \alpha \times R''| = 0 \tag{23}$$

이 식의 α 는 그림 9와 같은 과정에 의해 구해진다.

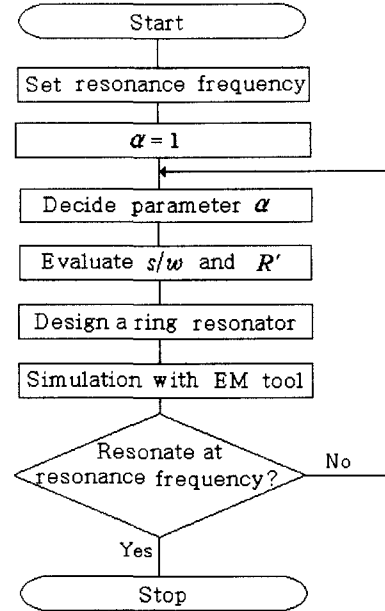


그림 9. α 변수를 찾는 순서도
 Fig. 9. Flow chart of searching α parameter.

그리고 α 는 유전율에 따라서 표 1과 같은 값을 갖는다.

표 1. 유전율에 따른 α 값
 Table 1. Parameter α in accordance with ϵ_r .

$w/R \backslash \epsilon_r$	16	17	18	19	20
0.1	—	1.380	1.220	1.120	1.045
0.08	—	1.380	1.220	1.120	1.045
0.06	—	—	—	1.120	1.045

$w/R \backslash \epsilon_r$	21	22	23	24	25
0.1	0.990	0.940	0.900	0.865	0.833
0.08	0.990	0.940	0.900	0.865	0.833
0.06	0.990	0.940	0.900	0.865	0.833

그림 10은 s/w 의 변화에 따른 유전율과 공진 반경 R' 의 관계를 보여준다. 그래프 상에서 ▲점은 $\epsilon_r = 25$ 인 경우이고 ●점은 $\epsilon_r = 17$ 이다.

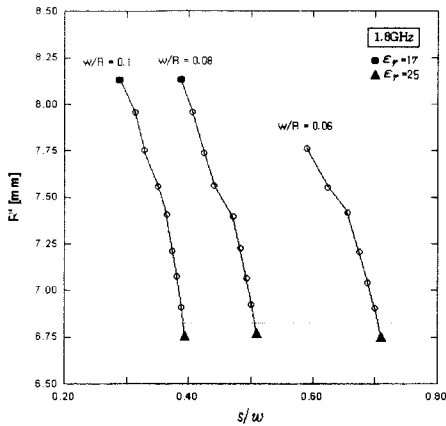


그림 10. s/w 에 따른 유전율과 공진 반경 R' 의 관계
Fig. 10. Relation between radius R' of ring resonator and ϵ_r with variation s/w .

공진기의 소형화를 위해 반경을 줄이고자 한다면 유전율이 큰 것이 유리한 것을 알 수 있다. 그리고 w/R 의 비가 작은 경우 유전율이 작게 되면 공진기를 설계 할 수 없다는 것을 보여준다. 소형의 링 공진기를 설계하기 위해서는 유전율이 큰 것이 유리하며, 유전율이 작으면서 선로 폭이 좁은 링 공진기를 설계하기 위해서는 s/w 의 비가 커짐으로 해서 커플링이 일어나지 않는 문제가 발생하므로 설계 상에 한계가 있음을 알 수 있다.

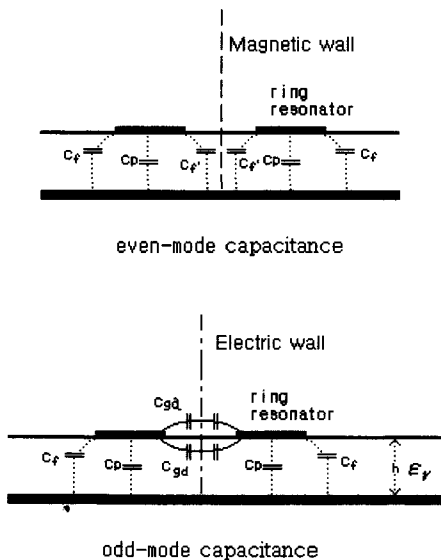


그림 11. 평행 결합 선로와 링 공진기 사이의 캐패시턴스
Fig. 11. Capacitance between coupling line and ring resonator.

링 공진기의 설계는 공진 주파수에서 좋은 통과대역 특성을 갖기 위해서 결합 커플링이 중요하다. 결합 커플링 효과를 크게 하기 위해서 링 공진기와 인접한 부분에 T형의 마이크로스트립 선로를 이용한다. 링과 인접한 마이크로스트립 선로는 인접한 부분이 많을수록 결합이 좋게 된다. 그림 11에서 보듯이 평행 결합 선로에 의한 캐패시턴스의 영향은 주로 odd모드 캐패시턴스에 의한 것임을 알 수 있다. 이때 odd모드의 캐패시턴스는

$$C_o = C_p + C_f + C_{ga} + G_{ga} \quad (24)$$

이다. 두 개의 평행한 마이크로스트립 선로가 $0.2 \leq w/h \leq 2$, $0.05 \leq s/h \leq 2$, $\epsilon_r \geq 1$ 인 범위에서 각각의 캐패시턴스를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{w}{h} \quad (25)$$

$$2C_f = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{cZ_0} - C_t \quad (26)$$

$$C_{ga} = \epsilon_0 \frac{K(k')}{K(k)} \quad (27)$$

$$C_{gd} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \left\{ \coth \left(\frac{\pi}{4} \frac{s}{h} \right) \right\} + 0.65 C_f \left(\frac{0.02}{s/h} \sqrt{\epsilon_r + 1 - \epsilon_r^{-2}} \right) \quad (28)$$

이다. 여기서 $k = \frac{s/h}{s/h + 2w/h}$ 이고 $k' = \sqrt{1 - k^2}$ 이며, Elliptic함수의 비는 각각

$$\frac{K(k')}{K(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left(2 \frac{1 + \sqrt{k'}}{1 - \sqrt{k'}} \right) \quad 0 \leq k^2 \leq 0.5 \quad (29)$$

$$\frac{K(k')}{K(k)} = \frac{\pi}{\ln \left(2 \frac{1 + \sqrt{k'}}{1 - \sqrt{k'}} \right)} \quad 0.5 \leq k^2 \leq 1 \quad (30)$$

이다. 위 식으로부터 1.8GHz의 공진 주파수와 $\epsilon_r = 20$, $s/w = 0.465$ 에서 평행 결합 선로에 의한 캐패시턴스 $C_o = 1.99 [fF]$ 으로써 (13)식의 C_g 에 비하여 매우 작기 때문에 공진 주파수에 거의 영향을 미치지 않는다. T형의 결합 선로에 의해서 공진 주파수는 변하지 않으며, 단지 링 공진기에 인접한 평행 결합 선로의 길이는 통과대역에서 S_{11} 의 감쇠에 영향을 주게 된다.

III. T형 결합 선로를 갖는 링 공진기의 설계

그림 12는 최종 설계된 링 공진기의 구조를 보여주고 있다. 이때 θ 는 링 공진기와 인접한 마이크로스트립 선로와 접친 부분에 대한 원의 중심과 이루는 각의 크기를 나타낸다.



그림 12. 결합 선로를 갖는 링 공진기 구조
Fig. 12. Structure of ring resonator with coupling line.

공진 주파수는 1.8GHz 이며, $\epsilon_r=20$, $Z_0=50\Omega$, $w/R=0.08$, $\theta=60^\circ$ 을 이용하여 설계된 링 공진기는 (23)식에 의해 $s/w=0.435$ 를 구하고 $R'=7.557\text{mm}$ 를 얻었다.

각 파라미터간의 관계식에 의해서 $w'=0.6045\text{mm}$, $s'=0.263\text{mm}$ 의 값을 구할 수 있다. 1.8GHz 의 공진 주파수를 갖는 고립된 링 공진기의 기본 반경은 26.35mm 가 되는데 비하면, 새로운 수식에 의해 계산된 반경 R' 은 기본 반경의 $1/3$ 정도의 길이를 갖는다. 그리고 유전율에 따라 a 값이 달라지는 변화에 따른 링 공진기의 설계 파라미터는 표 2에 나타내었다.

표 2. 유전율에 따른 링 공진기 설계 파라미터 ($w/R=0.08$)

Table 2. Design parameter of ring resonator in accordance with ϵ_r , ($w/R=0.08$).

파라미터 유전율	w'	s'	R	R'
17($a=1.38$)	0.6505	0.2407	26.35	8.131
20($a=1.045$)	0.6045	0.2625	26.35	7.5565

IV. 결과 및 고찰

Moment method를 사용하여 해석하는 시뮬레이션 툴인 Ensemble을 이용하여 공진 주파수는 1.8GHz 이고 $w/R=0.08$ 일 때 유전율이 17, 20인 경우에 대하여 링 공진기의 설계조건으로부터 구한 결과는 그림 13, 14와 같다.

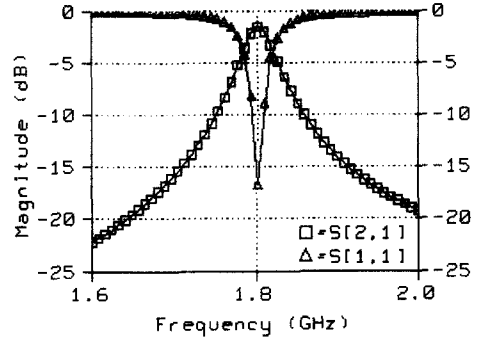


그림 13. $\epsilon_r=17$ 인 링 공진기의 S파라미터
Fig. 13. S parameter of ring resonator with $\epsilon_r=17$.

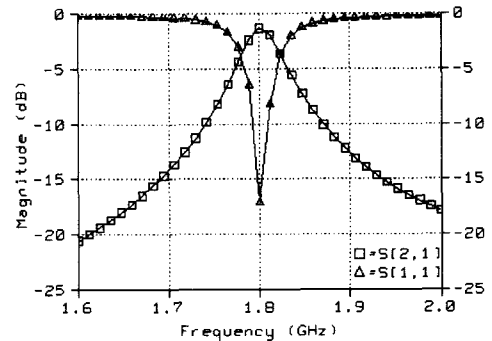


그림 14. $\epsilon_r=20$ 인 링 공진기의 S파라미터
Fig. 14. S parameter of ring resonator with $\epsilon_r=20$.

그림 13과 그림 14는 공진 주파수는 1.8GHz 에서 공진이 잘 되고 있다. 그림 15와 그림 16은 $w/R=0.08$ 이며, $\epsilon_r=20$ 인 경우에 대하여 공진 주파수의 변화에 따른 링 공진기를 설계하고 얻은 시뮬레이션 결과이다.

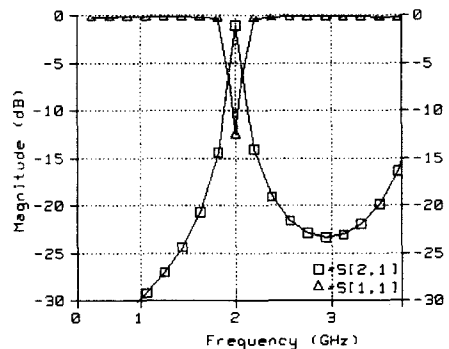


그림 15. 2GHz 인 링 공진기의 S파라미터
Fig. 15. S parameter of ring resonator of resonant frequency 2GHz .

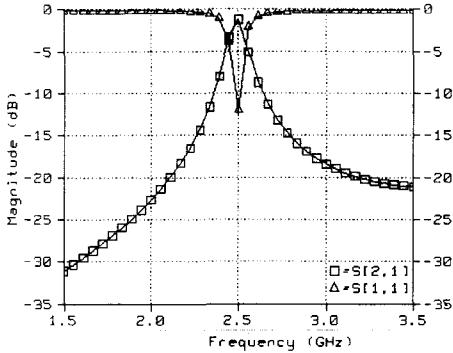


그림 16. 2.5GHz 인 링 공진기의 S파라미터
Fig. 16. S parameter of ring resonator of resonant frequency 2.5GHz.

다른 주파수에 대하여 새로운 조건식을 가지고 설계하더라도 마찬가지로 그림 15와 그림 16에서처럼 원하는 공진 주파수에서 좋은 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

링 공진기를 설계하는 공진 조건 α 를 사용한 설계 방법에 대한 타당성을 입증하기 위해서 FEM(Finite Element Method)방법으로 해석하는 시뮬레이션 툴인 HFSS를 이용하여 $\epsilon_r=20$ 인 경우 공진 주파수가 2.5GHz 인 링 공진기를 설계하고 시뮬레이션한 결과를 그림 17에 나타내었다.

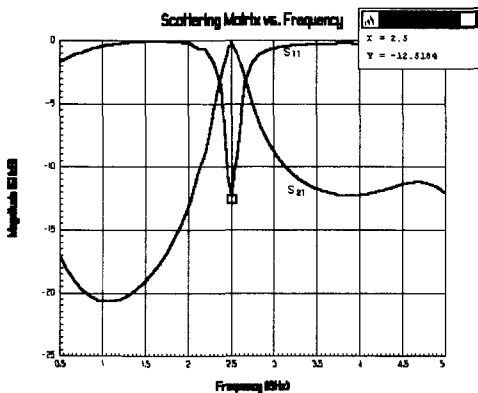


그림 17. HFSS를 사용한 2.5GHz 인 링 공진기의 S파라미터 결과
Fig. 17. S parameter result of ring resonator of resonant frequency 2.5GHz with HFSS soft-ware tool.

해석방법이 다른 툴을 사용하더라도 그림 16과 마찬가지로 원하는 공진 주파수에서 공진하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

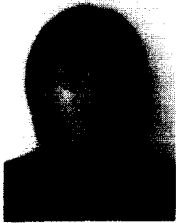
링 공진기는 구조가 간단하고 소형의 평면 필터에 적합하다고는 하지만 공진 주파수에 따라서 링의 반경은 결정이 되므로, 주파수가 낮아지면 상대적으로 링의 반경은 커지는 단점이 있다. 그리고 링 공진기는 외부 선로와의 결합으로 인하여 공진 주파수가 약간 이동하게 된다. 본 논문에서 제시한 결합 갭을 고려한 링 공진기 설계방법은 선로 폭과 갭 간격에 의해서 원하는 공진 주파수에서 공진하는 링 공진기를 설계할 수 있도록 여러 변수와의 관계를 제시하고 있다. 여러 개의 공진 주파수에 대하여 제시된 방법에 의해 링 공진기를 설계하고, 공진 주파수에서 좋은 공진 특성을 갖도록 하기 위해서 급전 부분의 마이크로스트립 선로를 T형으로 설계하여 시뮬레이션 한 결과 크기는 기본 반경보다 1/3정도로 작고 각각의 공진 주파수에서 정확하게 공진이 일어나는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 설계 방법은 결합 갭의 효과를 고려하였기 때문에 입·출력 선로를 포함한 링 공진기를 원하는 공진 주파수에서 공진할 수 있도록 설계할 수 있게 한다.

참 고 문 헌

- [1] Vijai K. Tripathi, Ingo Wolff, "Perturbation Analysis and Design Equations for Open-Ring and Closed-Ring Microstrip Resonators." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, VOL. 32, No. 4, p.405-409, April. 1984.
- [2] Ingo Wolff, Vijai K. Tripathi, "The Microstrip Open-Ring Resonator." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, VOL. MTT-32, No. 1, p.102-107, Jan. 1984.
- [3] Cheng Cheh Yu, Kai Chang, "Transmission Line Analysis of a Capacitively Coupled Microstrip Ring Resonator." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, VOL. 45, No. 11, p.2018-2024, Nov. 1997.
- [4] 안달, 김인선, 신양균, 강광용, 홍헌진, 강상기, "변형된 고리형 공진기를 이용한 2-pole대역 통과 여파기 설계." 통신학회 추계 학술발표회 논문집, vol14 No.2, pp 787-789, 1995

- [5] Sotirios G. Pintzos, Reinhold Pregla, "A simple Method for Computing the Resonant Frequencies of Microstrip Ring Resonators." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, VOL. MTT-26, No. 10, p.809-813, Oct. 1978.
- [6] George L. Matthaei, Leo Young, E. M. T. Jones, *Microwave filters impedance matching networks and coupling structures*, Artech House, Chap. 5, 1980.
- [7] E. H. Fooks, R. A. Zakarevicius, *Micro-wave Engineering Using Microstrip Circuit*, 8장, 1989.

저 자 소 개



吳 德 烈 士 (正 會 員)

1968년 3월 22일생. 1991년 2월 제주대학교 전자공학과 공학사 학위 취득. 1996년 2월 제주대학교 전자공학과 석사 학위 취득. 1999년 2월 제주대학교 전자공학과 박사과정 수료. 주관심분야는 마이크로파 회로

해석 및 설계, RF회로 디자인

金 興 洙 (正 會 員) 第 34 卷 D 編 第 9 號 參 照

현재 제주대학교 통신공학과 정교수