

# Varactor 다이오드를 이용한 가변 마이크로스트립 링 대역통과 필터의 설계 및 제작에 관한 연구

강원석\*, 권성수\*, 김진섭\*, 남윤관\*, 나극환\*  
광운대학교 전자공학과

## A study on Design and Fabrication of Tunable Microstrip Ring Band Pass Filter using Varactor Diode

Won-Seok Kang, Sung-Su Kwoun, Jin-Sub Kim,  
Yun-Kwan Nam, Keuk-Hwan Ra

\*Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University  
e-mail: hikws@hanmail.net

### 요 약

가변 필터는 송수신기에서 회로를 간단히 하여 특히 멀티채널을 사용하는 송수신기에서 중추적 역할을 담당하게 된다. 본 논문에서는 소형경량이고, 구조가 단순하여 제작이 간단하며, MMIC화하기 쉬운 실용적인 가변필터를 설계 및 제작하여 그 사용가능성을 제안하였다. 본 논문에서는 중심주파수 1.95GHz, 통과대역이 100MHz인 대역통과 링 필터를 Split 모드 방식으로 구현하고 이를 바탕으로 300MHz의 가변대역폭을 갖는 필터를 제작하였다. 이 필터의 대역폭을 가변하기 위하여 바이어스전압에 따라 커패시턴스가 변화하는 Varactor 다이오드를 사용하였다.

### I. 서론

최근 무선통신장비의 증가로 주파수 스펙트럼의 사용이 복잡해지고, 가변 송수신기가 많이 등장하면서 가변필터의 중요성은 이동통신 분야에서부터 두각을 나타내기 시작하였다. 가변필터는 송수신기의 설계를 간단하게 하여 그 중추적 역할을 맡게 된다.

마이크로스트립 공진기는 quasi-TEM 모드를 지원하며 회로의 크기가 작고 대량생산의 MMIC화하기 쉽다. 그 중 링 공진기는 선형공진기에 비해 open end effect가 없어 Q값이 높고 적은 방사손실을 갖는다. 또한 마이크로스트립 선로로 구현하기 때문에 제작이 간단하고 원가가 저렴하며 소형경량의 필터의 제작이 가능하다.

본 논문에서는 마이크로스트립 대역통과 필터에 고주파용 Varactor 다이오드를 추가하여 간단한 구조이면서 가변 대역폭을 갖는 실용적인 필터를 설계 및 제작하여 그 가능성을 확인해 보았다.

### II. 본론

#### 1. Loose 커플링 링 공진기

Loose 커플링 구조의 링 공진기는 그림1과 같이 공진기와 입출력 포트인 두 개의 피드라인 그리고 그 사이의 커플링 갭으로 구성된다. 피드라인과 공진기 사이의 거리가 어느 정도 이상 커지면 커플링 갭은 공진주파수에 영향을 끼치지 않으며 이렇게 되었을 때 공진기가 Loose 커플되었다고 한다.

Loose 커플링 링 공진기는 식(1)에 나타난 바와 같이 설계한다. 링의 평균원주는 관내파장( $\lambda_g$ )와 같으며, 링의 폭은 보통 특성 임피던스 50Ω에 맞게 설계한다.

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

$$\begin{cases} r = \text{링의평균반지름} \\ \lambda_g = \text{관내파장} \\ n = \text{모드number} \end{cases}$$

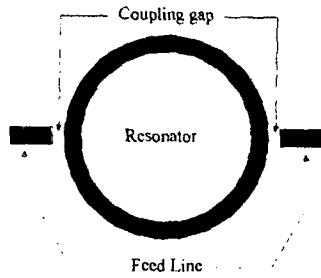


그림1. Loose 커플링 링 공진기

그러나 커플링 갭을 작게 하여 커플링을 타이트하게 하면 갭 커패시턴스는 증가하게 되고, 공진주파수는 조금씩 낮아지고 loaded Q값도 감소하는 경향을 보인다. 다시 말하면 커플링을 강화하게 되면 원래 주파수의 링보다 작게 링을 구현할 수도 있다.

### 2. 커플링을 강화한 링 공진기

일반적인 Loose 커플링 공진기는 Q값은 높으나 공진기와 피드라인이 커플링이 되는 면적이 아주 작기 때문에  $S_{21}$ (삽입손실)과  $S_{11}$ (반사손실)이 불량하다. 커플링 갭을 줄이는 것에는 제작상 한계가 있으므로 커플링 구조를 변경하여 커플링을 타이트하는 것이 바람직하다. 커플링을 강화함으로써  $S_{21}, S_{11}$ 를 향상시키며, 커플링이 타이트하게 됨으로써 공진주파수가 낮아지게 되기 때문에 원하는 공진주파수보다 높은 주파수에 맞게 링을 설계함으로써 원래의 링보다 크기를 약간 줄일 수 있다.

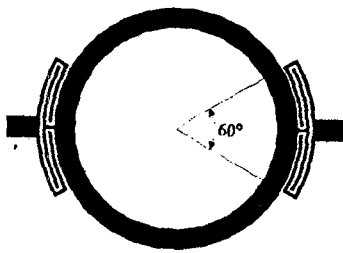


그림2. 커플링을 강화한 링 공진기

그림2는 커플링 갭의 면적을 넓혀 커플링을 강화한 공진기로서 중심각은 가장 좋은 값이 나오도록 튜닝한 것이다. 커플링 간격은 작은 값일수록 좋지만 제작할 수 있는 최대한계인 6mil에 고정하였다.

그림3은 이 공진기와 일반적인 Loose 커플링 구조의 공진기의 시뮬레이션 비교결과이다. Ensemble 4.02로 시뮬레이션하였으며, 기판은 유전율이 2.2이고

두께가 20mil인 RT/duroid 5880을 사용하였다.

커플링을 강화한 공진기가 삽입손실과 반사손실이 현저히 개선되었으며, 커플링이 강해짐으로써 원래 2.1GHz대역의 링 공진기가 1.95GHz대역으로 공진주파수가 변화하였음을 알 수 있다. 또한 강화한 커플링 구조는 커플링 그 자체가 필터역할을 하여 3차모드를 감쇠시키는 특성을 갖는 것도 볼 수 있다.

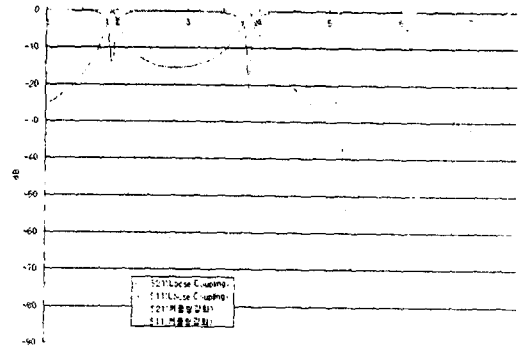


그림3. Loose 커플링과 커플링을 강화한 구조의 삽입손실과 반사손실의 시뮬레이션 비교

### 3. Coupled Split 방식의 이중모드필터

마이크로스트립 링 공진기는 원래 대역통과 특성이 매우 협대역이다. 이 논문에서는 필터로 링공진기를 사용하기 위해서 Split 방식을 사용하였다.

링 공진기를 해석하는 Magnetic-Wall model에 의하여 두 개의 degenerate모드는 다음의 식 (2)~(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_z = \{A J_n(kr) + B N_n(kr)\} \cos(n\phi) \quad (2)$$

$$H_r = \frac{n}{j\omega\mu_0 r} \{A J_n(kr) + B N_n(kr)\} \sin(n\phi) \quad (3)$$

$$H_\phi = \frac{k}{j\omega\mu_0} \{A J_n'(kr) + B N_n'(kr)\} \cos(n\phi) \quad (4)$$

$$E_z = \{A J_n(kr) + B N_n(kr)\} \sin(n\phi) \quad (5)$$

$$H_r = -\frac{n}{j\omega\mu_0 r} \{A J_n(kr) + B N_n(kr)\} \cos(n\phi) \quad (6)$$

$$H_\phi = \frac{k}{j\omega\mu_0} \{A J_n'(kr) + B N_n'(kr)\} \sin(n\phi) \quad (7)$$

- $A, B$  ; 상수
- $k$  ; 전파상수
- $\omega$  ; 각주파수
- $J_n$  ;  $n$ 차 1종 Bessel 함수
- $N_n$  ;  $n$ 차 2종 Bessel 함수
- $J_n', N_n'$  ; Bessel 함수의 미분

위식에서 알 수 있듯이 (2)(3)(4)식과 (5)(6)(7)식은 sin과 cos 함수가 서로 엇갈려 있으므로 두 개의 모드는 직교한다. 이는 마이크로스트립 링 공진기에서 공진주파수에서 시계방향과 반시계방향으로 진행되는 두 개의 degenerate 모드가 있다는 것을 설명한

다. degenerate 모드란 서로 다른 모드가 링내에서 서로 공존한다는 뜻이다. 링구조가 완벽히 대칭이라면 한 개의 모드에서 공진이 일어나지만, 그림3과 같이 비대칭적 구조를 갖는 링 공진기는 공진주파수에 서로 두 개의 모드가 나누어지면서 공진주파수가 분리되어 대역폭을 갖게 된다.

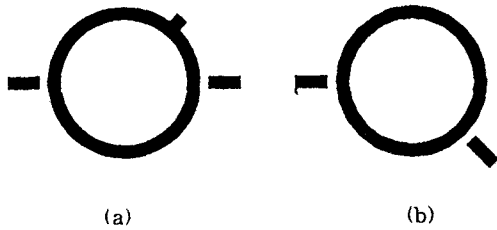


그림4. split 모드 (a) 패치를 추가한 링 (b)비대칭적으로 피드라인을 구성한 링

필터를 구현하는 또 다른 방법으로 두 개 이상의 공진기를 직렬로 연결하여 필터특성을 얻는 것이 있다. 그러나 이 논문에서는 가능한 작은 실용적인 필터를 구현하기 위하여 링 공진기를 하나만 사용하는 Split 모드방식을 채택하였다.

결과적으로 커플링을 강화하면서 필터의 특성을 갖도록 Split 모드를 사용한 필터를 그림 5에 나타내었다. 피드라인은 90°의 각도로 서로 비대칭적으로 구성하였으며, 패치의 길이와 폭을 조정하여 원하는 특성을 갖도록 튜닝하였다.

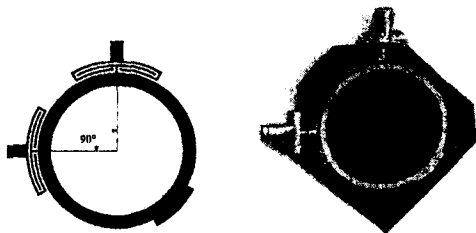


그림5. Split 모드 대역통과 필터의 구조와 제작사진

필터의 특성은 중심주파수 1.95GHz, 대역폭 100MHz를 갖도록 설계하였으며, 그림6은 Split 모드 대역통과 필터를 Ensemble 4.02로 시뮬레이션 값과 실제 제작한 후 측정된 값을 비교한 것이다. 거의 근접한 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. Varactor 다이오드를 이용한 가변 대역통과 필터

Varactor 다이오드는 집합정전용량이 역방향 바이

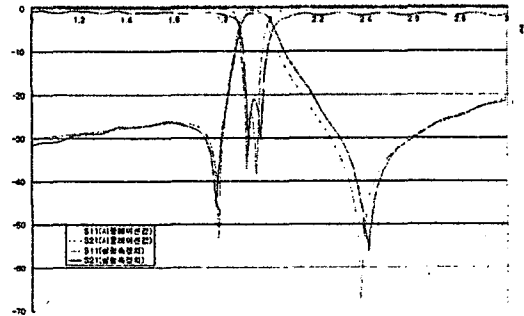


그림6.Split 모드 대역통과 필터의 시뮬레이션 값과 측정값 비교

어스의 양에 따라 변하는 소자이다. 그림7(a)와 같이 역바이어스에 의해 넓어진 공핍층은 비전도 특성으로 인해 유전체와 같은 작용을 한다. Varactor 다이오드는 바이어스가 걸리지 않을 때 원래 다이오드가 갖는 커패시턴스 값이 있으며, 역방향바이어스의 전압이 증가함에 따라 공핍층이 넓어지고 그에 따라 유전체 두께가 실질적으로 증가하여 커패시턴스가 점점 감소하게 된다.(그림7(b))

본 논문에서는 M/A-COM의 MA4ST350-1141T Low-Voltage/Wide Band 고주파용 Varactor 다이오드를 사용하였다.

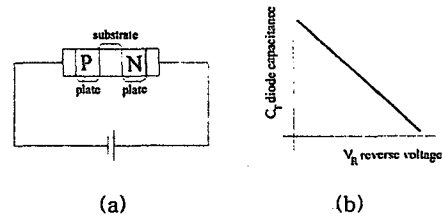


그림7.(a)Varactor 다이오드의 구조 (b) 역바이어스에 따른 커패시턴스 변화

제작한 Split 모드 링 대역통과 필터의 링공진기에 그림8과 같이 두 개의 slit을 내고 직렬로 Varactor 다이오드와 접지를 위한 커패시터를 마운팅한다.

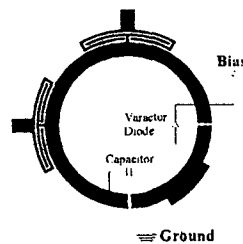


그림8 .Varactor 다이오드를 이용한 가변마이크로스트립 링 대역통과 필터의 구조

이 회로는 커패시터가 추가되었기 때문에 원래의 링보다 마이크로스트립선로의 길이가 늘어난 효과가 생기게 된다. Varactor 다이오드의 역바이어스 전압이 증가함에 따라서 커패시턴스는 작아지고 그에 따라 필터의 통과대역은 원래의 링 필터의 통과대역까지 조금씩 증가하게 된다.

그림9는 이 가변 링 대역통과 필터를 ADS1.3을 이용하여 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 틀이 Varactor 다이오드를 지원하지 않았기 때문에 대신 바이어스가 0일 때 다이오드가 갖는 평균 커패시턴스 값의 커패시터를 사용하여 시뮬레이션하였다. 그림에서 보는 바와같이 바이어스가 0일 때 공진주파수가 원래의 1.95GHz에서 1.625GHz까지 낮아진 것을 볼 수 있다.

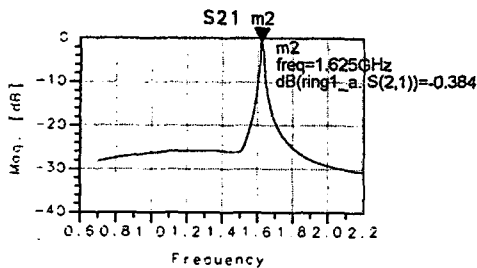
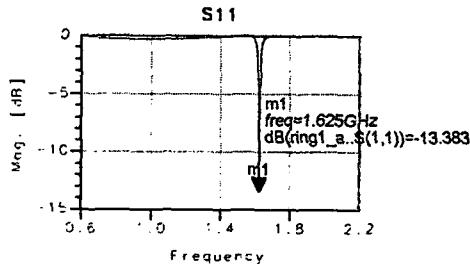


그림9. 가변 링 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과  
그림10은 직접 제작한 가변 링 대역통과 필터의 사진이며, 그림 11에 이 필터의 측정결과를 나타내었다. Varactor 다이오드에 가한 역전압은 0~5V까지 인가하였으며, 그에 따라 필터 대역폭의 중심주파수 기준으로 역바이어스 0V 일 때 최저 1.62GHz에서 역바이어스전압 5V일 때 1.925GHz까지 가변되어 약 300MHz의 가변대역폭을 가진다. 그러나 Varactor 다이오드, 커패시터와 바이어스 인가회로를 추가함에 따라서 원래의 필터보다 삽입손실과 반사손실은 증가하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 제작이 간단한 마이크로스트립선로를 이용하여 링 필터를 제작하고, 추가하여 고주파용

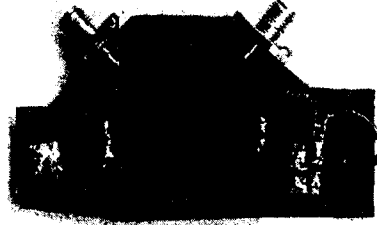


그림10. 완성된 가변 링 대역통과 필터의 사진

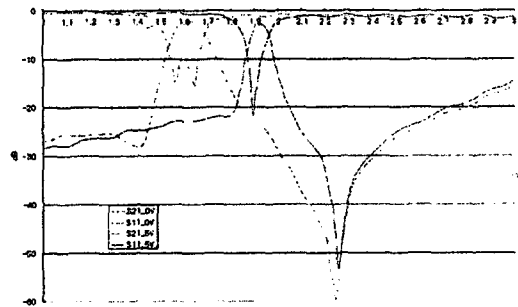


그림11. 가변 링 대역통과 필터의 측정결과

Varactor 다이오드를 직렬로 링에 마운팅함으로써 가변 대역폭을 갖는 대역통과 필터를 설계하였다.

완성된 split 모드 필터는 통과 대역내에서 반사손실이 -10dB이하이고 삽입손실이 -2dB이상이며 평탄도도 우수한 특성을 가졌으며, 이 필터에 Varactor 다이오드를 추가한 가변대역을 갖는 대역통과 필터는 역바이어스 전압을 0~5V까지 가변함에 따라 중심주파수 1.62GHz~1.95GHz까지 가변대역폭 300MHz를 가지며 변화하였다. 본 논문의 구조를 사용하면 평면기판을 사용하여 손실이 적고, 소형화, 제작이 간편한 가변필터를 제작할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] K Chang, *Microstrip circuit and Antennas*, John Wiley & Sons, 1996
- [2] T. C. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit design*, John Wiley & Sons, 1981
- [3] M.J. Lancaster, *Bandpass characteristics of new dual mode microstrip square loop resonators*, Electron. lett., vol.31, pp. 891-892, 1995