

## 2차 고조파가 억압된 소형 이중모드 링 대역통과 여파기

### A Bandpass Filter with Suppression of Second Harmonics Using a Miniature Dual-mode Ring Structure

오경민, 윤기철, 남희,  
(광운대학교 석사과정) (광운대학교 박사과정) (광운대학교 박사과정)  
한승현, 오승연, 이종철  
(광운대학교 석사과정) (광운대학교 석사과정) (광운대학교 교수)

Key Words : Band-pass Filter, Harmonic suppression, Miniature, Ring structure dual-mode, Spur-line

#### 목 차

- I. 서 론
- II. 이중모드 링 구조의 여파기 설계
- III. 결 론
- 참고문헌

## I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS) 및 무선 통신에서 사용되는 대역 통과 여파기는 중요한 역할을 한다. 대역통과 여파기는 전달하고자 하는 대역을 통과 시켜주고 그 외의 대역은 차단 시켜주는 역할을 한다. 또한, 대역저지 여파기는 대역통과 여파기와 달리, 어느 특정 대역 부분은 차단 시켜주고 나머지 대역은 통과 시켜주는 역할을 한다. 대역통과 여파기는 협대역과 광대역 여파기로 구분되는데, 적용 범위에 따라 선택하여 사용할 수 있다. 최근 들어 위성 및 이동통신 시스템은 동영상, 음성 및 각종 데이터 정보의 양이 급증함에 따라 많은 양의 정보들을 전송 할 수 있는 기술과 필요한 정보를 선택적으로 통과시켜주고 그 밖의 불필요한 정보들은 저지시키는 광대역 대역통과 여파기의 기술 발전이 요구되고 있다. 따라서 정보를 광대역으로 전송하고, 처리할 필요성이 대두되어 광대역 여파기가 필요하게 되었으며, 1970년대는 이중모드를 이용한 평면 형태의 여파기는 많은 연구가 진행되어 왔다 [1]. 그 중에서 링(Ring) 구조의 광대역 대역통과 여파기는 낮은 삽입손실과 예리한 차단특성을 갖는데[2], 이러한 특성을 갖는 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기는 고조파가 주기적으로 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 고조파를 억압하기 위해 대역 저지 여파기의 특성을 갖는 Spur-line을 설계한 후

이를 대역통과 여파기에 집적화하여 2차 고조파를 억제하였다.

한편으로는 다른 형태의 대역저지 여파기로 설계하여 링 구조의 위치에 삽입 했을 경우, 대역통과 여파기의 전체 크기가 증가하게 된다. Spur-line을 입출력 단에 삽입한 결과, 여파기의 크기가 증가되는 것을 방지했다는 장점과 Spur-line이 다른 여파기에 비해 특성이 우수하고 설계가 간단하다는 특징이 내포되어 있다 [3].

## II. 이중모드 링 구조의 대역통과 여파기 설계

### 1. 기존의 이중모드 링 구조의 대역통과 여파기

본 논문은 기존의 광대역 특성을 갖는 이중모드 링 구조의 대역통과 여파기에 Spur-line을 집적화 하여 여파기에서 발생하는 2 차 고조파를 억제하고자 한다. 비교 분석을 하기위해 우선 기존의 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기를 설계 하여 여파기로부터 고조파가 발생되었다는 결과를 확인한 후 고조파를 억압시키기 위해 대역저지 여파기를 제안, 설

계하여 집적화 과정을 통해, 2 차 고조파가 억압된 광대역 대역통과 여파기의 결과를 얻는다.

<그림 1>은 기존의 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기이다. 일반적인 링 공진기에 급전선을 서로 직교 형태로 직접 연결하여 공진기 사이의 갭(gap)으로 인한 손실을 최소화하였으며, 대역저지의 특성을 갖는 두 개의 스텐브(stub)를 서로 직교 형태로 링 공진기에 연결한 후 이중모드 특성을 갖는 섭동(perturbation)을 접합시킨 구조이다. 이러한 구조의 대역통과 여파기는 삽입손실이 낮고 차단 특성이 우수함과 동시에 임피던스가 50 Ω 을 갖는 급전선에 연결되고 있다. 이러한 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기는: 모의실험을 통해 설계하였으며, 모의실험에는 IE3D (ver. 12.0) 를 사용하였다.

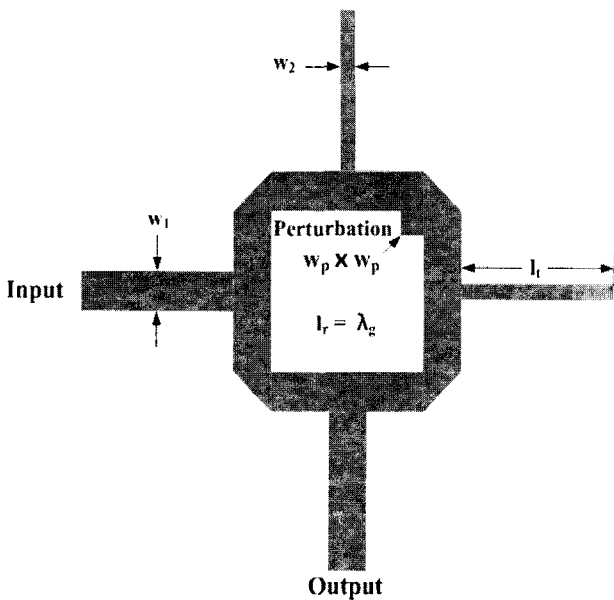


그림 1. 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기

Fig. 1. Schematic of the conventional broad band pass filter(BPF) with a dual-mode ring structure

임피던스 50 Ω 으로 정합된 링 공진기의  $w_1 = 1.49$  mm이고 링 공진기의 길이( $l_r$ )는 관내파장( $\lambda_g$ )의 길이와 같다. 스텐브의 길이는  $l_s = \lambda_g/4$  로써, 임피던스는 축퇴 모드(degenerate mode)를 위해 링 공진기의 임피던스보다 높은 값인, 90 Ω 으로  $w_2 = 0.49$  mm로 설계하였다. 스텐브의 길이와 임피던스는 감쇠극(Attenuation pole)의 주파수에 영향을 미치고 스텐브가 한 개일 경우는 길이가 증가할수록 첫 번째와 세 번째 모드의 감쇠극들이 저주파 대역으로 이동하게 되며, 저지대역 폭은 좁아지면서 스텐브가 <그림 1> 과 같이 2 개일 때 예리한 차단특성을 나타냄과 동시에 저지대역에서 감쇠의 증가, 그리고 넓은 통과대역을 얻는다 [2],[4].

<그림 1>의 섭동(perturbation)은 이중모드 여파기의 설계에 있어서 소자의 특성을 좌우하는 중요한 역할을 한다. 섭동의 크기가 증가함에 따라 두 모드사이의 거리(저지대역폭)가 증가하게 되어 이중모드 효과를 얻기 쉬우나 통과대역에서 반사손실이 커지게 되어 여파기로서의 적절한 특성을 얻기가

어려워지고 섭동의 크기가 줄어들게 되면 두 모드 사이의 거리가 협소하게 되어 이중모드의 특성을 얻기가 힘들어진다 [5]. 이와 같이 이중모드를 얻을 수 있는 섭동의 크기는 한정되어 있고 IE3D를 이용한 모의실험을 통해 이중모드를 얻을 수 있는  $w_p \times w_p = 1 \times 1$  mm<sup>2</sup> 의 적절한 섭동의 크기를 구할 수가 있다.

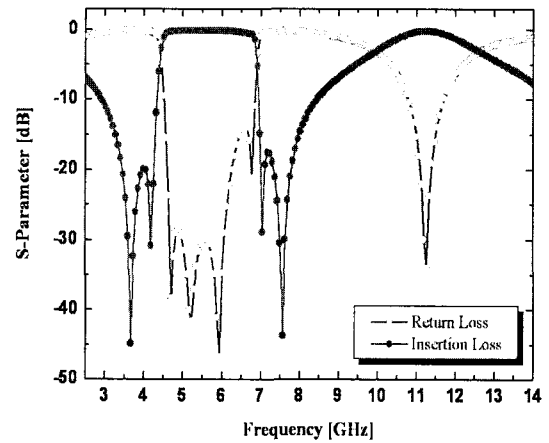


그림 2. 광대역 대역통과 여파기의 모의실험 결과

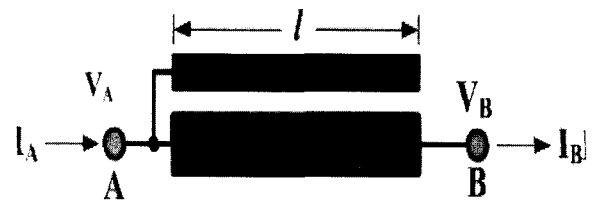
Fig. 2. Simulation results for a wide band BPF

설계된 여파기는 5.8 GHz 의 중심 주파수에서 43 %의 대역폭(FBW)을 갖고 삽입 손실 과 반사손실에 대한 결과는 각각 0.12 dB 와 14 dB 값을 나타내었다.

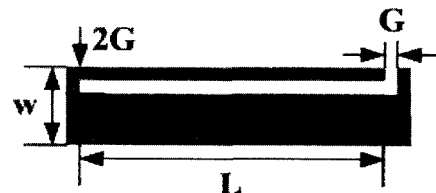
기존 광대역 대역통과 여파기에서는 구조적인 특징으로써 <그림 2> 와 같이 11.2 GHz 에서 2 차 고조파가 발생된다는 단점을 갖고 있다.

## 2. Spur-line 구조의 대역저지 여파기

본 논문에서 제안하는 설계 방법은 Spur-line 구조의 대역저지 여파기를 설계한 후 광대역 대역통과 여파기의 입출력 단(Feeding line) 에 삽입한 후, 2차 고조파를 억제하고자 한다. 기본적인 Spur-line 여파기의 구조는 <그림 3>과 같다.



(a) Spur-line 구조의 등가 회로



(b) Spur-line 구조.

그림 3. Spur-line 구조의 대역저지 여파기

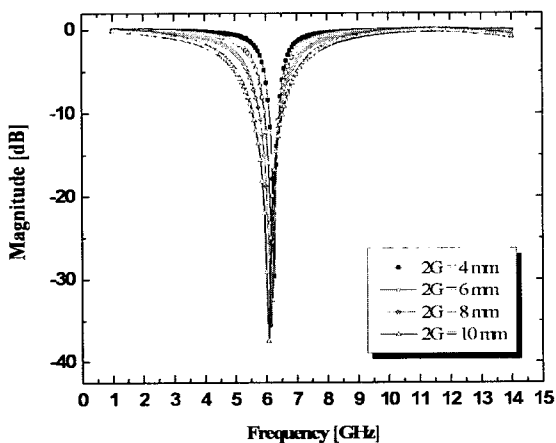
Fig. 3. Schematic of the band stop filter(BSF) with a spur-line structure

- (a) Equivalent circuit of the spur-line structure,
- (b) Illustration of a spur-line Structure

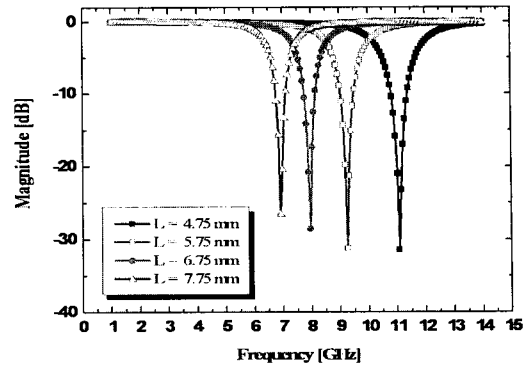
<그림 3 (a)> 는 Spur-line의 등가회로를 나타낸 것으로서 2-포트 (port) Spur-line 네트워크의 매트릭스를 통해 알아볼 수 가 있다.  $Z_{oe}$  와  $Z_{oo}$  는 우(even) 및 기(odd) 모드의 특성 임피던스 이고,  $\theta_e$  와  $\theta_o$ 는 우 와 기 모드의 전기적 길이 이다.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ I_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_e & \frac{1}{2} Z_{oe}\sin\theta_e \\ j2 Y_{oe}\sin\theta_e & \cos\theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} Z_{oe}\tan\theta_e \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_B \\ I_B \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 (1) 식과 같이 전송선로의 특성 임피던스( $Z_1$ )는  $Z_{oo}/2$ 이고,  $\theta_e$  는 전기적 길이 이며 또한, ( $Z_2$ )는  $Z_{oe}/2$ 는 직렬형 단락 스테르브의 특성 임피던스이다. 전기적 길이는  $\theta_o$  를 통해 구할 수 있다 [6]. <그림 2>에서 확인되어지는 여파기의 제 2 차의 고조파를 제거하기 위한 Spur-line 대역저지 여파기는 11.2 GHz에서 대역저지 특성을 가져야한다. 이를 위해 IE3D 를 통해 Spur-line 의 각 성분에 대한 특성을 알아보았다. 우선 전체 선로의 두께(w)는 급전선이 50  $\Omega$  이므로 1.49 mm 으로 결정하고, <그림 4 (a)>에서 보듯이 스테르브의 길이(L) 를 고정하고 갭과 스테르브 넓이의 합인 2G 를 변화시킬 때 저지대역의 대역폭이 변화하며 <그림 4 (b)>에서는 갭과 스테르브 두께의 합인 2G 를 고정하고 직렬 형 단락 스테르브의 길이 (L)변화에 따라 여파기의 중심 주파수는 이동한다. 이를 통해 11.2 GHz 에서의 대역저지 특성을 갖는 Spur-line 대역저지 여파기를 설계하였으며, 설계된 Spur-line 대역저지 여파기는  $w = 1.49$  mm,  $2 G = 0.4$  mm,  $L = 4.7$  mm 로써 11.2 GHz에서 30 dB 의 삽입손실을 갖는다.



(a) 폭 2G에 따른 삽입손실 특성 변화



(b) 길이 L 에 따른 삽입손실 특성 변화

그림 4. Spur-line의 길이에 따른 삽입손실 특성 변화

Fig. 4. .Simulation results for the insertion loss depending on Spur-line length

- (a) Insertion loss characteristic due to the variation of the 2G
- (b) Insertion loss characteristic due to the variation of the L

### 3. 새로 제안한 제 2 차 고조파가 억제된 이중모드 링 구조의 대역통과 여파기

<그림 5>는 본 논문에서 제안하는 제 2 차 고조파를 억제한 이중모드 링 구조 대역통과 여파기이다. 제안한 이중모드 링 구조의 대역통과 여파기는 기존의 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기의 입력력 단에 Spur-line 대역저지 여파기를 집적화시킨 것으로써 기존의 여파기와 크기가 동일하면서, 제 2 차 고조파를 억제하는 장점을 갖는다.

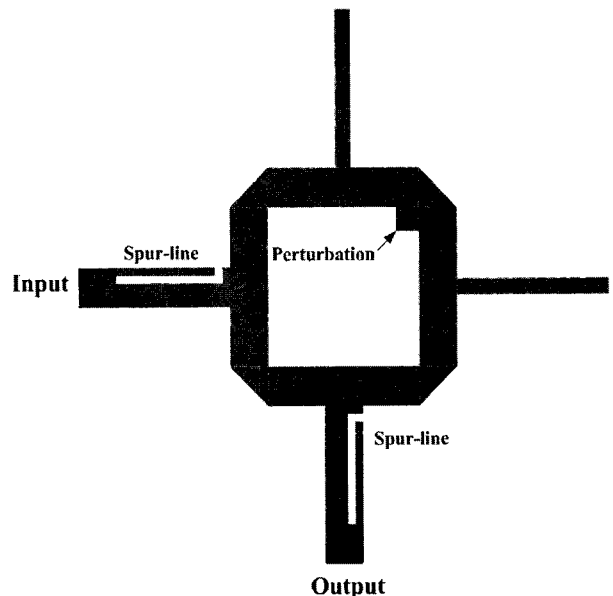


그림 5. Spur-line을 이용한 이중모드 링 구조 광대역 대역통과 여파기

Fig. 5. A broad BPF with a dual-mode ring structure using the spur-line

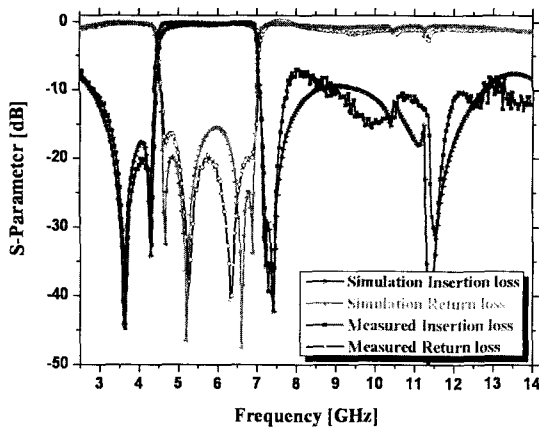


그림 6. 2차 고조파가 억압된 대역통과 여파기의 모의실험 결과 및 측정 결과

그림 6. Simulation and measurement results for the BPF with second harmonic suppression

<그림 6>은 본 논문에서 제안한 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과를 보여주고 있다. 5.8 GHz의 중심 주파수에서, 삽입손실 및 반사손실에 대한 모의실험 결과는 각각 0.2 dB와 16 dB, 그리고 측정 결과는 각각 0.3 dB와 16 dB 값을 나타내었고 43%의 대역폭을 갖으며 제 2차 고조파 성분이 대역저지 여파기로 인해 억제되고 있음을 함께 보여주고 있다. <그림 7>은 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는 테프론(Teflon) 기판에 마이크로스트립 선로를 이용하여 설계하였으며, 크기는  $30 \times 30 \text{ mm}^2$ 를 갖는 실제 제작된 이중모드 링 구조의 광대역 대역통과 여파기를 보여주고 있다.

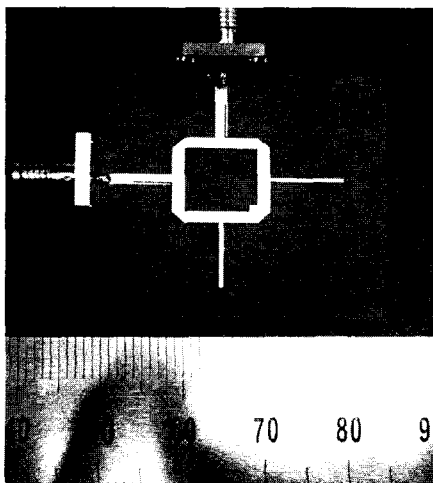


그림 6. Spur-line을 이용하여 고조파가 억제된 이중모드의 링 구조 광대역 대역통과 여파기

Fig. 6. Photograph of the broad BPF with a dual-mode ring structure using the spur-line

### III. 결론

본 논문에서 제안하는 대역통과 여파기는 마이크로스트립 선로를 이용하여 링(Ring) 형태의 공진기와 섭동(Perturbation) 그리고 두 개의 스템(stub)로 이루어진 이중모드(dual-mode) 대역통과 여파기를 설계하였고, 두 개의 Spur-line을 집적화하여 여파기에서 발생하는 제2차의 고조파를 억제하였다. 본 논문은 발전하는 지능형 교통시스템에서 전송되는 정보의 양들이 점차 급증할 것으로 예상되며, 이에 적용할 수 있는 광대역 대역통과 여파기를 제안하여 설계하였다. 설계된 여파기는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 43%의 대역폭을 갖고 있으며, 삽입손실은 0.3 dB, 반사손실은 16 dB의 측정결과를 얻었다. Spur-line의 특성상 기존 여파기의 낮은 삽입손실과 예리한 차단 특성을 유지하면서 크기가 별 다른 차이 없이 2차 고조파를 억제하여 보다 성능이 우수한 여파기를 구현하여, 지능형 교통 시스템에 적용할 수 있으리라 기대된다.

### 참고문헌

1. I. Wolff, "Microstrip bandpass filter using degenerate of a microstrip ring resonator," *Electron. Lett.*, vol. 8, no. 12, June 1972.
2. L.-H. Hsieh and K. Chang, "Compact, low insertion-loss, sharp-rejection, and wide-band microstrip bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 4, pp 1241-1246, April 2003.
3. C. Nguyen and K. Chang, "On the analysis and design of spurline bandstop filters." *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 33, no. 12, pp 1416-1421, Dec. 1985.
4. A. C. Kundu and I. Awai, "Control of attenuation pole frequency of a dual-mode microstrip ring resonator bandpass filter." *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 49, no. 6, pp. 1113-1117, June 2001.
5. A. Gorur, "Description of coupling between degenerate modes of a dual-mode microstrip loop resonator using a novel perturbation arrangement and its dual-mode bandpass filter applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, no. 2, pp. 671-677, Feb. 2004.
6. C. Nguyen, C. Hsieh, and D. Ball, "Millimeter wave printed circuit spurline filters," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, pp. 98-100, June 1983.