

논문 2008-45TC-1-15

# FSCS를 이용한 고조파가 억제된 광대역 스텐브 대역통과 여파기의 설계

( Design of a Broad Band-pass Filter with Stubs for Harmonics  
Suppression using the FSCS )

최 영 구\*, 김 복 기\*

( Young Gu Choi and Bok Ki Kim )

## 요 약

본 논문에서는 FSCS를 이용한 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스텐브 대역통과 여파기와  $\lambda_g/2$  개방형 스텐브 대역통과 여파기를 새로운 구조로 제안 설계하였다. 제안된 여파기는 FSCS를 이용한 광대역 대역저지 여파기를 대역통과 여파기에 집적화시켜 제2 고조파를 억제하였고, 스텐브 사이에 BSF를 집적화하여 크기의 증가를 방지하여 22% 감소하였다. 제안된 여파기는 중심주파수 5.8 GHz에서 통과 대역폭 50 %, 고조파 저지대역 120 % 광대역 대역통과 여파기의 특성을 나타내었고,  $\lambda_g/4$  단락형 스텐브 여파기의 경우 삽입손실 0.5 dB, 반사손실 14 dB의 측정결과를  $\lambda_g/2$  개방형 스텐브 여파기의 경우는 삽입손실 0.8 dB, 반사손실 14.4 dB의 측정결과를 얻었으며, 시뮬레이션 결과와 측정결과가 유사하게 나타났다.

## Abstract

In this paper, a new type of  $\lambda_g/4$  short stub band pass filter and  $\lambda_g/2$  open stub band pass filter are proposed. Both are designed using FSCS technique for harmonic suppression. The proposed filters that used FSCS technique and a broadband stop filter is integrated to band pass filter to suppress the harmonics. The BSF are also placed between stubs so that the size is larger than prevent as compared to conventional one. The proposed filters have center frequency of 5.8 GHz, bandwidth of 50 % and harmonics suppression is 120 % has in bandwidth. The measurement results in the case of  $\lambda_g/4$  short stub filter, insertion loss of 0.5 dB, return loss of 14 dB are achieved and in the case of  $\lambda_g/2$  open stub filter, loss of 0.8 dB, return loss of 14.4 dB are achieved. The simulation results and the measurement results are almost the same.

**Keywords :** Stub-BPF, UWB-BSF, FSCS, Harmonic suppression.

## I. 서 론

이동 및 위성통신 시스템에서 사용되는 여파기는 중요한 역할을 한다. 최근 들어 현대의 정보통신 시스템에 사용되는 동영상, 음성 및 각종 데이터 정보의 양이 급증함에 따라 많은 양의 정보들이 정보 전송시스템을 통해 전달되며, 원하는 정보를 얻고자 하는 사람들에게

보다 편리함과 만족할 수 있는 신뢰성이 요구되는 통신 시스템이 필요하다. 따라서, 많은 양을 갖는 데이터 혹은 정보들을 광대역으로 전송하고 높은 신뢰성으로 처리하는 기술은 매우 중요하다. 그러므로 정보에 포함되는 원하는 신호는 통과 시켜주고 그 외의 신호는 통과 시키지 못하도록 억압 역할을 하는 것은 광대역 여파기이며, 광대역 신호의 통과는 광대역 대역통과 여파기를 통해서 이루어지며, 광대역 대역통과 여파기의 기술은 지속적으로 발전 되어가고 있다.

광대역에 상관없이 사용되는 대역통과 여파기는 통과대역 이외 저지대역에서도 통과대역 성분과 비슷한

\* 정회원, 광운대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering, Kwangwoon University)  
접수일자:2007년9월18일, 수정완료일:2008년1월15일

고조파가 정수배로 발생된다. 고조파가 발생되면, 인접한 통과대역과 간섭이 우려 되어 여파기의 성능을 악화시킬 수 있다. 따라서 정수배로 발생 되는 고조파를 억제시킬 필요가 있고, 고조파를 억제 시키기 위해 많은 기법들이 발표되었다<sup>[2~4]</sup>. 현대의 통신에 있어서 많은 데이터를 취급하기 위해 사용되는 광대역 대역통과 여파기가 중요하지만, 여파기 에서 발생하는 고조파들을 억제 시키는 기술도 매우 중요하다. 따라서, 본 논문에서 제안된 여파기는 광대역 대역통과 여파기 에서 발생하는 고조파를 억압하였고, 고조파가 억압된  $\lambda_g/4$  단락형,  $\lambda_g/2$  개방형 광대역 스테브 대역통과 여파기로서 여파기 에서 발생하는 2차 및 3차 고조파를 충분히 억압 하였다. 고조파를 억압하기 위해 대역통과 여파기에 광대역 대역저지 여파기를 집적화 시켰고, 광대역 대역저지 여파기를 사용 함 으로서 넓은 고조파를 억압 할 수 있는 특징을 나타내었다.

## II. FSCS를 이용한 고조파가 억제된 광대역 대역통과 여파기 설계

참고문헌<sup>[5]</sup> 스테브 대역통과 여파기의 고조파를 억압하기 위해 그림 1의 광대역(UWB) 대역저지 여파기를 설계한 후 그림 7과 같이 삽입하여 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스테브 대역통과 여파기를 설계할 경우, 3차에서 발생 되는 2차 고조파를 충분히 억제 할 수 있는 특징을 나타내고, 그림 1의 대역저지 여파기를 집적화하여 그림 8의 고조파가 억제된  $\lambda_g/2$  개방형 스테브 대역통과 여파기를 설계할 경우, 2차 고조파를 억압하면서 동시에 3차 고조파까지 억압하면서 고주파와 저주파 영역에서 안정성이 우수한 여파기가 설계 되었다. 그러므로 50 %의 대역폭을 갖는 대역통과 여파기를 설계한 다음, 120 %의 대역폭을 갖는 광대역 저지 여파기를 설계한 후 대역통과 여파기 내부에 대역저지 여파기를 집적화하면 고조파를 억제시킨 여파기를 설계할 수 있었다. 광대역 대역통과 여파기에서 발생하는 고조파를 제거하기 위해서 대역저지 여파기를 설계하여 대역통과 여파기에 삽입하는 기법을 사용하였다. 대역저지 여파기를 구현하기 위해 성능이 우수하고 120 %의 넓은 대역을 갖는 고조파를 억압하기 위한 FSCS를 갖는 광대역 대역저지 여파기를 설계한다.

그림 1의 대역저지 여파기는 커플링 구조로 되어진  $\lambda_g/4$  길이의 병렬 스테브 (FSCS)와  $\lambda_g/4$  길이의 병렬 개방형 스테브로 구성된다<sup>[6, 8]</sup>.

또한, 그림 2와 같이 무손실로 해당되는 TEM 모드로 해석되는 등가회로로 구성되며, 우(Even)모드와 기(Odd) 모드로 여기 된다<sup>[6]</sup>.

그림 3(b)의 FSCS를 갖는 광 대역 대역저지 여파기 등가회로에서  $\lambda_g/4$  개방형 스테브  $Z_L$  는 그림 3(a)와 같이 인덕터(L)와 캐패시터(C)가 직렬형으로 구성되어 있고,  $\lambda_g/4$  길이와 병합 되었을 때 중심 주파수로 부터 원하는 저지대역 만큼의 대역폭이 형성되는 등가회로로 구성 되었으며, FSCS 기법을 이용한 대역저지 여파기는 T-형태로 설계 되었으며, 여파기 전체 길이가  $\lambda_g/2$  이지만 각각  $\lambda_g/4$  씩 나누어 구성 되어 첫번째 단의  $\lambda_g/4$  길이는 결합(Coupling)구조로 구현하여 캐패시턴스(C) 값에 따라 대역폭 넓이가 변화 된다. 따라서 등가적으로 캐패시터(C) 값이 낮아지고 인덕터(L) 값이 높아지면서 대역폭이 넓어지게 되어 고조파 억제 대역을 충분히 넓힐 수 있었다. 둘째단의  $\lambda_g/4$  길이를 갖는 스테브는 개방형으로 구성되어 있어 대역저지 여파기의 역할이 가능해 진다.

그림 3(a)의 등가회로에서 인덕터(L)는 식(1)로 표현 된다

$$Z_L = j\omega_o L \left( \frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) \approx \pm j2L\Delta\omega \quad (1)$$

$$Z_L = \frac{jZ_{rx}}{4} \left( \frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) \approx \pm \frac{2Z_{rx}}{2} \frac{\Delta\omega}{\omega_o}$$

대역저지 여파기의 전달계수  $S_{21}$ 은 식(2)과 같이 표현된다<sup>[5]</sup>.

$$S_{21} = \frac{\Gamma_e - \Gamma_o}{2} = \frac{Y_{ino}}{Y_o + Y_{ino}} - \frac{Y_{ine}}{Y_o + Y_{ine}} \quad (2)$$

여기에서  $\Gamma_e$ 와  $\Gamma_o$ 는 우수 및 기수 모드의 반사계수이며,  $Y_{ine}$ 와  $Y_{ino}$ 는 입력 어드미턴스 에서 여기되는 우수 및 기수 모드이다. 또한  $Y_o$ 는 여파기의 특성 어드미턴스 이다

그림 4는 전송영점(transmission zero)을 주어서 우수한 대역저지 응답특성을 나타내는 주파수 선택 결합구조(FSCS) 대역저지 여파기의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 주파수 선택 결합구조(FSCS)에 기인되는 전송영점은 식(3) 과 같이 표현된다.

$$Y_{oo} \cot \theta = Y_{oe} \cot \theta. \quad (3)$$

여기에서  $Y_{oe}$  와  $Y_{oo}$  는 주파수 선택 결합구조 (FSCS)의 어드미턴스에서 여기 되는 우수 및 기수모드이다. 또한, 우수 및 기수 모드에서 여기 되는 FSCS 대역저지 여파기의 입력 어드미턴스는 식(4)와 같다.

$$Y_{inc} = Y_{oe} \frac{Y_{Le} + jY_{oe} \tan \theta}{Y_{oe} + jY_{Le} \tan \theta} \quad (4-a)$$

$$Y_{ino} = -jY_{oo} \cot \theta \quad (4-b)$$

여기서,  $Y_{ino}$ 는 입력 어드미턴스에서 여기되는 우수모드이며,  $Y_{inc}$ 는 입력 어드미턴스에서 여기되는 기수모드이다. 여파기 부하에 여기되는 어드미턴스( $Y_{Le}$ )는 식(5)와 같이 표현된다.

$$Y_{Le} = \frac{1}{Z_{Le}} = \frac{1}{(2Z_L)} = \frac{jY_r \tan \theta}{2} \quad (5)$$

식(4), (5)는 그림 1, 2에 해당되는 입력부의 첫 번째 부분에 나타나는 커플링 구조로서, 커플링 구조의 입력 어드미턴스의 우수 및 기수 모드이다.

그림 5의 결과 파라미터는 그림 1의 FSCS와 개방형 스테르브를 이용한 광대역(UWB) 대역저지 여파기에 대한 측정결과이며, EM 시뮬레이션을 이용하여 설계한 광대역 대역저지 여파기의 파라미터 결과는 표 2에 제시 하였으며, 19 GHz의 중심주파수와 120 % 대역폭을 갖는다. 스테르브를 이용한 광대역 대역통과 여파기는 고조파가 정수배로 발생 된다는 단점을 갖고 있다. 본 논문은 이러한 광대역 여파기가 갖고 있는 고조파 성분을 충분히 제거하기 위해 광대역 대역저지 여파기를 집적화 한 후, 새로운 구조의 여파기를 구현 하였다.

새로운 구조를 구현하기 위해 집적화 방법을 제안 하였으며, 그림 1의 대역저지 여파기는 광대역 대역저지 응답특성을 나타내기 위해 타이트(tight) 커플링(coupling)으로 이루어져 있고, 커플링 넓이에 해당되는 갭(gap)이 감소하여 대역폭이 넓어진다.

기존의 스테르브 대역통과 여파기에서 발생하는 고조파를 억제하기 위해서는 대역저지 여파기를 집적화 시키는 기술이 필요하며, 스테르브와 스테르브 사이에 연결되는 전송선로 위치에 광대역 대역저지 여파기를 삽입하여, 통과대역 이외에서 발생하는 2차 고조파를 억압할 수 있는 개선된 광대역 대역통과 여파기를 설계할 필요가 있다. 따라서 그림 6의 전송선로  $Z_1$ 은 참고문헌<sup>[5]</sup>에 의해 임피던스 값을 얻을 수 있지만, 그림 1, 그림 6의  $Z_2$  에 대한 임피던스 값을 얻기 위해서 식(6)의 수식을

이용 하였다.

$$Z_2 = Z_1 \cot \theta_2 @ Z_1 = 37.3 [\Omega] \quad (6)$$

이러한 방법을 이용하여 광대역 대역저지 여파기를 광대역 스테르브 대역통과 여파기에 집적화 하여 원하지 않는 불필요한 고조파 성분을 억압 하였으며, 그림 7, 그림 8과 같이 제안 설계 하였다.

그림 7은  $\lambda_g/4$  단락형 스테르브 대역통과 여파기를 제안 설계한 것으로, 본 여파기의 스테르브는  $\lambda_g/4$  길이와 단락형으로 구성되어 있어, 단락 되는 비아(Via)에 대한 등가 인덕턴스(L)로 인해 저주파 대역의 불요파가 억압 되고, 구조적인 특성상 2차가 아닌 3차에서 고조파가 발생된다. 2차 부분의 고조파가 이론적으로 발생하지 않는 것 같지만, 실제로는 외부 환경으로 인해 기생성분이 발생하거나, 3차의 고조파가 2차 부분 까지 점유 할 경우가 있다. 이러한 영향으로 인해 넓은 대역을 갖는 광대역 대역저지 여파기를 사용 함 으로서 2차, 3차의 고조파 대역까지 억압시킬 수 있었고, 그림 8의 여파기 보다 스테르브 길이가 줄었다는 것을 확인하였다.

그림 8은  $\lambda_g/2$  개방형 스테르브 대역통과 여파기를 제안 설계한 것으로 통과대역의 인접한 부분에서 발생 되는 2차 고조파 성분과 주기적으로 발생하는 정수배의 3차 고조파 성분까지 함께 억제 하였다. 넓은 저지대역을 갖는 대역저지 여파기를 사용 함 으로서 2차 및 3차 고조파까지 억압하고, 억제되는 저지대역을 참고문헌<sup>[11]</sup> 보다 안정적으로 만들어 주었다.

참고문헌<sup>[11]</sup> 여파기는 전송선로 부분에 저역통과 여파기를 구현하여 삽입 함 으로서, 고조파 억압능력은 양호하고, 낮은 주파수에서 구현 가능하나, 5.8 GHz의 고조파수 에서 구현하기 어렵다. 또한 저역통과 여파기의 구조적 특성으로 인해 전체 여파기의 넓이가 넓다. 참고문헌<sup>[11]</sup>의 여파기를 DGS(Defected Ground Structure)로 구현하면 여파기 전체의 크기 증가를 방지할 수 있으나, 정밀하게 제작 하는 것은 문제점이 다 수 발생한다.

그러나 제안된 여파기는 이러한 것을 개선하여 평면 구조인 대역저지 여파기를 구현하여 광대역 대역통과 여파기에 집적화 하였고, 고조파를 억압하기 위해 대역저지 여파기를 전송선로 위치에 삽입함으로서, 여파기 전체의 크기가 증가하는 것을 방지 하였다. 대역저지 여파기를 대역통과 여파기의 입출력 단에 삽입할 수 있었으나, 여파기 크기가 증가하는 것을 방지하기 위해 전송선로 위치에 삽입하는 기술을 제안하였다. 또한 참

고문헌<sup>[10~11]</sup>의 여파기 보다 고조파가 넓은 대역으로 억제 되었다는 특징을 나타내었다.

표 1. FSCS 광대역 대역저지 여파기 특성 임피던스 및 실제 길이 값

Table 1. The dimension size and characteristic impedance of a broad band stop(BSF) filter with FSCS.

Dimension			
Length [mm]		Width [mm]	
FSCS ( $Z_{oc}, Z_{oo}$ )	Open Stub( $Z_r$ )	FSCS ( $Z_{oc}, Z_{oo}$ )	Open Stub( $Z_r$ )
1.38	2.56	0.7	3
Characteristic Impedance[ $\Omega$ ]			
$Z_{oc}$	$Z_{oo}$	$Z_r$	
147	70	35	

표 2. 광대역 대역저지 여파기의 결과 파라미터  
Table 2. The results for a parameter with designed of a broad BSF.

구 분	시뮬레이션	측정값
삽입손실(S11)[dB]	0.6	2.1
반사손실(S21)[dB]	25.3	14.4

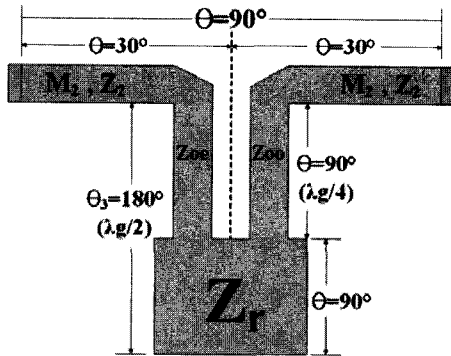


그림 1. FSCS를 갖는 광대역 대역저지 여파기  
Fig. 1. The FSCS consist of a broad BSF filter.

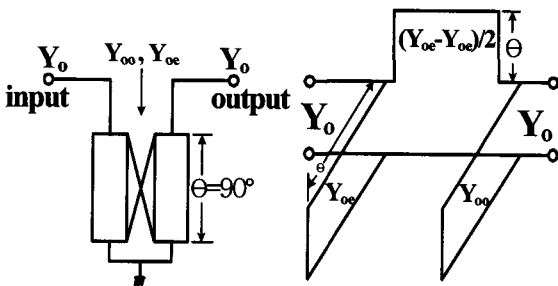


그림 2. FSCS 커플링구조  
Fig. 2. Coupling structure consist of FSCS.

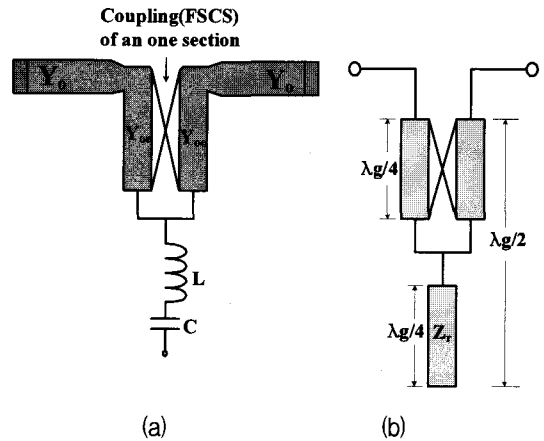


그림 3. FSCS 광대역 대역저지 여파기의 개방형 스텔브에 대한 등가회로

(a) L, C 등가회로로 구성된 개방형 스텔브  
(b) FSCS로 조합된 스텔브와 개방형 스텔브  
Fig. 3. The equivalent circuit of FSCS in a broadband BSF with open stub.  
(a) A open stub for L and C equivalent circuit.  
(b) FSCS consist of a open stub.

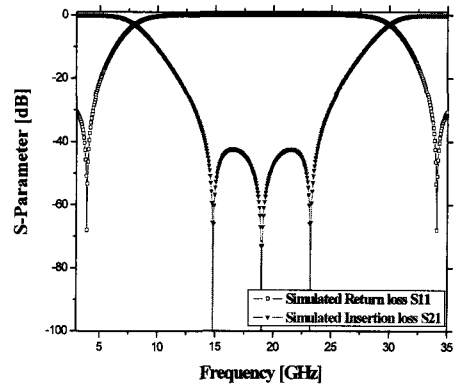


그림 4. FSCS 광대역 대역저지 여파기의 시뮬레이션 응답특성

Fig. 4. The simulation result for the FSCS in a BSF with broadband bandwidth.

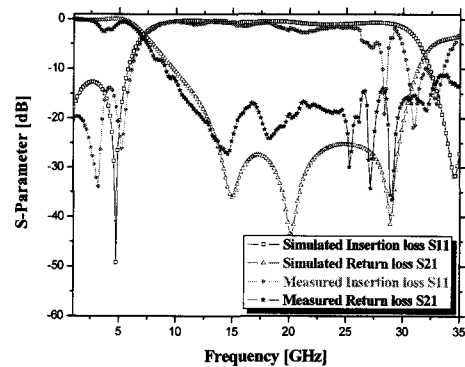


그림 5. 120% 대역폭을 갖는 광대역 대역저지 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 5. The Results for simulation and measurement of a BSF with ultra wide band(FBW:120%).

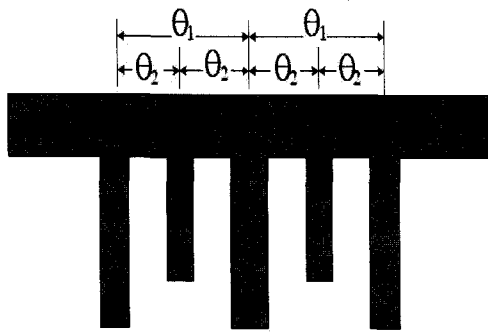


그림 6. FSCS 광대역 대역저지 여파기를 삽입한 120% 대역폭을 갖는 광대역 대역통과 여파기의 직접화 과정  
 Fig. 6. FSCS in a broad BSF into a 120% broad band pass filter(BPF) can integrating processing.

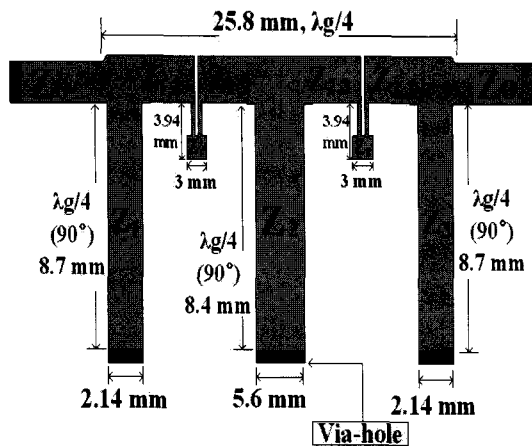


그림 7. 제안된 고조파 억제용  $\lambda_g/4$  단락형 스텐브 대역통과 여파기  
 Fig. 7. New type of harmonics suppression using the integrated of a BPF with  $\lambda_g/4$  short stubs.

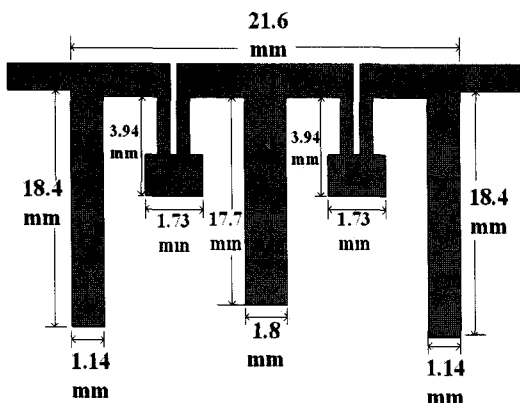


그림 8. 제안된  $\lambda_g/2$  개방형 스텐브 대역통과 여파기  
 Fig. 8. Proposed of the harmonics suppression using the integrated of a BPF with  $\lambda_g/2$  open stubs.

### III. 제작 및 측정

제안된 여파기의 제작은 유전율 2.54, 높이 0.54mm를 갖는 마이크로스트립 전송선로로 구성된 테프론 기판을 사용 하였고, 음화필름 영상촬영을 통해 드라이 애칭(dry-etching) 방식으로 제작 하였다<sup>[13]</sup>.

그림 9(a), 9(c)는 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스텐브 대역통과 여파기 사진과 시물레이션 및 측정 결과 이고, 그림 9(b), 9(d)는 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/2$  개방형 스텐브 대역통과 여파기 사진과 시물레이션 및 측정결과 이다. 여파기의 크기는 표 3에 나타내었다. 제작된 여파기의 특징은 집중 정수소자(lumped element)를 사용하지 않고 분포 정수소자(distributed element)를 사용하여 구현하였기 때문에 제작의 단가를 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다.

일반적으로 고조파 대역은 50 %를 갖고 있어 3차 고조파까지 억제하기 위해서는 중심주파수 19 GHz, 대역폭 120%를 갖는 광대역 대역저지 여파기를 구현한 후 구현된 여파기를 대역통과 여파기에 삽입 함 으로서, 표 4와 같이 여파기의 결과를 나타내었고, 표 5와 같이

표 3 제안된 대역통과 여파기의 크기  
 Table 3. Proposed of BPFs with dimension values.

구 분	가로[mm]	세로[mm]
참고문헌[2]	25.8	19.9
그림 9(a)	22.7	10.3
그림 9(b)	20.3	18.7

표 4. 제안된 대역통과 여파기 고조파 억제 결과값(대역폭:120%)

Table 4. Proposed of BPFs with harmonic suppression list(FBW:120%).

구 분	삽입손실(S21)	
	$\lambda_g/4$ 단락형	$\lambda_g/2$ 개방형
결 과 값		
시물레이션[dB]	14.9	15.1
측 정 값[dB]	13.2	13.1

표 5. 제안된 대역통과 여파기 시물레이션 및 측정값  
 Table 5. Proposed of BPFs The results for the parameter.

구 분	시물레이션		측 정 값	
	$\lambda_g/4$ 단락형	$\lambda_g/2$ 개방형	$\lambda_g/4$ 단락형	$\lambda_g/2$ 개방형
결 과 값				
삽입손실[dB]	0.2	0.3	0.5	0.8
반사손실[dB]	15	16.3	14	14.4

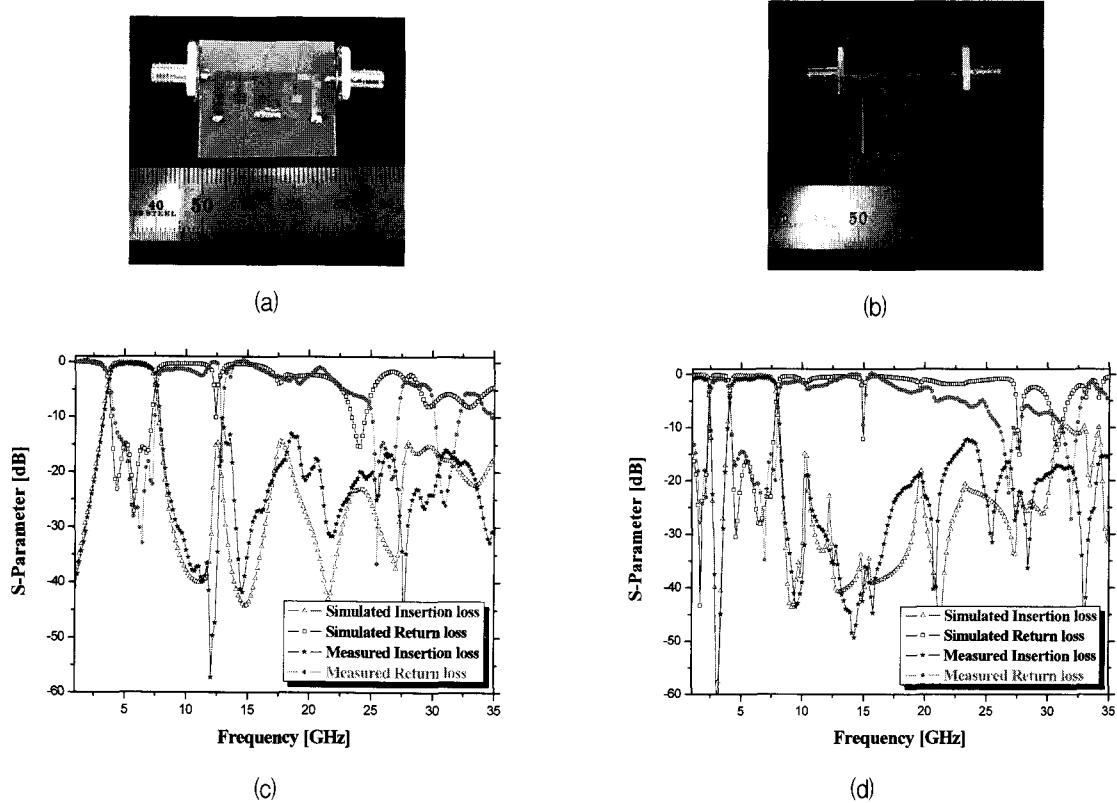


그림 9. (a) 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스테브 대역통과 여파기 사진  
 (b) 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/2$  개방형 스테브 대역통과 여파기 사진  
 (c) 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스테브 대역통과 여파기시뮬레이션 및 측정 결과  
 (d) 제안된 고조파가 억제된  $\lambda_g/2$  개방형 스테브 대역통과 여파기시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 9. (a) Fabricated photograph of the proposed of harmonics suppression with BPFs using on the  $\lambda_g/4$  short stubs.  
 (b) Fabricated photograph of the proposed of harmonics suppression with BPFs using on the  $\lambda_g/2$  open stubs.  
 (c) The simulation and measurement results for the proposed BPFs with harmonics suppression using on the  $\lambda_g/4$  short stubs.  
 (d) The simulation and measurement results for the proposed BPFs with harmonics suppression using on the  $\lambda_g/2$  open stubs.

고조파가 억압된 결과 파라미터를 나타낼 수 있었다. 새롭게 제안하여 구현된 여파기는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 통과대역 50 % 대역폭과 중심주파수 19 GHz에서 120 %의 저지대역을 갖는 고조파가 억제된 여파기를 EM 시뮬레이션을 사용하여 구현하였다<sup>[10]</sup>.

#### IV. 결 론

본 논문은 넓은 대역을 갖는 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형과  $\lambda_g/2$  개방형 광대역 스테브 대역통과 여파기에 관한 것으로서, 대역통과 여파기에서 출력되는 통과대역 이외의 불필요한 고조파들이 함께 출력 되는데, 이러한 고조파들을 억제하기 위해 광대역 대역저지 여파기를 구현하여 기존의 스테브 대역통과 여파기에 집

적화 함으로서 고조파를 억제 하였다. 여파기의 입출력 부분에 대역저지 여파기를 삽입 하였을 경우 여파기의 크기가 증가 되었으나, 전송선로 부분에 삽입하는 기법을 도입하면서 여파기의 전체크기가 증가되는 것을 방지하였다.

제안된 여파기는 5.8 GHz의 중심주파수에서 고조파가 억제된  $\lambda_g/4$  단락형 스테브 대역통과 여파기의 경우, 삽입손실 0.5 dB, 반사손실 14 dB의 측정 결과를 얻었으며, 고조파가 억제된  $\lambda_g/2$  개방형 스테브 여파기의 경우, 삽입손실 0.8 dB, 반사손실 14.4 dB의 측정결과를 얻었다. 또한, 공통적으로 통과대역의 대역폭은 50%, 고조파가 억제된 대역은 120 %의 대역폭을 갖고 있다. 지금까지의 스테브 대역통과 여파기는 광대역 및 협대역으로 구현하기 위해 많은 기술을 응용 하였지만 고조

파 억제를 위한 기술은 많이 제시 되지 않았다. 따라서 본 논문을 통하여 스텔브 여파기에서 발생하는 고조파를 억제하기 위해 광대역 대역저지 여파기를 사용 함으로서 보다 개선된 고조파가 억제된 광대역 대역통과 여파기를 구현 하였다.

따라서 지능형 교통 정보시스템(ITS)에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] David M. Pozar, *Microwave and RF Design of Wireless Systems*, John Wiley & Sons, 2001.

[2] J. Garcia-Garcia, F. Martin, Falcone, J. Bonache, I. Gil, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, M. Sorolla, and R. Marques, "Spurious pass band suppression in microstrip coupled line bandpass filters by means of split ring resonators", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 9, pp. 416-418, Sep. 2004.

[3] M.-Q. Lee, K.-K. Ryu, I.-B. Yom and S.-P. Lee, "Lowpass filter for spurious suppression", *Electronic letters* 28th February 2002 vol. 38, no. 5

[4] J.-T. Kuo, W.-H. Hsu, and W. T. Huang, "Parallel coupled microstrip filters with suppression of harmonic response", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, no. 10, pp. 383-385, Oct. 2002.

[5] Jia-Sheng Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.

[6] G. Mattaei, L. Young, and E. M. t. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, 1980.

[7] M. G. Lee, T. S. Yun, H. Nam, D. H. Shin, T.J.Baek, J.K.Rhee, and J.C. Lee , "Millimeter-wave GaAs Surface Micromachined Bandpass Filters Using the External Quality Factor", *Jpn. J. Appl. Phys*, vol. 45, no. 7, pp. 6014-6016, April 11. 2006.

[8] Jian-Kang Xiao, Sheng Zhang, You-jun Zhang, Wei-na Liu, Ying Li, "T-shaped Microstrip Resonator and its Design to Filter", in *Proc. Asia Pacific Microwave Conf.*, vol. 5, pp. 3293-3296, Dec. 2005.

[9] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2001.

[10] IE3D.ver. 12.0, *Zeland software Inc.* Fremont CA, 2004.

[11] Cédric Quendo, Eric Rius, Christian Person, MichelNey, "Integration of OptimizedFilters in a Bandpass Filter forImprovement", *IEEE Trans .Theory Tech.*, vol. 49, no. 12,pp. 2376-2383, Dec. 2001.

[12] Cédric Quendo, Christian Person, Eric Rius,Ney, "Integration of OptimizedFilters in a Bandpass Filter for Out-of-Band Improvement", *IEEE MTT-S.*, vol. 2, pp. 1309-1312, May. 2001.

[13] Sami Franssila, *Introduction to Micro Fabrication*, John Wiley & Sons, 2005.

저 자 소 개



최 영 구(정회원)  
 2001년 서울산업대학교  
 제어계측공학과 학사졸업.  
 2003년 경희대학교  
 전자교육 석사졸업.  
 2004년~현재 광운대학교  
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 초고주파 수동소자 및 RF 시스템 설계>



김 복 기(정회원)  
 1988년 광운대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 1991년 Univ of Texas at Austin  
 석사 졸업  
 1997년 Univ of Texas at Austin  
 박사 졸업

1998년 3월~현재 광운대학교 전자공학과 부교수  
 2006년 2월~현재 한국공학교육인증원 사무처장  
 <주관심분야 : RFIC, RF system, 공학교육인증>