

2차 고조파가 억제된 5.8 GHz 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기 설계

Design of a 5.8 GHz Broad Band-Pass Filter with Second of Harmonics Suppression Using the Open Stubs

최 영 구 · 김 복 기

Young-Gu Choi · Bok-Ki Kim

요 약

본 논문은 Z-변환 기술을 이용한 2차 고조파를 억제시킨 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하였다. 제안된 여파기는 주파수 선택적 결합 구조(FSCS)와 $\lambda_g/4$ 개방형 스텐브를 조합한 구조의 대역 저지 여파기를 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기에 집적화하여 제2 고조파를 억제하였고, 기존의 개방형 스텐브 여파기의 입력단과 출력단에 대역 저지 여파기(BSF)를 삽입할 경우 크기가 증가되었으나, 제안된 구조는 스텐브를 연결하는 인버터 위치를 스텐브들 사이에 집적화 하여 $18.7 \times 16.9 \text{ mm}^2$ 의 크기로 제작되어 BSF 삽입 이전보다 크기가 작아졌다. 제안된 여파기는 중심 주파수 5.8 GHz에서 대역폭이 95 %, 삽입 손실 0.6 dB, 반사 손실 14 dB의 측정 결과를 얻었으며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 유사하게 나타났다. 따라서 위성 통신의 X-밴드 및 지능형 교통 정보 시스템(ITS)의 여파기에 적용할 수 있다.

Abstract

In this paper, a broadband open stubs band pass filters which can suppress the second harmonics using Z-transform technique, is designed, fabricated and characterized. The proposed broadband filters integrate the band stop filter with the FSCS structure and $\lambda_g/4$ open stub in order to suppress the second harmonics. Due to insertion of BSF at input and output terminal, the size of the filter was increased in the conventional filter, however, in the proposed structure, the position of inverter that connects the stubs can be integrated between those stubs, thereby decreasing the size. So, it can be fabricated in the size of $18.7 \times 16.9 \text{ mm}^2$ which is smaller size than conventional one. The measured results of the proposed filters have center frequency of a 5.8 GHz with bandwidth of 95 %, insertion loss of 0.6 dB, return loss of 14 dB. The simulation results are consistent with measurement results. The filter is designed for X-band satellite communication and ITS applications.

Key words : Broad Band, Stub Band-Pass Filter, Z-transform, FSCS, Harmonic Suppression

I. 서 론

이동 및 위성 통신 시스템에서 원하는 대역을 통과시켜 주고 그 외의 대역은 저지시켜 주는 역할을

하므로서 원하는 정보를 선택하여 전달할 수 있는 대역 통과 여파기는 중요한 역할을 한다^[1].

여파기의 분류는 협대역과 광대역 여파기로 구분하는데, 적용 범위에 따라 선택적으로 사용하게 된

「이 논문은 2006년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.」

「본 연구는 2007년도 「서울시 산학연 협력사업」의 「나노IP/SoC설계기술혁신사업단」의 지원으로 이루어졌습니다.」

광운대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20070530-058

· 수정완료일자 : 2007년 9월 11일

다. 최근 들어 위성 및 이동 통신 시스템은 동영상, 음성 및 각종 데이터 정보의 양이 증가함에 따라 많은 양의 정보들을 전송할 수 있는 기술과 필요한 정보를 선택적으로 통과시켜 주고 그 밖의 불필요한 정보들은 저지시키는 광대역 통과 여파기의 기술이 발전하고 있다. 또한, 현대의 정보 통신 시스템에 사용되는 각종 데이터들은 통신 시스템을 통해 전달되며, 원하는 정보를 얻고자 하는 사람들에게 보다 편리하고, 만족할 수 있는 시스템이 필요할 것이다. 따라서 정보를 광대역으로 전송하고, 처리할 필요성이 대두되어 광대역 여파기가 필요하게 되었다. 이러한 여파기를 제안하기 위해 본 논문은 기존의 50% 대역폭을 갖는 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 통신 시스템에서 대용량의 데이터를 처리할 수 있는 새로운 형태의 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기로 개선하여 설계 및 제작하였다.

II. 제2 고조파가 억압된 광대역 여파기 설계 및 동작원리

일반적인 스텐브 대역 통과 여파기는 공진기로 동작하는 $\lambda_g/4$ 단락형 또는 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브들과 인버터로 동작하는 $\lambda_g/4$ 전송 선로로 구성되어 있다. 그런데 여파기의 스텐브 임피던스를 그대로 사용하여 광대역으로 설계하면, 스텐브 임피던스 값의 문제로 인해 실제 구현 및 제작이 어려운 단점을 갖게 된다^[2].

따라서, 본 논문은 임피던스 값이 구조적인 문제로 인해서 표현되기 어려운 경우, 원하는 결과를 표현하기 위해서 임피던스 값을 조정하는 Z-변환 기술을 사용하여 스텐브 부분을 구성하고 이를 통해서 광대역 여파기를 설계한 후, T-형태의 대역 저지 여파기를 구현할 때보다 넓은 대역 저지 여파기를 구현하기 위해 T-형태의 내부에 커플링 구조를 접목시켜 해당되는 선택된 주파수들을 결합시켜 원하는 주파수 영역까지 저지 대역으로 생성시켜 주는 주파수 선택적 결합 구조(FSCS: Frequency Selecting Coupling Structure)를 사용하여 광대역 대역 저지 여파기를 설계한 후 이것을 집적화시켜 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 제안 설계하였다.

그림 1은 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기

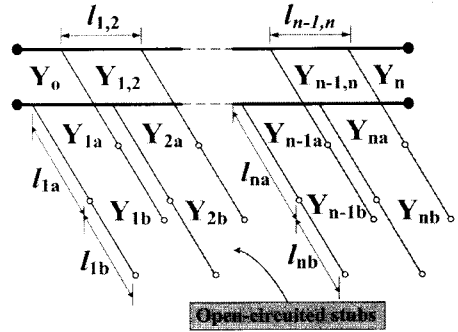


그림 1. $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역 통과 여파기
Fig. 1. $\lambda_g/2$ open stubs band-pass filter.

등가 회로이며, 이를 통해 식 (1)부터 식 (4)까지를 정의하였으며, 개방형 스텐브 대역 통과 여파기는 $\lambda_g/4$ 단락형 또는 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브로 구성되어 있다^[2].

본 논문의 등가 회로는 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브를 사용하고, 제안된 구조를 이용하여 설계하였다. $\lambda_g/4$ 전송 선로의 인버터값은 다음 식 (1)로 정의된다^[2].

$$\begin{aligned} \frac{J_{1,2}}{Y_0} &= g_0 \sqrt{\frac{2g_1}{g_2}}, & \frac{J_{n-1,n}}{Y_0} &= g_0 \sqrt{\frac{2g_n g_{n+1}}{g_0 g_{n-1}}} \\ \frac{J_{i,i+1}}{Y_0} &= \frac{2g_0 g_1}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, & & \text{for } i=2 \text{ to } n-1 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)의 g_i 는 low-pass prototype에서 주어지는 값이다^[2].

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\Delta}{2} \right) \quad (2)$$

식 (2)의 θ 는 기준 위상이고, Δ 는 대역폭이다. 기준 위상은 대역폭의 함수로써 기준 위상과 인버터 값에 의해 각각의 스텐브와 전송 선로의 어드미턴스 값과 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브의 어드미턴스 값은 식 (3)과 같이 정의된다^[3].

$$\begin{aligned} Y_1 &= Y_0 \left(N_{1,2} - \frac{J_{1,2}}{Y_0} \right), \\ Y_n &= Y_0 \left(N_{n-1,n} - \frac{J_{n-1,n}}{Y_0} \right), \\ Y_i &= Y_0 \left(N_{i-1,i} + N_{i,i+1} \frac{J_{i-1,i}}{Y_0} - \frac{J_{i,i+1}}{Y_0} \right) \\ & \text{(for } i=2 \text{ to } n-1) \end{aligned}$$

$$Y_{ia} = \frac{Y_i(a_i \tan^2 \theta - 1)}{(a_i + 1) \tan^2 \theta}$$

$$Y_{ib} = a_i Y_{ia}$$

$$a_i = \cot^2 \left(\frac{\pi f_{zi}}{2f_o} \right), \text{ (for } f_{zi} < f_i \text{)}$$

여기에서 식 (3)의 Y_i 는 스테르브 어드미턴스이며, a_i 는 상수이다. 스테르브를 연결시켜 주는 전송 선로의 어드미턴스 값은 식 (4)와 같이 정의된다^[2].

$$Y_{i,i+1} = Y_o \left(\frac{J_{i,i+1}}{Y_o} \right)$$

(for $i = 1$ to $n-1$)

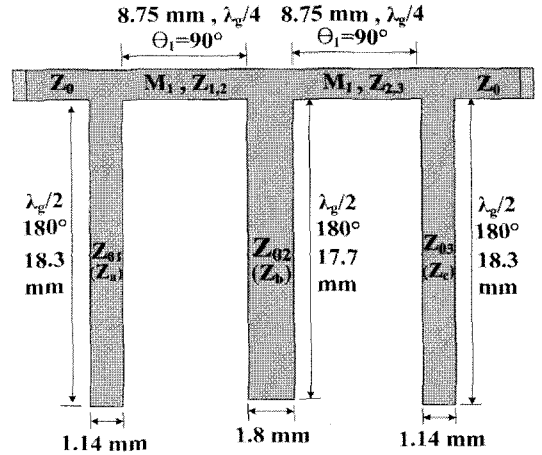
이러한 여파기는 구조적으로 20~60 %의 대역폭에서 동작이 가능하고, 넓은 대역을 얻기 위해서 스테르브 임피던스 값을 얻기 위한 식을 그대로 사용하여 광대역으로 설계하면, 표 1과 같이 3단 여파기의 스테르브 임피던스 값이 증가되어 실제 구현시 스테르브 넓이가 매우 가늘어지는 현상을 초래하기 때문에 시스템에 적용하기 어렵다는 단점을 갖게 된다. 따라서, 본 논문은 넓은 대역폭을 얻기 위해 스테르브 부분을 Z-변환 기술을 사용하여 구현 가능한 광대역 대역 통과 여파기를 제안하여 설계하였고, 광대역 여파기를 구현하기에 앞서 먼저 실험 대상의 기준 대역폭을 결정한 후, 광대역과 비교하기 위해 50 % 대역폭을 갖는 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역 통과 여파기를 제작후 측정하였다.

그림 2(a)는 식 (3), (4)를 이용하여 설계되어진 개방형 스테르브 대역 통과 여파기 구조의 형태이며, 그림 2(b)는 시뮬레이션 및 제작된 측정 결과이다. EM 시뮬레이션 및 실제 측정을 통해 설계된 개방형 스테르브 대역 통과 여파기는 표 2와 같이 제시하였고, 여파기를 95 %인 광대역으로 설계하면 임피던스 값의 문제로 인해 새로운 방법을 사용해야 한다.

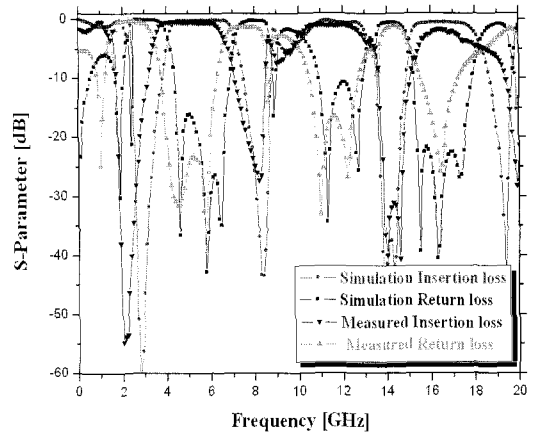
따라서, 본 논문은 임피던스 값의 문제를 해결하

표 1. 3단 여파기의 스테르브 임피던스 값
Table 1. Stub-Impedance values of 3-stage filter.

대역폭 [%]	Z_{o1} [Ω]	Z_{o2} [Ω]	Z_{o3} [Ω]
50 %	81.1	44.4	81.1
95 %	1,702.8	971.3	1,702.8



(a) $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역 통과 여파기
(a) $\lambda_g/2$ open stubs band-pass filter.



(b) 시뮬레이션 및 측정 결과
(b) The simulation and measurement results.

그림 2. $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역 통과 여파기(대역폭: 50 %)

Fig. 2. $\lambda_g/2$ open stubs band-pass filter(FBW: 50 %).

표 2. $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역 통과 여파기에 대한 결과

Table 2. Results of a $\lambda_g/2$ open stubs band-pass filter.

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	결과 파라미터		
		시뮬레이션	측정	
5.8	50	삽입 손실[dB]	0.2	0.5
		반사 손실[dB]	16	23

기 위해 Z-변환 기술을 사용하여 기존의 50 % 대역

폭을 갖는 여파기를 95 %의 대역폭을 갖는 광대역 대역 통과 여파기로 개선함으로써 통과 대역폭을 증가시키고, 통과 대역 외에 발생하는 제2차 고조파를 억제하였다. 스테브 여파기는 구조적인 특성 때문에 통과 대역 외의 저지 대역에서 그림 2(b)와 같이 불필요한 성분인 고조파가 주기적으로 발생한다^[2]. 그러므로 통과 대역 외의 인접한 부분에서 발생할 수 있는 2차 고조파를 억제할 필요성이 요구되어, 제안된 여파기는 대역폭을 증가시키고, 2차 고조파 성분도 억압시켰다. 우선 기준이 되는 50 %의 대역폭을 갖는 스테브 대역 통과 여파기를 Z-변환 기술을 접목시켜서 95 %의 대역폭을 갖는 광대역 대역 통과 여파기를 그림 3과 같이 설계하였다.

그림 3의 여파기는 스테브 부분에 대해 Z-변환 기술을 적용하였으며, 각 스테브 길이는 기존의 방식과 같은 $\lambda_g/2$ 의 길이를 갖고 있으나, Z-변환을 이용하기 때문에 그림 4와 같이 길이를 각각 90°로 나누어 첫 번째의 스테브 부분은 높은 임피던스 Z_h 를 갖고, 두 번째의 스테브는 낮은 임피던스 Z_l 을 갖도록 설계하였으며, 스테브 전체 길이는 $\lambda_g/2$ 로 구성되었으며, Z-변환에 이용되는 체비세프(Chebyshev) 다항식 전달함수는 식 (5)와 같이 표현되어진다^{[2],[4],[5]}.

$$|S_{21}(\theta)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 F_N^2(\theta)} \quad (5)$$

여기에서 N 은 여파기의 차수, ϵ 은 통과 대역 리플 계수, θ 는 여파기의 전기적인 길이를 나타낸다. $F_N(\theta)$ 는 여파기 위상 함수이고, 체비세프 다항식에서 전기적인 길이에 해당하는 주파수 응답의 지수 함수로서 여파기의 특징을 나타내며, 식 (6)에서 표현되어진다^[2].

$$F_N(\theta) = \frac{\left(1 + \sqrt{1 - x_c^2}\right) T_{2n-1}\left(\frac{x}{x_c}\right) - \left(1 - \sqrt{1 - x_c^2}\right) T_{2n-3}\left(\frac{x}{x_c}\right)}{2 \sin(\theta)} \quad (6)$$

여기서, $x = \cos \theta$, $x_c = \cos \theta_c$, 그리고 θ_c 는 차단주파수에서의 전기적인 길이, $T_n(x) = \cos(n \cos^{-1} x)$ 는 여파기의 첫 번째 차수의 체비세프 함수이다. Z-변환을 사용한 스테브 길이와 변환 함수로부터 얻어지는

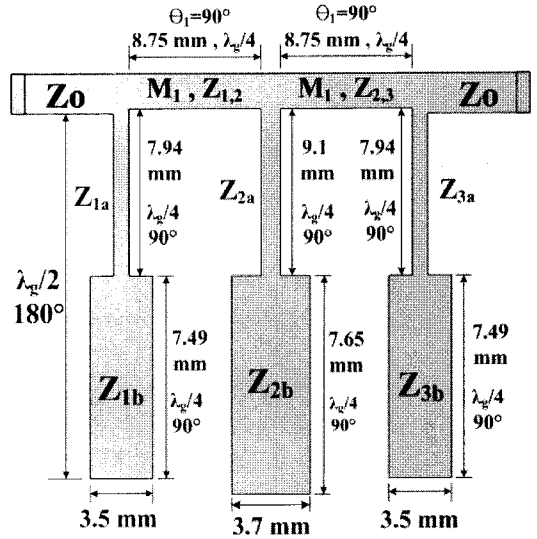


그림 3. 새로운 형태의 광대역 개방형 스테브 대역 통과 여파기($Z_{1,2}=37.3 [\Omega]$; $Z_{2,3}=37.3 [\Omega]$; $Z_{1a}=132.4 [\Omega]$; $Z_{1b}=85.2 [\Omega]$; $Z_{2a}=152 [\Omega]$; $Z_{2b}=34.5 [\Omega]$; $Z_{3a}=132.4 [\Omega]$; $Z_{3b}=85.2 [\Omega]$).

Fig. 3. A new type of a broad open stubs band-pass filter($Z_{1,2}=37.3 [\Omega]$, $Z_{2,3}=37.3 [\Omega]$, $Z_{1a}=132.4 [\Omega]$, $Z_{1b}=85.2 [\Omega]$, $Z_{2a}=152 [\Omega]$, $Z_{2b}=34.5 [\Omega]$, $Z_{3a}=132.4 [\Omega]$, $Z_{3b}=85.2 [\Omega]$).

Z-도메인은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$j \tan \theta = (1 - z^{-1}) / (1 + z^{-1}) \quad (z = e^{j\theta})$$

$$F(z) = \sum_{j=0}^{3N-2} b_j z^{-j} / \sum_{j=0}^{3N-2} a_j z^{-j} \quad (7)$$

z 는 Z-변환에 대한 기본 모드인 임피던스이다. 광대역 여파기를 설계하기 위해 기존의 여파기 등가 회로를 그림 4와 같이 Z-변환을 적용하였고, 스테브 길이 $\lambda_g/2$ 를 각각 $\lambda_g/4$ 로 나누어 구분하였을 때, 첫 번째의 Z_{1a} 에 기인한 $\lambda_g/4$ 스테브는 높은 임피던스 Z_h 값을 갖고, 두 번째의 Z_{1b} 에 기인한 $\lambda_g/4$ 의 스테브는 낮은 임피던스 Z_l 값을 갖는다.

또한, 스테브 길이는 $\lambda_g/2$ 의 길이를 가지고 있으며, 스테브가 서로 다른 임피던스 값을 갖고 있어 스테브 넓이가 서로 다르다. 만일 기존의 스테브 임피던스 값을 나타내는 식 (3)을 적용하면, 스테브 넓이가 매우 좁아져서 제작하기가 어려워지는 문제점이 발생하기 때문에 Z-변환 기법을 이용하고, 식 (8)을 적용하여 서로 다른 임피던스 값을 유도하여 이를

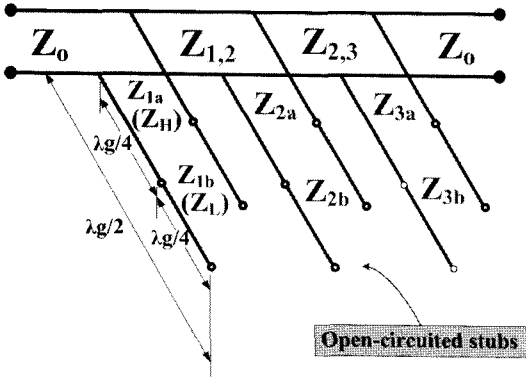


그림 4. 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기 Z-변환 등가 회로
 Fig. 4. Equivalent circuit of a broadband open stubs band-pass filter using Z-transform.

통해 얻어진 임피던스 값을 병합한 결과, 보다 넓은 대역으로 조절할 수 있는 광대역 특성을 얻게 되었다.

$$Z_{1a} = (1 + \tan^2 \theta_1) Z_1 \quad (8-1)$$

$$Z_{1b} = Z_{1a} \tan^2 \theta_1 \quad (8-2)$$

여기에서 Z_{1a} 와 Z_{1b} 는 Z-변환을 통해 얻어진 임피던스로서 여파기에 스텐브 값을 요구하는 임피던스이고, Z_1 은 식 (3)과 같이 기존의 스텐브 여파기의 스텐브 값에 대한 임피던스이다.

식 (8-1), (8-2)를 통해 설계되어진 여파기는 그림 3과 같이 스텐브가 대칭(symmetric) 구조로서 스텐브 길이의 변화는 없고, 임피던스 값이 서로 다른 값으로 변화하였다. 이를 통해 얻어진 제안된 여파기는 3단으로 구성되었다.

2.1 주파수 선택적 구조를 이용한 광대역 대역 저지 여파기

광대역 대역 통과 여파기에서 발생하는 고조파를 제거하기 위해서는 대역 저지 여파기를 설계하여 대역 통과 여파기에 삽입할 필요가 있고, 이러한 과정을 위해서 대역 저지 여파기를 구현해야 하며, 성능이 우수하고 95%의 대역을 갖는 고조파를 억압하기 위해 주파수 선택적 결합 구조(FSCS)를 갖는 광대역 대역 저지 여파기를 고찰하여 설계를 한다.

그림 5의 대역 저지 여파기는 커플링 구조로 되어

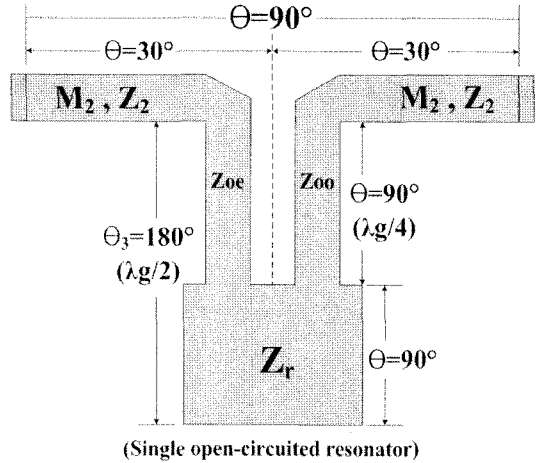


그림 5. FSCS를 갖는 광대역 대역 저지 여파기
 Fig. 5. A broadband band-stop filter with FSCS.

진 $\lambda_g/4$ 길이의 주파수 선택적 결합 구조의 병렬 스텐브와 병렬 개방형 스텐브의 조합으로 구성되어진다^[6].

그림 6의 주파수 선택적 결합 구조(FSCS) 대역 저지 여파기는 무손실의 TEM 모드로 해석되는 등가 회로로 구성되었으며, 우수(even)와 기수(odd) 모드로 여기되어진다^[6].

그림 7(a)의 주파수 선택적 결합 구조의 대역 저지 여파기 등가 회로에서 $\lambda_g/4$ 개방형 스텐브 Z_r 는 인덕터(L)와 캐패시터(C)가 직렬형으로 구성되어 있고, $\lambda_g/4$ 길이와 병합되었을 때 중심 주파수로부터 원하는 저지 대역을 결정하는 등가 회로로 구성되어진다.

그림 7(b)의 등가 회로는 전체 길이가 $\lambda_g/2$ 이다. 그림 7(a)의 등가 회로에서 인덕터(L)는 식 (9)로 표

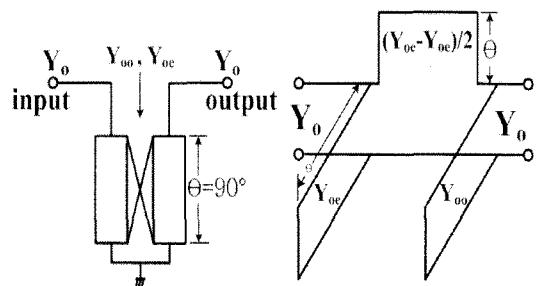
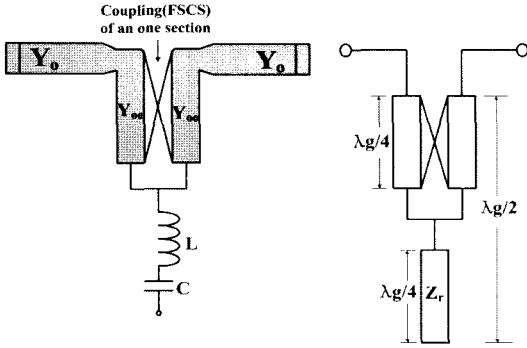


그림 6. FSCS 커플링 구조
 Fig. 6. FSCS coupling structure.



(a) L, C 등가 회로로 구성된 개방형 스텐브
(b) FSCS로 조합된 스텐브와 개방형 스텐브

(a) open stub structure with L and C equivalent circuit
(b) Stub with FSCS and open stub

그림 7. FSCS 광대역 대역 저지 여파기의 개방형 스텐브에 대한 등가 회로

Fig. 7. The equivalent circuit of FSCS band-stop filter with open stub.

현된다.

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

$$Z_L = \frac{jZ_r \pi}{4} \left(\frac{-w}{\omega_o} - \frac{w_o}{\omega} \right) \approx \pm \frac{jZ_r \pi}{2} \frac{\Delta \omega}{\omega_o} \quad (9)$$

따라서 주파수 선택적 결합 구조(FSCS) 대역 저지 여파기의 전달계수 S_{21} 은 식 (10)과 같이 표현된다^[2].

$$S_{21} = \frac{\Gamma_e - \Gamma_o}{2} = \frac{Y_{ino}}{Y_o + Y_{ino}} - \frac{Y_{ime}}{Y_o + Y_{ime}} \quad (10)$$

여기에서 Γ_e 와 Γ_o 는 우수 및 기수 모드의 반사계수이고, Y_{ime} 와 Y_{ino} 는 입력 어드미턴스에서 여기되는 우수 및 기수 모드이다. 또한, Y_o 는 여파기의 특성 어드미턴스이다.

그림 8은 전송 영점(transmission zero)을 주어서 우수한 대역 저지 응답 특성을 나타내는 주파수 선택적 결합 구조(FSCS) 대역 저지 여파기의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.

주파수 선택적 결합 구조(FSCS)에 기인되는 전송 영점은 식 (10)과 같이 표현된다.

$$Y_o \cot \theta = Y_{oe} \cot \theta \quad (11)$$

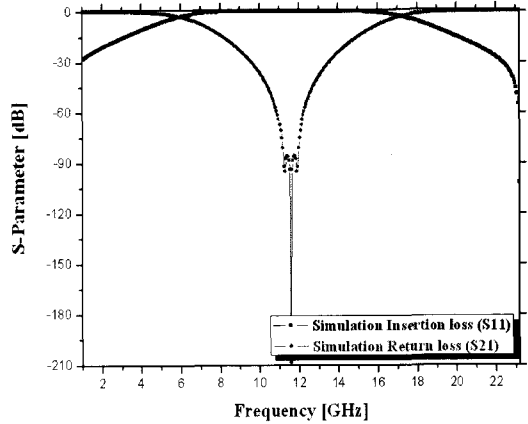


그림 8. FSCS 광대역 대역 저지 여파기의 시뮬레이션 응답 특성 결과

Fig. 8. The simulation result of FSCS broadband band-stop filter.

여기에서 Y_{oe} 와 Y_{oo} 는 주파수 선택적 결합 구조(FSCS)의 어드미턴스에서 여기되는 우수 및 기수 모드이다. 또한, 우수 및 기수 모드에서 여기되는 FSCS 대역 저지 여파기의 입력 어드미턴스는 식 (12)와 같이 표현된다.

$$Y_{ime} = Y_{oe} \frac{Y_{Le} + jY_{oe} \tan \theta}{Y_{oe} + jY_{Le} \tan \theta} \quad (12-a)$$

$$Y_{ino} = -jY_{oo} \cot \theta \quad (12-b)$$

여기에서 Y_{ino} 는 입력 어드미턴스에서 여기되는 우수 모드이며, Y_{ime} 는 입력 어드미턴스에서 여기되는 기수 모드이다. 여파기 부하에 여기되는 어드미턴스 (Y_{Le})는 식 (13)과 같이 표현된다.

$$Y_{Le} = \frac{1}{Z_{Le}} = \frac{1}{(2Z_L)} = \frac{jY_r \tan \theta}{2} \quad (13)$$

식 (12), (13)는 그림 5와 그림 6에 해당하는 입력 부의 첫 번째 부분에 나타나는 커플링 구조로서, 커플링 구조 입력 어드미턴스의 우수 및 기수 모드이다.

2-2 제안된 고조파 억제용 광대역 여파기 설계 및 측정 결과

스텐브를 이용한 광대역 대역 통과 여파기는 기존의 여파기와 같이 고조파가 정수배로 발생하는 단점을 갖고 있다. 본 논문은 이러한 광대역 여파기가

갖고 있는 고조파 성분을 충분히 억제하기 위해 광대역 저지 여파기를 직접화 한 후, 새로운 구조의 여파기를 구현하였다.

새로운 구조를 구현하기 위해 집적화 방법을 제안하였으며, 그림 5의 대역 저지 여파기는 광대역 저지 응답 특성을 나타내기 위해 타이트(tight) 커플링으로 이루어져 있고, 커플링 넓이에 해당되는 갭(gap)이 줄어들어서 대역폭이 넓어진다.

기존의 스테브 대역 통과 여파기에서 발생하는 고조파를 억제하기 위해서는 대역 저지 여파기를 직접화 시키는 기술이 필요로 하는데, 스테브와 스테브 사이에 연결되는 전송 선로에 광대역 대역 저지 여파기를 삽입하여, 통과 대역 외에서 발생하는 제 2 고조파를 억압할 수 있는 개선된 광대역 대역 통과 여파기를 설계할 필요가 있다. 따라서 그림 3과 같이 θ_1 , M_1 의 함수를 갖는 전송 선로 위치에 대역 저지 여파기를 그림 9와 같이 삽입한다. 전송 선로의 전기적인 길이는 $90^\circ (\lambda_g/4)$ 로 이루어져 있고, 그림 5와 같이 대역 저지 여파기의 입출력의 전기적인 길이 θ_2 가 90° 일 필요가 있다. 그러므로 대역 저지 여파기의 입출력 전체의 길이 θ_2 가 90° 처럼 동작되기 위해서 그림 5와 같이 입출력 길이의 중심에서 1/2로 나누면 θ_2 의 길이가 30° 로 취해져야 하고, 전체 길이는 90° 가 되고, θ_3 는 180° 이므로 대역 저지 여파기로서 동작이 되며, 동시에 고조파를 억압할 수

있다.

따라서 대역 저지 여파기의 M_1 과 M_2 는 식 (14), (15)와 같이 매트릭스 행렬로 해석할 수 있다.

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_1 \sin \theta_1 \\ jY_1 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$\therefore M_1(\theta_1 = 90^\circ) = \begin{bmatrix} 0 & jZ_1 \\ jY_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기에서 M_1 은 그림 3과 같이 기존의 스테브 대역 통과 여파기의 전송 선로 Z_1 이 90° 이므로 매트릭스 행렬로 표현된다.

$$M_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & jZ_2 \sin \theta_2 \\ jY_2 \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기에서 M_2 는 그림 9와 같이 각각의 단위로 되어진 전송 선로(M_2)에 대한 매트릭스 행렬이다. 그림 9의 전송 선로 Z_1 은 식 (4)를 사용하여 임피던스 값을 얻을 수 있지만 그림 5, 그림 9의 Z_2 에 대한 임피던스 값을 얻기 위해서 식 (16)의 수식을 사용하였다.

$$Z_2 = Z_1 \cot \theta_2 @ Z_1 = 37.3 [\Omega] \quad (16)$$

이러한 방법을 이용하여 광대역 대역 저지 여파기를 광대역 대역 통과 여파기에 집적화 하여 대역 저지 여파기에서 제2 고조파를 억압할 수 있으며, 제안된 여파기는 그림 10과 같이 설계되었다.

따라서 Z-변환기법을 이용하여 광대역 통과 여파기를 설계하고, 주파수 선택적 결합 구조(FSCS)를 이용한 광대역 저지 여파기를 설계하여 집적화함으로써 제2차 고조파를 억제한 특징을 나타낸다.

제안된 여파기는 IE3D 시뮬레이션을 통해 결과값을 확인하고, 제작 후 측정을 통하여 얻어진 결과는 그림 11과 같이 나타났으며, 대역폭 95%, 중심 주파수 5.8 GHz에서 시뮬레이션 및 측정 결과에 대한 결과는 표 3에 나타내었다^[7].

그림 11은 중심 주파수 5.8 GHz에서 통과 대역 외에서 발생하는 제2 고조파를 억제하여 보다 넓은 저지 대역을 보여주고 있다.

따라서 제안된 여파기는 반파장 개방형 스테브 대역 통과 여파기에 관한 것으로서, 기존의 스테브 대역 통과 여파기가 50%의 대역폭 특성을 가지고 있었으나, Z-변환 기술을 이용하여 광대역 대역 통

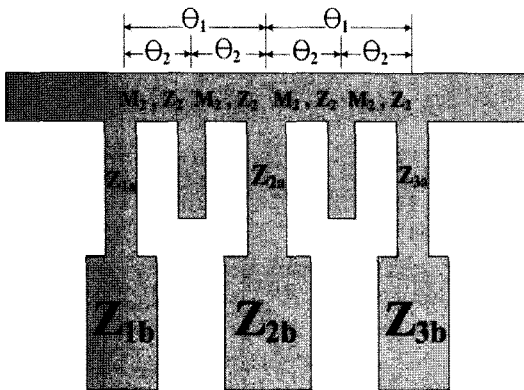


그림 9. FSCS 광대역 대역 저지 여파기를 삽입한 95% 대역폭을 갖는 광대역 대역 통과 여파기의 직접화 과정

Fig. 9. Integrated FSCS broadband band-stop filter with 95% bandwidth band-pass filter.

표 3. 제안된 여파기의 설계 및 측정 결과
Table 3. Simulations and measurement results of proposed filter design.

구 분	삽입 손실 [dB]	반사 손실 [dB]	고조파 억압 특성 S_{21} [dB]
시뮬레이션	0.2	24	15
측정 결과	0.6	14	18

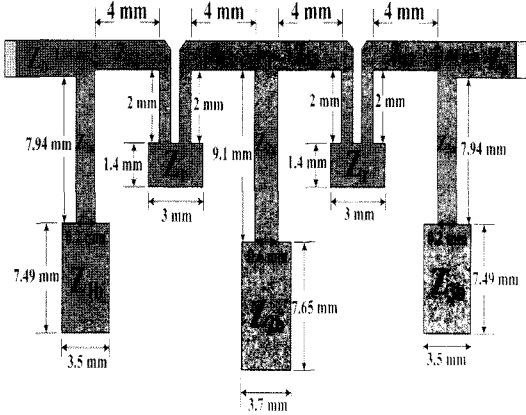


그림 10. 제안된 고조파 억제용 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기

Fig. 10. A broadband open-stub bandpass filter for the proposed harmonic suppression.

과 여파기를 구현하고, 광대역 여파기의 출력부에서 발생하는 고조파를 억압하기 위해 주파수 선택적 결합 구조(FSCS)의 광대역 대역 저지 여파기를 구현한 후 대역 저지 여파기를 광대역 대역 통과 여파기에 삽입하여 95 %의 광대역으로 변환하여 제2차 고조파를 충분히 억제하였다. 따라서 본 논문은 고조파가 억제된 광대역 대역 통과 여파기를 설계했다는 특징을 갖고 있다.

그러나 여파기는^{[8],[9]} 전송 선로 부분에 저역 통과 여파기를 구현하여 삽입하면, 낮은 주파수 대역에서 고조파 억압 능력은 개선되지만, 5.8 GHz의 높은 주파수에서 구현하기 어려운 단점을 가지고 있다. 또한, 저역 통과 여파기의 구조적 특성상 여파기의 전체 면적이 넓어지는 단점을 가지고 있으며, DGS (Defected Ground Structure)로 구현하면 크기의 증가는 감소시킬 수 있으나 제작시 정밀도와 구현하는데는 문제점을 나타내었다.

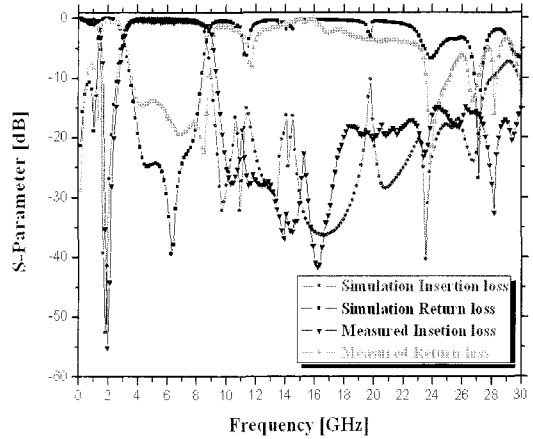


그림 11. 새로운 구조의 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과(대역폭: 95 %)

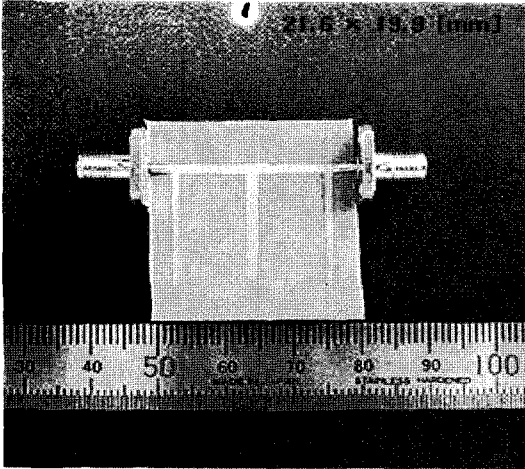
Fig. 11. Simulation and measurement results for a new type of a broadband open stub band-pass filter(FBW: 95 %).

그러나 제안된 여파기는 이러한 문제점을 개선하여 평면 구조인 대역 저지 여파기를 구현하여 광대역 대역 통과 여파기에 집적화 하였다는 특징을 가지고, 여파기^{[8],[9]}보다 대역폭이 넓어지면서 고조파는 억제되었다는 특징을 표 4에 나타내었다.

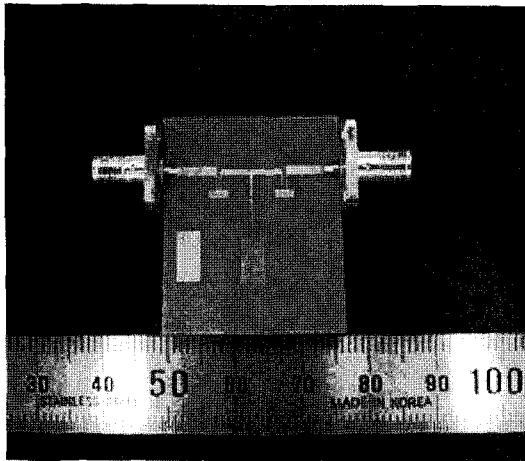
그림 12(a)는 기존의 개방형 스텐브 대역 통과 여파기의 제작된 사진이며, 그림 12(b)는 제안된 여파기로서 제2차 고조파를 억제한 새로운 구조의 개방형 광대역 스텐브 대역 통과 여파기의 제작된 사진으로 크기는 18.7×16.9 mm²이다. 그림 12에서 보여주는 여파기는 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는 테

표 4. 기존의 여파기와 제안된 여파기의 차이점
Table 4. Differences between conventional and proposed filter.

구 분	기존의 여파기		제안한 여파기
	[8]	[9]	
대역 폭 [%]	40		95
주파수 [GHz]	2.5	1	5.8
고조파 억압 적용 기술	저역 통과 여파기 삽입		광대역 대역 저지 여파기 삽입
특 징	저주파수에서 동작		저주파수 및 고주파수에서 동작



(a) 개방형 스텐브 대역 통과 여파기
(a) A open stub band-pass filter



(b) 새로운 구조의 고조파 억제용 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기
(b) A new type of open stub broadband band-pass filter with harmonic suppression

그림 12. 제작된 개방형 스텐브 대역 통과 여파기
Fig. 12. A photograph of fabricated open stub band-pass filter.

프론 기관 위에 마이크로 스트립 선로를 사용하여 실제 제작된 개방형 스텐브 대역 통과 여파기와 고조파 억제용 광대역 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 함께 보여 주고 있다^[10].

III. 결 론

본 논문은 광대역 통과 여파기에 관한 것으로서,

기존의 개방형 스텐브 대역 통과 여파기를 광대역으로 설계하기 위해 Z-변환 기술을 이용하였다. 또한 개방형 스텐브 및 광대역 스텐브 여파기는 주기적으로 발생하는 불필요한 고조파가 다수 발생하는데, 이러한 제2 고조파를 억제시킴으로써 억제된 저지 대역이 넓은 특성을 갖는 광대역 여파기를 설계하였다.

제작된 여파기는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 대역폭이 95 %, 삽입 손실 0.6 dB, 반사 손실 14 dB의 측정 결과를 얻었다. 최근의 스텐브 대역 통과 여파기는 일반적으로 넓은 대역에서 사용되었지만, Z-변환 기술을 사용하여 광대역 여파기에서 발생하는 고조파를 억제함으로써 보다 개선된 광대역 대역 통과 여파기로 구현을 하였다. 따라서, 위성 통신의 X-밴드 혹은 지능형 교통 정보 시스템(ITS)에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.
- [3] 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 microma chined bandpass filters using the external quality factor", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 45, no. 7, pp. 6014-6016, Apr. 2006.
- [4] Lin-Chuan Tsai, Ching-Wen Hsue, "Dual-band band-pass filter using equal-length coupled-serial-shunted lines and Z-transform technique", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, no. 4, pp. 1111-1117, Apr. 2004.
- [5] Da-Chiang Chang, Ching-Wen Hsue, "Design and implementation of filters using transfer function in the Z-domain", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 5, pp. 979-985, May 2001.
- [6] G. Mattaei, L. Young, and E. M. t. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, 1980.
- [7] IE3D. ver. 12.0, *Zeland software Inc.* Fremont CA,

2004.

[8] Cédric Quendo, Eric Rius, Christian Person, and Michel Ney, "Integration of optimized low-pass filters in a bandpass filter for out-of-band improvement", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 12, pp. 2376-2383, Dec. 2001.

[9] Cédric Quendo, Christian Person, Eric Rius, and Michel Ney, "Integration of optimized low-pass filters in a bandpass filter for out-of-band improvement", *IEEE MTT-S*, vol. 2, pp. 1309-1312, May 2001.

[10] S. Franssila, *Micro Fabrication*, John Wiley & Sons, 2004.

최 영 구



및 RF 시스템 설계

2001년 2월: 서울산업대학교 제어
계측공학과 (공학사)
2003년 8월: 경희대학교 전자교육
학과 (공학석사)
2004년 8월~현재: 광운대학교 전
자공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 수동소자

김 복 기



자공학과 부교수

1988년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학사)
1991년 5월: Univ of Texas at Austin
(공학석사)
1997년12월: Univ of Texas at Austin
(공학박사)
1998년 3월~현재: 광운대학교 전

2006년 2월~현재: 한국공학교육인증원 사무처장
[주 관심분야] RFIC, RF System, 공학교육인증