

저지대역의 중첩을 이용한 캐스캐이드 저역통과 여파기의 설계

Design of Cascaded Lowpass Filter using Combination of Stopbands

김경훈 · 김상인 · 박익모 · 임한조

Kyung-Hoon Kim · Sang-In Kim · Ikmo Park · H. Lim

요 약

본 논문에서는 급전면의 개방스터브와 접지면의 슬롯으로 구성되어 있는 초광대역의 저지대역을 갖는 저역통과 여파기 단위 구조를 캐스캐이드한 저역통과 여파기를 설계하였다. 초광대역의 저지대역을 갖는 저역통과 여파기 단위 구조는 급전면 개방 스텐브에 의해 통과대역 특성을 결정하는 여파기 구조와 이러한 여파기의 dual 구조로 접지면 슬롯에 의해 통과대역 특성을 결정하는 여파기 구조가 있으며, 각각의 단위구조를 캐스캐이드함으로써 단일 여파기보다 더욱 향상된 저지대역과 skirt 특성을 얻을 수 있었다. 개방 스텐브에 의해 통과대역 특성이 결정되는 구조와 dual 구조의 캐스캐이드 여파기는 각각 1.035 GHz와 1.286 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 저지대역은 두 구조 모두 -20 dB 기준으로 20 GHz 이상의 광대역을 이루었다.

Abstract

In this paper, we designed a cascaded microstrip lowpass filter using the lowpass filters previously proposed. The previously proposed lowpass filters have a ultra-wide stopband and prominent cutoff sharpness using the combined characteristics of slot and microstrip open stub, respectively, and they are categorized into 2 types by the method that determining their passband characteristics. The first type is determined its passband characteristics by open stub characteristics and the second is by slot characteristics. By cascading these structures with impedance adjustment of each element, the deeper out-of-band rejection and the sharper skirt response were achieved. The fabricated cascaded lowpass filters have -3 dB cutoff frequencies at 1.035 GHz and 1.286 GHz respectively and -20 dB stopband is over 20 GHz for both structures.

Key words : Microstrip Lowpass Filter, Coupled Line, Ultra-Wide Stopband, Cascade Structure

I. 서 론

오늘날 무선 통신은 일상 생활의 한 부분이 되어 가고 있으며 하루가 다르게 발전하고 있다. 이에 따라 무선통신 시스템의 우수한 특성과 더불어 소형화 및 집적화가 점점 더 요구되고 있다. 이러한 무선 통신 시스템에서 여파기는 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중 하나이다. 특히 저역통과 여파기는 시스템의 front-end 단에서 신호의 왜곡과 간섭을 줄

이고 스퓨리어스(spurious)나 하모닉(harmonic)과 같은 불필요한 성분들을 제거함으로써 시스템의 성능을 극대화하는 중요한 요소이다^{[1]-[5]}. 일반적으로 저역통과 여파기는 병렬 스텐브나 스텐브 임피던스를 이용하여 구현한다^[3]. 그러나 이러한 방법으로 구현한 여파기들은 협소한 저지대역과 완만한 skirt 특성을 갖는다는 단점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위해서는 여파기의 단수를 증가시켜야 하기 때문에 크기가 커지는 또 다른 단점을 가지게 된다. 기존 방법의

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20040213-018

· 수정완료일자 : 2004년 6월 23일

단점들을 극복하기 위해서 현재에는 스텝 임피던스 공진기(SIR: Stepped Impedance Resonator)를 이용한 헤어핀(hairpin) 여파기에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 헤어핀(Hairpin) 여파기는 두 개방 스테브 사이의 커플링을 이용하여 단위 구조로 비교적 우수한 skirt 특성을 얻을 수 있다^[6]. 그러나 기존 방법과 마찬가지로 저지대역이 협소하다는 단점을 가지고 있으며 이러한 협소한 저지대역의 단점을 해결하기 위하여 최근에는 서로 다른 차단 주파수를 갖는 헤어핀 여파기를 캐스캐이드하여 저지대역을 넓히려는 연구도 진행되었다^{[7],[8]}. 그러나 저지대역내에 다수의 공진극(resonant peak)이 발생하며 여파기 단(stage)의 수가 증가할수록 통과대역에서의 손실이 증가한다는 단점을 가지고 있다.

최근에 접지면과 급전면에 각각 슬롯과 개방 스테브를 형성하여 매우 넓은 저지대역과 우수한 cutoff 특성을 갖는 여파기가 제안되었다^{[9],[10]}. 슬롯과 개방 스테브의 길이를 조절하고 서로의 저지대역을 결합하여 매우 넓은 저지대역을 형성하였고 개방 스테브 또는 슬롯 사이의 커플링을 이용하여 우수한 skirt 특성을 얻었다. 본 논문에서는 이러한 여파기의 단위 구조를 캐스캐이드(cascade)한 저역통과 여파기를 설계하였다. 일반적으로 단위 여파기를 캐스캐이드 할 경우 더욱 깊은 저지대역 특성과 더욱 급격한 skirt 특성을 얻을 수 있기 때문에 여파기에 있어 캐스캐이드 구조의 설계는 필수적이라 할 수 있다. 그러나 단위 여파기를 단순히 특정 간격으로 연결할 경우 통과대역에서 반사손실이 증가하여 특성이 악화된다. 이는 여파기 단(stage)의 수가 증가함에 따라 입출력단에서 임피던스 정합이 되지 않기 때문이다. 본 논문에서 사용한 2 종류의 단위 여파기는 각각 개방 스테브와 슬롯으로 인해 발생하는 첫 번째 저지대역 특성에 따라 통과대역 특성이 결정되기 때문에 각 단의 임피던스를 조절함으로써 통과대역 특성을 최적화할 수 있다. 따라서 단위 여파기를 첫 번째 저지대역 중심 주파수의 $\lambda_g/2$ 간격으로 캐스캐이드한 후 각 단의 임피던스를 저역통과 여파기의 Chebyshev 프로토타입(prototype)에 따라 조절하여 우수한 통과대역 특성을 얻을 수 있었다^[3].

II. Cascade 여파기의 설계

최근 급전면에 $\lambda_g/4$ 의 길이를 갖는 개방 스테브를 $\lambda_g/2$ 간격으로 배열하고, 접지면에 동일한 방법으로 슬롯을 형성하여 초광대역의 저지대역과 우수한 skirt 특성을 갖는 2 종류의 여파기가 제안되었다^{[9],[10]}. 급전면과 접지면에 형성된 각 구조는 홀수배를 주기로 감쇄극을 형성하기 때문에 각 구조의 길이를 조절하여 서로의 통과대역을 차단할 수 있는 위치에 감쇄극을 형성함으로써 매우 넓은 저지대역을 형성하였다. 이러한 초광대역 여파기의 첫 번째 구조(구조 1)는 급전면 개방 스테브에 의한 감쇄극이 먼저 형성되어 여파기의 통과대역 특성을 결정하며 두 개방 스테브 사이의 커플링을 이용하여 우수한 skirt 특성을 얻었다^[9]. 또한 두 번째 구조(구조 2)는 첫 번째 구조와는 달리 접지면 슬롯에 의한 감쇄극이 먼저 발생되어 통과대역 특성을 결정하며 접지면 두 슬롯 사이의 커플링을 이용하여 더욱 우수한 skirt 특성을 얻을 수 있었다^[10]. 본 논문에서는 이러한 여파기들을 캐스캐이드 함으로써 매우 넓으면서도 깊은 저지대역 특성과 이상적인 여파기에 가까운 skirt 특성을 얻을 수 있는 저역통과 여파기를 설계하였다. 여파기의 특성을 고찰하기 위하여 두께 $h=0.635$ mm이며 비유전율 $\epsilon_r=10.2$ 인 기판(RT Duroid 6010)을 사용하였으며 MoM 방식을 둔 상용 시뮬레이터인 Ansoft사의 Ensemble을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

일반적으로 저역통과 여파기를 캐스캐이드할 경우 두 단위 여파기 사이의 간격은 저지대역 중심 주파수의 $\lambda_g/2$ 혹은 $\lambda_g/4$ 의 길이를 갖는 전송선으로 연결한다. 그러나 단순히 두 단위 여파기를 50 Ω 의 특성 임피던스를 갖는 전송선을 사용하여 특정 간격으로 배열할 경우 저지대역 특성은 개선할 수 있지만 통과대역에서 높은 삽입손실 등으로 인하여 특성이 악화된다. 또한 높은 반사손실로 인하여 차단 주파수가 증가하는 단점도 발생한다. 본 논문에서는 이러한 단점들을 해결하기 위해서 저역통과 여파기의 프로토타입을 이용하여 각 단의 임피던스를 조절함으로써 최적화된 특성을 얻을 수 있었다. 그림 1에 초광대역 여파기의 첫 번째 구조(구조 1)를 단위 구조로 하여 최적화된 캐스캐이드 여파기의 구조를 나타내었다.

첫 번째 구조(구조 1)에서 전체 여파기의 차단 주

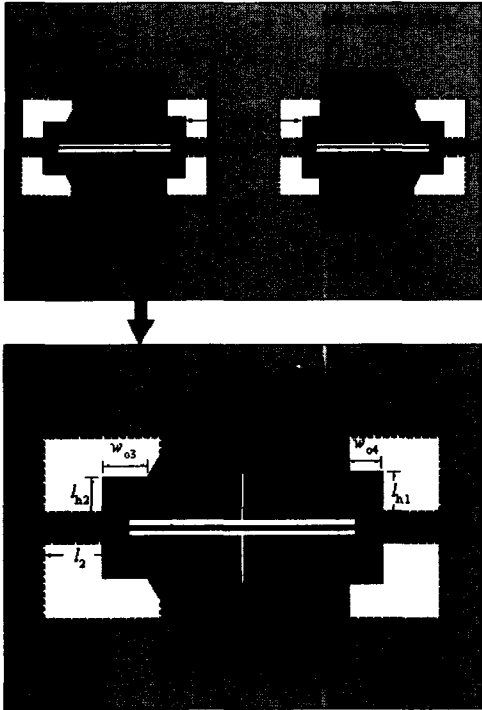


그림 1. 구조 1을 이용한 최적화된 캐스캐이드 여파기의 구조
 Fig. 1. Layout of optimized cascaded structure using structure 1.

파수와 skirt 특성과 같은 통과대역 특성은 급전면의 개방 스테브에 의해 결정된다^[9]. 결과적으로 기본구조를 단순히 연결한 여파기에서와 같은 특성 악화는 여파기의 단수가 증가할수록 통과대역 특성을 결정하는 급전면 마이크로스트립 구조의 임피던스 정합이 되지 않기 때문이다. 따라서 접지면 슬롯의 설계 변수를 고정하고 마이크로스트립 각 단의 임피던스를 조절함으로써 통과대역 특성을 최적화시킬 수 있으며 이를 위해 저역통과 여파기 프로토타입의 임피던스 배열을 이용하였다.

초광대역 여파기의 첫 번째 구조(구조 1)^[9]에서 개방 스테브와 전송선을 하나의 단(stage)으로 보면 개

방 스테브와 전송선은 각각 저역통과 여파기 프로토타입의 캐패시턴스(capacitance)와 인덕턴스(inductance)로 나타낼 수 있으며 전체 여파기는 3단의 구조로 구성되어 있다^[11]. 따라서 그림 1과 같이 캐스캐이드 구조로 배열할 경우 전체 여파기는 7단의 여파기로 볼 수 있으며 저역통과 여파기의 프로토타입에서 각 단의 임피던스를 구할 수 있다. 표 1에 0.01 dB 리플(ripple)을 갖는 7단 Chebyshev 저역통과 여파기의 프로토타입을 나타내었다^[11]. g_1 부터 g_7 으로 표시된 각 단의 값을 캐패시턴스(capacitance)와 인덕턴스(inductance)로 나타낼 수 있으며 아래의 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 스케일된 임피던스를 구할 수 있고 이를 표 1에 함께 나타내었다^[11].

$$L' = R_o L \tag{1}$$

$$C' = \frac{C}{R_o} \tag{2}$$

식 (1)과 식 (2)에서 L, C 는, 그림 1의 구조에서 얇은 전송선을 L , 개방 스테브를 C 로 보았을 경우 표 1에서의 각 단의 값을 나타내며 R_o 는 50 Ω 의 특성 임피던스를 나타낸다. L', C' 는 프로토타입 각 단의 값을 스케일된 임피던스로 변환한 값을 나타낸다. 표 1의 스케일된 임피던스 배열에서 인덕턴스로 나타낼 수 있는 전송선의 임피던스를 살펴보면 중앙에 위치한 전송선(g_4)의 임피던스가 가장 높으며 바깥쪽 전송선(g_2, g_6)으로 갈수록 상대적으로 낮은 임피던스를 갖는다. 반면 캐패시턴스로 나타낼 수 있는 개방 스테브는 가장 안쪽에 위치한 두 개의 개방 스테브(g_3, g_5)가 가장 낮은 임피던스를 가지며 바깥쪽 개방 스테브(g_1, g_7)로 갈수록 임피던스는 높아진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 임피던스 배열에 따라 급전면 마이크로스트립 각 단의 임피던스를 조절하여 최적화된 통과대역 특성을 얻었다. 전송선의 경우 임피던스가 가장 높은 중앙의 전송선(g_4)은 0.05 mm의 선폭으로 구현하였으며 그 밖의 다른 전송선(g_2, g_6)들은 0.1 mm의 선폭으로 고정하였다. 결과적

표 1. 0.01 dB 리플을 갖는 Chebyshev 프로토타입
 Table 1. Chebyshev prototype of 0.01 dB ripple.

	g_1	g_3	g_5	g_7
Element value	0.797	1.748	1.748	0.797
Scaled impedance	62.7 Ω	28.6 Ω	28.6 Ω	62.7 Ω

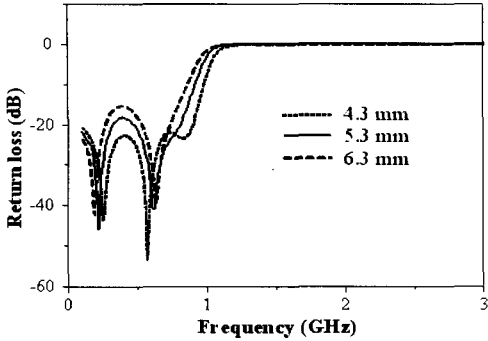


그림 2. w_{01} 의 변화에 따른 반사손실 특성
 Fig. 2. Return loss characteristics for different widths of w_{01} .

으로 통과대역의 특성은 안쪽에 위치한 개방 스테르브(g_3, g_5)와 바깥쪽에 위치한 개방 스테르브(g_1, g_7)의 임피던스 비에 따라 가장 민감하게 변화하기 때문에 개방 스테르브의 임피던스를 적절히 조절하는 것이 무엇보다도 중요하다. 먼저 안쪽에 위치한 두 개방 스테르브(g_3, g_5)는 가장 낮은 임피던스를 갖기 때문에 개방 스테르브의 폭을 넓혀 그림 1과 같은 모양으로 형성하였으며 안쪽 개방 스테르브의 폭(w_{01})에 따른 특성을 그림 2에 나타내었다.

안쪽 개방 스테르브의 폭이 4.3 mm에서 점차 증가할수록 반사손실이 증가하며 skirt 특성 역시 완만해진다. 이러한 특성 악화는 안쪽 개방 스테르브의 폭이 변화에 따라 양쪽 입출력단에서의 임피던스 정합이 되지 않기 때문이다. 따라서 개방 스테르브의 폭이 너무 얇은 경우에도 통과대역에서 반사손실이 증가하는 현상이 발생한다. 이러한 특성은 바깥쪽 개방 스테르브(g_1, g_7)의 폭에도 관계되며 특히 개방 스테르브의 윗폭인 w_{02} 에 의해 민감하게 변화한다. 그림 3에 바깥쪽 개방 스테르브의 폭(w_{02})에 따른 특성을 나타내었다.

그림 3에 나타난 바와 같이 개방 스테르브의 폭(w_{02})

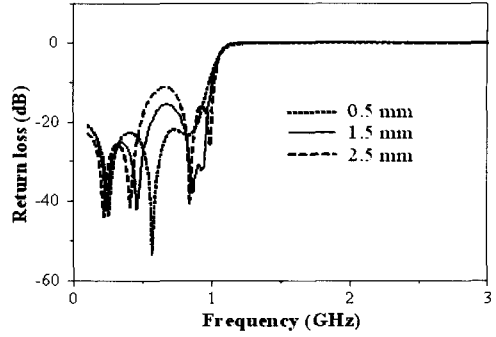


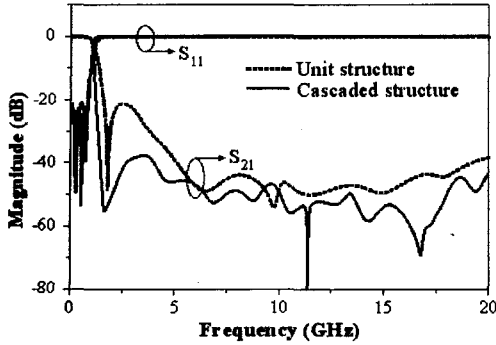
그림 3. w_{02} 의 변화에 따른 반사손실 특성
 Fig. 3. Return loss characteristics for different widths of w_{02} .

이 깊어지면 반사손실이 증가하며 통과대역 특성이 악화된다. 따라서 안쪽 개방 스테르브(g_3, g_5)의 폭과 바깥쪽 개방 스테르브(g_1, g_7)의 폭을 적절히 조절하여 프로토타입 임피던스 배열에 근접시키는 것이 필수적이라 할 수 있다. 그림 1의 최적화된 각 설계변수를 표 2에 정리하여 나타내었고 그림 4에 이러한 과정을 거쳐 최적화된 캐스캐이드 구조의 특성을 단위 여파기(구조 1)의 특성과 비교하여 나타내었다. 저지대역이 깊어짐과 동시에 차단 주파수인 1.035 GHz를 중심으로 삽입 손실이 급격하게 감소해 우수한 cutoff 특성을 얻을 수 있다.

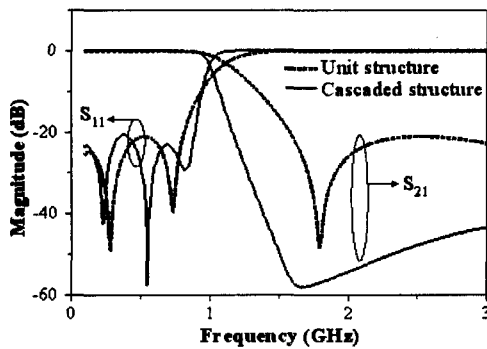
위에서 살펴본 바와 같이 초광대역 여파기의 첫 번째 구조(구조 1)를 이용한 캐스캐이드 여파기는 통과대역 특성을 결정하는 급전면 마이크로스트립 각 단의 임피던스를 조절하여 통과대역의 특성을 최적화할 수 있다. 따라서 동일한 방법으로 앞서 언급한 두 번째 구조(구조 2)인 dual 여파기 역시 최적화된 캐스캐이드 여파기의 특성을 얻을 수 있다. Dual 여파기의 경우 슬롯에 의한 감쇄극이 먼저 발생하고 슬롯의 주기적인 통과대역을 급전면 마이크로스트립 개방 스테르브를 이용한 여파기가 차단하기 때문에

표 2. 구조 1을 이용한 캐스캐이드 여파기의 설계변수
 Table 2. The design parameters of cascaded structure using structure 1.

w_{01}	w_{02}	w_{03}	w_{04}	l_{s1}	l_{s2}	l_1	l_2
4.3 mm	0.5 mm	2.85 mm	2.05 mm	3.92 mm	2.15 mm	5.5 mm	3.3 mm
l_1	l_2	l_3	w	w_1	w_2	g	
10.1 mm	6.2 mm	6 mm	0.05 mm	4 mm	1.6 mm	0.1 mm	



(a) 광대역 특성
(a) Wideband characteristics



(b) 통과대역 특성
(b) Passband characteristics

그림 4. 구조 1의 단위 여파기와 캐스캐이드 구조의 특성 비교(구조 1)

Fig. 4. Characteristics comparison of unit filter and its cascaded filter(structure 1).

통과 대역 특성은 슬롯의 특성에 의해 결정된다^[10]. 따라서 두 여파기 사이의 간격을 슬롯으로 인해 발생하는 첫 번째 감쇄극의 $\lambda_g/2$ 길이로 하였으며 개방 스테브와 슬롯의 폭을 조절함으로써 통과 대역 특성을 최적화하였다. 그림 5에 두 번째 구조(구조 2)인 dual 여파기를 이용한 캐스캐이드 여파기의 구조를 나타내었다.

Dual 여파기의 경우, 개방 스테브의 폭이 변화함에 따라 각 슬롯의 임피던스에 영향을 주기 때문에 안쪽(g_3, g_5)과 바깥쪽(g_1, g_7)에 위치한 개방 스테브의 폭을 각각 다르게 변화시켜 슬롯의 임피던스를 변화시킬 수 있다. 특히 두 단위 여파기를 연결하는 전송선(g_4)은 통과대역 특성에 매우 민감한 영향을 준다. 그림 6에 다른 변수들은 고정하고 중앙 전송선(g_4)의

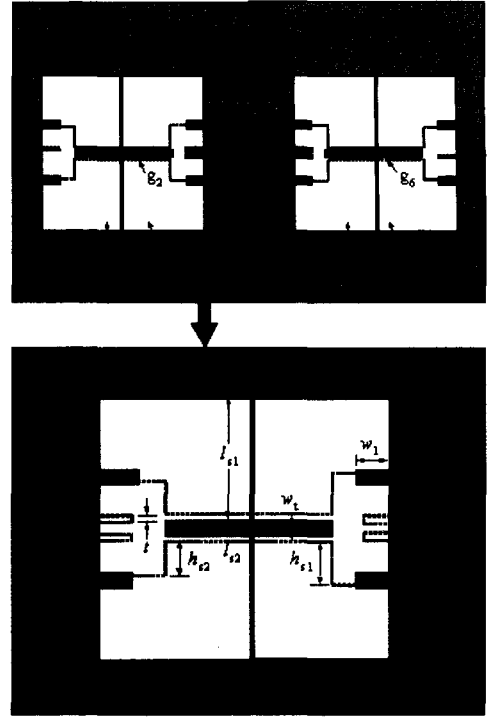


그림 5. 구조 2를 이용한 최적화된 캐스캐이드 여파기의 구조

Fig. 5. Layout of optimized cascaded structure using structure 2.

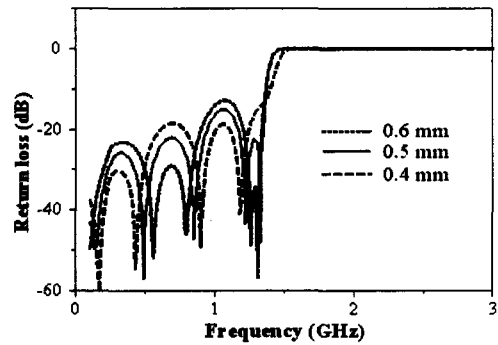


그림 6. 중앙 전송선(g_4)의 폭에 따른 반사손실 특성
Fig. 6. Return loss characteristics for different widths of center transmission line(g_4).

폭에 따른 반사손실 특성을 나타내었다.

그림 6과 같이 단위 여파기의 모든 변수들은 고정하고 두 단위 여파기 사이의 전송선의 폭을 조절하는 것만으로도 통과대역의 반사손실을 상당히 줄일 수 있다. 따라서 그림 1의 최적화 과정과 비교하여

표 3. 구조 2를 이용한 캐스캐이드 여파기의 설계변수

Table 3. The design parameters of cascaded structure using structure 2.

W_{d1}	W_{d2}	W_{d3}	W_{s1}	W_{s2}	W_{s3}
8.5 mm	8.3 mm	5.2 mm	0.5 mm	2.4 mm	2.6 mm
W_1	W_2	W_3	h_{s1}	h_{s2}	h_{s3}
2 mm	1.2 mm	0.3 mm	2.6 mm	2.4 mm	

보다 용이하게 여파기의 통과대역 특성을 최적화할 수 있으며 앞서 설명한 바와 같이 각 개방 스텐브와 슬롯의 폭을 조절함으로써 통과대역 특성을 최적화하였다. 그림 5의 각 설계 변수를 정리하여 표 3에 나타내었으며 그림 7에 단위 여파기(구조 2)와 캐스캐이드 여파기의 광대역 특성과 통과대역 특성을 비교하여 나타내었다.

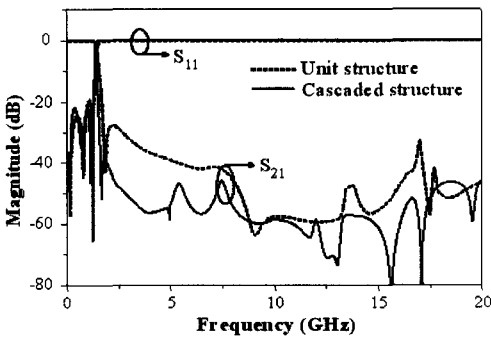
그림 5의 구조 1을 캐스캐이드 한 구조와 마찬가지로

지로 20 GHz 이상의 깊은 저지대역과 급격한 cutoff 특성을 얻을 수 있었다.

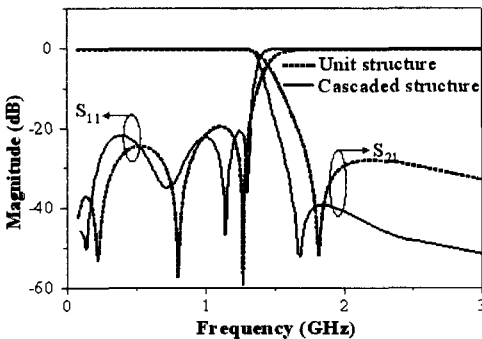
III. Cascade 여파기의 특성 비교 및 측정 결과

앞절에서 살펴 보았듯이 두 구조 모두 프로토타입을 이용하여 각 단의 임피던스를 조절함으로써 최적화된 통과대역 특성을 얻을 수 있었다. 저지대역의 경우, 단위 여파기가 모두 광대역의 저지대역을 갖기 때문에 캐스캐이드 구조는 더욱 깊은 광대역의 저지대역을 얻을 수 있다. 그러나 skirt 특성에서는 두 구조의 차이가 명확하게 나타난다. 그림 8에 구조 1과 구조 2를 이용한 캐스캐이드 여파기의 통과대역 특성을 비교하여 나타내었다.

차단 주파수의 경우, 그림 1의 첫 번째 구조를 이용한 캐스캐이드 구조는 40.1 mm×12.9 mm의 크기로 1.035 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 dual 여파기를 이용한 캐스캐이드 구조는 46.9 mm×17.7 mm의 크기를 가지며 이보다 높은 1.286 GHz에서 차단 주파수를 갖는다. 따라서 첫 번째 구조의 캐스캐이드 여파기는 dual 여파기를 이용한 캐스캐이드 여파기의 62%의 크기로 구현할 수 있으며 동일



(a) 광대역 특성
(a) Wideband characteristics



(b) 통과대역 특성
(b) Passband characteristics

그림 7. 구조 2의 단위 여파기와 캐스캐이드 구조의 특성 비교(구조 2)

Fig. 7. Characteristics comparison of unit filter and its cascaded filter(structure 2).

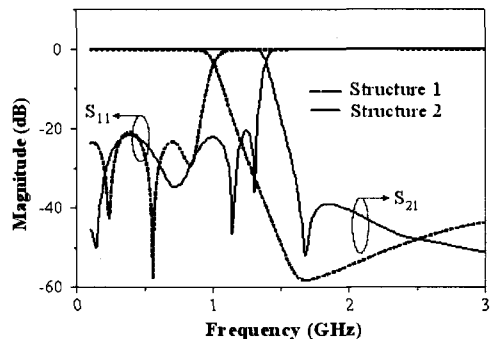
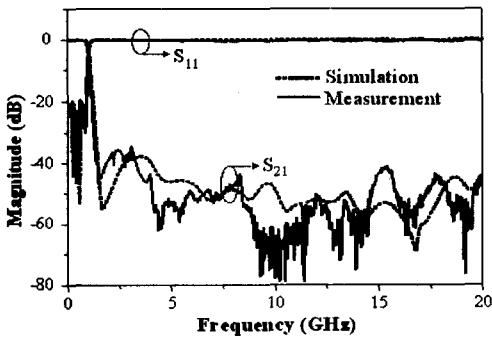


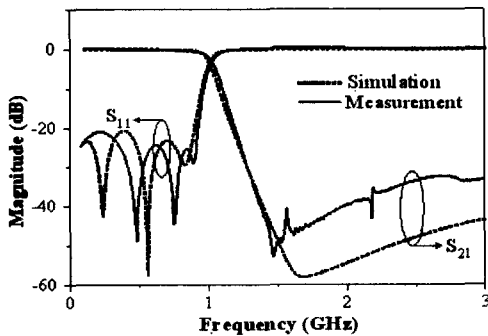
그림 8. 캐스캐이드 여파기의 통과대역 특성 비교
Fig. 8. Comparison of passband characteristics of cascaded filter.

한 차단 주파수로 설계하였을 경우 dual 여파기를 이용한 것보다 더욱 작은 크기로 설계할 수 있다. 반면 차단 주파수에서 -20 dB까지의 주파수 변화를 살펴보면 구조 1의 캐스캐이드 여파기는 168 MHz의 주파수 변화를 가지며 dual 여파기(구조 2)의 캐스캐이드 여파기는 차단 주파수 1.286 GHz에서 -20 dB 까지 120 MHz의 보다 급격한 skirt 특성을 갖는다. 즉 dual 여파기를 이용한 캐스캐이드 여파기의 경우 차단 주파수가 다소 높게 나타나는 반면 급격한 cutoff 특성을 얻을 수 있으며 구조 1의 캐스캐이드 여파기는 다소 완만한 skirt 특성을 가지지만 보다 작은 크기로 구현할 수 있다. 그림 9와 그림 10에 두 캐스캐이드 여파기의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 나타내었으며 측정은 HP8510C Vector Network Analyzer를 사용하였다.

각각의 캐스캐이드 여파기의 측정 결과와 시뮬레

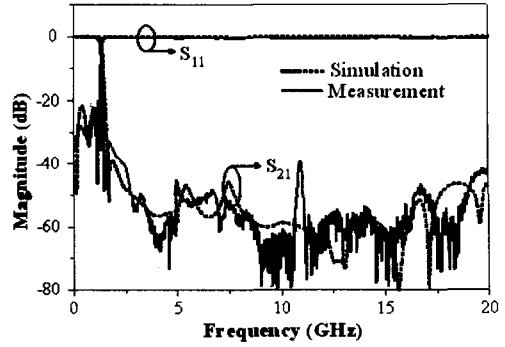


(a) 광대역 특성
(a) Wideband characteristics

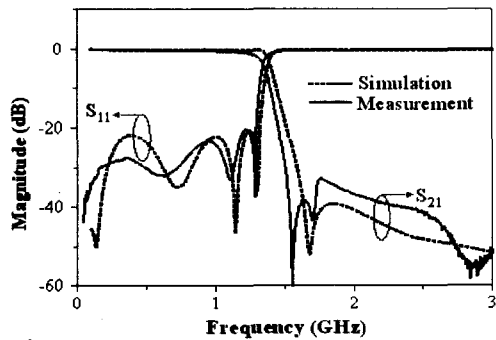


(b) 통과대역 특성
(b) Passband characteristics

그림 9. 구조 1을 이용한 캐스캐이드 여파기의 특성
Fig. 9. Characteristics of cascaded filter using structure 1.



(a) 광대역 특성
(a) Wideband characteristics



(b) 통과대역 특성
(b) Passband characteristics

그림 10. 구조 2를 이용한 캐스캐이드 여파기의 특성
Fig. 10. Characteristics of cascaded filter using structure 2.

이션 결과를 비교해 보면, 전 주파수 대역에서 비교적 잘 일치하며 20 GHz 부분에서의 약간의 오차는 주파수가 증가함에 따라 커넥터에서 발생하는 손실로 사료된다. 첫 번째 구조(구조 1)를 이용한 캐스캐이드 구조의 경우 1.035 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 dual 여파기(구조 2)를 이용한 캐스캐이드 구조는 1.286 GHz에서 차단 주파수를 갖는다. 저지대역은 두 구조 모두 -30 dB 이하의 삽입 손실을 가지면서도 20 GHz 이상의 광대역의 저지대역을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

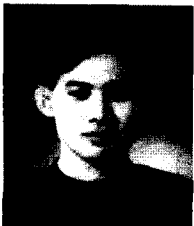
본 논문에서는 급전면의 개방 스티브와 접지면의 슬롯으로 구성되어 있는 초광대역의 저지대역을 갖는 저역통과 여파기 단위 구조를 캐스캐이드한 저역통과 여파기를 설계하였다. 기존의 초광대역 여파

기는 매우 넓은 저지대역과 우수한 skirt 특성을 갖기 때문에 이러한 여파기를 캐스캐이드 함으로써 더욱 깊은 저지대역과 이상적인 여파기에 가까운 skirt 특성을 얻을 수 있었으며 단위 여파기를 캐스캐이드 함에 있어 저역통과 여파기의 프로토타입에 따라 각 단의 임피던스를 조절함으로써 통과대역에서 매우 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 초광대역 여파기의 첫 번째 구조(구조 1)와 이의 dual 구조(구조 2)를 이용한 캐스캐이드 여파기는 각각 1.035 GHz와 1.286 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 저지대역은 두 구조 모두 -30 dB 이하의 저지대역 특성을 유지하면서 20 GHz 이상의 넓은 저지대역을 얻을 수 있었다. 제안한 캐스캐이드 여파기는 이상적인 여파기에 가까운 skirt 특성과 넓은 저지대역을 갖기 때문에 다양한 무선통신 시스템에 사용이 가능하리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "A novel uniplanar compact PBG structure for filter and mixer application", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Boston, MA, pp. 919-922, Jun. 1999.
- [2] Y. T. Lee, J. S. Lim, J. S. Park, D. Ahn and S. Nam, "A novel phase noise reduction technique in oscillators using defected ground structure", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, no. 2, pp. 39-41, Feb. 2002.
- [3] M. J. Lancaster, J. S. Hong, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [4] B. Razavi, *RF Microelectronics*, New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- [5] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [6] L. H. Heish, K. Chang, "Compact lowpass filter using stepped impedance hairpin resonator", *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 14, pp. 899-900, Jul. 2001.
- [7] L. H. Heish, K. Chang, "Compact elliptic-function low-pass filters using microstrip stepped-impedance hairpin resonators", *IEEE Tran, Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 1, pp. 193-199, Jan. 2003.
- [8] L. H. Heish, K. Chang, "Compact, broad-stopband elliptic-function lowpass filters using microstrip stepped hairpin resonators", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, Philadelphia, PA, pp. 1775-1778, Jun. 2003.
- [9] 김경훈, 정중호, 기철식, 임한조, 박익모, "초광대역의 저지대역을 갖는 3단 저역통과 필터", *대한전자공학회 논문지*, 40(3), pp. 25-31, 2003년 3월.
- [10] 김경훈, 김상인, 박익모, 임한조, "슬롯과 개방 스테르브의 특성을 결합한 소형 저역통과 여파기", *한국전자파학회 논문지*, 15(1), pp. 36-43, 2004년 1월.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1998.

김 경 훈



2002년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] Electromagnetic band gap(EBG), 초고주파 수동 소자

김 상 인



1992년: 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 (공학사)
 1995년: 미네소타 대학교 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
 1997년: 미네소타 대학교 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1997년~2003년: KT 연구개발 본부
 2003년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] Photonic Crystal, 광통신 및 소자

박 익 모



1984년: 뉴욕 주립대학교 전기전자
공학과 (공학사)

1989년: 일리노이 대학교 전기전자
공학과 (공학석사)

1994년: 일리노이 대학교 전기전자
공학과 (공학박사)

1994년~1996년: LG전자기술원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및
해석

임 한 조



1971년 2월: 서울대학교 문리과대학
물리학과 (이학사)

1974년 2월: 서울대학교 대학원 물
리학과 (이학석사)

1982년 Montpellier II 대학 (USTL:
불) (이학박사)

1975년 9월~현재: 아주대학교 전자

공학부 교수

[주 관심분야] Photonic Crystal, 결합 및 계면물리, III-V족
반도체 소자 및 물성특성