

넓은 저지대역과 우수한 cutoff 특성을 갖는 저역통과 여파기

김경훈, 김상인, 박익모, 임한조
아주대학교 전자공학부
전화: (031) 219-2374 / 팩스: (031) 212-9531

A Lowpass Filter with an Ultra-Wide Stopband and Prominent Cutoff Sharpness

Kyunghoon Kim, Sangin Kim, Ikmo Park, and H. Lim
School of Electrical and Computer Engineering
Ajou University
E-mail: ipark@madang.ajou.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 매우 넓은 저지대역과 우수한 cutoff 특성을 갖는 저역통과 여파기를 제안하였다. 접지면 슬롯과 급전면 개방 스테르브의 특성을 결합한 기존의 광대역 여파기에서 전송선의 길이를 $\lambda_g/4$ 로 변형함으로써 기존의 여파기보다 더 작은 크기로 넓은 저지대역과 급격한 cutoff 특성을 얻을 수 있었다. 또한 설계한 단위 여파기를 특정 간격로 배열하여 더 깊은 저지대역과 향상된 cutoff 특성을 얻을 수 있었다.

Key words : Microstrip lowpass filter, Coupled line, Ultra-wide stopband.

I. 서론

위성통신과 이동통신과 같은 무선통신 시스템은 하루가 다르게 발전하고 있다. 이러한 무선통신 시스템에서 여파기는 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소중 하나이다. 특히 저역통과 여파기는 신호의 왜곡과 간섭을 줄이고 스푸리어스(spurious)와 하모닉(harmonic)과 같은 불필요한 성분들을 제거함으로써 시스템의 성능을 극대화시키는 중요한 요소라 할 수 있다 [1]. 병렬 스테르브나 스텝 임피던스를 사용하는 기존의 저역통과 여파기는 좁은 저지대역과 완만한 cutoff 특성과 같은 단점이 있으며 이러한 단점을 해결하기 위해서는 전체 여파기의 크기가 커지는 또 다른 단점을 야기시키므로 현재와 같

은 소형 시스템에서 사용하기에는 한계가 있다. 최근에는 헤어핀 여파기와 PBG(Photonic Band Gap)를 이용한 구조가 저역통과 여파기로서 활발히 연구되고 있다 [2, 3]. 그러나 이러한 구조들 역시 저지대역이 좁다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 배열주기의 수가 늘어나야 하기 때문에 크기가 커지고 통과대역의 특성이 악화되는 또 다른 단점을 가지게 된다. 최근 접지면의 슬롯과 전송선로로 구현한 개방 스테르브를 이용하여 각각의 전기적 길이를 조절함으로써 두 구조의 특성을 중첩시켜 매우 넓은 저지대역을 갖고 개방 스테르브 사이의 커플링을 이용하여 급격한 cutoff 특성을 갖는 여파기가 제안되었다 [4]. (이하 설명

에서는 '기존 여파기'로 표기하였다.)

본 논문에서는 [4]에서 제안한 여파기를 변형하여 더욱 작은 크기를 가지면서도 넓은 저지대역과 우수한 cutoff 특성을 갖는 저역통과 여파기를 제안하였다. 개방 스테르브로 인한 첫번째 감쇄극 주파수의 $\lambda_g/2$ 길이의 전송선을 가지는 기존의 여파기를 변형하여 두 개방 스테르브 사이의 전송선을 $\lambda_g/4$ 길이로 변형하였으며 설계한 여파기를 저역통과 여파기의 prototype에 맞추어 캐스캐이드(cascade)하여 cutoff 특성과 저지대역 특성을 더욱 향상시켰다. 단일 여파기의 경우 1.83 GHz에서 차단 주파수를 가지며 저지대역은 -20 dB 기준으로 2.55 GHz에서 30 GHz 이상의 광대역을 이루었다.

II. 여파기의 동작원리 및 설계

그림 1에 본 논문에서 제안한 여파기의 구조를 나타내었다. 기존 여파기와 동일하게 급전면과 접지면의 두 구조로 나눌 수 있으며 급전면에는 사다리꼴 모양을 갖는 병렬 개방 스테르브와 이를 연결하는 전송선으로 구성되어 있고 접지면에는 양끝단에서 두개로 갈라진 슬롯과 중앙의 넓은 슬롯으로 이루어져 있다. 여파기의 특성을 고찰하기 위한 시뮬레이션에는 비유전율 $\epsilon_r=6.15$ 이며 두께 $h=0.635$ mm 인 기판을 사용하였으며, 상용 시뮬레이터인 Ansoft의 Ensemble을 사용하여 무한 접지면에서 시뮬레이션 하였다. 그림 1에서 $w_{oc1}=1.35$ mm, $w_{oc2}=1.85$ mm, $w_t=0.1$ mm, $l_{oc}=6.5$ mm, $l_t=5.8$ mm, $l_{sc1}=4$ mm, $l_{sc2}=2.8$ mm, $w_{sc1}=3$ mm, $w_{sc2}=1.6$ mm, $w_f=0.9$ mm이며 기존 여파기의 경우 급전면의 개방 스테르브와 전송선(l_t)이 각각 첫 번째 저지대역 중심 주파수의 $\lambda_g/4$ 와 $\lambda_g/2$ 로 구성되어 있는 반면 제안한 여파기에서는 두 길이 모두 $\lambda_g/4$ 의 동일한 길이를 갖는다. 마이크로스트립 구조만이 존재할 경우 급전선에서 본 입력 어드미턴스는 기존 여파기와 동일하며 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다 [5].

$$Y_m = 2jY_{oc} \tan \beta_{oc} l_{oc} + Y_t \frac{(Y_0 + j2Y_{oc} \tan \beta_{oc} l_{oc}) + jY_t \tan \beta_t l_t}{Y_t + j(Y_0 + j2Y_{oc} \tan \beta_{oc} l_{oc}) \tan \beta_t l_t} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 β 와 l 은 위상상수와 길이를 나타내며 아랫첨자 oc 와 t 는 각각 개방 스테르브와 급전선, 그리고 전송선을 나타낸다. 식 (1)에서 개방 스테르브와 전송선의 길이가 각각 $\lambda_g/4$ 이면 입력 어

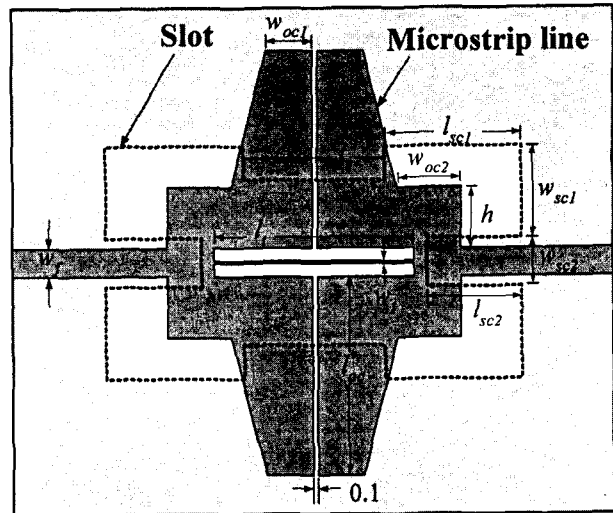


그림 1. 제안한 여파기의 구조.

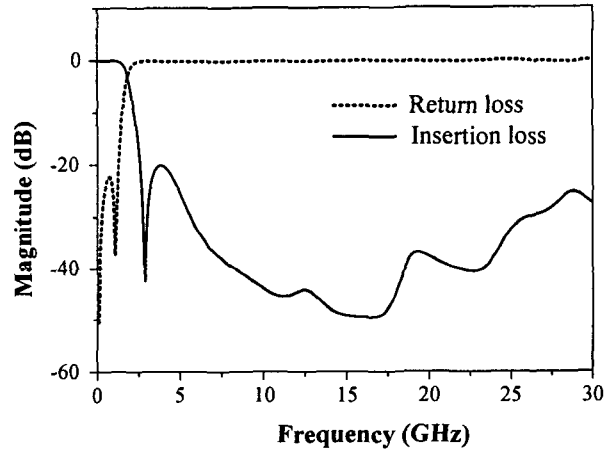


그림 2. 제안한 여파기의 특성.

드미턴스는 무한대가 되어 이 길이에 해당하는 주파수에서 감쇄극을 형성하며 처음 감쇄극 주파수의 홀수배를 주기로 하모닉을 형성하게 된다. 접지면의 슬롯 역시 급전면 구조와 동일하게 구성되어 있기 때문에 급전면 구조와 유사한 방법으로 입력 임피던스를 구할 수 있고 양쪽 슬롯의 길이(l_{sc})와 간격(l_s)에 의해 감쇄극을 형성한다. 두 구조의 길이가 다르기 때문에 각각의 저지대역은 서로의 통과대역을 차단할 수 있는 다른 주파수대역에서 발생한다 [4]. 따라서 매우 넓은 저지대역을 형성하면서도 중앙의 전송선을 $\lambda_g/2$ 의 길이로 구성한 기존의 여파기에 비해 크기를 상당히 줄일 수 있다. 그림 2에 이러한 원리를 이용하여 설계한 여파기의 특성을 나타내었다. 1.83 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 저지대역은 30 GHz 이상의 광대역을 이루

었다. 기존 여파기와 비교해 보면 두 구조 모두 고주파 대역에서 우수한 차단 특성을 보인다. 그러나 차단 주파수의 경우 기존 여파기는 1.1 GHz에서 발생하며 제안한 여파기는 1.83 GHz로 730 MHz 정도 높게 나타난다. 전체 여파기의 크기는 기존 여파기와 그림 1의 제안한 여파기 모두 동일한 높이를 갖고 기존 여파기가 19.8 mm의 폭을 갖는 반면 제안한 여파기는 12.1 mm로 전체 여파기의 크기를 상당히 줄일 수 있다.

III. Cascade 여파기의 설계 및 특성

그림 3에 앞절에서 살펴본 여파기를 단위구조로 하여 설계한 cascade 여파기의 구조를 나타내었으며 슬롯의 각 변수는 그림 1과 동일하게 유지하였다. 단위 여파기 사이의 간격은 그림 1의 첫번째 저지대역 중심 주파수의 $\lambda_g/4$ 길이, 즉 그림 1의 전송선(l)의 길이와 동일하게 하였으며 저역통과 여파기의 prototype에 맞추어 개방 스테브 및 전송선의 임피던스를 조절하였다. 이러한 임피던스의 조절이 없이 단순히 단위구조를 특정 간격으로 배열하였을 경우, 깊은 저지대역 특성을 얻을 수 있지만 통과대역에서 삽입손실이 증가하여 특성이 크게 악화된다. 그림 4에 임피던스의 조절이 없이 단순히 단위구조를 $\lambda_g/4$ 간격으로 연결했을 경우의 통과대역 특성을 나타내었다. 통과대역의 높은 반사손실로 인하여 특성이 매우 악화되며 차단 주파수 역시 증가한다. 따라서 저지대역 특성 뿐만 아니라 우수한 통과대역 특성을 얻기 위해서 각 단의 임피던스를 조절하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

그림 1의 단위 여파기에서 개방 스테브와 전송선을 하나의 단(stage)으로 보면 개방 스테브와 전송선은 각각 저역통과 여파기 prototype의 캐패시턴스(capacitance)와 인덕턴스(inductance)로 나타낼 수 있으며 3단의 구조로 구성되어 있다. 따라서 그림 3과 같이 cascade 구조로 배열할 경우 전체 여파기는 7단의 여파기로 볼 수 있으며 저역통과 여파기의 prototype에서 각 단의 임피던스를 알 수 있다 [6]. 그림 3의 여파기는 0.05 dB의 리플(ripple)을 갖는 Chebyshev prototype에서 7단 여파기의 임피던스를 참조로 하여 각 단의 임피던스를 조절하였다. 저역통과 여파기 prototype의 임피던스 배열에서 인덕턴스로 나타낼 수 있는 전송선의 경우 중앙에 위치한 전송선의 임피던스(g_4)가 가장 높으며

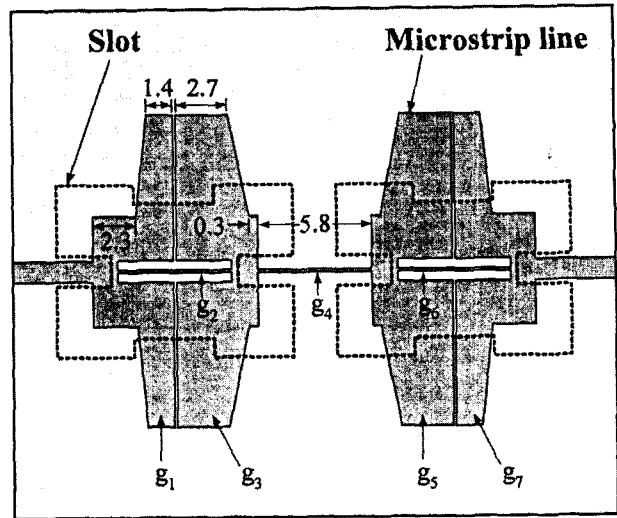


그림 3. Cascade 여파기의 구조.

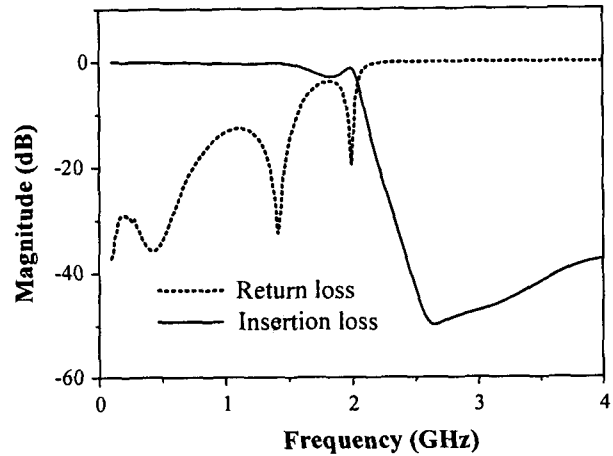


그림 4. 임피던스 조절이 없을 때의 통과대역 특성.

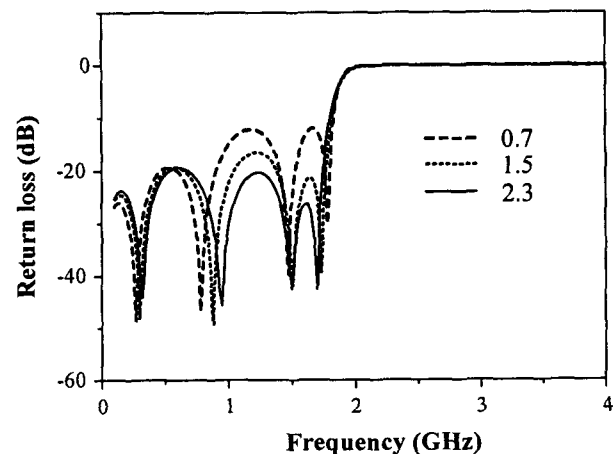
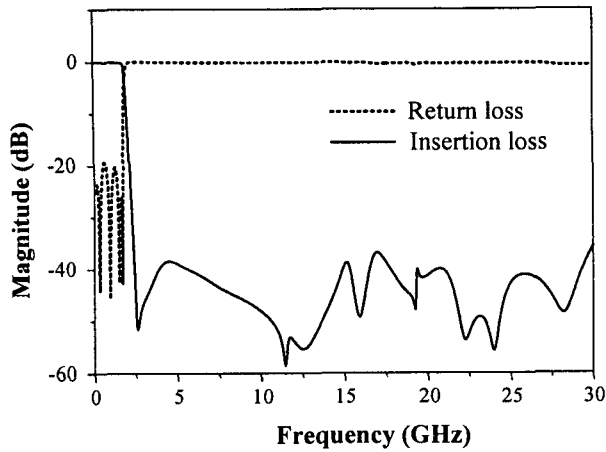
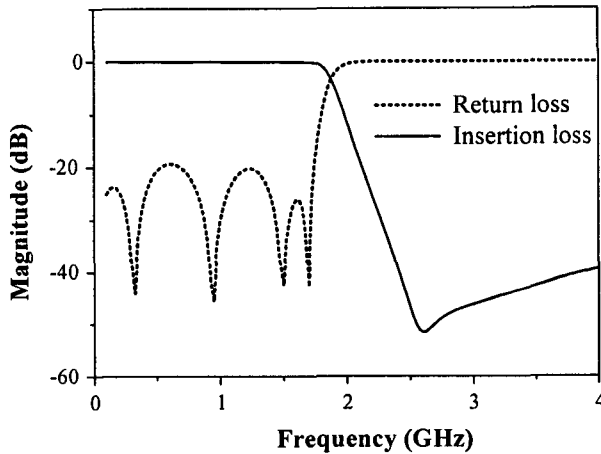


그림 5. w_{oc2} 의 변화에 따른 통과대역 특성.

바깥쪽(g_2, g_6)으로 갈수록 대칭적으로 낮은 임피던



(a)



(b)

그림 6. Cascade 여파기의 특성.
(a) 광대역 특성. (b) 통과대역 특성.

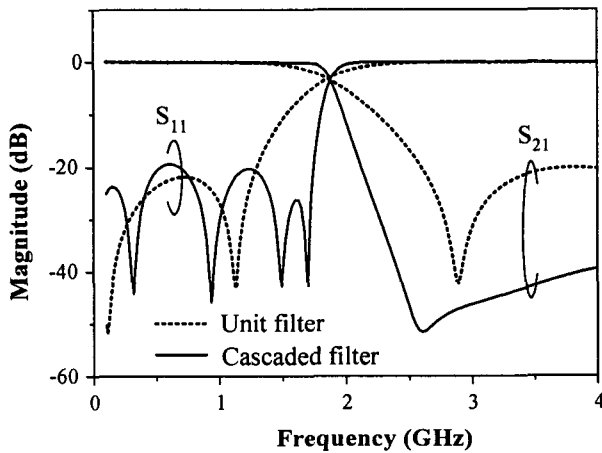


그림 7. Cascade 여파기와 단위 여파기의 통과대역 특성 비교.

스를 갖는다. 반면 캐패시터스로 나타낸 개방 스테르브는 가장 안쪽에 위치한 세 번째, 다섯 번째단의 임피던스(g_3, g_5)가 가장 낮으며 바깥쪽으로 갈수록 높은 임피던스를 갖는다. 따라서 두 단위 여파기를 연결하는 전송선(g_4)은 0.1 mm의 높은 임피던스를 갖는 전송선을 사용하였고 얇은 전송선으로 인한 제작상의 어려움을 고려하여 주로 개방 스테르브의 임피던스를 변화하여 최적화된 특성을 얻었다. 특히 첫 번째와 일곱 번째단 (g_1, g_7) 즉 가장 바깥쪽 개방스테르브의 임피던스에 따라 통과대역의 특성이 민감하게 변화하며 이들의 임피던스를 결정하는 변수 중 스테르브의 폭을 결정하는 주요 변수인 w_{oc2} 에 의해 민감하게 변화한다. 따라서 w_{oc2} 에 따른 통과대역 특성의 변화를 그림 5에 나타내었다. prototype의 임피던스 배열에 가까워질수록 즉, 중앙에 위치한 스테르브(g_3, g_5)의 임피던스에 비해 폭이 얇아져 높은 임피던스를 가질수록 반사손실이 줄어 통과대역 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 이러한 특성은 안쪽 개방 스테르브(g_3, g_5)의 임피던스에도 관계되기 때문에 그림 3과 같이 각 스테르브의 폭을 조절함으로써 prototype의 임피던스에 근접할 수 있도록 하였다. 그림 6에 각 단의 임피던스를 조절하여 최적화 한 cascade 여파기의 광대역 특성과 통과대역 특성을 나타내었다. Cascade 구조의 여파기는 1.85 GHz에서 차단 주파수를 가지며 -20 dB 기준으로 2.13 GHz에서 30 GHz 이상의 저지대역을 갖는다. 그림 7에 단위 여파기와 cascade 여파기의 통과대역 특성을 나타내었다. 고주파 대역에서는 두 구조 모두 깊은 저지대역 특성을 나타내며 단위 여파기의 경우 차단 주파수에서 -20 dB까지의 주파수 변화가 720 MHz인데 반해 cascade 구조는 280 MHz로 매우 향상된 cutoff 특성을 갖는다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존 광대역 여파기의 전송선의 길이를 $\lambda_g/4$ 로 변형하여 작은 크기를 가지면서도 매우 넓은 저지대역을 갖는 저역통과 여파기를 제안하였다. 또한 설계한 여파기를 $\lambda_g/4$ 간격으로 배열하고 저역통과 여파기의 prototype에 맞추어 임피던스를 조절하여 더욱 향상된 저지대역과 cutoff 특성을 얻을 수 있었다. 제안한 여파기는 1.83 GHz에서 -3 dB 차단 주파수를 가지며 -20 dB 기준으로

2.55 GHz부터 30 GHz이상의 저지대역을 형성한다. 이와 같이 넓은 저지대역과 우수한 cutoff 특성은 넓은 주파수 대역에서 발생하는 하모닉이나 스퓨리어스 같은 성분을 효과적으로 차단할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [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, June 1999.
- [2] T. Kim and C. Seo, "A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.
- [3] L. H. Heish and K. Chang, "Compact lowpass filter using stepped impedance hairpin resonator," *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 14, pp. 899-900, July 2001.
- [4] 김경훈, 정종호, 기철식, 임한조, 박익모, "초광대역의 저지대역을 갖는 3단 저역통과 필터," 대한 전자공학회 논문지, 40권 3호, 2003년 3월, pp. 25-31.
- [5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [6] G. Matthael, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures*, Dedham: Artech House, 1980.