

EBG 구조를 이용한 반파장 저역통과 여파기 설계

강명수*, 김영태, 박준석
 국민대학교 전자정보 통신공학부*, 순천향대학교 정보기술공학부
 myungsoo@empal.com

Design of Half-Wavelength Low-PASS Filter using EBG Structure

Myung-Soo Kang, Young-Tae Kim, Jun-Seok Park
 Soonchunhyang University, Kookmin University

Abstract

In this paper, proposed easy half-wavelength LPF and acceptor structure in actuality manufacture using EBG (Electromagnetic Bandgap) structure for application of micro-strip circuit. Because conventional half-wavelength LPF and acceptor is narrow line-width of High impedance, actuality manufacture is difficult. Width that in proposed structure narrow microstrip line of High impedance EBG structure use and has equal impedance embodied to wide microstrip line. Also, it is seen that actuality manufacture is available applying to half-wavelength LPF that have cut-off Frequency of 3GHz

I. 서론

일반적으로 저역통과 여파기는 파워 앰프, 믹서, 전압조정 발진기 등을 설계하는데 있어서 고조파 성분을 제거하는데 널리 쓰인다. 기존의 저역통과 여파기는 스텝형 구조 및 개방선로 구조를 갖는 저역통과 여파기가 널리 쓰인다. 하지만 이러한 구조는 RF 대역 및 마이크로파 대역에서 제작상의 편리성에 의해 가장 널리 쓰이는 분포소자 형태의 마이크로스트립 구조를 갖는 저역통과 여파기는 실제 제작 시 높은 임피던스를 가지는 선로로 인해 구현에 어려움이 있으며 높은 전력 인가시 좁은 선로 폭으로 인해 전압수용 능력 또한 현저하게 떨어지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 최근에는 EBG(Electromagnetic Bandgap)[1]와 같은 구조가 활발히 연구되고 있다. PBG는 주기적인 구조를 갖으며 진행파의 일정 대역을 저지하는 저지대역을 형성하는 특성을 갖는다. 이러한 주기적인 구조를 이용한 저지대역 형성에 관한 연구는 근래에 와서는 접지면 상에 일정한 식각을 이용하는 방법으로 진행되고 있다.[2]~[7] 본 논문에서 제안된 구조는 마이크로 스트립 선로의 실제구현에서 어려운 높은 임피던스의 마이크로 스트립 선로를 EBG구조를 이용하여 동일한 임피던스를 가지며 실제 구현에서 용이하도록 선로 폭이 넓은 마이크로스트립 선로로 구현하였다. 또한 EBG 구조를 사용하여 크기의 증가 없이 반파장 저역통과 여파기의 높은 임피던스의 선로를 구현하기 쉽도록 넓은 선로 폭을 가지는

선로로 바꾸어 새로운 구조의 반파장 저역통과 여파기[8]~[10]모형을 제시하였고 전자장시뮬레이션 툴과 실제 제작을 통하여 그 타당성을 보였다.

II. EBG 구조 및 특성

저지대역을 형성하는 EBG 구조는 최근 들어 각종 여파기의 구현에 이용되고 있다. 또한 접지면에 EBG구조의 여파기를 구현함으로써 회로의 부가적인 증가 없이 구현될 수 있는 장점으로 인해 EBG 구조를 이용한 각종 마이크로 스트립 회로의 성능개선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 마이크로스트립 분야에서의 EBG 구조는 접지면에 다양한 형태의 격자를 에칭을 통하여 그림 1과 같이 구현할 수 있다. 이는 특성 임피던스가 Z_0 인 마이크로 스트립선로의 접지면상에 여러 형태로 식각된 구조를 구현함으로써 EBG구조의 특성을 살펴볼 수 있다. 그림 3은 단일 EBG구조의 특성을 보기 위하여 그림 1(a)구조에서 기판의 상대 유전율이 2.2이고 높이가 0.7874mm인 기판을 사용하여 전자장시뮬레이션한 결과이다.

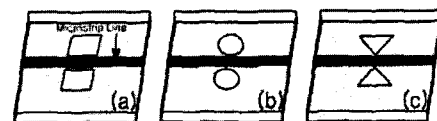


그림 1. 마이크로 스트립라인에 적용된 다양한 형태의 단일 EBG구조

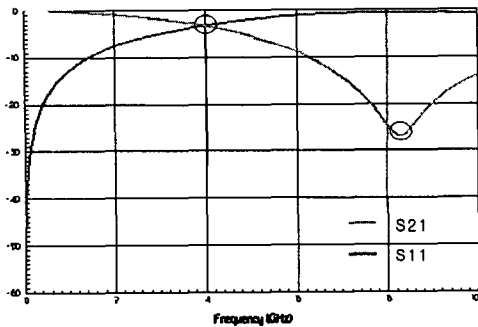


그림2. 단일 EBG 구조에 대한 S11과 S21

III. 반파장 저역통과 여파기의 설계이론

광대역 특성을 갖는 스텝형태의 반파장 저역통과 여파기를 설계하기 위해서 Rhodes의 공식을 사용한 설계방법을 이용하였다. 분포정수 원형여파기는 원형여파기^[11]의 전송선로의 길이를 나타내는 전기각이 1차 고주파대역의 중심주파수에서 π [rad]의 값을 가져야 하므로 전기각 θ 와 관내파장 사이에 다음과 같은 매핑 함수 관계를 갖는다.

$$\theta = \frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_g} \quad (1)$$

여파기의 대역폭을 결정해주는 α 는 차단주파수에서의 전기각에 해당하는 θ_0 의 함수로서 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin \frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g1}}} \quad (2)$$

따라서 저역통과 여파기의 설계 시 여파기의 대역폭 스케일링 파라미터인 α 를 저역통과 여파기의 차단주파수와 원형여파기의 전송선로의 길이에 대한 함수로 나타내어야 하고, 이에 앞서 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 분포정수 원형여파기를 사용하여 여파기를 설계하려면 주어진 여파기의 사양을 만족하는 원형여파기의 소자값, 즉 전송선로의 특성 임피던스값을 결정하여야 하고 그리고 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 이러한 전송선로의 길이는 1차 고주파대역의 중심주파수를 결정하므로 넓은 저지대역 특성을 갖는 저역통과 여파기를 설계하기 위해서는 1차 고주파대역의 저역통과 대역폭의 통과대역과 충분히 멀리 떨어지게 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 전송선로의 길이 즉 1차 고주파대역의 중심주파수에서의 관내파장 λ_{g0} 를 다음과 같이 결정하였다.

$$\lambda_{g0} = \frac{\lambda_{g1}}{m} \quad (3)$$

여기서 λ_{g1} 는 저역통과 여파기의 차단주파수에서

의 관내파장이고 m 은 상수이다. 그리고 이때 차단주파수를 나타내는 전기각 θ_0 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\theta_0 = \frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g1}} = \frac{\pi}{m} \quad (4)$$

저역통과 여파기는 식(5)과 같은 삽입손실 특성을 갖는다.

$$L_m = 10 \log_{10} \left[1 + \epsilon^2 T_n^2 \left\{ \sin \frac{\pi \lambda_{g1}}{m \lambda_g} / \sin \frac{\pi}{m} \right\} \right] \quad (5)$$

IV. 반파장 저역통과 여파기의 특성

위에서 제시한 저역통과 설계식을 이용하여 차단주파수 3GHz를 특성을 갖는 반파장 저역통과 여파기를 설계하였으며 7단 저역통과 여파기의 각 선로에 대한 임피던스는 표 1과 같이 계산하였다. 각 선로에 해당하는 선로 임피던스를 이용하여 회로 시뮬레이션을 한 결과 그림 3의 특성을 갖는 저역통과 여파기 특성을 확인 할 수 있었다.

표 1. 반파장 저역통과 여파기의 선로 파라미터

선로	1	2	3	4	5	6	7
임피던스	25.59	140.6	13.36	157.7	13.36	140.6	25.59

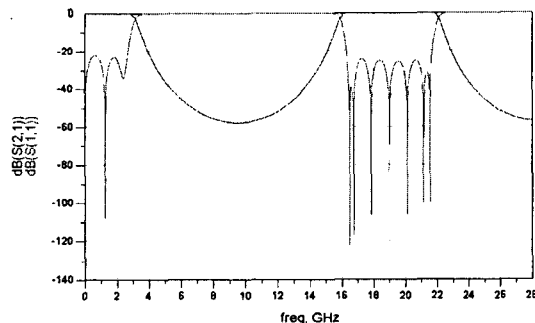


그림 3. 회로 시뮬레이션을 통한 반파장 저역통과 여파기의 특성

그림 4는 하우징의 크기가 폭 28.0 mm 와 높이 6.1mm를 갖는 반파장 저역통과 여파기의 형상이다. 반파장 저역통과 여파기를 전자장 시뮬레이터인 AnSoft사의 HFSS 8.5를 이용하여 시뮬레이션 및 직접 제작하여 측정 한 결과 그림5와 같이 시뮬레이션결과와 실제 제작한 모델의 결과가 일치함을 볼 수 있다. 또한 하우징으로 인하여 회로설계에서는 볼 수 없었던 고주파들을 5.8GHz, 7.9GHz, 10.6GHz에 나타남을 볼 수 있다. 제작에 사용된 기판은 RT Duroid 5880기판을 사용하였다.

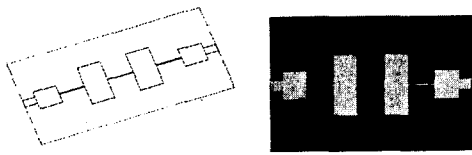


그림4. 7단반파장 저역통과 여파기 모델

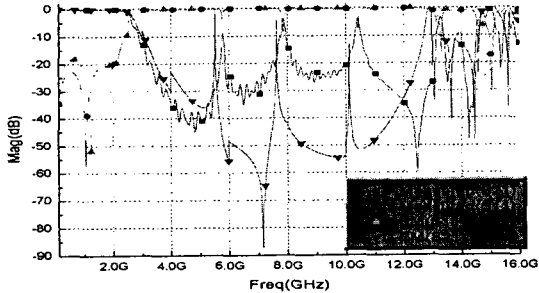


그림 5. 전자장 시뮬레이션 및 측정을 통한 주파수 특성

위의 실제 제작된 모델에서 볼 수 있듯이 높은 임피던스를 갖는 선로의 폭이 0.1mm이다.

V. EBG구조를 이용한 반파장 저역 통과 여파기

위의 그림에서와 같이 선로 폭이 0.1mm인 높은 임피던스의 마이크로스트립 선로를 EM시뮬레이터인 HFSS8.5를 이용하여 동일한 임피던스를 가지며 선로 폭이 넓은 마이크로 스트립 선로를 구현하였다. 그림6은 선로 폭을 1.0mm로 고정하고 바닥 식각면사이의 간격을 0.5mm로한 단일 EBG구조를 나타내었고 표2는 그림6의 모델을 바닥 식각면의 폭에 따른 선로의 임피던스 변화를 보여주고 있다. 하지만 에칭면의 폭의 변화만으로는 높은 임피던스를 갖는 마이크로 스트립 선로의 구현에 한계가 있음을 보여주고 있다.

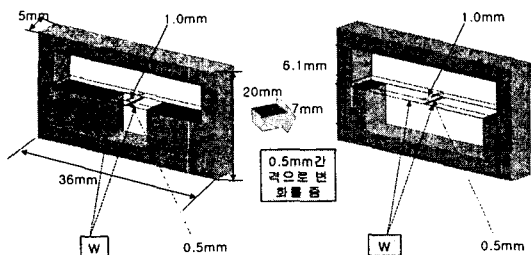


그림 6. 높은 임피던스를 갖는 마이크로 스트립 선로

표 2.식각면의 폭에 따른 임피던스 변화

식각면폭 (mm)	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7
선로 임피던스	127.2	132.8	135.5	135.4	136.1	136.3	136.6

표 3은 바닥면의 식각면사이의 간격을 조정함으

로써 필요로 하는 높은 임피던스의 마이크로스트립 선로를 구현할 수 있음을 보여주고 있다.

표 3. 식각면사이의 간격에 따른 임피던스의 변화

에칭면사이의 간격	0.5	0.4	0.3	0.25	0.23	0.22	0.2
선로 임피던스	136.	143.	163.	169.	173.	175.	178.

위와 같은 실험을 통하여 얻은 EBG 구조의 선로 임피던스를 증가하기 위한 방법으로는 첫 번째로 바닥의 식각 면적을 넓힌다. 두 번째로 바닥의 식각면사이의 폭을 줄인다. 세 번째로 바닥의 공기층높이를 높인다. 네 번째로 선폭을 감소시킴으로 원하는 특성의 높은 임피던스 선로를 구현할 수 있다. 새로운 7단 반파장 저역통과 여파기의 구현을 위해서는 두개의 높은 임피던스 가지는 마이크로 스트립 선로가 필요하다. 표4는 높은 임피던스 의 마이크로스트립 선로의 바닥면의 식각면적과 길이, 식각면사이의 간격, 또한 높은 임피던스 라인의 선폭과 하우징과 기판사이의 거리를 나타내었다. 그림 7은 EBG구조를 이용한 새로운 반파장 저역통과 여파기의 구조를 나타낸 그림이다.

표 4. EBG구조의 높은 임피던스 선로

선로 임피던스	선로2	선로4	선로6
선로 W x L(mm)	1.0x6.35	1.0x6.4	1.0x6.35
식각면 사이의 거리	0.4mm	0.22mm	0.4mm
공기층 높이	6.1mm		
바닥 공기층 높이	7.0mm		

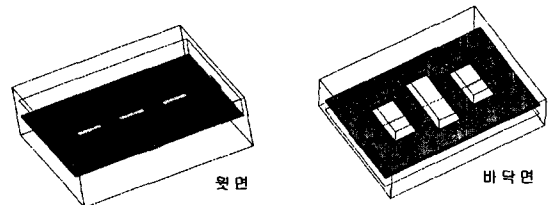


그림 7. 새로운 EBG구조의 반파장 저역통과 여파기

그림8은 일반적인 구조와 동일한 기판을 사용하여 제작한 EBG구조를 이용한 저역통과 여파기의 사진을 나타내고 있다. 그림9는 전자장 시뮬레이션 결과와 실제 구현한 모델의 특성을 나타내고 있다. 실제 제작한 모델의 크기는 53.0mm x 36.0mm x 18.0mm이다.

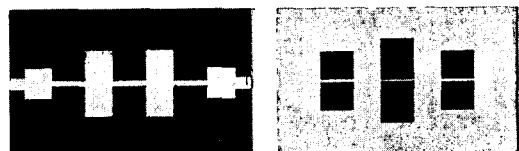


그림 8. 실제 제작한 새로운 구조의 반파장 저역통과 여파기의 실제 모델

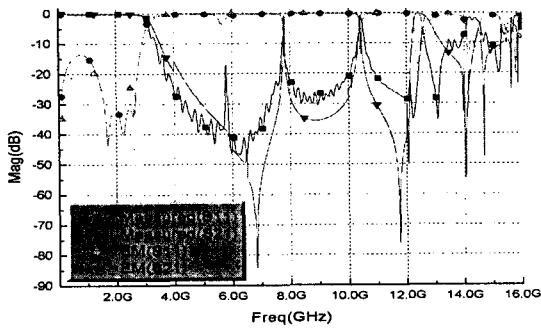


그림 9. 전자장 시뮬레이션 및 측정을 통한 주파수 특성

그림 10에서 볼 수 있듯이 동일한 크기의 실제 구현에서 EBG 구조를 이용한 모델과 그렇지 않은 모델의 높은 임피던스 선로의 선로 폭이 확연히 차이 남을 알 수 있다. 그림 11은 실제 제작된 두 모델의 측정데이터를 나타내고 있다. EBG 구조를 이용한 모델이 처음 설계한 차단 주파수 3GHz의 특성을 만족함을 나타내고 있다.

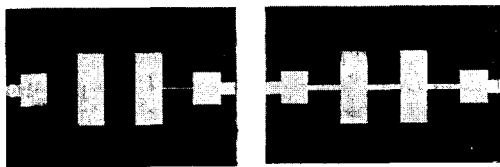


그림 10. 일반적인 반파장 저역통과 여파기와 EBG구조를 이용한 저역통과 여파기 모델

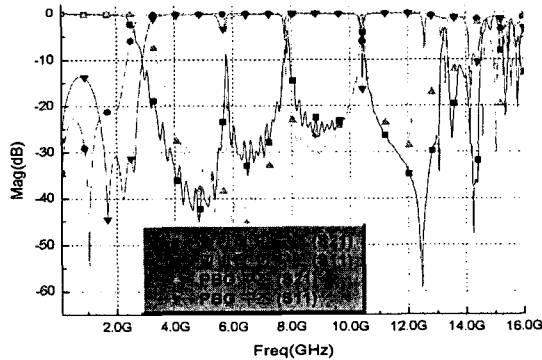


그림 11. 일반적인 반파장 저역통과 여파기와 EBG구조를 이용한 저역통과 파기의 측정데이터

또한 EBG구조를 이용함으로써 선로 폭이 좁은 높은 임피던스의 마이크로 스트립 선로를 접지평면의 에칭을 통하여 구현함으로써 각종 시스템에서 높은 임피던스가 요구되는 마이크로 스트립선로를 쉽게 구현하는데 적용될 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 일반적인 높은 임피던스의 마이크로 스트립선로를 EBG 구조를 이용함으로써 동일한 임피던스의 좁은 선로 폭을 넓게 구현 가능함을 증명하였고

또한 마이크로스트립선로에서 높은 임피던스를 가지는 선로의 폭을 임의로 조정 가능함을 살펴 볼 수 있었다. 실제로 반파장 저역통과 여파기에 적용함으로써 구현이 용이한 새로운 구조의 반파장 저역통과 여파기를 구현할 수 있었다. 이를 기반으로 제안된 구조를 응용함으로써 다양한 마이크로 스트립회로의 성능개선을 위하여 적용을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단의 2003학년도 특정기초연구(R01-2003-000-10232-0) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade and J. N. Winn, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*, Princeton University Press, 1995.
- [2] J.D Rhodes, "Theory of Electrical Filters", John Wiley & Sons, pp.134-149
- [3] Y.Qian and T. Itoh, "Microwave applications of photonic band-gap (PBG) structures," *1999 IEEE International Microwave Symposium*, pp.35-38, Jun. 1999.
- [4] T.Kim and C. Seo, "A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 10, No.1, pp.13-15, Jan, 2000
- [5] D.Ahn, J.S. Park,, C.S. Kim, Y. Qian, T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE MTT*, Vol.49, Jan. 2001.
- [6] 신윤미, 이지면, 이범선, "1D PBG 구조의 저지대역 특성 분석", *한국전자파학회 논문지* 제13권 2호 pp136-145, 2002년
- [7] 김태선, 서철현, "마이크로스트립 회로 성능 개선을 위한 새로운 PBG 구조의 LPF", *한국통신학회 논문지* 제25권 3호 pp430-434 2000년
- [8] J. S. Park and J. B. Lim, " A Novel CAD algorithm for corrugated harmonic rejection filters based on the synthesis procedures combined with the cutoff frequency correction method." *Proc. 25th European Microwave Conference, Bologna, Sep. 1995*, pp.975-980.
- [9] J. S. Park and J. B. Lim, " An improved Harmonic Rejection Characteristics of Corrugated Lowpass Filters based on the Synthesis Procedures combined with the Cutoff Frequency Corrected Method," *Proc. Asia Pacific Microwave Conference, Taejon, Oct. 1995*,
- [10] 김영태, 김영주, 박준석, 김형석, 임재봉, 조홍구, "광대역 저지특성을 갖는 반파장 저역통과 여파기 설계", *한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집* pp293-295 2003