

마이크로스트립 회로 성능 개선을 위한 새로운 PBG 구조의 LPF

학생회원 김 태 선*, 정회원 서 철 현*

A Novel PBG Structure LPF for Performance Improvement of Microstrip Circuits

Taesun Kim* Student Member, Chulhun Seo* Regular Members

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 회로 응용을 위하여 회로의 추가적인 크기 증가 없이 저지대역을 증가시킬 수 있는 새로운 구조의 광전 밴드갭(photonic bandgap, PBG) 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 서로 다른 대역에서 저지대역을 형성하는 기존의 PBG 구조를 병렬로 연결하여 구성되며, 이는 서로 다른 두 저지대역에 의해 넓은 저지대역을 형성하게 된다. 또한 제안된 구조를 마이크로스트립 안테나의 접지 평면에 구현함으로써 안테나의 성능이 개선되는 것을 보여주고 있다.

ABSTRACT

In this paper, a novel photonic bandgap(PBG) structure is proposed for increasing stopband of lowpass filter without the size increment of circuit for application in microstrip circuits. The proposed structure is connected in parallel two periodic structures which have different center frequency of the stopband. The wide stopband is achieved by two periodic structures of two different stopbands. We also show the performance improvement of microstrip patch antenna by etching of the proposed structure in ground plane.

I. 서 론

저역 통과 여파기는 각종 통신 및 전자 시스템에서 필수적으로 사용되는 부분으로 주로 병렬 스텔브 및 계단형 임피던스 라인으로 구현된다. 그러나 스텔브 라인을 이용한 여파기는 회로설계를 위해 많은 공간이 소비되고 좁은 대역을 갖는 단점을 갖고 있다. 또한 단계형 임피던스 라인을 이용한 여파기는 차단 성능이 낮을 뿐만 아니라 저지대역 내에 스퓨리어스 통과대역을 갖는다는 단점을 갖고 있다.

이러한 문제점으로 인해 일정 대역에 저지대역을 형성하는 광전 대역갭(Photonic bandgap, PBG) 원

리를 이용한 여파기의 구현이 새로운 방법으로 제안되고 있다. PBG는 주기적인 구조를 갖으며 진행파의 일정 대역을 저지하는 저지대역을 형성하는 특성을 갖는다^[1]. 이러한 주기적인 구조를 이용한 저지대역 형성에 관한 연구는 광학 분야의 브래그 격자에 대한 연구에 기반을 둔 PBG 이론은 광범위한 주파수 대역에서 적용 가능한 이론으로 최근에는 마이크로파와 밀리미터파 대역에 대한 PBG 구조의 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고있다^[2-5]. 최근에는 마이크로파 대역에서 PBG 구조는 안테나 분야에서 고주파 성분을 제거하여 안테나의 방사 패턴 및 대역폭에 대한 성능을 향상시켰고, 전력 증폭기 분야에서는 출력 전력과 효율을 증대시키기

* 송일대학교 정보통신공학과 위성 및 이동통신 연구실(chulhun@wave.soongsil.ac.kr)

논문번호 : 99327-0817, 접수일자 : 1991년 8월 17일

※ 본 연구는 과학재단 특정기초(98-0101-12-01-4) 지원에 의해 수행되었습니다.

위해 이용되고 있다. 또한 반사기 설계, 광대역 감쇠기 및 주파수 선택기의 분야에도 적용되고 있다. 이러한 여러 마이크로스트립 회로에의 적용은 대부분 PBG 구조를 이용한 저역통과 여파기 특성을 이용한 것이다. 그러나 PBG 구조는 일정 저지대역을 형성하고 그밖에는 어느 정도의 통과대역을 형성하고 있어 고조파 성분등을 제거하여 성능개선을 이루는 각종 마이크로스트립 회로에의 적용에 있어 광대역에 대한 적용에는 PBG에 의해 형성되는 저지대역의 대역폭에 의해 제한될 수 있다. 이러한 제한 요소를 줄이기 위하여 보다 넓은 대역의 저지대역이 요구되고 있다.

본 논문에서 새로운 형태의 PBG 구조를 이용한 보다 넓은 저지대역을 갖는 즉, 보다 향상된 성능을 갖는 저역통과 여파기의 구조를 제안하고 있다. 저역통과 여파기의 저지대역 증가를 위해 Kelly^[6]는 인접한 서로 다른 저지대역을 형성하는 여러 개의 PBG 구조를 직렬로 연결한 구조를 제안하였다. 그러나 이러한 구조는 회로의 전체 크기를 증가시키는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 서로 다른 저지대역을 형성하는 두 개의 PBG 구조를 병렬로 연결하여 저역통과 여파기의 부가적인 크기 증가 없이 넓은 저지대역을 형성하는 새로운 PBG 모델을 제시하였다.

II. PBG 구조 및 특성

광학 분야에서 연구가 진행되어오던 저지대역을 형성하는 PBG 구조는 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서의 적용에 대한 유용성을 갖고 있어 최근에는 PBG 구조에 의해 형성되는 저지대역을 이용한 각종 여파기의 구현이 이루어지고 있다. 또한 기존의 각종 마이크로스트립 회로에서는 여파기의 직렬연결을 통해 원치 않는 성분 제거 및 성능을 개선시켰지만 마이크로스트립의 접지평면에 구현될 수 있는 PBG 구조의 장점을 이용하여 각종 마이크로스트립 회로의 접지 평면에 PBG 구조의 여파기를 구현함으로써 회로의 부가적인 증가 없이 구현될 수 있는 장점으로 인해 PBG 구조를 이용한 각종 마이크로스트립 회로의 성능개선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

마이크로스트립 분야에서의 PBG 구조는 접지평면에 주기적인 격자를 에칭을 통하여 그림 1(a)과 같이 구현될 수 있다^[7]. 상층에서는 50Ω 특성을 갖

는 마이크로스트립 라인 구조를 구현함으로써 PBG 특성을 살펴볼 수 있다. 주기적인 격자들 사이의 거리 a 는 일정하게 유지되어야 한다. 이러한 주기적인 구조는 광학 분야의 단일 모드 브래그 반사기 구조와 같이 해석되며 주기적인 격자 구조의 불연속면에 의해 반사되는 신호의 주파수는 식 (1)과 같은 브래그 조건을 만족시킨다^[8].

$$2k = k_{\text{Bragg}} = 2\pi/a \quad (1)$$

여기서 k 는 마이크로스트립 라인에서 전파계수를 나타낸다. 이러한 조건으로부터 원하는 대역에서의 저지대역 형성을 위해 주기적인 불연속 격자에 의해 형성되는 저지대역의 중간 주파수의 반사신호는 식 (1)의 브래그 조건을 만족시키는 적절한 격자 주기 a 가 다음과 같이 선택되어야 한다.

$$a = \frac{\lambda_g}{2} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\mu_r \epsilon_{r, \text{eff}}(f)}} \quad (2)$$

여기서 $\lambda_g(f)$ 는 전파된 신호의 파장을 나타내며, $\epsilon_{r, \text{eff}}(f)$ 는 마이크로스트립 구조에서의 유효 굴절율을 나타낸다.

본 논문에서는 PBG 구조를 이용한 저역통과 여파기 구현을 위해 각종 마이크로스트립 회로용으로 많이 사용되는 유전율이 3.2이고 0.76mm의 두께를 갖는 테프론 기판을 사용하였다. 우선 5.8GHz대에서의 저지대역을 갖는 일반적인 PBG 구조를 이용한 여파기를 구현하여 특성을 살펴보았다. 5.8GHz대에서 저지대역이 형성되는 여파기를 제작하기 위하여 식 (2)를 만족시키는 16.5mm 주기를 갖고, 8mm의 정사각 구조를 갖는 PBG 구조를 그림 1과 같이 1-D 구조로 접지평면에 에칭을 통하여 구현하였다. 상층에는 50Ω 특성을 갖는 1.83mm의 너비를 갖는 마이크로스트립 라인을 구현하였다. 그림 1(b)는 제작된 일반적인 PBG 구조 여파기 특성 측정 결과이다. 제작된 PBG 구조는 그림 1(b)의 측정된 S-파라미터 그래프와 같이 일정 대역의 저지대역을 형성하고 그 이상의 대역에서는 S₂₁이 다시 증가되는 것을 볼 수 있다. 즉 PBG의 기본 구조에 의해 구현된 여파기는 일정대역의 저지대역을 형성하는 저지대역 여파기의 역할을 하기 때문에 보다 넓은 주파수 범위에서 동작할 수 있는 저역통과 여파기 특성을 요구하는 각종 마이크로스트립 회로나 시스템의 경우에는 제한 요소를 갖게 된다.

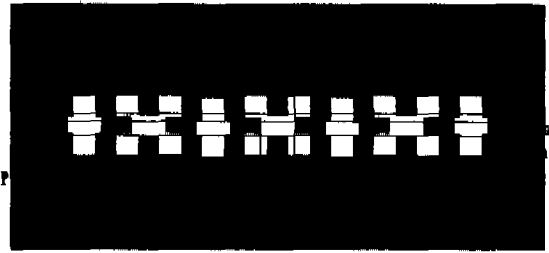
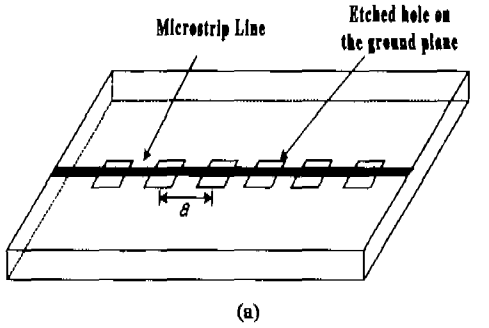


그림 2. 넓은 저지대역을 형성하는 제안된 PBG 구조

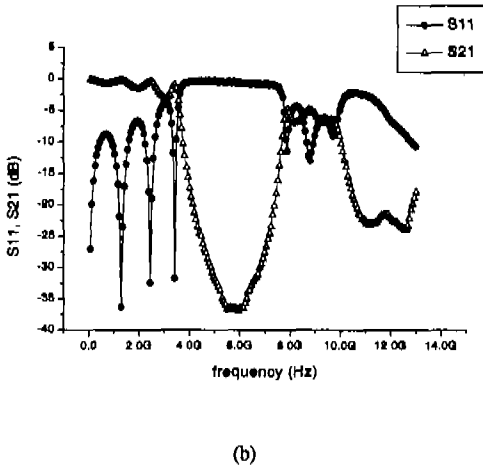


그림 1. (a) 접지면에 주기적으로 애칭된 구조를 갖는 일반적인 1-D PBG 구조, (b) 5.8 GHz 대역에서 저지대역을 형성하는 PBG 구조의 측정된 결과.

III. 새로운 구조를 이용한 넓은 저지대역을 형성하는 저역통과 여파기

보다 넓은 저지대역을 형성시키기 위하여 Kelly^[6]는 서로 다른 저지대역을 형성하는 여러 PBG 구조를 직렬로 연결한 구조를 제안하였다. Kelly는 5GHz, 7.5GHz와 12.5GHz에서 저지대역이 형성되는 세 개의 PBG 구조를 직렬로 연결하여 기존의 PBG 구조에 비해 넓은 저지대역을 형성하는 결과를 얻었다. 그러나 이러한 구조는 기존의 PBG 구조에 비해 여러 개의 저지대역을 갖는 PBG 구조를 직렬로 연결해야 하므로 회로의 크기가 증가되는 문제점을 갖게 된다. 그러므로 이러한 방법은 소형화를 요구하는 각종 마이크로스트립 회로에의 적용에는 문제점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 그림 2와 같이 서로 다른 저지대역을 형성하는 두

개의 PBG 구조를 병렬로 연결하여 저지대역폭을 넓힐 수 있었다. 제안된 구조는 두 개의 서로 다른 격자들의 주기적인 배열 형태로 구성되어 있다. 그림 3에서 A부분과 B부분으로 나누어서 보면 각각 격자로 구현된 기존의 PBG 구조로 해석될 수 있다. A부분의 주기는 B부분 주기의 1.5배를 갖고, 이로부터 A부분의 PBG 구조에 의해 형성되는 저지대역 중간주파수는 B부분에 의해 형성되는 저지대역 중간주파수의 1.5배로 예상할 수 있다. 그림 3은 A부분과 B부분이 1-D로 그림 1(a)과 같이 기존의 구조로 구현된 PBG 구조의 측정된 S-파라미터 결과들을 보여주고 있다. 이로부터 두 저지대역이 결합된 결과를 제안된 구조의 결과로 예측될 수 있다. 그림 4는 6GHz에서 저지대역을 형성하는 기존의 PBG 구조의 S₂₁ 측정결과, Kelly의 방법에 의한 결과와 제안된 구조의 측정결과를 보여주고 있다. 기존의 방법에 비해 Kelly의 방법과 본 논문에서 제안된 결과는 넓은 저지대역폭을 형성하는 것을 볼 수 있다. 제안된 방법은 저지대역이 시작되는 주파수 부분에서 그림 3으로부터 예상되는 결과와 다소 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 이는 A부분과 B부분의 결합으로부터의 서로 다른 두 개의 격자의 주기적인 구조나 A부분과 B부분의 영향을 받는 각각의 전파의 결합에 의해 발생되는 것으로 예상된다. 직렬로 연결된 Kelly의 방법에 비해 병렬로 연결된 제안된 방법은 예상된 바와 마찬가지로 S₂₁의 성능이 약간 저하되는 것을 볼 수 있으나 여파기로서 사용되기에는 충분히 양호한 성능을 보여주고 있다. 또한 제안된 구조의 저지대역은 Kelly의 방법과 마찬가지로 기존의 방법보다 훨씬 넓어진 것을 볼 수 있었다.

그러므로 제안된 구조는 저역통과 여파기를 요구하는 각종 시스템에서의 적용을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 각종 마이크로스트립 회로의 성능개선을 위해 접지면에 구현함으로써 적용될 수 있다.

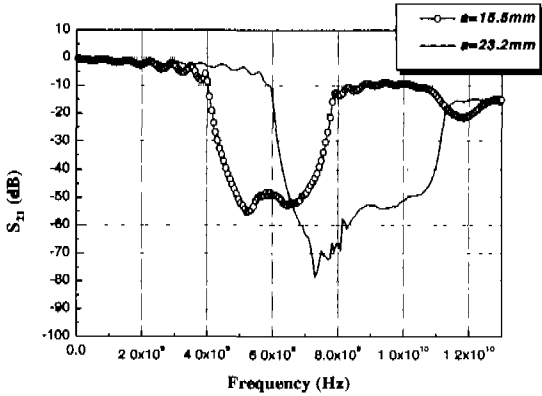


그림 3. 제안된 구조의 Part A와 Part B의 S_{21} 특성 곡선

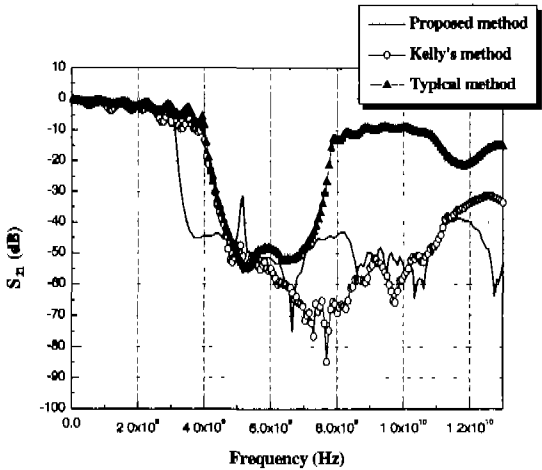


그림 4. 제안된 구조, Kelly가 제안된 구조 및 기존의 PBG 구조로 구현된 저역통과 여파기의 측정된 S_{21} 파라미터.

IV. 마이크로스트립 패치 안테나에 제안된 PBG 구조 적용

능동 소자가 집적화된 능동 배열 안테나 시스템에서의 안테나는 방사소자로서의 역할뿐만 아니라 발진 회로의 공진기로서의 역할을 하기 때문에 안테나의 고조파 성분 제거가 요구된다.

안테나의 고조파 성분을 제거하기 위해 그림 5와 같이 마이크로스트립 안테나의 접지 평면에 PBG 구조를 구현하여 PBG 구조의 저역통과 여파기 특성을 이용하여 고조파 성분이 발생하는 대역에 저지대역을 형성시켜 고조파 성분을 제거하게 된다. 이로써 빔패턴 특성 향상 및 표면 전류의 억제뿐만 아니라 대역폭을 증가시키는 효과를 가져올 수 있다.

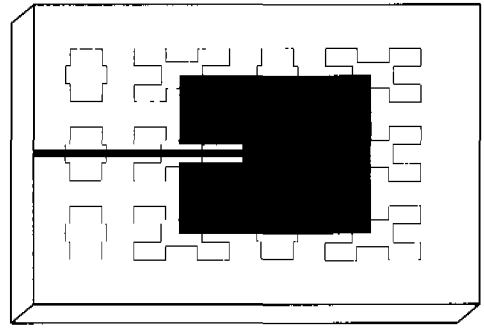


그림 5. 접지평면에 제안된 PBG 구조를 갖는 마이크로스트립 안테나.

그림 6은 일반 마이크로스트립 안테나, 기존의 PBG 구조를 접지평면에 구현한 안테나 및 본 논문에서 제안된 구조를 접지평면에 구현한 안테나의 측정된 S_{11} 을 보여주고 있다. 그림6에서 볼 수 있듯이 1.9GHz의 공진주파수를 갖는 일반적인 마이크로스트립 안테나는 1.9GHz의 공진 주파수외의 여러 주파수 성분에서 공진이 일어나는 것을 볼 수 있다. 반면 PBG 구조를 접지평면에 갖는 안테나는 고조파 성분이 제거된 것을 볼 수 있다. 기존의 PBG 구조와 본 논문에서 제안된 구조를 갖는 안테나는 유사한 성능을 갖지만 본 논문에서 제안된 구조에 의해 구현된 안테나가 보다 평평한 기본 주파수 외에서의 S_{11} 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. 각 안테나의 공진 주파수가 약 100MHz 천이된 것을 그림 6에서 볼 수 있었다. 이로 인해 PBG 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나 설계시 이에 대한 고려가 요구되고 있다. 이러한 주파수 천이가 있는 반면

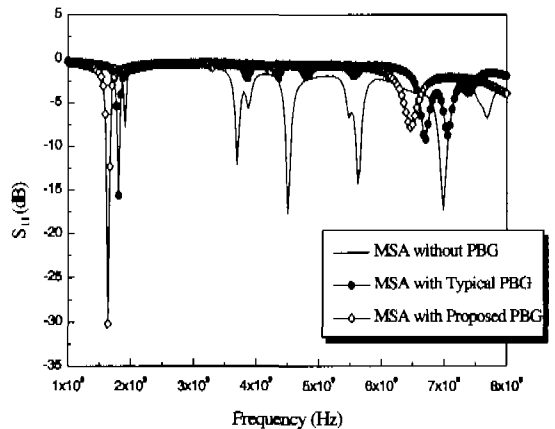


그림 6. 제안된 PBG 구조 및 일반적인 PBG 구조를 갖는 마이크로스트립 안테나와 PBG 구조가 없는 일반 마이크로스트립 안테나의 S_{11} 특성 그래프

