

마이크로스트립 선로 응용을 위한 새로운 PBG Cell 구조

°이세연, *천창을, 한송엽
 서울대학교 전기·컴퓨터공학부, *서울시립대학교 전자전기공학부

A Novel PBG Cell Structure for Microstrip Line Application

°Se-Yeon Lee, *Changyul Cheon, Song-Yop Hahn
 EECS, Seoul Nat'l Univ., *EE, Univ. of Seoul

Abstract - 최근에 특정 주파수 대역에서 전자기파의 전파를 억제하는 주기 구조인 PBG(Photonic Band Gap) 구조에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 마이크로스트립 선로에서 사용될 수 있는 새로운 PBG cell을 제안하였다. 제안된 구조는 단일 cell만으로도 대역저지 특성을 얻을 수 있고, cell의 치수를 조절하여 저지대역을 조절할 수 있다. 또한, 방사 효과 등으로 인한 손실을 고려하여 정확한 등가 모델링을 할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 구조를 마이크로스트립 패치안테나의 하모닉 억제에 활용하여 그 유용성을 입증하였다.

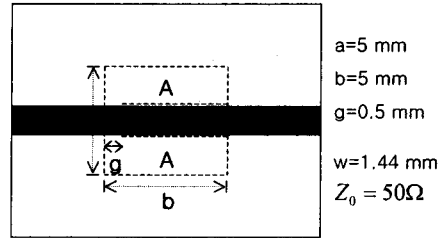


그림 1. 제안된 PBG cell 구조

1. 서 론

PBG(Photonic Band-Gap) 구조는 특정 주파수 대역에서 전자기파의 전파를 억제시키는 주기적인 구조로서 [1], 원래 광학분야에서 연구되어 왔으나, 주기 구조의 크기를 적절히 조절하면 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서도 그 성질을 이용할 수 있기 때문에 1990년대 중반 이후, 이에 연구가 활발히 이루어지고 있다 [2][3]. 특히 마이크로스트립과 같은 평판구조의 접지면에 주기적인 식각을 하였을 때도 PBG 특성을 얻을 수 있다는 연구 결과가 보고된 후에 [4], 평판구조의 소자와 회로의 특성을 개선하는 데에 많이 이용되고 있다. 최근에는 좀 더 넓고 깊은 대역저지 특성을 얻기 위한 식각 형태에 대한 연구도 이루어지고 있으며, 단일한 cell에 대한 등가 모델링과 그 응용에 관해서도 연구되고 있다 [5][6].

일반적으로 평판 구조에서의 PBG 식각 형태는 단순히 원형이나, 사각형 구조를 갖게 된다. 보통 이러한 구조에서의 저지대역의 중심주파수는 식각 형태의 간격에 의해 결정되며, 대역폭의 넓이와 감쇄 특성은 식각패턴의 넓이에 의해 결정된다 [4]. 하지만, 이러한 단순한 구조들은 저지대역의 급격한 감쇄 특성을 얻기 힘들며, 정확한 등가 모델링이 불가능하기 때문에 실제 응용시에 많은 어려움이 따르게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위해 저지대역에서 급격한 감쇄 특성을 가지며, 등가 모델링이 가능한 여러 구조들이 제시되었다.

본 논문에서는 새로운 형태의 PBG cell을 제안하였다. 기존에 제시된 대표적인 구조와 특성을 비교하였고, 방사 손실을 고려한 정확한 등가 회로 모델링 방법을 제시하였다. 한편 제안된 구조의 대역저지 특성을 마이크로스트립 패치안테나의 하모닉 억제에 활용하여 그 유용성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 새로운 PBG cell의 제안

그림 1은 제안된 PBG cell 구조를 나타내고 있다. 기판으로는 유전율 4.6, 높이가 0.77 mm인 FR4를 고려하였다. 제안된 구조는 그림 1의 A부분에서의 부가적인 인덕턴스와, B부분에서의 부가적인 캐패시턴스를 이

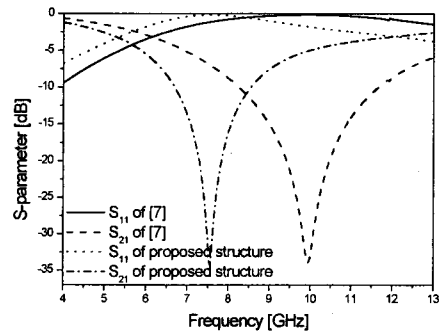


그림 2 제안된 cell의 필드 시뮬레이션 결과

용하여, 단일 cell만으로도 그림 2와 같이 대역저지 특성을 얻을 수가 있다.

제안된 PBG cell 구조는 설계 파라미터에 따라 저지대역의 대역이 조절될 수 있다. 그림 3은 a, b, g 길이의 변화에 따른 저지대역의 중심 주파수의 변화를 알아

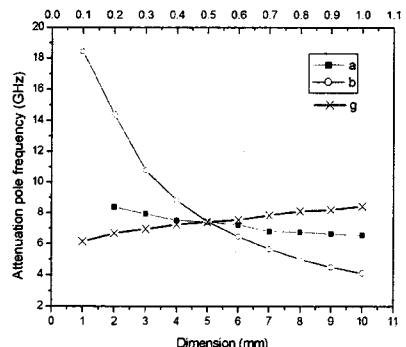


그림 3. 파라미터 값에 따른 저지대역의 변화

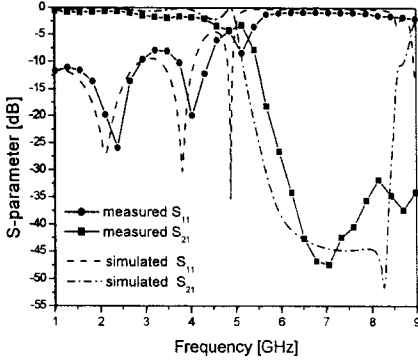


그림 4. 주기적으로 배열된 cell 구조의 특성

본 결과이다. 변화하는 파라미터를 제외하고 나머지는 초기 설계치인 $a=b=5\text{mm}$, $g=0.5\text{mm}$ 를 유지하였으며, a 와 b 는 1mm 간격, g 는 0.5mm 간격으로 변화시켰다. 결과에서 볼 수 있듯이 a 와 b 의 증가는 중심 주파수를 떨어뜨리게 되는데, 이는 A부분의 크기가 커짐에 따라 인덕턴스 값이 증가되기 때문이다. 또한, 결과에서 볼 수 있듯이 b 가 a 보다 민감한 설계 파라미터라는 것을 알 수 있다. 한편, g 의 증가는 저지대역의 중심 주파수를 증가시킨다. 그 이유는 g 의 크기가 증가됨에 따라 서 부가적인 캐패시턴스 값이 감소되기 때문이다.

단일 cell만으로도 얻어지는 제안된 구조의 대역저지 특성은 기존에 제시된 DGS의 특성과 유사하다(7), 그림 2는 동일한 크기를 갖는 두 cell 구조의 S 파라미터를 비교한 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 제안된 cell이 더 낮은 주파수에서 저지대역을 일으킨다는 것을 알 수 있다. a 혹은 b 의 크기를 증가시켜야 저지대역 주파수가 감소하기 때문에 제안된 구조가 기존의 구조보다 소형화와 방사손실에 있어 유리하다는 것을 알 수 있다.

그림 4은 제안된 구조를 주기적으로 배열한 경우의 특성을 FEM 기반의 필드 시뮬레이션을 통해 확인한 것이다. 그림 1에서 제시된 크기를 갖는 4개의 cell을 2.5mm 간격으로 배열한 경우, 급격한 cut-off 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

2.2 제안된 구조의 등가회로 모델링

그림 2에서 본 논문에서 제안된 구조와 비교되었던 DGS에 대한 등가 회로 모델링은 이미 연구된 바 있다(6)(7). 본 논문에서 제시된 cell 구조도 DGS와 같이 급격한 저지대역 혹은 감쇄극을 나타내기 때문에 병렬 L과 C로 등가 모델링 할 수 있다. 그러나 기존의 등가 모델링은 접지면의 식각 때문에 발생하는 방사등의 손실을 고려하지 않았기 때문에, 정확한 모델링 결과를 얻을 수 없었다. 본 논문에서는 방사 손실을 고려하여 제안된 구조를 등가 모델링하였다. 그림 5는 본 논문에서 제시하는 cell 구조의 등가 회로 모델이다. 병렬 L과 C이외에도 방사손실에 의한 R을 L,C와 병렬로 구성하였다.

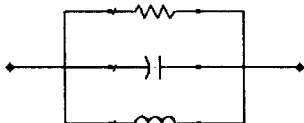


그림 5. 제안된 cell의 등가 회로 모델

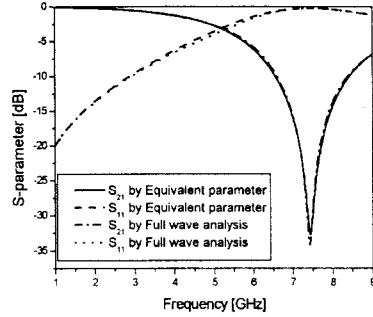


그림 6. 시뮬레이션과 등가 모델링 결과 비교

기존에 제시된 방법에 의해 추출되어진 L과 C는 다음과 같다.

$$C = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad (2)$$

ω_0 는 저지대역의 중심주파수를 나타내고, ω_c 는 S_{21} 의 3 dB 주파수를 나타낸다.

R은 저지대역의 필드 시뮬레이션으로부터 얻어진 저지대역의 중심 주파수의 S_{11} 값과 등가 회로의 S_{11} 의 값을 비교하여 얻을 수 있다. 중심 주파수에서 등가 회로 전체의 어드미턴스와 S_{11} 의 크기는 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$Y = \frac{1}{R} + \left(\omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L} \right) \quad (3)$$

$$|S_{11}| = \left| \frac{Z}{Z + 2Z_0} \right| = \left| \frac{1}{1 + 2Z_0 Y} \right| \quad (4)$$

위 식으로부터 구해진 등가 저항값은 다음과 같다.

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega_0)|^2} - \left(\omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L} \right)^2} - 1} \quad (5)$$

위의 R,L,C 추출을 통해서 그림 1에서 제시되었던 설계치에 대해 다음과 같은 등가회로 파라미터 값들을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} C &= 0.292 \text{ pF} \\ L &= 1.575 \text{ nH} \\ R &= 4237.9 \ \Omega \end{aligned}$$

그림 6는 필드 시뮬레이션 결과와 추출된 등가회로로부터의 결과를 비교한 것이다. 두 결과가 거의 완벽히 일치하고 있어, 위 등가 회로 모델링 방법이 매우 정확하다는 것을 알 수 있다.

2.3 마이크로스트립 패치 안테나에서의 응용

마이크로스트립 패치 안테나는 공진특성을 이용하기 때문에 공진 주파수의 배수가 되는 주파수에서 스퍼리어스 모드가 발생한다. 이러한 특성은 능동안테나로 사용 시에 발진기의 하모닉이 안테나의 스퍼리어스 모드와 같

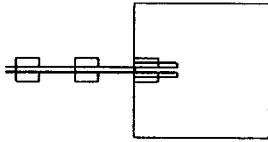


그림 7. 하모닉 억제를 위한 패치 안테나

계 분포되기 때문에 하모닉 주파수에 해당되는 전력이 함께 방사된다는 문제점을 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 제시한 PBG 구조를 사용하였다.

하모닉의 억제를 위해 그림 7과 같이 2GHz의 동작주파수를 갖는 패치 안테나의 입력부 접지면에 제안된 구조를 설치하였다. 그림 9는 제안된 구조가 설치된 안테나에 대한 필드 시뮬레이션으로부터 얻은 반사손실 특성을 나타내었는데, 그림 8과 비교하였을 때, 첫 번째와 두 번째 하모닉이 완벽히 제거되었음을 보이고 있다.

3. 결 론

기존의 PBG cell에 비해 여러 가지 면에서 장점을 갖는 새로운 형태의 cell을 제안하였다. cell을 주기적으로 배열하였을 때, 급격한 감쇄 특성을 얻을 수 있음을 확인하였고, 방사손실을 고려한 정확한 등가 회로 모델링이 가능함을 보여주었다. 제안된 cell 구조를 이용하여 마이크로스트립 패치안테나의 하모닉을 억제 하였는데, 이외에도 여러 소자와 회로에서 본 논문에서 제시한 구조를 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade and J. N. Winn, *Photonic Crystals*, Princeton University Press, 1995.
- [2] Y. Qian, V. Radisic, T Itoh, "Simulation and experiment of photonic bandgap structures for microstrip circuits," *APMC '97 Proc.*, Hong Kong, pp. 585-588, Dec., 1997.
- [3] Y. Qian, T. Itoh, "Planar periodic structure for microwave and millimeter wave circuit applications," *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1533-1536, 1999.
- [4] V. Radisic, Y. Qian, T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines," *IEEE Microwave Guided Lett.*, vol. 8, pp. 69-71, Feb., 1998.
- [5] Q. Xue, K. Shum, C. Chan, "Novel 1-D microstrip PBG cells," *IEEE Microwave Guided Lett.*, vol. 10, pp. 403-405, Feb., 2000.
- [6] D. Ahn, J. Park, C. Kim, J. Kim, Y. Qian, T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Trans., Microwave Theory Tech.*, vol.49, No. 2, pp. 86-93, Jan., 2001.
- [7] J. Park, C. Kim, J. Kim, J. Park, Y. Qian, T. Itoh, "Modeling of a photonic bandgap and its application for the low-pass filter design," *APMC '99 Proc.*, pp. 331-334, Dec., 1997.
- [8] Y. Horii, M Tsutsumi, "Harmonic control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna," *IEEE Microwave Guided Lett.*, vol. 9, pp. 13-15, Jan., 1999.

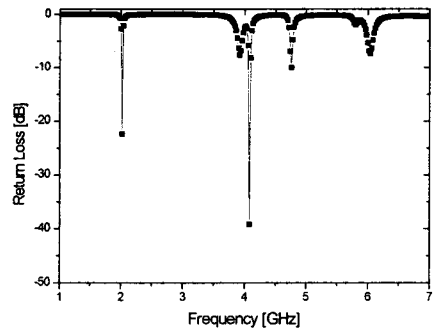


그림 8. 일반적인 패치 안테나의 반사손실 특성

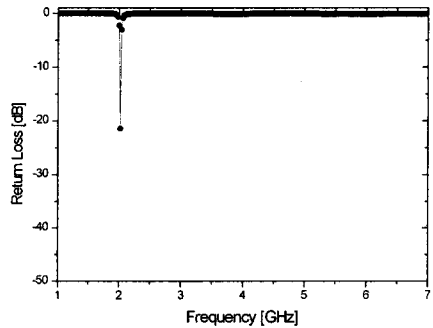


그림 9. 제안된 패치 안테나의 반사손실 특성