독립된 접지면을 갖는 EBG 구조를 이용한 이중 대역 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도 향상

Isolation Enhancement between Two Dual-Band Microstrip Patch Antennas Using EBG Structure without Common Ground Plane

최 원 상 · 이 홍 민

Won-Sang Choi · Hong-Min Lee

요 약

본 논문에서는 UMTS Tx 대역(1.92~1.98 GHz)과 Rx 대역(2.11~2.17 GHz)에서 동작하는 이중 대역 E 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도 향상을 위한 EBG 구조를 제안하였다. 제안된 EBG 구조는 이중 대역에서 두 안테나 사이의 격리도를 향상시키기 위하여 서로 다른 크기의 변형된 버섯 모양(mushroom-type) 구조로 단위 셀들을 배열하였다. 제안된 구조는 패치 안테나와 접지 면을 공유하지 않으며, 설계되어진 단위 셀의 크기는 각각 15.6 mm×4 mm, 17.4 mm×4 mm이다. 제안된 안테나의 전체 크기는 210.5 mm×117 mm이고, FR-4(비유전율=4.6, 기판 두께= 3.93 mm) 기판 상에 설계되어졌다. 제작된 안테나의 측정 결과, 제안된 EBG 구조의 사용으로 UMTS Tx 대역과 Rx 대역에서 각각 9 dB, 12 dB의 격리도 향상을 나타내었다.

Abstract

In order to enhance the isolation level between two dual-band E-slot microstrip patch antennas, EBG structure which operates in UMTS Tx(1.92~1.98 GHz) and Rx(2.11~2.17 GHz) band is proposed. The proposed EBG structure made with a periodic array of two different size EBG unit cells which has a modified mushroom-type for isolation improvement between two antennas. They do not share a common ground plane of the microstrip patch antenna. Overall size of the fabricated antenna is 210.5 mm×117 mm. The two different EBG unit cell sizes are 15.6 mm×4 mm and 17.4 mm×4 mm, respectively. It was etched on the FR-4 substrate(thickness=3.93 mm, $\epsilon_r=4.6$). The experiment results show that the isolation level between antennas in Tx/Rx band were improved by about 9 dB and 12 dB, respectively, through the use of the proposed EBG structure.

Key words : EBG, Isolation, Microstrip Antenna, Dual-Band, Soft-Surface

I. 서 론

최근 소형 무선 통신 기기 등에 대한 관심이 집중되고 있다. 이와 같은 기기에 다수의 안테나를 사용하는 경우에 두 안테나 사이의 상호 결합에 의하여

안테나 성능의 저하 문제가 심각하게 된다. 일반적으로 이들 안테나 입력 포트 사이의 격리도를 향상시키는 기본적인 방법은 두 안테나들 사이의 물리적인 거리를 증가시키는 기법이지만, 이러한 방법은 전체 무선 통신 기기의 크기를 증가시키므로 적합하

「본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0011646).」

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

• Manuscript received November 25, 2011 ; Revised March 6, 2012 ; Accepted March 7, 2012. (ID No. 20111125-08S)

• Corresponding Author : Hong-Min Lee (e-mail : hmlee@kyonggi.ac.kr)

지 못하다. 상호 근접되어진 두 안테나 사이의 격리도를 향상시키는 방법에는 다수의 슬릿을 안테나 접지 면에 배치시키거나^{[1],[2]}, 소위 중화 선로(neutralization line)라고 불리는 단락 선로를 두 안테나 방사 소자 사이에 접속시키는 방법^{[3],[4]} 등이 있다. 그러나 안테나의 접지 면에 놓인 슬롯은 안테나의 후방 방사를 증가시키게 되며, 두 안테나 사이의 단락 선로를 접속시키는 방법은 단락 점의 최적 위치를 선정하는 방법이 쉽지 않다. 본 연구에서는 EBG (Electromagnetic band gap)^[5] 구조 또는 소프트 평면(soft-surface)^[6] 구조와 같은 주기 구조를 사용할 경우에 발생하는 저지 대역 특성을 이용하여 인접된 두 개의 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도를 향상시키는 방법을 연구하였다. 마이크로스트립 패치 안테나가 유전체 기판 위에 제작되어진 경우에 접지 면을 통하여 흐르는 표면파에 의하여 안테나의 후방 방사 전력이 증가된다. 특히 동일한 유전체 기판 상에 인접하여 놓인 두 안테나 사이에는 상호 전자기적인 결합으로 인하여 각각의 안테나 입력 포트들 사이의 격리도가 저해된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 기존의 연구에서는 마이크로스트립 패치 안테나 사이에 버섯 모양(mushroom-type)의 electromagnetic band gap(EBG) 구조를 설치하는 방법을 사용하였다. 그러나 기존의 방법에서는 사용된 EBG 구조는 안테나와 동일한 접지 면 상에 설치되어지며, 버섯 모양 단위 셀의 공진 특성에 의하여 나타나는 저지 대역폭이 좁으므로 다수의 단위 셀들을 사용하여야 한다.

본 연구에서는 두 안테나의 공통 접지 면과 독립된 공간 상에 에지 비아를 갖는 버섯 모양 구조(edge-via mushroom structure)의 단위 셀들을 사용한 새로운 EBG 구조를 제안한다. 제안된 구조는 두 안테나의 공통 접지 면과 이격되어져 있기 때문에 접지 면 크기와 상관없이 공진 구조의 단위 셀들의 부설이 가능하므로 이중 저지 대역의 형성이 가능하다는 장점이 있다. 서로 다른 저지 대역 주파수를 갖는 두 종류의 단위 셀들을 3열로 교차 배열한 EBG 구조를 사용하여 UMTS Tx/Rx 대역에서 동작하는 이중 대역 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도를 향상시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는

UMTS Tx/Rx 대역에서 동작하는 최적화된 EBG 단위 셀을 설계하였고, 제Ⅲ장에서는 앞서 설계된 서로 다른 크기의 EBG 셀들을, UMTS 대역에서 동작하는 마이크로스트립 패치 안테나 사이에 부설하고, 이에 따른 특성 변화를 살펴본다. 제Ⅳ장에서는 제안된 EBG 구조를 갖는 안테나를 제작하고, 그 특성을 측정하여 셀의 유무에 따른 특성 비교를 하였다. 마지막으로 제Ⅴ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다. 안테나의 설계 및 모의 실험에는 CST사의 Micro-Wave Studio 시뮬레이터를 사용하였다^[7].

Ⅱ. EBG 단위 셀의 설계

스트립 라인 형태 및 버섯 모양 형태로 구성된 기존의 EBG 구조 및 연구에서 제안된 단위 셀 구조를 그림 1에 나타내었다.

그림 1(a)와 (b)에 나타낸 EBG 구조는 안테나와 동일한 접지 면 상에 설치되어지는 단점이 있는 반면, 그림 1(c)에 나타낸 EBG 단위 셀은 공통 접지 면을 갖지 않으면서 기존 소프트 표면 구조(그림 1(a) 및 1(b))보다 소형화가 가능하며, 표면파 차단 특성이 우수하게 나타나므로 패치 안테나의 후방 방사 특성을 개선하는 데 효과적이다^[8].

본 논문에서는 서로 다른 길이를 갖는 그림 1(c)의 구조를 단위 셀들을 FR-4 기판(비유전율=4.6, 기판 두께= 3.93 mm) 위에 주기적으로 배열하여 설계하였다. 제안된 EBG 구조는 두 평판 사이에서 발생하는 커패시턴스(C_m)와 비아에서 발생하는 인덕턴스(L_v)의 성분이 병렬로 동작하여 LC 병렬 공진 회로와 같이 동작한다. 제안된 단위 셀의 설계에서 단위 셀의 저지 대역 중심 주파수를 결정하기 위하여 각 소자 값들은 분산 소자들의 구조에 근거하여 도출되어진 경험적인 다음의 수식을 통하여 등가적으로 계산되었다^[9].

$$C_m(\text{pF}) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{L \times W}{h} \quad (1)$$

$$L_v(\text{nH}) = 0.2 \times h \left[\ln \left(\frac{4h}{d} \right) + \frac{d}{2h} - 1 \right] \quad (2)$$

여기서, W 는 평판 도체의 폭, L 은 평판 도체의 길이, h 는 비아의 길이, d 는 지름이다.

연구에서 제안된 단위 셀들은 패치 안테나의 접

그림 1. 여러 가지 EBG 구조
Fig. 1. Various EBG unit cell structures.

그림 2. 평행 도파관 모델
Fig. 2. Parallel plate waveguide model.

지 면과 일정 거리 이격되어진 유전체 내에 위치한 다수의 셀들 사이에는 공통 접지 면이 없으므로 설계 중심 주파수에서 저지 대역 특성을 갖는 단위 셀의 구조를 설계하기 위하여 평행 도파관 모델을 사용한다.

특정 주파수에서 EBG 단위 셀의 길이 L 및 폭 W 의 변화에 따른 투과 계수 특성을 조사하기 위하

그림 3. 길이 L 의 변화에 따른 투과 계수
Fig. 3. The transmission coefficient characteristics for different length L .

여 사용한 평행 도파관 모델을 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 평행 도파관 모델 모의 실험에서 두 yz-평면은 무한 주기 경계 조건(periodic boundary)으로, xz-평면은 perfect electric conductor(PEC), xy-평면은 도파관 포트에 설정하고, 포트 1에 평면파 전자계를 입사시키어 모의 실험을 하였다. 평행 도파관 내부는 FR-4(비유전율=4.6, 기판 두께= 3.93 mm)로 채워졌으며, 평행 도파관의 개방되어진 끝단에서 8 mm 떨어진 곳에 반지름이 0.35 mm, 길이 3.93 mm 크기의 비아와 폭 W , 길이 L 인 평행판 도체로 구성된 단위 셀을 위치시켰었다. 사용된 비아는 단위 셀 평판의 한쪽 측면의 정 중앙에 위치시켰었으며, 단위 셀의 폭 $W=4$ mm인 경우에 단위 셀의 길이 L [mm]의 변화에 따른 저지 대역 중심 주파수의 변화를 그림 3에 나타내었다. L 값의 증가에 따라서 평행 판 커패시터의 정전용량이 증가하므로 저지 대역 중심 주파수는 낮아지며, 대략 L 값이 15~17 mm인 경우에 UMTS Tx/Rx 대역의 중심 주파수에서 동작함을 확인할 수 있다. 또한, 모의 실험에서 평행 도파관 사이에 EBG 단위 셀이 없는 경우에 평행 도파관 모델의 입출력 포트 사이의 투과 계수는 약 -30 dB로 나타났다.

다음으로 비아의 길이 $h=3.93$ mm, 단위 셀의 길이 $L=16$ mm인 경우에 폭 W [mm]의 변화에 따른 투과 계수의 변화를 그림 4에 나타내었다. 그림 3의 경우와 마찬가지로 W 값의 증가에 따라서 평행 판 사이의 정전 용량이 증가하므로 저지 대역 중심 주파

독립된 접지면을 갖는 EBG 구조를 이용한 이중 대역 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도 향상

그림 4. 폭 W 의 변화에 따른 투과 계수
Fig. 4. The transmission coefficient characteristics for different width W .

수는 낮아지며, 대략 W 값이 4~5 mm인 경우에 UMTS Tx/Rx 대역의 중심 주파수에서 동작함을 확인할 수 있다. 결과적으로 EBG 단위 셀의 폭 W 및 길이 L 값의 변화에 따라서 저지 대역의 중심 주파수가 변한다는 것을 알 수 있다. 설계에서는 W 값을 4 mm로 정하고, 셀들의 길이를 조정하여 저지 대역의 중심 주파수가 각각 UMTS Tx/Rx 대역의 중심 주파수에서 저지 대역 특성을 나타내도록 두 종류의 단위 셀을 최적화 하였다.

따라서 본 연구에서는 그림 5에 나타난 바와 같이 단위 셀들이 UMTS Tx/Rx 각 대역에서 동작하도록 $W=4$ mm, $L_1=15.6$ mm 및 $L_2=17.4$ mm로 최적화 설

그림 5. UMTS Tx/Rx 각 대역에서 최적화된 단위 셀
Fig. 5. The optimized EBG unit cell for UMTS Tx/Rx band.

그림 6. 배열된 단위 셀들을 갖는 평행 도파관 모델
Fig. 6. Parallel plate waveguide model with arrayed unit cells.

계하였다. 앞서 설계된 서로 다른 크기를 갖는 2종류의 단위 셀들을 평행 도파관의 개방되어진 끝단에서 8 mm 떨어진 곳에 교차시키어 주기 배열시키고, 배열된 각 셀 사이의 간격(gap) 변화에 따른 주파수 저지 특성을 살펴보기 위한 평행도파관 모델을 그림 6에 나타내었다. 단일한 셀들로 구성되어진 평행 도파관 모델을 사용하는 경우와 동일한 경계 조건을 적용하여 서로 다른 크기를 갖는 2종류의 단위 셀들로 일열 배열된 경우에 대한 실험한 결과를 그림 7에 나타내었다. 모의 실험 결과, 단위 셀 사이의 간격이 2 mm인 경우 가장 적합한 특성을 나타내었다. 다음으로 주기적으로 배열되어진 셀 열들 사이의 간격 또한 2 mm인 경우에 배열 개수 변화에 따른 특성을 모의 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다. 셀의 열의 개수가 3열일 경우에 제안된 EBG 구조는 UMTS Tx/Rx 대역의 중심 주파수에서 동작함을 확인하였다.

그림 7. 배열된 단위 셀 사이의 간격 변화에 따른 투과 계수
Fig. 7. The transmission coefficient characteristics for different gap length between arrayed cells.

그림 8. 셀 배열 갯수 변화에 따른 투과 계수

Fig. 8. The transmission coefficient characteristics for different number of array row.

III. 제안된 EBG 구조를 적용한 이중 공진 마이크로스트립 패치 안테나

그림 9에 제안된 EBG 구조를 적용한 UMTS 대역의 이중 대역 E 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나 구조를 나타내었다. 설계된 안테나의 표면과 방사를 감소시키기 위하여 E-슬롯 패치 방사 소자의 접지면의 일부를 제거하였으며^[10], 두 개의 안테나 사이의 상호 결합도를 줄이기 위하여 각각의 안테나의 E-슬롯 개구의 방향이 서로 반대로 위치되어지도록 배치 시키었다. 하나의 이중 대역 E 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 접지면적의 크기는 75 mm×75 mm이다. 두 안테나 사이의 입력 포트 사이의 이격 거리는 대략 $0.68 \lambda_0$ 이고, 두 안테나 사이에 총 18개의 EBG 단위 셀들이 2 mm 간격으로 배치되어졌다. 접지 면과 셀의 간격은 0.75 mm이고, 전체 안테나 기판의 크기는 117 mm×201.5 mm×3.2 mm이다. 그림 10에 제안된 EBG 구조의 유무에 따른 제안된 안테나에 대한 반사 손실(S_{11}) 및 각각의 안테나 입력 포트 사이의 격리도에 대한 모의 실험 결과를 나타내었다. EBG 구조의 적용으로 인하여 안테나의 공진 주파수는 UMTS Tx에서 약간 변화하였지만, 안테나의 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 290 MHz를 나타내고 있으므로 UMTS Tx/Rx 대역을 만족하였다. 제안된 EBG 구조가 두 안테나 사이에 부설됨으로써 안테나의 입력 포트 사이의 격리도가 Tx/Rx 대역에서 각각 약 9 dB, 12 dB 향상되었다.

(a) 윗면
(a) Top view

(b) 아래면
(b) Bottom view

그림 9. 제안된 안테나의 구조

Fig. 9. Geometry of the proposed antenna

그림 10. EBG 셀 유무에 따른 제안된 안테나의 반사 계수 및 격리도의 모의 실험 결과 비교

Fig. 10. Simulated reflection coefficient and isolation level of the proposed antenna with/without EBG cells.

<Top view> <Bottom view>
(a) 제작된 안테나 사진
(a) Photographs of the fabricated antenna

(b) 셀 유무에 따른 제작된 안테나의 반사 계수 및 격리도의 측정 결과 비교
(b) Measured reflection coefficient and isolation level of the proposed antenna with/without cells.

그림 11. 제작된 안테나 사진 및 측정된 S-파라미터
Fig. 11. Photographs of the fabricated antenna and measured S-parameters.

IV. 안테나 제작 및 측정

그림 11에 제작된 안테나의 사진 및 셀 유무에 따른 측정되어진 반사 손실(S_{11}) 값을 나타내었다. 설계된 안테나는 FR-4(비유전율=4.6) 기판 위에 제작되었고, 안테나 전체 크기는 117 mm×201.5 mm×3.2 mm이며, 각각의 안테나에는 임피던스 50 Ω 의 커넥터를 부착하였다. 그림 11(b)에 제안된 EBG 구조의 유무에 따른 제작된 안테나에 대한 반사 손실(S_{11}) 및 각각의 안테나 입력 포트 사이의 격리도에 대한 측정 결과를 나타내었다.

EBG 구조가 추가된 안테나의 반사 손실을 측정

한 결과, 안테나의 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 260 MHz를 나타내고 있으므로 설계 목표로 정한 UMTS Tx/Rx 대역에서 사용이 가능하다. 제안된 EBG 구조가 두 안테나 사이에 부설된 경우에 EBG 구조가 없는 경우에 비하여 두 패치 안테나의 입력 포트 사이의 격리도가 향상되고 있으므로 제안된 EBG 셀들로 인하여 두 안테나 입력 포트 사이의 격리도 향상의 타당성을 확인하였다. UMTS 대역의 Tx 및 Rx 공진 중심 주파수인 1.95 GHz와 2.14 GHz에서 제안된 EBG 셀 구조를 갖는 안테나의 방사 패턴에 대한 모의 실험 및 측정값에 대한 비교를 그림 12에 나타내었다. 제작된 안테나의 방사 패턴 측정은 한 쪽의 안테나에만 신호를 인가하고, 나머지 안테나를 50 Ω 부하로 중단시켜 측정한 결과이다. 측정된 안테나의 방사 패턴은 전 방향성 방사 패턴을 나타내었으며, 모의 실험 결과와 거의 일치되는 결과를 보였다. 제안된 안테나의 xy 평면(H-plane)과 yz 평면(E-plane)에서는 y축 방향으로 다소 이득이 감소하고 있으며, xz 평면에서는 거의 전 방향성 방사 패턴을 나타내었다. UMTS Tx/Rx 대역에서 제안된 안테나의 후방 방사($\theta = -90^\circ$) 이득은 -13 dB를 나타내었으며, 브로드사이드 방향($\theta = 0^\circ$)에서 이득은 각각 1.4 dBi 및 4.3 dBi를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 접지 면이 없는 환경에서 서로 크기가 다른 두 종류의 단위 셀들을 주기적으로 교차 배열시키어 이중 대역에서 동작하는 새로운 EBG 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 UMTS Tx/Rx 대역에서 마이크로스트립 패치 안테나의 표면파를 차단시키어 동일 평면 상에 놓인 두 패치 안테나 안테나의 입력 포트 사이의 격리도를 향상시키었다. 제안된 EBG 구조를 두 개의 마이크로스트립 E-슬롯 패치 안테나 사이에 위치시키고, 두 안테나 사이의 격리도를 측정한 결과, EBG 구조를 사용하지 않은 경우에 비하여 UMTS Tx/Rx 대역에서 각각 9 dB 및 12 dB의 격리도 향상을 나타내었다. 따라서 연구에서 새롭게 제안된 이중 대역 EBG 구조는 마이크로스트립 패치 안테나의 격리도 향상에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

그림 12. 제안된 EBG 구조를 갖는 안테나의 방사 패턴

Fig. 12. Radiation patterns for the antenna with proposed EBG structure.

참 고 문 헌

- [1] C. Chiu, C. Chen, D. Murch, and R. Rowell, "Reduction of mutual coupling between closely-packed antennas elements", *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. 55, pp. 1732-1738, 2007.
- [2] Y. Shin, S. Park, "Spatial diversity antenna for W-LAN application", *Microwav Opt Technol Letter*, vol. 49, pp. 1290-1294, 2007.
- [3] A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, and G. Kossiavas, "Enhanced two-antenna structures for universal mobile telecommunications system diversity terminals", *IET Microw Antenn Propag.*, vol. 2, pp. 93-101, 2008.
- [4] A. Chebihi, C. Luxey, A. Diallo, P. Le Thuc, and R. Staraj, "A novel isolation technique for closely spaced PIFAs UMTS mobile phones", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 665-668, 2008.
- [5] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap(EBG) structures: A low mutual coupling design for array applications", *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. 51, no. 10, pp. 2936-2946, Oct. 2003.

- [6] P. -S. Kildal, A. A. Kishk, and S. Maci, "Special issue on artificial magnetic conductors, soft/hard surfaces, and other complex surface", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 2-7, Jan. 2005.
- [7] CST STUDIO SUITE TM 2008 MWS(Micro Wave Studio) manual, CST Corporation.
- [8] Tae-june Cho, Joong-kwan Kim, and Hong-min Lee, "Mutual coupling reduction between two microstrip patch antennas using isolated soft surface structures", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1-4, 2009.
- [9] I. Bahl, *Lumped Elements for RF and Microwave Circuits*, Artech House Publishers, pp. 25-26, 2003.
- [10] Hong-min Lee, Joong-kwan Kim, "Front-to-back ratio improvement of a microstrip patch antenna using an isolated soft surface structure", in *Proceedings of the European Microwave Conference (EuMC 2009)*, pp. 385-388, 2009.

최 원 상

2011년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
 2011년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF수동소자, Metamateria

이 홍 민

1972년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동 소자, Metamaterial