

Slow-wave 특성을 이용한 3 dB 전력 분배기 설계

A Design of 3 dB Power Divider using Slow-wave Characteristic

김철수* · 박준석* · 안 달* · 김근영**

Chul-Soo Kim* · Jun-Seok Park* · Dal Ahn* · Geun-Young Kim**

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 구조에서의 접지면에 식각된 패턴을 갖는 PBG(Photonic Bandgap) 구조의 Slow-wave 특성을 이용한 전력 분배기 설계에 대해 연구하였다. 또한 제시된 PBG 구조는 전송선로의 특성 임피던스를 변화시켜 기존 구조에 비해 선로의 폭을 넓게 할 수 있고 Slow-wave 특성에 의해 소자의 크기가 감소된 Wilkinson 3 dB 전력 분배기를 설계하였다.

제시된 임의의 PBG 구조를 산란 파라미터로부터 전송선로의 특성 임피던스와 전기적 길이를 추출하여 응용하는 방법을 제시하였고 같은 모양의 결손(defect)을 추가함으로써 그 영향을 고찰하였다. 제시된 방법으로 구현된 전력분배기의 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 보였다.

Abstract

In this paper, we studied the design of power divider using the slow-wave effect of Photonic Bandgap structure, which is etched on the ground plane. The proposed PBG structure can provides the changing of the characteristic impedance of the transmission line and the group delay velocity characteristic. Therefore we can make wider width than the width of conventional transmission line and decrease the length of transmission line.

We presented the application for power divider using the characteristic impedance and electrical length extracted from scattering parameter. As adding proposed defect units, the effect of defect is studied. The experimental results show good agreements with the simulated results.

I. 서 론

최근 이동통신 기기의 소형화와 경량화가 이동통신의 발달과 더불어*필연적으로 요구되어지고 있다. 이를 위해 Slow-wave 특성을 갖는 구조에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. Slow-wave 구조중 접

지면에 식각된 패턴을 갖는 PBG(photonic band-gap) 구조를 이용한 회로에 대한 연구가 광, 마이크로웨이브, 밀리미터 주파수 대역에서 활발히 이루어지고 있다^{[1]~[3]}. 접지면에 주기적인 PBG 구조는 전파 지연 특성과 특정 대역에서 저지대역을 형성하는 특성을 나타낸다^{[4],[5]}.

본 논문에서는 접지면에 간단한 모양의 PBG

*순천향대학교 전기·전자공학부(School of Electrical and Electronic Engineering, Soonchunhyang Univ.)

**탐라대학교 산업정보과(Dept. of Industrial Informatics, Tamna Univ.)

· 논문 번호 : 990826-06S

· 수정완료일자 : 1999년 9월 6일

구조를 갖는 마이크로스트립 전송선로를 제시하였다. 접지면의 PBG 구조는 그 위를 지나가는 전송선로의 인덕턴스를 증가시켜 전송선로의 임피던스가 변하게 되고 또한 전파 지연 특성을 갖는다. 제시된 PBG 구조는 기존의 접지면에 부분 식각을 통해 쉽게 구현할 수 있고 defect의 크기와 모양으로 전송선로의 임피던스를 조절이 가능하므로 고유전율에서 높은 임피던스의 전송선로를 구현할 때 기존 선로의 폭보다 넓게 구현할 수 있는 장점이 있다^[6].

주기적인 PBG 구조를 갖기위해 먼저 2개의 defect를 갖는 전송선로의 산란 파라미터로부터 특성 임피던스와 전기적 길이를 추출하여 전력 분배기 설계에 응용하였고 defect를 추가해감으로써 전파지연 특성을 관찰하였다.

II. PBG구조의 특성

그림 1은 3포트 소자로서 두 출력 포트의 0°의 위상차를 보이며 가역성을 갖는 일반적인 3 dB Wilkinson 전력 분배기/합성기를 나타내었다. 그림 1에서 입출력 임피던스 Z_0 가 50 Ω일 때 입력포트와 출력포트를 정합하기 위해서는 전기적 길이가 90°이고 전송선로의 특성 임피던스가 70.7 Ω인 $\lambda/4$ 임피던스 트랜스포머가 필요하다^[7].

본 논문에서는 그림 1에서 특성임피던스 70.7 Ω

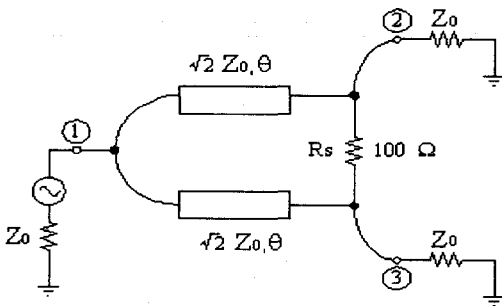


그림 1. 일반적인 3 dB 전력 분배기/합성기
Fig. 1. General 3 dB power divider/combiner.

을 갖는 전송선로를 Slow-wave 특성을 나타내는 PBG구조를 적용하였고 defect 개수에 따른 중심 주파수 감소효과를 고찰하였다. 그림 2는 전력 분배기에 응용하기 위한 임의의 단위 전송선로를 나타내고 있다. 각 파라미터는 a, b, d 와 g 는 각각 2.8 mm, 2.5 mm, 5 mm와 0.5 mm의 길이를 갖는다. 전송선로의 폭은 PBG가 없는 기존 구조의 특성 임피던스 70.7 Ω의 전송선로 폭은 1.34 mm이지만 defect에 의해 전송선로의 특성 임피던스가 변함을 보여 주기 위해 70.7 Ω의 특성 임피던스를 갖으며 입출력 선로 폭과 같은 2.4 mm가 되게 하였다. 시뮬레이션 및 제작에 사용된 기판은 유전율 2.2, 두께 31 mil(0.7874 mm)을 갖는 RT/Duroid 5880을 사용하였다.

그림 2를 EM-simulator인 Ansoft-HFSS V.6.0으로 시뮬레이션 하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에 나타난 시뮬레이션 특성으로부터 접지면에 식각된 부분이 없는 기존의 전송선로 특성에서는 볼 수 없는 약 5 GHz에서 저역통과 여파기의 차단 주파수와 같은 특성이 나타남을 알 수 있다. 이는 접지면의 PBG 패턴은 그 위를 지나가는 마이크로스트립 전송선로에 직렬 인덕턴스를 증가시킨다. 따라서 이러한 부가된 성분에 의해 전파지연이 생기고, 특정 주파수 대역에서 감쇠효과와 특성

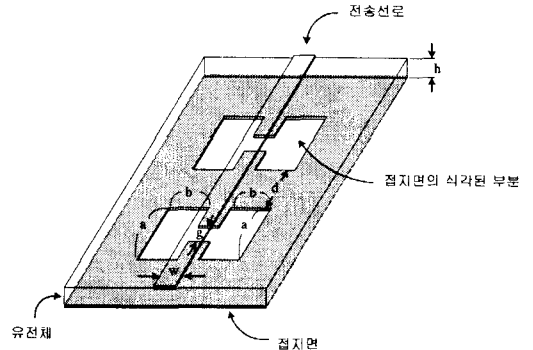


그림 2. PBG 구조를 갖는 단위 전송선로 모양
Fig. 2. An unit transmission line with PBG structure.

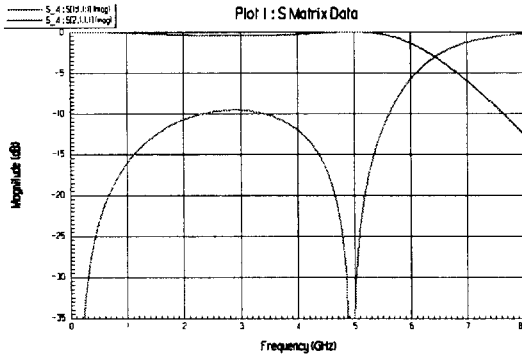


그림 3. 제시된 단위전송선로의 시뮬레이션 특성
 Fig. 3. The simulation characteristic of proposed unit transmission line.

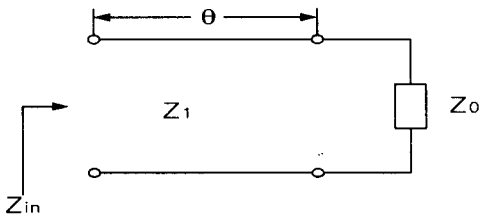


그림 4. 전송선로의 입력 임피던스
 Fig. 4. Input impedance of transmission line.

임피던스를 증가시킨다. 본 논문에서는 제시된 PBG 구조를 이용한 전송선로를 이용하여 3dB 전력 분배기를 구현하기 위해 전송선로 특성 임피던스가 70.7 Ω을 갖도록 패턴의 크기를 정하였다.

여기서의 특성 임피던스는 그림 3의 산란 파라미터로부터 다음과 같이 구하였다. 그림 4는 그림 2를 간략화한 그림이다. PBG 구조가 있는 선로의 특성 임피던스를 Z_1 으로 표기하였다.

$$Z_{in} = Z_1 \frac{Z_0 + jZ_1 \tan \theta}{Z_1 + jZ_0 \tan \theta} \quad (1)$$

식 (1)은 그림 4에서 θ 가 $\pi/2$ 일 때 최대 입력 임피던스를 갖고 π 일 때 최소 입력 임피던스를 가짐을 알 수 있다. 따라서 그림 3의 반사손실 곡선에서 첫 번째 최대점이 전송선로의 전기적 길이

가 그 주파수에서 $\pi/2$ 이며 그 다음의 최소점이 π 임을 나타낸다. 그러므로 그림 2에 제시된 전송선로는 3GHz 근방에서 전기적 길이 θ 가 $\pi/2$ 가 되며 최대 입력 임피던스를 갖는다. 최대 입력 임피던스를 나타내는 9.5 dB를 식 (2)에 대입하여 근사적인 반사계수를 구하고 식 (3)으로부터 접지면에 PBG 패턴을 갖는 전송선로를 바라본 입력 임피던스를 구할 수 있다.

$$S_{11} \text{ dB} = 20 \log |\Gamma| \quad (2)$$

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (4)에 대입하면 제시된 단위 전송선로의 특성 임피던스를 구할 수 있다.

$$Z_1 = \sqrt{Z_0 Z_{in}} \quad (4)$$

또한 설계하고자 하는 주파수에서 특성 임피던스 Z_1 을 갖는 단위 전송선로의 전기적 길이는 식 (5)에 입력임피던스의 식 (1)을 대입하면 식 (6)과 같고 이때의 θ 를 구하면 설계 주파수에서의 전기적 길이를 구할 수 있다. 이때 식 (6)에서의 반사계수는 설계하고자 하는 주파수에서의 반사계수이다.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (5)$$

$$\Gamma = \frac{Z_1(Z_0 + jZ_1 \tan \theta) - Z_0(Z_1 + jZ_0 \tan \theta)}{Z_1(Z_0 + jZ_1 \tan \theta) + Z_0(Z_1 + jZ_0 \tan \theta)} \quad (6)$$

III. 시뮬레이션과 측정결과

위 수식으로부터 제시된 2개의 defect를 갖는 단위 전송선로가 70.7 Ω의 특성 임피던스와 1GHz에서 28°의 전기적 길이를 가짐을 알 수 있다. 그림 5는 PBG의 Slow-wave 효과를 비교하기 위하여

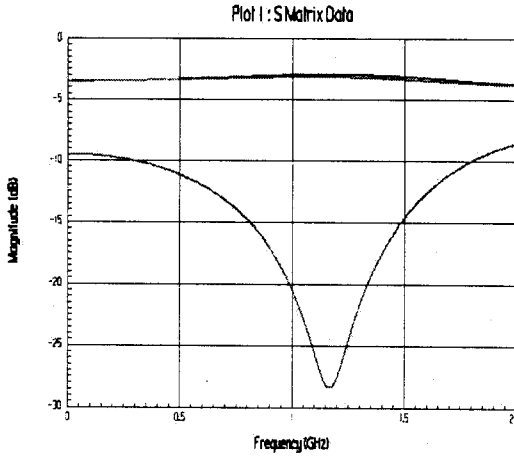


그림 5. 기존 구조의 전력 분배기
Fig. 5. Power divider using conventional structure.

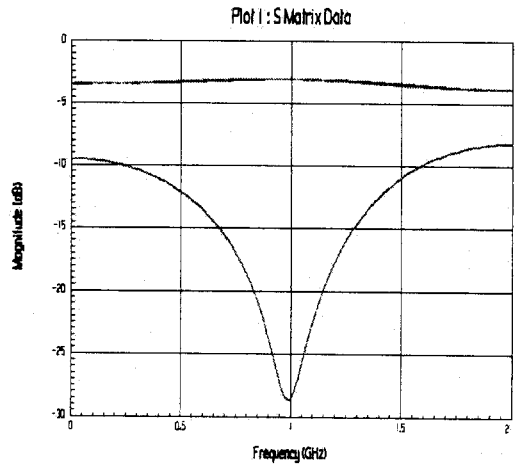


그림 7. 세 개의 defect를 갖는 전력 분배기
Fig. 7. Power divider with three defects.

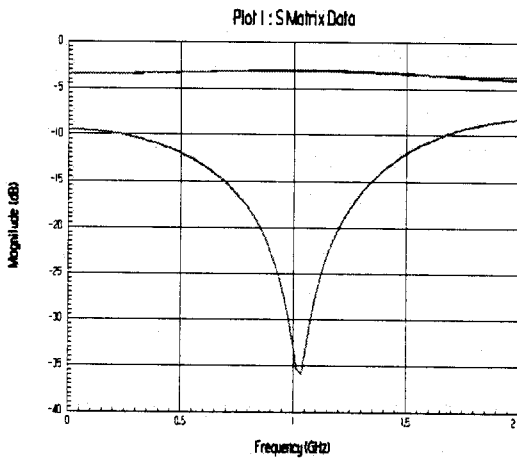


그림 6. 두 개의 defect를 갖는 전력 분배기
Fig. 6. Power divider with two defects.

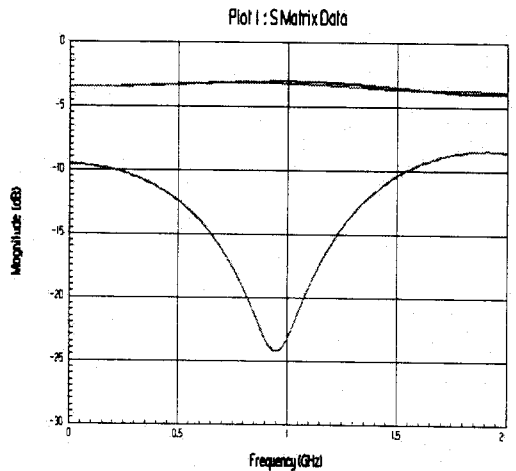


그림 8. 네 개의 defect를 갖는 전력 분배기
Fig. 8. Power divider with four defects.

접지면에 식각된 부분이 없는 기존의 방법으로 구현된 분배기의 시뮬레이션 결과이다. 그림 6은 $\lambda/4$ 전송선로를 중앙에 전기적 길이가 28° 인 제시된 2개의 defect를 갖는 구조와 기존 구조의 전기적 길이 62° 로 이루어진 분배기를 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 3개의 defect를 포함한 PBG 구조의 42° 전기적 길이와 기존 구조의 전기적 길이 48° 인 전송선로로 이루어진 분배기의 시뮬레이션

결과이다. 그림 8은 4개의 defect를 갖는 분배기이다. 그림 5와 비교하면 각각 중심주파수가 140, 180과 220 MHz의 주파수 감소 효과를 볼 수 있다. 여기서 $\lambda/4$ 전송선로의 실제 길이는 47.4 mm로 동일하게 하여 주파수 감소를 비교하였다. 따라서 같은 길이를 갖는 분배기가 PBG 구조에 의해 Slow-wave가 나타남을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. 또한 여기서 구현한 특성 임피던스 70.7 Ω 을

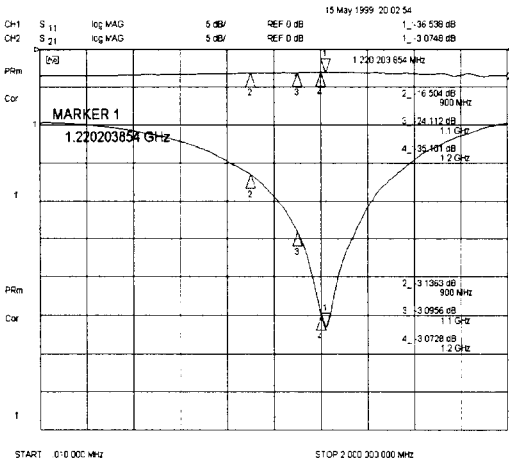


그림 9. 기존구조의 전력 분배기 측정 결과
Fig. 9. Measured results of divider with conventional structure.

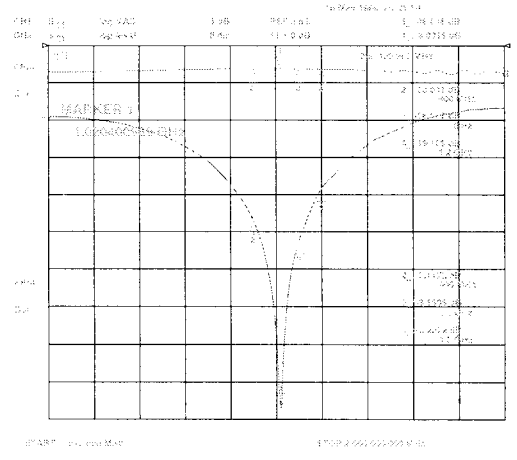


그림 11. 세 개의 defect를 갖는 전력 분배기 측정 결과
Fig. 11. Measured results of divider with three defects.

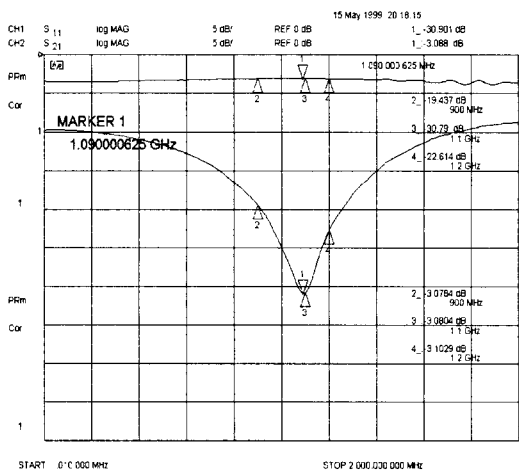


그림 10. 두 개의 defect를 갖는 전력 분배기 측정 결과
Fig. 10. Measured results of divider with two defects.

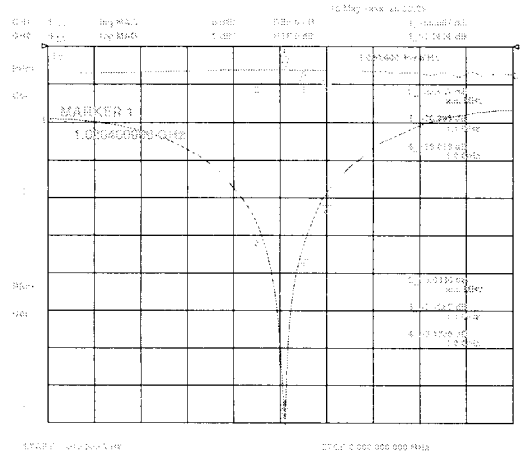


그림 12. 네 개의 defect를 갖는 전력 분배기 측정 결과
Fig. 12. Measured results of divider with four defects.

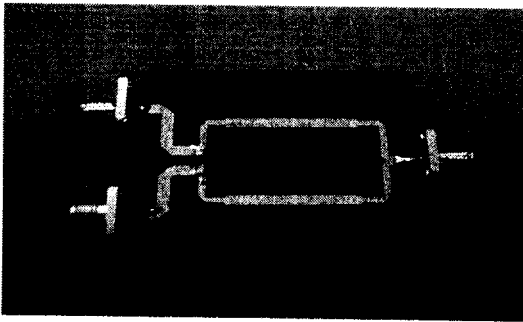
갖는 단위 전송선로의 폭은 기존 전송선로의 폭인 1.34 mm 보다 1.06 mm 넓은 2.4 mm로 하였고 이는 기존 구조의 특성 임피던스 50 Ω과 같은 폭이다. 그림 9, 10, 11과 12는 각각 기존 구조와 defect가 2, 3, 4개를 포함한 전송선로로된 분배기를 제작하여 측정한 결과이다. 표 1에서 각 시뮬레이션과 측정 결과에서의 중심 주파수 이동을 정리하였

다.

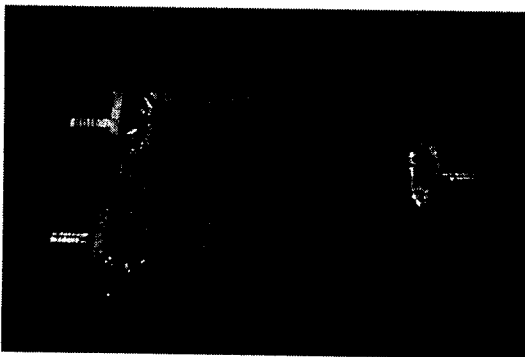
그림 13은 제작된 4개의 defect를 갖는 PBG 구조의 전력 분배기의 사진이다. 접지면에 제시된 구조로 식각된 모양을 보여주고 있으며 70.7 Ω의 특성 임피던스를 갖는 선로의 폭은 입출력 feed line과 같게 구현되었음을 알 수 있다.

표 1. 접지면의 defect 개수에 따른 중심 주파수 이동
Table 1. Center frequency shift depend on defect number in ground plane. [단위: GHz]

	기존구조	Defect 2개	Defect 3개	Defect 4개
시뮬레이션	1.17	1.03	0.99	0.95
측 정	1.22	1.09	1.02	0.973



(a)



(b)

그림 13. 제작된 4개의 defect를 갖는 3 dB 전력 분배기. (a) 윗면, (b) 접지면

Fig. 13. 3 dB power divider with 4 defects. (a) top, (b) ground plane.

IV. 결 론

본 논문에서는 Slow-wave 특성을 나타내는 PBG 구조를 갖는 마이크로 스트립 전송선로를 이

용한 3 dB 전력 분배기를 설계에 응용하는 방법과 defect 개수에 따른 영향에 대해 연구하였다. 본 논문에서 제시한 PBG 구조는 Slow-wave를 발생 시키며 전송선로의 특성임피던스를 증가시켜 소자의 전체 크기를 감소시키고, 전송선로의 폭을 넓게 구현할 수 있어 동작 전력레벨을 개선시키는 장점을 갖는다. 또한 고유전율에서 높은 임피던스 구현이 용이할 것이다.

제시된 PBG 구조를 이용하여 구현한 측정결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치함을 보였고 측정결과에서 기존 구조와 4개의 defect를 포함한 분배기를 비교하면 약 20%의 주파수 감소를 보였고 전체 길이에 PBG 구조를 적용한다면 더 큰 중심 주파수 감소를 나타낼 것이며 따라서 전체 크기를 감소시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구에 시뮬레이션 소프트웨어를 협조해 주신 Ansoft Korea에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave-tapered slot antennas on micromashed photonic bandgap dielectrics", *IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Dig.*, June, 1996, pp. 1157-1160.
- [2] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure", *IEEE Microwave Guide Wave Lett.* vol. 8, pp. 13-14, Jan., 1998.
- [3] M. P. Kesler, J. G. Maloney, and B. L. Shirley, "Antenna design with the use of photonic bandgap material as all dielectric planar reflectors", *Microwave Opt. Tech. Lett.* vol. 11, no. 4, pp. 169-174, Mar., 1996.

[4] Fei-Ran Yang, Yongxi Qian, Roberto Coccioli and Tatsuo Itoh, "A novel low-loss slow-wave microstrip structure", *IEEE Microwave Guide Wave Lett.*, vol. 8, pp. 372-374, Nov., 1998.

[5] Yongxi Qian, Vesna Radisic and Tatsuo Itoh, "Simulation and experiment of photonic band-gap structures for microstrip circuits", *1997 Asia Pacific Microwave Conference*

Dig., pp. 585-588, Dec., 1997.

[6] 김철수, 김근영, 박준석, 안 달, "접지면의 PBG를 이용한 전력 분배기 설계", *춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 22, no. 1, pp. 191-194, 1999.

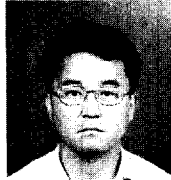
[7] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 395-400, 1993.

김 철 수



1969년 4월 6일생.
1996년: 순천향대학교 전자공학과(공학석사)
현재: 순천향대학교 전자공학과 박사과정

안 달



1961년 10월 15일생.
1990년: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1990년~1992년: 한국전자통신연구소 선임연구원
1992년 9월~현재: 순천향대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] RF & Microwave 수동소자 설계

박 준 석



1969년 8월 12일생
1996년: 국민대학교 전자공학과(공학박사)
1997년: UCLA Post Doc.
1998년~현재: 순천향대학교 교수
[주 관심분야] RF 회로 설계 및 모델링

김 근 영



1995년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1996년~1997년: 제주전문대학 교수
1997년~현재: 탐라대학교 교수
[주 관심분야] 초고주파 측정 및 수동소자 설계