

Meta-Material을 이용한 소형 Wilkinson 전력 분배기 설계

Design of a Compact Wilkinson Power Divider Using Meta-Material Lines

김정표 · 김기호 · 양묘근 · 성원모

Jeong-Pyo Kim · Gi-Ho Kim · Myo-Geun Yang · Won-Mo Seong

요 약

본 논문에서는 meta-material 전송 선로를 이용하여 소형 Wilkinson 전력 분배기를 구현하였다. 구현된 전력 분배기는 -90° 위상차를 갖는 길이가 $\lambda_g/4$ 인 전송 선로를 $+90^\circ$ 위상차를 갖는 MM 전송 선로로 대체하였다. 추가된 MM 전송 선로는 3개의 단위 셀로 구성되어 있으며, 각 단위 셀은 $+30^\circ$ 위상 천이 특성을 갖도록 구성되었다. 제안된 전력 분배기를 이용할 경우, 동작 주파수인 200 MHz에서 210 mm인 $\lambda_g/4$ 의 길이를 18 mm로 줄일 수 있으며, 이는 91.4 %의 소형화가 가능하다.

Abstract

A compact Wilkinson power divider with meta-material transmission line(MM-TL) is proposed. The divider is designed by adding the MM-TL with $+90^\circ$ phases shifting instead of the $\lambda_g/4$ TL with -90° phases shifting at a simple Wilkinson power divider. The MM-TL consists of three phase shifter unit cells and each cell has the characteristics of the 30° phases shifting and 6 mm length. Therefore, the length of $\lambda_g/4$ (210 mm) TL with -90° phases shifting at a simple Wilkinson power divider can be reduced to 18 mm and the Wilkinson divider is very compact.

Key words : Wilkinson Divider, Meta-Material

I. 서 론

최근 meta-material(MM)에 대한 이론 및 응용 분야에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. MM은 자연계에서 흔히 볼 수 없는 특수한 전자기적 성질을 나타내도록 인공적인 방법으로 합성된 물질을 통칭하는 용어이다. 이중 흔히 doubly negative material(DNG), 음의 굴절율(NRI: Negative Refractive Index), left-handed material(LHM) 등의 여러 가지 이름으로 불리는 물질들은 어떤 특정 조건 하에서 유효 유전율 및 유효 투자율이 모두 음의 값을 가지게 되면 이에 따라 일반적인 물질과는 매우 상이한 전자파 특성을 나타낸다.

마이크로파 분야에서 LH 전파 현상이 실제적인

응용은 전송선 방식의 LHM 구조를 기반으로 진행되고 있다. 일반적으로 직렬 L과 병렬 C의 등가회로로 나타내어지는 통상의 등가회로 모델에서 L과 C의 위치를 바꾸어 직렬 C와 병렬 L로 구성된 전송선 구조에서는 전자파의 위상 속도가 반전되는 현상이 발생한다^{[1],[2]}. 또한 이러한 현상을 이용하면 기존의 전송 선로와 달리(+) 위상 천이 및 (-) 위상 천이 특성을 동시에 구현할 수 있으며, 소형화가 가능하다^{[3],[4]}.

본 논문에서는 Wilkinson 전력 분배기를 설계함에 있어서 -90° 의 위상이 천이되는 $\lambda_g/4$ 전송 선로 부분을 $+90^\circ$ 의 위상 천이 특성을 갖는 MM 전송 선로를 이용하여 소형 Wilkinson 전력 분배기를 구현하고자 한다.

「본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 2006년 정보통신선도기반기술개발사업의 결과로 수행되었습니다.」

(주)이엠파블유안테나(E.M.W. Antenna Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20060724-083

· 수정완료일자 : 2006년 9월 14일

II. 기본 이론

2-1 Wilkinson 전력 분배기

Wilkinson 전력 분배기는 널리 사용되는 양 방향성 하이브리드형 분배기/합성기로 구조는 그림 1과 같다.

Wilkinson 전력 분배기에서는 입력 단자에 전력을 인가하면, 전력의 크기와 위상이 동일하게 두 부분으로 분배되어 두 개의 출력 단자에 나타난다. 이때 입력 임피던스의 정합과 두 개의 출력 단자 간의 격리도 확보를 위해 특성 임피던스가 $\sqrt{2} \cdot Z_0$ 이고, 길이가 $\lambda_g/4$ 인 전송 선로를 이용한다^[5]. 하지만, 일반적인 Wilkinson 전력 분배기는 $\lambda_g/4$ 전송 선로를 이용하기 때문에 크기가 주파수에 따라 달라지게 되며, 특히 주파수가 낮아질수록 커지게 된다.

2-2 Meta-Material 위상 천이기

기본적인 MM 위상 천이기의 단위 셀은 그림 2와 같다. 이 구조는 RH 전송선과 LH 전송선을 통합한 보다 일반적인 구조로서 CRLH(Composite Right/Left Handed) 전송선으로도 해석되며^[6], 일반적인 전송 선로와 달리 MM 전송 선로는 직렬 성분으로 커패시

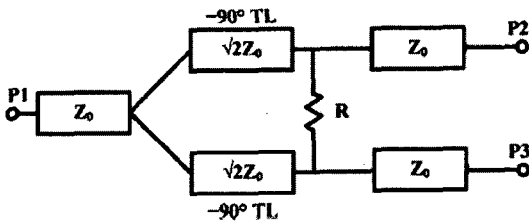


그림 1. Wilkinson 전력 분배기
Fig. 1. Wilkinson power divider.

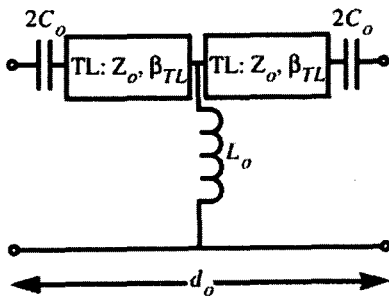


그림 2. MM 위상 천이기 단위 셀
Fig. 2. MM phase shifter unit cell.

터를 추가하고, 병렬 성분으로 인덕터를 추가함으로 구성할 수 있다. 또한 이와 같이 구성된 MM 전송선로에서는 입력 신호에 대한 (+) 위상 천이가 가능하며, 임피던스 매칭 조건인 식 (1)을 만족하면

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

단위 셀의 위상 천이는 식 (2)와 같이 표현할 수 있으며,

$$\phi_0 = \omega\sqrt{LC}d_0 + \frac{-1}{\omega\sqrt{L_0C_0}} \quad (2)$$

또한, 천이시키하고자 하는 위상 값이 클 경우 반복 적용이 가능하며, 식 (3)과 같다.

$$\phi_0 = n\left(\omega\sqrt{LC}d_0 + \frac{-1}{\omega\sqrt{L_0C_0}}\right) \quad (3)$$

따라서 단위 셀의 길이 d_0 , 추가되는 인덕터 L_0 와 커패시터 C_0 의 값을 조정함으로써 단위 셀의 위상 천이 값을 얻을 수 있고, 단위 셀의 단 수 n 을 증가 시킴으로써 보다 큰 값의 위상 천이 특성을 얻을 수 있다^[3].

III. 소형 Wilkinson 전력 분배기 설계

제안된 Wilkinson 전력 분배기는 그림 3과 같다. 일반적인 전력 분배기(그림 2)에서 -90° 위상차를 갖는 길이가 $\lambda_g/4$ 인 전송 선로를 대신하여 $+90^\circ$ 위상차를 갖는 MM 전송 선로를 이용하였다. MM 전송 선로의 위상 특성 및 제안된 전력 분배기의 시뮬레이션은 Agilent-ADS 2005A^[7]를 이용하였다.

3-1 MM 전송 선로 위상 천이기

Wilkinson 전력 분배기를 구현하기 위해 $+90^\circ$ 위상

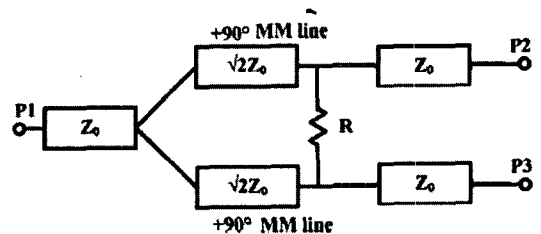


그림 3. 제안된 Wilkinson 전력 분배기
Fig. 3. Proposed Wilkinson power divider.

표 1. 위상 천이기 설계 파라미터
Table 1. Phase shifter design parameter.

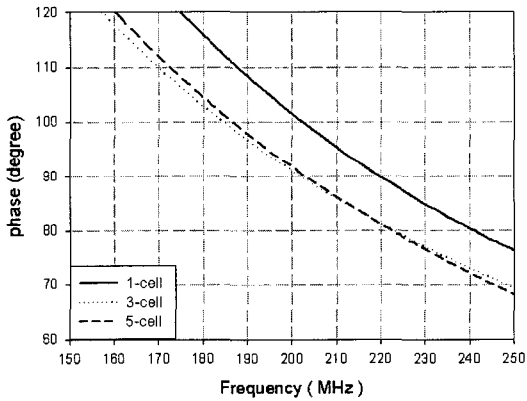
	1 cell	3 cell	5 cell
d_0	6 mm	6 mm	6 mm
L_0	35 nH	100 nH	157 nH
C_0	7 pF	20 pF	31.4 pF

차를 갖는 MM 전송 선로 위상 천이기를 구현함에 있어서 다양한 셀 수를 이용할 수 있다. 각 단위 셀의 위상 천이는 식 (2)와 같고, 다단의 셀 수를 이용하면 식 (3)과 같이 비록 단위 셀의 위상 천이 값은 작지만, 큰 위상차를 얻을 수 있다.

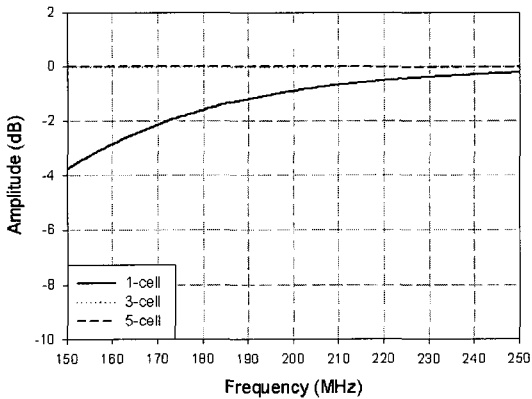
표 1은 $+90^\circ$ 위상차를 얻기 위해 MM 전송 선로 위상 천이기의 셀 수에 따른 단위 셀의 파라미터 값

이고, 이 값들은 식 (2)와 식 (3)으로부터 구할 수 있다. 이 때 $+90^\circ$ 위상차를 얻기 위해서는 식 (2)와 식 (3)에서의 결과 $\phi_0 = -\pi/2$ 가 되도록 각 파라미터 값을 결정해야 한다^[4]. 여기서 설계된 마이크로스트립 전송 선로에 대한 인덕터(L)와 커패시터(C)는 각각 480 nH/m와 73 pF/m이며, 설계 과정을 단순화하기 위해 단위 셀의 길이를 6 mm로 고정하였다.

그림 4는 표 1의 조건에 따른 위상 천이기의 시뮬레이션 특성이다. 1개의 셀의 경우, 식 (2)로부터 $+90^\circ$ 의 결과를 얻을 수 있었지만, 실제 시뮬레이션에서는 약 102° 의 위상 천이와 삽입 손실 또한 -1 dB의 특성을 갖는다. 하지만 3 셀과 5 셀의 경우 $+91^\circ$ 위상 천이와 0 dB의 삽입 손실 특성을 얻었다.

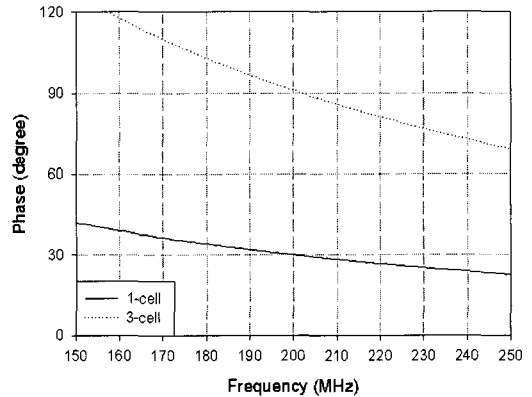


(a) 위상 특성
(a) Phase

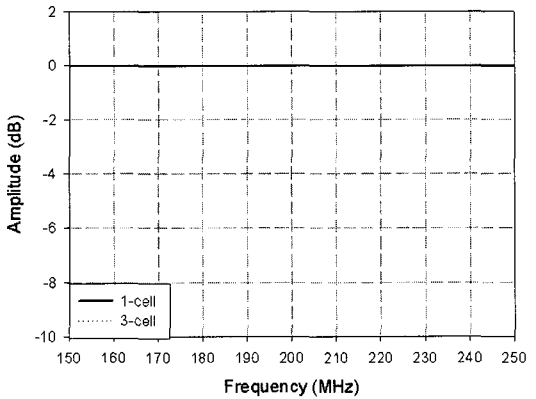


(b) 신호 크기
(b) Amplitude

그림 4. 위상 천이기 특성
Fig. 4. Characteristics of phase shifter.



(a) 위상 특성
(a) Phase



(b) 신호 크기
(b) Amplitude

그림 5. MM 전송 선로 위상 특성
Fig. 5. Characteristics of MM phase shifter.

3-2 소형 Wilkinson 전력 분배기

MM 전송 선로는 우수한 위상 천이 특성과 함께 소형화 특성을 얻기 위해 3단의 단위 셀로 구성하였으며, 각 단위 셀은 각 30°의 위상차를 가지며, 3단의 MM 전송 선로를 통해 전체 90°의 위상차를 얻을 수 있다.

설계된 MM 전송 선로의 단위 셀 및 3단에 대한 위상차는 그림 5와 같다. 이때 단위 셀에서 $d_0=6$ mm, $L_0=100$ nH, $C_0=20$ pF의 값을 갖는다. 따라서 MM 전송 선로의 길이는 18 mm로써 이 길이는 $\lambda_g/4$ 에 해당하는 210 mm 대비 8.6%에 해당하며, 91.4%의 소형화를 이루었다.

제안된 소형 Wilkinson 전력 분배기의 성능을 분석하기 위해 일반적인 Wilkinson 전력 분배기와 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였고, 각 전력 분배기의 설계 재원은 표 2와 같다.

그림 6과 그림 7은 일반적인 Wilkinson 전력 분배기의 특성과 제안된 소형 전력 분배기의 시뮬레이션 결과를 각각 나타낸다. 각 단자의 반사 손실 및 출력 단자의 격리도 성능에서 일반적인 Wilkinson 분배기가 보다 우수한 Q 값을 갖고 있지만, 대역 특성은 대체로 비슷한 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 또한 삽입 손실을 약 3 dB로 유사한 특성을 보인다.

IV. 제작 및 측정 결과

그림 8은 제작된 소형 Wilkinson 전력 분배기이다. -90° 위상차를 갖는 길이가 $\lambda_g/4$ 인 전송 선로를 대

표 2. 전력 분배기 설계 파라미터

Table 2. Design parameters of power divider.

	Meta-material	Conventional Wilkinson
공진 주파수	200 MHz	
기판	FR-4 ($\epsilon_r=4.4$, $h=0.8$ mm)	
$\lambda_g/4$ length	18 mm (3 cell)	210 mm
d_0	6 mm	-
L_0	100 nH	-
C_0	20 pF	-

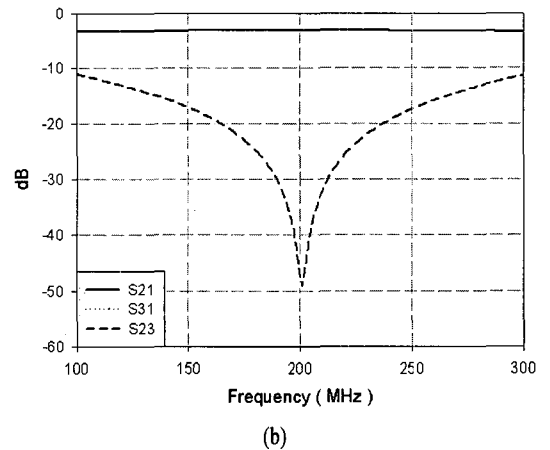
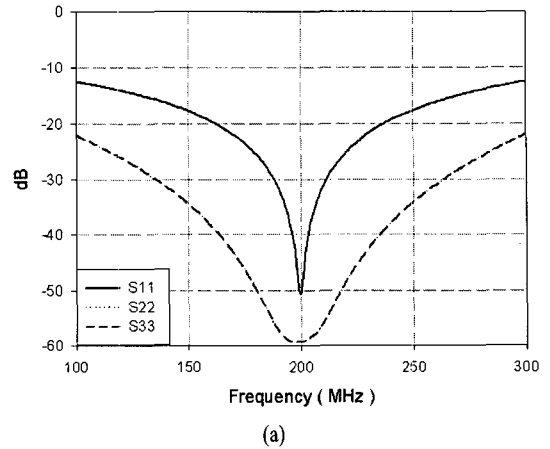
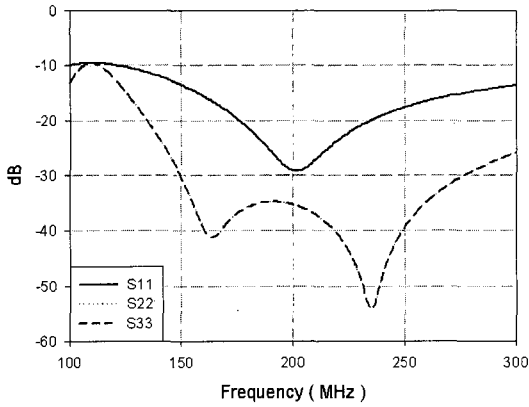


그림 6. 기본 Wilkinson 전력 분배기 특성

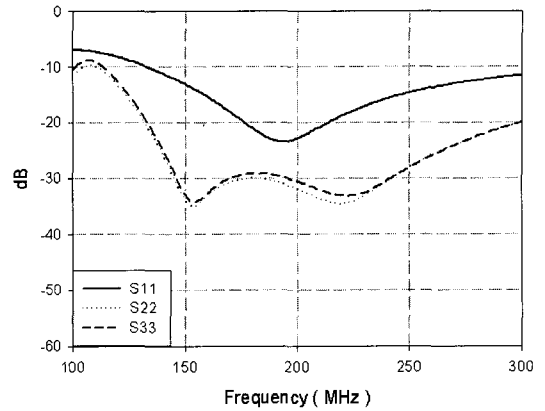
Fig. 6. Characteristics of conventional Wilkinson power divider.

신하여 3 개의 단위 셀로 구성된 +90° 위상 MM 전송 선로를 이용하였다. 설계된 전력 분배기는 유전율 4.4, 높이 0.8 mm의 FR-4 기판 위에 구현되었다.

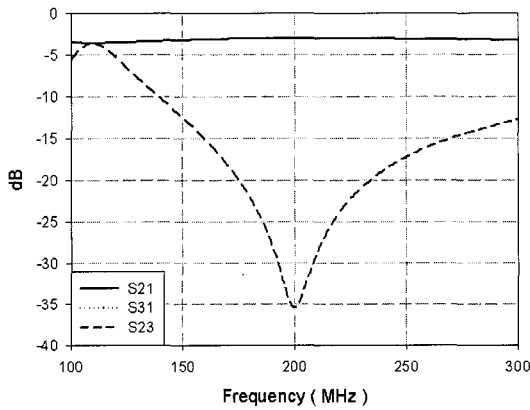
제작된 소형 전력 분배기의 특성을 그림 9와 같다. 입력 임피던스에 대한 -10 dB 대역폭은 83 MHz~393 MHz를 만족하고, 3.5 dB의 삽입 손실(S_{21} , S_{31}) 특성과 174 MHz~216 MHz 대역에서 20 dB 이상의 격리도 특성을 갖는다. 이 결과는 그림 7의 시뮬레이션 결과와 매우 유사함을 확인할 수 있고, 출력 단자 간 격리도는 보다 우수한 특성을 얻었다. 따라서 MM 전송 선로를 이용하여 성능이 우수하고, 매우 작은 크기의 전력 분배기를 구현할 수 있음을 확인하였다.



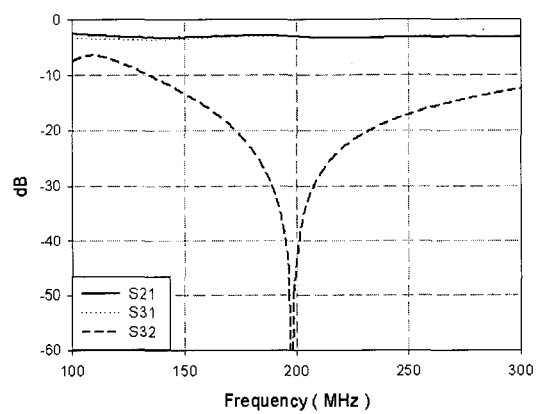
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7. 소형 전력 분배기 특성
Fig. 7. Characteristics of compact Wilkinson power divider.

그림 9. 제작된 소형 Wilkinson 전력 분배기 측정 결과
Fig. 9. Measured characteristics of the fabricated compact Wilkinson divider.

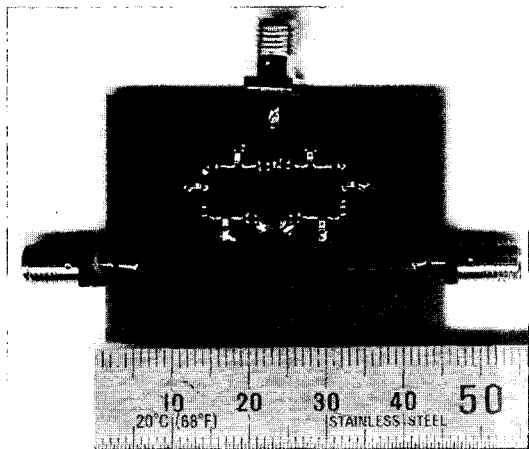


그림 8. 제작된 소형 Wilkinson 전력 분배기
Fig. 8. Fabricated compact power divider.

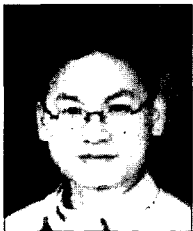
V. 결 론

본 논문에서는 MM 전송 선로를 이용하여 소형 Wilkinson 전력 분배기를 구현하였다. 구현된 전력 분배기는 -90° 위상차를 갖는 길이가 $\lambda_g/4$ 인 전송 선로를 $+90^\circ$ 위상차를 갖는 MM 전송 선로로 대체하였다. 추가된 MM 전송 선로는 3개의 단위 셀로 구성되어 있으며, 각 단위 셀은 $+30^\circ$ 위상 천이 특성을 갖도록 구성되었다. 제안된 전력 분배기를 이용할 경우, 동작 주파수인 200 MHz에서 210 mm인 $\lambda_g/4$ 의 길이를 18 mm로 줄일 수 있으며, 이는 91.4%의 소형화가 가능하다. 따라서 제안된 Wilkinson 전력 분배기는 VHF 대역에서 공간의 제약이 큰 응용 분야에 활용도가 매우 높을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Grnic, G. V. Eleftheriades, "Experimental verification of backward-wave radiation from a negative refractive index material", *Journal of Applied Physics*, vol. 1592, no. 10, pp. 5930-5935, Nov. 2002.
- [2] G. V. Eleftheriades, A. K. Iyer, and P. C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically L-C loaded transmission lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 12, pp. 2702-2712, Dec. 2002.
- [3] M. A. Antoniades, G. V. Eleftheriades, "Compact linear lead/lag metamaterials phase shifters for broad band applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 2, pp. 103-106, 2003.
- [4] M. A. Antoniades, G. V. Eleftheriades, "A broadband wilkinson balun using microstrip metamaterial lines", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 4, pp. 209-212, 2005.
- [5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering, 2nd*, John Wiley & Sons, Inc.
- [6] S. Lim, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, Sep. 2004.
- [7] Agilent Advanced Design System 2005A, Agilent Technologies, 2005.

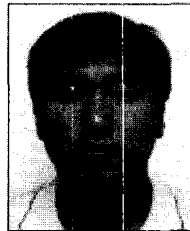
김 정 표



2000년 2월: 제주대학교 통신공학과 (공학사)
 2002년 2월: 한양대학교 전자통신 전파공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정
 2004년 2월~현재: (주) EMW Antenna 선임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 소자 및 시스템, 전자파 수치해석, 안테나 설계

양 묘 근



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월~현재: (주) EMW Antenna 수석연구원
 [주 관심분야] 소형안테나

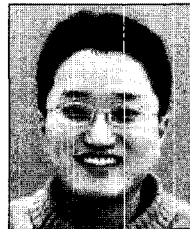
김 기 호



2000년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 단국대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2000년 1월~2004년 10월: (주) 하이게인 안테나
 2004년 11월~현재: (주) EMW Antenna 책임연구원

[주 관심분야] 소형안테나

성 원 모



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 단국대학교 전자공학과 박사과정 수료
 1998년 6월~현재: (주) EMW Antenna 연구소장

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석