PIN 다이오드를 이용한 다중 편파 재구성 마이크로스트립 안테나

A Multi-Polarization Reconfigurable Microstrip Antenna Using PIN Diodes

송태호 · 이영기 · 박대성* · 이석곤* · 김형주* · 최재훈

Taeho Song · Youngki Lee · Daesung Park* · Seokgon Lee* · Hyoungjoo Kim* · Jaehoon Choi

요 약

본 논문에서는 S-밴드에서 하나의 급전 회로로 4개의 편파(수직 편파, 수평 편파, 좌선회 편파, 우선회 편파)를 선택적으로 사용할 수 있는 다중 편파 재구성 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 십자 슬롯과 원형 슬롯을 포함하는 정사각형 형태의 마이크로스트립 패치와 4개의 PIN 다이오드로 구성되어 있으며, 커플링을 통한 급전 방식을 이용한다. 각각의 PIN 다이오드에는 직류 전압을 인가하기 위한 바이어스 단이 있으며, 직류 전압의 인가에 따른 다이오드 ON / OFF 동작으로 편파를 재구성할 수 있다. 제작된 안테나는 수직 편파(3.17~3.21 GHz), 수평 편파(3.16~3.20 GHz), 좌선회 편파(3.08~3.19 GHz), 우선회 편파(3.10~3.20 GHz)에서 VSWR 2:1을 만족하며, 선형 편파에서는 20 dB 이상의 교차 편파 및 5 dBi 이상의 이득 특성을 갖고, 원형 편파에서는 50 MHz 이상의 3 dB 축비 특성을 나타낸다.

Abstract

In this paper, a multi polarization reconfigurable microstrip antenna that can be used selectively for four polarizations(vertical polarization, horizontal polarization, right hand circular polarization, left hand circular polarization) at the S-band is presented. The proposed antenna consists of four PIN diodes and a microstrip patch with a cross slot and a circular slot and is fed by utilizing electromagnetic coupling between the microstrip patch and the feed line. The proposed antenna has a DC bias network to supply DC voltage to each PIN diode and the polarization can be determined by controlling the ON /OFF states of four PIN diodes. The fabricated antenna has a VSWR below 2 in the vertical polarization(3.17~3.21 GHz), the horizontal polarization(3.16~3.20 GHz), the left hand circular polarization (3.08~3.19 GHz), and the right hand circular polarization(3.10~3.2 GHz) frequency bands. The designed antenna has the cross polarization level higher than 20 dB, a gain over 5 dBi for the linear polarization states, and 3 dB axial ratio bandwidth wider than 50 MHz in the circular polarization states.

Key words : Microstrip Patch Antenna, Reconfigurable, Axial Ratio, Polarization, PIN Diode

I. 서 론

최근의 레이더는 복잡하고 다양한 전장 환경 및

「본 연구는 삼성탈레스(주) “광대역 다중 편파 위상 배열 안테나 연구” 과제 지원비에 의해 수행되었습니다.」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

* 삼성탈레스(Samsung Thales)

· Manuscript received January 30, 2013 ; Revised April 4, 2013 ; Accepted April 4, 2013. (ID No. 20130130-016)

· Corresponding Author : Jaehoon Choi (e-mail : choijh@hanyang.ac.kr)

운용 환경에서 우수한 탐지 성능과 표적 식별 등 다양한 임무 수행을 위해 다기능을 요구하고 있다. 이러한 다양한 기능 및 성능 개선을 위한 접근 방법으로, 다중 편파를 이용한 편파 재구성 위상 배열 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 편파 재구성 기술은 다양한 표적의 형상이 전파의 편파 특성에 따라 레이더 단면적(RCS) 특성을 극대화 할 수 있어 클러터 제거, 표적 식별, 탐지 추적 성능을 향상시킬 수 있으며, 기상 조건 및 운용 환경에 따른 선택적, 또는 혼합적 운용을 통해 탐지 추적 성능을 개선할 수 있다^{[1],[2]}.

마이크로스트립 패치 안테나는 가볍고 형태를 비교적 자유롭게 구현할 수 있으며, 규칙적인 배열이 가능하기 때문에 위상 배열 안테나에 적합하다. 특히 안테나에 PIN 다이오드나 커패시터, 인덕터와 같은 집중 소자와 능동 소자의 실장으로 공진 주파수 조절, 임피던스 매칭, 편파와 패턴의 가변이 용이하다^{[3],[4]}.

최근까지 연구되고 있는 편파 재구성 안테나의 방식중 하나는 이중 급전 회로를 이용하여 직교하는 두 개의 선형 편파와 급전 회로 간 90° 위상차를 이용하여 생성된 원형 편파를 재구성하는 방식이다. 이러한 방식은 차후 배열 안테나로 적용하여 전압분배기를 통해 급전할 경우 구조적으로 복잡해지는 단점이 있다. 또한, 단일 급전을 이용하고, 방사체 또는 접지 면에 슬롯 및 PIN 다이오드와 같은 스위칭 소자를 삽입하여 편파를 재구성하는 방식은 3중 편파(선형 편파, 좌선회 편파, 우선회 편파)까지 생성하는 것이 대부분이다^{[4]~[9]}.

본 논문에서는 S-밴드에서 하나의 급전 회로로 4개의 편파를 구현할 수 있는 다중 편파 재구성 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 동작 주파수 조절을 위한 십자 슬롯을 이용하였으며, 편파 변환 특성을 얻기 위해 원형 슬롯과 PIN 다이오드를 적용하였다. 또한, 적층 구조로써 주 방사체와 급전라인 사이의 커플링을 이용한 급전 방식을 이용하며, 급전라인의 길이에 의해 임피던스 매칭 상태를 조절할 수 있다.

II. 안테나 구조 및 특성

2.1 안테나 기본 구조 및 특성

(a) 상면도(layer 1)
(a) Top view(layer 1)

(b) 상면도(layer 2)
(b) Top view(layer 2)

(c) 측면도
(c) Side view

그림 1. 다중 편파 재구성 안테나 구조

Fig. 1. Geometry of multi-polarization reconfigurable antenna.

제안된 다중 편파 재구성 안테나의 구조는 그림 1에 나타내어진 것과 같이 62 mm×72 mm×2 mm의 크기를 가지며, Layer 1에 위치하고 있는 주 방사체의 크기는 30 mm×30 mm이다. 주 방사체에서 원형 슬롯은 14.5 mm의 지름과 0.5 mm의 폭을 가지며, 슬롯의 Z축을 기준으로 45°, 135°, 225°, 325° 위치에 각각

표 1. PIN 다이오드 ON / OFF에 따른 편파 변환
Table 1. Polarization control of the proposed antenna.

편파 상태	D_1	D_2	D_3	D_4
수직 편파	ON	OFF	ON	OFF
수평 편파	OFF	ON	OFF	ON
우선회 편파	OFF	OFF	ON	OFF
좌선회 편파	OFF	OFF	OFF	ON

PIN 다이오드를 결합하였다. 동작 주파수 조절을 위한 십자 슬롯은 교차된 사각 슬롯 구조로 각각 14 mm×1 mm의 크기를 가지며, Layer 2에는 급전을 위한 12 mm×1 mm의 크기의 마이크로스트립 라인이 위치한다. 적층 구조로써 각각의 유전체 기판은 Rogers RT 5880($\epsilon_r=2.2$, 두께: 1 mm)을 사용하였다. 4 중 편파 특성은 PIN 다이오드의 ON / OFF 스위칭에 의해 구현할 수 있으며, 각각의 PIN 다이오드가 동작할 때 DC 전압의 영향을 방지하기 위해 방사체의 Z축을 기준으로 0°, 90°, 180°, 270° 위치에 각각 커패시터를 결합하였다.

표 1은 PIN 다이오드 ON / OFF 스위칭에 따른 편파 상태를 나타낸다. 수직 편파를 얻기 위해서는 D_1 과 D_3 의 PIN 다이오드가 ON 상태가 되며, 수평 편파를 얻기 위해서는 D_2 와 D_4 의 PIN 다이오드가 ON 상태가 되어야 한다. 각각의 경우에서 수직 / 수평 편파는 안테나의 대각선 방향($\pm 45^\circ$)의 선형 편파를 얻게 된다. 커플링 급전에 의해서 여기된 전류가 방사체와 PIN 다이오드를 통해 흐르게 되고, TM_{11} 모드로 동작함으로써 선형 편파를 형성하게 된다. 좌선회 편파 특성은 D_4 의 PIN 다이오드가 ON이 되었을 때, 우선회 편파 특성은 D_3 의 PIN 다이오드가 ON이 되었을 때 얻을 수 있으며, PIN 다이오드를 경유하여 나오는 파와 급전 라인을 통해 주 방사체로 흐르는 직진파가 위상차를 보이게 된다. 즉, 방향이 서로 수직이고 위상차가 90°인 두 개의 TM_{11} 모드에 의해 원형 편파를 형성하게 된다.

그림 2는 제안된 기본 구조 안테나의 모의 실험된 VSWR 특성을 나타낸다. 선형 편파(수직 편파, 수평 편파)의 경우, VSWR 2:1 기준으로 65 MHz(3.285~3.35 GHz) 대역폭을 가지며, 원형 편파(좌선회 편파, 우선회 편파)에서는 150 MHz(3.2~3.35 GHz) 대역폭을 보인다. 원형 편파일 때는 이중 공진이 형성

(a) 선형 편파
(a) Linear polarization

(b) 원형 편파
(b) Circular polarization

그림 2. 모의 실험된 기본 구조 안테나의 VSWR 특성
Fig. 2. VSWR properties of the proposed antenna.

되기 때문에 선형 편파보다 넓은 대역폭을 얻을 수 있다. 이중 공진의 고주파 영역은 선형 편파일 때와 같은 TM_{11} 모드를 가지게 되어 선형 편파에서의 공진 주파수와 원형 편파의 고주파 대역의 공진 주파수가 유사함을 확인할 수 있다. 또한, 저주파 대역에서의 공진은 고주파 대역에서 나타나는 모드와 방향이 수직이며, 위상이 90°차이가 나는 TM_{11} 모드이며, 두 선형 모드에 의해 원형 편파를 형성한다.

그림 3는 제안된 안테나의 원형 편파 특성에서의 모의실험된 축비를 나타낸다. 좌선회 편파의 3 dB 축비는 29 MHz, 우선회 편파에서는 31 MHz를 갖는다. 축비가 최대가 되는 주파수가 VSWR의 이중 공진의 중간 부분의 주파수와 일치함을 확인할 수 있

그림 3. 모의 실험된 기본 구조 안테나의 축비 특성
Fig. 3. Axial ratio properties of the proposed antenna.

(a) 상면도
(a) Layer 1

(b) 상면도
(b) Layer 2

그림 4. 바이어스 단이 포함된 다중 편파 재구성 안테나

Fig. 4. Geometry of multi-polarization reconfigurable antenna with DC bias circuit.

는데, 이는 두 TM_{11} 모드의 위상차가 거의 90° 를 유지하기 때문이다.

2-2 편파 재구성 안테나 설계

앞 절에서 제안된 편파 재구성 안테나를 기반으로 PIN 다이오드를 동작시키기 위한 바이어스 단이 삽입된 다중 편파 재구성 안테나를 설계하였다. 그림 4는 바이어스 단이 포함된 다중 편파 재구성 안테나 구조를 나타내며, 바이어스 단은 PIN 다이오드에 직류 전압을 인가하기 위한 바이어스 라인과 인덕터로 구성되어 있으며, 바이어스 라인은 RF choke

(a) 선형 편파
(a) Linear polarization

(b) 원형 편파
(b) Circular polarization

그림 5. 모의 실험된 급전 라인 길이에 따른 S-parameter 특성 변화

Fig. 5. Effect of the feed line length of proposed antenna.

의 역할을 하도록 $\lambda/4$ 길이를 갖도록 하였다. 패치 면의 Z축을 기준으로 90° 방향에 위치하고 있는 바이어스 라인과 방사체 사이에는 18 nH를 사용하였고, 45° 와 135° 에 위치하고 있는 바이어스 라인과 방사체 사이에는 18nH, 225° 와 325° 에 위치하고 있는 하단부의 바이어스 라인과 방사체 사이에는 39 nH를 사용하였다.

급전 라인 길이 변화에 따른 S-parameter 특성 변화는 그림 5에 나타내었다. 제안된 안테나가 선형 편파로 동작할 때, 급전 라인의 길이 변화에 따라 임피던스 매칭 특성이 변하지만, 공진 주파수 대역은 변화하지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 원형 편

파로 동작하였을 때는 이중 공진에서 고주파 영역의 임피던스 매칭 및 공진 주파수가 변화하는 것을 알 수 있다. 적절한 길이의 급전 라인의 길이는 제안된 안테나의 동작 주파수 대역에서의 대역폭 및 임피던스 매칭 특성을 향상시킬 수 있다. 또한, 바이어스 단이 삽입이 되지 않은 편파 재구성 안테나와 동일하게 원형 편파의 S_{11} 특성은 이중 공진으로 형성되며, 급전 라인의 길이 변화는 원형 편파 특성이 형성되는 저주파 공진 주파수에서는 영향을 주지 않지만, 선형 편파 특성이 형성되는 고주파 공진 주파수에는 영향을 주는 것을 알 수 있다.

그림 6은 방사체의 십자 슬롯 길이 변화에 따른

(a) 선형 편파
(a) Linear polarization

(b) 원형 편파
(b) Circular polarization

그림 6. 모의 실험된 십자슬롯 길이에 따른 S-parameter 특성 변화

Fig. 6. Effect of the cross slot length of proposed antenna.

(a) 선형 편파
(a) Linear polarization

(b) 원형 편파
(b) Circular polarization

그림 7. 모의 실험된 다중 편파 재구성 안테나의 VSWR 특성

Fig. 7. VSWR characteristics of the proposed multi-polarization reconfigurable antenna.

그림 8. 모의 실험된 다중 편파 재구성 안테나의 축비 특성

Fig. 8. Axial ratio characteristics of the proposed multi-polarization reconfigurable antenna.

S-parameter 특성을 나타낸다. 십자 슬롯 길이의 변화는 선형 편파 및 원형 편파의 공진 모드에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 길이가 길어짐에 따라 직교 모드간 주파수 간격이 좁아지는 것을 확인할 수 있다.

바이어스 단을 포함하는 다중 편파 변환 안테나의 VSWR 특성은 그림 7에 나타내었다.

선형 편파(3.175~3.238 GHz)의 경우, 대역폭이 VSWR 2:1 기준으로 63 MHz를 갖고, 원형 편파(3.085~3.223 GHz)의 경우에는 138 MHz를 나타내었다. 원형 편파가 대역폭이 넓은 이유는 앞 절과 마찬가지로 두 개의 직교 모드의 발생에 의해 이중으로 공진이 형성되기 때문이다.

그림 8에서 바이어스 단을 포함하는 다중 편파 재구성 안테나의 좌선회 편파 및 우선회 편파의 3 dB 축비 대역폭은 28.8 MHz(3.129~3.158 GHz)를 갖는 것을 확인할 수 있다.

III. 안테나 제작 및 측정 결과

그림 9는 제작된 다중 편파 재구성 안테나를 나타낸다. 제안된 다중 편파 재구성 안테나는 비유전율 2.2, 두께 1 mm를 갖는 유전체 기판(Rogers RT 5880)을 사용하였으며, S-band 대역에서 동작하도록 설계하였다. 편파를 재구성하기 위해 방사체에 삽입된 PIN 다이오드는 Bar64-02V를 사용하였으며, 다이오

(a) 패치면
(a) Patch side

(b) 접지면
(b) Bottom side

그림 9. 제작된 다중 편파 재구성 안테나

Fig. 9. Photograph of the manufactured multi-polarization reconfigurable antenna.

드 동작을 위해 1.5 V의 전압을 인가하였다. 바이어스 단에 사용된 인덕터는 방사체의 상단부에 직류 전압이 인가되는 부분과 접지 부분은 18 nH를 사용하였으며, 방사체의 하단부는 39 nH를 사용하였다. 그리고 PIN 다이오드 간 직류 전압 간섭을 차단하는 커패시터는 100 pF를 사용하였다.

제작된 안테나와 모의실험된 안테나의 인덕터 값의 차이는 인덕터 값에 의해서 직류 전류의 흐름과 RF 신호의 차단이 모의실험 결과와 실제 제작을 하였을 때의 결과가 차이를 갖기 때문이다. PIN 다이오드 전원 인가는 DC power supply를 이용하여 1차적으로 VSWR를 측정하고, 방사 패턴 측정 간에는 1.5V 건전지를 연결하여 측정하였다.

그림 10은 측정 및 모의실험된 안테나의 VSWR 특성을 나타낸다. 측정된 선형 편파의 VSWR 2:1 대

(a) 선형 편파
(a) Linear polarization

(b) 원형 편파
(b) Circular polarization

그림 10. 측정 및 모의 실험된 다중 편파 재구성 안테나의 VSWR 특성

Fig. 10. Measured and simulated VSWR characteristics.

역폭은 각각 40 MHz(수직 편파: 3.17~3.21 GHz, 수평 편파: 3.16~3.20 GHz)를 가지며, 원형 편파의 경우 좌선회 편파 대역폭은 110 MHz(3.08~3.19 GHz), 우선회 편파 대역폭은 100 MHz(3.10~3.20 GHz)을 나타낸다. 측정된 선형 편파와 원형 편파의 VSWR의 공진 주파수를 확인해 보면, 모의실험 결과와 동일하게 선형 편파의 공진 주파수와 원형 편파의 이중 공진 특성 영역이 동일하게 나타남을 알 수 있다.

기존의 스위칭 소자를 이용한 편파 재구성 안테나는 주 방사체와 기생 패치 사이 또는 급전 라인과 스테브 사이에 PIN 다이오드를 삽입한 구조를 많이 사용한다. 이와 같은 구조는 비교적 넓은 임피던스

그림 11. 측정 및 모의 실험된 다중 편파 재구성 안테나의 축비 특성

Fig. 11. Measured and simulated axial ratio characteristics.

대역폭과 축비 대역폭을 갖지만, 각 편파에서의(수직 편파-수평 편파, 좌선회 편파-우선회 편파) 안테나의 전기적인 길이 차이로 인해 동작 주파수가 일치하지 않게 된다^{[6],[10]}. 하지만 본 논문에서 제시하는 구조는 PIN 다이오드 ON / OFF 상태에서 선형 편파 또는 원형 편파 간 전기적인 길이의 차이가 존재하지 않아 동작 주파수가 일치하게 된다.

측정 및 모의실험된 안테나의 축비 특성은 그림 11에 나타내었다. 측정된 3 dB 축비 대역폭은 두 편파 모두 50 MHz(1.59 %)를 가지며, 측정된 결과가 모의 실험된 결과보다 넓은 대역폭을 갖는 이유는 기관의 유전율 오차 및 제작 간 각 층의 결합 오차를 모의실험 상에서는 정확하게 고려되지 않았기 때문이다^{[9],[10]}.

그림 12는 측정된 선형 편파의 방사 패턴을 나타낸다. 수직 및 수평 편파일 때, E-, H-면에서 모두 20 dB 이상의 교차 편파 특성을 가지며, 5 dBi 이상의 이득을 갖는다.

원형 편파일 때의 방사 패턴은 그림 13에 나타내었다. 좌선회 편파 및 우선회 편파에서 모두 20 dB 이상의 교차 편파 특성을 나타내며, 이득은 5 dBi 이상을 갖는다. 제작된 안테나와 모의 실험된 안테나의 방사 패턴을 비교한 결과, 선형 편파와 원형 편파에서 각각 0.9 dBi와 0.5 dBi의 이득 손실이 발생함을 확인할 수 있는데, 이는 DC 전류를 공급하기 위한 전선의 영향 때문이다.

(a) 수직 편파, E-면

(a) Vertical polarization, E-plane

(b) 수직 편파, H-면

(b) Vertical polarization, H-plane

(c) 수평 편파, E-면

(c) Horizontal polarization, E-plane

(d) 수평 편파, H-면

(d) Horizontal polarization, H-plane

그림 12. 측정된 다중 편파 재구성 안테나의 방사 패턴(선형 편파, 3.19 GHz)

Fig. 12. Measured radiation pattern of linear polarizations at 3.19 GHz.

(a) 좌선회 편파

(a) Left hand circular polarization

(b) 우선회 편파

(b) Right hand circular polarization

그림 13. 측정된 다중 편파 재구성 안테나의 방사 패턴(원형 편파, 3.13 GHz)

Fig. 13. Measured radiation pattern of circular polarizations at 3.13 GHz.

IV. 결 론

본 논문에서는 4개의 편파를 재구성할 수 있는 다중 편파 재구성 안테나를 제안하였다. 제안된 다중 편파 재구성 안테나는 방사체와 급전 라인 사이의 커플링을 통한 급전 방식을 사용하였으며, 방사체는 다중 편파 특성을 구현하기 위해 원형 슬롯 구조를 포함하는 정사각형 형태의 마이크로스트립 패치와 원형 슬롯의 Z축을 기준으로 45° , 135° , 225° , 325° 위치에 각각 PIN 다이오드를 결합하였다. 또한, 임피던스 매칭 및 동작 주파수 대역을 만족시키기 위해서 십자 슬롯을 적용하였다. 그리고 PIN 다이오드에 직류 전압을 공급하기 위해 방사체 부분에 바이어스 회로를 삽입하였다. 제작된 안테나는 VSWR 2:1 기준으로 선형 편파(수직 편파, 수평 편파)에서는 40 MHz 대역폭을 갖고, 20 dB 이상의 교차 편파 특성 및 5 dBi 이상의 이득 특성을 얻을 수 있었다. 그리고 좌선회 편파에서 110 MHz 대역폭을, 우선회 편파에서는 100 MHz 대역폭을 나타내었으며, 50 MHz 이상의 3dB 축비를 가진다.

위와 같은 결과로부터 제안된 안테나는 향후 다기능 레이더의 개발 및 재사용 역량을 확대하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 최형무, "레이더 개발 동향 및 기술발전 추세", 국방과학기술조사서, pp. 64-77, 2010년 8월.
- [2] 임순영, 정영배, 전순익, 김창주, "차세대 기지국 배열 안테나를 위한 주파수 및 편파 재구성 안테나 소자 기술", 한국전자과학회지, 20(6), pp. 27-38, 2009년 11월.
- [3] 김정환, 김중관, 김용진, 이흥민, "시퀀셜 로테이션 분배기 구조를 이용한 X-band 마이크로스트립 4×4 광대역 원형 편파 배열 안테나", 한국전자과학회논문지, 18(2), pp. 158-165, 2007년 2월.
- [4] 성영제, "모서리가 잘린(Corner-cut) 구조를 가진 정삼각형 마이크로스트립 안테나와 편파변환 재구성 안테나로의 응용", 한국전자과학회논문지, 19(10), pp. 1159-1165, 2008년 10월.
- [5] Pei-Yuan Qin, Andrew R. Weily, Y. Jay Guo, and Chang-Hong Liang, "Polarization reconfigurable U-slot patch antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 10, pp. 3383-3388, 2010.
- [6] Won-Sang Yoon, Jung-Woo Baik, Hun-Sung Lee, Seongmin Pyo, Sang-Min Han, and Young-Sik Kim, "A reconfigurable circularly polarized microstrip antenna with a slotted ground plane", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 1161-1164, 2010.
- [7] Yue Li, Zhijun Zhang, Wenhua Chen, and Zhenghe Feng, "Polarization reconfigurable slot antenna with a novel compact CPW-to-slotline transition for WLAN application", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 252-255, 2010.
- [8] M. S. Nishamol, V. P. Sarin, D. Tony, C. K. Aanadan, P. Mohanan, and K. Vasudevan, "An electronically reconfigurable microstrip antenna with switchable slots for polarization diversity", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 9, pp. 3424-3427, 2011.
- [9] Xue-Xia Yang, Bing-Cheng Shao, Fan Yang, Atef Z. Elsherbeni, and Bo Gong, "A polarization reconfigurable patch antenna with loop slots on the ground plane", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 11, pp. 69-72, 2012.
- [10] Rui-Hung Chen, Jeen-Sheen Row, "Single-fed microstrip patch antenna with switchable polarization", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 4, pp. 69-72, 2012.

송 태 호

2007년 2월: 한국외국어대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 9월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

김 형 주

1989년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)
1992년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
1989년 3월~1998년 2월: 삼성전자 연구원
1998년 3월~2006년 2월: Radionix

이사

2006년 3월~2008년 12월: M&M Lynx 수석연구원
2009년 1월~현재: 삼성탈레스 ISR · PGM 연구소 수석연구원

[주 관심분야] 안테나, RF 시스템, 레이더 시스템 등

이 영 기

2007년 2월: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
2009년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, Meta-

material

박 대 성

1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
1999년 3월~2000년 10월: 대우통신(주) 무선통신연구소 연구원
2000년 11월~2003년 1월: (주)머큐리

리 Defense 그룹 연구원

2003년 1월~현재: 삼성탈레스 ISR · PGM 연구소 전문연구원

[주 관심분야] 안테나, RF, 레이더 등

최 재 훈

1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State

University 연구교수

1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장

1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로, EMC, WBAN

이 석 곤

1999년 2월: 한국교통대학교 전자통신공학과 (공학사)
2002년 2월: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
2009년 8월: 충북대학교 전파공학과 박사과정 수료

2002년 12월~2005년 9월: 자화전자

부설연구소 연구원

2005년 10월~현재: 삼성탈레스 ISR · PGM 연구소 전문연구원

[주 관심분야] 능동위상배열레이더, 안테나, RF시스템 등