수직 적층형 다이폴 구조를 갖는 주파수 재구성 안테나 설계

Design of Frequency Reconfigurable Antenna with the Vertically Stacked Dipole Structure

정 영 진 · 홍 익 표 · 엄 순 영*

Young-Jin Jung · Ic-Pyo Hong · Soon-Young Eom*

요 약

본 논문에서는 수직 적층형 다이폴 구조를 갖는 새로운 형태의 주파수 재구성 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 셀룰러, PCS/WCDMA/Wibro/WiFi, WiMAX의 이동 통신 대역을 만족하도록 수직 적층형 다이폴 구조로 설계되었으며, 안테나의 동작은 각 대역의 다이폴과 전송 선로 간의 전위차를 이용하여 3쌍의 PIN 다이오드를 이용하여 스위칭되도록 하였다. 설계된 안테나는 각 이동 통신 서비스 대역에서 요구 동작 대역폭을 만족하였으며, 셀룰러 대역 6.3 dBi, PCS/WCDMA/ Wibro/WiFi 대역에서 5.4 dBi, WiMAX 대역에서 5.8 dBi의 이득 특성이 측정되었다. 제안된 안테나 구조는 각각의 다이폴 안테나 소자들이 수직 적층형으로 구성되기 때문에 지향 또는 반사 소자로서 상호 작용하는 역할을 하며, 안테나의 소형화가 가능하고, 고이득 특성을 구현할 수 있다는 장점을 갖기 때문에, 향후 재구성 소형 기지국 및 중계기 안테나 설계에 유용하게 사용할 수 있다.

Abstract

In this paper, the frequency reconfigurable antenna is proposed and designed. The proposed antenna is designed using the vertically stacked dipole structures and have the operating band for Cellular, PCS/WCDMA/Wibro/WiFi and WiMAX. The operating frequency band is selected by three pair of PIN diodes using the voltage difference between each dipole antenna and feeding transmission lines. The proposed antenna meets the required operating bandwidth and the maximum gain for each frequency band are measured as 6.3 dBi, 5.4 dBi and 5.8 dBi, respectively. The proposed antenna in this paper can be applied for the future mobile small base station or repeater antenna because this antenna can provide the small size and high gain features.

Key words : Dipole Antenna, Reconfigurable Antenna, PIN Diodes

I. 서 론

전파를 기반으로 하는 무선 및 이동 통신이 발전하면서, 이동 통신 시스템의 성능은 셀 혹은 섹터에서 발생하는 간섭 신호와 다중 경로 페이딩, 도플러 효과와 같은 무선 채널 특성에 의해 저하된다. 이러한 성능 저하 문제를 해결하고 전체 시스템의 성능

및 용량을 늘릴 수 있는 2개 이상의 복수 개의 안테나를 사용하는 다중 안테나 기술이 연구되고 있다. 그러나 다중 안테나 기술은 많은 공간과 비용이 요구되고, 단일 대역 안테나 시스템에 비해 낮은 방사 효율 특성을 갖는다. 이러한 문제를 극복하고 전체 시스템의 성능 및 용량을 늘릴 수 있으며, 다양한 무선 서비스를 지원하며, 차지하는 공간이 적고 저비

「이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023742).」
공주대학교 정보통신공학부(Dept. of Information and Communication Engineering, Kongju National University)

*한국전자통신연구원 안테나기술연구팀(Antenna Research Team: ETRI)

· 논 문 번 호 : 20110208-013

· 교 신 저 자 : 홍익표(e-mail : iphong@kongju.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 3월 30일

용, 저전력 특성을 갖는 재구성 안테나 기술이 연구되고 있다^{[1],[2]}.

재구성 안테나 기술은 공진 주파수, 편파, 방사 패턴 등 안테나 주요 성능 특성 파라미터들을 전기적 또는 기계적으로 제어하여 재구성하는 기술로 재구성 안테나는 단일 방사체로 여러 주파수 대역에서 동작하므로 안테나의 크기를 줄일 수 있고, 주파수 조절 능력으로 인해 넓은 유효 동작 대역폭을 얻을 수 있다. 또한, 원하는 주파수를 선택할 수 있기 때문에 인접 주파수에 대한 간섭을 최소화 할 수 있다는 장점을 갖는다.

재구성 안테나 기술 중 주파수 및 편파 재구성 기술은 서로 다른 서비스들을 동일 단말기에서 사용 가능하게 하며, 고격리 특성을 갖는 MIMO(Multi Input Multi Output) 안테나 기술에 응용이 가능하다. 또한, 방사 패턴 재구성 기술은 안테나의 입사 전력을 적절히 각 서비스 트래픽 밀도에 따라 독립적으로 제어하는 수동 전력 제어 기술에 응용이 가능하다. 대부분 재구성 안테나 기술은 방사체 자체에 연결된 PIN 다이오드, 바랙터 다이오드, MEMS(Micro-electromechanical System) 스위치 등의 스위칭 제어 소자들을 제어하여 다중 모드로 동작 가능하게 한다. 2000년에 M. Boti^[3]와 2002년 Fan Yang^[4]은 PIN 다이오드를 사용하여 안테나의 전기적인 길이변화에 따라 주파수와 편파를 재구성하는 안테나를 설계하였고, 2001년 W. H. Weedon^[5]은 MEMS 스위치, 2006년 S. V. Shynu^[6]은 바랙터 다이오드를 사용하여 재구성 안테나를 설계하였다. 이러한 재구성 안테나는 복수 개의 스위칭 소자들이 안테나 방사체 자체에 실장되어 있으므로 스위칭 소자에 의한 저항성 손실이 크며, 복잡한 전기적인 외부 제어 회로로 인한 안테나 특성 열화로 안테나 효율이 매우 낮다는 단점이 있다. 또한, 복수 개의 스위칭 제어 소자들의 사용은 안테나의 최대 입력 전력을 제한하며, 안테나의 동작 신뢰성을 저하시키는 단점이 있으며, 고이득 특성을 위하여 재구성 단위 안테나 소자를 사용하는 재구성 배열 안테나 설계시 안테나 배열 소자들의 재구성 배열 배치 및 급전 회로 설계가 어려운 단점이 있다. 주파수, 편파 등의 안테나 특성 재구성시 기존의 재구성 안테나 구조들은 안테나의 입력 임피던스를 스위칭 소자들을 사용하여 다시 정

(a) 윗면
(a) Top view

(b) 옆면
(b) Side view

그림 1. 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나 구조

Fig. 1. Configurations of vertically stacked dipole reconfigurable antenna.

합시켜야 하는 불편이 따르며, 복잡한 구조로 인하여 광대역 특성을 얻기 어려운 단점이 있다^[7].

본 논문에는 위에서 언급한 기존 재구성 안테나 단점들을 보완하고, 이동 통신 주파수 대역인 셀룰러, PCS/WCDMA/Wibro/WiFi, WiMAX의 이동 통신 대역을 만족하는 특성을 가지며, 안테나의 정합을 용이하게 하기 위해 불균형-균형 광대역 전송 선로를 제시하고 하고 각 다이폴 소자들이 지향 또는 반사 소자로서 상호 작용할 수 있도록 적층하여 안테

나의 효율을 증가시키고, 고이득 특성을 얻을 수 있는 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나를 연구하였다.

II. 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나 설계

본 논문에서 제안한 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나 구조는 그림 1과 같다. 그림 1(a)에서 D_{f1} , D_{f2} , D_{f3} 는 각각 셀룰러(Band 1), PCS/WCDMA/ WiBro/WiFi(Band 2), WiMAX(Band 3)에서 동작하도록 설계된 기존에 알려진 다이폴 안테나 구조를 갖는 단위 안테나 소자이며, 그림 1(b)에서 $D_1 \sim D_6$ 는 각 대역별 안테나 소자를 스위칭하기 위한 PIN 다이오드 소자를 나타낸다. 대역 Band 1은 그림 1(a)에 나타난 다이폴 소자 D_{f1} 의 내부 다이오드인 D_1 , D_2 가 ON이 되고 Band 2, Band 3의 주파수 간섭 현상을 막기 위해 D_{f2} 와 연결된 D_3 , D_4 를 OFF시키며, D_{f3} 를 D_5 , D_6 를 통해 단락시킨다. 이 때 D_{f2} , D_{f3} 는 지향 소자 역할을 한다. Band 2는 다이폴 소자 D_{f2} 의 연결 다이오드인 D_3 , D_4 가 ON이 되고, D_{f3} 를 D_5 , D_6 를 통해 단락시킨다. 이 때 D_{f1} 는 D_1 , D_2 가 OFF 되어 반사 소자, D_{f3} 는 지향 소자 역할을 한다. 마지막 Band 3은 모든 다이오드가 OFF되기 때문에 다이폴 소자 D_{f3} 가 동작하고 D_{f1} , D_{f2} 는 전송 선로와 격리되어 반사 소자 역할을 하게 되어 안테나의 지향성을 증가시킨다. 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나의 다이폴 소자의 길이는 동작 주파수의 $\lambda/4$ 길이로 결정된다. 본 논문에서는 D_{f1} 은 0.85 GHz 대역에서 설계되어 61.4 mm 길이를 가지며, D_{f2} 는 2.1 GHz 대역에서 설계되어 20.3 mm, D_{f3} 는 3.45 GHz에서 17 mm의 길이를 갖는다. 수직 적층형 다이폴 안테나는 평면형 다이폴 안테나와 마찬가지로 다이폴의 길이는 주파수를 제어하고 다이폴 사이의 간격은 안테나의 임피던스를 제어하게 된다.

2-1 광대역 급전 선로의 설계

본 논문에서 제안한 재구성 안테나 구조는 셀룰러 대역에서 WiMAX 대역까지를 커버해야 하고, 각 대역 다이폴 안테나 구조의 단일 급전을 위해서 광대역 특성을 갖는 전송 선로를 사용해야 하기 때문

그림 2. 광대역 불균형-균형 선로

Fig. 2. Wideband unbalance-balance transmission line.

그림 3. 특성 측정을 위해 제작된 back-to-back 광대역 불균형-균형 전송 선로

Fig. 3. Back-to-back wideband unbalance-balance transmission line for measurement.

에, 본 논문에서는 그림 2와 같은 불균형-균형 선로로 설계된 광대역 급전 선로를 사용하였다.

이상적으로는 테이퍼링된 형태의 전송 선로 형태를 가져야 하지만, 제작상의 편의를 위해 그림 2와 같이 다단계 step-transition를 갖도록 설계하였다. 설계된 불균형-균형 전송 선로의 주파수 대역폭은 0.8 ~ 5 GHz를 만족하며, 20 dB 이상의 반사 손실 특성을 갖고 50 Ω 의 특성 임피던스를 갖도록 하였다. 설계된 전송 선로의 특성을 검증하기 위해서 그림 2와 같은 광대역 전송 선로 두 개를 접합하여 그림 3과 같이 불균형-균형-불균형 선로를 제작하여 주파수 및 반사 손실 특성을 측정하였다.

그림 3과 같이 제작된 다단계 step-transition 불균형-균형-불균형 전송 선로는 기판 높이 1.52mm, 도체 두께 1 oz를 갖는 Taconic사의 RF-35 기판($\epsilon_r=3.5$)을 사용하였다. 그림 4에 제작된 광대역 불균형-균형-불균형 전송 선로의 시뮬레이션 값과 측정 결과를

그림 4. 광대역 불균형-균형-불균형 전송 선로의 반사 손실 simulation 결과와 측정 결과

Fig. 4. Measured and simulated return loss of wideband unbalance-balance-unbalance transmission line.

비교하여 비교적 일치하는 결과를 얻었다. 하지만 일부 재구성 주파수 대역에서 측정 결과, 20 dB 이상의 특성을 만족하지 못하였는데, 이는 측정을 위해 두 개의 불균형-균형 전송 선로를 접합하는데 따라 발생한 오차라고 판단된다.

2-2 바이어스 회로의 설계

주파수 재구성 안테나는 일반적으로 반도체 소자의 전기적인 스위칭 특성을 이용하여 복사 소자의 크기나 구조를 바꾸어 특정한 주파수 대역에서 원하는 특성을 구현한다. 전기적인 스위칭을 위해 PIN 다이오드와 RF MEMS 등이 주로 사용되며, 본 논문에서는 RF MEMS에 비해 비교적 가격이 싸고 스위칭 속도가 빠르며 동작 주파수에서 낮은 커패시턴스와 저항을 가지는 Alpha사의 SMP-1340 PIN 다이오드를 사용하였다. 그림 5에 본 논문에서 구현한 주파수 재구성 안테나의 바이어스 구조를 나타내었다.

바이어스 회로의 각 소자들의 값을 결정하기 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$\left| \frac{1}{\omega C_1} \right| = (0.1 \sim 1 \, \Omega) \quad (\text{DC Block, } C_1) \quad (1)$$

$$\omega L_1 = 10^3 \, \Omega \quad (\text{RF Choke, } L_1) \quad (2)$$

각 대역 개별 안테나들을 선택적으로 동작시키기 위해 각 다이오드에 걸리는 전압을 결정하고, 이에 따라 각 저항과 인덕터에 흐르는 전류값을 계산하였

그림 5. 재구성 안테나의 바이어스 구조

Fig. 5. Configuration of proposed reconfigurable antenna's bias circuit.

표 1. PIN 다이오드 동작에 따른 동작 주파수 대역
Table 1. Frequency band for combination of PIN diode states.

출력/스위치	D_1, D_2	D_3, D_4	D_5, D_6
Band 1	ON	OFF	ON
Band 2	OFF	ON	ON
Band 3	OFF	OFF	OFF

으며, 이로부터 $C_1 \cong 200 \, \text{pF}$, $L_1 = 80 \, \text{nH}$, $R_1 = 190 \, \Omega$, $R_2 = 560 \, \Omega$, $R_3 = 750 \, \Omega$ 으로 각 소자값들을 결정하였다. 구현된 재구성 안테나의 바이어스 구조에서 각 PIN 다이오드의 동작에 따른 동작 주파수 대역을 표 1에 나타내었다.

III. 주파수 재구성 안테나 시뮬레이션 및 측정 결과

본 논문에서 설계된 안테나는 PIN 다이오드의 스위칭 동작에 따라 셀룰러 이동 통신 대역, PCS/WCDMA/Wibro/Wi-Fi 대역, 그리고 WiMAX 대역에서 동작되도록 설계되었다. 설계된 안테나를 검증하기 위하여 그림 6과 같은 다이폴 재구성 안테나를 제작하였으며, 각 대역별 이득, 방사 패턴, 반사 손실을 측정하였다. 그림 6(a), (b)에 제작된 수직 적층형 다이폴 재구성 안테나의 불균형-균형 선로는 유전율 $\epsilon_r = 3.5$ 의 $h = 1.52 \, \text{mm}$ 의 Taconic사의 RF-35 기판

그림 6. 제작된 주파수 재구성 안테나
Fig. 6. Fabricated frequency reconfigurable antenna.

을 사용하였으며, 다이폴 안테나의 경우 $h=0.762$ mm로 두께만 다른 동일한 기관으로 제작하였다.

제작된 안테나의 접지면의 크기는 280×280 mm² 이고, 다이폴의 길이는 각각 61.4 mm, 20.3 mm, 17 mm이며, 접지면으로부터 각 다이폴 안테나까지 거리는 63.5 mm, 35.5 mm, 16 mm로 설계되었다. 그림 5의 재구성 안테나의 바이어스 구조를 참고하여, 그림 6(a)의 앞면 PCB 상에 각 스위칭 다이오드 $D_1 \sim D_4$ 가 실장되며, 또한, 지지 PCB 양면에 각각 다이오드 D_5, D_6 이 실장된다.

또한, RF 초우크 역할을 하는 L1(4개)과 R2(2개), R3(2개)는 그림 6(b)의 뒷면 PCB 상에 실장된다. 앞면 PCB 연결은 Via Hole을 통하여 이루어졌으며, 바닥으로부터 각 L, R 부품까지의 연결선들은 그림 6(c)에서처럼 지지 PCB의 외곽 가장자리 부분에 설계된 제어선들과 또한, 일부 와이어 선들을 연결하여 사용하였다.

(a) 시뮬레이션
(a) Simulation

(b) 측정값
(b) Measurement

그림 7. 제안된 재구성 안테나의 반사 손실
Fig. 7. Measured and simulated return losses of proposed reconfigurable antenna.

그림 7은 본 논문에서 제안한 수직 적층형 주파수 재구성 안테나의 반사 손실에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 논문에서 제안한 다이폴 재구성 안테나의 시뮬레이션은 상용 소프트웨어인 CST사의 MWS를 사용하였으며, 시뮬레이션으로부터 얻은 공진 주파수와 대역폭은 각각 Band 1에서 0.85 GHz, 153 MHz, Band 2에서 1.95 GHz, 450 MHz, Band 3에서 3.45 GHz, 266 MHz였으며, 측정으로 얻은 공진 주파수와 대역폭은 각각 Band 1에서 0.89 GHz, 164 MHz, Band 2에서 1.56 GHz, 890 MHz, Band 3에서 3.52 GHz, 470 MHz로 시뮬레이션 결과와 비교적 일치함을 확인하였다. 시뮬레이션과 측정값에서 발생한 오차는 다이오드 및 저

그림 8. 각 대역별 안테나의 측정 방사 패턴

Fig. 8. Measured radiation patterns of proposed reconfigurable antenna.

항, 커패시터, 인덕터의 모델링에서 발생하는 오차와 각 단위 안테나 소자들이 완벽하게 격리 특성을 갖지 못하며, 단위 안테나 소자들 간의 결합 효과 때문에 발생하는 기생 효과에 기인한다고 판단된다.

그림 8(a)와 그림 8(b)에는 Band 1에 대한 방사 패턴을 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하였으며, 그림 8(c)와 그림 8(d)에 각각 Band 2와 Band 3에 대한 측정된 방사 패턴 결과를 제시하였다. 방사 패턴은 한국전자통신연구원 7 m(폭)×10 m(길이)×8 m(높이) 챔버에서 측정하였으며, 측정된 각 대역별 이득은 Band 1에서 6.3 dBi, Band 2에서 5.4 dBi 그리고 Band 3에서 5.8 dBi로 시뮬레이션 결과로 얻은 7 dBi, 8 dBi, 8 dBi와 비교하여 Band 1을 제외하고는

2~3 dB 정도의 오차가 발생하였다. Band 2와 Band 3에서 발생한 시뮬레이션과 측정값 사이의 이득 차이는 안테나에 실장된 바이어스 능동회로 모델링 및 칩 부품 소자에 기인하는 손실과 각 안테나들의 완벽한 격리 특성이 구현되지 않았기 때문이라고 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 수직 적층형 다이폴 구조를 갖는 이동 통신용 주파수 재구성 안테나의 새로운 구조를 제안하였다. 주파수 재구성 안테나와 관련된 많은 연구들이 진행되었지만 대부분 협대역 특성을 가지

는 반면, 본 논문에서는 광대역 이동 통신 서비스에 고이득 특성을 갖는 주파수 재구성 안테나를 설계하였다. 제안된 수직 적층형 다이폴 구조의 경우 다이폴 소자들이 지향 또는 반사 소자로 상호 작용하는 역할을 하는 장점을 가지며, 많은 공간을 요구하지 않고 다양한 서비스를 지원하고 고이득 특성을 갖는 장점 때문에 소형 기지국 또는 중계기 안테나에 응용 가능하며 또한, 제안된 불균형-균형 전송 선로 구조는 광대역 특성을 갖는다는 장점 때문에 UWB 등과 같은 광대역 안테나의 급전에 응용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 문정익, 전순익, "통합융합서비스를 위한 안테나 기술 동향", 전자통신동향분석, 23(3), pp. 138-143, 2008년 6월.
- [2] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communication", *Proc. IEEE Int. Workshop on Mobile Multimedia Comm.*, pp. 3-10, Nov. 1999.
- [3] M. Boti, L. Dussopt, and J. -M. Laheurte, "Circularly

polarized antenna using switchable polarization sense", *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 18, pp. 1518-1519, Aug. 2000.

- [4] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, "Reconfigurable patch antenna using switchable slots for circuit polarization diversity", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [5] W. H. Weedon, W. J. Payne, and G. M. Rebeiz, "MEMS-switched reconfigurable antennas", *IEEE Antennas and Propagat. Society Int. Symp.*, vol. 3, pp. 645-657, Jul. 2001.
- [6] S. V. Shynu, G. Augustin, C. K. Aanandan, P. Mohanan, and K. Vasudevan, "Design of compact reconfigurable dual frequency microstrip antenna using varactor diodes", *Progress in Electromagnetics Research*, PIER 60, pp. 197-205, 2006.
- [7] 엄순영, 정영배, 전순익, 김창주, "차세대 기지국 배열 안테나를 위한 주파수 및 편파 재구성 안테나 소자 기술", 한국전자파학회논문지, 20(6), pp. 27-38, 2009년 11월.

정 영 진

2009년 2월 :국립공주대학교 정보통신공학 (공학사)
 2011년 2월: 국립공주대학교 정보통신공학부 (공학석사)
 2011년 3월~현재: Yokowo Korea 개발부(전기) 연구원
 [주 관심분야] 안테나

홍 익 표

1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
 2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
 2006년 2월~2007년 2월: Texas A&M University, Visiting Scholar
 2003년 3월~현재: 공주대학교 정보통신공학부 부교수
 [주 관심분야] 전자기 수치 해석, 스펙트럼 관리, 이동 통신

엄 순 영

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

구원 책임연구원

2009년 9월~현재: 과학기술연합대학원대학교 이동 통신 및 디지털방송공학과 겸임교수

2007년 7월~2008년 7월: 미국 조지아공대 국제공동개발

1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 VS-AT(DAMA-SCPC) 시스템 국제공동개발

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 위상 배열 안테나, 위성/이동 통신 안테나 및 RF 시스템 등