

PIN 다이오드를 이용한 방향 탐지용 소형 Folded 다이폴 안테나 개발

박슬기*, 정근석**, 추호성*, 오이석*

*홍익대학교 전자전기공학부

**LIG 넥스원(주) 연구개발본부 전자전연구소

Design of the Small Folded Dipole Antenna Using PIN Diodes for Direction Finding Applications

Seulgi Park*, Geunseok Jeong**, Hosung Choo*, Yisok Oh*

*School of Electronic and Electrical Engineering Hongik University

**LIG Nex1 Co.,Ltd. Electronic Warfare R&D Center

E-mail: hschool@hongik.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a small folded dipole antenna with PIN diodes for direction finding applications. The proposed antenna controls the current distribution using PIN-diodes as RF on/off switches, and thus it can change antenna's effective length to achieve multi-band operation. The operating frequency bands are the low band as 20MHz ~ 200MHz and the high band as 200MHz ~ 1.3GHz. The proposed antenna shows better transmission loss compared to a conventional dipole with the same height in low band. In high band, the antenna has the similar radiation pattern to a dipole without having a radiation null in broadside direction and shows the beamwidth of about 80 degrees.

I. 서론

방향 탐지 시스템은 전자전에서 적의 장비로부터 발생하는 소량의 전자파를 탐지하여, 전파원의 방향을 알려주는 시스템으로 최근에는 군사적 목적뿐만이 아니라, 경찰, 철도, 항만 등의 민간 시설에도 사용되고 있다.

국내에서는 특정 주파수 범위에서 사용될 수 있는 다

양한 방향탐지 안테나 등이 개발되었지만, 아직 넓은 주파수 범위에서 범용적으로 사용할 수 있는 이동형 방향탐지 안테나의 개발이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 대역폭이 넓은 방향 탐지 안테나는 광대역 소형 안테나 설계 기술 및 고기능의 active RF 회로 설계 기술이 바탕이 되어야 한다.

방향 탐지 안테나는 배열(array) 안테나를 이용해 소량의 전파를 수신하고 증폭기를 이용하여 전파를 증폭시킨 후 각 안테나의 통해 수신된 전파들의 위상 차이를 이용하여 전파원의 위치를 추적한다[1]. 이때 안테나는 다양한 주파수의 전파를 수신을 위해 광대역의 특성과 여러 방향에서의 전파의 수신을 위해 수평(horizontal) 방향으로는 등방향성의 복사패턴을 수직(vertical) 방향으로는 도넛형태의 복사패턴을 가지는 일반 다이폴 안테나의 복사패턴을 가져야 한다. 하지만 일반 다이폴 안테나는 안테나 대역폭이 좁다는 단점을 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 능동 소자인 PIN 다이오드의 RF on-off 스위칭 기능[2]을 이용해 안테나의 길이를 변화시켜 다중 대역에서 동작하는 변형된 광대역 다이폴 안테나를 방향 탐지 안테나에 주로 사용한다[3]. 이때 PIN 다이오드는 RF on-off 스위칭 기능을 통한

본 논문은 LIG 넥스원(주) 지원 하에 이루어졌음.(과제: 이동형 방향 탐지 시스템 개발)

안테나의 길이 변화뿐만 아니라 다이오드 그 자체가 내부 저항 값을 갖기 때문에 저주파 대역에서 임피던스 매칭에 유리한 장점을 가지고 있다. 따라서 일반적으로 사용되는 방향 탐지 안테나는 RF on-off 스위칭 기능의 개선과, 저주파 대역에서 안테나의 반사손실 성능 개선을 위해 많은 수의 PIN 다이오드를 사용하게 된다. 하지만 다이오드를 많이 사용하게 되면 복사효율과 이득이 감소하는 단점을 가지게 된다.

본 논문에서 RF on-off 스위칭 기능을 할 수 있는 PIN 다이오드의 최소 개수를 찾아내어 안테나의 복사 효율을 높이고, RF on 시 저주파 대역 (20MHz~200MHz)에서는 일반 다이폴이 아니라 입력 저항이 높은 folded 다이폴 안테나[4]로 동작함으로써 다이오드의 개수가 기존의 방향 탐지 안테나에 비해 적어짐에도 일정 이상의 입력 저항을 가지게 하여 반사 손실 성능을 개선하고, RF off 시 고주파 대역(200MHz~1.3GHz)에서는 일반 다이폴 안테나로 동작 하는 안테나를 제안한다.

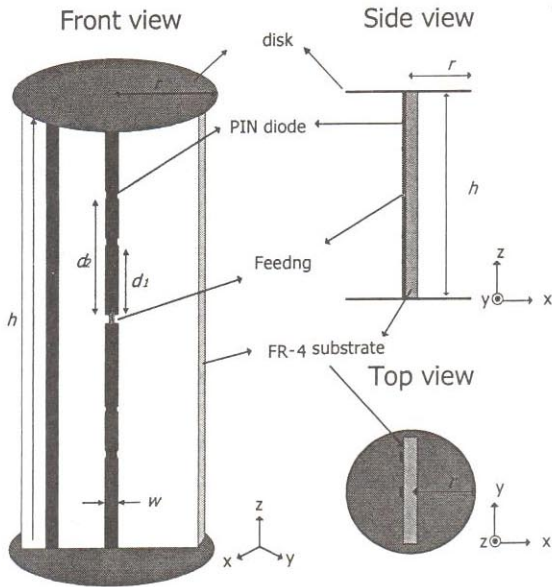


그림 1. 안테나 구조

II. 본론

그림 1 은 본 논문에서 제안된 PIN 다이오드를 이용한 방향 탐지용 소형 folded 다이폴 안테나 이며, 안테나는 제작이 용이하도록 1.6mm FR-4 기판 (두께 3.2mm,

$\epsilon_r = 3.2, \sigma = 0.004$)에 프린트된 형태를 가진다. 설계 변수로는 안테나의 길이(h), 다이오드의 개수(M)와 위치 (d_1, d_2), 안테나 선로 폭(w), 디스크의 크기(r)등이 있으며, 안테나 각 설계 변수는 안테나 설계 기법 중 하나인 Pareto 유전자 알고리즘[5]과 FEKO EM 시뮬레이터[6]를 이용하여 최적화 되었으며 최적화 시 사용된 비용 평가 함수는 다음과 같다.

$$Cost1 = R_{input} \times Efficiency (f = 20 \text{ MHz})$$

$$Cost2 = Gain (200 \text{ MHz} < f < 1.3 \text{ GHz})$$

$Cost1$ 은 저주파 대역(20MHz~200MHz)에서 높은 입력 저항과 높은 효율을 가지기 위해 사용된 함수 이며, $Cost2$ 는 고주파 대역(200MHz~1.3GHz)에서 -15dBi 이상의 이득을 가지기 위해 사용된 함수이다.

그림 2 는 최적화 결과로서 x 축은 저주파 대역 (20MHz~200MHz)에서의 입력저항 값과 효율의 곱이고, y 축은 고주파 대역(200MHz~1.3GHz)에서의 평균이득 값이다. 그림에서 보듯이 안테나의 저주파 대역 특성과 고주파 대역 특성은 서로 trade-off 의 관계를 가지며, 최적화 결과 중에 저주파 대역 성능과 고주파 대역 성능이 모두 우수한 표본 안테나 A ($h = 35\text{cm}, N = 4, d_1 = 7.5\text{cm}, d_2 = 12\text{cm}, w = 2\text{mm}, r = 3\text{cm}$)를 제작 하여 측정 하였다.

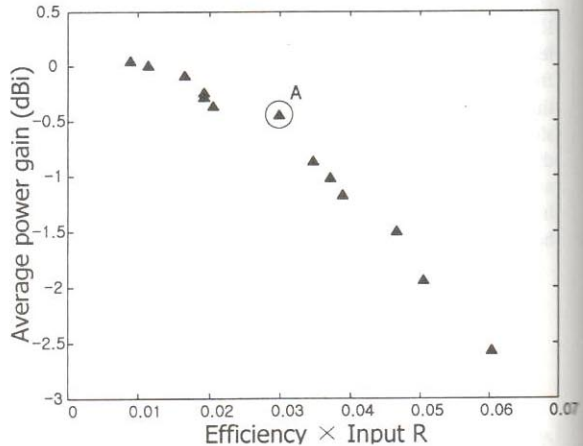


그림 2. 최적화 결과

제안된 안테나는 RF on-off 스위칭을 위해 필요한 최소수의 소자로 4 개의 PIN 다이오드를 사용하였으며, 그림 3 의 전류 분포와 같이 저주파 대역에서는 RF on 되어 folded 다이폴 안테나로 동작 하고 고주파 대역에

서는 RF off 되어 일반 다이폴 안테나의 이중 모드로 동작한다.

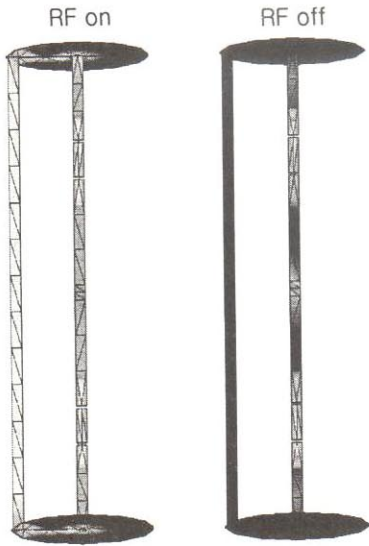


그림 3. 전류 분포

기존의 방향 탐지 안테나는 저주파 대역에서 안테나 길이의 소형화에 따른 낮은 입력 저항 값을 여러 개의 PIN 다이오드를 사용하여 높이는데, 이 경우 안테나의 복사 효율이 급격히 떨어지는 단점을 가진다. 하지만 본 논문에서 제안한 안테나는 저주파(20MHz~200MHz) 모드에서 같은 길이의 다이폴 안테나에 비해 높은 입력 저항 값을 가지는 folded 다이폴 안테나로 동작함으로써 반사 손실 성능을 개선하였다. 또한 입력 저항 값의 상승으로 인해 PIN 다이오드를 기존의 방향 탐지 안테나 보다 적은 4 개를 사용함으로써 안테나의 복사 효율을 높였다.

그림 4는 RF on 된 안테나의 100MHz 저주파 전송 손실(transmission loss)을 나타낸다. 저주파 대역은 far-field 거리가 길기 때문에, 일반적인 전파 무반사실에서의 안테나 성능 측정이 힘들다. 그러므로 본 논문에서는 저주파 대역에서의 안테나의 특성을 분석하기 위해 저주파 전송 손실 측정을 하였다.

제안된 안테나는 같은 35cm 의 길이를 가지는 일반 다이폴 안테나의 비해서는 약 10dB 정도 전송 손실이 적으며, 반사손실 성능을 높이기 위해 12 개의 PIN 다이오드를 사용한 변형된 다이폴 안테나의 비해서는 5dB 정도 전송 손실이 적음을 알 수 있다.

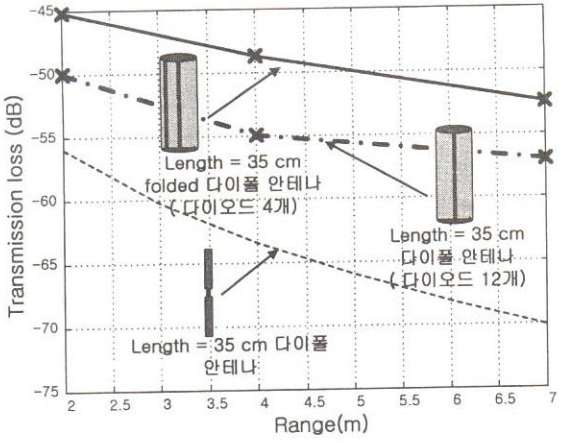


그림 4. 저주파 전송 손실(transmission loss)

일반적으로 방향 탐지 안테나는 증폭기를 사용하여 수신된 신호를 증폭하는데, 이때 잡음과 전파원을 정확히 구별하기 위하여 -15dB이상의 안테나 이득이 요구된다.

그림 5는 제안된 안테나의 RF off 시에 고주파 영역(200MHz~1.3GHz)에서의 안테나 복사 이득 값으로서 대부분의 주파수 영역에서 -15dB이상의 이득을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

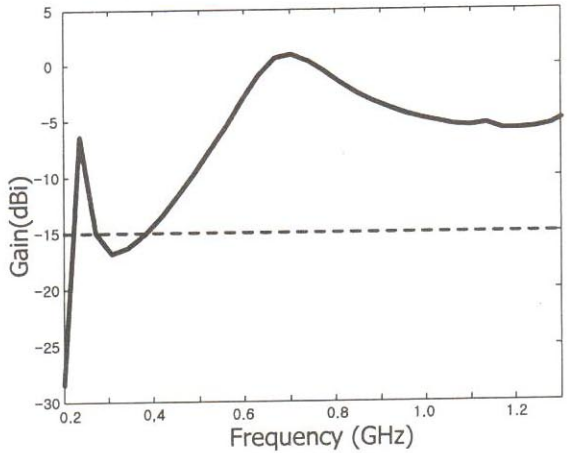


그림 5. 안테나 복사 이득

그림 6은 RF off 시에 고주파 영역(200MHz~1.3GHz)에서 $\theta = 90^\circ$ 일 때 주파수에 따른 안테나의 Φ 방향 복사 패턴 측정값으로서 제안된 안테나는 null point 가 없는 다이폴 안테나와 유사한 복사패턴을 가짐으로써 수평(horizontal) 방향의 전파 신호를 원할 하게 수신 할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 PIN 다이오드의 RF 신호 on-off 특성과 안테나 folding 기법을 이용하여 저주파 모드(20MHz ~ 200MHz)에서는 folded 다이폴로 동작하고 고주파 모드((200MHz ~ 1.3GHz)에서는 일반 다이폴로 동작하는 방향 탐지 안테나를 제안 하였다. 제안된 안테나는 Pareto 유전자 알고리즘을 통해 PIN 다이오드의 개수와 안테나 설계 변수를 저주파 대역에서의 입력저항과 효율, 고주파 대역에서의 안테나 이득 값에 의해 최적화 하였다. 최적화된 안테나는 저주파 전송 손실에서 folding 기법을 쓰지 않은 안테나에 비해 적은 손실을 가지며, 고주파 대역에서 -15dBi 이상의 이득 값을 가졌다. 안테나 복사 패턴은 수평(horizontal) 방향으로서는 등방향성의 복사패턴을 가지고, 수직(vertical) 방향으로서는 약 80° 정도의 빔폭(-15dBi 기준)을 가짐으로써 여러 방향의 전파를 원활 하게 수신 할 수 있으므로 실제 방향 탐지 안테나로 사용이 가능함을 검증 하였다.

참고문헌

- [1] 임중수, 정철구, 채규수, “원형 배열 복합 방식을 이용한 초고주파 방향탐지 기술”, *한국전자과학회논문지*, 16(6), pp. 549-555, 2005년 6월.
- [2] D. Peroulis, K. Sarabandi, and L. P. D. Katehi, “ Design of reconfigurable slot antenna ”, *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, Vol 53, no. 2, pp. 645-654, Feb, 2005.
- [3] http://www.rsd.de/www/dev_center.nsf/html/195 Misc, “ ADD195antenna.”
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley, 515-521, 2005.
- [5] John. Horn, N. Nafpliotis and D. E. Goldberg, “ A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization.” *In Proc, First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol.1, pp 82-87, June 1994.
- [6] <http://www.feko.info>, EM Software & System, “ FEKO suit 5.2.”

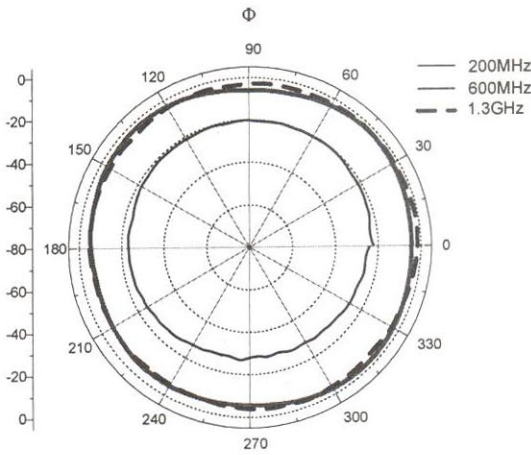


그림 6. 주파수에 따른 안테나 복사패턴 (수평 방향)

방향탐지 안테나로 사용하기 위해서는 수평(horizontal) 방향 뿐만 아니라, 일정 각도 이상의 수직(vertical) 방향으로도 전파를 원활히 수신해야 한다. 그림 7 은 RF off 시에 고주파 영역(200MHz~1.3GHz)의 θ 방향 이득이 방향 탐지 안테나 설계 기준 이득인 -15dBi 이상을 가지는 빔폭을 나타낸 그림으로, 제안된 안테나는 고주파 대역에서 300MHz 이상에서 약 80° 이상의 빔폭을 가짐으로써 수직(vertical) 방향으로 $50^\circ < \theta < 130^\circ$ 범위에서 전파 신호를 수신 할 수 있다.

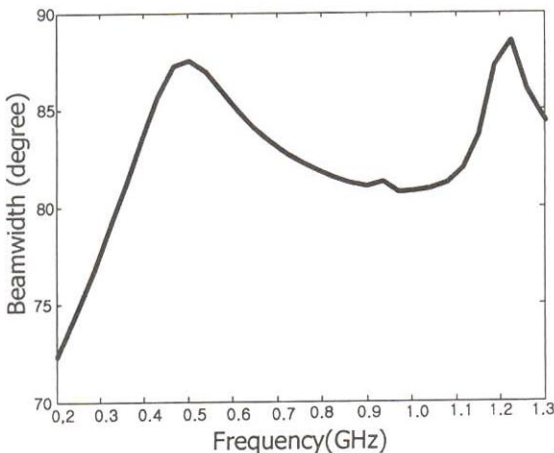


그림 7. 주파수에 따른 안테나 빔폭(-15dBi 기준)