

# LS 밴드 역지향성 능동배열 안테나의 제작

\*전 중 창 · \*\*김 태 수

\*진주산업대학교 전자공학과, \*\*위덕대학교 정보통신공학부

## Design of a Retrodirective Active Array Antenna in the LS Band

\*Joong-Chang Chun, \*\*Tae-Soo Kim

\*Dept. of Electronic Engineering, Jinju National University

\*\*Dept. of Communication Engineering, Uiduk University

E-mail: jcchun@jinju.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 2 GHz LS 대역에서 동작하는 역지향성 능동배열 안테나를 설계 제작하였다. 역지향성 안테나는 임의의 방향에서 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 배열 시스템으로서, 반사파가 입사 반대방향으로 파면(wave front)을 갖도록 하기 위한 공액 위상변위기가 포함된 능동 안테나 배열로 구성된다. 본 연구에서는 RF/IF 신호포트와 LO 포트에 이루어진 2-포트 게이트 HEMT 혼합기와 1/4파장 모노폴 안테나 배열(1×4)을 사용하여 역지향성 능동배열 안테나를 구현하였다. -45도, 0도, +45도 방향의 입사파에 대한 역지향 특성을 실험 측정하였으며, 본 연구결과는 무선 이동통신 및 RFID 등의 기지국 장치에 적용 가능하다.

### ABSTRACT

In this paper, we have developed a retrodirective active array operating in the 2 GHz LS band. The retrodirective array has the property of re-directing any electromagnetic wave back to the incoming direction without any priory informations. The system is consisted of frequency mixers and antenna array. The mixer is acting as a phase conjugator. In this research, 2-port gate mixers using pHEMT and 1×4 monopole array have been used. The retrodirective array developed in this research can be applied in the base station facilities for the wireless mobile communications and RFID transponders.

### 키워드

역지향성 배열, 능동안테나, 공액 위상 변위기, 2-포트 혼합기, 게이트 혼합기

### 1. 서 론

PCS, IMT-2000, 무선 LAN, ITS 등과 같은 무선 이동통신 서비스는 현대의 정보통신 사회에서 중추적 역할을 하고 있으며, 통신품질의 개선을 위한 안테나 시스템 개발의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 따라서 기존의 고정밀 안테나의 제약성을 개선하기 위해서 스마트 안테나 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1]-[3]

역지향성 안테나(retrodirective antenna)는 임의의 방향에서 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 배열 시스템이다.[4] 이 특성은 Snell의 법칙을 따르는 일반적인 반사판과는 전혀 다른 개념의 복사특성을 의미하는 것으로,

차세대 이동통신의 기지국 안테나로서 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 여러 개의 위상 변위기와 신호처리 알고리즘을 사용하는 위상 배열을 이용하는 기존의 스마트 안테나와는 달리, 역지향성 능동 안테나는 신호처리부를 사용하지 않고 빔 추적 기능을 나타낸다. 역지향성 안테나의 용도에는 이동통신 분야뿐만 아니라 원격 센서, RFID, 피아식별 및 구난용 Transponder 등에도 적용될 수 있다.[5]

역지향성 안테나의 핵심 원리는 입사 신호와 공액위상을 갖는 복사전파를 발생시키는 것으로 주파수 혼합기가 이 목적으로 사용된다.[4] 역지향성 안테나의 주파수 혼합기는 일반적인 주파수 혼합기와 달리, RF 주파수의 2배인 LO 주파수를

가지며, IF 주파수는 RF 주파수와 비슷한 크기를 갖는다. 따라서 Gate 혼합기 구조는 LO 및 RF 신호를 결합하기 위한 다이플렉서(diplexer) 및 입력단 임피던스 정합이 용이하지 않은 단점이 있다. 본 논문에서는 RF신호와 IF신호를 Drain 단에서 공통으로 사용하는 게이트 혼합기 구조를 채택하여 이 문제점을 극복하였다.[5]

본 논문에서는 위상공액 변위기로 사용하기 위해서 p-HEMT를 사용하여 2 GHz의 RF 신호를 처리 할 수 있는 게이트 혼합기가 설계 제작되었으며,[6] 1/4파장 모노폴 안테나 배열(1×4)을 사용하여 역지향성 능동배열 안테나를 구현하였다. 역지향 특성을 검증하기 위해서, -45도, 0도, +45도 방향의 입사파에 대한 역지향 특성을 실험 측정하였다. 본 연구결과는 무선 이동통신 및 RFID 등의 기지국 장치에 적용 가능하다. 동작 주파수는 LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz이다.

II. 역지향성 능동배열 안테나의 동작원리

역지향성 안테나는 크게 안테나 배열부분과 공액 위상변위기로 이루어진다.[1],[2] 공액 위상변위기는 주파수 혼합기(frequency mixer)로써 구현할 수 있으며, 그림 1에 FET 혼합기를 사용한 2 GHz 대역의 공액 위상변위기의 개념을 도시하였다. LO 신호 주파수와 RF 신호 주파수를 각각  $f_{LO}$ ,  $f_{RF}$ 라고 할 때,  $f_{LO} \approx 2f_{RF}$ 로 설정하면, 혼합기 IF단 출력신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V_{IF} &= V_{RF} \cos(2\pi f_{RF}t + \phi_n) \cdot V_{LO} \cos(2\pi f_{LO}t) \\
 &= \frac{1}{2} V_{RF} V_{LO} [\cos\{2\pi(f_{LO} - f_{RF})t - \phi_n\} \\
 &\quad + \cos\{2\pi(f_{LO} + f_{RF})t + \phi_n\}] \\
 &\xrightarrow{\text{BPF}} \cos\{2\pi(f_{LO} - f_{RF})t - \phi_n\} \\
 &= \cos(2\pi f_{RF}t - \phi_n)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서  $\phi_n$ 은 RF 입력신호 위상을 나타내며, IF 출력의 위상은  $-\phi_n$ 으로서 입력위상의 공액이 됨을 볼 수 있다. 이와 같이 혼합기회로를 적용하여 공액 위상변위기를 구현할 수 있다.

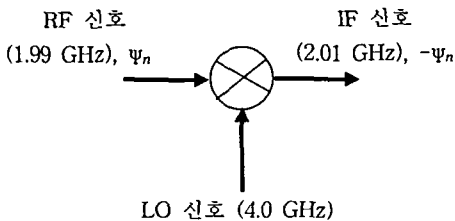


그림 1. 혼합기를 사용한 공액 위상변위기

그림 2는 공액 위상변위기를 사용한 역지향성 배열의 동작 원리를 설명한다. 우선, 배열의 n번째 소자에 입사하는 전파를 고려하여, 입사의 방향으로 입사하는 입사파의 기준면 위상을  $\phi_{ref} = 0$ , 기준면과 안테나 입력단 사이의 거리를  $L_n$ 이라고 하면, 안테나 입력신호의 위상은  $\phi_{input} = -k_0 L_n$ 가 된다. 여기서  $k_0$ 는 자유공간 파수를 나타낸다. 공액 위상변위기의 위상변화를  $\Delta\phi$ 라고 하면, 안테나 출력신호의 위상  $\phi_{output}$ 은 다음과 같이 된다.

$$\phi_{output} = \phi_{input} + \Delta\phi = -k_0 L_n + \Delta\phi
 \tag{2}$$

이 신호가 기준면에 도달했을 때의 위상  $\phi_{return}$ 은

$$\phi_{return} = \phi_{output} - k_0 L_n = -2k_0 L_n + \Delta\phi
 \tag{3}$$

이며, 입사 반대 방향으로 복사하기 위한 조건은 각 배열소자로부터의 복사파 위상이 기준면에서 동위상(in-phase)으로 중첩되는 것이다. 기준면에서 복사파의 위상을  $\phi_{return} = 0$ 로 놓으면, 위상변위기에서  $\Delta\phi = 2k_0 L_n$ 을 만족하면 된다. 따라서, 식 (2)로부터 안테나 출력신호 위상은

$$\phi_{output} = -k_0 L_n + \Delta\phi = k_0 L_n
 \tag{4}$$

이 되며, 이것은 입력위상  $\phi_{input} = -k_0 L_n$ 과 공액위상 관계이다.

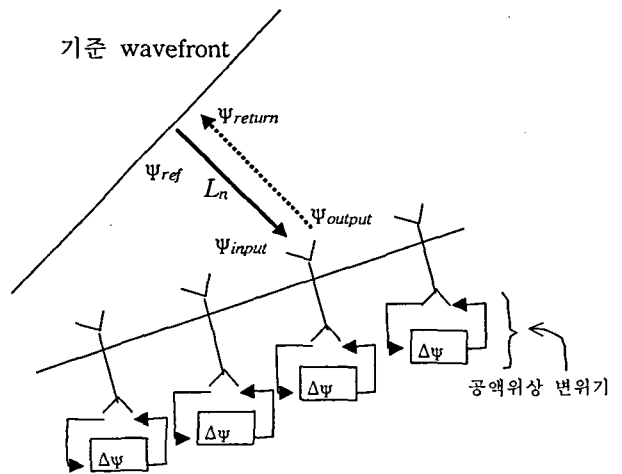


그림 2. 공액 위상변위기를 사용한 역지향성 배열 안테나의 구성도

III. 주파수 혼합기의 설계 및 제작

위상공액 변위기와 일반적인 혼합기와의 차이점은, 공액 위상변위기용 혼합기에서 LO 주파수가 RF 주파수의 2배에 이르며, IF 주파수 역시 RF 주파수와 비슷한 고주파 신호라는 점이다.[5],[6] 따라서 입력 신호를 합성하기 위한 다이플렉서(diplexer) 및 입력단 임피던스 정합이 어렵고, 출력단에서 RF 누설신호의 제거가 쉽지 않게 된다. 본 논문에서는 2 GHz의 RF 신호를 처리 할 수 있는 역지향성 안테나에 적용될 수 있는 공액 위상변위기를 설계 제작하였다. 비선형 소자로는 HEMT를 사용하였으며, 다이플렉서, 여파기, 임피던스 정합 회로 등의 설계에는 ADS 소프트웨어를 사용하였다.

본 연구에서 설계된 혼합기 회로구성을 그림 3에 보였으며, LO 신호를 게이트에 인가하고 RF 신호와 IF 신호를 드레인 단에서 취하는 게이트 혼합기로 설계되었다. 혼합기의 동작 주파수 대역은 RF 주파수가 2.01 GHz, LO 주파수가 4.0 GHz, IF 주파수가 1.99 GHz이다. 비선형 소자는 Agilent ATF-54143를 사용하였으며,  $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ 의 차단영역에서 동작하도록 바이어스를 인가하였다. Agilent ATF-54143의 등가 모델은 on-line 상에서 제공이 되며,  $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ 의 바이어스 조건에서 각 주파수에서 나타나는 입력 임피던스는 그림 4와 같다. 일반적인 게이트 혼합기는 LO와 RF 신호를 FET 게이트 입력단에 인가하며, 이 경우에는 두 신호를 결합하기 위한 결합기가 필요하게 된다. 역지향성 배열에서는 LO 주파수가 RF 주파수의 두 배가 되므로 결합기 및 입력 임피던스 정합이 매우 어려워지게 된다. 본 논문에서는 2-Port 구조를 채택함으로써 이 문제를 해결하였다. 혼합기 설계는 바이어스 전압이 인가된 상태에서 입력임피던스 정합과 출력단 RF/IF 임피던스 정합회로를 차례로 설계한다. 바이어스 회로의 RF 영향을 배제하기 위한 RF choke coil과 불필요한 발진을 막기 위한 저항이 사용되었으며, 설계 결과를 그림 4에 보였다.

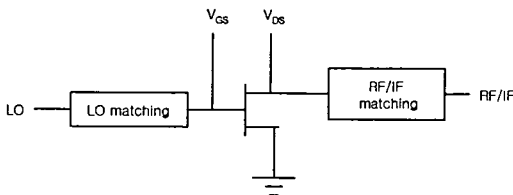


그림 3. 2-Port 게이트 혼합기의 구성도

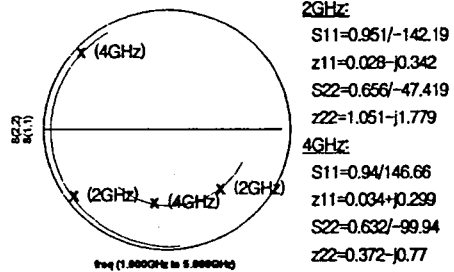


그림 4. ATF-54143의 RF 임피던스 특성 ( $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ )

설계된 혼합기는 wet-etching 방법으로 유전율 6.15, 두께 25 mil의 기판에 제작되었으며, 그림 5에 회로 layout을 보였다. 혼합기의 측정에서 RF와 IF 신호를 분리하기 위해서 결합도가 10 dB인 방향성 결합기를 사용하였다. 그림 8은 LO -10 dBm, RF -20 dBm을 인가하였을 때의 IF 출력 스펙트럼을 나타내며, 바이어스 전압은  $V_{GS}=0.27V$ ,  $V_{DS}=3.2V$ ,  $I_{DS}=1mA$ 이다. 여기에서 1.99 GHz의 IF 성분 외에, 2.01 GHz의 RF 누설 성분이 관찰 되고 있으며, 이것은 두 신호의 주파수가 매우 근접하여 필터를 사용할 수 없기 때문이다. 그림 10은 RF 입력과 IF 출력 전력의 관계를 도시하고 있으며, 1-dB 억압점 RF 전력은 -15dBm, 변환손실은 -1 dB로 측정되었다.

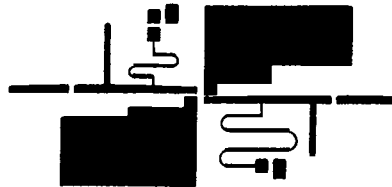


그림 5. 혼합기 회로 Layout

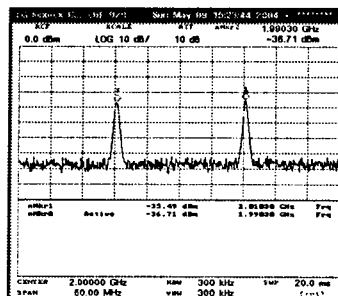


그림 6. IF 출력 스펙트럼 측정결과

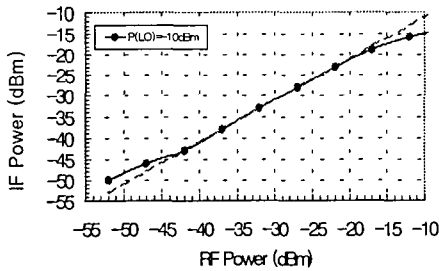


그림 7. RF 전력변화에 따른 IF전력의 측정결과

IV. 역지향성 배열 안테나의 제작 및 측정

역지향성 배열은  $\lambda/4$  모노폴 안테나를 기본 복사기로 하여 제작하였다.  $\lambda/4$  모노폴 안테나는 비교적 정합이 용이하며 전방향성 복사특성을 가지므로 대부분의 이동통신 단말기에 사용되고 있다. 본 연구에서는 길이가 35mm인 모노폴 안테나를 사용하였으며, 입력반사는 RF신호 주파수인 2 GHz에서 S11이 -27 dB로 우수한 임피던스 정합을 보인다. S21은 거리 40cm에서 EMCO ETS 3115 표준이득 안테나와 함께 측정되었다.

역지향성 배열 안테나는 Single Ended 2-Port 혼합기와  $\lambda/4$  모노폴 안테나 조합 4 개를 사용하여 제작되었다. 역지향성 배열 안테나의 PCB 패턴을 그림 8에 도시하였다. 배열 안테나의 역지향성(retrodirectivity)을 측정하기 위해 송수신 안테나 사이의 거리를 80 cm로 놓고, ETS 3115 표준이득 안테나를 사용하여 -45°, 0°, 45° 방향으로 입사된 입사전파에 대한 반사파의 크기를  $\lambda/4$  모노폴 안테나로써 측정하였다. 측정 결과는 그림 9에서 상대적 반사파의 크기를 도시하였다. 이 그림으로부터 입사각도가 변함에 따라 반사파가 최대로 되는 방향도 동일하게 변함으로서 역지향 특성이 구현됨을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 역지향성 배열을 개발하기 위한 공액 위상변위기와 안테나 배열 설계기술이 연구 되었다. 4.0 GHz의 LO 신호를 사용하여, Down link 및 Up link의 중심주파수가 각각 1.99 GHz 및 2.01 GHz인 능동 역지향성 안테나 배열을 제작 실험하였다. 공액 위상변위기로 사용된 HEMT 혼합기는 -15 dBm의 1-dB 역압점과 변환손실 -1 dB를 갖는 것으로 측정되었다. 안테나 배열은 1x4 구조의 1/4파장 모노폴 배열로 구성 되었으며, -45도, 0도, +45도 방향의 입사파에 대하여 역지향 특성을 갖는 것을 확인 하였다. 본 연구결과는 링크 이득과 빔 추적 기능이 중요한 무선 이동통신 및 RFID 등의 기지국 및 transponder 장치에 적용 가능하다.

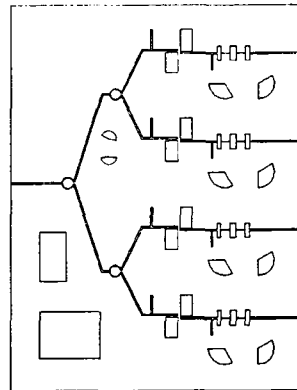


그림 8. 역지향성 배열 안테나의 PCB 패턴

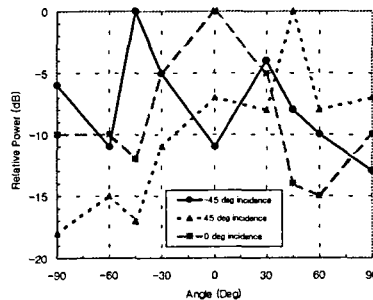


그림 9. 역지향성 배열 안테나의 역지향성(retrodirectivity) 측정 결과

참고문헌

- [1] R. Miyamoto, T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," *IEEE Microwave Magazine*, pp. 71-79, Mar. 2002.
- [2] K. Chang, R. York, P. Hall, T. Itoh, "Active Integrated Antennas," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp. 937-944, Mar. 2002.
- [3] L. DiDomenico, G. Rebeiz, "Digital communications using self-phased arrays," *IEEE Microwave Theory Tech.*, pp. 677-684, April 2001.
- [4] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 176-180, Mar. 1964.
- [5] R. Miyamoto, Y. Qian, T. Itoh, "An active integrated retrodirective transponder for remote information retrieval-on-demand," *IEEE Microwave Theory Tech.*, pp. 1658-1662, Sept. 2001.
- [6] J. Golio, *Microwave MESFETs and HEMT's*, Artech House, pp. 288-291, 1991.