
역지향성 능동배열 안테나용 2-Port 주파수 혼합기의 설계

전중창* · 김태수** · 김현덕*

Design of a 2-Port Frequency Mixer for Active Retrodirective Array Applications

Joong-Chang Chun* · Tae-Soo Kim** · Hyun-Deok Kim*

요 약

본 논문에서는 역지향성 능동배열 안테나용 2-포트 주파수 혼합기를 설계 제작하였다. 역지향성 안테나는 임의의 방향에서 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 배열 시스템으로서, 반사파가 입사 반대방향으로 파면(wave front)을 갖도록 하기 위해서는 입사신호의 위상을 180도 천이 시키는 공액 위상변위기가 필요하다. 역지향성 배열에서 공액 위상변위기는 주파수 혼합기로 구현할 수 있다. 2-포트 주파수 혼합기는, 일반적인 3-포트 구조와 달리, RF/IF 신호를 동일 포트에서 사용함으로써 입력단의 신호 결합회로를 사용하지 않아도 되며, 임피던스 정합이 용이하다는 장점을 갖는다. 회로 제작을 위한 비선형소자로 p-HEMT가 사용되었으며, -10 dBm의 LO 전력을 인가하였을 때, 변환손실 -1 dB와 RF 전력 -15 dBm의 1-dB 역압점(compression point)이 측정되었다.

ABSTRACT

In this paper, we have developed a frequency mixer which can be used as a microwave phase conjugator in the retrodirective array antenna. The retrodirective array, which can reflect the incident wave retroactively back to the source direction without any priori information, requires phase conjugators to achieve the phase change of 180 degrees for the incoming signal. Frequency mixers can efficiently serve as phase conjugators. The circuit topology is of the 2-port structure to avoid the complexity of LO and RF signal combination and matching circuits, using a pseudomorphic HEMT device. The operating frequencies are 4.0 GHz, 2.01 GHz, and 1.99 GHz for LO, RF, and IF signals, respectively. Conversion loss is measured to be -1dB and 1-dB compression point -15 dBm at the LO power of -10 dBm.

키워드

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

1. 서 론

빔 조향(beam steering) 기술은 레이더 및 무선 통신 분야에서 시스템 효율성 제고에 매우 중요한 역할을 하므로, 과거로부터 현재에 이르기까지 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다[1],[2].

일반적인 빔 조향은 기계적 틸팅(tilting)과 위상배열 안테나에 의하여 주로 이루어지고 있다. 이에 반하여, 역지향성(Retrodirective) 안테나는 사전정보 없이 임의의 방향으로 입사하는 전자파를 그 방향으로 되돌려 복사할 수 있는 안테나로서, 1959년 미국의 Van Atta에 의하여 그 개념이 제안되었으

며[3], 1964년 Pon에 의하여 해테로다인 믹서에 의한 기법이 제안된 이래 반도체 기술의 발달로 인하여 마이크로파 대역에서 여러 응용분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[4]. 이 특성은 Snell의 법칙을 따르는 일반적인 반사판과는 완전히 다른 개념의 복사특성을 의미하는 것으로, 차세대 이동통신 기지국 안테나용으로 매우 적합하다. 차세대 이동통신 시스템의 기지국이 갖추어야 할 요건은 high link-gain, self-beam-tracking, high efficiency를 들 수 있다. 다수의 위상 변위기(phase shifter) 및 복잡한 신호처리 알고리즘을 사용해야 하는 기존의 스마트 안테나에 비하여 역지향성 안테나는 복잡한 신호처리가 필요 없이 beam-tracking이 가능하다[5].

역지향성 안테나의 구현에 사용되는 주파수 혼합기는 일반적인 주파수 혼합기와 달리, RF 주파수의 2배인 LO 주파수를 가지며, IF 주파수는 RF 주파수와 비슷한 크기를 갖는다. 따라서 LO 및 RF 신호의 큰 주파수 차이로 인하여, 일반적인 3-port 혼합기는 LO 및 RF 신호를 결합하기 위한 다이플렉서(duplexer)회로 및 입력단 임피던스 정합이 용이하지 않은 단점이 있다[7]. 본 논문에서는 LO 신호를 Gate 단에 인가하고, RF 및 IF신호를 Drain 단에서 공통으로 사용하는 2-port 혼합기 구조를 채택하여 이 문제점을 극복하였다. 회로설계에는 p-HEMT 소자를 사용하여 2 GHz의 RF 신호를 처리 할 수 있는 혼합기가 설계 제작되었으며, 임피던스 정합 회로 등의 설계 절차와 혼합기의 측정

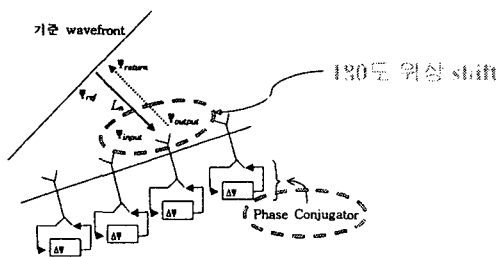


그림 1. 역지향성 배열 안테나의 원리
Fig. 1 Principle of the retrodirective array antenna

set-up 및 결과를 제시하도록 한다. 동작 주파수는 LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz이며, 측정결과는 -10dBm의 LO 전력에서 -1dB의 변환손실과, -15 dBm의 1 dB 역압점(compression point)을 보였다.

II. 주파수 혼합기의 설계

그림 1은 역지향성 안테나의 핵심 원리를 보인 것으로서, 배열의 각 복사기는 입사 신호와 공액위상, 즉, 180도 위상차를 갖는 복사전파를 발생시켜야 한다. Pon 방식의 역지향성 배열에서는 주파수 혼합기가 이 목적으로 사용되고 있다[7]. 본 연구에서 설계된 혼합기 회로구성을 그림 2에 보였으며, LO 신호를 게이트에 인가하고 RF 신호와 IF 신호를 드레인 단에서 취하는 게이트 혼합기로 설계되었다[8]. 혼합기의 동작 주파수 대역은 RF 주파수가 2.01 GHz, LO 주파수가 4.0 GHz, IF 주파수가 1.99 GHz이다. 비선형 소자는 Agilent ATF-54143 p-HEMT 소자를 사용하였으며, VDS=3.0V, VGS=0.3V의 차단영역에서 동작하도록 바이어스를 인가하였다. 회로제작에 사용된 기판은 유전율이 6.15, 두께가 25 mil이다. 회로설계에는 ADS 마이크로파 CAD 소프트웨어가 사용되었다. Agilent ATF-54143의 등가 모델은 on-line 상에서[9] 제공되고 있으며, VDS=3.0V, VGS=0.3V의 바이어스 조건에서 각 주파수에서 나타나는 입력 임피던스는 그림 3과 같다. 일반적인 게이트 혼합기는 LO와 RF 신호를 FET 게이트 입력단에 인가하며, 이 경우에는 두 신호를

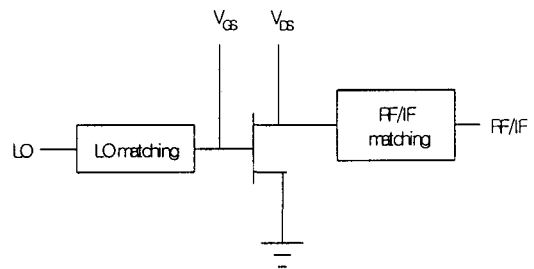


그림 2. 2-Port 게이트 혼합기의 구성도
Fig. 2 Configuration of a 2-port gate mixer

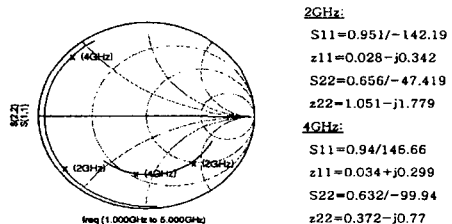


그림 3. ATF-54143의 RF 임피던스 특성
(VDS=3.0V, VGS=0.3V)
Fig. 3 RF impedance characteristics of ATF-54143 (Bias: VDS=3.0V, VGS=0.3V)

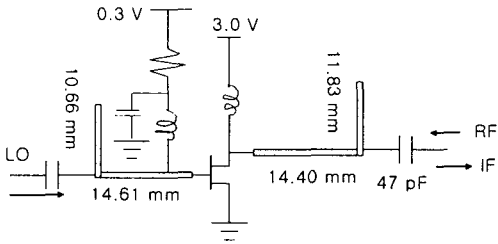
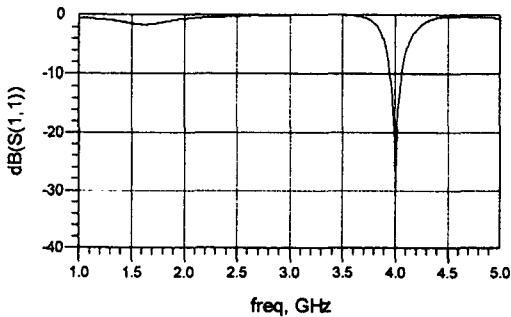
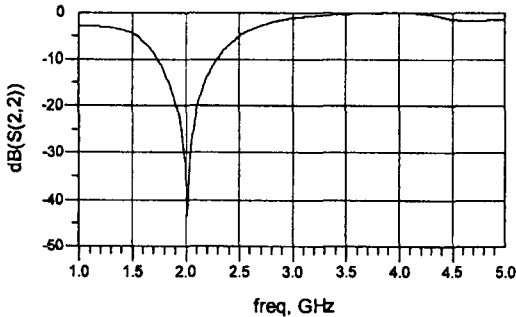


그림 4. 2-Port 혼합기의 정합회로 설계 결과
Fig. 4. Design results of matching circuits



(a) 입력 임피던스 정합 (LO: 4 GHz)



(b) 출력 임피던스 정합 (RF/IF: 2 GHz)

그림 5. 정합회로의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation of matching circuits

합성하기 위한 결합기가 필요하게 된다. 역지향성 배열 안테나용 혼합기에서는 LO 주파수가 RF 주파수의 두 배로 주파수 차이가 매우 커서 결합기 및 입력 임피던스 정합이 매우 어려워지게 된다. 본 논문에서는 2-Port 구조를 채택함으로써 이 문제를 해결하였다. 혼합기 설계는 바이어스 전압이

인가된 상태에서 입력단 LO 소스 임피던스 정합회로와 출력단 RF/IF 임피던스 정합회로를 차례로 설계한다. 추가적으로 바이어스 회로의 RF 영향을 배제하기 위한 RF choke coil과 불필요한 발진을 막기 위한 저항이 사용되었으며, 마이크로스트립 개방 스텝(stub)을 사용한 정합회로 설계 결과와 시뮬레이션 결과를 그림 4와 5에 각각 보였다.

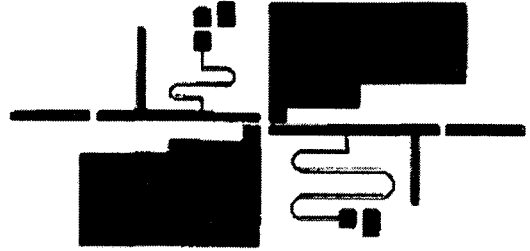


그림 6. 제작된 혼합기 회로의 Layout
Fig. 6 Layout of the fabricated mixer

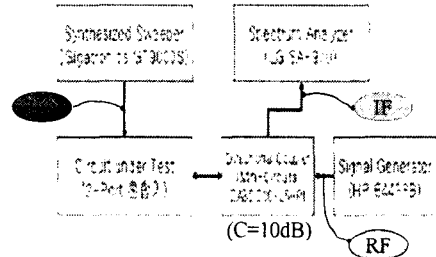


그림 7. 2-Port 주파수 혼합기의 측정 시스템
Fig. 7. Measurement system for the 2-port frequency mixer

III. 혼합기 회로의 제작 및 측정 결과

설계된 혼합기는 wet-etching 방법으로 유전율 6.15, 두께 25 mil의 기판에 마이크로스트립 선로를 이용하여 제작되었으며, 그림 6에 회로의 layout을 보였다. 2-Port 혼합기의 측정 장치 구성도를 그림 7에 제시하였다. 측정 시스템에는 RF 신호 발생기와 스펙트럼 분석기, 그리고 RF와 IF 신호를 분리하기 위해서 결합도가 10 dB인 방향성 결합기가 사용되었다. 그림 8은 LO -10 dBm, RF -20 dBm을 인가하였을 때의 IF 출력 스펙트럼을 나타내며, 바이어스 전압은 $VGS=0.27V$ $VDS=3.2V$ $IDS=1mA$ 이다. 여기에서 1.99 GHz의 IF 성분 외에, 2.01 GHz의 RF 누설성분이 관찰되고 있으며,

이것은 두 신호의 주파수가 매우 근접하여 필터를 사용할 수 없기 때문이다. 그림 9는 LO 주파수의 누설성분을 보이고 있으며, IF 신호에 비하여 -22dB

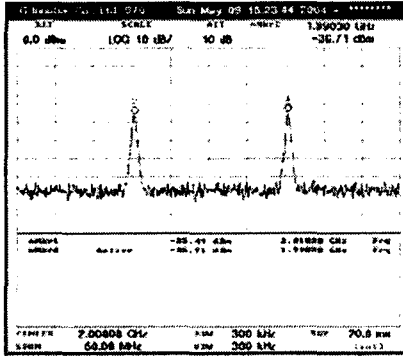


그림 8. IF 출력 스펙트럼의 측정결과
Fig. 8 Measured result of the output spectrum

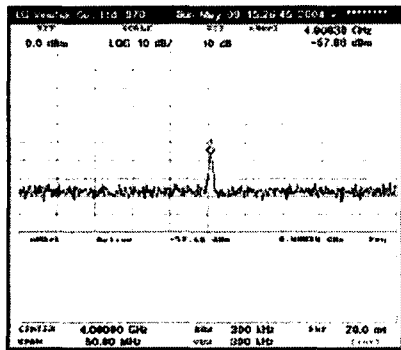


그림 9. LO 주파수(4 GHz)의 누설 성분
Fig. 9 Leakage signal at LO frequency (4 GHz)

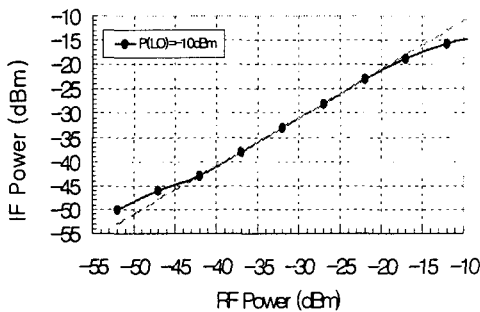


그림 10. RF 전력변화에 따른 IF전력의 측정결과
Fig. 10 IF power variation according to RF power control

낮은 크기를 가지므로 충분히 무시할 수 있다. 그림 10은 RF 입력과 IF 출력 전력의 관계를 도시하고 있으며, 1-dB 억압점 RF 전력은 -15dBm, 변환손실은 -1 dB로 측정되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 역지향성 능동배열 안테나의 공액 위상변위기에 적용하기 위한 2-Port 마이크로파 주파수 혼합기가 설계되었다. 제작된 혼합기는 LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz에서 동작하며, -10 dBm의 LO 전력에서 -1 dB의 변환손실을 보였으며, -15 dBm의 1 dB 억압점이 측정되었다. 2-Port 구조로서 바이어스 전압을 인가할 필요가 없는 저항성 혼합기(resistive mixer)의 설계도 가능하지만, 동일하게 변환손실이 존재한다는 점과 매우 큰 전력을 갖는 LO 신호가 사용되어야 한다는 점을 고려하면, 능동 배열 안테나용으로 게이트 혼합기가 훨씬 더 적합한 구조이다. 제작된 혼합기는 Single-Ended 구조로서, RF와 IF 주파수가 매우 근접하여 IF 필터를 사용할 수 없는 관계로 출력단에서 RF 누설성분이 관찰되었다. RF 누설성분을 제거하기 위해서 평형회로 구조를 채택 할 수도 있지만, 본 연구에서 제시된 Single-Ended 회로는 평형회로에 비하여 구조가 훨씬 간단하므로 실제 역지향성 배열에 용이하게 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] M. I. Skolnik, Introduction to radar systems, 3rd Ed., McGraw-Hill, 2001.
- [2] J. C. Liberti, T. S. Rappaport, Smart antennas for wireless communications, Prentice Hall, 1999.
- [3] L. G. Van Atta, "Electromagnetic Reflector," U.S. Patent 2,908,002, Oct. 6, 1959.
- [4] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 176-180, Mar. 1964.
- [5] L. DoDomenico, G. Rebeiz, "Digital communications using self-phased arrays," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-49, pp. 677-684, April 2001.
- [6] 전중창, "공액 위상변위기용 LS 밴드 HEMT 혼합기," 한국해양정보통신학회, 제8권, 제2

호, pp. 239-244, 2004년 4월.

- [7] R. Miyamoto, T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," IEEE Microwave Magazine, pp. 71-79, Mar. 2002.
- [8] J. Golio, Microwave MESFETs and HEMTs, Aretch House, pp. 288-291, 1991.
- [9] ATF-54143, www.agilent.com/semiconductors

저자 소개

전중창(Joong-Chang Chun)



1984년 2월: 경북대 전자공학과
1991년 2월: 포항공대 전자전기
공 학과(공학석사)
1995년 2월: 포항공대 전자전기
공학과(공학박사)
2003년 3월 ~ : 진주산업대학교

전자공학과 조교수

※ 관심분야: 마이크로파 센서 시스템, 마이크로파 회로 수치해석, 능동 배열 안테나, 무선 이동통신

김태수(Tae-Soo Kim)



1987년 8월: 경북대 전자공학과
1991년 3월: 일본 요코하마국립대
학 전자정보공학과(공학석사)
1995년 3월: 일본 요코하마국립대
전자정보공학과(공학박사)
1995년 3월: 일본 요코하마국립대
전자정보공학과(공학박사)

1996년 3월 ~ : 위덕대학교 정보통신공학과부교수

※ 관심분야: 신호처리, 신호 및 시스템, 영상처리, 수치해석, 휴먼인터페이스, 무선 LAN

김현덕(Hyun-Deok Kim)



한국해양정보통신학회논문지
제6권 제6호 참조