능동 역지향성 배열 안테나용 공액 위상변위기

Phase Conjugator for Retrodirective Array Antenna Applications

전중창 · 정덕수* · 이병로 · 탁한호

Joong-Chang Chun · Deuk-Soo Jeung* · Byung-Rho Lee · Han-Ho Tack

요 약

본 논문에서는 능동 역지향성 배열 안테나용의 마이크로파 공액 위상변위기에 관한 새로운 구조를 제안하였다. 본 논문에서 제안된 공액 위상변위기는 Single-Balanced 혼합기를 응용한 것으로, 일반적인 혼합기와 달리, LO 및 RF 신호의 결합과 임피던스 매칭의 복잡성을 줄이기 위해서 2-포트 구조를 채택하였으며, 병렬 연결된 두 개의 Single-Ended 혼합기에 180도 위상반전 회로를 삽입하여, 공액 위상변위기 설계에서 가장 큰 문제가 되는 IF 출력단의 RF 누설성분을 억제하였다. 동작 주파수는 LO 4 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz이다. 제작된 공액 위상변위기는 9 dBm의 LO 전력에서 변환손실은 −7 dB, 1-dB 억압점 15 dBm의 특성을 보인다. 공액 위상변위기의 가장 중요한 파라미터인 RF/IF 격리도는 25 dB에 달한다.

Abstract

In this paper, we have developed a new type of the microwave phase conjugator for the active retrodirective antenna array. The circuit topology is consisted of a 2-port structure to avoid the complexity of LO and RF signal combination and matching, using the cascade connection of two single-ended mixers. The operating frequencies are 4.0 GHz, 2.01 GHz, and 1.99 GHz for LO, RF, and IF, respectively. Conversion loss is measured to be −7 dB and 1-dB compression point 15 dBm with the LO power of 9 dBm. For the most important parameter, the isolation between RF leakage and IF signal is as high as 25 dB.

Key words : Phase Conjugator, Frequency Mixer, Balanced Mixer, Retrodirective Array

Ⅰ. 서 론

역지향성(Retrodirective) 안테나는 사전정보 없이 임의의 방향으로 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 반사시키는 안테나 시스템으로서, 입사각과 반사각이 동일하다는 Snell의 법칙을 따르는 일반적인 반사판과는 전혀 다른 개념의 복사 특성을 가지고 있다. 역지향 특성은 Van Atta 배열[1] 또는 Pon[2]에 의하여 제안된 공액 위상 배열에 의하여 구현될 수 있다. 역지향성 배열 안테나는, 그 독특한 반사 특성으로 인하여, 원격 무선 센서, RFID(전자태그), 피아식별 및 구난용 Transponder, 무선 LAN의 Access Point, IVHS(Intelligent Vehicle Highway System)의 노변 기지국, Toll gate의 차량 인식 장치 등에 응용될 수 있으며, 차세대 이동통신의 시스템에서 beam tracking의 중요성이 부각되면서 기지국용 스마트 안테나에 활용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다[3]~[5].

공액 위상 배열은 각 배열 소자에 입사된 신호의 위상을 180도 천이시켜 재 복사시킴으로써 반사파 주엽(main lobe)의 방향을 입사 방향과 동일하게 만든다. 여기서 공액 위상 변위기로서 주파수 혼합기가 주로 사용되고 있다. 공액 위상 변위기 설계 방식

진주산업대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Jinju National University)

*(주)한일콘트롤(Hanil Control, Inc.)

· 논 문 번 호 : 20041105-04S

· 수정완료일자 : 2004년 12월 9일

은 일반적인 혼합기 설계 과정과 동일하다. 하지만 일반 혼합기와의 차이점은 LO(Local Oscillator) 주파수가 RF(Radio Frequency) 주파수의 2배이며, RF 주파수는 IF(Intermediate Frequency) 주파수와 거의 비슷하다는 점이다. 기존 혼합기 회로 설계에서는 LO 주파수와 RF 주파수가 유사함으로 인하여 이들 두 주파수간의 격리도(Isolation) 문제가 대두된다. 반면에, 공액 위상 변위기의 경우 입력신호인 RF 주파수와 출력신호인 IF 주파수 차가 일반적으로 20 MHz 이내의 매우 근소한 차를 가지므로 여파기를 사용하여 신호를 분리하는 것이 쉽지 않다. 따라서, 기존에 문제시되어 왔던 격리도 문제는 RF 신호와 IF 신호간으로 전이된다. RF 누설신호는 역지향 특성을 갖지 못하고 Snell 법칙을 따르게 되므로, 공액 위상 변위기의 RF/IF 포트 격리도 문제는 역지향성 배열 안테나의 성능과 곧 직결된다.

공액 위상 변위기의 출력단 RF 누설성분을 억제하기 위해서 위상 반전 기법이 사용되고 있다. 문헌 [6]과 [7]에서는 0도와 180도의 신호 경로 길이 차를 이용하여 RF/IF 격리도 20 dB를 얻었다. 본 논문에서는 branch line quadrature 결합기를 사용한 새로운 구조의 2-Port 공액 위상 변위기를 제안한다. RF 신호와 IF 신호를 Drain 단에서 공통으로 사용함으로써, RF와 LO 신호 사이의 큰 주파수 차로 인한 입력 결합용 다이플렉서(diplexer) 및 임피던스 정합의 문제점을 극복하였다. 본 논문에서 제안된 구조의 회로를 마이크로스트립 선로로 구현하기 위한 임피던스 정합 회로 등의 회로 설계 절차와 제작된 혼합기의 측정 set-up 및 결과를 제시한다.

Ⅱ. 공액 위상 변위기의 설계

단일 평형 혼합기는 기본적으로 두 개의 SE (Single Ended) 혼합기로 이루어진다. 본 연구에서 제안된 공액 위상 변위기를 구성하기 위한 2-Port SE 혼합기의 기본 구성도를 그림 1에 보였다. 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-54143 pHEMT를 사용하였으

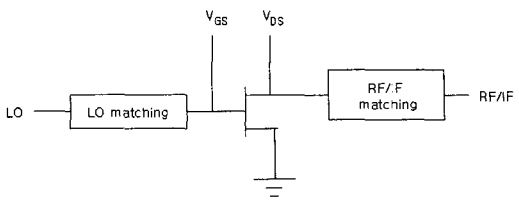


그림 1. 2-Port 게이트 혼합기의 구성도
Fig. 1. Configuration of a 2-Port mixer.

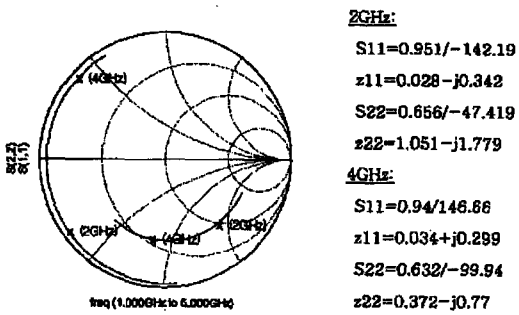
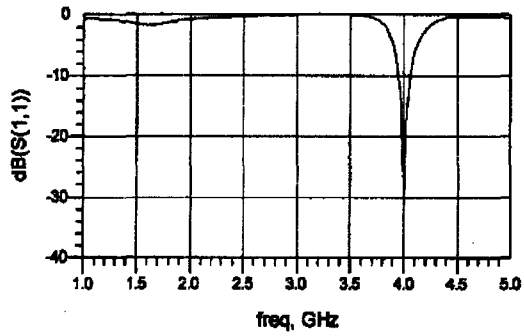


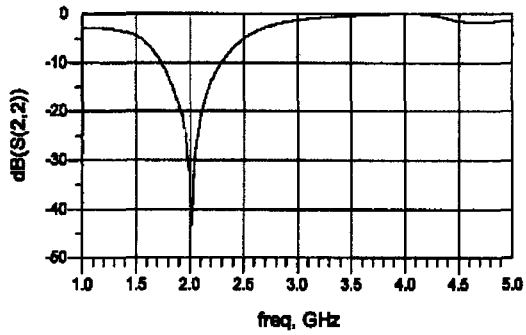
그림 2. ATF-54143의 RF 임피던스 특성(V_{DS}=3.0 V, V_{GS}=0.3 V)
Fig. 2. RF impedance characteristics of ATF-54143(V_{DS} =3.0 V, V_{GS}=0.3 V).

며, V_{DS}=3.0 V, V_{GS}=0.3 V의 차단 영역에서 동작하도록 바이어스를 인가하였다. 회로 제작에 사용된 기판은 유전율이 6.15, 두께가 25 mil이다. 회로 설계에는 상용 RF CAD 소프트웨어를 사용하였다. V_{DS} =3.0 V, V_{GS}=0.3 V의 바이어스 조건에서 각 주파수에서 나타나는 입력 임피던스는 그림 2와 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 배이므로 결합기 및 입력 임피던스 정합이 매우 어려워지게 된다. 본 논문에서는 2-Port 구조를 채택함으로써 이 문제를 해결하였다. 혼합기 설계는 바이어스 전압이 인가된 상태에서 입력 임피던스 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 3과 4에 보였다.

이와 같이 설계된 단일 평형 혼합기를 Wilkinson 전력분배기와 branch line 결합기를 통하여 병열 연



(a) 입력 임피던스 정합(LO: 4 GHz)
(a) Input impedance matching(LO: 4 GHz)



(b) 출력 임피던스 정합(RF/IF: 2 GHz)
(b) Output impedance matching(RF/IF: 2 GHz)

그림 3. 정합회로 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation results of matching circuits.

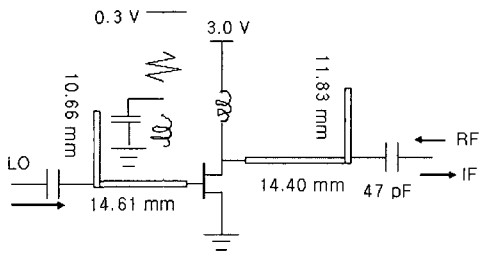


그림 4. SE 혼합기의 정합회로 설계 결과
Fig. 4. Design results of matching circuits for a SE mixer.

결함으로써, RF 누설성분을 억제할 수 있는 새로운 구조의 공액 위상 변위기를 그림 5에 제시하였다. LO 신호는 Wilkinson 전력 분배기를 통하여 동일 위상으로 분배되고, branch line 결합기를 통하여 인가되는 RF 신호는 혼합기 1과 혼합기 2의 입력단 사이에서 90도 위상차를 갖는다. 따라서 혼합기 1과 혼합기 2에서 발생된 IF 신호도 90도 위상차를 갖게 되

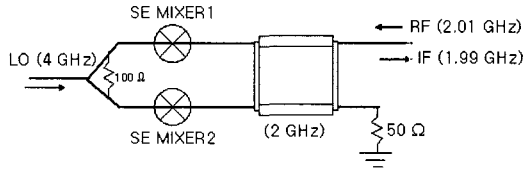


그림 5. RF 누설억제를 위해 제안된 공액 위상변위기의 새로운 구조
Fig. 5. New design of a phase conjugator to suppress RF leakage.

며, 이들이 branch line 결합기의 IF 포트에 도달하면 동일 위상으로 합해진다. 한편, 혼합기 1과 혼합기 2에서 발생된 RF 누설신호는, 역시 90도 위상차를 갖지만, IF 신호와는 반대로 혼합기 1의 누설성분이 혼합기 2에서 보다 90도 앞서므로(leading phase) 결합기의 IF 포트에서는 서로 상쇄된다.

Ⅲ. 회로 제작 및 측정

설계된 회로는 유전율 6.15, 두께 25 mil의 기판에 제작되었으며, 그림 6에 공액 위상변위기의 회로 layout을 보였다. 그림 7은 2-Port 혼합기의 측정 시스템 구성도이다. RF와 IF 신호를 분리하기 위해서 결

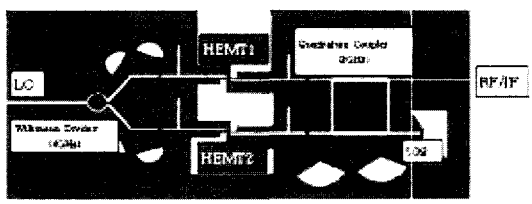


그림 6. 제작된 공액 위상변위기의 lay-out
Fig. 6. Lay-out of the fabricated phase conjugator.

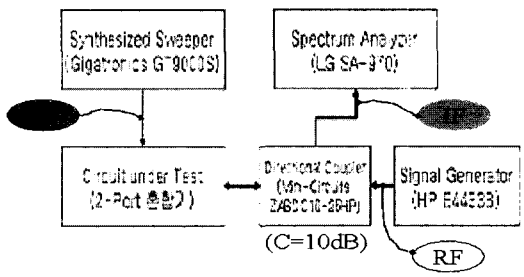


그림 7. 2-Port 위상변위기의 측정 시스템
Fig. 7. Measurement set-up for the 2-Port phase conjugator.

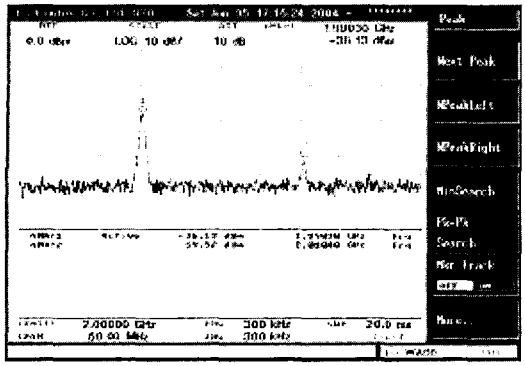


그림 8. 공액 위상변위기의 출력 스펙트럼
Fig. 8. Output spectrum of the fabricated phase conjugator.

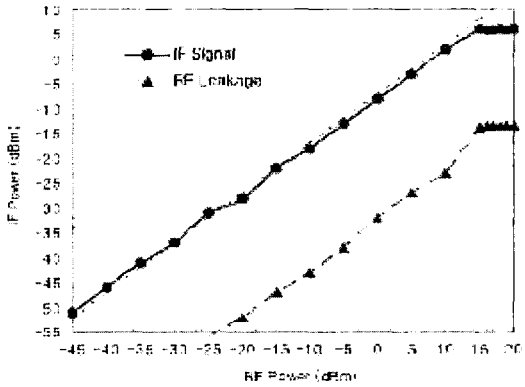


그림 9. 공액 위상변위기의 RF 전력에 따른 IF 전력의 변화
Fig. 9. IF power variation of the phase conjugator with RF power control.

합도가 10 dB인 방향성 결합기를 사용하였다. 그림 8은 LO 포트에 +9 dBm, RF 포트에 −15 dBm을 인가하였을 때의 IF 출력 스펙트럼을 나타내며, 바이어스 전압은 V_{GS}=0.4 V, V_{DS}=0.053 V, I_{DS}=2 mA이다. 이 그림에서 RF 누설성분(2.01 GHz)이 매우 감소된 것을 확인할 수 있으며, RF/IF 격리도가 25 dB에 이른다. 그림 9는 RF 입력과 IF 출력 전력의 관계를 도시하고 있으며, 1-dB 억압점 RF 전력은 15 dBm, 변환손실은 −7 dB로 측정되었다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 Wilkinson 전력 분배기와 branch line quadrature 결합기를 사용한 위상 반전 기법을 적용하여 새로운 구조의 2-Port 공액 위상 변위기를 제안하였다. 2-Port 회로 구조를 사용함으로써, RF와 LO 신호 사이의 큰 주파수 차로 인한 입력 다이플렉서 회로 설계 및 임피던스 정합의 문제점을 극복하였다. 공액 위상 변위기는 2개의 SE 혼합기로 구성되며, RF 누설과 IF 신호 사이의 격리도 25 dB를 구현 하였다. 본 연구에서 제안된 공액 위상 변위기는 능동 역지향성 배열 제작에 직접 적용 가능하다.

참 고 문 헌

[1] L. G. Van Atta, "Electromagnetic Reflector", *U. S. Patent 2,908,002*, Oct. 1959.

[2] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, pp. 176-180, Mar. 1964.

[3] R. Miyamoto, T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications", *IEEE Microwave Magazine*, pp. 71-79, Mar. 2002.

[4] Ryan Y. Miyamoto, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "Active retrodirective array for remote tagging and wireless sensor applications", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1431-1434, 2000.

[5] Leo D. Didomenico, Gabriel M. Rebeiz, "Digital communications using self-phased arrays", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Technique*, pp. 677-684, Apr. 2001.

[6] Ryan Y. Miyamoto, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "A retrodirective array using balanced quasi-optical FET mixers with conversion gain", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 655-658, 1999.

[7] R. Miyamoto, Y. Qian, and T. Itoh, "Phase conjugator for active retro-directive array applications", *Electron. Letters*, vol. 36, no. 1, pp. 4-5, Jan. 2000.

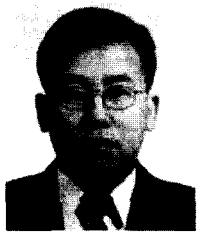
전 중 창

1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1995년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
1995년 2월~1997년 2월: 한국통신(KT) 연구개발본부 무선통신연구소 선임연구원
2003년 3월~현재: 진주산업대학교 전자공학과 조교수
[주 관심분야] 마이크로파 회로 및 센서, 안테나 시스템

정 덕 수

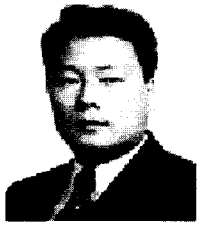
1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 8월: 창원대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 2월: 창원대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정 수료
현재: (주)한일콘트롤 이사
[주 관심분야] 산업 자동화용 무선 시스템

이 병 로



1989년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1988년~1992년: LG진자
1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월: 경상대학교 전자공학과 (공학박사)
2000년 3월~현재: 진주산업대학교 전자공학과 조교수
[주 관심분야] 멀티미디어이동통신, 적응변조, 멀티캐리어 시스템

탁 한 호



1987년 2월: 부경대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
1987년 1월~1989년 2월: (주)흥창 부설연구소 연구원
1989년 3월~현재: 진주산업대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 멀티미디어시스템, 퍼지-신경망시스템, 로봇틱스, 트랜스포테이션 등