
공액 위상변위기용 LS 밴드 HEMT 혼합기

전중창*

HEMT Mixer for Phase Conjugator Applications in the LS Band

Joong-Chang Chun*

본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신 기초기술 연구지원사업의 연구결과입니다.

요약

본 논문에서는 LS 밴드에서 동작하는 공액 위상변위기(phase conjugator)용 HEMT 혼합기를 설계 제작하였다. 역지향성 안테나(retrodirective antenna) 시스템의 공액 위상변위기로 사용되는 혼합기의 특징은 RF 및 IF 신호의 주파수가 비슷하며, 모두 고주파 신호라는 점이다. 따라서 LO 신호의 주파수는 RF 주파수의 약 2 배가 되며, 두 입력신호의 합성 및 임피던스 정합이 쉽지 않게 된다. 본 연구에서는 p-HEMT 소자를 사용하여, LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz에서 동작하는 게이트 혼합기를 제작하였다. 제작된 혼합기는 -7 dBm의 LO 신호를 인가하였을 때, 변환이득이 12.5 dB이며, 1-dB compression point는 -34 dBm으로 측정되었다. 본 연구에서 제작된 혼합기는 single-ended 구조로서, RF 및 IF 주파수가 비슷하므로 RF 누설신호가 관찰되었으며, 평형구조(balanced type)의 혼합기 및 공액 위상변위기의 설계에 직접 적용될 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we have developed a frequency mixer which can be used as a microwave phase conjugator in the LS band retrodirective antenna system. The mixer as a phase conjugator must have an IF signal of which frequency is nearly as high as that of an RF signal, so this fact brings difficulty in the combination of input signals and the design of impedance matching circuit. The circuit configuration is chosen to be of the gate mixer using a pseudomorphic HEMT device. The operating frequencies are 4.00 GHz, 2.01 GHz, and 1.99 GHz for LO, RF, and IF, respectively. Conversion gain is measured to be 12.5 dB and 1 dB compression point -34 dBm at the LO power of -7 dBm. The mixer fabricated in this research is the single-ended type, where RF leakage signal appears inevitably at the IF port because RF and IF frequencies are almost the same. The circuit topology suggested here can be applied directly to the design of balanced-type mixers and phase conjugators.

키워드

HEMT 혼합기, 공액 위상변위기, 게이트 혼합기, 임피던스 정합, 역지향성 안테나

1. 서론

PCS 및 IMT-2000을 비롯하여, 무선 LAN,

IVHS (Intelligent Vehicle Highway System) 등과 같은 무선 이동통신 서비스는 현대의 정보통신 사회에서 중추적 역할을 하고 있으며, 통신품질의

* 진주산업대학교 전자공학과

접수일자 : 2003. 12. 15

개선을 위한 안테나 시스템 개발의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 따라서 기존의 고정범 안테나의 제약성을 개선하기 위해서 스마트 안테나 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 스마트 안테나의 기능을 대체할 수 있는 것으로서, 역지향성 안테나를 들 수 있으며, 역지향성(retrodirective) 안테나는 사전정보 없이 임의의 방향으로 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려 복사시키는 안테나 시스템이다[2]. 이 특성은 Snell의 법칙을 따르는 일반적인 반사판과는 전혀 다른 개념의 복사특성을 의미하는 것으로, 차세대 이동통신의 기지국 안테나로서 연구가 활발히 이루어지고 있다. 위상 배열을 이용한 스마트 안테나는 여러 개의 위상 변위기(phase shifter)와 복잡한 신호처리 알고리즘을 사용하는 데에 반하여, 역지향성 능동 안테나는 신호처리가 없이 빔 추적이 가능하다. 역지향성 안테나는 이동통신 분야뿐만 아니라 원격 센서, RFID(Radio Frequency Identification), 피아식별 및 구난용 Transponder 등의 민수 및 군사용으로도 많은 응용분야를 가지고 있다[1].

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(local oscillator) 신호 주파수와 RF 신호 주파수를 각각

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

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

일반적인 혼합기와와의[3],[4],[5] 차이점은, 위에서 보인 것처럼, 공액 위상변위용 혼합기에서 LO 주파수가 RF 주파수의 2배이며, IF 주파수 역시 RF 주파수와 비슷한 고주파 신호이다[6],[7],[8]. 따라서 입력 신호를 합성하기 위한 다이플렉서(duplexer) 및 입력단 임피던스 정합이 어렵고, 출력단에서 RF 누설 신호의 제거가 쉽지 않게 된다.

본 논문에서는 2 GHz의 RF 신호를 처리할 수 있는 역지향성 안테나에 적용될 수 있는 공액 위상변위기를 설계 제작하였다. 비선형 소자로는 HEMT(High Electron Mobility Transistor)를 사용하였으며, 다이플렉서, 여파기, 임피던스 정합 회로 등의 설계절차와 상용 소프트웨어를 사용한 시뮬레이션 결과를 보이고, 혼합기 측정 결과를 제시하도록 한다.

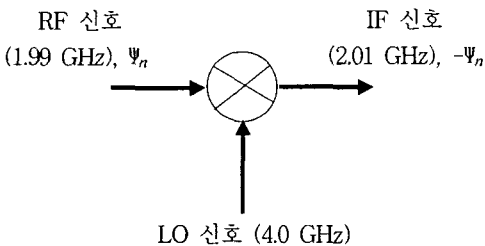


그림 1. 혼합기를 사용한 공액 위상변위기
Fig. 1 Phase conjugator using a mixer

f_{LO} , f_{RF} 라고 할때, $f_{LO} \approx 2f_{RF}$ 로 설정하면, 혼합기 IF단 출력신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

II. 주파수 혼합기의 설계

본 논문에서 제작 실험된 혼합기의 동작 주파수 대역은 RF 주파수가 2.01 GHz, LO 주파수가 4.0 GHz, IF 주파수가 1.99 GHz이다. 비선형 소자는 Agilent ATF-54143 HEMT 소자를 사용하였으며, $V_{DS}=3.0V$, $V_{GS}=0.3V$ 의 차단영역에서 동작하도록 바이어스 전압을 인가하였다. 혼합기 구성은, 그림 2에 보인 것과 같이, RF 신호와 LO 신호를 게이트에 인가하고 IF 신호를 드레인에서 취하는 게이트 혼합기로 설계하였다[9]. 회로제작에 사용된 기판은 비유 전율이 6.15, 두께가 25 mil이다.

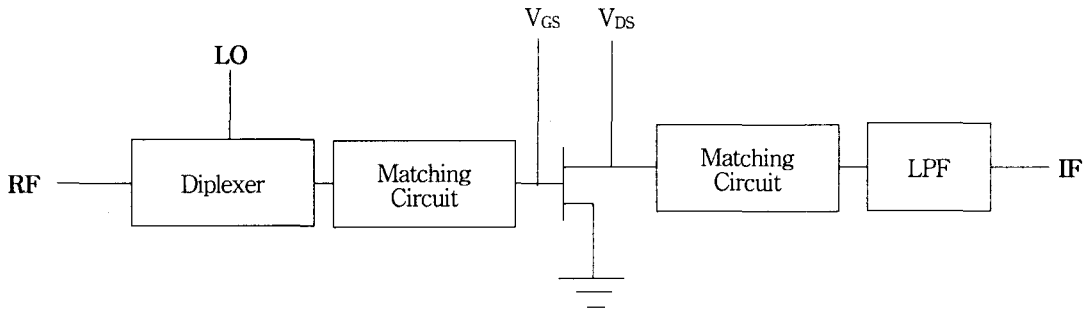


그림 2. 게이트 혼합기의 구성도
Fig. 2 Configuration of a gate mixer

2-1. HEMT 등가회로

패키징 효과까지 고려된 Agilent ATF-54143의 등가 모델은 on-line 상에서 제공되고 있다. 이 소자의 최대정격은, $V_{DS(max)}=5.0V$, $V_{GS(max)}=1.0V$, $P_{in(max)}=10$ dBm 이다. 바이어스 위치를 결정하기 위해서 입출력 DC 특성을 시뮬레이션하면 그림 3의 결과를 얻을 수 있으며, 이 그림에서 보인 것과 같이 차단영역에서 바이어스 위치를 설정하였다. $V_{DS}=3.0V$, $V_{GS}=0.3V$ 의 바이어스 조건에서 각 주파수에서 나타나는 입력 임피던스는 그림 4와 같다.

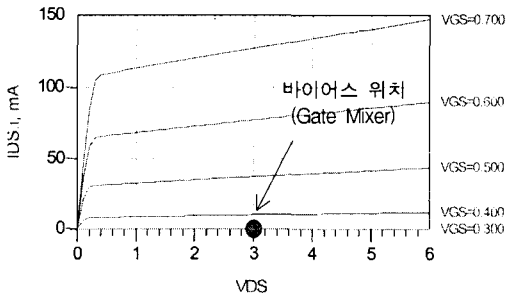


그림 3. ATF-54143의 DC 특성 및 바이어스 위치
Fig. 3 DC curves of ATF-54143 and Bias point

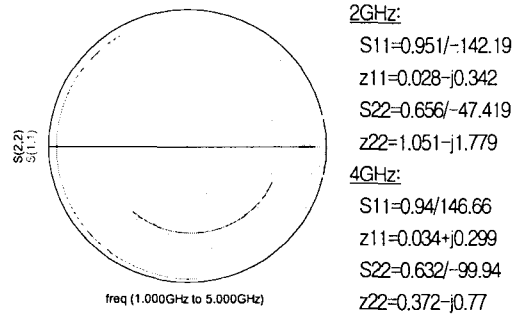


그림 4. ATF-54143의 RF 임피던스 특성
($V_{DS}=3.0V$, $V_{GS}=0.3V$)
Fig. 4 RF impedance characteristics of ATF-54143
(Bias condition: $V_{DS}=3.0V$, $V_{GS}=0.3V$)

2-2. IF 정합회로 및 저역통과 여파기 설계

IF용 LPF로 차수 $N=6$, 차단주파수 $f_c=2.8GHz$ 인 Butterworth 임피던스 스탭형 저역통과 여파기를 설계하였으며, $Z_l=10\Omega$, $Z_h=100\Omega$ 으로 설정하였다. 그림 5에 LPF 설계 응답을 제시하였으며, 그림 4에서 주어진 IF 주파수의 드레인 임피던스와 필터 임피던스 사이의 정합을 위해 개방 스탭(stub)을 사용한 IF 임피던스 정합회로를 그림 6에 보였다.

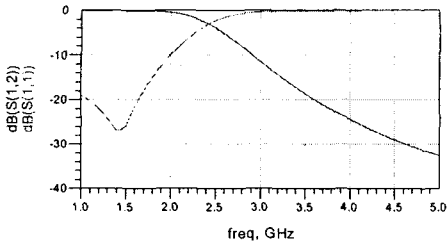


그림 5. IF용 LPF(Butterworth, N=6)의 설계응답
Fig. 5 Simulation response of IF low pass filter

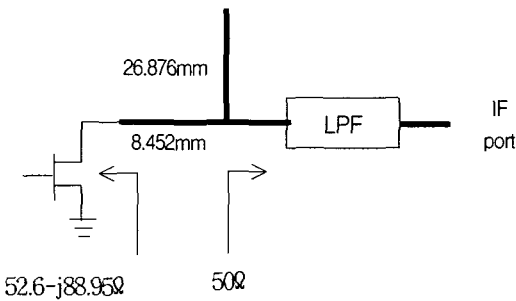


그림 6. IF 임피던스 정합회로
Fig. 6 IF impedance matching circuit

2-3 Diplexer 및 RF 정합회로 설계

일반적인 혼합기와는 달리 공액 위상변위기용 혼합기에서는 LO와 RF 주파수 차이가 매우 크므로 입력단 신호 결합에 하이브리드 커플러를 직접 사용하기가 매우 곤란하다. 본 연구에서는 BPF와 LPF를 결합하여 다이플렉서를 설계하였다.

2-3-1 LO용 대역통과 여파기 설계

LO 신호용 대역통과 여파기는 중심주파수 $f_0=4.0$ GHz, 통과대역 3.8~4.2 GHz이며, 차수 $N=3$ 인 0.5dB 리플의 Chebyshev 여파기를 결합선로 구조로 설계하였다. 그림 7에 BPF 설계 시뮬레이션 결과를 보였다.

2-3-2 RF용 저역통과 여파기 설계

IF용 LPF로 $N=5$, $f_c=3.0$ GHz인 Chebyshev 임피던스 스텝형 저역통과 여파기를 설계하였으며, $Zl=10\Omega$, $Zh=100\Omega$ 으로 설정하였다. 그림 8에 LPF 설계 시뮬레이션 결과를 보였다.

2-3-3 다이플렉서(Diplexer)의 설계

다이플렉서 회로는, 그림 9에 나타난 것과 같이, 대역필터와 저역 필터를 T-junction으로 결합하여 설계하였다. 두 50Ω 선로를 출력 측에서 25Ω 선로로 결합하였으며, 4 GHz 및 2 GHz에서 동시에 게이트 임피던스 정합을 얻기 위해서 개방 스텝으로 최적화 하였다. 10.267mm 길이의 개방 스텝을 사용하였을 때, LO에서 -8.52 dB, RF에서 -9.45 dB, IF에서 -16.4 dB의 반사손실 값이 계산된다. 여기서 드레인 단에는 2.2절에서 설계된 회로를 연결하였다. 50Ω 및 25Ω으로 포트 정합이 되었을 때 다이플렉서의 반사 및 전달 특성을 그림 10에 보였다.

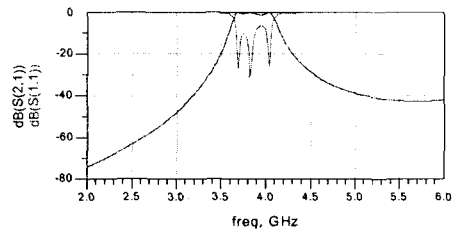


그림 7. LO용 BPF(Chebyshev, N=3)의 설계응답
Fig. 7 Simulation result of LO band pass filter

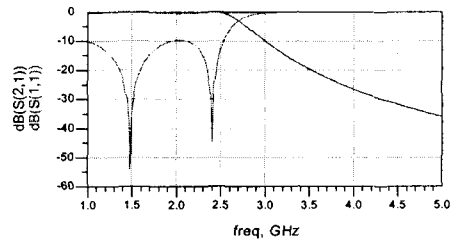


그림 8. RF용 LPF(Chebyshev, N=5)의 설계응답
Fig. 8 Simulation result of RF low pass filter

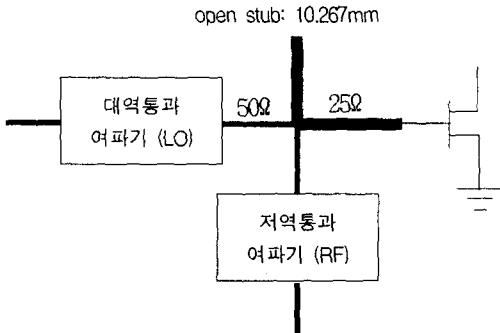


그림 9. 다이플렉서 회로의 구성
Fig. 9 Configuration of a diplexer circuit

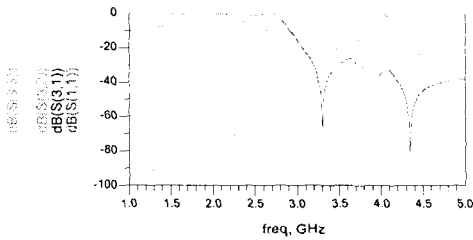
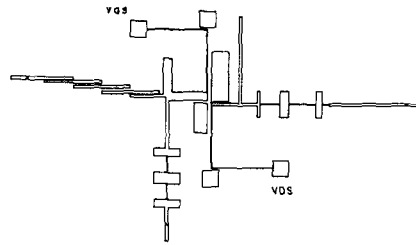


그림 10. 다이플렉서 반사/전달 특성
Fig. 10 Reflection/transmission response of a diplexer

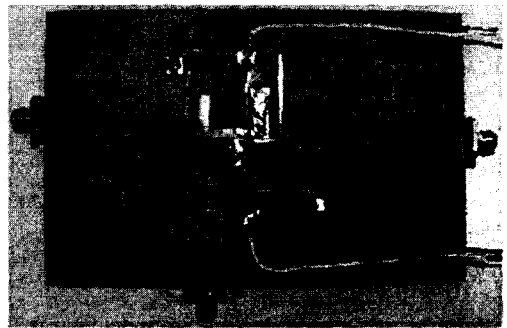
III. 혼합기 회로의 제작 및 측정 결과

이상의 절차를 거쳐서 완성된 혼합기의 전체 레이아웃을 그림 11(a)에 보였다. 바이어스 라인은 100Ω의 high-impedance 선로를 사용하였고, 입출력 포트 및 바이어스선의 by-pass 커패시터에는 100pF를 사용하였다. 그림 11(b)는 그림 12(a)의 회로를 wet-etching 기법으로 유전율 6.15, 두께 25 mil의 기판에 제작한 혼합기의 사진을 보이고 있다. 그림 12는 LO -10 dBm, RF -37 dBm을 인가하였을 때, IF 출력 스펙트럼이다. 1.99 GHz의 IF 성분 외에, 2.01 GHz의 RF 누설성분이 관찰 된다. RF 누설성분의 주파수가 IF 주파수와 매우 근접되어 있으므로, 이 누설성분을 여파기로 제거하기는 어려우며, 평형구조를 채용하여 위상을 반전 시키는 방법이 사용되어야 한다. VDS=3.0V, VGS=0.3V의 바이어스 조건에서 LO 전력에 따른 RF 전력과 IF 전력의 관계를 그림 14에 도시하였다. LO 전력이

-7 dBm일 때, 변환이득은 12.5 dB, 1-dB compression point RF 전력이 -34 dBm으로 측정된다. 그리고 LO 전력이 -10 dBm일 경우에는 변환이득 6.7 dB, 1-dB compression point RF 전력 -32 dBm의 결과를 보인다.



(a) 제작된 혼합기의 레이아웃
(a) Lay-out of the fabricated mixer



(b) 제작된 혼합기의 사진
(b) picture of the fabricated mixer

그림 11. 혼합기의 레이아웃 및 사진
Fig. 11 Lay-out and picture of a fabricated mixer

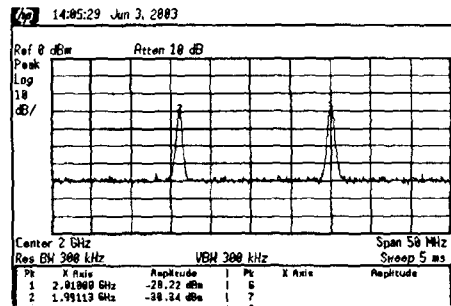


그림 12. 혼합기 출력 (LO: -10 dBm, RF: -37 dBm)
Fig. 12 Mixer output (LO: -10 dBm, RF: -37 dBm)

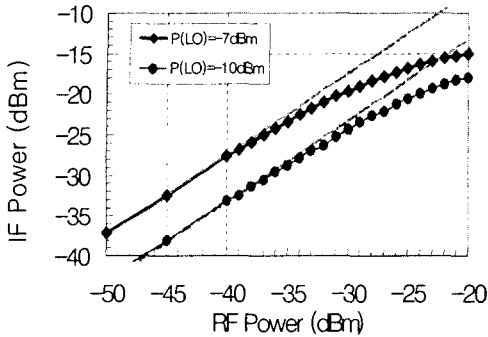


그림 13. LO 전력에 따른 RF 및 IF 전력의 관계
Fig. 13 RF and IF powers according to LO power

IV. 결론

본 논문에서는 LS 대역의 공액 위상변위기에 적용하기 위한 HEMT 혼합기를 설계, 제작하였다. 동작 주파수는 LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz이며, LO 전력 -7 dBm을 인가하였을 때, 변환 이득 12.5 dB, 1-dB compression point RF 전력 -34 dBm이 측정되었다. RF와 IF 주파수가 매우 근접한 관계로 RF 누설성분이 출력단에 나타나는 것이 관찰되며, 이것은 향후 평형구조 혼합기의 위상 반전기법에 관한 연구를 통하여 개선할 계획이다. 본 연구에서 제작된 혼합기는 역지향성 안테나의 공액 위상변위기로 사용 가능하다.

참고 문헌

[1] R. Miyamoto, T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communications," IEEE Microwave Magazine, pp. 71-79, Mar. 2002.
 [2] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 176-180, Mar. 1964.
 [3] 배중선 외, "C-Band용 FG-CPW 단일평형 다이오드 혼합기," 한국전자과학회논문지, 제12권, 제3호, pp. 339-345, 2001년 4월.
 [4] K. Kawakami, et. al, "A high-gain 50-GHz band monolithic balanced gate mixer with an external IF balun," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-46, pp. 829-832,

June 1998.

[5] R. Pucel, D. Masse, R. Bera, "Performance of GaAs MESFET mixers at X-band," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-24, pp. 351-360, June 1976.
 [6] R. Miyamoto, Y. Quian, T. Itoh, "An active integrated retrodirective transponder for remote information retrieval-on-demand," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-49, pp. 1658-1662, Sept. 2001.
 [7] L. DoDomenico, G. Rebeiz, "Digital communications using self-phased arrays," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-49, pp. 677-684, April 2001.
 [8] T. Brabetz, V. Fusco, S. Karode, "Balanced subharmonic mixers for retrodirective-array applications," IEEE Microwave Theory Tech., vol. MTT-49, pp. 465-469, March 2001.
 [9] J. Golio, Microwave MESFETs and HEMTs, Aretch House, pp. 288-291, 1991.

저자 소개



전중창(Joong-Chang Chun)

1984년 2월: 경북대 전자공학과
 1991년 2월: 포항공대 전자전기공학
 학과(공학석사)
 1995년 2월: 포항공대 전자전기공
 학과(공학박사)

2003년 3월 ~ : 진주산업대학교 전자공학과 조교수
 ※ 관심분야 : 마이크로파 회로 및 센서 시스템, 마이크로파 회로 수치해석, 마이크로스트립 안테나, 능동 배열 안테나, 무선 이동통신