

# 마이크로파 공액 위상변위기용 주파수 혼합기의 설계

전 중 창, \*장 병 성, \*김 태 수

진주산업대학교 전자공학과, \*위덕대학교

전화 : 055-751-3337 / 핸드폰 : 011-809-1642

## Design of a Frequency Mixer for the Microwave Phase Conjugator

Joong-Chang Chun, Byung-Seong Jang, Tae-Soo Kim  
Dept. of Electronic Engineering, Jinju National University  
E-mail : [jcchun@jinju.ac.kr](mailto:jcchun@jinju.ac.kr)

### Abstract

In this paper, we have developed a frequency mixer for the microwave phase conjugator. The circuit topology is the gate mixer using a pseudomorphic HEMT device. The operating frequencies are 4.0 GHz, 2.01 GHz, and 1.99 GHz for LO, RF, and IF, respectively. Conversion gain is measured to be 12 dB and 1 dB compression point -34 dBm at the LO power of -4 dBm.

### 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 개선을 위한 안테나 시스템 개발의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 따라서 기존의 고정빔 안테나의 제약성을 개선하기 위해서 스마트 안테나 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>.

역지향성(Retrodirective) 안테나는 사전정보 없이도 임의의 방향으로 입사하는 전파를 그 방향으로 되돌려

복사시키는 안테나 시스템이다<sup>[2]</sup>. 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 신호처리 부가 필요 없이 빔 추적이 가능하다. 역지향성 안테나는 이동통신 분야뿐만 아니라 원격 센서, RFID, 피아식별 및 구난용 Transponder 등의 민수 및 군사용으로도 많은 응용분야를 가진다<sup>[1]</sup>.

역지향성 안테나는 크게 평면 안테나 배열과 공액 위상변위기로 이루어진다. 공액 위상변위기의 구조는 일반적인 주파수 혼합기와 동일하다. 그러나 LO 주파수가 RF 주파수의 2배이며, IF 주파수는 RF 주파수와 비슷하기 때문에 다이플렉서(diplexer) 및 입력단 임피던스 정합이 어렵고, 출력단에서 RF 누설 및 원하지 않는 혼합신호의 제거가 쉽지 않은 점이 있다.

본 연구에서는 2 GHz의 RF 신호를 처리 할 수 있는 역지향성 안테나의 설계를 목표로 하여 공액 위상 변위기를 설계 제작하였다. 비선형 소자로는 HEMT를 사용하였다. 다이플렉서, 여파기, 임피던스 정합 회로 등의 설계절차와 시뮬레이션 결과를 보이고, 혼합기의 측정 데이터를 제시하도록 한다.

본 연구보고서는 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과입니다.

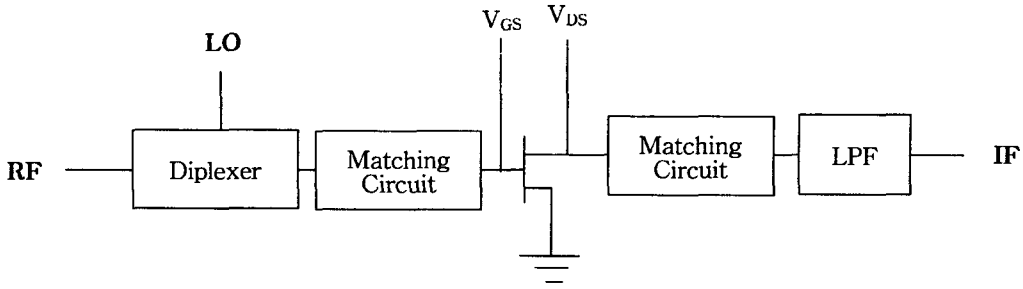


그림 1. 게이트 혼합기의 구성도

## II. 주파수 혼합기의 설계

본 연구에서 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-54143를 사용하였으며,  $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ 의 차단영역에서 동작하도록 바이어스를 인가하였다. 혼합기 형태는, 그림 1에 보인 것과 같이, RF 신호와 LO 신호를 게이트에 인가하고 IF 신호를 드레인에서 취하는 게이트 혼합기로 설계하였다<sup>[3]</sup>. 회로제작에 사용된 기판은 유전율이 6.15, 두께가 25 mil이다. 회로설계는 ADS 소프트웨어를 사용하여 실시하였다.

### 2.1 HEMT 등가회로

패키징 효과까지 고려된 Agilent ATF-54143의 등가 모델은 on-line 상에서 제공이 되며, 그림 2에 나타

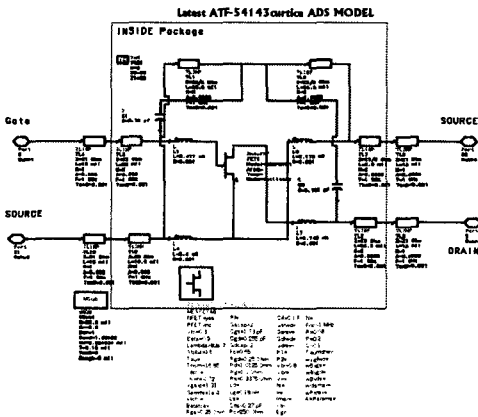


그림 2. Agilent ATF-54143의 등가 모델

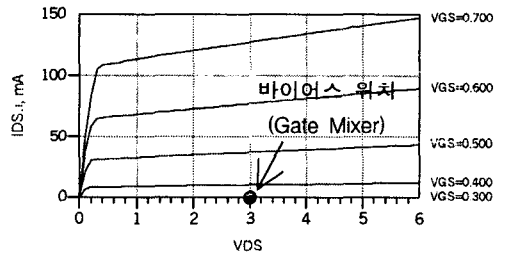


그림 3. ATF-54143의 DC 특성 및 바이어스 위치

내었다. 이 소자의 최대정격은,  $V_{DS(max)}=5.0V$ ,  $V_{GS(max)}=1.0V$ ,  $P_{in(max)}=10dBm$ 이다. 바이어스 위치를 결정하기 위해서 입력력 DC 특성을 시뮬레이션하면 그림 3을 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.

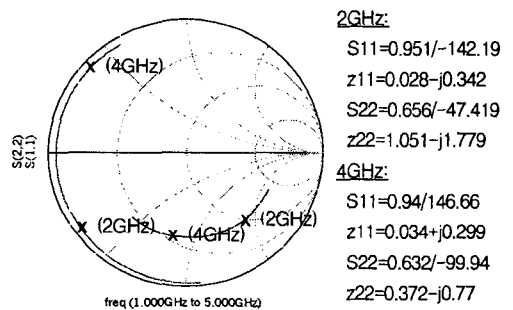


그림 4. ATF-54143의 RF 임피던스 특성 ( $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ )

## 2.2 IF 정합회로 및 LPF 설계

IF용 LPF로  $N=6$ ,  $f_c=2.8\text{GHz}$ 인 Butterworth 임피던스 스텝형 저역통과 여파기를 설계하였으며,  $Z_i=10\Omega$ ,  $Z_o=100\Omega$ 으로 설정하였다. 그림 5에 LPF 설계 응답을 제시하였다. 그림 4에서 주어진 IF 주파수의 드레인 임피던스와 필터 임피던스 사이의 정합을 위해 그림 6에 보인 바와 같이 개방 스텝(stub)이 사용되었다.

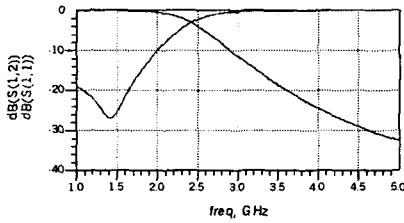


그림 5. IF용 LPF(Butterworth)의 설계응답

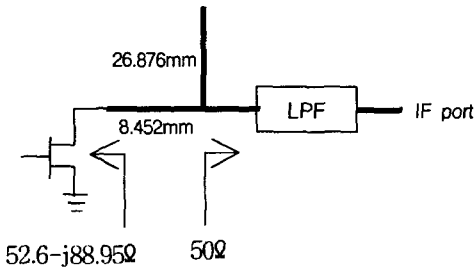


그림 6. IF 임피던스 정합회로

## 2.3 Diplexer 및 RF 정합회로 설계

일반적인 혼합기와는 달리 LO와 RF 주파수 차이가 매우 크므로 신호 결합에 하이브리드 커플러를 사용할 수가 없다. 본 연구에서는 BPF와 LPF를 결합하여 다이플렉서를 설계한다.

### 2.3.1 LO용 BPF 설계

LO 신호용 대역통과 여파기는 중심주파수  $f_0=4.0\text{GHz}$ , 통과대역  $3.8\sim 4.2\text{GHz}$ 이며,  $N=3$ 인 0.5dB 리플의 Chebyshev 여파기를 설계하였다. 그림 7에 BPF 설계 응답을 보였다.

### 2.3.2 RF용 LPF 설계

IF용 LPF로  $N=5$ ,  $f_c=3.0\text{GHz}$ 인 Chebyshev 임피던스 스텝형 저역통과 여파기를 설계하였으며,  $Z_i=10\Omega$ ,

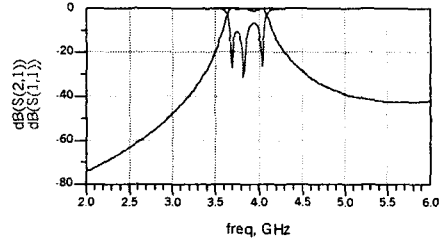


그림 7. LO용 BPF(Chebyshev)의 설계응답

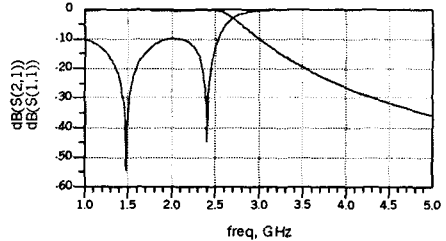


그림 7. RF용 LPF(Chebyshev)의 설계응답

$Z_o=100\Omega$ 으로 설정하였다. 그림 7에 LPF 설계 응답을 제시하였다.

### 2.3.3 Diplexer 설계

다이플렉서 회로는, 그림 8에 나타난 것과 같이, 대역필터와 저역 필터를 T-junction으로 결합하여 설계하였다. 두  $50\Omega$  선로를 출력 측에서  $25\Omega$  선로로 결합하였으며,  $4\text{GHz}$  및  $2\text{GHz}$ 에서 동시에 게이트 임피던스 정합을 얻기 위해서 개방 스텝으로 최적화 하였다.  $10.267\text{mm}$  길이의 개방 스텝을 사용하였을 때, LO에서  $-8.52\text{dB}$ , RF에서  $-9.45\text{dB}$ , IF에서  $-16.4\text{dB}$ 의 반사손실 값이 계산된다. 여기서 드레인 단에는 2.2절에서 설계된 회로를 연결하였다.  $50\Omega$  및  $25\Omega$ 으로 포트 정합이 되었을 때의 다이플렉서 반사/전달 특성을 그림 9에 보였다.

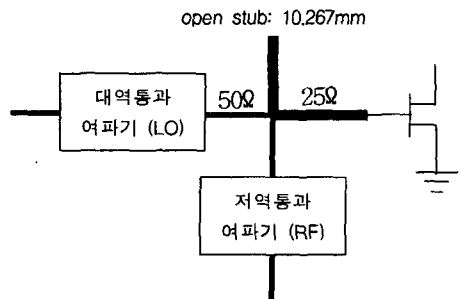


그림 8. 다이플렉서 회로의 구성

### III. 측정 결과

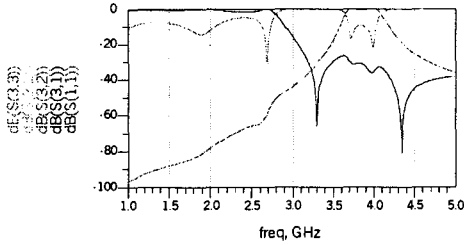


그림 9. 다이플렉서 반사/전달 특성

### 2.4 혼합기 회로 시뮬레이션

그림 10은 이상의 절차를 거쳐서 완성된 혼합기의 전체 레이-아웃을 보이고 있다. 바이어스 라인은 100Ω의 high-impedance 선로를 사용하였고, 입출력 포트 및 바이어스선의 by-pass 커패시터에는 100pF을 사용하였다. 각 포트의 입력 임피던스 정합을 확인하기 위한 S 파라미터 시뮬레이션 결과를 그림 11에 보였다. 각 포트의 반사계수는 LO -8.52 dB, RF -9.45 dB, IF -16.4 dB이다. Harmonic Balance 시뮬레이션 결과 변환이득 4.7dB가 구하여졌다.

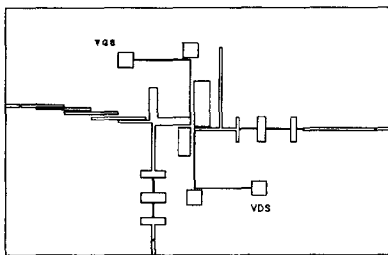


그림 10. 혼합기 회로의 전체 레이-아웃

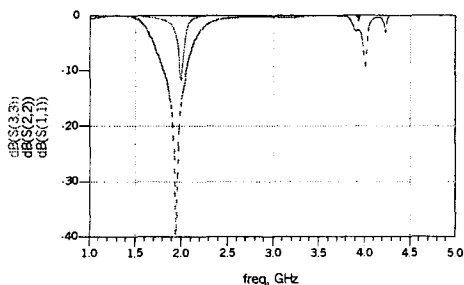


그림 11. 혼합기의 S 파라미터 시뮬레이션

그림 10의 회로를 wet-etching 방법으로 유전율 6.15, 두께 25 mil의 기판에 제작하였다. 그림 12는 LO -4 dBm, RF -10 dBm을 인가하였을 때, IF 출력 스펙트럼이다. 1.99 GHz의 IF 성분 외에, 2.01 GHz의 RF 누설성분이 관찰 된다.  $V_{DS}=3.0V$ ,  $V_{GS}=0.3V$ , LO 전력 -4 dBm에서 1 dB compression point RF 전력은 -34dBm이며, 변환이득은 12 dB로 측정되었다. RF 전력이 -36dBm 이상으로 증가하면 2.03 GHz의 영상 주파수를 비롯한 불요 혼합 주파수 성분들이 발생한다.

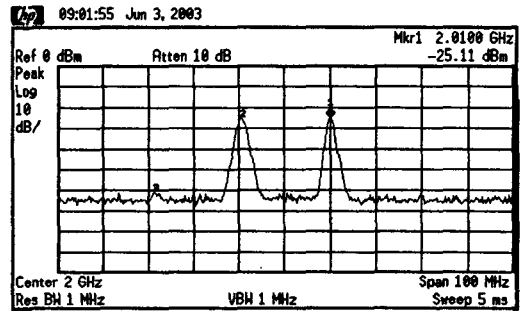


그림 12. 혼합기의 출력 스펙트럼 측정결과

### IV. 결론

역지향성 안테나의 공액 위상변위기에 적용하기 위해서, LO 4.00 GHz, RF 2.01 GHz, IF 1.99 GHz에서 동작하는 마이크로파 주파수 혼합기가 연구되었다. RF와 IF 주파수가 매우 근접한 관계로 RF 누설성분이 출력단에 크게 나타난다. 제작된 혼합기는 12 dB의 변환이득과, -34 dBm의 1 dB compression point를 보였다. 본 연구에서 제작된 혼합기는 공액 위상변위기의 평형회로 구성에 직접 적용 가능하다.

### 참고문헌

- [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] J. Golio, *Microwave MESFETs and HEMTs*, Aretch House, pp. 288-291, 1991.