

밀리미터파 응용을 위한 우수한 성능의 MMIC Star 혼합기

정희원 류근관*, 염인복**, 김성찬*

High Performance MMIC Star Mixer for Millimeter-wave Applications

Keun-Kwan Ryu*, In-Bok Yom**, Sung-Chan Kim*^o *Regular Members*

요약

본 논문에서는 밀리미터파 응용에서 사용 가능한 우수한 성능의 MMIC (Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) star 혼합기를 구현하였다. MMIC star 혼합기를 구현하기 위하여 PHEMT (pseudomorphic high electron mobility transistor) 공정 기반의 소오스와 드레인 단자를 연결한 쇼트키 (Schottky) 다이오드를 사용하였다. 혼합기의 측정 결과 LO 주파수가 75 GHz이며 전력이 10 dBm인 경우, 81 GHz에서 86 GHz의 RF 주파수 범위에서 평균 13 dB의 변환손실 특성을 얻었다. RF-LO 격리도 특성은 30 dB 이상의 결과를 얻었으며 약 4 dBm의 P1 dB 특성을 얻었다. 전체 칩의 크기는 0.8 mm × 0.8 mm이다.

Key Words : Star mixer, Marchand balun, Double balanced mixer, Millimeter-wave, PHEMT

ABSTRACT

In this paper, we reported on a high performance MMIC star mixer for millimeter-wave applications. The star mixer was fabricated using drain-source-connected pseudomorphic high electron mobility transistor (PHEMT) diodes considering the PHEMT MMIC full process on 2 mil thick GaAs substrate. The average conversion loss of 13 dB was measured in the RF frequency range of 81 GHz to 86 GHz at LO frequency of 75 GHz with LO power of 10 dBm. The RF-LO isolation characteristics are greater than 30 dB and the input 1-dB compression are approximately 4 dBm. The total chip size is 0.8 mm × 0.8 mm.

I. 서론

무선 통신 산업의 성장과 고속 데이터 전송의 필요성이 증대됨에 따라 사용 주파수 대역이 포화상태에 다다른 마이크로파 대역을 대신하여 매우 넓은 주파수 대역폭을 제공할 수 있으며 주파수 재사용율이 높은 밀리미터파 대역을 기반으로 하는 다양한 응용에 대한 기술이 주목받고 있다. 군사적인 목적으로 제한적으로 개발되었던 밀리미터파 대역 기술은 38 GHz

대역의 PCN (personal communication network), 28 GHz와 40 GHz 대역의 LMDS (local multipoint distribution service) 등의 상업용 목적으로 확대되고 있다. 특히 60 GHz 대역은 산소분자의 강한 신호 흡수 특성 때문에 가정 및 사무용 WLAN (wireless local area network)에 응용되고 있으며 W-band (75-110 GHz) 대역은 신호 흡수 감쇠가 적어 77 GHz 자동차 충돌방지 시스템, 94 GHz radiometer 시스템 등의 응용을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

※ 본 연구는 MKE/KEIT의 IT R&D 프로그램(2008-F-013-03, “스펙트럼 공학 및 밀리미터파 응용 기술 개발”) 지원으로 수행되었음.
* 국립한밭대학교 전자공학과(sckim@hanbat.ac.kr), (° : 교신저자) **한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 무선RF탑재기술팀
논문번호 : KICS2011-04-205, 접수일자 : 2011년 4월 29일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 13일

밀리미터파 대역에서 동작 가능한 시스템을 구현하기 위하여 초고주파 신호와 저주파 신호를 서로 변환해 주는 혼합기 (mixer)는 가장 중요한 부품 중 한가지이다. 혼합기는 혼합기의 비선형 소자로서 DC 전원이 필요한 트랜지스터 (transistor)를 이용할 것인지 전원이 필요하지 않은 다이오드 (diode)를 이용할 것인지 따라 크게 능동혼합기와 수동혼합기의 2가지로 나누어지며 격리도 (isolation) 특성을 향상시키기 위한 구조에 따라 크게 single ended, single balanced, double balanced 구조의 3가지로 나누어진다. 각각의 경우에 따라 장/단점이 존재하므로 설계자는 결합손실 (conversion loss)과 격리도 특성에 따라 상호간에 trade-off 작업을 수행하여야 한다. 특히 이중 평형 구조는 다른 구조와 비교하여 넓은 동작영역 (dynamic range)과 높은 불요파 감쇄 능력 (spurious suppression) 및 우수한 단자 간 격리도 특성으로 매우 유용하게 사용된다¹¹⁾. 이중 평형 구조를 채택하는 혼합기 중에 star 혼합기는 다른 이중 평형 혼합기와 비교하여 IF단의 낮은 기생 인덕턴스 (parasitic inductance) 성분에 기인하여 매우 넓은 중간주파수 (IF) 대역 특성을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

밀리미터파 대역용 혼합기 기술은 해외에서는 이미 숙성되어 있지만 아직까지도 우수한 성능을 갖는 초소형 혼합기에 대한 연구가 끊임없이 활발하게 이루어지고 있다²⁻⁶⁾. 그러나 국내의 경우에는 아직 소형화 및 신뢰성의 장점이 있는 MMIC (millimeter-wave monolithic integrated circuit) 혼합기에 대한 보고가 거의 없는 실정이다. 또한 전통적인 star 혼합기는 평면구조가 아닌 수직구조의 이중 발룬 (dual balun)을 사용하므로 MMIC 형태의 혼합기를 구현하는데 어려움이 있어 평면구조의 star 혼합기를 개발하려는 연구는 매우 중요하다.

본 논문에서는 70 GHz에서 80 GHz 대역에서 사용가능한 MMIC star 혼합기의 개발을 위하여 NGST 사의 100 nm GaAs PHEMT (pseudomorphic high electron mobility transistor) 라이브리리를 사용하여 소오스와 드레인을 연결시킨 쇼트키 다이오드 (Schottky diode)와 이중 머천드 (dual Marchand) 발룬을 제작하였으며, 이를 이용하여 MMIC star 혼합기를 개발하였다.

II. Star 혼합기 설계

개발된 star 혼합기의 간략화된 회로도를 그림 1에 나타내었다. 혼합기 회로는 상향혼합기와 하향혼합기

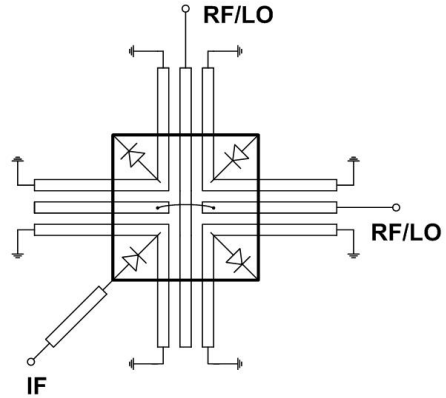


그림 1. MMIC star 혼합기의 회로도
Fig. 1. The circuit diagram of the MMIC star mixer

로 동시에 사용 가능하도록 PHEMT 공정 기반의 소오스와 드레인 단자를 연결한 쇼트키 다이오드를 사용하였으며 별도의 전원을 필요로 하지 않는다. MMIC 형태의 혼합기를 구현하는 동시에 작은 칩 사이즈 특성을 얻기 위하여 2개의 이중 머천드 발룬을 사용하였다. 4개의 다이오드는 star 구조를 형성하기 위하여 사각 루프구조로 서로 연결되어 있다. 다이오드의 한쪽 단자는 IF 출력으로 동작하기 위하여 사각 루프구조에 common node로서 연결되어 있고 반대편 단자는 이중 머천드 발룬에 연결되어 있다. IF 포트는 tapered section을 갖는 50 Ω 마이크로 스트립라인으로 사각 루프구조와 연결된다.

우수한 성능의 혼합기를 개발하기 위하여 결합선로 (coupled line)들은 가능한 높은 even-mode 임피던스를 가져야 한다. 일반적으로 머천드 발룬의 even-mode impedance는 odd-mode impedance보다 약 5배 정도 크다. 발룬의 odd-mode 임피던스는 대략 수식 (1)처럼 주어진다. 여기서 Z_s 는 소오스 임피던스이고 Z_d 는 다이오드의 임피던스이다. Odd-mode 임피던스는 LO와 RF 발룬이 유사한 결합손실 특성을 갖도록 설정되었으며 최소 결합손실을 위한 odd-mode 임피던스는 대략 30 Ω이다.

$$Z_{0o} = \frac{1}{2} \sqrt{Z_s Z_d} \quad (1)$$

수식 (1)에서 소오스 임피던스가 50 Ω이므로 다이오드의 임피던스를 약 70 Ω으로 추정할 수 있으며 이를 이용하면 최소 결합손실을 위한 다이오드의 크기를 결정할 수 있다. 시뮬레이션 결과 30 Ω의 odd-mode 임피던스를 갖는 총 게이트 폭이 14 μm인

다이오드를 사용하면 최소 10 dB의 결합손실 특성을 갖는 star 혼합기를 설계할 수 있다.

회로의 동작 특성을 확인하기 위하여 Agilent-ADS (advanced design system) 시뮬레이션 툴 (simulation tool)을 사용하였다. 설계된 전체 회로 패턴은 EM (electromagnetic) 시뮬레이션을 위하여 Agilent-momentum을 사용하여 최적화를 수행하였다. 시뮬레이션 결과 삼중 결합선로 (three-coupled line)를 이용한 이중 머친드 발룬의 중심 라인은 13 μm , 외곽 라인은 10 μm , 그리고 결합선로 사이의 간격은 7 μm 로 설정하였다.

III. Star 혼합기 제작 및 측정결과

설계된 star 혼합기는 NGST사의 2 mil GaAs 기판 기반의 100 nm PHEMT 라이브러리를 사용하여 제작되었다. 1차 금속 두께는 0.8 μm , 2차 금속 두께는 3.3 μm 이며 동작의 신뢰성을 위하여 Si_3N_4 적층(passivation)하였다. PHEMT의 소오스와 드레인 사이의 간격은 2 μm 이다. 그림 3에 소오스와 드레인을 연결하여 구현한 PHEMT 다이오드를 나타내었으며 그림 4에 제작된

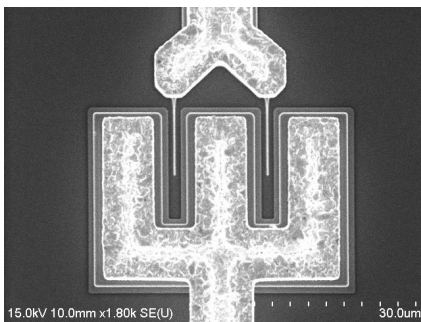


그림 2. 소오스와 드레인을 연결하여 구현된 PHEMT 다이오드
Fig. 2. The source-drain-connected PHEMT diode

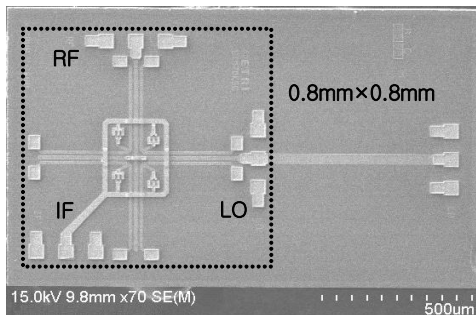


그림 3. MMIC star 혼합기의 표면사진
Fig. 3. The chip photograph of the MMIC star mixer

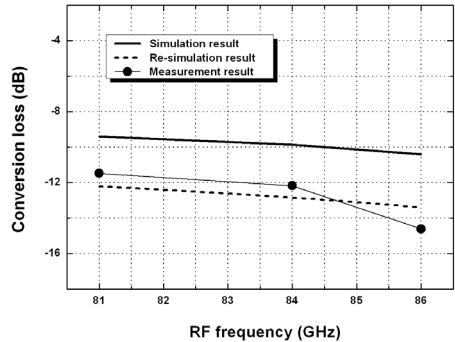


그림 4. MMIC star 혼합기의 결합손실 특성
Fig. 4. The conversion loss characteristics of the MMIC star mixer

MMIC star 혼합기의 표면 사진을 나타내었다. 전체 칩 크기는 0.8 mm × 0.8 mm이다.

제작된 혼합기는 Cascade on-wafer probing system을 사용하여 측정하였다. 측정을 위한 RF와 LO 입력신호를 얻기 위하여 Quinstar 94 GHz VCO 및 동국대학교 MINT에서 제작한 VCO와 Millitech W-band variable attenuator를 사용하였다.

그림 4에 제작된 star 혼합기의 결합손실 특성을 나타내었다. 측정 결과 LO 주파수 75 GHz에서 전력이 10 dBm인 경우, 81-86 GHz의 RF 주파수 범위에서 평균 13 dB의 변환손실 특성이 측정되었다. 측정된 결합손실 특성은 시뮬레이션 결과와 비교하여 2-4 dB 정도 낮은 결과를 얻었다. 주된 이유는 측정 시 혼합기에 인가되는 LO 입력신호의 차이에 기인한다. MMIC star 혼합기 설계 시에는 RF 입력신호를 -10 dBm으로 설정하고 14 dBm의 LO 입력신호를 사용하였지만 측정 시에는 LO 소스의 문제로 인하여 10 dBm의 LO 신호가 인가되었다. 혼합기는 혼합기를 구동시키는 LO 입력신호에 따라 결합손실 특성이 좌우되는데 4 dBm의 LO 입력신호 차이가 결합손실 특성을 저하시킨 것으로 분석된다. LO 입력신호를 10 dBm으로 설정하고 다시 시뮬레이션을 수행한 결과, 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있다. 만약 시뮬레이션 조건처럼 14 dBm의 LO 입력신호를 인가할 수 있다면 평균 10-11 dB의 결합손실을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

측정된 1 dB 이득 압축점 (P_{1dB}) 특성도 시뮬레이션 특성과 비교하면 5 dBm 이상 차이를 나타낸다. 주된 이유는 결합손실 특성과 마찬가지로 측정 시 인가되는 LO 입력신호의 차이에 기인한다. RF 주파수 81 GHz에서 전력이 -10 dBm이며 LO 주파수 75 GHz에서

전력이 10 dBm 인가되었을 경우 대략 4 dBm의 P_{1dB} 특성이 측정되었다. 만약 14 dBm의 LO 입력신호를 인가할 수 있다면 약 11 dBm 이상의 P_{1dB} 특성을 얻을 수 있을 것이다. 그림 5에 제작된 star 혼합기의 P_{1dB} 특성을 나타내었다.

Star 혼합기의 RF-LO 격리도 특성은 그림 6에 나타내었다. RF 입력신호가 -10 dBm이며 LO 주파수 75 GHz에서 전력이 10 dBm인 경우 71-86 GHz의 RF 주파수 범위에서 대략 평균 33 dB의 격리도 특성이 측정되었다.

본 논문에서 연구된 MMIC star 혼합기는 70-90 GHz 대역에서 국내에 최초로 보고되는 MMIC star 혼합기로 양호한 결합손실 특성과 P_{1dB} 특성 및 우수한 격리도 특성을 나타내어 다양한 밀리미터파 시스템 응용에서 충분히 적용 가능할 것으로 사료된다.

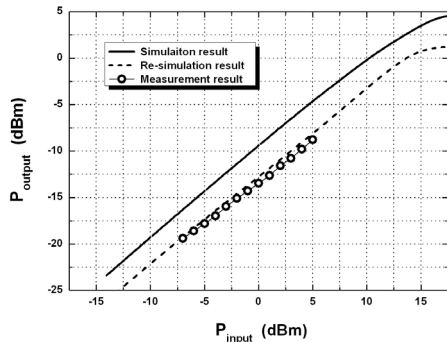


그림 5. MMIC star 혼합기의 1 dB 이득 압축점 특성
Fig. 5. The P_{1dB} characteristics of the MMIC star mixer

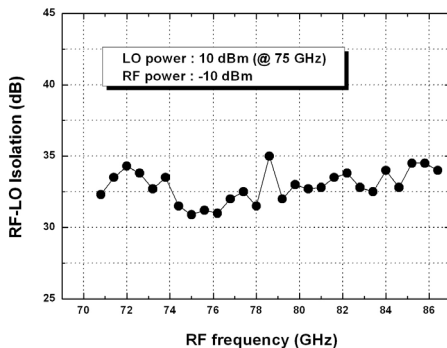


그림 6. MMIC star 혼합기의 격리도 특성
Fig. 6. The isolation characteristics of the MMIC star mixer

IV. 결 론

본 논문에서는 70-90 GHz 대역 시스템의 응용을 위하여 NGST사의 2 mil GaAs 기판 기반의 100 nm PHEMT 라이브리리를 사용하여 우수한 성능의 MMIC star 혼합기를 구현하였다. 제작된 혼합기의 측정 결과 75 GHz의 LO 주파수에서 전력이 10 dBm인 경우, 81-86 GHz의 RF 주파수 범위에서 평균 13 dB의 변환손실 특성을 얻었다. RF-LO 격리도 특성은 30 dB 이상의 결과를 얻었으며 약 4 dBm의 P_{1dB} 특성이 측정되었다. 전체 칩의 크기는 0.8 mm × 0.8 mm이다.

참 고 문 헌

- [1] S. A. Maas, *Microwave Mixers*, 2nd ed. Norwood, MA:Artech House, 1993.
- [2] S. Basu, et al., "Design and Performance of a Planar Star Mixer," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.41, No. 11, pp.2028-2030, 1991.
- [3] C. Chang, et al., "A 1.5 to 37 GHz Ultra-Broadband MMIC Mouw's Star Mixer," in *Proc. European Microwave Conference*, Vol.2, pp.2-4, 2005.
- [4] Y. I. Ryu, et al., "A Monolithic Broadband Doubly Balanced EHFHBT Star Mixer with Novel Microstrip Baluns," in *Proc. IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Circuits Symposium*, pp.155-158, 1995.
- [5] Che-Chung Kuo, et al., "Novel Miniature and Broadband Millimeter-wave Monolithic Star Mixer," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.56, No.4, pp. 793-802, 2008.
- [6] K. Yeom, et al., "A Novel 60-GHz Monolithic Star Mixer using Gate-Drain-Connected PHEMT Diodes," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.53, No. 7, pp.2435-2440, 2005.

류 근 관 (Keun-Kwan Ryu)

정회원



1992년 광운대학교 전자통신공학과 공학사
1994년 광운대학교 전자통신공학과 공학석사
2000년 광운대학교 전자통신공학과 공학박사
2000년 3월~2003년 1월 한국

전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원
2003년~현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 초고주파용 능동/수동 회로 설계

김 성 찬 (Sung-Chan Kim)

정회원



1999년 동국대학교 전자공학과 공학사
2001년 동국대학교 전자공학과 공학석사
2006년 동국대학교 전자공학과 공학박사
2006년~2007년 동국대학교 밀

리미터파 신기술 연구센터 박사후연구원
2007년~현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 밀리미터파 소자 및 회로 설계, 제작

염 인 복 (In-Bok Yom)

정회원



1990년 한양대학교 전자공학과 공학사
2004년 충남대학교 전자공학과 공학석사
2007년 충남대학교 전자공학과 공학박사
1990년~ 현재 한국전자통신연

구원 무선RF탑재기술팀
<관심분야> 마이크로파 능동/수동 회로, 위성통신시스템