
Ka-band용 Double Balanced MMIC Mixer의 설계 및 제작

류근관*

Design of Double Balanced MMIC Mixer for Ka-band

Keun-Kwan Ryu*

요약

본 논문에서는 TRW사의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 쇼트키 다이오드를 이용하여 Ka대역용 하향수신변환기에 이용할 수 있는 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 주파수 혼합기를 설계 및 제작하였다. RF는 30.6~31.0GHz이고 LO 9.8GHz를 이용하여 IF 20.8~21.2GHz를 얻을 수 있는 본 MMIC 주파수 혼합기는 발문의 크기를 줄이기 위해 LO와 IF 단자를 서로 바꾸어 설계함으로써 전체 회로의 크기를 줄일 수 있었다. 제작된 MMIC 주파수 혼합기의 크기는 3000umX1500um이며 on-wafer 측정 결과 대역 내에서 7.8dB 이하의 변환손실을 얻었다. 또한 27dB 이상의 LO-RF 격리도, 19dB 이상의 LO-IF 격리도 및 39dB 이상의 RF-IF 격리도를 각각 얻었다.

ABSTRACT

A MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) mixer chip using the Schottky diode of InGaAs/GaAs p-HEMT process has been developed for receiver down converter of Ka-band. A different approach of MMIC mixer structure is applied for reducing the chip size by the exchange of ports between IF and LO. This MMIC covers with RF (30.6~31.0GHz) and IF (20.8~21.2GHz). According to the on-wafer measurement, the MMIC mixer with miniature size of 3.0mmX1.5mm demonstrates conversion loss below 7.8dB, LO-to-RF isolation above 27dB, LO-to-IF isolation above 19dB and RF-to-IF isolation above 39dB, respectively.

키워드

MMIC, Double Balanced Mixer, Ka-band

1. 서론

마이크로웨이브 대역의 송수신기 개발기술은 최근 급격히 성장하는 상업용 무선통신의 발달과 함께 발전하고 있으며 그 사용 주파수 또한 S대역(2-4GHz)에서 Ku대역(12-14 GHz) 및 Ka대역(26.5-40GHz)로 확대되고 있다. 무선통신시스템에 사용되는 하향수신변환기는 전체 시스템의 성

능에 가장 큰 영향을 미치므로 중요한 부품으로 여겨지고 있다. 하향수신변환기는 국부발진기와 더불어 주파수 혼합기의 동적영역(operating range), LO-IF 격리도, RF-LF 격리도 및 변환손실 특성이 주요 관건이 된다. 뿐만 아니라 무선통신 시스템의 소형화와 가격 절감을 위해 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)에 대

* 한밭대학교 전자공학과
접수일자 : 2003. 12. 26.

한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 Ka-대역 이상의 주파수에서는 부품 설계시 하이브리드 회로에 비해 패키지에 의한 기생성분의 영향을 제거할 수 있고, 부품 제작의 용이성과 양산성이 뛰어난 MMIC로의 접근이 고려되고 있다[1]. 반면 주파수 혼합기의 높은 신뢰성과 매우 낮은 변환손실을 얻기 위해서는 안정된 MMIC 제작공정을 갖추고 있는 foundry를 이용하여 설계하는 것이 필수적이다.

주파수 혼합기는 RF(Radio Frequency)의 입력 주파수를 LO를 이용하여 IF(Intermediate Frequency)의 주파수 대역으로 하향 변환하거나 IF를 RF로 상향 변환시키는 회로이다. 송수신 모듈에서 주파수를 변환시켜주는 역할을 하는 주파수 혼합기의 구조로는 double balanced type이 많이 사용되고 있다. Double balanced type은 single ended 및 single balanced type등의 구조에 비해 포트 간의 우수한 격리도, 광대역 특성, 그리고 RF와 LO의 even harmonic 억제 등의 여러 가지 장점들이 있다[2][3]. 또한 Ka-대역의 주파수 혼합기는 낮은 변환손실과 높은 포트간 격리도가 요구되는 부품으로서 일반적으로 쇼트키 다이오드 주파수 혼합기가 GaAs MESFET 주파수 혼합기보다 그 특성이 우수한 것으로 알려져 있다[4]. Double balanced type의 경우 주파수 혼합기의 회로크기는 RF와 LO의 입력을 위한 발룬의 크기에 의해 결정된다. 일반적으로 LO의 주파수가 RF에 비해 매우 낮기 때문에 LO에 대한 영향이 매우 크다. 본 논문에서는 Ka대역의 RF신호를 하향 변환하기 위해 쇼트키 다이오드를 이용한 MMIC 주파수 혼합기를 double balanced type으로 설계하였다. 또한 chip의 크기를 줄이기 위해 LO와 IF의 단자를 서로 바꾸어 설계하였다.

II. Double Balanced MMIC Mixer의 설계

TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 쇼트키 다이오드 소자를 사용하여 RF 주파수 30.6~31.0GHz, LO 주파수 9.8GHz, IF 주파수 20.8~21.2GHz의 MMIC 주파수 혼합기를 설계하고자

한다. 주파수 혼합기의 구조로는 포트 간에 우수한 격리도, 광대역 특성, 그리고 RF와 IF의 even harmonic 억제 등의 장점이 있는 180° hybrid를 이용한 double balanced 주파수 혼합기 구조를 이용하였다. 그림 1은 본 논문에서 설계한 double balanced 주파수 혼합기의 구성도이다.

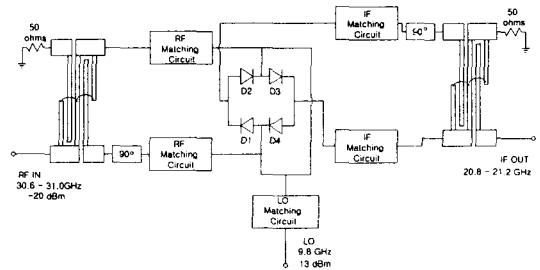


그림 1 Double balanced 주파수 혼합기의 구성도
Fig. 1. Configuration of double balanced mixer

MMIC 주파수 혼합기 설계에 앞서 TRW에서 제공하는 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 쇼트키 다이오드 중 삽입 손실 특성이 가장 우수한 다이오드를 선정하여 scaling하여 사용하였다. 이는 각 포트에 정합회로가 없는 상태에서 쇼트키 다이오드의 변환 손실 특성이 가장 우수한 다이오드를 선정함으로써 얻을 수 있었다. 쇼트키 다이오드의 특성분석 결과 TRW foundry에서 제공하는 p-HEMT 공정 소자 중 4f40 다이오드가 가장 좋은 변환손실 특성을 보여 주었다[5]. 그림 2는 선정된 4f40 다이오드의 모델 파라미터를 보여준다. 회로설계 tool은 Agilent사의 Libra TM를 이용하였으며 분포(distributed)소자에 대해서는 Momentum TM tool을 이용한 EM simulation을 행하여 신뢰성을 높였다.

Double balanced 주파수 혼합기구조에서는 RF 및 LO 포트에 각각 180°hybrid를 사용하여 크기가 같고 위상이 반대인 두 신호를 만들어 주는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 Ka대역용 주파수 혼합기의 LO 주파수가 9.8GHz이므로 전기적 파장이 IF 주파수에 비해 최소 2배 이상이 된다. 그렇기 때문에 180°hybrid를 구성하면 회로가 매우 커질 수 있으므로 LO와 IF의 port를 서로 바꾸어 설계함으로써 전체 MMIC chip의 크기를 줄였다.

180°hybrid 설계를 위해서 TRW에서 foundry로 제공하는 Lange coupler를 이용하였으며, 각 포트의 magnitude balance를 맞춘 다음 90°delay line을 이용하여 phase balance를 맞추었다. 그림 3은 RF port 용 180°hybrid의 설계 결과를 보여주는 것으로 0.8dB 이하의 전력차와 181°의 위상차를 나타낸다. 같은 방법으로 IF port에 대한 180° hybrid도 설계하였다.

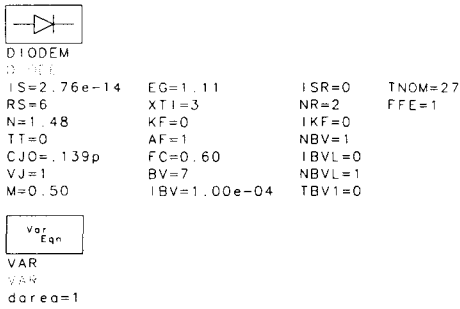


그림 2. 4f40 p-HEMT diode 모델 파라미터
Fig. 2. Diode model parameter of 4f40 p-HEMT

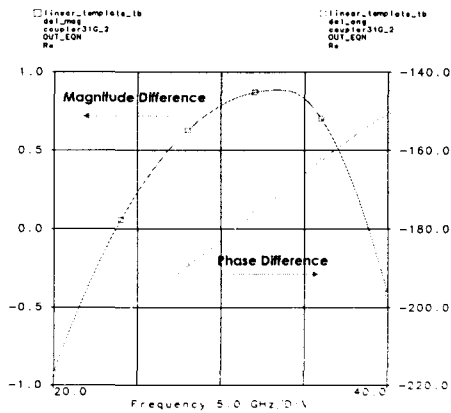


그림 3. RF balun의 위상 및 크기 특성(설계치)
Fig. 3. Phase and magnitude of RF balun

앞서 선정된 4f40 다이오드와 설계한 발륜을 이용하여 RF, IF, LO의 정합회로를 순차적으로 구성하였으며 이를 집적화시켰다. 여기서 각 포트별 격리도 특성이 이상적이지 않기 때문에 집적화시 각 포트에서의 정합 결과가 약간씩 달라진다. 따라서 각 포트에서 반사손실을 최적화하기 위해 미

세 조정과정을 수행하였으며, 미세조정 후 나온 레이아웃을 다시 momentum simulation을 수행하는 과정을 반복하였다. 그림 4는 최종 설계된 주파수 혼합기의 포트별 반사손실 특성을 보여주는 것으로 LO의 경우 -17dB이하, IF의 경우 -12dB이하, RF의 경우 -20dB이하이다. 또한 그림 5는 LO-IF 격리도, LO-RF 격리도, RF-IF 격리도 및 RF-IF 변환손실 특성의 설계결과를 각각 보여준다. LO-IF 격리도는 18dB이상, LO-RF 격리도는 37dB이상, RF-IF 격리도는 41dB 이상, 변환 손실은 7.3dB이하이다.

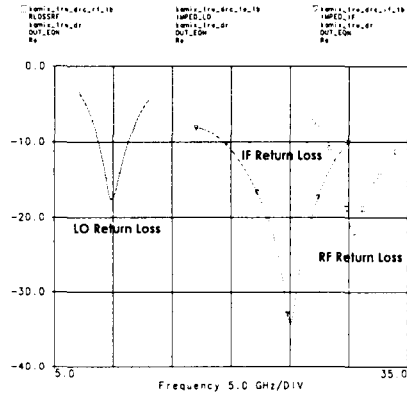


그림 4. 반사손실 특성(설계치)
Fig. 4. Return loss characteristics

III. MMIC Mixer 측정 및 고찰

InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 쇼트키 다이오드를 이용하여 설계된 MMIC 주파수 혼합기 칩을 TRW사에서 제작하였다. 그림 6은 하향 주파수 변환에 대한 on-wafer 측정결과로서 LO전력 13dBm과 RF전력 -20dBm을 각각 인가하였을 때의 변환손실과 포트별 격리도를 나타내는 것이다. 변환손실의 경우 대역 내에서 7.8dB 이하로 설계치에 비해 약 0.5dB의 손실차이를 보였으며 ±0.3dB 이하의 평탄도를 얻었다. 또한 격리도는 LO-IF의 경우 19dB 이상, LO-RF의 경우 27dB 이상 및 RF-IF의 경우 39dB이상을 각각 얻었다. On-wafer 측정결과에서 LO-RF 격리도 특성이 설계값과 차이를 보이는 것은 LO전력이 RF 정합

회로와의 심한 coupling 현상에 의한 것으로 판단된다. 표 1에서 Ka대역용 double balanced MMIC 주파수 혼합기 칩의 설계값과 측정값을 비교하였다. 그림 7은 3000umX1500um 크기로 제작된 MMIC 주파수 혼합기 칩의 사진이며 표 2에서 기존의 참고문헌과 제작된 MMIC chip과의 성능을 비교하였다.

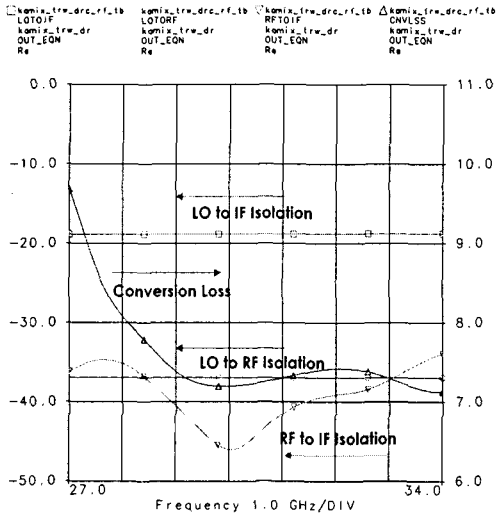


그림 5. 변환손실 및 분리도 특성(설계치)
Fig. 5. Conversion loss and isolation

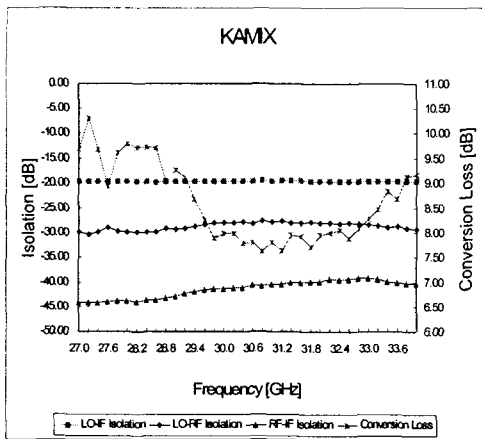


그림 6. On-wafer 측정결과
Fig. 6. Measurement results on wafer

표 1. MMIC 주파수 혼합기 칩의 전기적 특성
Table 1. Performance for MMIC mixer chip

Parameter		Req.	Sim.	Meas.
주파수 [GHz]	RF	30.6~31.0	30.6~31.0	30.6~31.0
	IF	20.8~21.2	20.8~21.2	20.8~21.2
	LO	9.8	9.8	9.8
반사계수 [dB]	RF	< -10	< -20.0	-
	IF	< -10	< -12.0	-
	LO	< -10	< -17.0	-
입력전력 [dBm]	RF	-20	-20	-20
	LO	13+/-1	13	13
변환손실 [dB]		<10.0	<7.3	<7.8
평탄도 [dBp-p]		<1.0	0.2	<0.6
격리도 [dB]	LO-IF	> 20	>18.0	>19.0
	LO-RF	> 20	>37.0	>27.0
	RF-IF	> 20	>41.0	>39.0
크기 [um]	X	3000	3000	3000
	Y	1500	1500	1500

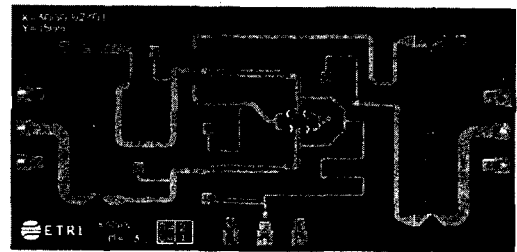


그림 7. Double balanced MMIC 주파수 혼합기 칩
Fig. 7. Double balanced MMIC mixer chip

표 2. 제작된 주파수 혼합기와 Reference와의 비교
Table 2. Performances compared with the published works[6]

Reference	RF 주파수 [GHz]	칩 크기 [mm ²]	LO 전력 [dBm]	변환 손실 [dB]	LO-RF 격리도 [dB]
Mass	18~40	6.5*	17	6~8	-
Mass	28~36	5.8	16	6~10	32~44
Ryu	28~39	6.5*	16	8~10	25~40
Kobayashi	18~22	5.8	13	6	>30
MDS163C	19~33	1.9	16	7.5~10	30~35
AM028 DI-00	26~33	5.0	12	6.5~8	25~30
Charles	18~32	0.48	11	7~9	30~42
This work	30.6~31.0	4.5	13	7.2~7.8	>27

* : Die size is estimated from die photograph.

IV. 결 론

본 논문에서는 TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 쇼트키 다이오드를 이용하여 Ka대역용 하향 수신변환기에 사용할 수 있는 double balanced MMIC 주파수 혼합기 칩을 설계 및 제작하였다. 소형화된 MMIC 칩을 얻기 위해 일반적인 double balanced 주파수 혼합기 구조에서 IF와 LO 포트를 서로 바꾸어 설계함으로써 회로의 크기를 크게 줄일 수 있었다. 또한, 30.6~31.0GHz의 주파수 대역에서 7.8dB 이하의 변환 손실과 19dB 이상의 LO-IF 격리도 및 39dB 이상의 RF-IF 격리도 특성을 얻었다. 본 논문에서 언급한 MMIC 주파수 혼합기 설계 기법은 Ka대역의 통신 시스템뿐만 아니라 LMDS와 같은 다양한 무선통신 시스템의 주파수 혼합기 개발에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

저자 소개



류근관(Keun-Kwan Ryu)

1992년 2월 : 광운대학교 전자통신 공학과(공학사)

1994년 2월 : 광운대학교 전자통신 공학과(공학석사)

2000년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학박사)

2000년 3월~2003년 1월 : 한국전자통신연구원 통신 위성개발센터 선임연구원

2003년 2월~현재 : 한밭대학교 전자공학과 전임강사

※ 관심분야 : 초고주파 능동회로(MMIC, Hybrid) 설계, 안테나 설계

참고 문헌

- [1] H. Fudem, S. Moghe, G. Dietz and S. Consolazio, "A Highly Integrated MMIC K-Band Transmit/Receive Chip", IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 119-122, 1993.
- [2] J.M. Dieudonne and B.A. Delseck, "Technology Related Design of Monolithic Millimeter Wave Schottky Diode Mixers", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.40, no.7, pp.1466-1474, July, 1992.
- [3] S.A. Mass and K.W. Chang, "A Broadband, Planar, Doubly Balanced Monolithic Ka-Band Diode Mixer", IEEE Microwave and Millimeter Wave Monolithic Circuits Symposium, pp.53-55, 1993.
- [4] S.A. Mass, Microwave Mixer, Artech House, Norwood MA, 1992.
- [5] TRW Design User Guide
- [6] C.J. Trantancella, "Ultra Small MMIC Mixers for K-and Ka-band communications", IEEE MTT Symposium Digest, pp.647-650, June, 2000.