

고선형성과 높은 LO-RF 격리도를 갖는 새로운 구조의 저항성 Mixer MMIC 설계

이경학* 정회원

Design of the Resistive Mixer MMIC with high linearity and LO-RF isolation

Kyoung-Hak Lee* Regular Members

요 약

본 논문에서는 0.5 μm p-HEMT 공정을 이용한 MMIC 주파수 혼합기를 설계하였다. 본 주파수 혼합기는 Local 신호전력이 -4 ~ 4 dBm에서 유사한 성능을 갖도록 설계하여 local 신호의 변화에 따른 변환 성능이나 선형 성능이 일정하게 유지 되도록 하였다. 이와 같은 특성을 갖도록 하기 위해 새로운 형태의 FET를 이용한 피드백 회로를 구성하여, LO신호전력의 변화에 따른 성능 변화를 최소화 하였으며 넓은 주파수 대역에서 사용 할 수 있는 MMIC 주파수 혼합기 성능을 얻었다. 설계결과 LO신호전력이 -4 ~ 4dBm 일 때, 0.5 ~ 2.6GHz의 주파수 범위에서 변환손실이 6 dB에 IIP3가 30 dBm 이상의 우수한 성능을 갖는 설계 결과를 얻었다.

Key Words : MMIC, Mixer, High linearity, IIP3, LO-to-RF isolation

ABSTRACT

In this paper, we designed resistive MMIC mixer using 0.5 μm p-HEMT process. This Mixer is designed to have a similar performance in -4 ~ 4 dBm local oscillator signal power level and to maintain a constant conversion loss and linear performance due to the variation of local signal. In order to have such characteristics, we designed new feedback circuit topology by using FET, and minimized performance change for LO signal power level variation, also obtain MMIC mixer characteristics which is able to apply in wideband.

In the design result, When the LO signal power is -4 ~ 4 dBm, there was 6 dB conversion loss and it came up with the excellent result that IIP3 got over 30 dBm in 0.5 ~ 2.6GHz frequency band.

I. 서 론

최근 이동통신 시장은 음성 통신위주에서 대용량의 데이터 통신이 주를 이루는 방식으로 빠르게 진화해 왔다. 대량의 데이터 통신으로의 통신 형태의 변화는 많은 채널 용량을 요구하게 된다. 그러나, 한정된 주파수 자원 때문에 넘쳐나는 모바일 데이터 트래픽을 감당하기 힘든 실정이다. 이러한 모바일 데이터 트래픽을 해소하기 위하여 4세대 통신 방식으로의 국내는 물론 세계 통신 시장의 진화가 빠르게 진행되고 있다. 3세대 WCDMA 통신 방식을 대체하여 3.9 또는 4세대 통신 방식의 기준에 부합하도록 발전된 방식이 LTE-Advanced 기술이며, Carrier Aggregation은

LTE-Advanced 통신방식의 주파수 채널 효율을 증대 시킬 수 있는 핵심기술 중 하나이다. LTE-Advanced의 Carrier Aggregation 기술을 적용하여 전 세계의 무선 통신 사업자들이 보유하고 있는 인접되지 않은 한정된 주파수 자원의 효율적인 활용할 수 있는 기술적 토대가 되고 있으나, 기본적으로 두 개 이상의 carrier 주파수를 사용하게 되어 주파수간의 상호변조(Intermodulation)가 문제가 기존의 3G 방식에 비해 좀 더 중요한 요소가 된다. 이에, 선형성 확보문제가 이전의 통신 방식에 비해 크게 대두된다.[1, 2] 따라서, 본 연구에선 전 세계적으로 1.8GHz 대역이나 2.6GHz 대역에 집중되어 있는 LTE 주파수 대역에서 모두 사용할 수 있으며 비교적 넓은 주파수 대역에서 고 선형성을 유지하면서 비교적

* 이 논문은 2013년도 남서울대학교 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구 결과임

*남서울대학교 산학협력단 (khlee@nsu.ac.kr)

접수일자 : 2014년 4월 28일, 수정완료일자 : 2014년 5월 19일, 최종 게재확정일자 : 2014년 5월 20일

저렴하며 보편화된 0.5 μm p-HEMT 공정을 이용하여 MMIC 혼합기 설계기술에 대해 연구하고자 한다.

II. LO 신호증폭기 설계

저항성 Mixer에 인가되어지는 LO(Local oscillator)의 출력 전력의 크기는 시스템 사양에 따라 다양한 값을 갖는다. 특히 근래의 무선 통신 시스템에서는 하나의 Local 신호를 분기하여 사용하므로 Mixer에 인가되는 LO 신호의 크기가 작아진다. 따라서, LO 신호를 안정적으로 인가하기 위해 LO와 Mixer 사이에 LO 신호 boosting 증폭기를 삽입한다. 본 연구에서는 이 LO 신호 boosting 증폭기를 Mixer와 함께 집적화하여 설계하고자 한다. 일반적으로, 주파수 혼합기는 Pumping 되어 인가되어지는 LO의 신호의 세기에 따라 선형 성능 및 변환손실이 크게 영향을 받게 된다. 그러므로, LO boosting 증폭기의 설계는 저항성 Mixer의 선형 성능 및 변환 손실이 최소화 될 수 있도록 설계 되어야하고, LO 신호의 크기 변화에 크게 영향 받지 않도록 $-4 \sim +4\text{dBm}$ 의 사이의 신호가 인가되더라도 비슷한 Mixer 성능이 유지될 수 있도록 증폭기를 설계하여야 한다. 이를 고려하여 설계한 결과가 그림 1과 같다. 그림 1의 선형 설계 결과에서 알 수 있듯이 900MHz 대역에서 최적화 된 LO 증폭기는 대역 내에서 15dB이상의 높은 이득을 가지면서 부하의 조건에 상관없이 안정된 동작을 갖도록 하였다.

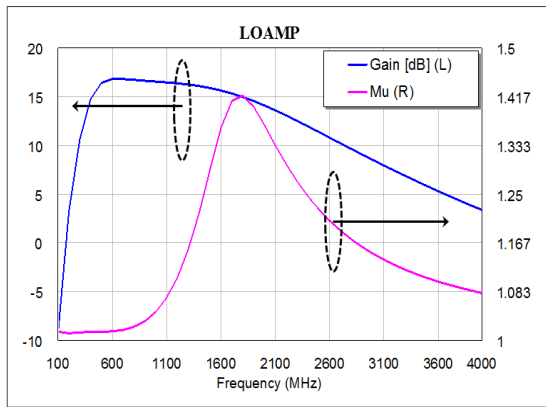


그림 1. LO 증폭기 이득 및 안정도

그림 2는 LO신호 전력을 $-4 \sim 4\text{dBm}$ 인가시, 증폭기에서의 출력의 변화를 확인한 결과이다. 결과에서 보듯이 LO 전력의 가변 범위내에서 비교적 일정한 비율로 증폭율이 변화됨을 확인 할 수 있으며, 약 16dBm 의 안정적인 LO 신호전력이 혼합기에 인가됨을 알 수 있다.

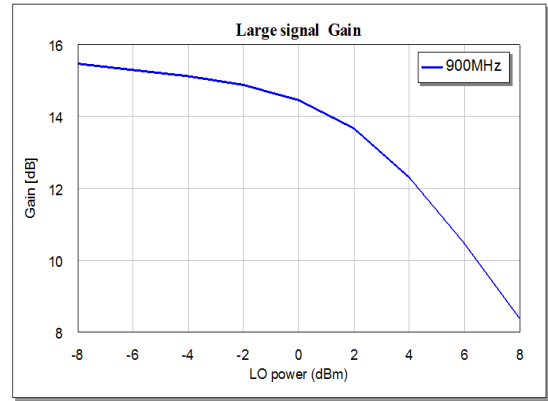


그림 2. 증폭기의 대신호 분석 특성

III. 저항성 FET 혼합기 설계

일반적으로 주파수 혼합을 위해 비선형 성분을 이용하게 되면 기생 혼합 성분과 IMD 성분이 발생되어진다. 반면에 만약 전압이나 전류 제어 회로 요소를 이용하여 구현하면 주파수 혼합기는 어떤 기생 응답 없이 구현이 가능하다. 이런 전압제어 회로 요소는 바이어스 되지 않은 FET의 채널 컨덕턴스에서 존재 할 수 있다. 바이어스 되지 않은 FET를 기초로 한 주파수 혼합기는 저항성 FET Mixer로써 불리어 진다. 이는 최초로 Mass에 의해 구현되었다. [3, 4]

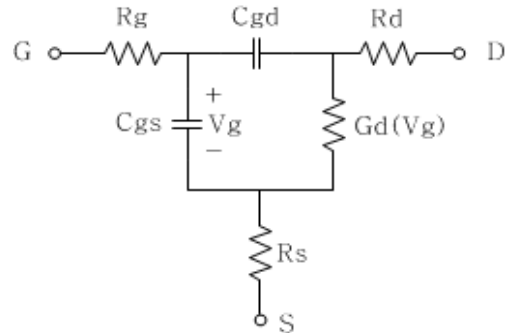


그림 3. 저항성 FET의 등가회로

그림3의 등가회로는 낮은 드레인 전압에서의 FET의 등가회로를 나타낸다. 또한, 전형적인 PHEMT 소자에 있어 게이트 바이어스 V_g 변화에 따른 채널 컨덕턴스 G_d 의 변화는 일반적으로 지수 함수적으로 변화 되어 진다. 이 채널 컨덕턴스의 변화는 게이트 전압의 특정 범위 이상에서는 상대적으로 선형적으로 변화된다. 이런 선형적 특성은 강하게 비선형적인 능동 FET 전달컨덕턴스와 Schottky 다이오드의 junction resistance와 대조되며, 이는 인가된 전압에 따라 지수 함수적으로 변화 된다. 따라서, LO 신호가 게이트에 인가되어질 때 매우 낮은 LO 하모닉 성분들의 시변 컨덕턴스가 발생되어진다. 이것은 Mixer가 낮은 기생 주파수 혼합 성분

들을 갖도록 하는 결과를 가져온다. 또한, 저항성 FET Mixer는 낮은 DC 전력 소비와 자연스럽게 LO 단자와 RF/IF 단자 간 분리가 이루어져 LO-RF/IF 격리도가 좋아지는 장점을 가지고 있다. [5]

본 연구에서는 높은 선형성을 얻기 위해 0.5um E/D mode PHEMT를 이용하여 저항성 FET 주파수 혼합기 MMIC를 설계 하였다. 그림 4는 본 연구에서 새롭게 제안하는 등가화된 diode Feedback 회로가 적용된 저항성 FET 주파수 혼합기의 회로도를 나타내었다. 기존의 저항성 FET Mixer의 구조에서 LO 신호가 인가되어 지는 게이트 단자와 RF/IF 단자로 이용되는 드레인 단자를 게이트와 드레인 단자를 단락시켜 소스와 드레인 사이의 C_{gs} 와 R_s 의 조합의 Feedback 라인을 형성하여 전체 Mixer의 LO 인가 단으로 사용되는 게이트 단자에서 바라다본 임피던스를 동적으로 변화 시키는 역할을 하게 된다.

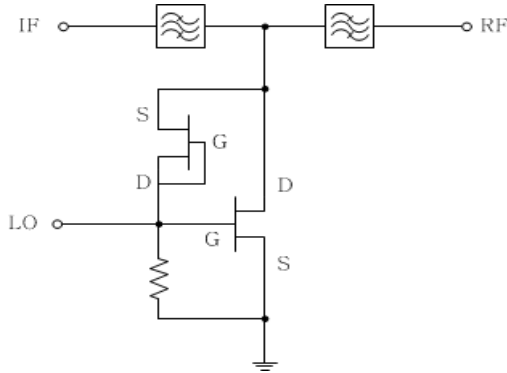


그림 4. 저항성 FET Mixer 회로도

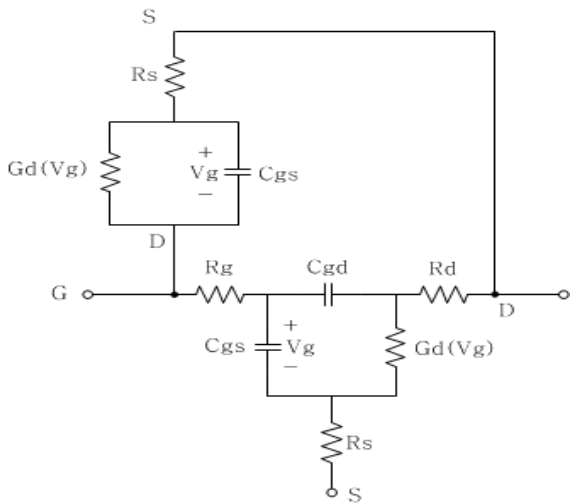


그림 5. 저항성 FET와 Feedback 회로 등가모델

그림 6은 Feedback 회로와 Local boosting amplifier를 블럭화 하여 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 LO Amp의 출력단이 저항성 Mixer의 gate단에 연결되고 RF/IF 단과 연결되는 드레인 단과 연결되는 구조를 갖는다.

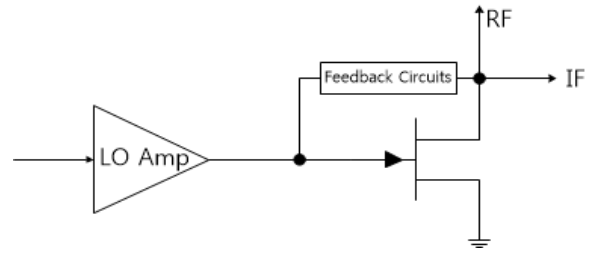


그림 6. 피드백회로를 내장한 저항성 혼합기

그림 7은 피드백 회로의 LO신호 전력에 따른 임피던스 변화를 나타낸다. LO신호전력이 -4~4dBm 사이에서 107~110Ohm정도의 임피던스 값을 갖는다. 따라서, 혼합기의 LO 단자와 IF단자 사이에 피드백이 형성되기를 알 수 있다.

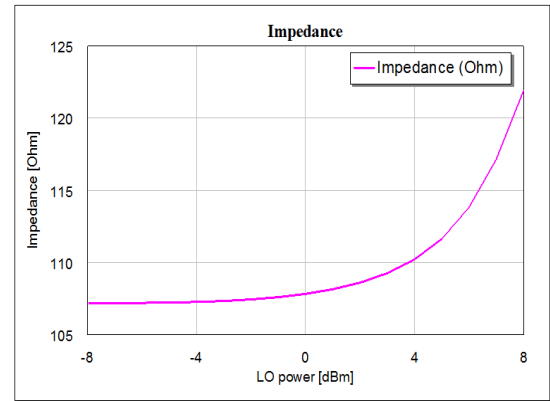


그림 7. 피드백 회로의 임피던스 변화

그림 8은 제안된 혼합기의 출력단에서의 임피던스를 확인하기 위한 구성도이다. 이에 따른 결과는 그림 9에서 확인할 수 있으며, 피드백회로의 추가로 출력단에서의 임피던스의 값의 변화가 적음을 확인할 수 있다. 기존의 구조에서는 LO 전력이 커질수록 임피던스의 값이 커짐을 알 수 있다. 그 반면에 Feedback 회로가 적용된 경우 임피던스의 변화가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

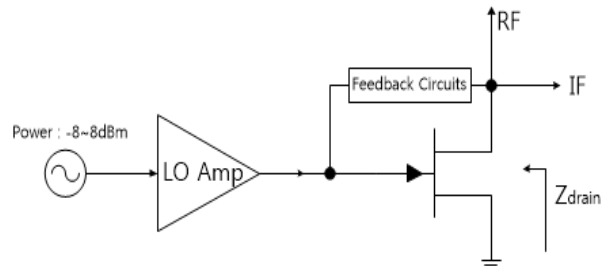


그림 8. 모의실험 구성도

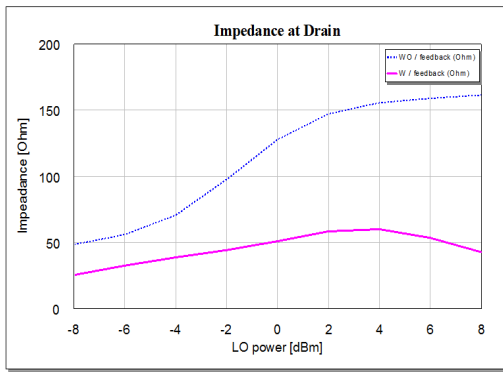


그림 9. 혼합기의 드레인 임피던스 특성

그림 10은 LO신호 전력의 변화에 따른 변환 이득을 나타낸다. -4dBm 이상의 일정 LO 전력값 이상에서는 변환 이득이 3dB 이상 개선됨을 알 수 있다.

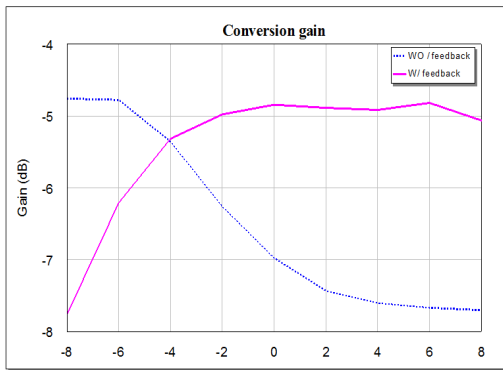


그림 10. 변환이득 특성

그림 11, 12는 혼합기의 선형성을 확인한 결과이다. 그림 11에서 보듯이 IM3 성분이 피드백회로의 추가로 10dBm 정도 억압되며, 이는 5dBm 정도의 IIP3의 성능 향상을 의미한다. 그림 12는 IIP3를 도시화한 그림이며, -4~4dBm 사이의 LO신호 전력에 대해, 30dBm이상의 IIP3의 특성을 보인다.

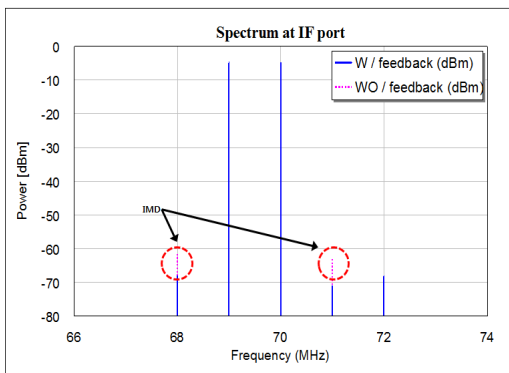


그림 11. 혼합기 IF 출력특성

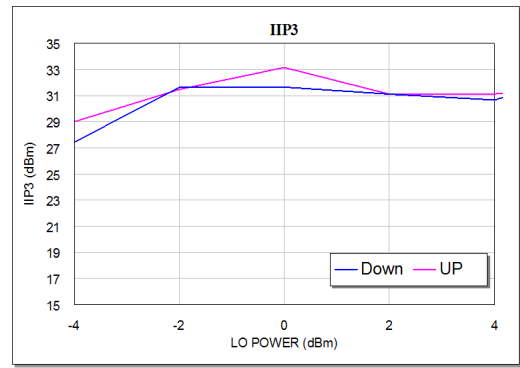


그림 12. 혼합기의 IIP3 특성

그림 13은 RF, IF단자에서의 LO 신호의 양을 나타내는 그림이다. 피드백회로에도 불구하고 RF단에서의 LO신호 전력에 대한 양호한 격리도를 보인다. LO 인가전력 -4~4dBm 구간에서 LO-RF 포트간 격리도는 -12~-9dB의 성능을 얻었으며 LO-IF 격리도에 경우 -22~-18dB 정도의 성능을 얻었다.

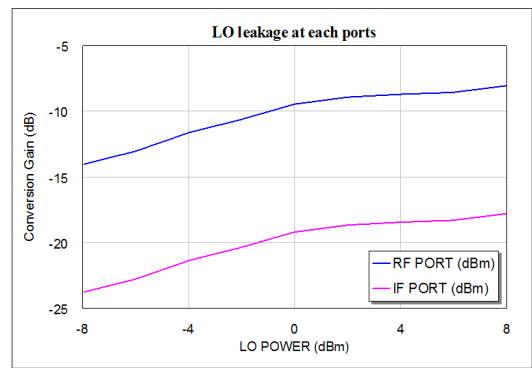


그림 13. 혼합기의 포트간의 격리도

표 1은 Feedback 회로 적용하지 않았을 때와 적용 후 성능 변화를 비교한 표이다.

표 1. Feedback 회로 적용 시 성능 비교

구분	Without Feedback	With Feedback
동작대역 (RF)	0.5~2.6GHz	0.5~2.6GHz
변환손실 (dB)	< 6	5
IIP3 (dBm)	> 25	30
LO Power range (dBm)	-4 ~ 4	-4 ~ 4
Isolation@RF (dB)	>10	10
Isolation@IF (dB)	10	19
Vd(V)/Id(mA)	3.3 / 6	3.3 / 6

표에서 알 수 있듯이 새로운 Feedback 회로를 적용 했을 때 동일한 전압 전류 조건하에서 선형성능의 지표인 IIP3의 경우 5dBm 이상이 개선됨을 확인 할 수 있고 LO-IF 격리도에 경우 9dB 이상이 개선됨을 알 수 있다. 또한 변환 손실의

경우 그 개선 효과는 많지 않으나 일정한 값을 유지함을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문을 통하여 새로운 Feedback 구조가 적용된 고선형 저항성 FET Mixer MMIC를 설계하였다. 등가적 다이오드 Feedback 구조를 Mixer 부의 FET의 드레인단과 LO 신호가 인가되는 게이트간 사이에 FET로 구현된 다이오드 Feedback 구조를 삽입함으로써 Mixer 역학을 수행하는 FET의 출력 임피던스가 일정하게 유지되며 이를 통해 일정한 변환 손실과 5dBm 이상 향상된 IIP 성능을 얻을 수 있어 높은 선형성과 낮은 소비 전력을 요구하는 LTE-A 무선 중계 시스템 및 다양한 선형 통신 시스템에 적용 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김정호, "LTE/LTE-Advanced 핵심기술 및 발전 전망", 전자 공학회 논문지 제49권 TC편 제6호, 2012년 6월
- [2] Antoine Khy, Bernard Huyart, "A 0.6-3.6GHz CMOS Wideband Demodulator for 4G mobile handsets," Proceedings of the 7th European Microwave Integrated Circuits Conference, pp.560-563, Oct. 2012
- [3] Mass, S. A., " A GaAs MESFET Mixer with very low intermodulation," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-35, 1987, pp.425-428.
- [4] Stephen A. Mass, "Microwave Mixers", Dedham, MA: Artech House, 1986, ISBN:0890061718
- [5] I. D. Robertson, S. Lucyszyn, "RFIC and MMIC design and technology", London: The Institution of Electrical Engineers, 2001, ISBN:0852967861

저자

이 경 학 (Kyounghak Lee)



- 1992년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 (공학박사)

· 1994년~2011년 : 한국산업기술평가관리원 책임
 · 2012년~현재 : 남서울대학교 산학협력단 조교수
 <관심분야> : 무선통신 회로설계, 신호처리

정회원