

이중게이트 FET 를 이용한 광대역 하이브리드 믹서 설계

김철준, 이강호, 구경현
인천대학교 전자공학과

Design of Broadband Hybrid Mixer using Dual-Gate FET

Zhejun Jin, Kang Ho Lee, Kyung Heon Koo
Dept. of Electronics Eng., University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea
E-mail : kimcz@inchen.ac.kr

Abstract

This paper presents the design of a broadband hybrid mixer using dual-gate FET topology with a low-pass filter which improves return loss of output to isolate RF and LO signal. The low-pass filter shows the isolation whose RF and LO signal is better than 40 dBc at 2 GHz and 5 GHz band. The dual-gate mixer which has been designed by using cascade topology operates when the lower FET is biased in linear region and the upper FET is in saturation. The input matching circuit has been designed to have conversion gain from 2 GHz to 6 GHz. The designed mixer with low-pass filter shows the conversion gain of better than 7 dB from 2 GHz to 6 GHz at a low LO power level of 0 dBm with the fixed IF frequency of 21.4 MHz.

I. 서론

최근 정보 사회를 지원하는 정보통신 시스템 분야에서 대용량 정보의 전송기술에 대한 필요성이 증가되고 있고 다양한 서비스들을 하나로 통합하여 전송할 수 있는 통신시스템의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 무선통신 시스템에서 RF 주파수를 IF 주파수로 변화하는 하향 주파수 변환기의 광대역 동작을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. FET 믹서는 소자의 비선형특성을 이용하는 방식에 따라 게이트 믹서, 드레인 믹서, 소스 믹서, 그리고 resistive 믹서로 구분된다. 드레인 믹서는 LO/RF 분리도 및 잡음특성이 우수하지만 동작이 불안정하고 큰 LO 전력이 필요하며, 소스 믹서는 변환손실이 크며, resistive 믹서는 높은 IP3 를 얻지만 변환손실이 크다는 단점이 있다. 또한 다단으로 분배(distributed)구조

를 이용하여 광대역 특성을 얻는 연구들이 있지만 변환손실을 갖거나 변환이득이 크지 않은 단점이 있다.[1-3]

본 논문에서는 분리도 특성이 좋고 큰 변환이득을 얻을 수 있는 이중게이트(dual-gate) FET 믹서 구조를 두 개의 pHEMT 를 캐스코드(cascade)로 연결하여 구현할 수 있는 하향 주파수 변환기를 설계하였다. 캐스코드 구조를 이용한 이중게이트 FET 믹서는 그림 2 에 나타난 구조를 이용하며, FET1 은 포화영역, FET2 는 선형영역에서 동작하게 된다. 설계된 믹서는 $V_{gs1}=-0.3$ V, $V_{gs2}=-0.6$ V 의 게이트 바이어스를 사용하여 20 mA 의 드레인 전류를 소비한다. 광대역 동작을 위해 FET1, 2 의 게이트 입력단에 RF 와 LO 신호의 매칭 회로를 삽입하여 2 GHz ~ 6 GHz 에서 7 dB 이상의 변환이득을 얻도록 설계하였고 출력단에 저역통과 여파기를 결합하여 40 dBc 이상의 RF 와 LO 신호의 격리도(isolation) 특성을 얻을 수 있었다.

II. 광대역 믹서 설계

2.1 이중 게이트 FET

이중게이트 FET 의 특징은 그림 1 에 보여지듯이 두 번째 게이트가 추가된 것을 제외하면 단일게이트 FET 와 비슷한 구조를 가지고 있다. 게이트의 추가로 인한 영향으로 트랜지스터의 전달컨덕턴스를 제어하게 되고, 첫 번째 게이트와 드레인 사이를 차단시키는 역할을 하며 캐환 캐패시턴스(C_{gd})를 낮게 감소시킨다.

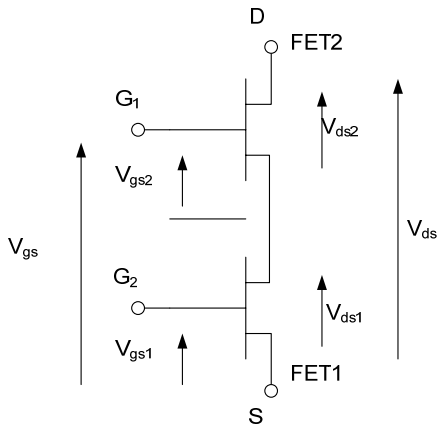


그림 1. 이중게이트 FET 구조

이중게이트 FET의 전달컨덕턴스가 두번째 게이트의 전압에 따라 변화하는 사실은 이 FET가 믹서로 동작할 수 있음을 의미한다. 믹서로 동작시킬 경우 RF 신호와 LO 신호는 각각의 분리된 게이트로 인가되고 IF 출력은 드레인을 통해 얻을 수 있다. 따라서 게이트 사이의 커패시턴스가 작아 RF/LO 격리도 특성이 양호하고 안정도를 향상시키게 된다. [4][5]

본 논문에서는 이중게이트 FET의 장점을 이용하여 하향변환 믹서를 설계하기 위해 등가적으로 해석 가능한 두개의 pHEMT를 캐스코드로 구현하였다. 두개의 pHEMT로 구현한 이중게이트 구조는 각 FET의 드레인-소스 전압(V_{ds1} , V_{ds2})에 걸리는 전압의 합은 전체에 걸리는 전압(V_{ds})과 같고 FET1과 FET2의 드레인 전류는 같다.

2. 이중게이트 FET를 이용한 믹서

이중게이트 FET 믹서에서 RF와 LO의 입력은 각각 FET1과 FET2의 게이트를 입력으로 사용하여 높은 분리도를 얻을 수 있고 분리된 매칭을 가능하게 해준다. [6] 이중게이트 FET 믹서에서 FET2의 게이트가 FET1의 전달컨덕턴스를 제어하기 위해서는 FET1은 선형영역에서 동작하여야 한다. 이는 두개의 FET가 포화상태에서 동작하는 캐스코드 증폭기와는 차이가 있다. 따라서 입력되는 LO 신호가 커질 때에는 V_{gs2} 은 증가하여 FET1이 전류 포화영역에 들어가게 된다. 그러면 전달컨덕턴스(g_m)는 커지고 드레인과 소스사이의 컨덕턴스(g_{ds})는 작아지게 된다. 반대로 LO 신호가 작아지면 다시 선형 영역으로 들어오게 되고, g_m 은 작아지고 g_{ds}

는 커지게 된다. 이와 같이 g_m , g_{ds} 의 비선형성을 이용하여 주파수 혼합을 하게 되고 FET1은 선형영역과 전류 포화영역을 교차하면서 주파수의 혼합을 일으키는 반면, FET2는 LO 대부분의 주기 동안 포화영역에 있으면서 IF 주파수에 대한 공통-게이트(common-gate) 증폭기로서 동작하게 된다. 이러한 구조는 FET1의 드레인 전압(V_{ds1})이 0이 되지 못하므로 g_m 의 최대값을 단일게이트 믹서만큼 얻을 수 없지만 FET2에 의한 증폭으로 보충할 수 있다. [7-8]

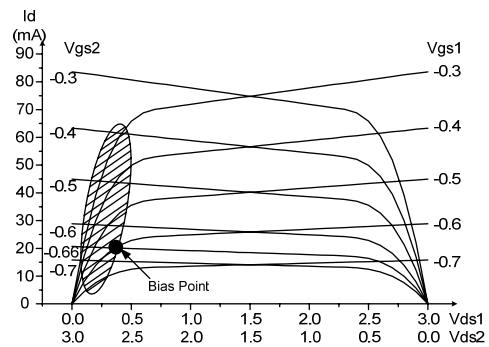
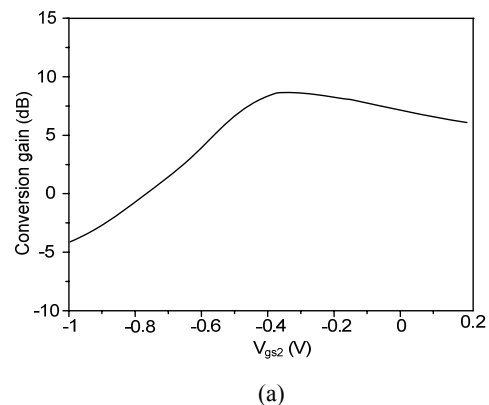


그림 2. 이중 게이트 FET의 I-V 특성 곡선

FET1과 FET2가 동일한 드레인 전류를 제공하기 위해서 V_{gs1} 은 특정한 고정 값을 갖도록 하여, V_{gs2} 은 0~ V_{ds} 사이에서 변화하게 된다. 이러한 전류특성을 이용하여 그림 2에서는 이중게이트 FET의 DC I-V 곡선을 나타내었고 믹서로 동작하기 위한 바이어스 영역과 본 설계에 사용된 바이어스점을 표시하였다. 높은 변환이득을 얻도록 바이어스를 최적화 하기 위해 그림 3에서 나타나듯이 게이트 바이어스에 따른 변환이득을 모의실험 하였으며, $V_{gs1} = -0.6V$, $V_{gs2} = -0.3V$ 에서 8dB의 변환이득을 얻도록 설계하였다.



(a)

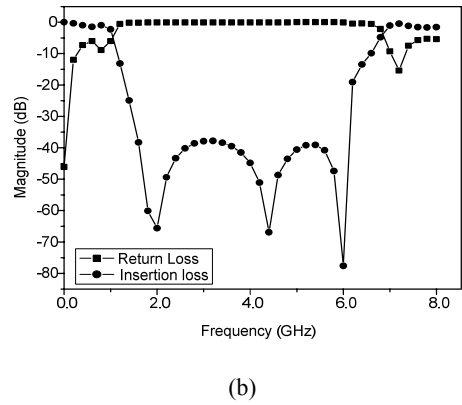
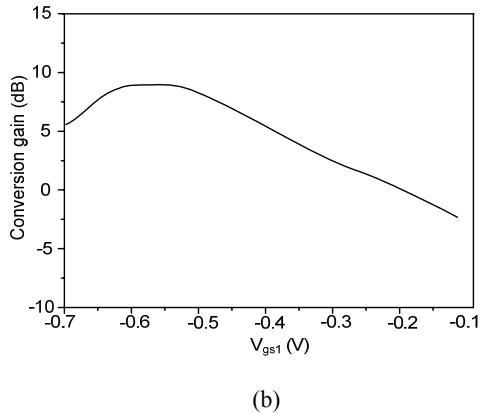


그림 3. (a) V_{gs2} (V_{gs1} 은 $-0.6V$ 로 고정) (b) V_{gs1} (V_{gs2} 는 $-0.3V$ 로 고정)의 변화에 따른 변환이득

그림 5. (a) 저역 IF 여파기회로도 (b) 출력 IF 여파기 특성

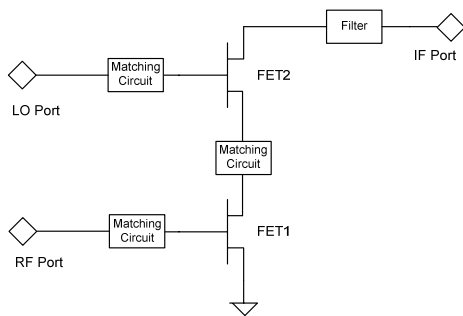


그림 4. 이중게이트 FET 믹서 블록도

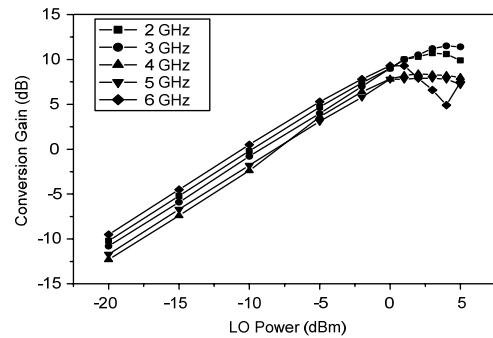


그림 6. LO 전력에 따른 변환이득의 변화

그림 4는 설계된 광대역 믹서의 블록도를 나타낸다. 광대역 동작을 위해 RF와 LO 입력단에 매칭회로를 삽입하였고, LO-to-IF, RF-to-IF의 격리도를 개선하고 고조파 성분들을 제거하기 위해 출력단에 저역 통과 여파기를 집중소자를 이용하여 구현하여 40 dBc 이상의 RF와 LO 신호의 억압 특성을 얻도록 설계하였다. 그림 5(a), (b)는 설계된 저역통과 여파기와 특성을 나타낸다. 그림 6은 RF 주파수가 2, 3, 4, 5, 6 GHz일 때 LO 전력에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타내고, 그림 7은 0 dBm의 LO 전력에 IF 주파수를 21.4 MHz에 고정시킨 조건에서 입력 주파수 변화에 따른 변환이득을 나타낸다.

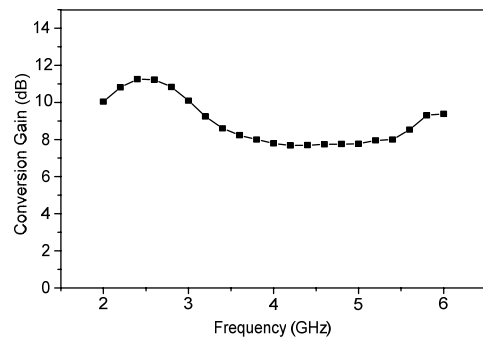
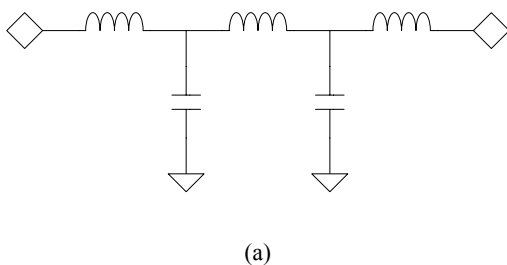


그림 7. 이중게이트 FET 믹서의 변환이득 (RF=-40 dBm, LO=0 dBm)

III. 측정결과



제작된 믹서는 8720C 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 소신호 특성을 측정하였고, E4438C 신호발생기와 SA-970 스택트럼 분석기를 사용하여 대신호 특성을 측정하였다. 그림 8은 IF 주파수를 21.4 MHz에 고정시키고 RF 주파수가 2, 3, 4 GHz일 때 LO 전력에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타낸다. LO 입력이 3 dBm 일때 최대 10 dB의 변환이득을 얻을 수 있다. 그림 9는 IF 주파수를 21.4 MHz에 고정시키고 RF와 LO

입력 전력이 -40 dBm, 0 dBm 일 때 제작된 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 실제 측정된 LO 입력전력 변화에 대한 변환이득, 그리고 RF 주파수 변화에 따른 변환이득은 모의실험과 비슷한 값을 얻은 것을 확인할 수 있다. 그림 10 은 제작한 광대역 이중게이트 FET 믹서의 사진을 나타낸다.

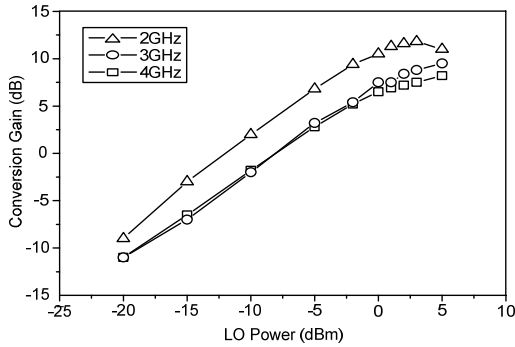


그림 8. 제작된 믹서의 LO 전력에 따른 변환이득

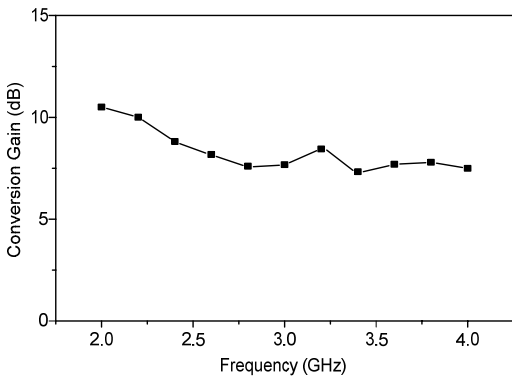


그림 9. 제작된 믹서의 변환이득 (RF=-40 dBm, LO=0 dBm)

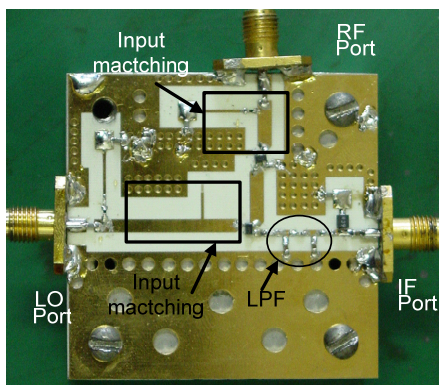


그림 10. 제작된 광대역 이중게이트 FET 믹서

IV. 결론

본 논문에서는 높은 변환이득을 갖는 광대역 하향

주파수 변환기를 두 개의 pHEMT 를 캐스코드로 연결하여 구현한 이중게이트 FET 믹서를 이용하여 설계하였다. IF 출력단에 RF 와 LO 신호에 대한 역압특성을 개선하기 위해 저역 통과 여파기를 집중소자를 이용하여 설계하였다. 이중게이트 FET 믹서의 분리된 RF 와 LO 입력은 높은 격리도를 나타내며 증폭기로 동작하는 FET 에 의해 높은 변환이득을 얻을 수 있다. 또한 분리된 입력단의 매칭회로를 삽입하여 광대역 동작을 가능하게 해준다. 설계된 광대역 믹서의 변환이득은 0 dBm 의 LO 입력에 대해 2 GHz ~ 6 GHz 대역에서 7 dB 이상의 변환이득을 보인다.

감사의 글

본 연구중 일부는 지역협력 연구센터인 인천대학교 멀티미디어 연구센터의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Thomas S. Howard and Anthony M.Pavio, "A Distributed Monolithic 2-18GHz Dual-Gate FET Mixer," Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, 1987.
- [2] K. S. Ang and I.D. Robertson, "Multiple-FET Mixer Analysis with Applications to the Cascode Distributed Mixer," in 1999 High Frequency Postgraduate Student Colloquium, Sept. 1999, pp. 22-27.
- [3] Won Ko and Youngwoo Kwon, "A GaAs-Based 3-40GHz Distributed Mixer with Cascode FET Cells," Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 2004
- [4] Stephen A. Mass, *Microwave Mixer*, Artech House. 1993
- [5] Stephen A. Mass, *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Artech House. 1998
- [6] Maria Luisa de la Fuente, "Analyze and Design A Cascode MESFET Mixer," Microwave & RF May 1998.
- [7] 이경보, 이영철, "이중게이트 FETs 를 이용한 마이크로파 이미지제거 능동필터 설계," 춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, vol. 25 NO. 1, 2002
- [8] 박주환, *5GHz 무선 LAN 용 Dual-gate MESFET 믹서 설계*, 서강대학교 대학원, 2002.