

Cascode 결합 마이크로파 자기발진 믹서의 최적변환이득을 위한 바이어스 조건 분석

이성주^{*} · 신동환 · 이영철^{*}

^{*}경남대학교 정보통신공학과

Analysis of optimum condition for conversion gain of cascode coupled microwave Self-Oscillating-Mixer

Seong-Ju Lee^{*} · Dong-Hwan Shin · Young-Chul Rhee^{**}

^{*}Dept. of information & Comm. Eng, Kyungnam University

E-mail : anomann@mail.kyungnam.ac.kr, micropt@kyungnam.ac.kr

요 약

본 논문은 캐스코드 구조에서의 바이어스 조건에 대해 분석하고 이를 이용하여 C-Band용 마이크로파 수신기에서의 자기발진믹서를 분석하였다. 자기발진믹서는 두 개의 FET에 의해서 동작되며 상위 FET는 비교적 높은 Q값을 가지는 유전체공진기에 의해서 발진기로 동작하도록 하였으며, 아래쪽 FET는 믹서로 동작시켰다. 모의실험 결과에 의해 초기 드레인 전압은 $V_{ds}=2.5V$ 이고 게이트바이어스 전압은 $V_{gs1}=-0.2V$ 와 $V_{gs2}=0V$ 로 선정하였다. 선정된 바이어스를 통해 설계된 5.15GHz의 발진기 출력은 5.92dBm, 위상잡음은 -132.0dBc/100KHz, 믹서의 변환손실은 약 -3dB를 얻었다.

1. 서 론

최근의 상업적인 위성 통신 시스템에 있어서 저가격, 초소형 무선 송수신기에 대한 요구가 증가함에 따라 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 요구를 충족시키기 위한 여러 가지 기법들이 시도되었는데 특히 안테나와 발진기, 필터와 같은 모듈 등을 시스템내에 집적시키려는 노력이 많이 행해지고 있다. 안테나와 필터와 같은 수동소자를 능동소자로 구현하는 방식과 발진기와 같은 경우 자기발진형태로 구성을 하려는 연구들이 행해져나 있다[1]. 이러한 복합모듈개발 추세에 따라 위성 통신 시스템의 송신모듈의 설계에 있어서 국부발진기와 믹서를 하나의 모듈로 설계하는 칩셋(Chip-set)의 필요성이 요구된다. 본 논문에서는 저가이면서 소형이며 고성능 특성을 갖고 C-대역에서 동작되는 위성통신시스템의 하향 변환기에 사용할 수 있도록 국부발진기능과 믹서기능을 통합한 자기발진믹서를 설계하고자 한다. 슈퍼헤테로다인 방식에서의 자기발진 믹서는 하나의 FET가 발진기와 믹서의 기능을 동시에 하게되므로 다운컨버터를 설계할 경우 전체 회로의 사이즈를 줄일 수 있으며, 그림 1에서와 같이 사용된 능동믹서의 변환이득이 클 경우 다운컨버터의에서 안테나 다음단에 삽입되는 저잡음 증폭기단의 단수를 줄일 수 있는 장점을 가진다. 자기

발진 믹서를 단일 게이트 믹서로 설계할 때는 능동소자의 게이트에 RF신호와 국부발진신호를 동시에 인가하는 것에 대한 문제가 있고 이를 해결책으로 일반적으로는 수동 커플러를 사용하지만 단일칩상에 구현하고자 한다면 이러한 수동 커플러는 크기 문제로 인해 단지 높은 주파수에 대해서만 적당하게 사용될 수 있다[2]. 보통 단일 게이트의 문제점을 보완하기 위해 이중 게이트 형태의 구조를 사용하지만[2,3]. 본 논문에서는 이중 게이트 구조를 캐스코드 구조에 적용시켜서 자기발진 믹서를 설계하였다. 캐스코드 구조는 간단하면서도 믹서의 동작에 대해서 잘 알 수가 있고 IF 주파수에 대한 최대 전력을 얻어내기 위한 최적의 바이어스점을 계산할 수가 있다[3]. 또한, 이러한 구조는 각 포트간 isolation 또는 상호 혼변조와 같은 믹서의 특징을 나타내는 파라미터를 최대화해준다. 이러한 구조의 또 다른 장점은 신호와 국부발진신호포트가 분리되어 있고 따라서 각각 포트에 대한 매칭이 가능하다. 본 논문에서는 마이크로파 다운컨버터에서 자기발진 믹서에 대한 분석을 하였고 Q-값이 높은 유전체 공진기를 사용하여[5] 수신단에 사용될 캐스코드형 자기발진믹서를 하이브리드 형태로 설계하여 제작, 측정하였다.

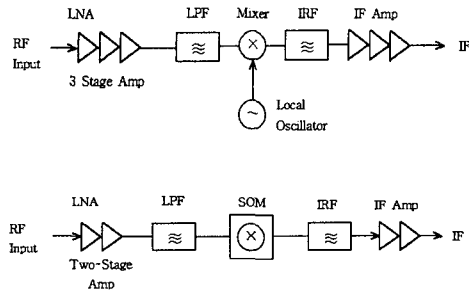


그림 1. 자기발진믹서를 이용한 다운컨버터구조

II. 자기발진믹서의 동작특성과 최대 변환이득을 가지는 바이어스 선택

일반적으로 단일 게이트 형태를 이용한 자기발진믹서에서는 게이트단에서의 궤환 스테브와 RF 정합단이 동시에 존재하게 되어 이미지 주파수를 차단하기 위한 정합단의 설계가 어렵고 또한 좋은 분리도 특성과 이미지 제거를 기대하는 것은 매우 어렵다. 이러한 단일 게이트 형태의 단점을 보완하고자 하는 것이 이중 게이트 구조이다. 두 개의 게이트단을 협대역 매칭시키므로써 이미지 제거특성을 가질수 있으며, 신호와 국부발진주파수에 대해서 분리된 매칭을 함므로 LO-RF 분리도(Isolation)를 개선할 수 있는 형태이다. 이 형태에서 발진기능과 믹서기능을 동시에 만족하기 위해서 비선형해석에 의한 자기발진믹서 바이어스 점에서 동작되도록 설계한다. 실제 이중 게이트 형태의 구조는 그 모델에 대한 정확한 분석이 어렵기 때문에 이중 게이트형태를 캐스코드 구조를 사용하여 해석하고 자기발진믹서를 설계하고자 한다. 캐스코드 구조에서 상위 FET2 게이트단에 국부발진신호를 주입 하게되면 국부발진신호의 크기 변화에 따라 게이트 2의 진폭이 변화하고, 게이트2의 진폭의 변화는 FET1 전달 컨덕턴스값을 커지게 또는 작아지게 하므로 FET1이 포화영역과 선형영역으로 동작하게 된다. 이러한 비선형성을 이용하여 FET1은 믹서로써 동작되게 되며, FET2의 경우 공진부와 FET2에 의해 발생하는 부정저항특성을 이용하여 발진기로 동작한다. 캐스코드 구조에 대한 간단화된 모델을 그림 2에서 나타내고 있다. FET1의 전달컨덕턴스는

$$g_m = \frac{\partial I_{ds}}{\partial V_{gs}} = -\frac{2}{V_T - V_{gs}} I_{ds} \quad \text{식(1)}$$

이고 여기서 $V_{gs} = V_{g1} = V_{gs1}$ 이다. 또한

$$I_{ds} = I_{dss} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_T}\right)^2 (1 + \lambda V_{ds}) \quad \text{식(2)}$$

와 같이 나타낼 수 있다.

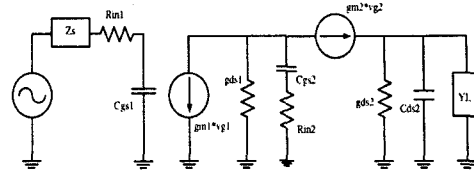


그림 2. 캐스코드 구조에 대한 간단화된 모델

FET1의 드레인 전류는 FET2의 드레인 전류와 같으므로 식(2)는 식(1)에 대입될 수 있고 큰 국부발진 신호는 FET1의 전달 컨덕턴스를 변화시킨다. 식(2)의 V_{ds} 표현을 사용하여 FET1에 대한 g_m 값을 V_{g1} 과 V_{g2} 에 관한 함수로 나타낼 수가 있다. V_{g1} 과 V_{g2} 에 대한 전압 변화에 따른 g_m 값의 변화를 그림 4에서 나타내고 있으며 FET1이 믹서로 동작하기 위해 g_m 이 큰 영역에서 V_{g1} 전압을 결정하게 된다.

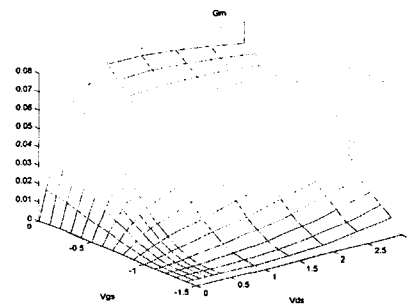


그림 3. FET1의 게이트 전압에 따른 g_m 값의 변화

IF 출력 전력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out}(\omega_{IF}) = \frac{1}{2} \text{Re}[V_0(\omega_{IF})I_0(\omega_{IF})] \quad \text{식(3)}$$

$$= \frac{1}{2} |V_0(\omega_{IF})|^2 \text{Re}(Y_L)$$

식(3)에서 $V_0(\omega_{IF})$ 는 V_{g2} 에 관한 식이므로 IF출력 전력은 V_{g2} 에 대한 함수로 얻어진다. 결국 V_{g1} 에 대한 값은 g_m 값을 최대로 하기 위한 값으로 결정이 되고 V_{g2} 에 대한 값은 자기 발진믹서의 출력에 최대로 되기 위한 값으로 결정이 된다. 드레인 전압을 2.5V로 하고 자기발진믹서 바이어스점을 그림 5에서의와 같이 V_{g1} 과 V_{g2} 의 변화에 따른 믹서의 변환이득과 잡음 지수의 변화를 확인하여 최적의 바이어스점을 선정하였다. 본 논문에서는 $V_{ds}=2.5V$, $V_{g1}=-0.2V$, $V_{g2}=0V$ 로 최종 바이어스를 선정하고 자기발진믹서를 설계하였다.

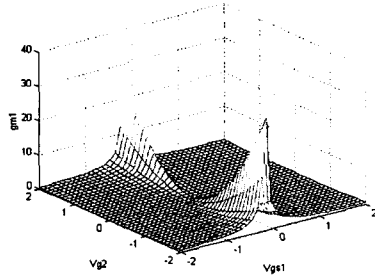


그림 4. V_{gs2} 와 V_{gs1} 의 변화에 따른 g_m 의 특성 곡선.

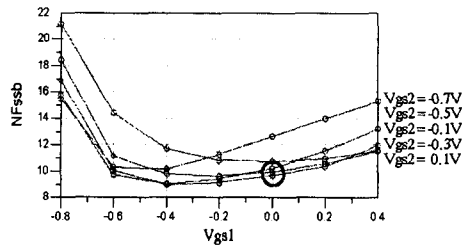
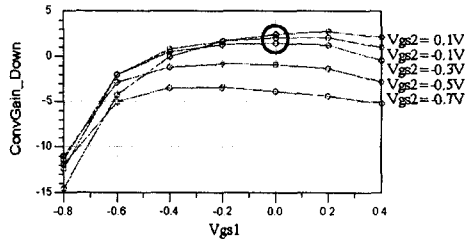


그림 5. V_{gs1} 과 V_{gs2} 의한 변환 이득과 잡음 지수의 변화에 대한 관계를 모의 실험

III. DR을 이용한 자기발진 믹서 설계

본 논문에서는 그림 6과 같은 형태로 FET소자를 사용하여 캐스코드 구조를 구성하였고 유전체 공진부를 설계함에 있어 FET의 조건 안정상태를 이용하여 직렬회환회로를 출력단과 입력단 사이에 구성하고 부하와 소스임피던스 정합회로를 설계하여 능동 소자 FET를 불안정 상태로 형성시켜 입력과 출력임피던스가 부성저항 특성 즉, 부성저항에 의해 반사계수가 1보다 크게 되는 현상을 이용하였다. FET에 의한 DR국부발진기의 설계에 있어서 가장 중요한 발진기의 위상잡음과 DC-RF 변환효율이다.

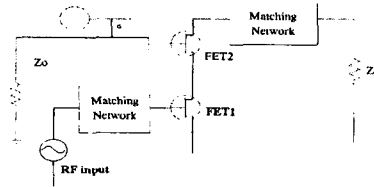


그림 6. Cascode형 자기발진믹서의 형태

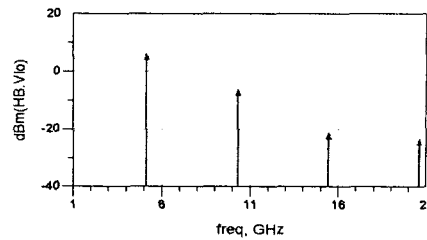


그림 7. Cascode형 자기발진믹서의 하모닉 성분

표 1. 발진기 출력 전력에 대한 모의실험

Harmonic order	LO power(dBm)
1st (5.15GHz)	5.92
2nd (10.30GHz)	-6.53
3rd (15.45GHz)	-21.53

설계 주파수는 RF주파수대 3.7GHz~4.2GHz, LO 주파수는 5.15GHz으로 선정하였고 모의실험 결과 그림 7처럼 자기발진믹서의 첫 번째 하모닉의 전력 레벨은 5.92dBm, 두번째 하모닉의 Power는 -6.53 dBm이며 이를 표1에서 나타내고 있다. RF 단에 -50dBm 신호의 RF주파수대역을 인가했을 때 IF 주파수 대역에서 출력되는 Power는 약 -53dBm로서 약 3dB의 변환 손실을 가진다. 그리고 대역내 평탄도는 $1.2dB_{p-p}$ 이다.

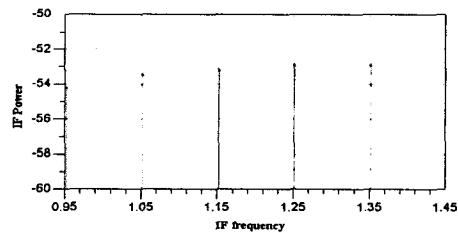


그림 8. RF주파수 변화에 따른 IF 전력 크기

IV. 자기발진 믹서의 측정결과 및 분석

실제 제작을 위해 ATF-35376소자를 사용하여 최

적의 바이어스 분석에 의해 설계된 자기발진 믹서를 제작하고 우선 발진기로 동작을 확인하였다. 이 때 RF입력에는 모의 실험에서의 조건과 동일하게 50Ω termination을 연결한 상태에서 발진 출력과 위상잡음을 측정하였다. 그림 9는 발진 신호를 스펙트럼 분석기로 측정한 결과이고 표 2에서는 측정된 위상잡음 결과를 나타내고 있다. 이 측정에서 사용된 20dB감쇄기와 IF 출력측에 LO 신호를 억제하기 위한 라인에 의한 실제적인 감쇄 효과 20dB를 고려하면 발진기의 출력 레벨은 약 7dB임을 알 수가 있고 이는 모의 실험 결과와 1dB의 차를 가진다. 그림 10은 테프론 기판 ($\epsilon_r=2.5$)상에 제작된 전체 회로를 나타낸다.

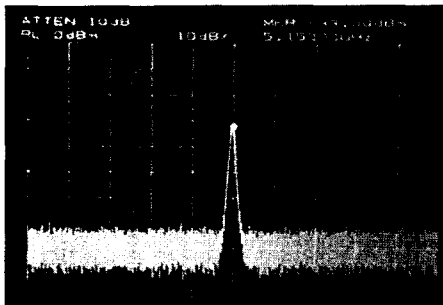


그림 9. 5.15GHz에서의 발진 신호

표 2. 측정된 위상 잡음

Offset Freq.	Phasenoise(dB)
10KHz	-72.33
100KHz	-94.72
1MHz	-119.43

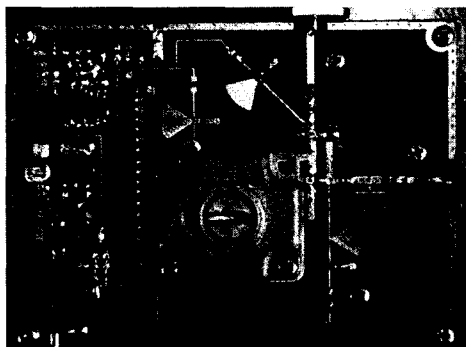


그림 10. 제작된 실물 사진

V. 결 론

본 논문에서는 Cascode FET구조를 이용하여 C-band 슈퍼헤테로다인방식 위성통신등에 적용할 수 있는 캐스코드 자기발진믹서를 설계하였다. 캐스코드 구조에서의 바이어스에 따른 g_m 값의 변화와 FET2의 게이트 전압에 따른 IF출력단에서의 변환 이득에 따라 결정된 최적의 바이어스 점은 $V_{ds}=2.5V$, $V_{gs1}=-0.2V$, $V_{gs2}=0V$ 로 결정되었다. 유전체 공진기에 의해 설계된 캐스코드 자기발진 믹서에서의 발진주파수는 5.15GHz에서 5.927dBm의 출력특성을 보였고, 약 -94dBc@100KHz의 측정된 위상잡음특성을 나타내었다. 출력 IF주파수인 950MHz~1450MHz에서의 변환이득은 -3dB를 가짐을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Jiazong Zhang, Yunyi Wang, "Intergration of a Self-Oscillating Mixer and an Active Antenna"
- [2] Maria Luisa de la Fuente, "Analysis and Design A Cascode MESFET Mixer" Microwave & RF May p271-273 1998
- [3] Stephen A.Maas,"Microwave Mixers",Artech House.
- [4] C. Tsironis, R.Meierer, and R. Stahlman , "Dual-Gate MESFET Mixer, " IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-32, No,3 p248-255 March 1984.
- [5] Guan-Wu Wang, Terng-Jie Lin, Wen-Chung Liu,"A Low Cosd DBS low noise block downconverter with a DR stabilized MESFET Self-Oscillating Mixer, IEEE MTT-s Digest, 1994
- [6] 심재우, 이영철, "Cascode FETs형 자기발진 믹서의 이미지신호제거 개선효과 분석" 2001년 하계종합학술대회 논문집 제24권 제1호.
- [7] Stephen A. Maas, "Nonlinear Microwave Circuits", Artech House, 1988.
- [8] C.H Lee S.Han and Joy Laskar, "GaAs MESFET Dual-Gate Mixer with Active Filter design for Ku Band Applications" IEEE MTT p841-844, 1990.

*본 연구는 산업자원부 신기술개발 사업의 지원으로 이루어 졌습니다.