

Dual Gate FETs에 의한 마이크로파 이미지신호 제거특성 분석

심재우 · 이경보 · 이강훈 · 이영철
경남대학교 정보통신공학

Analysis of Microwave Image signal Rejection using the Dual Gate FETs

Jae-Woo Sim · kyung-bo Lee · Kang-Hoon Lee · Young-Chul Rhee
Dept. of Information & comm. Eng, Kyungnam University
E-mail : simjw@dreamwiz.com · micropt@kyungnam.ac.kr

요 약

본 논문은 마이크로파 수신기시스템에서 발생하는 이미지성분을 효과적으로 제거하기 위해서 Dual Gate FETs를 이용한 이미지 제거 특성을 분석하였다. Dual Gate를 이용한 이미지 제거능력을 모의 실험한 결과 RF신호에 대한 이미지 제거특성은 -32dBc를 보였으며, Dual Gate FETs믹서의 변환이득은 1.7 dBm, 5GHz 발진주파수는 -117.3 dBc/100KHz 임을 확인하였다.

I. 서론

수신 마이크로파 시스템에서 이미지(Image)성분은 수신 성능에 큰 영향을 미치므로 시스템에서 이미지 성분을 줄이기 위한 연구가 진행되어 왔으며[1], 이미지 성분을 감쇄 시키기 위한 방법으로 Direct Conversion 방식과 Mixer 앞단에 이상적인 이미지 제거 필터(Image Reject Filter)를 사용하는 슈퍼헤테로다인(Super heterodyne)방식 등이 있다.[1,2]. 그러나 Direct Conversion은 중간주파수를 사용하지 않고 반송파에서 기저대역으로 곧바로 끌어내리고 올리는 방식으로써 채널 선택도와 감도가 떨어진다. 그리고 회로 구조가 복잡 복잡하며 정확한 위상변화가 필요하기 때문에 일부 주파수대역과 시스템에 국한되어 설계되고 있으며, 슈퍼헤테로다인방식의 경우는 RF입력 신호와 국부 발진 신호가 인접한 경우 이미지 제거 필터의 구현이 어려우며, 또한 수동 필터를 이용한 MMIC 설계시 Spiral의 기생캐패시턴스와 인덕터의 큰 사이즈로 인하여 MMIC로 설계가 어렵다는 단점있다. 그러나 중간 주파수를 사용함으로써 채널선택도가 우수하기 때문에 본 논문에서 슈퍼헤테로다인 방식에서 이미지 제거 특성을 가지는 Dual-Gate자기발진믹서를 설계하여 수신 마이크로파 시스템의 단일칩에 관하여 연구하였다.

II. 이미지 신호 해석 및 Dual-Gate 자기발진믹서의 설계

슈퍼헤테로다인 방식에서는 그림1와 같이 수신된 이미지 성분으로 인하여 IF단에서 이미지 성분은 잡음 성분중 하나로 고려되므로 정확한 정보의 수신이 어렵게 된다. 그러므로 믹서 앞단에 우수한 특성을 가지는 이미지 제거 필터를 사용하여 그림1와 같이 이미지 성분을 사전에 제거하는 방법을 사용한다.

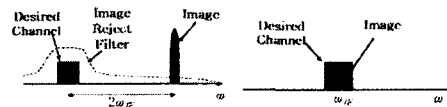


그림1. 이미지 성분

슈퍼헤테로다인 방식에서는 그림1과 같은 방법을 사용하여 이미지 성분을 제거하기 위해서 특성이 우수한 이미지 제거 필터단을 믹서 앞단에 삽입 시킴으로써 사전에 이미지 성분을 제거 하는 방법을 사용하고 있으나, 사용되는 수동 형태의 이미지 제거 필터로 인하여 단일칩 설계시 내부인덕터의 낮은 Q값과 기생캐패시턴스로 발생하여

필터단을 Off-chip화 한다. 그러므로 본 논문에서는 Dual-Gate FETs을 적용하여 이미지 제거에 특성을 분석하였다.

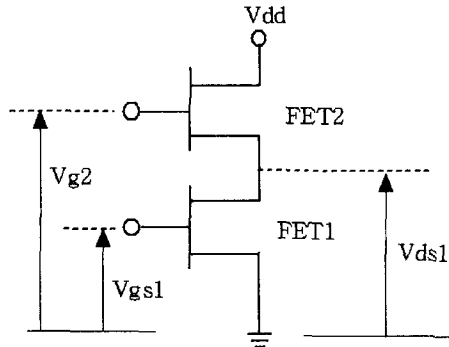


그림2. Dual gate FET 구조

Dual-Gate FETs의 구조는 그림2와 같이 두 개의 Single-Gate FETs을 병렬형태로 배열한 것으로 일반적으로 Cascode FETs의 동작모드와 유사하며, 해석을 편이를 위해서 Cascode 형태로 해석되게 된다[3]. I.V곡선 바이어스 점에 따라 Dual-Gate FETs는 표1과같이 LNM(Low Noise Mixer), SOM(Self Oscillator Mixer), IRM(Image Reject Mixer)의 3가지 비선형동작 영역으로 나누어 해석 할 수 있다.

표1. 바이어스 점에 따른 Dual-Gate FETs 비선형 특성

	LNM (Low-Noise Mixer)	SOM (Self-Oscillating Mixer)	IRM (Image Reject Mixer)
FET1	Mixer	Mixer	RF-Amplifier
FET2	IF-Amplifier	IF-Amplifier	Mixer

LNM 동작모드에서는 FET2 Gate 단에 주입되는 LO 신호의 크기변화에 따라 V_{g2} 의 진폭이 변화하고, V_{g2} 의 변화에 따라 FET1의 전달컨덕턴스(transconductance) g_{m1} 이 커지고 작아지게 된다.

g_{m1} 의 변화에 따라서 FET1의 전류변화로 인해서 FET1은 포화영역과 선형영역으로 동작하게된다. 이러한 변화로 인해 발생하는 비선형성을 이용하여 FET1은 주파수 혼합기로서 동작하게된다. 반면 FET2는 LO주기동안 전류포화영역에 있으면서 IF 주파수의 이득을 보상해주는 IF증폭기로서 동작하게된다. SOM 모드는 LNM보다 채널저항이 더욱 비선형적인 것을 제외하고는 LNM과 동작 원리가 비슷하여 FET1은 믹싱을 하고 FET2는 IF 증폭기로 동작한다. IRM 모드경우에는 FET1이 RF전치증폭기(pre-amplifier)그리고 FET2는 주요

비선형요소인 g_{m2} , R_{ds2} , C_{gs} 에 의해서 믹싱을 하게된다[4]. 이 세가지 모드에서의 주요 비선형성분 g_m 과 R_{ds} 을 고려함으로써 간단한 회로의 분석이 수행되어진다. g_m 과 R_{ds} 분석은 DC 게이트 전압 V_{g2} 와 V_{gs2} 에 의해서FET1에서의 드레인 전류 (I_{ds})을 분석함으로써 해석 할수가 있다.

$$I_{ds} = I_{dss} \left(1 - \frac{v_{gs}}{V_T}\right)^2 (1 + \lambda V_{ds}) \times \left[1 - \left(\frac{\alpha V_{ds}}{3}\right)^3\right] \quad (1)$$

(V_T = threshold voltage, $\lambda = 0.008$)

FET1의 전달 컨덕턴스(transconductance)는

$$gm = \frac{\partial I_{ds}}{\partial V_{gs}} = -\frac{2}{V_T - V_{gs}} I_{ds} \quad (2)$$

($V_{gs} = V_{g1} = V_{gs1}$)

FET1의 채널 컨덕턴스(channel conductance)는

$$g_{ds} = \frac{\partial I_{ds}}{\partial V_{ds}} = \left[\frac{\lambda}{1 + \lambda V_{ds}} - \frac{\alpha(1 - \alpha V_{ds}/3)^2}{(1 - (1 - \alpha V_{ds}/3)^3)} \right] I_{ds} \quad (3)$$

여기서 $V_{ds} = V_{ds1}$

FET2는 LO 신호가 입력되는 동안에 포화 상태에 있기 때문에 LO 신호에 대한 드레인전류는

$$I_{ds} = I_{dss} \left(1 - \frac{v_{gs}}{V_T}\right)^2 (1 + \lambda V_{ds}) \quad (4)$$

($V_{gs} = V_{g2} + V_{LO} \cos(\omega_p t) - V_{ds1}$)

(V_{g2} =DC의 전압)

($V_{LO} \cos(\omega_p t)$ =게이트2단의 AC 전압)

시간에 따라 변화하는 LO에의한 V_{gs} 에 의해 I_{ds} 가 변화하며, FET1 드레인 전류와 FET2 드레인 전류가 동일할 때, 식(2)와 식(3)가 다시 풀게되면 gm 성분은 다음과 같다[4].

$$gm' = -\frac{2}{V_T - V_{gs}} \times I_{dss} \left(1 - \frac{V_{g2s} + V_{LO} \cos(\omega_p t) - V_{ds1}}{V_T}\right)^2 \times (1 + \lambda V_{ds}) \quad (5)$$

식5에서 LO 신호는 전달 컨덕턴스와 FET1의 출력 컨덕턴스를 변조하게되어 g_m 은 V_{g1} 과 V_{g2} 의 함수로써 나타나게된다. 이 식을 이용하여 적

당하여 최대 진폭을 가지는 초기값 V_{d1} 을 구할 수 있게된다. 이때 RF신호 전압이 FET1의 게이트에 인가될 경우 소신호 등가회로는 그림2와 같고 소신호 전류는

$$i(t) = g_m(t) V_{RF}(t) + g_{ds}(t) V_{ds}(t) \quad (6)$$

$$V_{RF}(t) = V_{RF} \cos(\omega_{RF} t) \quad (7)$$

$$V_{ds}(t) = -(R_{ds} \parallel R_L) g_m(t) V_{RF}(t) \quad (8)$$

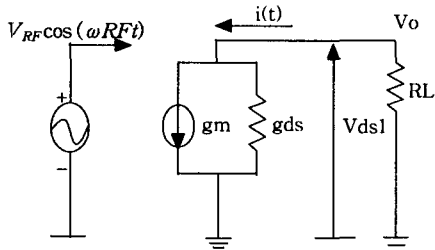


그림3. 소자의 전류값에 의한 FET1의 소신호 등가회로

일반적인 Dual Gate-FET를 이용한 자기발진믹서의 경우 Feedback stubs와 RF Match단이 동시에 존재하게 되어 이미지 주파수를 차단하기위한 정합단의 설계가 어려우므로 단일 능동소자를 이용한 자기발진믹서의 형태에서 이미지 제거를 고려한다는 것은 매우 어렵다[5,6]. 그러므로 본 논문에서는 그림3 처럼 Dual-Gate형 자기발진믹서를 이용하여 두 개의 게이트로 인한 각단의 협대역 매칭 시킴으로써 인하여 이미지 제거와 LO-RF분리를 동시에 개선시켰다[6]. FET2 Gate단에 교류신호가 주입 될 경우 LO 신호의 크기 변화에 따라 게이트2의 진폭이 변화하고, 게이트2의 진폭의 변화는 FET1 전달 컨덕턴스값을 커지게 또는 작아지게 하므로 발생하는 비선형성을 이용하여 FET1은 믹서로써 동작되게 되며, FET2의 경우 공진부와 공진보상회로에 의해서 FET2를 불안정 상태가 되게 하여 발진기로 동작 되도록 하였다.

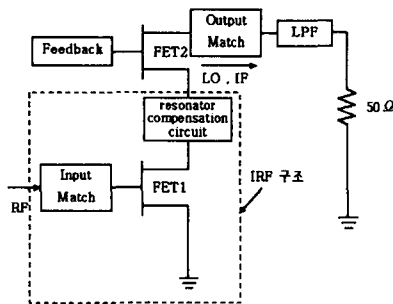


그림4. Dual-Gate 형 자기발진믹서의 형태

III. Dual-Gate FETs를 이용한 자기발진믹서 설계

Dual-Gate FETs 구조는 동작점에 따라 비선형 동작을 하게되며, Mixer로 동작되기 위해서 전달 컨덕턴스가 커야한다. 발진기로 사용되어질때는 무엇보다 핀치 오프 바이어스 영역에서 소자가 동작 되어야 한다. 그러므로 동작점의 선정은 전달 컨덕턴스의 값도 어느정도 만족하면서 고조파 성분이 많이 생기는 핀치오프 전압도 만족 시켜야한다. 본 논문에서는 전달특성 이득이 높은 초기 바이어스 전압을 선정하기위해서 V_{d1} 과 V_{d2} 의 변화에 따른 g_{m1} 특성을 식(5)을 이용하여 계산하였다. 수치해석 프로그램인 Matlab를 이용하여 계산한 결과 그림4과 같이 V_{d1} 는 -0.3~-0.7V범위에서 그리고 V_{d2} 는 0~1V범위에서 가장 높은 g_{m1} 값을 가짐을 확인하였다. 주어진 범의는 최적화 과정을 통해서 게이트2 전압 V_{d2} 는0.2V,그리고 게이트1의 V_{d1} 은 -0.4V로 결정하였다. 믹서단에서의 LO(Local Oscillator) 주파수는 5GHz, RF신호는 6~6.5GHz을 선택하였고, 이때 발생하게 되는 이미지 주파수대역(Image Band)은 3.5GHz~4GHz로 선택된다. 주어진 주파수에 대한 모의실험 회로는 그림6 와 같이 구성되게 되며, 발진,믹서 그리고 이미지 제거 특성을 분석하기위해서 Agilent사에서 제공하는 ADS의 하모닉발란스법을 이용하였다. 그 결과는 그림6과 같이 5GHz 발진주파수의 위상잡음은 -117dBc/100KHz을 얻었으며, 입력되는 RF대역에 대한 IF 신호 출력전력과 입력되는 Image 대역에 대한 Image 신호의 출력 전력을 분석한 결과는 그림7과 같이 약 -32dBc 이상의 이미지 제거 특성을 보였으며 약 1.7dB의 변환이득(Conversion Gain)을 얻을수 있었다.

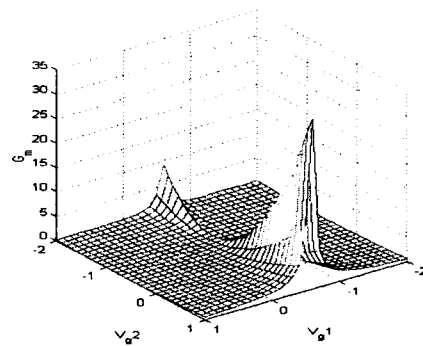


그림5. V_{d1} 과 V_{d2} 의 변화에 의한

g_m 의 변화 곡선

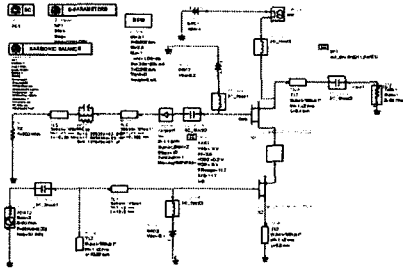


그림6. 이미지 제거를 위한 Dual-Gate FET 자기발진믹서의 회로도

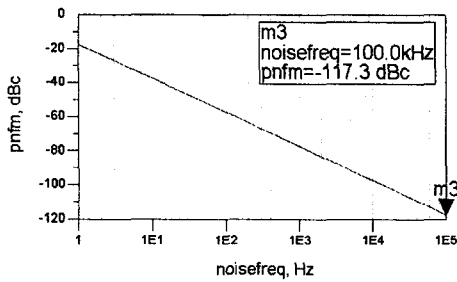


그림7. Dual-Gate FET 자기발진믹서의 위상잡음 모의실험결과

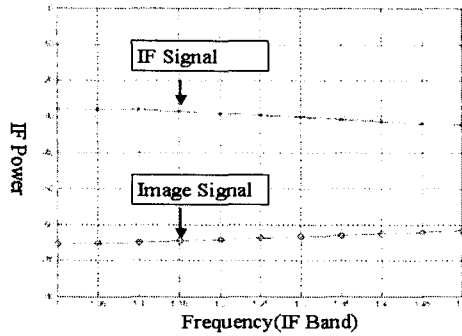


그림8. Dual-Gate FETs 자기발진믹서의 이미지 제거 모의실험 결과

서를 설계하였다. 모의실험 결과 약-32dBc의 이미지 제거 특성을 보였다. SOM(Self Oscillator Mixer)의 Phase Noise -117dBc/ 100kHz, 이미지 성분을 고려한 자기발진믹서의 변환이득 1.7dB 보였다. 위와 같은 데이터로 Dual-Gate FETs가 이미지 제거 특성을 가짐을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] Behzad Razavi, "RF Micro electronics"
- [3] Stephen A. Maas, " Nonlinear Microwave Circuits", Artech House 1988.
- [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] 심재우, 이영철, "Cascode형 자기발진믹서를 이용한 마이크로파 다운컨버터단의 이미지 제거 분석" 2001년 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집 제24권 제2호.
- [6] Stephen A.Maas, "Microwave Mixers", Artech House.
- [7] Ulun Karacagolu, Ian D.Robertson, "MMIC Active Bandpass Filter Using Varactor Tuned Negative Resistance Elements", IEEE MTT. Vol 43, No 12 December 1995.
- [8] Yong-Ho Cho, Song-Cheol Hong, Young -Sek won, "A low=Power Monolithic GaAs FET Bandpass Filter on Negative Resistance Technique ", IEEE Microwave and Guided Wave letters, Vol. 8 No. 4, April, 1988.

IV. 결론

본 논문은 Dual-Gate FETs의 이미지 제거 특성을 분석 하기위해서, 소자의 바이어스점에 따른 비선형 특성중 자기발진믹서점을 이용한 이미지 제거 특성을 가지는 Dual-Gate FETs 자기발진믹