

저 잡음 CPW PHEMT MMIC Ka-band 능동 병렬 되먹임 발진기 설계 및 제작

정희원 김년태*, 김대현*, 조현우*, 권영우*, 서광석*

Low Phase Noise CPW PHEMT MMIC Ka-band Oscillator using Active Parallel Feedback

Nyuntae Kim*, Dae-Hyun Kim*, Hyun-Woo Cho*, Youngwoo Kwon* and Kwand-Seok Seo*

Regular Members

요 약

서울대학교 pHEMT MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 공정을 이용하여 저 위상잡음 Ka-band CPW 능동평형(active_parallel) 되먹임 발진기를 설계후 제작하였다. 능동평형발진기는 발진주파수에서 한파장에 해당하는 되먹임 경로의 삽입으로 위상잡김 특성과 넓은 주파수 대역에서의 부성저항으로 설계의 용이성과 위상잡음 개선 특성을 얻었다. 제작된 능동평형되먹임 발진기는 27.3GHz 발진주파수에서 최대출력전력 5.2dBm에 1MHz, 100kHz offset 주파수에서 각각 -112dBc/Hz, -82dBc/Hz의 위상잡음특성을 보였다. 본 연구에서 제시된 발진기는 고주파에서 높은 Q-factor를 갖는 외부 공진기와 MMIC 회로와의 집적 어려움을 대체할 가능성을 보여준다.

ABSTRACT

Low phase noise CPW oscillator using active parallel feedback was designed and fabricated by SNU pHEMT process. The phase locking characteristic and broadband negative resistance of active parallel feedback oscillator can reduce phase noise without high Q resonator. The measured results showed the phase noise characteristics of -112, -82dBc/Hz @1MHz, 100kHz offset frequency respectively with center frequency 27.3GHz and 5.2dBm maximum output power for the active parallel feedback oscillator. This results shows another possibility to reduce phase noise without external high Q-factor resonator.

I. 서론

최근 들어 무선통신 시장의 급속한 확대로 무선 송수신 시스템 연구에 대한 요구가 갈수록 증가하고 있으며 관심 및 투자가 꾸준히 이루어지고 있다. 더불어 주파수 자원의 한계로 인한 새로운 주파수 대역에 대한 요구가 늘어남에 따라 Ka-band(26~40 GHz) 이상 대역에서의 상용 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

특히 발진기에 대한 연구는 매우 다양하게 전개

되고 있는데, 발진기에 있어서 위상잡음은 이러한 전송 시스템에서 송수신 되는 신호의 BER에 직접적인 영향을 주게 되므로 시스템의 전체적인 크기와 집적의 어려움을 감수하고서라도 높은 Q-factor를 갖는 공진기를 사용하거나 주파수 체배 등의 방법으로 위상잡음특성을 개선시키고자 하게된다. 하지만 주파수가 높아질수록 이러한 공진기의 제작 및 집적이 매우 어려워 지고 주파수 체배역시 위상잡음 특성이 체배되는 비에따라 감소하게 되므로 상용화의 현실성이 떨어진다 할 수 있다.

본 연구에서는 스스로 위상 잡김 특성이 있는

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부

논문번호: 00401-1016, 접수일자: 2000년 10월 16일

※ 본 논문은 과학기술부가 지원하는 국가지정 연구실사업 과제를 수행한 연구 결과입니다.

능동평형 되먹임 회로를 이용하여 별도의 공진기를 갖지 않고도 우수한 위상잡음 특성을 갖는 발진기를 구현하고 더 높은 주파수 대역에서 새로운 신호 발생기로서의 가능성을 점검해 보았다.^{[1][2]}

II. 본론

1. 발진기의 설계

1.1. 능동평형 되먹임 발진기

Gate width 100 μm (2 \times 50)인 pHEMT를 그림1과 같은 구조로 연결하여 능동평형 되먹임 발진기를 설계하였다. Coupler, 저항과 커패시터, 저항과 인덕터를 이용한 되먹임 구조에서는 출력쪽의 신호가 게이트에 되먹임될 뿐만 아니라 게이트에 존재하는 신호가 출력쪽의 신호에 영향을 주게되므로 MAG가 작은 높은 주파수 대역에서는 평형 되먹임 구조로 적합하지 못하다. 능동 되먹임 구조를 사용하면 능동소자의 특성상 드레인 단의 신호는 상대적으로 적은 양만이 게이트 단에 영향을 주게되므로 발진기 제작에 있어 보다 용이하고 안정적인 회로를 구성할 수 있다.

능동 소자를 통한 평형 되먹임 회로는 되먹임 신호가 발진 소자의 게이트로 증폭되어 입력되므로 발진신호의 출력전력을 크게하는 장점이 있다. 또한 되먹임 고리의 전체 길이가 발진주파수의 파장이 되게 설계함으로써 상대적으로 넓은 대역에서 부성저항을 얻는 동시에 위상잡음 특성을 향상시킬 수 있다.^[3] 이는 조절회로를 삽입하면 넓은 대역에서 안정적인 동작을 하는 전압조정 발진기의 역할과 저 위상잡음 특성을 가질 수 있음을 의미한다.

발진기의 설계시 CPW 불연속성(discontinuity)을 고려하기 위하여 일반적인 Libra Library를 사용하지 않고 독일의 IMST사가 제공한 Coplan Library를 사용하여 step, cross, airbridge에 대한 S-parameter를 파일로 저장하여 Libra의 Linera data-file library에 s2p 파일로 변환하여 역시 Libra에 포함된 SNU_FET 사용자 정의 모델을 이용한 능동부분과 결합하였다. 발진기 설계를 위해서 식 (1),(2)가 성립하도록 Libra Linear_test bench에서 소신호 simulation을 수행하여 드레인단에서 바라본 임피던스를 결정하였다.

$$|R_{out}| \geq 3|R_L| \quad \text{식 (1)}$$

$$X_{out} + X_L = 0 \quad \text{식 (2)}$$

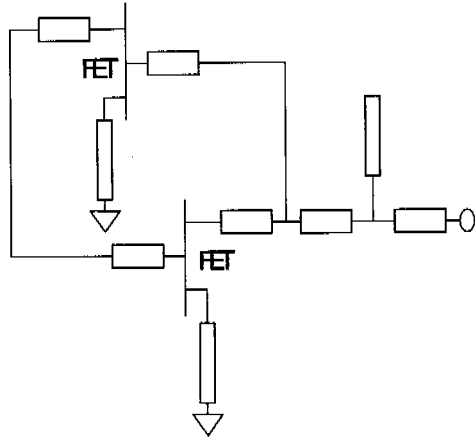


그림 1. 능동평형 되먹임 발진기 개략도

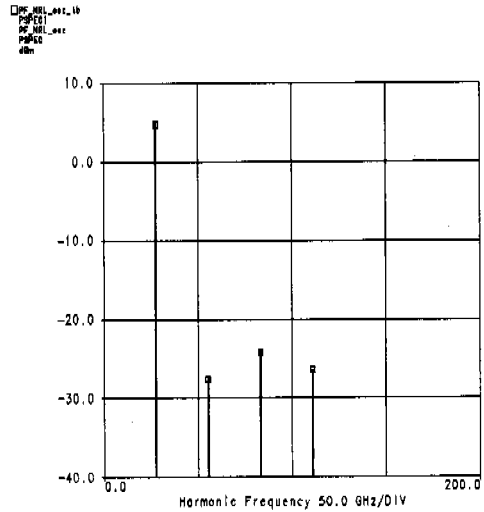


그림 2. Pspec 모의 실험치

R_{out} 은 드레인단에서 능동소자쪽을 바라본 임피던스의 실수부이고 X_{out} 은 허수부이며, R_L 은 드레인단에서 부하쪽을 바라본 임피던스의 실수부이고 X_L 은 허수부이다. 선형설계 이후 Libra OSC_test bench를 이용하여 Harmonic Balance simulation을 수행하였다.

그림 2는 설계된 회로를 Libra OSC_test bench에서 모의실험한 주파수대역에서의 출력전력 분포를 보여준다. 모의실험결과로부터 고조파 성분의 출력전력이 높은수준으로 억압되었음을 알 수 있다.

이는 고조파 성분을 억제하기 위해 설계시 부하선 특성을 고찰하거나 반사증폭기 모의 실험을 하지 않아도 일정이상의 고조파성분을 제거할 수 있

음을 의미한다.

2. 발진기 layout 및 제작

그림 3은 제작된 발진기 회로의 사진이다.

회로의 크기는 2.5x1.5 mm²이다. 발진기의 layout 시 되먹임 하는 부분의 접지 영역을 설계기준치 이상 확보하기 위하여 설계와 layout을 여러 번 반복 수정하여 완성하였다. 제작공정은 서울대학교 CPW MMIC PHEMT 공정을 이용하였다. standard CPW MMIC 공정은 다음과 같이 구성된다. 첫 공정은 active device 영역을 정의한다. MESA 공정을 이용해 Active 영역과 isolation하는데 PR patterning 후 H2PO3와 H2O2, DI water 혼합액으로 etching 하는 방법을 사용한다. 다음으로 Pt/AuGe/Ni layer 를 이용하여 active 영역의 ohmic을 형성하고 NiCr 을 비저항이 20ohm/sq 정도가 되도록 evaporation 하여 저항을 형성한다. gate를 형성하기 위한 recess 공정은 wide recess와 narrow recess로 구성된다. recess 공정은 e-beam을 이용하여 patterning하게 되는데, narrow recess 의 경우 0.25um gate length를 갖도록 patterning한 후 selective dry etching을 하게 된다. 다음으로 RPECVD를 사용하여 SiN를 증착하여 passivation layer와 MIM의 dielectric으로 사용한다. contact 부분 형성은 opening 하기 위해 Si3N4 etching을 하게된다. 평면적으로 바로 연결될 수 없는 부분은 air-bridge를 형성한다. 마지막으로 top metal layer 공정을 실시하여 MMIC 공정을 완료한다.

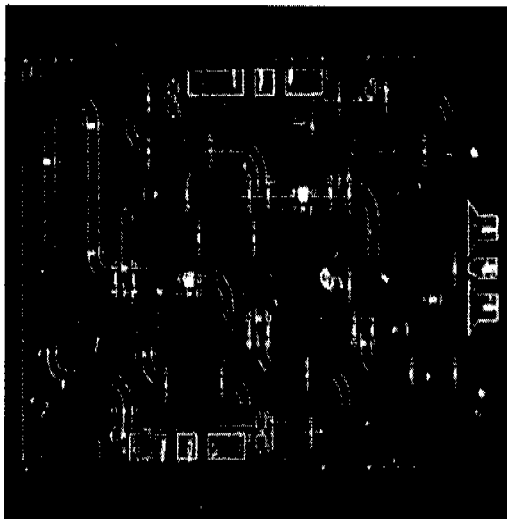


그림 3. 제작된 능동평형 되먹임 발진기 사진

3. 발진기의 측정

능동평형 되먹임 발진기는 되먹임 되는 신호가 동위상으로 합쳐지므로 출력전력을 크게하는 장점이 있다. 이는 그림 4.에 잘 나타나 있는데, 게이트 전압이 일정할 때 드레인 전압에 거의 무관하게 비교적 일정한 출력전력을 유지함을 알 수 있다. 최대 출력전력은 동작 전압범위에서 최소 3.7dBm, 최대 5.2dBm으로 1.5dBm의 범위내에서 안정적인 동작을 보여준다. 특히 게이트와 소스간의 전압이 -0.2V 인 경우에는 5 ~ 5.2dBm의 출력전력 분포를 나타내고 있다. 이는 매우 안정적인 동작영역으로 위상잡음 특성 역시 이러한 전압분포대역에서 매우 우수하리라 예측할 수 있다. 측정된 발진기의 위상잡음 특성은 그림 5에서 볼 수 있다. 바이어스 전압은 되먹임 소자의 게이트에는 전압제어가 없이 발진 소자의 게이트에 -0.3V, 드레인에는 각각 되먹임 소자 1.34V, 발진소자 3.7V의 전압을 인가하였다. 설계시 발진소자의 드레인 전압은 3V에서 안정적인 동작을 하였으나 실제로는 3.3V부터 4.5V까지 발진하였다. 이는 되먹임소자의 드레인 전류가 1.34V에서 25mA 정도로 게이트 전압 제어가 없어 소자의 동작전압에 따른 특성 모델링 값의 변화가 주원인으로 판단된다.

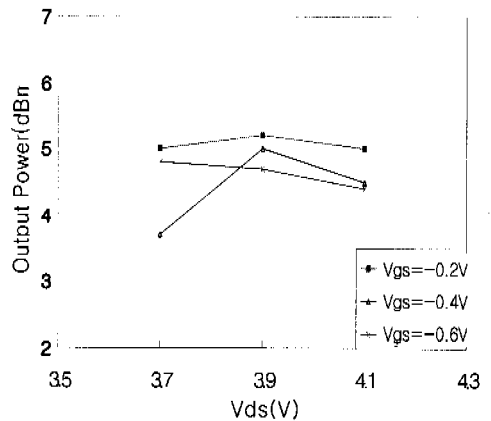


그림 4. 게이트,드레인 전압에 따른 출력 전력

최대출력 및 최대 위상잡음 특성은 되먹임 소자의 드레인에 1.34V, 발진소자의 게이트 전압이 100kHz offset에서는 -0.3V, 1MHz offset 에서는 -0.6V, 드레인 전압이 3.7V 일 때였다. 중심주파수는 각각 27.2702GHz, 27.272GHz이고, 출력전력은 측정선로의 손실을 보상하여 5.2dBm, 5dBm의 특

성을 보였다. 위상잡음 특성은 드레인 전압 3.3V일 때 1MHz offset 주파수와 100kHz offset 주파수에서 각각 -112dBc/Hz, -82dBc/Hz의 우수한 특성을 보였다. 또한 드레인 전압 3.5V ~ 4.5V 사이에서 게이트 전압이 -0.1V부터 -0.7V 까지 변할 때 출력 전력은 약 1.3dBm, 발진주파수 변화는 300MHz 내의 매우 안정적인 발진 특성을 보였다.^[4]

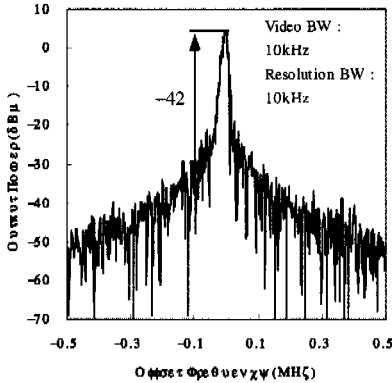


그림 5. (a) 1MHz Span에서 출력전력 분포도

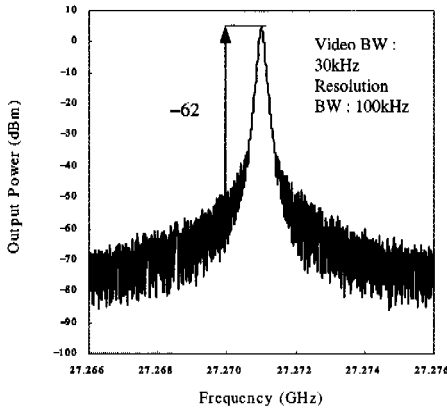


그림 6. (b) 10MHz Span에서 출력전력 분포도

II. 결론

Via hole 공정이 필요 없어 비교적 저가의 CPW MMIC 공정을 이용하여 능동평형 피먹임 발진기를 설계, 제작 및 측정하였다. 제작된 발진기는 발진주파수 27.3GHz에서 공진기를 갖지 않는 발진기로서 매우 우수한 특성인 1MHz, 100kHz offset 주파수에서 각각 -112dBc/Hz, -82dBc/Hz의 위상잡음 특성을 보였다. 공진기의 제작 및 회로에의 집적이 어

려운 고주파에서 새로운 신호발생기로서의 가능성을 제시하였다.

알림

본 논문은 과학기술부가 지원하는 국가지정 연구실사업 과제를 수행한 연구 결과입니다.

참고 문헌

- [1] D. Bosch, M.Gawronski, Alliant Techsystems, "A Compact Ka-band MMIC Voltage Controlled Oscillator: Comparison of MESFET and HEMT Implementations," IEEE MTT-S Digest, pp. 827-829, 1991.
- [2] 전상근, 윤양훈, 권영우, "유전체 공진 발진기의 위상잡음 해석 및 최적화 설계", 한국 통신 학회 논문지, 제24권 11호, pp.2119-2126, 11, 1999
- [3] j.Geddes, "Monolithic GaAs MM-Wave Transceiver Chip Set for FMCW Radar Applications", GoMAC Conference, pp. 355-358, 1990
- [4] Youngwoo Kwon, Changyul Cheon, Nyuntae Kim, Chungwoo Kim, Insang Song, Cimoo Song, "A Ka-band MMIC Oscillator Stabilized with a Micromachined Cavity", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol.9 Issue: 9, pp.360-362, Sept. 1999

김 년 태(Nyuntae Kim)

준회원



1998년 8월: 서울대학교

전기공학부 학사

2001년 2월: 서울대학교

전기컴퓨터 공학부 석사

2001년 3월~현재: BTTKorea

선임연구원

<주관심 분야> 초고속 광통신, 밀리미터파 대역 MMIC 회로 설계

김 홍 득(Hongdeuk Kim)

정회원



1991년 2월 : 부산대학교
전자공학과 학사
1993년 2월 : 한국과학기술원
전기 전자공학과 석사
1993년 3월 ~현재 : LG종합기술원
선임 연구원

1998년 3월~현재 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부
박사 과정 재학

<주관심 분야> MMIC 설계, RF MEMS, 저위상잡음
발진기

김 대 현(Dae-Hyun Kim)

1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
2000년 3월~현재 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
박사과정

1999년 5월~현재 : 서울대학교 반도체 공동연구소
식각 조교

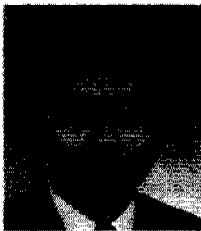
<주관심 분야> GaAs P-HEMT MMIC 설계 및 제작

조 현 우(Hyun-Woo Cho)

1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 학사
2001년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 석사
2010년 3월~현재 : ETRI 선임연구원
<주관심 분야> GaAs pHEMT MMIC 제작, GaAs
소자의 passivation & reliability 연구

권 영 우(Youngwoo Kwon)

정회원



1988년 2월 : 서울대학교
전자공학과 학사
1990년 : University of Michigan
M.S.E.E
1994년 : University of Michigan
Ph.D

1994년~1996년 : Rockwell International Science
Center, MTS

1996년~현재 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 조교수
<주관심 분야> MMIC 설계, 밀리미터파 회로 및 시
스템, 능동소자 모델링, RF MEMS

서 광 석(Kwang-seok Seo)

1972년 3월~1976년 2월 : 서울대학교 전자공학과
학사

1976년 3월~1978년 2월 : 한국과학기술원 석사

1978년 3월~1982년 8월 : 한국전자기술 연구소 선
임연구원

1983년 3월~1987년 2월 : Univ. of Michigan Ph.D

1987년 2월~1989년 2월 : IBM T. J. Watson 연구
소 연구원

1989년 3월~1992년 2월 : 서울대학교 전기공학부
조교수

1992년 3월~1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부
부교수

1999년 3월~현재 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
교수

<주관심 분야> 화합물 반도체 GaAs 전이소자 및
MMIC의 설계와 제작