

Ka-Band용 MMIC VCO의 설계 및 제작

Ka-Band MMIC VCO Design and its Fabrication

金完植*, 康徐***, 姜大賢***, 鄭成一**, 李載喆*, 李鍾岳***

Wan-sik Kim*, Seo Kang***, Dae-hyun Kang***, Seong-il Jeong**,

Jae-cheul Lee*, Jong-arc Lee***

요약

소형화, 집적화된 Ka-band용 MMIC VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 설계 및 제작하였다. Clapp-Gouriet 형 오실레이션 방식을 이용하여 VCO를 직접 설계 및 제작하였고, 또한 이를 별도로 제작한 Alumina 기판과 함께 Carrier 위에서 조립 후 모듈화하였다. 결과적으로 MMIC로 구성된 Ka-band의 VCO 모듈은 출력 10dBm, Bandwidth 400MHz, phase noise -90dBc/Hz@1MHz까지의 성능을 보이면서 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

Abstract

A small and integrated MMIC VCO(Voltage Controlled Oscillator) at Ka-band has been developed. This oscillator was designed as Clapp-Gouriet type scheme, fabricated, and implemented on the carrier. This was connected to an alumina substrate on the carrier providing output port for module, utilizing ribbon and wire bonding technique allowing the loss of 0.2dB. This VCO module showed the excellent performance.

Key Word : MMIC, VCO Module, Ka-Band, Small Size, Radar

1. 서론

최근 Ka-Band용 무선 통신시스템을 목적으로 집적화된 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) VCO의 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 소형 레이더 등에서 RF 송수신 모듈의 일부분으로 집적화된 VCO의 사용이 필수적이라고 할 수 있다.

MMIC의 설계에서 중요한 요소는 낮은 위상 잡음, 인가 전압 대비 우수한 선형 주파수 특성, 출력 전력 그리고 일정 가변 대역폭이다.

본 논문에서 설계한 VCO는 고전력 및 넓은 대역의 주파수 가변이 가능한 Clapp 형 공진기 구조를 직렬 피드백하여 발진을 하도록 설계하였으며 발진 주파수 35GHz, 출력 전력 10dBm이상, 발진가변 범위

*高等技術研究員,
**안 소프트 코리아,
***建國大學校 電子情報通信 大學
(School of Electrical Eng. Konkuk Univ.)

※이 논문은 2002년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임"

接受日:2003年 8月 18日, 修正完了日:2003年 11月 17日

500MHz 이상, Phase Noise가 -100dBc/Hz @1MHz인 VCO를 설계 목표로 하여 제작하였다. 개발된 VCO는 밀리미터파를 이용하는 무선 통신시스템과 레이더 [1][2] 및 고도계, 차량 충돌 방지 센서[3]와 같이 표적의 감지 환경이 열악한 근거리 탐색 분야 등에 적합하다.

II. 본 론

2.1. VCO의 설계

발진기는 피드백 회로로 설명되는데 지속적인 발진이 유지되기 위해서는 루프 이득의 크기가 1이 되어야 하고, 루프를 둘러싸는 위상차는 0이 되어야 한다.

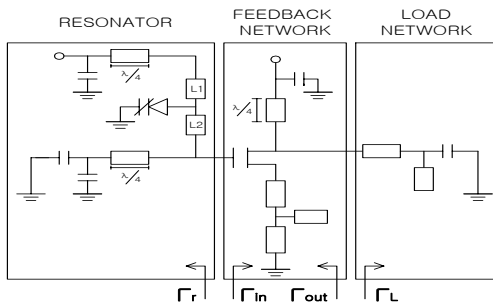


그림 2-1. 발진기 회로
Fig. 2-1. Oscillation Circuit

발진주파수를 안정화하기 위해 LC-탱크가 포함되며, 이러한 발진기 토폴로지의 기본적인 형태는 그림 2-1에 보여지는 Clapp-Gouriet형 발진기이다.[4] 발진기의 기본 개념은 인덕터와 커패시터의 병렬로 탱크가 구성되며, 발진이 일어나는 순간에 탱크의 임피던스는 실수 값을 가지며 전류와 전압간 위상차는 0이다.

바이어스 조건은 $V_{dd}=3V$ ($I_d=24.25mA$), $V_{gg}=-0.1V$ 로 하였고, 발진 주파수에 대하여 최대 출력을 낼 수 있는 부하 임피던스를 갖도록 하였다..

S11이 1보다 크면 발진이 일어나지만, 1보다 작은 경우에는 $|\Gamma_{in}| > 1$ 이 되도록 하기 위하여 FET Source 단에 Open Stub를 달고, 적절한 부성 저항을 가지도록 약 0.5nH 피드백 인덕터를 소스에 연결하여 스텐브의 길이를 정했다. 결과적으로 그림 2-2에서와 같이 S11이 $-1.813+j0.937$ 로 실수의 절대 값이 1보다 크게 스미

스차트에 나타내었다.[5][6] 그림 2-3는 최적화된 발진 조건을 갖는 발진기의 시뮬레이션 회로도이다. 공진부 회로에서는 원하는 주파수 대역에서 발진하기 위한 인덕터 값을 결정하여야 한다. 공진부와 발진부가 공진하기 위한 조건은 $X_L(\omega) = -X_{IN}(\omega)$ 이며, 35GHz에서 발진하기 위한 Inductance 값은 $L1 = 0.367$ nH이다. 동일한 방법으로 구한 $L2 = 0.308$ nH이다.

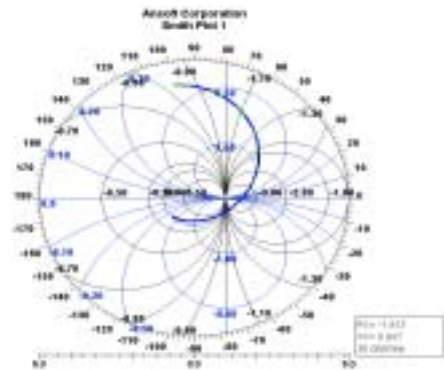


그림 2-2. VCO의 반사계수
Fig. 2-2. Reflection coefficient of VCO



그림 2-3. VCO 회로도
Fig. 2-3. Circuit of VCO

그림 2-4는 시뮬레이션 결과로 나타난 출력 임피던스 특성이다. 발진 주파수 대역 35GHz에서 임피던스의 실수 값이 음수이고, 허수 값은 0이 되어 발진 조건을 만족함을 알 수 있다.

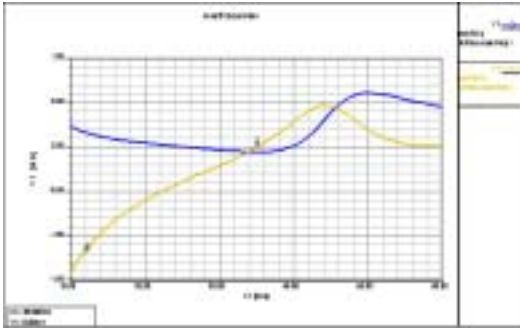


그림 2-4. 최적화된 발진기의 출력 임피던스
Fig. 2-4. Output impedance of optimized oscillator

상기와 같이 설계 및 시뮬레이션 결과로서 VCO의 특성을 그림 2-5는 나타내는데 DC 바이어스 인가 조건 $V_{dd}=3V(I_d=24.25mA)$, $V_{gg}=-0.1V$ 에서 중심 주파수 34.74GHz가 발진되었고, 또한 목표인 10dBm을 확인할 수 있었다. 그리고 제2차 고조파 억압 특성은 약 -30dBc 이상의 우수한 특성을 보였다.

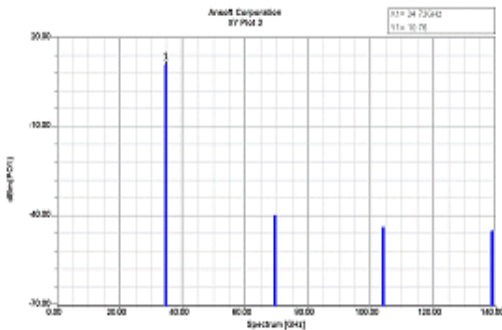


그림 2-5. VCO의 발진 주파수 특성
Fig. 2-5. Oscillation frequency characteristic of VCO

또 그림 2-6은 varactor의 조절전압 4~10V 사이에서 설계된 회로가 발진주파수 대역이 34.3GHz에서 35.8GHz까지이고, 출력전력은 9.77~10.9 dBm 범위에서 출력되도록 설계되었다. Phase noise는 목표 설계인 1MHz 주파수 offset에서 -100dBc/Hz이하임을 확인할 수 있다.

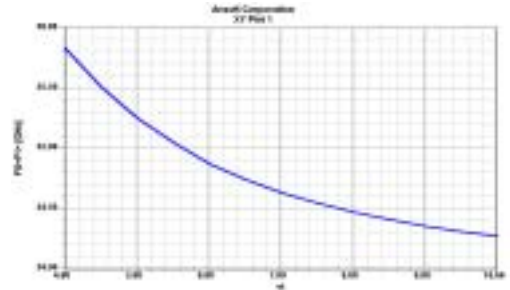


그림 2-6. Varactor 전압에 따른 주파수 변화
Fig. 2-6. Frequency variation with varactor voltage

그림 2-7은 설계된 회로의 스키메틱을 보여준다. 제작은 미국 TRW사의 게이트 길이 0.15um PHEMT 공정을 사용하였다.

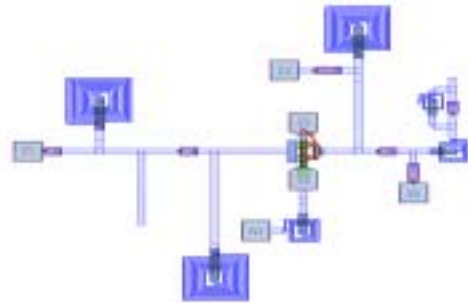


그림 2-7. 설계된 MMIC Chip의 스키메틱
Fig 2-7. The schematic of designed MMIC Chip

2.2. VCO 모듈의 제작 및 실험 결과

1) 모듈의 조립



그림 2-8. 제작된 VCO 모듈
(크기=12(L)x15(W)x5(H)mm)
Fig. 2-8. Assembled VCO Module

VCO 모듈은 그림 2-8에서와 같이 우선 kovar 재질을 이용한 캐리어를 사용하였는데 VCO용 MMIC의 출력단에는 50 ohm 알루미늄 기판을 사용하였으며 VCO를 50ohm 종단시키기 위하여 50 ohm terminator를 $t=10\text{mil}$, $\epsilon_r=9.8$ 인 알루미늄 기판으로 설계하고 thinfilm 기법을 이용하여 제작하였다. 또한 VCO의 출력단에 20dB 이상의 격리도 특성을 나타내는 isolator를 사용하여 VCO에 대한 반사파의 영향을 최소화하였다. 또 각각의 부품 간에는 0.7 mil 두께의 와이어 본딩으로 제작하여 밀리미터와의 전력 전달시의 손실을 최소화하였다.

2) 실험 결과

VCO는 바이어스 조건에서 발진 주파수 35.08 GHz, 출력 11dBm으로 설계시와 비교시 그림 2-9와 같이 각각 35.1GHz, 10.4dBm으로 매우 유사한 결과를 측정할 수 있었다.

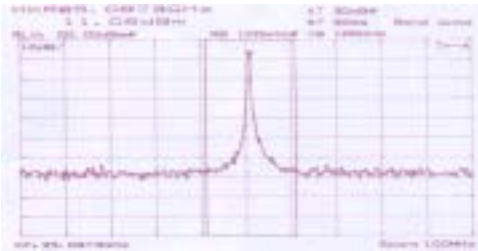


그림 2-9. 발진주파수 특성
Fig. 2-9. characteristic of oscillation frequency

그림 2-10은 Varactor 가변 범위 3~8V를 가변시켜 출력 주파수 변화는 35GHz~35.38Ghz까지 변화 하였고, 출력 전력은 9.5dB에서 11.5dB까지 변화하는 특성을 가짐을 확인하였다.

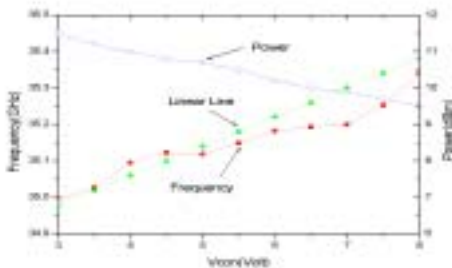


그림 2-10. 가변전압에 따른 주파수 및 출력 특성
Fig. 2-10. Frequency and power characteristic with tuning voltage

Phase noise 그림 2-11와 같이 -90dBc/Hz @1MHz 인 특성을 확인하여 설계목표 -100dBc/Hz에 근접하는 우수한 Phase Noise 특성을 가짐을 확인하였다.

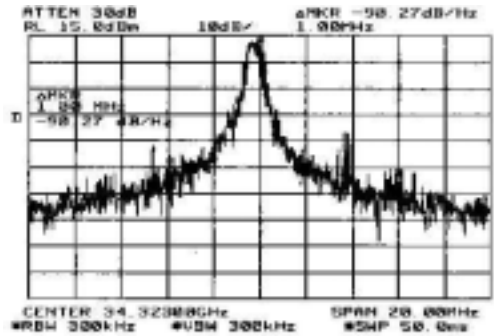


그림 2-11. Phase noise 측정 결과
Fig. 2-11. Test result of phase noise

시스템 제작 공정에서 송수신단의 MMIC는 각각 별도의 캐리어를 사용하되 0.7과 1mil gold 와이어 본딩 및 5mil 또는 10mil 리본 본딩을 사용하였다. 또 캐리어 내의 제작 공정에서는 재작업의 편리를 위하여 eutectic 본딩 작업을 하였고 캐리어 이외의 제작 공정에서는 epoxy 본딩을 사용하여 제작하였다. 공정 과정에서 길이에 따른 미세한 제작 오차는 시스템 특성에 영향을 미치므로 정확한 작업이 요구된다.[7].

표1. VCO 모듈의 특성

Table1. Characteristics of VCO module

설계 규격	설계 목표	측정 결과
발진주파수 [GHz]	35	35~35.4
Tuning Band [MHz]	>400	>380
출력전력 [dBm]	>10	9.5~11.5
위상 잡음 [dBc/Hz] @ 1MHz	-100	-90
Harmonics [dBc]	<-30	<-30
공급전압 [V]	3	3
V Tune [V]	4~10	3~8

III. 결 론

본 논문에서는 Ka-band용 MMIC VCO를 설계 및 제작하고 측정하였다. 또 VCO 모듈을 소형화 집적화된 크기로 제작하였는데 집적화된 크기로 설계하기 위하여 MMIC VCO를 캐리어에 실장하고 모듈내에서 0.2dB이내의 삽입 손실 값을 갖는 리본과 와이어 본딩 기법을 이용하여 직접 연결시키는 공정 방법으로 소형화를 가능하게 하였다.

2*3mm의 크기로 설계된 MMIC를 측정된 결과로 주파수 35GHz, 가변 범위 400MHz 이상 그리고 출력 전력은 9~10dBm으로 설계요구 규격을 만족하였고, 다만 위상 잡음은 1MHz 오프셋에서 -90dBc /Hz를 얻었는데 이는 목표 규격 -100dBc/Hz보다는 잡음이 높지만 근사한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제시된 VCO는 향후 레이다, 차량 충돌 방지 시스템 및 소형, 저가의 통신시스템에 폭 넓게 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) S.A. Hovanesian "Radar System Design and Analysis", 1984
- (2) Merrill I. Skolnik "Radar Handbook (2nd Ed)", McGraw-Hill Book Co, 1990
- (3) T.Takehana, H.Iwamoto, T.Skamoto, and T.Nogami. "Millimeter-Wave radars for Automotive Use," SAE technical Paper Series Convergnce "88,1988
- (4) George D. Vendelin "Design of amplifiers and Oscillators by the S-parameter method"
- (5) Thomas A. Midfod "The Evolution of Package for Monolithic Microwave and Millimeter-Wave Circuits"
- (5) Gonzales "Microwave Transistor mplifiers Analysis and Design"
- (6) Minoru Maeda, katsuhiro Kimura, Hiroshi Kodera, "Design and Performance of X-Band Oscillator with GaAs Schottky-Gate Field-Effect Transistor" IEEE

Trans. Microwave Theory Tech., vol MTT-23, no. 8, pp 661-667, 1975,8

(7) Thomas A. Midfod "The Evolution of Package for Monolithic Microwave and Millimeter-Wave Circuits"

저 자 소 개

金 完 植 (學生會員)



1991년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 건국대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 1992년~2002년: 대우전자 선임연구원.

2002년~현재: 고등기술연구원 선임연구원

[주 관심분야] 밀리미터파 시스템, 레이다 및 MMIC

康 徐 (學生會員)



2002년 2월: 원광대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 현재: 건국대학교 전자공학과 석사 과정

[주 관심분야] 안테나, 마이크로파

姜 大 賢 (學生會員)



2001년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)

[주 관심분야] 마이크로웨이브 능동회로, 발진회로

鄭 成 一 (正會員)



1994년 2월: 건국대학교 물리학과
이학사)

1996년 2월: 건국대학교 전자공학과
(공학석사)

2003년 2월: 건국대학교 전자
정보통신공학과 (공학박사)

1999년 7월~현재: 안 소프트 코리아 근무

[주 관심분야] Power Amplifier, Antenna, RFIC

李 載 喆 (正會員)



1997년 2월: University of UC
Rochester (이학박사)

1982년 1월~2000년 12월:

대우종합기계 수석연구원

2001년 1월~현재: 고등기술연구원
연구위원

[주관심분야] 광섬유센서, 레이저, Microwave/
mmWave 시스템

李 鍾 岳 (正會員)



1966년 2월: 한양대학교 전기공학과
(공학사)

1970년 2월: 연세대학교 전기공학과
(공학석사)

1974년 2월: 연세대학교 전기공학과
(공학박사)

1978년 3월~현재: 건국대학교 전자 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] RF 소자 및 회로분석