

VCO 공진부의 Q-factor 특성향상에 관한 연구

이현종*, 김인성, 민복기, 송재성

한국전기연구원 전자기연구소자그룹

A study on the improvement in Q-factor characteristics of VCO resonance part

Hyun-Jong Lee*, In-Sung Kim, Bok-Gi Min, Iae-Sung Song

Electric & Magnetic Devices Group, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - VCO(voltage controlled oscillator) using mobile communication device decides direct characteristics as parts that affect important in stable oscillation and distortion characteristics of system. VCO used 900 MHz band was designed by the transformation of Colpitts circuit form use ADS that consider Q-factor to minimize phase noise. VCO manufactured together evaluation board and voltage control oscillator to FR-4 PCB. VCO experimented characteristics after control through resonance department tuning. In our research, the designed VCO has 15.5 dBm output level at the bias condition of 6V and 10mA and the operating frequency range of 917 MHz ~ 937 MHz band. Phase noise is -98.28 dBc/Hz at 1 MHz frequency offset from the carrier.

1. 서 론

이동통신기술이 급속히 발전함에 따라 사용자의 이동성 및 휴대성 보장을 위한 사용 단말기의 크기 및 무게가 줄어들고 있다. 그리고 시장의 성장에 따라 단말기와 기지국 장비에 필요로 하는 부품 수요가 지속적으로 늘어나고 있다. 마이크로파 대역의 제품수요가 증가하고 있기 때문에 예전에는 위상 잡음, 출력 전력, 안정도 및 발진 주파수 등이 발진기의 중요한 특성으로 평가되었으나 최근에는 제품의 가격 절감, 소형화 및 생산성 향상에 관한 관심이 대두되고 있다. 전압제어 발진기는 RF 시스템에서 중요한 부품으로 PLL(Phase Locked Loop)과 함께 사용되고 있으며 전체 시스템의 안정성과 IF 신호의 왜곡특성에 상당한 영향을 미친다. 발진주파수와 출력전력이 불안정하고 일정하지 못하다면 전체 시스템 안정도에 큰 문제를 발생시킬 것이다. 전압제어 발진기에서 요구되는 주요사항은 출력되는 주파수가 일정하지 못하거나 위상의 변화 때문에 발생하는 위상 잡음과 출력전력이다. 특히 발진기는 안정된 발진특성을 갖도록 하는 것이 핵심이다[1].

본 논문에서는 900 MHz 대역에서 사용되는 전압제어 발진기를 Colpitts 형태의 회로를 변형시킨 구조로 ADS를 이용하여 위상 잡음을 최소화하기 위해 Q-factor를 고려한 설계를 하였다. 설계를 기반으로 하여 FR-4 PCB에 evaluation board와 전압제어 발진기를 함께 제작하여 공진부 tuning을 통해 미세 조정한 후 제반 특성을 측정, 실험하였다.

2. 본 론

2.1 VCO 회로 설계

Feedback 회로에 공진부를 삽입하면 공진부에 의해서 선택된 특정 주파수의 신호만 발진된다. 이 공진부에 varactor diode를 사용해서 입력 전압에 따라 공진주파수를 변하게 하여 발진주파수를 가변시킬 수 있도록 한 것이 전압제어 발진기이다. 발진기에서 안정된 발진을 하기 위해서는 공진부의 Q값이 커야 한다[3].

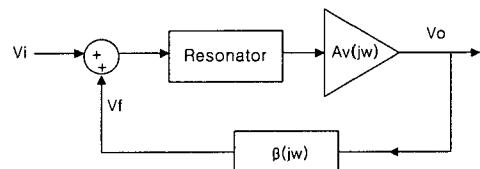


그림 1. 공진기를 가지는 발진기 구조

Fig 1. Oscillator structure using resonator part

본 논문에서 900 MHz대역에서 동작하는 전압제어 발진기를 회로 설계하였다. 표 1에는 설계 사양을 나타내었다. 회로 동작 특성의 분석은 circuit simulation tool인 ADS2002(Advanced Design System)를 사용하였다. 그림 2는 Colpitts형태의 전압제어 발진기 구조에 Emitter 부분을 조금 변형한 전압 제어 발진기의 회로이다.

표 1. 전압제어 발진기의 설계사양

Table 1. Specifications of voltage controlled oscillator

Parameters	Specifications
Frequency	870 ~ 900 MHz
Supply Voltage	6 V
Control Voltage	0 ~ 10 V
Output Level	± 5 dBm
Current	≤ 10 mA
Phase Noise	≤ -105 dBc/Hz@1MHz offset
harmonics	≤ -10 dBc

본 논문에서 전압제어 발진기 설계를 위해서 사용한 트랜ジ스터는 높은 출력 이득과 저잡음 특성을 가지는 필

립스사의 BFG 520W이다. Willtron 37225A Network Analyzer를 사용하여 S 파라미터를 추출하고 ADS2002에서 그 측정값을 이용하였다.

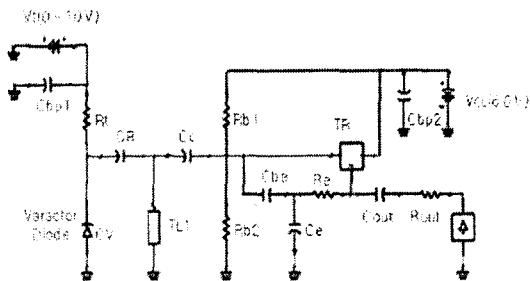


그림 2. 전압제어 발진기의 회로도
Fig. 2. Circuit of voltage controlled oscillator

설계된 VCO 회로의 각 소자의 기능은 다음과 같다. 회로에서 Rb1과 Rb2는 트랜지스터의 동작점을 결정하는 바이어스 전압을 인가하기 위한 바이어스 전압을 인가하기 위한 바이어스 저항이다. 트랜지스터의 base에 적정 전압이 걸리도록 하였고, Re에 의해서 안정화된 Emitter 전류가 흐르게 된다. Re의 값이 너무 크면 트랜지스터에 인가되는 전압이 작아져서 이들이 줄어든다. Cbe와 Ce는 트랜지스터에 부정저항을 만들기 위한 캐페시터이다. Cbe와 Ce 값의 변화는 발진 주파수에도 약간의 영향을 미친다. 발진 주파수에 가장 큰 영향을 미치는 것은 공진부를 구성하고 있는 TL1과 Cr이다. 공진부의 varactor diode는 컨트롤 전압 Vt에 의해 커퍼시턴스를 바꾸어 최종적으로 발진주파수를 가변시킨다. Cbp1과 Cbp2는 바이패스 커퍼시터이다.

2.2 전압제어 발진기 구현 및 특성 실험

전압제어 발진기의 특성을 측정하기 위해 evaluation board와 전압제어 발진기를 함께 제작하였다. 발진특성을 제대로 확인하기 위해서는 스펙트럼 분석기의 출력단자와 특성임피던스가 매칭되어야 한다. 전송선로는 coplanar waveguide 타입으로 특성임피던스를 50옴에 맞추어 설계 제작하여 via hole을 뚫을 필요가 없고 공정상의 이점과 접지의 원활한 분산을 고려하였다. 여기서 유전율은 4.4이고 유전체 두께는 1.53 mm, 도체 두께는 0.035 mm인 FR-4 PCB기판을 사용하였다. 전송선로는 Ansoft Designer Software를 사용하여 설계하고 도면제작은 AutoCAD를 사용하였다. 회로의 패턴은 기생 저항과 공진부 투닝을 고려하여 제작하였다. 기판 제작은 FR-4 PCB에 layout 필름을 올려 먼저 노광을 한다. 그런 다음 기판을 현상하여 패턴이 들어나면 에칭을 시켜 제작하였다. 그림 3은 제작한 전압제어 발진기의 설계도면을 보여주고 그림 4에서는 이를 바탕으로 제작된 전압제어 발진기 및 test board를 보여준다. SMD 소자를 이용하여 회로를 구성하는데 있어 silver paste를 이용하였을 땐 접촉저항이 높아지고 훈들림과 같은 외부적 요인의 영향을 받는 문제가 발생하여 다시 soldering 작업을 통해 소자를 실장하였다. 전압제어 발진기의 특성을 알아보기 위한 측정은 Anritsu MS2667C Spectrum Analyzer를 사용하였다.

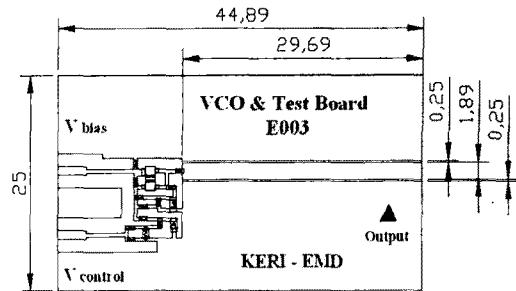


그림 3. 전압제어 발진기의 도면 [단위 : mm]
Fig. 3. Layout of voltage controlled oscillator
[unit : mm]

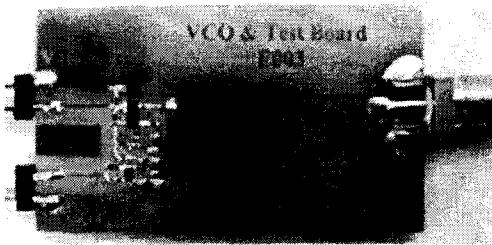


그림 4. 전압제어 발진기의 제작
Fig. 4. Manufacture of voltage controlled oscillator

위상 잡음은 중심주파수의 파워와 offset 주파수만큼 떨어져 있는 잡음 파워의 차이로 전압제어 발진기의 위상 잡음 특성은 다음 식을 이용하여 근사적으로 구할 수가 있다.

$$C/N \approx \frac{FkT}{P_s} \frac{1}{2} \left[\frac{f_c}{f_m^3} \left(\frac{f_o}{2Q_L} \right)^2 + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f_o}{2Q_L} \right)^2 + \frac{f_c}{f_m^2} + 1 \right] \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

그림 5에서 공진부를 약간의 투닝작업을 거쳐 이동시킨 주파수 대역을 나타내었다. 그림 6에서 전압제어 발진기의 하모닉 특성을 나타내었다. 측정 결과 발진 출력은 917 MHz에서 15.5 dBm으로 높은 발진출력 특성이 나왔고 2차 하모닉 출력은 -5.5 dBm, 3차 하모닉 출력은 -6.2 dBm으로 측정되었다. 그림 7에서는 전압 제어에 따른 주파수의 동조 범위를 나타내었다. 제어 전압은 0 V ~ 10 V로 917 MHz ~ 937 MHz로 약 20 MHz의 주파수 동조 범위를 보였다. 1 kHz offset에서 -79 dBc/Hz와 1 MHz offset에서 -98.28 dBc/Hz 위상 잡음 특성을 나타남을 확인하였다. 시뮬레이션 결과와 설계하여 측정한 결과를 비교해 볼 때 전체적으로 다소 차이가 있었다. 제작과 측정에 있어 외부적인 조건과 환경이 아니기에 외부적인 요인에 대해 영향을 받는 것 같으며 계속적인 연구를 통해 개선될 것이다.

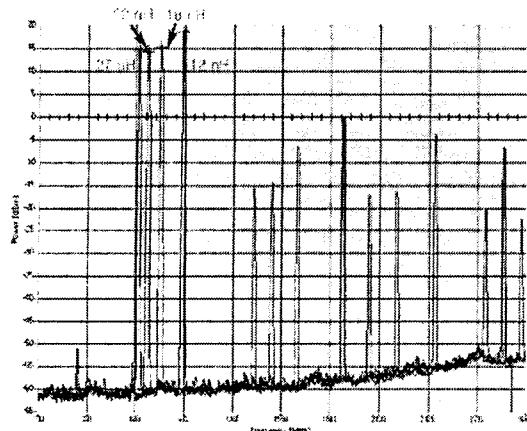


그림 5. 공진부의 투닝

Fig 5. Tuning of resonator part

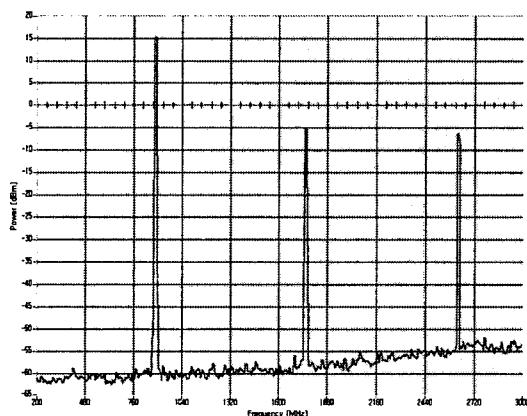


그림 6. 전압제어 발진기의 하모닉 특성

Fig 6. Harmonic characteristics of voltage controlled oscillator

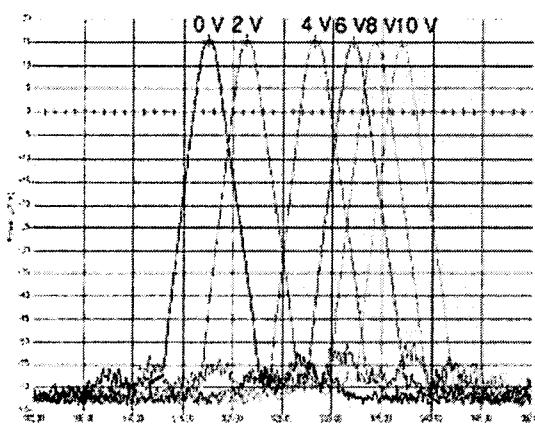


그림 7. 전압제어 발진기의 전압에 의한 투닝 범위

Fig 7. Tuning Range of voltage controlled oscillator by voltage

4. 결 론

900 MHz 대역에서 사용되는 전압제어 발진기를 Colpitts 형태의 회로를 변형시킨 구조로 ADS를 이용하여 위상 잡음을 최소화하기 위하여 Q-factor를 고려하고 설계하여, PCB 기판위에 구현하였으며, 특성을 측정한 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

설계된 전압제어 발진기는 FR-4 PCB에 evaluation board와 전압제어 발진기를 함께 제작하여 공진부 tuning을 통해 미세 조정한 후 제반 특성을 측정, 실험하였다. 917 MHz ~ 937 MHz로 약 20 MHz의 tuning range를 가지며 발진 출력은 917 MHz에서 15.5 dBm으로 높은 발진출력 특성이 나왔고 위상잡음은 10 kHz offset에서 -79 dBc/Hz와 1 MHz offset에서 -98.28 dBc/Hz 특성을 나타남을 확인하였다.

향후 박막 공정을 이용한 전압제어 발진기를 설계 제작하여 더욱 더 높은 안정성을 가지기 위한 연구개발을 하고 비교 분석이 필요할 것 같다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.H. Lee, A. Hajimiri, "Oscillator Phase Noise: A Tutorial," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.35, No. 3, pp. 326~336, March 2000.
- [2] Reinhold Ludwig and Pavel Breckho, "RF Circuit Design", Prentice Hall, 2000.
- [3] R Goyal, "Monolithic Microwave Intergrated Circuits" Technology & Design, Artech House, Inc., 1989
- [4] 염경환, 박동철, 이동 통신용 전압제어 발진기(VCO)의 구성 및 발전 동향, The Electronic Parts & Components Monthly, Jan. 1998.
- [5] Behzad Razavi, "RF Microelectronics", Prentice Hall PTR, 1998.
- [6] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers, analysis and design" Prentice Hall, Inc., 1996.