

유도성 리액턴스 변화를 이용한 VCO의 설계 및 동작 연구

A Design and Performance Investigation of VCO using Inductive Reactance Variation

°오세환* · 서석태* · 구경완* · 이원희** · 허 정**
(°S.H.Oh* · S.T.Seo* · K.W.Koo* · Won-Hui Lee** · Jung Hur**)

Abstract

We designed and fabricated VCO using inductive reactance variation at 2GHz. A varactor diode is one of the main devices in VCO, which varies capacitance depending on reverse voltage. In this paper, a varactor diode is not used as a variable capacitive reactance device but as an inductive device. The circuit design and simulation have been carried out using HP-MDS. The fabricated VCO is measured using the HP 8532B spectrum analyzer and the HP 4352B VCO/PLL analyzer. The experimental result shows the phase noise -110dBc/Hz at a 100kHz offset frequency, the control voltage sensitivity of 23MHz/V and a -3.5dBm output power with a D.C. current consumption of 5.9mA . The simulation and measurements show exact agreement except with regard to the oscillation frequency. The measured oscillation frequency is lower than the simulation result because there is some parasitic inductance in the PCB layout.

Key Words(중요용어) : VCO, varactor diode, capacitive reactance, inductive reactance, phase noise

1. 서론

최근 정보통신 사회로의 급속한 이행과 함께 21세기 고도 정보화 사회에 대응한 이상적인 통신 서비스의 환경 구축 필요성이 더욱 더 증대되고 있다. 더불어 새로운 환경에 대응하고자 하는 세계적인 전자산업의 첨단기술 개발 움직임은 하루가 다르게 엄청난 속도로 변화하고 있다. 또한 1997년 10월부터 PCS 통신서비스가 개시되어 통신시장의 확대는 더욱 더 급속하게 진행되고, IMT-2000, WLL등의 새

로운 통신 시스템의 도입은 통신부품 시장의 확대를 가속화 할 것으로 예상된다. 통신 시스템의 주파수 활용관점에서 과거에는 고정된 주파수를 이용하는 방식이 주류를 이루었으나, 최근 새로운 통신방식에서는 디지털 방식의 주파수 분할 또는 주파수 가변의 개념이 증대되고 있다. 이동통신 시스템에서 사용하는 주파수 가변은 크게 기계적인 방식에 의한 것과 전기적인 방식에 의한 것이 있다. 전기적인 방식에 의한 주파수 가변은 정확한 주파수 선택과 제어 특성으로 인해 현재 거의 모든 이동통신 시스템에 사용하고 있다.

본 논문에서는 배랙터 다이오드를 이용하여 전기적으로 주파수를 가변시킬 수 있는 전압제어 발진기(VCO)를 설계, 제작하였다. VCO(Voltage Controlled Oscillator)는 일반적으로 부성저항을 생성하는 능동 소자단과 발진주파수를 안정시키는 공진단 그리고 부하에 큰 출력이 전달되도록 하는 임피던스 정합단

* 영동대학교 정보전자공학부
** 건국대학교 전자·정보통신공학과
(영동군 영동읍 설계리 산 12-1 영동대학교,
서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교
Fax : 02-3437-5235
E-mail : blue@kkucc.konkuk.ac.kr)

으로 구성된다^{[1],[2]}. 배랙터 다이오드는 공진단의 리액턴스를 변화시켜 공진주파수, 즉 발진주파수를 변화시키는 VCO의 핵심 소자중 하나이다. 일반적으로 배랙터 다이오드는 VCO에서 가변 캐패시티브 리액턴스 소자로 동작하지만, 배랙터 다이오드를 적정 주파수 보다 높은 대역에서 사용하게 되면 소자 내부의 인덕티브 성분이 점차적으로 증가하게 되어, 캐패시티브 리액턴스 소자로서의 특성은 인덕티브 리액턴스 소자로 바뀌게 된다. 이러한 소자 특성을 이용하여 기존의 배랙터 다이오드를 현재는 사용하지 않는 높은 주파수 대역에서 활용하여 VCO를 설계, 제작하였다. 배랙터 다이오드를 가변 인덕티브 리액턴스 소자로 활용하는 설계방법은 배랙터 다이오드의 사용 주파수 대역을 높일 수 있고, 기존 VCO회로에서 가장 큰 영역을 차지했던 공진단 스트립라인의 패턴 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다.

2. VCO의 회로 구성 및 동작

현재 상용화된 일반적인 VCO의 회로 구성을 살펴 보고, 회로를 구성하는 각 소자의 기능과 특징을 알아본다. 회로도도 그림 1과 같다. 저항 R1, R2, R3 및 Re는 트랜지스터 Q1, Q2의 동작점을 결정하는 바이어스 저항이다. 인가된 D.C. 전압은 R1, R2, R3 저항 값에 따라 분배되어 트랜지스터 Q1과 Q2의 베이스에 적정 전압이 걸릴 수 있도록 한다.

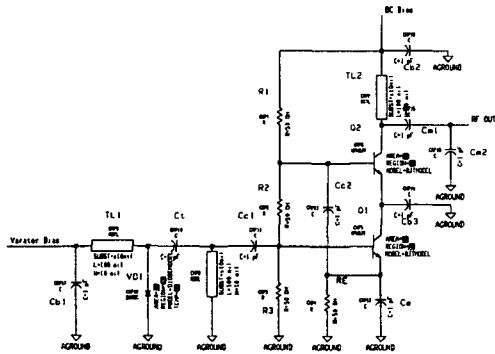


그림 1. 상용화된 VCO 회로의 예

캐패시터 Cb2는 트랜지스터 Q1, Q2에 전원을 공급하기 위한 바이패스 캐패시터로서, 캐패시턴스 값이 커서 고주파에서는 단락 상태로 동작하고, D.C. 전원의 유동과 회로내 고주파 전력의 누설을 막는 역할을 한다. 캐패시터 Cb3는 트랜지스터 Q1, Q2의 접지 상태를 결정하기 위한 것으로, 고주파에서 단

락 상태가 되어 접지점으로 동작하게 된다. 이 캐패시터에 의해 동작주파수에서 트랜지스터 Q2는 공통 이미터 상태가 되며, Q1은 공통 컬렉터로 동작하게 된다. 캐패시터 Ce는 공통 컬렉터 상태에 있는 트랜지스터 Q1이 부성저항을 만들기 위한 캐패시터로 사용한다. 동작주파수에서 그 임피던스 값은 저항 Re에 비해 작게 설정되어 Re, Ce 병렬회로의 임피던스 값은 거의 Ce에 의해 결정된다. 이 캐패시터 값이 너무 클 경우 트랜지스터 Q1은 공통 이미터 상태가 되어 부성저항은 사라지게 되고, 또 너무 작을 경우 저항 Re만에 의한 궤환이 되어 역시 부성저항은 사라지게 된다. 따라서 안정한 발진을 위해 적절한 Ce 캐패시터값을 선택하는 것이 중요하다. 캐패시터 Cc1은 캐패시터 Ce에 의해 형성된 부성저항을 공진단에 결합(coupling)시키기 위해 사용하고, 캐패시터 Cc2는 트랜지스터 Q1에서 부성저항을 통해 얻어진 발진 전압을 공통 이미터 상태에 있는 트랜지스터 Q2에 전달하기 위한 캐패시터이다. 트랜지스터 Q2의 입력은 트랜지스터 Q1의 부하로 동작하게 되므로, 캐패시터 Cc2와 Ce는 발진 트랜지스터 Q1의 병렬부하가 된다. 트랜지스터 Q2는 베이스에 인가된 전압을 증폭하는 역할을 하며, 이 증폭된 출력은 전송선 TL2 및 캐패시터 Cm1 및 Cm2를 통해 부하 $50[\Omega]$ 에 최대 전력이 전달되도록 정합된다. 캐패시터 Cb1은 배랙터 다이오드 VD1에 조정전압을 인가하기 위한 바이패스 캐패시터로서 고주파에서 단락(short)되고, D.C.에 대해 개방(open)된다. 전송선로 TL1은 배랙터에 전원을 공급하기 위한 RF 쇼크 역할을 하며, 캐패시터 Ct는 배랙터 다이오드의 전압제어범위를 조정한다. 이 Ct, VD1 브랜치는 공진기에 병렬로 연결되어 공진주파수를 인가전압에 따라 조정하게 된다. 결론적으로 트랜지스터 Q1은 궤환소자와 공진기에 의해 특정 주파수에서 발진하게 되며, 발진전력의 일부는 트랜지스터 Q2에 입력되어 증폭된 후 정합회로를 통해 출력된다.

3. VCO 설계 및 시뮬레이션

3.1. VCO 설계목표

본 논문에서는 이동통신 단말기에 사용가능한 표면실장형 VCO를 설계, 제작하고자 한다. VCO가 만족해야 하는 다양한 설계목표는 기존의 상용화된 VCO 제품을 기준으로 설정하였다. 설계 목표는 표 1과 같다.

표 1. VCO의 설계목표

항목	설계목표
Lower Limit of Frequency	1970[MHz]
Upper Limit of Frequency	2030[MHz]
Supply Voltage	3.5[V]
Current Consumption	6mA 이하
Control Voltage	0.5~3.5[V]
Control Voltage Sensitivity	20[MHz/V] 이상
Output Level	-5[dBm] 이상
Phase Noise (100[kHz] offset)	-100[dBc/Hz] 이하
Harmonic Rejection	-20[dBc] 이하

3.2. 배랙터 다이오드의 선택

배랙터 다이오드의 리액턴스는 다음과 같이 배랙터 다이오드 내부의 캐패시턴스와 인덕턴스의 합으로 표현할 수 있다.

$$X_{total} = X_L (fixed) + X_C (variable)$$

일반적으로 배랙터 다이오드는 제조회사에서 제공하는 사용주파수 영역에서 캐패시턴스가 인덕턴스보다 훨씬 크고 제어전압에 따라 캐패시턴스가 변화하므로 가변 캐패시턴스 소자로 동작하게 된다. 하지만, 배랙터 다이오드를 제조업체에서 제공하는 적절한 사용주파수 보다 높은 주파수 영역에서 사용한다면, 소자에는 캐패시턴스 보다 인덕턴스가 더 커지게 된다. 따라서 높은 주파수에서 배랙터 다이오드는 인덕티브 리액턴스 소자가 되고, 이러한 경우에도 인가되는 전압에 대하여 캐패시턴스가 변화하므로 배랙터 다이오드의 전체적인 리액턴스 성분 역시 변하게 된다. 그러므로 이 때의 배랙터 다이오드는 가변 인덕티브 리액턴스 소자가 된다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 기존의 방식과 다르게 배랙터 다이오드를 가변 인덕티브 리액턴스 소자로 등가시켜 VCO를 설계하였다. 우선 설계 주파수에서 배랙터 다이오드가 어느 정도의 인덕턴스 값을 갖는지 확인하기 위해 네트워크 분석기(Network Analyzer)를 이용하여 리액턴스를 측정하였다.

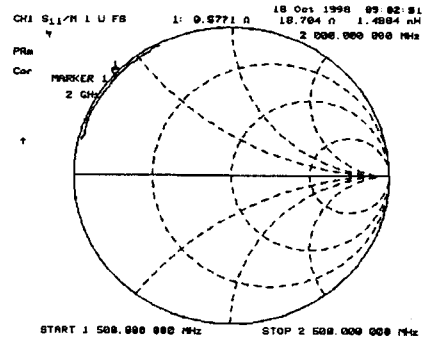


그림 2. 배랙터 다이오드의 리액턴스

본 논문에서는 셀룰라 시스템 주파수 대역에 사용하는 Toshiba의 1SV284를 선택하였고, 그림 2는 제어전압 0.5[V]에 대한 배랙터 다이오드의 리액턴스 값을 측정한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 이 배랙터 다이오드는 2GHz에서 1.4884[nH]의 값을 갖는 인덕턴스 소자로 동작하고 있다. 시뮬레이션에서는 측정결과를 이용하여 배랙터 다이오드를 동일한 값의 이상적인 인덕터 소자로 등가시켜 회로를 구성하였다.

3.3. 시뮬레이션

발전기의 기본이론을 바탕으로, 2GHz 대역에서 사용 가능한 VCO를 설계하고 시뮬레이션을 수행하였다.

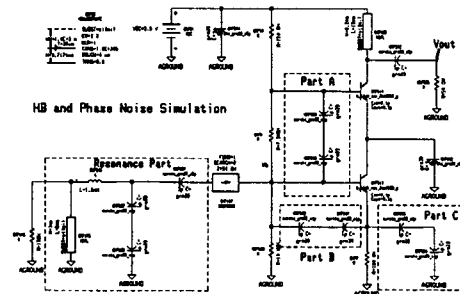


그림 3. VCO 회로도

현재의 초고주파 시뮬레이션 툴에서는 제작에 사용할 배랙터 다이오드 1SV284에 대한 라이브러리를 제공하지 않기 때문에, 배랙터 다이오드를 직접 측정하여 등가 인덕턴스값을 구하고, 이 값을 이용하여 배랙터 다이오드를 이상적인 인덕터로 대체하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3.4. 시뮬레이션 결과

VCO의 출력레벨과 고조파 성분, 출력 파형에 대한 시뮬레이션 결과, 출력주파수는 1.967GHz, 출력레벨은 -0.163[dBm], 2차 고조파의 출력은 -18.8[dBc]임을 알 수 있다. 그림 4는 VCO의 위상잡음 특성을 나타낸 것으로, 100kHz 오프셋(offset) 주파수에 대해 -96.486[dBc/Hz]의 특성을 나타냈다.

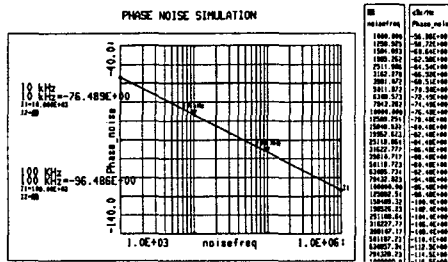


그림 4. VCO의 위상잡음

4. VCO 제작 · 측정 및 고찰

단층 테플론(Teflon) 기판위에 능동소자와 수동소자를 실장하여 VCO를 제작하였다. 그림 5는 실제 제작된 VCO의 그림이다.

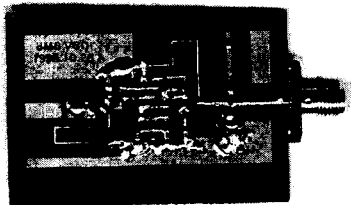


그림 5. 제작한 VCO

VCO의 공급 D.C. 전압은 3.5[V], 제어전압 범위는 0.5~3.5[V]이다. 제어전압 0.5[V]일 때 VCO의 출력 주파수는 1.9745GHz이고, 출력 전력은 약 -3[dBm]이다. 제작된 VCO의 위상잡음 특성을 나타낸 것으로, 100kHz의 오프셋주파수에서 -111.92[dBc/Hz]의 우수한 특성을 나타내었다. 제어전압에 대한 출력 주파수의 변화 민감도는 출력 주파수 제어전압 0.5~3.5[V]에서 23.46[MHz/V]의 특성을 나타냈다. 표 2는 측정결과들을 정리한 것이다.

표 2. VCO의 측정결과

항목	설계목표	측정결과
Lower Limit of Frequency	1970[MHz]	1975[MHz]
Upper Limit of Frequency	2030[MHz]	2045[MHz]
Supply Voltage	3.5[V]	3.5[V]
Current Consumption	6mA 이하	5.9mA 이하
Control Voltage	0.5~3.5[V]	0.5~3.5[V]
Control Voltage Sensitivity	20[MHz/V]	23[MHz/V]
Output Level	-5[dBm]	-3.5[dBm]
Phase Noise (100[kHz] offset)	-100[dBc/Hz] 이하	-110 [dBc/Hz] 이하
Harmonic Rejection	-20[dBc] 이하	-16[dBc] 이하

5. 결론

유도성 리액턴스 변화를 이용하여 2GHz 대역의 VCO를 설계, 제작하고 그 특성을 측정하였다. 측정 결과 배랙터 다이오드는 1.4884[nH]의 인덕턴스 값을 갖고 있었고, 이 값을 이용하여 VCO를 설계하였다. 제작한 VCO는 주파수 대역이 1.975 ~ 2.045GHz, 100[kHz] 오프셋(offset) 주파수에서 위상잡음 특성이 -110[dBc/Hz]이하, 출력레벨이 -3.5[dBm] 이상으로 나타났다. 제어전압에 대한 출력 주파수의 변화 민감도는 23[MHz/V]이상이고, 고조파 출력은 기본파에 비해 -16[dBc]이하로 측정되었다. 시뮬레이션 결과와 측정결과는 발진주파수를 제외하고 거의 모든 항목에서 일치하였다. 측정된 발진주파수는 시뮬레이션 결과보다 낮게 나타났는데, 이것은 제작에 사용한 PCB 기판에 기생 인덕턴스 성분이 존재했기 때문이다.

참고 문헌

- [1] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design", Prentice Hall, 1997.
- [2] E. Holtzman, "Solid State Microwave Power Oscillator Design", Artech House, 1992.