

유전체 공진기를 이용한 WLL용 전압제어발진기

Voltage-controlled Oscillator Using Dielectric Resonator for WLL System

홍 성 용

Sung-Yong Hong

요 약

2.4 GHz 대역의 WLL 시스템용 전압제어발진기(VCO)를 설계하고 제작하였다. 위상잡음(C/N) 특성을 개선하기 위하여 품질계수가 높은 유전체 공진기를 공진부의 인덕터로 사용하였다. 5 V, 10 mA 바이어스 조건에서 VCO를 측정된 결과 2210~2240 MHz의 주파수 대역에서 출력은 0 dBm, 위상잡음 특성은 10 kHz offset에서 100 dBc/Hz으로 매우 우수한 특성을 나타내었다. 따라서 제작된 VCO는 WLL 시스템에 적용할 수 있다고 생각된다.

Abstract

A voltage controlled oscillator using dielectric resonator for 2.4 GHz WLL system is designed and fabricated. To improve the phase noise characteristics, the dielectric resonator is used as an inductor of VCO. At the bias condition of 5 V and 10 mA, the output power and phase noise in the operating frequency range of 2210~2240 MHz are 0 dBm and 100 dBc/Hz at 10 kHz offset from the carrier, respectively. The phase noise and harmonic response of fabricated VCO are suitable for WLL system.

1. 서 론

최근 기존 전화서비스를 무선으로 제공하며, 경제성 뿐만 아니라 고속의 데이터 서비스 등을 통한 차별화를 이루려는 연구개발이 행해지고 있다. 이와 같은 가입자 선로의 무선화를 위한 시스템을 WLL(Wireless Local Loop)이라 하는데 전화 가입

자망을 무선으로 설치할 경우 유선에 비해 설치및 유지보수 비용이 저렴하고 고속 데이터 전송 및 멀티미디어 서비스가 가능하다. 이와 같은 장점 때문에 WLL의 수요가 급격히 증가하리라 생각되며 정보통신업체에서는 시스템을 적극 개발하고 있다. WLL 시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다.

그림 1과 같이 WLL 시스템에서도 기존의 이동통신 시스템과 유사하게 주파수 합성기가 필요하

「본 연구는 산업자원부 공업기반기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.」

충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 980917-093

· 수정완료일자 : 1998년 10월 28일

다. 주파수 합성기는 이동통신기기에서 주파수 채널을 할당하는 핵심부품으로서 PLL IC, Loop filter, VCO로 구성된다. 전압제어발진기의 성능을 나타내는 규격은 여러가지가 있으나 가장 중요한 것은 위상잡음 특성과 신뢰성이다. 전압제어발진기의 위상잡음 특성에 중요한 역할을 하는 것은 트랜지스터, 배랙터 다이오우드 및 공진부의 인덕터이다. 본 논문에서는 보다 우수한 위상잡음 특성을 갖는 2.4 GHz 대역의 WLL용 VCO를 제작하기 위하여 품질계수가 높은 유전체 공진기를 이용하여 공진부의 인덕터를 구현하였다.

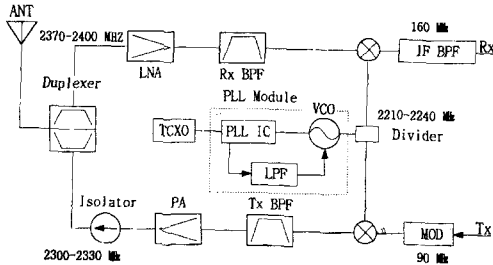


그림 1. WLL 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagrams of WLL system.

II. 전압제어발진기 회로 및 설계

본 연구에서 설계하고자 하는 전압제어발진기는 WLL 시스템의 국부발진용 주파수 합성기에 사용하는데 구체적인 사양을 표 1에 나타내었다. 2 GHz대 VCO의 발진주파수는 주로 발진회로에서 공진부 회로만으로 거의 결정된다. 이러한 경우에는 능동소자를 포함하여 고주파를 생성하는 부저항부와 발진주파수를 안정시키는 공진부 그리고 부하에 큰 출력이 전달되도록 하는 임피던스 정합부로 나누어 해석할 수가 있다^[1].

트랜지스터를 이용하여 발진기를 구성하는 방법에는 크게 에미터 접지회로와 베이스 접지회로로 나눌 수가 있는데 높은 출력 및 다양한 특성을 만

표 1. WLL 시스템의 VCO 규격

Table 1. Specifications of VCO for WLL system.

항 목	규 격
Frequency range	2210 - 2240 MHz
Tuning voltage	1-4 V
Output power	-2 dBm 이상
Phase noise (10 kHz offset)	90 dBc/Hz 이상
Spurious response	-10 dBc 이하
Power supply	5V, 10 mA 이하

족시키기 위해서는 에미터 접지회로가 유리하다. 그리고 2 GHz대역에서는 인덕터보다는 캐패시터가 높은 Q값을 나타내므로 Hartley형 보다는 Colpitts형을 주로 사용한다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 에미터 접지, 콜피츠형의 발진회로를 사용하였다.

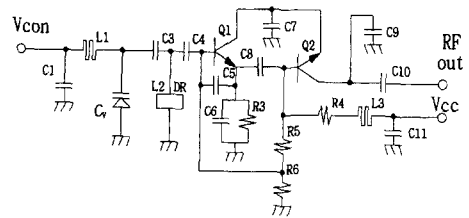


그림 2. VCO의 회로도
Fig. 2. Equivalent circuit of voltage controlled oscillator.

VCO의 위상잡음 특성은 다음 식을 이용하여 근사적으로 구할 수 있다^{[2],[3]}.

$$C/N \approx \frac{FkT}{P_s} \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1}{\Delta f^2} \left(\frac{f_o}{2Q_L} \right)^2 + \frac{f_c}{\Delta f^3} \left(\frac{f_o}{2Q_L} \right)^2 \right], \quad \text{dBc/Hz} \quad (1)$$

여기서 f_o 는 발진주파수, Δf 는 offset 주파수, f_c 는 1/f flicker 잡음이 백색잡음과 같아지는 주

파수, Q_L 은 공진회로의 부하 Q , P_s 는 발진출력, F 는 트랜지스터의 잡음지수, k 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도이다. 식 (1)을 이용하여 Δf 에 대한 C/N 특성을 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

그림 3에서 위상잡음 특성은 트랜지스터의 잡음지수, 배랙터 다이오우드 및 공진부를 구성하는 소자들의 Q 값에 의해 주로 결정됨을 알 수 있다. 본 논문에서 제작하고자 하는 전압제어발진기는 2.4 GHz 대역의 WLL 시스템용으로 10 kHz offset에서 90 dBc/Hz 이상의 매우 우수한 위상잡음 특성을 요구한다. 트랜지스터는 f_T 가 4.5 GHz로 2.4 GHz 대역에서 발진이 가능하고 잡음지수가 1.2 dB인 NEC사의 2SC4226, 배랙터 다이오드는 Q 값이 40인 Toshiba사의 1SV239를 이용하여 설계하였다^[4]. 또한 공진회로의 부하 $Q(Q_L)$ 에 대한 위상잡음 특성을 식 (1)을 이용하여 계산하여 그림 4에 나타내었다. 이때 f_c 는 2225 MHz, Δf 는 10 kHz이며, f_c 는 5 kHz로 가정하였다.

본 논문에서는 유전율이 20, 품질계수가 7500인 세라믹으로 구현된 유전체 공진기를 이용하여 공

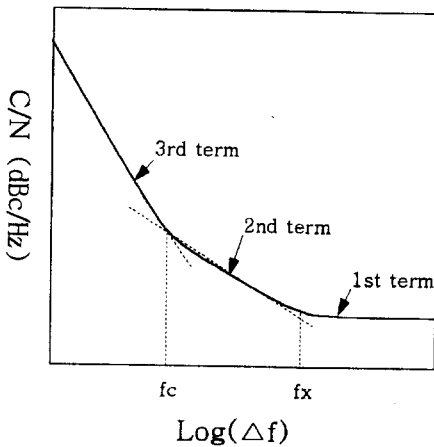


그림 3. 발진기의 위상잡음 특성
Fig. 3. Phase noise curve of voltage controlled oscillator.

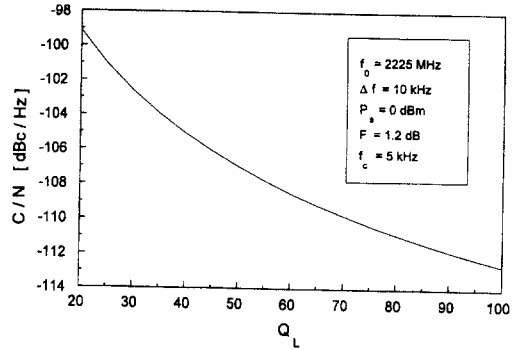


그림 4. 공진부의 부하 Q_L 에 대한 위상잡음 특성변화
Fig. 4. Phase noise vs resonator Q_L .

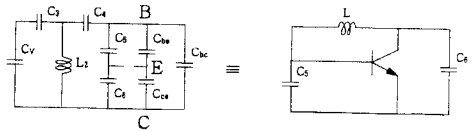


그림 5. VCO의 발진회로
Fig. 5. Resonance circuit of VCO.

진부의 인덕터를 구현하였는데 이때 품질계수는 576으로 계산되었다^[4]. 이때 유전체 공진기 단면의 크기는 4 mm×4 mm이고 공진주파수는 3.81 GHz이다. 그런데 인덕터의 Q 와 배랙터 다이오우드의 Q 를 모두 고려하면^[2] 공진회로의 무부하 Q 는 37이다. 따라서 공진부의 무부하 Q 와 부하 $Q(Q_L)$ 가 같다고 가정하면 그림 4로부터 104 dBc/Hz의 위상잡음 특성을 얻을 수 있다. 그런데 식 (1)이 근사식이고 무부하 Q 와 부하 Q 가 같다고 가정하고 계산하였기 때문에 실제 측정결과와 계산결과보다 위상잡음 특성이 떨어지리라 예상된다.

전압제어발진기는 크게 발진단과 증폭단으로 구성되어 있는데 발진특성과 각 소자와의 관계를 알아보기 위해 그림 2의 VCO 회로에서 발진부만을 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 C_{be} , C_{bc} , C_{ce} 는 트랜지스터의 에미터, 베이스, 컬렉터 사이의 정전용량이다. 또한

발진단은 C_5, C_6, L 로 구성된 Colpitts 형태임을 알 수 있으며 VCO의 발진주파수는 근사적으로 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2(C_3 \parallel C_v + K)}} \quad (2)$$

이때 K 는 발진주파수에 미치는 모든 영향을 나타내었다. 식 (2)로 부터 배랙터 다이오드의 정전용량 C_v 의 변화에 따라 발진주파수가 변화함을 알 수 있다. 제어전압이 변할 때 가변되는 주파수 범위를 제어전압감도(Control Voltage Sensitivity)라 하는데 근사적으로 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$CVS = \frac{|f_h - f_l|}{V_m} \approx \frac{1}{V_m} \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_2}} \left[\left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_{vm}} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_{vo}} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \text{ MHz/V} \quad (3)$$

이때 C_{vm}, C_{vo} 는 각각 제어전압이 최대, 최소일때 배랙터 다이오드의 정전용량이다. 식 (3)으로 부터 주파수 제어범위는 배랙터 다이오드의 가변 범위와 C_3 의 크기에 비례함을 알 수 있다. 또한 발진주파수는 C_4 와 C_5, C_6 에 따라 달라지게 되는데 발진주파수를 일정하게 유지하기 위해서는 C_4 와 C_5, C_6 의 크기는 서로 반비례함을 알 수 있다. 그런데 C_4 를 크게 하면 트랜지스터의 입력에 큰 신호가 들어가게 되어 발진출력은 증가하게 되나 C_5, C_6 가 작아지게 되어 트랜지스터에서 발생하는 잡음에 민감해지게 되고 반대로 C_4 를 작게 하면 발진출력은 떨어지나 C_5, C_6 가 증가하게 되어 잡음의 영향을 덜 받게 된다⁶⁾. 그리고 증폭단은 출력을 높이는 역할뿐 아니라 VCO의 발진주파수가 부하 임피던스의 변화에 민감하지 않도록 하는 버퍼기능을 하고 있다. 그리고 C_9, C_{10}, L_3 는 부하에 최대의 전력을 전달하기 위한 정합용 소자이다. 이러한 기본 개념을 가지고

표 2. VCO의 설계값

Table 2. Designed values for the VCO.

부 품	설 계 값	부 품	설 계 값
C_1	100 pF	C_{10}	2.5 pF
C_3	0.75 PF	C_{11}	100 pF
C_4	0.5 pF	R_3	91 Ω
C_5	0.75 pF	R_4	1 $k\Omega$
C_6	0.75 pF	R_5	3.9 $k\Omega$
C_7	100 pF	R_6	5.1 $k\Omega$
C_8	0.5 pF	L_1, L_3	스트립 라인
C_9	1 pF	L_2	유전체 공진기

회로를 설계하였는데 설계된 정수값을 표 2에 나타내었다.

III. 전압제어발진기 제작 및 측정결과

그림 2의 회로를 이용하여 설계된 전압제어발진기를 제작하였다. 먼저 비 유전율이 4.5인 에폭시 수지(FR4)를 이용하여 PCB를 제작한 다음 그 기관 위에 설계된 능동 및 수동소자를 실장하였다. 그림 6에 제작된 PCB 패턴의 도면을 나타내었다. 전압 제어발진기의 외관도면과 실물사진을 그림 7과 8에 각각 나타내었다. 이때 VCO의 크기는 20 mm × 12 mm × 6.5 mm이다.

제작된 전압제어발진기는 2225 MHz에서 출력 레벨이 0 dBm으로 측정되었다. 측정결과를 그림 9

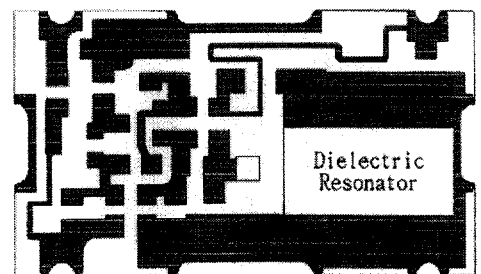


그림 6. VCO의 PCB 패턴도

Fig. 6. Layout pattern of the VCO.

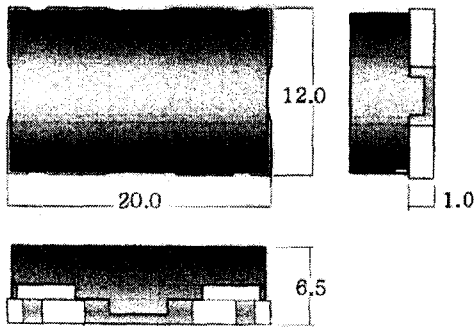


그림 7. VCO의 외관 도면
Fig. 7. Physical dimension of the VCO.

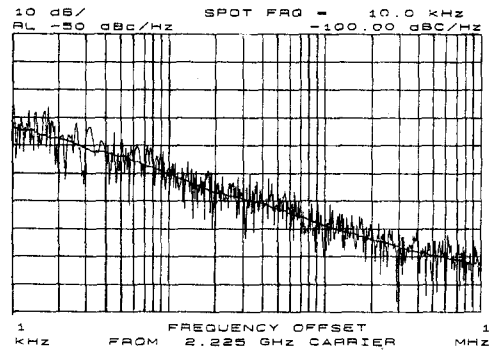


그림 10. VCO의 위상잡음 특성
Fig. 10. Phase noise characteristics of the VCO.

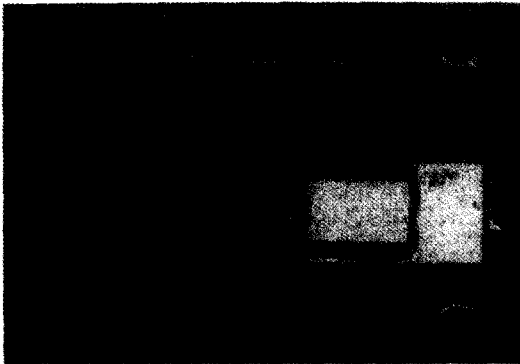


그림 8. 제작된 VCO의 사진
Fig. 8. Photograph of the fabricated VCO.

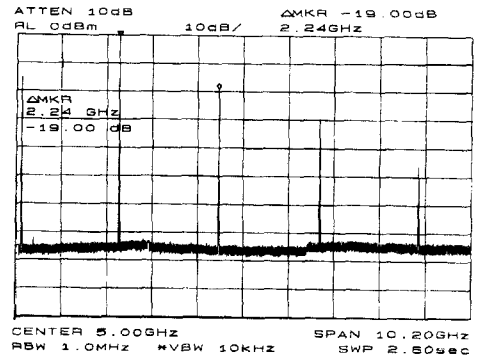


그림 11. VCO의 고조파 특성
Fig. 11. Harmonic characteristics of the VCO.

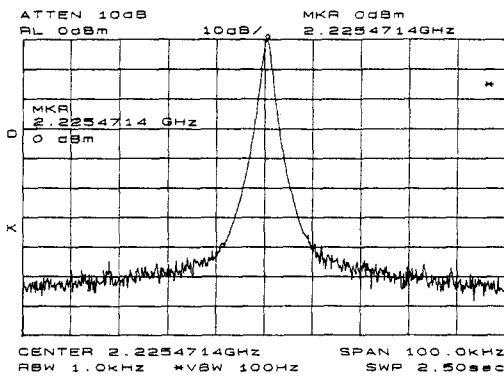


그림 9. VCO의 발진 특성
Fig. 9. Oscillation spectrum of the fabricated VCO.

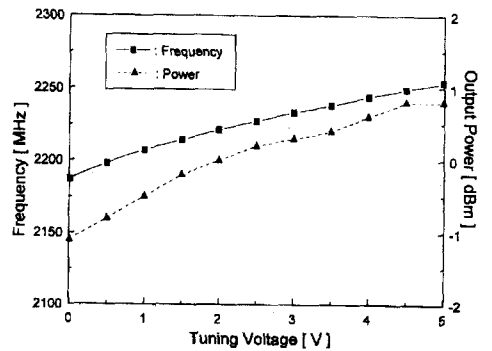


그림 12 제어전압에 따른 발진 주파수 및 출력 특성
Fig. 12. Oscillation frequency and output level versus tuning voltage.

에 나타내었는데 이때 바이어스 조건은 5 V, 10 mA이다.

그림 10, 그림 11은 제작된 VCO의 위상잡음 특성과 고조파 특성을 측정된 결과이다. 위상잡음 특성은 10 KHz offset 주파수에서 100 dBc/Hz이었고 고조파 특성은 -19 dBc 이하의 우수한 특성을 얻었다.

그림 12에서 알 수 있듯이 제작된 VCO는 시스템에서 사용하는 제어전압 1~4 V 구간에서 출력의 변화는 ± 0.5 dB 이내, 제어전압감도(Control voltage sensitivity)변화는 12.33 ± 1.5 MHz/V 이내로 우수한 선형특성을 나타내었다.

전압제어발전기 측정결과를 표 3에 나타내었는데 출력레벨, 위상잡음, 고조파 특성에서 WLL 시스템의 VCO 요구 규격을 만족함을 알 수 있다.

표 3. 제작된 VCO의 측정 결과

Table 3. Measurement results of the fabricated VCO.

항 목	측정 결과
Frequency range	2210~2240 MHz
Tuning voltage	1~4 V
Output power	0 dBm 이상
Phase noise (10 KHz offset)	100 dBc/Hz
Harmonic response	-19 dBc
Power supply	5 V, 10 mA

IV. 결 론

본 논문에서는 유전체 공진기를 이용하여 2.4 GHz 대역의 WLL용 전압제어발전기를 구현하였다. VCO 모듈은 FR4의 PCB 상에 도체 배선을 형성하고 그 위에 능동 및 수동소자를 실장하는 하이브리드 방식으로 제작하였으며 위상잡음 특성을 개선하기 위하여 높은 Q 특성을 갖는 유전율이 20이고 품질계수가 576인 유전체 공진기를 이용하여

인덕터를 구현하였다. 제작된 VCO는 주파수 대역이 2210~2240 MHz, 10 kHz offset 주파수에서 위상잡음 특성이 100 dBc/Hz, 출력 레벨이 0 dBm이었으며 고조파 특성은 기본파에 비해 -19 dBc 이하로 상당히 우수한 특성을 나타내었다. 제작된 VCO는 설계규격을 만족하였으며 WLL 시스템에 적용할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] G.D. Vendelin, *Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques*, chap 6 John Wiley & Sons, 1990.
- [2] T. Uwano, Y. Nakagawa, T. Nakamura, T. Ishizaki, "Design of a low phase noise VCO for an analog cellular portable radio application", 전자정보통신학회 논문지 C-I, vol. J76-C-1, no. 11, pp. 430-436. Nov. 1993.
- [3] W. P. Robins, *Phase noise in signal sources*, Peter Peregrinus Ltd, 1982.
- [4] K.W. Yeom, "An investigation of the high frequency limit of a miniaturized commercial VCO used in 900 MHz band mobile communication handset", *IEEE Trans. Microwave Theory and Technology*, vol 46, no. 8, pp. 1165-1168, Aug. 1998.
- [5] M. Sagawa, "Miniaturized antenna duplexers for portable radio telephone terminals," *IEICE Trans.*, vol. E74, no. 5, pp. 1221-1225, May 1991.
- [6] 홍성용, "380 MHz대 TRS 단말기용 전압제어발전기 설계 및 제작", 한국전자과학회 논문지, 제9권 제2호, pp. 219-225, 1998. 4.

홍 성 용



1985년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1994년 2월 ~1996년 8월 : 한국 쌍

신전기 연구소장

1996년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 전파공학과 전임강사