韓國 OA學會 論文誌
第7卷 第3號, 2002. 9.

2002-7-3-3-5

# 차세대 이동통신용 고효율, 저전력 VCO에 관한 연구

박 택 진* 박 준 식* 박 재 두*

# A study on high efficiency and low power Voltage Controlled Oscillator for International Mobile Telecommunication

Taek-jin Park* Jun-sik Park* Jae-doo Park*

## 요 약

본 연구에서는 기존의 Colpitts VCO에서 바이어스 저항에 의한 성능 저하문제를 간단한 트랜지스터의 모델을 사용하여 분석하고, 발진기의 성능을 저하시키는 바이어스 저항의 영향을 제거하는 새로운 구조를 제시한다. 또한 이를 이용하여 차세대 이동통신용 소형, 저 전력 VCO를 설계하고 제작하였다.

## Abstract

This thesis analysed the characteristics of the performance degradation due to the bias resistance on the existing Colpitts VCO and proposed the new structure of bias which removed the effect of bias resister to degrade the performance of oscillator. Also, we designed and implemented the high efficiency and low power VCO for International Mobile Telecommunication by using this technique.

keywords : VCO, IMT

---

본 논문은 2000년도 영동전문대학 산업기술연구소의 학술연구비에 의하여 연구되었음.
* 영동전문대학 전자정보과 조교수

논문접수 : 2002. 6. 26
심사완료 : 2002. 9. 5

# Ⅰ. 서론

이동통신 시스템에서 사용되는 전압제어 발진기는 소형화, 슬림화, 경량화 되고 있고, 보다 낮은 소비전력, 높은 C/N비, 저 전압구동의 회로가 요구되고 있다. 또한 회로의 체적을 작게 하기 위해 전압제어 발진기와 PLL이 하나의 모듈을 형성하는 소형화 추세로 가고 있다. 시스템에서 발진기의 위상잡음은 인접채널의 선택도와의 관계에 의해 매우 중요하다. 바이어스의 전압은 단말기의 베터리의 전압에 맞추어 점차 낮아져서 3.3V에서 1.2V까지 낮아질 것으로 보인다[1].

또한 발진기의 출력을 높여서 버퍼 트랜지스터의 수를 줄이려는 노력이 시도되고 있어서 이동통신용 발진기의 성능은 저 잡음, 저 전압, 고 출력이 더욱 요구되고 있다. 제조에 있어서는 현재 1005칩 부품을 사용하여 5×5㎟ 정도의 크기가 요구되고, 차후 0603칩 부품을 이용한 3×4㎟의 크기의 개발로 진행되고 있다. 그러나 바이어스 전압이 낮아지고 회로의 크기가 작아짐에 따라 발진기의 성능은 더욱 저하되게 된다. 따라서 요구되는 발진기의 성능을 만족시키기 위해서는 높은 $f_T$를 갖는 고품질 트랜지스터를 사용하여 회로를 계해야 하며, 기존 회로설계에서 무시되었던 성능저하의 요인들을 분석하여 이를 개선하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 Colpitts VCO에서 바이어스 저항에 의한 성능 저하문제를 분석하고, 발진기의 성능을 저하시키는 바이어스 저항의 영향을 제거하는 새로운 구조를 제시한다.

# Ⅱ. 기존 이동통신용 VCO의 문제점 분석

그림1은 기존에 이동통신시스템에서 사용되고 있는 Colpitts형 VCO회로이다.[2]

부성저항의 크기와 영역은 $C_{BE}$와 $C_E$뿐 아니라 $R_E$에 의해서도 영향을 받는다.

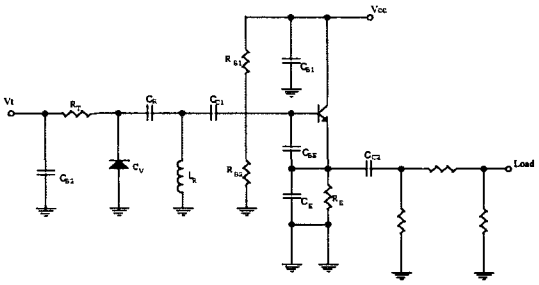

그림1. 이동통신 시스템에서 사용되는 기존의 Colpitts형 VCO
Fig2. Conventional Colpitts type VCO used for the Mobile telecommunication system.

$R_E$는 부궤환을 형성하여 부성저항의 크기와 전력이득을 낮춘다. $R_E$에 의한 부성저항의 감소효과를 알아보기 위해 그림1의 기존 Colpitts 형 VCO에 대한 등가회로를 나타내면 그림2와 같다.

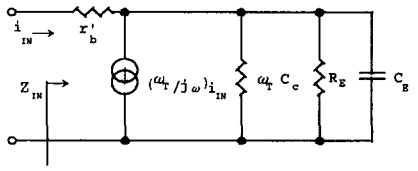

그림2. 기존 Colpitts형 VCO의 등가회로
Fig2. The equivalent circuit of Conventional Colpitts type VCO

그림2의 입력단에서 본 부성저항은 식(1)과 같다.

$$Re\{Z_{IN}(w)\} = r'_b - \frac{w_T(C_E - C_c - 1/w_T R_E)}{w^2 C_E^2 + w_T^2 (C_c + 1/w_T R_E)^2} \quad \cdots\cdots (1)$$

CE//RE에 의한 발진 가능 주파수는 다음과 같다.

$$R_E\{Z_{IN}(w)\} = 0 \quad \cdots\cdots (2)$$

최대발진가능주파수 $w_{max}$를 만들 때의 $C_E$를 $C_{E.opt}$라고 할 때 이 값은 식(2)를 $C_E$로 편미분하여 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial w}{\partial C_E} = 0$$

..... (3)

따라서

$$C_{E.opt}=2(C_c+1/w_T R_E)(r'_b w_T C_c+ r'_b/R_E+1)$$

..... (4)

$$w_{max}=\sqrt{\frac{w_T}{4r'^b(C_c+1/w_T R_E)}}\cdot\sqrt{\frac{1}{1+r'^b w_T(C_c+1/w_T R_E)}}$$

..... (5)

여기서, $r'_b w_T(C_C+1/w_T R_E)\approx 0$을 가정하고, 트랜지스터의 최대 발진 가능 주파수를 근사하여 표현하면 다음과 같다.

$$f_{max}\approx\sqrt{\frac{f_T}{8\Pi r'_b(C_C+1/\omega_T R_E)}}$$

..... (6)

식(6)의 $f_{max}$를 살펴보면 $R_E$가 작아짐에 따라 최대 발진 가능 주파수도 함께 저하되는 것을 알 수 있다.[3,4]

발진주파수의 저하를 막기 위해 $R_E$의 값을 크게 하면 $R_E$에 의한 전압강하가 커지게 되어 트랜지스터에 인가되는 전압이 작아져서 트랜지스터의 이득이 작아진다. 따라서 저전압 발진기의 설계에서 $R_E$에 의한 최대 발진 가능 주파수의 저하 문제가 심각하게 대두될 수 있다. 통상 $R_E$의 값은 50Ω~200Ω정도를 선택하는데, $R_E$의 한 최대 발진 가능 주파수의 저하는 $R_E$의 효과가 무시된 $\sqrt{f_t/8\Pi r'_b C_C}$의 약 50%정도가 보통이다.[5,6]

$R_E$에 의한 발진기의 성능 저하는 발진가능 주파수의 감소뿐만 아니라 출력전력에서도 나타난다. $R_E$가 부하에 병렬로 연결되어 있기 때문에 트랜지스터에서 생성된 발진 전력은 출력 부하뿐 아니라 $R_E$에서도 소비가 된다. 따라서 주어진 소자를 이용하여 더 우수한 성능의 발진기를 설계하기 위해서는 $R_E$에 의한 성능저하효과를 제거해야만 한다.

## Ⅲ. 개선된 이동통신용 VCO의 설계

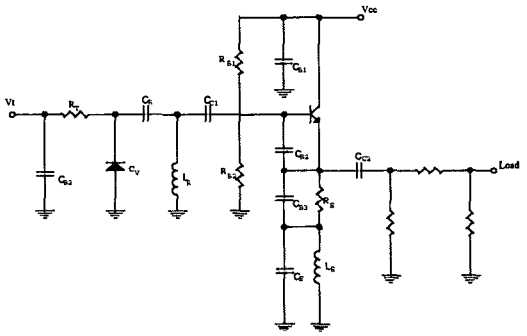


그림3. RE 성능 저하를 개선한 이동통신용 Colpitts형 VCO
Fig3. Colpitts type VCO improved RE performance degradation for Mobile telecommunication.

그림3은 기존 VCO의 성능저하 문제점을 해결한 회로로, $R_E$를 $C_{E3}$를 이용하여 바이패스를 하여 $R_E$에 의한 성능저하를 해결하였고, $C_E$ // $L_E$를 이용하여 트랜지스터에 정귀환 조건을 구현하였다.

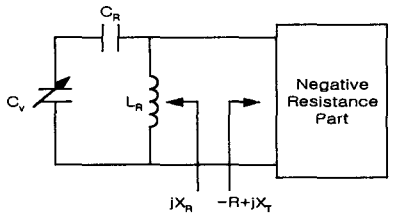


그림4. 발진기의 간략화된 등가회로
Fig4. The simple equivalent circuit of oscillator

그림4는 간략화된 발진기의 등가회로이다. 발진기의 중심주파수와 주파수 가변 대역은 공진부의 인덕터( $L_R$), 바렉터다이오드( $C_V$), 결합 캐패시터( $C_R$)에 의해 결정이 된다. 회로의 해석을 간단히 하기 위해, 바랙터 다이오드( $C_V$)는 조정전압( $V_t$)에 선형적으로 변하며, 부성임피던스의 허수부( $X_T$)는 발진영역에서

상수가 되는 것으로 가정한다.

바랙터 다이오드의 캐패시터는 다음과 같이 간단한 선형적인 모델을 만들 수 있다.

$$C_V = \frac{C_m - C_M}{V_2 - V_1} V + \frac{V_2 C_M - V_1 C_m}{V_2 - V_1} \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서, $C_V(V_1) = C_M$, $C_V(V_2) = C_m$이다.

공진부의 리액턴스는 식(8)과 같이 표현된다.

$$X_R = \frac{-1}{\omega C_t - \frac{1}{\omega L_R}} \quad \cdots\cdots (8)$$

여기서, $C_t = \frac{C_V \cdot C_R}{C_V + C_R}$이다.

선형 발진 조건식으로부터 $C_R$은 다음과 같이 된다.

$$C_R = \frac{C_{V0}(X_t + \omega_0 L)}{\omega_0^2 C_{V0} L X_t} - \omega_0 L - X_t \quad \cdots\cdots (9)$$

여기서 $C_{V0} = (C_M + C_m)/2$이다.

주어진 $L_R$에 대해, 조정 전압의 상한 값과 하한 값에서 발진주파수는 다음과 같이 정해진다.

$$f_1 = \frac{L - \sqrt{L^2 + 4LC_{f1} X_{in}^2}}{2LC_{f1} X_{in}} \quad \cdots\cdots (10)$$

$$f_2 = \frac{L - \sqrt{L^2 + 4LC_{f2} X_{in}^2}}{2LC_{f2} X_{in}} \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서 $C_{f1} = \frac{C_M C_r}{C_M \cdot C_r}$, $C_{f2} = \frac{C_m C_r}{C_m \cdot C_r}$이다.

조정전압에 대한 발진주파수의 가변 범위는 식(10)과 (11)의 차이로 정의가 된다.

## Ⅳ. 제작 및 성능시험

앞서 기술한 방법을 이용하여 6.8×6.8㎟ 사이즈로 차세대 이동통신용 전압제어 발진기를 설계하고 제작하였다. 능동소자로는 2SC5007을 이용하였고, 이 소자의 fT= 4.5 ㎓이다. DC전원은 (3.3V, 10~15㎃)를 선택하였다. 공진부의 인덕터와 RF chock는 air coil로 구현하였다. 기판으로는 저가형의 0.8㎜ 두께의 FR-4를 이용하여 설계를 하였다. 발진기의 회로는 기존 발진기의 단점을 보완한 그림3의 구조를 이용하였다. 바랙터다이오드는 1SV285를 사용하였다. 1SV285의 경우 제어전압 0~5V 범위에서 가변 캐패시턴스의 변화는 6p ~ 0.5p 정도이다.

그림5는 설계한 TX와 RX 발진기를 실제 제작한 VCO PCB이다. 발진기의 발진범위는 0~5V 제어 전압에 대해 처음 차세대 이동통신의 주파수 대역인 1.9㎓대역과 2.1㎓대역에서 동작하도록 설계하였다.

그림6은 제어전압을 0V로 하였을 때의 발진 파형을 스펙트럼 분석기를 통해 측정한 결과이며, 그림7은 개선된 VCO의 위상잡음특성을 측정한 결과이다.

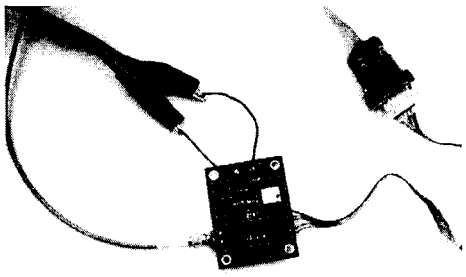

그림5. 제작한 VCO의 사진
Fig5. the appearance of VCO

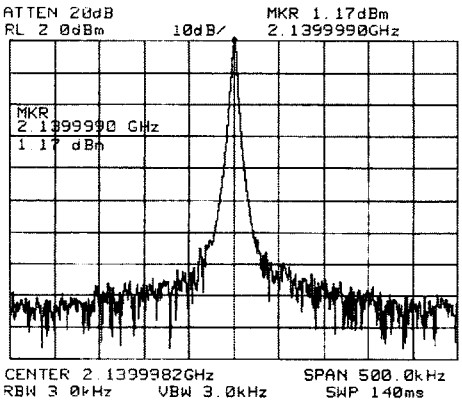


그림6. VCO의 스펙트럼 특성
Fig 6. The spectrum of VCO

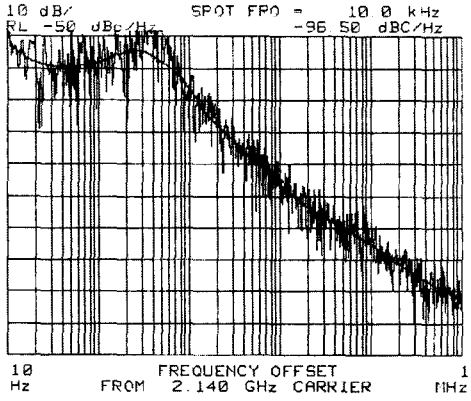


그림7. 제작한 VCO의 위상잡음특성
Fig7. The phase noise of VCO

위상잡음의 경우 HP-8563을 이용하여 측정하였는데, 측정 결과 RX의 경우 10㎑ offset 주파수에서 -96dBc/Hz이상으로 우수하였다. 실험결과 TX와 RX 모두 발진 가능한 전 바이어스범위에서 -85dBc/Hz @10㎑이상의 좋은 위상잡음특성을 나타내었으며, 바이어스전압의 증가에 따라 RF전력과 공급 전류는 비례함을 알 수 있고 2차 하모닉의 크기는 바이어스이 전압의 크기에 민감하지 않음을 알 수 있다. 제어전압단자의 크기를 0~5V 까지 변화를 시켰을 때 발진주파수와 출력전력을 측정결과 Output Flatness는 RX의 경우 약 0.6dB, TX의 경우 1.3 dB 정도가 되었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 차세대 이동통신용 전압제어발진기를 설계하는 과정을 살펴보고 발진기의 구조를 분석하였다. 지금까지 주로 주파수가 낮은 이동통신용 전압제어 발진기에서 널리 이용되는 Colpitts구조에서 바이어스 저항에 의한 발진기의 성능 저하를 간단한 트랜지스터의 모델을 이용하여 보였고, 이 단점을 개선할 수 있는 새로운 구조를 제시하였다. 또한 발진의 범위에 대해 공진부의 인덕터의 값을 정하는 방법을 제시하였고, 이것을 차세대 이동통신 대역의 전압제어 발진기 설계에 이용하였다. 발진기의 측정결과 RX의 경우 위상잡음은 -96dBc/Hz의 특성을 가졌고, TX의 경우에는 위상잡음이 -95dBc/Hz이상의 우수한 특성을 얻었다. 추후의 연구로는 본 연구에서 개발된 전압제어 발진기를 PLL 칩에 하나의 모듈로 개발하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

[1] Xiangdong Zhang, James Kramer, and Brian Rizzi, "A theoretical and experimental study on low-voltage controlled oscillators," in 1997, IEEE MTT-S Digest, vol. 2, pp. 845-848, Jun. 1997.

[2] Harry F. cooke, "Microwave transistors: theory and design," Proc. IEEE, vol. 59, 99.1163-1181, Aug. 1971

[3] K-W. Yeom, "An investigation of the high-frequency limit of a miniaturized commercial voltage-controlled oscillator used in 900-㎒-band mobile communication handset," IEEE trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-46, no.8, pp.1165-1168, Aug. 1998

[4] Kurokawa, K, 'Some Basic Characteristics of Broadband Negative Resistance Oscillator Circuits,' Bell Say. Tech. J., Vol. 48, 1969, pp. 1937-1955

[5] 염경환, 이명성, "900㎒대역의 이동통신용 전압제어 발진기의 더 높은 고주파 대역에서의 적용 가능성에 대한 검토," 한국통신학회논문지, vol. 20, no. 8, pp.2236-2244, 1995. 8월.

[6] Moon-Que Lee and Sangwook Nam, "An improved voltage controlled oscillator for mobile communication systems," 1998 Asia Pacific Microwave Conference at Yokohama, vol.1, pp.151-154.

[7] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice Hall, 1984

## 저 자 소 개

박 택 진

1985년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (학사)

1990년 2월: 한양대학교 전자공학과(석사)

1998년 2월: KAIST/성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 박사과정 수료.

1993년-현재: 영동전문대학 전자정보과 조교수

박 준 식

1988년 2월: 동아대학교 전자공학과(학사)

1991년 8월: 경남대학교 전자공학과(석사) 2000년 2월: 강원대학교 전자공학과 박사과정 수료.

1997년-현재 영동전문대학 전자정보과 조교수

박 재 두

1981년 2월: 숭실대학교 전자공학과(학사) 1985년 2월: 연세대학교 전자공학과(석사)

1981년~1994년 KBS 기술연구소 연구원 2000년 2월: 숭실대학교 공학박사

1994년~현재 영동전문대 전자정보과 조교수