

무선가입자회선망용 전압제어발진기 설계

허창우* · 최준수**

A Design of the Voltage-Controlled Oscillator for Wireless Subscriber Network

Chang-wu Hur* · Jun-su Choi**

요 약

본 논문에서는 무선가입자회선망 시스템의 핵심부품의 하나인 2.3GHz대역의 WLL(무선가입자 회선망)에 사용하는 전압제어발진기를 설계하였다. 발진기의 형태는 콜피츠 방식을 채택하였으며, 발진소자로는 LC공진기를 사용하여 유전율이 4.6인 FR-4 기판위에 실장을 하여 제작하였다. 설계된 전압 제어 발진기는 3.2V, 10mA에서 동작하고 출력은 0.67dBm, 위상잡음 특성은 100kHz 오프셋 주파수에서 -102dBc/Hz이고 동조대역폭은 1V-3V의 전압변화에 2200~2240MHz까지 40MHz의 동조 대역폭을 얻을 수 있었다. 제작된 전압제어발진기는 설계 목표치와 비슷한 결과를 얻을 수 있었으며, 무선가입자 회선망에 적용할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, a voltage controlled oscillator(VCO) of core components for wireless subscriber network is designed. The type of oscillator is colpits method and the oscillator device uses a LC resonator. The product is made on FR-4 substrate with dielectric constant of 4.6. The designed VCO is operated at 3.2V, 10mA and has output value of 0.67dB. The VCO's phase noise property is -102dBc/Hz at offset frequency of 100kHz. The fabricated VCO is the same as target value and can be used for wireless subscriber network.

I. 서 론

무선가입자회선망(WLL: Wireless Local Loop)란 기존의 유선 가입 선로를 무선통신으로 대체하기 위해 개발된 무선 가입자망을 말한다. 무선가입자회선망은 80년대부터 등장하기 시작하였고 기지국을 중심으로 약 2~6km 거리 이내에 있는 가입자선로를 무선으로 제공하는 기술이다.

현재 무선가입자회선망의 주파수는 2300~2330MHz는 송신용, 2370~2400MHz는 수신용으로 할당 되어있다.

데이콤에서는 2310-2315MHz를 가입자 송신용, 2380-2385MHz는 전화국 송신용으로 사용중이고, 한국통신은 2300-2310MHz를 가입자 송신용, 2370-2380MHz는

전화국 송신용으로 사용 중이다.

본 논문에서는 그림 1의 블록도와 같이 2210-2240MHz에서 동작하는 전압제어발진기를 설계하였다.

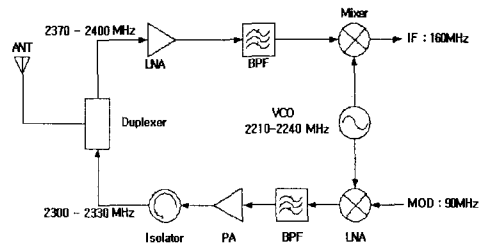


그림 1. 무선가입자회선망 시스템 블록도
Fig. 1. System block diagram

* 목원대학교 전자공학과
** (주)파인 텔레콤

II. 발진기의 기본이론

발진기는 특정주파수를 선택하기 위한 공진부와 부성 저항 특성을 유도하기 위한 귀환 회로망으로 구성된다.

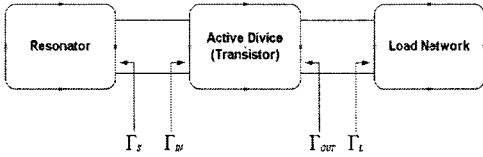


그림 2. 전압제어발진기의 2단자망
Fig. 2. 2 terminal network of VCO

증폭기는 안정한 조건을 만족해야 하는 반면에 발진기는 불안정한 조건을 만족하여야 한다. 불안정한 조건이 되기 위해서는 안정도계수(K)가 1보다 작아야 한다. 안정도 계수는 다음과 같이 표현된다.[2]

$$K = \frac{1 + |Δ|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12} S_{21}|} \quad (1)$$

$$Δ = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

발진기가 지속적으로 발진을 하기 위해서는 입출력 반사계수가 $|Γ_S| |Γ_M| = 1$ 인 조건을 만족하여야 한다. 그러나 이 조건은 발진이 시작된 후에 부성저항의 크기가 작아져 발진이 지속되지 않을 수가 있기 때문에 입출력 반사계수가 $|Γ_S| |Γ_M| > 1$ 이어야만 하고, $∠Γ_S + ∠Γ_M = 0$ 인 조건을 만족해야 한다.

발진기에서 중요시 되는 파라미터에는 크게 위상잡음과 고조파억압 특성이 있다.

위상잡음에 영향을 주는 요소는 크게 3가지로 볼 수 있다. 첫 번째는 소자의 바이어스 점에 의한 저주파 잡음, 두 번째는 저주파 잡음이 발진기의 비선형성에 의해 상향 변환되는 이득, 세 번째는 회로의 형태나 공진기에 의해서 결정되는 발진기의 Q값이다.

위상잡음에 대한 해석에는 능동소자의 비선형모델과 수동소자의 모델, 능동소자의 플리커 잡음에 관한 모델을 필요로 하기 때문에 해석이 어렵다. 일반적으로 사용하는 방법은 발진기를 귀환 회로망을 가지는 증폭기로 가정하여 지수 F를 가진 증폭기에서의 위상잡음을 예측하는 것이다.[3]

전압제어 발진기의 위상잡음은 다음 식을 사용하여 근사적으로 구할 수 있다.

$$C/N \approx \frac{FkTB}{P_S} \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1}{\Delta f^2} \left(\frac{f_0}{2Q_L} \right)^2 + \frac{f_C}{\Delta f^3} \left(\frac{f_0}{2Q_L} \right)^2 \right] \quad (2)$$

f_0 는 발진주파수, Δf 는 윗셋주파수, f_C 는 차단주파수, Q_L 는 공진회로의 선택도, P_S 는 발진기의 출력, F 는 발진기의 잡음지수, k 는 볼츠만상수, T 는 절대온도, B 는 대역폭을 의미한다.

위의 식에서 보듯이 발진기의 위상잡음은 공진부의 Q값과, 발진기의 잡음지수에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

III. 설계 및 제작

본 논문에서 발진기 제작은 Hewlett Packard사의 시뮬레이션 툴인 ADS를 가지고 최적화 한 후 제작을 하였다.

발진기에 사용된 능동소자는 Philips사의 SOT323형 BFQ67W를 사용하였고, 박랙터 다이오드는 Siemens사의 SOD323형 BB833을 사용하여 유전율이 4.6인 FR4 0.4T에 제작하였다.

설계된 회로는 그림3과 같다.

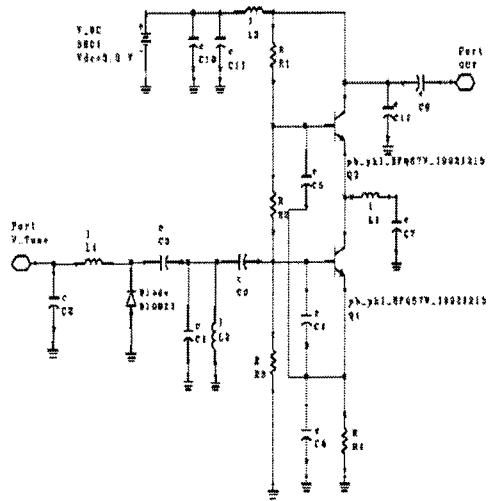


그림 3. 전압제어 발진기의 회로도
Fig. 3. Circuit diagram of VCO

제작시 오차를 줄이기 위해 능동소자와 수동소자는 ADS에서 제공하는 파라미터를 기준으로 하여 설계하였다. 전압제어 발진기에서 바이어스는 발진부의 특성을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이다. 바이어스 조건에 의해 부성저항을 유도하기 위한 케환 소자 값이 결정되기 때문이다.

공진부는 발진기의 동조대역폭과 위상잡음에 영향을 미치기 때문에 설계시 주의가 필요하다.

C3와 C4는 원하는 동조 주파수 대역을 얻기 위한 소자이고, L2는 공진부의 인덕터로 스트립라인으로 구성하였다. 스트립라인은 FR-4 기판위에 단일스트립으로 구성하였다. 바렉터 다이오드는 BB833을 사용하였는데 1~3V의 조정전압에 대해 9.7pF~5.3pF의 캐패시턴스 값을 얻을 수 있다. PCB설계시 공진부에 유도되는 기생 성분들을 최소화 하기 위해 배선을 가능하면 짧게 하였다.

Q1은 부성저항을 유도하기 위한 능동소자로 BFQ67W 사용하였다. 이 BJT는 잡음지수가 5mA, 8V, 1GHz일 때 약 1.3dB 정도이고, npn형이며 8GHz까지 사용가능한 트랜지스터이다. C1은 부성저항을 유도하기 위한 케환 소자이다. 이 소자의 값을 결정 하기 위해 능동소자의 동작 점을 설정하고 바이어스가 걸린 상태에서 C1값을 선형으로 변화시켜서 적합한 값을 선택하였다.

Q2는 발진부로부터 발생된 고주파신호를 증폭하는 역할과 출력단에 유입되는 신호로부터 발진부를 격리시키기 위한 역할을 한다. 보통 완충 증폭단이라 칭하는데 이 부분의 설계가 잘못 되었을 경우 풀링 현상에 의해 발진점이 어긋나거나 발진이 멈추는 현상이 발생하기도 한다.

능동소자에 공급되는 전류와 온도변화가 고주파신호에 영향을 미치는 것을 최소화하기 위해 L3을 사용하였다. 구성은 스트립라인으로 하였으며 길이가 $\lambda/4$ 인 전송라인으로 구현하였다. C5는 Q1으로부터 발진된 고조파 신호를 Q2로 전달하기 위한 캐패시터이다. C10과 C11은 DC전원의 유동을 막고 고주파신호를 바이패스시키는 역할을 한다. C9와 C12는 출력단 매칭회로이고, C3와 C4는 원하는 동조 주파수대역을 얻기 위한 것이다.

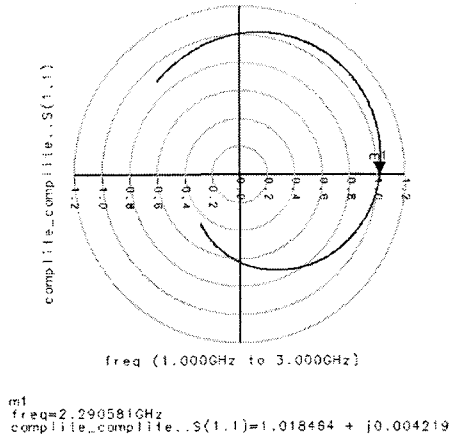


그림 4. 발진부의 루프이득 해석
Fig. 4. Loop gain analysis of oscillator

그림4는 제작하기 위한 발진부의 루프이득을 해석한 결과이다. 그림 8에서 보듯이 2.2GHz 대역에서 $|\Gamma_S||\Gamma_{IN}| > 1$ 조건과 $\angle \Gamma_S + \angle \Gamma_{IN} = 0$ 인 조건을 만족한다.

그림5는 제작하기 위한 발진기의 고조파 억압 특성을 분석한 결과이다. 그림5에서 보듯이 2고조파와 35.8dB가 차이가 남을 알 수 있다.

그림 6은 발진기의 전체 위상 잡음 특성을 분석한 결과로서 100kHz 오프셋 주파수에서 -108dBc/Hz 임을 알 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 중심으로 전압제어 발진기를 제작하였다.

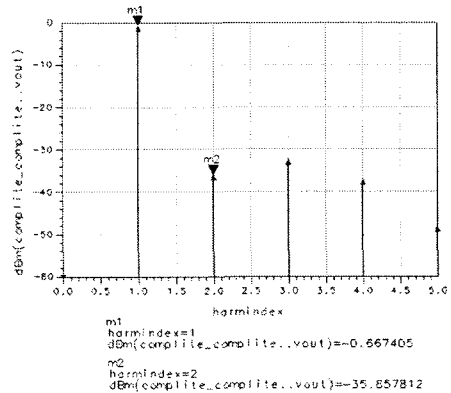


그림 5. 발진기의 스퓨리어스 특성 해석
Fig. 5. Spurious property analysis of VCO

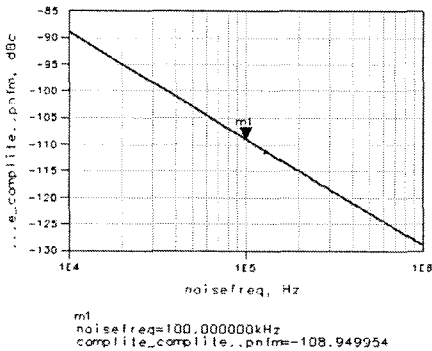


그림 6. 발진기의 위상잡음 해석
Fig. 6. Phase noise analysis of VCO

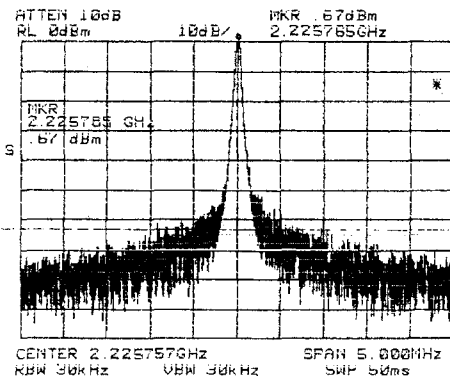


그림 7. 제작된 발진기의 출력 스펙트럼
Fig. 7. Output spectrum of VCO

그림7은 제작된 발진기의 출력 스펙트럼이다. 출력은 설계치 보다 약간 큰 0.67dBm이다. 발진기의 출력으로는 문제가 없다고 본다.

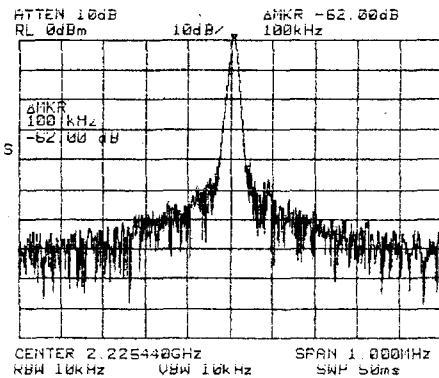


그림 8. 근사적으로 측정된 위상잡음
Fig. 8. Approximately measured phase noise

그림8은 위상잡음을 근사적으로 측정하기 위한 스펙트럼으로 100kHz 옵셋 주파수에서 스펙트럼의 중심점과 62dB 차이가 난다. RBW를 고려하여 위상잡음을 예측한 결과 약 102dBc@100kHz 임을 알 수 있다.

그림9는 스퓨리어스 특성을 측정한 결과로 2고조파 성분과 33.2dB 차이가 남을 볼 수 있다.

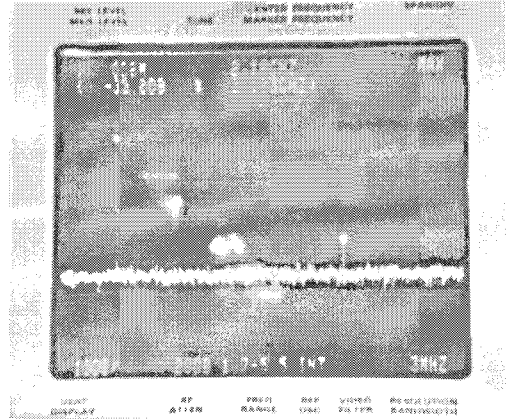


그림 9. 고조파 및 스퓨리어스 특성
Fig. 9. Harmonic and Spurious property

표 1. 결과 분석
Table 1. Analysis on results

	설계목표치	제작	단위
출력	0	0.67	dBm
스푸리어스	35.8	33.2	dBc
위상잡음 (@100kHz offset)	-108	-102	dBc/Hz@100kHz
제어전압	1~3	1~3	V
주파수 범위	2210~2240	2200~2250	MHz

IV. 결론

본 논문에서는 무선가입자회선망 시스템의 핵심 부품의 하나인 전압제어발진기를 설계 제작하였다. 발진기의 형태는 콜핏츠 방식을 채택하였으며, 발진소자로는 LC공진기를 사용하여 유전율이 4.6인 FR-4 기판위에 실장을 하여 제작하였다.

발진부의 능동소자로는 잡음지수가 1.3dB인 Philips 사의 BFQ67W 사용하였고, 바랙터다이오드는 Siemens 사의 BB833을 사용하였다.

동작전압은 3.2V이고 동작전류는 10mA이다. 제어할 수 있는 주파수대역은 2200MHz~2250MHz, 제어전압은 1~3V, 위상잡음은 -102dBc/Hz@100kHz이며, 2차 고조파 억압 특성은 2고조파성분과 -33dBc 이다.

회로는 제작 전에 시뮬레이션 툴인 Hewlett Packard사의 ADS를 이용하여 회로특성을 최적화하였다.

제작된 전압제어발진기는 설계 목표치와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 오차가 발생한 부분은 2차 고조파 억압 특성과 위상잡음인데 이 부분은 PCB 제작 시 발생하는 기생성분과 부품의 특성이 일정한 값을 가지고 있지 않기 때문이라 생각한다.



그림 10. 제작된 전압제어 발진기
Fig. 10. Fabricated VCO

본 논문에서 제작된 전압제어발진기는 무선가입자 회선망에 사용하여도 문제가 없을 것이라 생각한다.

참고문헌

[1] Milan Patel and Izzat Darwazeh, "Investigation of the performance of a multimode, multiband receiver for OFDM and cellular systems," VTC 2003-Fall, Vol.1, pp. 284 - 288

[2] Berny, A.D., Niknejad, A.M., and Meyer, R.G., "A wideband low-phase-noise CMOS VCO," Custom Integrated Circuits Conference, Sep. 2003, pp. 21 - 24

[3] Kurokawa, K. "Some Basic Characteristics of

Broadband Negative Resistance Oscillator Circuit", Bell Sys. Tech. J, Vol.48, pp. 1937-1955, 1969.

[4] Fong, N.H.W et. al. "Design of wide-band CMOS VCO for multiband wireless LAN applications," Journal of Solid-State Circuits, 38 .g. 2003, pp. 1333 1342

[5] Seung-Min Oh, Chang-Wan Kim, and Sang-Gug Lee, "A 74%, 1.56-2.71 GHz, Wide-tunable LC-tuned VCO in 0.35um CMOS technology," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 37, No. 2, Apr. 2003, pp. 98 - 100

[6] Mikko Hotti et. al., "A direct conversion RF front-end for 2-GHz WCDMA and 5.8-GHz WLAN

저자소개

허 창 우(Chang-wu Hur)



1991.2 연세대학교
전자공학과 공학박사
1986~1994 LG 중앙 연구소

1994.3 ~ 현재 목원대학교 IT 공학부 교수
※ 관심분야: 반도체공학 및 VLSI 설계

최 준 수(Jun-su Choi)



1994.3 ~ 2000.2 목원대학교
전자공학과 공학사
2000.3 ~ 2002.2 목원대학교
전자공학과 공학석사

2002.2~현재: (주)파인 텔레콤
※ 관심분야: VLSI설계 및 RF시스템설계