

# IEEE 802.11b WLAN용 저 위상잡음 CMOS differential 전압 제어 발진기 설계

Design of a low phase noise CMOS differential VCO for IEEE 802.11b WLAN

김대웅

(광운대학교, 석사과정)

최영구

(광운대학교, 박사)

김복기

(광운대학교, 교수)

Key Words : Differential VCO, IEEE 802.11b, Low phase noise, CMOS

## 목 차

I. 서론	IV. 결론
II. 전압 제어 발진기 회로 설계	참고문헌
III. 모의실험 결과 및 레이아웃	

## I. 서론

IEEE 802.11은 좁은 지역(Local Area)을 위한 컴퓨터 무선 네트워크에 사용되는 기술로, IEEE의 LAN/WLAN 표준 위원회의 11번째 워킹 그룹에서 개발된 표준 기술을 의미한다. 이 중에서 802.11b는 초기 형태인 802.11 규격을 개선한 기술로 최고 11Mbps의 전송속도를 보이며 기업과 가정 등에서 폭넓게 사용되고 있으며, 이 후 개발된 IEEE 802.11g와의 호환성이 용이하여 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 IEEE 802.11b WLAN에서 사용되는 전압제어발진기(VCO:Voltage Controlled Oscillator)에 대한 연구를 하였다. 전압제어발진기는 RF 신호가 통신 될 수 있도록 해주는 local oscillation(LO) carrier 신호를 만들어준다.[1] 특히 통신의 특성상 원하는 신호를 정확히 전달 받을 수 있도록 위상잡음(Phase Noise)의 최소화를 목적으로 하였다. IEEE 802.11b 표준에서의 전압제어발진기는 최소  $-110\text{dBc/Hz}$  @ 1MHz 이하의 위상잡음을 보여야 원하는 동작을 이끌어 낼 수 있다.

본 논문에서는 이에 적합하게 위상잡음을 향상시키기 위해 CMOS 기술을 응용하여 Cross-coupled differential LC(inductance-capacitance) 구조와 pMOS current source를 사용하여 전압제어발진기를 설계하였다.

## II. 전압 제어 발진기 회로 설계

### 1) LC tank

전압제어발진기에서 가장 핵심이 되는 사항은 발진을 일으키는 것이다. 전압제어발진기에서는 발진을 일으키기 위해 LC병렬회로를 사용한다. 이 회로가 여기(excite)되면 전자가 발진한다. 회로에서 충전된 C가 방전될 때 L을 통해 방전되면서 L주위에 자계가 형성될 것이다. C가 방전할 때와 같은

방법으로 L을 통하여 전자가 흘러서 전압이 유도된다. 이러한 전자의 흐름으로써 반대극성으로 C는 충전된다. 자계가 완전히 없어지고 나면 다시 C는 충전전하를 중성화시키려고 한다. L에서의 전자의 흐름은 이제 역방향이 되며 다시 자계가 역방향으로 만들어진다. 이 과정이 반복되면서 전자가 발진하게 된다. 이렇게 L과C를 이용해 발진을 일으키는 회로를 LC tank라고 한다. 회로에서 주파수 tuning을 위해 MOS varactors(Cvar)를 사용한다. Cvar의 캐패시턴스 값은 다른 L, C값과 함께 발진 주파수를 조절하는 중요한 역할을 한다.[2] 본 논문에서 제안한 LC tank 회로에서는 304.3 fF의 Cvar를 이용하였다.

### 2) Cross-coupled differential LC 구조

LC tank 다양한 구조 중에서 Cross-coupled differential inductance-capacitance 구조는 비교적 좋은 위상잡음 특성과 안정적인 동작을 보이기 때문에 고주파 회로 디자인에 중요한 역할을 한다.[3] 본 논문에서도 이러한 구조를 이용하여 위상잡음의 개선을 고려하였다. <그림 1>의 (a)는 Cross-coupled differential LC tank의 회로도이다. M1, M2는 nMOS를 사용하였고, M3, M4는 pMOS를 사용하여 구성하였으며, Vcont를 0~1.8V까지 변화시키면서 주파수를 조절하도록 하였다. Differential 구조의 양단으로 부터 각각 출력 값을 (Vout+, Vout-) 얻을 수 있도록 하였다.

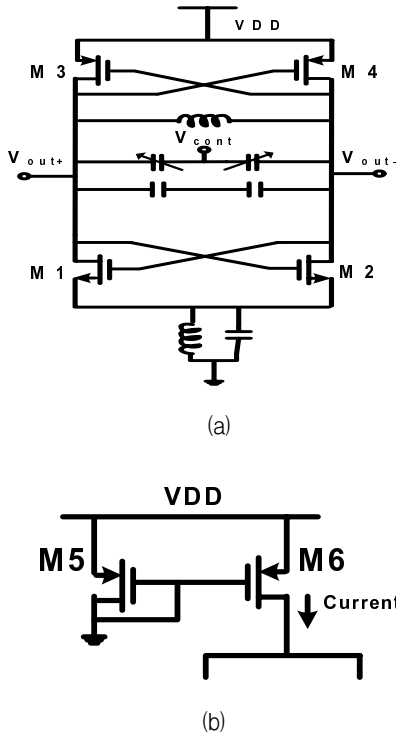
### 3) pMOS current source

바이어스는 <그림 2> (b)와 같이 current mirror 효과를 이용하여 pMOS current source로 설계하였다. Current mirror를 사용하면 보다 안정적이고 정확한 바이어스를 공급할 수 있다. pMOS current mirror는 nMOS를 사용했을 때 보다 frequency noise에 영향을 덜 받는다. 그리고 트랜지스터의 channel length와 width를 크게 함으로써 flicker noise에 대한 영향을 줄일 수 있다. 디바이스 크기와 flicker noise 간의

상관관계는 아래 수식(1)과 같이 표현된다.[2]

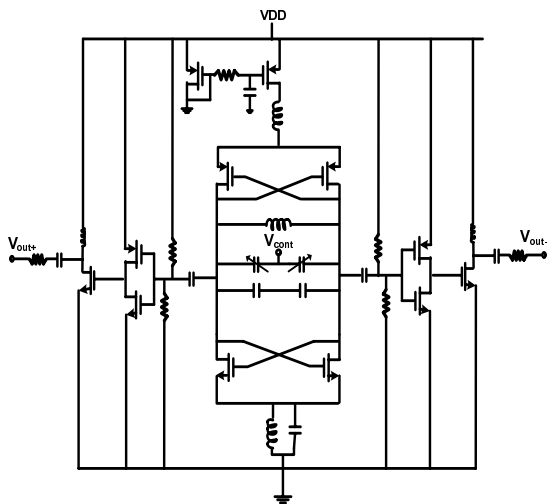
$$\overline{i_{1/f}^2} = \frac{k_f}{f C_{ox} WL} \Delta f \quad (1)$$

본 논문에서는 디바이스의 크기를 M5(W/L=4 $\mu$ m/2 $\mu$ m), M6(W/L=900 $\mu$ m/3 $\mu$ m)으로 설계하였다.



<그림 1> (a) Cross coupled differential LC tank 회로도  
(b) pMOS current source

이와 같은 장점을 가지는 pMOS current source와 Cross-coupled differential LC 구조 그리고 output buffer를 이용하여 제안하는 전압제어발진기를 설계하였다. 설계된 회로를 <그림 2>에서 보였다.

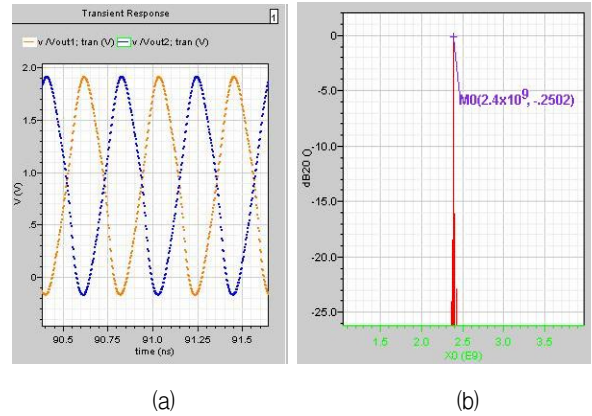


<그림 2> 제안된 전압제어발진기 회로도

### III. 모의실험 결과 및 레이아웃

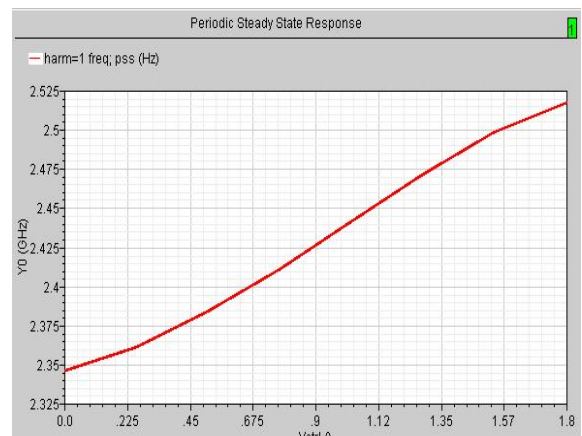
제안된 전압제어발진기의 성능을 모의실험을 통해 알아보았다. 본 모의실험은 Cadence사의 SpectreRF tool의 환경을 이용하였다.

먼저 발진 주파수를 알아보면 제안된 전압제어발진기는 2.4GHz에서 발진함을 보였다. 이는 IEEE 802.11b에 적합함을 보였다. 아래 <그림 3>에서 시간 축과 주파수 축에서의 발진 결과를 확인 할 수 있다.



<그림 3> (a) 발진 (시간 축)  
(b) 발진 (주파수 축)

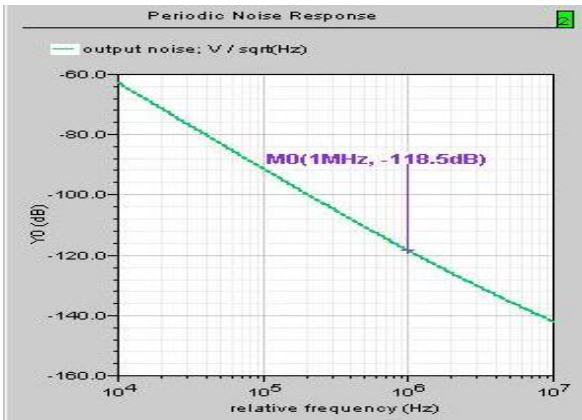
다음으로 주파수 Tuning 범위를 확인하여보면, Vctrl을 0~1.8V까지 변화시키면서 모의실험을 진행하여 출력 주파수의 변화를 살펴보았다. 그 결과 아래 <그림 4>와 같이 2.35GHz에서 2.52GHz까지 변화면서 170MHz의 주파수 tuning 범위를 가짐을 알 수 있다.



<그림 4> 주파수 Tuning 범위 특성

전압제어발진기에서 가장 중요한 요소인 위상잡음에 대한 모의실험 결과 값을 알아보면 아래 <그림 5>에서 나타난 결과처럼 1MHz 오프셋 지점에서의 결과 값이 -118.5dBc/Hz를 보임을 알 수 있다. 이 결과 값은 IEEE 802.11b WLAN의 최

소 요구치인  $-110\text{dBc/Hz}$  @  $1\text{MHz}$ 보다 좋은 결과 값을 확인할 수 있다.



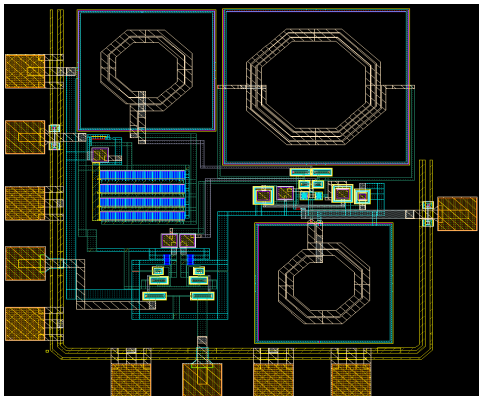
<그림 5> 위상잡음 특성

모의실험을 통하여 설계된 전압제어발진기가 IEEE 802.11b WLAN 에 적합함을 확인하였고, 이외의 여러 가지 모의실험 결과 값을 <아래 표 1>에 정리하였다.

<표 1> 여러 가지 모의실험 결과

Parameter	simulation Performance
Standard	IEEE 802.11b
Frequency (GHz)	2.4
Tuning Range (MHz)	170
Power Supply (V)	1.8
Power Consumption (mW)	7
Phase Noise (dBc/Hz@ 1MHz)	118.5
Chip Size ( $\mu\text{m}^2$ )	942.7 X 966.5

<그림 6>은 설계된 전압제어발진기의 레이아웃이다. 전체적인 회로의 크기는  $942.7 \times 966.5 \mu\text{m}^2$ 이다.



<그림 6> 레이아웃

#### IV. 결론

본 논문에서 IEEE 802.11b WLAN에 쓰이는 전압제어발진기에 대해 연구하였다. 좁은 지역에서 무선 통신을 지원하는 WLAN의 가장 중요한 구성요소인 위상잡음을 낮추기 위해 Cross-coupled differential LC 구조와 pMOS current source를 사용하고, pMOS의 크기를 증가시켜 flicker noise의 영향을 줄임으로써 위상잡음을 낮추었다. 모의실험 결과 제안된 전압제어발진기는  $2.4\text{GHz}$ 에서 발진하였으며,  $2.35\text{GHz}$ 부터  $2.52\text{GHz}$ 까지  $170\text{MHz}$ 의 주파수 Tuning 범위를 보였고,  $-118.5\text{dBc/Hz}$  @  $1\text{MHz}$ 의 위상잡음 값을 얻었다.  $1.8\text{V}$ 의  $V_{DD}$ 를 사용하였으며, 약  $7\text{mW}$ 의 전류를 소비하였다.

본 논문에서 설계된 전압제어발진기의 전체적인 성능을 비교하기 위해 FOM(Figure of Merit)을 계산하였다. FOM을 구하는 방법은 아래 수식 (2)와 같다.[4]

$$FOM = L\{fm\} + 10\log\left[\left(\frac{fm}{f_0}\right)^2 P_{DC}\right] \quad (2)$$

여기서,  $L\{fm\}$ 는 위상잡음을 의미하고,  $fm$ 는 출력주파수로부터의 오프셋 주파수를,  $f_0$ 는 출력주파수를,  $P_{DC}$ 는 소모된 DC 전력을 의미한다. 위의 수식을 이용하여 계산한 FOM 값은  $-177.7$ 을 나타내었고, 이를 발표된 기존의  $2.4\text{GHz}$  발진기에 관한 여러 논문의 FOM 값들과 비교하여 <표2>에 나타내었다.

<표 2> 성능 비교

Reference	Oscillation Frequency (GHz)	Power Consumption (mW)	Supply Voltage (V)	Phase Noise (dBc/Hz @ 1MHz)	FOM
[5]	2.4	2	0.7	-118.1	-182.7
[6]	2.4	0.66	1.2	-122.5	-182.6
This work	2.4	7	1.8	-118.5	-177.7

#### 감사의 글

이 논문은 2008년 ETRI 한국전자통신연구원 기술사업화본부의 SoC 산업진흥센터의 지원사업의 연구결과로 수행되었다.

## 참고문헌

- [1] Yijoo Shin, Taewon Kim, Junseo Park, Sangwoo Kim, Sungkwon Jang and Bokki Kim, " A Low Phase Noise Fully Intergrated CMOS LC VCO using a pMOS current source with a large gate length and bias filtering technique for IEEE 802.11a WLAN," Signals, Systems and Electronics, ISSSE '07. International Symposium page 521-524, 2007.
- [2] LeWang, Upadhyaya, P., Pinping Sun, Yang Zhang, Deukhyoun Heo, Yi-Jan Emery Chen, and DongHo Jeong, "A 5.3GHZ LOW-PHASE-NOISE LC VCO WITH HARMONIC FILTERING RESISTOE," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 3237-3240, May 2006.
- [3] Ali Hajimiri and Thomas H. Lee, " Design issues in CMOS differential LC oscillators," IEEE JOURNAL OF SOLIDSTATE CIRCUITS., vol. 34, no. 5, May 1999.
- [4] Hyun Seok Choi, Quang Diep Bui, Chul Soon Park, " A Low-Power CMOS VCO for 2.4GHz WLAN" Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium, 2007. CSIC 2007. IEEE, Page(s):1 - 4 Oct. 2007
- [5] Troedsson, N., Sjoland, H., "An ultra low voltage 2.4GHz CMOS VCO," IEEE Radio and Wireless Conference(RAWCON 2005), Aug. 2002.
- [6] Seshan, N., "Design of low power 2.4 GHz CMOS LC oscillators with low phase-noise and large tuning range," IEEE Circuits and Systems (ISCAS 2002), 26-29 May 2002.