

4.75 GHz WLAN 용 SiGe BiCMOS MMIC

차동 전압제어 발진기

배정형, 김현수, 오재현, 김영기
안양대학교

A SiGe BiCMOS MMIC differential VCO for 4.75 GHz WLAN Applications

Jung-Hyung Bae, Hyun-Soo Kim, Jae-Hyun Oh, Young-Gi Kim
Dept. of Data Communication, Anyang University, 707-113, Anyang 5-Dong, Mananku, Anyang-City,
Kyungki-Do, 430-714, KOREA
(E-mail:kimyg@aycc.anyang.ac.kr, Tel & Fax.:+82-31-467-0894)

Abstract

The design, fabrication, and measured result of a 4.7 GHz differential VCO (Voltage Controlled Oscillator) for a 5.2 GHz WLAN (Wireless Local Area Network) applications is presented. The circuit is designed in a 0.35 mm technology employing three metal layers. The design is based on a fully integrated LC tank using spiral inductors. Measured tuning range is 10% of oscillation frequency with a control voltage from 0 to 3.0 V. Oscillation power of ≈ 2.3 dBm at 4.63 GHz is measured with 21 mA DC current at 3V supply. The phase noise is ≈ 104.17 dBc/Hz at 1 MHz offset.

1. 서론

최근 수년간 이동통신 시장은 급속도로 성장하였으며, 노트북 컴퓨터, PDA (Personal Digital assistants) 등 휴대용 단말기들의 급진적인 보급 확대로 WLAN 및 Bluetooth 등 무선 기술에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이중 WLAN은 현재 국내에서 2.4 GHz 대

의 IEEE 801.b 표준 기반의 무선 LAN이 통용되고 있으나 최대 신호전달 속도가 11 Mbps로 유선 LAN에 비하여 상대적으로 느리기 때문에 멀티 미디어 서비스를 제공하기에는 미흡하여, 보다 더 빠른 속도의 무선 LAN에 대한 요구가 커지고 있다. 이에 따라 고속 무선 LAN의 표준안이 선진국을 중심으로 제정되었는데, 이러한 고속 무선 LAN의 표준은 유럽 ETSI (the European Telecommunications Standards Institute)의 HIPERLAN(High Performance Radio LAN)과 미국의 IEEE 802.11 등이며, 이를 위하여 C-band인 5 GHz 대역의 주파수 (5.15 - 5.3 GHz, 5.725 - 5.825 GHz)를 할당하고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.11.a 표준기반의 54Mbps의 데이터 전송이 가능한 고속 무선 LAN에 적합한 차동 전압제어 발진기를 저가의 실리콘 기판에 SiGe HBT 단일칩 직접회로로 구현 하였다.

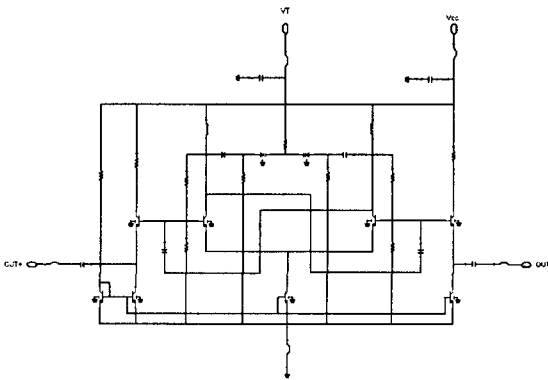
무선통신에서 주로 사용되는 Heterodyne 방식의 시스템에서 Local Oscillator의 특성은 전체 System의 성능에 큰 영향을 주게 되는데, 특히 우수한 위상잡음 특성과 충분한 출력전력 안정도가 중요시된다. Heterodyne Transceiver 구조에서 IF 주파수는 일반적으로 image rejection을 충분히 시키기 위하여 RF 주

파수보다 10 배 정도 낮게 주어지므로 RF 주파수대역을 5.15 GHz~5.35 GHz 로 선정 하였을 때 IF 주파수를 500 MHz 로 할 경우, 전압제어 발진기 (VCO) 는 4.65~4.85 GHz 의 주파수 조정범위를 가지도록 설계 하여야 한다[1].

Heterodyne 무선 통신 시스템에서 전압제어 발진기는 전체 시스템의 성능에 매우 큰 영향을 차지하며, 중요한 특성은 동작주파수, 온도에대한 주파수의 안정성, 전압에대한 주파수 선형특성, 주파수 조절 범위, 위상 잡음, 그리고 전력 소비를 포함한다[2].

2. 회로 설계

차동 전압제어 발진기는 회로 구조가 좌우로 대칭이기 때문에 좌우 양쪽의 출력 특성이 같으며, 출력파형의 위상이 180 도 차이가 나고 두 신호의 결합으로 인한 출력 전압은 두배가 되어 단일 종단 발진기보다 높은 출력을 얻을 수 있으며, 짝수 차수 고조파 성분이 서로 상쇄되어 2 차 고조파 성분이 단일 종단으로 구현된 발진기보다 더 많이 억압된다.



<그림 1> 차동 전압제어 발진기 회로도

<그림 1>은 VCO 의 간략화한 회로도이며, 회로에서는 일반적인 차동쌍의 교차된 피드백 구조의 회로와 공진 Tank, Emitter-follower Buffer 회로가 보여진다. 회로에서, capacitive coupling 을 가지는 차동형 교차된 피드백 구조 회로가 LC 탱크의 연속적인 발진에 필요한 부성저항을 공급한다.

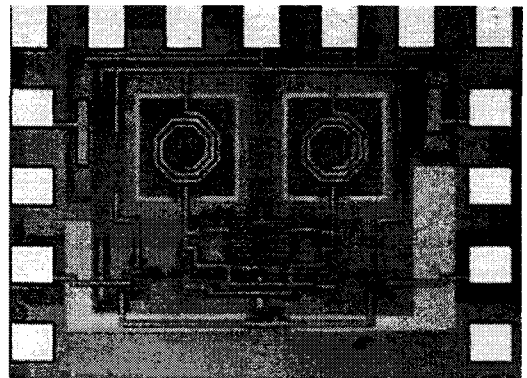
발진주파수를 V_T 의 증가에 따라 증가도록 하기 위하여 Varactor Diode 를 Choke 저항으로 접지에 연결하고

Capacitor 로 DC 성분을 차단시켰다. 여기에서 사용된 저항 때문에 위상잡음의 저하가 있었으며, 직류 차단 Capacitor 로 인하여 주파수조정 범위가 축소되었다. 이 choke 저항을 Inductor 로 대체할 경우 위상 잡음 특성은 향상되지만, 회로의 Chip 면적이 증가하는 단점이 있다.

LC-Tank 회로는 foundry 공정에서 제공된 spiral inductor 와 MIM capacitor, 그리고 varactor diode 로 구성 하였으며, Varactor Diode 는 외부와 직접 연결된 전압제어 회로에 의하여 capacitance 가 조절되어 공진주파수의 변화를 유도하여 발진기의 주파수 조절 범위를 조절하도록 하였다. LC 발진기는 다른 구조의 발진기들과 비교하여, 우수한 성능의 위상잡음 특성을 보이지만, inductor 의 특성에 의하여 발진기 전체의 성능이 좌우 되기 때문에 높은 Q 값을 가지는 inductor 를 사용하여야 한다.

공진기는 높은 impedance 특성을 가지고 있기 때문에 낮은 impedance 특성을 가지고 있는 외부의 다른 회로단과 직접 연결될 경우 공진기의 주파수와 위상잡음등의 특성을 변화 시키게 되는데, 이러한 외부의 변수로부터 공진기로서의 영향을 줄이고 안정된 출력을 얻기 위하여 출력단에 입력 impedance 특성이 높은 emitter-follower 를 buffer 로 사용하였다 [1],[3],[4]. 또한 실리콘 기판의 기생 손실과 잡음문제등을 억제시키기 위하여 ground shield micro-strip line 구조를 적용하였다 [5],[6].

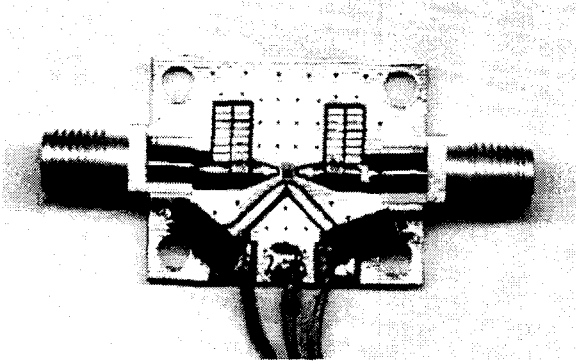
3. 측정 및 결과



<그림 2> 차동 전압제어 발진기의 칩사진

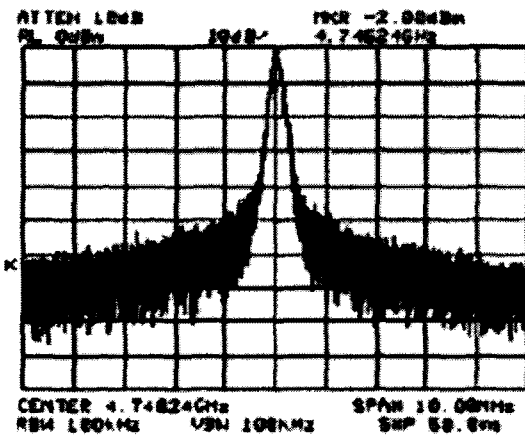
발진기 회로의 시뮬레이션 결과를 토대로 발진기를 MMIC 로 제작 하였으며, 제작된 발진기의 측정은 측정상의 어려움으로 인하여, 두개의 출력중 한쪽단을 50 ohm 으로 종단 시키고 나머지 한쪽단의 출력을 측정하

였다. 측정 장비는 HP 사의 Spectrum Analyzer 8563 E 를 사용하여 출력전력 스펙트럼과 위상잡음을 측정하였다. <그림 2>와 <그림 3>은 제작된 발진기의 칩 사진과 발진기 칩을 금실로 wire bonding 하여 COB (Chip on Board) 테스트를 하기 위하여 제작된 테스트 보드의 사진이며, 전체 크기는 각각 $970\ \mu\text{m} \times 670\ \mu\text{m}$ 와 $25\ \text{mm} \times 20\ \text{mm}$ 이다.



<그림 3> COB 테스트 보드 사진

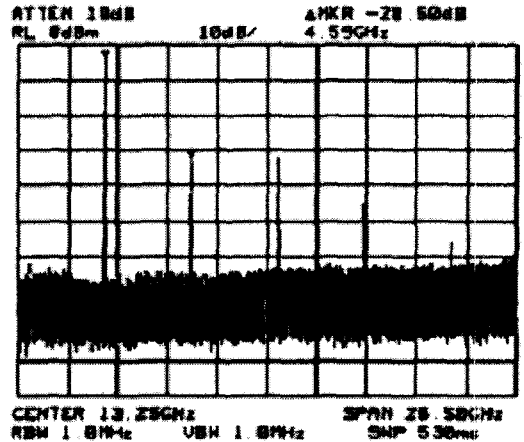
<그림 4>는 제작된 발진기를 테스트 보드에 부착시킨 후 측정한 출력 전력을 결과로써 4.75 GHz 에서 $\approx 2.0\ \text{dBm}$ 을 보이고 있다.



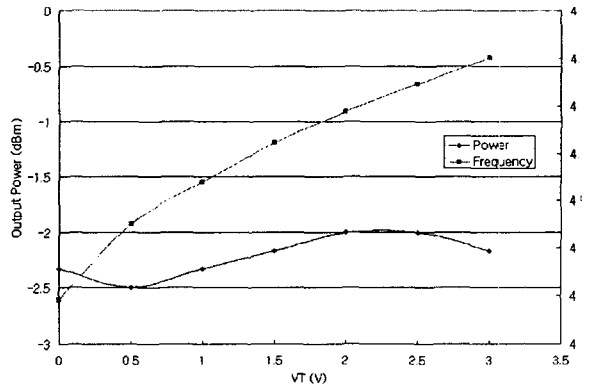
<그림 4> 100 KHz Span 에서의 VCO 출력 전력 스펙트럼

<그림 5>는 발진기의 Harmonics 출력 전력을 나타

내며, 1 차와 2 차 고조파의 차가 $\approx 28.5\ \text{dBc}$ 임을 나타내고 있다. 이 결과는 차동 발진기의 한쪽 단에서만 측정된 것이기 때문에 이 차동 발진기를 차동으로 측정할 경우에는 출력 전력이 3 dBm 증가할 것이고 짝수차 고조파의 상쇄가 일어나 짝수 고조파의 전력은 현저하게 감소 할 것이다.



<그림 5> VCO 의 고조파 출력 전력 스펙트럼

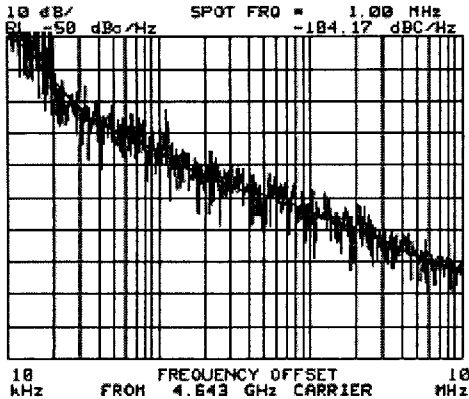


<그림 6> 조정 전압에 따른 출력 전력과 주파수 변화 그래프

<그림 6>은 Varactor 의 전압을 조절하여 측정한 주파수와 출력 전력의 변화량이며, 주파수 조정 전압의 변화에 따라 출력 전력이 일정하게 증가 하는것을 보인다. 이 결과에서 V_T 가 0 V 에서 3 V 로 변화함에 따라 주파수는 4.291~4.8 MHz 로 변화하며, 출력 전력은 0.5 dBm 의 변화를 보인다.

<그림 7>은 발진기의 위상 잡음을 측정된 결과로써

1MHz offset 에서 -104.17 dBc/Hz 를 나타낸다.



<그림 7> 측정된 위상 잡음 그래프

4. 결론 및 고찰

본 논문에서는 $0.35 \mu\text{m}$ SiGe 공정을 이용하여 C-Band WLAN 용 차동형 전압제어 발진기를 설계, 제작, 측정 하였다. 사용된 Transistor 는 f_T 가 45 GHz, f_{MAX} 가 60 GHz 이며, MIM capacitor, Spiral Inductor, Varactor Diode, 저항 등의 수동소자는 foundry 에서 제공된 Model 들을 사용 하였다.

<표 1> 결과 요약

	Simulation Result	COB Measurement
Supply Voltage (V)	3	3
Current Consumption (mA)	27.9	21
Tuning Range (MHz)	532 (4,437~4,969)	508 (4,291~4,801)
Tuning Voltage (V)	0~3	0~3
Out Power (dBm)	2.643	-2.3
Phase Noise dBc/Hz (1 MHz Offset)	-103.8	-104.17

제작된 VCO 는 <표 1>에서 요약된 것과 같이 V_{CC} 전압을 3 V 로 인가 하였을 때 21 mA 의 전류를 소모하

며, 위상 잡음은 1 MHz 의 Offset 에서 -104.17 dBc/Hz 를 나타낸다. 0~3V 의 전압조절 에서 전압의 변화에따라 선형적으로 출력 주파수가 변화하는 것을 알 수 있다. 주파수 조절 범위는 508 MHz 이며, 전압의 측정된 출력 전력은 전 범위에서 일정한 범위를 가지며 1.5 V 의 V_T 에서 -2.3 dBm 의 출력 전력과 4.63 GHz 의 출력 주파수를 나타내었다.

Reference

- [1] Jean-Oliver Plouchart, Herschel Ainspan, Mehmet Soyuer, and Albert Ruehli, " A Fully-Monolithic SiGe Differential Voltage-Controlled Oscillator for 5GHz Wireless Applications" , 2000 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. pp. 57-60, 2000.
- [2] David M. Pozar, " Microwave Engineering" , John Wiley & Sons Inc, 2st edition, 1998.
- [3] Aristides Kyranas and Yannis Papananos, " A 5GHz Fully Integrated VCO in a SiGe bipolar technology" , ISCAS 2000- IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May 28-31, 2000, Geneva, Switzerland, vol. 5, pp. 193-196, 2000.
- [4] Sek-Yuen Loo, Bruce G. Colpitts and David McG. Luke, " Fully-Integrated Bipolar Differential VCOs at 2.95 and 5.7GHz" , Electrical and Computer Engineering, 2000 Canadian Conference on , Vol 2, pp. 797-801, 2000.
- [5] John D. Cressler, " SiGe HBT Technology: A New Contender for Si-Based RF and Microwave Circuit Applications" , *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 46, pp. 572 -589, May 1998
- [6] Young-Gi Kim, Chang-Woo Kim, etc " A Dual Band SiGe MMIC LNA and Mixer with Ground Shield for WCDMA and CDMA Applications" , *2001 IEEE Radio and Wireless Conference* . Boston, USA, pp. 41-44, August, 2001.