

C-band WLAN용 SiGe MMIC 차동형 전압제어발진기 설계 및 제작

*박민기, 고호정, 채규성, 김창우
경희대학교 전자공학과

전화 : 031-201-2964 / 핸드폰 : 016-9370-9328

Fabrication and Design of a SiGe MMIC Differential VCO for C-band WLAN Applications

*Min-Ki Park, Ho-Jeong Ko, Kyu-Sung Chae and Chang-Woo Kim
Department of Radio Engineering, KyungHee University
E-mail : hero2da@hanmail.net

Abstract

A SiGe HBT MMIC differential VCO has been developed for C-band wireless LAN applications. The VCO produces -6.4 dBm output power at 4.75 GHz. The VCO exhibits a 490 MHz tuning range with control voltage from 0.5 V to 2.5 V. The phase noise of the VCO exhibits -106.5 dBc/Hz at 1 MHz offset from the 4.75 GHz carrier. The total current consumption of the VCO is 10 mA at a supply voltage of 3 V.

I. 서론

초고속 무선 접속 기술은 어디에서나 사용자에게 서비스를 제공할 수 있어 미래 지향적 서비스 기술로 주목 받고 있다. 특히 차세대 무선 LAN 기술로는 유럽 ETSI의 HIPERLAN/2와 미국의 IEEE 802.11a를 들 수 있으며, 이를 위하여 C-band인 5 GHz 대역의 주파수를 할당하여 놓은 상태이다^[1]. 유럽 방식인 HIPERLAN/2은 ETSI의 BRAN Project로부터 시작되었고, 미래의 멀티미디어 어플리케이션을 지원하며 광대역 코어 네트워크와 포터블 단말기(PDA Handy pc)

사이를 연결할 수 있는 초고속 무선 LAN을 말하며, 미국 방식인 IEEE 802.11a는 다중 반송파 변조 방식인 OFDM 변조 방식을 사용하는 큰 특징을 가진다. 이 변조 방식을 사용함으로써 6 Mbps에서 최대 54 Mbps의 가변 데이터 전송 속도를 지원 할 수 있어 초고속 데이터 전송이 가능하다. 아직 국내에서는 5 GHz 대역을 기반으로 하는 장비는 미 출시된 상태이며, 여러 분야에서 이 대역을 활용을 위한 제품 개발에 초점이 맞춰 지고 있다. WLAN과 같은 초고주파 대역에서 사용 되는 RF Device로서 SiGe HBT가 주목 받고 있다. SiGe HBT는 기존의 Si BJT에 비해 매우 높은 에미터 방출 효율과 전류 이득을 가지며, 고주파에서 잡음이 적고 동작의 선형성이 우수하다. 또 f_r (cut-off frequency)와 f_{max} (maximum oscillation frequency)를 월등히 높은 값을 가지고 있어 초고주파, 초고속에 쓰이는 Device로 적합하다^{[2][3]}. 그리고 Si와 같은 공정을 쓰고 있어 대량 생산을 할 수 있으며, 높은 안전성과 신뢰도를 가져 GaAs HBT보다 우수한 경쟁력을 지니고 있다^[4].

본 논문에서는 ST Microelectronics社의 SiGe HBT를 이용하여 C-band용 차동형 VCO를 설계 및 제작하였다. 설계시에는 Agilent Technologies社의 ADS (Advanced Design System)를 이용하였으며, SiGe BiCMOS 공정을 이용하여 VCO를 제작하였다. 주요 설계 목표는 참고 문헌 [1],[2],[3]의 사양을 기준으로 설정하여 <표 1>에 나타내었다.

* 본 논문은 정보통신부 연구진흥원의 대학기초 지원사업의 연구비로 수행되었음.

항목	목표사항
Center Freq.	4.75 GHz
Tuning Range	4.5 ~ 5 GHz
Tuning Voltage	0.5 ~ 2.5 V
Output Power	> -7 dBm
Phase Noise	> -90 dBc/Hz (@1MHz Offset)

<표 1> 차동형 VCO의 설계 목표^{[1][2][3]}

II. VCO 회로 설계

2.1 VCO 회로 설계

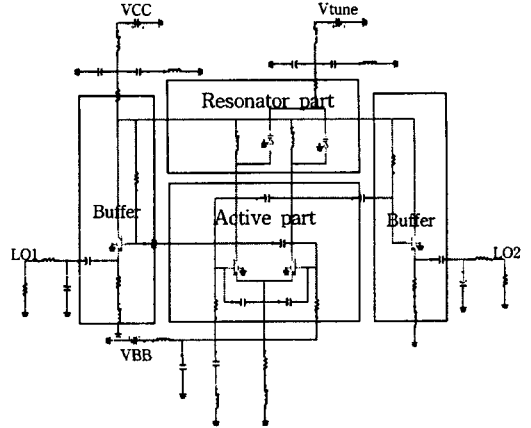
VCO는 외부에서 인가되는 전압의 변화에 의해 발진주파수를 조절할 수 있으며, 일반적인 발진기의 공진부를 전압에 따라 공진주파수가 가변 될 수 있는 구조로 대체 한 것이다. 발진기의 기본 원리는 궤환을 이용한다는 면에서 증폭기와 유사하나 안정도(stability) 측면에서는 항상 불안정(unstable)영역에서 동작한다는 차이점이 있다. 즉 발진기는 외부로부터의 입력신호가 없어도 일정 주파수와 레벨을 갖는 신호를 만들게 되며 출력 주파수와 크기는 회로 구성 소자들의 의해 결정되어진다.

본 논문에서 설계한 VCO는 capacitive positive feedback을 통해 부정저항을 갖는 차동형 VCO 회로로서 <그림 1>과 같은 구조를 갖고 있다. Active Part에서는 capacitive coupling을 갖는 상호 결합된 차동형 구조가 LC 탱크회로의 손실과 지속적인 발진을 위한 부정저항을 공급하고 있다^{[1][2][5]}. Resonator Part에서는 컬렉터와 연결된 인덕터가 버랙터와 함께 공진을 하여 발진 주파수를 결정 하고 안정화 시킨다. 그리고 Resonator Part의 버랙터는 주파수 변화를 위해 사용하고 있다. 버랙터에 역방향 전압을 증가시키면 공간 전하 영역이 넓어져서 버랙터의 커패시턴스가 작아지고, 역방향 전압을 감소시키면 공간 전하 영역이 좁아져서 커패시턴스가 커지기 때문에 역방향 전압의 의한 커패시턴스의 크기는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$C_j = \frac{A}{2} \left[\frac{2q\epsilon N_d}{V_o - V} \right]^{1/2}$$

즉, 역방향 전압에 따라서 접합 커패시턴스가 $[1/(V_o - V)]^{1/2}$ 에 비례하는 특징을 가지며, 이와 같이 역방향 전압에 의한 버랙터의 커패시턴스 변화에 따라 공진주파수를 변화시켜서 튜닝레인을 얻을 수 있다^{[6][7]}. Buffer에서는 외부 변동으로부터 공진기를 격리 시키고, 높은 입력 임피던스와 낮은 임피던스를 제공하여 부하에 전달되는 전력이 최대가 되도록 하는

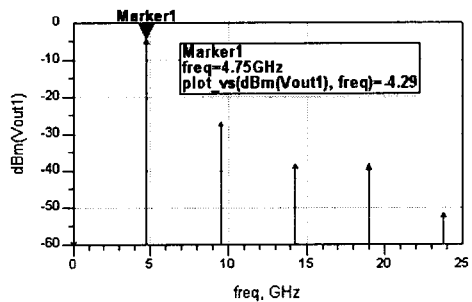
이미터-폴로워 형태를 사용하였다.



<그림 1> 차동형 VCO 회로도

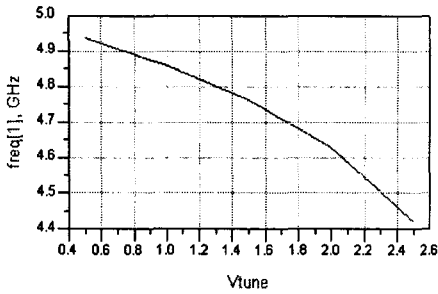
2.2 VCO 회로 시뮬레이션 결과

차동형 VCO는 좌우 대칭이기 때문에 좌우 출력 특성은 같다. 따라서 버퍼가 연결된 한 쪽 단단(single stage)의 출력 특성을 알면 나머지 단도 같은 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다. <그림 2>에 4.75 GHz에서 버퍼가 연결된 단단의 출력 스펙트럼을 나타내었다. 발진 주파수 4.75 GHz에서 -4.3 dBm의 출력 전력과 캐리어 대비 -22 dBc 정도의 고조파 억압 특성을 얻을 수 있었다. 만약 역위상 출력을 갖는 차동형 구조에서 한쪽 출력단이 180° 위상차를 가지며 결합될 경우 출력 신호의 크기가 두배로 증가되는 효과가 있게 된다. 따라서 단단 보다 더 큰 출력 전력을 얻을 수 있으며, 우수차 고조파 성분들의 상쇄에 의해 단단 보다 많은 억압 특성을 얻게 될 것이다.



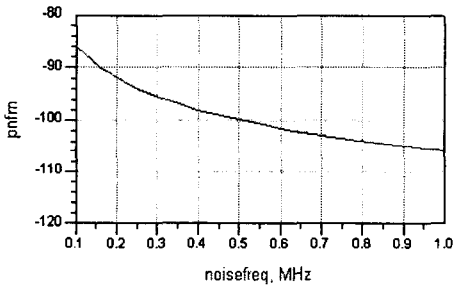
<그림 2> 4.75 GHz의 출력 스펙트럼의 시뮬레이션 결과

<그림 3>에 튜닝 전압에 따른 발진주파수 변화를 나타내었다. 0.5 V ~ 2.5 V에서 약 515 MHz의 튜닝 주파수 범위를 갖는다는 것을 보여 주고 있다.



<그림 3> Tuning Voltage에 따른 발진 주파수의 시뮬레이션 결과

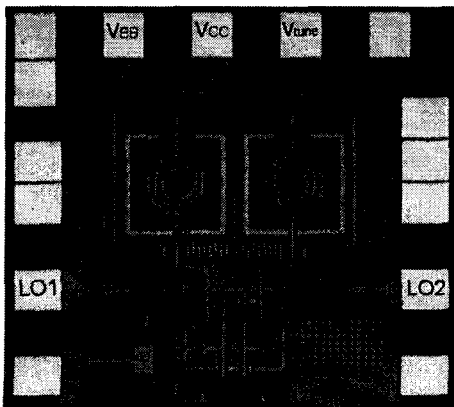
<그림 4>에 시스템 선택도 및 인접 채널 억압비 등의 특성에 영향을 미치는 위상 잡음 특성을 나타내었다. 4.75 GHz의 1 MHz offset 주파수에서 -106.5 dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 보여 주고 있다.



<그림 4> 위상잡음 특성의 시뮬레이션 결과

III VCO MMIC 제작 및 측정

설계된 VCO를 ST Microelectronics社의 BiCMOS 공정을 이용해서 제작하였다.

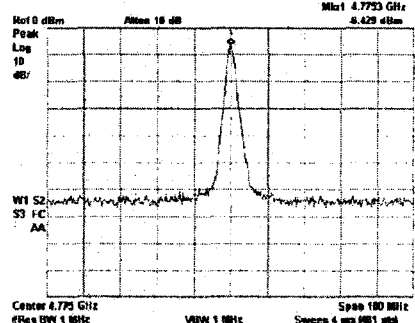


<그림 5> VCO Chip (1mm×1mm)

<그림 5>에 제작된 차동형 VCO Chip을 보이고

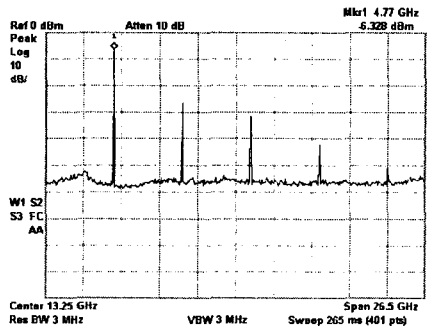
있다. VCO를 동작 위한 bias조건으로 $V_{CC} = 3\text{ V}$, $V_{BB} = 1\text{ V}$ 그리고 주파수를 변화 시키는 튜닝 전압으로 0.5 V ~ 2.5 V를 주었다. Chip 크기는 1 mm×1 mm이다.

<그림 6>에 제작된 VCO의 4.75 GHz의 출력 스펙트럼을 나타내었다. 발진 주파수 4.75 GHz에서 -6.4 dBm의 출력 전력을 보여 주고 있다.



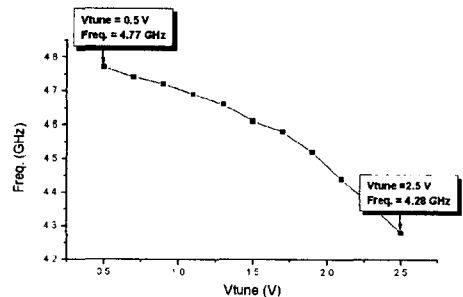
<그림 6> 4.75 GHz의 VCO 출력 스펙트럼 측정 결과

<그림 7>에 제작된 VCO의 고조파 억압 특성을 나타내었다. 2차 고조파성분의 캐리어 대비 억압 전력비가 -21 dBc인것을 보여 주고 있다.



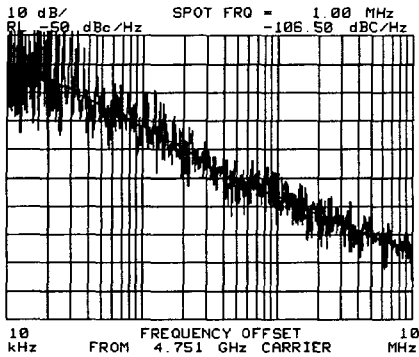
<그림 7> VCO의 고조파 억압 특성 측정 결과

<그림 8>은 제작된 VCO의 튜닝 전압의 특성을 나타내었다. 튜닝 전압 0.5 V ~ 2.5 V에서 490 MHz의 튜닝 주파수 범위를 가지는 것을 보여 주고 있다.



<그림 8> Tuning Voltage에 따른 발진 주파수의 측정 결과

<그림 9> 제작된 VCO의 위상 잡음 특성을 나타내었다. 4.75 GHz의 1 MHz offset 주파수에서 -106.5 dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 보여 주고 있다.



<그림 9> 위상 잡음 특성 측정 결과

제작한 VCO를 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교해 본 결과, 실제 측정된 VCO 출력 전력은 시뮬레이션 결과보다 약 2 dBm 적은 출력 특성을 나타내었으며, 고조파 억압비는 -1 dBc정도 측정 결과가 낮게 나왔다. 튜닝 주파수 범위는 490 MHz로 시뮬레이션상의 튜닝주파수가 거의 일치했지만, 측정된 발진 주파수는 4.28 ~ 4.77 GHz 변화를 보였고, 시뮬레이션시 발진 주파수는 4.43 ~ 4.94 GHz로 약 200 MHz정도 차이를 보였다. 잡음 특성의 경우에는 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 -106.5 dBc/Hz로 일치한 결과를 얻고 있다.

IV 결론

본 논문에서는 5 GHz WLAN의 송/수신단에 응용할 수 있는 VCO를 SiGe HBT를 이용하여 차동형 VCO를 설계 및 제작하였으며, 설계 결과와 제작 결과를 <표 2>에 나타내었다.

항목	단위	설계목표	설계결과	측정결과
Center Freq.	GHz	4.75		
Tuning Voltage	V	0.5~2.5		
Out Power	dBm	> -7	-4.3	-6.4
Tuning Range	MHz	500	510	490
Phase Noise	dBc/Hz	< -90 (@1MHz Offset)	-106.5	-106.5
2nd Harmonic	dBc	-20	-22	-21
Current Consumption	mA	10	9.8	10

< 표 2 > 차동형 VCO의 설계결과 및 측정결과

측정 결과 제작된 차동형 VCO는 설계 요구 규격을 만족하였고, 5 GHz 대역의 WLAN용 송/수신 시스템에서 RF 핵심 부품으로서 만족할 만한 성능을 나타내 널리 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Jean-Olivier 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. Dig.*, pp57-60, 2000.
- [2] Aristides Kyranas and Yannis Papananos, "A 5 GHz Fully Integrated VCO In A SiGe Bipolar Technology", *2000 IEEE International Symposium on Circuits and Systems.* pp193-196 vol.5, 2000
- [3] Herschel Ainspan and Mehmet Soyuer "A Fully-integrated 5-GHz Frequency Synthesizer in SiGe BiCMOS", *IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting Dig* pp165-168. 1999
- [4] Ning T.H, "Trade-offs between SiGe and GaAs bipolar ICs", 1995 4th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, PP:434-438
- [5] Behzad Razavi, "RF Microelectronics", Prentice Hall, 1998.
- [6] J.M.Mourant, J. Imbornone, T. Tewksbury, "A low phase noise monolithic VCO in SiGe Bicmos", *2000 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symp. Dig.*, pp65-68, June 2000.
- [7] Paul R. Gray/ Robert G. MEYER, "Analysis and Design of ANALOG INTEGRATED CIRCUITS", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1992