

# InGaP/GaAs HBT 기술을 이용한 GPS대역 LC-VCO 설계에 관한 연구

최영구, 김복기  
광운대학교

## Design of a LC-VCO using InGaP/GaAs HBT Technology for an GPS Application

Young-gu Choi, Bok-ki Kim  
Kwangwoon Univ.

**Abstract :** The proposed differential LC cross-coupled VCO is implemented in InGaP/GaAs HBT process for an adaptive Global Positioning system(GPS) application. Two filtering capacitors are used at the base of output buffer amplifiers at the both sides of the core in order to improve phase noise characteristics. The VCO produced a phase noise of -133 dBc/Hz at 3MHz offset frequency from the carrier frequency of 1.489GHz and the second harmonic suppression is significantly suppressed up to -49dBc/Hz in simulation result. The three pairs of BC diodes are integrated in the tank circuit to increase the VCO Tuning range.

**Key Words :** InGaP/GaAs, HBT, MMIC VCO, Cross-coupled, GPS

### 1. 서론

GPS(Global Positioning system)에 사용되는 전압제어 발진기는 소형화, 슬림화, 경량화 되고, 보다 낮은 소비전력, 높은 C/N비, 저 전압 상태에서 구동되는 회로가 요구되고 있다. 또한 회로의 체적을 작게 하기 위해 기존의 하이브리드 형태에서 MMIC(Monolithic microwave integrated circuit)기법을 사용 능동소자 및 수동소자를 하나의 칩으로 구성하고 전압제어 발진기와 PLL이 하나의 모듈을 형성하는 초소형화 추세로 가고 있다.

전압제어 발진기 회로는 지상 및 위성통신 뿐만 아니라 측정 장비에서도 중요한 구성 요소이며, 주파수 상향 변환기, 주파수 하향 변환기, 주파수 변조기와 고주파 발진기의 중요한 구성요소이다. 대부분의 전압제어 발진기는 전압 파형기법을 이용한 발진을 이용 하였고, 넓은 범위를 실행 할 수 있는 것을 요구하였다. VCO 설계의 핵심은 위상잡음이 낮아야 한다.

따라서 LC-VCO의 위상잡음 개선 효과를 위해 차동 기법을 사용하였으며, 이 구조는 MMIC로 설계되는 전압제어 발진기에서 높은 루프 이득을 만들 수 있는 장점이 있다. 더불어 집적회로의 소자 크기를 줄일 뿐 만 아니라 인덕터와 캐패시터를 하나의 칩으로 구성하여 전압제어 발진기의 성능을 개선시킨다.

### 2. InGaP/GaAs HBT 기술

InGaP/GaAs HBT는 에미터의 InGaP층과 베이스의 Ga-As층이 이종접합을 이루고 있으며, 이전의 AlGaAs HBT에 비해 알루미늄에서 발생하는 물질산화가 없어 수명이 10~20배 정도 길며, 단순한 Wet-etching 공정을 함으로 온도에 따른 전류이득 변화가 적고, 이종 접합부의 공간일치가 우수한 장점이 있다. 콜렉터-에미터 전압이 증가할수록 일반적인 Si BJT와 달리 전류 이득이 감소하는 특성을 나타내고 이것은 콜렉터-에미터 전압이 증가함에 따라 트

랜지스터의 온도가 증가함에 따라 트랜지스터의 온도가 증가하고, 이로 인해 콜렉터 저항이 증가함으로 발생한다. HBT의 에피층 구조는 에미터-베이스-콜렉터의 NPN트랜지스터와 함께 베이스-콜렉터-기판의 PNP 기생 트랜지스터로 구성된 것과 같은 구조이며, GaAs HBT는 Si BJT에 비해 더 넓은 에미터 에너지 갭(gap)으로 더 높은 베이스 도핑이 가능하며 이로 인해 베이스 저항이 작아 순방향 전이 시간이 짧아 고속 동작이 가능하고, 전자, 전공의 이동도가 Si, Ge등에 비해 매우 높고 잡음지수가 우수하다. 또한 베이스 도핑을 매우 높게 함으로서, 얼리전압(Early-voltage)이 매우 높아 선형성이 우수하다. GaAs HBT는 그 수직적인 구조와 기판의 반절연 특성으로 인해 콜렉터-기판 캐패시턴스가 거의 무시할 만큼 작다.

### 3. 회로설계 및 시뮬레이션 결과

VCO는 비대칭 LC tank와 부성저항이 한쌍으로 구성되어 동작하는 코어 회로이다. cross-coupled differential 구조를 사용하여 flicker(1/f) 잡음을 줄이고, 피드백에 캐패시터를 연결하여 VCO에 적용해 보았다.

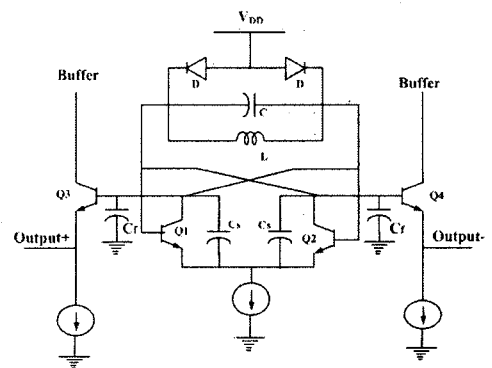


그림1. differential LC cross-coupled 코어회로 구조

LC공진기의 손실을 제거하기 위해 부성저항을 정제환 루프 형태로 cross-coupled 트랜지스터(Q1, Q2)에 공급한다. 이 루프는 cross-coupling 트랜지스터의 DC 바이어스 블록과 상향 및 하향변환기의 잡음을 억제하기 위한 캐패시터의 동작에 의해서 루프이득이 증가한다. VCO 코어는 두 개의 버퍼 회로를 구성하기 위해 두 개의 트랜지스터(Q3,Q4)를 사용하여 부하 임피던스(50Ω)로 부터 절연된다. 바이어스는 current mirror를 사용 지속적인 전류를 VCO 코어 부분에 공급하기 위해 사용 되었으며, current mirror의 소스는 출력버퍼 회로 뿐만 아니라 differential VCO 코어에 의해 일정한 전류가 공급된다. 이렇게 함으로서 VCO pulling figure가 개선된다. 이러한 코어 트랜지스터의 단자 2개를 최적화 하면 코어 회로에서 소모되는 전류가 낮게 유지된다. 이런 방법은 트랜지스터의 배치에 의해 VCO의 pulling figure와 출력 스윙의 요구가 가능하며, 높은 Q값을 얻어면 위상잡음이 작아진다. VCO의 전체 Q factor는 공진부의 Q값에 의해 결정된다. 나선형 인덕터와 캐패시터 공진부를 이용하면 개선되는 사항이다. 신호왜곡 보상을 위해 대칭 캐패시터가 사용된다.

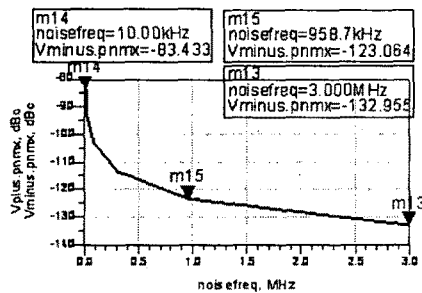


그림2. 위상잡음 시뮬레이션 모양

Cross-coupled 트랜지스터에 전원을 공급하는 구조로서 기존의 에미터 커플러 비안정 멀티바이브레이터 회로와 유사하며 Q1의 베이스를 Q2의 컬렉터에 연결하고, Q1의 컬렉터를 Q2의 베이스에 연결 하였으며, cross-coupled 트랜지스터의 pair가 tank회로에서 손실된 에너지를 소자의 gm으로 보상해 주면 정상상태의 발전이 계속적으로 이루어진다. 그리고 VCO의 LC tank 주파수를 조정 할 수 있는 Cs를 접속하면, Cs가 너무크면 제2고조파에 의해 기본파가 간섭 받는다. 회로의 동작은 differential -pair와 비슷하며, Cs가 너무 작으면 초기 발전이 일어나지 못하는 문제점이 있다. 따라서 Cs의 최적화 조건은 기본 주파수의 크기와 제2고조파의 크기와 상관관계가 있다. 따라서 부성저항은 발전을 크게하는 역할을 하고, 위상잡음을 개선하는데 이것은 캐패시터의 영향 때문이다.

시뮬레이션 결과 공진시 출력파형은 왜곡없이 shape한 파형을 나타내었고, 발전주파수는 센터 주파수 1.489GHz에서 Output power가 -8.5[dBm]이며, 기본주파수와 제2

고조파의 차이는 -49.5[dBc]이다. 또한 공급전압이 3[V]이고 조정전압이 0[V]일때, 위상잡음은 10 KHz offset에서 -83.4dBc/Hz, 13[MHz] offset 에서는 -133 dBc/Hz의 위상잡음이 나타났으며, 총 소비전류는 5.5[mA]로 위상잡음이 매우 양호함을 확인 하였다.

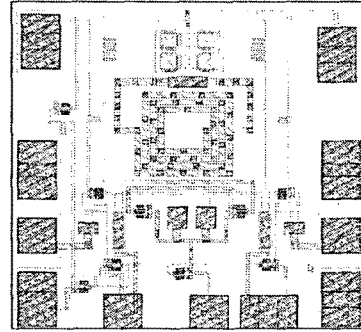


그림 3. 설계된 VCO의 layout (800×800um<sup>2</sup>)

#### 4. 결론

본 논문에서 InGap/GaAs HBT를 기반으로 새로운 differential LC cross-coupled VCO를 GPS 에 응용 시킬 수 있고, 트랜지스터의 수를 줄여 VCO의 전력소모를 줄일 수 있었다. VCO tank는 위상잡음을 최소화 시킬 수 있는 최적의 상태가 된다. 피드백 경로는 두 개의 캐패시터를 사용함 으로서 위상잡음을 항상 시킬수 있었고, 소자의 숫자를 줄일 수 있었다. 제안된 VCO 는 위상잡음의 특성이 뛰어나게 만들고, GPS의 VCO 에 적용 할 뿐만 아니라 LNA, Mix, IF-Amp, down-converter등의 모듈을 SoC 하는 도구로 사용 될 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Donhee ham, and Ali Hajimiri, "Concept and Methods in Optimization of Integrated LC VCOs," IEEE J Solid-State Circuits, vol.36, no.6, June 2001.
- [2] D. B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum", proc. IEEE, vol.54, no.2,
- [3] Ali Hjimiri, "A General Theory of Phase Noise in Electrical Oscillators", IEEE Journal of Solide-state Circuits, vol. 33, no.2, February 1998
- [4] Bhanu Shrestha, "Design of a differential Colpitts Voltage Controlled Oscillator using InGap/GaAs HBT Technology for an ICS Application". KEES, June, 2006
- [5] Choong Yul Cha, Sang-Gug Lee, "Overcome the phase noise optimization limit of differential LC oscillator with asymmetric capacitance tank structure", RFIC Symposium, Digest of Papers, IEEE, sep 1998