

High-Q MEMS Spiral Inductor를 이용한 RF VCO

김 태 호, 김 경 만, 서 희 원, 황 인 석, 김 삼 동
동국대학교 전자공학과
전화 : 02-2260-8698 / 핸드폰 : 011-9008-0463

RF VCO with High-Q MEMS-based Spiral Inductor

Tae-Ho Kim, Kyoung-Man Kim, Hee-Won Suh, In-Seok Hwang, Sam-Dong Kim
Dept. of Electronics, Dongguk University
E-mail : gonzo76@dgu.edu

Abstract

This paper presents a cross-coupled RF VCO with high-Q MEMS-based spiral inductors. Since the use of high-Q inductors is critical to VCO design, MEMS-based spiral inductors with the Q-factor of nearly 22 are used for the RF VCO with an active cascode current source. The RF VCO circuits including spiral inductors have been designed and simulated in GaAs MMIC-MEMS process. The simulation results of the VCO circuits showed the phase noise of $-180\text{dBc}/\text{Hz}$ at an offset frequency of 500KHz . The RF VCO circuit simulation used 2mA DC current and 3.3V supply.

quality factor를 갖는, 수동 소자 인덕터에 대한 연구였다. 집적화된 inductor는 대부분 spiral 형태로써 10 이하의 낮은 Q값을 가짐으로써 VCO 성능개선에 한계가 있었다.

본 논문의 RF VCO는 GaAs MEMS 공정을 기반으로 dielectric-supported airgapped microstrip line(DAML)구조를 사용하여 높은 quality factor를 갖는 inductor를 사용하였다. 또한 호환성을 고려하여 높은 동작주파수 특성을 가지는 GaAs PHEMT 트랜지스터를 사용하여 VCO를 설계하였다 [1]. 사용된 PHEMT는 게이트 길이 $0.1\mu\text{m}$, 단위 게이트 폭 $70\mu\text{m}$, 평거수 2개 그리고 소오스 드레인 간격은 $2\mu\text{m}$ 이다. 그리고 일반적으로 사용하는 전류 거울 형태의 전류원 대신 출력범위가 넓은 능동 캐스코드 전류원을 사용하여 고 성능 RF VCO를 설계하였다.

I. 서론

현대 사회의 최첨단 무선 통신 시스템들은 수십 GHz의 주파수 대역을 가지는 RF 집적회로를 필요로 하고 있다. 따라서 RF 전단의 주파수 합성기등에 대하여 보다 향상된 성능이 요구 되고 있다. 특히 VCO의 성능에 대해서는 고집적화, 낮은 위상잡음등이 요구되고 있으며, 고 성능 VCO에 대한 연구의 대부분은 높은

II. MEMS Spiral Inductor

Fig. 1은 spiral inductor를 사용하는 VCO 회로의 transconductance와 위상 잡음의 그래프로써, inductor Q-factor와의 관계를 나타내고 있다 [2]. 근본적으로, 위상잡음은 VCO 회로에서 사용하는 인덕터의 Q-factor에 많은 영향을 받고 있다. 즉, VCO회로는 Q값이 증가할수록 낮은 위상 위상잡음을 가지며 작은

transconductance를 가짐을 알 수 있다.

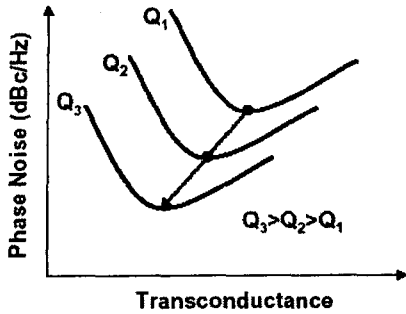
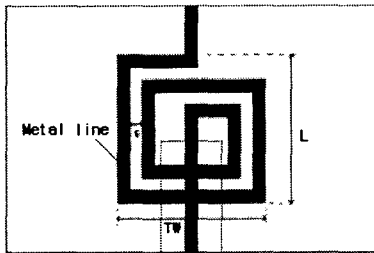


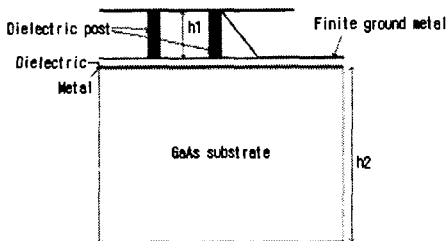
Fig. 1 VCO회로의 inductor Q-factor와 위상잡음의 관계

본 논문의 RF VCO에서 사용하는 spiral inductor는 high-Q값을 얻기 위하여 MEMS공정을 기반으로 한 DAML 구조 [3]를 갖고 있다. CMOS 공정을 사용할 경우 spiral inductor는 10이상의 Q값을 가지기 어렵다는 것은 널리 알려져 있다. 반면 GaAs technology를 사용한 MEMS spiral inductor는 낮은 유전 상수와 substrate loss에 둔감한 특성을 보이며 22이상의 Q값을 가지는 high-Q MEMS spiral inductor를 얻을 수 있다.



(a)

Fig. 2 DAML



(b)

을 이용한 inductor구조

(a) 종단면 (b) 횡단면 ($w=10\mu\text{m}$, $s=10\mu\text{m}$, $L=120\mu\text{m}$, $TW=120\mu\text{m}$, $h1=15\mu\text{m}$, $h2=680\mu\text{m}$)

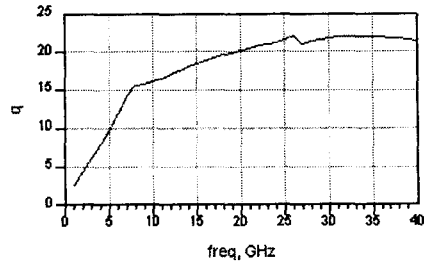


Fig. 3 DAML구조를 사용한 inductor의 Q-factor

Fig. 2는 본 논문의 VCO 회로에 사용한 DAML구조를 갖는 spiral inductor의 단면도이다. MEMS spiral inductor는 40GHz에서 4dB/cm 이하의 손실을 가지고 22이상의 Q-factor를 나타내고 있다. Fig. 3은 사용된 inductor의 주파수와 Q-factor의 관계를 보여주고 있다.

III. RF VCO

3.1 전류원

Fig. 4는 본 논문의 RF VCO에 사용하는 전류원 회로를 보여주고 있다. 사용된 전류원 회로는 negative feedback동작을 하는 능동 캐스코드 전류원 회로이다. 능동 캐스코드 회로는 출력값이 증가함으로써 기본적인 전류 거울 형태의 전류원보다 안정되게 동작할 수 있다. PHEMT 1, 4는 일반적인 전류 거울로써 동작하며 PHEMT 3은 차동증폭기 대신 단일 트랜지스터 증폭기를 사용함으로써 성능 개선을 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 쓰인 능동 캐스코드 전류원 회로는 출력 값도 높고 동작 속도도 높임으로써 더욱 안정된 회로로 동작할 수 있다.

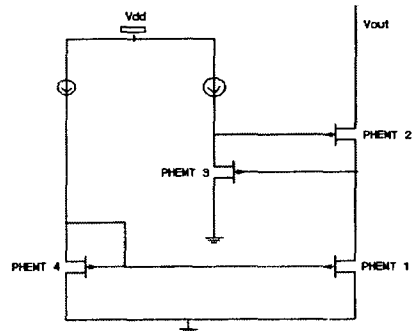


Fig. 4 능동 캐스코드 전류원 회로

3.2 VCO 회로

Fig. 5는 본 논문에서 사용한 cross-coupled LC VCO 회로를 보여주고 있다. VCO의 발진 주파수는 LC tank에서의 L과 C값의 의해서 결정되며, 여기에 사용된 inductor는 MEMS 공정을 사용한 spiral 구조로써 높은 Q값을 가진다. 회로의 구성은 높은 동작 주파수와 낮은 위상 잡음을 얻기 위해서 cross-coupled 형태의 VCO 회로를 사용하고 [4]-[6], 높은 출력값을 얻기 위해서 능동캐스코드 전류원 회로를 사용한다. Table. 1은 본 논문의 VCO에 사용된 PHEMT의 특성을 나타내고있으며, Fig. 6은 PHEMT의 I-V 특성을 보여주고 있다.

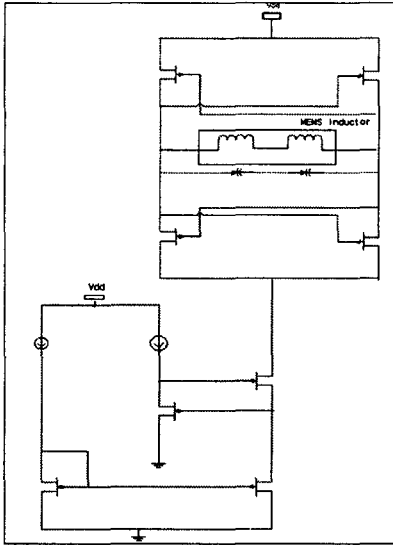


Fig. 5 VCO 회로

Data	Max	Min
Cut-off frequency	106.5(GHz)	85.2(GHz)
Maximum Transconductance (Gm, max)	378(mS/mm)	302(mS/mm)
Drain saturation current (Idss)	65.2(mA)	53.0(mA)

Table. 1 PHEMT 특성

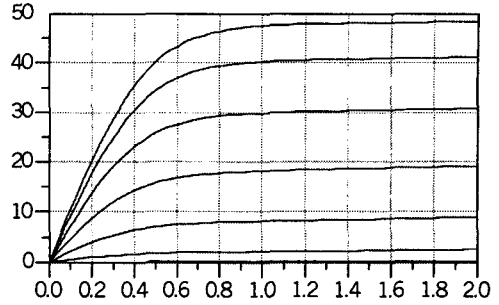


Fig. 6 I-V curve of PHEMT
(70 um × 2, V_g = -1.5V ~ 0 V, 0.25V step)

IV. Simulation 결과

RF VCO 회로의 simulation은 Agilent ADS simulation tool을 사용하였으며, 회로의 simulation은 두 단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째로, MEMS 공정에 기반을 둔 spiral inductor가 고 성능을 가지는가를 보기위해 22이상의 Q값을 가지는 high-Q spiral inductor를 가지고 simulation을 하였으며 두 번째로 10이하의 Q값을 가지는 35turn수의 기존의 spiral inductor를 사용하여 전체 simulation을 하였다. Fig. 7은 22이상의 Q값을 가지는 spiral inductor를 사용한 RF VCO 회로의 출력 power spectrum이며, Fig. 8은 35 turn수의 10이하의 Q값을 갖는 spiral inductor를 사용한 VCO의 출력 power spectrum이다. 20GHz에서 출력 power spectrum값을 비교해보았을 때 높은 Q값을 가지는 spiral inductor를 이용함으로써 고 성능의 VCO를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그리고 능동 캐스 코드 전류원 회로를 사용함으로써 VCO의 출력 power 값은 전류원 회로가 없는 기본적인 VCO의 출력 power값보다 두 배 이상 증가하였다.

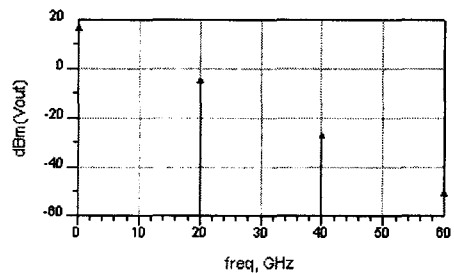


Fig. 7 MEMS spiral inductor VCO회로의 Vout

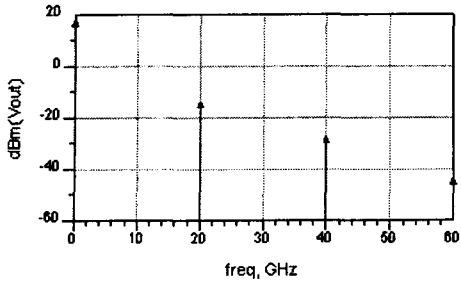


Fig. 8 35turn의 기존의 spiral inductor VCO의 Vout

V. 결론

LC tank의 quality-factor는 위상잡음에 중요한 영향을 미친다. 본 논문에서는 고 성능 RF VCO 회로를 설계하고자 22이상의 Q값을 가지는 MEMS공정에 기반을 둔 DAML구조의 spiral inductor를 사용하였다. 본 논문의 cross-coupled 형태의 LC VCO는 높은 출력값을 가지는 전류원 회로를 응용하여 RF VCO 설계를 하였다. VCO의 회로는 GaAs PHEMT를 사용하였으며 전체적으로 MMIC-MEMS 복합공정을 염두에 두었다. 전체적인 simulation 결과는 10이하의 낮은 Q값을 가지는 기존의 spiral inductor를 사용하였을 때 보다 22이상의 높은 Q값을 가지는 MEMS inductor를 이용한 VCO가 출력값과 위상잡음에서 더 좋은 특성을 보였다. 본 논문에서 사용된 RF VCO회로의 위상잡음은 -180dBc/Hz @ 500KHz 을 보였으며 출력 power값 또한 능동 캐스코드 회로를 사용함으로써 보다 높은 값을 얻을 수가 있었다.

감사문

이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] Kenjiro Nishikawa, Belinda Piernas, Kenji Kamogawa, Tadao Nakagawa, and Katsuhiko Araki, " Compact LNA and VCO 3-D MMICs Using Commercial GaAs PHEMT Technology for V-band Single-chip TRX MMIC," IEEE MTT-S, pp. 1717-1720, May 2002.
- [2] Eun-Chul Park, Jun-Bo Yoon, songcheol Hong, and Euisik Yoon, "A 2.6GHz Low Phase-noise VCO Monolithically Integrated with High Q MEMS Inductors," ESSCIRC , pp. 143-144, June 2002.
- [3] Young-Hoon Chun, Kyoung-Man Kim, and Han-Shine Lee, A New Type of Microstrip Line for Millimeter-wave Applications Using RF MEMS Technology, TSMW 2003, pp. 97-100, Mar. 2003
- [4] A. Hajimiri and T.H. Lee, " Design issues in CMOS diffeential LC oscillators," IEEE JSSC, vol36, pp.717-724, May 1999
- [5] A. Hajimiri and T. H. Lee, "Phase-noise in CMOS differential LC oscillators," Proc. VLSI Circuits, pp. 48-51, June 1998.
- [6] J. Craninckx and M. Steyaert, " A 1.8GHz low phase-noise CMOS VCO using optimized hollow spiral inductors," IEEE JSSC, vol.32, pp.736-744, May 1997