

77-GHz 레이더 센서용 전압 제어 발진기 및 2 단 주파수 분배기 설계

송재훈, 남상욱

서울대학교 전기공학부 뉴미디어통신공동연구소

초록

This paper includes 77-GHz VCO, 77-GHz injection-locking (IL) buffer, and two stage injection-locking frequency dividers (ILFDs) in 65nm CMOS process. Simulated frequency tuning range of the VCO, the 1st and the 2nd ILFD are 77~79 GHz, 36~40 GHz, 18~20.5 GHz, respectively. Frequency tuning range of ILFD is expanded by using 1:2 transformer. Buffer oscillation frequency is 79 GHz. IL buffer output power is simulated to be 6.5 dBm, owing to the injection-locked buffer with a high driving capability. The power consumption of the VCO, IL buffer, and ILFD is 8.4 mW, 46.4 mW, 8.6 mW, respectively.

1. 서론

최근 CMOS 트랜지스터의 게이트 길이를 짧게 하여 높은 차단 주파수를 갖는 CMOS 공정이 잇따라 개발됨에 따라 저비용, 고집적 특성을 갖는 CMOS 회로의 수요가 높아지고 있다. 밀리미터파 차량용 레이더 센서에서도 기존의 화합물 반도체를 이용한 레이더 센서를 CMOS 로 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1], [2].

그림 1 은 일반적인 77-GHz 주파수 조정 연속 파 (FMCW) 레이더 센서 송신기의 블록 다이어그램이다. 77-GHz 전압 제어 발진기 (VCO)에서 신호가 발생되면 이것이 주입-잠금 (Injection-Locking, IL) 버퍼의 발진 주파수를 VCO 의 주파수로 잠금시킨다. 버퍼의 출력은 주입-잠금 주파수 분배기 (ILFD)에 주입되어 각 단계에서 입력 주파수의 1/2 주파수로 잠금시킨다. 따라서 19.25-GHz 의 신호가 CML, TSPC 등으로 구성된 주파수 분배기 체인의 입력으로 들어가서 PLL 을 구동시킨다. 본 논문에서는 77-GHz VCO, 77-GHz IL 버퍼, 2 단의 ILFD 의 설계를 다루었다.

2. 회로 설계

a) 77-GHz LC VCO

설계된 회로들은 그림 2 에 나타나 있다. 그림 2(a)는 77-GHz VCO 의 회로이다. 설계된 VCO 는 일반적인 LC VCO 의 구조로 설계되었으며 LC 탱크를 구성하는 인덕터와 바랙터, NMOS 교차 결합 쌍, NMOS 전류 원 트랜지스터로 구성되어 있다.

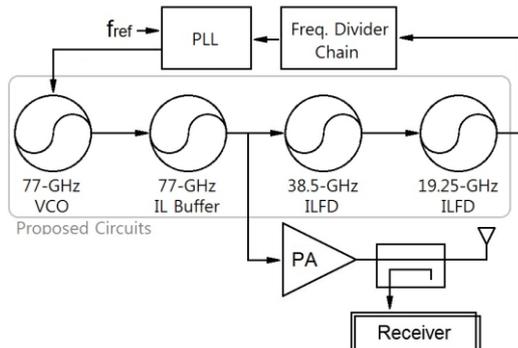


그림 1. 77-GHz FMCW 레이더 센서 블록 다이어그램.

b) 77-GHz 주입-잠금 버퍼

그림 2(b)는 주입-잠금(IL) 버퍼의 회로이다. IL 이란, 발진기의 발진 주파수가 주입된 입력 주기 신호의 주파수로 동기화 되는 방식을 의미한다. VCO 의 출력 신호가 M1 과 M2 트랜지스터의 게이트에 인가되어 버퍼의 발진 주파수를 VCO 의 출력 주파수로 잠금시킨다. M1 과 M2 는 단지 주파수만 전달하는 용도이므로 그 크기가 작게 설계되었고 버퍼의 교차 결합 쌍은 크게 설계하여 많은 전류가 흐르도록 하여 출력 전력을 높였다. 주파수의 잠금 조건과 잠금 범위는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다 [3].

$$|\omega_{inj} - \omega_0| < \Delta\omega_{lock} \quad (1)$$

$$\Delta\omega_{lock} = \frac{\omega_0 A_{inj}}{2Q A} \quad (2)$$

ω_{inj} 와 ω_0 는 각각 주입된 주파수와 발진기의 발진 주파수를 의미한다. $\Delta\omega_{lock}$ 은 주파수 잠금 범위이고, A_{inj} 는 주입된 신호의 진폭을, Q 와 A 는 발진기 탱크의 Q 와 진폭이다. 위 회로에서의 주입된 신호는 VCO 의 출력 신호이고, 발진기는 버퍼를 의미한다. 따라서 IL 버퍼의 출력 주파수는 M1 과 M2 를 통해 주입된 VCO 의 출력 주파수에 의해 (1)을 만족하는 범위 내에서 잠금되며, 그 범위는 (2)로 정의할 수 있다. 버퍼의 발룬 (Balun) 인덕턴스는 (1)의 잠금 주파수 범위 조건을 만족시키기 위해서 VCO 의 출력 주파수 근처의 주파수에서 트랜지스터의 기생 캐패시턴스와 공진하도록 설계되었다. IL 방식의 장점은 크기가 작은 M1 과 M2 트랜지스터가 VCO 의 출력 단에서 보이는 버퍼 발진기의 영향을 충분히 버퍼링하면서, 크기가 큰 트랜지스터 교차 결합 쌍을 이용하여 뒤따르는 전력 증폭기 (PA)를 구동하기에 충분히 큰 출력 전력을 발생시키는 드라이버 증폭기 (DA)의 역할을 동시에 수행이 가능하다는 점이다 [4].

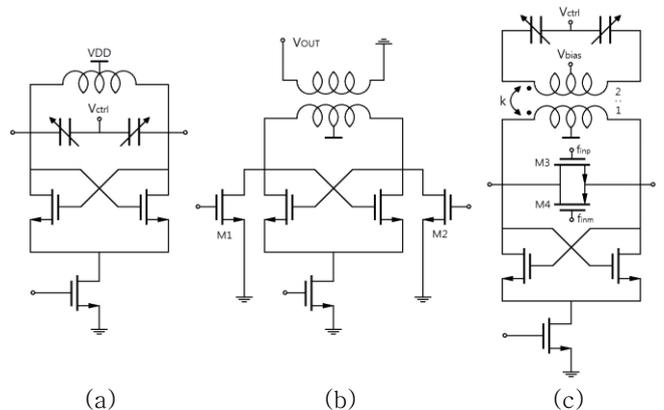


그림 2. 설계된 회로 그림.
(a) VCO, (b) IL 버퍼, (c) ILFD

c) 주입-잠금 주파수 분배기

그림 2 (c)는 그림 2 (b)와 마찬가지로 주입-잠금 기술을 이용한 일반적인 구조의 주입-잠금 주파수 분배기(ILFD) 회로이다. 일반적인 ILFD는 주입되는 신호의 절반의 주파수 근처에서 발진하는 일반적인 LC VCO에 병렬로 NMOS와 PMOS 스위치가 위치하고 있는 구조이다. ILFD의 동작 원리는 다음과 같다. 77-GHz 버퍼의 차동 출력 신호가 각각 NMOS인 M3와 PMOS인 M4에 인가되는데, 스위치를 동시에 켜주게 된다. 스위치가 켜지는 순간에 ILFD는 영점-교차(zero-crossing)가 일어나게 되어 입력 주파수의 절반의 주파수인 38.5-GHz로 발진기를 잠금시키게 된다 [5]. 설계된 ILFD는 그림 3과 같은 1:2 트랜스포머를 이용하여 ILFD의 발진 주파수 조정 범위를 크게 넓혔다. 이는 1:N 트랜스포머의 secondary에 병렬로 연결된 소자의 임피던스가 N^2 배로 보이는 원리를 이용한 것으로, 일반적인 LC VCO에 사용되는 크기의 바랙터를 사용하면서도 그보다 매우 넓은 주파수 조정 범위를 얻을 수 있었다. ILFD의 주파수 조정 범위가 넓어짐으로써 전체 잠금 주파수 범위 또한 넓어져서 시스템의 주파수 연결의 안정성을 확보하였다.

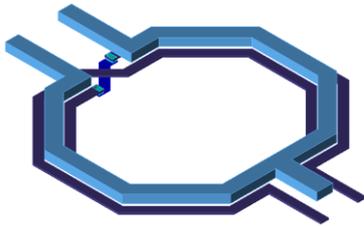


그림 3. 설계된 1:2 트랜스포머

3. 결과 및 결론

전체 회로 설계는 레이아웃에서 발생한 기생 성분들을 EM-시뮬레이션으로 추출하여 회로에 포함시켜 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 표 1에 나타나 있다. 설계된 VCO는 77~79GHz의 주파수 조정 범위와 1 MHz 오프셋 주파수에서 -88 dBc/Hz의 위상 잡음 특성을 가지며 DC 소모 전력은 8.4 mW이다. IL 버퍼는 79 GHz에서 발진하며 DC 소모 전력은 46.4 mW이고 발진을 통과한 출력 전력은 전 VCO 주파수 대역에서 5.5~6.5 dBm으로, 버퍼이면서 증폭기로서 충분한 출력 전력을 갖는다. ILFD는 첫 번째와 두 번째 분배기가 각각 36~40 GHz, 18~20.5 GHz의 주파수 조정 범위를 갖도록 설계되었고 각 ILFD의 DC 소모 전력은 8.6 mW이다. 설계된 회로는 큰 77-GHz 출력 전력을 발생시키면서 PLL을 구동하기 위한 1/4 주파수의 신호를 제공할 것으로 예상된다.

표 1. 설계된 회로의 시뮬레이션 결과

	VCO	IL 버퍼	1 st ILFD	2 nd ILFD
주파수 조정 범위 (GHz)	77~79	79	36~40	18~20.5
위상 잡음 (dBc/Hz @1MHz)	-88			
출력 전력 (dBm)		5.5~6.5		
DC 소모 전력 (mW)	8.4	46.4	8.6	8.6

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (2012-0000913)

This work was supported by the IDEC.

참고문헌

[1] S. Ttrotta, H. Knapp, D. Dibra, K. Aufinger, T. F. Meister, J. Böck, W. Simbürgerl, A. L. Scholts, "A 79 GHz SiGe-bipolar spreadspectrum TX for automotive radar," IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC) Dig. Tech. Papers, Feb. 2007, pp. 430-431.
 [2] H. P. Forstner, H. Knapp, H. Jäger, E. Kolmhofer, J. Platz, F. Starzer, M. Treml, et al., "A 77 GHz 4-channel automotive radar transceiver in SiGe," in Radio Frequency Integrated Circuit Symposium. Digest, Jun. 2008, pp. 233-236.
 [3] H. C. Chang, A. Borogioli, P. Yeh, R. A. York, "Analysis of oscillators with external feedback loop for improved locking range and noise reduction," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, pp.1535-1543, Aug. 1999.
 [4] J.H. Song, S.K. Kim, B.S. Kim, S. Nam, "Q-band VCO and injection-locked buffer for 77-GHz automotive radar system in 0.13- μ m CMOS," IEEE Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), Sep. 2011.
 [5] Gu, Q.J., H.Y. Jian, Z. Xu, Y.C. Wu, , M.C.F. Chang, Y. Baeyens, Y.K. Chen, "200 GHz CMOS prescalers with extended dividing range via time-interleaved dual injection locking," Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), 2010 IEEE, pp.69-72.