

드론 탑재 고도계용 ISM band FMCW Transceiver 설계

김수정, 김기진*

*㈜알에프넷시

sjkim@rfnissi.com, *nissi_ceo@rfnissi.com

Design of an ISM Band FMCW Transceiver for Drone-Mounted Altimeters

Soo Jeong Kim, Ki Jin Kim*

*RF NISSI Co., Ltd.

요 약

본 논문에서는 CMOS 65nm 공정을 이용한 드론 탑재 고도계용 ISM Band FMCW Transceiver 를 설계하였다. 설계된 Transceiver 는 24 GHz ISM band 대역에서 동작하는 PLL, LNA, Mixer 로 구성 되어있다. Transceiver 출력 주파수는 24.05 ~ 24.25 GHz 이며, chirp 상승 시간은 500usec 이다. VCO 의 위상잡음은 24 GHz 에서 -111 dBc/Hz (@1 MHz), LNA 의 잡음지수는 2 dB 이다. 설계된 시스템의 소모전력은 1.1 V 에서 35 mA, 2.5 V 에서 30mA 이다.

I. 서 론

드론의 군집비행 및 자율주행의 수요가 증가하면서 드론에 탑재가 가능한 여러가지 센서의 수요도 같이 급증하고 있다. 특히 드론의 안정적인 비행을 위해서는 드론의 고도를 정확하게 측정가능한 고도계를 필요로 한다. FMCW transceiver 를 이용하여 RADAR 를 만들면 정확성의 향상 및 악조건에서의 우수한 정확성을 확보할 수 있다[1-5]. 본 논문에서는 CMOS 65nm 공정을 이용하여 ISM 대역의 FMCW transceiver 설계를 제시한다. 드론 탑재 고도계용으로 최적화된 트랜시버는 24.05 ~ 24.25 GHz 주파수 출력을 가지는 PLL 과 LNA, 선형성 확보를 위한 passive mixer 로 구성하였다. 고도계용 RADAR 의 핵심부품인 VCO 의 위상잡음은 24 GHz 에서 -111 dBc/Hz(@ 1 MHz) 이며, LNA 의 잡음지수는 2 dB, 시스템 소모전력은 1.1 V 에서 35 mA, 2.5V 에서 30 mA 이다.

II. 본론

본논문에서는 드론 탑재용 고도계를 위한 FMCW transceiver 를 설계를 제시한다. 설계한 transceiver 의 블록 다이어그램을 그림 1 에 도시하였다. ISM band 신호를 생성하기 위한 chirp generator 및 수신부 LNA, 정밀한 신호 처리를 위해 I/Q Mixer 로 구성하였다. VCO 의 출력 주파수 확보 및 낮은 위상잡음 확보를 위하여 2.5V 소자를 이용한 크로스 커플드 PMOS, varactor, 트랜스포머로 구성하였다. 이를 통해 VCO 의 위상잡음은 24 GHz 에서 -111 dBc/Hz (@ 1 MHz)를 달성하였다. Transceiver 의 출력 파워는 8 dBm 이다. 드론에 탑재하는 고도계용 트랜시버 이기 때문에, PA 를 생략하고 전력소모를 최소화하였다. 고도계의 탐지거리 확장을 위해서는 추후 연구에서 PA 블록의 추가 또는 트랜시버 칩과 FEM 칩을 탑재한 시스템을 고려 할 수 있다.

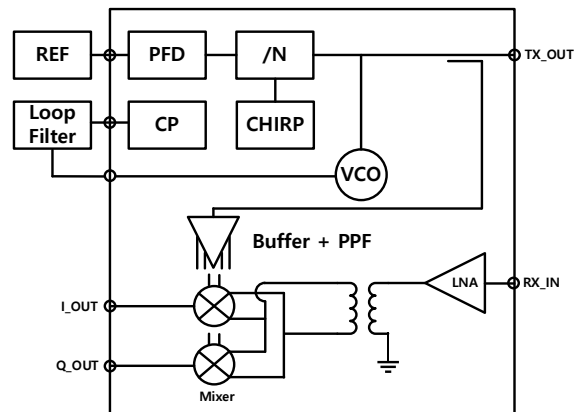


그림 1. FMCW Transceiver 블록 다이어그램

RADAR 시스템에서는 높은 TX 출력에 의한 리시버의 saturation 을 주의 해야 한다. 본 논문에서 설계한 트랜시버의 LNA 의 IP1dB 는 약 -10dBm, Gain 은 15 dB 이다. 안테나를 Isolation 을 약 -30 dB 로 가정하면 Mixer 로 전해지는 TX 누설 신호는 약 -7~8 dBm 으로 가정할 수 있다. 일반적인 CMOS mixer 의 Input P1dB 를 고려한다면 이는 RX 시스템을 saturation 시켜 RADAR target 신호를 제대로 수신할 수 없다. 이에 passive mixer 를 채택하여 TX leakage 에 의한 RX system block 문제를 해결하였다. 설계한 Passive mixer 의 conversion loss 는 약 2 dB 이며, IP1dB 는 -5 dbm 이다. 또한 고도계 RADAR 시스템의 정확성을 높이기 위해 I/Q Mixer 로 구성하였다. Passive mixer 로 설계하여 단일 채널 대비 I/Q 채널로 구성하여도 전력 소모가 증가하지 않기 때문에 드론 탑재에 적합하다고 할 수 있다.

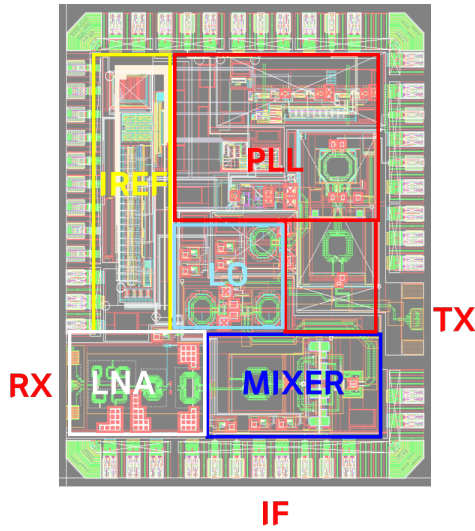


그림 2. FCMW Transceiver Layout

그림 2 에는 TSMC 65nm CMOS 트랜시버 Layout 을 도시하였다. ISM band 용으로 설계하였기 때문에 24.05 ~ 24.25 GHz 에서 정확하게 동작하도록 VCO 의 기생 capacitance 및 트랜스포머 EM 에 주의 하여 설계하였다. EM 시뮬레이션은 keysight 사의 ADS 를 이용하여 진행하였다. Phase noise 확보를 위해 Digital/VCO/Main 그라운드 및 전원을 모두 분리한 layout 을 완료하였다.

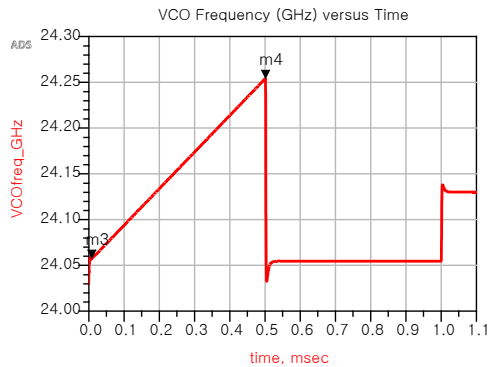


그림 3. Transient simulation 결과

그림 3 에는 ADS 를 이용한 transceiver system transient 시뮬레이션 결과를 도시하였다. 신호는 24.05 ~ 24.25 GHz 까지 변화하며 Chirp rising time 은 500 usec 이다.

III. 결론

본 논문에서는 CMOS 65nm 공정을 이용한 드론 탑재 고도계용 FCMW transceiver 설계를 제시하였다. Transceiver 의 출력 주파수는 24.05~24.25 GHz 이며, 주파수가 변하는 시간은 500usec, 출력 파워는 약 8 dBm 이다. 소모 전력은 1.1 V 에서 35 mA, 2.5 V 에서 30mA 이다. System Link Budget 계산 결과 설계한 FCMW transceiver 칩과 7 dBi 안테나를 이용해서 고도계 시스템을 설계한다면 150 m 의 고도까지 정밀하게 측정 가능한 시스템을 만들 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Technology Innovation Program (or Industrial Strategic Technology Development Program-Materials and Components Technology Development) (RS-2024-00446222, Development of X/Ku/K multi-band RF transceiver IC) funded By the Ministry of Trade Industry & Energy (MOTIE, Korea)

참 고 문 헌

- [1] H. Chen, B. Wang, Z. He and Y. Cheng, "Design of a Low-Cost X-Band FMCW Radar Transceiver Front-End," 2024 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Beijing, China, 2024, pp. 1-3, doi: 0.1109/ICMMT61774.2024.10671976.
- [2] F. Belfiore et al., "A 76 to 81GHz packaged transceiver for automotive radar with FMCW modulator and ADC," 2017 European Radar Conference (EURAD), Nuremberg, Germany, 2017, pp. 143-146, doi: 10.23919/EURAD.2017.8249167.
- [3] J. -H. Choi, J. -H. Jang and J. -E. Roh, "Design of an FMCW Radar Altimeter for Wide-Range and Low Measurement Error," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 12, pp. 3517-3525, Dec. 2015, doi: 10.1109/TIM.2015.2450294.
- [4] A. Abbas, M. Elsaid, S. F. Mahmoud, E. A. Abdallah and H. M. El-Hennawy, "Link Budget Analysis for FMCW Radio Altimeter," *2021 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt)*, Alexandria, Egypt, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITC-Egypt52936.2021.9513976.
- [5] S. B. Brown et al., "Aircraft Radar Altimeter Interference Mitigation Through a CNN-Layer Only Denoising Autoencoder Architecture," *MILCOM 2024 - 2024 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, Washington, DC, USA, 2024, pp. 306-311, doi: 10.1109/MILCOM61039.2024.10773907.