

드론 탑재 고도계용 ISM band FMCW Transceiver 설계

김수정, 김기진*

*㈜알에프닛시

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.

요약

본 논문에서는 CMOS 65nm 공정을 이용한 드론 탑재 고도계용 ISM Band FMCW Transceiver를 설계하였다. 설계된 Transceiver는 24 GHz ISM band 대역에서 동작하는 PLL, LNA, Mixer로 구성되어 있다. Transceiver 출력 주파수는 24.05 ~ 24.25 GHz이며, chirp 상승 시간은 500usec이다. VCO의 위상잡음은 24 GHz에서 -111 dBc/Hz (@1 MHz), LNA의 잡음지수는 2 dB이다. 설계된 시스템의 소모전력은 1.1 V에서 35 mA, 2.5 V에서 30mA이다.

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 transceiver를 이용하여 RADAR를 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 PLL과 LNA, 선형성 확보를 위한 passive mixer로 구성하였다. 고도계용 RADAR의 핵심부품인 VCO의 위상잡음은 24 GHz에서 -111 dBc/Hz(@ 1 MHz)이며, LNA의 잡음지수는 2 dB, 시스템 소모전력은 1.1 V에서 35 mA, 2.5V에서 30 mA이다.

II. 본론

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

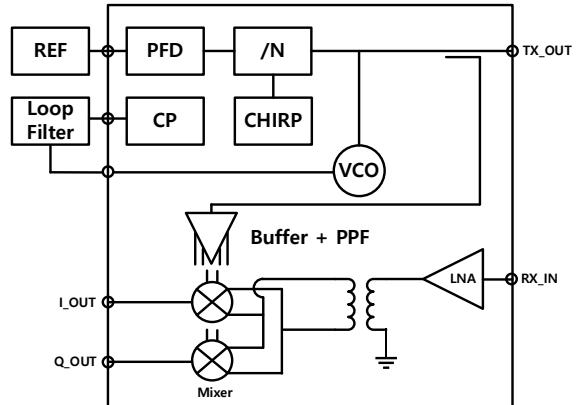


그림 1. FMCW Transceiver 블록 다이어그램

RADAR 시스템에서는 높은 TX 출력에 의한 리시버의 saturation을 주의 해야 한다. 본 논문에서 설계한 트랜시버의 LNA의 IP1dB는 약 -10dBm, Gain은 15 dB이다. 안테나를 Isolation을 약 -30 dB로 가정하면 Mixer로 전해지는 TX 누설 신호는 약 -7~8 dBm으로 가정할 수 있다. 일반적인 CMOS mixer의 Input P1dB를 고려한다면 이는 RX 시스템을 saturation 시켜 RADAR target 신호를 제대로 수신할 수 없다. 이에 passive mixer를 채택하여 TX leakage에 의한 RX system block 문제를 해결하였다. 설계한 Passive mixer의 conversion loss는 약 2 dB이며, IP1dB는 -5 dbm이다. 또한 고도계 RADAR 시스템의 정확성을 높이기 위해 I/Q Mixer로 구성하였다. Passive mixer로 설계하여 단일 채널 대비 I/Q 채널로 구성하여도 전력 소모가 증가하지 않기 때문에 드론 탑재에 적합하다고 할 수 있다.

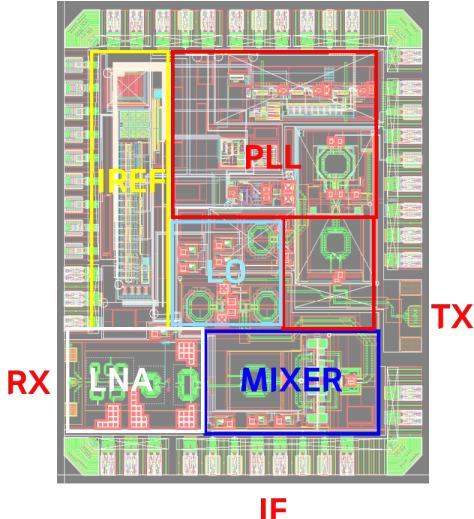


그림 2. FCMW Transceiver Layout

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.

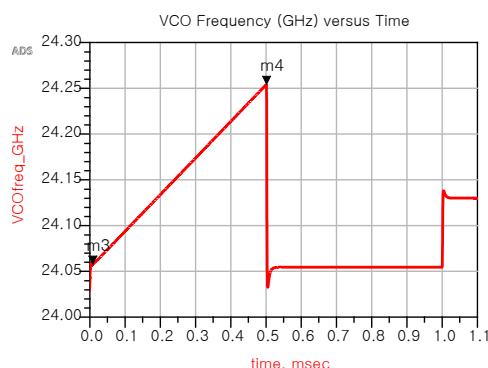


그림 3. Transient simulation 결과

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

본논문에서는 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 FMCW 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 현

- [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), Bejing, China, 2024, pp. 1-3, doi: 10.1109/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.