

2024 International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) Review

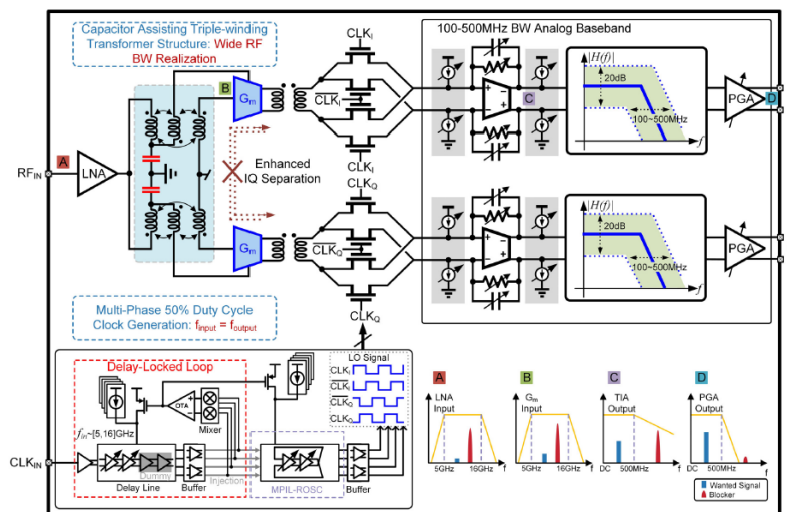
DGIST 전기전자컴퓨터공학과 송민영 교수

Topic : RF

Session 5 : Wireless RF and mm-Wave Receiver Techniques

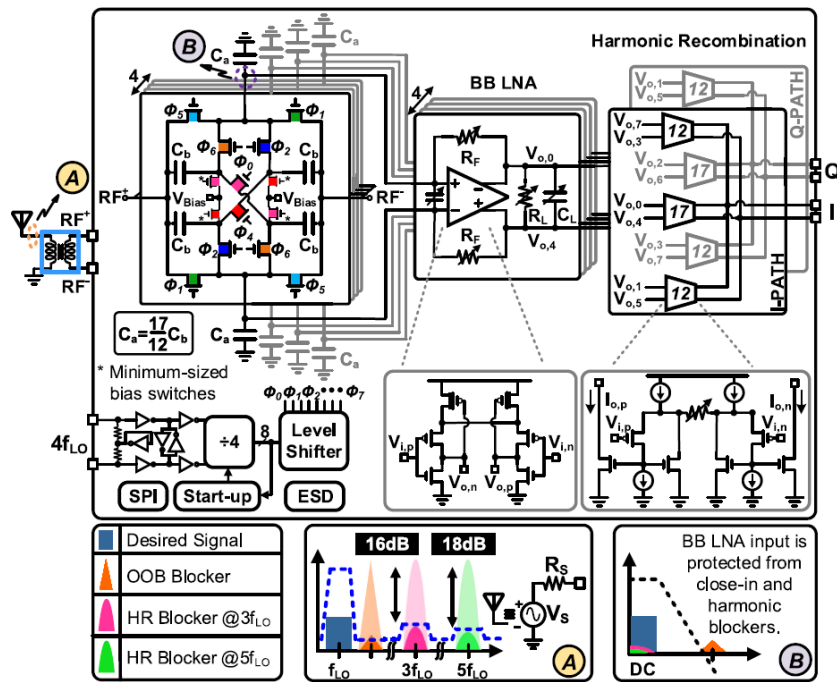
이번 ISSCC 2024의 Session 5는 총 5편의 논문을 통해 Wireless receiver 기술에 대하여 집중적으로 조망하였다. Wireless receiver는 지속적으로 높은 선형성 (linearity) 및 선택성 (selectivity), 그리고 넓은 대역폭 (bandwidth)을 가지면서도, 전력 소모를 최소화하고, 잡음 지수 (noise figure)를 작게 유지하는 방향으로 연구가 진행되어 왔으며, 특히 최근에는 전통적인 기술적 한계를 mixer-first, sub-sampling 구조 등, 회로 구조의 혁신을 통하여 극복하고자 하고 있다. 총 5편의 논문을 통하여, 이러한 wireless receiver의 기술적 진보를 살펴보고 향후 기술 방향을 모색하였다.

#5-1 논문은 중국 Fudan University에서 발표한 논문으로, 다양한 주파수 대역에서, 여러 communication 및 radar 프로토콜을 지원할 수 있는 reconfigurable receiver를 개발하였다. 먼저 넓은 주파수 동작 범위 (5 – 16 GHz)를 위해, Triple winding transformer를 적용하여 LNA의 bandwidth를 넓혔고, 클럭의 넓은 주파수를 지원하면서도 낮은 지터를 얻기 위해, DLL과 Ring Oscillator의 cascaded injection locking 구조를 적용하였다. Analog baseband 또한 pole-zero cancellation 및 current-reuse gm cell을 적용한 g_m -C 구조를 사용하여 적용하여 power efficiency를 극대화하면서도 넓은 주파수 대역을 획득하였다. 마지막으로, 넓은 주파수 대역에서 I/Q mismatch를 최소화하기 위해, I 와 Q path 로의 gm cell을 분리하여 50%의 duty cycle을 갖는 클럭으로도 기존 구조 대비 complex I/Q mismatch가 1GHz 대역에서 10배 이상 감소하였다.



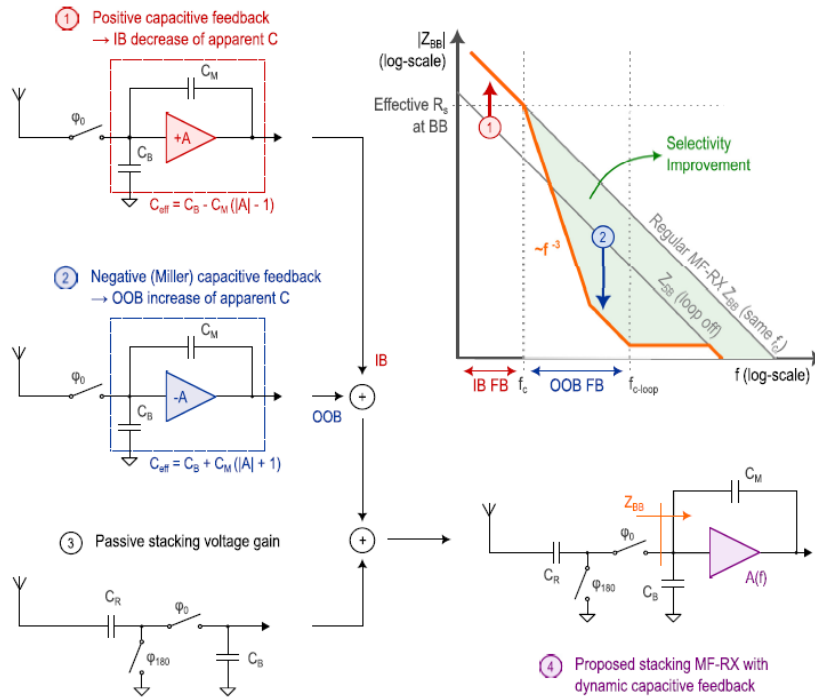
[그림 1] #5.1에서 제안한 wideband receiver의 구조도

#5-2 미국 MIT에서 발표한 본 논문 역시, 광대역 (0.25-to-4GHz)을 지원하는 receiver에 관한 내용이다. 광대역 수신을 위해, LNA-first 구조 대신에 집적도를 높일 수 있고, 높은 Q-factor를 가지고 동작 주파수에 따라 filter 구성을 용이하게 할 수 있는 mixer-first 구조로 설계하였다. 그러나 mixer-first 구조는 passive mixer를 기반으로 하는 특성 상, sampling하는 LO harmonic에 취약한 문제가 있다. 기존의 harmonic rejection은 일반적으로 baseband에서 이루어지는데, 본 논문은 capacitor stacking 방식을 mixer에 적용하여, baseband 방식 대비, harmonic blocker에 대한 linearity를 16배 개선하면서도, passive device 기반 기술이므로 전력 효율성을 4배 향상할 수 있었다.



[그림 2] #5.2에서 제안한 광대역 harmonic rejection wideband receiver의 구조도

#5-5는 mixer-first receiver에 관한 논문으로, 네덜란드의 Univ. Twente에서 발표하였다. Mixer-first 구조는 baseband filter가 RF 주파수대역으로 un-conversion되기 때문에, 높은 Q factor를 용이하게 확보하고, LO 주파수에 맞춰 유연하게 bandpass filter를 구축할 수 있다. 따라서 LNA-first 구조 대신 높은 linearity 및 selectivity를 확보할 수 있으나, 기본적으로 차수가 1차이고, passive mixer의 switch 저항에 의해 linearity가 제한된다는 한계가 있다. 따라서 차수를 증가하기 위해 baseband의 차수를 증가할 수 있으나, 전력소모가 커진다는 단점이 있다. 본 논문은 전력 소모를 적게 소모하면서도 차수를 높이는 (3차) 방법을 제시하였다. 제안하는 기술은 Dynamic capacitive feedback으로, dual loop 구조로 in-band의 gain 및 out-of-band rejection을 동시에 증가시켰다. 최종적으로 9.7 mW의 전력소모만으로 1.2 -6 GHz의 주파수대역에서 4.7 - 5.5 dB의 Noise figure을 얻었고, 20 dBm 이상의 adjacent channel IIP3을 얻었다.

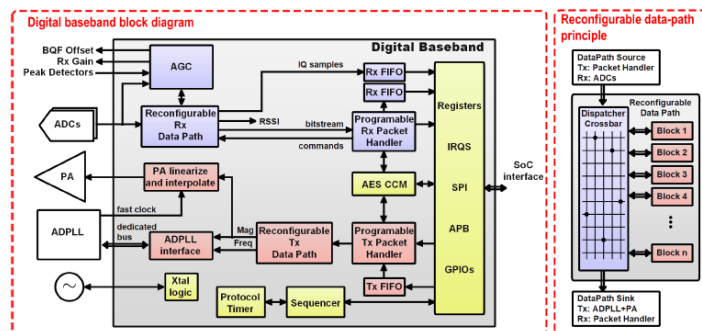


[그림 3] #5.5에서 제안한 광대역 mixer-first receiver의 구조도

Session 23: Energy-Efficient Connectivity Radios

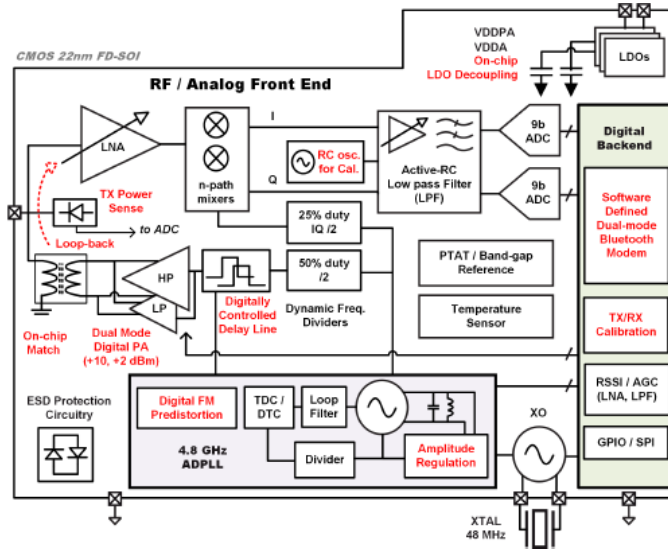
이번 ISSCC 2024의 Session 23은 총 5편의 논문을 통해 에너지 효율적인 connectivity 용 무선통신 기술을 살펴보았다. 사물인터넷 기술용 무선통신 기술 범주를 망라하는 connectivity 용 무선통신은 저전력, 작은 시스템 form factor는 물론, 통신 프로토콜의 혁신을 통한 에너지 효율성 제고, Bluetooth 및 UWB 등 connectivity용 통신 표준에 호환하는 근거리 통신 솔루션 확보가 최근의 기술적 동향이며, 본 세션을 통해 이를 확인하고 향후 발전 방향을 알 수 있었다.

#23-2 논문에서는 스위스 CSEM에서 발표한 논문으로, 약 1 mm²의 면적 소모 및 2.96 mW의 전력소모 만으로 Bluetooth SoC를 구현하였다. Bluetooth, Bluetooth low energy를 모두 지원하는 software defined radio (SDR) dual mode 시스템을 기반으로, Reconfigurable RF frontend를 도입하였으며, PA pulling cancellation과 같은 다양한 calibration technique을 추가하여 완성도를 높였다.



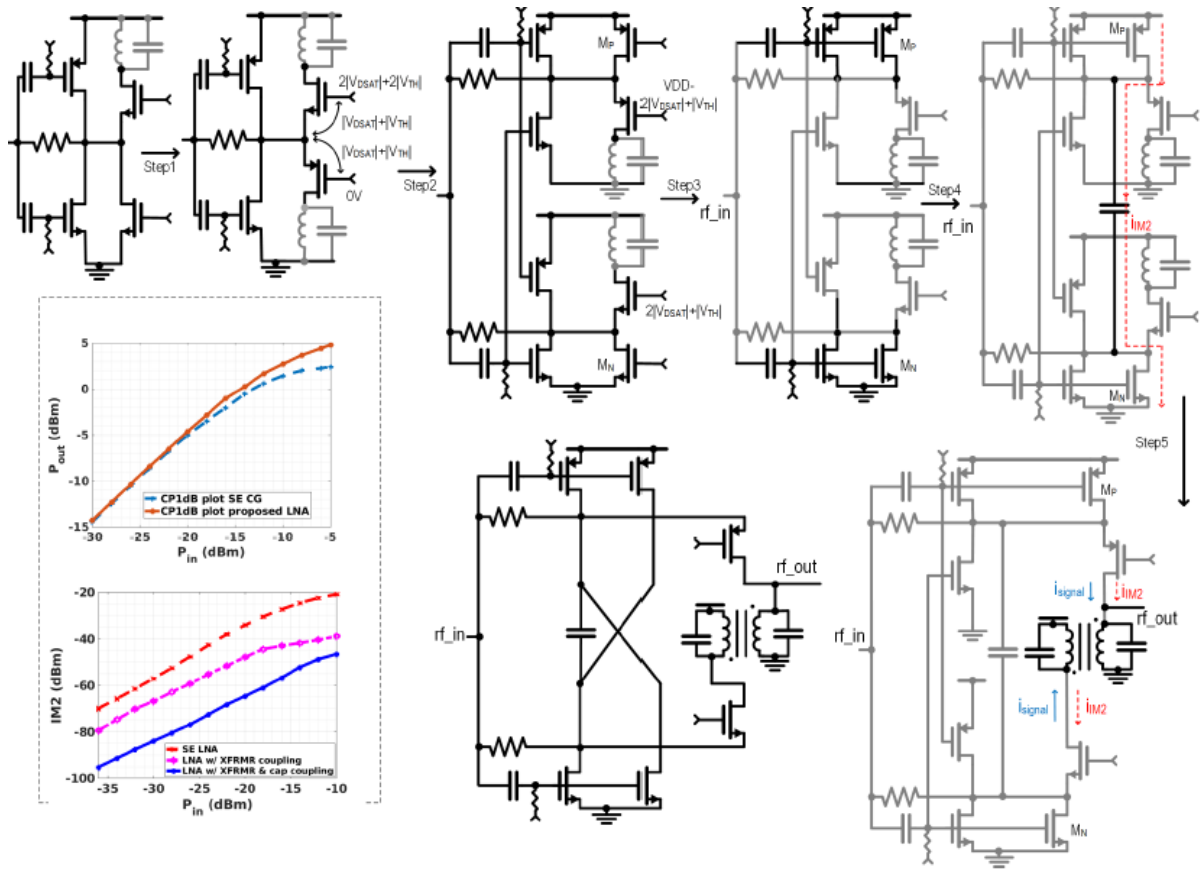
[그림 4] #23.2에서 제안한 광대역 Reconfigurable Digital Baseband

또한 SDR을 지원하는 reconfigurable Digital Baseband을 칩내 집적화 하였다. TX/RX data path는 reconfigurable하고, packet handler 역시 programmable하게 설계되었다. 따라서 단순히 dual mode에만 그치는 것이 아니라, proprietary mode 및 차세대 Bluetooth 표준에도 대응 가능하도록 설계되었다.

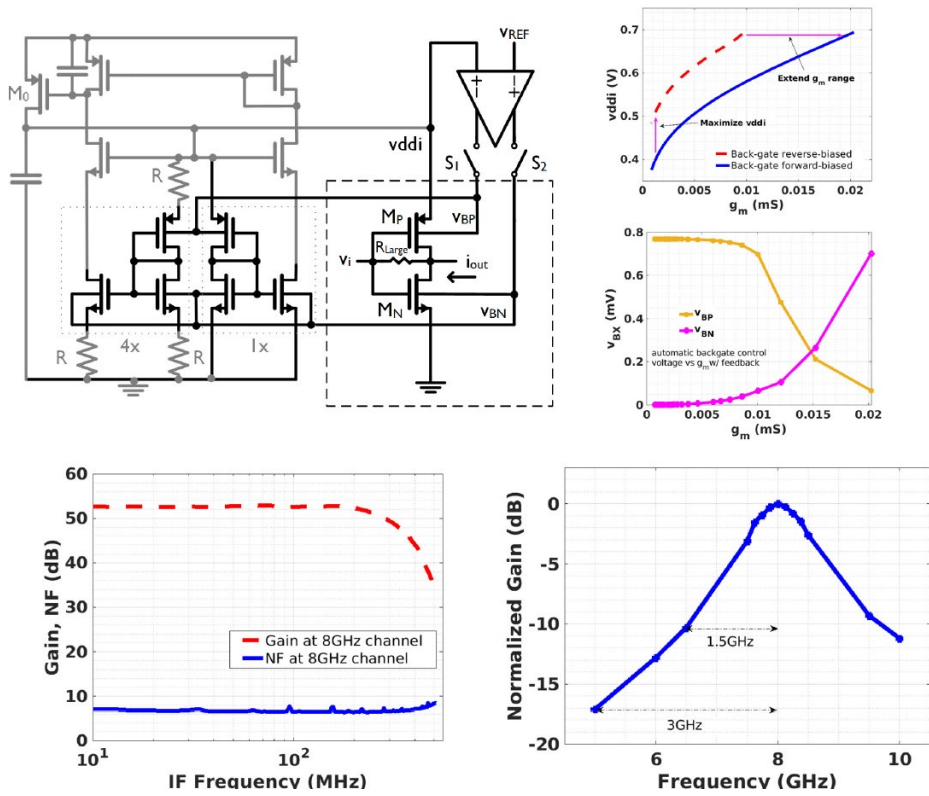


[그림 5] #23.2에서 제안한 Soft-radio defined Bluetooth transceiver의 구조도

#23-5 논문에서는 네덜란드 IMEC에서 발표한 논문으로, -13 dBm의 blocker resilience를 갖는 높은 선형성의 IR-UWB 수신기를 구현하였다. UWB는 넓은 대역폭을 가지면서도 송신전력을 제한하여 기존의 narrowband 통신과 공존이 가능하면서도 높은 데이터 전송속도를 보장하고, 위치 측정의 정밀성을 크게 높일 수 있어, 차세대 IoT 통신으로 각광받고 있다. 그러나, 최근에 WiFi6e 등이 주파수 대역을 확장함으로써, UWB receiver의 높은 linearity 확보가 필요하게 되었다. linearity 확보를 위하여 본 논문에서는 두가지 기술을 채택하였는데, 하나는 CG LNA를 complementary하게 가져가면서 각각을 AC coupling하고 balun transformer로 이들 출력을 결합하여, IM2를 감소시킨 기술이고, 다른 하나는, FD-SOI 기술을 이용하여, Transistor의 back-gate bias를 조절하여 g_m 조절 범위를 크게 개선하였다 (2배).



[그림 6] #23.5에서 제안한 complementary CG-LNA



[그림 7] #23.5에서 제안한 Back-gate feedback TIA

저자정보



송민영 교수

- 소 속 : DGIST 전기전자컴퓨터공학과
 - 연구분야 : Ultra Low-Power RF ICs/Wireless Systems
 - 이 메 일 : msong@dgist.ac.kr
 - 홈페이지 : <https://wise.dgist.ac.kr>
-