

중간 주파수 위상 스위칭을 이용한 UWB 선택적 단측파대 폴디드 캐스코드 쿼드러처 믹서

Ultra-Wide Band Selective Folded-Cascode Single-Sideband Quadrature Mixer Using Phase Switching in Intermediate Frequency Signals

이 규 식¹ · 김 창 우²

Gyu-Sik Lee¹ · Chang-Woo Kim²

요 약

본 논문에서는 입력단 스위칭을 이용한 단측파대 쿼드러처 믹서의 소비 전력 및 칩 면적 개선을 위한 폴디드 캐스코드 구조의 초광대역(UWB) 믹서 설계 방법을 제안하였다. 이 믹서는 중간 주파수(IF) 입력단에 배치된 MOSFET 스위치로 입력되는 IF 성분의 위상을 조절하여 믹서의 출력인 합/차 주파수 중 원하지 않는 주파수를 선택적으로 제거할 수 있다. 제안한 믹서는 삼성 65-nm RFCMOS 공정을 이용하여 설계하였으며, 시뮬레이션 결과 3.168~10.56 GHz에서 최대 변환 이득은 5 dB이다. 최대 45 dBc의 이미지 제거비(ISRR)를 가졌으며, 스위칭을 통하여 주파수 선택이 가능하도록 설계하였다. 1.2 V의 공급 전압을 사용하고, 약 1.4 mA의 전류를 사용하여 1.7 mW 이내의 전력을 소모한다.

Abstract

A folded-cascode single-sideband(SSB) quadrature mixer with an intermediate frequency(IF) input switching block has been proposed to reduce power dissipation and select frequency components for ultra-wideband applications. By changing each phase of the IF signals, the unwanted output spectrum(sum or difference) is removed selectively. The SSB mixer has been designed in the Samsung 65-nm RFCMOS process. From the simulated results, the SSB mixer exhibits a maximum conversion gain of 5 dB with an image signal rejection ratio of 45 dBc in 3.168~10.56 GHz. The SSB mixer operates at a supply voltage of 1.2 V with 1.7 mW power consumption.

Key words: Ultra-Wideband, Single-Sideband, Quadrature Mixer, Image Rejection, Input Switching

I. 서 론

Ultra-WideBand(UWB) 기술은 와이파이(WiFi), 블루투스(Bluetooth), GPS 등 기존의 근거리 무선 기술에서 진화한 기술이라는 호평을 받으며, 측위 정확도가 높고 레이턴시

가 짧고 보안성이 높다는 장점이 있어 차세대 통신 기술로 각광받고 있다^[1]. 그림 1은 UWB 시스템의 대역 스펙트럼을 보이고 있다. 그림 1과 같이 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지 넓은 주파수 대역을 사용하여 상대적으로 짧은 거리, 높은 데이터 레이트를 요구하는 시스템에 이용된다. 하지

「본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT연구센터육성지원사업(IITP-2019-2016-0-00291)과 한국연구재단의 기초연구지원사업(NRF-2019R1F1A1052728)으로 수행되었음.」

경희대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University)

1: 석사수료(<https://orcid.org/0000-0002-6421-4580>), 2: 교수(<https://orcid.org/0000-0002-0837-3835>)

· Manuscript received October 30, 2019 ; Revised December 2, 2019 ; Accepted December 12, 2019. (ID No. 20191030-115)

· Corresponding Author: Chang-Woo Kim (e-mail: cwkim@khu.ac.kr)

만, UWB 시스템은 데이터 레이트가 높다는 특성 때문에 주변 채널과의 간섭에 의하여 비트 에러 레이트(BER)를 악화시킬 수 있다^[2]. 원치 않는 대역의 성분(Spurious)을 제거하기 위하여 협대역 필터 및 추가적인 회로를 사용하면 소비 전력 및 면적 등의 문제로 이어진다.

최근 CMOS 공정은 게이트 스케일링을 통하여 차단주파수가 높아졌으나, MOSFET의 항복전압이 낮아져 저전압 설계가 필수적이다. 이는 회로의 이득, 선형성, 노이즈 등에 큰 영향을 줄 수 있다^[3].

UWB는 약 14개의 밴드를 사용하여 다양한 주파수 생성 및 스위칭이 요구된다. 예를 들어 그림 1에서 Band #1 내의 두 채널의 주파수 신호를 발생시키기 위하여 4.224 GHz(LO)와 264 MHz(IF)를 이용하면 합 또는 차 성분인 3.560과 4.488 GHz, 두 대역을 선택적으로 이용할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 IF 입력단의 스위치를 이용하여 원하는 주파수 성분만을 출력할 수 있는 UWB 단측파대 믹서 및 저전력/전압 설계에 적합한 폴디드 캐스코드 구조의 믹서를 제안하고, 비선형 회로 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 입증한다.

II. 단측파대 믹서 동작 원리 및 회로구조

2-1 IF 입력단 스위칭 단측파대 믹서의 동작원리

식 (1)은 일반적인 IF, LO 주파수 입력을 갖는 믹서의 RF 출력을 나타낸다. IF×LO의 출력은 각 주파수의 합 성분과 차 성분이 함께 나타난다.

$$A_1 \cos w_1 t \times A_2 \cos w_2 t = \frac{1}{2} A_1 A_2 (\cos(w_1 t + w_2 t) + \cos(w_1 t - w_2 t)) \quad (1)$$

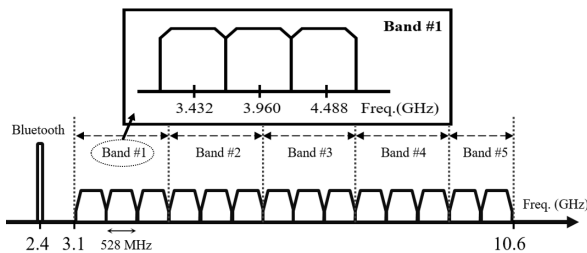


그림 1. UWB 시스템의 대역 스펙트럼
Fig. 1. Representative spectrum of the UWB system.

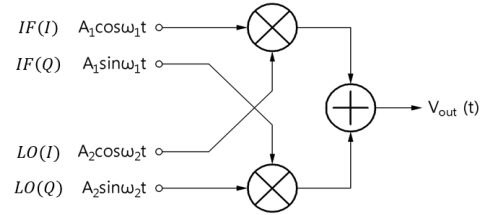


그림 2. 이미지 성분 제거 개념(IF 쿼드러처 위상)
Fig. 2. Conceptual scheme of image rejection technique (Using IF quadrature-phase).

그림 2는 이미지 성분을 제거하는 원리를 보여주는 단측파대 믹서의 개념을 나타내었다. IF 주파수와 LO 주파수의 I, Q 성분은 각각 두 개의 믹서 코어에 입력된다. 별도의 추가적인 필터 없이 이미지 주파수를 제거하기 위하여 각 주파수 성분의 쿼드러처 신호를 입력하면 RF 출력에서 주파수의 합 또는 차 성분을 얻을 수 있다.

아래의 식 (2)에서는 IF(I)×LO(I), IF(Q)×LO(Q)의 RF 출력을 나타내었다. 같은 채널의 IF와 LO가 혼합되면 출력에 두 주파수의 차성분만 나타나는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} & A_1 \cos w_1 t \times A_2 \cos w_2 t + A_1 \sin w_1 t \times A_2 \sin w_2 t \\ &= \frac{1}{2} A_1 A_2 (\cos(w_1 t + w_2 t) + \cos(w_1 t - w_2 t)) \\ &\quad - \frac{1}{2} A_1 A_2 (\cos(w_1 t + w_2 t) - \cos(w_1 t - w_2 t)) \\ &= A_1 A_2 \cos(w_1 t - w_2 t) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에 적용한 입력과 다르게 IF의 쿼드러처 입력 위상을 바꾸면 IF(Q)×LO(I), IF(I)×LO(Q)와 같은 조합을 만들 수 있다. 이는 식 (3)과 같이 두 주파수의 합성분이 나타나는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} & A_1 \sin w_1 t \times A_2 \cos w_2 t + A_1 \cos w_1 t \times A_2 \sin w_2 t \\ &= \frac{1}{2} A_1 A_2 (\sin(w_1 t + w_2 t) + \sin(w_1 t - w_2 t)) \\ &\quad - \frac{1}{2} A_1 A_2 (\sin(w_1 t + w_2 t) - \sin(w_1 t - w_2 t)) \\ &= A_1 A_2 \sin(w_1 t + w_2 t) \end{aligned} \quad (3)$$

그림 3은 입력단 스위치 회로도 및 위상성분 스위칭에 따른 출력신호를 나타낸 그림이다. 입력단에 MOSFET 스위치를 배치하여 IF 입력 성분의 위상을 바꾸어줄 수 있다. 위의 식 (2) 및 식 (3)과 같이 IF의 위상성분을 바꾸면 주파수의 합 또는 차 성분을 선택적으로 얻을 수 있다.

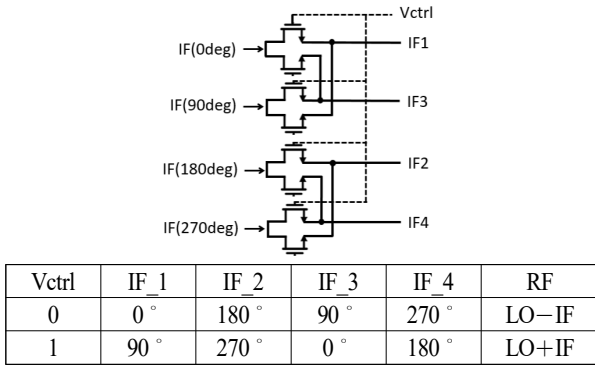


그림 3. 입력단 스위치와 스위칭에 따른 위상 및 출력
Fig. 3. Input switch and phase/output with IF switching.

2-2 폴디드 캐스코드 믹서

기존의 길버트셀 구조를 이용하면 전류원을 포함하여 4단 이상의 스택이 필요하다. 따라서 transconductance (g_m)단을 충분한 포화영역에서 동작시키기 어렵다. 그림 4는 이러한 점을 극복하기 위한 폴디드 캐스코드 구조의 단측파대 믹서의 회로도이다. 그림 4와 같이 LO 단을 분리하면 전압이 충분해진다.

즉, 믹서의 성능을 결정하는 코어 블록(g_m)이 2단으로 줄어들어 헤드룸이 충분해진다. 따라서 같은 이득을 갖더라도 선형성이 증가하며, 전류 소모를 줄일 수 있다. 또한 동적 부하를 사용하여 인덕터 및 저항을 사용하지 않아 면적, 임피던스 매칭에 이점이 있다.

III. 시뮬레이션 결과

그림 5(a) 및 그림 5(b)는 Layout의 RC extraction을 포함한 Post-Simulation(PEX) 결과이다. IF는 264 MHz이며, Band

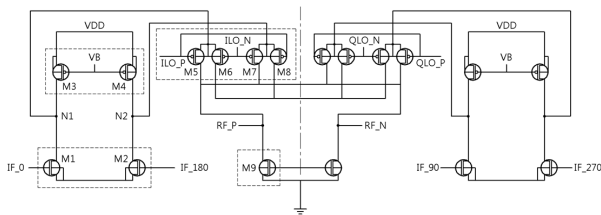
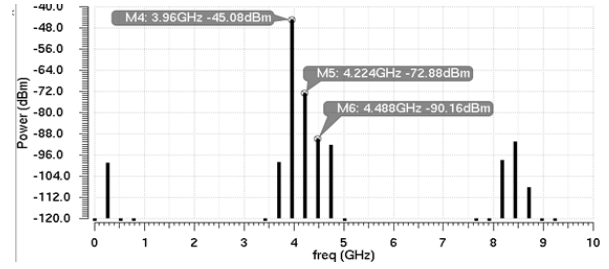


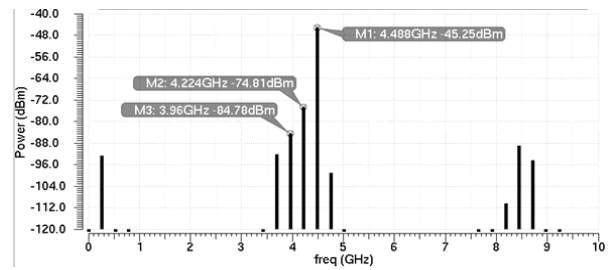
그림 4. 폴디드 캐스코드 구조의 단측파대 믹서
Fig. 4. Circuit schematic of the proposed mixer core.



*LO=4.224 GHz, IF=264 MHz, RF=3.96 GHz @Vctrl=0 V

(a) 차 성분

(a) Different



*LO=4.224 GHz, IF=264 MHz, RF=4.488 GHz @Vctrl=1 V

(b) 합 성분

(b) Sum

그림 5. 설계한 믹서의 출력 스펙트럼

Fig. 5. Output spectrum of the proposed mixer.

#1(LO=4.224 GHz)에서의 시뮬레이션 결과이다. 스위칭을 이용하여 RF 출력에 합, 차 성분(3.96 GHz와 4.488 GHz)을 선택적으로 출력할 수 있다. 그림 5(a) 및 그림 5(b)에서 알 수 있듯이 두 밴드에서 이미지 성분 제거비는 45 dBc 이상을 보이고 있다. Band #1에서 믹서의 변환이득은 약 5 dB이다.

그림 6은 LO 주파수에 따른 출력 성분이다. 설계한 믹서는 UWB(3.168~10.56 GHz) 모든 대역에서 동작하며, 최대 45 dBc의 이미지 성분 제거비를 가진다. 그림 7은 주파수 대역에 따른 RF port의 반사 계수를 나타낸 그래프이다. UWB 전체대역에서 RF 포트는 -5~7 dB의 반사 특성을 가진다. 믹서는 공급전압 1.2 V에서 1.4 mA를 사용하여 소비전력은 1.7 mW이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 65nm RFCMOS 공정을 이용하여 UWB

단측파대 쿼드러처 믹서를 설계하였다. IF 입력단에 스위치를 배치하여 I, Q 위상조합을 통하여 원하지 않는 주파수 성분을 제거할 수 있다. 표 1은 기존의 단측파대 믹서

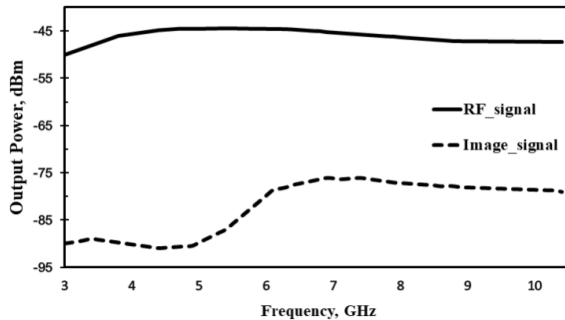


그림 6. 주파수에 따른 출력 특성(@IF=-50 dBm)

Fig. 6. Output power with respect to the frequency.

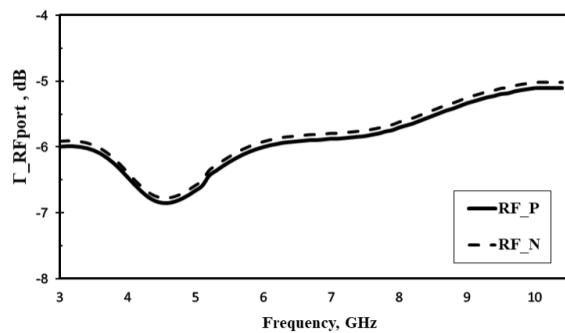


그림 7. 주파수에 따른 출력 포트의 반사계수

Fig. 7. Output reflection coefficients with respect to the frequency.

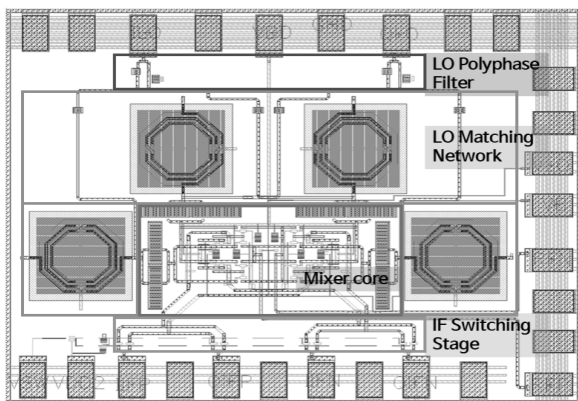


그림 8. 믹서 칩의 패턴 레이아웃($1,200 \times 950 \text{ } (\mu\text{m}^2)$)

Fig. 8. Pattern layout of the mixer chip($1,200 \times 950 \text{ } (\mu\text{m}^2)$).

표 1. 기존 SSB 믹서와 성능 비교

Table 1. Performance comparison of the SSB mixer.

Reference	This work(Simulation)	Ref. [4]	Ref. [5]
Frequency(GHz)	3.168~10.56	2.3~3.2	0.4~6
Process(nm)	65	180	130
Voltage(V)	1.2	1.8	1.2
ISRR(dBc)	45	52	42
Gain(dB)	5	-5	N/A
OPl dB(dBm)	-13	-10	-15
Power(mW)	1.7	18	4

논문 발표결과와 특성을 비교한 표이다. 표에서 알 수 있듯이 폴디드 캐스코드 구조를 통하여 기존의 길버트셀 구조의 단측파대 믹서와 비교하여 공급전압과 소비전력을 낮출 수 있었으며, 넓은 대역에서의 출력을 얻을 수 있어 UWB 시스템에 단일 믹서로 적용가능하다.

References

- [1] P. Mayer, M. Magno, C. Schnetzler, and L. Benini, "Embed UWB: Low power embedded high-precision and low latency UWB localization," in *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things(WF-IoT)*, Limerick, Ireland, 2019, pp. 519-523.
- [2] R. Gharpurey, P. Kinget, *Ultra Wideband: Circuits, Transceivers and Systems*. New York, NY, Springer, 2008.
- [3] S. Gholami, H. Shamsi, H. Mirzaie, and D. Mirzahosseini, "Design and analysis of a high-linear UWB CMOS mixer," in *2011 19th Iranian Conference on Electrical Engineering*, Tehran, 2011, pp. 1-4.
- [4] D. Liu, A. Hu, and K. Zhang, "A quadrature single side-band mixer with passive negative resistance in software-defined frequency synthesizer," *Sensors*, vol. 18, no. 10, p. 3455, 2018.
- [5] J. Zhou, W. Li, D. Huang, C. Lian, N. Li, and J. Ren, et al., "A 0.4~6-GHz frequency synthesizer using dual-mode VCO for software-defined radio," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 2, pp. 848-859, Feb. 2013.