

1.8GHz 대역의 저전압용 CMOS RF하향변환 믹서 설계

김희진, 이순섭, 김수원

고려대학교 전자공학과 ASIC 설계 연구실

전화 : (02) 923-2081 / 팩스 : (02) 928-1216

A 1.8GHz Low Voltage CMOS RF Down-Conversion Mixer

Hee-Jin Kim, Soon-Seob Lee, and Soo-Won Kim

ASIC Design Lab., Department of Electronics Engineering, Korea University,

5-1, Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul, 136-701, Korea

E-mail : khj@asic.korea.ac.kr

Abstract

This paper describes a RF Down-Conversion Mixer for mobile communication systems. This circuit achieves low voltage operation and low power consumption by reducing stacked devices of conventional gilbert cell mixer. In order to reduce stacked devices, we use source-follower structure. The proposed RF Down-Conversion mixer operates up to 1.85GHz at 1.5V power supply with 0.25um CMOS technology and consumes 2.2mA.

환시키는 회로를 말한다. 주파수 변환기는 길버트 셀 구조가 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 이 구조는 트랜지스터가 3단의 직렬형태로 이루어져 저전압의 구현이 어려운 문제점이 있다. 저전압 구현 방법은 기존 길버트 셀 구조 믹서에서 stack을 줄이려는 방향으로 진행되고 있으며 이는 모두 Bipolar 소자를 사용하여 발표되었다 [2][4]. 그러나 CMOS를 이용한 기저대역부와와의 집적화와 저비용의 실현에 어려움이 있다. 본 논문에서는 트랜지스터의 stack을 줄여 저전압에서 동작하는 CMOS RF 하향변환 믹서를 구현하는 방법을 제시한다.

I. 서론

개인 휴대 통신용의 RF 송수신기에서는 GaAs, Bipolar 등의 공정을 이용하여 고주파의 RF 전단부를 구성하고, 저주파의 기저대역 신호 처리는 CMOS 공정을 이용하여 구현하는 것이 지금까지의 일반적인 접근방식이였다. 하지만 최근에는 시스템의 가격, 크기, 전력소모의 측면에서 CMOS 공정을 이용하여 RF전단부를 구현하려는 연구가 진행되고 있으며 저가격과 저전력을 위해 저전압 동작이 중요한 목표가 되었다[1].

RF전단부에 필요한 주파수 변환기란 LNA로부터 증폭되어 나온 RF(radio frequency)신호를 LO(local oscillator)신호와 혼합해서 주파수를 변

II. 기존의 저전압 믹서 회로

RF 하향변환 믹서의 저전압 방법은 직렬로 쌓여있는 트랜지스터를 제거하는 방법을 사용한다 [2].

먼저 DC 커플링 구조를 이용한 방법은 그림 1과 같다. 이 회로는 ac와 dc부분의 연결을 분리시킴으로써 저전압으로 구현하였다. 즉, dc 커플링 커패시터인 C_{C1} 과 C_{C2} 에 의해 dc적으로 RF단과 LO 단의 연결을 분리시켜 stack을 줄였다. 그리고 current source 대신 LC 공진회로를 이용하여 dc적으로는 낮은 임피던스와 ac적으로는 높은 임피던스를 갖는다. 그러나 discrete 소자인 dc 커플링 커패시터와 LC 공진회로를 사용하기 때문에 집

적화가 어려운 단점이 있다.

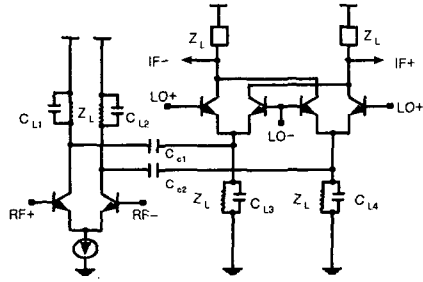


그림 1. dc 커플링 구조

다른 방법으로 그림 2와 같이 current folded 구조를 사용한 방법이 있다[4].

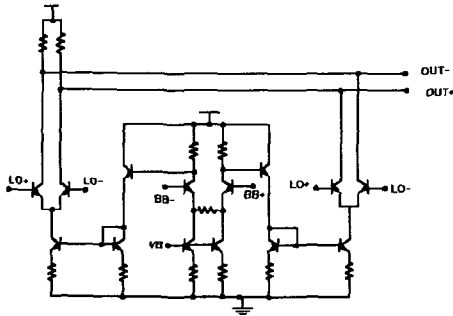


그림 2. current folded 구조

current folded 구조는 전류거울 회로를 이용하여 3단으로 쌓인 구조에서 한단을 제거함으로써 저전압으로 동작하는 믹서회로이다.

기존 길버트 셀 구조 믹서에서는 입력신호에 의해 변환된 전류가 직렬로 연결된 LO단에 전달된다. 그러나 current folded 구조를 사용한 방법에서는 전류거울 회로를 통해 LO단에 전달함으로써 LO단과 RF단의 stack 구조를 제거하여 저전압 구현이 가능하였다. 그리고 RF단과 LO단을 분리시켜 누설성분을 줄임으로써 선형성이 기존 길버트 구조보다 개선되었다[4]. 이 current folded 구조는 전류 거울 회로의 특성상 고주파에서 동작이 불안정하기 때문에 RF단에서 사용이 어려운 단점이 있다.

III. 제안하는 믹서회로

II장에서 살펴본 저전압 믹서 회로에서 dc 커플링 구조의 discrete 소자사용 단점과 current

folded 구조의 단점인 전류 거울 회로의 특성을 본 논문에서는 새로운 저전압 구현 방법으로 믹서회로를 제안한다.

제안하는 회로는 source follower 구조를 사용하여 저전압용 CMOS 하향 변환 믹서를 설계하였으며 그림 3과 같다.

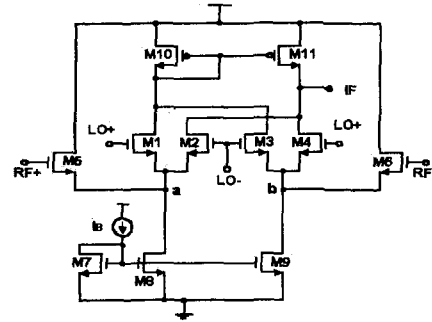


그림 3. 제안하는 회로

이 회로는 스위칭 역할을 하는 M1-M4와 입력 전압을 전류로 변환시키는 M5, M6 그리고 전류원인 M7, M8, M9와 차동출력 신호를 싱글출력으로 하기 위한 M10, M11로 구성되어 있으며 회로의 동작원리는 다음과 같다.

우선 입력된 RF 신호는 M5, M6에 의해 전류로 변환된다. 이때의 전류는 트랜지스터들의 V-I 특성이 square law를 만족한다고 가정하면 다음과 같이 구해진다.

$$I_{DS} = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_5 (V_{gs5} - V_t)^2 \quad (1)$$

V_{gs5} : RF 입력전압, V_t : Threshold 전압

이 변환된 전류는 M1-M4에 의해 LO신호와 합성되어 전류거울인 M10, M11를 통해 출력단으로 전달되며 이때의 출력은 RF주파수 성분인 ω_{RF} 와 LO주파수 성분인 ω_{LO} 의 차 성분인 $\omega_{RF} - \omega_{LO}$ 의 주파수 성분을 갖는다. LO 신호에 의해 M1-M4의 스위치부분의 연결이 바뀌며 이에 따라 a, b단자와 출력단의 양, 음의 연결이 서로 바뀌게 된다. 제안된 회로는 더블 밸런스 구조이므로 2차 성분에 의한 왜곡(비선형성)은 서로 상쇄된다. 기존 길버트 셀 구조의 믹서에서 스위칭역할을 하는 LO입력단의 바이어스 부분은 RF입력트랜지스터에 대해 바이어스 전압이 높아야 하는 구조이므로 저전압 설계가 어려웠다. 그러나 제안하는

회로에서는 입력 RF신호측과 스위칭역할을 하는 LO신호측에 동일한 입력 전압값을 갖게되어 저전압 구현이 가능하게 되었다.

IV. 모의실험

제안한 믹서 회로는 0.25 μ m CMOS 설계 파라미터를 사용하여 모의실험 하였다. 제안하는 믹서 회로에 RF 입력으로 -20dBm의 1.85GHz신호와 LO 입력으로 0dBm의 1.64GHz신호를 인가하여 210MHz IF신호로 주파수 변환된 것을 그림 5에서 알 수 있다. 그리고 공급전압의 변화에 따른 변환이득을 살펴볼 때 1.5V에서 7dB의 변환이득을 갖게 되어 저전압에서 동작함을 알 수 있었으며 모의 실험 결과는 그림 4와 같다. 그림 6은 선형성을 나타내는 IIP3 특성을 알아보기 위해 10MHz차이의 RF신호를 인가하였을 경우의 출력 FFT파형이다. 이때의 IIP3는 8dBm이며 제안하는 회로가 좋은 선형성을 가짐을 알 수 있었다. 그림 7은 회로의 최대 입력신호를 알아보기 위한 입력 신호의 변화에 대한 출력신호의 변화를 나타내며 입력 P_{1dB}는 -1dBm의 결과를 얻었다. 그림 8은 저전압동작을 위한 LO입력을 알아보기 위한 것이며 -9dBm의 낮은 입력으로 7dB의 변환이득을 얻어 저전압 동작이 가능하였다.

제안하는 회로의 모의 실험 결과와 기존에 발표된 논문들의 특성을 비교한 것은 표1과 같으며, 공급전압과 소비전류면에서 좋은 특성을 갖는다.

V. 결론

본 논문에서는 저전압용 믹서를 설계하였다. 제안하는 회로에서는 트랜지스터의 stack을 줄이기 위해 source follower 구조를 이용함으로써 저전압 동작이 가능하였다. 제안한 믹서 회로를 0.25 μ m CMOS 공정으로 모의 실험하였을 때 1.5V의 저전압에서 동작하였으며 이때 3.3mW의 전력을 소비하였다.

제안된 회로는 저전압과 저전력의 장점을 가지고 있어서 무선이동통신의 주파수 변환부의 응용에 적합할 것이다.

표1. 기존의 논문과의 특성비교

	[1]	[2]	[3]	Proposed
공급전압	2.7V	2V	2.2V	1.5V
소비전류	2.6mA	6.9mA	3.8mA	2.2mA
변환이득	8.8dB	7dB	-2.5dB	7dB
IIP3	-4.1dBm	-1dBm	21dBm	8dBm
RF 주파수	900MHz	1.9GHz	900MHz	1.85GHz

VI. 참고문헌

- [1] Andrew N. Karanicolas, "A 2.7V 900MHz CMOS LNA and Mixer", IEEE J. Solid State Circuits, vol.31, No.12, pp.1939-1944, DECEMBER, 1996.
- [2] Tajinder Manku, Galen Beck, ETTY J. Shin, "A Low-Voltage Design Technique for RF Integrated Circuits", IEEE Transaction on Circuits and Systems-II, vol. 45, No. 10, pp.1408-1413, October, 1998.
- [3] Hiroshi Komurasaki, Hisayasu Sato, Nagisa Sasaki, Takahiro Miki "A 2-V 1.9GHz Si Down-Conversion Mixer with an LC Phase Shifter", IEEE J. Solid State Circuits, vol.33, No. 5, pp.812-815, MAY, 1998.
- [4] Tsuneo Tsukahara, Masayuki Ishikawa, and Masahiro Muraguchi "A 2-V 2-GHz Si-Bipolar Direct-Conversion Quadrature Modulator", IEEE. J. Solid State Circuits, vol.31, No. 2, pp.263-267, February, 1996.
- [5] R. Castello, M. Conta, V. Della Torre and F.Svelto "A Low-Voltage CMOS Downconversion Mixer for RF Application", Proceedings of the 23rd European Solid-State Circuits Conference, pp.136-139, September, 1997.

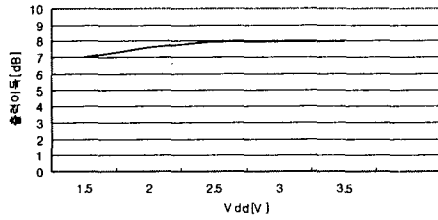


그림 4. 공급전압 변화에 대한 출력

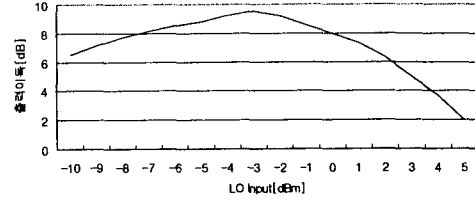


그림 8. LO 변화에 대한 출력

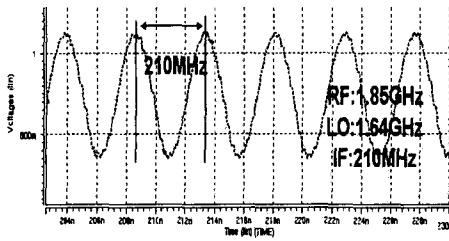


그림 5. 출력파형

※이 논문은 (1998)년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음

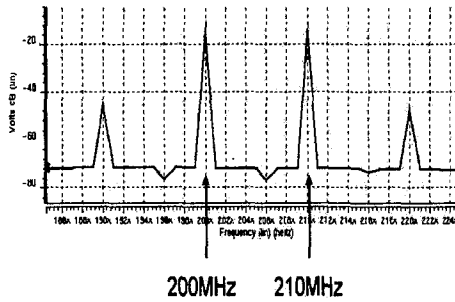


그림 6. 2-tone FFT 출력파형

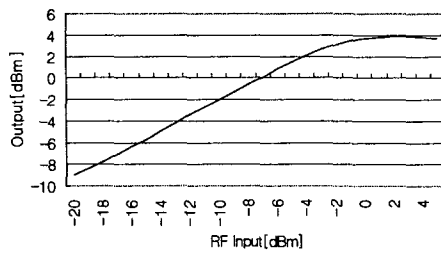


그림 7. 입력 P-1dB