

직접 변환 방식의 저주파 잡음 특성 개선을 위한 RF 전치부 설계 연구

A Design of Low Frequency Noise Figure Improvement of RF Circuit for Direct Conversion Receiver

최혁재*, 최진규*, 김태성*, 박도현*, 김형석**
Hyuk-Jae Choi, Jin-Kyu Choi, Hyeong-Seok Kim

Abstract

This paper presents the design and analysis of RF Front End for Wireless Heartbeat measurement System. In this work LNA, an inductor connected at the gate of the cascode transistor and capacitive cross-coupling are strategically combined to reduce the noise and the nonlinearity influences of the cascode transistors in a differential LNA. The Mixer is implemented by using the Gilbert-type configuration, cross pmos injection technique and the resonating technique for the tail capacitance. The resulting LNA achieves 1.26 dB NF, better than 1.88dB NF Typical. Also Mixer resulting achieves 9.8dB at 100KHz.

Keywords : direct conversion receiver, flicker noise, lna, mixer

I. 서 론

최근 홈 네트워크 사업 및 헬스 케어 사업이 활성화됨에 따라 건강에 대한 관심이 증대하면서 건강에 대한 관리 비용이 늘고 있다. 특히, 급격한 스트레스에 의한 돌연사 등 심장 사고가 급격히 늘고 있는 가운데 자신의 건강을 꾸준히 체크 하고 예방 할 수 있는 건강관리 시스템에 관심이 커지고 있다. 이러한 건강관리 시스템 중 사람의 심장 박동 수를 체크 하는 심박 측정 시스템이 있는데 기존의 심박 측정 시스템은 인체 전극을 직접 부착함으로써 환자의 활동성 저하 및 환자의 외상에 부착하는데 제약이 따랐다. 이에 최근 직접 전극을 이용하지 않고 환자의 활동성 및 외상 환자에게도 적용 할 수 있는 무선 통신을 이용한 심박 측정 연구가 활발히 진행 되고 있다. 하지만 보다 정확한 심박측정을 위해서는 심박의 낮은 주파수를 디지털 단으로 변조하기 위해 낮은 주파수 대역에서의 잡음 성분을 최소화하는 연구가 선행 되어야 한다[1].

본 논문에서는 CMOS 0.18um 공정을 통하여 무선 심박 측정 시스템에 적용 가능한 저주파 잡음 특성이 개선된 RF Front End를 설계 연구 하고자 한다.

II. 본 론

1. 무선 심박 측정 시스템 구성도

본 논문에서는 구성되고 있는 무선 심박 측정 시스템은

- 접수일자 : 2009년 8월 05일
- 최종완료 : 2009년 8월 14일
- *중앙대학교 전자전기공학부 대학원
- **중앙대학교 전자전기공학부
- 교신저자, E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

인체의 흉부에서 반사되는 RF 신호를 정확히 수신 하고 이를 디지털 단으로 변조 시 하는데 목적이 있다. 인체의 흉부에서 반사되는 신호, 즉 심박 수는 저주파이기 때문에 수신하는 시스템은 저주파에 잡음 성분을 최소화 할 수 있게 설계 되어야 한다. 또한 시스템을 직접변환 방식을 사용하기 때문에 직접변환 방식에서 주요시 되고 있는 저주파 잡음 성분을 최소화하기 위한 연구를 CMOS 0.18um 공정을 통하여 수행 하였다. 본 논문에서 구성 하고 있는 시스템의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

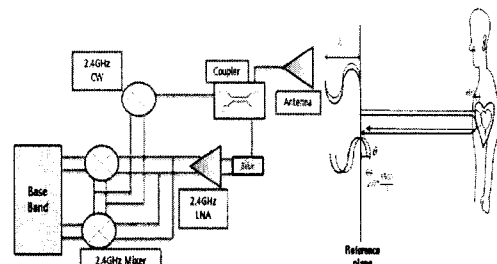


그림 1. 무선 심박 측정 시스템 구성도
Fig. 1. The configuration of wireless heart beat measurement system

2. RF Receiver Front-End Design

본 논문에서 설계된 LNA(Low Noise Amplifier)는 인체의 흉부에서 반사되는 신호를 최소한의 잡음 성분을 가져야 하기 때문에 Differential Amplifier를 구조를 바탕으로 설계 하였다. 또한 LNA설계에 있어 일정한 전력 소모를 유지하면서 입력 매칭과 노이즈 매칭을 동시에 만족시키는 Power Constrained Simultaneous Noise Input Matching (PCSNIM) 방법을 사용하여 LNA를 설계 하였다.

Differential Amplifier을 통하여 입력 신호에서 생성 되는 Noise 성분을 제거 하였으며 PCSNIM방법을 통하여 입력 단 매칭회로는 degeneration 인덕터 L_s 와 게이트-소스 간 커패시터 C_{gs1} , 게이트 단 인덕터 L_g 로 구성된다. 본 연구에서 설계한 LNA의 임피던스는 식(1)에 나타내었다.

$$Z_{in} = sL_s + sL_g + \frac{1}{sC_{gs1}} + g_{m1} \frac{L_s}{C_{gs1}} \quad (1)$$

Differential LNA를 설계하기 위해 먼저 게이트단의 바이어스 전압을 결정해야 한다. 이때 게이트 단의 바이어스 전압은 최대 이득과 NFmin을 고려하여 결정한다. 바이어스 전압이 결정되면 주어진 소비 전력을 만족하는 트랜지스터의 크기를 결정한다. 트랜지스터의 크기가 크면 전력 소비가 커지고, 트랜지스터의 크기가 작으면 전력 소비는 줄어들지만 트랜지스터의 cutoff 주파수인 w_T 가 낮아지므로 적절한 트랜지스터의 크기를 결정하는 것이 중요하다.

다음 단계로 C_{gs1} 와 L_s 를 선택한다. L_s 값이 너무 커지게 되면 NFmin이 커지게 되며, C_{gs1} 값이 커지면 이득이 떨어지므로 적절한 C_{gs1} , L_s 값이 요구된다. 그 후 식 (1)을 만족시키는 매칭 회로를 인덕터 L_g 를 이용하여 구성한다. 입력 단의 회로 구성이 완성되면 최대 이득을 얻기 위한 출력 매칭을 하여 구성하게 된다.

하지만 Cascode 구조의 트랜지스터 사이에는 C_x 즉, 기생 커패시턴스 성분이 생기게 된다. 이를 식(2)에 나타내었다[2].

$$C_x = C_{gs2} + C_{sb2} + C_{db1} \quad (2)$$

이는 신호라인에서 생성되는 기생성분이기 때문에 신호에 영향을 미치게 된다. 이 기생커패시턴스를 제거를 하여 Noise를 최소화하기 위해 L_{add} 를 추가 하여 기생커패시턴스 성분을 제거 하여 설계 하였다[3].

본 논문에 설계된 2.4GHz Differential LNA를 그림 2에 나타내었고, 그림 3에 설계된 LNA의 잡음 지수를 나타내었다. 또한 표 1에 전체 시뮬레이션 결과 값을 나타내었다.

본 논문에서는 Mixer 설계를 직접 변환 방식으로 설계를 하였다. Mixer를 직접 변환 방식으로 설계 할 경우 저주파 잡음 특성을 나타내는 Flicker noise특성이 주요 고려사항이 된다. Flicker Noise의 주요 원인은 Mixer의 LO switching단과 bias current이다.

LO switching단에서 생성되는 Flicker Noise를 줄이기

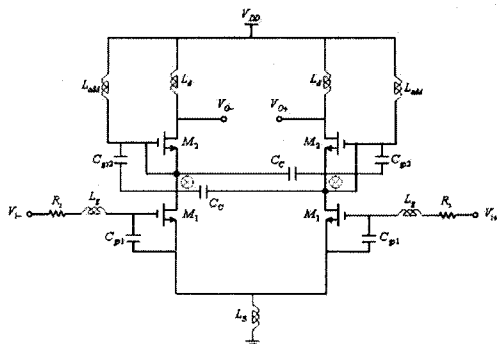


그림 2. 설계된 2.4GHz Differential LNA
Fig. 2. The design of 2.4GHz Differential LNA

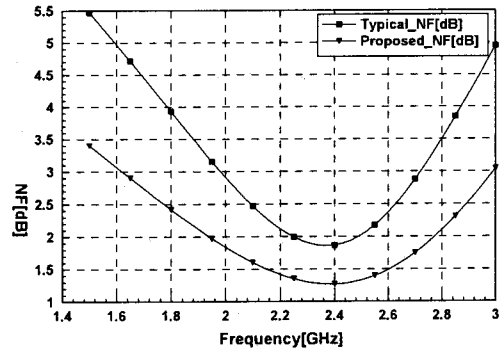


그림 3. 설계된 Differential LNA의 잡음지수 비교
Fig. 3. Noise Figure comparison of designed Differential LNA

표 1. 설계된 LNA 전체 시뮬레이션 결과 비교

Table 1. The comparison designed LNA simulation

Parameters	Typical LNA	Proposed LNA	Typical LNA	Proposed LNA
Condition	Pre Simulation		Post Simulation	
Frequency[GHz]	2.4			
Gain[dB]	14.32	15.2	13.07	14.23
NF[dB]	1.881	1.268	2.165	1.391
P1dB[dBm]	-9.65	-10.2	-9.23	-9.86
Current[mA]	6.2			

위해서는 LO swing폭이 크고, 트랜지스터의 width가 넓어 져야 한다. 하지만 트랜지스터의 크기가 커지면서 기생 커패시턴스(Cp)가 커지며 이는 LO Switching 단의 영향을 준다. 이는 Flicker noise의 증가로 이어지므로 트랜지스터의 기생 커패시턴스(Cp)를 상쇄시킬 수 있는 방법이 요구된다. 그림 4에 LO switching단에서의 Flicker Noise원인을 나타내었다[4].

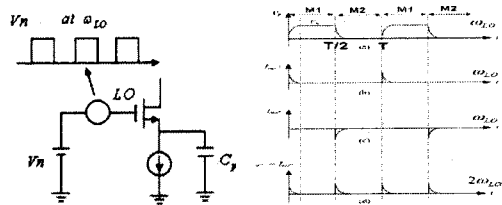


그림 4. 스위칭 단에서의 Flicker Noise 원인
Fig. 4. The cause of flicker noise in switching stage

또한 noise 전류는 bias 전류에 비례하고 혼합기의 Flicker noise는 switching단의 영향을 많이 받으므로 switching단의 bias current를 줄여야 할 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 CMOS 0.18um공정을 이용한 current bleeding 기법을 통해 switching단의 bias current를 줄이고 기생 커패시턴스를 제거하기 위한 인덕터를 사용하여 저주파 잡음 개선을 위한 Mixer를 설계하였다. 그림 5에 본 논문에서 설계한Mixer를 나타내고 그림 6에 시뮬레이션 비교 값을 나타내었으며, 표 2에 전체 시뮬레이션 결과를 정리 하였다[5-6].

III. 결 론

본 연구에서 CMOS 0.18um 공정을 이용하여 무선 심박 측정 시스템에 적용 가능한 저주파 잡음 특성 개선의 RF Front End를 설계 하였다. 인체의 흉부에서 반사되는 신

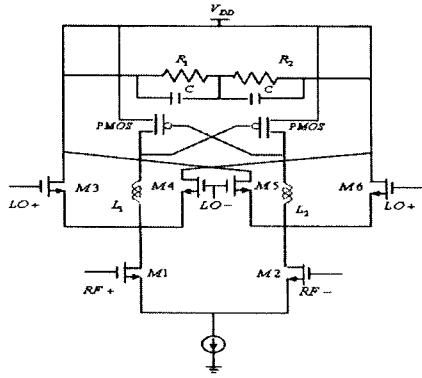


그림 5. 설계된 2.4GHz Double Balanced Mixer 회로도
Fig. 5. The design of 2.4GHz Double Balanced Mixer circuit

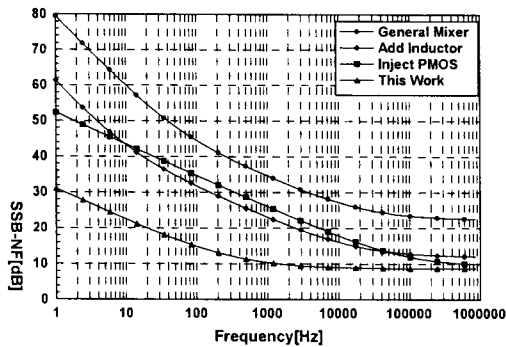


그림 6. 설계된 Double Balanced Mixer 잡음지수 결과 비교
Fig. 6. Noise Figure comparison of designed Double Balanced Mixer

표 2. 설계된 Mixer 전체 시뮬레이션 결과 비교
Table 2. The comparison designed Mixer simulation

Parameters	This Work	General Mixer	Add Inductor	Inject PMOS
Frequency[GHz]	2.4			
Conversion Gain[dB]	5.2	11.2	10.5	9.2
SSB-NF[dB] (At 100KHz)	9.8	28	15.5	17
IIP3[dBm]	-7.5	-5.28	-3.2	-3.9
Current[mA]	6.8	6.5	6.7	6.9

호를 최소한의 잡음으로 측정해야 하기 때문에 LNA의 저잡음 특성 개선 연구와 Mixer의 Flicker Noise를 최소화하고자 설계 연구 하였다. LNA의 신호라인에서의 Noise를 최소화하기 위해서 Differential Cascode 구조를 선택 하였으며, Cascode 구조의 RF 신호라인에서 생성되는 기생성분을 제거를 통하여 저 잡음 증폭기를 구현 하였다. Mixer 설계에 있어서는 Flicker Noise 특성 향상을 위해 스위칭 단의 Current를 줄이기 위해 PMOS로 Cross Injection 하였고 기생 커패시턴스를 줄이기 위해 인덕터를 추가함으로써 직접변환 방식에서 문제시 되는 Flicker Noise 특성 문제를 개선하였다.

본 논문을 통해 시뮬레이션 결과 LNA는 NF가 약 0.6dB의 향상된 값을 얻을 수 있으며 Mixer NF결과 약 10dB 정도의 향상된 값을 얻었다. 본 논문의 결과를 통해 무선 심박 측정 시스템뿐만 아니라 RF Front End 시스템에 저주파 잡음 특성 개선의 RFIC 설계의 전체적인 시스템 NF 향상에 기여 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2008년 중소기업 산학협력실 지원사업의 지원에 의해 수행 되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] A. Droitcour, V. Lubecke, J. LinO. Boric-Lubecke, "A MICROWAVE RADIO FOR DOPPLER RADAR SENSING OF VITAL SIGNS," IEEE MTT-S 2001.
- [2] Xiaoua Fan, Heng Zhang Edgar Sanchez-Sinencio, "A Noise Reduction and Linearity Improvement Technique for a Differential Cascode LNA" *IEEE J. Solid-State Circuits*, March 2008
- [3] W. Zhuo, S. Embabi, J. P. Gyvez, E. S. Sinencio, "Using Capacitive Cross-Coupling Technique in RF Low Noise Amplifiers and Down-Conversion Mixer Design", *ESSCIRC*, Sep 2000
- [4] H. Darabi, J Chiu "A Noise Cancellation Technique in Active RF-CMOS Mixers" *IEEE J. Solid-State Circuits*, Dec. 2005
- [5] M. T. Terrovitis and R. G. Meyer, "Noise in current-commutating CMOS mixer," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Jun 1999
- [6] D. Manstretta, R. Castello, and F. Svelto, "Low 1/f noise CMOS active mixer for direct conversion," *IEEE Transaction on Circuits and System*, Sept. 2001



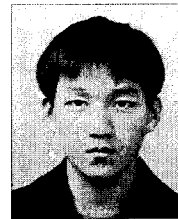
최혁재

2009년 서울산업대학교 전자정보공학과 졸업
2009년 중앙대학교 공과대학원 입학
2009년~현재 중앙대학교 공과대학 전자전기공학부 석사과정 재학 중
<관심분야> RFIC circuit Design, RFID 시스템 연구
<e-mail> hjchoi0822@naver.com



최진규

2007년 중앙대학교 전자전기공학과 졸업
2009년 중앙대학교 공과대학원 입학
2009년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정 재학 중
<관심분야> RF 및 무선통신, RFIC circuit Design
<e-mail> bluezone1384@hotmail.com



김태성

2003년~현재 중앙대학교 공과대학 전자전기공학부 재학 중
<관심분야> RFIC circuit Design, RFID 시스템 연구
<e-mail> akamk104@naver.com



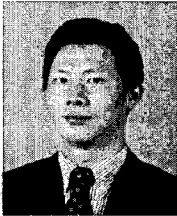
박도현

2003년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 재학

중

<관심분야> RFIC circuit Design, RFID 시스템
연구

<e-mail> blueday0408@naver.com



김형석

1985년 서울대학교 전기공학 공학사 졸업

1987년 서울대학교 전기공학 공학 석사 졸업

1990년 서울대학교 전기공학 공학 박사 졸업

1990~2002 순천향대학교 정보기술공학부 부교수

1997~1998 R.P.I 미국 방문교수

2002~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 수치해석, RF 및 마이크

로웨이브 소자 해석 및 설계

<e-mail> kimcaf2@cau.ac.kr