

Zigbee시스템에 적용 가능한 Gain-Variable LNA 설계 연구

최혁재, 고재형, 최진규, 김군태, 박준홍, 윤선우, 김형석
 중앙대학교 전자전기공학부

A study on the Design of Gain Variable Low Noise amplifier for Zigbee System

Hyuk-Jae Choi, Jae-Hyeong Ko, Jin-Kyu Choi, Koon-Tae Kim, Jun-Hong Park, Sun-Woo Yun, Hyeong-Seok Kim
 School of Electrical and Electronics of Engineering Chung-Ang University

Abstract - In this paper, the techniques and design focus of flexible gain coltrol of LAN(Low Noise Amplifier) using the TSMC 0.18um CMOS process. The design frequency set up a standard on 2.4GHz that is used in Zigbee system. The design concepts a basic Cascode LNA techniques and a swiching circuit consisted of 4 NMOS of load resistance, which convert the output impedanceby tuning on or off. The result show the gain change by NMOS operated swich. The simulation result is that Gain is 10.23~12.96dB and NF(Noise Figure) is 1.41~1.47dB.

1. 서 론

우리의 생활을 편리하게 하기 위해 휴대용 무선 장치들이 빠른 기술 발전과 더불어 RF 무선통신과 관련된 부분 역시 최근 크게 활용 영역이 넓어지고 있다. 무선 장치들 중 안테나를 통해 들어 온 신호들의 크기가 모두 다르기 때문에 원하는 출력을 얻기 위하여 사용자의 선택이 필요하게 된다. 이를 위해 RF무선 통신에서 최근 많이 대두 되고 있는 2.4GHz 대역의 Zigbee시스템에서 적용 가능하도록 주파수 대역을 선택하였다.

저잡음 증폭기는 RF통신 시스템에서 안테나를 통해 전달되어 수많은 잡음이 섞인 미약한 신호를 최대한 잡음을 제외하고 정 보가 담긴 신호만을 증폭하는 회로이다. 수신단에서 저잡음 증폭기는 첫 단계에 위치하여 혼합기나 전압제어발진기 등 다른 수신 단 소자로 신호를 전달해 주는 역할을 한다. 그러므로 사용자가 원하는 사양을 만족하여 신호를 전달할 수 있어야 하기 때문에 수신기 전체의 성능을 좌우한다.

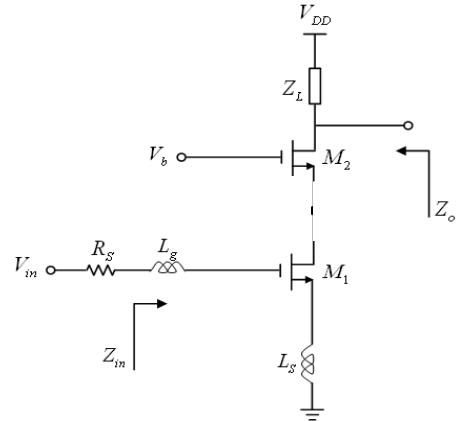
저잡음 증폭기는 잡음과 신호 왜곡을 줄이는 것을 중요시해야 할 뿐 아니라 동작 주파수나 각 주파수 표준에 따른 수신기 이득 등의 선택성들도 고려하여 설계하여야 한다. 그러나 RF수신기에서는 동작 주파수를 변화 시키는 것은 어렵다. 따라서 본 논문에서는 저잡음 증폭기의 이득을 변화시키는 것에 초점을 맞추어 이득의 가변성을 가진 저잡음 증폭기의 회로를 구현하였다. [1],[2],[3],[4]

본 논문에서는 TSMC 0.18um 공정을 사용하여 고주파 저잡음 증폭기 설계에서 주파수 특성을 향상시키는 캐스코드 방식을 이용하였으며, 부하 저항에 NMOS 4개를 스위치로 동작시킴으로써 부하저항과 같은 역할로 출력 임피던스를 변화시켜 이득이 가변 할 수 있도록 회로를 구현하였다.

2. 본 론

2.1 캐스코드 구조의 저잡음 증폭기 설계 방법

<그림 1>은 Degeneration 인덕터를 포함한 캐스코드 방식의 저잡음 증폭기의 간략한 회로도이다. 캐스코드 구조는 <그림 1>과 같이 공통 소스 방식의 M1과 공통 게이트 방식의 M2가 합쳐진 구조이다. 트랜지스터 M2를 이용하여 트랜지스터 M1의 게이트와 드레인 사이의 밀러 커패시턴스를 감소시켜 주파수 특성을 향상시키기 때문에 고주파 회로에서 많이 사용되고 있다. 또한, 그림에서 보듯이 M1과 M2는 같은 바이어스 전류를 사용함으로써 전체 전력 소비가 줄어들게 된다. 이는 Zigbee 시스템의 특징 인 저전력 소비를 고려하여 설계한 결과이다.



<그림 1> 캐스코드 구조의 저잡음 증폭기

M2는 앞에서 언급한 대로 공통 게이트 구조로서 출력과 입력 사이의 격리도를 증가시켜준다. 즉, 저잡음 증폭기 뒷 단계 바로 연결되는 혼합기로부터 LO 신호가 들어오는 것을 최대한 억제하는 특징을 갖는다.[1]

캐스코드 구조에서 저잡음 증폭기의 가장 중요한 요소인 잡음 지수는 바이어스 전류와 거의 무관하고, 단지 게이트와 소스의 저항과 인덕터의 입력임피던스의 값에 의해 결정된다. 이는 캐스코드 저잡음 증폭기를 최소화된 입력임피던스에 의해 저전력으로 설계할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 잡음지수를 결정하는 입력 임피던스의 식을 소신호 등가모델을 이용하여 식(1)과 같이 표현되어진다.[5]

$$Z_{in} = sL_s + \frac{1}{sC_{gs}} + \frac{g_m L_s}{C_{gs}} \quad (1)$$

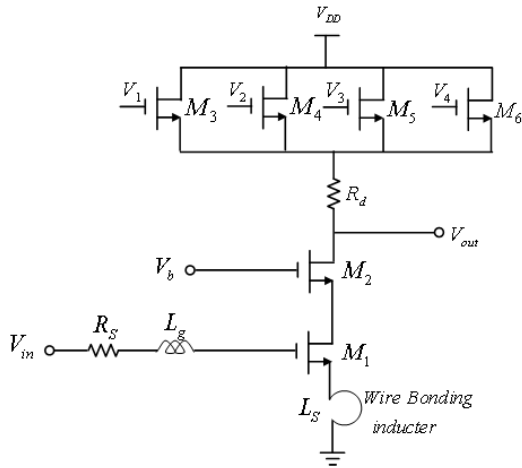
L_s 가 클수록 입력 임피던스가 커지기 때문에 입력 매칭을 할 때 최대한 L_s 의 값을 이용하지 않는 것이 잡음지수를 줄이는 것이 좋다.

2.2 가변 이득 기법을 활용한 저잡음 증폭기 회로 설계

<그림 2>는 가변 이득을 이용한 저잡음 증폭기 전체 시스템의 구조이다. 4개의 병렬 트랜지스터 M3, M4, M5, M6이 각각 동작 됨으로써 부하 저항인 R_d 와 합쳐져 이득을 제어 한다.[6]

낮은 이득을 원할 경우 1개의 트랜지스터만 동작시키고, 반대로 안테나에서 수신된 신호가 낮은 때에는 모든 트랜지스터를 동작 시켜 높은 이득을 얻을 수 있도록 한다. <표 1>은 모든 트랜지스터를 동작시켰을 경우와 하나의 트랜지스터만을 동작시켰을 경우를 비교하여 나타내었다.

또한, 잡음 지수와 이득을 향상시키기 위해 L_s 는 그림과 같이 본딩 와이어를 사용하여 설계하였다.[7] 이는 인덕터가 실제 레이어아웃 되는 회로에서 많은 부피를 차지하는데 소자의 크기를 줄이는데도 도움이 된다.



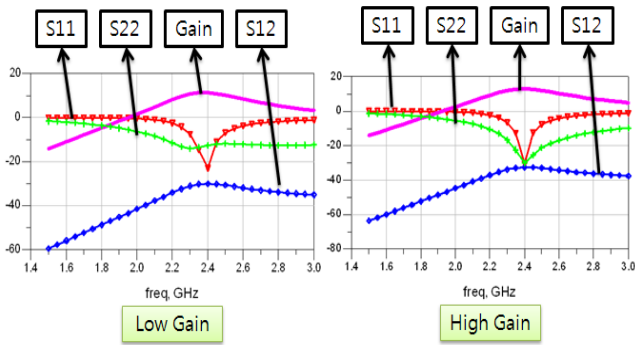
〈그림 2〉 캐스코드 방식을 이용한 가변 이득 저잡음 증폭기

2.3 설계 및 시뮬레이션 결과
2.3.1 매칭

캐스코드 구조는 입력과 출력단 사이의 격리도가 크기 때문에 매칭 하는 경우 서로에게 큰 영향을 미치지 않는다. 앞에서 언급했듯이 일단 입력단은 잡음 지수를 최소화하기 위해 인덕터와 저항 성분을 최소화 하는 것이 좋다. 또한, RF 신호에 섞여 있을지 모르는 DC 성분을 제거하기 위해 DC 차단 역할을 하는 커패시터를 입력과 출력단에 포함해야 한다.

2.3.2 시뮬레이션 결과

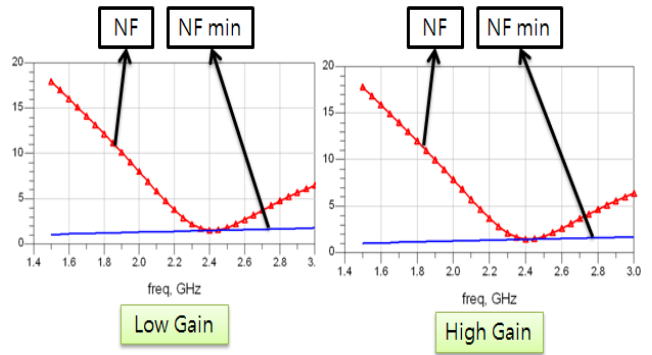
〈그림3〉과 〈그림4〉에서 나타난 시뮬레이션 결과는 가변 이득을 위한 NMOS를 모두 동작 시켰을 때의 결과이다. 〈표 1〉에서 높은 이득과 낮은 이득 일 경우를 비교했을 때 약 2.7dB의 가변성을 가진 것을 확인 할 수 있고, 잡음 지수의 지표는 크게 변함 없이 이득만 조절 할 수 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 시뮬레이션 결과

〈표 1〉 높은 이득과 낮은 이득의 비교

	High Gain	Low Gain
S11(dB)	-30.571	-23.097
S22(dB)	-30.033	-12.675
S12(dB)	-32.498	-30.038
Gain(dB)	12.962	10.233
NF(dB)	1.411	1.471
Power(mW)	14.47	12.42



〈그림 4〉 잡음지수 특성곡선

3. 결 론

본 논문에서는 2.4GHz 주파수 대역에서 이득을 제어 할 수 있는 가변 이득 저잡음 증폭기의 회로를 구현하였다. Zigbee 시스템은 저전력 특성을 갖기 때문에 캐스코드 구조를 이용하여 트랜지스터에 하나의 바이어스 전류를 사용하고, 부하 저항의 크기를 조절하여 소비전력을 최소화 하였다. 그리고 안테나를 통해 들어온 신호들의 크기가 모두 다르기 때문에 원하는 출력을 얻기 위하여 사용자의 선택에 따라 4개의 스위치 트랜지스터로 가변성을 갖도록 구현하였다.

구현된 회로의 시뮬레이션 결과, 2.4GHz 대역에서 이득의 동작 범위가 10.23dB-12.96dB로 약 2.7dB정도의 가변 이득 특성과 잡음 지수 1.41dB-1.47dB 정도임을 확인하였다.

설계자의 목적에 따라 스위치 트랜지스터의 추가를 통해 제어 하고자하는 이득의 범위를 확대하는 것도 가능하다, 잡음 지수를 고려하고, 스위치 트랜지스터의 추가로 이득을 높이는데 한계가 있기 때문에 이득의 최고치를 높일 필요가 있는 경우에 출력 신호에 공통 소스 증폭기 구조를 추가함으로써 출력단 신호의 최대크기를 증가시키고 입력단 신호의 세기에 따라 스위치 트랜지스터의 이득을 제어하여 출력신호의 크기를 일정하게 유지할 수 있도록 하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

[감사의 글]

본 연구 보고서는 정보통신부출연금으로 ETRI, SoC 산업진흥센터에서 수행한 IT-SoC핵심설계인력양성사업의 연구결과입니다.

[참고 문헌]

- [1] 임명희, "Optimal Design of LNA with Internal Tuning Circuit", 충북대학교 석사학위 논문, 2003
- [2] Youn-Seik Hwang, "Design of 2~2.4GHz Variable Gain LNA and 2.4 GHz Low Power Folded RF Front-End", 한국정보통신대학교 석사학위논문, 2006
- [3] Y.S. Wang and L.-H. Lu, "5.7 GHz low-power variable-gain LNA in 0.18 um CMOS", Electronics Letters Volume 41, Issue 20, p66 - 68, 20 Jan. 2005
- [4] Tsang, T., and El-Gamal, M.: "Gain and frequency controllable sub-1 V5.8 GHz CMOS LNA". IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, Scottsdale, AZ, USA, p795 - 798 2002
- [5] C. W. Kim, M. S. Kang, P. T. Anh, H. T. Kim, and S. G. Lee, "An ultra-wideband CMOS low noise amplifier for 3-5-GHz UWB system", IEEE J. Solid-State circuit, vol.40, no. 2, pp. 544 - 547, Feb. 2005
- [6] H.C.Lai, Z.M.Lin, "A Low Noise Gain-Variable LNA for 802.11a WLAN", Electron Devices and Solid-State Circuits, 2007. EDSSC 2007. IEEE Conference on, p973-976, 20-22 Dec. 2007
- [7] 고재형, "LNA 잡음 특성 개선을 위한 PGS 구조를 갖는 On-Chip 인덕터 설계에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위 논문, 2008