

논문 2017-54-2-7

전류 재사용 Gm-boosting 기술을 이용한 MedRadio 대역에서의 170 μ W 저잡음 증폭기

(A 170 μ W Low Noise Amplifier Using Current Reuse Gm-boosting
Technique for MedRadio Applications)

김 인 수*, 권 구 덕**

(InSoo Kim and Kuduck Kwon[©])

요 약

본 논문에서는 의료 기기용 401MHz - 406MHz MedRadio 대역에서 사용하는 저잡음 증폭기를 제안한다. 제안한 저잡음 증폭기는 전류 재사용 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 증폭기 구조를 채택하여 기존의 gm-boosted 공통 게이트 증폭기에 비해 동일한 전력소모에서 더 높은 전압 이득과 더 낮은 잡음 지수 특성을 얻었다. 제안한 전류 재사용 gm-boosted 저잡음 증폭기는 0.13 μ m CMOS 공정을 사용하여 설계하였고, 22 dB의 전압 이득, 2.95 dB의 잡음 지수, -17 dBm의 IIP3 특성을 보이며, 공급 전압 0.5 V에서 170 μ W의 전력을 소비한다.

Abstract

This paper proposes a 401MHz-406MHz low noise amplifier for MedRadio applications. The proposed low noise amplifier adopts a common gate amplifier topology using current reuse gm-boosting technique. The proposed low noise amplifier shows better performance of voltage gain and noise figure than the conventional gm-boosted common gate amplifier in the same power consumption. The proposed current-reuse gm-boosted low noise amplifier achieves a voltage gain of 22 dB, a noise figure of 2.95 dB, and IIP3 of -17 dBm while consuming 170 μ W from a 0.5 V supply voltage in 0.13 μ m CMOS process.

Keywords : Current-reuse, Gm-boosting, Low noise amplifier, Low-power, MedRadio

I. 서 론

최근 점점 늘어나는 평균수명으로 인한 인구 고령화 시대에 맞춰 무선통신 의료정보 서비스의 중요성이 커지고 있다. 이에 따라 2009년 3월, US 연방 통신 위원

회(FCC)는 기존에 할당된 402 MHz - 405 MHz의 MICS (Medical Implant Communications Service) 대역^[1]에 401 MHz - 402 MHz, 405 MHz - 406 MHz의 “wing band”라 불리는 대역을 더해 401 MHz - 406 MHz 대역의 MedRadio (Medical Device Radio - communications Service)를 규정했다.^[2] MedRadio 대역은 생물의학 원격측정 전용 무선통신 규약의 준말로, 의료용 이식 장치간의 통신 또는 의료용 이식 장치와 외부 통신 장치간의 무선 의료정보 서비스를 제공한다.

MedRadio 대역에서 사용하는 의료기기는 몸에 부착하거나 이식해야하기 때문에 크기가 작아야 하고, 배터리 수명 단축을 최소화하기 위해 적은 전력을 사용해야 한다.^[3-5] 따라서 칩의 크기를 최소화하고, 공급전압과 전류 소모를 줄이는 것이 가장 중요한 요소이다. 또한

* 학생회원, ** 정회원, 강원대학교 전기전자공학부
(Dept. of Electronics Engineering, Kangwon National University)

© Corresponding Author (E-mail : kdkwon@kangwon.ac.kr)
※ 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업입(No. 2015R1C1A1A02036348). 2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-520160511).

Received : December 14, 2016 Revised : January 5, 2017

Accepted : January 23, 2017

전력소모 관점에서 볼 때, MedRadio 대역 수신기 RF 프론트-엔드의 여러 블록 중 저잡음 증폭기가 큰 비중을 차지하므로 수신기의 전력소모를 최소화하기 위해 저잡음 증폭기의 전력소모를 줄이는 것이 중요하다.

본 논문에서는 전류 재사용 gm-boosting 기술을 사용하여 전력소모와 잡음 지수 특성을 향상시킨 공통 게이트 저잡음 증폭기를 제안하고 0.13 μm CMOS 공정을 이용하여 설계하였다.

II. 저전력 저잡음 증폭기의 설계

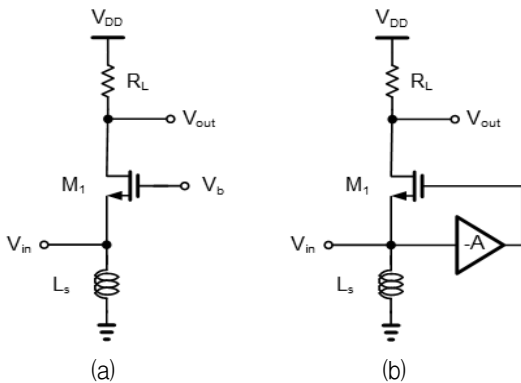


그림 1. (a) 일반적인 공통 게이트 저잡음 증폭기와 (b) gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기^[3, 6]의 회로도

Fig. 1. Schematic of the (a) conventional CG LNA and (b) gm-boosted CG LNA.

표 1. 공통 게이트 저잡음 증폭기와 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기의 비교^[3, 6]
Table 1. Comparison of the CG LNA with the gm-boosted CG LNA.

LNA Topology	CG LNA	gm-boosted CG LNA
Voltage Gain	$A_V = g_m R_L$	$A_V = g_m R_L (1+A)$
Input Impedance	$Z_{in} = 1/g_m$	$Z_{in} = 1/g_m (1+A)$
Noise Factor	$F = 1 + \frac{\gamma}{g_m R_s} + \frac{1}{g_m^2 R_L R_s}$	$F = 1 + \frac{\gamma}{(1+A)^2 g_m R_s} + \frac{1}{g_m^2 R_L R_s (1+A)^2}$

그림 1은 일반적인 공통 게이트 저잡음 증폭기와 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기의 회로도이다.^[3, 6] 일반적인 공통 게이트 저잡음 증폭기의 입력 임피던스는 $Z_{in} = 1/g_m$ 으로 나타난다. 따라서 입력 매칭 시 소스 인덕터가 필요 없어 칩의 크기를 최소화 할 수 있다.^[6] 하지만 gm값에 의해서만 입력매칭을

하기 때문에 입력 매칭과 전력소모가 밀접한 관련이 있다. 또한 공통 게이트 저잡음 증폭기는 인덕터 소스 측에 공통 소스 저잡음 증폭기와 비교했을 때, 입력매칭이 간단하다는 장점이 있지만 잡음 지수가 높다는 단점이 있다. 표 1에서 일반적인 공통 게이트 저잡음 증폭기와 일반적인 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기를 비교했다. gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기는 그림 1(b)와 같이 추가적인 증폭기가 소스와 게이트 사이에 연결이 되어 루프를 구성하게 된다. 이에 전체 트랜스컨덕턴스가 $g_m(1+A)$ 로 증가하게 되어 전압 이득은 $g_m R_L (1+A)$ 이 되고 입력 임피던스는 $1/g_m(1+A)$ 가 된다. 따라서 M1의 gm이 입력 매칭을 위하여 20mS가 아닌 훨씬 작은 값을 가질 수 있기 때문에 전력소모를 크게 줄일 수 있다. 저전력으로 피드백 패스에 있는 증폭기를 구현할 수 있다면 그림 1(a)의 공통 게이트 저잡음 증폭기보다 전력소모는 줄이면서 입력매칭을 할 수 있고, 전체 전압 이득과 잡음 지수의 성능 향상을 가질 수 있다.

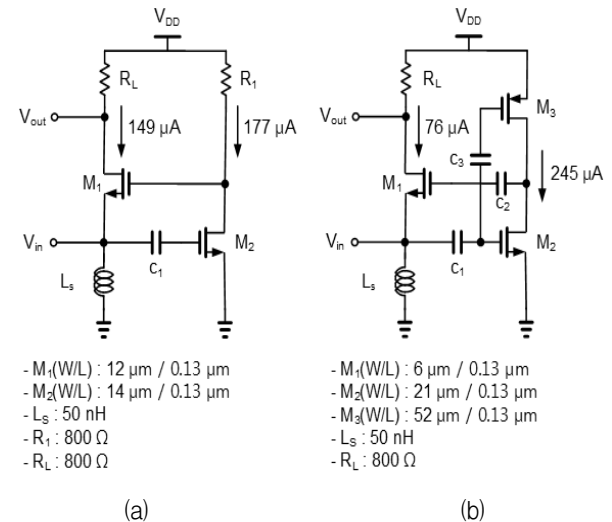


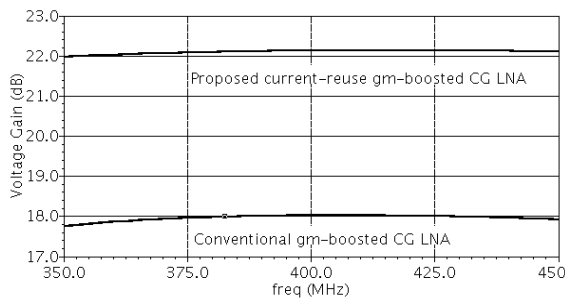
그림 2. (a) 기존의 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기와 (b) 제안한 전류 재사용 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기 회로도 (바이어스 회로 생략)

Fig. 2. Schematic of (a) the conventional gm-boosted CG LNA and (b) the proposed CG LNA using current reuse gm-boosting technique.

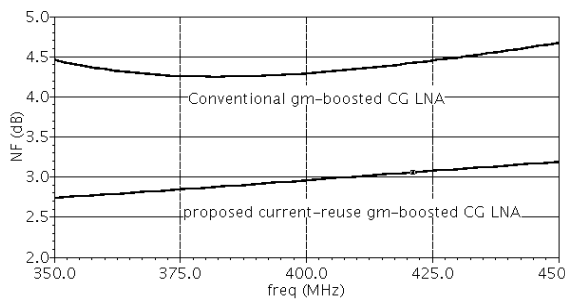
그림 2는 기존의 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기와 제안한 전류 재사용 gm-boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기를 보여 준다. 기존의 gm-boosting 기술을 이용한 저잡음 증폭기의 경우 gm-boosting단의 출력 저항으로 인해 잡음 지수가

높고, 공급전압을 낮추기 힘들다는 단점이 있다. 이에 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 저잡음 증폭기는 g_m -boosting단의 출력 저항을 PMOS로 바꾸고, RF 입력과 g_m -boosting단의 NMOS와 PMOS 게이트를 연결한 전류 재사용 구조를 사용해 전체 전력소모를 줄이고, 잡음 지수를 낮췄다.

그림 3은 기존의 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기와 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기의 전압 이득과 잡음 지수 특성을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션은 Cadence사의 RF Spectre를 이용하였다. 동일한 전력소모 기준으로 전압 이득과 잡음 지수를 시뮬레이션 한 결과, 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기가 기존의 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기보다 전압 이득은 크고, 잡음 지수는 작은 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 기존의 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기와 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기의 (a) 전압 이득과 (b) 잡음 지수

Fig. 3. (a) voltage gain and (b) noise figure of the conventional g_m -boosted CG LNA with the proposed CG LNA using current reuse g_m -boosting technique.

제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 공통 게이트 저잡음 증폭기의 전체 전압 이득은

$$A_V = g_{m1}(R_L // r_{o1})(1 + A) \quad (1)$$

로 표현된다. g_{m1} 은 M1의 트랜스컨덕턴스, r_{o1} 은 M1의 출력 저항, A는 g_m -boosting단의 피드백 전압 이득을 나타낸다. g_m -boosting단의 피드백 전압 이득은

$$A = -(g_{m2} + g_{m3})(r_{o2} // r_{o3}) \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, g_{m2} 와 g_{m3} 는 각각 M2와 M3의 트랜스컨덕턴스, r_{o2} 와 r_{o3} 는 M2와 M3의 출력 저항이다. 위 식에서 g_m -boosting단의 트랜스컨덕턴스는 전류 재사용 구조를 사용해 $g_{m2}+g_{m3}$ 로 커지게 된다. 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 저전력 저잡음 증폭기의 전체 잡음 지수는 다음과 같이 간략화할 수 있다.

$$F = 1 + \frac{\gamma}{\alpha g_{m1} R_s (1 + A)^2} + \frac{\gamma}{\alpha (g_{m2} + g_{m3}) R_s} + \frac{1}{g_{m1}^2 R_s R_L (1 + A)^2} \quad (3)$$

식 (3)에서 R_s 는 소스 저항, R_L 은 출력 저항, α 는 소자의 트랜스컨덕턴스와 제로 바이어스 드레인 컨덕턴스 사이의 비율, γ 는 채널의 열잡음 계수를 나타낸다.

III. 시뮬레이션 결과

제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 MedRadio 대역에서의 저잡음 증폭기는 0.13 μm CMOS 공정을 사용하여 설계했다. 회로의 성능은 Cadence사의 RF Spectre를 이용해 검증하고 산출했다. 제안한 MedRadio 대역 저잡음 증폭기는 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용해 0.5 V 공급 전압에서 170 μW 의 전력을 소모한다. 그림 4는 제안한 MedRadio 대역에서의 저잡음 증폭기의 입력 반사계수(S11)를 보여준다. 전력소모와 잡음 지수를 중점으로 최적의 조건으로 매칭한 결과 401 MHz - 406 MHz 대역에서 -10 dB 이하의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 제안한 MedRadio 대역에서의 저잡음 증폭기의 전압 이득을 보여준다. 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용해 입력 매칭 네트워크 없이 22 dB 이상의 전압 이득을 가진다. 그림 6은 제안한 MedRadio 대역에서의 저잡음 증폭기의 잡음 지수를 보여준다. 401 MHz - 406 MHz에서 2.95 dB의 잡음 지수를 가진다. 그림 7은 제안한 MedRadio 대역에서의 저잡음 증폭기의 IIP3 (Input referred third order

intercept point)를 보여준다. 401 MHz와 402 MHz 주파수의 입력 신호에 대하여 시뮬레이션을 한 결과 -17 dBm의 IIP3를 가진다.

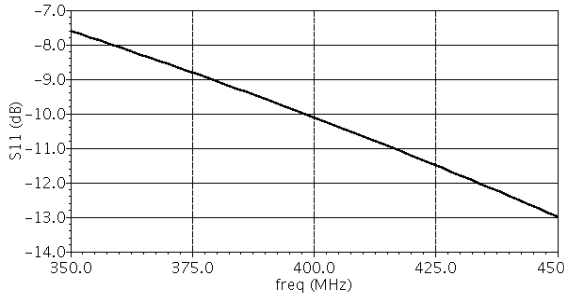


그림 4. 제안한 MedRadio 대역 저전력 저잡음 증폭기의 S11 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulated S11 of the proposed MedRadio-band low power low noise amplifier.

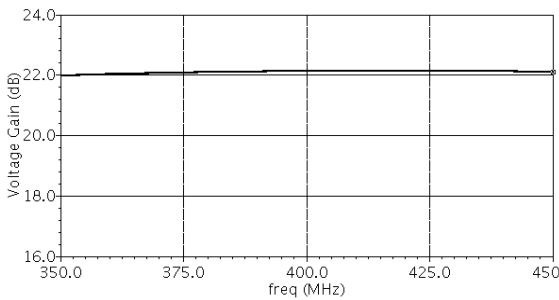


그림 5. 제안한 MedRadio 대역 저전력 저잡음 증폭기의 전압 이득 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulated voltage gain of the proposed MedRadio-band low power low noise amplifier.

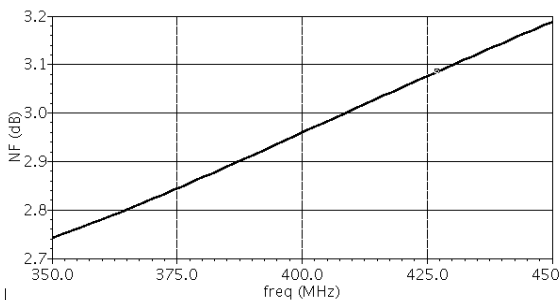


그림 6. 제안한 MedRadio 대역 저전력 저잡음 증폭기의 잡음 지수 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulated NF of the proposed MedRadio-band low power low noise amplifier.

표 2는 기존의 MedRadio 대역에서 사용하는 저잡음 증폭기들과 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 저잡음 증폭기의 성능을 비교해 정리했다. 기존의 MedRadio 대역을 지원하는 저잡음 증폭기들과 비교했을 때, 제안한 저잡음 증폭기는 앞단에 입력매칭 네트워크가 없이 비교

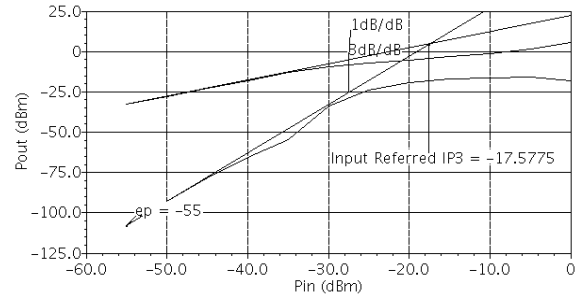


그림 7. 제안한 MedRadio 대역 저전력 저잡음 증폭기의 IIP3 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulated IIP3 of the proposed MedRadio-band low power low noise amplifier.

표 2. 기존의 MedRadio 대역을 지원하는 저잡음 증폭기 와 제안한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용한 저잡음 증폭기의 성능 비교
Table2. Performance comparison of the conventional LNAs with the proposed LNA using current reuse g_m -boosting technique for MedRadio applications.

	[4]	[7]	[8]	This work
LNA Topology	matching network + g_m -boosted CG LNA	CG-CS LNA	matching network + CG-CS LNA	g_m -boosted CG LNA
Operating frequency (MHz)	402-405	402-405	403	401-406
Gain (dB)	26	10	31	22
S11 (dB)	-	<-10	-	<-10
NF (dB)	4	12.5	2.9	2.95
IIP3 (dBm)	-	-8	2	-17
Power consumption (mW)	0.02	2.5	1.4	0.17
Supply voltage (V)	1.2	1.8	1.2	0.5
Process	$0.13\mu m$ CMOS	$0.18\mu m$ CMOS	$0.13\mu m$ CMOS	$0.13\mu m$ CMOS

적 높은 전압 이득과 낮은 잡음 지수 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 또한 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용해 전체 전력소모를 최소화했다.

IV. 결 론

본 논문에서는 $0.13\mu m$ CMOS 공정을 사용하여 의료기기용 401 MHz - 406 MHz MedRadio 대역을 지원하는 저전력 저잡음 증폭기를 제안하고 설계했다. 제안한 저잡음 증폭기는 전류 재사용 g_m -boosting 기술을 이용해 동일한 전력소모 기준 g_m 을 키워 기존의 g_m -boosted

공통 게이트 저잡음 증폭기에 비해 전압 이득을 높이고, 잡음 지수를 낮췄다. 제안한 저잡음 증폭기는 170 μ W의 전력소모에 22 dB의 전압 이득과 2.95 dB의 잡음 지수를 가진다.

REFERENCES

- [1] "MICS band plan," FCC, Washington DC, Part 95, FCC rules and regulations, Jan. 2003.
- [2] "MedRadio Approval," FCC, Washington DC, Rep. FCC 09-23-A1, Mar. 2009.
- [3] B. Razavi, RF microelectronics(2nd Edition) Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 2011.
- [4] F. Goodarzy, B. Sedighi, and E. Skafidas, "Micro-Watt Inductorless gm-boost LNA for Biomedical Implants," 2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 1914-1917.
- [5] T. Kim and K. Kwon, "A MedRadio-band low power low noise amplifier for medical devices," IEIE Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 53, no. 9, pp. 62-66, Sept. 2016.
- [6] F. Belmas, F. Hameau, and J. Fournier, "A low power inductorless LNA with double Gm enhancement in 130 nm CMOS," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 47, no. 5, pp. 1094-1103, May 2012.
- [7] H. Cruz, H. Huang, S. Lee, and C. Luo, "A 1.3mW Low-IF, Current-Reuse, and Current-Bleeding RF Front-End for the MICS Band With Sensitivity of 97 dBm," IEEE Trans. Circuits Syst.-I: Regular Papers., vol. 62, no. 6, pp. 1627-1636, Jun. 2015.
- [8] S. Mohamed and Y. Manoli, "Design and implementation of an RF CMOS differential LNA for 403MHz applications," 2014 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 690-693.

저 자 소 개



김 인 수(학생회원)
2011년 3월~현재 강원대학교 전기
전자공학부 재학 중
<주관심분야: RF/아날로그 집적
회로 및 시스템>



권 구 덕(정회원)-교신저자
2004년 한국과학기술원(KAIST)
전기 및 전자공학과 학사
졸업.
2009년 한국과학기술원(KAIST)
전기 및 전자공학과 박사
졸업.
2009년 9월~2010년 2월 한국과학기술원(KAIST)
정보전자연구소 Post-Doc.
2010년 3월~2014년 2월 삼성전자 DMC연구소
|Modem RF팀 책임연구원
2014년 3월~현재 강원대학교 전기전자공학부 조
교수
<주관심분야: RF/아날로그 집적 회로 및 시스템>