

논문 2014-51-12-10

모바일 TV 튜너용 VHF대역 및 UHF 대역 가변 이득 저잡음 증폭기

(A VHF/UHF-Band Variable Gain Low Noise Amplifier for Mobile TV Tuners)

남 일 구*, 이 옥 구*, 권 구 덕**

(Ilku Nam, Ockgoo Lee, and Kuduck Kwon[©])

요 약

본 논문에서는 다양한 모바일 TV 규격을 지원할 수 있는 모바일 TV 튜너용 VHF 및 UHF 대역 가변 이득 저잡음 증폭기를 제안한다. 제안한 VHF 대역 가변 이득 증폭기는 외부 매칭 소자를 제거하기 위해 저항 피드백을 이용하여 저잡음 증폭기와 저주파수 잡음 특성을 개선하기 위해 PMOS 입력을 사용하는 싱글-차동 증폭기, 이득 범위를 제어하기 위해 저항 피드백 부분과 감쇄기로 구성된다. 제안한 UHF 대역 가변 이득 증폭기는 잡음 특성과 외부 간섭 신호 제거 특성을 향상시키기 위해 협대역 저잡음 증폭기와 g_m 가변 방식을 이용하여 이득을 제어할 수 있는 싱글-차동 증폭기와 감쇄기로 구성된다. 제안한 VHF 및 UHF 대역 가변 이득 저잡음 증폭기는 0.18 μm CMOS 공정을 사용하여 설계하였고, 전원 전압 1.8 V에서 각각 22 mA와 17 mA 의 전류를 소모하면서 약 27 dB와 27 dB의 전압 이득, 1.6-1.7 dB와 1.3-1.7 dB의 잡음 지수, 13.5 dBm와 16 dBm의 OIP3의 성능을 보인다.

Abstract

This paper presents a VHF/UHF-band variable gain low noise amplifier for multi-standard mobile TV tuners. A proposed VHF-band variable gain amplifier is composed of a resistive shunt-feedback low noise amplifier to remove external matching components, a single-to-differential amplifier with input PMOS transconductors to improve low frequency noise performance, a variable shunt-feedback resistor and an attenuator to control variable gain range. A proposed UHF-band variable gain amplifier consists of a narrowband low noise amplifier with capacitive tuning to improve noise performance and interference rejection performance, a single-to-differential with g_m gain control and an attenuator to adjust gain control range. The proposed VHF-band and UHF-band variable gain amplifier were designed in a 0.18 μm RF CMOS technology and draws 22 mA and 17 mA from a 1.8 V supply voltage, respectively. The designed VHF-band and UHF-band variable gain amplifier show a voltage gain of 27 dB and 27 dB, a noise figure of 1.6-1.7 dB and 1.3-1.7 dB, OIP3 of 13.5 dBm and 16 dBm, respectively.

Keywords : LNA, Mobile, RF, Tuner, TV, Variable gain

* 평생회원, 부산대학교 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University)

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

© Corresponding Author(E-mail: kdkwon@kangwon.ac.kr)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

접수일자: 2014년10월01일, 수정일자: 2014년11월07일
게재확정: 2014년11월24일

I. 서 론

모바일 A-VSB (Advanced VSB)와 MPH (Mobile/Pedestrian/Handheld), DVB-H (Digital Video Broadcasting- Handheld), T-DMB (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting) 등의 다양한 모바일 TV 규격이 제안되어 현재 혼재되어 사용되고 있다^[1]. 이러한

다양한 모바일 TV 규격은 표준은 다르나 공통적으로 VHF 대역 및 UHF 대역을 사용하고 있다. 한편, 사용자 편의성과 플랫폼 생산의 단순화를 위해 다양한 모바일 TV 규격을 지원할 수 있는 RF 수신기가 요구되고 있다^[2-3]. 다양한 모바일 TV 규격을 지원할 수 있으면서 저잡음 특성과 고선형성을 갖는 RF 수신 회로 설계가 중요하다.

따라서, 본 논문에서는 VHF 밴드와 UHF 밴드를 지원할 수 있는 모바일 디지털 TV 튜너용 RF 저잡음 증폭기를 제안하고 0.18 μm CMOS 공정을 사용하여 설계하였다.

II. RF 프런트 엔드 설계

그림 1은 VHF 대역 및 UHF 대역을 지원할 수 있는 모바일 TV 튜너를 위한 저잡음 증폭기와 싱글 차동 증폭기의 블록도를 보여주고 있다. VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기는 50 MHz에서 230 MHz까지의 TV 신호를 다룰 수 있고, UHF 대역의 경우는 470 MHz에서 760MHz까지 다룰 수 있다. VHF 대역의 경우는 안테나 뒷단에 VHF 대역 통과 필터 (BPF)를 사용하고 외부 매칭 소자가 필요 없는 광대역 매칭 특성을 갖는 저잡음 증폭기를 사용하였고, UHF 대역의 경우 UHF BPF 뒤에 협대역 매칭 특성을 갖는 저잡음 증폭기를 사용하여 외부 매칭 소자를 사용하였다.

제안한 VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기는 그림 2(a)와 같다. 저잡음 증폭기는 광대역 매칭을 위해 저항 피드백을 갖는 캐스코드 타입 증폭기 구조를

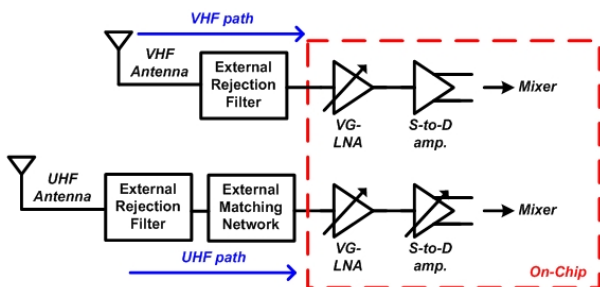
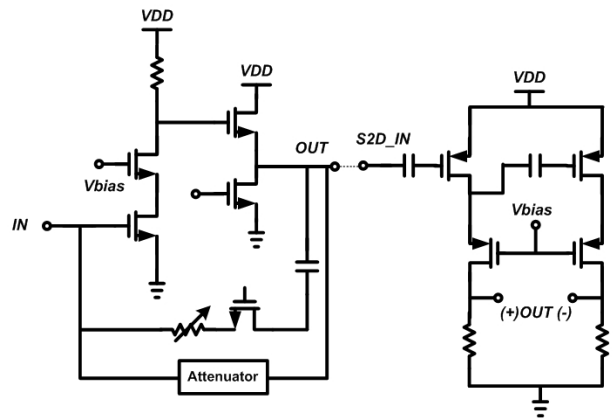


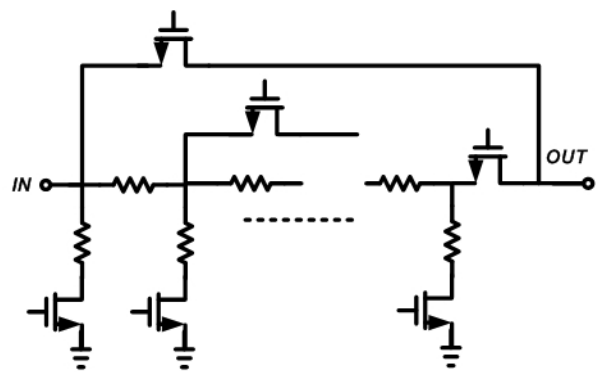
그림 1. VHF대역과 UHF 대역을 지원할 수 있는 모바일 TV 튜너를 위한 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기

Fig. 1 Block diagram of a low noise amplifier and a single-to-differential amplifier supporting VHF-band and UHF-band.

사용하였다. 피드백 저항을 변경하여 두 가지의 이득을 가질 수 있게 설계하였다. 소스 팔로워 버퍼의 사용은 추가적인 DC 전류 소모를 하지만 저항 피드백만 사용할 경우와 비교하여 피드백 루프 대역폭을 확장시킬 수 있어 저 이득 동작 시 동작 주파수가 증가할 때 이득이 떨어지는 것을 막을 수 있다. 설계하고자 하는 VHF 대역은 50 MHz - 230 MHz로 비교적 낮은 주파수이기 때문에 MOS 소자의 1/f 잡음 특성에 영향을 받는다. 따라서, 제안하는 VHF 대역의 싱글-차동 증폭기는 입력을 NMOS 소자보다 1/f 잡음 특성이 좋은 PMOS 소자로 구성하여 설계하였다. 그림 2(b)에서는 그림 (a)의 감쇄기 회로를 자세하게 표현하였다. 감쇄기는 5비트 제어어를 통해 총 다섯 단계의 감쇄 모드를 가질 수 있게



(a)



(b)

그림 2. (a) VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기, (b) 이득 조절을 위한 감쇄기

Fig. 2. (a) Simplified schematic of a VHF-band low noise amplifier and a single-to-differential amplifier, (b) simplified schematic of an attenuator for gain control.

하였다.

그림 3(a)는 제안한 UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 회로도를 보여주고 있다. GSM 송수신기와 모바일 TV 튜너를 하나의 플랫폼에 동시에 사용할 때 GSM 신호가 모바일 TV 수신 회로에 커플링되어 수신 감도를 떨어뜨리는 것을 완화시키기 위해 GSM 제거 필터와 더불어 협대역 매칭을 한 저잡음 증폭기는 커플링된 GSM 신호를 충분히 제거할 수 있다. 그림 3(a)의 저잡음 증폭기의 입력 임피던스는

$$Z_{IN}(s) \approx \frac{g_m L_1}{C_{BC}} + \frac{1}{C_{BC}s} + L_1 s \quad (1)$$

로 근사화할 수 있고^[4], 여기에서 gm은 입력 트랜지스터의 트랜스컨덕턴스이다. 따라서, 저잡음 증폭기의 입력단에 스위치를 통해 캐패시턴스를 조절할 수 있는 캐패시터 어레이(C_{BC})를 사용하여 입력 임피던스를 변화할 수 있어 470 MHz부터 760 MHz까지 광대역 입력 신호에 대

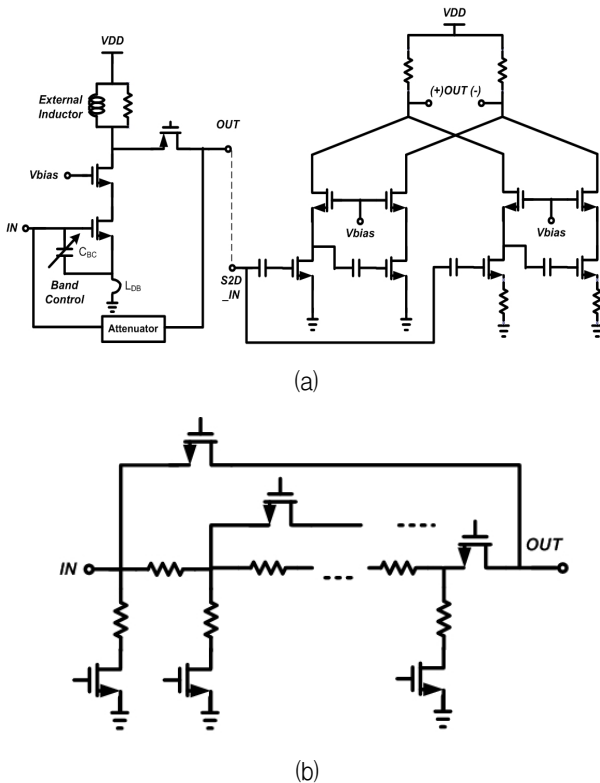


그림 3. (a) UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기, (b) 이득 조절을 위한 감쇄기

Fig. 3. (a) Simplified schematic of a UHF-band low noise amplifier and a single-to-differential amplifier, (b) simplified schematic of an attenuator for gain control.

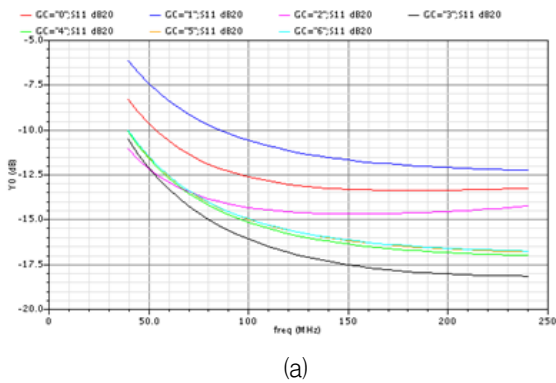
해 S11이 -10 dB 이하가 될 수 있도록 설계할 수 있다. 한편, 5단계의 감쇄 모드를 갖는 감쇄기와 2가지의 이득을 갖는 싱글-차동 증폭기를 사용하여 6단계의 이득 조절을 할 수 있게 설계하였다.

III. 시뮬레이션 결과

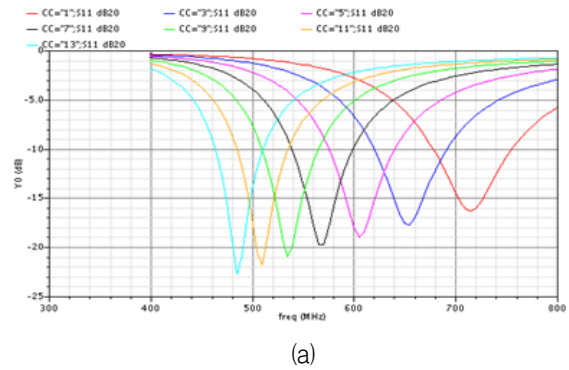
제안한 가변 이득 VHF 및 UHF 대역 저잡음 증폭기는 0.18 μm CMOS 공정을 사용하여 설계하였다. 설계한 VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기는 1.8 V 전원 전압에서 22 mA를 소모하고 UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기는 1.8 V 전원 전압에서 17 mA를 소모한다.

설계한 가변 이득 VHF 대역 저잡음 증폭기의 S11은 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 이득 모드에 상관없이 -7.5 dB 이하의 값을 갖는다. 그림 4(b)는 VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 이득 제어 신호에 따른 이득 특성을 보여주고 있다. 안테나에서 들어오는 작은 입력 신호와 큰 입력 신호를 효과적으로 처리하기 위하여 8 dB 이득 단계로 7개의 이득 모드가 존재하고, 48 dB의 이득 범위를 갖도록 설계하였다. 그림 4(c)는 그림 4(b)의 각 이득 단계에 대한 잡음지수(NF) 특성을 보여주고 있다. 가장 높은 이득 모드인 27 dB에서 약 1.7dB의 NF 특성을 갖는다.

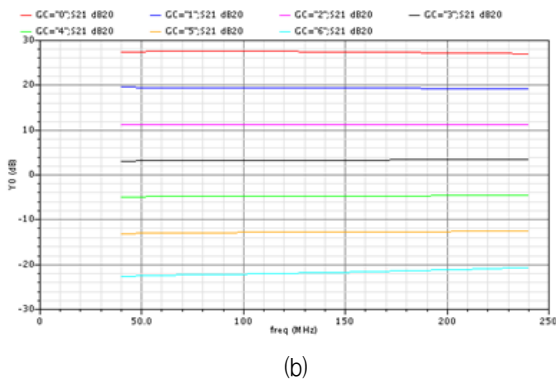
그림 5(a)는 설계한 가변 이득 UHF 대역 저잡음 증폭기의 가장 높은 이득 모드에서 그림 3(a)의 캐패시터 어레이 C_{BC} 값을 각 제어 신호에 따라 변경시켰을 때의 S11을 보여주고 있다. S11은 470 MHz부터 760 MHz까지의 주파수 대역에서 -9 dB 이하의 값을 갖는다. 협대역 특성을 갖기 때문에 입력 TV 신호에 인접해 있는 간섭 신호의 주파수에서는 입력 매칭이 안되어 있기 때문에 효과적으로 간섭 신호를 제거할 수 있다. 그림 5(b)는 UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 캐패시터 어레이 CBC 값에 따른 470 MHz에서 760 MHz까지의 이득 특성을 보여주고 있다. 그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 470 MHz - 760 MHz 동작 주파수에서의 이득 변화는 약 2 dB 이하이다. 그림 5(c)는 그림 5(b)에서의 이득 특성을 얻을 때의 NF 특성을 보여준다. UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 전체 NF 특성은 동작 주파수 대역에서 1.7 dB 이하의 특성을 갖는다.



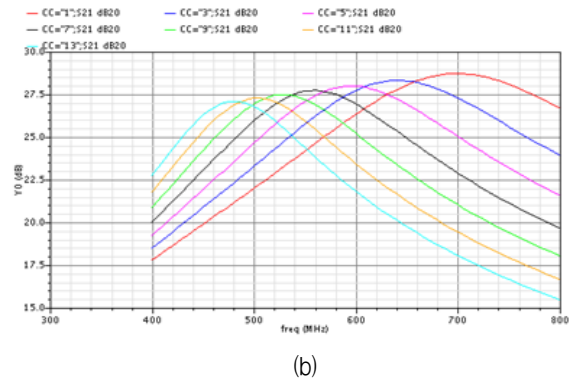
(a)



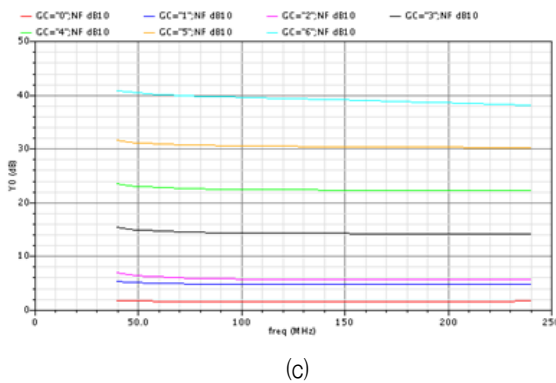
(a)



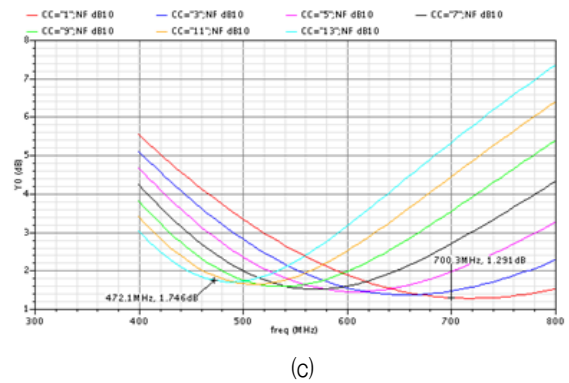
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 4. (a) VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 입력 매칭 특성, (b) VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 이득 특성, (c) VHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 잡음 특성

Fig. 4. (a) Simulated S11 of the VHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier, (b) simulated gain of the VHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier, (c) Simulated NF of the VHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier.

그림 5. (a) UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 C_{BC} 의 제어에 따른 입력 매칭 특성, (b) UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 C_{BC} 의 제어에 따른 이득 특성, (c) UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 C_{BC} 의 제어에 따른 잡음 특성

Fig. 5. (a) Simulated S11 of the UHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier according to C_{BC} control code, (b) simulated gain of the UHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier according to C_{BC} control code, (c) Simulated NF of the UHF-band low noise amplifier and single-to-differential amplifier according to C_{BC} control code.

표 1. 기존 VHF밴드 및 UHF밴드 증폭기와 성능 비교

Table 1. Performance comparison of the VHF/UHF-band variable gain amplifier with other VHF-band amplifier and UHF-band amplifier.

| | [5] | [6] | This work (VHF) | This work (UHF) |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Operating frequency | TV band | 200 - 5200 | 50-230 MHz | 470-760 MHz |
| Gain (dB) | 15.5 | 15.6 | 27-27.4 | 27-28.7 |
| S11 (dB) | - | - | < -10 | < -9 |
| NF (dB) | 3.6 | 3.5 | 1.6-1.7 | 1.3-1.7 |
| IIP3 (dBm) | -1 | 0 | -13.8 - -13.5 | -12.7 - -11 |
| OIP3 (dBm) | 14.5 | 15.6 | 13.5-13.6 | 16 |
| Current consumption (mA) | 28 | 21 | 22 | 17 |
| Power supply (V) | 1.8 | 1.2 | 1.8 | 1.8 |
| Technology | 0.18 μ m CMOS | 0.13 μ m CMOS | 0.18 μ m CMOS | 0.18 μ m CMOS |

표 1에서는 제안한 VHF 대역 및 UHF 대역 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기의 성능을 정리하였고, 기존 VHF 대역과 UHF 대역에서 동작하는 저잡음 증폭기와 성능 비교를 하였다. 기존 증폭기와 비교하여 전류소모는 더 작으면서 선형성 특성을 비슷하면서 우수한 잡음 특성을 갖는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 0.18 μ m RF CMOS 공정을 사용하여 다양한 모바일 TV 규격을 지원할 수 있는 VHF 및 UHF 저잡음 증폭기와 싱글-차동 증폭기를 제안하고 설계하였다. 제안한 VHF 및 UHF 저잡음 증폭기는 낮은 잡음 특성을 갖추면서 48 dB의 동적 이득 제어 범위를 갖기 때문에 작은 신호 레벨의 RF 신호로부터 큰 신호 레벨의 RF 신호를 효율적으로 처리할 수 있어 모바일 TV 수신 회로의 증폭기로 적합하다.

REFERENCES

[1] I. Mehr, "Integrated TV tuner design for multi-standard terrestrial reception," in *IEEE Radio Freq. Integr. Circuits Symp. Dig.*, Jun.

2005, pp. 75-78.

- [2] M. Gupta, S. Lerstaveensin, D. Kang, and B.-S. Song, "A 48-to-860 MHz CMOS direct-conversion TV tuner," in *IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Tech. Dig.*, San Francisco, CA, Feb. 2007, pp. 206-207.
- [3] Chihoon Choi, Donggu Im, and Ilku Nam, "An RF front-end for terrestrial and cable digital TV tuners," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea - Semiconductor and Devices*, vol. 49, no. 12, pp. 242-246, Dec. 2012.
- [4] P. Andreani and H. Sjoland, "Noise optimization of an inductively degenerated CMOS low noise amplifier," *IEEE Trans. Circuits Syst. II., Analog Digit. Signal Process.*, vol. 48, no. 9, pp. 835-841, Sep. 2001.
- [5] D. Im, S. S. Song, H. T. Kim, and K. Lee, "A wide-band CMOS variable-gain low noise amplifier for multi-standard terrestrial and cable TV tuner," in *IEEE Radio Freq. Integr. Circuits Symp. Dig.*, Jun. 2007, pp. 621-624.
- [6] S. C. Blaakmeer, E. A. M. Klumperink, D. M. W. Leenaerts, and B. Nauta, "Wideband balun-LNA with simultaneous output balancing, noise-canceling and distortion-canceling," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 43, no. 6, pp. 1341-1350, Jun. 2008.

저 자 소 개



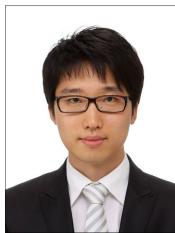
남 일 구(평생회원)
1999년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.
2001년 한국과학기술원
전기및전자 석사 졸업.
2005년 한국과학기술원
전기및전자 박사 졸업.

2005년~2007년 2월 삼성전자 시스템 LSI
RF 개발팀 책임연구원
2007년 3월~2011년 2월 부산대학교
전자전기공학부 조교수
2011년 3월~현재 부산대학교 전기공학과
부교수
<주관심분야 : RF/아날로그/밀리미터웨이브 집
적 회로 및 시스템>



이 옥 구(정회원)
2001년 성균관대학교 전기전자 및
컴퓨터공학부 학사 졸업.
2005년 한국과학기술원 전기및
전자 석사 졸업.
2009년 Georgia Institute of
Technology 전기및전자
박사 졸업.

2010년~2012년 8월 Qualcomm, Inc., Qualcomm
CDMA Technologies, Senior Engineer
2012년 9월~현재 부산대학교 전기공학과
조교수
<주관심분야 : CMOS 송수신단 집적회로, 전력증
폭기, 바이오메디컬 회로 및 시스템>



권 구 덕(정회원)-교신저자
2004년 한국과학기술원 전기및
전자 학사 졸업.
2009년 한국과학기술원 전기및
전자 박사 졸업.
2009년 9월~2010년 2월 한국과학
기술원 정보전자연구소
Post-Doc.

2010년 3월~2014년 2월 삼성전자 DMC연구소
Modem RF팀 책임연구원
2014년 3월~현재 강원대학교 전기전자공학부
조교수
<주관심분야 : RF/아날로그 집적 회로 및 시스
템>