

논문 2007-44TC-7-5

소스 피드백을 이용한 무선랜용 이중대역 저잡음 증폭기 설계

(Design of Dual Band LNA for Wireless LAN Using Source Feedback)

전 현 진*, 최 금 성*, 구 경 현**

(Hyun Jin Jeon, Kum Sung Choi, and Kyung Heon Koo)

요 약

본 논문에서는 무선 랜용 이중대역 GaAs FET 저잡음 증폭기를 설계하기 위하여 인덕턴스 소스 피드백을 이용하고 입력 단에는 이중대역 LC 공진회로를 이용하였으며, 출력단에는 Cheyshev 필터의 임피던스 변환 회로를 이용하였다. 이중대역 증폭기의 입출력정합회로 설계에 필요한 기법 및 수식들을 유도하였으며 설계된 증폭기를 제작하여 측정된 결과 시뮬레이션 결과와 유사한 측정치를 얻을 수 있었다.

Abstract

A dual-band GaAs FET low noise amplifier (LNA) with an input LC-tank circuit is designed using inductance source feedback for wireless LAN, and output matching is realized with low-pass Cheyshev filter impedance transforming circuit. Some design techniques for dual band LNA have been developed including input and output design equations. The measured results shows close agreement with the predicted performance.

Keywords: Dual band amolifier, LC tank circuit, inductance feedback

I. 서 론

새로운 무선통신 시스템 및 서비스의 개발에 따라 다양한 주파수 대역에서 서로 다른 통신 방식을 지원하는 멀티 모드, 멀티 밴드 통신 단말기가 개발 되고 있다. 멀티 모드 및 멀티 밴드 시스템 연구는 SDR (Software Defined Radio) 개발 등에 있어서 중요 기술이며, 다양한 표준을 통합하는 RF 모듈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 단일 단말기로 두 가지 이상의 통신방식을 지원하기 위해서는 부품의 소형화, 다기능화가 요구된다. 무선 랜은 컴퓨터 및 단말을 선으로부터 자유롭게 만든 서비스로 기술의 발전에 따라 지속적으로 새로운 표준이 제안되어 IEEE 802.11a/b/g/n 등 다양한 규

격이 공존하고 있다. 따라서 최근에는 이러한 다양한 무선 랜 표준을 지원하는 이중대역 무선 랜 제품들이 각광을 받고 있다. 무선통신 시스템에서 수신기의 잡음 특성은 초단에 사용되는 증폭기의 잡음특성에 크게 의존하므로 저잡음 증폭기는 수신 시스템 전체의 잡음 특성을 결정하는 중요한 RF 부품중 하나로 다양한 설계 기법이 개발되어 왔다.

본 논문에서는 2.4GHz 및 5.8GHz 대역의 무선 랜용 이중대역에서 동작하는 저잡음 증폭기의 설계를 위하여 FET의 소스단에 인덕턴스 또는 전송선로 피드백을 이용하며 입력단 정합을 위하여 입력에 LC 공진 회로를 이용하는 방법을 도입하고 관련 설계 식을 제시하고자 하였다. 하나의 트랜지스터를 이용하는 이중대역 저잡음 증폭기는 각각의 주파수에서 동작하는 두 개의 저잡음 증폭기를 결합하여 구현하는 경우에 비하여 소자 수, 크기 및 소비전력 면에서 많은 장점이 있어 다양한 활용이 가능하다^[1~2].

* 학생회원, ** 정회원, 인천대학교 전자공학과

(Dept. of Electronics Eng., University of Incheon)

※ 본 연구에 사용된 CAD tool은 IT-SoC 사업단 및 IDEC의 지원을 받았습니다.

접수일자: 2007년7월12일, 수정완료일: 2007년7월18일

II. 이중대역 저잡음 증폭기 설계

FET를 이용한 저잡음 증폭기 설계에서 최소의 잡음 지수를 얻으려면, 입력정합회로를 최적 잡음 반사계수 Γ_{opt} 에 정합하고, 부하반사계수는 트랜지스터 후단에서 바라본 출력 반사계수에 공액정합하면 되나 이 경우 최적 잡음 반사계수와 입력 반사특성이 동일하지 않은 경우가 대부분이므로 잡음지수와 입력 반사 특성간의 trade-off가 필요하게 된다. 이에 따라 기존에 연구된 저잡음 증폭기 설계 시에는 잡음지수와 반사 특성간의 관계를 고려하여 적절한 입력 반사계수 값을 선정하거나, 트랜지스터의 소스단에 직렬 피드백 회로를 적용하여 잡음지수와 입력반사계수간 최적점을 갖도록 하는 방안이 이용된다^{3,4)}.

이러한 방법은 단일 대역 설계에서는 많은 성과가 있었으며 체계적인 설계 기법이 제시되어 왔으나, 이를 이중 대역으로 확대하는 방법은 간단하게 제시되고 있지 않아 본 논문에서는 도식적으로 이를 제시하고자 한다. 피드백을 적용하였을 때 최소 잡음 지수를 얻을 수 있는 Γ_{opt} 궤적을 조사하기 위하여 그림 1에 피드백이 없을 때와 소스 인덕턴스 L 값을 증가시킬 때의 Γ_{opt} 궤적을 시뮬레이션하여 제시하였다. 각 궤적은 반시계 방향으로 2.4GHz에서 5.8GHz 주파수까지의 Γ_{opt} 궤적 특성으로 피드백이 없을 때, 0.7nH, 2.0nH 소스 인덕턴스 피드백을 적용할 때의 Γ_{opt} 반사계수 변화를 나타낸다.

인덕턴스 피드백의 크기에 따라 변화하는 Γ_{opt} 의 값은 여러 가지로 시뮬레이션 할 수 있으나 본 연구에서는 Γ_{opt} 와 입력반사계수 S_{11}^* 의 값이 2.4GHz와

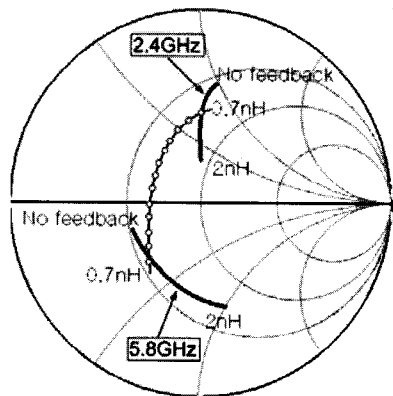


그림 1. 인덕턴스 피드백에 의한 Γ_{opt} 의 변화
Fig. 1. Γ_{opt} with source inductance feedback.

5.8GHz 대역에서 일치하는 소스 피드백 인덕턴스 값을 구하고자 하였다. 인덕턴스 크기를 0.7nH로 선정할 때 Γ_{opt} 값이 입력반사계수에 접근하여 최적 잡음을 얻을 때 동시에 입력 반사 특성이 개선되는 특성을 갖는 것을 알 수 있었다. 피드백 인덕턴스 값으로 결정된 0.7nH를 실제 구현 시에는 고임피던스의 마이크로스트립 선로로 구현하여 잡음과 입력정합의 최적의 값을 얻고자 하였다. 그림 2는 저잡음 증폭기의 소스단에 직렬 피드백을 인덕턴스 값 또는 전송선로로 구현하여 잡음과 입력반사계수의 최적화를 추구하는 경우의 그림이다.

그림 3은 최소 잡음 지수를 얻는 Γ_{opt} 와 FET 입력 반사계수 S_{11}^* 의 궤적을 2.4GHz에서 5.8GHz까지 나타낸 그림이다. (a)는 소스 피드백이 없을 때의 Γ_{opt} 와 S_{11}^* 의 궤적을 나타내고 (b)는 본 논문에서 제안한 소스 피드백에 의한 Γ_{opt} 와 S_{11}^* 의 궤적을 나타내고 있다. 2.4GHz와 5.8GHz 대역에서 최적화 된 소스 피드백 값

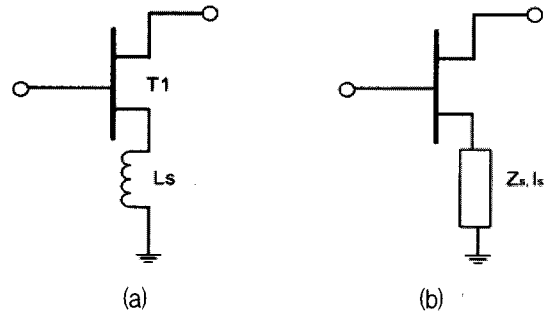


그림 2. (a) 직렬 피드백을 위한 FET 소스 인덕턴스
(b) 직렬 피드백을 위한 FET 소스 전송선로
Fig. 2. (a) FET source inductance for series feedback
(b) FET source transmission line for series feedback.

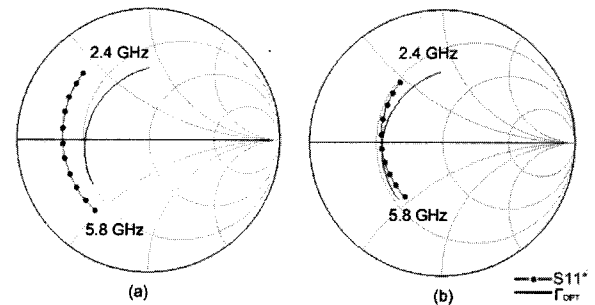


그림 3. (a) 소스 피드백이 없을 때 S_{11}^* 와 Γ_{opt} 의 변화
(b) 소스 피드백에 의한 S_{11}^* 와 Γ_{opt} 의 변화
Fig. 3. (a) S_{11}^* and Γ_{opt} with no feedback.
(b) S_{11}^* and Γ_{opt} with source feedback.

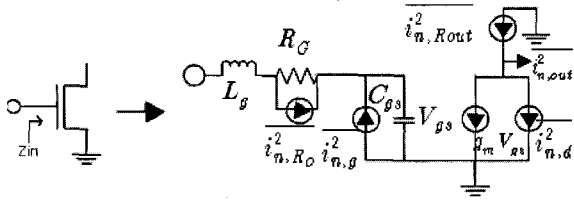


그림 4. FET 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit for FET.

에 의해 Γ_{opt} 값과 S_{11}^* 값이 유사해 지면서 최소 잡음 특성을 갖도록 증폭기를 설계하면 입력 반사 특성도 동시에 개선할 수 있는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 된 최적 잡음반사계수를 이중대역에서 구현하기 위하여 입력 정합회로는 LC 병렬 공진회로를 이용하여 이중대역에서 정합이 가능하도록 하였으며, 정합소자치 계산에 이용한 FET의 등가회로를 그림 4에 제시하였다. FET 등가회로 및 소스단의 직렬 피드백을 이용하여 잡음특성의 최적점인 Γ_{opt} 를 변경하기 위한 소스 피드백 값을 계산 후 FET 등가 회로를 이용하여 입력정합회로를 설계할 수 있다^[6].

그림 5는 이중대역 저잡음 증폭기를 위한 입력정합 회로이다. 두개의 상이한 대역을 정합하기 위해 공진회로 소자인 L_1 과 C_1 을 게이트단의 L_{g2} 와 연결하였다. 소스 인덕턴스가 연결된 경우 소신호 등가회로를 이용한 이중대역 증폭기의 입력 임피던스는 (1)식과 같이 구할 수 있으며, 전송선로가 피드백 소자로 이용된 경우에도 유사한 형태로 유도가 가능하다^[5].

$$Z_{IN} = j\omega(L_g + L_s) + \frac{1}{j\omega C_{gs}} + \frac{g_{m1}}{C_{gs}} + \frac{j\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1} \quad (1)$$

입력 정합특성을 얻기 위한 공진 회로 소자치를 구하기 위해서는 임피던스를 50Ω으로 변환하기 위한 다음

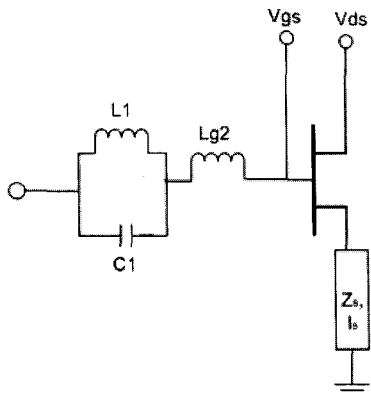


그림 5. 이중대역 증폭기의 입력정합회로
Fig. 5. Input circuit for the proposed dual-band LNA.

과 같은 실수 및 허수치에 대한 두 개의 식을 공진주파수에서 충족시켜야 한다.

$$R_g + \left(\frac{g_{m1}}{C_{gs}}\right)L_s = 50 \quad (2)$$

$$j\omega(L_{g2} + L_s) + \frac{1}{j\omega C_{gs}} + \frac{j\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1} = 0 \quad (3)$$

위 식에서 두 개의 주파수 ω_1 과 ω_2 를 구할 수 있으며, (2)식에서 만족하는 L_s 값과 두 개의 주파수 2.4GHz 및 5.8GHz에서 동작하기 위해 소자치를 구할 수 있다. 위의 수식을 바탕으로 두개 주파수에서 동작하는 이중대역 저잡음 증폭기의 입력 회로를 설계 할 수 있으며, 이 특성은 저잡음 증폭기의 잡음지수 및 입력정합특성 등 회로 설계에 큰 영향을 주게 된다^[5-6].

입력정합회로가 설계된 후 출력단 회로를 설계하며 본 연구에서는 이중대역 특성을 위하여 필터에서 발생하는 통과대역 리플 특성을 이용하여 출력 정합회로를 구성하였다^[7]. 그림 6은 이중대역 저잡음 증폭기의 출력 정합회로구조이며 II형 구조를 이용하였다.

$$W_M = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad (4)$$

$$C_k = \frac{g_k}{W_M \cdot R_L} \quad (5)$$

$$L_K = \frac{R_L \cdot g_K}{W_M} \quad (6)$$

FET의 동작점은 저잡음 증폭기의 이득, 신호의 클리핑 여부, 전력 소모 등을 고려하여 Vgs 및 Vds 값을

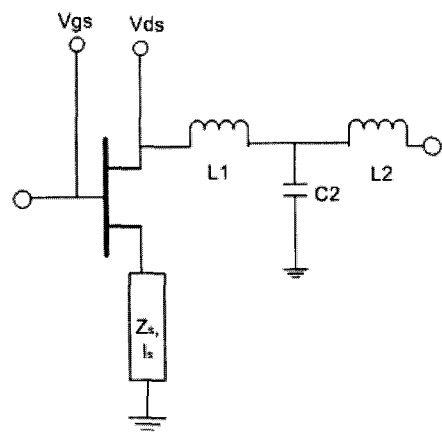


그림 6. 이중대역 저잡음 증폭기 출력정합회로
Fig. 6. Output circuit for the dual band LNA.

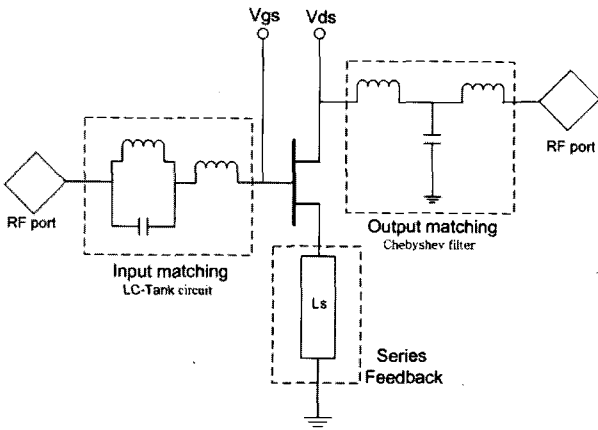


그림 7. 이중대역 저잡음 증폭기의 블록도
Fig. 7. Block diagram of dual band LNA.

선정하게 된다. AB급으로 증폭기를 설계하여 잡음 특성과 함께 선형 특성, 효율 특성을 개선하도록 하였다 [7]. 설계된 이중대역 저잡음 증폭기는 입력단에 공진회로와 추가적인 정합회로를 사용하였으며 출력단은 파이 구조이다. 그림 7은 설계된 이중대역 저잡음 증폭기의 블록도이다. 이 회로는 입력단측에 LC 공진회로를 사용하였으며 출력단 매칭은 Chebyshev 필터의 리플을 이용하여 설계하였다. 입·출력단의 바이어스라인 길이 변화를 통하여 2.4GHz의 이득은 감소하고 5.8GHz대역은 소자 특성값이 나오도록 하였다. L_s 값은 실제 구현 시에는 고 임피던스 마이크로스트립 선로로 대체하여 구현하였으며, 변경된 F_{min} 을 찾아 궤적에 따라 적절한 임피던스 및 길이의 전송선로 값을 이용하여 최적의 잡음지수 궤적을 선정하였다.

III. 이중대역 저잡음 증폭기 시뮬레이션

설계된 이중대역 저잡음 증폭기의 입출력 반사특성을 시뮬레이션 한 결과 2.4GHz 및 5.8GHz 대역에서 각각 -10dB 이상의 반사 손실을 갖는 것을 알 수 있었으며 그 결과를 그림 8에 제시하였다. 증폭기의 이득과 잡음지수를 시뮬레이션한 결과 이득은 2.4GHz에서 13dB, 5.8GHz에서 8dB이며, 잡음지수는 2.4GHz에서 0.6dB, 5.8GHz에서 1.1dB 이하의 특성을 나타내는 것을 그림 9에 제시하였다. 이득 특성이 두개 주파수 대역에서 유사한 값을 갖도록 설계하고자 하였으며 2.4GHz, 5.8GHz의 일정 이득 원 중 값이 작은 이득을 갖도록 입출력 반사계수 값을 선정하고 설계하였으며, 잡음 지수 특성도 두개 대역에서 함께 개선된 특성을 갖도록 설계하였다.

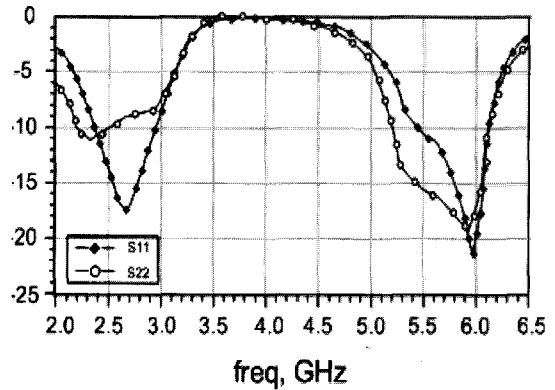


그림 8. 저잡음 증폭기의 입출력 반사계수
Fig. 8. Input and output return loss of the amplifier.

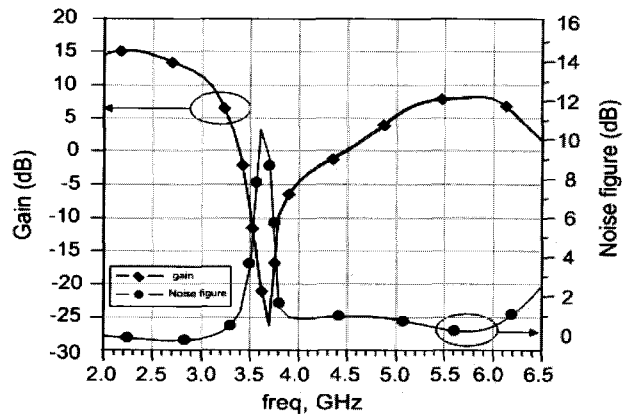


그림 9. 저잡음 증폭기의 이득과 잡음지수
Fig. 9. Gain and noise figure of the amplifier.

IV. 증폭기의 제작 및 특성

제작된 증폭기는 네트워크 분석기로 소신호 특성을 측정하고, 잡음지수계로 잡음 특성을 측정하였다. 그림 10은 제작된 증폭기의 입출력 반사계수로 2.4GHz 및 5.8GHz에서 각각 13.5dB, 18.1dB의 입력 반사손실 및

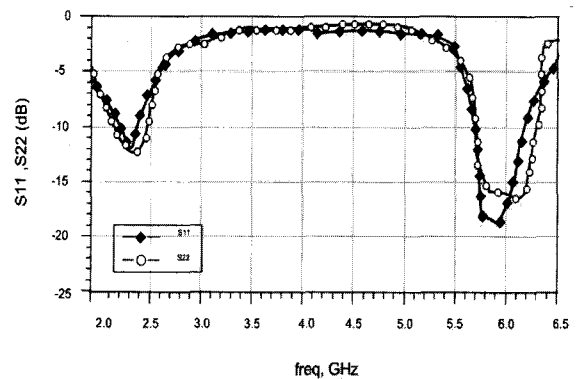


그림 10. 제작된 저잡음 증폭기의 입출력 반사특성
Fig. 10. Input and output return loss of the amplifier.

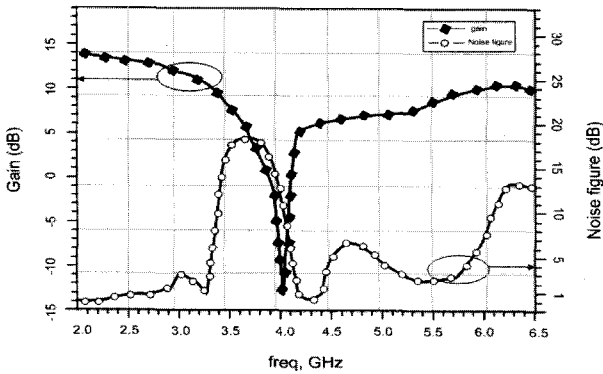


그림 11. 제작된 저잡음 증폭기의 이득과 잡음지수
Fig. 11. Gain and noise of the designed amplifier.

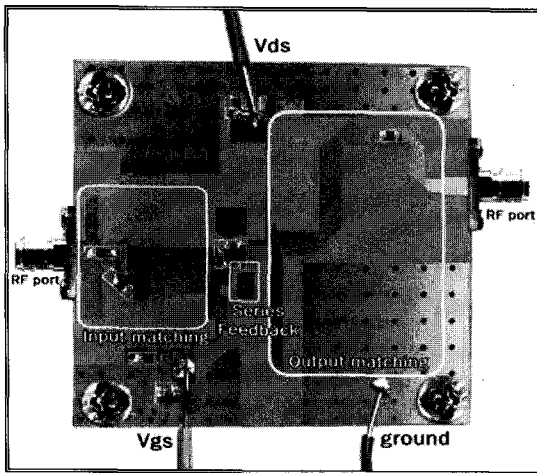


그림 12. 제작된 이중대역 저잡음 증폭기(40x30mm²)
Fig. 12. Photograph of the dual-band LNA (40x30mm²)

13.7dB, 15.2dB의 출력 반사손실을 갖는 것을 알 수 있다. 그림 10은 이득 특성으로 이득은 2.4GHz에서 13.3dB, 5.8GHz에서 7.2dB이며, 같은 그림에 잡음 특성을 함께 제시하였는데 잡음지수는 2.4GHz에서 0.8dB, 5.8GHz에서 2.3dB로 높은 주파수 대역에서 시뮬레이션 값과 차이가 커져 그 원인에 대한 분석이 필요하다는 것을 알 수 있다.

그림 12는 제작된 저잡음 증폭기의 사진이다. 제작된 증폭기는 유전율 3.4, 두께 1.52mm인 기판을 이용하여 제작하였다.

V. 결 론

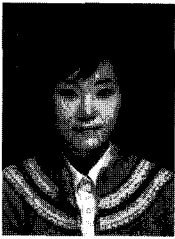
본 논문에서는 무선랜용 이중 대역에서 동작하는 저잡음 증폭기를 설계하기 위하여 소스 피드백 회로 및 LC 공진 입력정합회로 구조를 갖는 이중대역 저잡음 증폭기를 설계하고자 하였으며 이에 필요한 수식을 유도하고 회로 설계 시뮬레이터를 이용하여 저잡음 증폭

기를 설계하였다. 제작된 증폭기는 2.4GHz 및 5.8GHz 중심주파수에서 전력 이득이 10±3dB 특성을 나타내었으며 잡음 지수는 각각 0.8dB, 2.3dB의 특성을 나타내었다. 다중대역에서 동작하는 증폭기의 잡음특성에 대한 추가적인 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] C. Y. Huang, and Y. M. Hsin, "An integrated dual band SiGe HBT low noise amplifier," IEEE International Workshop, pp. 187-190, Dec. 2005.
- [2] David M Pozar, *Microwave Engineering*, Addison, Wesley, pp.476-479
- [3] M. Shouxian, M. Jianguo, Y. K. Seng, and D. M. Anh, "An integrated dual-band low noise amplifier for GSM and wireless LAN applications," IEEE SOC Conference, pp. 67-70, Sept. 2003.
- [4] M. Shouxian, M. Jianguo, Y. K. Seng, and D. M. Anh, "An integrated SiGe RF band pass low noise amplifier for multi-band wireless communication applications," Asia Pacific Microwave Conference, vol.1, pp.420-424, Sept. 2003.
- [5] M. Shouxian, M. Jianguo, Y. K. Seng, and D. M. Anh, "An intergrated SiGe dual band low noise amplifier for Bluetooth, hiperLAN and wireless LAN application," European Microwave Conference, vol.1, pp. 5-8, Oct 2003.
- [6] Z. Yang, T. Yang, J. Xie, and R. Xu, "The design of a Ka-band two-stage monolithic low noise amplifier," Microwave Conference Proceedings, Vol.2, pp. 4-7, 2005.
- [7] 윤영철, "Ku 밴드 직접위성방송용 저잡음 증폭기 설계," 마이크로파 및 전파전파 학술대회, vol.14 , PP 3-6, May 1991.

저 자 소 개



전 현 진(학생회원)
 2007년 인천대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2007년~현재 인천대학교 대학원
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 마이크로파 회로
 및 모듈 설계, 이중대역 저잡음 증
 폭기 설계, RFIC 설계>



최 금 성(학생회원)
 2005년 인천대학교 대학원
 전자공학과 입학.
 2007년 8월 인천대학교 대학원
 전자공학과 석사졸업예정
 <주관심분야 : 마이크로파 회로
 및 모듈 설계, 이중대역 저잡음 증
 폭기 설계, RFIC 설계>



구 경 현(정회원)
 1981년 서울대학교 전자공학과
 학사.
 1991년 서울대학교 전자공학과
 박사.
 1999년~2000년 UC San Diego
 방문학자.

2000년~2002년 대한전자공학회 마이크로파 및
 전파전파연구회 위원장.
 2003년~현재 대한전자공학회 평의원, 이사,
 통신 소사이어티 학술이사. 부회장, 회장
 1987년~현재 인천대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 마이크로파 회로 및 모듈 설계, 전
 력증폭기 설계 및 선형화, 레이더 전파신호처리>