

# 이중게이트 FET를 이용한 광대역 하이브리드 믹서 설계

## Design of Broadband Hybrid Mixer using Dual-Gate FET

김철준\*, 이강호\*, 구경현\*

Zhe-Jun Jin\*, Kang-Ho Lee\* and Kyung-Heon Koo\*

### 요 약

본 논문에서는 이중게이트 FET 구조를 이용하여 광대역 하이브리드 믹서를 RF신호와 LO신호를 출력단과 격리하는 저역통과필터와 같이 설계하였다. 저역통과필터는 1.5-5.5GHz에서 RF와 LO신호에 대하여 40dBc의 억압특성을 나타낸다. 이중게이트 FET 믹서는 두 개의 FET를 캐스코드 구조로 연결하여 설계하였으며, 첫번째 FET는 선형영역에서 동작되고 두번째 FET는 포화영역에서 동작한다. 입력매칭은 1.5-5.5GHz에서 높은 변환이득을 갖도록 설계하였다. 설계된 믹서는 IF를 21.4MHz로 고정시키고 0dBm의 국부발진기 전력에서 1.5-5.5GHz 대역에서 7dB이상의 변환이득을 가진다.

### Abstract

This paper presents the design of a broadband hybrid mixer using dual-gate FET topology with a low-pass filter which improves return loss of output to isolate RF and LO signal. The low-pass filter shows the isolation with RF and LO signal of better than 40 dBc from 1.5 GHz to 5.5 GHz. The dual-gate mixer which has been designed by using cascade topology operates when the lower FET is biased in linear region and the upper FET is in saturation region. The input matching circuit has been designed to have conversion gain from 1.5 GHz to 5.5 GHz. The designed mixer with low-pass filter shows the conversion gain of better than 7 dB from 1.5 GHz to 5.5 GHz at the low LO power level of 0 dBm with the fixed IF frequency of 21.4 MHz.

Key words : dual-gate, broadband, mixer

### I. 서 론

정보 사회를 지원하는 정보통신 시스템 분야에서 대용량 정보의 전송기술에 대한 필요성이 증가되고 있고 다양한 서비스들을 하나로 통합하여 전송할 수 있는 통신시스템의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 무선통신 시스템에서 RF 주파수를 IF 주파수로 변화하는 하향 주파수 변환기의 광대역 동작을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. FET 믹서는 소자의

비선형특성을 이용하는 방식에 따라 게이트 믹서, 드레인 믹서, 소스 믹서, 그리고 resistive 믹서로 구분된다. 드레인 믹서는 LO/RF 격리도 및 잡음특성이 우수하지만 동작이 불안정하고 큰 LO전력이 필요하며, 소스 믹서는 변환손실이 크며, resistive 믹서는 높은 IP3를 얻지만 변환손실이 크다는 단점이 있다. 또한 다단으로 분배(distributed)구조를 이용하여 광대역 특성을 얻는 연구들이 있지만 변환손실을 갖거나 변환이득이 크지 않은 단점이 있다 [1][2].

\* 인천대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon)

· 제1저자 (First Author) : 김철준

· 접수일자 : 2005년 10월 5일

본 논문에서는 격리도 특성이 좋고 큰 변환이득을 얻을 수 있는 이중게이트(dual-gate) FET 믹서 구조를 두개의 pHEMT를 캐스코드(cascade)로 연결하여 구현할 수 있는 하향 주파수 변환기를 설계하였다. 캐스코드 구조를 이용한 이중게이트 FET 믹서는 그림 1에 나타난 구조를 이용하며, FET1은 포화영역, FET2는 선형영역에서 동작하게 된다. 설계된 믹서는  $V_{gs1} = -0.3\text{ V}$ ,  $V_{gs2} = -0.6\text{ V}$ 의 게이트 바이어스를 사용하여 20 mA의 드레인 전류를 소비한다. 기존 논문보다 격리도 특성을 개선하기 위하여 출력단에 40 dBc 이상의 RF 와 LO 신호의 격리도(isolation) 특성을 얻을 수 있는 저역통과 여파기를 결합하였다[3]. 광대역 동작을 위해 FET1, 2의 게이트 입력단에 RF 와 LO 신호의 매칭 회로를 삽입하여 1.5 GHz ~ 5.5 GHz 에서 7 dB 이상의 변환이득을 얻도록 설계하였다.

II. 광대역 믹서 설계

2-1 이중 게이트 FET

이중게이트 FET의 특징은 그림 1에 보이듯이 두 번째 게이트가 추가된 것을 제외하면 단일게이트 FET와 비슷한 구조를 가지고 있다.

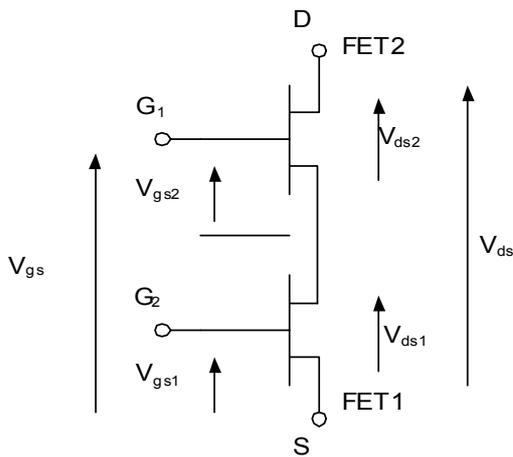


그림 1. 이중게이트 FET 구조  
Fig. 1. Dual-gate FET structure.

게이트의 추가로 인한 영향으로 트랜지스터의 전달컨덕턴스를 제어하게 되고, 첫 번째 게이트와

드레인 사이를 차단시키는 역할을 하며 캐환 커패시턴스(Cgd)를 낮게 감소시킨다.

이중게이트 FET의 전달컨덕턴스가 두 번째 게이트의 전압에 따라 변화하는 사실은 이 FET가 믹서로 동작할 수 있음을 의미한다. 믹서로 동작시킬 경우 RF신호와 LO신호는 각각의 분리된 게이트로 인가되고 IF출력은 드레인을 통해 얻을 수 있다. 따라서 게이트 사이의 커패시턴스가 작아 RF/LO 격리도 특성이 양호하고 안정도를 향상시키게 된다[4],[5].

본 논문에서는 이중게이트 FET의 장점을 이용하여 하향변환 믹서를 설계하기 위해 등가적으로 해석 가능한 두개의 pHEMT를 캐스코드로 구현하였다. 두개의 pHEMT로 구현한 이중게이트 구조는 각 FET의 드레인-소스 전압( $V_{ds1}$ ,  $V_{ds2}$ )에 걸리는 전압의 합은 전체에 걸리는 전압( $V_{ds}$ )과 같고 FET1과 FET2의 드레인 전류는 같다.

2-2 이중게이트 FET를 이용한 믹서

이중게이트 FET 믹서에서 RF 와 LO의 입력은 각각 FET1과 FET2의 게이트를 입력으로 사용하여 높은 격리도를 얻을 수 있고 분리된 매칭을 가능하게 해준다[6]. 이중게이트 FET 믹서에서 FET2의 게이트가 FET1의 전달컨덕턴스를 제어하기 위해서는 FET1은 선형영역에서 동작하여야 한다. 이는 두 개의 FET가 포화상태에서 동작하는 캐스코드 증폭기와는 차이가 있다. 따라서 입력되는 LO 신호가 커질 때에는  $V_{gs2}$ 은 증가하여 FET1이 전류 포화영역에 들어가게 된다. 그러면 전달컨덕턴스( $g_m$ )는 커지고 드레인과 소스사이의 컨덕턴스( $g_{ds}$ )는 작아지게 된다. 반대로 LO 신호가 작아지면 다시 선형 영역으로 들어오게 되고,  $g_m$ 은 작아지고  $g_{ds}$ 는 커지게 된다. 이와 같이  $g_m$ ,  $g_{ds}$ 의 비선형성을 이용해서 주파수 혼합을 하게 되고 FET1은 선형영역과 전류 포화영역을 교차하면서 주파수의 혼합을 일으키는 반면, FET2는 LO 대부분의 주기 동안 포화영역에 있으면서 IF 주파수에 대한 공통-게이트(common-gate) 증폭기로서 동작하게 된다. 이러한 구조는 FET1의 드레인 전압( $V_{ds1}$ )이 0이 되지

못하므로 gm 의 최대값을 단일게이트 믹서만큼 얻을 수 없지만 FET2에 의한 증폭으로 보충할 수 있다[7]~[10].

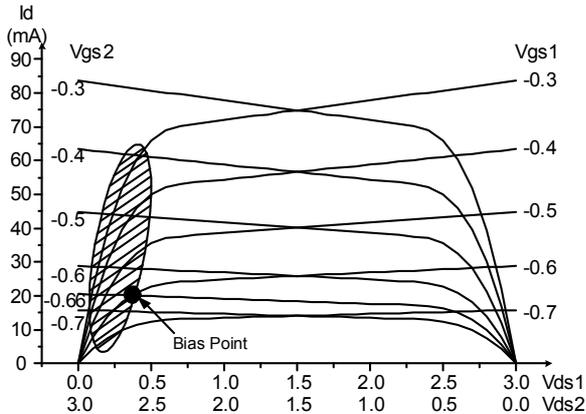
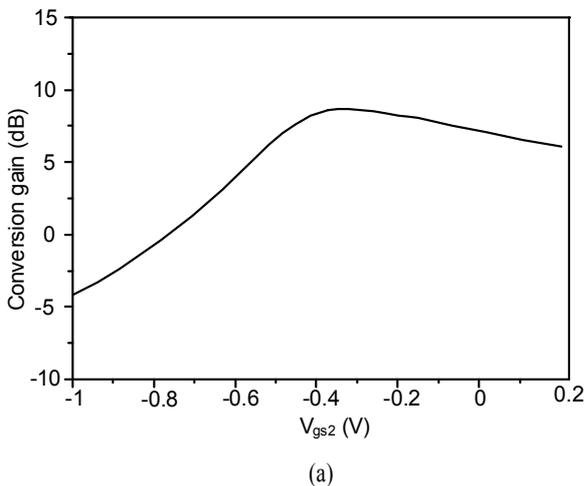
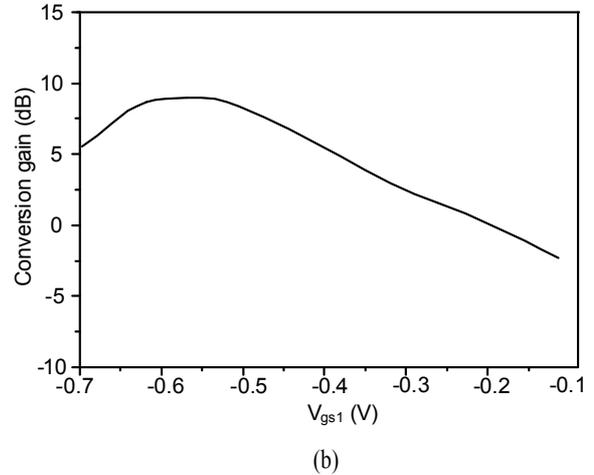


그림 2. 이중 게이트 FET의 I-V 특성  
Fig. 2. I/V characteristic of a dual-gate FET.

FET1과 FET2가 동일한 드레인 전류를 제공하기 위해서 Vgs1은 특정한 고정 값을 갖도록 하여, Vgs2는 0~Vds 사이에서 변화하게 된다. 이러한 전류특성을 이용하여 그림 2에서는 이중게이트 FET의 DC I-V 곡선을 나타내었고 믹서로 동작하기 위한 바이어스 영역과 본 설계에 사용된 바이어스 점을 표시하였다. 높은 변환이득을 얻도록 바이어스를 최적화하기 위해 그림 3에서 나타나듯이 게이트 바이어스에 따른 변환이득을 모의실험 하였으며, Vgs1=-0.6 V, Vgs2=-0.3 V 에서 8 dB의 변환이득을 얻도록 설계하였다.



(a)



(b)

그림 3. (a) Vgs2 (Vgs1은 -0.6V로 고정) (b) Vgs1 (Vgs2는 -0.3V로 고정)의 변화에 따른 변환이득

Fig. 3. Conversion gain by (a)Vgs2 (Vgs1 was fixed -0.6V) and (b)Vgs1 (Vgs2 was fixed -0.3V) changed.

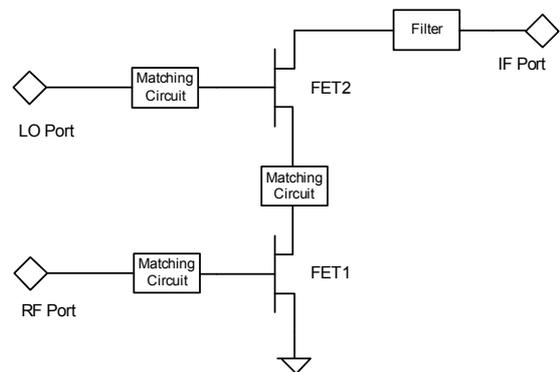


그림 4. 이중게이트 FET 구조를 이용한 광대역 하이브리드 믹서 블록도

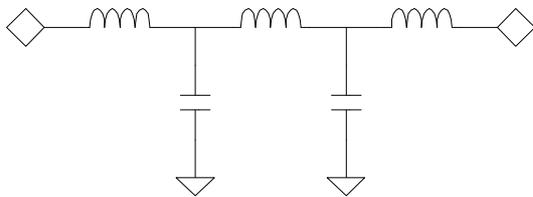
Fig. 4. Broadband hybrid mixer Using dual-gate FET structure block diagram.

그림 4는 설계된 광대역 믹서의 블록도를 나타낸다. 광대역 동작을 위해 RF와 LO 입력단에 매칭회로를 삽입하였고, LO-to-IF, RF-to-IF의 격리도를 개선하고 고조파 성분들을 제거하기 위해 출력단에 저역 통과 여파기를 집중소자를 이용하여 구현하여 40 dBc 이상의 RF 와 LO 신호의 억압 특성을 얻도록 설계하였다. 그림 5(a), (b)는 설계된 저역통과 여파기와 특성을 나타낸다.

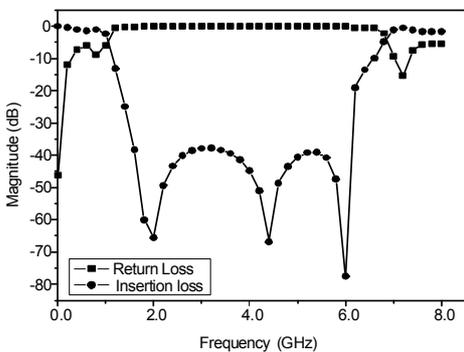
광대역 매칭을 하기 위하여 중심 주파수 fc에 맞춰 매칭을 하였으며 중심주파수는 다음과 같다.

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

이중게이트 FET 믹서에서 RF 와 LO의 입력의 분리된 매칭 가능성을 이용하여 RF입력에서는 직렬전송선로와 bias라인을 이용하여 중심주파수에 대하여 2단 매칭을 하였으며 LO입력에서는 직렬전송선로와 스텝를 이용하여 중심주파수에 대하여 4단 매칭을 하였으며 최적의 변환이득을 얻기 위하여 소자 값에 대하여 최적화하였다.



(a)



(b)

그림 5. (a) 저역 IF여파기회로도 (b) 출력 IF 여파기 특성  
 Fig. 5. (a) Low pass IF filter schematic (b) IF filter output characteristic.

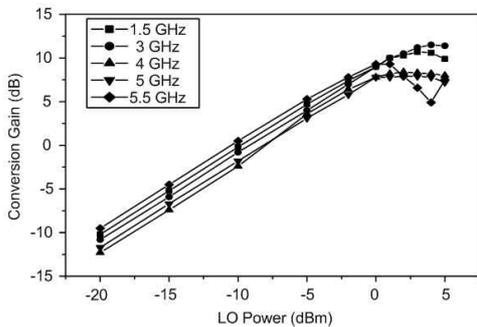


그림 6. LO 전력 변화 따른 변환이득 시뮬레이션 결과  
 Fig. 6. Conversion gain simulation result with LO power.

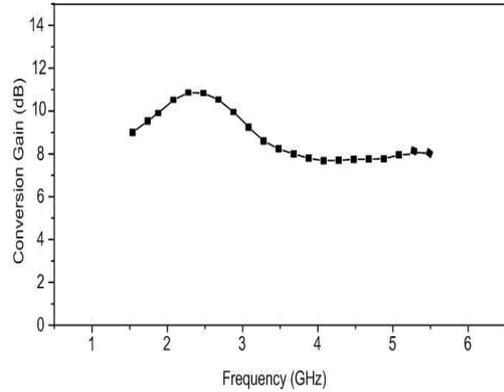


그림 7. 주파수에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환이득 시뮬레이션 결과 (RF=-40 dBm, LO=0 dBm)  
 Fig. 7. Dual-gate FET mixer conversion gain simulation result with frequency. (RF=-40 dBm, LO=0 dBm).

그림 6은 RF 주파수가 1.5, 3, 4, 5, 5.5 GHz일 때 LO 전력에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타내고, 그림 7은 0 dBm의 LO 전력에 IF 주파수를 21.4 MHz에 고정시킨 조건에서 입력 주파수 변화에 따른 변환이득을 나타낸다.

### III. 측정결과

제작된 믹서는 8720C 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 소신호 특성을 측정하였고, E4438C 신호발생기와 SA-970 스펙트럼 분석기를 사용하여 대신호 특성을 측정하였다. 그림 8은 IF 주파수를 21.4 MHz에 고정시키고 RF 주파수가 1.5, 3, 4, 5.5GHz일 때 LO 전력에 따른 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타낸다. LO 입력이 0dBm일 때 최대 10 dB의 변환이득을 얻을 수 있다.

그림 9는 IF 주파수를 21.4MHz에 고정시키고 RF와 LO 입력 전력이 -40 dBm, 0 dBm일 때 제작된 이중게이트 FET 믹서의 변환이득을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 실제 측정된 LO 입력 전력 변화에 대한 변환이득, 그리고 RF 주파수 변화에 따른 변환이득은 모의실험과 비슷한 값을 얻은 것을 확인할 수 있다. 그림 10은 제작한 광대역 이중게이트 FET 믹서의 사진을 나타낸다.

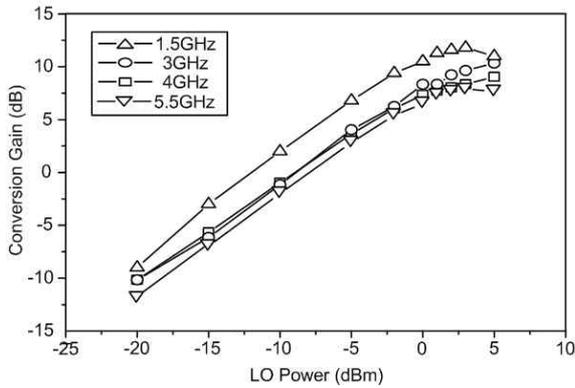


그림 8. 제작된 믹서의 LO 전력에 따른 변환이득  
 Fig. 8. Fabricated mixer conversion gain with LO power.

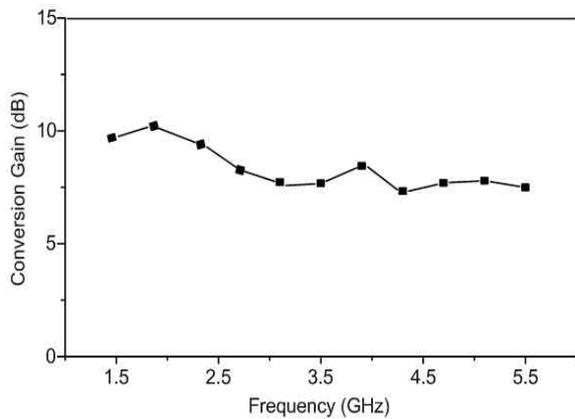


그림 9. 제작된 믹서의 변환이득 (RF=-40 dBm, dBm)  
 Fig. 9. Fabricated mixer conversion gain (RF=-40 dBm, LO=0dBm).

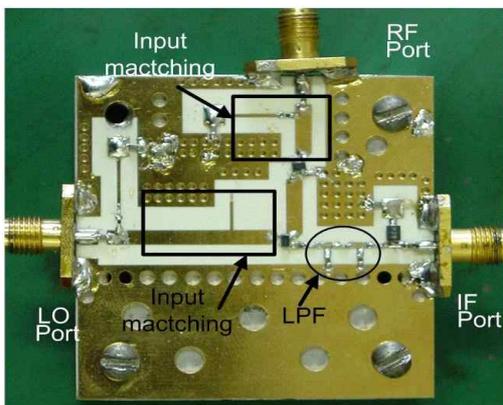


그림 10. 제작된 광대역 이중게이트 FET 믹서  
 Fig. 10. fabricated broadband dual-gate FET mixer.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 높은 변환이득을 가지며 1.5GHz~5.5GHz의 4GHz 대역폭을 갖는 광대역 하향주파수 변환기를 두 개의 pHEMT를 캐스코드 구조로 연결하여 구현한 이중게이트 FET 믹서를 이용하여 설계하였다. IF 출력단에 RF 와 LO 신호에 대한 역압특성을 개선하기 위해 저역 통과 여파기를 집중소자를 이용하여 설계하였다. 이중게이트 FET 믹서의 분리된 RF 와 LO 입력은 높은 격리도를 나타내며 증폭기로 동작하는 FET 에 의해 높은 변환이득을 얻을 수 있다. 또한 분리된 입력단의 매칭회로를 삽입하여 광대역 동작을 가능하게 해준다. 설계된 광대역 믹서의 변환이득은 0 dBm의 LO입력에 대해 1.5GHz ~ 5.5 GHz 대역에서 7 dB 이상의 변환이득을 보인다.

본 논문에서 개발된 믹서는 전자전 및 항공기 등의 광대역수신기 및 계측기 등의 수신단 믹서로 활용 가능할 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구중 일부는 지역협력 연구센터인 인천대학교 멀티미디어 연구센터의 지원을 받아 수행되었습니다. 설계에 사용된 CAD 툴은 IT-SoC 사업단 및 IDEC의 지원을 받았습니다.

#### 참 고 문 헌

[1] Thomas S. Howard and Anthony M.Pavio, "A Distributed Monolithic 2-18GHz Dual-Gate FET Mixer," *Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium*, pp. 27-30, June 1987.

[2] K. S. Ang and I.D. Robertson, "Multiple-FET Mixer Analysis with Applications to the Cascode Distributed Mixer," in 1999 *High Frequency Postgraduate Student Colloquium*, pp. 22-27 Sept. 1999.

- [3] Won Ko and Youngwoo Kwon, "A GaAs-Based 3-40GHz Distributed Mixer with Cascode FET Cells," *Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, pp. 413-416, June 2004.
- [4] Stephen A. Mass, *Microwave Mixer*, Artech House. 1993.
- [5] Stephen A. Mass, *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Artech House. 1998.
- [6] M.L. Fuenta, J.P. Pascual, and E. Artal, "Analyze and Design a Cascode MESFET Mixer," *Microwaves & RF*, pp. 129-138, May 1998.
- [7] 이경보, 이영철, "이중게이트 FETs를 이용한 마이크로파 이미지제거 능동필터 설계," *춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, vol. 25 no. 1, pp. 65-68, 2002.
- [8] 박주환, *5GHz 무선 LAN용 Dual-gate MESFET 믹서 설계*, 서강대학교 대학원, 2002.
- [9] C.Tsironis, R. Meirer, and R. Stahlmann, "Dual-Gate MESFET Mixers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-32, pp.248-255, 1984.
- [10] O.Kurita, "Microwave MESFET Mixer," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 24, no. 6, pp. 361-366, June 1976.

### 김 철 준 (金哲俊)



2000년 6월 : 연변대학교 전자공학  
학과 (공학사)  
2004년 9월 ~ 현재 : 인천대학교  
전자공학과 석사과정  
관심분야 : 마이크로파 회로 설계

### 이 강 호 (李康浩)



2004년 2월 : 인천대학교 전자  
공학학과 (공학사)  
2004년 3월 ~ 현재 : 인천대학교  
전자공학과 석사과정  
관심분야 : RFIC 및 MMIC(스위  
치 믹서, IQ복조기 등)

### 구 경 헌 (具京憲)



1981년 서울대학교 전자공학과  
(공학사)  
1983년 서울대학교 전자공학과  
(공학석사)  
1991년 서울대학교 전자공학과  
(공학박사)  
1999년~2000년 UC San Diego  
방문학자

2000년~2002년 : 대한전자공학회 마이크로파 및 전파  
연구회 위원장.

2003년~현재 : 한국항공학회 학술이사, 국제이사

1987년~현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 마이크로파 회로 및 모듈 설계, 전력증폭기  
설계 및 선형화, 무선통신 시스템 해석