

# K-Band용 Semi-MMIC Hair-pin 공진 발진기

정화원 이현태\*, 이종철\*, 김종헌\*, 김남영\*, 김복기\*, 홍의석\*

## A Semi-MMIC Hair-pin Resonator Oscillator for K-Band Application

Hyun-Tae Lee\*, Jong-Chul Lee\*, Jong-Heon Kim\*, Nam-Young Kim\*, Bok-Ki Kim\*,  
Ui-Seok Hong\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 환경의 다중 사용자 검출에서 문제시되는 다중 접속 간섭을 제거시켜주기 위해 사용되어지는 간섭 제거기에 대하여 소개한다. 기존의 간섭 제거 기술 중 병렬형 간섭 제거기는 장치적으로 복잡하고, 순차적 간섭 제거기는 지연 시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 그리고 적응형 간섭 제거기는 반복 알고리즘을 적용시킨 적응형 필터를 사용하여 원하는 BER(Bit Error Rate) 성능을 얻기 위해 많은 반복수가 필요하다. 이러한 간섭 제거기들의 성능을 개선시키기 위해서 제안된 간섭 제거기는 기존의 적응형 간섭 제거기에 전체 수신 신호를 입력시키지 않고 순차적 간섭 제거기의 정렬(sorting) 기법을 이용한 간섭 제거 기법을 적용시켜 MAI(Multiple Access Interference)를 사전에 제거시킨 신호를 입력시킴으로써 BER 성능을 향상시키는 것과 동시에 기존의 적응형 간섭 제거기에 비해 수렴을 위한 반복수를 줄여 준다. 또한 적응형 필터를 사용하여 기존의 비선형 간섭 제거기에 비해 하드웨어적인 복잡도를 줄일 수 있는 효과가 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a modified interference cancellation scheme to overcome MAI in DS-CDMA. Among ICs(Interference Cancellers), PIC(Parallel IC) requires the more complexity, and SIC(Successive IC) faces the problems of the long delay time. Most of all, the adaptive detector achieves the good BER performance using the adaptive filter conducted iteration algorithm. so it requires many iterations. To resolve the problems of them, we propose an improved adaptive detector that the received signal removed MAI through the sorting scheme and the cancellation method are fed into the adaptive filter. Because the improved input signal is fed into the adaptive filter, it has the same BER performance only using smaller iterations than the conventional adaptive detector, and the proposed detector having adaptive filter requires less complexity than the other detectors.

### I. 서 론

최근 초고주파 위성통신 및 개인 휴대통신의 발달과 더불어 그 응용 범위가 밀리미터 영역까지 확장됨에 따라 기존의 하이브리드 방식으로는 마이크

로파 회로의 구현이 불가능해지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 단일 초고주파 집적회로(MMIC)<sup>[1][2]</sup>가 국내외적으로 활발히 연구되고 있다. 그러나 MMIC 개발에는 많은 시간과 막대한 자본이 요구되므로 실제로 대학이나 연구소에서 기

\* 광운대학교 RFIC 연구 및 교육센터 / 미션 테크놀로지 연구센터

논문번호 : 00145-0505, 접수일자 : 2000년 7월 24일

\* 본 연구는 '98 과학기술기초 중점연구지원사업의 지원(#1998-016-E00033)에 의해 수행된 결과임

대만큼의 결과를 얻지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 MMIC 개발에 소요되는 시간과 비용을 절감하면서 MMIC 회로가 갖는 장점들을 이용하기 위한 수단으로 Semi-MMIC 공정을 사용한 소자 개발을 제안하고자 한다. 이 공정은 Semi-insulating GaAs 기판을 사용한다는 점에서는 일반적인 MMIC와 동일하지만, MMIC에서 사용되는 MMIC용 능동형 소자나 박막형태(thin-film type)의 저항, 캐패시터, 나선형 인덕터 등을 사용하는 대신 칩 형태로 제공되는 초고주파 능동 소자(MESFET, P-HEMT 등)와 chip 형태의 R, L, C lumped 소자들을 GaAs 기판 위에서 Wire-Bonding 방법을 통해 회로를 구성하게 된다. 본 논문에서는 이러한 semi-MMIC process를 사용하여 K-band의 발진기를 설계 및 제작하였다. MMIC에서는 다층구조를 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하지만 본 논문에서는 단일 마이크로 스트립선로를 이용하여 공진기 및 임피던스 정합회로의 수동회로를 구현하였다.

## II. Hair-pin 공진기

그림 1에서 병렬 결합된 마이크로스트립 형태의 Hair-pin 공진기를 보여주고 있다. Hair-pin 공진기의 임피던스  $Z_p$  가 기수 모드(odd-mode) 임피던스이기 때문에 결합된 병렬 마이크로스트립 선로의 단자 1과 단자 2의 전압 분포는 반대 위상 특성을 갖는다. 그러므로 발진기가 Push-push<sup>[3-5]</sup> 동작을 할 수 있도록 하는 조건을 제공하게 된다. 이 공진회로는 공진기 역할뿐만 아니라 Push-push 구조에서 두 개의 발진 모듈 사이에 위상기준 역할도 하게된다. 병렬 마이크로스트립 선로는 임의의 길이  $\theta$  로 주어지며 길이에 따라 전송 이득에 관계되므로, Hair-pin 공진기와의 결합 길이에 따라 결합계수를 결정하는 중요한 요소가 된다.

그림 2는 Hair-pin 공진기의 전압분포를 나타낸다. 여기서 단자1과 단자2 사이의  $\theta_s$ 와  $\theta_p$ 의 전압 분포는 서로 반대의 전압 분포를 나타내며 Push-push 발진기의 기본 특성을 만족시킨다. 이 조건에서 각 발진기의 FET는 출력부에서 2차 고조파가 동위상으로 합쳐지게 된다.

## III. Push-push 발진기의 설계

Push-push 형태의 발진기는 계환 회로를 포함한

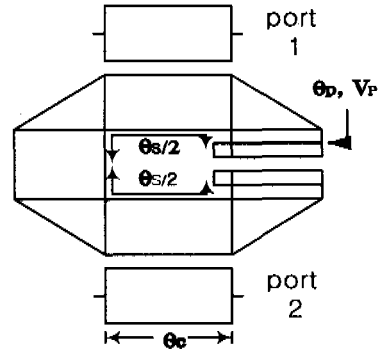


그림 1. 병렬 마이크로스트립과 결합 hair-pin 공진기

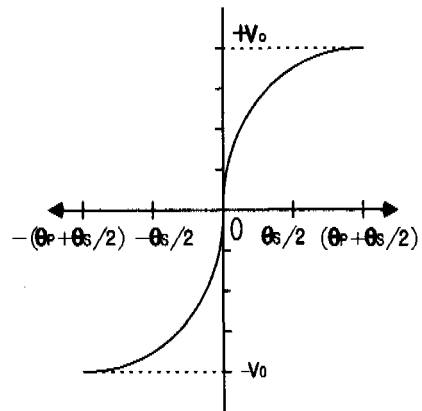


그림 2. Hair-pin 공진기의 전압 분포

능동소자로 구성된 능동부(active mode), 공진기로 구성된 위상기준 공진(resonant phase reference) 회로와 3단자 출력 결합기(Wilkinson power combiner)로 구성된다. 두 발진기의 출력 신호는 위상이 기본파에서 상쇄되고 2차 고조파에서 동위상으로 결합기에서 합쳐지게 된다. 이러한 Push-push 형태의 발진기 구조를 그림 3에 나타내었다.

두 발진기는 특성 임피던스 50  $\Omega$ 의 폭을 갖는 마이크로스트립 선로로써 설계되었으며 결합기는 회로가 최대의 출력 전력을 갖도록 Wilkinson 결합기를 사용하였다. 이때 기본파인 9 GHz 와 2차 고조파인 18 GHz에서의 임피던스 정합을 위해  $f_0$  주파수에서 180°의 입력선로와 100  $\Omega$ 의 isolation 저항이 결합하여 2 $f_0$ 의 주파수에서 70.7  $\Omega$ 의 90° 선로를 통해 동 위상의 2차 고조파 출력이 결합된다.

능동소자로는 두개의 Filtronic LP1500 p-HEMT chip을 사용하였으며 저항과 캐패시터는 칩형태로 제공되는 소자를 이용하였다. LP1500의 Libra

simulation을 위해 Curtice-Ettenberg Modeling을 이용하여 소자의 파라미터 값을 구하였다. 설계 주파수는 18 GHz 이고 상대 유전율이 13.1인 GaAs 기판에서 설계하였다. 이렇게 설계한 Push-push 발전기의 Layout을 그림 4에서 보여주고 있다.

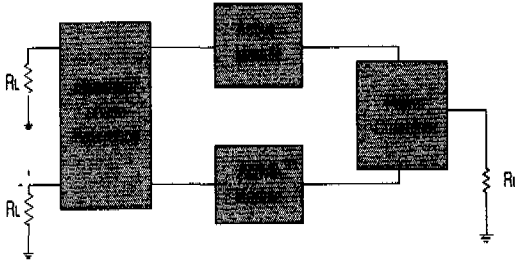


그림 3. Push-push 형태의 발전기 구조

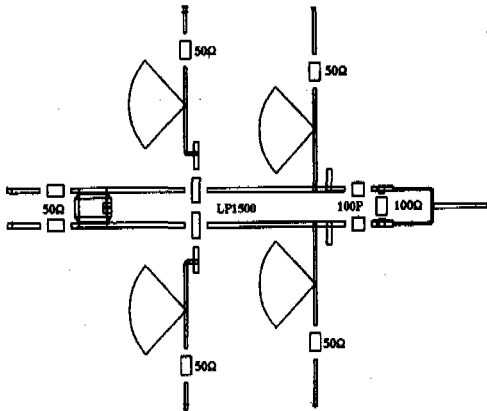


그림 4. Push-push 발전기의 layout

이렇게 설계된 semi-MMIC용 18 GHz Push-push oscillator에 대한 설계 결과를 다음에 표시하였다.

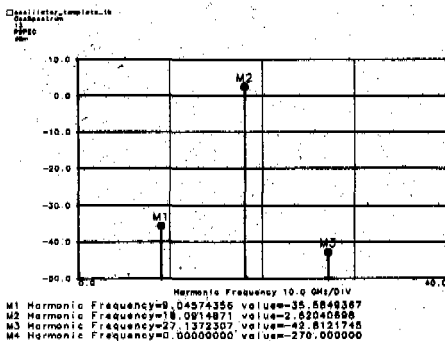


그림 5. 기본파 억압 스펙트럼의 시뮬레이션 값

그림 5에는 기본파와 2차 고조파간에 -37.8 dBc/Hz의 억압 특성 결과를 나타내었고, 중심 주파수 18 GHz에서 2.52 dBm의 출력을 보였다. 그림 6은 발전기의 출력 전압 파형으로 양호한 정현파를 보여주고 있으며, 그림 7에서는 100 kHz offset frequency에서 -129 dBc/Hz의 위상잡음 특성을 보여주고 있다.

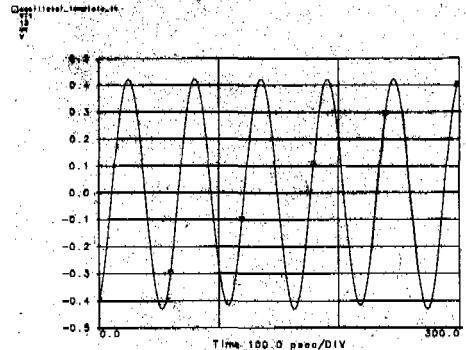


그림 6. 전압 파형의 시뮬레이션 값

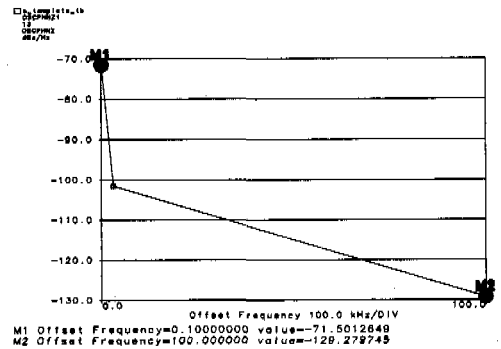


그림 7. 위상잡음 스펙트럼의 시뮬레이션 값

#### IV. 제작 및 측정

설계된 push-push type 발전기는 일반적인 photo-lithography 방식에 따라 제작되었다. AZ5214 포토레지스트를 2500 rpm으로 30초간 기판위에 도포하고, 98 °C에서 45초간 soft baking, 110 °C에서 50초간 reverse baking한 다음 UV-light에 pre-exposure 5초, flood exposure 15초를 한 다음 AZ developer CD-30에 40초간 development 과정을 거친다. 다음공정은 HCl : H<sub>2</sub>O = 1 : 5 etchant에 3분간 oxide wet-etching을 한 다음 thermal

evaporation에 의한 metal 증착을 한다. 이 때 vacuum은  $1 \times 10^{-7}$  torr이었으며, metal thickness는 Ti/Au :  $200 \text{ \AA}/10,000 \text{ \AA}$ 이었고, Evaporation rate은 Ti인 경우  $1 \text{ \AA}/\text{sec}$ , Au인 경우는  $7 \text{ \AA}/\text{sec}$  이었다. 이렇게 증착된 metal은 acetone용액에 30분동안 담그는 lift-off process에 의해 원하는 금속 패턴을 얻는다. 기판의 back-side도 비슷한 방법에 의해 접지면을 위한 metalization을 수행한다.

이렇게 제작된 GaAs 기판 위의 마이크로스트립 회로에 p-HEMT chip(Filtronic LP1500), chip-resistor, chip-capacitor들을 Au wire-bonding에 의해 연결한다. 능동소자와 lumped 소자는  $500 \mu\text{m}$  길이의 wire를 bonding하여 연결하였다. 이때 wire 1 개당  $0.3 \text{ nH}$ 의 인덕턴스가 예측되므로 bonding-wire시 인덕터 성분의 최소화를 위하여 2개의 wire를 병렬로 bonding하였다. 본 semi-MMIC 공정에서는 2" 기판 (thickness  $\approx 350 \mu\text{m}$ )을 사용하였으며, via-hole process 대신 접지면을 회로 주변에 배열하고, 그 접지면과 기판의 back-side를 Au wire-bonding에 의해 연결해 줌으로써 접지를 해결하였다.

그림 8에는 제작된 semi-MMIC Hair-pin 발진기를 보여주고 있다.

제작된 semi-MMIC K-band push-push 발진기는 on-wafer probe system에서 HP spectrum analyzer를 사용하여 측정하였다. p-HEMT1 과 p-HEMT2 양쪽에 인가된 전압은 모두  $5 \text{ V}$  이다. 그림 9는 Push-push 발진기 전대역 스펙트럼을 보여주고 있다. 이때 기본파와 2차 고조파간에  $-17.3 \text{ dBc}/\text{Hz}$ 의 억압 특성을 보여주고 있으며 Push-push 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 시뮬레이션의  $-37.8 \text{ dBc}/\text{Hz}$ 와 비교해서 억압특성이 크지 않음을 볼수 있다. 그 이유로는 제작상의 오차로 인해 기본

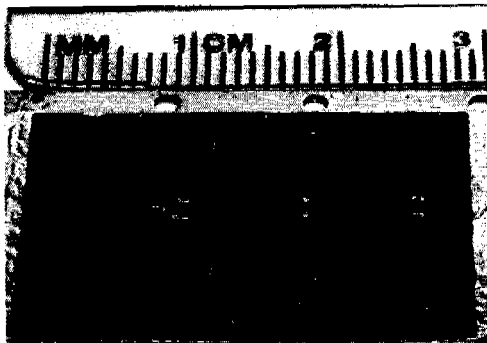


그림 8. Semi-MMIC push-push hair-pin 발진 기의 사진

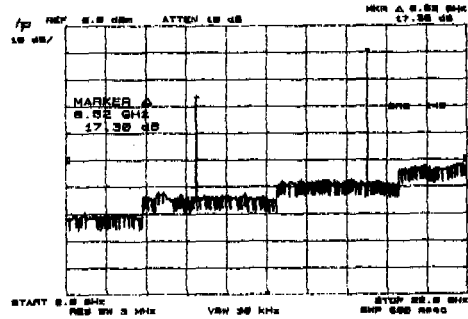


그림 9. 기본파 억압 스펙트럼

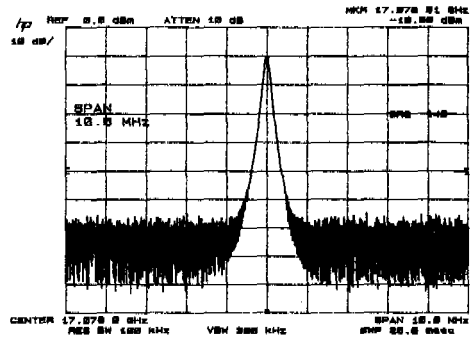


그림 10. 자유 발진 출력 스펙트럼

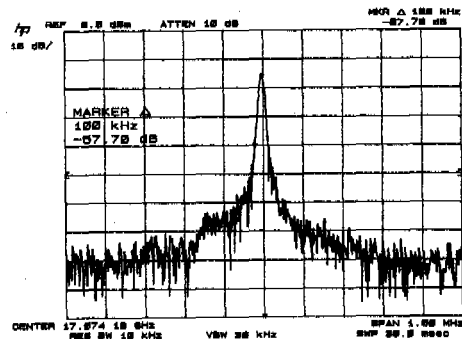


그림 11. 위상 잠음 스펙트럼

파와 2차 고조파간에 정확한  $180^\circ$ 의 위상차가 나지 않음으로 사료된다. 그림 10에서는 Push-push 발진기의 자유 발진 출력 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 11에서는 Push-push 발진기의 위상 잠음 특성을 보이고 있으며  $-97.7 \text{ dBc}/\text{Hz}$ 의 양호한 특성을 보여 주고 있다. 이 결과로부터 Push-push 발진기가 위상잠음 특성이 우수함을 알 수 있었다.

표1에는 K-band semi-MMIC Push-push 발진기의 설계치와 측정값을 요약 비교하였다. 중심 주파수가 설계치에서 18 GHz이고 측정치에서 17.07 GHz이며 회로의 출력이 설계치에서 2.52 dBm이고 측정치에서 -10.5 dBm으로 차이가 나는 이유로는 process 상의 margin, wire-bonding시 여러 기생 성분들의 영향, 특히 접지면의 wire-bonding에 의한 기생 성분, 그리고 cable loss (~ 3 dB)의 영향으로 판단된다. 그밖에 이유로는 반도체 공정상의 오차와 chip 소자의 wire-bonding시 발생하는 기생성분에 대한 고려 미숙, 접지면 연결을 via-hole 대신 기판 위의 접지면과 기판의 back-side를 wire-bonding으로 연결함으로써 발생하는 기생 성분들의 영향으로 판단된다. 또한, chip 형태의 저항, 캐패시터 등을 silver-epoxy에 의해 기판에 집적 시키고 wire-bonding함으로써 발생할 수 있는 기생성분에 인한 것으로 예측된다. 만일 간단한 MMIC 모델링과 공정에 의해 비교적 간단한 공정을 갖는 R, L, C lumped 소자를 마이크로스트립 등으로 구현할 경우 보다 개선된 성능향상을 얻을 수 있으리라 기대된다.

표 1. 시뮬레이션 및 측정 결과

Parameters	Simulation	Measurement
Oscillation Frequency	18 GHz	17.07 GHz
Output Power	2.52 dBm	-10.5 dBm
Harmonic Suppression	-37.8 dBc	-17.3 dBc
Phase Noise	-129 dBc/Hz	-97.7 dBc/Hz
Supply Voltage	5 V	5 V

### V. 결론

본 논문에서는 Push-push 발진기를 semi-insulating GaAs 기판 위에 수동회로를 마이크로스트립 선로로 구현하고 chip 형태의 p-HEMT, 캐패시터소자를 wire-bonding으로 연결한 semi-MMIC 형태로 제작하였다.

측정 결과 semi-MMIC Push-push 발진기는 100 kHz offset 주파수에서 -97.7 dBc/Hz의 우수한 위상잡음 특성을 보였으며, 향후 VCO 와 PLL에 응용할 경우 적은 비용으로 안정성이 큰 통신 시스템 부품으로 사용할 수 있으리라 예측된다.

### 감사의 글

본 소자의 제작을 위해 아낌없는 도움을 제공해 주신 동국대 밀리미터파 신기술 연구센터 (MINT ERC)의 이진구 교수님, 이성대 연구원님께 감사드립니다. 또한 소자의 Au wire-bonding을 해주신 Cospace사의 최재혁 과장님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 on-wafer 측정을 위해 많은 도움을 주신 서울대 3차원 밀리미터파 창의연구단의 권영우 교수님, 고원 연구원님께 감사를 드립니다.

또한 귀한 시뮬레이션 Tool (HP EEsof Libra, ADS)을 기증해 주신 Agilent사에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] R. Goyal, *Monolithic Microwave Integrated Circuits : Technology & Design*, Artech House, Inc., pp. 469-546, 1989.
- [2] A. Sweet, *MIC and MMIC Amplifier and Oscillator Circuit Design*, Artech House, Inc., pp. 168-211, 1990.
- [3] E. Holzman, *Solid-State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House, Inc., pp. 201-210, 1992.
- [4] A. M. Pavo and M. A. Smith, "A 20-40 GHz Push-Push Dielectric Resonator Oscillator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 33, no. 12, pp. 1346-1349, Dec. 1985.
- [5] M. Sagawa, K. Takahasi, and M. Makimoto, "Miniaturized Hairpin Resonator Filter and Their Application to Receiver Front-End MICs," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, no. 12, pp. 1991-1997, Dec. 1989.

이 현 태(Hyun-Tae Lee)

준희원



1999년 2월 : 광운대학교

전파공학과 졸업

1999년 3월 ~ 현재 : 광운대학교

대학원전파공학과

석사과정

<주관심 분야> 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계

이 중 칠(Jong-Chul Lee)

정회원

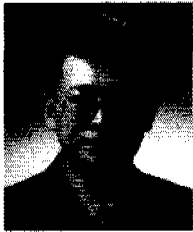


1983년 2월: 한양대학교  
전자공학과졸업  
1985년 2월: 한양대학교 대학원  
전자공학 석사  
1989년 12월: 미국 Arizona  
State University  
전자공학 석사

1994년 5월: 미국 Texas A&M University 전자공  
학 박사  
1994년 6월~1996년 2월: 현대전자(주)시스템 IC 연  
구소 광소개발실 선임연구원  
1996년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 전임강사  
/ 조교수  
1998년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수  
<주관심 분야> 초고주파 및 광전자공학, RF MEMS,  
밀리미터파 능동 및 수동 소자

김 중 헌(Jong-Heon Kim)

정회원



1984년 2월: 광운대학교  
전자통신과졸업  
1990년 6월: 독일 Ruhr Univ.  
Bochum 전자공학 석사  
1994년 8월: 독일 Dortmund  
전자공학 박사

1995년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수  
/ 부교수  
<주관심 분야> 초고주파 및 광집적회로

김 남 영(Nam-Young Kim)

정회원

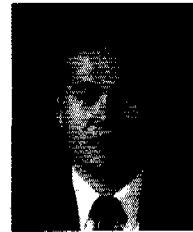


1987년 2월: 광운대학교  
전자공학과졸업  
1991년 2월: 미국 뉴욕 주립대학  
(SUNY at Buffalo)  
전자 공학 석사  
1994년 2월: 미국 뉴욕 주립대학  
(SUNY at Buffalo)  
전자공학 박사

1994년 9월~현재: 8월:광운대학교 전자공학과 조교  
수 / 부교수  
1998년 5월~현재: 광운대학교 RFIC 교육센터 센  
터장  
2000년 1월~현재: 한국통신학회 학술지 편집위원  
<주관심 분야> RFIC, MMIC, ASIC

김 북 기(Bok-Ki Kim)

정회원



1988년 2월: 광운대학교  
전자공학과졸업  
1991년 5월: 미국 University  
of Texas(Austin)석사  
1997년 12월: 미국 University  
of Texas(Austin) 박사

1998년 3월~현재: 광운대학교 전자공학부 전임강사  
/ 조교수  
1999년 1월~현재: 한국통신학회 논문지 편집위원  
1999년 9월~현재: 한국공학교육인증원 실무간사  
<주관심 분야> RF 모듈 및 시스템, RF 네트워크  
및 전자장 수치 해석

홍 의 석(Ui-Seok Hong)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제2A호 참조