

융복합 차량 수신기를 위한 광대역 전압제어 발진기

Wideband CMOS Voltage-Controlled Oscillator(VCO) for Multi-mode Vehicular Terminal

최 현 석*
(Hyun-Seok Choi)

Bui Quag Diep**

강 소 영***
(So-Young Kang)

장 주 영****
(Joo-Young Jang)

방 재 훈*****
(Jai-Hoon Bang)

오 인 열*****
(Inn-Yul Oh)

박 철 순*****
(Chul-Soon Park)

요 약

RF 송수신기 설계 분야에서 활발하게 연구하고 있는 융복합 단일칩 설계 기술은 차내 무선망을 위한 차량 무선 단말 기에도 적용 가능하며, 이의 실현을 통하여 좀 더 경제적이고 소형화된 차내 융복합 시스템을 구현할 수 있다. 제안된 광대역 전압제어 발진기는 차내 무선망에 사용할 수 있는 표준인 CDMA, PCS, GSM850, 꿀림, WCDMA, WLAN, Bluetooth, WiBro, S-DMB, DSRC, GPS, DVB-H/DMB-T/H(L Band) 등의 주파수 대역을 만족시킬 수 있도록 제안된 frequency planning을 따른다. 또한, cross-coupled된 트랜지스터 한 쌍과 MOS varactor에 PMOS를 채택함과 동시에, capacitor array에서는 differential 스위칭을 사용함으로써 위상잡음을 개선하였다. 측정결과, 5.3~6.0 mW의 전력을 소모하며, 주파수 대역은 4.05~5.62 GHz (33%의 tuning range)이고 위상잡음은 1 MHz의 offset 주파수에서 -117.16 dBc/Hz이며 이때 figure of merit (FOM)은 180.5~180.8이다.

Abstract

Reconfigurable RF one-chip solutions have been researched with the objective of designing for smaller-sized and more economical RF transceiver and it can be applied to a vehicular wireless terminal. The proposed voltage-controlled oscillator satisfies the targeted frequency range (4.2~5.4 GHz) and the frequency planning which correspond to the standards such as CDMA(IS-95), PCS, GSM850, EGSM, WCDMA, WLAN, Bluetooth, WiBro, S-DMB, DSRC, GPS, and DVB-H/DMB-H/L(L Band). In order to improve phase noise performance, PMOS is adopted in the cross-coupled pair, the tail current source and MOS varactor in this VCO and differential-typed switching is proposed in capacitor array. Based on the measurement results, a total power dissipation is 5.3~6.0 mW at 1.8 V power supply voltage. The oscillator is tuned from 4.05 to 5.62 GHz; The tuning range is 33%. The phase noise is -117.16 dBc/Hz at 1 MHz offset frequency and the FOM (Figure Of Merit) is -180.84~-180.5.

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R11-2005-02-02001-0).

* 주저자 : 한국정보통신대학교 박사과정

** 공저자 : 한국정보통신대학교 박사과정

*** 공저자 : 한국정보통신대학교 석사과정

**** 공저자 : 한국정보통신대학교 석사과정

***** 공저자 : 한국정보통신대학교 연구교수

***** 공저자 : 한국정보통신대학교 연구교수

***** 공저자 : 한국정보통신대학교 정교수, 지능형RF연구센터장

† 논문접수일 : 2008년 11월 20일

† 논문심사일 : 2008년 12월 17일

† 게재확정일 : 2008년 12월 19일

Key words: Wideband VCO, CMOS VCO, voltage-controlled oscillator, vehicular terminal

I. 서론

차세대 차량 융복합 수신기에서는 GPS(Global Positioning System), DSRC(Dedicated Short Range Communication), CDMA(IS-95), PCS, WCDMA, WLAN, Bluetooth, WiBro, DMB 등 여러가지 표준들을 고려할 수 있으며, 이러한 표준들에 모두 부합하는 단일칩 수신기의 설계를 통해서 차량용 수신기의 소형화 및 경제성 향상이 가능하다.

차량 융복합 수신기의 RF 수신기 설계를 위해서는 광대역 전압제어 발진기의 설계가 필수적인데, 이는 전압제어 발진기의 설계시 공진부에 캐패시터 스위치를 병렬로 연결함으로써 광대역 특성을 얻게 된다.

한편, 광대역의 주파수 대역 설정은 각 표준들의 주파수 대역을 만족하도록 짜여진 주파수 분배 계획을 따르며 이는 혼합기와 주파수 분주기 또는 체배기의 배치를 통해 이루어진다. 융복합 수신기에 아우를 수 있는 표준들을 고려하여 주파수 분배계획을 세운 결과, 설계한 광대역 전압제어 발진기가 포함할 수 있는 표준들로는 CDMA(IS-95), PCS, W-CDMA, GSM850, E-GSM, WLAN(802.11 a/b/g), Bluetooth, WiBro, DSRC, S-DMB(위성 DMB), 및 DVB-H/DMB-T/H(지상파 DBM) 등이다 [1]. 본 논문에서는 우선 상기 표준들을 만족시킬 수 있도록 주파수 분배계획을 세우고 0.18-um CMOS 공정을 사용하여 CMOS 광대역 전압제어 발진기의 설계하고 측정하여 그 성능을 확인한다.

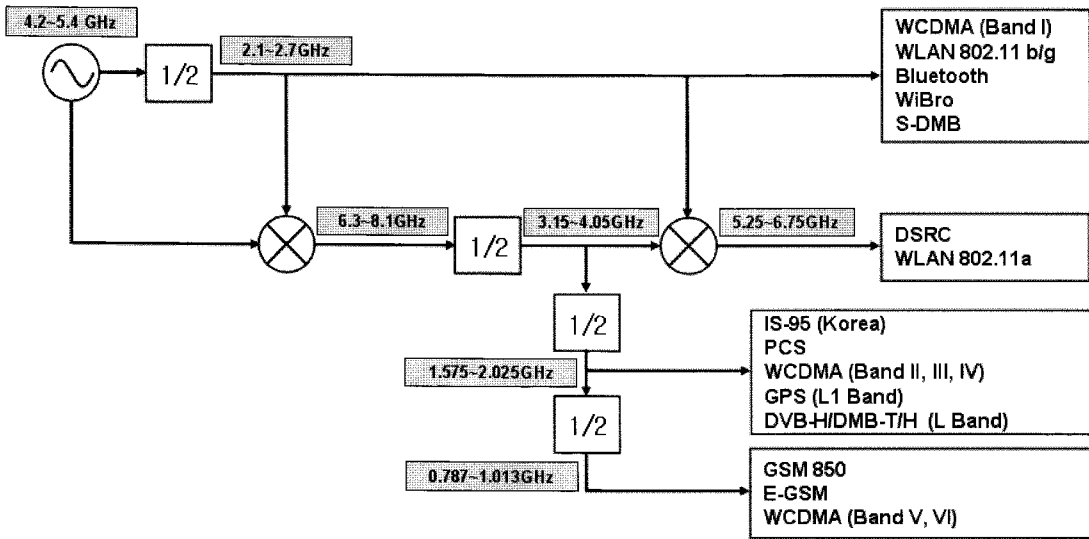
II. 광대역 전압제어 발진기

1. 주파수 분배 계획 (Frequency planning)

송수신기 환경에서는 다양한 소스들로 인한 frequency pulling이 발생한다. 예를 들면, 송신기의 전력증폭기의 큰 출력이 기판과 패키지를 통하여

새어나가는데, 그 새어나간 증폭기의 출력과 발진 신호 간에 커플링 현상이 일어남으로써 frequency pulling이 발생하게 된다. 이는 전력증폭기의 출력주파수의 신호가 발진신호와 주파수 이격이 적을 경우 발진신호의 주파수가 전력증폭기의 주파수로 끌려가는 현상을 말한다. 또 다른 예로 전력증폭기의 커플링 현상 외에 수신기에서 발진신호의 주파수 대역과 인접한 큰 간섭신호가 수신될 때 마찬가지로 발진신호는 그 간섭신호의 주파수로 끌려가게 되는데, 이를 인젝션 폴링(Injection pulling)이라 한다. 이러한 두 가지 경우의 frequency pulling을 극복하기 위해서는 발진기의 설계시 신호의 주파수 대역에 충분히 이격되도록 발진기의 주파수 대역을 정하여 설계하여야 한다. 한편, 주파수 분배계획시 RF 신호와 수백 MHz에서 수 GHz 정도의 떨어진 광대역 전압제어 발진기의 출력주파수는, 헤테로다인 수신기에서의 중간주파수(Intermediate frequency)를 얻거나 또는 주파수를 직접변환(Direct conversion)하는데 필요한 발진주파수로 변환해 주어야 하는데 이를 위해 주파수 분주기와 주파수 체배기가 사용된다. 주파수 체배기는 분주기보다 전력소모가 크기 때문에 본 논문에서는 주파수 분주기를 고려하여 주파수를 분배하였다.

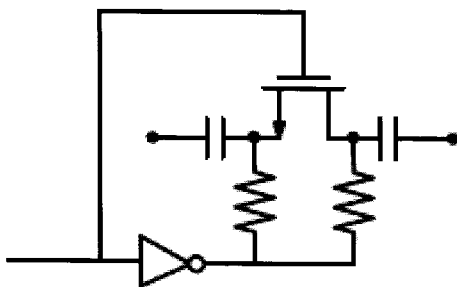
<그림 1>에서 광대역 전압제어 발진기는 4.2~5.4 GHz의 주파수 대역에서 발진하고 있으며, 이는 frequency pulling을 피할 수 있을 만큼, 포함된 각 표준들의 주파수 대역과 충분히 떨어져 있음을 알 수 있다. 또한, 발진기 설계에 상정된 표준으로는 CDMA(IS-95), PCS, GSM850, E-GSM, WCDMA (BandI/II/III/IV/V/VI), WLAN(802.11a/b/g), Bluetooth, WiBro, S-DMB, DSRC, GPS, DVB-H/DMB-T(L Band) 등임을 알 수 있으며, 1/2 주파수 분주기와 혼합기를 사용하여 전압제어 발진기의 출력주파수 대역이 각 표준의 주파수 대역에 맞도록 변환되는 것을 보이고 있다.



<그림 1> 혼합기와 1/2 분주기를 사용한 주파수 분배 계획
 <Fig. 1> Frequency planning using mixer and 1/2 frequency divider

2. 광대역 발진기의 설계

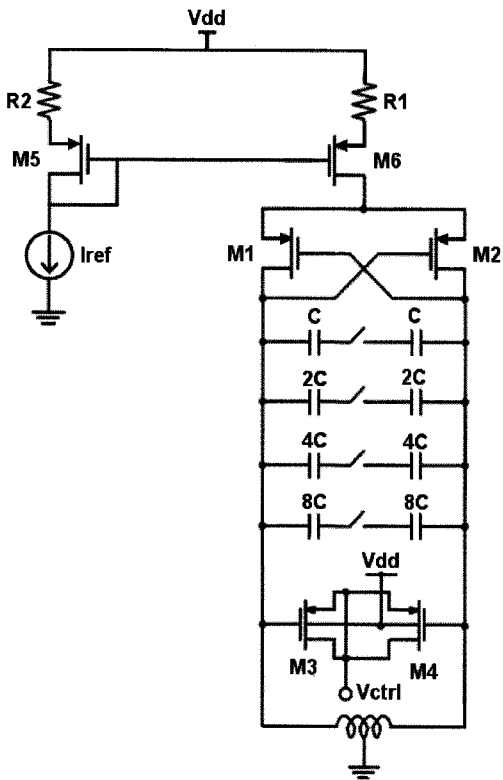
광대역 발진기는 Cross-coupled 타입으로 설계되었고, 그 회로도에는 <그림 2>에서 확인할 수 있다. 0.18-um CMOS 집적회로로 제작된 전압제어 발진기는 NMOS 트랜지스터를 회로에 사용했을 경우 위상잡음 특성이 좋지 않은 현상을 개선하기 위하여 cross-coupled된 M1과 M2, MOS varactor의 M3와 M4 및 전류 소스(Current Source)로 사용된 M5와 M6 모두 PMOS를 사용하였다 [2]. 또한, 발진기의



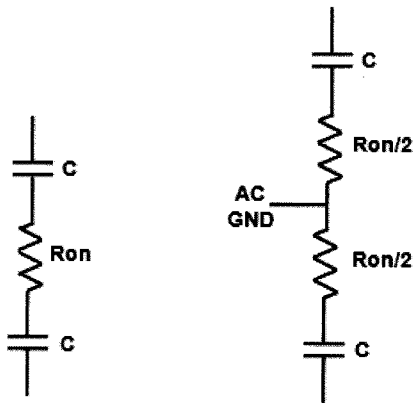
<그림 2> Differential타입의
 캐패시터 스위치
 <Fig. 2> Differential capacitor switch

공진부는 4개의 캐패시터 스위치로 구성되어 있는데, <그림 3>에서 보듯이 single-ended 타입의 스위칭이 아닌 위상잡음에 강한 differential 타입의 스위칭을 사용함으로써 발진기의 성능지표 중 가장 큰 요인이 되는 위상잡음 개선에 초점을 맞추어 설계하였다. <그림 4>에서 보면 제안된 single 타입의 스위칭과 differential 타입의 스위칭의 on-resistance를 보여주고 있는데, differential 타입의 경우는 두 개의 캐패시터의 사이가 AC grounding됨으로써 두 개의 캐패시터가 병렬도 연결되어 있음을 알 수 있으며, 이 경우 TR의 on-resistance의 1/2값이 각각의 캐패시터의 quality factor에 영향을 줄 수 있다. 이는 differential 타입 스위치의 각 캐패시터의 quality factor의 상승을 가져오며, 결과적으로 위상잡음 개선 효과를 얻게 된다.

또한, MOS varactor가 수용하지 못하는 4.2~5.4 GHz 범위의 광대역 특성을 얻기 위해 총 4개의 스위치를 사용하였으며, 이를 통한 총 4 비트의 스위치 동작을 통하여, 16단계의 약 1.2 GHz의 주파수 범위에 걸쳐서 동작하도록 하였다. 한편, 발진기의 설계 후 측정시, 회로의 기생성분으로 인하여 주파



<그림 3> 제안된 광대역 전압제어 발진기 회로
<Fig. 3> Schematic of the proposed wideband VCO



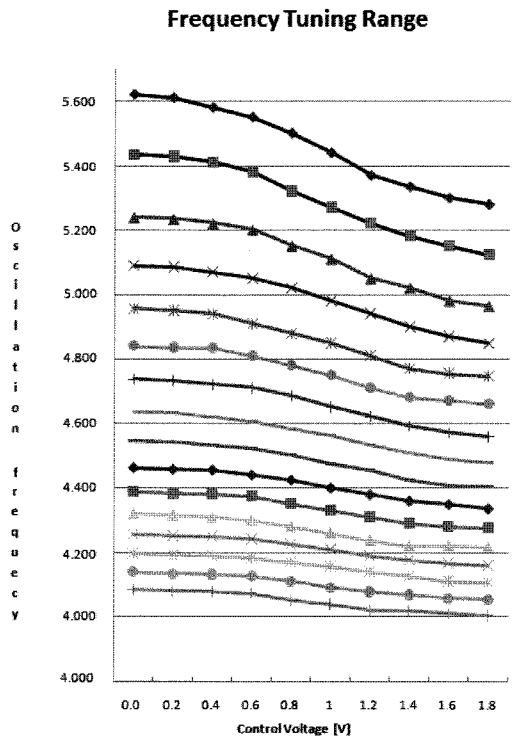
<그림 4> Single/Differential 입의 스위치의 Ron
<Fig. 4> Ron of single & differential switch

수 하향 이동이 나타나기 때문에, 시뮬레이션상의 주파수 범위를 4.350~5.820 GHz로 설계하여, 주파

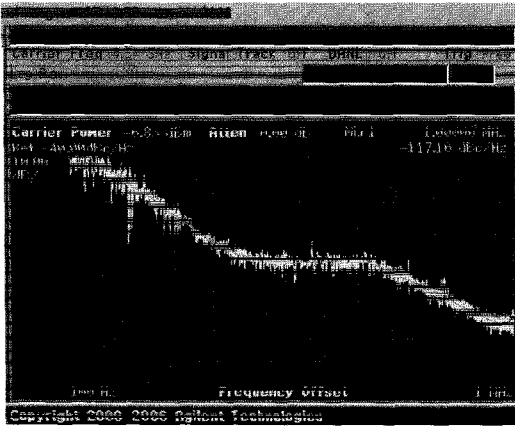
수 하향 이동으로 주파수 분배 계획에 어긋나게 되는 주파수 대역 이탈을 방지하였다.

III. 측정결과

<그림 5>에서 보듯이 최초 설계시 설정한 4.350~5.820 GHz의 주파수 대역보다 약 180~220 MHz의 주파수 하향 이동 현상을 보이고 있으며, 총 4개의 스위치를 사용한 4비트 - 16단계의 발진주파수 변화를 확인할 수 있다. 한편, 각 단계별로 주파수 오버랩 구간을 할애하였는데, 이는 스위칭 단계별로 나타나는 주파수 변화 범위의 양 끝단, 즉 varactor의 제어전압이 0 V와 1.8 V에 가까운 범위에서 varactor의 제어 전압 변화에 따른 주파수의 변화값 (Kvco)이 non-linear한 특성을 보이게 되는데, 이 구

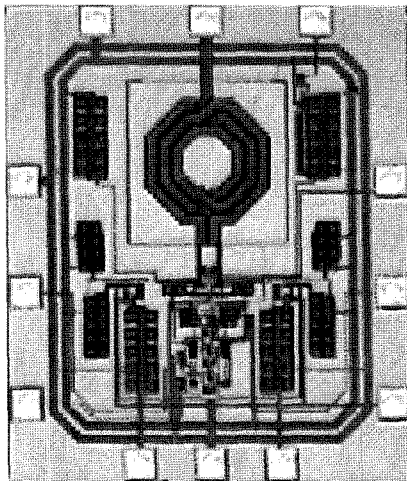


<그림 5> Varactor의 제어전압 및 캐패시터 스위칭 변화에 따른 발진 주파수
<Fig. 5> Oscillation frequency by changing the varactor control voltage and capacitor switching



<그림 6> 4.54 GHz의 중심주파수에서 측정된 위상잡음

<Fig. 6> Measured phase noise @ 1 MHz offset in 4.54 GHz carrier frequency



<그림 7> 설계된 광대역 전압제어 발진기의 Chip 사진

<Fig. 7> The microphoto of the proposed wideband VCO

간은 전원 노이즈의 AM-FM conversion에 따라 다른 곳보다 더 열등한 위상 잡음을 갖게 된다. 따라서, 주파수 단계별로 최소 20 MHz에서 최대 150 MHz의 충분한 오버랩 구간을 두어 설계함으로써 위상잡음이 열등한 구간의 사용을 줄일 수 있으며 위상잡음이 주파수 구간마다 좀 더 일정하게 유지될 수 있도록 하였다 [3].

<그림 6>은 1 MHz의 offset 주파수와 4.54 GHz의 중심주파수에서 -117.13 dBc/Hz의 위상잡음이 측정됨을 보여준다. 또한 이 전압제어 발진기는 1.8V의 공급 전압을 사용하여 5.3~6.5 mW의 전력을 소모하며 제작된 광대역 전압제어 발진기 칩 면적은 0.78 x 1.12 mm² 이고, 칩 사진은 <그림 7>에서 확인할 수 있다.

제안된 발진기의 측정결과, 전력소모는 5.3~6.0 mW이고 1 MHz의 offset 주파수에서 중심주파수 4.25 GHz일 때 -117.16 dBc/Hz, 중심주파수 -118.54 dBc/Hz의 위상잡음을 가진다. 설계된 전압제어 발진기는 <표 1>에서 알 수 있듯이 다른 전압제어 발진기보다 높은 4 GHz이상의 대역에서 1.6 GHz 광대역으로 설계되었음에도 불구하고 -180.5~-180.84의 높은 FOM을 가지고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

융복합 차량 수신기의 구현을 위해서는 단일칩으로 RF 수신기를 설계함으로써 소형화와 경제성의 장점을 얻을 수 있다. 단일칩 RF 수신기의 멀티 모드 동작을 위해서는 광대역 전압제어 발진기의 설계가 필수적인데, 발진기의 설계와 함께 수신기에 포함할 표준의 주파수 대역을 얻기 위해 혼합기와 1/2 주파수 분주기를 이용하여 주파수 분배를 계획하였다.

한편, 설계된 광대역 전압제어 발진기는 위상잡음 개선에 초점을 맞추어 발진기 core의 트랜지스터를 모두 PMOS로 채택하였고, differential 타입의 스위칭을 사용하였으며, 스위칭에 따른 각 주파수 단계별로 주파수 오버랩구간을 충분히 할애함으로써 전원 노이즈의 AM-FM conversion에 의해 발생하는 위상잡음이 증가된 주파수 범위의 사용을 줄일 수 있도록 설계되었다. 그 결과, 설계된 다른 광대역 전압제어 발진기와 비교해 볼 때, 4.05~5.62 GHz의 높은 주파수 대역에서 1.6 GHz의 광대역을 갖음에도 불구하고 작은 전력소모 유지함과 동시에 좋은 위상잡음 성능을 가지고 있다.

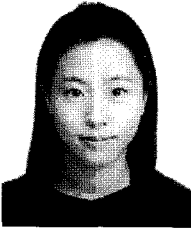
<표 1> 제안된 VCO와 여타 VCO와의 성능비교
 <Table 1> Performance comparison of wideband VCOs

Ref.	[4]	[5]	[6]	[7]	This work
Technology	0.13 SOI	0.35 BiCMOS	0.25 CMOS	0.18 CMOS	0.18 CMOS
Transistor	NMOS +PMOS	NPN	NMOS +PMOS	NMOS	All PMOS
Oscillation frequency (GHz)	3.065 ~5.612	3.3 ~5.3	3.27 ~4.11	1.14 ~2.46	4.05 ~5.62
Power consumption [V * mA]	1*3	2.5*14.6	2.5*3	1.5*3.2	1.8*6.0 1.8*5.3
Phase noise @1 MHz [dBc/Hz]	-120.8	-113	-117	-126.5	-118.54 -117.16
offset(MHz)/fc(GHz)	1/3.065	0.6/4.4	1/4	1/1.8	1/4.25 1/4.54
FOM (Figure of merit)	-185.8	-174.7	-180.2	-184.8	180.84 180.5

참고 문헌

- [1] 한국ITS학회, 교통정보 공학론, 청문각, 2008.
- [2] Z. Li and K. O. Kenneth, "Low-phase-noise and low-power multiband CMOS voltage-controlled oscillator," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 6, pp. 1296~1302, June 2005.
- [3] A. Fard, T. Johnson, and D. Aberg, "A Low power wide band CMOS VCO for multi-standard radios," *Proc. IEEE Radio and Wireless Conf.*, pp. 79~82, Sept. 2004.
- [4] N. H. W. Fong, J. O. Plouchart, N. Zamdmer, D. Liu, L. F. Wagner, C. Plett, and N. G. Tarr, "Design of wide-band CMOS VCO for multiband wireless LAN applications," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 38, no. 8, pp. 1333~1342, Aug. 2003.
- [5] P. Vaananen, M. Metsanvirta, and N. T. Tchamov, "A 4.3-GHz VCO with 2-GHz tuning range and low phase noise," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 36, no. 1, pp. 142~146, Jan. 2001.
- [6] S. F. Chang, W. L. Chen, S. C. Chang, C. K. Tu, C. L. Wei, C. H. Chien, C. H. Tsai, J. Chen, and A. Chen, "A dual-band RF transceiver for multistandard WLAN applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 3, pp. 1048~1055, Mar. 2005.
- [7] A. Berny, A. M. Niknejad, and R. G. Meyer, "A 1.8-GHz LC VCO with 1.3-GHz tuning range and digital amplitude calibration," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 4, pp. 909~917, Apr. 2005.

저자소개



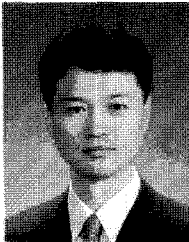
강 소 영 (Kang, So-Young)

2007년 2월~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 석사과정(전자전공)
2007년 2월 : 한국정보통신대학교(ICU) 공학부 공학학사(전자전공)



장 주 영 (Jang, Joo-Young)

2008년~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 석사과정(전자전공)
2008년 2월 : 한국정보통신대학교(ICU) 공학학사(전자전공)



오 인 율 (Oh, Inn-Yul)

2007년 1월~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 지능형RF연구센터 연구교수
2005년 3월~2006년 12월 : 위덕대학교 전임강사
2003년 8월~2005년 2월 : (주)햅팩스 단말연구소 팀장
1996년 7월~1999년 7월 : (주)LG전자 연구소 연구원
1988년 3월~2003년 8월 : 광운대학교 학사/석사/박사



방 재 훈 (Bang, Jai-Hoon)

2008년 4월~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 지능형RF연구센터 연구교수
2007년 9월~2008년 8월 : 충북대학교/충남대학교 전파공학과 시간강사
2003년 1월~2007년 8월 : (주)극동통신 RF 시스템 연구소 선임연구원
1999년 3월~2003년 8월 : 충북대학교 공학박사(정보통신전공)
1997년 3월~1999년 2월 : 충북대학교 공학석사(전파전공)



박 철 순 (Park, Chul-Soon)

2005년 2월~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 지능형RF연구센터 센터장
1999~현재 : 한국정보통신대학교(ICU) 정교수
1987~1989년 : 미국 AT&T Bell Lab. at Murray Hill (Visiting Scientist)
1985~1999년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원, 책임연구원, 실장
1985년 2월 : 한국과학기술원 공학박사(재료전공)
1982년 2월 : 한국과학기술원 공학석사(재료전공)
1980년 2월 : 서울대학교 공학학사(금속전공)