

직접변환방식을 적용한 직교 시스템의 불균형 특성

정회원 백주기*, 이승대**, 이기학***, 진년강****

An Imbalance Characteristics of Quadrature System Considering Direct Conversion Method

Joo-Gi Baek*, Seung-Dae Lee**, Ki-Hak Lee***, Youn-Kang Chin**** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 직접변환 방식의 불평형 문제를 해결하기 위하여 직교 변·복조방식을 모델링하고 시스템 특성과 채널불균형에 영향을 주는 파라미터들을 구했다. 시스템의 실현을 확인하기 위하여 보정알고리즘을 국부발진누설에 따른 QPSK 변조기에 적용하여 눈패턴 및 전력스펙트럼을 불균형 보정 전과 보정 후의 경우에 대해 시뮬레이션 결과를 통하여 비교하였다.

그 결과, 국부발진 누설을 고려하지 않았을 경우, DC-오프셋은 20%, 이득 불균형은 1.092 [dB], 위상 불균형은 9.5[deg], 잡음 여유도는 0.8이었다. 국부발진 누설을 고려했을 때 위와 동일한 조건하에서 DC-오프셋, 이득 및 위상 불균형과 잡음 여유도는 각각 50%, 1.461[dB], 20[deg], 0.625였다.

ABSTRACT

In this paper, quadrature modulator/demodulator is modeled in order to compensate for the imbalance problem of frequency direct conversion method, and parameters that affect both characteristics and channel imbalance are found. Its superior performance has been confirmed by applying the algorithm to QPSK modulator and comparing constellation, eye pattern, and power spectrum of before the imbalance compensation and after the imbalance compensation.

In this paper, the DC-offset, gain imbalance, phase imbalance and noise margins with local oscillator leakage considered are 20%, 1.092[dB], 9.5[deg], and 0.8, respectively. Under the same condition without considering local oscillator leakage, the results are 50%, 1.46[dB], 20[deg], and 0.625, respectively.

I. 서 론

최근 디지털 무선통신용 기기는 소형화, 저소비전력화, 고성능화되고 있으며 서비스도 광역화됨에 따라 직접변환 방식의 중요성이 점점 증가하고 있다. 현재 디지털 셀룰러시스템에서 사용하는 헤테로다인 수신방식은 성능은 우수하지만 미래의 이동통신 단말기에 적용하게 되면 단말기의 가격이 상승할 뿐만 아니라 상대적으로 물리적 부피가 커지게 된다.

또한 헤테로다인 방식을 사용하면 IF 및 RF 처리부를 MMIC화하는데 어려움이 많으므로 이를 해결하기 위한 방안으로 직접변환 방식을 적용하고자 하는 연구가 필요하다^[1].

주파수 직접변환 방식에 관한 연구 중 Faulkner^[2]는 이득과 위상 불균형을 보정하는 시뮬테이션을 사용하여 주파수 직접변환 수신기의 성능을 보정하였다. 이러한 기존의 연구들은 주파수 직접변환 방법의 문제점인 이득과 위상 불균형에 대한 보정만을 고려하였고 국부발진 누설에 대해서는 전혀 고려하

* 남서울대학교 전자정보통신공학부(bj2k3@chollian.net),
*** 안양과학기술대학교 전자통신과(lkh0314@aytc.anyang-c.ac.kr),
논문번호 : 00004-0209, 접수일자 : 2000년 2월 9일

** 남서울대학교 전자정보통신공학부 (seungdae@nsu.ac.kr)
**** 단국대학교 전자공학과(ykchln@ns.dankook.ac.kr)

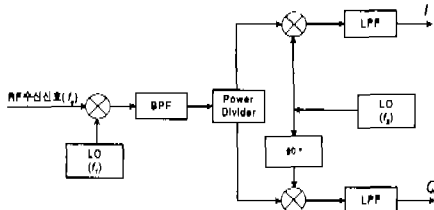
지 않았다. 1997년에 Chang^[3]은 전력소모를 줄이기 위해 CMOS를 이용한 MMIC 기법을 연구하였으며, Ganzalez^[4] 등은 저전력 AGC를 이용한 주파수 직접 변환 방식의 수신기를 제안하였다.

기존 연구에서는 신호전력이 크므로 국부발진 누설을 무시했으나 저전력화, 경량화, MMIC화함으로써 신호전력이 점점 더 작아짐에 따라 국부발진 누설을 무시할 수가 없다. Behzad^[5]는 DC-오프셋, 채널 불균형, 국부발진 누설 등을 하드웨어적인 방법으로 해결하려고 했다.

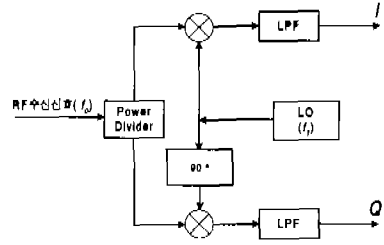
본 논문에서는 적용한 보정 알고리즘을 QPSK 변조기에 적용하여 국부발진누설을 적용했을 경우 불균형시 특성과 불균형 보정시의 특성을 격자도와 눈패턴 및 전력스펙트럼을 이용하여 보정 전과 보정 후의 특성을 비교하였다. 또한 입력신호를 정현파로 사용했을 경우 직교변조기의 보정 전과 보정 후의 전력 스펙트럼 특성을 비교하였다.

II. 직교 변·복조기의 불균형 특성

일반적으로 무선통신 수신방식에는 주파수 이중 변환 방식과 주파수 직접변환 방식이 있다. 기존의 주파수 이중변환 방식인 헤테로다인(Heterodyne) 수신방식은 그림 2.1(a)에 보인바와 같이 수신된 RF 신호와 첫 번째 국부발진기(LO ; local oscillator) 신호가 혼합되어 중간주파수(IF ; intermediate frequency) 신호를 만든다. 이 신호는 대역통과 필터를 거친 후 전력분배기에 의해 동상신호와 직교신호로 분리된다. 이때 동상신호는 두 번째 국부발진기 신호와 혼합되고 직교신호는 90° 위상전이된 국부발진신호와 혼합되어 두 신호가 모두 베이스 밴드 신호로 하향변환(down conversion)한다^[14]. 그러나 주파수 직접변환 방식인 호모다인(Homodyne) 수신방식은 그림 2.1(b)에 보인 바와 같이 수신된 RF 신호는 전력분배기에 의해 분리된 두 신호가 위상이 90° 다른 동일한 국부발진기의 신호와 각각 혼합되어 직접 베이스밴드로 하향 변환된다.



(a) 이중 변환방식의 수신기



(b) 직접변환방식의 수신기

그림 2.1 직접변환과 이중변환수신기의 비교

III. 직교 변·복조기의 보정 모델

직교변조기의 채널불균형에는 구성부품에 의한 것뿐만 아니라 변조신호 자체의 진폭불균형, 위상 불균형이 발생하지만 변조 자체에서 발생하는 에러는 송신측에서 제어가 가능하므로 무시하고 구성부품에 의한 채널불균형만 고려하기로 한다^[6].

데이터 북에서는 위상 불균형이 1~2[GHz]에서 6.0°이며 진폭불균형이 0.8[dB]로 되어 있으나 1.9 [GHz]에서 실제로 측정된 결과를 보면 대략 진폭불균형은 1.05[dB]이었다^[8]. 이러한 결과를 토대로 채널불균형의 모델을 수정하면 그림 3.1, 3.2와 같이 모델링할 수 있다.

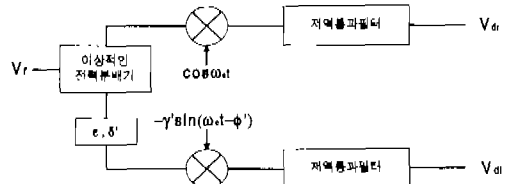


그림 3.1 수정된 채널불균형을 적용한 주파수 직접변환 구조기.

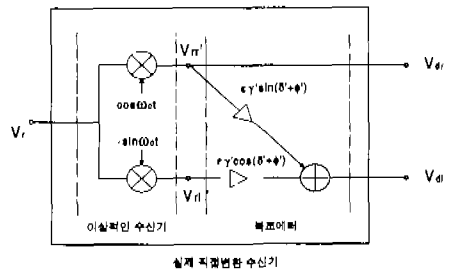


그림 3.2 수정된 주파수 직접변환 수신기의 에러.

IV. 시뮬레이션 및 성능평가

본 장에서는 디지털 직교변조방식인 QPSK 변조

방식에 적용했을 경우 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 채널 불균형과 보정특성을 제시하였다. 본 논문에서 적용한 시뮬레이션은 QPSK 변조기에 인가하기 위해 신호를 PSF(pulse shaping)하는 필터의 시간응답과 주파수 응답을 보인 것이다. 이 때 필터의 roll-off 계수는 0.22이며^[7], FIR 필터의 차수는 48 차이다.

그림 4.1은 국부발진 누설을 고려했을 때, I 및 Q-채널의 DC-오프셋이 각각 8%, 10%이고 위상 불균형이 8[deg]이고 채널의 이득 불균형이 0.5[dB]이며, 전력결합기의 위상 불균형이 5[deg]일 때의 QPSK 변조기의 출력단의 격자도와 눈패턴을 보인 것이다. 그림 4.1을 DC-오프셋과 불균형을 보정했을 때의 특성인 그림 4.2와 비교해 보면 격자도에서 DC-오프셋은 0.5, 이득 불균형은 1.4, 위상 불균형은 20[deg]이며 눈패턴에서의 잡음 여유도는 0.625이다. 그림 4.2는 국부발진 누설을 고려한 경우 이득 불균형까지 보정한 경우의 격자도와 눈패턴을 보인 것이다.

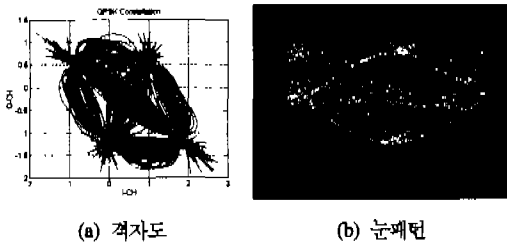


그림 4.1 DC-오프셋과 불균형 발생시 격자도와 눈패턴

각각의 경우를 시뮬레이션한 결과^[8]를 표 4.1에 표기하였다.

표 4.1을 살펴보면 국부발진 누설을 고려한 경우는 고려하지 않았을 경우보다 많은 불균형이 발생하고 있다.

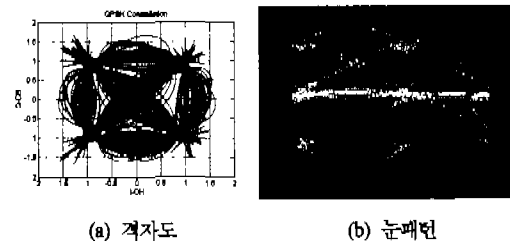


그림 4.2 DC-오프셋과 이득 및 위상 불균형 보정시 격자도와 눈패턴

또한 국부발진 누설을 고려하지 않은 경우는 보정에 따라 불균형 특성은 점차로 줄고 있었지만 국

부발진 누설을 고려한 경우는 불균형 특성이 보정에 따라 반대로 증가하다 감소하고 있어 불안한 특성이 있음을 확인할 수 있었다.

표 4.1 불균형에 따른 격자도와 눈패턴 특성.

항목	고려사항	국부발진 누설	국부발진 누설
		고려하지 않음	고려함
DC-오프셋 (8, 10%) 이득 불균형 (0.5[dB]) 위상 불균형 (8, 5[deg]) 발생시	DC-오프셋(%)	20	50
	이득 불균형	1.286(1.092[dB])	1.4(1.461[dB])
	위상 불균형(deg)	9.5	20
	잡음여유도	0.8	0.625
DC-오프셋 (8, 10%) 보정시	DC-오프셋(%)	15	40
	이득 불균형	1.27(1.038[dB])	1.5(1.760[dB])
	위상 불균형(deg)	9.2	19
	잡음여유도	0.833	0.73
DC-오프셋 (8, 10%) 이득 불균형 (0.5[dB]) 보정시	DC-오프셋(%)	10	30
	이득 불균형	1.25(0.969[dB])	1.48(1.703[dB])
	위상 불균형(deg)	6	11
	잡음여유도	0.867	0.833
DC-오프셋 (8, 10%) 이득 불균형 (0.5[dB]) 위상 불균형 (8, 5[deg]) 보정시	DC-오프셋(%)	0	0
	이득 불균형	1(0[dB])	1(0[dB])
	위상 불균형(deg)	0	0
	잡음여유도	1	1

그림 4.3은 RF 직교변조기의 출력 전력스펙트럼을 수치해석을 통하여 보인 것이다. 그림 4.3에 적용한 조건은 동상채널과 직교채널의 DC-오프셋이 각각 최대치 $|s_{\text{max}}(t)|$ 의 10%와 8%이고 채널의 이득 불균형이 0.5[dB], 위상천이기와 전력증폭기의 위상 불균형이 8[deg]와 5[deg]이다.

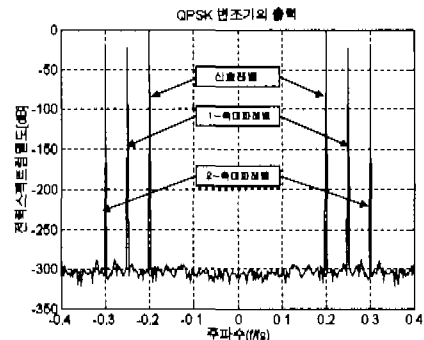


그림 4.3 DC-오프셋과 불균형 발생시 전력스펙트럼.

수치해석을 하기 위해 표본화 주파수는 Nyquist 주파수의 2배로 하였으며 반송주파수는 전송신호주파수의 5배로 하였다. 여기서 반송파의 최대 진폭과 신호의 최대 진폭을 1로 정규화 하였다. 1-측대파 레벨은 신호레벨로 정규화 하였을 때 -16.8869[dB]였고 2-측대파 레벨은 -18.5983[dB]였다.

그림 4.4는 국부발진 누설을 고려했을 때 동상채널과 직교채널의 DC-오프셋이 각각 최대치 $|S_{max}(f)|$ 의 10%와 8%이고 채널의 이득 불균형이 0.5[dB], 위상천이기와 전력중폭기의 위상 불균형이 8[deg]와 5[deg]인 때 RF 직교변조기의 출력 전력스펙트럼을 보인 것이다. 수치해석을 하기 위해 표본화 주파수는 Nyquist 주파수의 2배로 하였으며 반송주파수는 전송신호주파수의 5배로 하였다. 여기서 반송파 진폭의 최대치와 신호 진폭의 최대치는 1로 정규화 하였다.

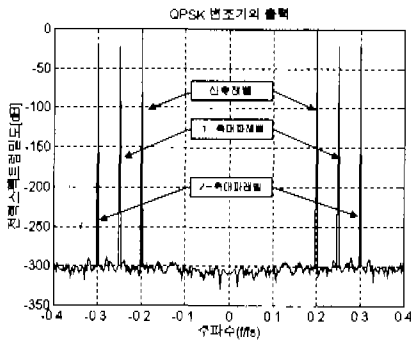


그림 4.4 DC-오프셋과 불균형 발생시 전력스펙트럼

1-측대파 레벨은 신호레벨로 정규화 하였을 때 -12.4071[dB]였고 2-측대파 레벨은 -15.5991[dB]였다. 그림 4.3과 비교했을 때 1, 2-측대파 레벨이 모두 높아졌으며 2-측대파 레벨이 보다 더 높아졌음을 알 수 있다. 그림 4.5는 DC-오프셋만 보정한 경우의 전력스펙트럼을 보인 것으로 신호레벨로 정규화 하였을 때 1-측대파 레벨은 -12.604[dB]로 변함이 없었지만 2-측대파 레벨은 -42.6859[dB]로 떨어짐을 알 수 있다. 그림 4.4와 비교했을 때 국부발진 누설의 영향으로 2-측대파 레벨이 잡음레벨로 떨어지지 않고 있음을 확인하였다. 그림 4.6은 국부발진 누설을 고려했을 때 DC-오프셋과 채널 이득 불균형을 보정했을 경우 직교변조기의 출력 전력스펙트럼을 보인 것이다. 그림 4.6은 그림 4.4와 비교했을 때 1-측대파 레벨은 -12.9583[dB], 2-측대파 레벨은 -43.4571[dB]로 조금 낮아졌다. 이러한 결과는 국부발진 누설을 고려했을

때에는 이득 불균형도 전력스펙트럼 특성에 약간의 영향을 줄 수 있었다. 그림 4.7은 DC-오프셋과 이득 불균형과 위상 불균형까지 보정한 경우의 직교변조기의 전력스펙트럼을 보인 것이다.

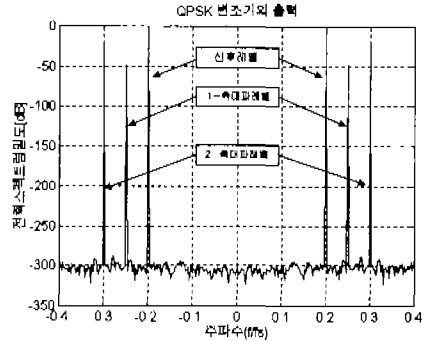


그림 4.5 국부발진누설을 고려한 DC-오프셋을 보정시 전력스펙트럼

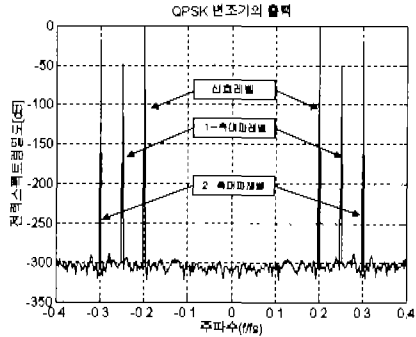


그림 4.6 국부발진누설을 고려한 DC-오프셋과 이득 불균형 보정시 전력스펙트럼

그림 4.7을 보면 신호레벨로 정규화 했을 때 1-측대파 레벨과 2-측대파 레벨은 -300[dB]로 낮아졌다. 1-측대파 레벨은 위상 불균형에 많은 영향을 받고 있음을 확인하였다. 위의 결과^[8]를 요약하면 표 4.2와 같다.

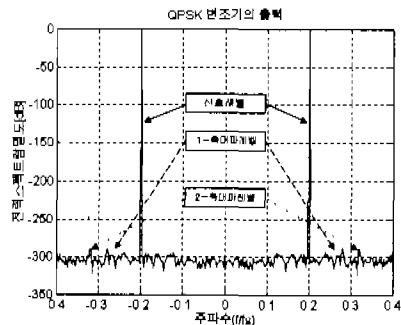


그림 4.7 국부발진누설을 고려한 DC-오프셋과 이득 및 위상 불균형 보정시 전력스펙트럼

또한 표 4.2를 보면 신호레벨이 국부발진 누설을 고려했을 때에 비해 약간 낮아짐을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 직접변환 방식의 불균형문제를 해결하기 위하여 직교 변·복조방식을 모델링하여 이의 특성과 채널불균형에 영향을 주는 파라미터들을 구했다. 그리고 채널 불균형을 보정하기 위한 보정 알고리즘을 적용하였다.

표 4.2 불균형에 따른 전력스펙트럼 특성.

항목	교역사항	국부발진 누설	국부발진
		고려하지 않음	누설 고려함
DC-오프셋(8, 10%) 이득 불균형(0.5[dB]) 위상 불균형(8, 5[deg]) 발생시	신호레벨[dB]	0.00[dB]	-0.1830[dB]
	1-측대파 레벨[dB]	-18.5983[dB]	-12.4125[dB]
	2-측대파 레벨[dB]	-16.8868[dB]	-12.604[dB]
DC-오프셋(8, 10%) 보정시	신호레벨[dB]	0.00[dB]	-0.1830[dB]
	1-측대파 레벨[dB]	-300[dB]	-42.6859[dB]
	2-측대파 레벨[dB]	-16.8868[dB]	-12.604[dB]
DC-오프셋(8, 10%) 이득 불균형(0.5[dB]) 보정시	신호레벨[dB]	0.00[dB]	-0.4231[dB]
	1-측대파 레벨[dB]	-300[dB]	-43.4371[dB]
	2-측대파 레벨[dB]	-16.8868[dB]	-12.958[dB]
DC-오프셋(8, 10%) 이득 불균형(0.5[dB]) 위상 불균형(8, 5[deg]) 보정시	신호레벨[dB]	0.00[dB]	0.00[dB]
	1-측대파 레벨[dB]	-300[dB]	-300[dB]
	2-측대파 레벨[dB]	-300[dB]	-300[dB]

이의 실험을 확인하기 위하여 제한한 알고리즘을 QPSK 변조기에 적용하여 격자도와 눈패턴 및 전력 스펙트럼을 불균형 보정 전과 보정 후의 경우에 대해 구하고 이를 비교하여 보정의 우수성을 확인하였다.

본 논문에서 적용 보정방법에 의해 QPSK 변조기의 격자도와 눈패턴을 DC-오프셋, 이득 불균형 및 위상 불균형의 영향을 받았을 경우는 DC-오프셋은 20%, 이득 불균형은 1.092[dB], 위상 불균형은 9.5 [deg], 잡음 여유도는 0.8이었고 국부발진 누설을 고려했을 때 위와 동일한 불균형 발생시 DC-오프셋, 이득 불균형, 위상 불균형 및 잡음 여유도는 각각 50%, 1.461[dB], 20[deg], 0.625이고, DC-오프셋 보정시에는 각각 40%, 1.760[dB], 19[deg], 0.73이였으며 DC-오프셋과 이득 불균형 보정시에는 각각 30%, 1.703[dB], 11[deg], 0.833이었다.

정현파 신호를 인가했을 때 직교변조기에서는 DC-오프셋과 위상 불균형에 의한 측대파가 발생되었

다. 국부발진 누설을 적용했을 때의 측대파 레벨은 고려하지 않을 경우보다 보정시에 열화되었다. 또한 국부발진 누설을 고려했을 때의 출력 신호레벨은 고려하지 않았을 때의 신호레벨에 비해 최대 0.423[dB] 낮아짐을 확인하였다. 이득 불균형은 국부발진 누설을 고려하지 않았을 때에는 측대파 레벨에 영향이 거의 없었지만 고려했을 경우에는 약간의 영향을 미쳤다. 위상 불균형은 측대파 레벨에 많은 영향을 주었다.

참고 문헌

- [1] K. Anvari, M. Kaube, B. Hriskevich, "Performance of a Direct Conversion Receiver with $\pi/4$ -QPSK Modulated Signal," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 822-827, 1991.
- [2] M. Faulker, T. Mattsson, "Spectral Sensitivity of Power Amplifier to Quadrature Modulator Misalignment," *IEEE Trans. Veh Technol.*, Vol. 41, No. 4, pp. 516-525, Nov, 1992.
- [3] J. Chang, A. Rofougaran, A. Abidi, "A CMOS Channel Select Filter for a Direct Conversion Wireless Receiver," *IEEE Journal of solid-state circuits*, Vol. 32, No. 5, pp.722-729, May, 1997.
- [4] F.J. Ortega, J. Martin, E. Garcia, "A Direct Conversion Receiver Using A Novel Ultra Low Power A.G.C.," *Proceedings of the VTC'97 (IEEE 47th Vehicular technology Conference Proceedings)*, Vol. 2-A, May, 1997.
- [5] Behzad Razavi, "Design Considerations for Direct Conversion Receivers," *IEEE Transactions circuits & Systems II: Analog & Digital Signal Processing*, Vol. 44, No. 6, June, 1997.
- [6] B. D. Brewster Geelen, I. D. Robertson, "Phase Complemented QPSK demodulator with a C-band IF for VSAT System Applications," *24th European M/W Conference*, pp. 1559-1564, 1994.
- [7] TTA Korea, *Global CDMA II for IMT-2000 Detailed Evaluation*, TTA SC7 AdHoc Group, Sep., 1998.
- [8] 백주기, "국부발진누설을 고려한 직교 변·복조기의 불균형 보정", 1999, 단국대학교

백 주 기(Joo-Gi Baek)

정회원



1987년 2월 : 서울산업대학교
전자공학과(공학사)
1995년 2월 : 단국대학교
전자공학과(공학석사)
1999년 8월 : 단국대학교
전자공학과(공학박사)

1995년 3월~현재 : (주)금강산업 통신과장
1999년 3월~현재 : 남서울대학교 전자정보통신공학
부 겸임교수
<주관심 분야> 디지털 이동통신기술, 초고주파회로
및 시스템

이 승 대(Seung-Dae Lee)

정회원

1990년 2월 : 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 2월 : 단국대학교 전자공학과(공학석사)
1999년 8월 : 단국대학교 전자공학과(공학박사)
1995년 4월~현재 : 남서울대학교 전자정보통신 공학
부 조교수
<주관심 분야> 통신시스템, 디지털 이동통신기술

이 기 학(Ki-Hak Lee)

정회원



1973년 : 광운대학교
무선통신과 졸업(공학사)
1980년 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
1978년 4월~현재 :
안양과학대 교수

<주관심 분야> 초고주파공학, 안테나공학

진 년 김(Youn-Kang Chin)

정회원

1957년 2월 : 국립항공대학교통신과(공학사)
1979년 2월 : 미국오레곤 주립대학교 대학원
(공학석사)
1982년 2월 : 미국오레곤 주립대학교 대학원
(공학석사)
1963년 3월~1977년 4월 : 한국항공대학교 전자과 교
수
1982년 8월~1983년 9월 : 미국 CUBIC 전자통회
사 Senior Engineer
1983년 9월~현재 : 단국대학교 공과대학 전자컴퓨
터 공학부 교수
<주관심 분야> 디지털 이동통신 기술, 초고주파 회
로 및 시스템