

X-Band 트랜스폰더 수신기의 설계 및 제작

Design and Implementation of Receiver for X-Band Transponder

이원우 · 조경준 · 김상희 · 김종현 · 이종철 · 이병제 · 김남영

Won-Woo Lee · Kyoung-Joon Cho · Sang-Hee Kim · Jong-Heon Kim · Jong-Chul Lee ·
Byung-Je Lee · Nam-Young Kim

요 약

본 논문에서는 혜테로다인 방식을 이용한 9.4 GHz 대역의 펄스 레이다용 수신기를 설계 및 제작하였다. 펄스레이다용 혜테로다인 수신기에서 큰 부피를 차지하던 IF 증폭기를 제거하고 기저대역 부분에서 검출 로그 비디오 증폭기(Detector logarithmic video amplifier)를 사용하여 소형화시켰으며 높은 선형 영역과 높은 수신 감도를 얻도록 하였다. 측정결과, 최소수신전력 -70 dBm과 선택도 55 dB를 얻었다.

Abstract

In this paper, the receiver using Heterodyne type is designed and implemented for a pulse radar at 9.4 GHz. The IF amplifier, which occupies a significant size in a Heterodyne receiver for pulse radars, can be removed. Furthermore, by using detector logarithmic video amplifier in baseband, the receiver has a small size and it's characteristic shows a high dynamic range and sensitivity. From the results of measurements, the minimum receiver power of -70 dBm and selectivity of 55 dB are obtained.

Key words : Heterodyne, Transponder, Detector Logarithmic Video Amplifier, Sensitivity

I. 서 론

위성 통신에서 위성은 하나 이상의 트랜스폰더를 가지고 있으며, 각각은 특정한 주파수에서 수신하고 증폭하고, 그리고 다른 주파수로 재전송할 수 있도록 조정되어 있다. 또한, 트랜스폰더는 비행체의 비행 궤적을 정확히 추적하기 위한 필수적인 방법으로 사용되고 있으며, 그 중요성이 날로 증가되어 독자적인 트랜스폰더 개발 및 관련 기술의 확보가 요구되고 있다.

트랜스폰더는 수신된 신호에 대해 자동으로 응답하는 신호 수신기를 말한다. 일부 트랜스폰더들은

다른 주파수에 지정된 정보를 따라 신호를 전송하며, 또 일부는 프로그램된 메시지를 자동으로 되돌려준다. 입력신호는 비행체의 위치를 추적하기 위해 지상의 레이다에서 유도비행체에 탑재되어 있는 트랜스폰더를 향해 발사되는 신호이다.

트랜스폰더의 수신기는 크게 혜테로다인(Heterodyne)과 호모다인(Homodyne) 구조로 나눌 수 있다. 일반적으로 X-Band ($8\sim12$ GHz)의 초고주파 신호를 수십 MHz의 신호인 중간 주파수 대역으로 내려서 처리하기 위해서는 혜테로다인 구조가 사용된다. 이는 호모다인 수신기와 비교하여 수신기에 필수 조건인 수신감도의 개선과 초고주파용 부품을 덜

「본 연구는 2001년도 광운대학교 교내 연구비 및 정보통신부의 대학정보통신 연구센터(ITRC) 사업의 지원으로 수행되어졌다.」
광운대학교 RFIC 연구 및 교육센터/미션테크놀로지 연구센터(RFIC Research and Education Center & Mission Technology Research Center, Kwangwoon Univ.)

· 논문 번호 : 20011212-172
· 수정완료일자 : 2002년 5월 1일

사용함으로 인한 저가격 구현이라는 장점을 가진다. 또한 낮은 주파수에서 노이즈의 영향을 적게 받으며 필터 구현이 용이하고 규격화된 면복조 소자를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 여러 개의 국부 발진 신호의 사용으로 필터들이 첨가되어 전체적인 시스템 부피가 커지는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 헤테로다인 수신기에 필수적인 중간주파수 변환 과정을 없애 막서 및 증폭기를 제거하여 수신기의 사이즈를 줄이도록 하였으며 수신감도를 개선하기 위하여 검출 로그 비디오 증폭기를 사용한 수신기를 제안하였다. 검출 로그비디오 증폭기는 높은 이득을 가지고 있기 때문에 중간 주파수 증폭기가 필요 없고 작은 회로 크기와 높은 선형성으로 인해 수신기의 크기와 감도 특성을 높일 수 있는 장점이 있다.

II. 로그 증폭기와 수신기

2-1 로그 증폭기(Logarithmic Amplifier)

증폭기는 포화(Saturation)가 일어나기 전에 제한되어진 유효한 순간 입력의 선형 영역을 가진다. 하지만 로그 증폭기는 매우 큰 입력 선형 영역을 작은 출력 선형 영역으로 압축한다.

일반적인 로그 증폭기는 자동 이득 조절 루프(Automatic gain control loop) 같은 모듈에서 신호의 크기를 측정하기 위해서 쓰이지만 본 논문에서는 수신 신호를 검출하기 위해 사용하였다. 그림 1은 ASK (Amplitude shift keying)의 신호를 로그 증폭기가 수신 및 증폭하는 과정이다. 신호가 로그 증폭기에 입력되었을 때, 그 출력은 디지털 신호와 같이 증폭되어 향후 비교기에 적용 가능하도록 하였다.

그림 2는 검출 로그 비디오 증폭기의 구성도이다. 직렬로 종속 연결된 증폭기는 제한된 이득 특성으

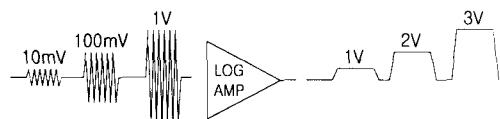


그림 1. 로그 증폭기의 검출 파형

Fig. 1. Detected waveform of logarithmic amplifier.

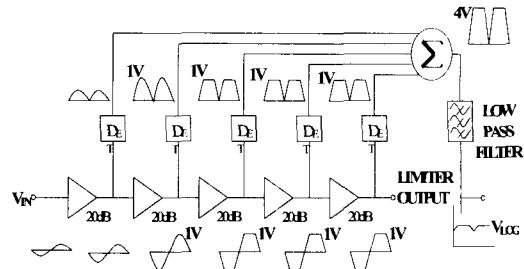


그림 2. 검출로그 비디오 증폭기의 구성도

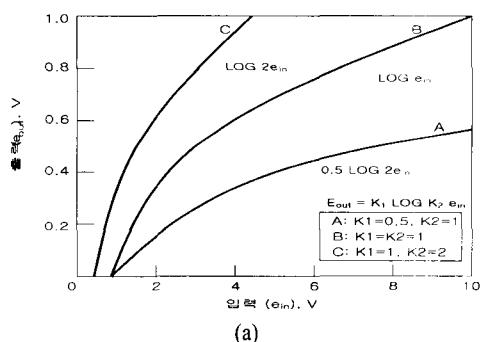
Fig. 2. Block diagram of detector logarithmic video amplifier.

로 선형 구간에서 동작되며 합쳐진 각각의 이득은 저역 통과 여파기를 통해 DC로 출력되게 된다^[1].

식 (1)과 식 (2)는 이상적인 로그 증폭기의 전달 함수이다.

$$e_{out} = k_1 \log k_2 e_{in} \quad (1)$$

$$e_{out} = k_1 \log e_{in} + k_1 \log k_2 \quad (2)$$



(a)

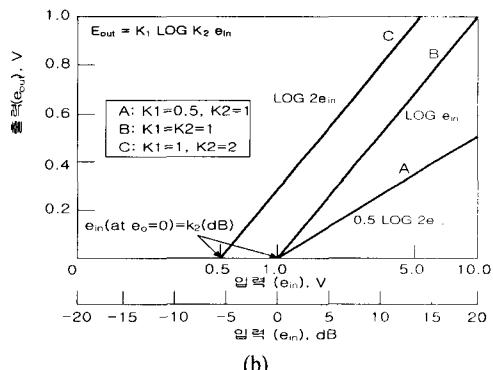


그림 3. 로그 증폭기의 특성

(a) 선형 눈금, (b) 테시벨 눈금

Fig. 3. Characteristics of logarithmic amplifier.

(a) Linear scale, (b) Decibel scale

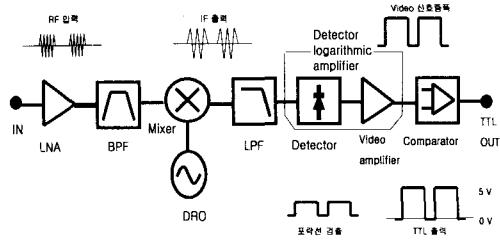


그림 4. 수신기의 블록도

Fig. 4. Block diagram of a receiver.

여기서, k_1 과 k_2 는 로그 증폭기의 이득 특성에 따른 상수이다.

식 (1)과 식 (2)의 3가지 변수 값에 대하여 그림 3에서 그래프로 나타내었다. 그림 3의 (a)는 입력 전압에 대한 출력 전압의 관계를 나타내었으며 변수 k 값에 따른 로그 함수적인 기울기를 갖는다. 그림 3의 (b)는 입력 단위를 데시벨(dB) 단위로 변형하여 출력력 관계가 선형적임을 확인할 수 있다^[2].

2-2 수신기

그림 4는 트랜스폰더의 수신부 블록도를 나타낸다. 수신기의 입력신호는 9.4 GHz의 펄스 변조된 RF 신호가 인가되며 이 신호는 저잡음 증폭기를 통하여 된다. 시스템 전체 노이즈는 저잡음 증폭기가 크게 영향을 주며 저잡음 증폭기의 이득은 수신 감도와 관련이 있기 때문에 저잡음 증폭기의 노이즈와 이득을 적절히 선택해 주어야 한다^[3]. 여파기를 통하여 입력 신호는 불요파를 억압하고 회망파를 통과시킨 후 믹서로 입력되게 된다. 9.4 GHz의 RF 펄스 신호는 9.2 GHz의 국부 발진 신호와 합쳐져 주파수 변환을 일으킨다. 따라서 혼합기의 출력에는 200 MHz의 중간주파수 신호를 얻을 수 있게 된다. 이때, 혼합기의 출력에서 발생된 불필요한 고조파들은 저역통과 여파기를 통해 억제되고 중간 주파수 신호는 포락선 검출기와 비디오 증폭기를 거치게 된다. 다시 검출기를 통해 나온 신호는 비디오 증폭기를 통해 로그적으로 증폭되어 출력된 신호는 펄스형태의 DC값을 가지게 된다^[2].

III. 수신기의 설계

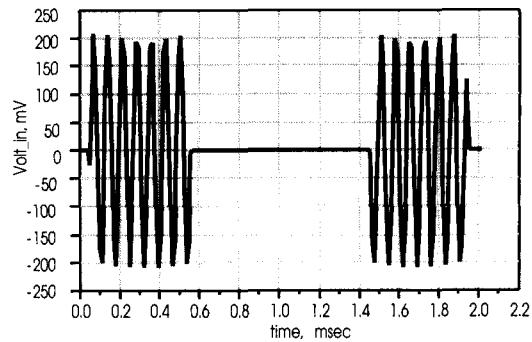


그림 5. 변조된 RF 신호의 입력 펄스 신호

Fig. 5. Input pulse signal of a modulated RF signal.

시스템 설계를 위해 Agilent사의 ADS ver. 1.5를 사용하여 각 모듈 및 전체 시스템을 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션을 위하여 수신기의 입력 신호로는 9.4 GHz의 펄스 변조된 신호를 사용하였으며 이때, Peak-to-peak 전압은 약 400 mV, 펄스 폭은 500 usec, 펄스주기는 1.5 msec, 펄스 지연은 50 usec 이다. 그림 5는 시뮬레이션에서 9.4 GHz에서 펄스 변조된 RF 입력 신호를 보여준다.

그림 6은 혼합기의 출력 파형으로 200 MHz에서의 중간주파수 펄스 신호를 보여주며 이 파형은 수신기에 입력된 RF 펄스의 형태와 유사함을 볼 수 있다. Peak-to-peak 전압은 약 600 mV 정도이고 500 usec의 펄스폭과 1.5 msec 의 펄스 주기를 가진다. 또한 펄스 지연은 50 usec 정도이다.

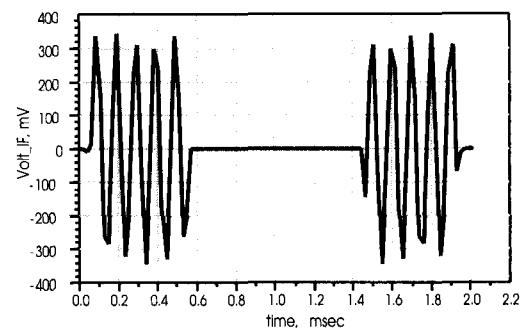


그림 6. 중간주파수의 출력 펄스 신호

Fig. 6. Output pulse signal of intermediate frequency.

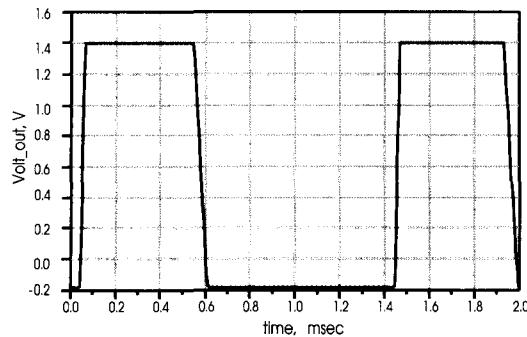


그림 7. 검파된 출력의 펄스 신호

Fig. 7. Pulse signal of a detected output.

그림 7은 검출 로그 증폭기로부터 포락선 검출된 출력 펄스 파형을 보여준다. Peak-to-peak 전압은 약 1.6 V이며 입력과 동일한 펄스폭, 펄스주기, 펄스지연을 보여주고 있다. 따라서 입력된 RF 펄스 신호는 검출기의 포락선 검출에 의해서 본래의 펄스 형태로 복조되며 그것을 비디오 증폭기가 로그적으로 증폭한다.

IV. 제작 및 측정

수신기의 제작은 RF front-end부, 중간주파수 회로부 그리고 기저대역 회로부로 나누어서 제작하였다. 여기서 사용된 기판은 유전율 2.52, 높이 0.54 mm인 기판을 사용하여 구현하였다.

4-1 RF front-end 회로부

RF front-end는 수신 RF 필터와 저잡음 증폭기로 구성된다. 저잡음 증폭기는 1.2 dB의 잡음지수를 가졌으며 수신 감도를 높이기 위해서 총 3단으로 제작하여 25 dB의 이득을 얻을 수 있었다. 전원은 5 V가 인가되어 한 개의 레귤레이터와 DC 변환기로 구성되었다. 필터는 중심주파수 9.4 GHz에서 약 4.3 dB의 삽입손실과 -23 dB의 반사계수를 얻었다. 400 MHz 떨어진 지점에 관해서 좌측파대는 40 dBc, 우측파대는 25 dBc의 선택도를 얻었다.

4-2 중간주파수 회로부

중간주파수 회로부는 혼합기 및 저역통과필터로

구성된다. 혼합기는 MMIC 소자로 이중 평형 구조이며 5~12 GHz의 RF신호와 DC~4 GHz 중간주파수 신호를 사용할 수 있다. 저역통과 필터는 RF신호와 중간주파수 신호의 간섭에 따른 고조파를 억압하기 위해서 사용되었다. 응답 특성은 체비셰프 형태의 총 3단으로 제작하였으며 0.5 dB의 삽입손실을 가지고 있고 400 MHz에서 50 dB의 억압을 가진다. 국부 발진기는 유전체 공진 발진기를 사용하였으며 발진 주파수 9.2 GHz에서 14 dBm의 출력레벨과 중심주파수에서 10 kHz 떨어진 지점에서 90 dBc/Hz의 위상잡음을 갖도록 제작하였다.

4-3 기저대역 회로부

기저대역은 검출 로그 비디오 증폭기와 비교기로 구성된다. 검출 로그 비디오 증폭기는 검파된 비디오 신호를 로그 함수적으로 높은 선형영역에서 증폭해 높은 수신감도를 얻도록 하였다. 비교기에 출력 펄스가 입력되면 비교기의 기준 전압과 비교하여 높을 경우 TTL 출력이 나온다. 기준 전압은 수신단의 최소 수신 전력 값이 되며 시스템의 잡음 전력보다 높게 정해져 잡음 제거 특성도 가지게 된다. 여기서 정해진 기준 전압은 0.7 V이다.

그림 8은 실제 변조된 펄스 파형을 보기 위해서 200 MHz에서 오실로스코프로 측정한 파형이다. RF 출력 파형은 ASK 형태이며 Peak-to-peak 전압은 약 400 mV, 펄스폭 500 usec, 펄스주기 1.5 msec와 펄스지연 50 usec을 얻었다.

그림 9는 혼합기의 출력에서 변조된 펄스 파형을 오실로스코프로 측정한 파형이다. Peak-to-peak 전

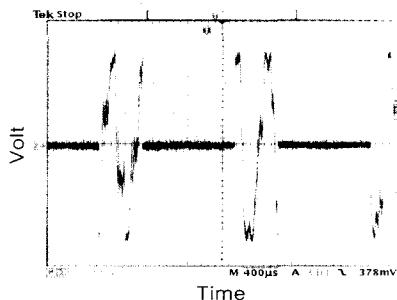


그림 8. 펄스 변조된 입력 신호

Fig. 8. Pulse modulated input signal.

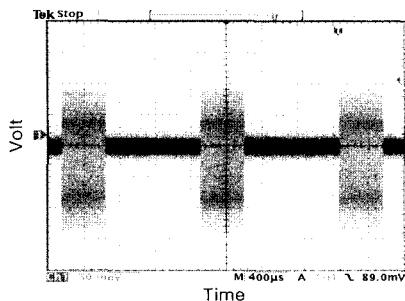


그림 9. 중간주파수의 출력 펄스 신호

Fig. 9. Output pulse signal of intermediate frequency.

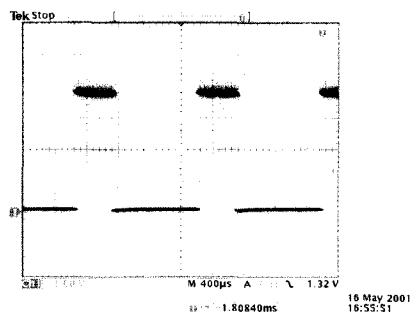


그림 12. 입력 -72 dBm의 비교기 출력

Fig. 12. Comparator output of input of -72 dBm.

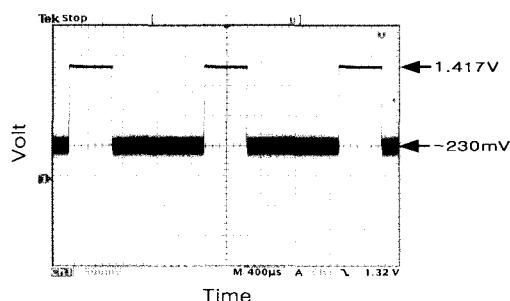


그림 10. 포락선 검출 파형

Fig. 10. Waveform of detected envelope.

압은 약 540 mV, 펄스폭 500 usec, 펄스주기 1.5 msec, 펄스지연 50 usec을 나타내었다.

그림 10은 검출 로그 증폭기로부터 포락선 검출된 출력의 파형을 시간상에서 나타낸다. Peak-to-peak 전압은 1.65 V이다.

그림 11은 비교기로부터 출력된 TTL 신호를 보여준다. 비교기의 기준 전압은 0.7 V이며 이 전압을 기준으로 TTL 출력 값을 얻었다. 기준 전압

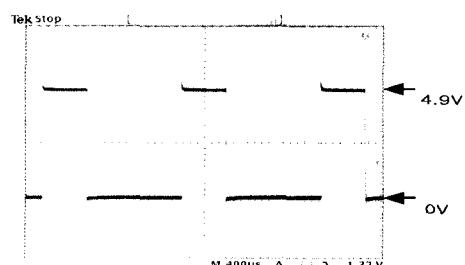


그림 11. 비교기의 출력

Fig. 11. Output of a comparator.

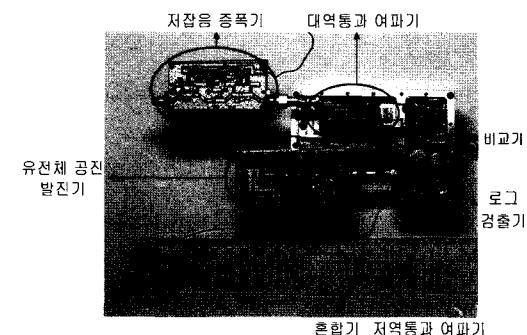


그림 13. 수신기의 실물도

Fig. 13. Photograph of a receiver.

이하에 대해서는 출력이 “0”이 되기 때문에 잡음에 대한 성분은 제거되어 완전한 신호를 볼 수 있었다.

그림 12는 입력 -72 dBm에서의 비교기 출력 파형이다. 펄스 사이에 많은 잡음의 발생은 로그 증폭기의 출력 신호가 비교기의 기준전압에 못 미치기 때문에 일어나는 현상이다. 따라서 최소 수신전력은 -70~-72 dBm 정도가 되며 최소 수신 전력 -70 dBm은 트랜스폰더가 비행체에 탑재되었을 때 수신 할 수 있는 기준의 값이다.

표 1. 설계치와 측정치 비교

Table 1. Comparison of simulated and measured values.

구 분	설계치	측정치
선행영역(dB)	77	69
선택도(dB)	55	55
최소수신전력(dBm)	-72	-70

그림 13은 제작된 수신기의 실물도이며 표 1은 설계치와 결과치를 비교하였으며 설계치와 측정치가 대부분 유사한 특성을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서 헤테로다인 방식의 9.4 GHz 대역의 펄스 레이다용 수신기를 설계 및 제작하였다.

일반적인 헤테로다인 수신기와는 다르게 IF 증폭기를 제거한 검출로그비디오 증폭기를 사용하여 시스템 크기를 최소화시키도록 하였으며 측정결과, 원하는 최소수신전력(-70 dBm)과 55 dB의 선택도를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] E. Nash, *Ask The Application Engineer*, Analog Device, Inc. vol. 33, no. 3, March 1999.
- [2] R. S. Hughes, *Logarithmic Amplifier*, Artech House, pp. 57-87, 1986.
- [3] B. Razavi, *RF Microelectronics*, Prentice Hall, pp.

37-53, 1998.

- [4] M. C. Tsai, C, "A low cost K-band safety warning radar receiver system", *IEEE MTT-S*, pp. 329-332, 1996.
- [5] J. B. Vincent, "MMIC transmitter for commercial search and rescue radar transponder", *IEEE MTT-S*, pp. 1699-1702, July 1995.
- [6] S. J. Spiegel, "A novel broadband receiver architecture for wireless communication and radar system", *IEEE MTT-S*, pp. 1697-1700, 2000.
- [7] K. Rovos. "2.7 volt performance of high dynamic range receiver ICs for dual-band CDMA handsets", *IEEE MTT-S*, pp. 73-76, 1999.
- [8] F. Kuroki, "New type of high speed pulse radar on the NRD guide technology at 60 GHz band", *IEEE MTT-S*, pp. 1961-1964, 2000.
- [9] 이석진, "펄스 레이다의 이동표적 추적을 위한 자동 이득 조정형 중간주파수 증폭기 설계 및 구현", 한국과학기술원 석사 졸업논문, 1995.

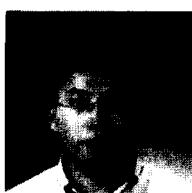
이 원 우



Sensor

2000년 2월: 광운대학교 전자물리학과 (이학사)
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 1월~현재: (주)신영 텔레콤 전문 연구원
[주 관심분야] LNA, Filter, Radar

조 경 준



[주 관심분야] RF Power Amplifier and Linearization Techniques, Microwave Sensor

1998년 2월: 안양대학교 전자통신공학과 (공학사)

2000년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)

2000년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정

[주 관심분야] RF Power Amplifier

X-Band 트랜스폰더 수신기의 설계 및 제작

김 상 희



Amplifier Linearization

1999년 2월: 관동대학교 전자통신
공학과 (공학사)
2001년 2월: 광운대학교 전파공학
과 (공학석사)
2001년 3월~현재: 광운대학교 전
파공학과 박사과정
[주 관심분야] 박막형 공진기, Power

이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학
과 (공학사)
1993년 12월: 미국 Southern Illinois
University 전자공학과 (공학석
사)
1997년 5월: 미국 Southern Illinois
University 전자공학과 (공학박
사)

2000년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 마이크로스트립 안테나

김 종 헌



1984년 2월: 광운대학교 전자통신
공학과 (공학사)
1990년 6월: 독일 Ruhr Univ.
Bochum 전자공학과 (공학석사)
1994년 8월: 독일 Dortmund Univ.
전자공학과 (공학박사)
1995년 4월: 광운대학교 전파공학
과 조교수

1999년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] RF Linearization Techniques, RF Power
Amplifier, Frequency Management, EMC

김 남 영



1987년 2월: 광운대학교 전자공학
과 (공학사)
1991년 2월: New York 주립대 전
자공학과 (공학석사)
1994년 2월: New York 주립대 전
자공학과 (공학박사)
1994년 9월: 광운대학교 전자공학
과 조교수

2000년 2월: 광운대학교 전자공학과 부교수
[주 관심분야] 초고주파 집적회로, MMIC, ASIC

이 종 철



1983년 2월: 한양대학교 전자공학
과 (공학사)
1985년 2월: 한양대학교 대학원 전
자공학 (공학석사)
1989년 12월: 미국 Arizona State
University 전자공학 (공학석사)
1994년 5월: 미국 Texas A&M
University 전자공학 (공학박사)

1998년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 초고주파 및 광전자 공학, RF MEMS, 밀리
미터파 능동 및 수동 소자