

DBS 수신을 위한 Dual Phase LNB 설계

The Design of Dual Phase LNB for DBS Receiving

임 윤 두*, 고 봉 진*

Yun-Doo Lim* and Bong-Jin Ko*

요 약

DBS(Direct Broadcasting Satellite)는 광범위한 주사영역과 고품질의 서비스를 제공하므로 정보화 사회에서 매우 유용한 매체로 활용되고 있으며, 이동체에서도 위성 방송을 수신할 수 있는 기술을 필요로 한다.

본 논문에서는 한반도 연근해를 항해구역으로 하는 선박과 육상 이동체에서 DBS 수신이 가능한 tracking antenna용 Dual phase LNB를 설계하였다. 설계한 Dual phase LNB는 저잡음 증폭기, 대역통과 필터, 발진기, 혼합기, 중간주파 증폭기로 구성하였고, 위치 추적을 위해 각각 두 입·출력 위상을 동위상으로 구현하였다.

측정 결과, 11.7 GHz~12.2 GHz의 입력신호에 대하여 잡음지수는 0.87 dBmax, 변환이득 62 dB이고, 온도특성은 $-30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 에서 ± 400 kHz이고, 위상잡음은 100 kHz 오프셋에서 -101 dBc/Hz로서 우수한 성능을 나타내었다.

ABSTRACT

DBS is utilized as very useful media in information-oriented society because it covers wide service area and provide high quality services. But DBS needs skill that can receive DBS signal at move.

In this paper, it is considered a development of a device to receive DBS and design of a low noise downconverter that use tracking antenna to receive DBS at mobiles unit and ships which navigate in Korea peninsula coast. The structure of dual phase LNB is composed of LNA, BPF, oscillator, mixer, and IF amplifier. And for the position tracking, two input-output phase performed inphase.

Measured results showed good performance that with respect to input signal 11.7 GHz~12.2 GHz, noise figure is 0.87 dBmax and conversion gain 62 dB, temperature characterization ± 400 kHz in respect to -30 to 60°C , and phase noise -101 dBc/Hz in respect to offset 100 kHz.

I. 서 론

DBS(Direct Broadcasting Satellite)에서 오는 신호는 아주 미약하기 때문에 LNB(Low Noise Block downconverter)의 역할은 안테나로 포착한 SHF(Super High Frequency) 전파를 다루기 쉬운 주파수(1 GHz대)로 변환하는 것과 CNR(Carrier to Noise

power Ratio) 확보에 있으며, 안테나와 마찬가지로 수신신호의 성능을 결정하는 대단히 중요한 기기이다[1],[2]. 특히 미약한 전파를 다루기 때문에 잡음지수 특성을 가급적 저잡음화 할 필요가 있다. LNB는 저잡음 하향변환기라고도 하며, 방송위성으로부터 12 GHz대의 전파를 일단 증폭한 다음에 제1중간주파수(1 GHz대)로 변환하여 증폭하는 역할을 한다. LNB에서 가장 특징적이며 또한 필수 불가결한

이 논문은 2001년도 창원대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 창원대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Eng., Changwon National Univ.)

· 논문번호 : 2002-11-02

· 접수일자 : 2002년 9월 15일

것은 저잡음으로 이것은 위성이 대단히 원거리에 있기 때문에 지상에 도래하는 전파가 대단히 미약하여 (약 -80 dBm) 수신신호 레벨이 LNB 속에서 발생하는 잡음 레벨에 묻혀 버리므로 이 잡음레벨을 가급적 낮게 할 필요가 있다. 최근 ASIC 기술과 HEMT 부품과 같은 화합물 반도체 소자들의 발전에 힘입어 고성능 저잡음 다운 컨버터가 가능하고, 높은 신뢰성을 갖는다[3].

본 논문에서는 주로 한반도 연·근해를 항해구역으로 하는 선박과 육상 이동체에서 DBS 수신에 가능한 장치의 개발을 목적으로 하며, DBS수신을 위한 tracking 안테나용 dual phase LNB를 설계 제작한다. LNB는 두 개의 입력과 두 개의 출력을 가지므로, 두 출력에서 위상 차이가 나지 않게 설계되어야 한다. 또한 저잡음 증폭기(LNA), 대역통과 필터, 발진기, 혼합기, 중간주파 증폭기로 구성된 LNB를 설계 및 제작하고, RF 주파수인 11.7 GHz~12.2 GHz의 입력신호에 대하여 잡음지수, 변환이득, 온도 특성, 위상잡음 등의 성능을 분석한다.

II. DBS 수신을 위한 Tracking Antenna용 Dual Phase LNB 설계

DBS신호를 수신하는 수신부의 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 안테나 레이돔 부는 마이크로 패치 안테나, Ku band dual phase 하향변환기, 결합 장치로 구성되고, 결합 장치에서 나온 신호의 위상을 제어 부에서 위상을 비교하고 위상을 추적하여 최적의 위치를 잡는다. Set-Top-Box에서는 LNB로부터 출력되는 1 GHz대의 신호에서 수신하고자 하는 채널의 TV 신호를 꺼내어 TV 수상기로 보내는 역할을 한다.

본 논문에서는 그림 1의 전체 시스템 중 DBS 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band dual phase LNB부에 대해 설계한다.

Dual Phase LNB의 구성도는 그림 2와 같다. 그림에서 MPA에서 수신된 RF신호를 증폭시키기 위한 2단의 저잡음 증폭기와 이미지 성분 제거를 위한 BPF, 국부발진을 위한 유전체 공진기(dielectric reso-

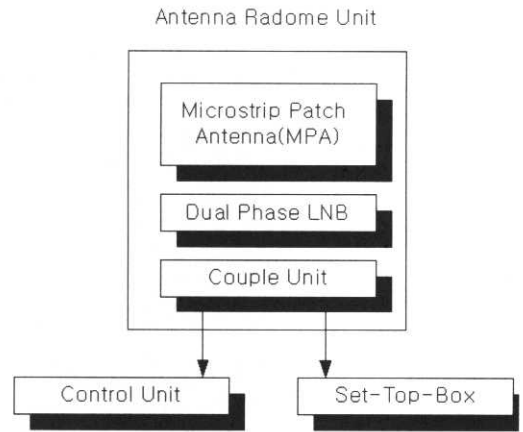


그림 1. DBS 수신을 위한 tracking antenna의 시스템 구성도

Fig. 1. System configuration of tracking antenna to receive DBS.

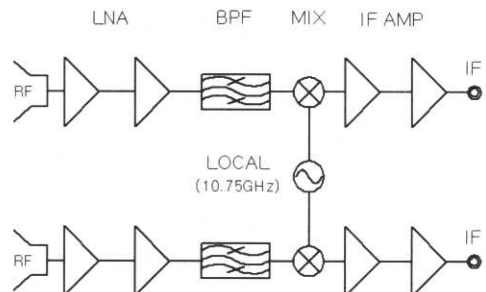


그림 2. DBS 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band 용 dual phase LNB의 구성도

Fig. 2. System configuration of dual phase LNB for tracking antenna to receive DBS.

nator oscillator, DRO)와 하향 변환하는 혼합기, 2단의 IF 증폭기로 구성된다. 두 개의 입력과 두개의 출력을 갖기 때문에 동위상을 구현하기 위하여 각각의 입·출력 정합을 같게 설계한다.

2-1 설계 목표의 설정

Ku band용 dual phase LNB의 시스템 블록은 수신된 RF신호를 증폭시키기 위해 각각 2단의 LNA와 11.7 GHz~12.2 GHz의 RF신호를 위한 BPF, 10.75 GHz의 국부발진을 위한 DRO, RF신호와 Local sin

표 1. 개발 규격 및 목표

Table 1. Development specification and purpose.

항 목	Spec.
1 RF Input Freq.	11.7 to 12.2 GHz
2 Input Type	WR-75
3 Input VSWR	2.5 : 1
4 LO. Freq.	10.75 GHz
5 Conversion Gain	60 dB 이상
6 Gain Ripple	±2 dBp-p.
7 Image Rejection	40 dBc 이상
8 Noise Figure	0.9 dB _{max} @22°C
9 IF Output Freq.	950 to 1450 MHz
10 IF Output Type	F-Type Female
11 LO. Stability	10.75 GHz±500 KHz (-30 to +60°C)
12 Phase Noise	-60 dBc/Hz @1 KHz -80 dBc/Hz @10 KHz -100 dBc/Hz @100 KHz
13 Operation Temp.	-30 to +60°C
14 DC Power Supply	12 to 24 V DC

호를 입력으로 하여 950 MHz~1450 MHz의 IF신호로 하향 변환하는 Mixer, IF신호를 증폭하기 위한 IF 증폭기로 구성되고, 개발 규격 및 목표는 표 1과 같다.

2-2 Dual Phase LNB 설계

표 2는 2단 저잡음 증폭기의 설계사양이다. 저잡음 증폭기는 하향변환기의 기본특성을 좌우하는 중요한 부분으로서 안정도, 최대 전력이득, 잡음지수 등이 먼저 설계시 고려되었다[4]-[7]. 증폭기의 안정도는 산란계수, 입출력 정합회로, 종단에 의해 결정되고, 최대 전력이득은 무조건 안정이면 입출력을 동시에 복소정합시킴으로서 가능하며, 잡음지수는 신호원의 반사계수가 최적잡음 입력 반사계수와 같을 때 잡음지수가 얻어진다. 사용된 HEMT 디바이스는 높은 전자이동도와 낮은 저잡음, 높은 이득을 얻기 위해 MITSUBISHI의 소자를 사용한다. 첫 단은 이득보다 저잡음 특성을 강조하여 증폭기를 설

표 2. 2단 저잡음 증폭기 설계사양

Table 2. Design specification of two-stage LNA.

구 분	규 격
사용 소자	MGF4919G ($V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=10$ mA)
사용 기판	TLT-9-0200, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.504$ mm
주파수 대역	11.7 GHz~12.2 GHz
이 득	20 dB~25 dB
잡 음 지 수	0.8 dB 이하
정 합 법	Open Stub 정합

계하고, 둘째 단은 고이득 특성을 강조하여 바이어스 조건과 Open Stub로 입력과 출력을 정합시켰다. 2단 저잡음 증폭기는 11.7 GHz~12.2 GHz 주파수 대역에서 22 dB의 전달 이득과 0.7 dB의 잡음지수를 나타내었다. 본 논문에서 Dual phase LNB 설계에 사용된 기판은 타코닉사의 Teflon TLT-9-0200 ($\epsilon_r=2.5$, $h=0.504$ mm $t=0.018$ mm)이며, 모의 실험에 사용한 프로그램은 Ansoft사의 Serenade 7.5를 사용하였다.

2단 저잡음 증폭기에서 출력된 신호에서 원하는 11.7 GHz~12.75 GHz 주파수 대역만을 통과시키기 위해 사용된 대역통과 필터는 8단의 Interdigital Open Tchebyschry Prototype Microstrip을 사용하였다[8],[9]. 최적화된 대역통과 필터의 주파수 대역은 11.45 GHz~12.95 Hz으로 약 1.5 GHz 정도이고, 통과대역에서 삽입손실은 0.3 dB이고, 반사계수는 -20 dB 이하의 값을 나타내었다.

국부발전 단은 국부발전 신호에 사용될 10.75 GHz의 신호를 발생한다. 설계사양은 표 3과 같다. 게이트와 드레인 부분에서 필요한 발전조건을 제공하는 것으로 드레인에서 게이트로 병렬케환을 가지는 HEMT를 가지고 구현하였다. 이 케환 부분은 유전체 공진기(DR : $\epsilon_r=43$, $Q_u=4284$, $\tau_f=3.0 \pm 1.0$ ppm/°C, Support = $\varnothing 3.2 \times \varnothing 2.0 \times 1.0$ t) 결합으로 가능하다. 유전체 공진기 부분은 RLC 병렬 공진회로로 모델링하고, 게이트에서 드레인으로의 케환루프 드레인 전기적 길이는 발전주파수에서 2π 의 정수배인 위상이동을 하므로 원하는 주파수에서 발전조건을 만족하는 Stub 길이를 선택하면 된다. 국부발전기의 위

표 3. DRO 설계사양

Table 3. Design specification of DRO.

구 분	규 격
사용 소자	NE334S01 ($V_{ds}=5\text{ V}$, $I_{ds}=10\text{ mA}$)
사용 기판	TLT-9-0200, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.504\text{ mm}$
주 파 수	10.75 GHz
D R	Kyocera SV430 (SV430+F1120)
설 계 목 표	$\text{Re}[Z_{in}] < 0$, $\text{Im}[Z_{in}] = 0$

상잡음은 통신시스템에서 성능을 열화시키고, 수신기 BER에 영향을 준다. 유전체 공진기는 전자계 방사손실을 줄이고 높은 양호도를 가지고, 저가이며, 크기가 작고, 구조가 간단한 장점을 가지고 있다. 공진기의 성능저하, 외부로부터의 전자기파에 의한 간섭을 줄이기 위해 메탈 하우징을 사용하여 위상잡음을 최소화 하면서 출력레벨이 최대가 되도록 실험적으로 설계 및 제작을 하였다. HEMT의 바이어스 조건은 5.2 V, 10 mA로 출력전력은 3 dBm이고, 이때의 고주파 억제량이 -32 dBc로 나타났다.

혼합기 단의 일반적인 구성은 그림 3과 같다. Mixer는 최대 가능한 변환이득을 수행하는 것이 아니라 특정 이득 값에서 저잡음 특성을 갖도록 설계한다. Mixer는 HEMT, RF, Local, IF 정합 회로로 구성되어진다. 정합회로는 정합기능뿐만 아니라 필터기능도 한다. 최적화된 HEMT 혼합기는 게이트로 RF신호가 들어가고 드레인에 Local 신호가 들어가서 필터화되어 IF 신호가 나오며 시변 transconductance가 주파수 변환의 원인이 된다. 그러한 믹서 상에서 고주파적인 변화는 gate-drain capacitance, gate-source capacitance, drain-source 저항의 효과는 없애고 최소화 되어져야 한다. 믹서의 설계는 NEC의 NE334S01을 사용하여 Active Mixer를 설계

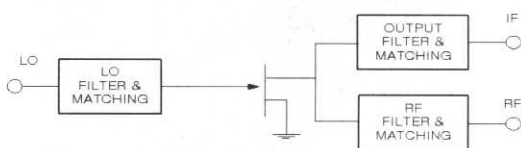


그림 3. 능동 믹서
Fig. 3. Active Mixer.

하였다. IF신호를 제외한 RF와 LO 신호와 Spurious 신호들은 전부 -70 dBm 이하로 출력되었다.

IF증폭기는 IF신호를 증폭시키는 역할을 한다. IF 증폭기 설계를 위한 사양은 표 4에 나타내었다. HP의 41511과 2709T를 사용하여 입·출력을 정합하였으며, IF증폭기는 설계주파수 950 MHz~1450 MHz에서 35 dB의 이득을 보인다.

표 4. IF증폭기 규격

Table 4. Specification of IF amplifier.

구 분	규 격
사용 소자	AT-41511 ($V_d=4.5\text{ V}$, $I_d=10\text{ mA}$) UPC2709T ($V_d=5.0\text{ V}$, $I_d=20\text{ mA}$)
사용 기판	TLT-9-0200, $\epsilon_r=2.5$, $h=0.504\text{ mm}$
주 파 수	950~1450 MHz
이 득	30 dB 이상

III. LNB의 측정 결과

실제 제작된 디지털 위성방송 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band dual phase 저잡음 하향변환기의 Layout을 그림 4에 나타내었다.

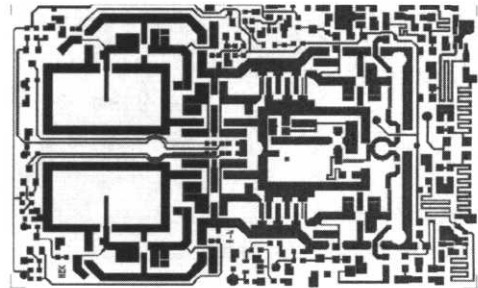


그림 4. Ku 대역 하향변환기 Layout
Fig. 4. Ku band Downconverter Layout.

그림 5는 설계 제작한 디지털 위성방송 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band dual phase 저잡음 하향변환기의 실물 사진이다. 그림 6에 전압정재파비(VSWR)를 나타내었으며 그림 7에서 알 수 있듯이 RF 통과대역에서 1.5 정도의 우수한 특성을 갖는다.

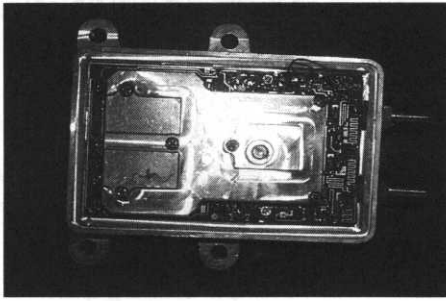


그림 5. Ku band dual phase LNB 실물사진
Fig. 5. Photography of Ku band dual phase LNB.

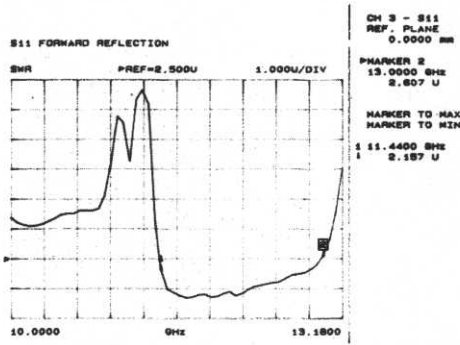


그림 6. 입력 전압정제파비 측정 결과
Fig. 6. Measured result of input VSWR.

온도 실험에 대한 결과를 표 5에 나타냈었다. 온도 실험은 +25°C, -30°C, +60°C, +25°C로 항온조에서 3시간 간격으로 지속적으로 측정하여 중심주파수에서 변화를 측정하였다.

표 5. 온도 실험 결과
Table 5. Temperature test result.

	+25°C	-30°C	+60°C	+25°C
f_{Loc} (GHz)	10.749950	10.749564	10.750247	10.750025
Δf (MHz)		-0.386	+0.297	+0.075

IF 출력에서의 local leakage를 그림 7에 나타내었으며, L_o 전력 6 dBm에 대하여 -68 dBm으로 -70 dBm 이상의 차이가 나므로 다른 통신기기에 대한 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 그림 8에 RF와 IF에 대한 image rejection을 나타내었다. 여기서도 45 dB 이상의 차이가 나므로 영상 신호에 대한 영향을

받지 않음을 알 수 있다.

DRO의 위상잡음을 그림 9에 나타내었고, 디지털 위성방송 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band dual phase 저잡음 하향변환기에 대한 변환이득과 잡음에 대한 관계를 그림 10에 나타내었다. 그림 9

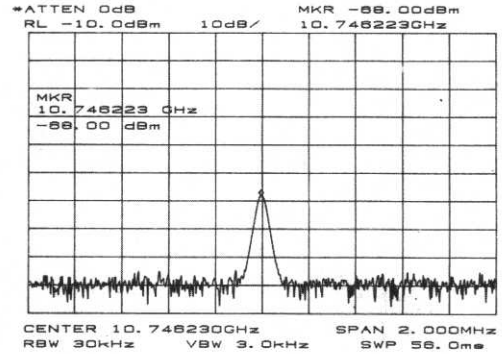


그림 7. 국부발진기의 누설전력 측정결과
Fig. 7. Measured result of local leakage power.

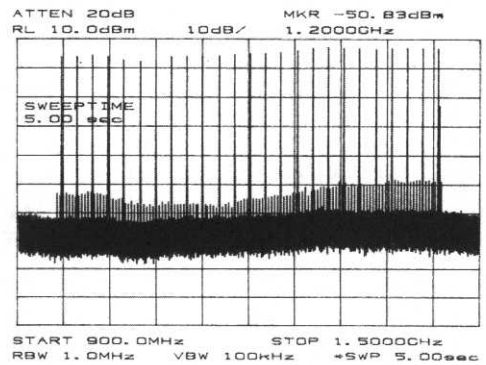


그림 8. Image Rejection 측정결과
Fig. 8. Measured result of image rejection.

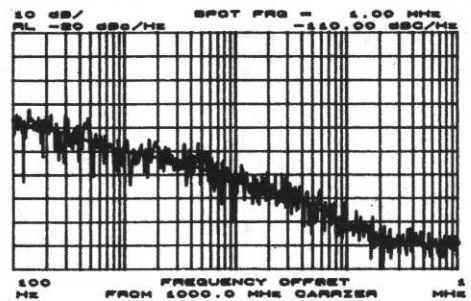


그림 9. DRO의 위상잡음 측정결과
Fig. 9. Measured result of phase noise of DRO.

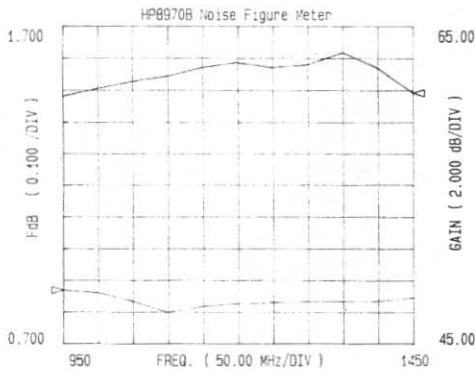


그림 10. Dual phase LNB의 변환이득과 잡음지수
 Fig. 10. Measures result of conversion gain and noise figure.

에서 위상잡음은 1 MHz에서 -110.00 dBc/Hz의 값을 가지며, 그림 10에서 변환이득은 60.5~63.5 dB로 리플이 3 dB이고, 잡음지수가 0.8~0.87이 됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Ansoft사의 Serenade를 사용하여 디지털 위성방송 수신을 위한 tracking antenna용 Ku band dual phase 저잡음 하향변환기 시스템을 설계하였다. 제작에 사용된 기판은 타코닉사의 Teflon TLT-9-0200이며, 크기가 81 mm×51 mm으로 소형화하였다. 각 블록단위로 설계하여 설계사양을 만족하도록 하였고, Ku band dual phase 저잡음 하향변환기 시스템은 저잡음 증폭기, 필터, 국부발진기, 혼합기, IF 증폭기로 구성하였다. 저잡음 증폭기는 11.7 GHz~12.2 GHz 대역에서 22 dB의 전달이득과 0.7 dB의 잡음특성을 나타내었다. 또한, RF 대역 통과필터는 11.7 GHz~12.2 GHz대역에서 0.3 dB의 삽입손실과 20 dB 이하의 반사계수를 나타내었다. 국부발진을 위한 DRO는 10.75 GHz에서 $Re [Z_{in}] < 0$, $Im [Z_{in}] = 0$ 조건을 만족하고, LO신호 출력은 3 dBm이었다. 혼합기는 Gate Bias를 조정하여 최적의 변환이득과 잡음지수를 가지게 설계하였다. 믹서

를 통과한 IF신호는 3 dB 증폭되었고, IF 신호를 제외한 RF와 LO 신호와 Spurious 신호들은 전부 -70 dBm 이하로 출력되었다. IF증폭기는 설계주파수 950 MHz~1450 MHz 사이에서 35 dB의 이득특성을 나타내었다. 동위상을 만족하게 하기 위하여 모든 입·출력의 정합을 같게 설계하였으며, 실제 제작에서 약간의 오차는 결합 장치와 제어 장치 사이 케이블 길이로 보상하였다. 디지털 위성방송용 고감도 저잡음 하향변환기 시스템에서 중요한 국부발진기의 온도특성과 변환이득 및 잡음지수는 아주 우수한 특성을 나타내었으며, 앞으로 국내 디지털 위성방송 수신을 위한 tracking antenna용으로 널리 보급될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] 최장진, "디지털위성방송과 핵심부품 설계기술 워크샵," 한국통신학회지, pp.109-157, 1995.
- [2] 이명수, "무궁화 3호 위성 및 미래 서비스 전망", 차세대 위성통신 기술 세미나, 1998.
- [3] Guan-Wu Eang, "A low cost DBS low noise block downconverter with a DR stabilized MESFET self-oscillating Mixer", *IEEE MTT-S Digest*, pp.1147-1145, 1994.
- [4] 진녕강, 마이크로파 공학. 청문각, 1996.
- [5] David M. Pozar, *Microwave Engineering*. Addison Wesley, 1990.
- [6] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers*. Prentice-Hall, 1997.
- [7] Tri T. Ha, *Solid-State Microwave Amplifier Design*. John Wiley & Sons, 1981.
- [8] J. A. G. Malherbe, Ph.D. *Microwave Transmission Line Filters*. Artech House, pp. 111-151, 1979.
- [9] Arthur B. Williams and Fred J. Taylor, *Electronic Filter Design Handbook*. McGraw-Hill, 1988.

고 봉 진 (高鳳震)



1986년 2월 : 한국항공대학교 통신
공학과(공학사)

1988년 2월 : 한국항공대학교 대학
원 전자공학과(공학석사)

1990년 3월~1995년 2월 : 한국항
공대학교 대학원 전자공학과(공
학박사)

1994년 3월~1996년 7월 : 인하공업전문대학 통신과 조교
수

1997년 6월~1997년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙연구
원

1996년 8월~현재 : 국립창원대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 통신, HAPS, UWB

임 윤 두 (林潤杜)



1997년 2월 : 경남대학교 전자공학
과(공학사)

1997년 1월~1997년 12월 : 전기연
구소 위축 연구원

1999년 3월~2001년 2월 : 창원대
학교 전자공학과 대학원(공학석
사)

2000년 12월~2001년 11월 : 유니모써엔티

2001년 12월~현재 : 코바스전자

관심분야 : 위성통신, 마이크로웨이브통신