

# 모노리딕 듀플렉서형의 LMDS(Local Multi-point Distribution Service)용 송수신기 모듈의 설계 및 구현

정희원 오인열\*, 정구희\*, 나극환\*

## A Design and Implementation of a Transceiver for LMDS Using the Monolithic Duplexer.

Inn-yeal Oh\*, Ku-hee Jung\*, Keuk-hwan Ra\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 밀리미터파를 이용하여 사용자에게 양방향 무선 멀티미디어의 구현을 가능케 하는 LMDS 송수신 모듈을 설계, 구현하였다. 제작된 LMDS 송수신 모듈은 신서사이저, 혼합기, 저잡음 증폭기, 고출력 증폭기, 듀플렉서 등으로 구성하였으며, 전체적으로는 전원부와 제어부를 통하여 이상여부를 감시하며, 송수신 모듈에 이상이 발생했을 때 이를 보호할 수 있도록 구현하였다. 여기서 DAVIC 표준에 맞도록 IF부 대역은 0.95~1.45GHz의 500MHz 대역폭에서 동작하도록 제작하였고, 상하향 혼합기는 격리도 특성을 최대화하였으며, 이를 위해 하이브리드 링형을 이용한 다이오드 평형 구조를 적용하여 설계하였다. 혼합기로 주입되는 Local 주파수는 안정도가 높아야 함으로 유전체 공진형 발진기로 구현하였다. 또한 저잡음 증폭기와 고출력 증폭기는 정보통신부에서 공고한 3사 주파수 대역을 모두 수용할 수 있도록 24GHz~26.5GHz의 대역에서 정상적인 동작을 할 수 있도록 설계하였으며, 특히 저잡음 증폭기는 잡음 환경에서 작은 신호를 손실 없이 얻을 수 있도록 잡음지수를 최소화하고, 30 dB 이상의 충분한 이득이 구현되도록 하였다. 고출력 증폭기는 15 dBm 이상의 출력을 송신하면서도 선형성에 문제가 없도록 혼변조왜곡(IMD) 특성을 고려하여 설계하였다. 그리고 듀플렉서는 우수한 주파수 선택도와 낮은 삽입손실 특성을 갖도록 송수신 필터 모두 5개의 공진기를 포함한 Chebyshev형 구조를 갖으며 생산성이 뛰어난 모노리딕형으로 구현하여, LMDS 송수신 성능을 구현하였다.

### ABSTRACT

This thesis is design for LMDS(Local Multi-point Distribution Service) transceiver which make bi-directional multimedia of wireless realize by using millimeter wave to user. The manufactured LMDS transceiver is composed with Synthesizer, Mixer, LNA, HPA, Duplexer and so on, and controlled by controller to monitor and conserve LMDS transceiver, when the faults arise in it. we designed make IF frequency operate in 0.95 ~ 1.45GHz band, this is basic on DAVIC standards, and designed low noise amplifier and high power amplifier to satisfy full band, 24 GHz ~ 26.5 GHz, that can be used in all of 3 company which supply LMDS service in korea. The mixer which converse IF signal to RF signal or verse applied balanced diodes of hybrid ring type to cut conversion loss and high isolation between ports. The synthesizer signal injected to mixer must have high stability then we applied dielectric resonator type. Especially the low noise amplifier has to get low noise figure and high gain to receive

\* 광운대학교 전자공학과 초고주파연구실(iyoh@korea.com)

논문번호 : 010040-0319, 접수일자 : 2001년 3월 21일

\* 본 연구는 2000년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었습니다.

weak signal without loss, and the high power amplifier is designed by thinking about inter-modulation distortion in state 15 dBm output, and we applied 5 resonators and chebyshev type to get high selectivity and low insertion loss to monolithic duplexer. We confirmed LMDS transceiver is compatible with system.

## I. 서론

오늘날 현대 사회의 기술은 컴퓨터, 통신, 방송의 통합을 이루면서 종합 디지털 멀티미디어 시대로 도약하고 있다. 특히 통신 저변 확대에 힘입어 음성, 영상, 데이터, 인터넷을 서로간에 주고 받을 수 있는 시대가 되었다. 유선망의 전화선으로부터 동축 케이블, 광 케이블 환경이 구축되고 있고, 무선망에는 셀룰라, PCS로부터 위성, IMT-2000 시스템을 이용한 양방향 멀티미디어 서비스를 제공하려 하고 있다. 이러한 시점에서 LMDS 시스템이 중요시되는 것은 몇몇의 위성 통신에만 국한되어 사용되어 왔던 밀리미터파(mm-wave) 대역을 이용하여 사용자가 사업자의 기지국을 통하여 서비스를 제공받을 수 있다는 장점 때문이다. 현재 PCS 대역까지만 하여도 심각한 전파 자원의 부족을 겪어야 했는데, 밀리미터파 대역을 이용하여 서비스를 제공함으로써 보다 넓은 채널을 사용하여 정보를 주고받을 수 있으면서 무선을 이용한 양방향 멀티미디어 서비스를 가능케 하기 때문이다. 특히 광케이블을 이용한 양방향 멀티미디어 서비스 망 구축은 국가 정책으로 추진하고 있지만 설치 기간이 오래 걸리며, 엄청난 투자를 요구한다. 반면 밀리미터파를 이용한 LMDS 시스템은 서비스 구현 기간이 짧으며, 투자비용도 저렴하여 사용자에게는 부담 없는 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다. 우리나라 역시도 이러한 LMDS 시스템을 이용하여 광대역 무선 가입자망을 구현하고자 하며 조만간 서비스를 제공할 것이다. 현재 LMDS에 대한 표준화 동향은 DAVIC 규격에서 의거하여 시스템을 준비하고 있으며, 이에 맞추어 서비스를 위한 시스템 사양이 중요한 과제로 부각되고 있다.

LMDS 시스템의 하향 대역은 방송용으로 할당되어 있는 주파수와 통신용 주파수로 구성되어 가입자에게 서비스를 할 수 있도록 되어 있으며 통신용 주파수에는 전화망과 인터넷 서버 그리고 VOD 서버에 연결되어 사용자가 원하는 요구 사항을 그때마다 받아들여 서비스를 언제든지 제공할 수 있는 시스템이다.

즉 LMDS 시스템을 통하여 일반 방송뿐만 아니라

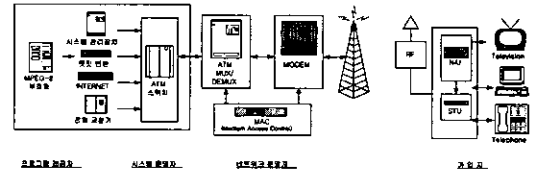


그림 1. LMDS 시스템 구성도

라 원하는 정보를 언제든지 제공받을 수 있는 것이다. LMDS 시스템 구조는 크게 교환국, 기지국, 중계국, 가입자 장치로 나눌 수 있다.

교환국은 AMU(Air Management Unit), Billing 시스템, NMS(Network Management System), ATM Switch, ATM Multiplexer, ATM Demultiplexer로 이루어져 있고, 두 번째로 기지국은 통신용을 위한 장비와 방송용을 위한 장비로 나누어 볼 수 있으며 통신용을 위한 장비는 AIU(Air Interface Unit), 상향 변환기, RF Unit으로 형성되어 서비스를 지원하며, 방송용을 위한 중계 장비는 디지털 변조기, 상향 변환기, RF Unit으로 구성된다. 여기서 RF Unit은 공동으로 사용이 가능하다. 그리고 세 번째로 중계국을 들 수 있는데, LMDS 시스템이 밀리미터파를 사용하는 특징 때문에 사용자에게 서비스를 제공하기 위해서는 다른 어느 시스템보다 중요도가 높은 장치이다. 밀리미터파는 다른 전자파와는 달리 직진성이 강한 특성을 갖음으로 해서 기지국에서 가지거리에 있지 않은 사용자는 서비스를 받을 수가 없다. 그럼으로 가지거리에 있지 않은 사용자에게 서비스를 제공하기 위해서는 기지국을 하나 더 세울 수도 있지만 사용자가 그리 많지 않다면 간단한 중계기나 반사판을 이용하여 가지거리에 있지 않은 사용자에게 서비스를 가능하게 할 수 있다.

마지막으로 가입자 장치는 사용자의 레벨에 따라 방송만을 서비스 받을 수 있는 사용자와 방송 및 통신의 서비스를 제공받으려 하는 사용자에게 따라 사용자 차이가 달라질 수 있다. 통신까지 제공받으려 하는 사용자는 옥외용 장치뿐 아니라 중계장치의 AIU에 대응되는 NIU 장치 있어야 하며 ATM Multiplexer와 Demultiplexer의 기능을 수행할 수 있어야 한다. 사용자는 이러한 환경에서 전화 및 인터넷 서비스, VOD(Video On Demand) 서비스를

제공받을 수 있게 된다.

본 논문에서는 밀리미터파를 사용하는 특징 때문에 사용자에게 서비스를 제공하기 위해서는 다른 어느 시스템보다 중요도가 높은 장치인 중계국의 LMDS 트랜시버를 설계 제작하였다. LMDS 트랜시버는 중간주파수(IF)신호를 고주파(RF)신호로 변환해 고출력 신호를 생성하는데 사용되는 고출력 송신기와 미약 전파를 수신하여 IF 신호를 만들어주는 역할을 한다. 그림 1은 LMDS 시스템의 구성도이며, 그림 2는 LMDS 트랜시버의 구조도이다.

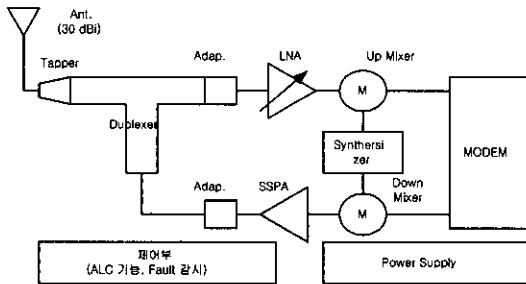


그림 2. LMDS 트랜시버의 구조도

## II. LMDS 트랜시버의 설계 및 제작

가입자와 중계소가 가시거리라고 할 때 최소 수신 가능 전력은 잡음지수, 서비스 가능한 최소 C/N 비와 관련하여 생각할 수 있다. 기지국에서 가입자에게 신호를 송신할 경우 가입자의 수신단 잡음지수가 6 dB, 수신 가능한 C/N비가 8.5 dB라고 한다면 가입자 수신기의 수신 감도는 대략 -105 dBm은 입력이 되어야 서비스 제공을 받을 수 있다. 여기서 LMDS 주파수의 2Km 반경의 경로 손실은 128dB 정도이고, 50ml/h의 강우에서 10dB 정도의 마진을 감안하고, 여기서 안테나 이득과 코딩이득을 고려한다면 기지국이나 중계기는 -20dBm이상의 출력을 송출하여야 한다는 가정이 나온다. 그러나 가입자의 수신 감도의 편차를 충분히 감안하여 30dB의 여유를 두고 기지국의 출력을 고려하였을 때 10dBm 이상의 출력을 송출해야 할 것이다. 이를 근거로 LMDS 트랜시버의 사양을 표 1과 같이 나타내었다. 이러한 링크 버짓의 환경에서 기지국 시스템과 중계국 시스템, 가입자 장치를 고려하여 설계하여야 한다. 특히 밀리미터파는 전파의 직진성의 특성을 갖고 있으므로 음영 지역의 해소가 필수적이며, 앞으로의 광대역 멀티미디어의 보편화를 위해 설 계

획을 심각하게 고려하여야 한다. 이에 필요한 밀리미터파 관련 모듈은 듀플렉서, 고출력 증폭기, 저잡음 증폭기, 상향하향 변환기, 신시사이저, Adaptor 류 등을 들 수 있다. 어느 것 하나 소홀히 할 수 없으며, 심지어는 Adaptor 조차도 심각히 고려하지 않으면 통신 시스템으로써 구현되지 않는다. 이를 위해 각 모듈의 사양을 정하였고, 이에 맞추어 설계 제작하였다.

설계 제작된 LMDS 트랜시버는 송신부와 수신부로 나누어 볼 수 있는데, 송신부는 IF 주파수인 0.95 ~ 1.45GHz의 500MHz 대역폭의 신호를 입력받아 IF 주파수를 혼합기에 입력시킨다. 이때 혼합기에 인가되는 IF 주파수의 전력을 조절하여 혼합기가 효율적으로 동작하도록 하여야 하며, 혼합기에 입력력되는 IF 주파수와 유전체 공진형 발진기의 주파수(25.3 GHz)를 혼합하여 합과 차의 주파수를 발생시켜 밀리미터파의 RF 신호를 얻어 이를 큰 출력으로 사용자에게 송출하는 역할을 하며, 수신부는 송신부와 반대로 밀리미터파의 신호를 받아서 IF 주파수로 변환하여 모뎀 입력에 넣어 신호처리가 가능토록 하여야 하는데, 수신되는 신호가 원거리로부터 오기 때문에 신호가 약해진다. 이 미약한 신호를 받을 수 있도록 하기 위해 잡음지수를 고려하여 설계하여야 한다.

표 1. 요구되는 LMDS 트랜시버 사양

규격	사양	기타
사용자쪽 수신 / 기지국쪽 송신 주파수	26.25GHz~26.75GHz	Down-link
사용자쪽 송신 / 기지국쪽 수신 주파수	24.35GHz~24.85GHz	Up-link
P1dB	21 dBm (Min)	
수신 감도	-80 dBm (Max)	
수신단 잡음지수	4.5 dB (Max)	
출력의 혼변조왜곡도	30 dBc (Min) @ 15 dBm	
입력 전원	5A (Max) @ 12V	

### 2.1 저잡음 증폭기(LNA) 제작

저잡음 증폭기는 잡음환경에서 감쇄된 신호를 얼마나 깨끗하게 수신할 수 있는지를 결정하는 모듈이다. 이를 잡음지수로 수치화해서 나타내며 시스템 전체의 잡음지수는 저잡음 증폭기에 의해 거의 결정된다. 이렇게 결정된 시스템 전체 잡음지수에 의

해 감도점이 정해지고, 감도점에 의해 서비스 영역에서 얼마의 고출력 증폭기(SSPA)의 출력을 가져야 하는지를 결정하게 된다. 그럼으로 밀리미터파의 제약으로 인해 시스템 구현이 어려운 상황에서 시스템 성능을 올리기 위해서는 저잡음 증폭기의 특성을 개선시키는 것이 필수적이다. 밀리미터파의 저잡음 증폭기는 열잡음에 의해 잡음특성이 결정된다. 이러한 열 잡음특성을 개선시키기 위해서 나온 PHEMT(Pseudo-High Electron Mobility Transistor), MESFET(Metal Semi-conductor Field Effect Transistor)이 있으며, 본 논문에서는 PHEMT형으로 저잡음 증폭기를 구현하였다.

그림 3은 25 GHz 대역의 잡음지수를 측정할 수 있는 블록도이다. 일반적인 잡음지수 계측기(Noise Figure Meter)가 직접 25 GHz의 대역을 측정할 수 없기 때문에 이를 측정할 수 있도록 장비의 재설치가 요구되어지기 때문이다. 25 GHz 주파수에서 2.5 dB 이하의 좋은 결과를 얻었다. 그리고 이득과 반사손실은 Anritsu사의 37369A의 Network Analyzer를 사용하여 측정하였으며, 계측기 보호를 위해 출력단에 30 dB 감쇄기를 삽입시켜 주었다.

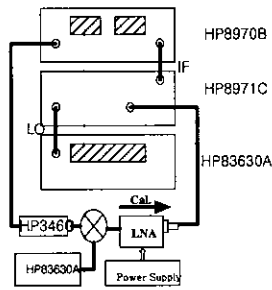


그림 3. 잡음지수 측정용 위한 구성도

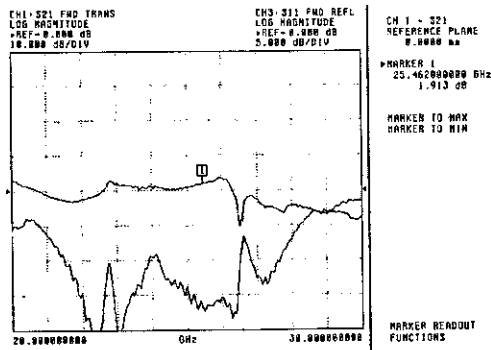


그림 4. 저잡음 증폭기의 이득 특성

그림 4와 5의 결과를 보았을 때 저잡음 증폭기는 31.9 dB의 특성을 가짐을 알 수 있었으며, 송수신 주파수 전대역에서 24 GHz에서 26.5 GHz 대역까지 31.5 dB  $\pm$  0.5dB의 특성을 갖는다. 그리고 전 사용 대역내에서 -10 dB 이하의 반사손실 특성을 가짐을 알 수 있다.

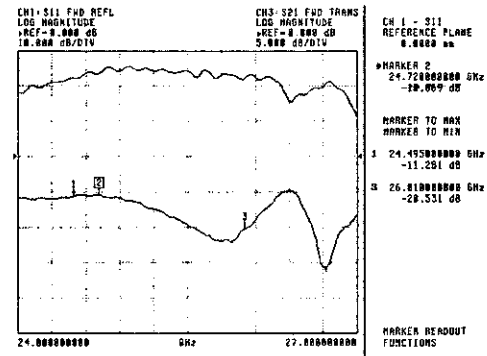


그림 5. 저잡음 증폭기의 반사 특성

## 2.2 고출력 증폭기의 설계 및 제작

정보를 목적하는 곳까지 무선채널로 전달하기 위해서는 일정 출력이상을 송출할 수 있어야 한다. 고출력을 담당하는 모듈이 SSPA(Solid State Power Amplifier)인데 밀리미터파에서의 고출력의 송출은 현재 한계가 있다. GaAs FET(Field Effect Transistor), 이나 BJT(Bipolar Junction Transistor)를 이용하여 SSPA가 설계가 되는데, 이러한 소자들이 현재 기술로는 밀리미터파에서는 출력의 한계를 갖기 때문이다. 그러므로 2Km의 서비스 영역을 서비스해 줄 수 있도록 하는 15dBm 사용 출력을 정하였으며, 이를 위해 21dBm 이상의 P1dB를 갖도록 설계하였다. 고출력 증폭기에서는 두 번째로 효율을 고려하여 설계하여야 한다. 시스템의 전력 소모의 80~90%가 고출력 증폭기 모듈에서 발생하기 때문이다. 이를 위해 고출력 증폭기의 전압 동작점을 심각하게 고려해 주어야 하는데, 고출력 증폭기의 동작점으로는 A급, AB급, B급으로 고려하여 설계한다. B급쪽으로 고출력 증폭기를 동작시키면 시킬수록 효율면에서는 좋지만(전력소모가 적지만)신호가 왜곡되는 현상이 있으므로 Trade-off가 필요하다. 디지털통신 시스템에서는 아날로그 통신에서보다 증폭기의 선형성이 강조되고 있으므로 디지털 LMDS 시스템 역시 고출력증폭기의 설계를 효율 쪽으로만

강조하여 설계해서는 시스템 성능이 제대로 구현되지 않을 것이다. 이에 제작된 LMDS용 SSPA는 혼변조왜곡의 정도를 고려하여 출력을 연도록 설계하였다. 다음은 제작된 SSPA 특성 결과를 나타낸다.

그림 6, 7의 결과를 보았을 때 SSPA는 24 GHz에서 26.5 GHz 대역에서 34.60 dB ~ 33.65 dB의 특성으로 송수신 대역 어디에서 사용하더라도 평탄도를 유지함을 알 수 있었으며, 전 사용 대역내에서

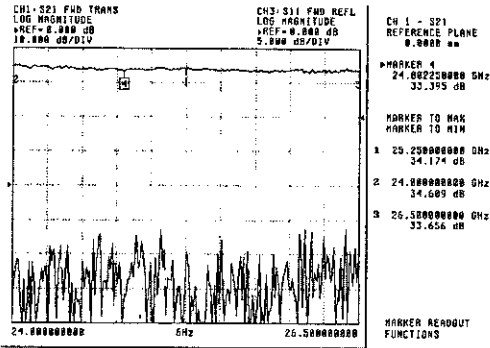


그림 6. SSPA의 이득 특성

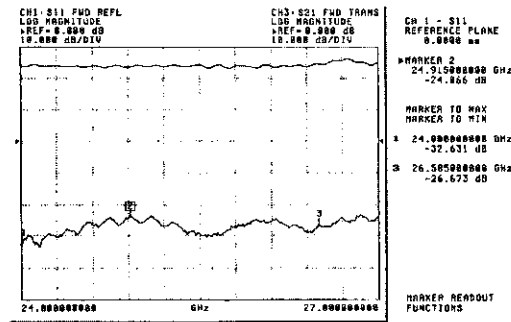


그림 7. SSPA 반사손실 특성

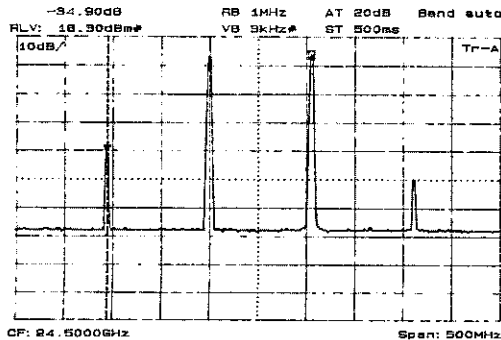


그림 8. SSPA 혼 변조 왜곡(IMD)의 특성

-24 dB이하의 반사손실 특성을 갖음을 알 수 있다. 그리고 그림 8은 SSPA의 혼변조왜곡 특성을 나타내는 곡선이며, 측정은 Anritsu사의 MS2668C Spectrum Analyzer를 이용하였고, 15 dBm에서 34.9 dBc의 좋은 결과를 얻었다. 두 신호의 Tone은 24.45 GHz 와 24.55GHz의 입력을 사용하였다.

### 2.3 신서사이저의 설계 및 제작

LMDS 시스템은 방송용 및 통신용 주파수로 나누어져서 서비스된다. 사업자는 원하는 서비스를 제공하기 위해서 그리고 가입자가 원하는 서비스를 받아들일 수 있기 위해서는 신서사이저가 필수적으로 요구된다. 신서사이저는 원하는 주파수에 Locking을 시켜 신호를 송출하는 역할을 담당한다. 그러므로 얼마나 정확히 원하는 단일 주파수로 만들어 줄 수 있느냐가 신서사이저의 핵심이며, 이의 판단을 위해 안정도와 위상잡음의 사양이 심각히 고려된다. 밀리미터파의 신서사이저의 필요 기술에는 VCO 기술, PLL 기술, 주파수 체배기 기술 또는 분배기 기술이 요구된다. 직접 밀리미터 VCO를 이용하는 경우 위상 잡음이 좋지 않고 밀리미터 대역에서 동작하는 분배기를 제작하기 어렵기 때문에 2.53GHz를 발진시킨 후 10 체배를 하여 원하는 25.3 GHz의 PLL Locking된 주파수를 얻었다. 가입자가 사용하는 NIU는 Burst Modem과 신서사이저와의 인터페이스도 고려하여야 하고 스위칭 시간도 고려되어야 한다. 본 논문에서는 2.53 GHz의 신호를 위상잡음 특성이 우수한 형태로 설계하기 위하여 WGM(Whispering Gallery Mode)으로 동작하는 유전체 공진기를 사용하였으며, 그림 9는 입력 회로에 유전체 공진기를 사용한 직렬 케환형 FET 발진기를 보여준다. 트랜지스터 발진기의 설계는 회로가 불안정하도록 설계된다는 것을 제외하고는 트랜지스터 증폭기의 설계와 매우 유사하며, 저잡음과 높은 주파수 안정도를 실현하기 위하여 발진기 설계에 공진기가 포함된다.

소스 반사 계수의 크기는 유전체 공진기와 마이크로스트립 선로 사이의 간격에 의해 결정되어지며, 소스 반사 계수의 위상각은 그림 9의 입력 선로의 길이 l에 의해 결정되어진다. 설계 방법중 소신호 발진기 설계는 정상 상태 발진신호의 레벨을 예상할 수 없다는 단점이 있지만, 최대 출력 전력과 효율이 중요하지 않다면 소신호 산란계수를 사용하므로써 만족할만한 발진기를 설계할 수 있다.

그림 9의 발진기에서 발생하는 전력의 세기는 직

류 바이어스 전압을 조절하여 변화시킬 수 있다. 여기서 FET를 발전하도록 사용한 방법은 스미스 도표 상에서 잠정적 불안정영역을 늘리기 위하여 직렬 케환 소자를 소스포트에 연결하였다. 선정된 소자의 산란계수는 이 케환 소자에 의해 변하게 되는데, 이 새로운 산란계수는 3포트 S-파라미터 변환에 의하여 구할 수 있다. 이 3포트 S-파라미터 변환을 하게 되면 직렬과 병렬 케환 요소를 Z-파라미터나 Y-파라미터로 변환할 필요가 없다는 잇점이 있다. 그림 10은 2.53 GHz 의 신호를 입력받아 25.3 GHz의 출력을 얻는 구조도이다. 멀티플라이어의 기본적 동작은 SRD의 동작 특성을 이용하였다. 역방향 동작점에서는 아주 작은 일정한 용량값을 가지고 순방향 동작점에서는 거의 무한대의 용량값을 가짐으로 한 주기마다 임펄스성 신호를 얻을 수 있고, 높은 차수의 고조파 성분들을 효율적으로 생성할 수 있다.

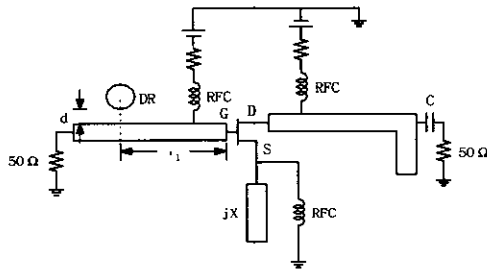


그림 9. 입력 회로에 유전체 공진기를 사용한 직렬 케환형 FET 발전기

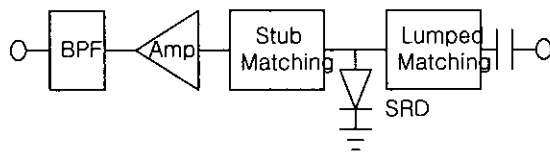


그림 10. 주파수 체배기의 구조도

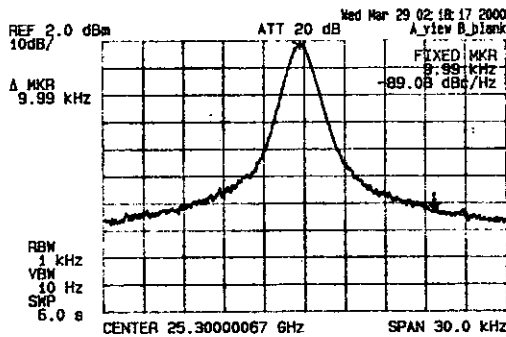


그림 11. 신서사이저의 위상잡음과 출력 특성 결과

이렇게 생성된 신호를 증폭한 다음 BPF를 사용하여 원하는 주파수를 얻었다. 그림 11은 25.3 GHz의 PLL Locking된 상태에서 10KHz Offset에서 89 dBc/Hz의 위상잡음 특성과 0 dBm 정도의 출력 특성을 얻은 결과이다.

#### 2.4 혼합기 설계 및 제작

상하향 변화기의 혼합기는 신서사이저의 출력을 Local입력으로 받아서 IF 주파수 신호를 RF 주파수로 변환하거나 RF 주파수는 IF 주파수로 만들어 주는 역할을 한다. 여기서 정확한 채널의 신호로 만들어 주기 위해서는 신서사이저의 안정도의 혼합기는 할당된 채널로 들어오는 공중파 신호를 중간주파수로 만들어 복조가 가능할 수 있도록 한다. 혼합기는 주로 다이오드나 FET, BJT로 구현이 되는데 변환 손실을 줄이기 위해 FET나 BJT를 많이 사용한다. 이러한 능동소자를 사용하여 혼합기를 구현하는 방법으로는 Local입력을 어떻게 구현하느냐에 따라서 혼합기의 여러 형태로 구현된다. 잡음지수 입장에서 다이오드로 구현되는 혼합기가 능동 소자의 혼합기 보다는 좋은 특성을 갖는다. 이 때문에 변환 손실을 희생하더라도 잡음 특성을 높이기 위해 다이오드 형태로 혼합기를 설계하였다. 송신용 혼합기에서는 혼합기에서 발생하는 원하지 않는 신호를 최소화하고 선형 영역에서 동작하기 위하여, LO 신호의 전력 레벨이 IF 신호의 전력 레벨보다 적어도 10dB 이상이어야 한다. 그림 12는 하이브리드형으로 구현된 이중 평형 다이오드 혼합기이다.

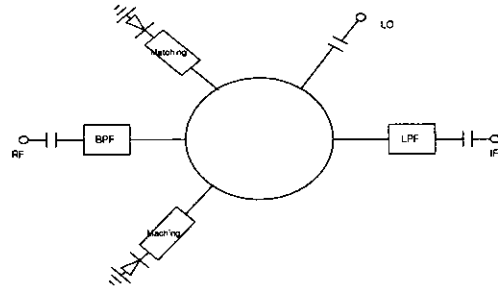


그림 12. Hybrid 형 다이오드 혼합기

하이브리드의 특징은 LO 신호가 RF 신호에 전혀 영향을 미치지 않는다는 장점을 가지면서 평형 다이오드 혼합기의 구현을 가능케 하여서 충분한 LO 신호와 IF 신호가 충분히 작용하여서 손실 없는 RF 신호를 얻을 수 있다. 그림 13은 상향용 혼합기의 격리도 특성을 Anritsu사의 MS2668C

Spectrum Analyzer로 측정한 결과이며, 그림 14는 960 MHz 중간 주파수의 입력을 넣어준 다음 혼합기의 Local 신호인 신서사이저 신호와 작용하여 RF 포트에서 얻은 신호의 출력 결과이다.

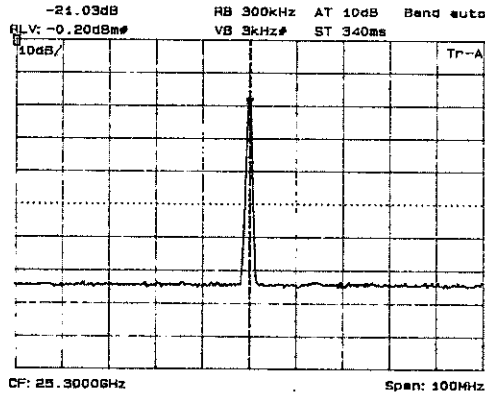


그림 13. 상향용 혼합기의 LO-RF 격리도 특성결과 @ PLO = 0dBm

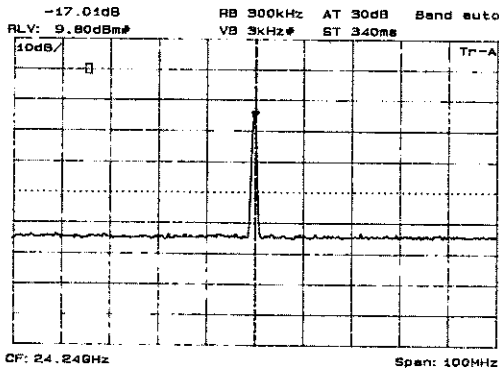


그림 14. 상향용 혼합기의 변환손실 특성결과

그림 13의 실험 조건은 Local 입력 포트에 25.3 GHz의 Local 신호 입력을 넣고 RF 출력 포트에 넘어오는 신호의 출력을 확인하였다. 이때 IF 입력 포트는 터미네이션을 시켜 주어 실험하였다. 이렇게 하여 Local 신호가 RF 포트에 넘어 오는 양이 얼마나 되는냐를 따져 격리도의 결과를 얻었다. 여기서 Local 신호로는 직접 제작한 신서사이저의 출력을 사용하였다. 그림 13에서 얻은 결과에서 볼 수 있듯이 신서사이저의 0 dBm 출력을 혼합기의 Local 입력시켜 주었더니 RF 출력 포트에 -21dBm의 출력을 얻었다. LO와 RF 포트간의 격리도는 21dB 이하임을 확인하였다. 그리고 IF와 LO포트간의 격리도와 IF와 RF 포트간의 격리도는 주파수 이

격이 크므로 중요한 사양이 되지 않아 측정하지 않았다. 그림 14는 960 MHz 중간 주파수의 입력을 넣어준 다음 혼합기의 Local 신호인 신서사이저 신호와 작용하여 RF 포트에서 얻은 신호의 출력 결과이다. 이때 사용한 중간 주파수의 레벨은 0 dBm을 입력 시켰으며, RF 포트에서 얻은 RF 신호의 레벨은 -17 dBm의 결과를 얻었다. 이에 -17 dB의 변환 손실을 갖는 혼합기임을 결과로 얻었다. 다이오드를 사용하여 혼합기를 설계하였기 때문에 변환 손실이 약간 큼을 알 수 있지만 충분한 격리도 특성을 가짐을 알 수 있다.

### 2.5 LMDS용 듀플렉서의 설계 및 제작

듀플렉서 필터는 송수신 전파를 분리해 주는 중요한 역할을 담당한다. 송신 신호가 수신에 영향을 미친다면 통신은 이루어질 수 없다. 그러므로 송수신 안테나를 분리하여 송신안테나와 수신안테나를 격리시켜 송수신 신호가 서로간에 영향을 받지 않도록 설계하는 것이 가장 좋지만 송수신 안테나를 분리할 수 없는 경우에는 듀플렉서 사용이 필수적이다. 본 논문에서는 LMDS 송신부에 필요한 24.35 ~ 24.85 GHz의 대역의 대역통과 필터를 표 2에 주어진 설계 사양에 맞게 일반화된 0.01dB Chebyshev 필터로 설계하였다.

듀플렉서 SSPA에서 송신되는 신호를 손실 없이 보내면서 다른 인접 대역에 영향을 미치지 않도록 설계되어야 한다. 이렇게 설계된 듀플렉서에 의해 하나의 안테나를 사용하여 서비스를 제공할 수 있게 된다. 특히 밀리미터파 대역의 듀플렉서는 WR 28 또는 WR 42의 Waveguide로 구현이 가능하며, 모노리딕 형태로 구현하는 것이 현재의 추세이다. 그래서 본 논문에서는 듀플렉서를 모노리딕 형태로 구현하였으며 입출력 포트의 개구는 WR 28로 해주었고 Adaptor가 WR 42 to K-Connector임으로 해서 입출력 포트의 구조는 WR 42 구조를 적용하여 설계하였다.

표 2. Milimeter wave LMDS용 대역통과 필터의 설계 사양

구분	TX 설계사양	RX 설계사양
주파수 대역	24.35 ~ 24.85 GHz	26.25 ~ 26.75 GHz
최대 삽입손실	2dB(Max.)	2dB(Max.)
반사 손실	-15dB(Max.)	-15dB(Max.)
입력 최대 전력	1.5kWatts	1.5kWatts
감쇄도	-40dB(Max.)@edge	-40dB(Max.)@edge

우수한 주파수 선택도와 낮은 삽입 손실 특성을 갖도록 하기 위하여, 필터의 구현은 집중정수 소자로 구성된 저역 통과 원형 필터 회로의 필터 함수와 각각의 소자 값을 결정한 후, 주파수 변환함수를 이용하여 대역통과 필터로 변형하였다. 이 집중정수 소자로 구성된 대역통과 필터는 특성 임피던스 K에 대해  $\lambda/4$ 선로와 같은 작용을 하는 임피던스 변환기를 사용하여 분포정수 소자로 구성된 대역통과 필터로 재 구현되어진다. 이렇게 구현된 저역 통과 원형 필터는 저역 통과 대역통과 사상에 의하여 주파수 변환되어지며, 이렇게 설계된 대역통과 필터를 초고주파용 분포정수 소자로 구현하기 위하여 임피던스 변환기나 어드미턴스 변환기를 사용하여 직렬 또는 병렬 공진기 만으로 변환할 수 있으며, 본 논문에서는 임피던스 변환기를 사용하여 직렬 공진기 만을 갖는 대역통과 필터 형태로 변환하였다. 그림 15는 사용된 임피던스 변환기의 등가회로이다.

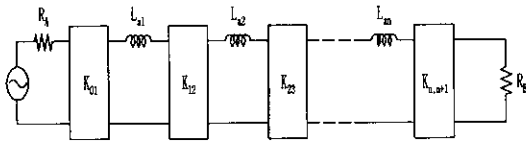


그림 15. 임피던스 변환기의 등가회로

실제 제작된 도파관 유도성 창 타입의 필터 개구 간격 d와 공진기 길이 l을 구하기 위하여 식(1)과 식(2)에 의해 계산된 임피던스 변환기 값과 도파관에 삽입된 유도성 창의 등가 리액턴스가 사용된다.

$$\frac{K_{01}}{Z_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{\omega_\lambda}{g_0 g_1 \omega_1'}} \quad (1)$$

$$\frac{K_{j,j+1}}{Z_0} \Big|_{j=1 \text{ to } n-1} = \frac{\pi \omega_\lambda}{2 \omega_1'} \frac{1}{\sqrt{g_j g_{j+1}}}$$

$$\frac{K_{n,n+1}}{Z_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{\omega_\lambda}{g_n g_{n+1} \omega_1'}}$$

여기서,

$$\omega_\lambda = \frac{\lambda_{g1} - \lambda_{g2}}{\lambda_{g0}}, \quad \lambda_{g0} = \frac{\lambda_{g1} + \lambda_{g2}}{2}$$

이고

$$\frac{X_{j,j+1}}{Z_0} = \frac{\frac{K_{j,j+1}}{Z_0}}{1 - \left(\frac{K_{j,j+1}}{Z_0}\right)^2} \quad (2)$$

이다.

그리고 아이리스간의 전기적 길이  $\theta$ 는 식(3)과 같고, 그 식을 이용하여 실제 제작된 대칭적 유도성 창의 물리적 길이 l을 식(4)에 의해 구하였다.

$$\theta_j = \pi - \frac{1}{2} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{2X_{j-1,j}}{Z_0} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{2X_{j,j+1}}{Z_0} \right) \right] \quad (3)$$

이고

$$l_j = \frac{\lambda_{g0} \theta_j}{2\pi} \quad (4)$$

와 같다.

그림 16은 설계된 유도성 창을 이용한 대역통과 필터이며, 그림 17, 그림 18은 이 구조도를 모노리딕형으로 구현한 RX, TX 필터의 사진이다. 이렇게 각각 제작된 필터를 T-접합의 접합을 통해 듀플렉서를 구현하였다. 접합할 때 RX 필터는 TX대역에서 개방으로 보일 수 있으면서, TX 필터는 RX 대역에서 개방으로 보일 수 있도록 한 지점에 접합을 함으로써 송수신 신호간의 충분한 격리도를 유지시켜야 한다. 그림 19는 TX 필터의 삽입손실 측정도이며, 그림 20, 그림 21은 듀플렉서의 TX 필터부의 삽입손실 및 반사손실의 측정결과이며, 그림 22, 그림 23은 듀플렉서의 RX 필터부의 삽입손실 및 반사손실을 나타내는 측정 결과이다.

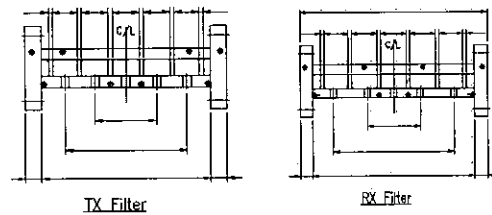


그림 16. 설계된 대칭적 유도성 창을 이용한 대역통과 필터

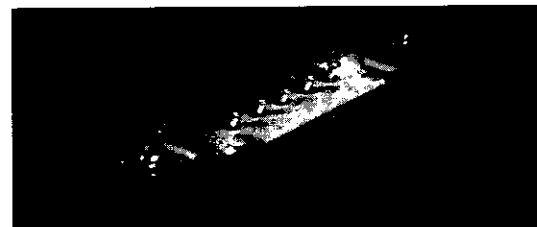


그림 17. 제작된 모노리딕형의 TX 필터



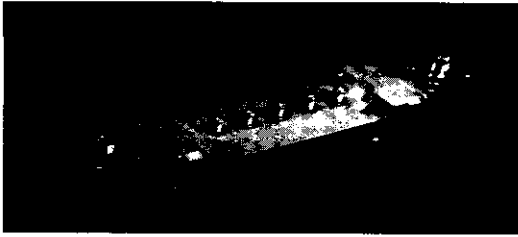


그림 18. 제작된 모노리틱형의 RX 필터

얻어진 듀플렉서의 특성 결과를 보면 TX 필터는 대역내에서는 1.3 dB의 삽입손실(그림 20의 Marker 1)과 최대 2.16 dB의 삽입손실(그림 20의 Marker 4)을 갖고 있으며, 반사손실은 최대 -15.98 dB(그림 21의 Marker 4)의 특성과 RX 대역에서 -56 dB(그림 20의 Marker 2) 이상의 격리도를 갖음을 볼 수 있다. RX 필터는 대역내에서는 1.08 dB의 삽입손실(그림 22의 Marker 2)과 최대 1.717dB의 삽입손실(그림 22의 Marker 3)을 갖고 있으며, 반사손실은 최대 -15.14 dB(그림 23의 Marker 3)의 특성과 RX 대역에서 -52.5 dB(그림 22의 Marker 1) 이상의 격리도를 갖음을 볼 수 있다. 표 2의 설계사

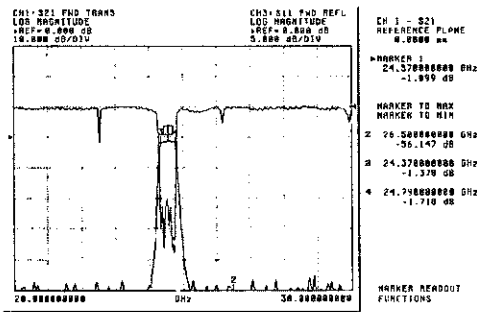


그림 19. TX 필터의 삽입손실 특성

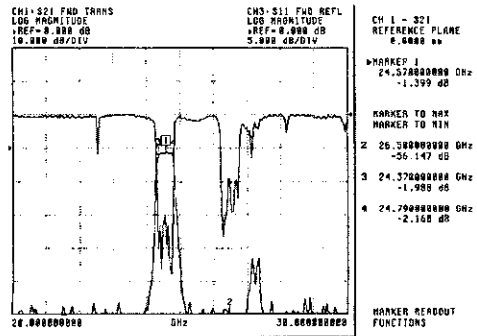


그림 20. 듀플렉서의 TX필터부의 삽입손실 특성

양에 비교하여 보았을 때 격리도 입장에서서는 뛰어난 결과를 얻음을 알 수 있으며, 반사손실도 만족함을 알 수 있으나 삽입 손실 입장에서 TX 필터는 최대 2.16 dB의 결과를 얻음을 알 수 있다. 이는 접합하기전의 TX 필터 삽입손실이 최대 1.71 dB(그림 19의 Marker 4)임을 감안하여 볼 때 접합으로 인한 손실이 0.45 dB 더 발생하고 있음을 볼 수 있다.

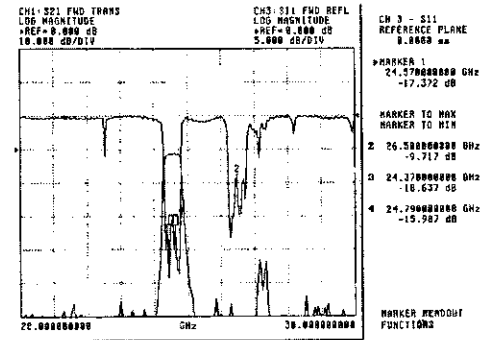


그림 21. 듀플렉서의 TX 필터부의 반사손실 특성

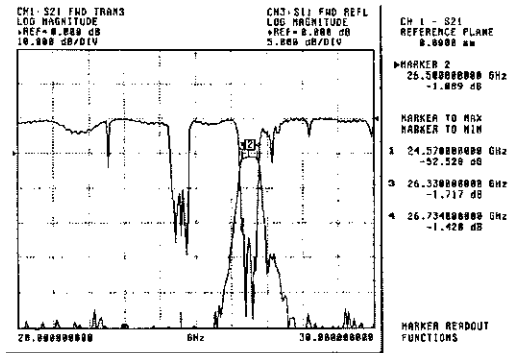


그림 22. 듀플렉서의 RX 필터부의 삽입손실 특성

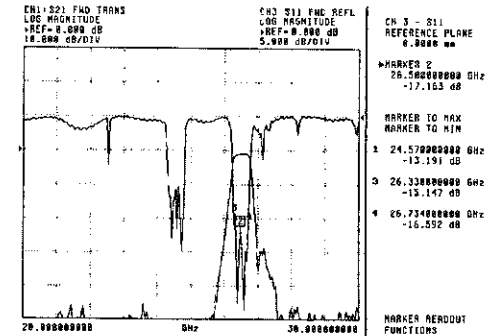


그림 23. 듀플렉서의 RX 필터부의 반사손실 특성

### Ⅲ . 실험 및 고찰

본 논문에서는 LMDS 트랜시버에 사용되는 밀리미터 대역의 고출력 증폭기, 저잡음 증폭기, 혼합기, 신서사이저, 듀플렉서, Wilkinson형 전력 분배기등을 설계, 제작하였다. 각각의 모든 모듈은 링크 버짓을 기반으로 사양을 정했으며, 이에 대한 충분한 사양의 결과를 얻은 모듈을 제작하였다. 고출력 증폭기는 송수신 전대역에서 33.5 dB ± 0.5 dB의 이득을 가지면서 15dBm의 출력에서 34.9 dBc의 혼변조왜곡 특성 결과를 얻었으며, 저잡음 증폭기 역시 송수신 전대역에서 31.5 dB ± 0.5 dB의 이득 특성과 2.5 dB의 잡음지수 특성을 얻었다. 그리고 52dBc 이상의 뛰어난 송수신 주파수 격리도 특성을 가지면서 전대역에서 2.16 dB 이하의 삽입손실로 구현된 다이플렉서를 구현하였다. 특히 모노리딕형으로 구현되어 트랜시버의 생산성을 높인데 의미가 있다. 이 이외에도 89 dBc/Hz @ 10KHz의 뛰어난 위상잡음 특성을 갖는 신서사이저와 이 신서사이저 신호를 입력받아 RF, IF 각 신호를 변환해주는 Up/Down 혼합기(Mixer)를 구현하였다. 이외에도 신서사이저의 출력을 혼합기 입력으로 각각 넣어 주기 위해 Wilkinson형 전력 분배기가 필요하며, Adaptor가 고려되어 각각 포트에 적용되어야 하는데 여기에 속할 수 있는 Adaptor는 Waveguide to K-connector, K-connector to Waveguide형 그리고 Waveguide형이 다름으로써 발생하는 Tapper등을 들 수 있으며 이러한 모든 내용까지 LMDS 트랜시버에 고려하여 설계해 주었다.

그림 24은 최종적으로 설계, 제작된 밀리미터파 대역 LMDS용 트랜시버의 사진이다.

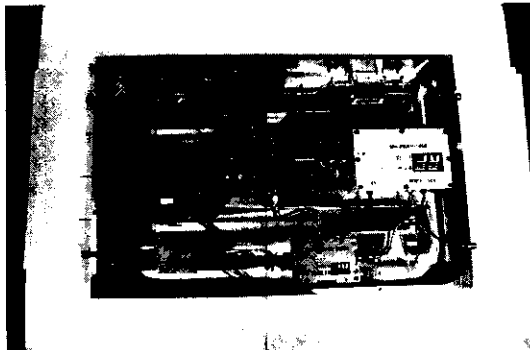


그림 24. 제작된 밀리미터파 LMDS용 트랜시버

### Ⅳ . 결론

본 논문에서는 LMDS 트랜시버를 설계, 제작하였다. 각 모듈은 뛰어난 특성을 갖음을 확인하였으며, 이에 LMDS 트랜시버에 사용되는데 전혀 무리가 없음을 알 수 있다. 또한 높은 송수신 격리도를 유지하면서 삽입손실이 적은 다이플렉서를 모노리딕형으로 구현하여 생산성을 갖추었다는데 의미가 있다. 다만 현재 측정된 능동 모듈의 값은 25도의 상온에서 85%의 습도상의 최적의 입장에서 측정된 결과이며, 능동 모듈의 온도 보상회로가 적용되지 못해 SSPA는 28.5(가로) x 28.8(세로) x 16.2(높이)mm의 작은 사이즈에서 600mA/5V의 전력 소모가 일어남으로 인해 1시간 이상의 지속 검사시에는 SSPA 표면온도가 70도 이상의 온도 상승이 일어난다. 이때 이득변화는 2.7dB(34.1 dB → 31.4 dB @ 25.25 GHz)의 변화량을 갖는다. 이로 인해 SSPA는 필수적으로 방열판을 적용하여서만이 동작이 가능한 상태임으로 차후 온도보상 회로를 추가함이 요구된다. 또한 모든 모듈은 Microwave 집적회로(MIC) 공정으로 진행하여 설계하였으며, 차후 모든 모듈은 MMIC화하여야 할 과제가 남아 있다고 하겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, John Wiley & Sons, Inc. 1981
- [2] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc., 1997
- [3] Robert E. Collin, Foundations For Microwave Engineering, McGraw-Hill, Inc., 1992
- [4] Eric L. Holzman, Ralston S. Robertson, Solid-State Microwave Power Oscillator Design, Artech House, Inc., 1992
- [5] Kai Chang, Microwave Solid-State Circuits and Applications, John Wiley & Sons, Inc. 1994
- [6] Allan W. Scott, Understanding Microwaves, John Wiley & Sons, Inc. 1993
- [7] Allen A. Sweet, MIC & MMIC Amplifier and Oscillator Circuit Design, Artech House, Inc. 1990
- [8] Darko Kajfez, Pierre Guillon, Dielectric

- Resonators, Artech House, Inc. 1986
- [9] Samuel Y. Liao, Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, Prentice-Hall, Inc., 1987
- [10] David Summer, KIZZ, The ARRL UHF/Microwave Experimenter's Manual, The Americam Radio Relay League, Inc. 1990
- [11] Stephen A. Mass, The RF and Microwave Circuit Design Cookbook, Artech House, Inc. 1998
- [12] Inder Bahl, Prakash Bhartia, Microwave Solid State Circuit Design, John Wiley & Sons, Inc. 1988

나 극 환(Keuk-hwan Ra)

종신회원



1981년 7월: 블란서 ENSEEIHT  
국립 종합 공과대학 졸업  
(박사)

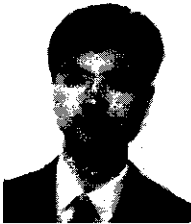
1981년 9월~1986년 12월:  
광운대학교 전자공학과  
부교수

1987년 1월~1988년 1월: 미국 COSMST 연구소  
객원 연구원

1988년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 교수  
<주관심 분야> RF 및 마이크로파통신 시스템 기술,  
선형화 및 출력 최적화 기술, 밀리미터파  
통신 시스템 기술, 수치 해석

오 인 열(Inn-yeal Oh)

정회원



1993년 2월: 광운대학교  
전자공학과 졸업(학사)

1996년 8월: 광운대학교  
전자공학과 졸업(석사)

1996년 7월~1999년 8월:  
(주)LG정보통신 중앙연구소  
이동통신단 연구원

1999년 8월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정

1999년 8월~현재: (주)알에프하이텍 연구소 LMDS  
중계기 개발팀 팀장(전임 연구원)

<주관심 분야> 이동통신시스템 및 부품연구, 디지  
털방송 및 LMDS 기술, 고출력 증폭기 선  
형화 기술

정 구 희(Ku-hee Jung)

준회원



1995년 8월: 서울산업대학교  
전자공학과 졸업(학사)

1999년 2월: 광운대학교  
전자공학과 졸업(석사)

2000년 3월~현재: 광운대학교  
전자공학과(박사과정)

<주관심 분야> 이동통신시스템 및 부품연구, 마이  
크로파 수동소자 연구, 고출력 증폭기 선  
형화 기술