
디지털 위성방송 지상 리피터용 고 이득 채널 증폭기 설계

이강훈* · 이영철**

The Design of High Gain Channel Amplifier for Terrestrial Repeater of Digital Satellite Broadcasting

Kang-Hun Lee* · Young-Chul Rhee**

본 연구는 2002학년도 경남대학교 학술연구지원으로 이루어졌습니다.

요 약

본 논문에서는 디지털 위성방송 지상 리피터에 적용하고자 고 이득 저 잡음특성을 갖는 소형 채널증폭기를 설계하였다. 채널증폭기를 설계함에 있어서 각각의 증폭 단에서의 잡음지수와 이득 및 안정도를 서로 절충하여 최적화 시켰다. 채널증폭기는 첫째 단에서 저 잡음특성을 나타내도록 임피던스를 정합 시켰으며 2~5번째 단 이상에서는 균일한 이득과 고 안정 동작상태를 유지하고 최종 출력 단에서 고 이득특성을 나타내었다. 설계된 6단의 고 이득 저잡음특성을 나타내는 채널증폭기에 대하여 디지털 위성방송 지상주파수 11.7GHz~12.7GHz의 대역에서 실험한 결과 68dB의 증폭이득과 2.4dB의 잡음지수를 나타내었으며 63dB의 동작범위를 나타내어 위성방송 지상리피터용 채널증폭기에 적용할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, We designed the multi-stage amplifier having high gain/low noise characteristics for terrestrial repeater of direct digital satellite broadcasting system. In the design the amplifier, we optimized the parameters to have the stable operation between gain, noise figure and stability. The first stage of amplifier can be specified low noise impedance matching, 2nd stage to 5th stage show constant gain and stable operation and final stage of amplifier shows high gain impedance matching. As a result of experiment at the frequency of digital satellite terrestrial, show 68dB gain under 2.4dB noise figure and and 63dB dynamic range in the 11.7GHz~12.7GHz frequency range, it is a good agreement of communication channel amplifier requirements for satellite terrestrial repeater.

키워드

마이크로파 다단증폭기, 저잡음증폭기, 위성리피터증폭기

*경남대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정

**경남대학교 공과대학 정보통신공학부 교수

1. 서 론

국내 위성 무궁화 1,2,3호의 성공적인 발사에 의하여 국내에서의 위성방송과 위성통신에 대한 기술이 비약적으로 발전하였으며 위성통신에 적용되는 마이크로파 통신 부품의 국산화 등으로 위성 중계기 및 국내 관련기술의 고 신뢰성과 높은 품질을 창출하게 되었다[1]. 한편 위성통신 및 방송 수신시스템은 인공위성으로부터 전파를 직접 수신하므로 다양한 콘텐츠를 가입자에게 직접적으로 전달할 수 있으며 특히 시대적으로 디지털 기술의 발전에 의하여 다양한 프로그램을 고품위 화상을 전송시키고 있으며 현재는 이동 중에도 위성신호를 추적 수신하는 트래킹 안테나에 의한 디지털 위성방송시스템이 상용화되었으며 향후에는 고품질의 영상과 음성, 데이터 및 E-mail등 디지털 미디어를 통한 쌍방향통신 시스템에 의한 위성통신기술과 위성방송을 융합(fusion)시켜 다양한 유니캐스트 및 멀티캐스트에 따른 전송으로 전파미디어시대로 발전될 것으로 예측된다[2~4].

그러나 위성수신시스템에서는 전파경로를 방해하는 나무, 건물등 장애물이 존재할 경우, 위성 전파신호를 차단하는 전파음영지역이 나타나므로 지상에서 소형 위성 리피터를 설치하여 음영지역의 문제점을 해결할 수 있다. 이러한 소형 리피터는 위성채널증폭기(on channel amplifier)의 설계 원리를 적용하여 설계할 수 있다. 위성 리피터를 설계할 때 위성전파가 지상 수신기까지의 전달되는 전파경로에 대한 전파 신호의 링크(power link)관계를 고려하여 위성신호의 지연, 페이딩 및 위성수신기에 열화(robustness)의 영향이 없어야 한다[5].

디지털 위성 방송의 경우 위성전파가 위성수신시스템에 전달되는 과정은 인공위성으로부터 전달되는 전파를 수신하는 안테나시스템과 안테나로부터 미약한 신호를 저 잡음으로 증폭한 다음 1GHz대의 중간주파수 변환시켜주는 저 잡음 하향 변환기 및 1GHz대의 신호에서 수신정보를 구하는 수신기로 구성된다[5]. 지상에서 수신되는 위성전파는 매우 미약하므로 전파를 포착하

기 위하여 고 이득 특성의 안테나가 사용되며 수신안테나의 크기를 가능한 최소한으로 작게 하기 위하여 개구효율(aperture efficiency), 안테나 피드(feed) 및 저 잡음 하향변환기에 대한 잡음지수 등 전파전송에 따른 전력성능(power budget)과의 관계를 링크방정식과 함께 분석된다[6].

본 논문에서는 수신된 위성신호를 재 전송시키기 위한 위성채널 증폭기를 위성신호의 전파전송에 따른 손실을 고려하여 설계에 필요한 필요조건 파라미터를 구하고 고-이득과 저-잡음특성을 나타내는 다단 마이크로파 증폭단을 설계하고자 한다. 리피터 채널용 마이크로파 증폭단은 잡음지수와 증폭이득 및 안정도 및 증폭효율 등을 고려하며 증폭기 설계파라미터를 절충(trade-off)시켜 최적의 증폭기를 설계하며[7]. 특히 고 이득 다단증폭기를 설계함에 있어서 많이 나타나는 발진을 방지시키기 위하여 증폭기를 직렬연결에 대한 증폭기의 안정도를 설계방안에 따라 분석하고[8~12] 각각의 증폭단에서 일어날 수 있는 발진요인을 선형설계(linear design)하여 원천 제거하며 설계한 고이득 저잡음 증폭기가 Ku-band 위성통신용 리피터로서 응용할 수 있음을 보이고자 한다.

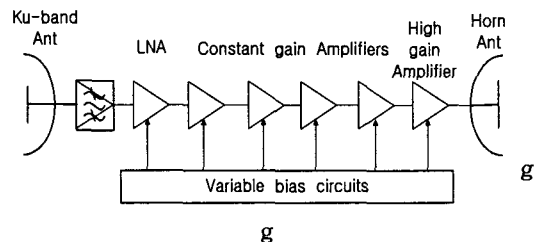


그림 1. 위성 채널리피터의 구조
Fig. 1 Simplified satellite repeater system

II. 위성 전파 링크방정식과 전파전력변환

위성 채널 리피터용 증폭기를 설계하기 위하여 신호 증폭시킨 후 재전송에 필요한 마이크로파 전단부의 설계는 신호의 전송과정에서 나타나는 신호와 수신 및 송신안테나의 크기 및 잡

음지수 및 증폭이득등 링크 파라미터(link parameters)를 최적화 시켜 설계목적에 맞는 위성신호 재전송 리피터를 설계되어야 한다. 일반적으로 위성수신시스템에서 안테나의 크기와 위성수신신호 C/N의 관계는 다음식과 같다[6].

$$C/N = \text{수신기 입력} - \text{잡음 입력}$$

$$= (EIRP + \text{자유공간손실} + \text{강우감쇠량} + \text{안테나 이득}) - (\text{볼츠만상수} + \text{잡음온도} + \text{수신대역폭})$$

$$= EIRP - PL + G - 10 \log(kTB)$$

윗식에서 EIRP(effective isotropic radiated power)는 위성에서 방사되는 실효전력, G는 수신안테나 이득이며 PL은 전송손실(path loss)이며 $kT_{sys}B$ 는 수신시스템에서의 수신대역폭과 잡음파라미터로 k는 볼츠만 상수이고 B는 수신대역폭을 의미한다. Ku-대역 디지털 위성수신기의 대역폭을 23.9MHz(73.8dBHz), 자유공간에서의 전송손실은 205.6dB로, 대기환경에서의 감쇄는 1.5dB, 볼츠만상수를 -228.6 dBK^{-1} 로 할 때, EIRP와 C/N 및 위성수신 Front-End 단의 관계를 정리하면

$$C/N = EIRP + G/T - 49.26$$

이 된다. 이식에 의하여 위성수신기의 C/N 및 위성체 송신전력(EIRP)과 위성 수신단에서의 저잡음하향변환기(Low Noise Block) 잡음지수와 시스템잡음온도(G/T)에 의한 저잡음 증폭단의 주요지수의 관계를 규명할 수 있다. 수신시스템g의 전체잡음온도는 LNB에 의한 잡음온도와 안테나에서의 잡음온도 및 LNB와 연결을 위한 도파관에서의 잡음온도의 세가지 성분으로 구성되므로 이 식에서 안테나의 잡음온도와 도파관 손실에 의한 잡음온도성분은 시스템 설계에서 주어질 때 LNB의 설계 파라미터가 위성신호 재전송을 위한 증폭단 설계에서 가장 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. LNB 설계에서 가장 큰 변수는 잡음지수(noise figure)와 증폭이득과의 관계이므로 리피터용 LNB는 다단 증폭단으로 저 잡음과 고 이득 특성을 나타내기 위하여 첫째 단에서 저 잡음 동작시키고 둘째 단부터는 균일이득 특성을, 최종 단에서 최대전력을 전달 시키도록 설계하며 각각의 증폭 단 사이에서 발진을 방지하기 위한 안정도가 보장되어야 한다. 한편 링크방정식을 이용하여 위성채널 소형 리

피터를 설계하기 위하여 한국 디지털방송에서 적용되는 무궁화 위성3호의 BS대역의 LHCP 신호와 CS 대역의 수평(Horizontal) 신호를 기준으로 실제 위성체의 각 트랜스폰더(Transponder)에서 방사되는 전력을 기준으로 지상설치 시스템들에 대한 성능은 표1과 같으며 표2는 무궁화3호의 재원과 표3,표4는 각각 위성체에서의 기본값과 지상 시스템에 대한 데이터를 나타내고 있다.

표 1. 위성 및 링크파라미터
Table. 1 Satellite and Link Budget Summary

Satellit Receive Antenna Gain	38 dBi
LNA Gain	65 dB
RF Cable Loss	-5 dB
Repeater Tx Antenna Gain	19 dBi
Free Space Propagation Distance	3 meter
Repeater Rx Antenna Gain	0 dBi
LNB Conversion Gain	63 dB
IF Cable Loss	-0.5 dB

표 2. 위성체 및 지상국파라미터

Table. 2 Satellite and Earth station Parameter

Broadcast	
Frequency	11.7 to 12.2 GHz
Transmit Power	120 watts
EIRP	59.4 dBw
Communication	
Frequency	12.2 to 12.75 GHz
Transmit Power	14 watts
EIRP	50.2 dBw
Satellite Location	116 degree E
Site Location	126.5 Longitude
	37.8 Latitude
Look Angle	44.8 from Horizon
Azimuth Angle	196.8 from Zenith
Distansce to 무궁화3호	35,786 km

	Comp Value	Cum Value
f_{downlink}	11.7 GHz	
λ	0.026 m	
Txt Power P_{tx}	120 watts	20.8 dBw
G_{tx}	38.6 dBi	59.4 dBw
$1/4\pi R^2$	-162.066 $1/m^2$	-102.7 dBw/ m^2
Precipitation Loss	-7 dB	-109.7 dBw/ m^2

	CompValue	Cum Value
Rx Antenna Gain	38 dBi	-71.7 dBw/m ²
Effective Aperture	-42.8 dBm ²	-114.5 dBw/m ²
Recei.Carrier Power		-84 dBm
Ku Band LNA Gain	65 dB	-19.5 dBm
RF Cable Loss	-5 dB	-24.5 dBm

III. 채널 리피터용 다단 증폭기 설계 토폴로지

그림1에서 이득/저 잡음지수 특성을 나타내는 다단 채널 증폭단을 설계하기 위하여 첫째 단에서 최소 잡음지수를 나타내는 잡음정합회로를 구상하고, 둘째 단에서 다섯째 단까지는 균일이득과 고 안정 상태의 임피던스 정합회로를, 최종 단에서 공액 전력정합을 만족할 수 있도록 임피던스 정합회로를 설계해야 한다. 다단 마이크로파 증폭기에서 증폭단 전체의 잡음지수는 첫째 단 증폭기의 잡음지수에 따라 크게 영향을 미치므로 최소 잡음지수 NF_{min} 은 갖는 능동소자의 선택과 잡음정합에 의하여 전체 잡음지수는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[11].

$$NF = NF_{min} + \frac{4R_n}{Z_0} \frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_S|^2)|1 + \Gamma_{opt}|^2} \dots(1)$$

이때 잡음지수에 영향을 주는 Γ_S 를 $\Gamma_S = \Gamma_{out}$ 로 선정하여 $NF = NF_{min}$ 를 얻을 수 있다. 저잡음 증폭기를 설계하기 위하여 $\Gamma_S = \Gamma_{opt}$ 를 나타내는 정합회로를 설계하기 위하여 최소 잡음지수를 갖는 원을 구할 수 있으며 각각의 원을 스미스 도표상에 나타내어 동일한 잡음지수를 갖는 신호원측의 임피던스 궤적을 나타낼 수 있다 [12].

다단 증폭단의 설계에서 첫째단의 저잡음 증폭기를 설계할 때 가장 크게 고려해야 할 사항 [8]은 다단 직렬연결된 증폭단의 이득과 잡음지수의 관계를 고려하여 첫째 단의 잡음지수와 이득사이에서 가능한 증폭단이 최소잡음지수가 되도록 타협점을 구해야 한다. 다단 마이크로파 증폭기의 경우 n개의 증폭기가 연결되어 있다면

총 잡음 지수는 아래 식과 같다[10].

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_{A1}} + \frac{NF_3 - 1}{G_{A1}G_{A2}} + \dots \dots\dots(2)$$

여기서, G_{Ak} 는 n번째의 증폭기의 가용이득이다. 최초 입력단과 최종 출력단 및 증폭소자사이의 중간 단(Interstage)의 임피던스 정합회로는 무손실 임피던스 정합조건을 만족시키며, 증폭단자의 산란계수값이 증폭기의 주파수 대역에서 안정상태로 동작시켜야 한다[8]. 입력단과 출력단 임피던스 정합회로가 무 손실 상태로 가정할 때 전체 다단증폭기의 전달이득 G_T 는[8]

$$G_T \approx (1 - |\Gamma_M|^2)(1 - |\Gamma_{OUT}|^2)G_{T(MAX)} \dots\dots\dots(7)$$

여기서, $G_{T(max)}$ 는 최대 트랜듀서 이득으로 2 단자 회로망의 입력과 출력단에서 공액정합 조건 $\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$, $\Gamma_L = \Gamma_{OUT}^*$ 이 만족할 때의 전달이득으로 다음과 같다.

$$G_{T(MAX)} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1}) \dots\dots\dots(8)$$

여기서, K는 안정도계수로 다음과 같다[8].

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \dots\dots\dots(9)$$

$$|\Delta| = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

다단 고이득 증폭단의 설계에서 증폭단 전체가 안정하게 동작되도록 발진가능성을 제거해야 하므로 증폭단을 설계할 때 고 안정특성이 나타나도록 증폭안정도를 분석해야 한다. 증폭기의 설계시 입,출력 반사계수가 $|\Gamma_{IN}| > 1$ 이거나 $|\Gamma_{OUT}| > 1$ 의 값을 갖는다면 발진이 일어날 가능성이 있으므로[4] 설계된 증폭기가 무조건 안정으로 동작하기 위해서는 다음의 관계를 만족해야 한다.

$$|\Gamma_{IN}| \cdot |\Gamma_S| < 1 \quad \text{및} \quad |\Gamma_{OUT}| \cdot |\Gamma_L| < 1$$

.....(10)

안정도를 판별하기 위한 수치적인 방법으로는 안정도계수K와 $|\Delta|$ 를 이용하여 $K > 1$ 이고, $|\Delta| < 1$ 이면 무조건적으로 안정하게 동작한다.

다단 증폭기의 안정계수는 증폭단 전체의 안정도를 보장하지 못함으로 다단 증폭기의 첫 번째 단과 중간 정합회로, 그리고 출력부에서의 반사계수를 곱한 값이 1보다 작게 하여 무조건 안정하게 설계되어야 한다. 만약 각각의 트랜지스터의 안정계수 K가 1보다 작거나 같을 경우 정합회로로 인해 발진을 일으킬 수 있으므로 다단 증폭단의 안정도를 각단을 설계할 때마다 안정도를 고려하여 임피던스정합회로를 설계해야 한다.

IV. 위성 채널 링크 분석, 채널증폭기 실험 및 분석

앞 절에서 주어진 링크방정식으로 고려하여 무궁화 3호 위성에서 수신 단말기까지의 전파경로에 대한 기본적인 제원을 바탕으로 소형 리피터 채널증폭기의 최소 필요조건을 구할 수 있다. 본 연구에서 표1~2에 의하여 설계된 채널 증폭기의 전파의 최소 전달거리 및 최종 위성 단말 수신기의 전기적사양 및 리피터에 의한 재 전송된 신호의 품질 등을 고려하여 전파 전달과 전력변환을 계산하였으며 리피터 시스템의 최종 출력단인 혼 안테나 원편파(RHCP)로 변환하여 전파를 재 송신하였으며 최소 전파 재전송 거리를 안테나 이득을 17dBi, 빔 대역폭을 $\pm 45^\circ$, 축비(Axial Ratio)를 1.1로 하였다. 이와 같은 전파 경로에 대한 링크방정식으로 계산된 채널증폭기의 이득은 최소 65dBmin, 잡음지수 2.0dB가 요구되는 채널 증폭기의 설계 필요조건을 구하였다. 이러한 채널증폭기의 설계 필요조건을 만족시키기 위하여 채널증폭기에 적용되는 마이크로파 반도체소자의 특성을 고려하여 6단 증폭기로 결정하였다. 6단 증폭기는 고 이득 및 저 잡음 특성을 나타내도록 앞절에서 언급한 증폭기 설계이론에 따라 마이크로파 프로그램 ADS[14]를 이용하여 증폭기 설계 토폴로지에 따라 모의실험 하였다. 표3 설계된 채널 증폭단에서 각 증폭단에 따른 잡음지수와 이득관계를 모의 실험한 결과를 보여 주고 있으며 그림2는 모의실험 결과에 따라 제작된 지상 리피터용 채널증폭단의

제작된 실물사진을 보여주고 있다. 6단 채널증폭기를 설계함에 있어서 사용한 소자는 첫째 단에서 다섯째 단까지는 저잡음용 HEMT소자 NEC사의 NE32584C소자를 사용하였으며, 최종단은 고 이득 특성을 위해 Exedics사의 EPB018A7-70LWW를 사용하였다. 그림 3은 구축된 측정실험에 의하여 측정된 이득과 잡음지수관계를 보여 주고 있다. 이론적으로 구한 6단증폭기의 이득과 잡음지수는 주파수 12GHz에서 73dB와 0.85dB를 나타내었으나 실제 측정값은 68dB의 이득과 2.3dB의 잡음지수를 나타내었다. 잡음지수가 모의실험보다 약 1.5dB 정도 높은 이유는 잡음측정시 설계된 증폭기가 70dB 정도의 고 이득특성을 고려하여 증폭기의 출력단에 46dB의 감쇄기에서 1dB 이상의 잡음지수가 발생되었으리라 고려된다. 그림4. 는 입력신호전력에 따른 1dB억압 전력과 동작범위 위관계이며 P1dB값은 약 8.86dBm이고 63dB범위의 동작범위(Dynamic Range)를 나타내고 있다.

표 3. 설계된 6단 채널증폭기의 모의실험 결과
Table. 3 Simulation result of designed multistage amplifier

	gain	NF	K	Input VSWR	Output VSWR
1-stage	13.145	0.789	1.212	1.391	1.044
2-stage	25.125	0.823	2.633	1.224	1.044
3-stage	37.281	0.836	5.767	1.387	1.008
4-stage	49.282	0.836	13.805	1.272	1.021
5-stage	61.676	0.836	31.561	1.307	1.013
6-stage	72.912	0.836	87.106	1.283	1.005



그림 2. 설계 제작된 고 이득/저 잡음 채널증폭기
Fig. 2 Photographic of high gain low noise multistage amplifier

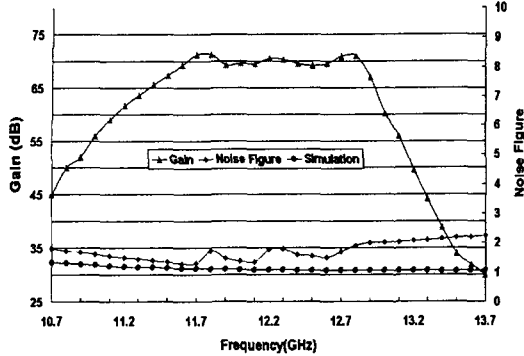


그림 3. 제작된 채널증폭기의 이득과 잡음지수관계
Fig. 3 Gain and Noise Figure of Channel amplifier

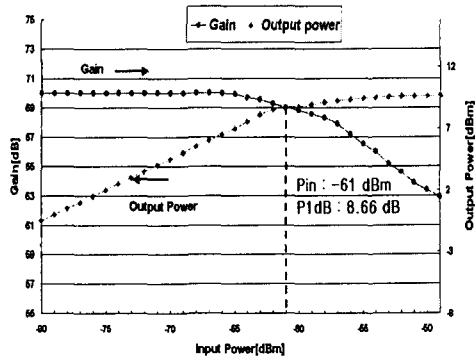


그림 4. 제작된 채널증폭기의 동작범위와 P1dB관계
Fig. 4 Dynamic Range and P1dB of multistage amplifier

널증폭기의 최소 필요조건을 구해야 한다. 본 연구에서는 무궁화3호를 기준으로 위성전파경로의 관계 정립하여 채널증폭기의 필요조건을 구하였으며 채널 증폭기를 6단 증폭단으로 구성하여 각 단에서의 잡음지수, 증폭이득, 안정도 및 증폭 효율 등을 최적화시켜 채널 증폭기를 설계하였다. 설계 제작된 다단 고 이득, 저 잡음 증폭기는 동작주파수인 11.7GHz~12.7GHz에서 62dB 이상의 이득과 2dB의 이득 평탄도, 2.5이하의 잡음지수특성을 보였으며, 동작범위 특성과 P1dB 값은 각각 63dB와 8.86dBm을 보였다. 설계한 고 이득 저 잡음 증폭기의 안정된 동작상태를 확인하였으며 Ku-대역 무궁화 위성3호의 지상 리피터용 채널 증폭단으로 응용할 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 링크방정식과 채널 증폭기의 필요조건 및 증폭기 설계 토폴로지는 점대점(PTP: point to point) 및 점대 다점(PTM : point to multipoint) 통신 서비스의 설계시에 활용되어 질 수 있으며 PTM에서 신호 품질의 안정성, 전파 전송거리에 따른 감쇠왜곡, 인접 시스템과의 상호 간섭 등을 확보할 수 있는 설계방식을 제공할 수 있다. 앞으로의 연구과제는 저 잡음, 고 이득 증폭단의 안정화와 송신용 안테나의 정확한 편파의 구현으로 위성체 탑재용 채널 증폭기를 설계해야 할 것이다.

IV. 결 론

정보통신기술의 발전에 따라 위성통신과 방송 기술은 고품질의 영상과 음성, 데이터 및 E-mail 등 디지털 미디어를 위한 쌍방향통신시스템으로 전파미디어에 의한 위성시대로 발전될 것으로 예측되고 있다. 이와 같은 위성시스템은 인공위성으로부터 전달되는 전파를 수신하기 위하여 위성방송/통신 신호가 건물에 가려지거나 터널 등 전파음영 지역을 위하여 한정된 범위에서 수신된 위성신호를 재 전송시키는 지상 소형 리피터의 개발이 필요하며 이러한 리피터용 채널증폭기는 위성신호 전파전송에 따른 손실을 고려한 링크방정식으로부터 전파전력변환에 따른 채

참고문헌

- [1] 장병준, 염인복, 이성팔, "통신위성 중계기용 고신뢰도 RF 부품에 관한 고찰." 전자통신동향분석, 8월 2002
- [2] Yurong Hu and Victo O.K.Li, "Satellite Based Internet: Tutorial," IEEE Communication Magazine, March 2001, pp154-162
- [3] Hilmar Linder, and Bernhard C.Nocker, "Satellite Internet Services Using DVB/MPEG-2 and Multicast Web Caching," IEEE Communication Magazine, June 2000, pp156-161
- [4] K.Hamaguchi and S. Ogawa, "Development of Millimeter-Wave Video Transmission System Design and performance for Indoor BS video

- Transmission," IEEE Proceeding APMC.Nov. 2001 pp 492-497
- [5] John Breeds, The Satellite Book, Swift Television Publications .England, 1995
- [6] Frank Baylin, World Satellite Yearly, Baylin Publicaiton, 1999
- [7] K.salehian, M.Guillet," On channel Repeater for Digital Television Br4oadcasting Service." IEEE Trans.on Broadcating, Vol.48, No.2. June, 2002 pp97-102
- [8] G.Macchiarella,A.Raggi,E.D.Lorenzo," Design Criteria for Multistage Microwave Amplifier With Match Requirements at Input and Output," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques,, Vol.41,Aug. 1993, pp 1294-1298
- [9] Sergio Sancho, A.Suarez," Nonlinear Dynamixs of Microwave Synthesizer- Stability and Noise," IEEE Trans.on Microwave Theory and Techniques,Vol.49.No.10,Oct.2001 pp1792-1803
- [10] Dave Vondran," Noise Figure Measurement: Corrections Related to Match and Gain," Microwave Jour., March 1999 pp 22-38
- [11] G. D. Vendelin, Microwave Circuit Design. John-Wiley &Son Pub., NewYork 1990.
- [12] R.Ludwig and P.Bretchko, RF Circuit Design, Prentice-Hall New Jersey. 2000 .
- [13] A.M.Khilla, M.Bay, D.Leucht and J.Schaufer," Ku-band Dual Linearized Channel Amplifier for Commercial Satellite Transponder." Proc. ECSC-4, Rome.1997 pp124-129
- [14] ADS, Version-2002 Aug. 2002 Agilent Technology.
- (박사과정수료).
※주관심 분야 마이크로파 FEM Module, 마이크로파 안테나, 이동통신 RF 모듈

이영철(Young-Chul Rhee)

1981년 9월~현재 경남대학교 정보통신 공학부 교수

저자소개

이강훈(Kang-Hun Lee)

1996년 경남대학교 전자공학과, 공학사

1998년 경남대학교대학원 전자공학과 공학석사

1998년 3월~2001년 2월 에이스 테크놀로지 부설연구소 선임연구원.

2001년 3월~현재 경남대학교 대학원 정보통신공학과