
Ka-band 위성방송수신용 저잡음 블록 변환기 구현

임진원* · 김태진* · 박주남* · 이영철*

Implementation of Ka-band Low Noise Block Converter For Satellite TVRO

Jin-won Lim* · Tae-jin Kim* · Ju-nam Park* · Young-chul Rhee*

본 논문은 2007년도 산학연 공동기술개발콘소시업 사업으로 이루어졌습니다.

요 약

본 논문에서는 상업용 MMIC를 이용하여 Ka-대역 위성 텔레비전 방송 수신 전용(TVRO) 저 잡음 하향변환 증폭단을 설계하였다. 저 잡음 블록은 입력단에서 저 잡음 정합시킨 증폭기를 포함한 3단 증폭기, 이미지 제거용 대역통과필터, 주파수 혼합기, 주파수 체배기 및 IF단으로 구성하였다. 저 잡음블록을 구성하는 모듈에 대한 감쇄와 전력이득에 대한 분석을 통하여 Ka-band LNB의 특성을 만족시키는 소자를 선정하였다. 설계된 저 잡음 블록에 대한 실험 결과 변환이득은 $58 \pm 1\text{dB}$, 잡음지수 1.5dB 이하, 위상잡음은 $-94.6\text{dBc}@10\text{KHz}$ 를 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, Low Noise Block down converter(LNB) is designed for a Ka-band satellite television receiver only(TVRO) using commercially available MMIC. Designed Low Noise Block down-converter is composed of three stage amplifiers involving input noise matched at first amplification stage, image reject band pass filter, frequency mixer and intermediate frequency amplification. Through LNB Module power budget to obtain gain and attenuation, Optimum LNB devices satisfying Ka-band LNB technical specification are selected. Experimental results of designed Ka-band LNB yields conversion gain of over $58 \pm 1\text{dB}$, noise figure of less than 1.5dB and phase noise of $-94.6\text{dBc}@10\text{KHz}$.

키워드

LNB(Low Noise Block), Satellite, MMIC, Noise

1. 서 론

Television receive-only(TVRO)는 고정위성방송으로부터 TV신호만을 수신하는 장치로서 4/6 GHz의 C-대역 또는 11/14GHz의 Ku-대역을 이용하여 상업적 DBS(direct broadcasting system)을 지원시스템으로 북아메리카를 비롯한 유럽등 범세계적으로 이용되고

있으나 세계적으로 위성통신과 방송의 다양한 이용에 따라 한정된 C-대역(4/6 GHz) 및 Ku-대역(11/14GHz)의 주파수를 할당받기가 매우 어려워졌으며 이에 따라 비교적 채널 할당과 광대역 특성을 나타내고 있는 Ka-대역의 활용이 점차 늘어나고 있다. 20GHz 이상인 Ka-대역에서는 강우량, 대기권의 구름층 등에 의하여 전파 감쇠가 매우 커 자유공간에서의 Ka-대역 위성통신 신

* 경남대학교 정보통신공학과
심사완료일자 : 2008. 05. 17

접수일자 : 2008. 04. 13

호를 수신에 요구되는 최소전력 및 전파페이딩에 의한 감쇄를 극복할 수 있는 최소 수신 전력레벨이 매우 작아지는 문제점이 있었다[1]. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 디지털 통신방식 중 적응코딩과 디지털 변조방법, 어댑티브 데이터비의 변환 및 어댑티브 빔 형성 (beam forming)기술의 개발을 유도하게 되었다[2]. 그러나 이러한 디지털 통신기법의 적용은 매우 복잡하거나 기술적용에 매우 복잡성을 나타내어 이론적으로는 가능하나 실용적으로 이용하기에는 어려운 점도 나타나고 있다. 디지털 기술의 발전에 따라 위성통신 기술이 함께 발달하여 위성수신기의 성능이 대폭 향상되고, 사용 가능주파수가 C-대역, Ku-대역에서 Ka-대역으로 옮겨감에 따라 직경이 작은 파라볼라안테나 또는 패치 안테나를 사용해도 원활한 통신을 할 수 있게 되었다 [3,4]. 한편 다양한 멀티미디어의 출현과 인터넷을 통한 공유, 데이터의 디지털화, 인터넷을 통한 정보수집과 예약 등의 생활환경 변화로 인하여 가입자의 전송대역폭 요구에 따라 위성통신에서는 TDMA에서 OFDM에 의한 다채널방식을 적용하게 되고 있으며 이러한 디지털 다중방식의 적용으로 기존의 서비스 보다 더 빠른 전송 속도로 광대역 서비스가 가능하게 되었다[5]. 이동성을 장점으로 강조하는 VSAT의 경우에서도 광대역화 특성을 만족시키기 위하여 광대역 특성을 가지는 디지털 통신시스템의 개발 필요성이 요구되고 있으며 고속 대용량의 정보를 전송하기 위해서 최근에는 OFDM을 중심으로 디지털 무선통신 시스템의 개발[6]이 진행되어 Ka-대역을 이용한 위성통신 및 위성방송서비스가 진행되고 있다[7]. Ka-band 위성통신은 넓게 분포한 많은 수의 지구국에 실시간 상호 위성통신 서비스(음성, 영상, 그리고 데이터 통신)를 제공하는 위성터미널은 두 개의 주요 구성부품 IDU(Indoor Unit), ODU(Outdoor Unit)으로 이루어져 있으며 IDU는 모뎀과 기저대역 기능을 제공하고 사용자 장비와의 인터페이스를 포함한다. ODU는 IF 대역에서 IDU와의 인터페이스와 안테나, RF module을 포함한다. 현재 VSAT 위성 통신 시스템이 주로 Ku-대역을 이용하였으나[8,9] 광대역특성을 적용하기 위해서 Ka-band 위성통신시스템이 개발 [10,11] 되고 있으므로 본 논문에서는 Ka-대역 위성방송에 적용가능한 하향변환기를 설계하고자 한다. 설계에 있어서 Ka-대역의 하향변환기의 경우 높은 주파수에서 이미지신호에 따른 손실의 영향을 감소시키기 위

하여 이미지 제거 특성이 우수하도록 하이브리드 설계 기술을 적용하여 설계하였으며 상용화된 MMIC를 효율적으로 이용하여 경제성이 우수한 저가형 Ka-대역 위성방송용 하향변환기를 RF 전단부의 구성 모듈에서의 전력감쇄와 이득 및 비선형성과 전력특성 분석 과정을 통해 설계 및 제작하였다.

II. Ka-band 저 잡음블럭 설계

위성방송 수신기는 TVRO를 구성하는 시스템은 액튜에이터를 포함한 안테나시스템과 Ka-대역 주파수를 1~2GHz IF주파수로 변환시키는 저잡음 블록(LNB : low noise block) 변환기 및 IF신호에서 영상신호를 재생하는 DBS 수신 세탑박스로 구성되어 있다. 본 논문에서는 안테나 일체형 저 잡음블럭 변환기를 설계하고자 한다. 표 1은 Ka-대역 위성방송용 LNB 변환기의 설계규격을 나타내고 있다. 이와 같은 설계규격을 만족시키는 LNB 변환기를 설계하기 위하여 우선 LNB를 구성하는 Ka-대역 증폭기 및 믹서, IF 증폭단과 DRO에 의한 국부발진기와 이미지제거 믹서와 대역통과필터로 구성되는 LNB의 구성도를 설정하고 이에 따른 전력이득과 손실관계를 분석해야 한다. 전력이득관계를 분석하기 위하여 그림1과 같은 Ka-대역 LNB의 구성도를 나타내었다. 그림1의 Ka-대역 LNB 변환기에서는 LNB 변환기를 구성하는 모듈의 특성을 고려하여 Ka-대역 저 잡음 증폭단(LNA)에는 잡음지수가 가장 큰 영향을 나타내므로 이득보다는 저 잡음지수를 나타내도록 잡음정합을 기본으로 설계하며 국부발진기는 주파수 안정도를 높이기 위하여 유전체공진 발진기(DRO)에 PLL을 적용하여 위상동기발진기를 설계함으로써 위상잡음(phase noise)이 우수한 국부발진기를 설계하고자 한다. 위상동기 발진기(phase locked oscillator)는 Ka-대역 위성통신시스템에서 적용하려는 OFDM시스템에서는 저 위상잡음의 특성을 요구하고 있어 위상잡음과 변조신호에 따른 BER관계의 규명이 요구되기도 한다. LNB변환기의 믹서는 이미지신호를 제거하기 위하여 가능한 노치형태의 대역통과필터를 설계하며 Ka-대역 LNB의 설계는 근원적으로 저가(low cost) 고성능의 조건을 만족시킬 수 있도록 상용 MMIC를 이용하여 설계한다. 이와 같은 설계조건을 고려하여 표2와 같이

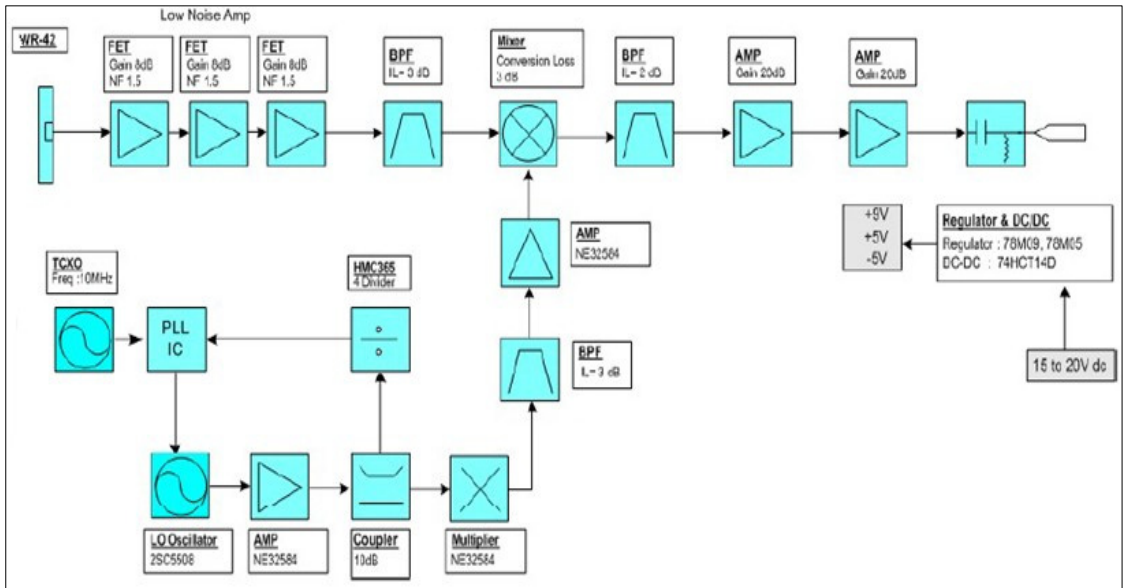


그림 1. Ka-대역 저 잡음 블록 변환기의 구성
Fig. 1 Block diagram of Ka-band LNB converter

Ka-대역 LNB변환기의 전력이득손실조건표(power budget)을 설계하였다. 설계한 Ka-대역 LNB변환기의 구체적인 설계에서 저 잡음 증폭단은 20.35~20.85GHz로 수신된 미약한 주파수신호에 대해 이득을 높이고 잡음을 최소화시키기 위한 3단 저 잡음 증폭단(LNA)을 설계하였으며 각단에서의 이득은 9dB 및 0.75dB의 자음지수를 갖도록 잡음정합기법을 적용하여 설계하였다.

혼 안테나로부터 입력되는 도파관 WR-42의 삽입손실을 0.5dB로 설정하였으며 3단 LNA에서의 잡음지수는 1.39dB에서 22.5dB의 이득을 갖도록 설정하였다. 20.35~20.85GHz의 RF 신호를 위한 대역통과필터(BPF), 필터는 크기가 작은 인터디지털 형태로 설계하였으며 약 2dB의 삽입손실을 갖도록 하였다. 국부발진기는 PL-DRO에 의한 고 안정 국부발진기를 설계하였다. 입력된 RF 신호와 LO 신호를 950~1450MHz의 IF 신호로 하향 변환하는 믹서, IF 신호를 증폭하기 위한 IF 증폭단으로 구성되어 있다. 앞에서 구한 전력이득과 손실관계를 고려하여 상업적인 Ka-대역 LNB의 능동소자를 선정하기 위하여 각 회사별 능동소자의 특성을 고려하였으며 첫 단의 저 잡음 증폭기는 하향변환기 전체의 잡음지수 특성에 큰 영향을 미치므로 저 잡음 특

성을 만족시키는 상용 p-HEMT NE350184C를 선택하였다. 표2 에서와 같이 각 단에서 잡음지수를 0.72dB 및 이득을 9dB로 선정함에 따라 전체적으로 LNA는 25.5dB의 이득과 1.39dB의 잡음지수를 나타내게 된다. 이러한 잡음지수와 이득의 값의 계산은 각단에서의 손실을 고려하였으며 잡음지수는 이득에 따른 잡음지수의 계산법을 적용하였다. 45dBc이상의 이미지 제거 특성을 위해 차단특성이 우수하도록 대역통과 필터에서는 마이크로 스트립선로의 결합특성을 이용하여 균일 이득을 나타내도록 5단 대역통과필터를 설계하였으며 Mixer단 설계는 입력주파수에 따라 국부발진주파수를 선정함으로서 IF 주파수를 950~1450MHz 까지 일정하게 나타내고 IF단의 변환이득을 3dB 이상을 갖는 Active mixer를 선정하였으며 19GHz 대역의 K-band 고 안정 국부발진기를 설계하기 위하여 PL-DRO를 9GHz 대역의 국부발진 주파수에 대하여 PL-DRO로 설계한 다음 주파수를 2배로 체배하는 설계방안을 채택하였다.

표 1. Ka-band LNB 정격 특성
Table 1. Technical specification of Ka-band LNB

Ka-band LNB Spec.	
Input Frequency	20.35~20.85 GHz
Input Type	WR42
Output Frequency	950~1450 MHz
Local Frequency	19.4 GHz (9.7 GHz X 2)
Conversion Gain	55 dB Typical (Room Temp.)
Noise Figure	1.6 dB Typical (Room Temp.)
In/Out VSWR	2:1 / 2:1
Output Type	F-Type Female
Image Rejection	45 dBc
P1dB	5 dBm Typical
Gain Flatness	+/-0.75dB(30MHz) +/-2dB(500MHz)
Phase Noise	@10/100/1000kHz 80/90/100dBc/Hz Min
L.O Stab.	+/- 2.0 MHz

표 2. Ka-band LNB의 전력이득손실분석
Table 2. Power budget of Ka-band LNB

input Pwr	-80dBm			
	Gain	Gain (Total)	N.F	N.F (Total)
WR-42	-0.5	-0.5	0.5	0.5
1-Stage LNA	9	8.5	0.72	1.22
Coupler	-0.5	8	0.5	1.28
2-Stage LNA	9	17	0.72	1.37
Coupler	-0.5	16.5	0.5	1.38
3-Stage LNA	9	25.5	0.72	1.39
BPF	-2	22.5	2	1.4
MIXER	3	22.5	0.5	1.4
LPF	-2	22.4	2	1.4
IF AMP	20	35.4	2	1.42
LPF&Atten.	-3	35.4	3	1.42
IF AMP	25	58.4	2	1.42
N-connector	-0.2	58.3	0.2	1.42

표 3은 PL-DRO의 설계 사양을 나타내고 있다. 본 논문에서 적용한 Ka-band 하향 변환기의 정격특성은 낮은 위상잡음 특성과 우수한 선형 특성을 갖는 Ka-band PL-DRO형 LNB 개발에 중점을 두었다. 최종적으로 전력이득 및 손실 분석특성을 통하여 Ka-대역 LNB 변환기의 최종이득은 58.3dB, 잡음지수는 1.42dB로 예상되었고, 이에 따른 정격특성 결과를 기준으로 하향변환기를 제작하였다.

표 3. PL-DRO의 정격 특성
Table 3. Technical specification of PL-DRO

PL-DRO Specification	
Output Freq.[GHz]	19.4
Output Pwr[dBm]	3
Output Spurious Signal[dBc]	-50
Phase Noise[dBc]	
@100Hz	60
@1kHz	70
@10kHz	80
@100kHz	90
@1MHz	110

III. Ka-대역 LNB변환기 제작과 실험결과

본 논문에서는 상용 MMIC를 사용하여 Ka-band 위성방송수신용 LNB변환기를 제작하였다. 마이크로스트립기판은 유전율이 2.17 Teflon기판 위에 3단 LNA 및 대역통과필터 및 능동믹서와 IF 증폭단을 설계하여 그림 2(a)와 같이 제작하였다.



(a)

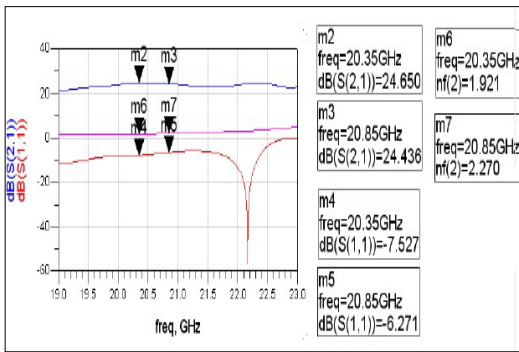


(b)

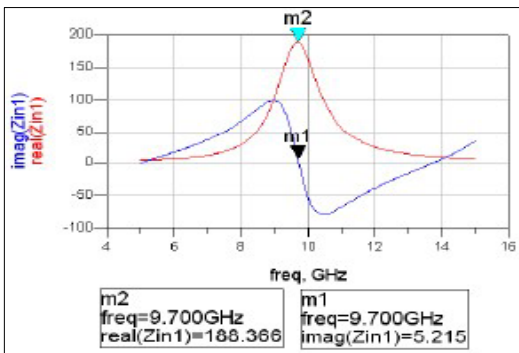
그림 2. 제작된 Ka-대역 LNB (a) 증폭기, 능동믹서 및 IF단 (b) DRO 및 PLL 부분
Fig. 2 Assembled Ka-band LNB (a) LNA, Active Mixer and IF stage (b) DRO and PLL

PL-DRO는 위상잡음특성이 우수한 DRO로 9.7GHz를 2체배하여 19.4GHz의 발진신호를 나타내도록 프리

스케일러를 사용하여 위상동기시커 PL-DRO를 제작하였다. 제작된 PL-DRO의 그림은 그림2(b)와 같다. Ka-대역 LNB를 설계하고 ADS 마이크로파 프로그램에 의하여 모의실험 된 결과는 그림 3.과 같으며 그림 3.(a)는 3단 LNA의 이득과 잡음지수를 나타내고 있으며 그림3.(b)는 9.7GHz의 발진 모드를 나타내고 있다.



(a)

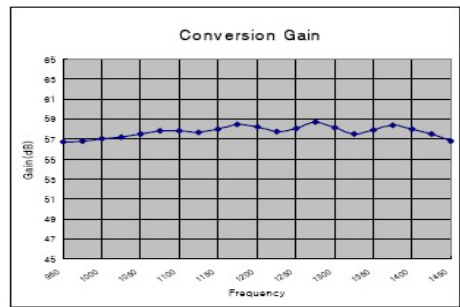


(b)

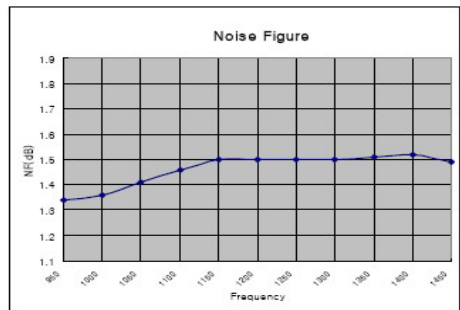
그림 3. 모의실험 결과 (a) 3단 LNA (b) 발진모드
Fig. 3 Simulation result (a) 3 stage LNA (b) Oscillation mode

모의실험 결과 3단 LNA에서는 20.35GHz에서 24.65dB의 이득과 1.9dB의 잡음지수를 나타내고 있다. 9.7GHz에서의 발진모드가 정확하게 발진되고 있음을 통하여 Ka-대역 LNB 변환기의 시스템 정격 특성을 비교적 만족시키고 있으며 LNB 변환기의 전체이득, 잡음지수를 예측하여 모듈단위로 측정할 수 있다. 그림 4~6은 각각의 모듈의 측정결과를 나타내고 있다. 그림 4는 제작된 Ka-대역 LNB의 전체이득과 잡음지수를 측정 한 결과이며 58dB의 변환이득과 2dB의 이득평坦도가 측정 되었으며 잡음지수는 상온에서 1.54dB로 측정

되었다. 그림 5는 Ka-band LNB의 Image Rejection을 측정 한 결과이며 52.5dBc의 이미지 제거(Image Reject) 효과를 나타내고 있다. 그림 6.은 제작된 PL-DRO의 위상잡음을 측정 한 결과이며 정격특성으로부터 각각의 주파수 오프셋에 대하여 10KHz 오프셋주파수에서 94.7dBc 100KHz에서 103.8dBc 및 1MHz에서 124.2dBc로 나타났으며 이 값은 표 3에서 설정한 위상잡음값보다 우수함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. Ka-대역 LNB (a) 주파수대 이득특성 (b) 주파수대 잡음지수 특성

Fig. 4 Ka- band LNB (a) gain (b) noise figure with frequency

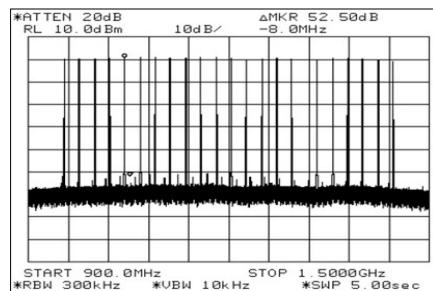


그림 5. Ka-band LNB 이미지제거특성
Fig. 5 Ka-band LNB Image Rejection

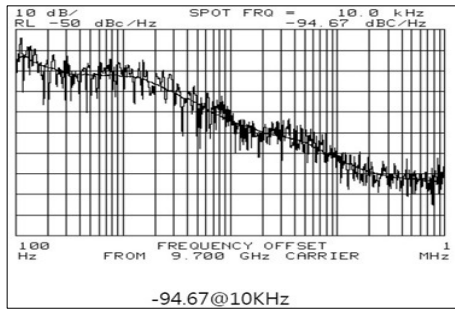


그림 6. 제작된 Ka-band LNB의 위상잡음
Fig. 6 Phase Noise of designed Ka-band LNB

IV. 결론

본 논문에서는 위성방송용 TVRO 시스템이 점차 C-대역, Ku-대역에서 Ka-대역 DBS시스템으로 전환되고 있는 시점에서 저 잡음 블록 변환기를 범용 MMIC를 이용하여 경제성을 배경으로 LNB의 블록에 대하여 전력이득과 손실관계를 분석하여 LNB를 설계 제작하였다. Ka-대역 LNB의 설계는 위성통신용 LNA와 달리 범용 MMIC의 잡음지수 특성을 고려하여 가능한 고이득과 저 잡음지수의 특성을 나타내도록 3단 LNA를 설계하였으며 헤테로다인 통신시스템에서 고유하게 나타나는 이미지제거를 제거하기 위하여 5단 대역통과필터와 능동믹서를 설계하였다. 국부발진기는 DRO에 의한 고안정 발진신호를 PLL을 이용하여 위상동기 마이크로파 발진기를 설계하여 2채시킴으로서 Ka-대역 LNB의 국부발진기에서 요구하는 저 위상잡음 특성을 나타내었다. 본 연구에서 제안한 PL-DRO의 위상잡음은 OFDM 기반 위성통신 LNB에도 적용할 수 있으며 우수한 특성을 나타낼 수 있다. 결과적으로 본논문에서의 의도한 범용 MMIC에 의한 저가 고성능의 요구조건을 만족시키는 위성방송 수신기용 PL-DRO형 Ka-band LNB를 설계 및 제작하여 측정된 결과는 Ka-대역 위성방송용 LNB에서 요구하는 기술적 특성을 만족함을 보였다. 측정결과와 개발규격은 표 4에서 비교하여 나타내었다. 본 논문에서는 Ka-대역 위성방송용 LNB 변환기의 주요 구성은 입력신호 주파수 20.35GHz~20.85GHz에 대해 이득을 높이고 잡음을 최소화 시키는 저 잡음 증폭기와 20.35~20.85GHz의 대역의 신호만을 통과 시키는 대역통과 필터, PL-DRO형 발진기는

9.7GHz의 DRO 국부발진 주파수를 체배시켰으며 저 위상잡음을 갖도록 위상동기시켰다.

표 4. Ka-band 개발규격 및 측정결과
Table 4. Ka-band development standard and measurement result

	Spec.	Meas.
L.O Freq.	19.4 GHz	19.4 GHz
Gain	55 dB	58 dB
N.F	1.6 dB	1.54 dB
In VSWR	2:01	1.37:1
Out VSWR	2:01	1.94 : 1
Image Rejection	45 dBc	52.5 dBc
P1dB	5 dBm	7.3 dBm
Gain Flat.	+/-0.75dB(30MHz) +/-2dB(500MHz)	0.68 dB 2dB
Phase Noise		
@100Hz	60dBc	63.5dBc
@1kHz	70dBc	72.8dBc
@10kHz	80dBc	94.7dBc
@100kHz	90dBc	103.8dBc
@1MHz	110dBc	124.2dBc
L.O Stab.	+/- 2.0 MHz	1.5ppm

저잡음 RF입력 신호와 두배 체배된 국부발진 주파수에 의하여 이미지제거 필터와 능동믹서를 통하여 950MHz~1450MHz의 IF주파수로 하향 변환시켰으며 IF 증폭기에 의하여 58dB이상의 이득을 나타내었으며 전체 잡음지수는 1.5dB로 매우 우수한 특성을 나타내었다. Ka-대역 위성방송용 LNB변환기는 전체이득과 삽입손실 등의 정격분석에 의하여 실제 모듈의 특성을 예측하고 범용 MMIC를 이용하여 저가 고성능의 특성을 나타내는 LNB를 설계제작할 수 있음 보였다. 본 연구에서 의도한 저가 고성능 설계 방법과 설계 제작한 하향 변환기는 Ka-대역 점대점(PTP) 및 점대 다점(PTMP)용 하향변환기 및 고속/광 대역폭을 가지는 디지털 통신시스템에 적용할 수 있을 것이라 판단된다. 향후 OFDM 방식 위성통신시스템에 대응하기 위하여 LNB의 위상잡음 및 잡음지수 특성 개선에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] Tho Le-Ngoc, Leung V., Takats P. and Garland P., "Interactive Multimedia Satellite Access Communication", IEEE Communication Magazine, Vol. 41, pp.78-85, July 2003.

[2] Grami, A. and Gordon, K., " Next-generation Ka- band satellite concept to extend the reach of Canada's broadband infrastructure.", IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM, Vol. 4, pp.2754-2758, Nov. 2001.

[3] Del Re E. and Pierucci L, "Next-Generation Mobile Satellite Networks", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp.150-159, Sept. 2002.

[4] Bodereau F., Miquel C., Debrage C., George S., Cayrou J. and Cazaux J., "Ka-band Converter Assemblies for Next Telecommunication Satellites", Microwave Conference Euro., Vol. 2, pp.4, Oct. 2005.

[5] A. Papathanssiou, A. K. Salintzis and P. T. Mathiopoulos, "A Comparison Study of the Uplink Performance of W-CDMA and OFDM for Mobile Multimedia Communications via LEO Satellite", IEEE Wireless Communication, Vol. 8, pp.35-43, June 2001.

[6] Parimal Majithiya. A.K.Sisodia, V.Muralidhar, and V.K.Garg, "Novel Down Link Rain Fade Mitigation Technique for Ka-band Multibeam Systems", Intenarational Journal of Satellite Communication and Networking, Vol. 25, pp. 45-51, 2007.

[7] Ian Hardcastle, Steve Melvin and Ian Bisby, " 30GHz(Ka-band) VSAT DVB-RCS Mixer-Driver Multifunction MMIC", Proc. of European Microwave Integrated Circuits Conference, pp. 415-418, 2007.

[8] Y.Butel, D.Langrez, J.F.Villemazet, G.Coury, J.Decroix and J.L.Cazaux, "Low Cost MMIC Chipset for VSAT groung Termonal", European Microwave Conference, pp.4-7, 2005.

[9] Murthy, K.M.S., Smart, F.H., Salem, N. and Makrakis, D., "Personal communication trials using Ku & Ka-band satellite systems", IEEE. IEEE International Conference on Selected Topics in Wireless Communications, pp.250-253, June 1992.

[10] Ian Hardcastle, Steve Melvin and Ian Bisby, " 30GHz(Ka-band) VSAT DVB-RCS Mixer-Driver

Multifunction MMIC", Proc. of European Microwave Integrated Circuits Conference, pp. 415-418, 2007.

[11] Grami, A., "An advanced broadband satellite system offering high-speed Internet access and TV broadcast services", Electrical and Computer Engineering, Canadian Conference on Vol. 1, pp.311-314, May 2004.

저자 소개



임진원(Jin-won Lim)

2008.02 : 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2008.03 : 경남대학교 대학원 정보통신공학과(석사과정)

※관심분야 : 마이크로파 능동소자 응용, RFIC설계



김태진(Tae-jin Kim)

2007.02 : 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2007.03 : 경남대학교 대학원 정보통신공학과(석사과정)

※관심분야 : 마이크로파 능동소자 응용, RFIC설계



박주남(Ju-nam Park)

2008.02 : 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2008.03 : 경남대학교 대학원 정보통신공과(석사과정)

※관심분야 : 마이크로파 능동소자 응용, RFIC설계



이영철(Young-chul Rhee)

1981 현재 : 경남대학교 공과대학 정
보통신공학과 교수