

MMIC 회로를 이용한 위성중계기용 30 GHz대 저잡음증폭기 모듈 개발

A 30 GHz Band Low Noise Amplifier Module for Satellite Communications Payload using MMIC Circuits

염인복* · 임종식** · 이재현* · 이성팔* · 유영근*** · 강성춘**** · 남상욱**

In-Bok Yom* · Jong-Sik Lim** · Jae-Hyun Lee* · Seong-Pal Lee* · Young-Geun Yoo*** ·
Sung-Choon Kang**** · Sang-Wook Nam**

요 약

30 dB의 선형이득과 2.6 dB의 잡음지수 성능을 갖는 위성통신중계기용 30 GHz대 저잡음증폭기 모듈이 MMIC와 박막 MIC 기술로 개발되었다. 두 종의 MMIC 회로가 저잡음증폭기 모듈에 사용되었는데, 하나는 초저잡음용 MMIC 회로이고, 다른 하나는 광대역 고이득용 MMIC 회로이다. MMIC 회로 제작에 사용된 증폭소자는 0.15 μm 게이트 길이를 갖는 pHEMT이다. 두 개의 MMIC 회로를 상호 연결하고 저잡음증폭기 모듈을 완성하기 위하여 박막기술을 이용하여 마이크로스트립 선로를 구현하였으며, 안정된 DC 전원 공급을 위하여 후막기술을 이용한 바이어스 회로를 개발하였다. 저잡음증폭기 모듈의 입력측은 위성중계기의 안테나로부터의 신호를 받아들이기 위하여 도파관 형태로 설계되었으며, 출력측은 주파수변환부와의 접속을 위하여 K-컨넥터를 구현되었다. 모든 제작 공정에는 실제 위성용 부품 제작 기술이 도입되었으며, 위성중계기에 탑재되는 부품에 요구되는 온도시험 및 진동시험을 실시하였다. 제작된 저잡음증폭기 모듈은 동작목표 대역인 30 ~ 31 GHz에서 30 dB 이상의 이득, ±0.3 dB의 이득평탄도, 그리고 2.6 dB 이하의 우수한 잡음지수를 가진 것으로 측정되었다.

Abstract

A 30 GHz band low noise amplifier module, which has linear gain of 30 dB and noise figure of 2.6 dB, for 30 GHz satellite communication transponder was developed by use of MMIC and thin film MIC technologies. Two kinds of MMIC circuits were used for the low noise amplifier module, the first one is ultra low noise MMIC circuit and the other is wideband and high gain MMIC circuit. The pHEMT technology with 0.15 μm of gate length was applied for MMIC fabrication. Thin film microstrip lines on alumina substrate were used to interconnect two MMIC chips, and the thick film bias circuit board were developed to provide the stabilized DC bias. The input interface of the low noise amplifier module was designed with waveguide type to receive the signal from antenna directly, and the output port was adopted with K-type coaxial connector for interface with the frequency converter module behind the low noise amplifier module. Space qualified manufacturing processes were applied to manufacture and assemble the low noise amplifier module, and space qualification level of environment tests including thermal and vibration test were performed for it. The developed low noise amplifier was measured to show 30 dB of minimum gain, ±0.3 dB of gain flatness, and 2.6 dB of maximum noise figure over the desired operating frequency range from 30 to 31 GHz.

* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소(Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

** 서울대학교 전기공학부 전파공학연구소(Applied Electromagnetics Lab., Dep. of E.E., Seoul National University)

*** (주)NRD(NRD, Inc)

**** (주)해리컴(Harry Com., Inc.)

· 논 문 번 호 : 20000309-029

· 수정완료일자 : 2000년 5월 4일

I. 서 론

최근 다양한 통신 시스템과 고품질의 멀티미디어 서비스에 따라 주파수 수요가 증가하고, 낮은 주파수 대역이 포화됨에 따라 Ka-대역 및 밀리미터파대의 초고주파 대역에 대한 관심이 크게 늘고 있다. 주파수가 높아질수록 고속전송 및 고품질의 서비스와 통신 용량의 확장이 용이하다. 위성중계기 분야도 예외는 아니어서 기존의 Ku-대역 이하의 주파수 대역이 거의 포화상태에 이룸에 따라 지금은 Ka-대역 위성중계기 개발이 큰 관심사가 되고 있다^{[1]-[5]}.

Ka-대역 이상의 주파수 대역에서 HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuits) 기술로 능동 부품을 제작할 경우, 매우 까다롭고 정밀한 설계 및 제작 기술이 필요하다. 증폭 소자의 취급이나 제작 과정에서의 와이어 본딩, 제작시 발생하는 기생성분의 제거 또는 최소화, 제작 후 튜닝에 있어서 오랜 시간과 고비용이 요구되므로, 양산(量産)을 어렵게 하는 등의 많은 현실적인 어려움이 뒤따른다. 위와 같은 어려움과 한계점을 극복하기 위한 좋은 해결 방안이 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 기술이다. MMIC 기술은 부품 설계시 패키지에 의한 기생 성분을 제거할 수 있고, 부품 제작의 용이성과 양산성이 뛰어나서 HMIC 기술과 비교할 때 많은 장점들을 가지고 있다.

그러나 MMIC 회로만으로 저잡음증폭기 모듈을 완성할 수는 없다. 기본적으로 전송선로 부분과 바이어스 회로 및 외부와의 연결을 위한 입출력 연결부의 설계가 뒤따라야 모듈이 완성된다. 왜냐 하면 MMIC 회로 자체로는 통신 시스템에서 요구하는 형태의 입출력 인터페이스를 갖지 못하기 때문이다. 따라서 제작 과정에 있어서 HMIC 기술의 뒷받침은 매우 중요하며 필수적인 요건이다.

본 논문에서는 기 제작한 저잡음증폭용 MMIC 회로를 이용하여^{[6],[7]} 위성중계기용 30 GHz대 저잡음증폭기 모듈을 제작하고 그 성능을 시험하였다. 제작된 저잡음증폭기 모듈에는 1) MMIC 기술의 장점을 최대한 살려 개발한 초소형, 초저잡음, 광대역, 고이득의 30 GHz대 MMIC 저잡음증폭 회로, 2) 위성중계기용 부품 제작 기술을 이용한 고정밀의 HMIC 기술

이 이용되었다. MMIC 회로에 대한 성능은 웨이퍼상 측정과 픽스춰상 측정을 거쳐 모두 검증되었으며, 저잡음증폭기 모듈의 성능은 전기적 성능 측정, 열 시험, 진동 시험을 통하여 검증되었다. 그리고 최종적으로 저잡음증폭기 모듈의 개발 목적에 부응하기 위하여 30/20 GHz 위성중계기 시스템에 탑재하여 그 성능을 검증하였다.

II. 저잡음증폭용 MMIC 회로

MMIC 기술의 가장 큰 장점 중 하나는 능동 소자의 패키지에 의한 기생 성분이 존재하지 않는다는 것이다. 기생성분은 증폭소자의 이득을 떨어뜨리고 잡음지수를 높이며, 사용 가능한 주파수 대역을 크게 낮춘다. 패키지 된 소자의 경우 대개 약 20 GHz를 전후로 동작주파수의 한계가 결정된다. 그러나 MMIC 회로에서는 개개의 증폭소자에 대한 패키지를 전혀 고려하지 않아도 되기 때문에 설계된 최대한의 이득과 최소한 잡음지수에 근접한 결과를 얻을 수 있다. 또한 사용 가능한 주파수 대역도 패키지된 증폭소자와는 비교가 안될 정도로 높기 때문에 밀리미터파 대역 이상 초고주파에서도 잡음지수를 크게 개선할 수 있다.

그림 1은 개발된 저잡음증폭기 모듈의 블록 다이어그램이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 사용된 MMIC 회로는 2종이다. 첫 번째 MMIC 회로는 30 GHz대 주파수에서 초저잡음과 고이득을 구현하는 성능을 가지고 있으며, 두 번째 회로는 광대역, 고이득 및 우수한 정합 성능을 가지고 있다. 각각의 기대 성능을 얻기 위하여 첫 번째 MMIC 회로는 Single-ended 형태로, 두 번째 회로는 평형증폭기 형태로 설계하였다.

그림 2는 초저잡음을 위한 첫 번째 MMIC 회로를 보여주고 있다. 초저잡음 성능을 위하여 우수한 전자 이동도를 가지고 있는 HEMT 소자가 사용되었다^{[8],[9]}. 이 소자의 gate 크기는 $0.15 \times 80 \text{ um}^2$ 이다. 제작된 회로는 2단 single ended 형태이며 $2850 \times 1300 \text{ um}^2$ 의 크기를 갖는다. 웨이퍼상 측정(On-wafer measurement) 결과, 29 ~ 33 GHz 주파수 범위에서, 1.8 dB 이하의 잡음 지수에, 16.0 dB 이상의 선형이득을 가짐을 확인하였다. 측정된 성능을 그림 3에 나타내

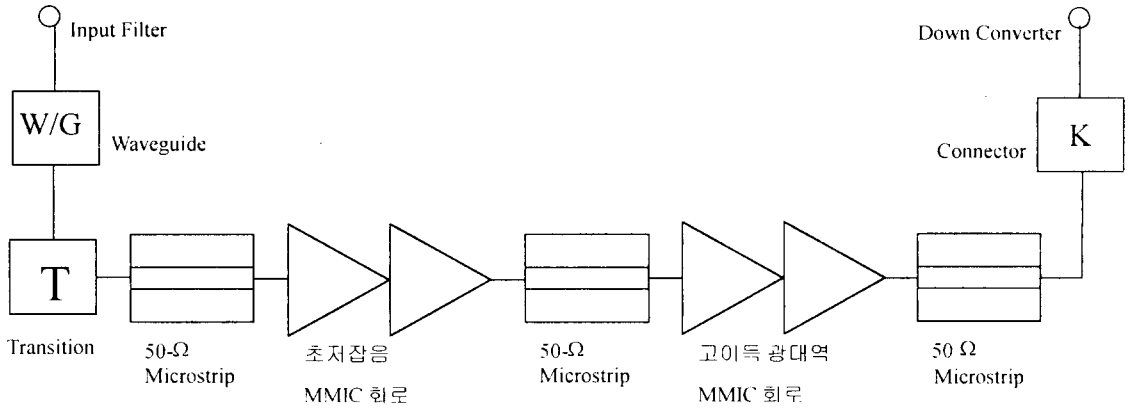


그림 1. 개발된 저잡음증폭기 모듈의 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of the developed low noise amplifier module.

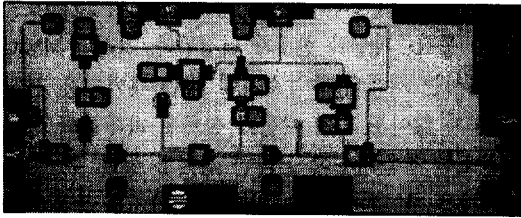


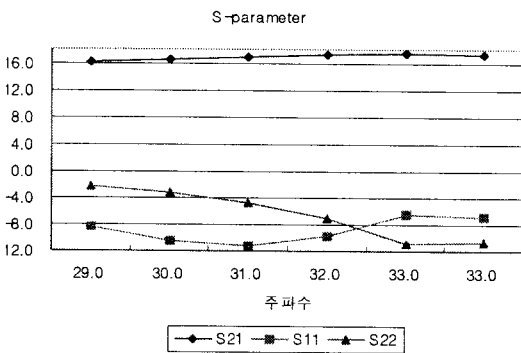
그림 2. 초저잡음, 고이득 성능을 지닌 첫 번째 MMIC 회로

Fig. 2. Ultra low noise and high gain MMIC circuit ; The first MMIC circuit.

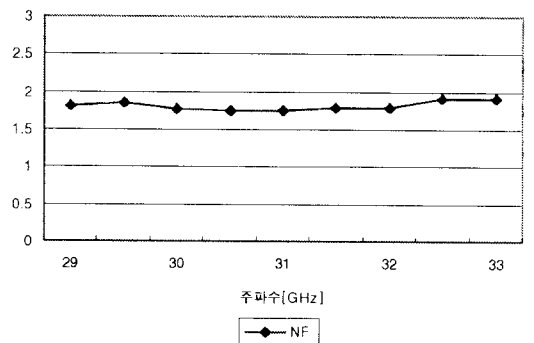
두 번째 MMIC 회로를 보여주고 있다. 이 회로에 사용된 소자 역시 HEMT이며, gate 크기는 $0.15 \times 120 \text{ um}^2$ 이다. 제작된 회로는 2단 평형증폭기 형태이며 $3000 \times 2200 \text{ um}^2$ 의 크기를 갖는다. 평형증폭기 구성을 위하여 입출력부에 라인지 결합기(Lange Coupler)가 사용되었다. 라인지 결합기는 좁은 면적으로도 광대역, 안정성 및 우수한 정합특성을 제공한다. 웨이퍼상 측정(On-wafer measurement)으로부터 2.5 dB의 잡음 지수에 18.0 dB의 이득을 얻었는데, 특히 15 GHz ~ 35 GHz에 이르는 광대역 특성을 보여주고 있다. 그림 5는 측정된 성능을 보여주고 있다.

었다.

그림 4는 고이득, 광대역 및 우수한 정합을 위한



(a)



(b)

그림 3. 초저잡음 MMIC 회로의 측정된 성능. (a) S-parameter, (b) 잡음 지수

Fig. 3. Measured performances of the ultra low noise MMIC circuit. (a) S-parameter, (b) Noise Figure.

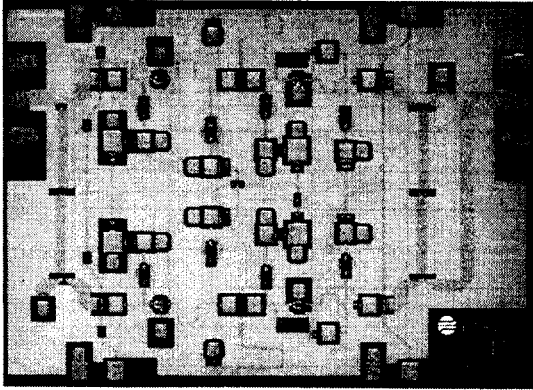


그림 4. 고이득, 광대역 성능을 지닌 두 번째 MMIC 회로

Fig. 4. High gain wide bandwidth MMIC circuit ; The second MMIC circuit.

Ⅲ. 저잡음증폭기 모듈의 설계

3-1 RF 증폭단

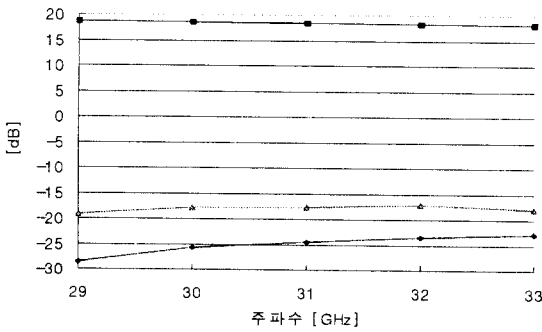
개발하고자 하는 저잡음증폭기의 기본적인 설계 목표 사양은 30 GHz에서 최저 30 dB의 이득과 최고 3.0 dB의 잡음지수이다. 이 목표를 실현하기 위하여 위에서 언급한 두 가지의 MMIC 회로를 직렬로 배열하였다. 그러나 MMIC 회로만으로는 입출력 인터페이스를 구성하기가 어려우므로, 그림 1에 보였듯이 MMIC 회로 사이에 50-Ω 선로를 삽입하여야 한

다. 50-Ω 선로는 10-mil 두께의 Al₂O₃(알루미나) 기판으로 박막 기술을 이용하여 제작하였다. 이 기판은 MMIC 회로 사이를 연결해 줄 뿐만 아니라, 도파관으로 된 입력측과 K 컨넥터로 된 출력측과의 인터페이스를 형성하는 중요한 역할을 한다. 알루미나 기판으로 된 50-Ω 선로를 사용하려면 gold ribbon이나 wire를 이용하여 bonding을 해야 한다.

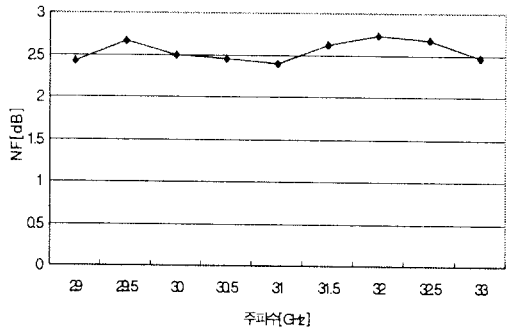
RF 증폭단에서 생각할 수 있는 손실 요인으로 1) 50-Ω 선로에서의 손실 (0.2 dB/cm), 2) bonding wire (또는 ribbon)에 의한 손실 (0.25 dB for 10 mil ribbon), 3) 입출력 연결에 의한 손실 (0.2 dB for transition), 4) bonding으로 유발된 부정합에 의한 손실 등이 있다. 따라서 RF 증폭단에서 얻을 수 있는 이득은 두 MMIC 회로의 이득에서 위의 손실들을 뺀 값이 될 것이다.

3-2 입력 Transition

본 논문의 저잡음증폭기 모듈은 30/20 GHz대 위성중계기용으로 사용될 부품이다. 위성중계기의 안테나에서 수신된 신호는 입력 여파기를 통과한 후 저잡음증폭기에 입력으로 들어간다. 여파기 출력측과의 인터페이스를 위하여 저잡음증폭기의 입력측을 도파관형으로 설계하였다. 따라서 도파관에서 동축선로를 거쳐 마이크로스트립 선로로 신호를 인가할 수 있는 transition이 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 transition을 설계한 후에 이 부분을 HP-HFSS로



(a)



(b)

그림 5. 고이득, 광대역용 MMIC 회로의 측정된 성능. (a) S-parameter, (b) 잡음 지수

Fig. 5. Measured performances of the high gain and wide bandwidth MMIC circuit. (a) S-parameter, (b) Noise Figure.

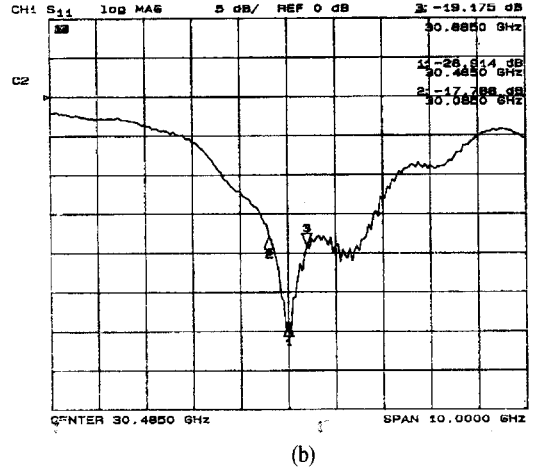
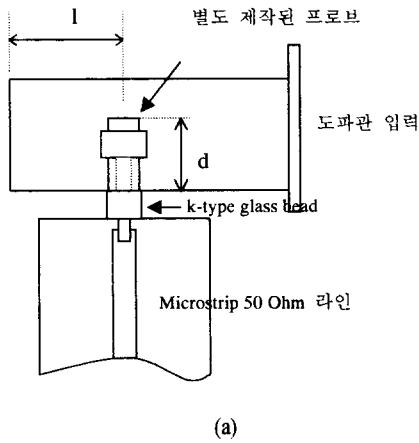


그림 6. 저잡음증폭기 모듈의 입력측 도파관에서 마이크로스트립 선로로의 transition.

(a) 구조 (b) 측정된 반사 손실

Fig. 6. Waveguide to microstrip transition for low noise amplifier module.

(a) Structure, (b) Measured return loss.

시뮬레이션하고, 이를 직접 제작, 측정하여 그 성능을 검증하였다. 검증된 transition 구조는 저잡음증폭기 모듈 설계시에 그대로 적용하였다. 그림 6은 설계, 제작한, 도파관에서 마이크로스트립 선로로의 transition의 구조와 성능 시험 결과를 보여주고 있다. 그림에서 프로브의 길이(d)는 2 mm, 도파관 end-wall에서 프로브 중심까지의 길이(l)는 전체모듈의 크기를 줄이기 위하여 $\lambda/8$ 로 하였다. Transition에 별도의 probe를 사용한 이유는 도파관과 마이크로스트립 선로간의 임피던스 정합을 완만하게 하여 광대역에 걸친 반사손실 특성을 개선하기 위함이다.

3-3 Bias 회로

RF 증폭단에 사용된 증폭 소자는 HEMT이다. 따라서 bias를 인가할 때 gate, drain에 (-), (+)의 전압을 순차적으로 인가하고, 그 역순으로 해제하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 이것을 고려하여 bias 회로를 설계하고, 이를 spice로 시뮬레이션 하여 원하는 동작을 하도록 하였다. 위성중계기용 부품은 소형화, 경량화가 매우 중요하므로, 이를 준수하기 위하여 설계한 바이어스 회로를 후막공정 기술로 세라믹 기판에 제작하였다. 따라서 제작된 bias회로는 소형화, 경량화되어 있으며, 동작 온도가 크게 변하

여도 회로의 거의 변형없이 안정적으로 동작한다. 그림 7에 사용한 Bias 회로를 나타내었다. Bias회로의 앞부분은 (-)전압 우선인가 회로이며, 뒷부분은 안정적인 dc 공급을 위한 회로이다.

IV. 저잡음증폭기 모듈의 제작 및 성능

저잡음 증폭기 모듈의 제작 및 조립 공정에는 실제 위성용 부품 제작 기술이 도입되었다. 그림 8은 제작된 저잡음증폭기 모듈을 보여주고 있다. 소형화, 경량화를 위하여 RF부와 bias부를 서로 반대편에서 겹치게 하였으며, 입력여파기와 인터페이스가 용이한 위치에 도파관형 입력 port를 설정하였다. 전체 모듈의 크기는 $34.0 \times 47.0 \times 24.5 \text{ mm}^3$ 이며 총 질량은 110 g이다.

제작된 저잡음증폭기 모듈은 매우 안정하게 동작하였으며, 그림 9는 상온에서 측정된 S-parameter를 보여주고 있다. 이 그림으로부터 대역내에서 30.0 dB 이상의 이득과 -10.0 dB의 입력 반사계수, 그리고 $\pm 0.30 \text{ dB}$ 이하의 평탄도를 지니고 있음을 알 수 있다. 저잡음 증폭기 모듈의 S-parameter 특성은 MMIC chip의 특성보다 동작 주파수 대역에서 협대역 특성을 보이고 있는데, 이는 그림 6에 나타난 바와 같이 transition이 해당 주파수 대역에서 peak 특성을 보이

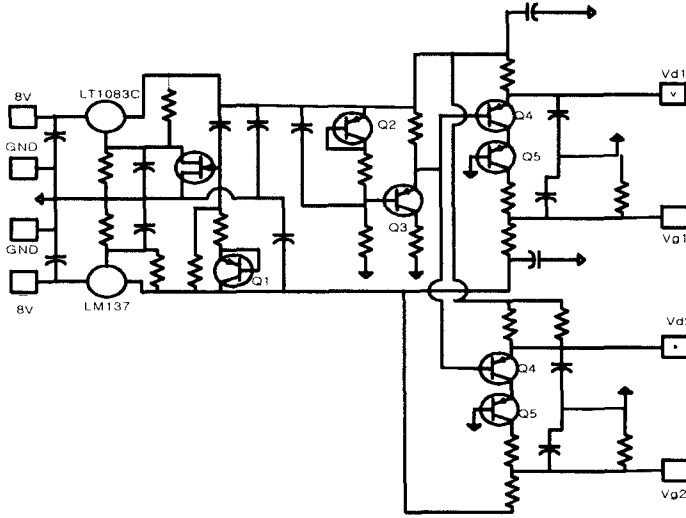


그림 7. 저잡음증폭기 모듈의 Bias 회로

Fig. 7. Bias circuit of the developed low noise amplifier module.

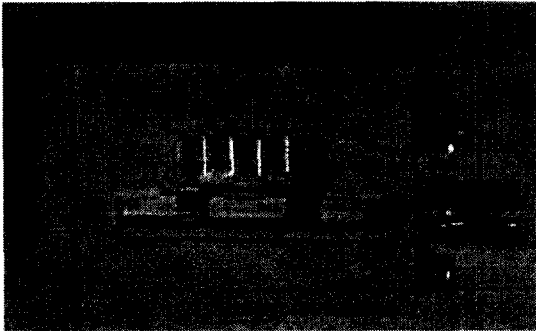


그림 8. 제작된 저잡음증폭기 모듈의 사진

Fig. 8. Photograph of the developed low noise amplifier module.

기 때문이다. 그림 10은 상온에서 측정된 저잡음증폭기 모듈의 잡음지수를 보여주고 있는데, 대역내에서 최대 2.5 dB이다.

위성중계기용 부품은 실제 동작 온도가 상온으로 고정되어 있지 않다. 저잡음증폭기 모듈에 요구되는 동작온도는 30 ~ 50°C이나 비행 인증을 위하여 20 ~ 60°C의 온도 범위에 대한 열시험이 요구된다. 열시험은 자체 보유한 항온기를 이용하여 수행하였다. 일반적으로 증폭기의 이득은 온도가 올라갈수록 낮아지는 경향이 있으며 동시에 잡음지수는 높아지는

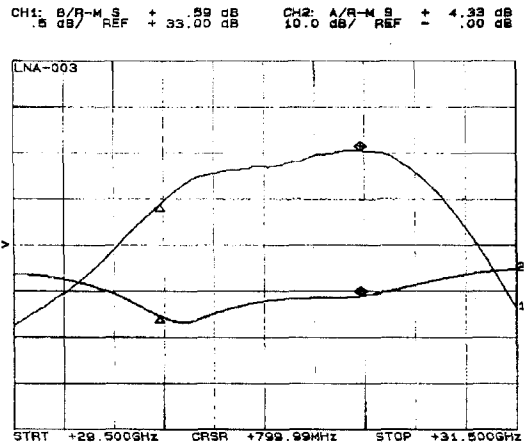


그림 9. 제작된 저잡음증폭기 모듈의 상온에서 측정된 S-parameter 성능

Fig. 9. S-parameters of the developed low noise amplifier module at room temperature.

경향이 있다. 본 실험에서도 이런 경향을 확인할 수 있었다. 그림 11에 인증 온도 범위에서의 온도 변화에 따른 이득 및 잡음 지수 특성 변화를 나타내었다. 그림은 항온기 밖에서 측정된 값을 기준으로 하여 환산하여 작성하였다. 시험한 결과, 온도 증가시 이득은 약 $-0.018 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ 감소하였으며, 잡음지수는 약

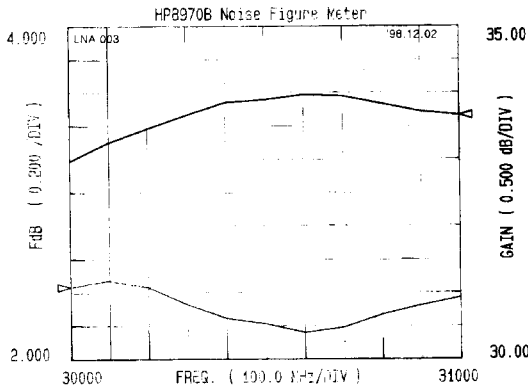


그림 10. 제작된 저잡음증폭기 모듈의 상온에서 측정된 잡음지수 성능

Fig. 10. Noise Figure of the developed low noise amplifier module at room temperature.

0.055 dB/°C 증가하였다. 열시험 후 상온에서 성능을 재측정한 결과와 열시험 전의 상온 시험 결과가 일치하였으며, 온도 변화에 따른 특성 변화가 예상 변화 범위 이내에 존재하였다.

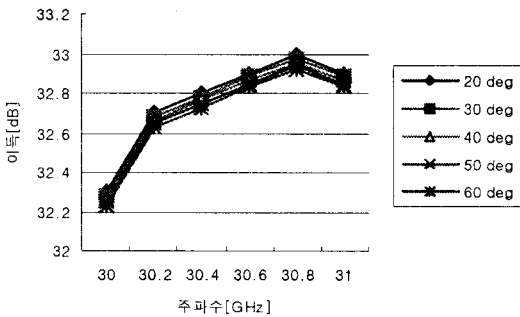
제작된 저잡음 증폭기 모듈이 위성중계기용으로 사용되기 위해서는 위성발사 환경 및 동작 환경에서 견디어야 하므로 이를 확인하기 위하여 진동시험을 수행하였다. 진동시험은 시험에 사용된 지그(Jig) 검사와 낮은 레벨의 정현파 검사를 수행한 후 인증레벨의 정현파 진동시험과 랜덤 진동 시험을 수행하였으며, 진동 시험 후 다시 낮은 레벨의 정현파 검사 순으로 진행하였다. 표 1에 수행한 진동시험 레벨을 나타내었다. 진동 시험 레벨은 위성 발사체에 의해 결정되며, 본 시험에서는 무궁화호 위성을 발사하였던 델타 로켓의 진동 조건을 적용하였다. 진동 시험

표 1. 저잡음 증폭기 모듈의 진동시험 레벨

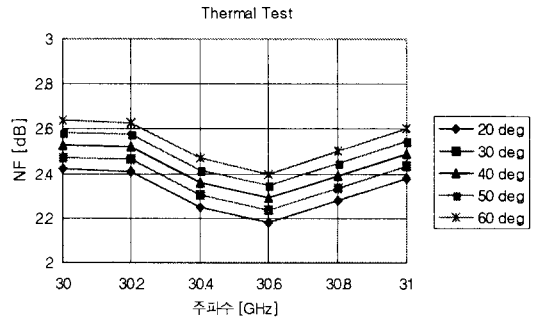
Table 1. Vibration test level for the developed low noise amplifier module.

정현파 진동시험(x,y,z축)		랜덤 진동시험(x,y,z축)			
주파수	인증 레벨	주파수	Spectral Density Level (g ² /Hz)	Overall Level (grms)	시험기간 (초)
10 ~ 24	12.7 mm ^{주1)}	20 ~ 1000	0.20	17.2	120
24 ~ 36	15.0 g				
36 ~ 55	20.0 g	1000 ~ 2000	-6 dB/octave		
55 ~ 100	7.0 g				

주1) 일반적으로 아주 낮은 진동주파수에서는 진동레벨을 g가 아닌 진동 측정편이 위아래로 흔들리 때의 진폭(displacement)으로 나타냄. g는 진동편을 위아래로 가속시킬 때의 가속도(acceleration)임.



(a)

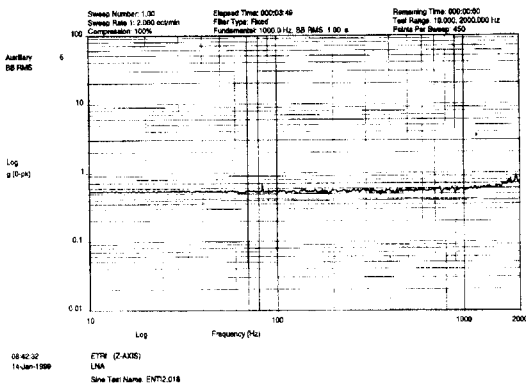


(b)

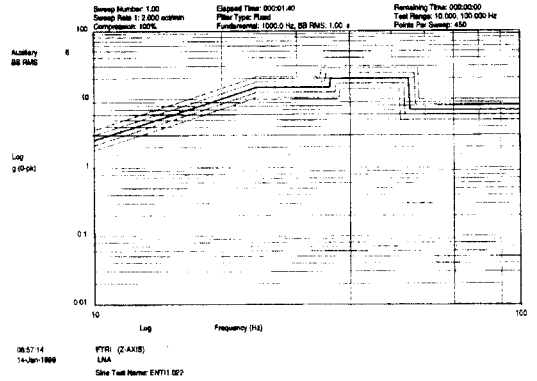
그림 11. 인증 온도 범위에서의 저잡음 증폭기 성능. (a) 이득 특성, (b) 잡음지수 특성

Fig. 11. Performances of the developed low noise amplifier module over qualification temperature range.

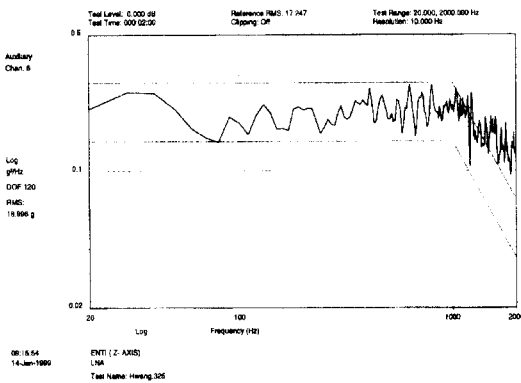
(a) Gain, (b) Noise Figure.



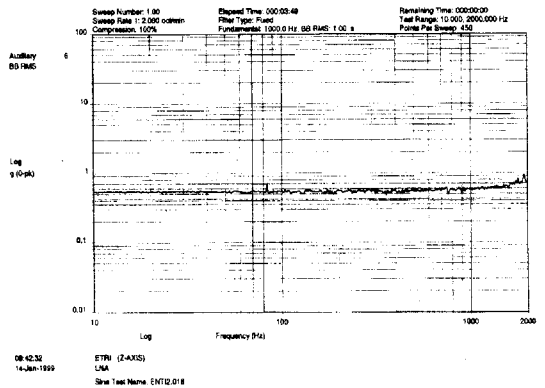
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 12. 저잡음증폭기 모듈의 진동시험 결과. (a) 진동시험 전의 낮은 레벨의 정현파와 검사, (b) 인증레벨 정현파와 진동시험, (c) 인증레벨 랜덤 진동시험, (d) 진동시험 후의 낮은 레벨의 정현파와 검사
 Fig. 12. Vibration test results of the low noise amplifier module. (a) Low level sine survey before vibration test, (b) Qualification level sine vibration test, (c) Qualification level random vibration test, (d) Low level sine survey after vibration test.

은 x, y 및 z 축에 대해 수행하였으며, 그림 12에 z 축에 대한 정현파와 진동 시험 및 랜덤 진동 시험 결과를 나타내었다. 진동 시험 전후의 낮은 레벨의 정현파 검사결과(그림 12의 (a)와 (d))를 비교하여 시험 대상물이 진동시험에 의하여 기계적인 파손이 없었음을 확인하였으며, 정현파와 진동시험과 랜덤진동 시험 결과 그래프(그림 12의 (c)와 (d))에 특별한 공진현상이 나타나지 않았으므로 기구물 설계가 잘 되었음을 확인하였다. 본 논문의 저잡음증폭기 모듈은 열시험과 진동시험을 통과하였으며, 이는 위성중계기용으로 탑재될 수 있음을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서는 30/20 GHz대 위성중계기용 저잡음 증폭기 모듈을 설계, 제작하고 그 성능을 측정하였다. 소형화, 경량화, 양산성이 용이한 MMIC 회로로 초저잡음, 고이득, 광대역의 증폭을 구현하였다. 실제 제작될 모듈에서의 인터페이스를 고려하기 위하여 10-mil 알루미늄이나 기관으로 박막 기술을 이용하여 50-Ω 마이크로스트립 선로를 구현하였다. 입력측은 수신부 입력여파기의 출력측과의 인터페이스를 위하여 WR-28 도파관으로 구현하였다. 제작된 저잡음

증폭기 모듈은 열시험과 진동 시험을 수행하였으며, 환경 시험 후 성능 측정된 결과 목표 대역을 포함하는 광대역에서 안정한 동작을 하였는데, 30~31 GHz의 주파수 대역에서 최소 30.0 dB의 이득과 최대 2.6 dB의 잡음지수, 그리고 대역내 ± 0.3 dB의 이득 평탄도를 얻었다. 이 값들은 모두 요구 규격을 만족하고 있다. 제작된 저잡음증폭기 모듈은 실제로 EM급 위성증폭기에 탑재되어 그 성능이 우수함이 검증되었다. 본 논문에서 언급한 저잡음증폭기 모듈 및 MMIC 회로는 매우 광대역에서 우수한 성능을 지니고 있으므로 주파수 대역이 유사한 다른 통신시스템용 저잡음증폭기 개발에도 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Haruhiko Kato, *et al.*, "A 30GHz MMIC Receiver for Satellite Transponders," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-38, no. 7, pp. 896-903, July, 1990.
 [2] Laural Qualcomm Satellite Service, Description of

Globalstar System, June, 1994.
 [3] Francis Choi, Inmarsat-P SERVICE VIA AN INTERMEDIATE CIRCULAR ORBIT(IC) SATELLITE SYSTEM, *Proc. of APSCC 94 Workshop*, pp. 151-169, 1994.
 [4] R. J. Leopold, The Iridium Communications Systems, Singapore ICCS/ISITA 92.
 [5] Satellite NEWS, Aug., 9 1993, May, 30 1994, Aug., 25 1994, etc.
 [6] 임종식 외, "위성통신용 30 GHz대 MMIC 저잡음증폭기의 설계 및 제작", 대한전자공학회 논문지, vol. 36-D, no. 9, pp. 13-20, 1999년 9월.
 [7] 유영근 외, "위성통신용 Ka-대역 MMIC 광대역 저잡음증폭기 개발", 1998년 한국통신학회 하계종합 학술대회, vol. 17, no. 2, pp. 731~734.
 [8] Fazal Ali, Aditya Gupta, *HEMTs and HBTs: Devices, Fabrication and Circuits*, 1991, Artech House.
 [9] P. H. Ladbrooke, *MMIC Design GaAs FETs and HEMTs*, Artech House, 1989.

염 인 복



1990년: 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 위성 RF부품연구팀장 선임연구원
 1992년 9월~1995년 5월: 무궁화위성 현장교육 참여(영국 Matra Marconi 사)

[주 관심분야] 위성통신증폭기, MMIC 회로, 필터설계

임 종 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1993년 2월~1999년 2월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단 선임연구원

1999년 3월~현재: 서울대학교 전기공학부 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파 회로의 MIC, MMIC 개발, 능동소자 모델링, 위성증폭기용 시스템 및 초고주파 부품 개발, 전력분배기/합성기 개발 등

이 재 현



1982년: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 1993년: 한국과학기술원 대학원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

[주 관심분야] 마이크로파 해석, 마이크로파 여파기, 위성통신중계기

강 성 춘

1977년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1988년 8월: Ohio 주립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1991년 8월: Ohio 주립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1991년 9월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로의 MIC, MMIC 개발, 위성중계기용 시스템 및 초고주파 부품 개발, 위성통신시스템 설계 및 분석 등

이 성 팔

1978년: 서울대학교 전기공학과(공학사)
 1980년~현재: 한국전자통신연구원, 위성통신시스템연구부 책임연구원
 1986년: Polytechnic Institute of New York 전기전자공학과 (공학석사)
 1990년: Polytechnic Institute of New York 전기전자공학과 (공학박사)
 [주 관심분야] 위성통신시스템

남 상 욱

1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
 1989년 5월: University of Texas at Austin 전기공학과 (공학박사)
 1990년~현재: 서울대학교 전기공학부 교수
 [주 관심분야] 전자파 수치 해석, 안테나 및 초고주파 회로 설계 등

유 영 근

1994년: 울산대학교 전자 및 전산기공학과 (공학사)
 1996년: 울산대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 7월~1999년 1월: 현대전자 위성사업단 근무
 1999년 2월~1999년 9월: (주)밀리트론 주임연구원
 1999년 10월~현재: NRD 개발과장
 [주 관심분야] 마이크로파 소자 및 모듈