

# K-대역 위성통신용 3단 저잡음 증폭기의 설계

이승욱<sup>\*</sup> · 이영철<sup>\*</sup> · 김영진<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>경남대학교 정보통신공학부

<sup>\*\*</sup>동의대학교 전자공학과

## Design of Three-stage Low-noise Amplifier for K-band Satellite Communication

Sueng-Wook Lee<sup>\*</sup> · Young-Chul Rhee<sup>\*</sup> · Young-Jin Kim<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University,

<sup>\*\*</sup>Dept. of Electronic Eng. Dongeui University,

E-mail : micropt@kyungnam.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 K-대역 무궁화 위성의 하향변환기용 저잡음 증폭기를 설계하였다. 30dB이상의 높은 이득을 필요로 하는 하향변환기용 저잡음증폭기의 특성을 만족시키기 위해 3단으로 구성하였다. 설계된 3단 저잡음 증폭기에 대해 모의 실험한 결과 입력신호의 동작 주파수 19.2GHz~20.2GHz에서 33dB의 이득과 0.93dB의 잡음지수를 보였으며, 제작 측정된 결과 이득은 25dB, 잡음지수는 1.5dB를 보였다. 한편 이 증폭기의 입·출력 반사계수는 각각 -25dB와 -28dB로 나타났고, 입·출력 정재파비는 1.5 이하로 K-대역 무궁화위성의 하향변환기용 저잡음증폭기로써의 성능을 만족할 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we have designed a low-noise amplifier for the down-converter to apply the K-band Mu-kung-hwa satellite downconversion. We have designed on three-stage to satisfy the property of low-noise amplifier for the down-converter required at least 30dB gain. The simulation results for the designed three-stage Low-noise amplifier are measured that 33dB, gain and 0.93dB, noise-figure From 19.2GHz to 20.2GHz, and The experiment results of the fabric are measured that 25dB, gain and 1.5dB, noise-figure. Since Input reflection coefficient and output reflection coefficient are -25dB and -28dB, respectively, and VSWR is lower than 1.5, this amplifier can be used as a low-noise amplifier for the down-converter to apply the K-band Mu-kung-hwa satellite downconversion.

## I. 서 론

최근 사회가 고도화, 정보화 사회로 되면서 보다 넓은 지역에 정보를 전달하고, 지상에서의 통신 제약을 받지 않는 위성통신이 부각되고 있다. 이에 따라 우리나라에서도 효율적인 통신을 위하여 자국 위성인 무궁화 위성을 이용하고 있으며, 주파수 한계의 문제점을 해소하고자 높은 주파수인 K/Ka-대역의 채널을 확보하고 있다. 저잡음 증폭기는 통신시스템의 하향변환기에서 수신된 미약한 크기의 신호를 증폭하기 위해 신호대 잡음 특성에 따라 전체 시스템의 감도가 결정되는 핵심 부분이므로 본 논문에서는 K-대역 무궁화 위성에 적용되는 3단 저잡음 증폭기를 첫단에서는 저잡음 특성을 나타내도록 임피던스 정합시켰으며, 최종단에서 가능한 큰 이득을 나타내도록 정합회로를 설계 및 제작하였다.

## II. K-대역 위성통신용 3단저잡음증폭기의 설계

본 논문에서는 K-대역 위성통신 하향변환기용 3단 저잡음 증폭기의 설계 목표를 표 1과 같이 정하였다. 다만 저잡음증폭기의 경우 첫단은 이득보다는 저잡음을 위주로 하여 설계하여야 한다. 즉, 최대이득과 최소 잡음특성을 동시에 가질 수 없으므로 이득원과 잡음지수원의 절충점을 찾을 때 어느 정도의 이득의 감소를 감수하더라도 낮은 잡음지수를 가지는 절충점을 선택해야 한다.[1] 일반적으로 하향변환기의 저잡음증폭기는 전체시스템의 잡음 지수, 입·출력 정재파비를 결정하는 중요한 부분으로 1.5dB정도의 낮은 잡음 지수와 30dB이상의 높은 이득, 낮은 입·출력 정재파비, 그리고 안정적인 동작을 필요로 한다.[2] 이런 특성을 만족시키기 위해 Mitsubishi사의

MGF4919G를 사용하여 3단 저잡음 증폭기를 설계하였다. 저잡음 증폭기를 설계하려면 첫단에서 저잡음 증폭 정합하고, 동작주파수대역에서 안정도를 판별한다. 안정도 K가 1보다 크게 bias조건을 설정한 다음, 잡음지수와 이득을 고려하여 입·출력 정합회로를 설계해야 한다. 본 연구에서는 19.2GHz~20.2GHz의 중심주파수 19.7GHz에서 MGF4919G소자는 안정도 K가 1.225로 무조건 안정하고, 최대이득은 12.862dB이고 NFmin은 0.671dB로 나타났다.

<표 1. 3단 저잡음증폭기의 설계목표및사양>

구분	설계 목표 및 사양
사용소자	MGF4919G( $V_{DS}=2V, I_{DS}=10mA$ )
사용기판	Tefron ( $Er=2.5, H=0.508mm$ )
주파수대역	19.2GHz~20.2GHz
이득	30dB이상
잡음지수	1.5dB이하
입·출력 반사계수	-15dB이하
입·출력 VSWR	1.5이하

그림 1은 잡음지수와 이득원을 나타낸 것으로 이득은 11dB, 잡음지수는 0.667dB로 절충하여  $\Gamma_s = -0.057-j0.330$ 와 이에 관련한  $\Gamma_L = -0.132-j0.431$ 를 구한후, 복소공액정합하여 입력과 출력정합회로를 구성하였다. 이와 같이 설정한 정합회로는 최적화 과정을 통해 그림 2와 같이 설계하였고, 특성은 그림 3에 나타난 것처럼 잡음지수 NF=0.728dB, 이득  $S_{21} = 12.419dB$ , 입·출력 반사계수  $S_{11} = -23.339dB$ 와  $S_{22} = -24.236dB$ , 입·출력 정재파비는 각각 1.14와 1.13로 나타났다.

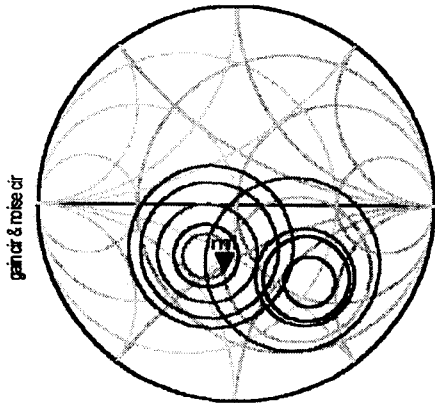


그림 1. 주파수에 따른 이득과 잡음지수원

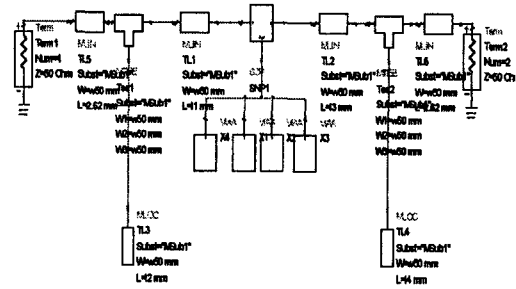
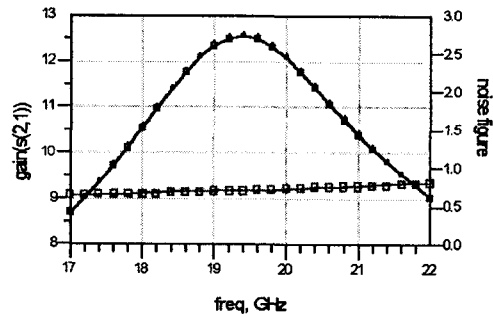
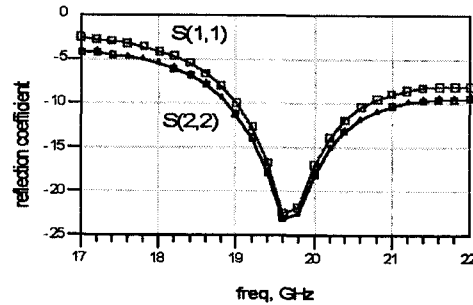


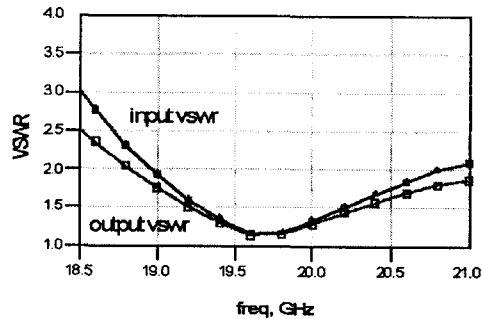
그림 2. 1단 저잡음증폭기의 회로도



(a) 이득과 잡음지수



(b) 입력 및 출력 반사계수



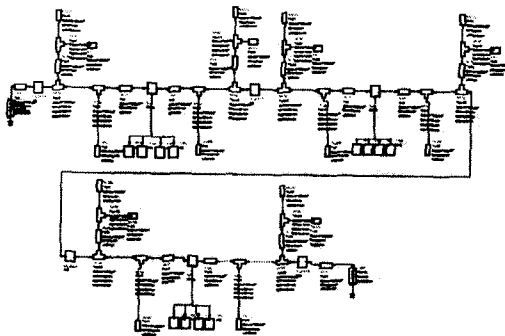
(c) 입력 및 출력 정재파비

그림 3. 1단 저잡음증폭기의 출력특성

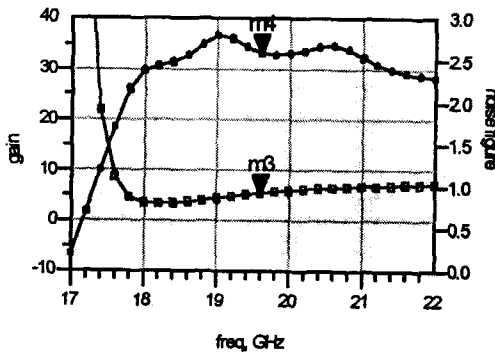
첫단이 잡음위주로 설계되는 것에 비해 2단과 3단은 고이득을 얻을 수 있게 입·출력 정합회로를 구성하여 설계하였다. 즉, 이득원과 잡음지수의 절충점을 찾을 때 높은 이득을 가지는 절충점을 선택해야 한다. 여기서 3단 저잡음 증폭기의 각 단사이에는 dc 블럭과 rf 쇼크를 삽입하였다. rf 쇼크는 RF신호에 대하여 개방된 상태를 유지하여야 하므로  $\lambda/4$  변환 개방 스티브를 사용하여 RF신호의 손실을 줄였다.[3][4]

### III. 3단 저잡음 증폭기의 모의실험결과

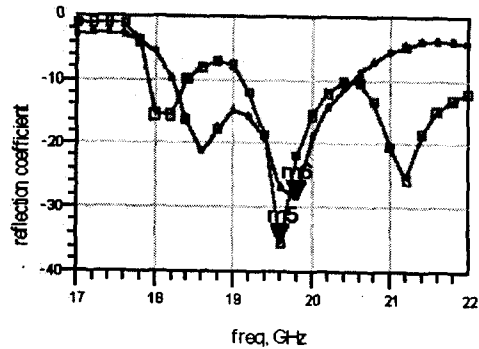
그림 4는 최종적으로 최적화과정을 통해 모의 실험하여 구성한 3단 저잡음 증폭기의 회로도 및 모의실험 결과를 나타내고 있다. 19.2GHz~20.2GHz에서 이득  $S_{21}=33\text{dB}$ , 잡음지수  $NF=0.936\text{dB}$ 로 설계 목표에 만족하는 특성을 보인다. 입·출력 반사계수는 각각 -25dB와 -28dB였고, 입·출력 정재파비는 각각 1.3, 1.5이하의 특성을 보이고 있다.



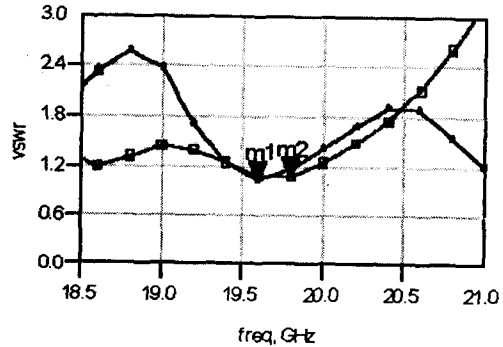
(a) 회로도



(b) 이득과 잡음지수



(c) 입력 및 출력 반사계수



(d) 입력 및 출력 정재파비

그림 4. 3단 저잡음 증폭기의 모의실험

### IV. 3단 저잡음 증폭기의 제작 및 측정

그림 5의 회로도를 바탕으로 실제 제작한 3단 저잡음 증폭기를 그림 6에서 보이고 있다. 기판은  $H=0.508\text{mm}$ ,  $t=0.018\text{mm}$ ,  $E_r=2.5$ 인 테프론(Tefron) 기판을 사용하였고, 측정시 바이어스 조건은 설계시 목표 바이어스 조건인  $V_{DS}=2\text{V}$ ,  $I_{DS}=10\text{mA}$ 인 조건에서 측정하였다. 그림 7은 HP8510C VNA(vector network analyzer)를 사용하여 3단 저잡음 증폭기의 이득과 입·출력 반사계수를 측정된 결과이다. 표 2는 3단 저잡음 증폭기의 모의 실험 결과와 측정결과를 나타낸 것이다. 동작주파수인 19.2GHz~20.2GHz에서 모의실험을 했을 때 증폭기의 이득은 33dB로 나타났으나, 실제 제작한 증폭기의 측정된 이득값은 5dB로 나타났다. 이 값은 20dB 감쇠기를 입력단에 추가하여 측정된 값으로 제작한 증폭기의 실제 이득값은 25dB로 모의 실험치와는 약 8dB정도의 차이를 보였다. 잡음지수는 3단 저잡음 증폭기를 포함한 전체 하향변환기에서 1.5dB로 측정되었다. 따라서, 3단 저잡음 증폭기만을 측정된 잡음지수는 1.5dB이하로 나타날 것으로 예상된다. 입력 반사계수의

경우 모의 실험시  $S_{11} = -25\text{dB}$ 였으나, 실제 측정시에는  $S_{11} = -18\text{dB}$ 로 약 7dB 정도의 차이를 보였으며, 출력 반사계수의 경우는 모의 실험시  $S_{22} = -28\text{dB}$ 였으나, 실제 측정시에는  $S_{22} = -15\text{dB}$ 로 나타났다. 이와 같이 이득값이 모의 실험치와 실제 측정치가 차이 나는 것은 모의 실험시 최적화과정에서 잡음지수와 이득에 중점을 두어 제작한 점과 dc 블럭에서의 손실, 높은 동작주파수, 커넥터 손실, 그리고 제작상의 오차에 기인하는 것으로 예상된다.

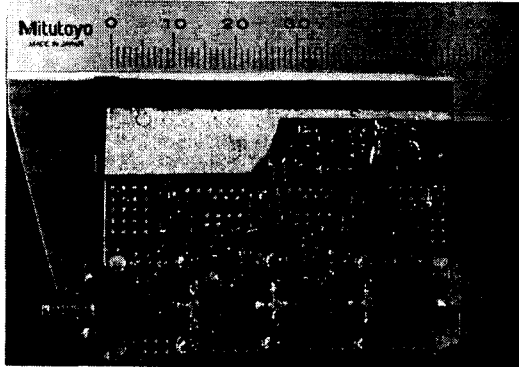
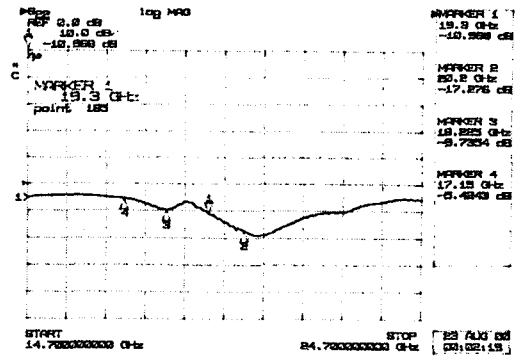


그림 5. 제작된 3단 저잡음 증폭기의 실물사진

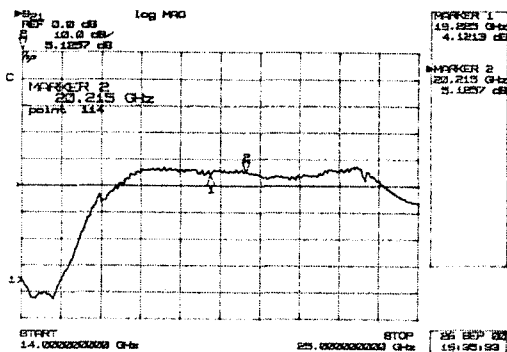


(c) 출력 반사계수( $S_{22}$ )

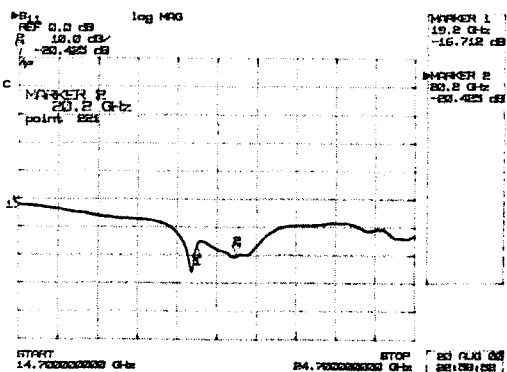
그림 6. 3단 저잡음 증폭기의 측정결과

<표 2. 3단 저잡음 증폭기의 결과비교>

구 분	시뮬레이션결과	측정 결과
주 파 수	19.2GHz ~ 20.2GHz	
이 득	33dB	25dB
입력 반사계수	-25dB	-18dB
출력 반사계수	-28dB	-15dB



(a) 이득( $S_{21}$ )



(b) 입력 반사계수( $S_{11}$ )

## V. 결 론

본 논문에서는 K-대역 무궁화위성의 하향변환기용 3단 저잡음 증폭기를 설계 및 제작하였다. 모의 실험결과 19.2GHz ~ 20.2GHz에서 증폭기의 이득이 33dB, 입·출력 반사계수는 각각 -25dB와 -28dB 정도의 만족할만한 결과를 얻었으며, 설계 제작된 증폭기는 국내 위성방송의 하향변환기용 저잡음 증폭기에 적용할 수 있을 것이라 생각되며, 향후로는 광대역 특성의 저잡음 증폭기의 설계와 MMIC화 기술의 발전이 병행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design", Prentice Hall, second edition, 1997.
- [2] Samuel Y. Liao, "Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design", Prentice Hall, 1987.
- [3] Reinhold Ludwig & Pavel Bretchko, "RF Circuit Design Theory and Applications", Prentice Hall, 2000.
- [4] Ulrich L. Rohde & David P. Newkirk, "RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications", John Wiley & Sons, 2000.