

위성방송 수신용 광대역 저잡음 증폭기 설계 및 구현

° 이원규*, 양운근*, 윤광욱**, 박정우**
* 인천대학교 전자공학과, ** (주)한세전자기기
219@incheon.ac.kr

Design and Implementation of Broadband Low Noise Amplifier for Satellite Broadcasting Receiver

° Won Kew Lee*, Woon Geun Yang*, Kwang Oug Youn**, Jung Woo Park**
* Department of Electronics Engineering, University of Incheon
** Hansae Mechatronics Co., Ltd.

Abstract

본 논문에서는 위성방송 수신용 광대역 저잡음 증폭기를 설계 및 구현하였다. 전산모의 실험용 소프트웨어를 사용하여 저잡음 증폭기를 설계하였고, 제작된 저잡음 증폭기의 전기적 특성을 네트워크 분석기와 Noise Figure 분석기를 사용하여 측정하였다. LNA단의 Noise Figure에 중점을 두고 샘플을 제작하여 측정한 결과 전산모의 실험에서 나온 데이터는 0.46dB 이하였고 전체 시스템에서 측정된 Noise Figure는 0.6dB 정도의 좋은 결과를 나타내었지만, 반면에 이득과 반사손실의 결과가 약간 떨어짐을 보였다. 위성 인터넷 등 위성을 이용하는 통신 인구의 급격한 증가와 더불어 구현된 저잡음 증폭기를 사용한 LNB(Low Noise Block down converter)가 널리 응용될 것으로 기대된다.

I. 서론

21세기의 정보화 사회를 구현하기 위해서는 위성 통신의 장점을 이용한 통신망이 필연적으로 요구되고 있다. 위성통신 서비스는 넓은 지역에 정보를 동시에 전달할 수 있으며, 지상 재해의 영향을 받지 않아 정보 통신망의 중추적 역할을 하고 있다.

무궁화위성 3호는 무궁화위성 1호가 발사 사고로 인하여 예정보다 수명이 단축되어 현재의 서비스를 중단 없이 제공하기 위하여 발사되었다. 무궁화위성 3호는 무궁화위성 1,2호 서비스의 연계 뿐 아니라, 신규서비스 및 수요증가에 대처할 수 있도록 무궁화위성 1,2호보다 대용량, 고출력의 제원을 갖도록 설계되었다.

본 논문에서는 HP사의 ADS(Advanced Design System) 전산모의 실험 소프트웨어를 사용하여 입력 신호 주파수 11.70GHz~12.75GHz 에 대한 Ku밴드 위성통신용 하향변환기에 사용되는 3단 저잡음 증폭기를 전산모의 실험에 의해 설계한 후 구현, 측정하였

다.

2장에서는 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)의 전반적인 개요와 원리를 살펴보고, 3장에서는 전산 모의 실험 결과와 구현된 LNA의 측정치를 비교 및 분석하며 4장에서 결론을 맺는다.

II. 저잡음 증폭기 설계 이론

저잡음 증폭기는 소신호 증폭기중 가장 대표적인 것으로서 소신호 증폭기의 간단한 개념은 미약한 신호를 입력으로 받아 이득(Gain)을 가지고 있는 증폭기를 통해 좀 더 센 신호로 출력하는데 그 목적이 있다.

저잡음 증폭기를 설계하기 위하여 우선적으로 고려되어야 할 사항은 소자의 이득과 안정도, 입출력단의 임피던스 정합관계, 그리고 최대이득을 위한 증폭단의 설계로 나타낼 수 있으며 특히 다단 저잡음 증폭기의 설계에 있어서 추가로 고려해야 할 부분은 이득원과 잡음원간의 trade-off 점의 적절한 선택과 증폭단간의 정합문제 등을 고려해야 한다.

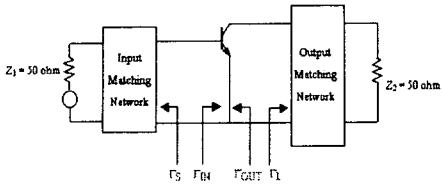


그림 1. 일반적인 2-포트 회로망 증폭기.

그림 1은 일반적인 2-포트 회로망 증폭기를 나타내고 있다. 저잡음 증폭기의 설계시 첫번째단의 잡음지수가 전체 시스템의 잡음지수 특성에 크게 영향을 미치므로 첫번째단은 이득위주의 설계가 아닌 잡음지수에 중점을 두고 설계되어야 한다. 잡음지수는 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{[S_{in}/N_{in}]}{[S_{out}/N_{out}]} = \frac{S_{in}/N_{in}}{GS_{in}/(N_{in} + N_a)} = 1 + \frac{N_a}{N_{in}} \quad (2.1)$$

S_{in} , S_{out} 은 각각 입력과 출력 신호 전력의 크기를 나타내며 N_{in} , N_{out} 은 각각 입력과 출력 잡음 전력의 크기를 나타낸다. 그리고 G 는 이득을 나타내며, N_a 는 회로 내부 잡음의 크기를 나타낸다. 위식(2.1)에서 알 수 있는 바와 같이 잡음지수는 내부잡음의 크기에 따라 그 값이 결정된다.

저잡음 증폭기를 설계하는데 있어 중요한 잡음 파라미터(noise parameter)는 F_{min} , r_n , Γ_{opt} 이다. 다음식 (2.2)는 이 파라미터들 사이의 관계를 나타낸 것이다.

$$F = F_{min} + 4r_n \frac{|\Gamma_S - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_S|^2)(1 + |\Gamma_{opt}|^2)} \quad (2.2)$$

여기서, F_{min} 은 원하는 주파수에서 소자가 낼 수 있는 최소 잡음지수이고, r_n 은 등가 정규화 잡음 저항이며, Γ_{opt} 는 F_{min} 의 잡음지수를 얻기 위한 최적의 입력 반사계수이다. Γ_S 는 트랜지스터에 제공되는 소스측 반사계수이다.

III. 전산모의실험 및 구현

규격을 만족하는 저잡음 증폭기의 소자값을 도출하기 위해 전산모의실험 소프트웨어인 HP ADS(Advanced Design System)를 사용하였고, 구현된 저잡음 증폭기는 HP 8510C 네트워크 분석기 등을 사용하여 측정하였다.

제작한 저잡음 증폭기는 Ku밴드 위성방송수신에

사용하는 LNB(Low Noise Block down converter)의 초단에 사용되었다.

3.1 HP ADS를 사용한 전산모의실험

본 논문에서 제안하는 저잡음 증폭기는 그림 2에서와 같이 저잡음에 적합한 HEMT소자를 사용한 형태이다.

저잡음 증폭기는 3단으로 설계하였으며, 첫번째단은 시스템의 전체의 잡음지수에 영향을 미치기 때문에, 첫번째단의 설계는 이득위주 보다는 잡음지수에 치중하여 설계하였다. 둘째단과 셋째단에서는 잡음지수가 크게 변하지 않는 방법으로 최대한의 이득을 가지도록 설계하였다.

3.1.1 저잡음 증폭기의 첫번째단 설계

그림 2는 전산모의실험을 위해 모델링한 저잡음 증폭기의 첫번째단의 회로도이다. 설계 주파수 범위는 Ku밴드 위성방송 수신을 할 수 있는 11.70GHz에서 12.75GHz까지이다.

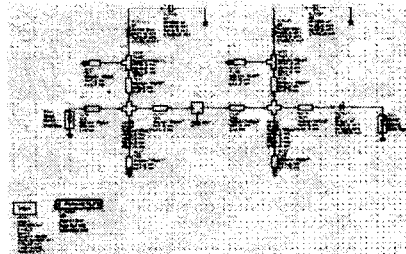


그림 2. 모델링된 저잡음 증폭기의 첫번째단 회로도.

그림 3에 잡음지수와 전달이득(S_{21})에 대하여 전산모의실험 결과들을 보였다. 그림 3 (a)에서 11.70GHz에서 12.75GHz까지 잡음지수는 0.45dB 이하의 결과를 보이고 있으며, 그림 3 (b)는 약 11dB의 전달이득을 나타내고 있다.

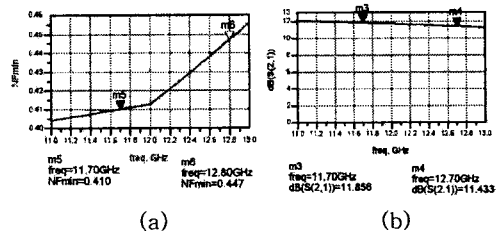


그림 3. LNA 첫번째단의 전산모의실험 결과. (a) 잡음지수, (b) 전달이득(S_{21}).

3.1.2 2단 저잡음 증폭기의 설계

그림 4는 전산모의실험을 위해 모델링한 2단 저잡음 증폭기의 회로도이다.

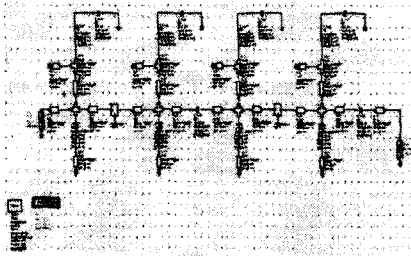


그림 4. 모델링된 2단 저잡음 증폭기의 회로도.

그림 5에 잡음지수와 전달이득(S_{21})에 대한 전산 모의실험 결과들을 보였다. 그림 5 (a)에서 11.70GHz에서 12.75GHz까지 잡음지수는 1단으로 설계되었을 때 보다는 약간 높은 0.46dB이하의 결과를 보이고 있으며, 그림 5 (b)는 약 24.5dB 이상의 전달이득을 나타내고 있다.

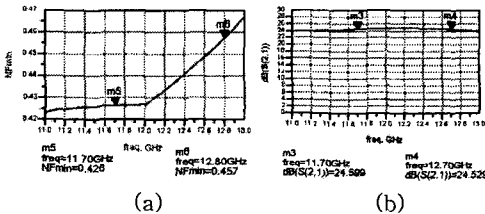


그림 5. 2단 LNA의 전산모의실험 결과.
(a) 잡음지수, (b) 전달이득(S_{21}).

3.1.3 3단 저잡음 증폭기의 설계

그림 6은 전산모의실험을 위해 모델링한 3단 저잡음 증폭기의 회로도이다.

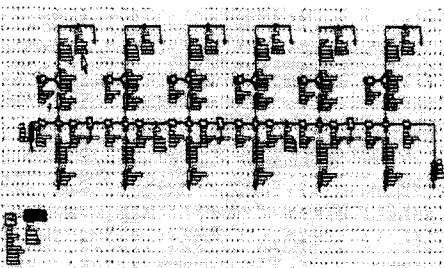


그림 6. 모델링된 3단 저잡음 증폭기 회로도.

그림 7에 잡음지수, 전달이득(S_{21})에 관하여 전산 모의실험된 결과들을 보였다. 그림 7 (a)에서 11.70GHz에서 12.75GHz까지 잡음지수는 0.46dB

이하의 결과를 보이고 있으며, 그림 7 (b)는 약 36dB이상의 전달이득을 나타내고 있다.

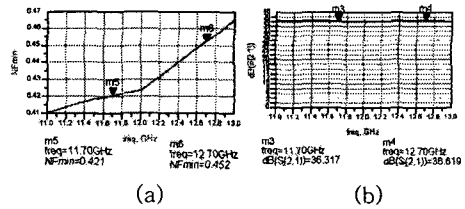


그림 7. 3단 LNA의 전산모의실험 결과.
(a) 잡음지수, (b) 전달이득(S_{21}).

3.2 저잡음 증폭기의 구현 및 측정

전산모의실험된 결과를 바탕으로 LNB를 실제 제작하였으며, 그림 8은 제작된 LNB의 샘플 PCB(Printed Circuit Board) 사진이다.

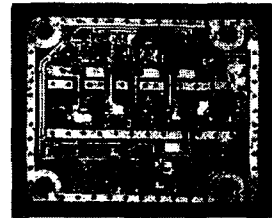


그림 8. 제작된 저잡음 증폭기의 샘플.

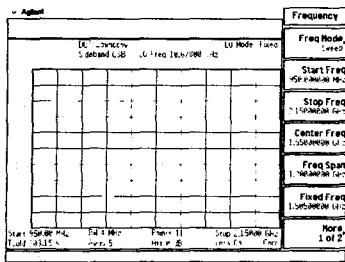
그림 9는 제작된 저잡음 증폭기의 측정 모습을 나타내었다.



그림 9. 제작된 저잡음 증폭기의 측정.

그림 10에 네트워크 분석기와 Noise Figure 분석기 등을 사용하여 측정된 잡음지수, 반사손실, 전압전계파비, 전달이득 등에 대한 측정결과를 나타내었다.

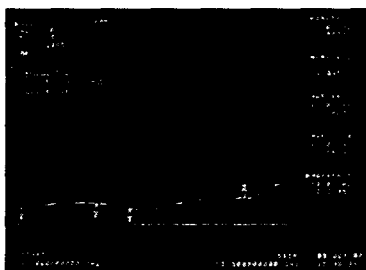
그림 10 (a)는 12GHz대의 잡음지수를 측정할 수 없어 LNB 전체 시스템의 Noise Figure를 측정된 결과를 나타내고 있다. 전산모의실험에서 나온 결과는 0.46dB이하였으나 전체 시스템에서 측정된 잡음지수는 0.6dB로 나타났다.



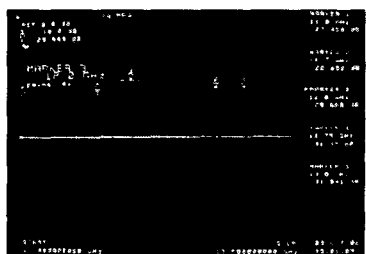
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 제작된 LNA의 전기적 특성 측정결과.
 (a) 잡음지수, (b) 반사손실(S₁₁),
 (c) 전압정재파비, (d) 전달이득(S₂₁).

그림 10 (b)에서는 반사계수가 -7dB 정도임을 볼 수 있다. 그림 10 (c)에서 전압정재파비가 약 2.3임을 볼 수 있다. 그리고 그림 10 (d)에서는 전달이득이 28dB ~ 31dB 정도인 것을 알 수 있다.

LNA단의 잡음지수에 중점을 두고 샘플을 제작하여 측정한 결과 잡음지수는 좋은 결과를 나타내었지만, 반면에 이득과 반사손실의 결과가 약간 떨어짐을 보였다. 전체적으로 볼 때 실제 측정된 데이터 값이 전산모의실험 결과보다 약간 떨어짐을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 위성방송 수신용 광대역 저잡음 증폭기를 설계 및 구현하였고, 제작된 저잡음 증폭기의 전기적 특성 등을 네트워크 분석기와 Noise Figure 분석기등을 사용하여 측정하였다.

LNA단의 잡음지수에 중점을 두고 샘플을 제작하여 측정한 결과 전산모의실험에서 나온 데이터는 0.46dB이하였으나 전체 시스템에서 측정된 Noise Figure는 0.6dB로 나타났다. 반면에 이득과 반사손실의 결과가 약간 떨어짐을 보였다. 이것은 네트워크 분석기의 소스파워의 조절과 출력단의 콘넥터를 변경하고 케이스를 다시 제작한다면 전산의실험에서의 결과와 유사한 데이터를 나타낼 것이라고 기대된다.

위성 인터넷 등 위성을 이용하는 통신 인구의 급격한 증가와 더불어 구현된 저잡음 증폭기를 사용한 LNB는 더 널리 응용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1]L. Ya. Kantor, *Handbook of Stellite Telecommunication and Broadcasting*, Artech House, 1987.
- [2]Behzad Razavi, *RF Microelectronics*, Prentice Hall,1998.
- [3]Jeremy Everard, *Fundamentals of RF Circuit Design with Low Noise Oscillators*, John Wiley&Sons,Ltd., 2001.
- [4]Mike Golio, *The RF and Microwave Handbook*, CRC Press, 2001.
- [5]Cripps, Steve C., *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House, Inc., 1999.
- [6]Chuck Hutchinson, *The ARRL Handbook for Radio Amateurs*, ARRL, 2001.

=====

This work was supported in part by the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) through the Multimedia Research Center at University of Incheon.