

S-밴드 2단 저잡음 증폭기의 설계 및 제작

Design and Implementation of two-stage Low Noise Amplifier for S-band

조현식* · 강상록* · 김장구* · 최병하**

목포해양대학교 전자통신공학과

Hyun-sik Cho* · Sang-Rok Kang* · Jang-Gu Kim* · Byung-Ha Choi**

Department of Marine Electronic & Communication Eng., Mokpo Maritime University

요 약

본 논문에서는 s-밴드에서 동작하는 2단 저잡음 증폭기를 설계 및 제작하였다. 소자는 HP사의 ATF54143 HEMT를 사용하였고, 양호한 잡음지수를 위한 정합회로 설계 시 좋지 않은 입력 정재파비를 동시에 고려하여, 원하는 잡음지수와 입력 정재파비를 얻도록 설계하였다. 측정 결과 이득은 27.8dB, 입력 정재파비와 출력 정재파비는 1.5를 넘지 않는 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, two-stage low noise amplifier(LNA) for S-band is designed and implemented using ATF54143 HEMT of HP CO. In order to get noise figure and input VSWR to be wanted, it is considered input VSWR and noise figure simultaneously in matching-circuit designing. The fabricated two-stage low noise amplifier has the gain of 27.8dB, input VSWR and output VSWR under 1.5.

Key words : low noise amplifier, noise figure, VSWR.

1. 서론

일반적인 통신 시스템에서 수신부의 구성은 저잡음 증폭기, 국부 발진기, 혼합기, 증

간 주파수 증폭기, 저역 통과 필터 등으로 이루어지는데, 이중 저잡음 증폭기는 수신부의 핵심부품으로 안테나를 통해 수신된 미약한 신호를 증폭하면서, 증폭기 자체에서 추가되는 잡음을 최소화하여야 한다. 따라서

* 목포해양대학교 해양전자통신공학과(Department of Marine Electronic & Communication Eng., Mokpo Maritime University)

** 목포해양대학교 해양전자통신공학부(Department of Marine Electronic & Communication Eng., Mokpo Maritime University)

· 논문번호 : 2004-2-12

· 접수일자 : 2004년 11월 5일

저잡음 증폭기는 양질의 데이터 또는 화상을 얻기 위한 중요한 파라미터 중 하나인 잡음 특성에 가장 큰 영향을 미치는 부분이다. 그러므로 이러한 저잡음 증폭기의 설계에 있어서 잡음 특성이 뛰어난 트랜지스터의 선택이 필요하며, 외부 온도변화나, 전기적 특성의 변화에도 변하지 않는 안정된 특성을 보이는 증폭기의 설계가 필요하다[1]. 본 논문에서는 S-band에서 동작하는 저잡음 증폭기를 2단으로 구성하였으며, 소자는 HP사의 ATF-54143 HEMT를 각각 사용하였고, 유전율이 3.5이고, 두께가 20mil인 Taconic RF35 기판을 사용하여 잡음지수, 정재파비, 이득을 고려하여 설계하였다.

II. 저잡음 증폭기 기본이론

2-1 안정도(Stability)

증폭기를 설계함에 있어서 안정도는 매우 중요한 요소이며, 소자의 S-파라미터, 정합 회로망 및 종단 조건 등에 의해서 결정되는 것으로서 설계 주파수 대역뿐만 아니라 모든 주파수 대역에서도 안정해야 한다.

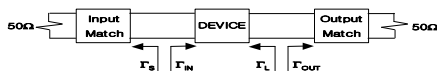


그림. 2-1 증폭기 블록 다이어그램
Fig. 2-1 Amplifier Block Diagram

Fig. 2-1에서 발진은 $|\Gamma_{in}| > 1$ 또는 $|\Gamma_{out}| > 1$ 인 경우에 나타난다. 따라서 수식적으로 무조건 안정할 조건은 다음과 같다 [2].

$$K > 1, |\Delta| < 1$$

여기서,

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

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (2)$$

이고, 단일 변수의 안정도 계수인 μ -factor는

$$\mu = \frac{1 - |S_{22}|^2}{|S_{11} - \Delta(S_{22}^*)| + |S_{21}S_{12}|} > 1 \quad (3)$$

이다[3].

2-2 이득(Gain)

Fig. 2-1에서 여러 전력 이득을 S-파라미터, 소스와 부하 반사계수로 표시할 수 있는데, 전원으로부터 가용할 수 있는 전력과 부하에 공급된 전력의 비인 변환 전력이득(transducer power gain), 2포트 회로망의 입력에 공급된 전력에 대하여 부하에서 소모된 전력의 비인 동작전력이득(operating power gain), 그리고 전원으로부터 가용할 수 있는 전력에 대한 2포트 회로망으로부터 가용할 수 있는 전력의 비인 가용 전력이득(available power gain)이 있다[4].

$$G_T = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - \Gamma_{in}\Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (4)$$

$$G_T = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - \Gamma_{out}\Gamma_L|^2} \quad (5)$$

$$G_P = \frac{1}{1 - |\Gamma_{in}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (6)$$

$$G_A = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |\Gamma_{out}|^2} \quad (7)$$

2-3 잡음지수(Noise Figure)

잡음지수는 증폭기 출력단에서의 총 잡음 전력과 입력단의 등가 잡음저항, R에서 기인된 온도 잡음과 증폭기의 이득으로부터 나타

나는 출력전력과의 비로서

$$F = \frac{P_{NO}}{P_N G_A} \quad (8)$$

이고, 신호대 잡음비로 정의하면

$$F = \frac{P_{Sf}/P_N}{P_{Sf}/P_{No}} \quad (9)$$

이다. 2단 증폭기의 경우, 잡음지수는

$$F = \frac{P_{NO}}{P_N G_{A1} G_{A2}} = 1 + \frac{P_M}{P_N G_{A1}} + \frac{P_{N2}}{P_N G_{A1} G_{A2}}$$

이다.

III. 저잡음 증폭기 설계

본 논문의 S-밴드 저잡음 증폭기의 설계에 서 요구되어지는 낮은 잡음지수, 높은 이득 을 얻기 위하여 도식적 설계기법을 사용하여 2단으로 설계하였다. 저잡음 증폭기를 설계 하는데 있어서 가장 큰 문제점은 최소의 잡 음특성을 얻을 수 있는 최적의 입력정합점 (Γ_{opt})과 최대이득특성을 얻을 수 있는 이득 정합점(Γ_{MS})이 일치하지 않기 때문에, 만약 입력단에서 최소잡음지수를 얻기 위한 정합 점을 선택한다면 입력측 정재파비가 저하 될 수밖에 없다. 최적의 잡음특성을 얻을 수 있는 입력정합점(Γ_{opt})과 최대이득특성을 얻을 수 있는 이득정합점(Γ_{MS})의 절충에 의한 방 법이나, 가용전력이득원 (G_A) 및 동작전력이 득원(G_P)을 이용한 도식적 방법에서도 잡음 과 이득의 절충에 의한 정합은 쉽게 이루어 지나, 원하는 이득과 입력 정재파비를 얻기 위하여 정재파비 원을 그린 후 정재파비 절 충을 통한 반복적인 설계와 최적화 작업이 이루어져야만 한다. 따라서, 본 논문에서 저 잡음 증폭기를 설계 시에는 이러한 절충 시 에 발생할 수 밖에 없는 반복적이 작업의 번 거러움을 줄이기 위한 도식적 설계기법에 따 라 설계하였다.

가용전력이득선도와 잡음 선도상에서 입력

측 반사계수 Γ_S 가 결정되면 잡음지수는 출 력 반사계수 Γ_L 과는 무관하다. 능동소자의 입력측 반사계수 Γ_{IN} 을 식 12와 같이 출력 측 반사계수를 적절하게 선택함으로써 잡음 지수 전혀 영향을 미치지 않고 입·출력 정 재파비를 절충함으로써 최적의 성능을 갖는 입·출력 정합점을 선택할 있다.

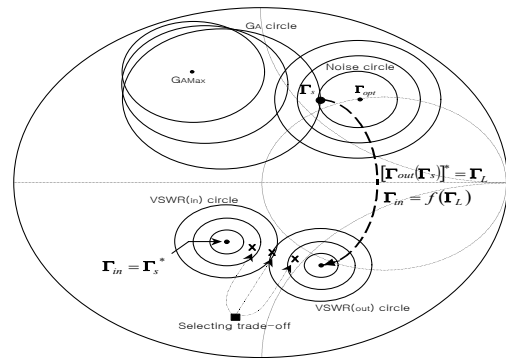


그림 3-1 도식적 설계기법
Fig. 3-1 Graphical design method

입력 정재파비 원도는 $\Gamma_S^* = \Gamma_{IN}$ 을 원점으 로 하여 식 11에 있는 Γ_S 와 $|\Gamma_A|$ 의 값에 따라 스미스 차트의 Γ_{IN} 평면에 $|\Gamma_A|$ 의 일정한 값(정재파비)의 원을 그린다. 출력정 재파비 원도가 식 14의 $\Gamma_{OUT}(\Gamma_S)$ 와 $|\Gamma_B|$ 의 값에 따라서 Γ_L 평면에 그려지나, 식 12 의 이선형변환 (bilinear transformation)에 의해 ($\Gamma_{OUT}^*(\Gamma_S)$)를 원점으로 $|\Gamma_B|$ 의 일정한 값 (정재파비)의 원을 스미스 차트 상의 Γ_{IN} 평면에 그림 3.1과 같이 도시 할 수 있 다. 이렇게 이득원, 잡음지수, 입·출력 정재 파비 원도를 함께 도시함으로써 설계 파라미 터간에 절충 시에 효과적인 도식적 설계방법 에 이용할 수 있다.

$$|\Gamma_A| = \left| \frac{\Gamma_{IN} - \Gamma_S^*}{1 - \Gamma_{IN}\Gamma_S} \right| \quad (11)$$

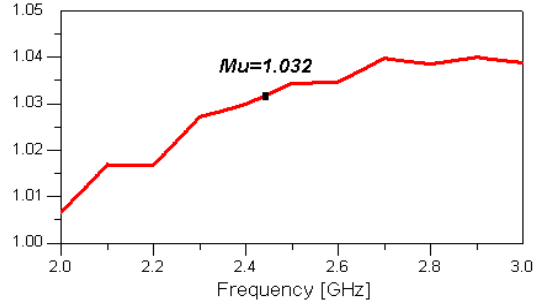
$$\Gamma_{IN} = f(\Gamma_L) = \Gamma_{opt}^* = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (12)$$

$$\Gamma_L = f^{-1}(\Gamma_{IN}) = \frac{S_{11} - \Gamma_{opt}^*}{\Delta - S_{22}\Gamma_{opt}^*} \quad (13)$$

$$|\Gamma_B| = \left| \frac{\Gamma_{OUT} - \Gamma_L^*}{1 - \Gamma_{OUT}\Gamma_L} \right| \quad (14)$$

$$\Gamma_{OUT} = f(\Gamma_S) = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \quad (15)$$

그리고, 본 논문의 2단 저잡음 증폭기 회로에 사용한 소자는 HP사의 ATF54143 HEMT이며, 바이어스 조건은 drain 전압이 3V, drain 전류가 60mA이다. 이때 이득, 잡음지수 및 안정도 특성이 Fig. 3-2와 같다.



(c) 안정도

(c) Stability

그림. 3-2 칩 분석 결과

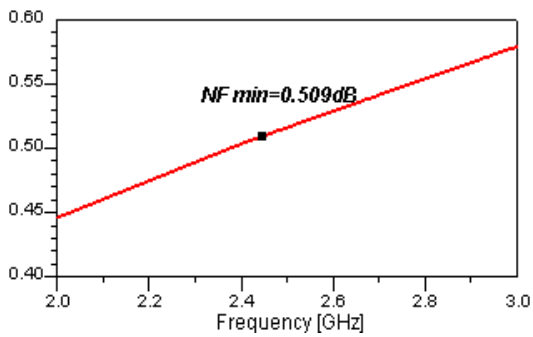
Fig. 3-2 Results of chip analysis

분석 결과 NFmin은 0.6dB, Max Gain은 15.230dB, 그리고 μ -factor는 1.032로 안정하다는 것을 알 수 있다.

3-1 첫째단 증폭기 설계

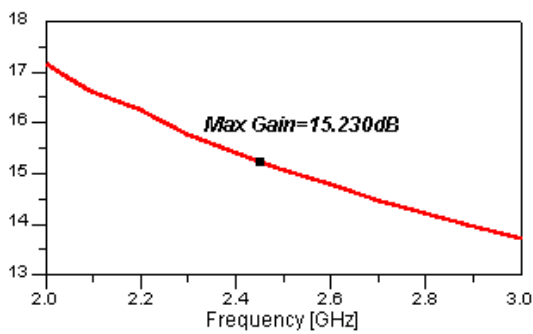
일반적인 2단 저잡음 증폭기의 잡음 지수는 첫째단의 잡음지수에 의해 결정된다. 따라서 이러한 특성을 이용하면 잡음지수는 큰 영향을 받지 않으면서 높은 이득을 갖는 2단 저잡음 증폭기를 설계 할 수 있다.

증폭기 설계 시 선택한 소자의 안정도를 먼저 고려한 후 설계 규격에 맞게 정합회로를 구성하여야 한다. 일반적인 저잡음 증폭기는 입력 측 정합회로를 Γ_S 와 Γ_{opt} 를 같게 놓고 설계를 하게 된다. 하지만 이렇게 입력 정합점을 잡게 되면 잡음 지수는 우수하게 되지만 증폭기의 이득과 입력 정재파비는 좋지 않다.



(a) 최소잡음지수

(a) NF min



(b) 최대이득

(b) Max Gain

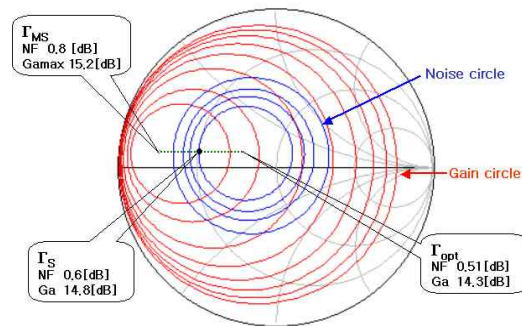
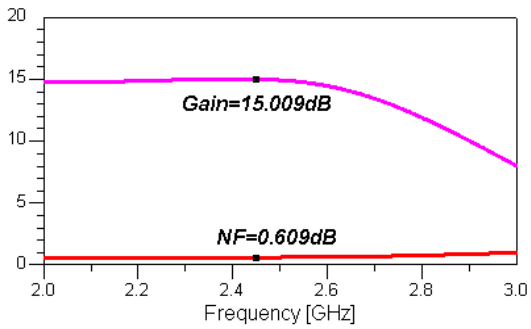


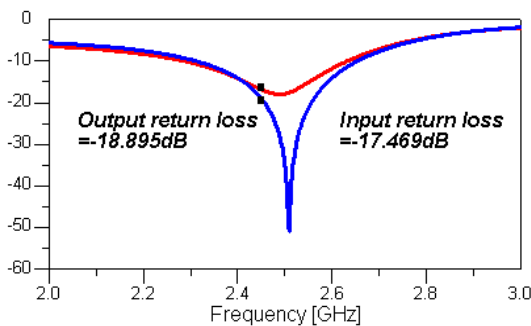
그림. 3-3 첫째단 증폭기 설계 방법

Fig. 3-3 Design method of first-stage

따라서 Fig. 3-3의 Noise Circle과 Gain Circle상에서 잡음지수와 이득을 적절히 고려하여 trade-off점을 잡아 첫째단 입력 정합 회로를 설계하였다. 입력 정합회로가 결정되면 출력 정합회로는 공액정합($\Gamma_L = \Gamma_{out}$)이 되도록 설계하였다. 첫째단 증폭기의 시뮬레이션 결과는 Fig. 3-4와 같다.



(a) 이득 & 잡음지수
(a) Gain & NF



(b) 입력 & 출력 반사손실
(b) Input & Output return loss

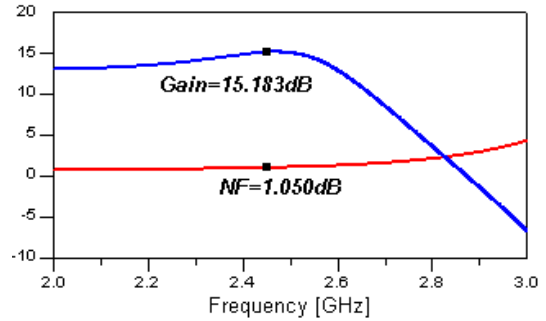
그림. 3-4 첫째단 증폭기 시뮬레이션 결과
Fig. 3-4 Simulation results of first-stage

3-2 둘째단 증폭기 설계

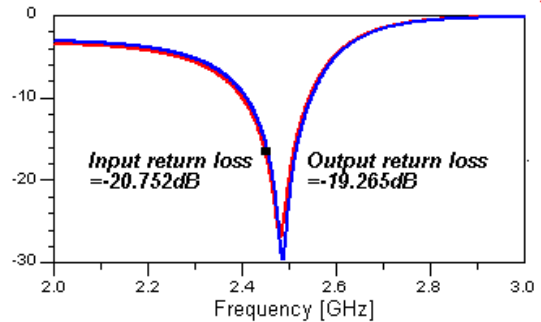
2단 증폭기 설계 시 첫째단은 낮은 잡음지수를 갖도록 설계하므로 이득은 양호하지 못하다. 그러므로 둘째단 증폭기는 첫째단 증폭기에서 양호하지 못한 이득과 다음 단으로 연결 시 부정합으로 인한 손실이 없도록 하기 위하여 이득정합으로 설계를 하였다.

둘째단 증폭기의 시뮬레이션 결과는 Fig.

3-5와 같다.



(a) 잡음지수 & 이득
(a) NF & Gain



(b) 입력 & 출력 반사손실
(b) Input & Output return loss

그림. 3-5 둘째단 증폭기 시뮬레이션 결과
Fig. 3-5 Simulation results of second-stage

3-3 DC Block 설계

DC Block은 증폭기의 출력단에서의 원하는 대역 내에서 손실을 최소화하면서 고주파 신호만을 통과시키고 DC 전류가 흐르지 못하게 하여 계측기나 증폭기가 다른 소자와 연결될 때 바이어스가 증폭기의 능동소자에만 인가되게 하는 역할을 한다.

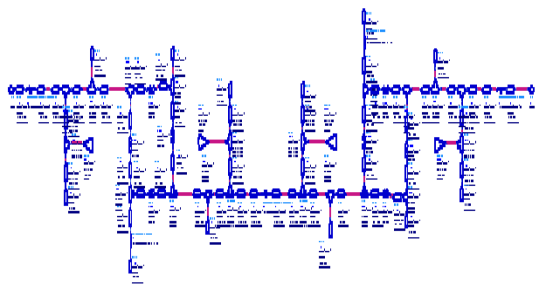
낮은 주파수에서는 집중소자인 커패시터를 사용하여 DC를 차단해 줄 수 있으나 주파수가 높아짐에 따라 집중소자를 이용할 경우 신호의 통과 대역 내에서의 삽입손실이 증가하고 부가적인 기생성분이 발생하여 증폭기의 특성을 저하시킨다. 본 논문에서는 $\lambda/4$ 길이의 결합선로가 아닌 커패시터를 이용하여 DC Block을 구현하였다[5][6].

3-4 DC feed 설계

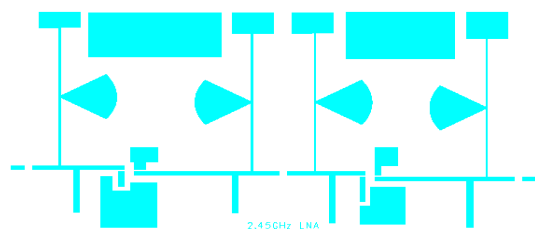
FET와 같은 능동소자를 활성화하기 위해서는 바이어스 회로가 필요한데 이를 설계할 때는 주의가 필요하다. 바이어스 회로는 순수하게 능동소자에게 DC 공급만을 위해서 동작해야하고 설계하는 중심 주파수에서는 개방상태로 동작하므로 바이어스 안정화를 기할 수 있다.

RF에 대하여 완전한 포트간의 격리 특성을 갖게 하기 위해서 $\lambda/4$ 길이의 높은 임피던스와 낮은 임피던스 선로로 구성한다. 저임피던스 특성을 갖는 radial stub는 구형 패치 보다 특성과 회로의 크기 측면에서 유리하다[7].

최종적으로 2단 저잡음 증폭기의 전체 회로도와 layout은 Fig. 3-6과 같다.



(a) 회로도
(a) Schematic

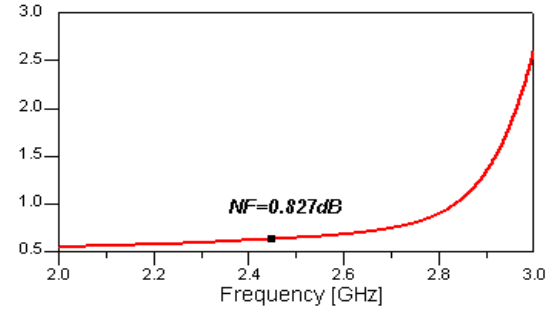


(b) 레이아웃
(b) layout

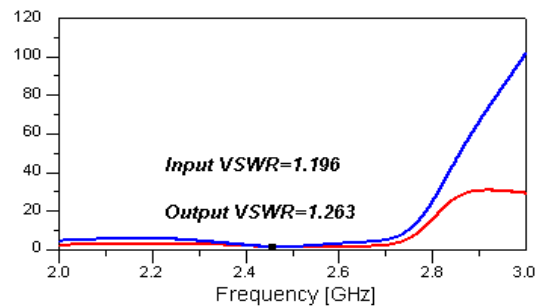
그림. 3-6 2단 LNA 회로도와 레이아웃
Fig. 3-6 Schematic & layout of two-stage LNA

시뮬레이션 결과 2단 저잡음 증폭기의 전체 이득은 30.2dB, 잡음지수는 0.6dB, 입력

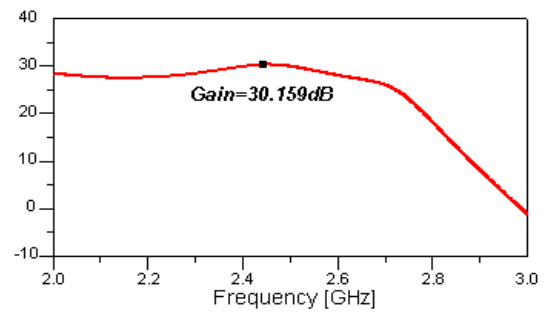
정재파비와 출력 정재파비는 1.5이하를 얻었다. 그 결과는 Fig. 3-7과 같다.



(a) 잡음지수
(a) Noise figure



(b) 입력 & 출력 정재파비
(b) Input & Output VSWR



(c) 이득
(c) Gain

그림. 3-7 2단 LNA 시뮬레이션 결과
Fig. 3-7 Simulation results of two-stage LNA

IV. 제작 및 측정

설계로부터 얻은 Layout을 이용하여 유전율 3.5, 두께가 20mil인 Taconic RF35 기판 위에 2단 저잡음 증폭기를 제작하였다.

Fig. 4-1은 제작된 2단 저잡음 증폭기의 실물사진이고, Fig. 4-2는 Network Analyzer를 이용하여 측정한 2단 저잡음 증폭기의 이득, 입력 정재파비와 출력 정재파비를 나타낸 것이다. 2단 저잡음 증폭기의 측정 결과, 이득은 27.8dB, 입력 정재파비와 출력 정재파비는 1.5를 넘지 않는 특성을 나타내었다. 이는 시뮬레이션 결과와 비교해서 이득에서 미세한 차이를 보였을 뿐, 거의 양호한 특성을 나타내었다.

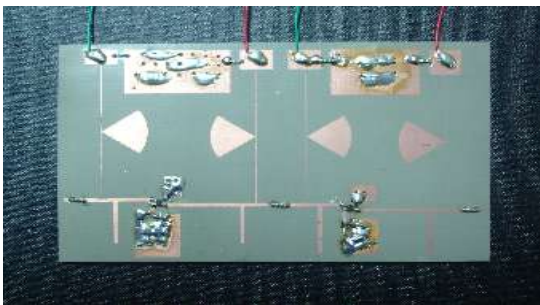
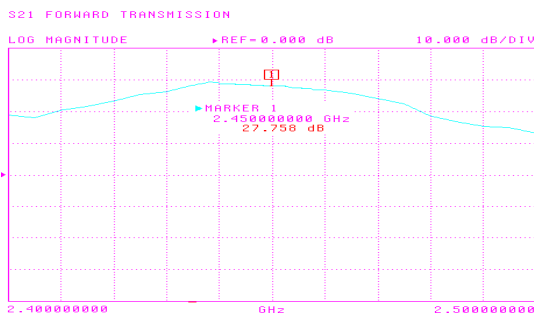
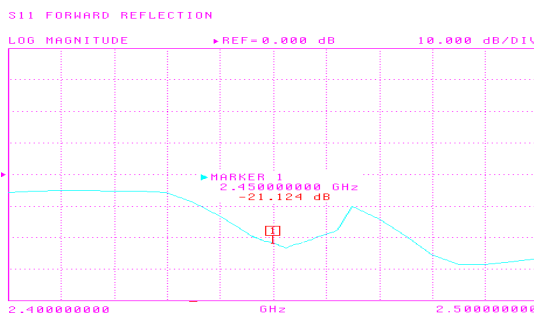


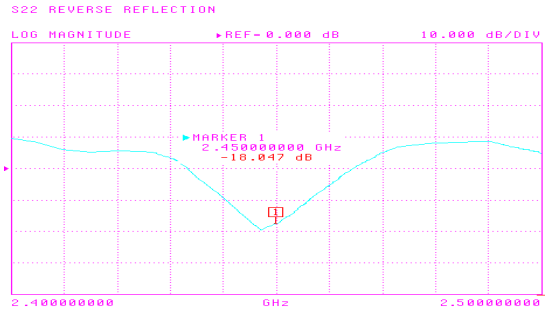
그림. 4-1 저잡음 증폭기의 실물사진
Fig. 4-1 Photograph of the fabricated LNA



(a) 이득
(a) Gain



(b) 입력 반사손실
(b) Input return loss



(c) 출력 반사손실

(c) Output return loss

그림. 4-2 측정결과

Fig. 4-2 Results of measurement

V. 결론

본 논문에서는 HP사 ATF54143 HEMT를 사용하여 s-밴드에 이용되는 저잡음 증폭기를 2단으로 설계 및 제작하였다. 설계 시 일반적인 저잡음 증폭기의 입력 정합회로와는 달리 잡음지수만을 고려하여 Γ_{out} 를 Γ_S 로 놓고 정합회로를 설계하지 않고, 입력 정재파비와 잡음지수를 동시에 고려하여 회로를 설계하였다. 측정결과 이득은 27.8dB, 입력 정재파비와 출력 정재파비는 1.5를 넘지 않는 특성을 얻었다. 본 연구를 통해 s-밴드 2단 저잡음 증폭기의 설계 방법을 습득하게 되었고 이는 차후에 예상되는 여러 밀리미터 파를 활용한 무선통신 부품들을 설계하는데 기초가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 이재관, 이찬주, 김종현, "Design and Implementation of Low Noise Amplifier for L-Band", 秋季 마이크로파 및 電波 學術大會 論文集, vol. 21, No.2, pp.43-46, 1998.9
[2] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifier Analysis and Designs", Prentice Hall, 1997.
[3] M.L. Edwards, "A New Criterion for Linear 2-port Stability Using a Single

Geometrically Derrived Parameter", *IEEE Trans. Vol. 40. No. 12.*, December 1992

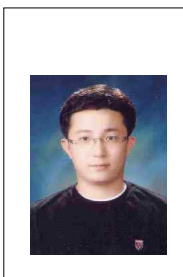
[4] David M. Pozar, "*MICROWAVE ENGINEERING*", JOHN WILEY & SONS, INC.

[5] Rajesh Mongia, Inder Bahl, Prakash Bhartia, "*RF AND MICROWAVE COUPLED-LINE CIRCUITS*", Artech House Publishers, 1999.

[6] 金奎喆, "Astudy on the Graphical Design Method of LNA for Broadcasting Satellite Receiver", 2003. 6

[7] 文相善, "A study on the Graphic Design Method within limits of Input and Output VSWR for the Optimum LNA ", 2001.12.

조 현 식(趙炫植)



2003년 2월: 목포해양대학교 전파공학과(공학사)
 2003년 3월~현재: 목포해양대학교 해양전자통신공학과 석사과정
 관심분야: 마이크로파 능동 및 수동 소자, 이동통신, 레이더

강 상 록(姜尙錄)



2003년 2월: 목포해양대학교 전파공학과(공학사)
 2003년 3월~현재: 목포해양대학교 해양전자통신공학과 석사과정
 관심분야: 마이크로파 능동 및 수동 소자, 이동통신, 레이더

김 장 구(金章九)



2001년 8월: 목포해양대학교 전자공학과(공학사)
 2003년 8월: 목포해양대학교 해양전자통신공학과(공학석사)
 관심분야: 마이크로파 능동 및 수동 소자, 이동통신, 레이더, CMOS, MEMS

최병하(崔炳夏)



1969년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
 1981년 3월 ~ 1983년 2월: 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1987년: 통신기술사
 1988년 3월 ~ 1993년 2월: 한국항공대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1972년~현재: 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
 관심분야: 안테나, 해상이동통신 및 위성통신