
위성통신용 광대역 저잡음증폭기의 구현 및 성능평가에 관한 연구

전중성*, 김동일**, 배정철***

A Study on Implementation and Performance of the Low Noise Amplifier for Satellite Mobile Communication System

Joong Sung Jeon, Dong Il Kim, Jung Chul Bae

요 약

본 논문에서는 INMARSAT 수신주파수인 1525~1545 MHz와 전세계 측위 시스템 수신주파수 15751 MHz 대역에서 초고주파용 수신장치로 사용되는 L-BAND(1525~1575 MHz)용 저잡음증폭기를 저항 결합회로를 사용하여 구현하였다. 사용된 저항 결합회로는 반사되는 전력이 정합 회로내의 저항에서 소모되므로 반사계수가 작아지고, 안정도도 개선되며, 또한 저잡음증폭기의 설계시 입력단 정합이 용이하였다. 저잡음증폭기의 구현에는 GaAs FET인 ATF-10136과 내부정합된 MMIC인 VNA-25를 이용하였으며, 알루미늄 기구물 안에 초고주파 회로와 자기 바이어스 회로를 함께 장착시켰다. 이렇게 제작된 저잡음증폭기는 32 dB의 이득, 0.8 dB 이하의 잡음지수와 18.6 dBm의 P1dB 출력을 얻었다.

Abstract

In this paper, a low noise amplifier has been developed, which is operating at L-band i.e., 1525~1575 MHz. By using resistive decoupling circuits, the resistor dissipates undesired signal in low frequency band. By adopting this design method the stability of the LNA is increased and the input impedance matching is improved. The LNA consists of the low noise GaAs FET ATF-10136 and the internally matched VNA-25.

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 한국해양대학교 전파공학과

*** ㈜사라콤 부설 선박 자동화 연구소

접수일자 : 1999년 12월 11일

The low LNA is fabricated by both the RF circuit and the self-bias circuits in an aluminum housing. As a result, the characteristics of the LNA implemented show more than 32 dB in gain, lower than 0.8 dB in noise figure, 18.6 dBm output gain in 1 dB gain compression point.

I. 서론

오늘날 국제적인 통신량의 급증에 따라 인공위성을 대체로 한 통신수요가 끊임없이 증가하고 있어 해당 관련 기술들은 기술 선진국과 21세기 정보화 사회를 이룩하는데 없어서는 안될 중요한 기술들이라 할 수 있다.

위성통신은 위성을 중계국으로 한 지구국 간의 통신방식으로 INTELSAT 1호(1965년)를 시작으로 최초의 상업용 위성통신 서비스가 시작되었다. 최근에는 전화나 TV 중계 외에도 TV 방송 데이터 전송, 팩시밀리 전송, 영상회의 전용회선 및 여러 분야의 통신서비스에 응용되고 있다. 특히 이동통신 시장의 팽창과 더불어 위성 통신 시스템의 중요성이 부각되고 있다. 또한 최근 저궤도 위성기술의 발전으로 위성을 통한 글로벌 개인 통신 서비스가 시작되고 있다. 위성통신은 고유의 특징인 광역성 및 접속의 용이성 등으로 국제통신의 주역으로 등장했을 뿐 아니라, 국내통신에 있어서도 각 국은 경쟁적으로 위성통신을 도입하고 있는 실정이다. 또한 이동체 통신에서도 위성에 의한 국제 이동위성 통신 서비스가 제공되고 있으며 여러 나라에서 지역적 이동체 위성 통신시스템 개발을 추진 중에 있다. 일반적으로 선박과 비행기에 이용되는 위성통신 서비스는 INMARSAT와 같은 이동위성 서비스와 DBS(Direct Broadcasting Satellite)를 이용한 방송위성 서비스가 있다. 따라서 국제 이동통신 기구는 세계적인 해상 조난 안전 시스템(GMDSS)에 있어서 위성통신을 이용한 통신망을 확립하여 해상에서의 안정성을 증진시키고 있다[1].

표준 INMARSAT 송수신기는 지구 정지궤도에 올라있는 4개의 위성(INMARSAT)을 이용하여 L-Band에서 운용하는 시스템이다. 각 대양 지역마다 복수의 해안 지구국과 회선 할당의 제어를 실시하는 통신망 관리국(NCS)이 배치되어, 해안 지구국과 선박지구국간의 회선 설정을 한다. 선박과 위성간의 사용주파수대는 1.6/1.5 GHz로서 해안지구국

과 위성간은 고정 위성 업무용은 6/4 GHz를 사용한다. 제공하는 서비스 종류로는 아날로그 방식으로 전화, FAX, TELEX, 고속 데이터통신 등의 서비스를 제공하는 표준 A형과 디지털 방식으로 TELEX 및 저속데이터서비스를 제공하는 표준 C형, 표준 A형을 디지털화한 표준 B형, 음성 및 팩스의 전송이 가능하도록 표준 C형을 개량한 표준 M형이 있다[2],[3].

II. 저잡음증폭기의 구성

본 논문에서 저잡음증폭기의 구성은 저잡음증폭단은 HP사의 GaAs FET인 ATF-10136, 이득증폭단은 Mini-Circuits사의 MMIC인 VNA-25을 사용하였으며, 증폭기의 구성도는 그림 1과 같다.

INMARSAT 수신주파수인 1525~1545 MHz와 전세계 측위 시스템(GPS) 수신주파수 1575.42 MHz 대역에서 초고주파용 수신장치로 사용될 수 있는 대역폭 50 MHz인 저잡음증폭기의 구현에 있어서 저잡음증폭단의 입력단 정합은 저항 결합회로를 사용하였으며, 이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 구성하였다. 첫째단의 입력단 정합을 저항 결합회로의 형태로 설계하면 입력 임피던스의 정합을 쉽게 할 수 있고, 둘째단은 내부 정합된 MMIC를 사용하였으므로 첫째단 증폭기의 임피던스를 고려하지 않아도 된다.

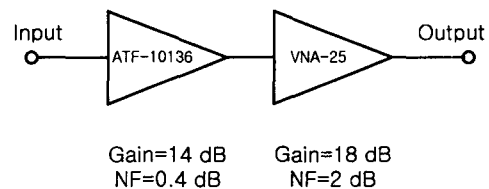


그림 1. 저잡음증폭기의 구성도
Fig. 1. The block diagram of the LNA.

Ⅲ. 저잡음증폭단의 회로 설계

저잡음증폭단 설계에 있어 입력단의 설계는 저잡음 특성에 비중을 두게 되며 출력단은 이득에 비중을 두어 설계하게 된다. 회로의 설계를 위해서는 우선 사용하려는 저잡음 능동 소자인 HP사의 GaAs FET인 ATF-10136 의 특성을 기초로 하여 중심주파수 1550 MHz에서 이득, 잡음 지수, 그리고 50 MHz 대역폭을 고려하여야 한다[4].

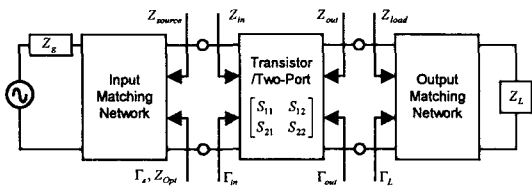


그림 2. 저잡음증폭기의 일반화된 이론적 형태
Fig. 2. The generalized analytical form of the LNA.

저잡음증폭단의 잡음지수는 트랜지스터의 입력단에 적용되는 임피던스와 관계된다. 이러한 임피던스는 소스 임피던스라 불리어지고, 그림 2에서 처럼 Z_{source} 로 나타내어진다. 전형적으로 GaAs FET의 입력 임피던스(Z_{in})의 공액 정합인 소스 임피던스는 증폭기가 최소 잡음을 갖는 임피던스가 아니다. 그러므로 낮은 정재파비와 낮은 잡음지수를 갖게 동조시킬 수 있지만 동시에 낮은 정재파비와 잡음지수를 갖게 하지 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 케환회로와 저항 안정화 기술이 이용된다[5].

Gain and Noise Figure

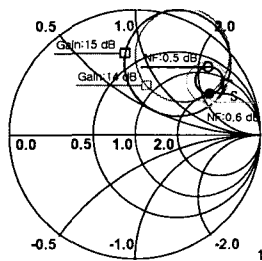


그림 3. 가용 이득원 및 잡음 지수원
Fig. 3. The available gain circles and noise figure circles.

본 연구의 저잡음증폭단 설계에 있어 입력단의 설계는 저항 결합회로를 이용하여 저잡음 특성과 입력 정재파비에 비중을 두었으며, 출력단은 이득에 비중을 두어 설계하였다. 전체 저잡음증폭기는 5 V DC 전원을 인가하기 위한 자기 바이어스 회로를 포함하는 저잡음증폭단과 이득증폭단으로 나누어서 설계하였다. 저잡음증폭단은 GaAs FET인 ATF-10136, 이득증폭단은 MMIC 소자인 VNA-25를 사용하였다. 그림 3은 첫째단에서 사용한 GaAs FET인 ATF-10136을 $V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=25$ mA 조건에서 저잡음증폭단의 입력 반사계수(Γ_s)점을 구하기 위해 중심주파수 1550 MHz에서 가용 이득원과 잡음 지수원이 만나는 지점을 Γ_s 로 결정하고 저항 결합회로를 이용하여 입력단 정합회로를 구성하였다[6],[7].

따라서 저잡음증폭기의 첫째단의 S_{21} 과 그림 3의 결과로부터 최적화를 위한 전체 저잡음증폭기의 설계 목표치는 표 1와 같다.

표 1. 저잡음증폭기의 설계 사양

Table 1. A design specification of LNA.

Item Description	Specification
Frequency Band	INMARSAT : 1525~1545 MHz GPS:1575.42 1 MHz
Gain	30 dB
Gain Flatness	0.5 dB max.
Noise Figure	0.9 dB max.
Input VSWR	1.8 : 1 max.
Output VSWR	1.8 : 1 max.
Impedance	50 ohms
Voltage	5 V dc
Size	30×45×10 (mm)

(1) 입력단 정합회로

저잡음증폭단의 입력 임피던스 정합을 위해 그림 4와 같이 저항 결합회로를 이용하여 정합회로를 구성하였다. 저항 결합회로는 저주파 영역의 신호를 저항을 통해 소모 시킴으로써 정합 특성을 향상시키고, FET 자체를 저주파 신호에 동작시키

지 않게 하여 잡음 특성을 개선하는 효과와 자기 바이어스 회로에서 게이트-소스 바이어스 전압을 인가하기 위해서 사용되었다. 중심주파수 대역에서는 단락 인덕터의 영향으로 사용주파수 대역의 신호에 대해 개방회로 영역이 되므로 입력신호는 저항 결합회로에 영향을 받지않고 전달되며, 반면에 저주파 대역의 신호는 100의 저항에서 소모되므로 입력 정재파비와 대역 특성을 쉽게 개선할 수 있다[8].

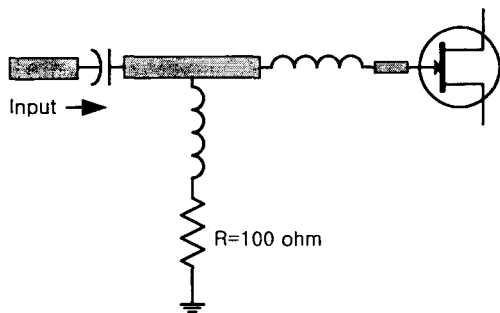


그림 4. 저항 결합회로
Fig. 4. The resistive decoupling circuit.

(2) 바이어스 회로

GaAs FET인 ATF-10136은 $V_{ds}=2\text{ V}$, $I_{ds}=25\text{ mA}$ 일 때 최소의 잡음과 최대의 이득을 가지므로 외부에서 인가되는 전압, 즉 $V_d=5\text{ V}$ 일 때 $V_{ds}=2\text{ V}$,

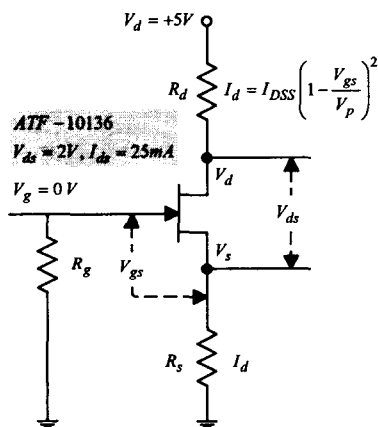


그림 5. 자기 바이어스 회로
Fig. 5. A Self-bias circuit.

$I_{ds}=25\text{ mA}$ 가 되도록 하기위해 자기 바이어스 회로 (Self-bias Circuit)를 그림 5와 같이 구성하였다.

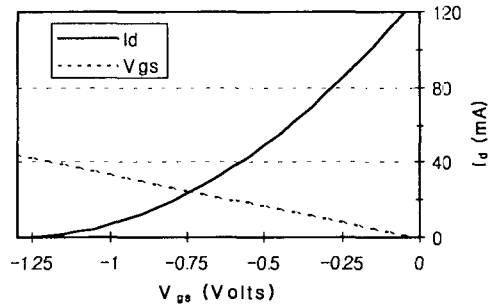


그림 6. ATF-10136의 전달특성과 자기 바이어스 선의 작도
Fig. 6. A graph of conductance characteristic and self-bias of ATF-10136.

자기 바이어스 회로는 제2의 공급전압이 필요하지 않으므로 바이어스 회로가 간단하고, 게이트-소스 바이어스 전압(V_{gs})을 제어하기 위해서 소스 저항 R_s 를 사용한다. 따라서 그림 5는 단일 공급전압 V_d 를 사용하는 직류 바이어스 회로를 나타낸다.

$$V_g = I_g R_g \dots\dots\dots (1)$$

드레인 전류를 I_d 로 설정하면 소스전압은

$$V_s = I_d R_s \dots\dots\dots (2)$$

이고, 게이트-소스전압은

$$V_{gs} = -I_d R_s \dots\dots\dots (3)$$

로 되며, 드레인 전류는 다음과 같다.

$$I_d = I_{dss} (1 - V_{gs}/V_p)^2 \dots\dots\dots (4)$$

그림 6은 FET 전달특성과 자기 바이어스선의 작도를 나타내고, 결과적인 최적 dc 바이어스점은 $V_{gs}=-0.73\text{ V}$, $I_d=25\text{ mA}$ 이므로 소스저항 R_s 는 30 이다.

(3) 저잡음증폭단의 특성 시뮬레이션

그림 7은 저잡음증폭단의 회로 및 바이어스 회

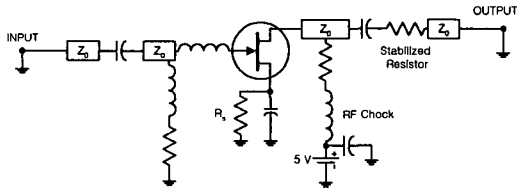


그림 7. 저잡음증폭단의 바이어스 회로
Fig. 7. A bias circuit of LNA section.

로를 나타내며, 5 V 단일 전원 동작을 위하여 자기 바이어스 회로를 사용하였는데 이를 위해 소스 단자에 저항과 바이패스 커패시터를 부가 하였다. 잡음 매칭과 입력 정재파비를 동시에 만족시키고자 직렬 케환 인덕터를 이용한 저항 결합 회로를 사용하였다. 사용되어진 GaAs FET는 사용주파수 대역에서 입력 반사계수가 높아 부분적 불안정을 가지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 ATF-10136 이 사용주파수 대역에서 안정도(Rollett's Stability Factor) K값이 0.556이므로 조건부 안정이다. 따라서 무조건적인 안정화를 이루기 위해서 소스 단에 인덕턴스 성분을 취하여 안정화를 이루는데, 일반적으로 소스 단의 인덕턴스 값으로 안정화 계수를 크게 하면 회로의 구현이 어려울 뿐 아니라 이득과 잡음지수의 손실을 가져온다. 따라서 본 연구에서는 드레인 측에 직렬로 연결된 안정화 저항 10을 부가하여 이득과 잡음지수의 손실을 줄였다. 그림 8은 입출력 안정화를 시킨 후에 입출력 안정화

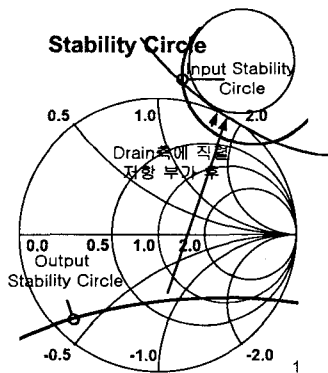
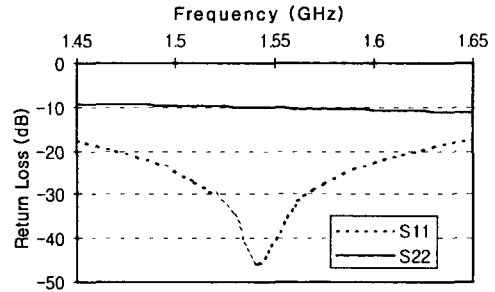
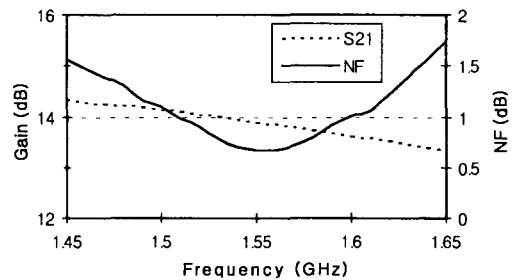


그림 8. 안정화 원
Fig. 8. Stability circles.

원이 스미스 도표 밖으로 나가서 안정화됨을 나타내고 있다.



(a) 반사손실 특성
(a) The return loss characteristics.



(b) 이득 및 잡음지수 특성
(b) The gain and NF characteristics.

그림 9. 저잡음증폭단의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. A simulation result of low noise section.

그림 9은 앞에서 언급한 회로 설계 이론을 바탕으로 정합된 저잡음증폭단의 특성을 바이어스 회로 부분을 포함하여 잡음지수가 사용주파수 대역에서 0.6 dB 이하가 되도록 초고주파 회로 해석 소프트웨어인 Touchstone을 이용하여 최적화된 저잡음증폭단의 주파수 특성을 보여주고 있다.

IV. 저잡음증폭기의 특성 측정

(1) 저잡음증폭단

제작된 저잡음증폭단을 회로망 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 분석하였고, 잡음지수는 MAURY MICROWAVE Corporation

사의 Noise Gain Analyzer MT2075 잡음지수 측정기로 측정한 결과를 그림 10에 나타내었으며, 그림 11은 제작된 저잡음증폭단의 이득 및 위상 특성을 나타낸다.

따라서 측정된 이득은 주파수 1520~1580 MHz에서 14 dB 이상의 이득(측정시 20 dB 감쇠기 부가), ±0.5 dB의 이득 평단도, 0.6 dB 이하의 잡음지수 특성은 시뮬레이션 되어진 결과와 일치함을 보였다. 그러나 그림 12의 입력 정재파비는 시뮬레이션 되어진 결과와 많은 차이를 보이는데 이것은 입력단에 부가한 코일형 인덕터가 커패시터의 역할을 많이 한 것으로 사료된다.

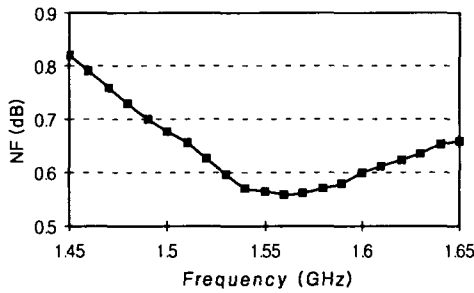


그림 10. 측정된 저잡음증폭단의 잡음지수 특성
Fig. 10. The measured noise figure characteristics of the low noise stage.

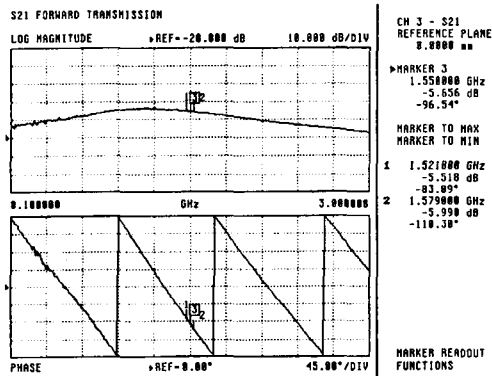
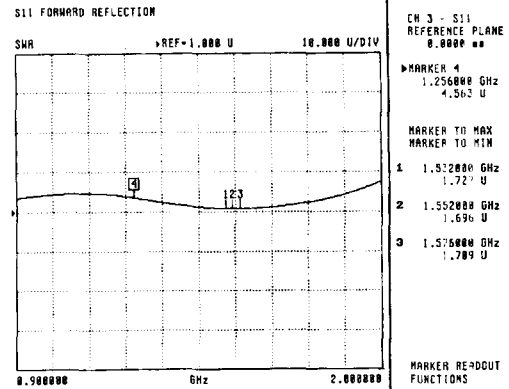
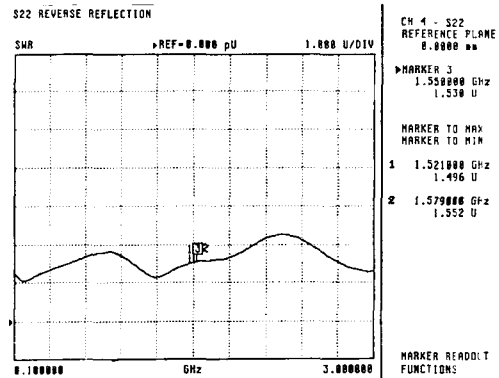


그림 11. 측정된 저잡음증폭단의 이득 및 위상
Fig. 11. The measured gain and phase of the low noise stage.



(a) 입력 정재파비
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비
(b) The output VSWR.

그림 12. 측정된 저잡음증폭단의 입출력 정재파비
Fig. 12. The input and output VSWR of the low noise stage.

(2) 이득증폭단

이득증폭단을 Mini-Circuits사의 VNA-25를 사용하고, 기판 두께 31 mil, 유전율 4.8인 FR-4기판을 사용하여 제작한 시험회로를 그림 13에 나타내었다[9].

$$NF(overall) = NF1 + \frac{NF2 - 1}{G1} \dots\dots\dots (5)$$

$$= 10^{0.6dB/10} + \frac{10^{2dB/10} - 1}{10^{17dB/10}} \leq 0.6dB$$

VNA-25는 내부 정합된 MMIC로서 사용주파수 대역에서 측정된 이득은 18 dB 이상, 잡음지수 2

dB를 나타내었고, 이득증폭단의 잡음지수는 식(5)에 의하여, 저잡음증폭기의 잡음지수는 첫째단의 잡음지수에 의존하므로 이득증폭단의 잡음지수는 저잡음증폭기의 잡음지수에는 거의 영향을 주지

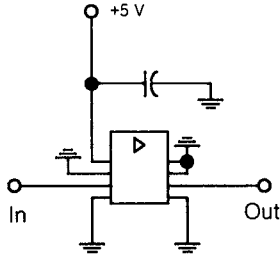
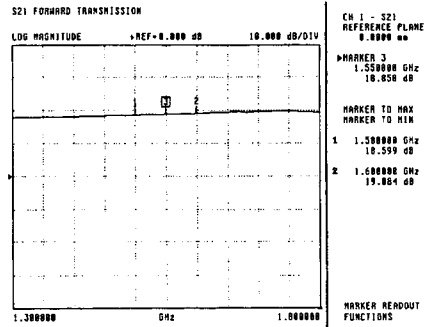


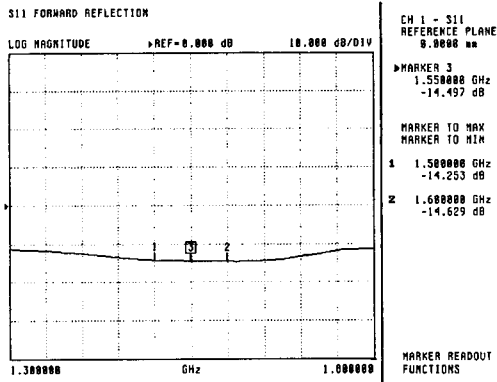
그림 13. 이득증폭단의 회로도
Fig. 13. The circuit of gain amplifier.



(c) 이득 특성
(c) The gain characteristics.

그림 14. 제작된 이득증폭단의 이득 및 반사손실 특성

Fig. 14. The measured gain and return loss characteristics of the gain amplifier.

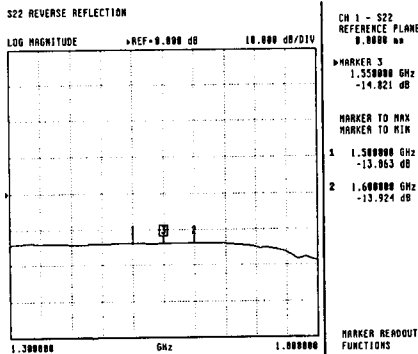


(a) 반사손실 특성
(a) The return loss characteristics.

않는다. 그림 14은 회로망 분석기를 사용하여 측정한 입출력 반사손실과 이득을 나타낸다.

(3) 저잡음증폭기

제작된 저잡음증폭기를 회로망 분석기를 이용하여 S-파라미터를 측정하여 이득과 정합 특성을 분석하였고, 잡음지수 측정기로 측정한 잡음지수를 그림 15에 나타내었다.



(b) 반사손실 특성
(b) The return loss characteristics.

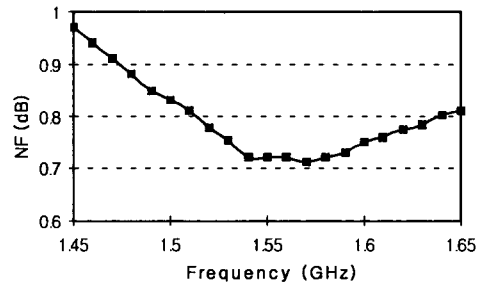


그림 15. 측정된 저잡음증폭기의 잡음지수 특성
Fig. 15. The measured noise figure characteristics of the LNA.

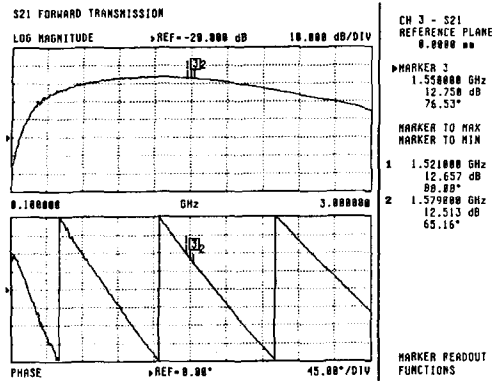


그림 16. 측정된 저잡음증폭기의 이득 및 위상
Fig. 16. The measured gain and phase of the LNA.

우선 이득을 보게 되면 제작된 저잡음증폭기는 1520~1580 MHz에서 32 dB(측정시 20 dB 감쇠기 부가) 이상의 이득과 0.5 dB의 이득 평단도를 나타내었으며, 잡음지수 특성은 사용주파수 대역에서 0.8 dB 이하의 특성을 보였다. 그림 16은 측정된 저잡음증폭기의 이득 및 위상 특성을 나타내고, 그림 17은 측정된 저잡음증폭기의 입출력 정재파비를 나타낸다.

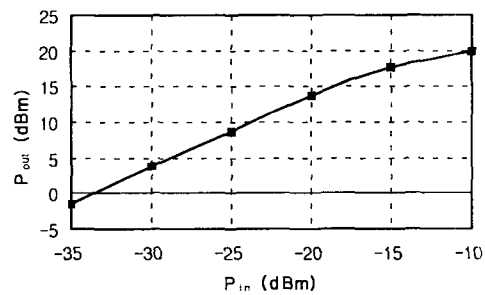
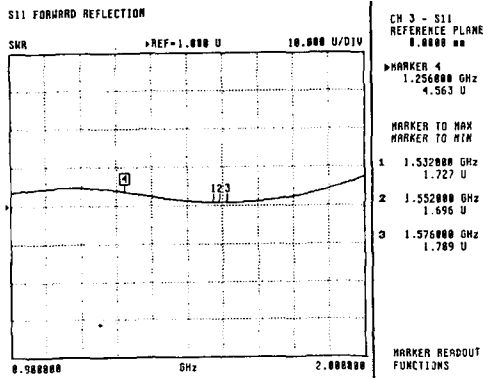
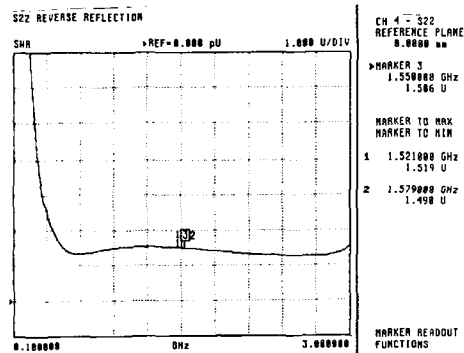


그림 18. 측정된 저잡음증폭기의 입출력 전달특성
Fig. 18. The measured Pin/Pout transfer characteristics for the LNA.

그림 18은 중심주파수 1550 MHz에서의 입력 신호전력 대 출력 신호전력의 변화를 나타낸다. 제작된 저잡음증폭기의 P1dB 출력은 18.6 dBm을 나타내었다.



(a) 입력 정재파비
(a) The input VSWR.



(b) 출력 정재파비
(b) The output VSWR.

그림 17. 측정된 저잡음증폭기의 입출력 정재파비
Fig. 17. The measured input and output VSWR of the LNA.

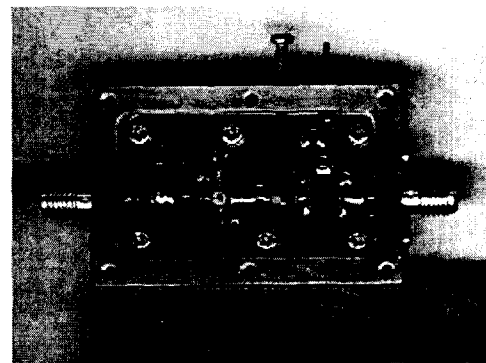


그림 19. 제작된 저잡음증폭기의 사진
Fig. 19. The photograph of the fabricated LNA.

제작된 저잡음증폭기는 표 1에 나타낸 설계사양

과 비교해 볼 때 모든 특성을 만족시키며, 특히 우수한 잡음지수 특성을 보였다. 그림 19은 실제 제작된 저잡음증폭기의 실물 사진을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 INMARSAT의 수신주파수인 1525~1545 MHz와 GPS 수신주파수 1575.421 MHz대에서 초고주파용 수신장치로 사용되는 저잡음증폭기의 설계 및 제작에 있어서 저잡음증폭단은 저항 결합회로를 이용하였으며, 이득증폭단은 양단 정합된 단일 증폭기 형태로 구성하였다. 첫째 단을 저항 결합회로의 형태로 제작하게 되면 입력 임피던스의 정합을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있고, 둘째단은 내부 정합된 MMIC를 사용하였으므로 첫째단의 임피던스를 고려하지 않아도 된다는 장점이 있다. 또한 일반적으로 GaAs FET는 사용 주파수 대역에서 입력 반사계수가 높아 부분적 불안정을 가지는 문제점이 있다. 따라서 부분적 불안정성의 문제를 드레인 측에 직렬로 연결된 저항을 통해 극복하는 과정을 제시하였다. 설계 결과는 사용 주파수 대역내에서 32 dB 이상의 이득, 0.8 dB 이하의 잡음지수와 1.8:1 이하의 입·출력 정재파비, P1dB가 18.6 dBm의 결과를 나타냄으로써 설계시 목표로 했던 사양을 만족시켰다.

참고문헌

[1] D. Roddy, Satellite Communications, pp. 63~107, Prentice Hall, 1989.
 [2] L. Tetly & D. Calcutt, Understanding GMDSS, Edward Arnold, London, 1994.
 [3] INMARSAT, Inmarsat Maritime Communications Handbook Issue 2. 1988.
 [4] D.C. Youla, A new theory of broadband matching, IEEE Trans. Circuit Theory, Vol. CT-11, pp. 30~50, Mar. 1964.
 [5] H.J. Carlin and J.J. Komomiak, A new method of broadband equalization applied to microwave amplifier, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-27, pp. 93~99, Feb.

1979.
 [6] HP, Communications Components - GaAs & Silicon Products Designer's Catalog, pp. 7-9, HP, 1998.
 [7] H.J. Carlin and P. Amstutz, On Optimum Broadband matching, IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. CAS-28, pp. 401~405, May 1981.
 [8] 전중성, 김동일, 저항 결합회로를 이용한 Cellular CDMA용 저잡음증폭기의 구현, 해양정보통신학회 논문지, 제2권, 제 4호, pp. 635~641, 12월, 1998.
 [9] Mini-Circuits, RF/IF Designer's Guide, Mini-Circuits DG-97, pp. 108~109, 1997.



전 중 성 (Joong Sung Jeon)
 1989년 2월 대구대학교 물리학과(이학사)
 1997년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 2000년 8월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)
 2000년 1월~현재 (주)사리콤 부설 선박자동화 연구소 연구원
 *관심분야 : 마이크로파 수동 및 능동 회로설계, 전자파 수치해석 등



김 동 일 (Dong Il Kim)
 1975년 2월 한국해양대학교 항해학과(공학사)
 1977년 2월 한국해양대학교 대학원 전파공학전공(공학석사)
 1984년 3월 일본 동경공대 대학원 전기전자공학과(공학박사)
 1975년 3월~1993년 9월 한국해양대학교 전자통신공학과 조교~부교수
 1993년 10월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수

*관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계,
CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡
수체의 개발, EMI/EMC대책 등



배 정 철(Jung Chul Bae)

1986년 2월 한국해양대학교 전
자통신공학과(공학사)

1993년 8월 한국해양대학교 대
학원 전자통신공학과
(공학석사)

1996년 8월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과
(공학박사)

1988년 9~현재 ㈜사라콤 부설 선박자동화 연구소
소장

*관심분야 : 선박통신 및 해상이동통신 등