

Ku-band에서의 LNB 모듈을 위한 LNA 설계에 관한 연구

곽 용 수, 정 태 경, 김 형 석  
 중앙대학교 전자전기공학부

A study on the design of LNA for Ku-band LNB module

Yong-Soo Kwak, Tae-Kyung Chung, Hyeong-Seok Kim  
 School of Electrical and Electronic Engineering, Chung Ang University, Seoul 156-756 Korea.

**Abstract** - In this paper, a low noise amplifier (LNA) in receiver of Low Noise Block Down Converter (LNB) for direct broadcasting service (DBS) is implemented by using GaAs HEMT. The LNA is designed for operation between 10.7GHz-12.7GHz. The LNA consists of input, output matching circuits, DC-blocks and RF-chokes. Simulation result of the LNA shows that a noise figure is less than 1.4dB and a gain is greater than 9.2dB in the bandwidth of 10.7 to 12.7GHz with good flatness of 0.1dB.

1. 서 론

정확화 시대가 도래하면서 정보를 전송해주는 통신 인공위성의 이용과 역할이 아주 중요시 되어 왔다. 근래에는 간단한 수신장치로 위성으로부터 직접 TV를 수신하는 DBS(Direct Broadcast Satellite)시스템, 탐사 위성의 통신, GPS(Global Positioning System)등의 실현이 가능해졌다.[1] 계속적인 이동통신의 기술 개발과 더불어 상용 위성 통신 분야에서는 사용 주파수대역이 Ku-band로 확장되었다.[2][3] 그리고, 2001년 말 시범방송이 시작된 이후로 위성방송 서비스를 시작하기에 이르렀다. 위성은 지상과 원거리에 위치하고 있어 신호가 대기권을 통과하면서 현저히 감쇄되어 아주 미약한 신호가 수신기 입력단에 도달하게 된다.

이때, 시스템의 noise figure는 위성 수신용 parabolic 안테나의 수신부, 즉 parabolic 판에서 반사되어 온 전자파가 한점에 모이는 곳에 달린 feed-horn에 부가적으로 붙는 장치인 Low Noise Block Down converter(LNB)에 의해서 결정된다. LNB는 Low Noise Amplifier(LNA)와 Ku-Band signal을 셋톱박스가 처리할 수 있을 만한 수백MHz에서 2GHz 까지의 신호로 변환해 주는 converter가 연결되어서 구성된다.

주변 잡음과 혼합된 미약한 수신 신호를 양질의 신호로 증폭하려면 무엇보다 수신기의 입력단인 LNB내에서도 front-end 에 위치한 Low Noise Amplifier 의 특성이 우수하여야 한다.[4]

본 논문에서는 LNB의 핵심부품 가운데 하나인 3단 LNA 중에서 두 번째와 세 번째 단에 사용되어지는 비교적 높은 gain을 얻기 위한 GaAs HEMT LNA를 설계하였다. 위성방송용 주파수인 Ku-band의 10.7GHz에서 12.7GHz 의 주파수대역에서 동작하고, 1.4dB이하의 noise figure와 9dB이상의 gain을 갖도록 GaAs HEMT LNA를 설계하였다.

2. 본 론

2.1 LNA의 구조

LNB의 일반적인 형태로는 LNA - Down Mixer - BPF - IF Amp와 같은 구조로 되어 있다. 이 때, LNB의 noise figure는 LNB의 가장 앞단에 위치한

LNA에 의해서 결정되어지며 보통 3단으로 이루어진다. LNA의 첫 번째 단은 전체 noise figure를 결정하는 역할을 하고, 두 번째와 세 번째 단은 적당한 noise figure 하에서 비교적 높은 gain을 얻을 수 있도록 하여, gain을 높이는 역할을 한다.

이와 같은 특성을 얻기 위해서 GaAs HEMT (High Electron Mobility Transistor)를 이용하여 LNA를 설계하였다. GaAs HEMT는 전자가 주행하는 결정영역 (GaAs)과 전자를 공급하는 결정영역 (AlGaAs)을 헤테로 접합시켜 공간적으로 분리함으로써 전자가 도우너 불순물에 의해 산란되는 것을 감소시켜 고속성을 향상시킨 트랜지스터이다. GaAs HEMT는 고주파, 저잡음의 특성을 가지고 있어 위성수신용(12GHz) 증폭기에 많이 사용된다.

실제 사용된 GaAs HEMT는 0.5mm의 게이트 선폭을 가지며, 지름은 1.78mm인 소자를 사용하였다. 바이어스는 drain-source간 전압 2V에서  $I_{DS}=10mA$ 로 하였으며, 이때 주파수 범위 10~14GHz에서의 최소잡음지수(NFmin) 과  $\Gamma_{opt}$ , 그리고 maximum gain값을 나타내었다.

표. 1 10-14GHz,  $V_{DS}=2V$ ,  $I_{DS}=10mA$ 일 때 GaAs HEMT의 noise figure,  $\Gamma_{opt}$  및 gain

Table. 1 Noise figure,  $\Gamma_{opt}$  and gain of GaAs HEMT at 10-14GHz,  $V_{DS}=2V$ ,  $I_{DS}=10mA$

| Freq (GHz) | $\Gamma_{opt}$ |       | NFmin (dB) | Gm (dB) |
|------------|----------------|-------|------------|---------|
|            | Mag            | Ang   |            |         |
| 10         | 0.81           | 108.0 | 0.47       | 14.8    |
| 12         | 0.74           | 132.0 | 0.55       | 13.2    |
| 14         | 0.63           | 156.0 | 0.67       | 12.9    |

설계에 사용된 수동소자는 고주파 회로에서 주로 사용되는 마이크로 스트립 선로이며 특성임피던스는 50  $\Omega$ 의 값을 사용하였다.

2.2 다단 LNA의 noise figure

noise figure는 amplifier output에서의 총 noise power와 input에서의 저항 R에 의한 Thermal noise가 amplifier의 gain을 얻어 나타나는 output power와의 비로 정의되며, 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F = \frac{P_{no}}{P_{MGA}} \quad (1)$$

여기서  $P_{No}$ 는 output에서의 총 noise power를 나타내고,  $P_{Ni}=KT_0B$ 는 저항 R에 의한 Thermal noise power를 나타낸다. 이때, input과 output에서의 신호의 power를 각각  $P_{Si}$ ,  $P_{So}$  라 정의 하면  $G_A=P_{So}/P_{Si}$ 가 되므로 (1)식은 신호대잡음비(SNR)로 나타내어지게 된다.

$$F = \frac{P_{Si}/P_{Ni}}{P_{So}/P_{No}} = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} \quad (2)$$

다단 amplifier의 경우, 전체 회로의 noise figure는 다음 식과 같이 구해진다.[5]

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{A1}G_{A2}} + \frac{F_4 - 1}{G_{A1}G_{A2}G_{A3}} + \dots \quad (3)$$

따라서 다단 LNA의 입력단 설계에 있어서, noise figure에 영향이 큰 첫째 단은 입력 VSWR 및 noise figure의 특성을 좋게 하여야 하고, 첫째 단 이후로는 noise figure에 영향이 적으므로 noise figure 특성을 어느 정도 나쁘게 하는 대신 gain등과 같은 다른 특성을 높여주는 설계방식이 가능하다.

### 2.3 LNA의 설계

본 논문에서 사용한 GaAs HEMT LNA의 input matching과 output matching의 topology는 그림. 1에서와 같은 single open stub을 이용하였다.

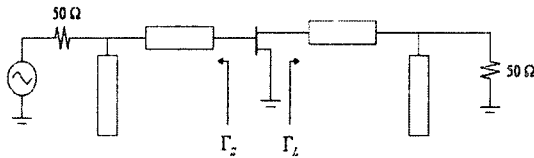


그림. 1. LNA matching topology  
Fig. 1. Single open stub microstrip line

일반적인 LNA의 설계방식은 transistor의 output 단 ( $\Gamma_L$ )은 noise figure와 관련이 없으므로 큰 gain을 얻기 위해서  $S_{22}$ 에 matching하고, input단( $\Gamma_S$ )의 경우에는 최소 noise figure를 얻기 위해서  $\Gamma_{opt}$ 에 matching하는 것이 일반적인데, 다단 LNA의 둘째, 셋째 단은 input단에서도 더 높은 gain을 얻기 위해서  $\Gamma_{opt}$ 가 아닌 다른 반사계수에 가깝도록 matching하는 것이 가능해진다.

이에 따라서 본 논문에서는, 그림. 2에서 볼 수 있듯이 input단에서의 matching점을  $\Gamma_{opt}$ 가 아닌,  $G_A$ (available power gain)=13dB, noise figure=0.9dB의 특성을 가지는 위치를  $\Gamma_S$ 로 하였다. 이렇게 정한 input 단의 matching 회로의 0Hz에서 20GHz까지의 stability를 확인한 결과 모두 안정화 상태임을 확인하였다.

matching 후에 amp의 input과 output 포트에 DC 성분이 인가되는 것을 막아주기 위해 각각 DC blocking을 하고, DC 전원을 인가할 때, 고주파 성분이 함께 흘러들어가는 것을 막아주기 위해서 radial stub을 이용한 RF choke를 연결하고, 이것을 Agilent Technology ADS (Advanced Design System)을 사용하여 simulation하여 튜닝하였다.

설계된 HEMT LNA의 주파수에 따른 gain 특성의 결과는 10.7GHz와 12.7GHz 사이의 최대 gain은 주파수가 11.9GHz일 때 12.65dB, 최소 gain은

12.7GHz일 때 9.93dB의 값으로 나타났다.

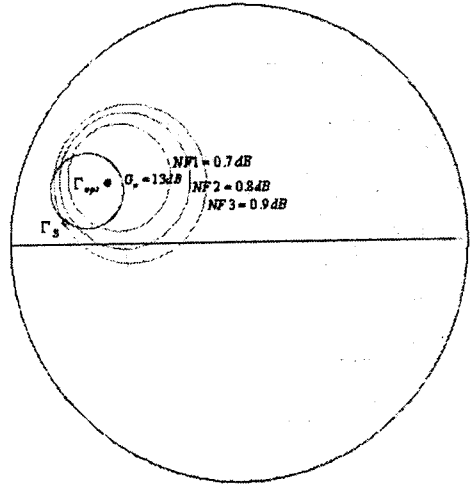


그림. 2. 11.7GHz에서 HEMT의 13dB gain circle,

$\Gamma_{opt}$ , noise figure circles, 실제  $\Gamma_S$

Fig. 2. 13dB gain circle,  $\Gamma_{opt}$ , noise figure

circle and  $\Gamma_S$  at 11.7GHz

이 결과는 11.7GHz 부근에서의 gain은 목표했던 값을 훨씬 상회하는 높은 값이었으나, 10.7GHz에서 12.7GHz까지의 전체 주파수대역에서의 gain의 차이가 처음 설계 목표값이었던 0.5dB보다 더 높은 수치로 나타났다. 이에 따라 gain을 줄이고, 전체적으로 0.5dB 이하의 flat gain을 얻도록 input과 output의 matching을 바꾸면서 튜닝을 하였다.

이렇게 설계된 GaAs HEMT LNA의 주파수에 따른 gain 특성을 그림. 3에 나타내었다. 10.7GHz에서 12.7GHz까지의 대역폭에서 gain은 약 9.2dB로 나타났고, gain ripple이 0.1dB이하로 줄어들어서 우수한 평탄도를 나타내었다.

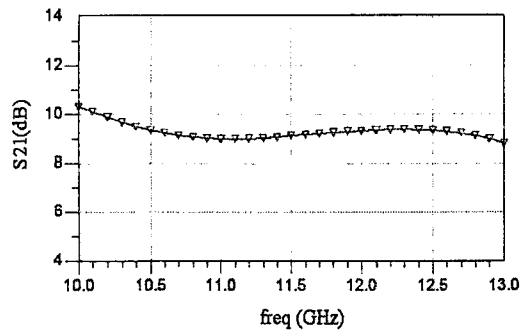


그림. 3. 설계된 LNA의 주파수에 따른 gain

Fig. 3. Gain of LNA

그림. 4에서는 설계된 LNA의 주파수에 따른 noise figure 특성을 나타내었다. noise figure가 최소 1.0dB에서 최대 1.38dB의 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

본 논문의 GaAs HEMT를 이용한 LNA 설계과정을

그림. 5에 도표로 나타내었다.

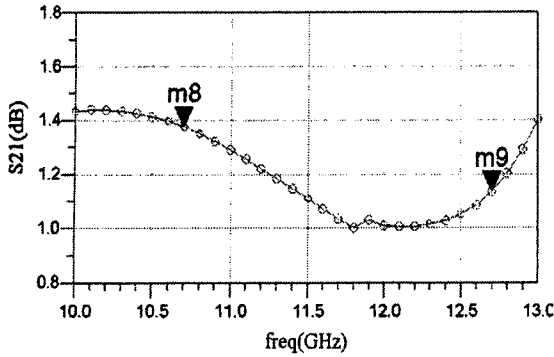


그림. 4. 설계된 LNA의 주파수에 따른 noise figure  
Fig. 4. Noise figure of LNA

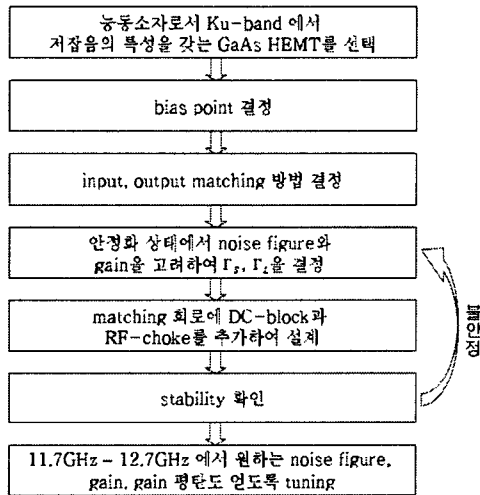


그림. 5. LNA 설계과정도  
Fig. 5. Diagram of design procedure of LNA

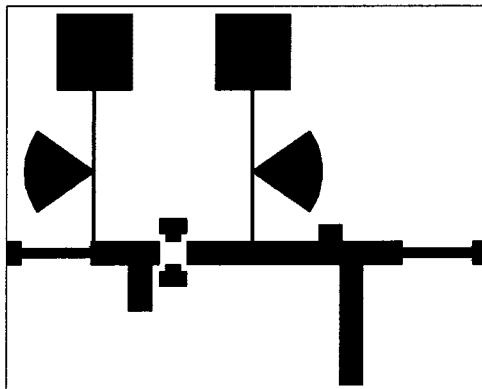


그림. 6. 설계된 LNA의 제작 도면  
Fig. 6. layout of LNA

지금까지 설계에서 gain과 noise figure 등의 특성을 구한 simulation 결과를 바탕으로 제작할 LNA의 도면

을 그림. 6에 나타내었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 GaAs HEMT를 이용해서 Ku-band의 위성방송을 위한 LNA를 설계하고, 이를 시뮬레이션을 통해서 제작에 앞서 결과를 예측해 보았다. 설계한 GaAs HEMT LNA의 noise figure는 10.7GHz에서 12.7GHz까지의 주파수 대역에서 1.4dB 이하의 값을 가졌고, 이 때, 같은 주파수 대역에서의 gain은 9.2dB였다. 또한, gain ripple은 0.1dB 이하로 매우 평탄한 특성을 나타냈다. 최초 설계 목표인, 1.4dB이하의 noise figure와 9dB이상의 gain을 나타내고, 0.5dB 이하의 gain ripple을 가지는 LNA에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 본 논문에서의 설계를 바탕으로 LNA를 제작하고, 측정하여 실제 결과와 일치하는 특성을 얻는지와 오차 발생시 그 원인에 대한 연구가 수행되어야 하겠다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J. Smuk, P. Katzin, V. Aparin, and Shifrin, "Miniature GPS translator module", IEEE MTT-S Dig., vol. 1, pp. 13-16, 1995.
- [2] R.E. Lehmann and D.D. Heston, "X-band monolithic series feedback LNA", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., no. 12, pp. 1560-1566, 1985
- [3] H. Okazaki, K. Horikawa, and M. Tanaka, "Ku-band self-controlled burst mode high power amplifier", IEEE MTT-S Dig., vol. 2, pp. 557-560, 1994.
- [4] 김용훈, 위성통신용 저 잡음 증폭기 기술, 대한전자공학회지 The Magazine of the IEEK, 1 v.025, n.001, pp.31-39 1016-9288, 1998.
- [5] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers *Analysis and Design*. prentice Hall, pp.296-298, 1997.