

LNB 수신단의 LNA 설계에 관한 연구

곽용수, 김형석
중앙대학교 전자전기공학부

A Ku-band LNA for LNB module

Yong-Soo Kwak, 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.

The result of simulation 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

LNB가 매우 중요한 역할을 차지한다. 그리고 그 중에서도 LNB의 front-end 부에 위치한 Low Noise Amplifier의 특성이 noise에 대해서 우수하여야 한다.[4]

본 논문에서는 위성통신용 LNB의 핵심부품 가운데 하나인 3단 LNA 중에서 두 번째와 세 번째 단에 사용될 수 있는 LNA를 설계하였다. 비교적 높은 gain과 양호한 noise figure를 얻기 위한 GaAs HEMT LNA를 설계하였다. 위성방송용 주파수인 Ku-band의 10.7GHz에서 12.7GHz까지의 주파수대역에서 동작하고, 그 주파수 대역 내에서 1.4dB 이하의 noise figure와 9dB이상의 gain의 특성을 나타내는 GaAs HEMT를 이용한 LNA를 설계하였다.

1. 서 론

정보화 시대가 도래하게 되면서부터 정보를 전송해주는 통신 인공위성의 이용과 역할이 아주 중요시 되어 오고 있다. 근래에는 비교적 간단한 수신장치를 이용해서 통신위성으로부터 직접 TV 영상신호를 수신하는 DBS (Direct Broadcast Satellite)시스템, 다른 행성에 위치하고 있는 탐사 위성과의 통신, 위치추적 시스템인 GPS(Global Positioning System)등의 실현이 가능해졌다.[1] 이와 같은 계속적인 이동통신의 기술 개발과 더불어 상업용 위성 통신 분야에서는 사용할 수 있는 주파수대역이 Ku-band로 더욱 확장되었다.[2][3] 그리고, 2001년 말 위성TV의 시범방송이 시작된 이후로, 이제는 위성방송 서비스를 시작하여 제공하는 위치에 까지 이르렀다. 통신위성은 지상에서부터 매우 먼 거리에 위치하고 있기 때문에 위성에서 보내게 되는 신호는 대기권을 통과하는 과정에서 그 크기가 현저히 감쇄하게 되어서 수신기 입력단에는 아주 미약한 신호만이 도달할 수 있게 된다.

이때, 수신부 시스템의 잡음지수, 즉 noise figure가 매우 중요한 parameter가 되는데, 이 noise figure는 위성 수신용 안테나인 parabolic 안테나의 수신부, 즉 parabolic 판에서 반사되어 온 전자파가 한점에 모이는 곳에 달린 feed-horn에 부가적으로 붙는 장치, 즉 Low Noise Block Down converter(LNB)에 의해서 결정된다.

LNB의 구성은 Low Noise Amplifier(LNA)와 Ku-Band signal을 셋톱박스가 처리할 수 있을 만한 신호인, 수백MHz에서 2GHz까지의 주파수를 갖는 신호로 변환해 주는 converter가 연결되어서 이루어진다.

주변의 잡음과 혼합된 미약한 수신 신호를 양질의 신호로 증폭하려면 무엇보다 수신기의 입력단인

2. 본 론

2.1 LNA의 구조

LNB의 일반적인 형태를 살펴보면, LNA - Down Mixer - BPF - IF Amp가 차례로 연결되어 있는 구조로 되어 있다. 이 때, LNB 전체의 noise figure는 LNB의 가장 앞단에 위치한 LNA에 의해서 주로 결정되어지며, 이때 LNA는 보통 3단으로 이루어진다. 3단 LNA에서 첫 번째 단은 전체 LNB의 noise figure를 결정하는 역할을 하고, 나머지의 두 번째와 세 번째 단은 LNB의 noise figure에 그다지 영향을 미치지 않으므로, 적당한 noise figure 하에서 비교적 높은 gain을 얻을 수 있도록 하여, gain을 높이는 역할을 한다.

이와 같은 noise figure와 gain의 특성을 얻기 위해서 고주파에서도 noise특성이 우수한 소자인 GaAs HEMT (High Electron Mobility Transistor)를 이용하여 LNA를 설계하였다. GaAs HEMT는 전자가 주행하는 결정영역(GaAs)과 전자를 공급하는 결정영역(AlGaAs)을 헤테로 접합을 시킴으로 인해 공간적으로 분리함으로써 전자가 도우너 불순물에 의해 산란되는 것을 감소시켜 고속성을 향상시킨 트랜지스터이다. 특히 GaAs HEMT는 다른 트랜지스터들에 비해서 고주파에서도 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 특정 주파수 범위 10~14GHz에서의 트랜지스터가 가지는 최소잡음지수(NFmin)과 Γ_{opt} , 그리고 maximum gain값을 다음의 표. 1에 나타내었다.

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

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

Freq (GHz)	Γ_{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

GaAs HEMT 외에, 이번 LNA의 설계에 사용된 수동소자는 고주파 회로에서 주로 사용되는 마이크로 스트립 선로이며 특성임피던스는 50Ω 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.

$$F = \frac{P_{No}}{P_{Ni}G_A} \quad (1)$$

여기서 P_{No} 는 output에서의 noise에 의한 전체의 power를 나타내고, $P_{Ni}=KT_0B$ 는 저항 R에 의해서 나타나게 되는 Thermal noise power를 나타낸다. 이때, 시스템의 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]

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

위의 식에서 보듯이, 전체 시스템에서의 noise figure는 첫째 input단의 noise figure인 F_1 의해서 거의 지배되는 것을 알 수 있다. 따라서 다단 LNA의 입력단 설계에 있어서, noise figure에 미치는 영향이 매우 큰 첫째 단은 입력 VSWR 및 noise figure의 특성을 좋게 하도록 설계하여야 하고, 첫째

단 이후로는 noise figure에 미치는 영향이 매우 적으므로 각각의 단의 noise figure 특성을 어느 정도 나쁘게 하는 대신 gain 등과 같은 다른 특성을 높여 주는 설계방식이 가능하다.

2.3 LNA의 설계

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

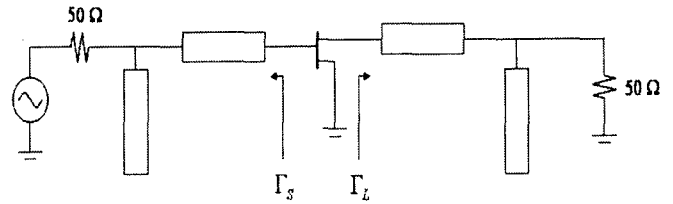


그림. 1. LNA matching topology
Fig. 1. Single open stub microstrip line

일반적인 LNA의 설계방식은 transistor의 output단(Γ_L)에서의 matching은 noise figure와 아무런 관련이 없으므로 오직 보다 더 큰 gain을 얻기 위해서 S_{22} 에 matching을 시키고, input단(Γ_S) matching의 경우에는 최소의 noise figure가 나타나도록 하기 위해서 Γ_{opt} 에 matching하는 것이 일반적이다. 그런데 이때 LNA를 다단으로 설계한다면, 다단 LNA의 둘째, 셋째 단은 input단을 matching 할 때에도 noise figure를 크게 고려할 필요가 없으므로 대신 더 높은 gain을 얻기 위해서 Γ_{opt} 가 아닌 다른 반사계수에 가깝도록 matching하는 것이 가능해진다.

이에 따라서 본 논문에서는, 다음 그림. 2에서 볼 수 있듯이 input단에서의 matching점을 Γ_{opt} 가 아닌, G_A (available power gain)=13dB, noise figure=0.9dB의 특성을 가지는 위치를 Γ_S 로 하였다. amplifier에서 가장 중요한 stability를 검사해 본 결과, 이렇게 정한 input단의 matching 회로에서 주파수를 0Hz에서 20GHz까지 대역에서 모두 안정화 상태임을 확인하였다.

matching 후에 추가적인 회로로서, amplifier의 input과 output 포트에 불필요한 DC 성분이 인가되는 것을 막아주기 위해 각각 DC blocking을 해준다. 또한 DC 전원을 인가할 때, noise로 작용할 수 있는 고주파 성분이 함께 흘러들어가는 것을 막아주기 위해서 12GHz 부근의 신호를 차단해주는 radial stub를 이용한 RF choke를 연결하였다. 이렇게 설계된 회로를 Agilent Technology ADS (Advanced Design System) 프로그램을 사용하여 simulation하면서 튜닝하였다.

처음 설계된 GaAs HEMT를 이용한 LNA의 주파수에 따른 gain 특성의 결과를 살펴보면 10.7GHz와 12.7GHz 사이에서 최대 gain은 주파수가 11.9GHz일 때 12.65dB, 최소 gain은 12.7GHz일 때 9.93dB의 값으로 나타났다.

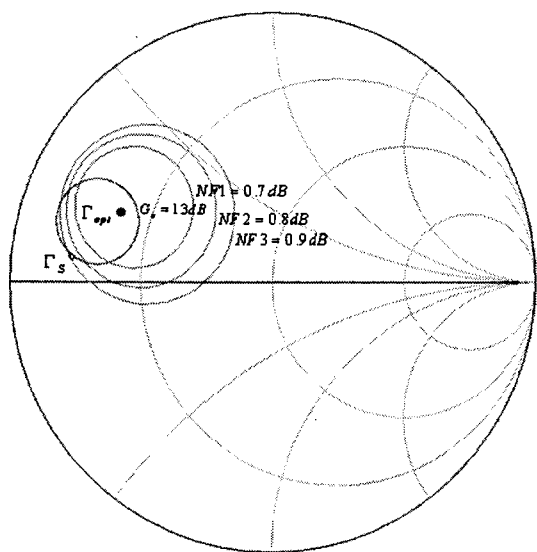


그림. 2. 11.7GHz에서 HEMT의 13dB gain circle, Γ_{opt} , noise figure circles, 실제 Γ_s

Fig. 2. 13dB gain circle, Γ_{opt} , noise figure circle and Γ_s at 11.7GHz

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

이 과정에서 좀더 유연한 설계를 위해서 output matching의 구조를 single stub가 아닌 double stub로 바뀌어서 설계하였다.

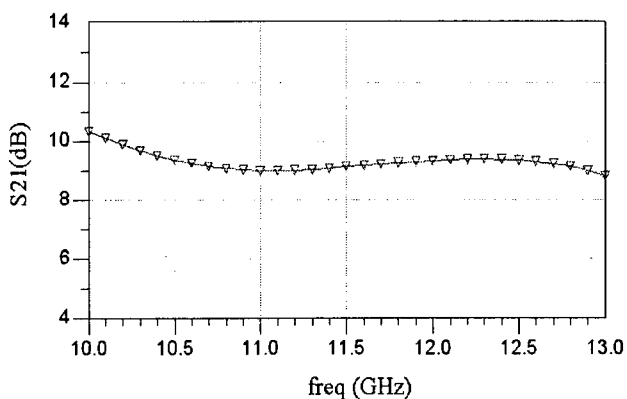


그림. 3. 설계된 LNA의 주파수에 따른 gain
Fig. 3. Gain of LNA

이렇게 설계된 GaAs HEMT LNA의 주파수에 따른 gain 특성을 그림. 3에 나타내었다. 10.7GHz

에서 12.7GHz까지의 대역폭에서 gain은 전체적으로 약 9.2dB의 값으로 나타났고, gain ripple은 0.1dB이하로 줄어들어서 상당히 우수한 평탄도를 나타내었다.

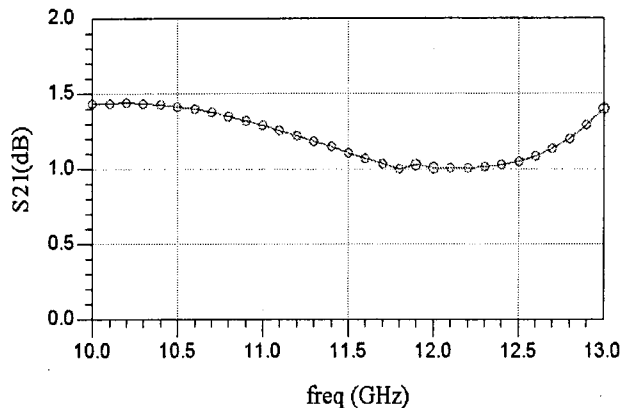


그림 4) 설계된 LNA의 주파수에 따른 noise figure 곡선

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

본 논문의 GaAs HEMT를 이용해서 LNA를 설계 과정을 그림. 5에 도표로 나타내었다.

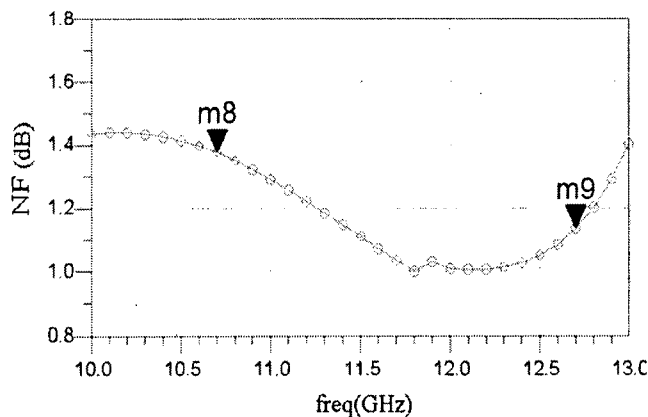


그림. 4. 설계된 LNA의 주파수에 따른 noise figure
Fig. 4. Noise figure of LNA

지금까지 설계에서 gain과 noise figure등의 특성을 구한 simulation 결과를 바탕으로 제작할 LNA의 도면을 그림. 6에 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 GaAs HEMT를 이용해서 Ku-band의 위성방송용 LNB를 위한 LNA를 설계하고, 이를 시뮬레이션을 통해서 제작에 앞서 결과를

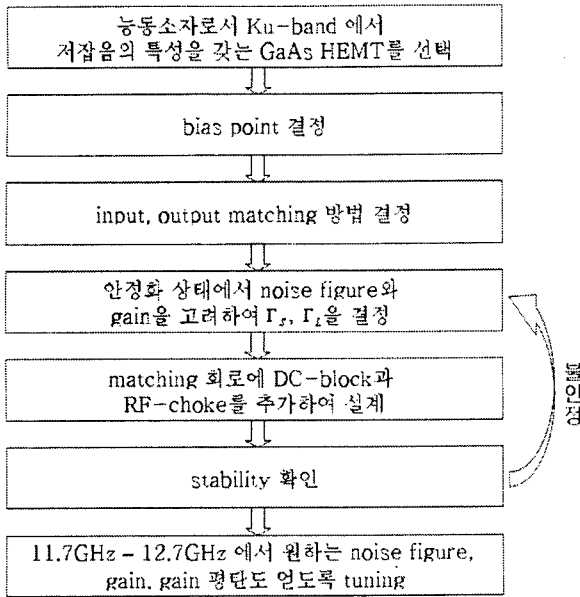


그림. 5. LNA 설계과정도

Fig. 5. Diagram of design procedure of LNA

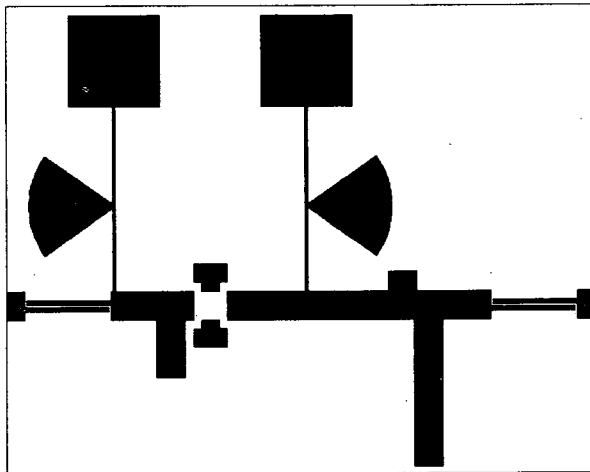


그림. 6. 설계된 LNA의 제작 도면

Fig. 6. layout of LNA

예측해 보았다. 설계한 GaAs HEMT LNA의 전체 noise figure는 10.7GHz에서 12.7GHz 까지의 주파수 대역에서 1.4dB 이하의 값을 가졌고 이 때, 같은 주파수 대역에서의 gain은 약 9.2dB의 값으로 나타났다. 또한, 전체 gain ripple 은 0.1dB 이하로 매우 평탄한 특성을 나타냈다. 최초의 설계 목표였던, 1.4dB이하의 noise figure와 9dB이상의 gain, 0.5dB 이하의 gain ripple을 가지는 LNA에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 본 논문에서의 설계를 바탕으로 LNA를 제작하고, 측정하여 설계 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.