

Ku-Band 위성통신용 LNB 수신단의 2단 저잡음 증폭기 설계에 관한 연구

論 文
55C-2-9

A Study on Design of Two-Stage LNA for Ku-Band LNB Receiving Block

金炯碩[†] · 郭容秀^{*}
(Hyeong-Seok Kim · Yong-Soo Kwak)

Abstract - In this paper, a low noise amplifier(LNA) in a receiver of a low noise block down converter (LNB) for direct broadcasting service(DBS) is implemented using GaAs HEMT. The LNA is designed for the bandwidth of 11.7 GHz - 12.2 GHz. The two-stage LNA consists of a input matching circuit, a output matching circuit, DC-blocks and RF-chokes. Experimental results of the LNA show the noise figure less than 1.4 dB, the gain greater than 23 dB and the flatness of 1 dB in the bandwidth of 11.7 to 12.2 GHz.

Key Words : LNA, LNB, Ku-Band, 저잡음 증폭기

1. 서 론

정보화 시대가 도래하게 되면서 정보를 전송해주는 통신 인공위성의 이용과 역할이 아주 중요시 되고 있다. 근래에는 비교적 간단한 수신 장치를 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 지속적인 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 입력 단에는 아주 미약한 신호만이 도달할 수 있게 된다. 이때, 수신부 시스템의 잡음지수(noise figure)가 매우 중요한 변수가 되는데, 이 잡음지수는 위성 수신용 안테나인 parabolic 안테나의 수신부인 parabolic 판에서 반사되어 온 전자파가 한 점에 모이는 곳에 달린 feed-horn에 부가적으로 붙는 장치, 즉 low noise block down converter(LNB)에 의해서 결정된다.

LNB의 구성은 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier, LNA)와 Ku-Band 신호를 셋톱박스가 처리할 수 있을 만한 신호인, 수백MHz에서 2GHz 까지의 주파수를 갖는 신호로

변환해 주는 변환기(converter)가 연결되어서 이루어진다. 주변의 잡음과 혼합된 미약한 수신 신호를 양질의 신호로 증폭하려면 무엇보다 수신기의 입력단인 LNB가 매우 중요한 역할을 차지한다. 그리고 그 중에서도 LNB의 전치부(front-end)에 위치한 저잡음 증폭기의 특성이 잡음에 대해서 우수하여야 한다.[4]

본 논문에서는 위성통신용 LNB의 핵심부품 가운데 하나인 3단 저잡음 증폭기 중에서 두 번째와 세 번째 단에 사용될 수 있는 저잡음 증폭기를 설계하였다. 위성방송용 주파수인 Ku-band의 11.7 GHz에서 12.2 GHz 까지의 주파수 대역에서 실제 시판되고 있는 저잡음 증폭기가 일반적으로 27 dB의 이득, 1 dB 이내의 이득 평탄도, 그리고 1.9 dB 이하의 NF를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 비교적 높은 이득과 양호한 잡음지수를 얻기 위한 GaAs HEMT 저잡음 증폭기를 설계하였다. 저잡음 증폭기를 3단으로 구성할 경우 앞단의 이득이 가장 낮고, 뒷단의 이득이 가장 크게 설계할 것을 고려하여 둘째와 세째 단의 이득을 결정하고, 잡음지수는 되도록 작은 값을 갖도록 하였다. 또한 전체 이득 평탄도는 3단의 증폭기 각각의 평탄도 보다 좋지 않을 것이므로 마진을 두어 설계하고, 이를 실제 제작하여 측정하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교해 보았다.

2. 본 론

2.1 저잡음 증폭기의 구조

LNB의 일반적인 형태를 살펴보면, 저잡음 증폭기 - Down Mixer - 대역여파기 - IF Amp가 차례로 연결되어 있는 구조로 되어 있다. 이 때, LNB 전체의 잡음지수는 LNB의 가장 앞단에 위치한 저잡음 증폭기에 의해서 주로

[†] 교신저자, 正 會 員 : 中央大 工大 電子電氣工學科 教授

E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

^{*} 正 會 員 : 中央大 工大 電子電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 2005年 10月 14日

最終完了 : 2006年 1月 9日

결정되어지며, 이때 저잡음 증폭기는 보통 3단으로 이루어진다. 3단 저잡음 증폭기에서 첫 번째 단은 전체 LNB의 잡음 지수를 결정하는 역할을 하고, 나머지의 두 번째와 세 번째 단은 LNB의 잡음지수에 그다지 영향을 미치지 않으므로, 적당한 잡음지수 하에서 비교적 높은 이득을 얻을 수 있도록 하여, 이득을 높이는 역할을 한다.

이와 같은 잡음지수와 이득의 특성을 얻기 위해서 고주파에서도 잡음특성이 우수한 소자인 GaAs HEMT(High Electron Mobility Transistor)를 이용하여 저잡음 증폭기를 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 증폭기에 많이 사용된다.

실제 사용된 GaAs HEMT의 동작전원은 drain-source간 전압 $V_{DS} = 2V$ 에서 $I_{DS} = 10mA$ 로 하였으며, 이 동작전원에서의 transistor의 10 GHz에서 14 GHz까지의 주파수 대역에서의 최소잡음지수(NF_{min}) 과 최소잡음지수 정합점인 Γ_{opt} 그리고 최대 전력이득값을 의미하는 G_m 을 표 1에 나타내었다.

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

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

주파수 (GHz)	Γ_{opt}		NF _{min} (dB)	G _m (dB)
	Mag	Ang (deg)		
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

2.2 저잡음 증폭기의 잡음지수(Noise Figure)

저잡음 증폭기를 설계하기 위해서는 transistor 소자의 잡음지수, 등가 잡음 저항(R_n) 값을 제작사로부터 제공받거나 또는 GaAs FET나 HEMT의 경우 잡음 등가 매개변수를 이용하여 값들을 계산한 후 증폭기를 설계할 수 있다.

여기서 잡음지수는 소자의 입력 SNR 과 출력 SNR 값의 비례 관계를 dB로 나타낸 값이며 two-port network의 잡음지수는 다음 식(1)과 같이 소자의 소스 반사계수 등으로 표현된다.

$$NF = NF_{min} + \frac{4R_n|\Gamma_s - \Gamma_{min}|^2}{Z_0|1 + \Gamma_{sm}|^2[1 - |\Gamma_s|^2]} \quad (1)$$

여기서 R_n 은 등가 잡음 저항, Z_0 는 특성 임피던스, Γ_s 는 소스 반사계수, Γ_{sm} 은 잡음지수가 최소값, 즉 $NF = NF_{min}$ 일 때의 소스 반사계수 값이다. 계산을 편리하게 하기 위해서 잡음지수를 소스 어드미턴스에 대해서 전개하면 다음과 같다.

$$NF = NF_{min} + \frac{R_n}{G_s} [(G_s - G_{sm})^2 (B_s - B_{sm})^2] \quad (2)$$

$$= NF_{min} + \Delta F \quad (3)$$

위 식(3)에서 최소 잡음지수인 NF_{min} 과 ΔF 는 잡음소자의 등가잡음 어드미턴스와 상관어드미턴스를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$NF_{min} = 1 + 2[R_n G_{cor} + \sqrt{R_n G_n + (R_n G_{cor})^2}] \quad (4)$$

$$\Delta F = \frac{R_n}{G_s} [(G_s - G_{sm})^2 (B_s - B_{sm})^2] \quad (5)$$

위 식에서 $NF_{min} = 1$ 일 때의 소자의 소스 어드미턴스 $Y_{sm} = G_{sm} + jB_{sm}$ 이고 잡음지수가 최소가 아닌 경우의 소스 어드미턴스는 $Y_s = G_s + jB_s$ 이다.

식(4)에서 G_n 는 등가잡음 컨덕턴스, G_{cor} 는 상관 어드미턴스(correlation admittance)이며 최소 잡음 지수 NF_{min} 을 구하기 위한 R_n , G_n , Y_{cor} 값은 잡음 상관행렬(noise correlation matrix) 계산으로 값을 구할 수 있다.[5] 식(5)에서 ΔF 값은 최대 이득을 얻을 수 있는 최적 소스 반사계수 값으로부터 최적 잡음 지수 값을 얻기 위하여 설정된 임의의 소스 반사 계수에 대하여 최소 잡음 지수 값으로부터의 차이를 의미한다. 최저 잡음지수 NF_{min} 은 소스 어드미턴스 Y_s 를 최적 입력 어드미턴스 Y_{sm} 값에 정합 시킬 때 구할 수 있다.

잡음지수를 다른 방법으로도 표현할 수 있는데, 증폭기의 출력단에서의 총 잡음 전력과 입력단에서의 저항성분 R에 의한 열잡음(thermal noise)이 증폭기의 이득을 얻어 나타나는 출력 전력과 의 비로 정의할 수 있으며, 수식은 다음 식(6)과 같다.

$$NF = \frac{P_{No}}{P_{Ni} G_A} \quad (6)$$

위 식에서 P_{No} 는 출력단에서의 잡음에 의한 전체의 전력을 나타내고, $P_{Ni} = KT_0B$ 로 정의되는데, 이는 저항 R에 의해서 나타나게 되는 열잡음전력(thermal noise power)을 나타낸다. 이때, 시스템의 입력과 출력에서의 신호가 갖는 전력을 각각 P_{Si} , P_{So} 라 정의하면 $G_A = P_{So}/P_{Si}$ 로 표현되므로 (6)식은 앞서 언급한 바와 같이 신호 대 잡음비(SNR)로

나타내어지게 된다.

$$NF = \frac{P_{No}/P_{Ni}}{P_{N}/P_{No}} = \frac{(SNR)_i}{(SNR)_o} \quad (7)$$

증폭기가 다단으로 구성되는 경우에는, 전체 회로의 잡음 지수는 각 단의 이득에 영향을 받게 되며 다음 식(8)과 같이 구해진다.[6]

$$NF = NF_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{A1}G_{A2}} + \frac{F_4 - 1}{G_{A1}G_{A2}G_{A3}} + \dots \quad (8)$$

위의 식(8)에서 보여 지듯이, 증폭기 전체의 시스템에서의 잡음지수는 첫째 입력단의 잡음지수인 NF_1 의해서 그 값이 거의 지배되어 결정되는 것을 알 수 있다. 따라서 다단 저잡음 증폭기의 입력단을 설계함에 있어서, 잡음지수의 값을 결정짓는 것에 미치는 영향이 매우 큰 첫째 단은 입력 VSWR 및 잡음지수의 특성을 좋게 하도록 설계하여야 하고, 첫째 단 이후로는 잡음지수에 미치는 영향이 상대적으로 매우 적으므로 각각의 단의 잡음지수 특성을 어느 정도 나쁘게 하는 대신 이득 등과 같은 다른 특성을 높여주는 설계 방식이 가능하다.

2.3 저잡음 증폭기의 설계

본 논문에서 사용한 GaAs HEMT를 이용한 1단 저잡음 증폭기의 입력단 정합과 출력단 정합의 구조는 그림 1에서와 같은 single open stub을 이용하였다. 그림 1에서 입력과 출력의 종단은 50옴으로 하여 설계하였다. 이때 Γ_S 는 transistor에서 바라본 입력단 정합의 반사계수를 의미하고, Γ_L 은 transistor에서 바라본 출력단 정합의 반사계수를 의미한다.

일반적인 저잡음 증폭기의 설계방식은 다음과 같다. 증폭기의 잡음지수는 transistor의 입력단(Γ_S)에서의 정합에 의해서만 결정이 되고, 출력단(Γ_L)에서의 정합은 잡음지수를 결정짓는데에 영향을 끼치지 않으므로, 출력단의 정합은 오직 보다 더 큰 이득을 얻기 위해서 S22*에 정합을 시키게 된다. 입력단(Γ_S) 정합의 경우에는 최소의 값을 갖는 잡음지수가 나타나도록 하기 위해서 Γ_{opt} 에 정합하게 된다. 그런데 이때 저잡음 증폭기를 다단으로 설계한다면, 식(8)에서 언급한 바와 같이 다단 저잡음 증폭기의 둘째, 셋째 단은 전체 시스템의 잡음지수에 미치는 영향이 첫째단에 비해 매우 적기 때문에, 입력단을 정합할 때에도 잡음지수를 크게 고려할 필요가 없게 된다. 따라서 잡음지수 특성을 높여주는 설계방법 대신 더 높은 이득을 얻도록 하기 위해서 입력단의 정합점을 Γ_{opt} 가 아닌 임의의 다른 반사계수에 가깝도록 정합하는 것이 가능해진다.

이에 따라서 본 논문에서는, 다단 증폭기의 이득을 높이기 위한 둘째, 셋째단의 저잡음 증폭기의 설계에 있어서 입력단에서의 정합점을 Γ_{opt} 가 아닌, G_A (available power 이득)

= 13 dB, 잡음지수 = 0.9 dB의 특성을 가지는 위치를 정합점으로 하였다. 증폭기에서 발진이 일어나는지의 여부를 판단하는 가장 중요한 안정도(stability)를 시뮬레이션 과정에서 검토해 본 결과, 이렇게 정한 입력단의 정합 회로에서 주파수를 DC에서 20 GHz까지 대역을 관찰하였을 때 전 대역에서 증폭기가 발진이 일어나지 않는 안정화 상태임을 확인하였다.

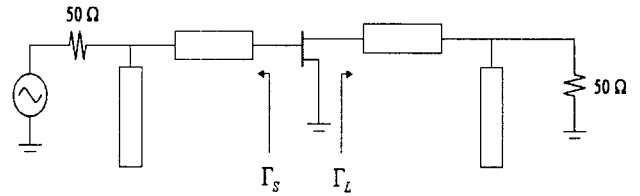


그림 1 1단 저잡음 증폭기 정합 구조
Fig. 1 Single open stub microstrip line topology of 1-stage LNA

정합 후에 증폭기에 추가적인 회로로서, 증폭기의 입력과 출력단에 불필요한 DC 성분이 인가되는 것을 막아주기 위해 각각 DC blocking 회로를 추가하였다. 또한 transistor의 동작을 위해서 DC 전원을 인가할 때, 동시에 잡음성분으로 작용할 수 있는 동작주파수와 같은 주파수의 잡음신호가 함께 흘러들어가게 되는데 이러한 잡음성분이 흘러 들어오는 것을 막아주기 위해서 12GHz와 그 부근의 신호를 차단해주는 RF choke를 연결하였다. RF choke는 광대역에서 저지특성을 나타내고 고주파에서의 반복특성이 나타나지 않는 Radial stub 구조를 이용하였다. 이렇게 설계된 회로를 Agilent Technology社의 ADS(Advanced Design System) 프로그램을 사용하여 시뮬레이션하였다. 더 좋은 잡음지수 특성과 이득특성이 나타나도록 튜닝을 하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 위쪽의 실선으로 나타낸 그래프는 증폭기의 이득특성을 나타내고, 아래쪽의 점선으로 나타낸 그래프는 증폭기의 잡음지수 특성을 나타낸다. 다른 대역에 비해서 12.2GHz 부근의 대역에서 증폭기의 특성이 우수한 것을 확인할 수 있다.

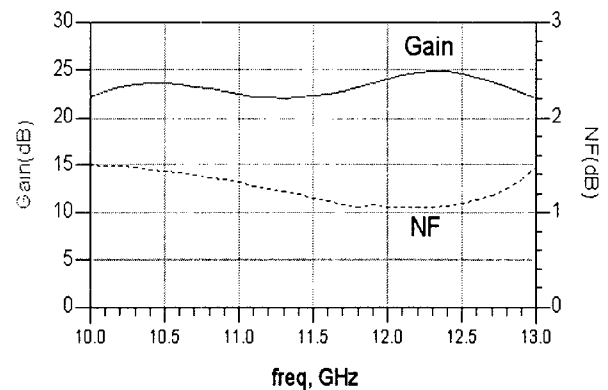


그림 2 이득과 잡음지수의 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Simulation of Gain and NF

2.4 제작 및 측정

저잡음 증폭기의 제작은 Rogers 사의 RT/Druid 5880 기판 ($\epsilon_r = 2.2$, 두께 = 0.8 mm)의 마이크로스트립 전송 선로를 이용하였다. 그림 3에서 마이크로스트립 2단 저잡음 증폭기의 레이아웃 도면을 나타내었으며, 실제 제작한 시제품을 그림 4에 나타내었다.

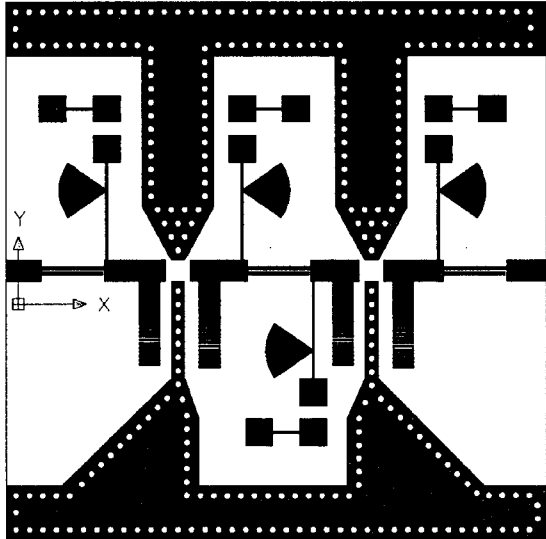


그림 3 2단 저잡음 증폭기의 레이아웃
Fig. 3 Layout of Two-stage LNA

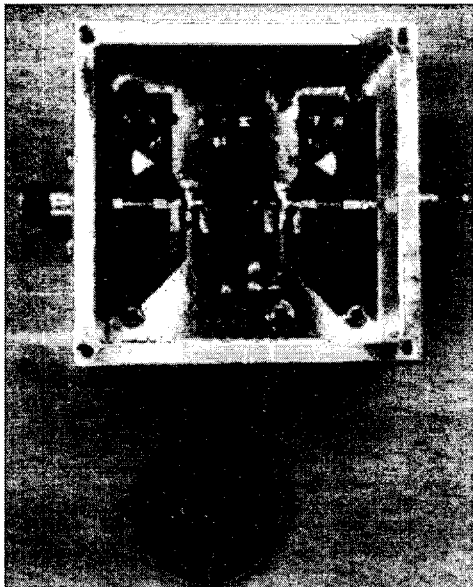


그림 4 2단 저잡음 증폭기의 시제품
Fig. 4 Two-stage LNA using Microstrip

이렇게 제작된 GaAs HEMT 2단 저잡음 증폭기의 주파수에 따른 이득특성과 잡음지수의 특성에 대한 시뮬레이션

결과와 측정결과를 그림 5에서 나타내었다. Network Analyzer Agilent 8510C를 이용하여 제작한 2단 저잡음 증폭기의 이득을 측정해 본 결과, 주파수에 따른 이득 특성은 11.7 GHz에서 12.2 GHz까지의 주파수 대역폭에서 전력이득은 전체적으로 약 23 dB의 값으로 측정되었고, 이득 평탄도는 1 dB이하의 값으로 측정되었다. 또한, Noise Figure Analyzer N8973A를 이용하여 2단 저잡음 증폭기의 주파수에 따른 잡음지수를 측정해본 결과, 잡음지수가 최소 1.0 dB에서 최대 1.38 dB의 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 측정에서 얻은 결과를 표 2에 나타내었으며, 2단 저잡음 증폭기의 시뮬레이션에서 얻은 결과와 제작한 시제품의 측정에서 얻은 결과를 항목별로 비교하여 나타내었다. 여기서, 비교항목 중 동작대역은 최대 전력 이득특성을 나타내는 주파수를 기준으로 하여 이득 평탄도가 1dB이내인 주파수대역을 의미한다.

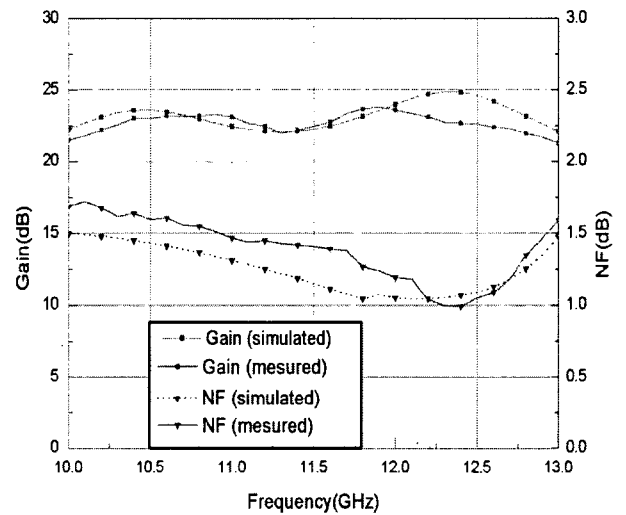


그림 5 이득과 잡음지수의 시뮬레이션 결과와 시제품의 측정치 비교

Fig. 5 Simulation and mesured data of Gain and NF

두 결과를 비교해 보면 동작대역은 시뮬레이션에서 얻은 결과에 비해서 실제 제작하여 측정했을 때 더 증가하였음을 알 수 있다. 그에 반해서 이득특성은 0.7dB 가량이 감소하였다. 잡음지수 특성은 최소값과 최대값의 변화폭이 시뮬레이션의 결과에 비해서 측정에서 얻은 값이 더 증가하였으며, 최대 잡음지수도 0.32dB 가 증가하였음을 볼 수 있다. 이는 설계과정에서 사용한 transistor의 S-파라미터특성이 같은 모델의 모든 transistor의 특성과 일치하지 않고, transistor마다 차이를 나타내기 때문이라고 예상된다. 또한 마이크로스트립의 선폭이 좁기 때문에 제작과정에서 생기는 오차도 영향을 주었을 것이라고 판단된다.

2단 저잡음 증폭기를 제작하고 측정하여 얻어진 결과는 이전 논문에서 제시되었던 SiGe HBT를 이용한 2 dB의 잡음지수를 나타내는 저잡음 증폭기보다 개선된 성능을 보여준다.[7] 또한, Amplitech社의 같은 주파수대역에서의 저잡음

음 증폭기인 APT4-10701275-1110-D4의 성능과 비교해 보았을 때, APT4-10701275-1110-D4의 이득이 28 dB, 잡음지수가 1.1 dB로 본 논문에서 제작한 저잡음 증폭기에서 측정된 결과보다 좋은 특성을 나타내고 있으나, APT4-10701275-1110-D4의 동작전원이 15 V, 175 mA임에 비해서 본 논문의 저잡음 증폭기의 동작전원은 2 V, 10 mA로 전력소비에 있어서 이점을 갖는다.

표 2. 2단 저잡음 증폭기의 시뮬레이션결과와 측정결과 비교

Table 2. Comparison of simulated and measured data

항 목	단 위	설 계 결 과	측 정 결 과
동작대역	GHz	11.9~12.2	11.6~12.3
이득	dB	23.5 min.	22.8 min.
잡음지수	dB	1.04~1.07	1~1.39
이득평탄도	dB	1.0 max.	1.0 max.

지금까지 본 논문에서 기술된 저잡음증폭기를 시뮬레이션과 제작을 거쳐 측정하기까지 과정의 흐름도를 그림 6에 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 고주파에서도 우수한 잡음특성을 나타내는 GaAs HEMT를 이용해서 12GHz Ku-band의 위성방송용 LNB를 위한 2단 저잡음 증폭기를 마이크로스트립을 이용하여 설계하였고, 이를 Agilent Technology社의 ADS (Advanced Design System) 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 통해서 결과를 예측해 보고, 얻어진 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 증폭기를 제작하고 측정해 보았다.

유전율 값이 2.2인 Rogers 사의 RT/Druid 5880 기판을 사용하여 제작한 GaAs HEMT 2단 저잡음 증폭기를 Network Analyzer Agilent 8510C와 Noise Figure Analyzer N8973A를 사용하여 측정해본 결과 증폭기의 전체 잡음지수는 11.6 GHz에서 12.3 GHz까지의 주파수 대역에서 최고 1.4 dB 이하의 값으로 측정되었다. 이 때, 같은 주파수 대역에서의 증폭기의 전력 이득은 약 23 dB의 값으로 측정되었다. 또한, 전체 이득 평탄도는 1.0 dB 이하의 값으로 평탄한 특성을 나타내었다. 제작된 2단 저잡음 증폭기의 잡음지수가 1.4dB로 나타나는데, 설계과정이 잡음지수를 최소화하기 위한 것이 아닌 적절한 잡음지수 특성을 나타내면서 이득을 높이기 위한 것이므로 앞단에 더 낮은 잡음 지수를 갖도록 설계한 저잡음 증폭기를 추가할 경우 잡음지수 특성이 더 개선될 수 있을 것이라고 예상된다. 향후 연구에서는 실제 더 낮은 잡음지수를 갖는 저잡음 증폭기를 설계, 제작하여 3단 저잡음 증폭기를 구성하여 잡음특성을 개선시키는 것에 대한 연구가 필요하겠다. 또한 동작 주파수 대역을 더 확장하는 것에 대해서도 고려해야 하겠다.

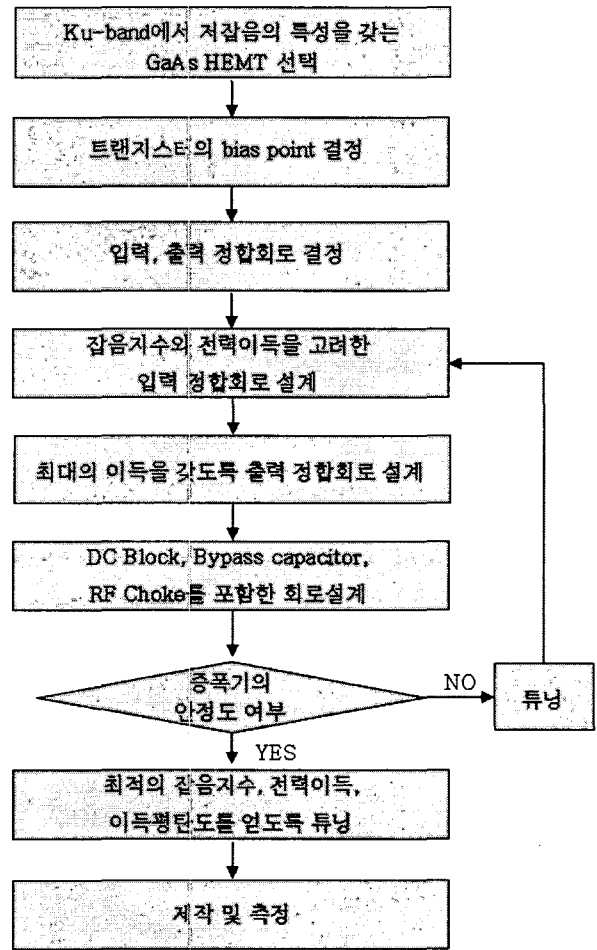


그림 6 LNA 설계과정도

Fig. 6 Flowchart of design procedure of LNA

감사의 글

본 연구는 2005년도 산학연 컨소시엄 과제의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

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 on 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, Vol.25, No.1, pp. 31-39, 1998.
- [5] H.F Cooke, M.Omori. "Basic Techniques minimize Noise in RF Amplifiers", Microwaves & RF, pp. 83-89, April, 1989.
- [6] Guillermo Gonzalez. *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, prentice Hall, 1997.
- [7] K.-B. Schad, U. Erbent, E. Sacnmcz, P. Abele and H. Schuinacrier. "A Ku Band SiGe Low Noise Amplifier", Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, pp. 52-54, April. 2000, ©

저 자 소 개



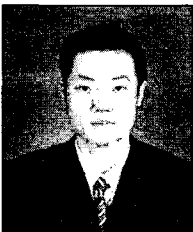
김형석 (金炯碩)

1962년 10월 9일생. 1985년 서울대 전기공학 공학사 1987년 2월 동 대학원 전기공학 공학석사, 1990년 8월 동 대학원 전기공학 공학박사, 1990년~2002년 : 순천향대학교 정보기술공학부 부교수, 1997년~1998년 : R.P.I 미국 방문교수, 2002년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수, 주관심 분야 : 전자장 및 전자파 수치해석, RF 및 무선통신, 전자장 교육, RF 및 마이크로웨이브 소자 해석 및 설계, RFID 시스템 연구

Tel : 02) 820-5287

Fax : 02) 825-1584

E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr



곽용수 (郭容秀)

2004년 2월 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사, 2004년 3월~현재 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 석사과정, 주관심분야 : RF 및 무선통신, 마이크로파 증폭기 설계

Tel : 02) 2213-2488

Fax : 02) 825-1584

E-mail : rfair@wm.cau.ac.kr