

GPS수신기용 저잡음 증폭기의 설계 및 구현

박지언*, 박재운**, 변건식***

Design and Implementation of Low Noise Amplifier for GPS Receiver

Park Ji Eon *, Byon Geon Sik**

요 약

본 논문은 Hewlett-Packard사의 ATF-10136 저잡음 GaAs FET 소자를 이용하여 GPS 규격에 맞는 저잡음 증폭기를 설계한 것이다. 저잡음 증폭기의 실제 측정 성능을 평가하기 위하여 ADS(HP사 제품) 소프트웨어를 이용하여 이론치를 구하였으며 실험치와 비교하였다. 1575MHz 증폭기의 잡음지수는 1.78dB로 측정되었으며 이는 이론치의 2dB보다 낮음을 확인하였다. 또한 측정 이득은 33.0075dB이며 GPS 제원의 35dB \pm 0.5dB내에 있음을 확인하였다. 모든 S-파라미터와 측정치는 회로망 분석기(HP8510)으로 측정하였고 잡음지수를 잡음지수계(HP8970B)로 측정하였다. 실험 결과 이득, 입력 정재파비, 출력 정재파비등 모든 파라미터가 GPS 제원을 충분히 만족함을 확인하였다.

Abstract

This papers describes two low-noise amplifiers that use the Hewlett-Packard ATF-10236 low noise GaAs FET device. The actual measured performance of the amplifiers compares favorably to that predicted by the computer simulation(ADS) the noise figure of the 1575MHz amplifier was measured at 1.78dB which is lower than 2dB as specified. Measurement gain measured 33.0075dB which is within 35dB \pm 0.5dB of the GPS specification. Network Analyzer(HP8510) is used to measure all the s-parameters and Noise Figure meter(HP8970B) is used to measure noise figure.

As the result of experiment, gain, input VSWR, output VSWR is within the GPS specification sufficiently.

* 양산대학 전자정보통신과 조교수

** 동부산대학 정보통신과 교수

*** 동아대학교 전기전자 컴퓨터공학부 교수

저잡음 증폭기를 실험한 결과 공개된 GPS제원에 적합하게 나타났다.

I. 서론

위성통신 및 이동통신의 급진적인 발전에 따라 통신 이용자 수가 급격히 늘어나고 있다. 이러한 이용자 급증에 의한 통신 용량을 만족시키기 위해 사용주파수도 점차 높아지고 있으며 다중접속 기술도 향상되고 있다. 특히 사용주파수가 높아짐에 따른 고주파부분 연구가 점차 확대되고 있는 실정이다. 고주파 회로에 사용되는 소자는 집적기술의 발달로 인해 소형, 경량화 되고 있다. 고주파 회로를 사용하는 위성통신 시스템중 GPS는 지상 20,200km상공에 24개의 위성으로 구성되어 있다.(6)(7) GPS 위성에서 송신된 신호는 먼거리를 전파 되어오기 되어오기 때문에 수신부에는 -100dBm정도의 미약한 신호가 수신된다. 또한 상당량의 잡음도 포함되어 있기 때문에 GPS 수신기의 초단 증폭기는 저잡음용 증폭기를 사용하여야 한다. 특히 저잡음 증폭기의 잡음지수 및 증폭이득은 시스템 성능에 큰영향을 미치기 때문에 이를 충분히 고려하여 설계하여야 한다.

저잡음 증폭기 소자로, 40GHz이하의 주파수 대역에서는 BJT(Bipolar Junction Transistor)를 사용하며 그 이상의 주파수에서는 GaAs MESFET, HEMT(High Electron Mobility Transistor), HBT (Heterojunction Bipolar Transistor)등이 주로 사용된다.(2)(3)

또한 초고주파 대역에서 회로를 집적하는 방법에는 Monolithic방법과 Hybrid방법이 있으며, Monolithic 집적회로의 경우 단말기와 기타 통신장비의 소형, 경량화를 이룰 수 있지만, 생산단가가 Hybrid보다 훨씬 높다.

본 논문에서는 GPS 수신기의 시스템중 저잡음 증폭기를 설계제작 실험한 것으로 생산단가가 저렴한 Hybrid방법을 이용하였다.

사용한능동소자로는 HP(HEWLETT PACKARD)사가 제공하는 패키지 형태의 ATF-10136을 사용하였으며 회로구조를 소형화하기 위해 칩 저항과 칩 콘덴서를 사용하였다. 또한 바이어스 회로로 스위칭 트랜지스터를 사용한 능동바이어스를 이용하였기 때문에 동작점이 안정화된다. 위와 같은 소자들을 사용하여 설계 제작한 GPS용

II. 설계 절차

본 논문에서는 마이크로스트립을 이용해서 Hybrid 집적회로로 구성된 RF수신 단의 초단부에 위치하는 2단 저잡음 증폭기(2-Stage LNA)설계를 제시한다.

1. 2단 저잡음 증폭기 설계

본 논문에서의 LNA설계는 협대역에 응용되는 것이다. GPS 수신기의 초단에 사용되는 LNA는 보통 3-4단 정도로 광대역 설계방식을 채택해야 하지만, 여기서는 2단 LNA를 이용해 저 잡음 특성을 개선하고자 한다. 따라서, 우선 2단 LNA의 입력 단은 잡음특성을 중점적으로 고려하고, 그 다음 단은 이득을 보다 개선하는 방식으로 설계를 진행한다. 설계에 앞서, 일단 적절한 능동소자를 선택해야 하는데, 본 논문에서는 잡음특성이 BJT보다 우수한 GaAs MESFET로 HP에서 제공하는 ATF-10136을 선택했다(6).

2단 저 잡음 증폭기는 아래 그림 1과같이 세 부분으로 나눌 수 있다.

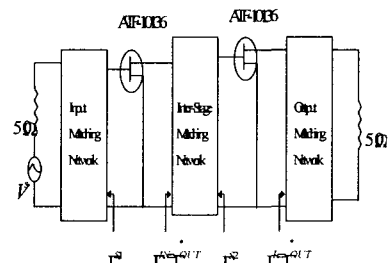


그림 1. 2단 저잡음증폭기 블록도
Fig 1. The block diagram of 2 stage LNA

즉, 입력 단, 중간 단과 출력 단으로 나누어지는데, 입력 단은 1단 설계와 같이 잡음정합에 의한 소스 반사계수 (Γ_S)를 이용하고, 출력 단은 부하에 최대 전력을 전달하기 위해 출력 반사계수 (Γ_{OUT})의 공역을 부하 반사

계수 (Γ_L)로 두고 출력 정합회로를 설계한다. 그리고, 중간 단(Inter-Stage Matching Network)의 정합회로를 설계해야하는데, 두 번째 FET의 $\Gamma_{S,2}$ 는 입력 단에서 잡음지수가 낮은 것에 중점을 두고 선택한 것과는 다르게 이득을 중점적으로 신경을 써야하는데, 여기서는 설계의 편리상 앞단과 같은 잡음지수와 이득을 갖는 Γ_S 를 선택하여, 첫 번째 FET의 출력 반사계수의 공액에 정합시켜 나간다. 다시 말해서, 입력 단은 잡음 정합에 중간단과 출력 단은 이득 정합에 중점을 둔다. 이러한 이론에 근거하여 실제 설계에 적용하면 다음과 같다. 일단, 선택된 능동소자 GaAs MESMET ATF-10136에서 사용주파수 1GHz의 S파라미터와 Noise 파라미터를 이용해서 안정도를 판별한다.

그 첫 번째 절차는 $\Gamma_{S,2}$ ($y_S=0.159-j0.13$)와 같은 크기의 반사계수를 가지는 원을 따라 $y_X=0.885+j2.007$ 까지 그었을 때의 길이 0.2065λ 의 직렬 전송선로를 달고, 그 다음으로 Γ_{OUT} 의 실수부인 0.886의 컨덕턴스원을 따라 y_{IN} 의 허수부 $-j0.43$ 과 y_X 의 허수부 $+j2.007$ 의 차인 $-j2.437$ 에 해당하는 길이 0.312λ 의 개방 병렬 스테르브를 단다.

마지막으로, 정합회로는 마이크로 스트립을 이용해서 구현하면 되는데 마이크로스트립 전송선로의 임피던스 변환성질을 이용해서 정합회로를 설계할 때 설계적 측면에서 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 그 첫 번째 방법은 특성임피던스를 고정하고, 마이크로스트립 선로의 길이를 결정하는 것이고, 두 번째 방법은 마이크로스트립 선로의 길이를 고정하고, 특성임피던스를 결정하는 것이다. 여기서는 전자의 방법을 이용해 정합회로를 설계하였다.

이와 같이 MESFET ATF-10136을 이용해서 입, 출력 단, 중간 단의 정합회로를 그림 2와 같이 설계할 수 있다.

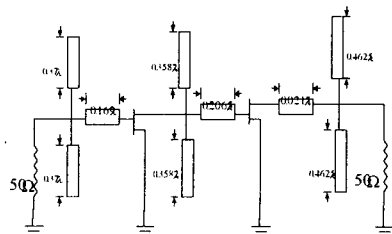


그림 2. 설계된 2단 저잡음 증폭기
Fig 2. Designed of 2-stage low noise amplifier

2단 저 잡음 증폭기에서 최종적인 잡음지수(Noise Figure)는 첫 단의 잡음지수와 동일하다. 이 때 첫 단의 이득 또한 중요하며, 그 이유는 첫 단의 이득 감쇠가 심하면 잡음성능이 우수하다는 것은 별로 의미가 없기 때문이다. 따라서 설계시 적절한 이득을 가지면서 최소한의 잡음지수를 갖는 소스 반사계수를 선택해야 한다. 여기서는 첫 단에 이득과 잡음지수가 좋은 소스 반사계수를 선택하였으므로, 이를 두 번째 단에 그대로 적용해도 무방하다. 즉, 예상되는 결과의 전체 유효 전력이득은 $19\text{dB} + 19\text{dB} = 38\text{dB}$ 이고, 전체 잡음지수는 0.6dB 이다.

III. LNA 최적화 설계

저잡음 증폭기를 구성하고 있는 능동 및 수동소자에 포함되어 있는 기생성분들의 영향들은 작은 주파수에서는 거의 무시되다가 본문문에서 제시한 1.575 GHz의 높은 주파수대에서는 점차 커지게 되어 각종 소자들이 주파수에 따라 특성변화를 일으키게 된다. 따라서 증폭기를 구성하고 있는 소자들이 주파수 변화에 따른 특성변화를 정확히 알아야 이상적인 LNA를 설계할 수 있다.

1. GPS용 LNA의 설계 규격

1.1 설계규격

GPS용 LNA의 설계규격은 표1과 같다.

동작 주파수	1575 MHz
대역폭	10 MHz
이득(Gain)	35 dB min
잡음 지수(NF)	2 dB max
입력 정합	3.0 : 1 max

표1. 항법추적장치 저잡음증폭기 표준형
Table 1. GPS LNA standard form

1.2 안정도(Stability)

안정도는 주파수에 따라 변하므로 동작주파수에서 안정하여도 다른 주파수에서 불안정할 수 있다. 따라서 등

작주파수뿐만 아니라 다른 주파수에서도 안정도를 반드시 고려하여야 한다.

사용하는 ATF-10136 GaAs MESFET 소자는 그림 3과 같이 동작주파수에서 잠재적 안정(conditionally stability)이다.

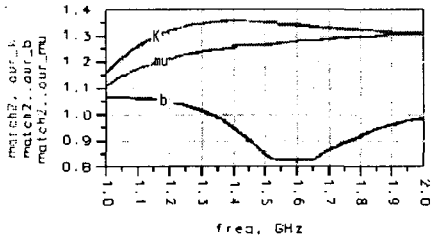


그림 3. 안정조건
Fig 3. stability condition

표 2. 2단 저잡음증폭기 결과
Table 2. Result of 2-stage LNA

S11	-16.36 (dB)
S22	-41.84 (dB)
S21 (Gain)	30 (dB)
Noise Figure	0.682 (dB)
NR	16.94(Ω)
Input VSWR	1.35 : 1

1.3 제작

사용한 기판은 유전율 2.33이고, loss tangent는 0.005인 Cuclud Teflon 기판이다.

그림 5.2는 실제 제작한 GPS 2단 LNA이며 크기는 가로×세로 = 88×80 mm 이다.

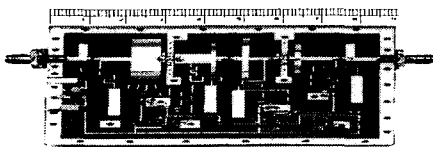


그림 4. 저잡음 증폭기 구현
Fig 4. LNA Implementation

비 유전율 ϵ_r 이 2.33인 기판(printed circuit board) 위에 능동소자인 GaAs MESFET와 수동소자인 Chip 저항 및 Capacitor들을 이용하여 hybrid형 증폭기를 제작 하였다. 일반적으로 microstrip line의 폭이 좁으면 임피던스가 커지고 폭이 넓으면 임피던스가 작아

지며 microstrip line의 길이가 길어지면 임피던스가 커진다. LNA설계과정으로 폭을 고정하고, 길이를 가변하는 것을 원칙으로 하되 첫째단의 출력 임피던스를 작게 하기 위하여 첫째단 출력에서 나오는 microstrip line의 폭은 넓게 하였다. 또한 bias 회로가 AC 회로에 미치는 영향을 줄이기 위해 bias 회로측 microstrip line의 폭은 좁고 길이는 사양이 허용하는 한 길게 하였다.

1.4 실험 및 결과

(1) 입·출력 VSWR, 이득, isolation

실험치 에 따른 입력단의 VSWR 은 그림 5에 나타내었고, 주파수 1GHz에서 2.2GHz인 광대역으로 측정하였다. 그리고 출력단의 VSWR은 그림 6과 같다. GPS LNA 경우 입출력 VSWR을 3:1이하를 요구하고 있으며 제작한 회로의 경우 입력 VSWR은 1.9:1 출력 VSWR은 1.2:1의 값을 얻어 양호한 정합특성을 보임을 확인할 수 있었고, 또한, 주파수 1.57GHz에서 1.58GHz사이의 협대역으로 제작한 회로의 입력 VSWR 및 출력 VSWR을 측정하여 그림 7에 나타내었고, 출력 VSWR은 그림 8에 나타 내었다. 측정치로 알 수 있듯 입력 및 출력 VSWR이 거의 1:1에 가까운 아주 우수한 정합특성을 나타냄을 알 수 있다.

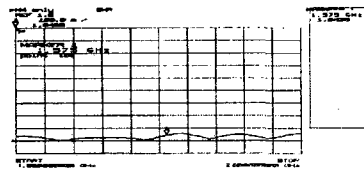


그림 5. 광대역 입력 정재파 비
Fig 5. Wide Band Input VSWR

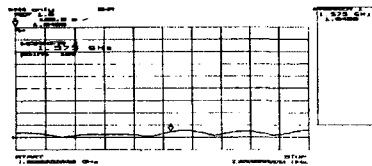


그림 6. 광대역 출력 정재파 비
Fig 6. Wide Band Output VSWR

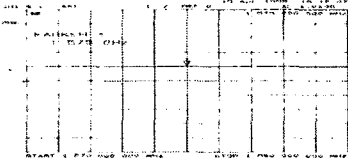


그림 7. 협대역 입력 정재파비
Fig 7. Narrow Band Input VSWR

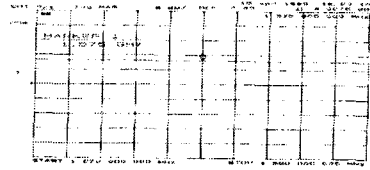


그림 11. 협대역 이득
Fig 11. Narrow Band Gain of GPS LNA

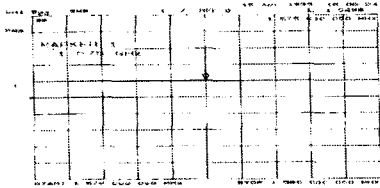


그림 8. 협대역 출력 정재파비
Fig 8. Narrow Band Output VSWR

측정치로 알 수 있듯이 이득 평탄도의 경우 그림 9와 같이 0.1 dB의 이득 평탄도를 보였다. 또한 협대역으로 역시 광대역 측정과 같은 방법으로 이득 및 회로의 isolation 특성을 알아본 결과 이득은 그림 10과 같이 약간 감소하여 28dB 정도로 다소 떨어졌으나 GPS LNA 특성에 크게 영향을 주지 않는 범위 이기 때문에 문제되지 않았고, isolation 특성은 그림 11과 같이 약 -65dB로 떨어져 양호한 시스템임을 입증 할 수 있다.

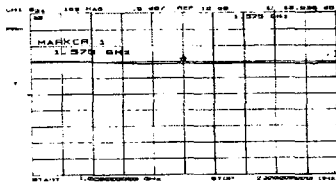


그림 9. 광대역 이득
Fig 9. Wide Band Gain

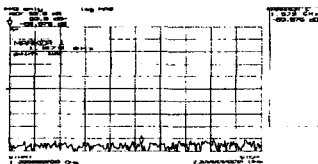


그림 10. 광대역 아이솔레이션
Fig 10. Wide Band Isolation

VI. 결론

본 논문에서는 GPS 위성 수신기에서, RF수신부의 초 단 저잡음 증폭기설계를 설계하여 제작 실험 하였다. 잡음지수 및 증폭이득 특성이 우수한 GaAs MESFET를 이용하여, 높은 이득을 얻기 위해 저잡음, 고이득 소자인 ATF-10136 GaAs MESFET로 증폭기를 설계 하였으며, 일반적으로 잡음성능과 더불어 이득을 증가시키기 위해 3단 이상의 저잡음 증폭기를 설계하지만, 본 논문에서는 2단 만으로 설계 제작 하였다. 제작한 전력 증폭기는 GPS주파수 1.575 GHz에서 33dBm의 출력을 얻었으며, 그리고 약 33dB의 소신호 이득을 얻었다. GPS의 규격을 만족하는 높은 이득과 입, 출력 특성 즉, 입력 정재파비(Input VSWR)와 출력 정재파비(Output VSWR)가 각각 1.3:1, 1:1.1 등을 나타 내었고, 특히 협대역에서는 거의 1:1에 가까운 우수한 정합 특성을 보였으며, 설계한 값보다는 다소 떨어지지만 GPS규격을 충분히 만족하는 약 1.8dB 이하의 잡음지수(Noise Figuer)를 가짐을 알 수 있었고 우수한 선형 시스템을 실험으로 입증했다.

참고문헌

- 1) Microwave & Communication Lab. Santa Clara Uni. 1986." Experiments in RFvand Microwave Network Analysis"
- 2) G.D. Vendelin , "Five Basic Bias Designs for GaAs FET Amplifiers" Microwaves & RF, February 1978
- 3) 과학기술부 연구보고서, " 초고주파 GaAsFET 저잡음 Converter 개발 ", 1989.
- 4) 박 천석, " 5MHz-2GHz에서 동작하는 광대역 증폭기의 설계 및 제작 ", 한국 과학 기술원, 석사학위 논문, 1990
- 5) 이 무홍, " 10MHz에서 2000MHz사이의 대역에서 동작 하는 저잡음 광대역 증폭 기의 설계 및 제작, 한국 과학기술원, 석사학위 논문, 1991
- 6) 홍 성일, " GPS 同期信號 受信機 開發에 관한 研究 ", 동아대학교 대학원, 박사 학위논문, 1996
- 7) Guillermo Gonzalez, " Microwave Transistor Amplifiers ", Prentice Hall, 1997.
- 8) J.JSpilker, "GPS Signal Structure and Performance Characteristics", Global Positioning System Papers, Vol. I, The Institute of Navigation, 1986.
- 9) 日本測地學會, " GPS人工衛星による精密測位システム ", 日本測量協會, 1986.
- 10) A.J Van Dierendonck and W.C.Melton, "Application of Time Transfer Using NAVSTAR GPS", Global positioning System Papers, Vol. II, The Institute of Navigation, 1980.
- 11) M.T Allison and P.Daly, "Development of a Prototype. Experimental Single-Channel Sequencing Navstar GPS Receiver : Part II - Software Description", International Journal of Satellite

저자 소개



박 지 언

1999.8 동아대학교 전자공학과 공학박사
 현재 양산대학 전자정보통신과 조교수

박 재 운

1994. 동아대학교 전자공학과 공학박사
 현재 동부산대학 정보통신과 교수, OA학회 고문

변 건 식

현재 동아대학교 전자공학과 교수