

위성 지구국용 20GHz대 MMIC 저잡음증폭기 설계

○ 염인복*, 임종식*, 강 성춘*, 김재명*, 유영근**

*한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 위성통신시스템연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 161

전자우편주소 : ibyom@etri.re.kr

** 현대전자(주) 위성사업단

Design of 20 GHz MMIC Low Noise Amplifiers for Satellite Ground Station

○ In-Bok Yom*, Jong-Sik Lim*, Sung-Choon Kang*, Jae-Moung Kim and Young-Kun Yoo**

* Satellite Communications System Dept., ETRI-Radio & Broadcasting Research Lab.

Kajong-Dong 161, YuSong-Gu, TaeJou City, 305-350, Korea

e-mail address : ibyom@etri.re.kr

** Satellite Business Division, Hyundai Electronics Industries Inc.

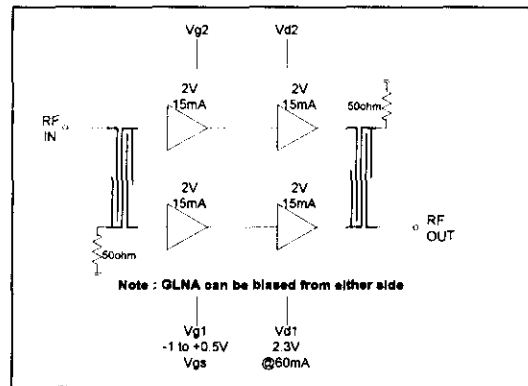
Abstract - A 20 GHz 2-stage MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) LNA(Low Noise Amplifiers) has been designed. The pHEMT with gate length of 0.15um has been used to provide ultra low noise and high gain amplification. Series and Shunt feedback circuits were inserted to ensure high stability over frequency range of DC to 60 GHz. The size of designed MMIC LNA is 2285um x 2000um(4.57mm²). The simulated noise figure of MMIC LNA is less than 1.7 dB over frequency range of 20 GHz to 21 GHz.

머리말

Ka-대역 주파수를 사용하는 위성 통신 및 LMDS 등의 지상무선통신 시스템의 전개가 급속도로 진행됨 따라 RF 증폭기의 수요도 급증하고 있으며, RF 증폭기의 구현도 기존의 MIC 증폭기보다 MMIC 증폭기 개발 요구가 점차 요구되고 있다.

Ka-대역 MMIC 증폭기는 초기 개발비 부담이 크므로 무게, 크기 및 신뢰도가 강조되는 일부 RF 시스템에서만 제한적으로 사용되었으나, 최근 들어 수요가 급증하면서 가격 경쟁력 또한 MIC 증폭기보다 우수하게 됨에 따라, 미국, 일본 및 유럽 등 일부 국가에서 앞 다투어 개발 중에 있다.

본 논문에서는 위성 지구국용으로 설계한 20GHz MMIC LNA에 대해 다루었다. LNA의 요구 규격은 사용 주파수대가 20 ~ 21 GHz, 이득 17 dB, 잡음지수 1.7 dB 이하이며, 15 ~ 25 GHz의 주파수 범위에서도 17 dB이상의 이득과 2.5 dB이하의 잡음 지수를 갖도록 설계하였다. 또한 넓은 dynamic range와 입력력 반사계수를 갖도록 <그림 1>과 같이 Lange coupler와 gate길이가 0.15um이고 gate 폭이 120um인 pHEMT를 각각 2단씩 연결한 balanced 형태로 설계하였다.



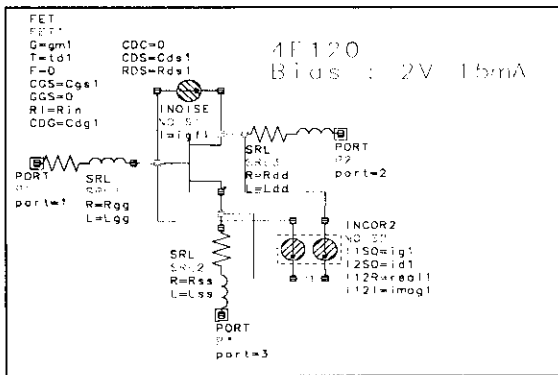
<그림 1> MMIC LNA의 구성도

<Figure 1> Diagram of MMIC LNA

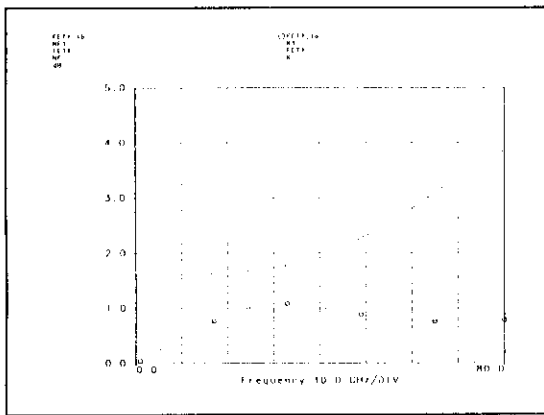
MMIC LNA 설계

소자 선택

소자는 높은 주파수 대역에서도 낮은 잡음 지수와 넓은 dynamic range의 확보가 가능한, gate 길이가 0.15um이고 gate폭이 120um인 pHEMT를 사용하였다. <그림 2>에 사용된 소자의 등가회로를 나타내었다. 최소 잡음지수는 2V의 드레인 전압인가시 드레인 전류가 15mA 일때 얻을 수 있다. <그림 3>에 소자의 source에 series feedback 회로를 연결하였을 때의 잡음특성과 안정도 특성을 나타내었다.



<그림 2> 저잡음 HEMT의 등가 회로
<Fig. 2> Equivalent circuit of Low Noise HEMT



<그림 3> Series feedback 회로를 갖는 pHEMT의 잡음 및 안정도 특성
<Fig. 3> Noise and stability characteristics of pHEMT with series feedback

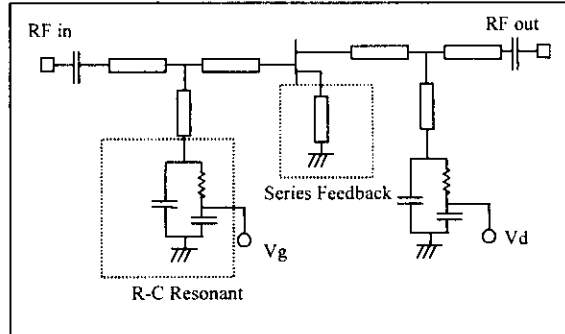
첫번째 증폭단

선택된 소자는 높은 이득을 제공할 수 있으나, 불안정하므로 feedback 회로와 RC 공진 회로를 사용하여 어떠한 경우에도 안정하도록 하였다. Feedback 회로로는 <그림 4>에 나타난 바와 같이 series feedback 회로를 사용하였다. Matching 회로 설계를 위하여 series feedback 회로를 포함한 소자의 Iport S-parameter를 구한 후, 이를 <그림 5>와 같은 등가 회로로 변환한 후 입력 및 출력 matching 회로를 설계하였다. 입력 matching 회로는 최소의 잡음 지수를 갖도록 설계하여야 하므로 소자의 S_{11}^* 가 아닌 Γ_{opt} 을 이용하여 설계하였다. 그러나 어느 정도의 power matching도 고려하여야 하므로 series feedback 회로를 이용하여 S_{11}^* 와 Γ_{opt} 의 크기와 위상이 근접하도록 하였다.

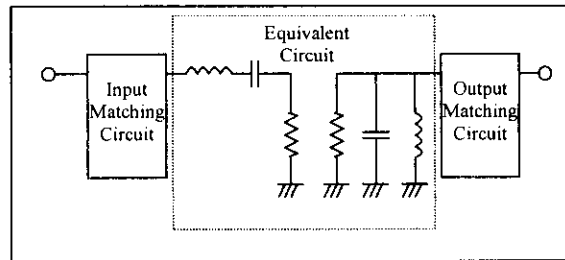
출력 matching 회로는 S_{22}^* 를 이용하여 설계하였다. 그러나 출력단의 회로값에 따라 S_{11}^* 가 변하나, 잡음지수는 거의 변하지 않으므로 출력단의 회로값을 적절히 조절하여 S_{11}^* 와 Γ_{opt} 이 보다 더 근접하도록

하였다[1].

Bais 회로 설계시 저항을 사용할 경우 잡음지수가 저하되므로 가능한 한 저항을 사용하지 않아야 하나 본 설계에서는 소자 자체의 안정도 K가 <그림 3>에 나타난 바와 같이 대역 외에서 1보다 작으므로 회로의 안정도 개선을 위하여 저손실 R-C 공진 회로를 사용하였다. 저항의 사용은 증폭회로 자체의 안정도를 개선하는 역할뿐 아니라, MMIC 제작 후 이를 이용하여 증폭기 모듈을 제작할 때 직류 공급 라인에 의한 인덕턴스 성분과 de-coupling 커패시터스에 의해 발생하는 원하지 않는 발진 성분을 제거하는 역할을 한다.



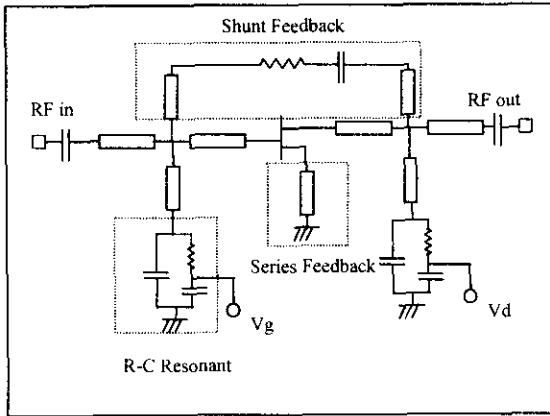
<그림 4> 첫번째 증폭단 회로도
<Fig. 4> Schematic of the First stage of amplifier



<그림 5> Matching 회로 설계를 위한 series feedback 회로를 포함한 소자의 등가 회로
<Fig. 5> Equivalent circuit of device with series feedback for design of matching circuit.

두번째 증폭단

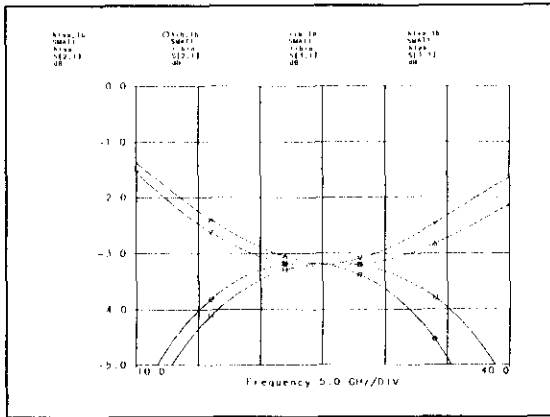
두번째 증폭단의 설계는 첫번째 단에 비해서는 상대적으로 잡음지수에 덜 예민하므로 광대역 특성 개선에 주안점을 두어 설계하였다. 두번째 증폭단은 <그림 6>에 나타난 바와 같이 shunt feedback 회로를 추가하였다. Shunt feedback 회로를 사용할 경우 이득은 떨어지나 넓은 사용주파수 대역을 가질 수 있으며, 안정도도 증가한다[2].



<그림 6> 두번째 증폭단 회로도
<Fig. 6> Schematic of the Second stage of amplifier

결합기

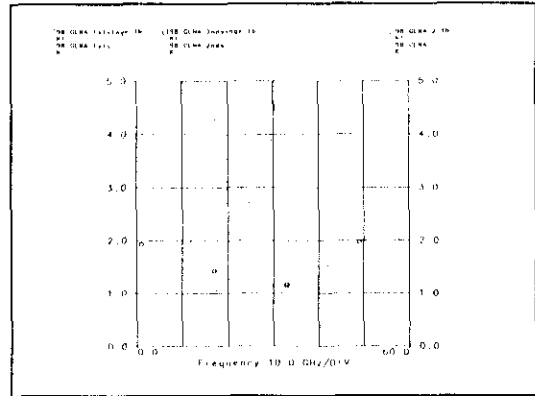
MMIC LNA 설계의 경우 series feedback 회로를 사용하므로 잡음지수의 저하없이 어느정도의 S_{11} 특성 개선이 가능하나 대역폭을 넓히기가 어렵다. 따라서, 본 설계에서는 설계주파수 전대역에서의 입출력 반사손실 특성을 개선하기 위하여 Lange 결합기를 사용하였다. Lange 결합기 설계시 Libra 및 유사한 수식을 사용하여 지수를 계산하면 라인(line)들 간의 상호 결합이 정확히 반영되지 않은 관계로 실제 제작하게 되면 중심주파수가 약 10% 정도 상승하게 된다. 중심주파수의 이동은 hfss 등과 같은 3차원 시뮬레이터를 사용하여 확인할 수 있다. 따라서 Libra와 유사한 tool로 시뮬레이션하였을 경우 Lange 결합기에 대한 배치도면 작성시 결합이 일어나는 라인의 길이를 약 10%정도 길게 하여야 제작 결과와 설계 결과가 근사하게 일치할 수 있다. <그림 7>에 Libra와 hfss를 이용하여 시뮬레이션한 Lange 결합기의 결합특성을 나타내었다.



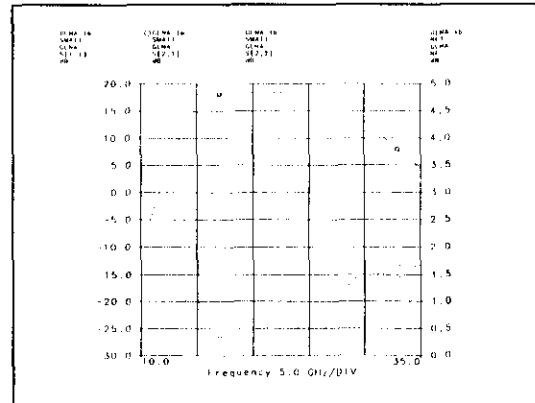
<그림 7> Libra 및 hfss를 이용한 Lange 결합기의 결합특성 비교
<Fig. 7> Comparison of coupling characteristics of Lange coupler simulated by Libra and hfss

MMIC LNA 설계 결과

본 LNA 설계에서는 각 증폭단을 독립적으로 설계하였으며, 증폭단 각각의 안정도가 DC에서 60GHz 사이에서 1보다 크게 설계한 후 이들을 2단 연결하여 <그림 8>에 나타난 바와 같이 전 주파수 대역에서 LNA의 안정도는 1보다 크도록 하였다[3]. <그림 9>에 설계대역에서의 잡음지수, 이득 및 반사계수 특성을 나타내었다. 설계된 LNA의 잡음지수는 요구주파수 대역인 20 ~ 21GHz에서는 1.7dB이하가 되도록 하였으며, 설계 대역인 15 ~ 25 GHz에서는 2.5 dB이 하가 되도록 하였다. 이득은 18 dB 이상이며, 입출력 return loss는 20 dB 이하이다. 본 LNA 설계는 balanced 형태의 구조인 관계로 chip의 크기가 다소 증가하나, 입출력단에 정합을 위한 isolator를 사용하지 않아도 되므로 수신기 등의 모듈을 구성할 경우는 오히려 크기 및 가격 측면에서 유리한 점이 있다. <그림 10>에 설계된 MMIC LNA의 배치도를 나타내었다. Chip의 크기는 2850 x 2000 μm^2 이다.



<그림 8> MMIC LNA의 1단, 2단 및 전체의 안정도
<Fig. 8> Stabilities of 1st, 2nd and overall stage of MMIC LNA



<그림 9> MMIC LNA의 설계 성능
<Fig. 9> Simulated performances of MMIC LNA.

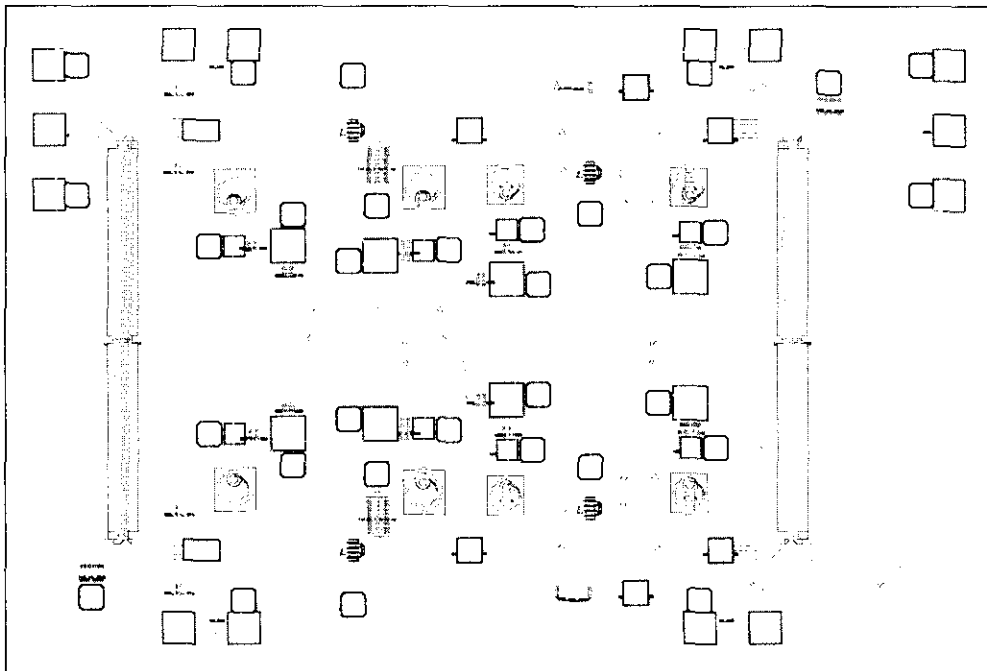
맺음말

본 논문에서는 gate 길이가 0.15um이고 gate폭이 120um인 pHEMT를 사용한 balanced 형태의 MMIC LNA를 설계에 대해 다루었다. 설계된 MMIC LNA의 substrate는 두께(t)가 100um, 유전율(er)이 12.9이며, 크기는 2850 x 2000 um²이다. 설계 결과, 잡음지수는 20 ~ 21GHz 대역에서는 1.7 dB이하이고, 15 ~ 25 GHz 대역에서는 2.5 dB 이하이었으며, 이득은 15 ~ 25 GHz 대역에서 18 dB이상이었다.

설계된 MMIC LNA는 위성 지구국용이나, 넓은 대역폭을 갖고 있으므로 그 외의 다른 20 GHz대 무선 통신 시스템에도 활용될 수 있다. 설계된 MMIC LNA는 제작이 완료되었으며, 시험될 예정이다.

참고 문헌

- [1] MMIC Design GaAs FETs and HEMTs, P.H. Ladbrooke, Artech House, 1989. High-Power FET Amplifiers, John L.B. Walker, Artech House, 1993.
- [2] E.Ulrich, "Negative Feedback to Slash Wideband VSWR", Microwaves, Vol. 17. Oct. 1978, pp66-70.
- [3] 임종식, 강성훈, "Ka-Band 위성중계기용 MMIC 저잡음증폭기의 설계," 1997년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, pp.199-202.



<그림 10> 20 GHz MMIC LNA의 배치도(Chip size = 2850 x 2000um²)
 <Fig. 10> The layout of 20GHz MMIC LNA (Chip size = 2850 x 2000um²)