

Ka Band 3단 MMIC 저잡음 증폭기 설계

○ 염인복, 정진철, 이성팔

한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 위성통신시스템연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 161
전자우편주소 : ibyom@etri.re.kr

Design of Ka-Band 3 Stage MMIC Low Noise Amplifiers

○ In-Bok Yom, Jin-Cheol Cheong, Seong-Pal Lee

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

Kajong-Dong 161, YuSong-Gu, TaeJon City, 305-350, Korea
e-mail address : ibyom@etri.re.kr

Abstract - A Ka Band 3-stage MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) LNA(Low Noise Amplifiers) has been designed. The MMIC LNA consists of two single-ended type amplification stages and one balanced type amplification stage to satisfy noise figure characteristics and high gain and amplitude linearity. The 0.15um pHEMT has been used to provide a ultra low noise figure and high gain amplification. Series and Shunt feedback circuits were inserted to ensure high stability over frequency range of DC to 80 GHz. The size of designed MMIC LNA is 3100mm x 2400um(7.44mm²). The on wafer measured noise figure of the MMIC LNA is less than 2.0 dB over frequency range of 22 GHz to 30 GHz.

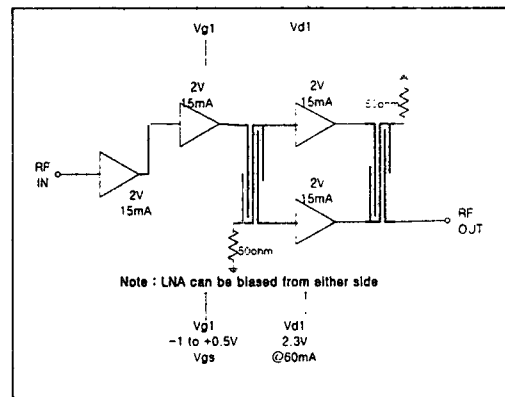
머리말

주파수 자원의 고갈로 인해 위성통신 및 BWLL 시스템과 같은 지상무선통신 시스템에서 Ka-대역과 같은 높은 주파수 사용이 점차로 증가하고 있으며, 이에 따라 RF증폭 모듈도 기존의 MIC형태에서 MMIC 형태로 전환되고 있는 추세이다.

특히 Ka-대역과 같이 높은 주파수 응용에서는 MMIC에 대한 초기 투자가 이루어질 경우, MMIC형태의 RF모듈 구현의 용이, 제작된 RF모듈의 안정된 성능 확보, 대량생산 및 제품 단가 측면에서 기존의 MIC 형태의 RF모듈보다 우수하므로 국내 및 여러 선진국에서 개발 중인 Ka 대역 RF모듈은 대부분 MMIC를 사용하고 있다.

본 논문에서는 위성통신 및 BWLL용으로 설계한 Ka 대역 MMIC LNA에 대해 다루었다. MMIC LNA의 설계 규격은 22 ~ 30GHz의 주파수 대역에서, 이득 26dB이상, 잡음지수 2.0 dB 이하이며, 이러한 규격을 만족하기 위하여 gate 길이가 0.15um이고 gate폭이 120um인 pHEMT를 이용하여 3단 증폭구조로 설계하였다. 증폭기는 <그림 1>에 나타난 바와 같이 3단으로 구성되며, 초단과 둘째단은 single ended 형태이며, 증폭기의 선형성 확보 및 출력 반사손실

개선을 위해 마지막 단은 Lange 결합기를 사용한 balanced 형태를 채택하였다. 설계는 Libra를 사용하였으며, 단순 직선 라인이 아닌 모든 구성회로에 대해 EM 시뮬레이션을 수행한 결과를 적용하였다.



<그림 1> Ka-대역 3단 MMIC LNA의 구성도
<Figure 1> Diagram of Ka-Band 3 Stage MMIC LNA

MMIC LNA 설계

소자 선택

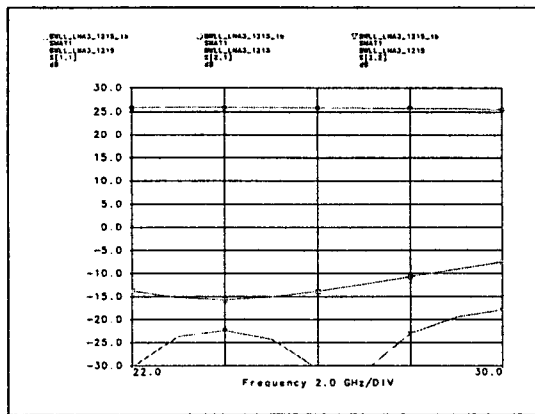
소자는 높은 주파수 대역에서도 낮은 잡음 지수 구현이 가능한 gate 길이가 0.15um이고 gate폭이 120um인 pHEMT를 사용하였다. gate 폭이 80um인 소자를 사용할 경우 simulation 결과는 우수하나 제작한 후의 결과는 gate 폭 120um인 소자와 거의 유사하므로 진폭 선형성을 고려하여 120um pHEMT를 사용하였다.[1] <그림 2>에 사용된 소자의 등가회로를 나타내었다. 등가회로 소자값들 중 컨덕턴스(gm1).

세번째 증폭단

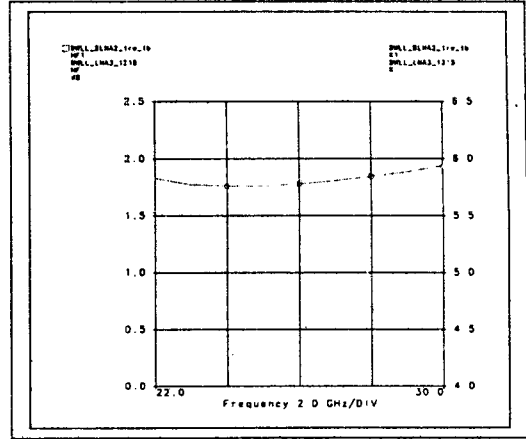
저잡음 증폭기 설계의 경우 series feedback를 사용하면 최소의 잡음지수 특성을 유지하면서 입력 반사손실특성을 개선할 수 있지만, 설계 주파수 대역이 넓은 경우 출력 반사 손실특성 개선이 용이하지 않다. 출력 반사손실이 좋지 않을 경우 RF모듈 구현시 반사손실로 인해 평탄한 주파수/이득 특성이 나빠진다. 본 설계에서는 이러한 문제점도 해결하고 진폭 선형성도 개선하기 위하여 세번째 증폭단은 Lange 결합기를 이용한 balanced 구조로 설계하였다. Lange 결합기는 광대역 특성이 우수하나 높은 주파수 응용일 경우 인접 선폴간의 간격이 좁아 반드시 EM 시뮬레이션 결과와 제작 공정 데이터를 활용하여야 한다. 일반적으로 Lange 결합기에 대한 배치도면 작성시 결합이 일어나는 라인의 길이를 약 10%정도 길게 하면 제작 결과와 설계 결과가 근사하게 일치할 수 있다[3].

MMIC LNA 설계 결과

본 LNA 설계는 낮은 잡음지수, 고 이득, 및 광대역의 주파수 응답 특성을 만족하는 한편 chip의 크기를 줄이기 위하여 첫단과 둘째단은 single ended 형태로 구성하였으며, 세번째단은 balanced 형태로 구현하였다. MMIC LNA의 경우 외부에서 튜닝이 거의 불가능하므로 전주파수 대역(dc-80GHz)에서 무조건 안정하도록 설계하여야 하므로, 각 증폭단 마다 안정도가 1보다 크도록 하는 한편 dc 바이어스 라인을 입력력으로 한 안정도 검사를 수행하여 응용시 외부 바이어스 인가에 의한 발진 가능성도 배제하였다. <그림 6>에 설계한 3단 MMIC LNA의 이득/주파수 특성을 나타내었으며, <그림 7>에 잡음지수 및 안정도 특성을 나타내었다. 설계된 MMIC LNA의 이득은 설계 주파수 대역인 22 ~ 30GHz에서 26 dB 이상이고, 입력반사손실은 10dB이하, 출력반사손실은 15dB이하이다. 잡음지수는 2.0 dB이하이다.



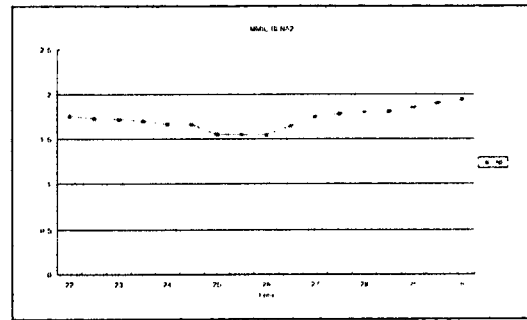
<그림 6> 설계한 MMIC LNA의 이득/주파수 특성
<Fig. 6> Gain/Frequency Response of the Designed MMIC LNA



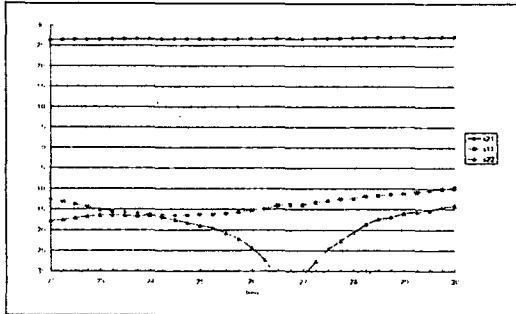
<그림 7> 설계한 MMIC LNA의 잡음지수 및 안정도
<Fig. 7> Noise Figure and Stability of the Designed MMIC LNA

MMIC LNA 측정 결과

설계한 MMIC LNA는 TRW의 공정을 이용하여 제조되었으며, on wafer 시험을 수행하였다. <그림 8>와 <그림 9>에 on-wafer상에서 측정한 잡음지수와 이득/주파수 특성을 나타내었다. 측정 결과, 잡음지수와 이득/주파수 특성들이 모든 주파수 대역에서 설계 특성과 거의 동일한 한 특성을 보임을 확인할 수 있었다. 즉, 잡음지수는 2.0 dB이하, 이득은 26 dB 이상 입력반사손실은 10dB이하 그리고 출력반사손실은 15dB이하로 모두 설계 규격을 만족하였다.



<그림 8> On-wafer상에서 측정한 MMIC LNA의 잡음지수
<Fig. 8> Noise Figure of the MMIC LNA measured on wafer



<그림 9> On-wafer상에서 측정된 MMIC LNA의 주파수/이득 특성
 <Fig. 9> Gain/Frequency Response of the MMIC LNA measured on wafer

맺음말

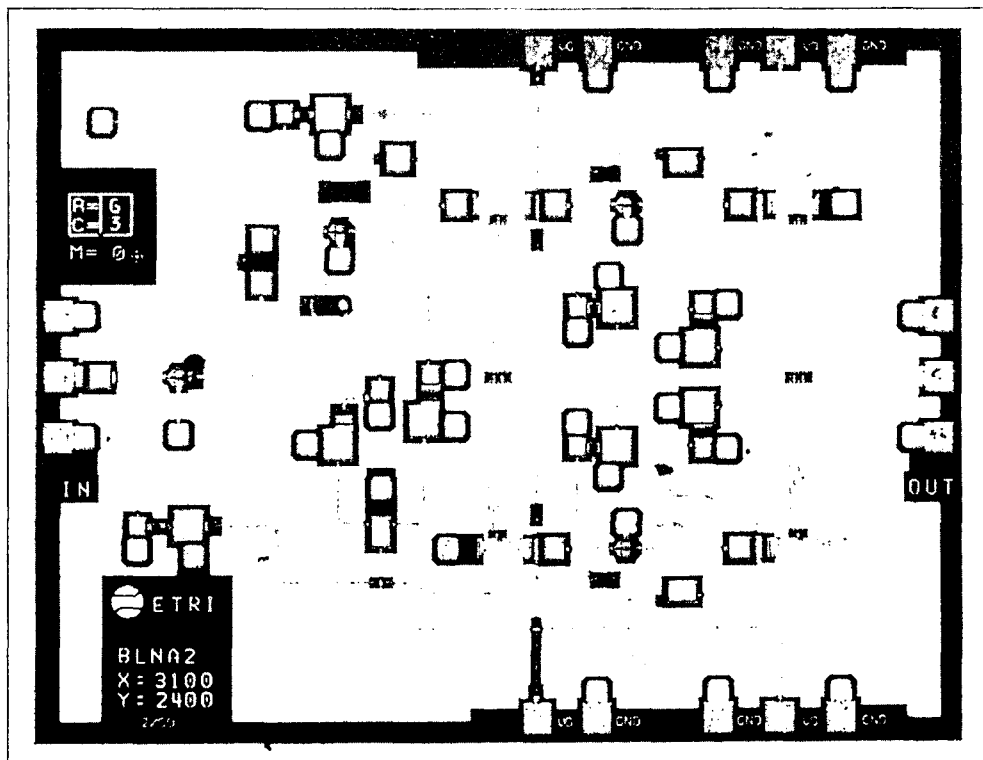
본 논문에서는 gate 길이가 0.15um이고 gate폭이 120um인 pHEMT를 사용하여 설계한 Ka 대역 3단 증폭기에 대해 다루었다. MMIC LNA는 두께(t)가 100um이고, 유전율(er)이 12.9인 기판을 이용하여 제작되었으며, 크기는 3100 x 2400 um²이다(<그림 10>

참조). 측정 결과는 설계 결과와 거의 일치하였으며, 잡음지수는 22 ~ 30GHz 대역에서 2.0dB이하이고, 이득은 26 dB이상이었다.

설계된 MMIC LNA는 위성통신용 또는 BWLL 시스템 등 Ka 대역 주파수를 사용하는 시스템에 유용하게 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] 임종식,강성춘, "Ka-Band 위성중계기용 MMIC 저잡음증폭기의 설계," 1997년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, pp.199-202.
- [2] E.Ulrich, "Negative Feedback to Slash Wideband VSWR", Microwaves, Vol. 17, Oct. 1978, pp66-70.
- [3] 염인복, 임종식, 강 성춘, 김재명, 유영근, "위성 지구국용 20GHz대 MMIC 저잡음증폭기 설계," 1998년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, pp.379-382.



<그림 10> Ka-Band 3단 MMIC LNA의 배치도(Chip size = 3100 x 2400um²)
 <Fig. 10> The layout of the Ka-Band 3-Stage MMIC LNA (Chip size = 3100 x 2400um²)