

Active Feedback을 이용한 MMIC 광대역 증폭기 설계

강태신¹, 안단, 윤용순, 이진구
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구 센터
전화 : (02) 2260-3335 / 팩스 : (02) 2277-4796

Broadband Amplifier Using Active Feedback Technique

T. S. Kang¹, D. An, Y. S. Yoon, J. K. Rhee
MINT (Millimeter-wave INovation Technology Research Center), Dongguk University
E-mail : jkrhee@dongguk.edu

Abstract

In this paper, a MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) broadband drive amplifier for wireless communication systems has designed using active feedback method. The MMIC broadband amplifier was designed using 0.5 μm MESFET of ETRI library. Simulation results show that gain is 22 dB, and gain flatness ± 1 dB. Maximum output power 15 dBm and noise figure 2.5 dB in bandwidth 500 MHz \sim 3.0 GHz. The MMIC Broadband amplifier's chip area is 1.4 mm \times 1.4 mm.

I. 서론

현대사회는 정보의 다양화 및 대량화 추세가 가속화 되고 있으며 각종 통신 기술은 이의 근간을 이루고 있다. 최근 무선통신은 유선통신의 단점인 시간과 공간의 제약을 뛰어넘는 서비스를 제공함으로써 폭발적 수요증가를 보이고 있다. 이에 따른 서비스를 제공할 수 있는 시스템을 개발하는 것은 필수적이며 이를 구성하는 각 부품들의 자체 개발이 우선적으로 선행되어야 하는 것은 물론이다. 이번에 설계된 MMIC 는 L-band와 S-band 대역의 800 MHz 및 1.8 GHz의 PCS대역, 2.4 GHz의 WLL, ISM band 및 현재 부각되고 있는 2 GHz의 IMT-2000, Bluetooth 모듈을 포함하여 송·수신 모듈로 사용될 수 있어서 각종 무선통신 단말기의 핵심부품이다.

본 증폭기는 ETRI의 0.5 μm E-MESFET library를

사용하여 2단으로 설계하였으며 chip의 소형화와 넓은 대역폭, 높은 이득의 성능을 얻기 위해 기존의 Negative Feedback 회로와 Active Feedback 방식을 병행하였다.

II. Feedback & Active Feedback

일반적으로 광대역 증폭기를 설계하는 데는 Distributed 와 Negative Feedback 기법이 사용된다.[1] 본 광대역 증폭기 설계에서는 광대역 특성과 함께 이득과 출력전력, chip 면적을 고려하여 1-stage 에는 Negative Feedback 을 개선한 Active Feedback 기법을 사용하였고 2-stage 에는 Negative Feedback 기법을 사용하여 설계하여 회로의 최대 특성을 이끌어 내도록 설계하였다.

그림 1은 설계에 응용된 2-stage 의 Negative Feedback 기본 회로로써 Negative Feedback 을 사용한 microwave 트랜지스터 증폭기는 매우 넓은 동작주

파수 대역과 평탄한 이득을 얻을 수 있으며 입력, 출력 VSWR 을 감소시킬 수 있다.

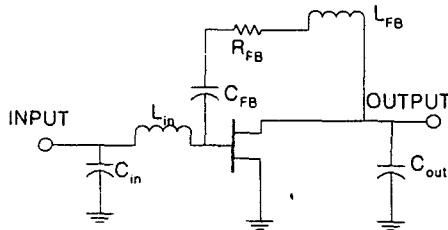


그림 1. Feedback Amplifier의 기본 회로

Negative Feedback 증폭기에서 가장 중요한 역할을 하는 Feedback 소자는 R_{FB} 가 된다. R_{FB} 는 이득과 동작 주파수를 결정하며, 이 두 가지 결과의 Trade-off 관계를 조절하는 중요한 소자이다. R_{FB} 의 값은 다음 식으로 계산할 수 있다. [2]

$$S_{21} = \frac{Z_0 - R_{FB}}{Z_0} \quad (1)$$

$$S_{12} = \frac{Z_0}{R_{FB} + Z_0} \quad (2)$$

$$g_m = \frac{R_{FB}}{Z_0^2} \quad (3)$$

$$R_{FB} = Z_0 (1 - S_{21}) \quad (4)$$

또한 Negative Feedback 에서 L_{FB} 는 Feedback loop 에서 주파수를 조절하는 기능을 한다. 예를 들면 고주파에서 L_{FB} 가 증가하면 Negative Feedback 되는 주파수를 감소시켜서, 결국 L_{FB} 는 고주파를 조절하며 이득 평탄도를 결정하는 소자가 된다. [3]

그러나 Negative Feedback 을 사용한 증폭기는 트랜지스터의 Noise Figure 와 최대 출력 이득을 나쁘게 하며 Feedback loop 에 사용되는 나선형 인덕터가 chip 면적을 상당히 크게 만든다는 단점이 있다. 따라서 본 설계는 Feedback 회로의 장점을 더욱 부각시키고 단점을 보완하는 하기 위해 Active Feedback 을 병행하였

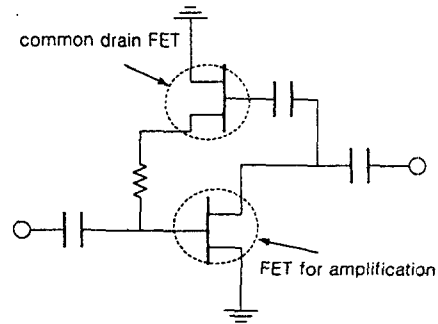


그림 2. Common drain FET Feedback

그림 2는 설계에 응용된 1-stage 의 common drain FET Feedback 회로로써 일반적인 Feedback 증폭기와는 달리 Active feedback 은 이득과 동작 주파수가 개선되는 것은 물론이고 기존의 Feedback에 비해 면적이 작고 DC 전력 소비가 적어진다는 장점이 있다.[4] 본 회로는 Negative Feedback loop 에서 사용되는 나선형 인덕터가 큰 면적을 차지하기 때문에 Common drain FET 를 Active Feedback 으로 사용하여 제한된 면적을 효율적으로 사용할 수 있게 고려하였다. Active Feedback 을 사용한 결과 기존 8 turn 의 나선형 인덕터에 비해 약 50% 이상의 면적을 줄이면서도 양호한 Feedback 효과를 얻을 수 있었으며 active self bias 의 실현이 가능했다. 이런 Active Feedback 의 선형성 기법은 HEMT 에 기반한 MMIC's(monolithic microwave wave integrated circuit)에 LNA(Low Noise Amplifier)나 DA(Drive Amplifier) 등의 광대역을 요구하는 무선 통신 시스템에서 선형성을 증가시키는 데 저렴하고 간단한 방법이 될 수 있다.[5]

II. 설계 및 시뮬레이션.

광대역 증폭기의 1-stage 에는 게이트 길이가 $0.5 \mu\text{m}$ 이고 Gate Finger 가 6개인 E-MESFET 을 사용하였으며 Active Feedback 용으로는 Gate Finger 2개인 $0.5 \mu\text{m}$ E-MESFET 을 사용하였다. 2-stage 역시 같은 $0.5 \mu\text{m}$ E-MESFET 을 사용하였으며 Gate Finger 는 10개이다. 그림 3은 Gate Finger 가 2개인 $0.5 \mu\text{m}$ E-MESFET 표준소자의 DC 특성이다.

회로의 Bias Point 는 1단의 FET 에서 Gate 0.5 V, Drain 3 V, I_{ds} 25 mA, 2단의 FET 에서 Gate 0.5 V,

Drain 3 V, I_{ds} 40mA 로 잡아 소자의 최대 특성을 이끌어 내도록 A 급으로 설계하였다.

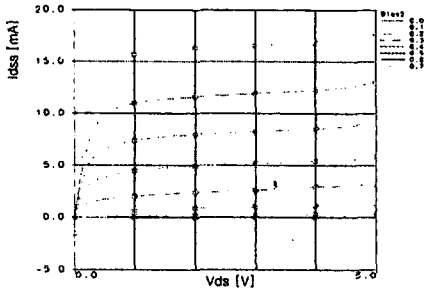


그림 3 . Gate finger 2개인 0.5 μ m MESFET 표준소자의 DC특성

광대역 증폭기에 사용되는 Negative Feedback 회로의 특성상 큰 저항이 삽입되기 때문에 Feedback 회로를 구현한 후에는 그림 4의 안정도 원에서 보는 것처럼 불안정 영역이 모두 스미스 차트의 밖으로 이동하여 안정화를 위한 특별한 저항의 추가가 없이도 회로의 안정도를 모두 만족시킬 수 있었다.

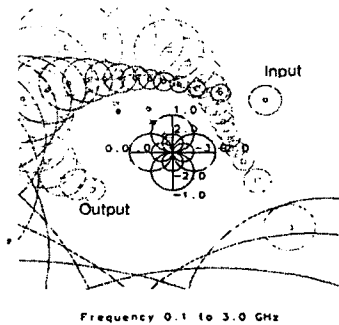


그림 4. Feedback 저항을 삽입한 후의 안정도

Negative Feedback 회로와는 달리 Active Feedback 방식을 병행하여 Feedback loop 에 나선형 인덕터를 사용하는 것보다 chip 면적을 줄이면서도 평탄한 이득응답 등의 성능이 향상되도록 하였으며 RFC 의 역할을 하는 인덕터를 정합의 성분으로 사용하여 chip

면적을 더욱 효율적으로 줄일 수 있었다. 정확한 설계를 위하여 Mask Layout 시에 발생하는 각 수동소자 연결 Metal line 을 고려하여 시뮬레이션에 삽입하여 더욱 실질적인 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5에 Active Feedback 과 Negative Feedback을 조합하여 설계된 MMIC 광대역 Amplifier 의 회로도를 나타내었다.

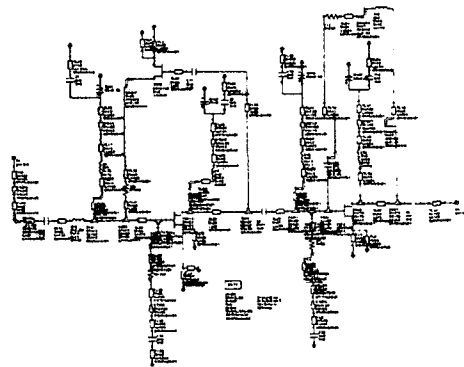


그림 5. 설계된 MMIC 광대역 증폭기의 회로도

그림 6은 증폭기의 정합 후 반사계수 특성으로 회로 정합 후 스미스 차트 상에서 50 Ω 근처에 500 MHz ~ 3.0 GHz 의 대역에서 반사계수 곡선이 위치해 있어서 목표 동작 주파수대역 에서 정합이 잘되어 있음을 확인할 수 있다.

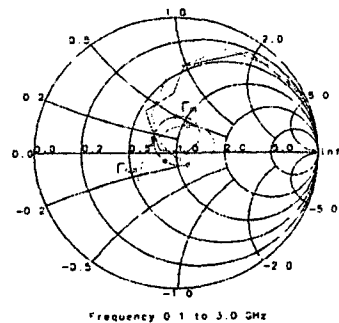


그림 6. 정합 후의 반사계수 특성

설계된 MMIC 광대역 증폭기의 시뮬레이션 결과 이득은 주파수 500 MHz 에서 3 GHz 까지 22 dB 이상이고 이득평탄도 ± 1 dB, 잡음지수 (NF : Noise Figure)는 2.5 dB 이하의 결과를 얻었으며 그림 7과 그림 8에서 시뮬레

이선 결과를 나타내었다.

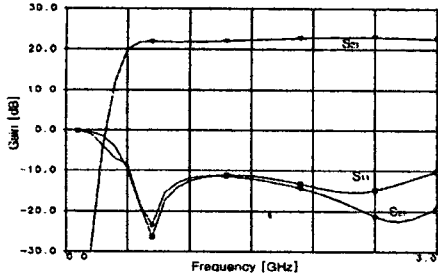


그림 7. 소신호 Simulation 결과

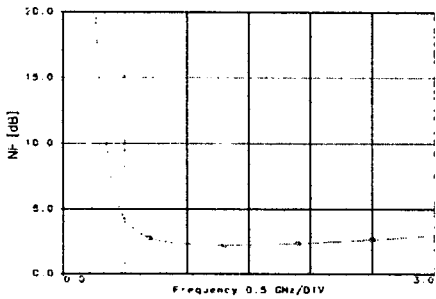


그림 8. Noise Figure

그림 9는 VSWR(Voltage Standing-Wave Ratio)을 나타내었으며 VSWR 또한 입력과 출력 측 모두에서 최저 1.2에서 1.7이하의 VSWR 값을 보이고 있어서 설계 주파수 전 대역에서 비교적 정합이 잘 되었음을 나타내고 있다.

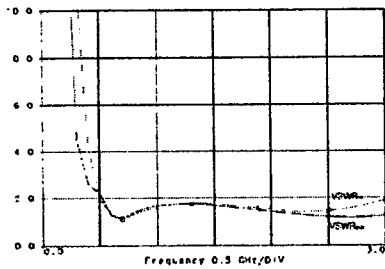


그림 9. VSWR

설계된 MMIC 광대역 증폭기의 출력 전력 시뮬레이션 결과 P_1 dB 에서 입력전력이 약 -10 dBm 일 때 최대 출력 전력 15 dBm 을 얻었으며 그림 10에 설계된 MMIC 광대역 증폭기의 입·출력 전력특성을 나타내었다.

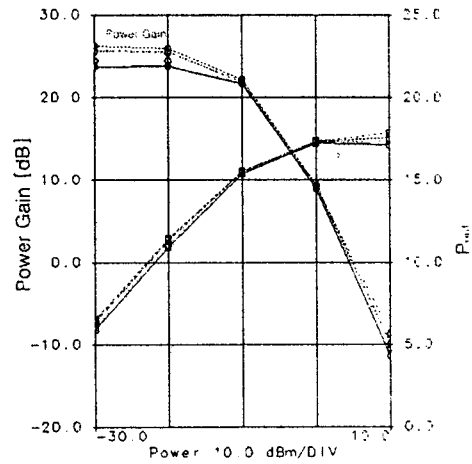


그림 10. 대신호 시뮬레이션 결과

III. Mask Layout.

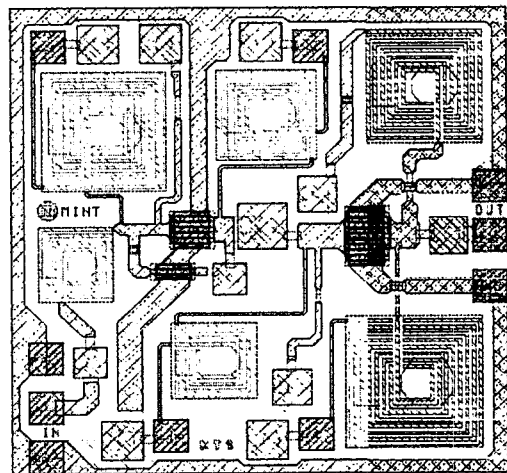


그림 11. 설계된 광대역 증폭기의 Mask Layout

MMIC 광대역 증폭기의 Mask Layout 은 coupling 의 영향을 최대한 고려해서 각 line 사이를 최소 20 μm 이상 간격을 두어 설계하였다. 또한 signal line 에서 signal 의 왜곡과 loss 를 최소화하기 위해서 직각 band 를 사용하지 않았으며 parasitic 성분을 줄이기 위해서 signal line 과 ground line 의 width 를 넓게 설계하였다. 그림 11에 설계된 MMIC 광대역 증폭기의 mask layout 을 나타내었으며 chip 면적은 1.4 mm \times 1.4 mm 이다.

IV. 결론

본 논문에서는 Negative Feedback 과 Active Feedback 을 이용해서 MMIC 광대역 증폭기를 구현하여 chip 면적을 줄이면서도 넓은 대역의 특성을 갖는 광대역 증폭기를 설계하였다. 설계된 MMIC 광대역 증폭기의 시뮬레이션 결과 동작주파수 500 MHz ~ 3.0 GHz 에서 이득 22 dB 이상, 이득 평탄도 ± 1 dB, 잡음지수 3 dB 이하 및 16 dBm 이상의 출력전력의 성능을 보였다. 설계된 증폭기는 Feedback Amplifier 의 단점인 전력 이득의 감소를 극복하여 우수한 전력이득 수치를 얻었으며 Noise Figure 또한 3 dB 이하로써 양호한 특성을 얻었다. 설계된 증폭기는 작은 면적으로 회로를 구현하여 저가격을 실현할 수 있고, 동작 주파수 대역이 500 MHz 에서 3.0 GHz 로 800 MHz 의 Cellular Phone 에서부터 L-band 와 S-band 대역에서 1.7 ~ 1.9 GHz PCS 대역의 단말기나 증계기, 2.4 GHz 의 WLL, ISM band 의 송·수신 모듈 및 현재 부각되고 있는 2 GHz 대의 IMT-2000 단말기, Bluetooth 등의 다양한 무선통신용 단말기에서 사용될 수 있을 것이다.

Acknowledge

This research is supported by ERC program (MINT) of KOSEF

참고문헌

- [1] I. D. Robertson, MMIC Design, The Institution of Electrical Engineers, 1995
- [2] Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor

Amplifiers Anaylsis and Design, Prentice Hall, 1997

- [3] Vendelin PAVIO Rohde, Microwave Circuit Design Using Linear And Nonlinear Techniques, Wiley Interscience, 1990
- [4] Kevin W. Kobayashi, et al. "A Novel Monolithic HEMT LNA Integrating HBT-Tuneable Active-Feedback Linearization by Selective MBE" , IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, VOL 44, pp. 2384-2391, 1996
- [5] Eduardo Ballesteros, et al., "Analysis and Design of Microwave Linearized Amplifier Using Active Feedback", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, VOL 36, pp. 499-504, 1998