

무선 LAN을 위한 가변이득 증폭기의 설계

°송용원*, 이재웅*, 김진욱*, 박한규*

* : 연세대학교 전자공학과

A design of variable gain amplifier for wireless LAN

°Y.W.Song*, J.W.Lee*, K.W.Kim*, H.K.Park*

* : Yonsei Univ. Dept of Radio Comm. Eng.

Abstract

A variable gain amplifier(VGA) for wireless LAN is designed using active feedback. The amplifier is controlled by the gate voltage in the feedback path. This amplifier has more than 30dB gain variation and a improved linearity in the RF receiver block as input voltage increases. An active feedback topology is used by P-HEMT and is also analyzed for FET equivalent model.

I. 서 론

고도의 산업사회가 발달함에 따라 고속 데이터 전송 기술을 필요로 하게 되었으며, 이동성이 보장되고 고속의 데이터를 전송할 수 있는 무선 LAN에 대한 관심이 늘어나고 있다. 이러한 무선 데이터 통신 시장에서 경쟁력 있는 무선 LAN 제품을 생산하기 위해서는 핵심 기술 개발이 필수적이며, 특히 RF 모듈은 작은 크기, 낮은 동작 전압, 높은 전력효율과 다기능 구현 등이 필요하다. 무선 LAN에서 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역인 2.4GHz는 산업·과학·의료용으로 사용되는 대역으로, 약간의 차이는 있으나 세계 공통적으로 설정되어 있다.

가변이득 증폭기는 수신 신호의 전력 레벨을 크게

변화시키기 때문에 주파수 혼합기의 입력 전력 레벨을 제어하고 RF 수신단에서 예상되는 신호세기의 수신단 출력을 일정하게 유지시키는 데 사용한다[1]. 본 논문에서는 이득과 선형성에 중점을 두기 위해 증폭기를 구성하는 소자로서 P-HEMT를 이용하여 증폭기를 설계하였는데, 이득과 선형성에서 좋은 성능을 보이고 있는 P-HEMT를 이용하여 궤환구조내에 사용함으로써 궤환 P-HEMT의 전달 컨덕턴스가 증폭기의 궤환을 제어하고 입력 임피던스를 변화시켜 ISM 대역인 2.4GHz에서 동작하는 증폭기의 이득 특성과 왜곡 특성을 향상시키는데 중점을 두었다.

II. 능동궤환을 이용한 특성 해석

HEMT는 보통의 MESFET보다 더 높은 이득과 낮은 잡음을 가진다. HEMT에서는 전자들이 MESFET에서보다 훨씬 큰 이동도를 가진다. 이것은 더 큰 전달 컨덕턴스, 더 낮은 잡음 등의 향상된 특성을 나타낸다.P-HEMT는 단순한 AlGaAs HEMT보다 상당히 좋은 이득, 잡음지수, 출력전력을 보여준다고 알려져 있다.[2]

P-HEMT를 이용하여 능동 궤환 가변 이득 증폭기를 설계한 구조를 그림 1에 나타내었다. 이 증폭기는 증폭을 위한 공통 소스 FET와 궤환 경로 조절을 위한

공통 드레인 FET, 그리고 정합회로들로 구성되어 있다. 공통 드레인 FET는 게이트에 연결된 직류차단 캐패시터를 통하여 공통 소스 FET의 드레인과 게이트 사이에 연결이 되도록 하였다.

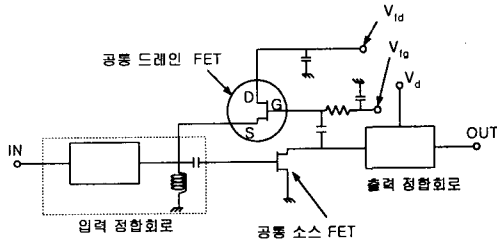


그림 1. 가변이득 증폭기의 기본구조

다음 그림 2처럼 능동케환 구조는 FET의 병렬 연결 구조이므로 어드미턴스 행렬을 구함으로써 해석이 가능하다. 공통 소스에 관한 행렬을 Y_1 , 공통 드레인에 관한 행렬을 Y_2 라하면,

$$[Y_1] = \begin{bmatrix} j\omega C_{gs} & 0 \\ G_{m0} & G_d \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[Y_2] = \begin{bmatrix} g_m & -g_m \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

전체 등가회로에 대한 어드미턴스 행렬은 병렬 회로에 대한 어드미턴스 행렬의 합이므로 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$[Y] = [Y_1] + [Y_2] = \begin{bmatrix} j\omega C_{gs} + g_m & -g_m \\ G_{m0} & G_d \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$S_{21} = \frac{-2Y_{21}Y_0}{\Delta Y} = \frac{-2G_{m0}Z_0}{1 + (1 + Z_0G_{m0})Z_0g_m} \quad (4)$$

위의 식 (4)가 의미하는 것을 살펴보면 능동 케환 가변이득 증폭기의 이득과 입력 임피던스는 케환 경로에서의 공통 드레인의 전달 컨덕턴스 g_m 을 조절함으로써 얻을 수 있음을 알게 된다. 이것은 게이트 전압을 조정함으로써 제어할 수 있다.

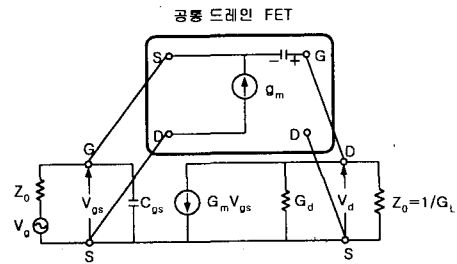


그림 2. 증폭과 케환 경로에 대한 등가회로

III. 능동 케환 증폭기의 설계 및 제작

능동 케환을 이용한 가변이득 증폭기의 기본적인 구성은 다음과 같다. 먼저 증폭역할을 하는 FET와 케환 경로 조절을 위한 FET, 그리고 정합회로들로 구성되어 있다. 위의 그림 1처럼 기본적인 개념의 구조를 가지고 설계를 하였다. 설계된 증폭기는 무선 LAN의 ISM대역인 2.4GHz에서 동작하도록 하였다.

설계에 사용된 소자는 HP사의 ATF35176 P-HEMT를 사용하였고, 기판은 TACONIC사의 유전율을 $\epsilon_r=3.0$, 도체 두께 $t=0.018\text{mm}$, 유전체 두께 $h=0.5\text{mm}$ 를 가지는 기판을 사용하였다.

증폭기 설계시 바이어스 조건은 $V_{DS} = 1.5\text{V}$, $I_{DS} = 20\text{mA}$ 일때의 S 파라미터 값을 이용하여 정합회로를 구성하였다. 마이크로스트립 선로로 구현시 바이어스 조건에 따른 전체 이득은 12dB 이상, 입·출력단 반사 손실은 -10dB 이하로 나오도록 정합회로를 구현하였다.

그림 3은 최종 설계된 능동 케환을 이용한 가변이득 증폭기의 구조도면이다. 기본 증폭구조 위에 병렬로 연결된 케환 구조가 위치해 있고 각 구조에 전원을 공급하기 위한 바이어스 회로가 나뉘어져 있다. 주 선로에 바이어스 부분과 연결된 곳에는 칩 인덕터를 이용하여 RF 차단을 하였다. 그리고 바이어스와 접지 연결부분에는 다른 값을 갖는 두 종류의 칩 캐패시터와 하나의 텐탈 캐패시터를 사용하여 DC부분에서 생기는 잡음을 제거하도록 하였다. 공통 소스 FET와 공통 드레인 FET에 서로 연결된 DC 차단 캐패시터와 RF 차단 인덕터는 정합의 역할도 함께 하도록 설계하였다.

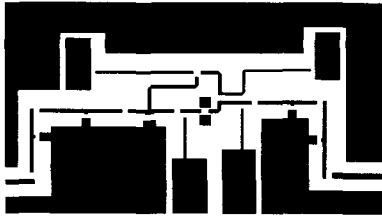


그림 3. 능동 케환 증폭기 구조도면

IV. 실험 및 결과

그림 4~6은 시뮬레이션된 이득 및 입력반사 손실과 출력반사 손실을 최대 및 최소값으로 나타내었다. 그림 8~9는 실제 측정된 값을 보여주는데, 이득의 측정값은 입력전압이 -2.4V일 때 최대값 16.894dB를, 0V일 때 최소값 -18.238dB를 가짐을 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교해 볼 때 차이가 생김을 볼 수 있으나 동작 주파수에서는 비슷한 성능을 보이고 있다. 이것은 시뮬레이션으로 정합된 회로가 실제 바이어스가 공급된 상태에서 여러 가지 오차가 생긴 것으로 볼 수 있겠다. 총 이득의 변화는 35.132dB의 넓은 범위를 가지고 있다.

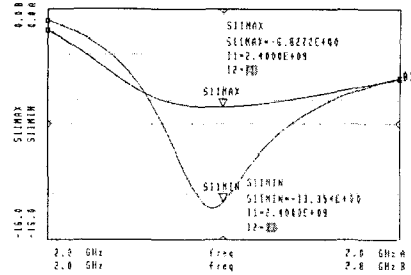


그림 5. 최대 및 최소 입력반사 손실 시뮬레이션

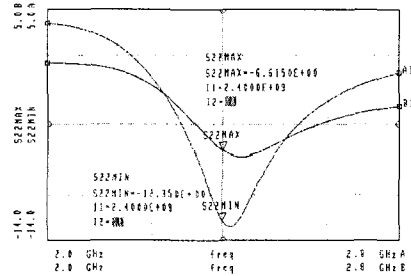


그림 6. 최대 및 최소 출력반사 손실 시뮬레이션

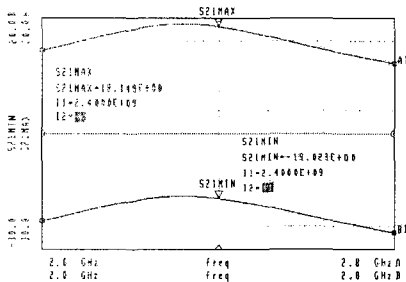


그림 4. 최대 및 최소 이득 시뮬레이션

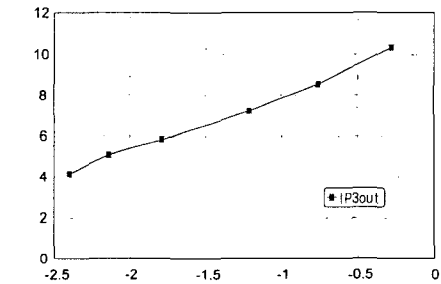


그림 7. 측정된 출력 3차 혼변조 크기

3차 혼변조점(intercept point)은 우리가 수신하는 신호의 크기로부터 왜곡이나 상호변조 출력레벨들을 계산하도록 해주는 회로나 시스템의 선형성의 척도이

다. 그림 7은 실제 측정 후 계산된 출력 3차 혼변조크기를 그래프로 나타낸 것이다. 입력전압이 증가됨에 따라 10dBm 이상으로 선형성이 증가하고 있음을 알 수 있다. 하지만 이득은 반대로 감소하게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 앞으로 실용화가 예상되는 무선 LAN 주파수 대역인 2.4GHz에서 동작하는 가변이득 증폭기를 설계하였다. 증폭기는 P-HEMT를 이용하여 개환 증폭기 형태로 설계하였고 이득 특성은 30dB가 넘는 변화율을 보여 넓은 범위의 수신 신호 크기제어가 가능함을 알 수 있다. 그리고 3차 혼변조점을 구함으로써 증폭기의 선형성이 제어전압에 따라 증가함을 볼 수 있었다.

< 참고 문헌 >

- [1] Kevin W. Kobayashi, Dwight C. Streit, Donald K. Umemoto, Aaron K. Oki, "A Novel Monolithic HBT-p-i-n-HEMT Integrated Circuit with HBT Active Feedback and p-i-n Diode Variable Gain Control," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. MTT-43, pp. 1004~1009, May 1995.
- [2] Stephen A. Maas, *Microwave Mixers*, Artech House, 1993.
- [3] Peter Vizmuller, *RF Design Guide-Systems, Circuits, and Equations*, Artech House, 1988.
- [4] Amin K. Ezzeddine, Hing-Loi A. Hung, Ho C. Huang, "An MMAC C-Band FET Feedback Power Amplifier," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. MTT-38, pp. 350~357, April 1990.
- [5] Tri. T. Ha, *Solid-State Microwave Amplifier Design*, John & Wiley, 1981.

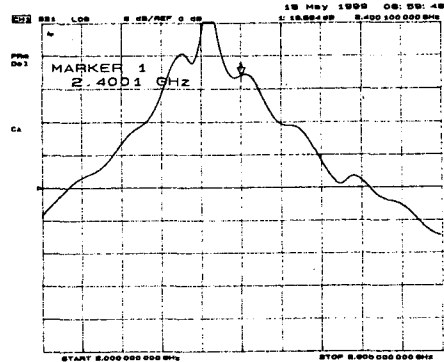


그림 8. 이득의 최대 측정값

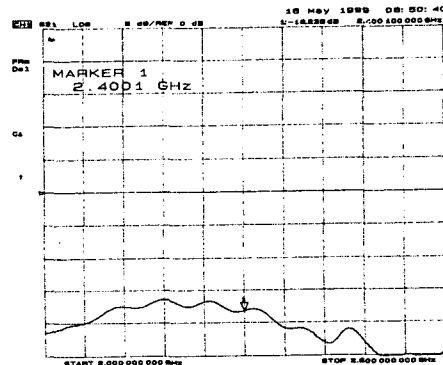


그림 9. 이득의 최소 측정값