

## 2.2 GHz 저잡음 증폭기 설계

조 민기, \*주 재평, \*\*박 성교, \*\*박 종백  
삼성전기 종합연구소 \*LG 이노텍(주) \*\*조선대학교 전자·정보통신공학부  
전화 : 062-230-7063

### Design of 2.2GHz Low Noise Amplifier

Min Gi Cho, \*Jae Lyoung Joo, \*\*Sung Kyo Park, \*\*Chong Baek Park  
Samsung Electro-Mechanics R&D Center \*LG Innotek  
\*\*Dept. of EICE Chosun University  
E-mail : root@mwlab.chosun.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we designed and fabricated a low noise amplifier which can be used in W-CDMA. For improving input VSWR and stability an emitter inductance series feedback was used, and for acquiring higher linearity at low current DC bias by-passing method was used. Fabricated low noise amplifier had 15.33 dB power gain, 2.17 dB NF, -9.53 dB  $S_{11}$  and -35.91 dB  $S_{22}$  at 2.16 GHz, and +5.34 dBm  $IIP_3$  at 10 MHz channel spacing.

#### I. 서론

최근 이동통신 시스템의 급속한 성장과 더불어 고성능 RF 회로에 관한 요구가 증가하고 있다. 무선 단말기 수신단의 저잡음 증폭기(LNA)는 [1,2] 잡음지수(NF), 입력 전압 정재파비(VSWR)를 결정하며, 전체 수신시스템의 3차 인터셉트 포인트(IP<sub>3</sub>)에 큰 영향을 준다. 특히 CDMA 및 W-CDMA용 [3,4] 수신단에서는 높은 직선성이 요구되어지는데, 이 때 직선성을 향상시키기 위하여 소비전력을 크게 하는 경우, 잡음지수 성능이 [5] 떨어지고 시스템의 소비전력은 증가한다. 휴대용 단말기의 저소비전력 특성은 아주 중요한 설계 요구 사항이다. 일반적으로 LNA에는 여러 가지 설계 조건들(고이득, 저잡음지수, 입·출력 정합, 안정도, 저전류 소비, 높은 직선성)이 요구되고 있으나, 이들을 동시에 만족시키는 것은 어려운 일이다.

본 논문에서는 W-CDMA에 적용 가능한 LNA를 설계하기 위하여 먼저 증폭기 에미터단의 직렬궤환을 이용하여  $\Gamma_{opt}$ 와  $S_{11}^*$ 이 서로 근접하도록 하였으며, 저잡음 위주로 설계하면서 좋은 입력 정합 특성을 갖도록 하고, 또 By-passing 법(Envelope Termination Technique)를 이용하여 저전류 바이어스 조건에서도 보다 향상된 직선성을 얻고자 하였다.

#### II. 설계 및 시뮬레이션

##### ● LNA의 설계 사양

1. 사용 주파수 : 2.1 ~ 2.2 GHz
2. 이득 :  $15.0 \pm 1.0$  dB
3. 잡음지수 :  $\leq 2.5$  dB
4.  $IIP_3(10/20$  MHz) :  $\geq -3$  dBm

LNA 설계시 가장 중요한 단계는 부품 선정으로서, 낮은 마이크로파 대역에서는 Si RF Tr을 사용하는 것이 비용면에서 유리하면서도 좋은 특성을 얻을 수 있다. 또 가급적 저전류 공급조건에서 저잡음지수, 고이득 그리고 높은 IP<sub>3</sub> 특성을 갖는 Tr의 선정이 매우 중요한데 이와 같은 사항들을 고려하여, 본 연구에서 Tr은 Infineon사의 BFP405, 기판은  $\epsilon_r=3.5$ ,  $h=0.5$  mm인 TACONIC사의 RF-35 시리즈, 모의실험은 Ansoft사의 Serenade를 사용하였다.

DC 바이어스는 전압궤환 방법을 이용하여 좁은 실장면적에서도 온도에 대해 안정된 바이어스를 유지하며, 저전류 소비특성을 갖도록 하였다. 일반적으로 저잡음 증폭기용 트랜지스터의  $\Gamma_{opt}$ 와  $S_{11}^*$ 이 서로

로 멀리 떨어져 있는 경우가 많고,  $\Gamma_S = \Gamma_{opt}$  가 되도록 설계하면  $F_{min}$  을 얻을 수 있지만, 입력정합 특성이 나빠지는 경우가 많다. Tr의 에미터단에 작은 값의 직렬 L을 부가하여  $\Gamma_{opt}$ 가  $S_{11}^*$ 에 근접하도록 이동시킴으로써 입력측의 양호한 정합특성을 얻음과 동시에 사용주파수 대역에서의 안정도를 개선시킬 수 있었다. 이 때 적절한 직렬케환값을 얻기 위한 모의실험 결과는 그림 1과 같고 L이 0.6 nH 일 때,

$\Gamma_{opt}$ 에  $S_{11}^*$ 이 가장 근접하는 것을 알 수 있다.

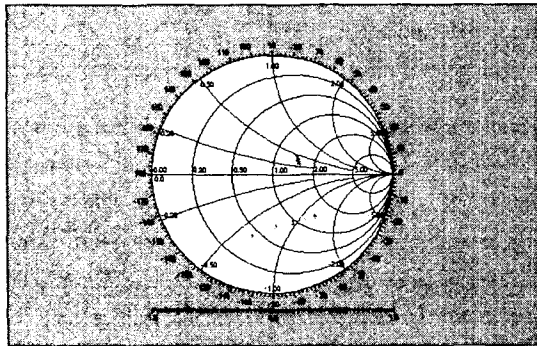


그림 1. 트랜지스터 에미터단의 직렬케환 인덕턴스값 변화에 대한  $S_{11}$  변화

안정도의 경우 약 3.3 GHz 이상에서 K는 0.99~0.7 값을 갖게되어, 높은 주파수 영역에서의 안정도 개선이 필요한 것으로 나타났다. 보다 나은 안정도 개선을 위하여 출력단에  $\lambda/4$ (9.5~10 GHz) 오픈스텝과 10  $\Omega$ 의 Resistive Loading을 부가 하였다. 출력측에 Resistive Loading을 하는 방법은 NF 특성을 거의 저하시키지 않고 안정도를 개선 할 수 있으나, 이득과  $P_{1dB}$  특성을 저하시키므로 안정도 개선을 위한 최후의 방법으로 사용되었고, 주파수별 안정도 특성은 그림 2와 같이 전대역에서  $K>1$  조건이 되었다. 주파수 2.16 GHz에서  $\Gamma_S$ 평면의  $\Gamma_{opt}$ 를 지나는  $G_a$ 원은 15.3 dB 이득을 갖는 원이며,  $\Gamma_S$  이득원에 대한  $\Gamma_L$ 원이 매핑될 수 있으며, 그림 3과 같다. 또한  $\Gamma_S = \Gamma_{opt}$  조건이 될 때의  $\Gamma_L$ 값은 다음의 (1)식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\Gamma_{out}^* = \left( S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_S}{1 - S_{11} \Gamma_S} \right)^* \quad (1)$$

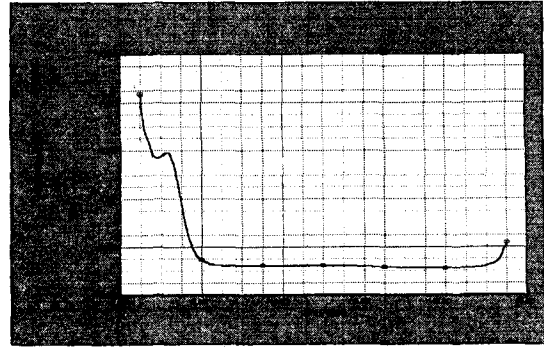


그림 2. 개선된 후의 K

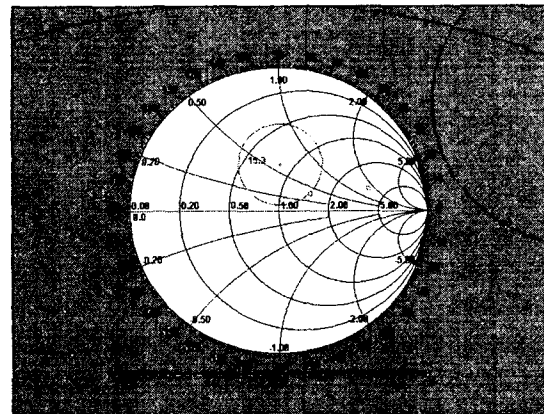


그림 3.  $\Gamma_{opt}$ 를 지나는  $G_a$  등이득원

입력과 출력측은 각각 오픈스텝과 전송선로를 이용하여 정합하였으며, 모의실험 결과 2.16 GHz에서 15.23 dB의 이득특성을 갖는 것으로 나타났으며, 입력 및 출력의 정합특성과 함께 그림 4에 나타냈다.

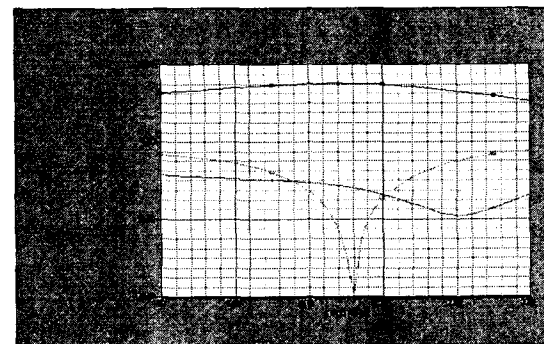


그림 4. 증폭기의 이득특성

잡음지수(NF)와  $F_{min}$ 의 특성은 그림 5와 같으며, 2.16 GHz에서  $NF = F_{min} = 1.54$  dB를 얻었다.

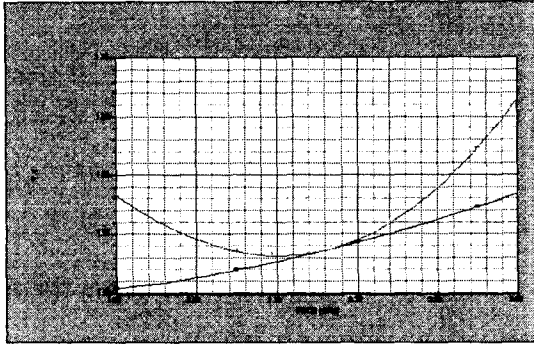


그림 5. 증폭기의 잡음지수(NF) 및  $F_{min}$  특성

증폭기의 직선성을 평가 할 수 있는  $IP_3$  와  $P_{1dB}$ 에 대해 경험적으로 알려진 관계수식은 다음 (2)식과 같다.

$$IP_3 [dBm] = P_{1dB} + 10 \quad (2)$$

(2)식에서와 같이 일반적으로  $P_{1dB}$  와  $IP_3$  는 10 dB 차가 있으나 By-passing 법(Envelope Termination Technique)를 사용함으로써, 위의 수식보다  $IP_3$  특성을 향상 시킬수가 있다. 동일 레벨의 2 톤(Tone) 신호가 증폭기에 입력될 때 낮은 주파수 적(Product) ( $f_2-f_1$ )이 베이스, 에미터 사이와 콜렉터, 에미터 사이의 바이어스 전압에 의해 변조 될 수가 있다. 이 전압 변동분을 없애기 위해 베이스와 콜렉터에 적절한 By-passing을 함으로써 직선성을 개선 할 수 있다. 10 MHz 간격의 2 톤(Tone) 신호에 관한 모의실험 결과  $IIP_3$ 는 +6 dBm의 특성을 보였다.

$$IIP_3 = P_{IN} + \frac{\Delta IM_3}{2} \quad (3)$$

여기서,  $IIP_3$ 는 3차 인터셉트 포인트이고,  $P_{IN}$ 은 입력신호레벨,  $\Delta IM_3$ 는 동등한 신호 크기를 갖는 2가지 입력신호의 레벨과 3차 일그러짐 신호레벨과의 차이이다.

### III. 측정 및 결과

제작된 저잡음 증폭기는 Network Analyzer(HP 8753D)와 Spectrum Analyzer(HP 8563E), RF Signal Generator(HP 8664A, 8648C), Noise Figure Meter(HP 8970B), Power Splitter(HP 11667A)를 이용하여 측정하였다. 이 때  $T_r$ 의 바이어스 전압( $V_{CE}$ )과 전류( $I_C$ )는 각각 2.05 V, 5.00 mA로 나타났다. 주파수 2.16 GHz에서 전력이득은 15.33 dB, 출력정합특성  $S_{22}$ 는 -35.91 dB, 입력정합특성  $S_{11}$ 은 -9.53 dB, 잡음지수는 2.17 dB로 나타났다. 그림 6과 7에 측정된 전력이득과 입·출력 정합특성을 나타냈다. 증폭기의 직선성을 평가할 수 있는  $IIP_3$ 는 입력레벨 -20 dBm과 채널간격 10 MHz 조건에서 측정되었으며, By-passing 법을 사용하지 않은 상태에서는 -6.16 dBm이었으나, By-passing 법을 사용한 결과 +5.34 dBm의 결과를 얻었다. 그림 8과 9는 각각의 측정된  $IIP_3$  특성을 보여준다.

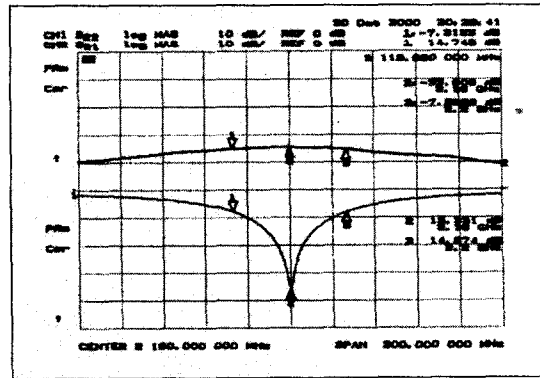


그림 6. 제작한 증폭기의 전력이득과 출력 정합특성

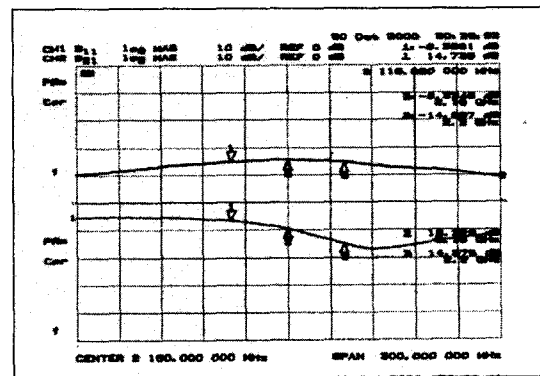


그림 7. 제작한 증폭기의 전력이득과 입력 정합특성

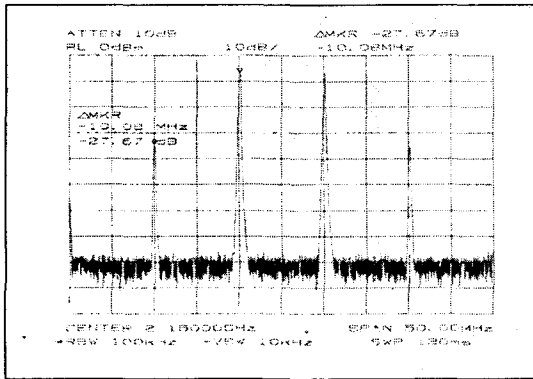


그림 8. By-passing 법을 사용하지 않은 증폭기의  $IIP_3$  특성

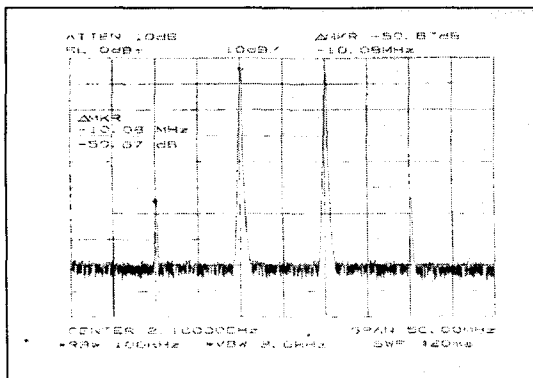


그림 9. By-passing 법을 사용한 증폭기의  $IIP_3$  특성

#### IV. 결론

본 논문에서는 W-CDMA에 적용 가능한 LNA를 설계 및 제작하였다. 휴대용 단말기의 저소비전력 특성을 위하여  $I_c$  는 5 mA로 설계 하여 요구되는 전력이득 특성을 만족시켰으며 양호한 입·출력 정합특성을 얻었다. 또한, 증폭기의 직선성을 평가 할 수 있는

$IIP_3$  특성은 By-passing 법을 사용함으로써 우수한 특성을 나타내었다. 전반적으로 모의실험 결과와 측정결과는 비슷한 값을 얻었으며 표 1과 같다.

표 1. 모의실험결과와 측정결과 비교표

	모의실험결과	측정결과
전력이득 (dB)	15.23	15.33
입력정합 (dB)	-12	-9.53
출력정합 (dB)	-40	-35.91
잡음지수 (dB)	1.54	2.17
$IIP_3$ (dBm)	6	5.34

#### 참고 문헌

- [1] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice-Hall, 1984.
- [2] Y. S. Murti, M. R. Heo and D. Laskar, J., "A C-Band Low Power High Dynamic Range GaAs MESFET Low Noise Amplifier." *Microwave Journal*, vol. 43, no. 2, pp. 90-106, Feb. 2000.
- [3] O. K. Jensen, T. E. Kolding, C. R. Iversen, S. Laursen, R.V. Reynisson, J. H. Mikkelsen, E. Pedersen, M. B. Jenner and T. Larsen, J., "RF Receiver Requirements for 3G W-CDMA Mobile Equipment," *Microwave Journal*, vol. 43, no. 2, Feb. 2000.
- [4] J. Lucek and R. Damen, J., "Designing an LNA for a CDMA front end," *RF Design*, pp. 20-30, Feb. 2000.
- [5] D. Vondran, J., "Noise Figure Measurement Corrections Related to Match and Gain," *Microwave Journal*, vol. 42, no. 3, pp. 22-38, Mar. 1999.