

## IMT-2000 기지국용 저잡음 증폭기 설계

°배영수\* · 최재훈\*\*

\* 한양대학교 전자통신전파공학과

\*\* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

### Design of The Two-Stage Low Noise Amplifier for IMT-2000 Base Stations

Young-Soo Bae\* · Jae-Hoon Choi\*\*

\* Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

\*\* Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

#### Abstract

본 논문에서는 IMT-2000 기지국용 2단 저잡음 증폭기를 설계했다. 잡음지수 특성이 뛰어난 HP사의 PHEMT 소자인 ATF-35143을 사용하였고 능동소자의 바이어스는  $V_{ds}$ 가 3V,  $I_d$ 를 30mA로 설정했다. 첫 단은 최소잡음 지수에 중점을 두고 설계했고 둘째 단은 이득에 초점을 맞추어 설계했다. 입출력 정재파 비를 줄이기 위해서 전체증폭기의 앞단과 뒷단에 삽입손실이 0.2dB인 X503 SMT 90도 하이브리드 커플러를 설치했다. 제작을 위해 기판은 두께 0.76mm이고 비유전율 4.2의 FR-4를 사용했다. 설계된 저잡음 증폭기의 특성은 주파수대역 1.92GHz~1.98GHz에서 잡음지수 0.45dB, 입출력 정재파 비 1.2이하, 이득은 32dB이상의 특성을 보였다.

#### 1. 서론

무선통신의 수요가 급속하게 증가함에 따라 소비자의 다양한 욕구를 만족시키기 위한 서비스의 개발과 우수한 성능을 가진 마이크로파 소자에 대한 기술개발을 요구하게 되었다. 이동통신인 IMT-2000 시스템뿐만 아니라 대부분의 통신시스템의 통화품질에 영향을 미치는 수신기의 잡음 특성은 낮은 잡음지수를 요구하는 초단 증폭기의 잡음특성에 크게 좌우되므로, 수신기의 첫 단에 사용되는 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier)는 시스템 전체의 잡음성능을 향상시키는 중요한 부품 중의 하나이다. 따라서 설계시 최소 잡음지수를 갖도록 구현하는 것이 중요한 과제이다. 즉 수신된 미약한 신호를 증폭하면서 증폭기 자체에서 추가되

는 잡음을 최소화해야 한다. 또한 외부의 온도와 증폭기 자체의 전기적인 특성 변화에도 안정된 잡음 특성과 광대역 특성을 동시에 만족하는 증폭기의 설계가 필요하다. 본 논문에서는 IMT-2000 기지국에서 사용되는 저잡음 증폭기를 2단으로 설계하였다. 첫 단은 최소 잡음지수를 얻을 수 있게 잡음정합으로 설계하였고 둘째 단은 최대 이득 특성을 낼 수 있도록 설계하였다[1]. 설계할 때는 잡음지수, 입출력 반사계수, 이득에 중점을 두었다. 첫 단과 둘째 단의 능동소자는 HP사의 PHEMT(ATF-35143)을 사용하였다. 능동소자의 등가 모델을 HP사 상용틀인 ADS를 이용하여 저잡음 증폭기를 설계하였다.

#### 2. 저잡음 증폭기의 설계

표 1은 설계하고자 하는 저잡음 증폭기의 성능목표 값을 나타내었다.

표 1. 설계할 저잡음 증폭기의 성능

항목	사양
사용주파수대역	1.92~1.98GHz
이득	30dB
잡음지수	1dB
입출력 정재파비	1.3:1
이득편단도	±0.5dB

증폭기 설계에 사용된 능동소자는 HP사의 ATF-35143의 Statz\_Model을 이용한 등가모델을 사용하였고 제작사에서 제공하는 바이어스 값 및 S-parameter을 기초로 하였다.

능동소자는 최소잡음 지수가 작고 이득이 큰 능동소자를 선택하는 것이 중요하다.  $V_{ds}$  를 3V,  $I_d$  는 30mA에 맞추어 바이어스를 설정했다.

### 가. 첫째 단 저잡음 증폭기 설계

증폭기를 설계할 때 우선 고려해 주어야 할 요소는 안정도이다 이것이 만족된 후에 설계에 들어가게 된다. 스미스 차트의 전체 영역이 안정하도록 즉 안정화 벡터가 1보다 크도록 만들어 주어야 한다. 이를 위해서 43Ω의 저항을 능동소자와 직렬로 드레인 단자 쪽에 연결하였다. 그리고 바이어스 회로는 ¼ 마이크로 스트립을 사용하였다. 아래 그림1은 2단 증폭기의 잡음지수 모델을 나타낸 것이다.

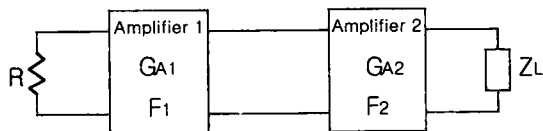


그림1. 2단 증폭기의 잡음지수 모델

그림 1의 모델에 대한 전체 잡음지수는 식 (1)과 같다[1].

$$F_{12} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}} \quad (1)$$

식 (1)에 의해서 증폭기의 경우 전체 잡음지수는

증폭기의 앞단에 의존하는 것을 알 수 있다. 아래 그림2는 증폭기의 구조를 나타내었다.

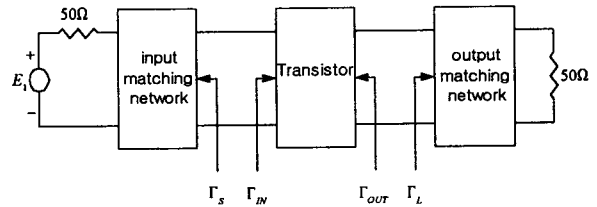


그림2. 증폭기 구조

$$F = F_{\min} + \frac{4 r_n | \Gamma_s - \Gamma_{opt} |^2}{(1 - | \Gamma_s |^2)(1 + | \Gamma_{opt} |^2)} \quad (2)$$

$\Gamma_s = \Gamma_{opt}$  일 때 최소 잡음이 된다는 것을 수식 (2)에 의해서 알 수 있다. 잡음과 이득의 문제에 있어서는 통산 적으로 최대 이득과 최소잡음은 동시에 얻을 수 없기 때문에 그림3은 noise circle 와 Gain circle을 같이 나타냈으며 그림을 보면 어느 지점에서 최소 잡음지수와 이득 값 및 그사이의 trade-off의 관계[2]를 알 수 있다.

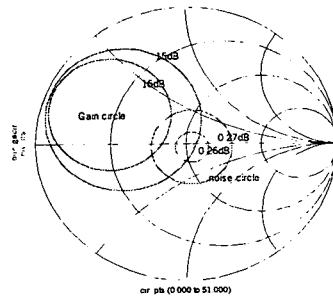


그림3. 잡음지수와 이득 서클

첫 단 증폭기의 설계할 때 입력정합 회로는 최소 잡음지수의 위치  $\Gamma_{opt}$  에 맞추어 즉  $\Gamma_s = \Gamma_{opt}$ 에 중점을 두어서 마이크로 스트립라인으로 정합회로를 설계했고 출력정합 회로는  $\Gamma_L = \Gamma_{out}^*$  인 공액복소 정합 시켰다. 설계된 증폭기의 구조를 보면 그림4와 같다.

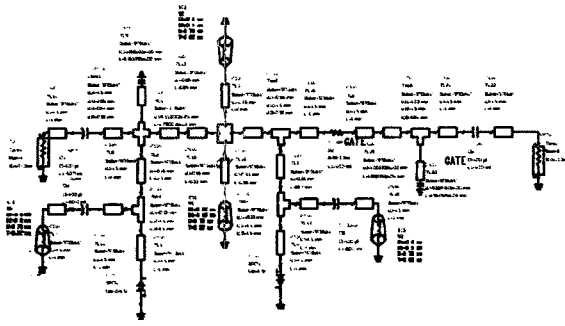


그림4. 첫 단 증폭기의 구조

그림5는 첫째 단 증폭기의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 주파수 1.92~1.98GHz에서 이득은 14.9dB 이상의 특성과, 잡음지수는 0.27dB 이하의 시뮬레이션 결과를 보이는 반면 입력측 정재파 비는 최소 잡음지수에 매칭 했기 때문에 4.1 이하의 좋지 않은 특성이 나타난다. 출력 정재파 비는 공액 임피던스 정합으로 1.04의 결과를 볼 수 있다.

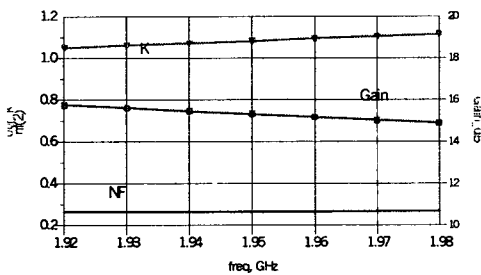


그림5. 첫 단 증폭기의 특성

#### 나. 둘째 단 증폭기의 설계

둘째 단에서 사용한 능동소자는 첫째단에서 사용한 것과 같은 ATF-35143을 사용했고 앞단과 뒷단을 모두 최대 이득이 나오도록 공액복소 정합시켰다. 설계된 증폭기의 구조를 보면 그림6 과 같다.

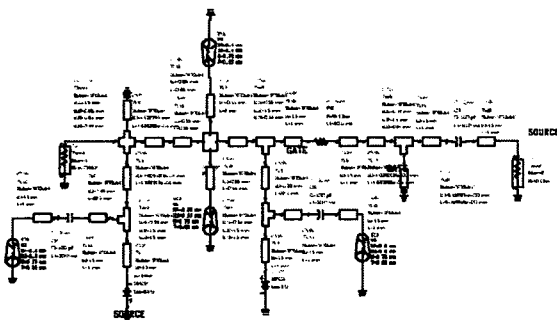


그림6. 둘째 단 증폭기의 구조

둘째 단 증폭기의 시뮬레이션 결과는 그림7에 나타나 있다. 주파수대역 1.92~1.98GHz에서 이득 17dB 이상, 잡음지수는 0.62이하 입출력 정재파 비는 1.5 정도의 결과 값을 보이고 있다. 정확하게 입출력 정재파비가 동시에 1.92~1.98GHz 주파수대에서 1이 되지 않는 단점을 보인다.

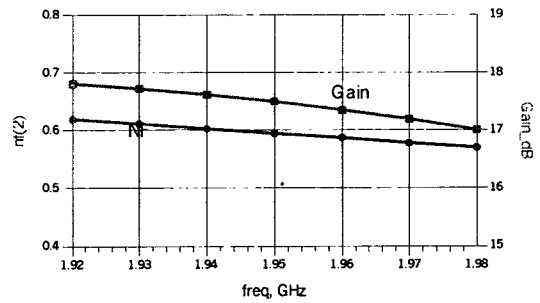


그림7. 둘째 단 증폭기의 구조

#### 다. 2단 저잡음 증폭기의 설계

첫째단과 둘째 단 증폭기를 잡음 지수와 이득을 모두 고려한 Interstage Matching network[3]을 이용하여 첫 단과 둘째 단을 결합시켰다. 따라서 첫째단과 둘째 단의 장점을 모두 포함하고 있다. 증폭기의 구조는 그림 8에 나타나 있다.

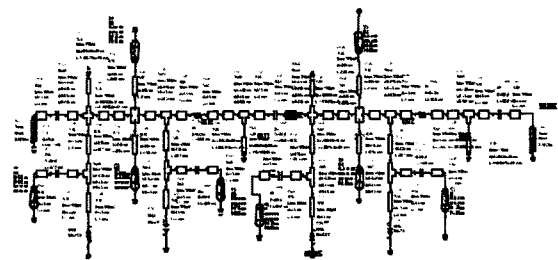


그림8. 2단 저잡음 증폭기의 구조

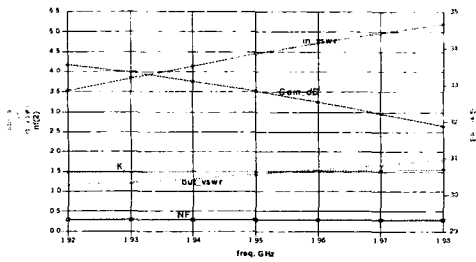


그림9. 2단 저잡음 증폭기의 특성

설계된 2단 증폭기의 특성은 그림9 처럼 주파수 대역 1.92~1.98GHz에서 잡음지수는 0.29dB 이하이고 이득은 31.9 dB 이상을 보이고 있다. 안정화 지수인 K 값은 1.48이상으로 안정된 상태를 나타낸다. 그러나 입력 정재파비는 주파수대역에서 5.1 이하로 매우 좋지 않은 특성을 나타낸다. 출력 정재파비 역시 1.9 이하로 만족할 수 없다. 이런 결과는 첫단 설계시 잡음지수에 중점을 두고 설계했기 때문이다. 이런 단점을 보완하기 위해 평형증폭기 [4] 구조가 필요하다. 일반적인 평형증폭기 구조는 그림10에 나타나 있다.

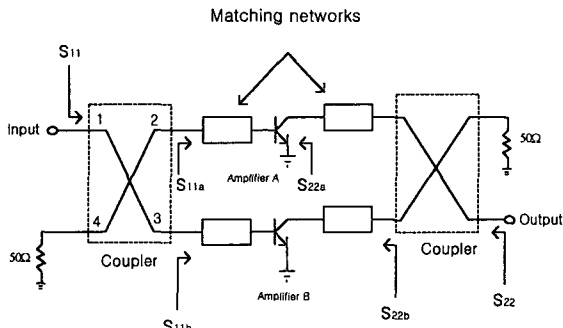


그림10. 평형증폭기 구조

그림10의 S-parameter를 수식으로 표현하면

$$|S_{11}| = 0.5 |S_{11a} - S_{11b}| \quad (3)$$

$$|S_{21}| = 0.5 |S_{21a} + S_{21b}| \quad (4)$$

$$|S_{12}| = 0.5 |S_{12a} + S_{12b}| \quad (5)$$

$$|S_{22}| = 0.5 |S_{22a} - S_{22b}| \quad (6)$$

위 식에 따라서 증폭기 A 와 증폭기 B 가 이상적으로 같을 때 입출력 반사계수가 없어진다는 것을 알 수 있다. 그리고 이득은 평행한 한쪽 증폭기의 이득과 같아진다는 것도 알 수이다.

평행구조로 설계된 증폭기는 낮은 입출력 정재파비와 평탄한 이득 및 한쪽 증폭기가 동작하는 않을 경우 6dB 정도의 이득감소를 가지지만 전체증폭기가 계속 동작하기 때문에 증폭기의 신뢰도에 있어서도 이점이 있다. 첫째 단을 설계할 때 입력 정재파 비가 너무 커서 이것을 개선해주기 위해서 전체의 증폭기를 평행구조로 하고 앞단과 뒷단에 삽입 손실이 0.2dB인 X503 SMT 90도 하이브리드 커블러를 설치했다.

최종 설계된 2단 평형 증폭기의 구조는 그림11에 나타나 있다.

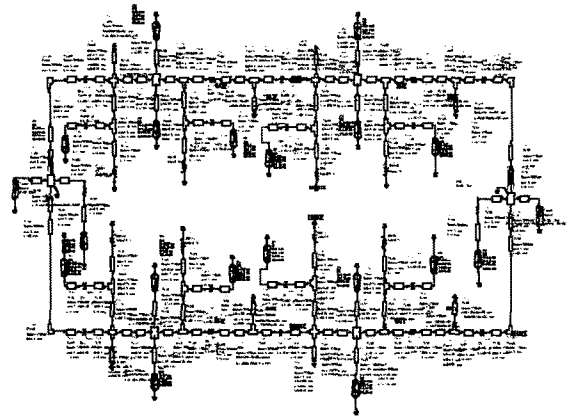


그림11. 전체 증폭기의 구조

주파수대역 1.92~1.98GHz에서 잡음지수는 0.45이하인 시뮬레이션 결과를 보이고 있으며, 안정화 계수 K 값은 2.1이상의 값으로 안정된 상태를 보이고 이득은 주파수 대역에서 32.1dB이상을 나타내고 있다.

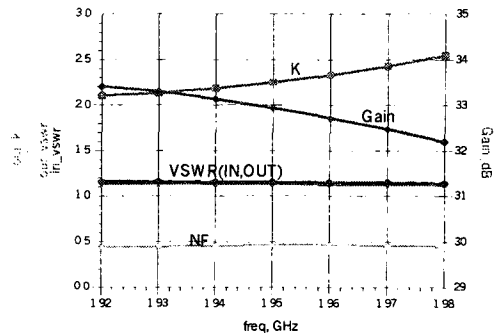


그림12. 전체 증폭기의 특성

그림12에서 첫단 증폭기의 입력정재파 비가 4.1이

있던 것이 1.16이하로 개선되었다. 그리고 출력 정재파비는 1.13이하의 결과를 보이고 있다.

### 3. 결론

IMT-2000 기지국용 2단 저잡음 증폭기를 상용틀인 ADS(Advanced Design System)을 이용하여 설계하였다. 능동소자로는 HP사의 ATF-35143을 사용하였다. 첫단은 최소잡음지수에 마이크로 스트립 라인으로 정합 시키고, 둘째단은 최대 이득에 맞추어 정합회로를 구성하고 입력 정재파비를 개선하기 위해 전체증폭기의 앞단과 뒤 단에 삽입손실이 0.2dB인 X503 SMT 90도 하이브리드 커블러를 설치했다. PCB 기판으로는 비유전율 4.2를 가지는 FR4를 사용하여 설계된 증폭기는 1.92GHz~1.98GHz의 주파수 대역에서 32dB의 최소이득, 0.45dB의 최대잡음 지수, 1.13:1의 최대 입출력 정재파비 특성을 나타냈다.

### 참고문헌

- [1] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall,1997
- [2] David M Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Son, second Edition, 1998
- [3] R. Ludwig, and P. Bretchko, RF Circuit Design Theory and Applications, Prentice-Hall,2000
- [4] 오한규, 이상설, "IMT-2000 기지국용 저잡음 증폭기 설계에 관한 연구,"2001년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp. 7-10, 2001