# 광대역 전력용 전치증폭기 설계

김갑기*

## Design of Pre-amplifier for Ultrabroadband Power

Kab-ki Kim*

요 약

본 논문에서는 광대역전력증폭기에 사용가능한 전치증폭기를 설계하였다. 전치증폭기는 주파수특성과 잡음특성이 우수한 WJ사의 AM1을 사용하였다. 부궤환을 이용하여 100MHz ~ 3GHz 대역에 걸쳐서 우수한 VSWR 특성과 주파수 특성을 갖도록 설계하였다. 설계된 전치증폭기는 EMC 측정장비와 같은 광대역 특성을 필요로 하는 장비의 전력 증폭기에 활용 가능할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In this paper designed available pre-amplifier to Ultrabroadband power amplifier. Designed pre-amplifier used WJ company's AM1 which frequency characteristic and noise characteristic are superior. Designed to have superior VSWR characteristic and frequency characteristic covering broadband of 100MHz ~ 3GHz using feedback. Designed pre-amp broadband special quality such as EMC measurement equipment roll important position do to utilize to power amplifier of equipment that know consider .

키워드

Pre-amplifier, feedback

## Ⅰ. 서 론

20세기 초 Marconi의 대서양 횡단 시험 성공과 더불어 무선 통신 시대가 도래 하였다[1]. 현대에는 각 통신 분야에서 기술들이 연구되고 비약적인 발전을 거듭하고 있다.

EMC 측정장비, 전자전시스템 및 초광대역 광통신 시스템 등은 고 안정도, 초광대역의 주파수 특성, 낮은 VSWR, 낮은 잡음지수 그리고 고효율과 같은 매우 우수한 성능을 갖는 광대역 증폭기를 필요로 한다. 또한 수십 MHz에서 수십 GHz에 이르는 대역폭을 갖는 주파수 합성기가 필요하다.

현재 상용의 EMC 측정장비 및 고출력의 광대역 전력증폭기들은 진공관을 이용한 진행파형 증폭기를 사용하고 있다.

진행파 증폭기는 수십 GHz 대역을 커버하는 초광대역 증폭기로 사용되고 있지만 이러한 증폭기는 고정이 복잡하고 제작 단가가 높으며 효율이 좋지 않다.

최근 몇몇 마이크로파 증폭기 제조사들은 생산 단가의 최소화, 대량 생산을 위한 재현성 등에 매우 많은 관심을 기울이고 있으며 고체소자 트랜지스터를 이용한 광대역 증폭기에 관한 연구는 매우 폭넓게 진행되

* 목포해양대학교

접수일자 : 2005. 10. 28

고 있다[2].

따라서 본 논문에서는 WJ사의 AM1소자를 사용하여 광대역 전력증폭기의 입력 단에 위치하며, 낮은 입력신호를 적당한 크기로 증폭하는 역할을 하는 전치증폭기를 설계하였다. 전치증폭기는 병렬 부궤환 방식을 이용하였으며, 390Ω의 궤환 저항을 걸었을 때 100MHz~3 GHz대역에 걸쳐서 주파수 특성이 좋아지고 입력반사계수가 낮아져 VSWR이 좋아짐을 알 수 있었다.

## Ⅱ. 마이크로파 증폭기

### 2.1 전력이득

마이크로파 대역에서 증폭기를 설계하기 위해서는 우선 증폭기에 대한 이득 식들을 유도해 보아야 한다. 일반적인 마이크로파 증폭기는 그림 2-1과 같다[2].

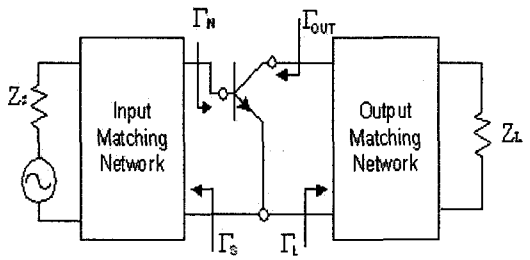



그림 2-1 마이크로파 증폭기의 블록도
fig. 2-1 Block diagram of microwave amplifier

2-port 회로망에서 부하 $\Gamma_L$가 존재할 때, 입력 반사계수 $\Gamma_{IN}$는 신호 흐름도를 이용해 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$\Gamma_{IN} = \frac{b_1}{a_1} \tag{1}$$

위의 식(1)을 Mason의 공식을 이용하여 정리하면 입력반사계수 $\Gamma_{IN}$은 다음과 같다.

$$\Gamma_{IN} = S_{11}\frac{S_{21}\Gamma_L S_{12}}{1-S_{11}\Gamma_S} \tag{2}$$

여기서 $\Gamma_S$는 입력 반사계수이다.

같은 방법으로 출력 반사계수 $\Gamma_{OUT}$을 정리하면 식(3)과 같다.

$$\Gamma_{OUT} = S_{22}\frac{S_{12}\Gamma_S S_{21}}{1-S_{11}\Gamma_S} \tag{3}$$

트랜지스터 증폭기에서 전력이득을 계산하기 위해서 먼저 부하로 전달되는 전력은 부하로 들어가는 전력에서 반사되는 전력을 빼면 된다.

트랜지스터 증폭기에서 전달이득은 소스로부터 가용할 수 있는 전력과 부하로 전달되는 전력의 비로 정의한다. 따라서 전달이득 $G_T$는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$G_T = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{|b_2|^2}{|b_S|^2}(1-|\Gamma_L|^2)(1-|\Gamma_S|^2) \tag{4}$$

여기에서 $b_2/b_S$는 Mason의 공식을 이용하여 구하며 식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{b_2}{b_S} = \frac{S_{21}}{1-(S_{11}\Gamma_S + S_{22}\Gamma_L + S_{21}\Gamma_L S_{12}\Gamma_S) + S_{11}\Gamma_S S_{22}\Gamma_L} \tag{5}$$

식(5)를 식(4)에 대입하여 정리하면 전달이득은 다음 식(6)과 같다.

$$G_T = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-S_{11}\Gamma_S|^2}|S_{21}|^2\frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-\Gamma_{OUT}\Gamma_L|^2} \tag{6}$$

유사한 방법으로 트랜지스터의 전력이득을 정의하는데 전력이득은 입력전력과 부하에 전달되는 부하전력의 비로써 나타낸다.

$$G_P = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{|b_2|^2(1-|\Gamma_L|^2)}{|a_S|^2(1-|\Gamma_{IN}|^2)} \tag{7}$$

$a_1/b_1$는 Mason의 공식을 이용하여 식(8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{a_1}{b_S}=\frac{1-S_{22}\Gamma_L}{1-(S_{11}\Gamma_S+S_{22}\Gamma_L+S_{21}\Gamma_L S_{12}\Gamma_S)+S_{11}\Gamma_S S_{22}\Gamma_L} \quad (8)$$

따라서 전력이득 $G_P$

$$G_P=\frac{1}{1-|\Gamma_{IN}|^2}|S_{21}|^2\frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (9)$$

와 같다.

### 2.2 안정도

마이크로파 증폭기 설계시 증폭기의 안정도는 매우 중요한 설계 파라미터중의 하나이다.

2-port 회로망에서 증폭기의 발진조건은 입력포트나 출력 포트가 부성저항값을 가질 때 발생한다. 즉, $|\Gamma_{IN}|>1$이거나 $|\Gamma_{OUT}|>1$일 경우 이다.

그러므로 임의의 주파수에서 트랜지스터가 무조건 안정하기 위해서는 다음 식들을 만족해야한다.

$$|\Gamma_S|<1 \quad (10)$$

$$|\Gamma_L|<1 \quad (11)$$

$$|\Gamma_{IN}|=\left|S_{11}+\frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1-S_{22}\Gamma_L}\right|<1 \quad (12)$$

$$|\Gamma_{OUT}|=\left|S_{22}+\frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1-S_{11}\Gamma_S}\right|<1 \quad (13)$$

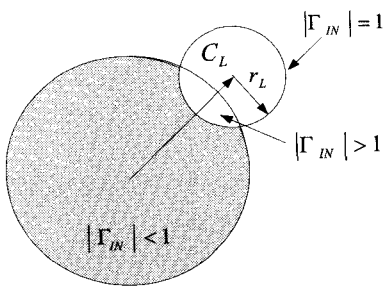
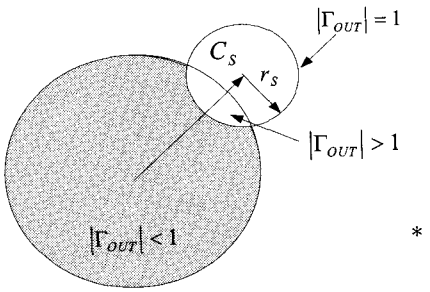



그림 5-2 $\Gamma_L$ 평면에서 안정한 영역
fig. 2-2 Stable region in the $\Gamma_L$ plane




*

그림 2-3 $\Gamma_S$ 평면에서 안정한 영역
fig. 2-3 Stable region in the $\Gamma_S$ plane

### 2.3 부궤환 증폭기

부궤환 증폭기는 특성상 매우 넓은 광대역에 걸쳐서 일정이득과 우수한 VSWR 특성을 갖도록 설계할 수 있다. 마이크로파 증폭기의 대역폭이 100%이상일 경우 부정합을 이용한 설계방법으로는 구현하기 힘들어 이러한 경우 부궤환을 이용한 증폭기 설계 방법이 사용된다. 하지만 부궤환을 이용하여 증폭기를 설계할 경우 매우 넓은 대역폭을 갖는 반면 증폭기의 잡음지수가 나빠지고 증폭기의 이득이 감소하게 된다. 다음은 가장 일반적으로 사용되는 부궤환회로를 나타내었다.

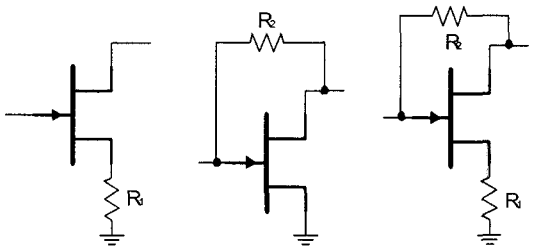



그림 2-4 궤환 증폭기 구조
fig 2-4 Feedback amplifier configurations

## Ⅲ. 전치 증폭기 설계

전치 증폭기는 광대역 전력 증폭기의 입력단에 위치하며 낮은 입력신호를 적당한 크기로 증폭하는 역할을 한다. 전치증폭부에는 광대역에 걸쳐 잡음특성이 우수한 WJ사의 AM1소자를 사용하여 설계하였다.

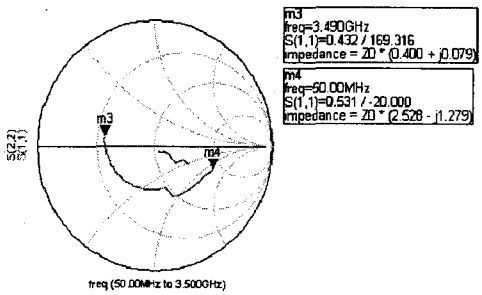
GaAs MESFET는 넓은 주파수 대역서 $|S_{11}|$값이 일

정하지 않고 비교적 낮은 주파수대에서는 이득이 비교적 크다. 또한 GaAs MESFET의 기하학적 구조로 인해 저잡음지수(Low-Noise Figure)특성을 갖고 안정하게 동작시킬 수 있으나 이득이 저하되는 특성이 있다.

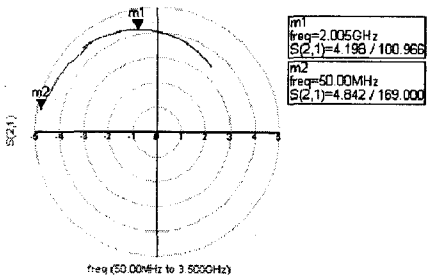
표 3-1 AM1의 사양
Table 3-1 Specifications of AM1

| 항 목 | 단위 | Min. | Typ. | Max. |
|---|---|---|---|---|
| Operating frequency | MHz | 60 | | 3000 |
| P1dB | dBm | | 18 | |
| OIP3 | dBm | | 39 | |
| Input return loss | dB | | -9 | |
| Output return loss | dB | | -15 | |
| Noise figure | dB | | 2.4 | |
| Operating current | mA | 55 | 75 | 100 |
| Power supply | V | | 4.5 | |

그림 3-1은 AM1의 S파라미터 값을 나타내었다.




(a) 입력 반사계수
(a) Input return loss




(b) 이득
(b) Gain

그림 3-1 측정된 AM1의 S파라미터
fig. 3-1 Measured S-parameter of AM1

그림 3-1의 (a)에서는 설계 주파수 대역에서 $S_{11}$< 1 임을 보였고, (b)에서는 이득을 나타내었다.

표 3-2에서는 설계하고자 하는 전치 증폭기의 사양을 나타내었다.

표 3-2 전치 증폭기의 설계사양
Table 3-2 Design specifications of pre-amplifier

| 항 목 | 단위 | Min | Typ | Max |
|---|---|---|---|---|
| Operating frequency | MHz | 100 | - | 3000 |
| Gain7 | Bm | | 10 | |
| Ripple | Bm | | 1 | |
| Current | mA | | 75 | 100 |
| Power supply | V | | 10 | |

병렬 부궤환 저항이 없을 경우 주파수 특성을 나타내는 시뮬레이션 결과 동작 주파수 100MHz와 3GHz사이 이득이 약 2.4dB 차이가 남을 그림 3-2에서 나타내었다.

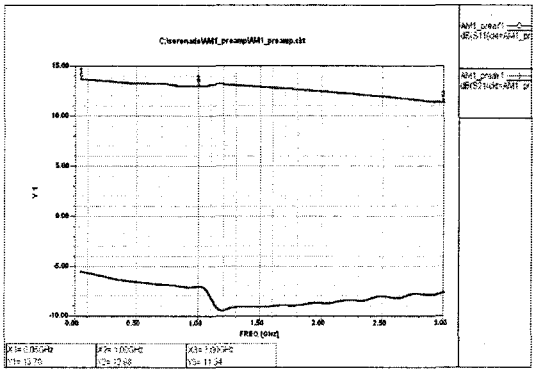


그림 3-2 AM1의 주파수 특성
fig. 3-2 Frequency response of AM1

주파수 특성을 개선하기 위해서 병렬로 부궤환을 했을 때 회로도를 그림 3-3에서 보이고 있다.

저항은 발진제어, 직렬로 연결된 캐패시터는 바이어스 전류가 feedback 되지 못하도록 하는 DC 차단용 캐패시터이다.

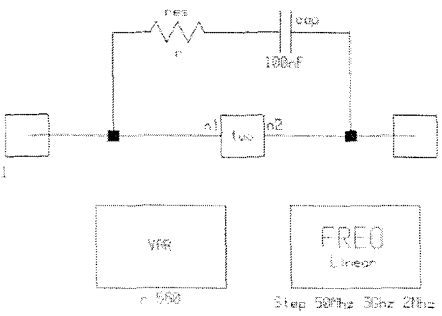



그림 3-3 부궤환을 갖는 AM1회로도
fig. 3-3 Schematic of AM1 with shunt feedback

그림 3-4는 설계된 전치 증폭기의 전체 회로도를 나타내고 있다.

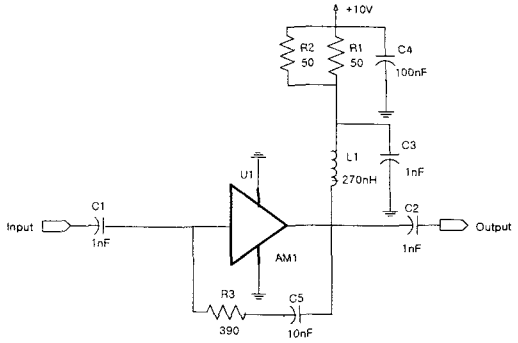



그림 3-4 전치증폭기 회로도
Fig. 3-4 Schematic of preamplifier

그림 3-5에서는 궤환저항이 390Ω일때 전치 증폭기의 주파수 특성을 보이고 있다.

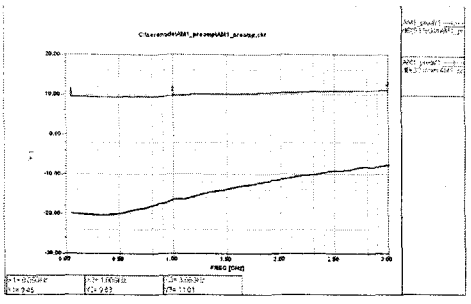


그림 3-5 390Ω부궤환을 갖는 주파수특성
Fig. 3-5 Frequency response with 390Ω shunt feedback

병렬 부궤환의 저항값이 작아질수록 저주파수 대역에서 VSWR특성이 개선됨을 알 수 있다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 광대역 전력증폭기에 사용가능한 전치 증폭기를 설계해 보았다. 설계된 전치 증폭기는 100MHz에서 3GHz까지 광대역에 걸쳐서 주파수 특성이 우수하였으며, 궤환저항이 390Ω일때 낮은 주파수 대역에서의 VSWR특성이 좋아짐을 알 수 있다. EMC 측정 장비와 같은 광대역성을 요구하는 장비의 전력 증폭부에 활용 가능할 것으로 보인다.

## 참고문헌

[1] R. Prasad and T. Ojanpera, "An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA," IEEE Communications Surveys, Fourth Quarter, vol.1, no. 1, 1998

[2] iTerra Communications, "A 10MHz to 22GHz MMIC Amplifier with 1W Output." Microwave Jouranal, 2004.

[3] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design", Prentice-Hall, 1997.

## 저자소개

**김갑기 (Kab-Ki Kim)**

1980년 광운대학교 통신공학과 (공학사)
1984년 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1998년 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2001~2002년 뉴욕시립대학 전자공학과 연구교수
현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※관심분야 : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상무선통신, 이동통신, 위성통신