

## OTA 만을 이용한 전압제어 증폭기의 설계

이 영 훈\*

### A study on the design of voltage controlled Amplifier using only OTA

Young-Hun Lee\*

#### 요 약

이 논문에서는 2개의 OTA를 이용하여 전압제어 이득을 갖는 증폭기의 설계에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 먼저 선형동작을 할 수 있는 OTA를 설계하였으며, 설계된 OTA 2개를 이용하여 증폭기를 구성하였다. 이 설계에서 OTA는 open-loop로 사용되었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 설계된 OTA와 증폭기의 특성은 이론값과 매우 잘 일치하였다. 또한 이 회로는 선형성이 우수하며, 저잡음 광대역 증폭기로 동작시킬수 있다.

#### Abstract

The application of the operational transconductance amplifier (OTA) in the design of a amplifier with voltage-controlled gain is demonstrated.

first, I designed OTA with linear operation and constructed a Amplifier with two OTA. In this design, I used OTA as open loop. Computer simulation result, designed OTA and Amplifier characteristics has a good matching with the theoretical value.

The OTA is used often in open-loop, and therefore it is wise to learn how to treat the two input pins independently, as a virtual short circuit can not be assured in many configurations.

---

\* 한남대학교 전자공학과 교수

## I. 서론

디지털 신호처리 회로는 집적회로의 발달과 더불어 매우 빠른 속도로 발전하여 왔다.

따라서 근래에 들어와서 반도체 소자의 집적화 및 소형화 그리고 통신기기의 고속화 등으로 인하여 아날로그 회로가 디지털 회로로 대체되는 등 아날로그 신호처리 회로에서 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하려는 시도가 진행되고 있다. 그러나 신호처리 시스템이 고성능화 되어감에 따라서 아날로그 회로의 필요성은 증가하는 추세이고, 특성을 개선하기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다.[1]

현재 미국, 일본 등을 비롯한 기술 선진국에서는 아날로그 회로 설계에 대한 연구가 매우 활성화되어 있으며 실제 비메모리 반도체 부류의 고부가가치 반도체 회로 개발에 박차를 가하여 이를 통한 기술 및 상용제품 수출에 크게 기여하고 있다.

OTA는 성형성이 우수하며, 저잡음 광대역폭 및 큰 변환이득을 얻을수 있다는 장점이 있다.[2]

본 논문에서는 수동소자를 사용하지 않고 2개의 OTA만을 이용하여 전압제어 증폭기를 설계하고 실험을 통하여 그 특성이 우수함을 보이고자 한다.

## II. OTA의 동작

### 1. DC 동작

OTA는 전달컨덕턴스 소사이므로 입력전압은 전달컨덕턴스 gm에 의해 출력전압을 제어한다.

따라서 OTA는 Voltage-Controlled current source (VCCS) 이며 이점에서 일반적인 OP-Amp와 구별된다.

OTA의 전달 컨덕턴스 파라미터에서 중요한 점은 gm이 bias전류 IABC에 의해 제어된다는 것이다. 따라서

$$g_m = \frac{I_{ABC}}{2V_T} = \frac{20}{V} \cdot I_{ABC} \quad (1)$$

출력전류는 그 입력전압의 차에 비례하므로

$$I_0 = g_m (V_+ - V_-) \quad (2)$$

그림 1은 OTA의 등가회로이다.[5]

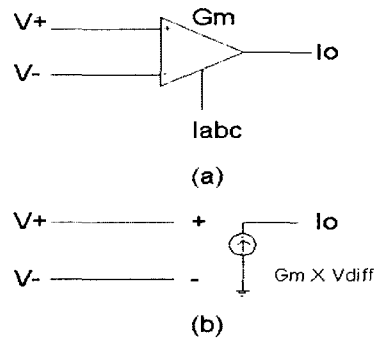


Fig 1. (a)심볼 (b)등가회로

OTA와 OP-Amp는 다음과 같은 2가지의 큰 차이점이 있다.

- (1) OTA는 전류원이므로 출력임피던스가 매우 높다.
  - (2) 부귀환을 사용하지 않고 회로 설계가 가능하다.
- 그러므로 전달 컨덕턴스를 설계파라미터로 사용할 수 있다.

OTA 내부의 bias는 Isupply=3IABC 이다. 따라서 OTA는 IABC=1uA 정도의 micro power 응용에 사용할 수 있다.

### 2. AC 동작

OTA의 개루프, 폐루프 대역폭과 주파수 응답은 일반적인 OP-Amp와 비슷하다.

부귀환을 사용하면 폐루프 대역폭과 bias 전류는 매우 중요한 관계가 있으며

$$BW_{CL} = \frac{(-\frac{20}{V}) I_{ABC}}{[2SC_{NET} A_{CL}(0)]} \quad (3)$$

$$C_{NET} = C_O + C_L$$

위 식은 능동필터와 같은 능동 회로망에 OTA를 사용할 때 매우 중요한 식이며 CO는 접합용량, CL은 부하용량이며 ACL(0)은 페루프 이득이다.[8]

### III. 기본 증폭기

여기서는 OTA를 이용한 기본증폭기에 대하여 알아본다. 그림2는 OTA로 실현한 반전증폭기 이며 출력저항을 감소시키기 위하여 부귀환을 사용하였다. 여기에서 출력 저항은 전달 컨덕턴스에 의해 제어된다. 이 회로에서 전달함수를 구하기 위해

$$I_0 = g_m (V_+ - V_-)$$

$$= -g_m V_- \quad (4)$$

이므로 KVL을 적용하면

$$\frac{V_i - V_-}{R_1} = I_1 = I_2$$

$$= \frac{V_- - V_o}{R_2} \quad (5)$$

그러나  $I_0 = -I_1 = -I_2$  이므로  $I_0 = -I_2$ 로 한다면

$$\frac{V_- - V_o}{R_2} = -(-g_m V_-)$$

$$= g_m V_- \quad (6)$$

$$V_- = \frac{V_o}{1 - g_m R_2} \quad (7)$$

$I_2 = I_1$  에 의해 V-를 소거하면

$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{1}{R_1} \left( \frac{V_o}{1 - g_m R_2} \right)$$

$$= \frac{1}{R_2} \left( \frac{V_o}{1 - g_m R_2} \right) - \frac{V_o}{R_2} \quad (8)$$

$$V_i = V_o \left[ \frac{1}{1 - g_m R_2} + \frac{R_1}{R_2} \left( \frac{g_m R_2}{1 - g_m R_2} \right) \right] \quad (9)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 - g_m R_2}{1 + g_m R_1} \quad (10)$$

유사한 방법으로 출력임피던스를 구하면

$$Z_o = \frac{R_1 + R_2}{1 + g_m R_1} \quad (11)$$

식(10)(11)에서  $g_m R_1 \gg 1$  이면

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1} \quad (12)$$

$$Z_o = \frac{R_1 + R_2}{g_m R_1} \quad (13)$$

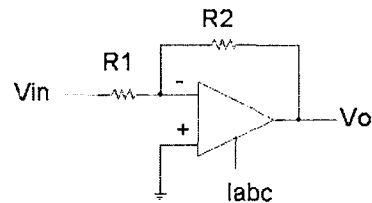


Fig 2. 기본증폭기

## IV. 2개의 OTA만을 이용한 증폭기의 설계

### 1. OTA 설계

이 회로에 사용할 OTA의 회로를 그림3과 같이 설계하였다. 이 회로는 트랜지스터 Q1~Q12로 구성되는 선형 트랜스 컨덕터와 Q13~Q18로 구성되는 전류 증폭기, 그리고 Q19~Q27로 구성되는 차동 전류-단일 전류변환기로 되어 있다. 선형 트랜스 컨덕터는 선형적인 입, 출력 특성을 갖는 차동 전압-전류 변환기이며 루프방정식을 세워 입,출력 관계를 구하면 다음과 같다.

$$I_{out} = \frac{I_Y}{I_X} \cdot \frac{1}{R_E} \cdot V_{in} \quad (14)$$

이 OTA의 전달컨덕턴스 gm은

$$\frac{I_Y}{I_X} \cdot \frac{1}{R_E} \text{ 이다. 기존의 상용 OTA와는 달리}$$

이 OTA는 전달 컨덕턴스가 직류 바이어스 전류의 키에 직접 비례한다. 또한 입, 출력 관계가 선형 이므로 전달 컨덕턴스가 온도의 영향을 받지 않는다는 특징도 있다. 그러나 트랜지스터의 2차효과 즉, 트랜지스터의 유한 β와 베이스폭 변조효과 때문에 회로의 직류특성이 약간 열화된다.

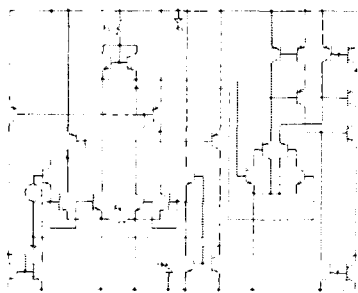


Fig 3 설계한 선형 OTA

### 2. 증폭기 설계

여기에서는 2개의 OTA 만을 이용하여 증폭기를 설계하였다. 그림3의 회로는 설계된 회로이며 여기서 IV절에서와 같은 방법으로 전달함수와 출력임피던스를 구하면 다음과 같다.

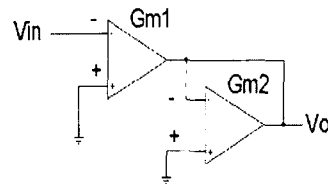


Fig 4 설계된 증폭기

$$\frac{V_O}{V_i} = \frac{-g_{m1}}{g_{m2}} \quad (15)$$

$$Z_O = \frac{1}{g_{m2}} \quad (16)$$

위에서 이 회로에서 전압이득과 출력전류는 외부전류에 의해 정해짐을 알 수 있다.

## V. 컴퓨터 시뮬레이션

그림3의 회로를 ADS를 써서 시뮬레이션 하였다. 트랜지스터 소자 모델로는 βn=200, βp=50을 사용하였다. 또, 포화전류는 IS=10-14(A) 그리고 Early 전압은 VA=50(V)로 전형적인 값을 사용하였다. OTA의 IX 바이어스 전류는 25μA, IY=10μA를 공급하였으며 RE=4KΩ을 사용하였다. 입력 전압을 0.1V로 하였을 때의 출력전류 IO는 그림5와 같이 선형적으로 변화함을 알 수 있었다. 다음에 그림4의 회로를 구성하여 입력전압을 0.1V인가 하였을 때의 입, 출력 특성은 그림6과 같았으며 이는 이론치와 잘 일치하였다.

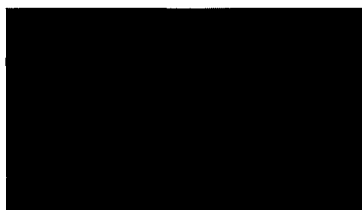


Fig 5 OTA의 특성



Fig 6 설계한 Amp의 입/출력 특성

## VI. 결론

본 논문에서는 수동소자를 사용하지 않고 2개의 OTA 만을 이용하여 증폭기를 구성하였다. 이를 위해 먼저 선형적으로 동작하는 OTA를 설계하였으며 설계한 OTA 2 개를 이용하여 증폭기를 구성하였다.

OTA는 OP-Amp와는 달리 전압-전류제어 증폭기이기 때문에 신호를 전압이 아닌 전류로 처리하고 귀환을 필요로 하지 않는 특징이 있다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 설계된 OTA와 이를 이용한 증폭기는 잘 동작하였으며 이론치와 잘 일치하였다.

## 참고문헌

[1] W.-s. chung, K.-h kim, and H.-w. cha, "A

linear operational transconductance amplifier for instrumentation applications," IEEE Trans, Instrum Meas, Vol.41, PP. 441-443, June 1992, 2.

- [2] Floyd, T., Electronic Devices: Conventional -Flow Version, 4th Edition, Chapter16. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1996
- [3] Geiger, R. L. and SanchezSinencio, Edgar, "Active-filter design using Operational Transconductance Amplifiers: A Tutorial," IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol. 1, Number 2, pp.20-32, March, 1985.
- [4] Harris Semiconductor, Application Notes 1174(1996) and 6668(1996), AN1174, AN6668.
- [5] Philips Semiconductor, Product Specification for NE 5517/5517A, "Dual operational transconductance amplifier", 8/31/94.
- [6] National Semiconductor, Application Note, "LM13600 Dual Operational Transconductance Amplifiers with Linearizing Diodes and Buffers", February, 1995.
- [7] Lenk, John D., Handbook of Practical Electronic Circuits, Chapter 10. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1982.
- [8] Sanchez-Sinencio, E., Ramirez-Angulo, J., Linears-Barranco, B., and Rodriguez-vazquez, A., "Operational Transconductance Amplifier-Based Nonlinear Function Syntheses," IEEE JSSC, Vol. 24, No. 6, pp. 1576-1586, Dec. 1989.
- [9] Sedra, A.S., and Smith, K.C., Microelectronic Circuits, 3rd Ed., Chapter 6. Saunders College Publishing, N. Y., 1991.
- [10] Soclof, Sidney, Design and Applications of Analog Intergrated Circuits, Chapter 9.3. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.j., 1991.

**저자소개**

이영훈  
한남대학교 전자공학부 교수