

## OTA를 이용한 필터 설계에 대한 연구

이 영 훈\*

### A study on the Filter design using OTA

Young-Hun Lee\*

#### 요 약

본 논문에서는 OTA의 원리와 기본응용에 대하여 연구하였다. 또한 OTA를 응용하여 3개의 입력과 1개의 출력을 갖는 2차 필터를 설계하여 3입력중의 각각 1입력만을 사용하면 각각 저역통과, 중역통과, 고역통과 필터의 특성을 얻을수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 이론값과 잘 일치하였으며, 이 필터는 저왜곡, 고주파 특성을 갖는 통신 시스템의 응용에 사용될수 있다.

#### Abstract

In this study, I studied on the principle of OTA and it's basic application. Here, I designed second order filter using OTA. This filter has three inputs and one output. If we use each one input among them, we can get a low pass, high pass and band pass output. In the result of the computer simulation, the linear characteristics was superior to the conventional Op-Amp filter. And this circuit is advantageous to making an IC. This will be used to the communication system which has the low distortion and high frequency circuit. This study will have to be continued to form a higher order filter using OTA.

---

\* 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 회로 등으로 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. [5]

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. [6]

이에 비하여 국내의 아날로그 회로 설계기술 개발을 위한 연구 활동은 상대적으로 매우 저조한 편이다.

디지털 필터의 고속화를 앞서기 위해서도 아날로그 IC 필터의 고속화는 중요한 과제이다. 특히 저 전력 고속 아날로그 회로를 ADC, DAC, 디지털 시스템과 동일 칩 상에 집적하여 대규모 시스템을 실현하는 소위 혼합형 VLSI가 오늘날의 큰 흐름이다.

또한, 화상통신 및 무선 이동 통신 기술의 발전으로 인하여 고주파 아날로그 신호처리가 요구됨에 따라서 전달컨덕턴스증폭기(Operational transconductance amplifier : OTA) 필터 기술이 중요한 분야로 대두 되었다. [1]

OTA는 선형성이 우수하며, 저 잡음과 광 대역폭 및 큰 변환이득 등을 얻을 수 있다. [9]

이 논문에서는 일반적인 Op-Amp를 써서 능동 필터를 구현하는 것보다 OTA를 써서 구현하는 것이 더 유리하다는 것을 입증하고자 한다. 본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어 II장에서는 실제 OTA를 써서 2차 필터를 구성하고, III장에서는 컴퓨터 시뮬레이션, IV장에서는 결론을 통해 OTA를 이용한 필터의 특성이 우수함을 입증하였다.

## II. OTA를 이용한 필터의 설계

### 2.1 2차 필터

그림 2-1은 3개의 전압제어 단자를 갖는 2차 필터이다. 3개의 단자 중 2개를 접지 시키면 저역통과, 고역통과, 대역통과 필터를 실현할 수 있다. 이러한 필터 회로에서 두 OTA의 전달컨덕턴스( $g_m$ )를 변화시킴으로서 각각의 차단주파수 또는 중심주파수를 결정한다. 이러한 필터들은 주파수 조정-상수 Q 필터라고 한다. 따라서 차단주파수가 변화되는 동안 일정한 Q값을 유지한다. 출력 전압과 3개의 제어 전압사이의 일반적인 관계에 대한 식의 유도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_{01} &= g_{m1}(V_1^+ - V_1^-) \\ &= g_{m1}(V_A - V_{01}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_{C1} &= I_{01} X_{C1} + V_B = V_2^+ \\ &= \frac{I_{01}}{sC_1} + V_B \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} I_{02} &= g_{m2}(V_2^+ - V_2^-) \\ &= g_{m2}\left[\left(\frac{I_{01}}{sC_1} + V_B\right) - V_{01}\right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$V_{01} = \frac{I_{02}}{sC_2} + V_C \quad (4)$$

위로부터  $I_{01}$ 과  $I_{02}$ 를 대신하여 쓰면

$$\begin{aligned} V_{01} &= \frac{g_{m1}g_{m2}(V_A - V_{01})}{s^2 C_1 C_2} + \\ &\quad - \frac{g_{m2}}{sC_2}(V_B - V_{01}) + V_C \end{aligned} \quad (5)$$

$$V_{01} = \frac{g_{m1}g_{m2}V_A + sC_1g_{m2}V_B + s^2C_1C_2V_C}{s^2C_1C_2 + sC_1g_{m2} + g_{m1}g_{m2}} \quad (6)$$

여기서,  $I_{01}$ 과  $I_{02}$ 는 첫 번째와 두 번째 OTA의 출력 전류이다.

특정한 응답을 갖는 필터 형태를 만들기 위하여 식(6)을 이용한다.

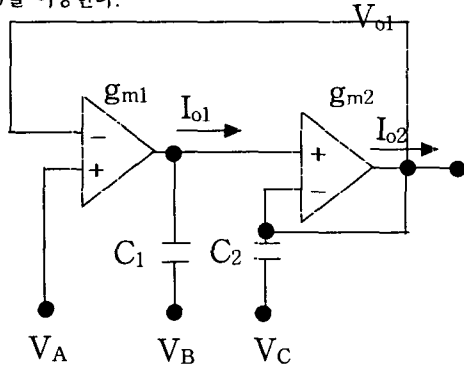


그림 2-1. 3가지 응답을 갖는 OTA 2차 필터

2.1.1 저역통과 필터

식(6)에서 저역통과 필터를 구현하기 위한 제어 전압 조건들은

- ①  $V_i = V_A$  :  $V_B$ 와  $V_C$ 는 접지 시킨다.
- ②  $g_{m1} = g_{m2} = g_m$ .
- ③ biquad 실현 : 분자, 분모를  $C_1 C_2$ 로 나눈다.

그 결과 전달함수는

$$\frac{V_{01}}{V_A} = \frac{\frac{g_m^2}{C_1 C_2}}{s^2 + \frac{s g_m}{C_2} + \frac{g_m^2}{C_1 C_2}}$$

(7)식(7)은 표준 biquad 필터의 형태이다(1).

$$\frac{V_{01}(s)}{V_A(s)} = \frac{\omega_o^2}{s^2 + s\left(\frac{\omega_o}{Q}\right) + \omega_o^2} \tag{8}$$

따라서, 이런 특별한 제어 전압 조건들에서 회로는 식(9)와 같은 공진 주파수를 갖는 저역통과 필터이다.

$$f_o = \frac{g_m}{2\pi\sqrt{C_1 C_2}} \tag{9}$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \tag{10}$$

2.1.2 대역통과 필터

식(6)에서 대역통과 필터를 구현하기 위한 제어 전압 조건들은

- ①  $V_i = V_B$  :  $V_A$ 와  $V_C$ 는 접지시킨다.
- ②  $g_{m1} = g_{m2} = g_m$ .
- ③ biquad 실현 : 분자, 분모를  $C_1 C_2$ 로 나눈다.

그 결과 전달함수는

$$\frac{V_{01}}{V_B} = \frac{\frac{s g_m}{C_2}}{s^2 + \frac{s g_m}{C_2} + \frac{g_m^2}{C_1 C_2}} \tag{11}$$

식(11)은 표준 biquad 필터의 형태이다(1).

$$\frac{V_{01}(s)}{V_B(s)} = \frac{s\left(\frac{\omega_o}{Q}\right)}{s^2 + s\left(\frac{\omega_o}{Q}\right) + \omega_o^2} \tag{12}$$

따라서 이런 특별한 제어 전압 조건들에서 회로는 식(13)과 같은 공진 주파수를 갖는 대역통과 필터이다.

$$f_o = \frac{g_m}{2\pi\sqrt{C_1 C_2}} \tag{13}$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \tag{14}$$

2.1.3 고역통과 필터

식(6)에서 고역통과 필터를 구현하기 위한 제어 전압 조건들은

- ①  $V_i = V_C$  :  $V_A$ 와  $V_B$ 는 접지시킨다.
- ②  $g_{m1} = g_{m2} = g_m$ .

③ biquad 실현 : 분자, 분모를  $C_1 C_2$ 로 나눈다.

그 결과 전달함수는

$$\frac{V_{01}}{V_C} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{s g_m}{C_2} + \frac{g_m^2}{C_1 C_2}} \quad (15)$$

식(15)은 표준 biquad 필터의 형태를 갖는다(1).

$$\frac{V_{01}(s)}{V_C(s)} = \frac{s^2}{s^2 + s\left(-\frac{\omega_o}{Q}\right) + \omega_o^2} \quad (16)$$

따라서 이 회로는 이러한 특별한 제어 전압 조건들에서 식(17)과 같은 공진 주파수를 갖는 고역통과 필터이다.

$$f_o = \frac{g_m}{2\pi\sqrt{C_1 C_2}} \quad (17)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \quad (18)$$

### III. 컴퓨터 시뮬레이션

그림 3-1은 그림 2-1 회로에서 2.1.1절의 제어 전압 전에 따라 컴퓨터 시뮬레이션한 파형이다.

여기에서  $C_1 = C_2 = 1nF$ 를 사용하였으며, 인가 신호의 주파수는 10Hz~10MHz까지 변화시켜가면서 Pspice를 이용하여 출력응답을 구하였다. OTA는 CA3060을 이용하였고 입력 전압은 30mV를 사용하였다.

시뮬레이션 결과 선형성이 매우 우수하며  $f_0$ 는 32.97KHz 이었고 저역통과 필터의 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

마찬가지로 그림 3-2과 그림 3-3은 그림 2-1의 회로에서 2.1.2절과 2.1.3절의 조건에 따라 식 (6)을 컴퓨터 시뮬레이션한 파형으로 이 역시 각각 고역통과 특성과 대역통과 특성을 나타내었다.

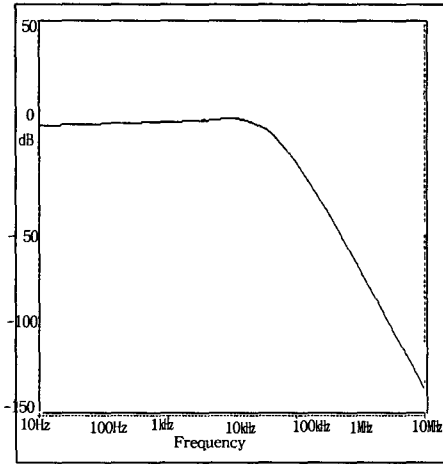


그림 3-1. 저역통과 필터의 주파수 응답

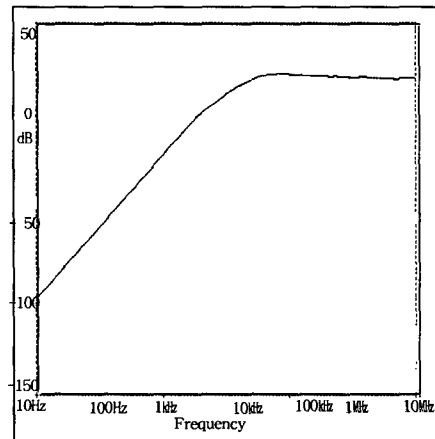


그림 3-2. 고역통과 필터의 주파수 응답

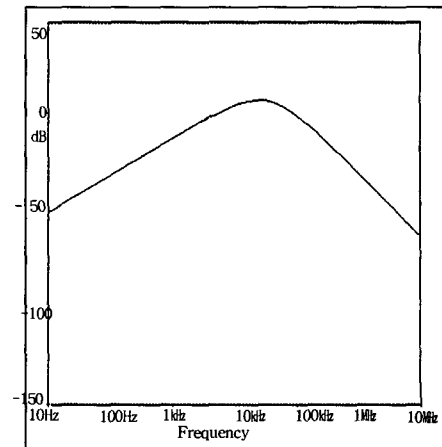


그림 3-3. 대역통과 필터의 주파수 응답

## VI. 결 론

본 논문에서는 OTA의 원리와 OTA를 이용한 기본증폭기에 대하여 알아보았으며, 2개의 OTA를 사용하여 3개의 입력을 갖는 2차 필터를 구성하였다. 여기서 3개의 입력 중 각각 2개의 입력을 접지 시키고 나머지 1개의 입력만 사용하였을 때 여러 가지의 응답을 알 수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 OTA로 구성된 필터는 일반적인 Op-Amp로 구성된 필터보다 다양한 특성을 나타낼 수 있다는 것을 입증하였다. 또한 OTA를 이용한 필터는 일반 Op-Amp를 이용한 필터보다 선형성이 우수하며, 같은 특성을 갖는 필터를 설계할 때 외부소자의 수를 줄일 수 있었고, 소자수가 적기 때문에 집적회로화 할 때도 더 유리하다. 본 논문에서 설계된 필터는 저 왜곡을 갖는 고주파 회로와 통신 시스템 등에 응용될 수 있다. 앞으로의 연구 과제는 OTA를 이용하여 보다 높은 차수의 차단특성을 갖는 필터를 구성하는 것이다.

## 참고문헌

- [1] Sedra, A.S., and Smith, K.C., Microelectronic Circuits, 3rd Ed., Chapter 6. Saunders College Publishing, N. Y., 1991.
- [2] RCA Solid-State Division, Data Book, Linear Integrated Circuit, File No.475, Mar. 1975.
- [3] V. W. Burgger, B. J. Hosticka, and G. S. Moschytz, "A Comparison of Semiconductor Controlled Sources for the Design of Active RC Impedances," Int. J. of Circuit Theory and Appl., vol. 10, pp. 27-42, 1982.
- [4] Floyd, T., Electronic Devices: Conventional-Flow Version, 4th Edition, Chapter 16. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1996.
- [5] Soclof, Sidney, Design and Applications of Analog Intergrated Circuits, Chapter 9.3. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1991.
- [6] Geiger, R. L. and Sanchez-Sinencio, Edgar, "Active-filter design using Operational Transconductance Amplifiers: A Tutorial," IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol. 1, Number 2, pp.20-32, March, 1985.
- [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] H. A. Wittlinger, "Applications of CA3080 and CA3080A High Performance Operational Transconductance Amplifiers," RCA Application Note ICAN-6668.
- [10] Philips Semiconductor, Product Specification for NE 5517/5517A, "Dual operational trans-conductance amplifier", 8/31/94.
- [11] National Semiconductor, Application Note, "LM13600 Dual Operational Transconductance Amplifiers with Linearizing Diodes and Buffers", February, 1995.

이영훈

한남대학교 전자공학과 교수