

1. 이상적인 연산증폭기 조건과 특성

(가). 개방 루프 전압 이득은 무한대이다($A_V = \infty$). 현실적인 연산 증폭기의 경우에 이득은 유한해서 보통 $10^4 \sim 10^6$ 이다.

(나). 입력임피던스는 무한대이다($R_{in} = \infty$).

(다). 대역폭은 무한대이다.($B_w = \infty$)이다. 직류에서부터 초고주파까지 증폭이 가능하다.

(라). 동상신호제거비는 무한대이다.($CMRR = \infty$)이다.

※ 동상신호제거비(Common-Mode Rejection Ratio :공통모드제거비)

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \quad A_d : \text{차동이득}, A_c : \text{동상(공통)이득}$$

- A_c : 2개 도선에서, 모두 동일 크기 및 동일 부호로 나타나는 신호로서 평균/중심이 되는 신호를 말하는 것으로 일반적으로, 바람직스럽지 않은 신호 성분(잡음)을 일컬으며, 만일 서로 빼주면 상쇄되어 최소화될 수 있음

단, 위 조건과는 다른 “0” 으로 된 조건들은 다음과 같다.

(마). 출력 임피던스는 0($R_o = 0$)이다.

(바). 입력 offset전압과 입력 offset 전류는 0이다.

(사). 입력 전류의 평균값인 입력바이어스(bias) 전류는 0이다.($I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2} = 0$)

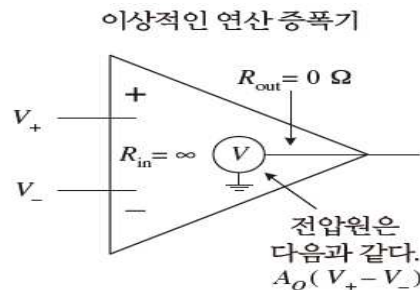


그림 3. 이상적 연산증폭기 조건

위와 같은 이상적인 조건을 통하여 다음과 같은 특성이 나타난다.

첫째, 두 입력단자 사이의 입력임피던스가 무한대($R_{in} = \infty$)이므로 두 입력단자 사이에는 전류가 흐를 수 없다.

즉, 두 입력단자 사이의 연산증폭기 자체 입력전류는 0이 된다($I_{in} = 0$). (반전증폭 해석)

둘째, 두 입력단자 사이에 전류가 흐를 수 없으므로 두 입력단자 사이의 전위차가 없다. 이를 가상단락이라고 해석한다.

즉, 두 입력단자 사이는 전위가 동일하다. (비반전증폭 해석)

2. 이상적 연산증폭기 사용의 한계와 음(부)되먹임 증폭 사용 이유

(가). 비반전증폭의 예

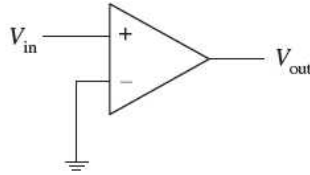


그림 4. 비반전증폭회로

V_- 가 접지되어 있고(0V) V_+ 가 단순히 V_{in} 이므로 이 값들을 개방 루프 전압 이득 식에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_{out} &= A_o(V_+ - V_-) \\ &= A_o(V_{in} - 0\text{ V}) = A_o V_{in} \end{aligned}$$

연산 증폭기를 이상적인 것으로 다루면 A_o 가 무한할 수 있다. 이 회로는 기준이 접지인 단순한 비반전 **비교기 역할**을 한다. 왜냐하면 현실적인 연산 증폭기의 경우에 출력이 공급 전압에 의해 제한된다.

즉, 연산증폭기 자체만의 증폭 특징은 반전 단자(inverting terminal) V_- 에 인가된 전압이 비반전 단자(noninverting terminal) V_+ 에 인가된 전압보다 더 양이면, 출력은 음의 공급 전압(negative supply voltage) $-V_S$ 쪽으로 포화된다. 이와 반대이면, 출력은 양의 공급 전압(positive supply voltage) $+V_S$ 쪽으로 포화한다.

증폭도의 제어가 불가능해진다. 이에 증폭도를 제어하기 위하여 일반적인 연산증폭회로에서는 음(부)되먹인 방식을 채택하고 있다.

3. 연산증폭기 종류

1). 반전 증폭기 정의 및 해석

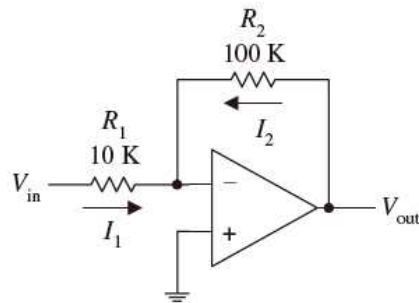


그림 5. 궤환을 통한 반전증폭 예

V_- 가 접지되어 있으므로($0V$) 이것은 V_- 도 $0V$ 가 될 것 이라는 점을 의미한다. 이득을 계산하려면 전류 I_1 과 I_2 를 찾아 V_{out} 을 V_{in} 으로 표현하는 식을 만들어야 한다. 옴의 법칙을 사용하면 I_1 과 I_2 가 다음과 같이 될 것이다.

$$I_1 = \frac{V_{in} - V_-}{R_1} = \frac{V_{in} - 0V}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_{out} - V_-}{R_2} = \frac{V_{out} - 0V}{R_2} = \frac{V_{out}}{R_2}$$

이상적인 연산 증폭기의 입력 임피던스가 무한하므로 반전 단자에 전류가 입력되지 않는다 ($I_{in} = 0$). 그러므로 키르히호프의 법칙을 적용하면 다음과 같은 증폭비를 구할 수 있다.

$$I_1 + I_2 = I_{in} = 0$$

$$\therefore I_1 = -I_2$$

$$\therefore A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

이 예제에서의 증폭비는 $A_V = -\frac{100K}{10k} = -10$ 이 된다.

2). 비 반전 증폭기 정의 및 해석

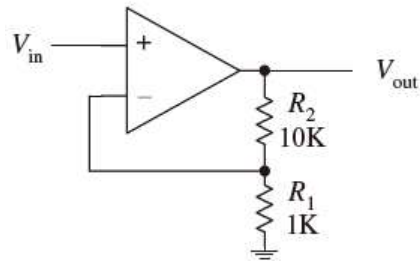


그림 6. 궤환을 통한 비반전증폭 예

두 입력단자 사이가 가상단락이기 때문에 즉, 전위차가 없으므로 $V_{in} = V_+ = V_-$ 이다. 그러므로 V_{in} 과 V_{out} 과 관련된 식은 전압 분할 관계를 사용한다.

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} = V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$

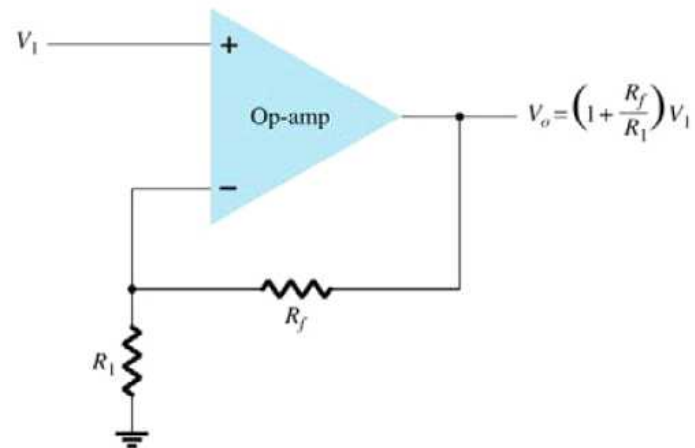
$$\therefore A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

즉, 반전 증폭기와는 다르게 이 회로의 출력 입력과 위상이 같고 ‘비반전’이다.

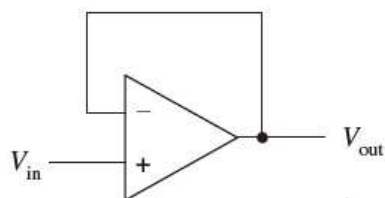
4. 연산증폭기 응용회로

1). 비 반전 증폭기 응용

(가). 전압추종기(voltage follower)

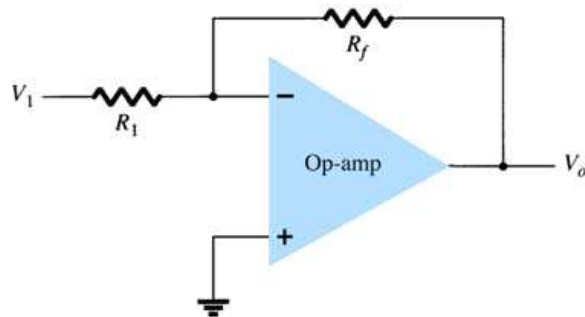


위 회로에서 $R_1 = \infty$ 이면 $A_V = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1$ 이 되므로 $V_o = V_i$ 가 된다. 이를 전압추종기라고 하며 일명 완충증폭기(Buffer)이라고도 하고 다음과 같이 도시된다.



2). 반전 증폭기 응용

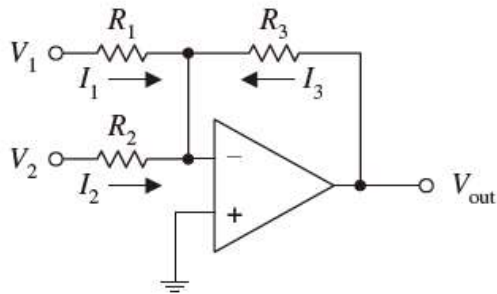
(가). 부호변환기



반전증폭기의 증폭도는 $A_V = -\frac{R_f}{R_1}$ 에서 $R_1 = R_f$ 이면 $A_V = -1$ 이 된다.

즉, $V_o = -V_i$ 이다.

(나). 가산기(덧셈기)



각 전류에 대하여 풀이를 해보면 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{V_1 - 0V}{R_1} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_-}{R_2} = \frac{V_2 - 0V}{R_2} = \frac{V_2}{R_2}$$

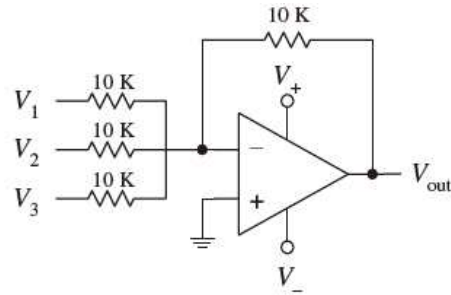
$$I_3 = \frac{V_{out} - V_-}{R_3} = \frac{V_{out} - 0V}{R_3} = \frac{V_{out}}{R_3}$$

여기서 $I_1 + I_2 + I_3 = I_{in} = 0$ 이므로 $I_1 + I_2 = -I_3$ 가 된다.

$$V_{out} = -\frac{R_3}{R_1}V_1 - \frac{R_3}{R_2}V_2 = -\left(\frac{R_3}{R_1}V_1 + \frac{R_3}{R_2}V_2\right)$$

이와 같이 출력이 입력들의 덧셈 형태가 되어 덧셈기라 한다.

예제 1. 다음 연산증폭기의 출력을 구하시오



풀이 : 입력의 각 전압으로 인해 흐르는 전류를 각 I_1, I_2, I_3 라 하고 궤환전류를 I_f 라 하면

$$I_1 + I_2 + I_3 = -I_f$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = -\frac{V_o}{R_f}$$

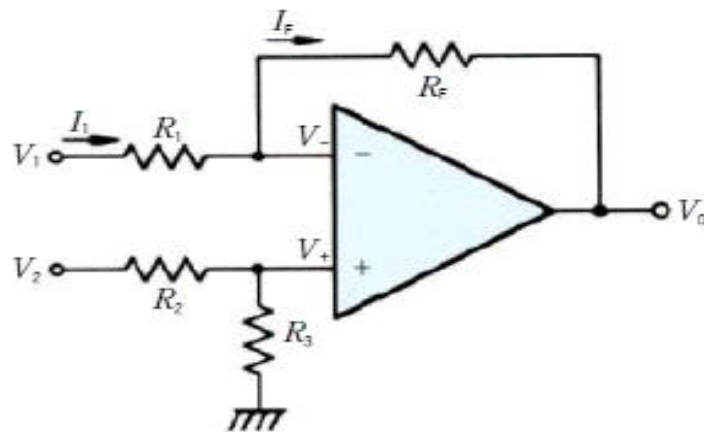
$$\therefore V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$$

여기서 $R_1 = R_2 = R_3 = R_f = 10K$ 이므로

$$V_o = -(V_1 + V_2 + V_3) \text{이다.}$$

(다). 감산기(뺄셈기, 차동증폭기)

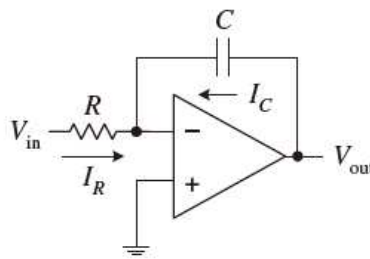
: 각각의 입력전압에 대한 출력 전압을 따로 계산하여 합하여 얻는다.(중첩의 원리)



$$\begin{aligned}
V_{o1} &= -\left(\frac{R_F}{R_1}\right) V_1 \\
V_{o2} &= \frac{R_1 + R_F}{R_1} \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_2 \\
&\quad \left(\text{if } \frac{R_F}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}, R_3 = \frac{R_F R_2}{R_1}\right) \\
&= \frac{R_F}{R_1} V_2 \\
V_o &= V_{o1} + V_{o2} = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)
\end{aligned}$$

(라). 적분기

되먹임 회로에 커패시터를 배치하여 구성. 반전 증폭기 이용함으로 입력과 출력 신호의 위상이 반전된다.



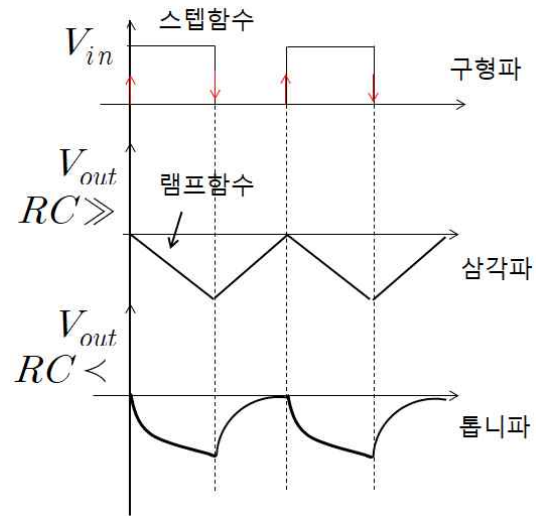
$$I_R = \frac{V_{in} - V_-}{R} = \frac{V_{in} - 0V}{R} = \frac{V_{in}}{R}$$

$$I_C = C \frac{dV}{dt} = C \frac{d(V_{out} - V_-)}{dt} = C \frac{d(V_{out} - 0V)}{dt} = C \frac{dV_{out}}{dt}$$

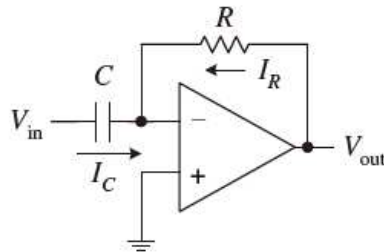
$$\begin{aligned}
I_R + I_C &= -I_{in}, \quad I_R = -I_C \text{에서 } \frac{V_{in}}{R} = -C \frac{d}{dt} V_{out} \\
\int \frac{V_{in}}{R} &= -C \int \frac{d}{dt} V_{out} \\
\therefore V_{out} &= -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt
\end{aligned}$$

출력이 입력의 적분 형태로 나타났다고 해서 적분기라고 한다.

※ 적분이란 미세변화를 더하는 것으로 적분기 출력 파형은 다음과 같다.
RC는 시정수라 하고 단위는 [sec]이다.



(마). 미분기



$$I_C = C \frac{dV}{dt} = C \frac{d(V_{in} - V_-)}{dt} = C \frac{d(V_{in} - 0V)}{dt} = C \frac{dV_{in}}{dt}$$

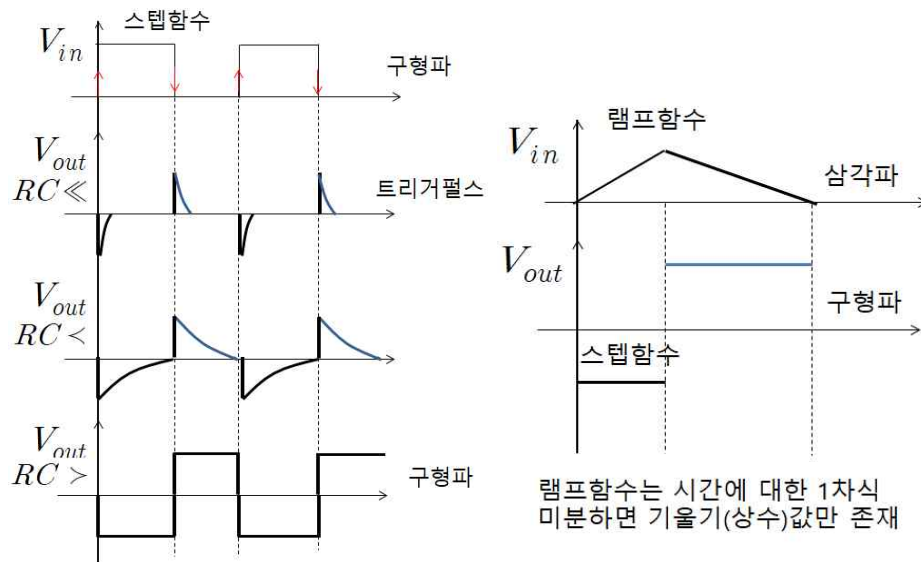
$$I_R = \frac{V_{out} - V_-}{R} = \frac{V_{out} - 0V}{R} = \frac{V_{out}}{R}$$

$$I_R + I_C = -I_{in}, \quad I_R = -I_C \text{에서}$$

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

출력이 입력의 미분 형태로 나타났다고 해서 미분기라고 한다.

※ 미분기란 미세변화율을 표시하는 것으로 미분기 출력 파형은 다음과 같다.



▶ 미분기 출력파형의 특징은 입력에 무관하게 +, - 파가 출현한다.