

技師會員을 爲한 理論과 實務

● 連 載 ●

메카트로화에 필요한 엘렉트로닉스技術入門

엘렉트로닉스制御 (2)

II. 아날로그 IC의 制御에의 應用

산업용이나 민간용을 불문하고 가령 센서나 액츄에이터 등을 이용하여 機器의 메카트로닉스化를 진행시킬 경우 반드시라고 해도 좋을 정도로 아날로그가 개재되어 있다. 따라서 아날로그 IC에 대하여 基礎技術을 완전히 습득해 두는 것이 기술자에게는 필요불가결의 것으로 되어 있다.

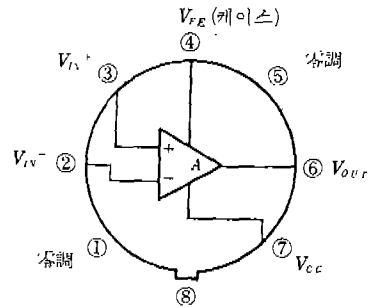
산업용이나 민간용의 각 분야에서 광범위하게 이용되고 있는 汎用의 아날로그 IC는 오페앰프, 콤퍼레이터 電源레귤레이터 등이 가장 대표적인 것이다.

여기서는 活用範圍가 넓고 또한 多목적으로 이용할 수 있는 오페앰프를 중심으로 制御에의 應用展開에 대하여 설명하기로 한다.

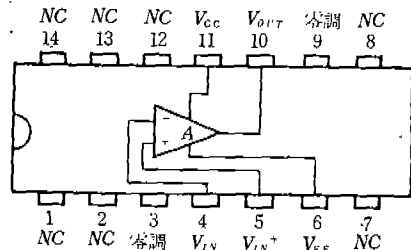
1. 오페앰프의 基礎

오페앰프란 Operational Amplifier의 약칭으로 演算增幅器라고도 하는 集積回路이다.

그 외관은 金屬케이스의 캔타이프나(그림 1) 플라스틱몰드의 듀얼인타이프(그림 2)가 있으며 그 내부에는 그림 3과 같은 回路가 들어 있다. 여기서

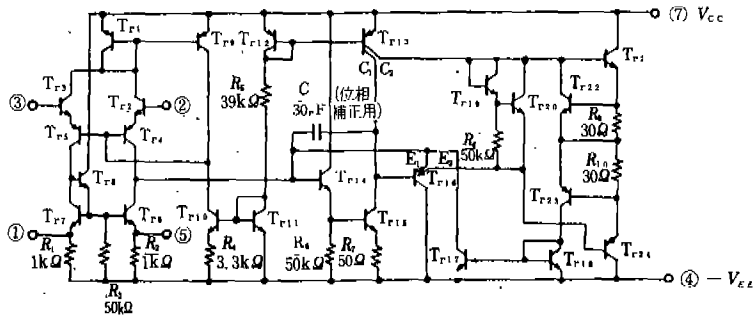


〈그림 - 1〉 金屬케이스



〈그림 - 2〉 14핀DIP

는 그 내부에 대해서는 설명을 생략하고 오페앰프를 活用하는데 注意點을 두기로 한다.



〈그림-3〉 오페앰프의 内部接續回路

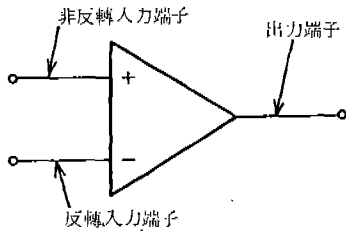
오페앰프는 反轉入力, 非反轉入力이라고 하는 2개의 入力端子和 한개의 出力端子を 가진 일종의 增幅器로 그림 4와 같은 기호로 표시된다.

또한 오페앰프는 그림 5와 같이 正負 동일한 크기의 2개의 電源(V_{CC})을 필요로 하며 일반적으로 이 電源에는 $\pm 15V$ 가 사용된다. 통상 電源은 回路圖에서 생략하는 수가 많다.

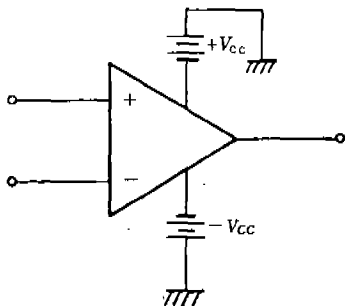
다음에 오페앰프의 基本動作, 特性 및 사용상의 주의에 대하여 설명한다.

(1) 基本動作

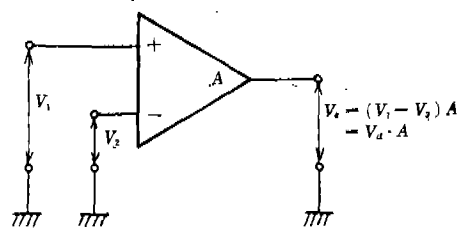
오페앰프의 기본동작은 그림 6과 같이 非反轉入力端자에 가해진 電壓 V_1 에서 反轉入力端자에 가해



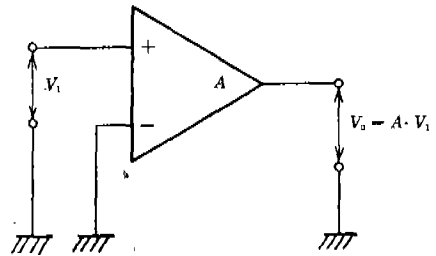
〈그림-4〉 入出力. 端子



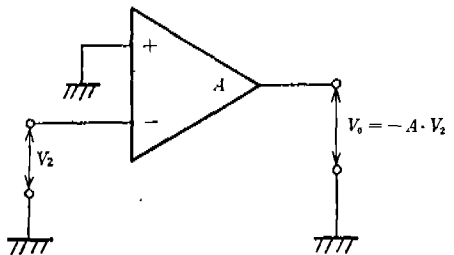
〈그림-5〉 電源端子



〈그림-6〉 差動入力の 경우



〈그림-7〉 非反轉入力の 경우



〈그림-8〉 反轉入力の 경우

진 電壓 V_2 를 차감한 값 V_d 에 增幅度 A 배한 것이 出力으로서 얻어지는 것이다.

따라서 그림 7과 같이 非反轉入力端자에만 電壓 V_1 을 가하면 출력에는 增幅度 4 배된 同極성의 $A \cdot$

V_i [V]가 나타나고 그림 8과 같이 反轉入力端子에 만 電壓을 加하면 出力에는 增幅度 A倍된 逆極性(反轉)의 $-A \cdot V_i$ [V]가 나타난다.

단, 出力電壓이 電源電壓 $+V_{cc}$ 이상이나 $-V_{cc}$ 이하가 되지는 않는다. 電源電壓에 의하여 出力電壓은 포화되어 버린다.

(2) 특성과 사용상의 주의

오페앰프의 基本特性은 앞으로 설명한 바와 같다 그러나 이것만이라면 단지 增幅器와 하등의 다른점이 없다. 오페앰프는 演算增幅器라고도 하는 바와 같이 당초에는 아날로그컴퓨터의 演算素子로서 개발된 것이며 汎用性을 위한 연구가 되어 있다.

다음에 가장 기본적인 특징과 사용상의 주의에 대하여 설명한다.

(a) 電壓增幅度 A가 매우 크다($10^3 \sim 10^6$ 배). 따라서 負歸還을 이용함으로써 精度가 높은 增幅器가 만들어지고 또한 單體로도 다음과 같이 比較器로서 이용할 수 있다.

예를 들면 그림 6에서 反轉入力端子에 기준電壓 V_s 를 설정하고 $A=10^5$ 라 할 경우 入力電壓 V_i 은 V_s 와 比較해서 ± 1 mV 변동하는 것만으로도 다음과 같이 出力電壓 V_o 는 $+V_{cc}$ 나 또는 $-V_{cc}$ 가 된다.

즉 V_s 에 대하여 入力電壓 V_i 의 大小를 判定할 수 있는 것이다.

$$V_i - V_s \geq 1 \text{ [mV]} \text{인 때 } V_o = 10^{-3} \times 10^5 = 100 \text{ [V]} \rightarrow +V_{cc}$$

$$V_i - V_s = 0 \text{인 때 } V_o = 0 \quad (\text{電源電壓으로 포화})$$

$$V_i - V_s \leq -1 \text{ [mV]} \text{인 때 } V_o = -10^{-3} \times 10^5 = -100 \text{ [V]} \rightarrow -V_{cc}$$

(b) 反轉入力 및 非反轉入力端子의 入力抵抗이 매우 크고 電流가 거의 흐르지 않는다. 따라서 오페앰프에 장착되는 部品の 설계는 電壓만을 고려하면 되므로 취급이 간단하다.

예를 들면 그림 6의 基準電壓 V_s 를 V_{cc} 에서 抵抗分割로 얻는 경우에도 단지 抵抗分割比만으로 구할 수가 있다.

(c) 出力側의 出力抵抗도 낮고 增幅周波數帶域도 넓다.

(d) 사용상의 주의점으로서 는 入力 V_i 과 V_2 를 같은 크기로 해도 出力電壓이 0이 되지 않고 약간 나

타나는 것이다. 이 현상을 오프셋이라고 한다.

이 오프셋에 대한 대책으로서는 오페앰프에는 오프셋트누르라는 端子(그림 1의 경우 端子 ①과 ⑤)의 零調가 해당)가 부착되어 있고 이 端子를 이용하여 補正할 수가 있다.

2. 오페앰프의 活用法

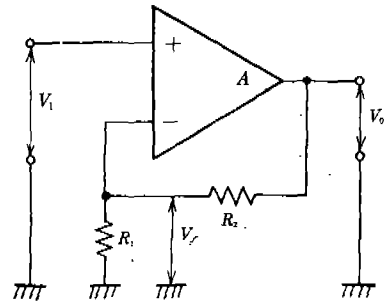
오페앰프는 일반적으로 歸還을 걸어 이용하는 수가 많다. 거기서 歸還動作과 각종 活用法에 대하여 설명하기로 한다.

(1) 歸還動作이란 무엇인가

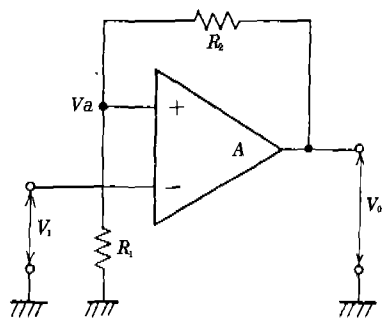
그림 9, 10과 같이 出力電壓의 일부를 入力側로 되돌리는 것을 歸還을 건다고 하며 이 歸還方法에는 負歸還과 正歸還이 있다.

負歸還이란 안전한 增幅器를 얻는 수단으로써 多用하는 方法이며 실질적으로 增幅度가 低下되는 歸還方法을 말하며 또한 正歸還이란 그 반대로 실질적으로 增幅度가 증가되는 歸還方法을 말한다.

그림 9와 같이 出力電壓의 일부를 反轉入力端子로 되돌리면 負歸還이 걸려 그림 10과 같이 出力電



〈그림-9〉 負歸還回路



〈그림-10〉 正歸還回路

壓의 일부를 非反轉入力端子로 돌리면 正歸還이 걸리게 된다.

(2) 負歸還動作과 活用 例

그림 9는 오페앰프의 負歸還의 기본회로이다.

그림 9에서 負歸還回로를 포함한 전체의 增幅度 V_o/V_1 을 구하면 다음과 같다.

$$V_o = (V_1 - V_f)A \quad (1)$$

$$V_f = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o \quad (2)$$

(1) 式과 (2) 式에서

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{A}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A}$$

$A_f = \frac{V_o}{V_1}$ 라 하면 다음 式과 같이

$A_f < A$ 가 된다.

$$A_f = \frac{A}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A} \quad (3)$$

(3) 式에서 $1 \ll \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A$ 라는 條件이 成立되었

을 경우 전체의 增幅度 A_f 는

$$A_f = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (4)$$

가 되며 오페앰프의 增幅度 A 와는 상관없이 外部接續抵抗 R_1 과 R_2 로 결정이 된다. 즉 오페앰프의 增幅度가 불균일해도 外部의 抵抗値를 정확히 선택함으로써 필요한 增幅度를 정확히 얻을 수가 있다.

이것이 오페앰프를 活用하는데 매우 중요하다.

오페앰프의 負歸還을 活用한 回路例에 대하여 다음에 몇가지 대표적인 것을 설명한다.

(a) 反轉增幅度器

그림 11과 같이 非反轉入力端子를 어드에 접속하고 反轉入力端子에 신호를 가하는 形式의 것을 反轉增幅度器라고 한다.

그림 11에서 負歸還回로를 포함한 전체의 增幅度 A_f 를 구하면 다음과 같다.

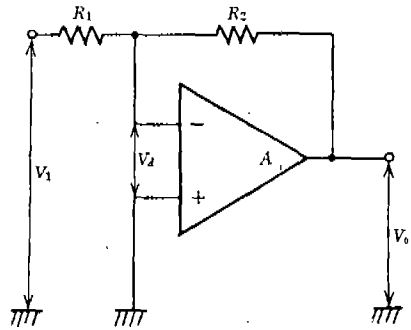
$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_o}{R_2} \quad (5)$$

$$V_o = -AV_a \quad (6)$$

(5) 式과 (6) 式에서 V_a 를 消去하여 정리하면

$$A_f = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{A}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A}$$

가 된다.



(그림-11) 反轉增幅度器

(7) 式에서 $1 \ll \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot A$ 라는 條件이 成立되었

을 경우

$$A_f = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

가 된다.

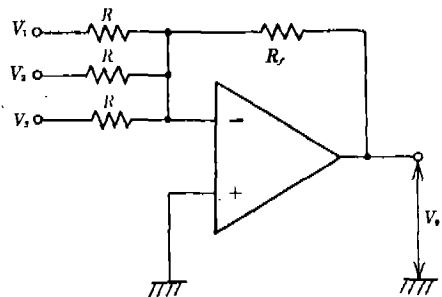
따라서 전체의 增幅度 A_f 는 外部의 抵抗 R_1 과 R_2 의 比에만 의존하여 결정이 된다.

(b) 加算回路

加算回路란 入力電壓의 畵에 비례하는 出力을 내는 것이며 그 回路를 그림 12에 들었다. 그림 12와 같이 이 回路는 前述한 反轉增幅度器를 이용한 것이며 出力電壓은 각 入力電壓 V_1, V_2, V_3 에 대하여 다음과 같이 구해진다. 즉 出力電壓은 각 입력電壓의 加算値에 비례하는 것이다.

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} + \frac{V_3}{R} \right)$$

이 사고방식을 더욱 발전시켜 抵抗 R 에 무게를 붙인 것을 사용하면 入力側에 디지털信號를 가했을 때에 아날로그出力을 얻을 수 있는 디지털 아날로그 變換器에의 응용에도 연결된다.



(그림-12) 加算回路

(3) 正歸還動作과 活用例

(a) 正歸還動作

前述한 바와 같이 그림 10은 오페앰프의 正歸還의 기본회로이다. 그림 10에서 入力電壓 V_i 와 出力電壓의 관계를 구하면

$$V_o = (V_a - V_i)A$$

단, $V_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$ (10)

가 된다.

非反轉入力端子和 反轉入力端子間에서 조금이라도 電位差가 발생하면 增幅되어 出力 V_o 에 나타나며 그 出力電壓이 歸還되어 前述한 入力端子間의 電位差를 크게 하며 그것이 다시 增幅된다. 이것이 반복되어 최종적으로는 出力電壓이 $+V_{cc}$ 나 $-V_{cc}$ 의 電源電壓으로 도달하여 安定化된다.

즉 이같은 回路에서의 出力電壓은 $+V_{cc}$ 나 $-V_{cc}$ 의 상태만이 존재하며 入力電壓에 따라 出力電壓이 연속적으로 변화하는 線形의 상태는 존재하지 않는 것이다.

이같은 동작을 슈미트트리거動作이라고 한다. 그림 10을 예로 入出力관계를 들면 그림 13과 같이 되며 出力電壓이 변화할 때의 入力電壓은 다음 식으로 구해진다.

① $+V_{cc}$ 에서 $-V_{cc}$ 로 변화할 때

$$V_i = (+V_{cc}) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = +5 \text{ [V]} \quad (11)$$

② $-V_{cc}$ 에서 $+V_{cc}$ 로 변화할 때

$$V_i (-V_{cc}) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -5 \text{ [V]} \quad (12)$$

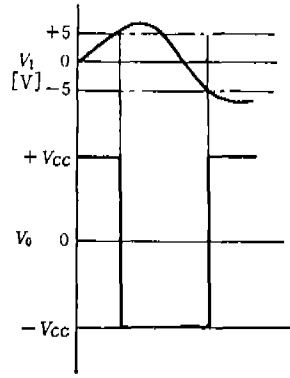
또한 出力電壓 V_o 는 실제로는 電源電壓보다 작을 때 근사적으로 같은 것으로 취급하고 있다.

(b) 슈미트트리거回路

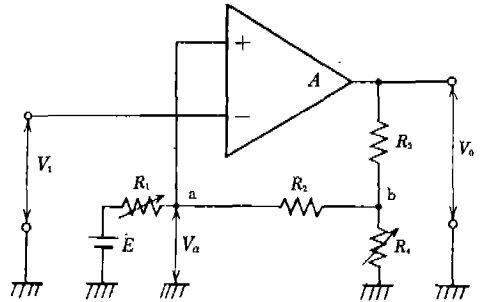
슈미트트리거動作은 入力電壓에 대하여 2개의 判定레벨을 가지고 그 判定結果에 따라 H나 L (ON 또는 OFF)의 2值 出力을 내는 것으로 일반적으로는 릴레이 등의 2值負荷를 驅動할 때에 이용된다.

그림 14는 判定레벨을 임의로 설정할 수 있도록 한 슈미트트리거回路이다.

入力電壓 V_i 와 出力電壓 V_o 의 관계를 圖形的으로 구하면 그림 15와 같이 되며 出力이 反轉할 때의 入力電壓의 값 V_0 나 V_L 은 다음 식과 같이 된다 (단, $R_2 \gg R_3$, R_1 로서 취급하고 있다)

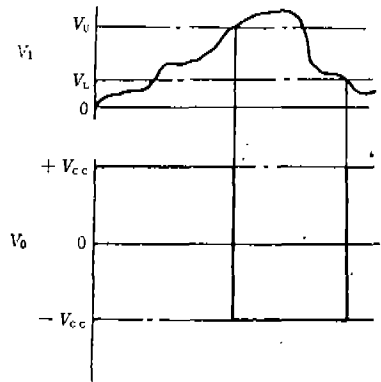


〈그림-13〉 正歸還動作의 入出力波形



(注) $R_1 : 100k\Omega$, $R_2 : 100k\Omega$, $R_3 : 14k\Omega$, $R_4 : 1k\Omega$
 $E : 2V$

〈그림-14〉 슈미트트리거回路



〈그림-15〉 슈미트트리거回路의 入出力波形

① $+V_{cc}$ 에서 $-V_{cc}$ 로 변화할 때

$$V_0 = (+V_{cc}) \cdot \frac{R_1}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.5 \text{ [V]} \quad (13)$$

② $-V_{cc}$ 에서 $+V_{cc}$ 로 변화할 때

$$V_L = (-V_{cc}) \cdot \frac{R_1}{R_3 + R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= 0.5[V] \quad (14)$$

즉 R_1 의 값을 변화시키면 $V_U \cdot V_L$ 間에서 값이 변화하고 R_2 의 값을 변화시키면 $V_U \cdot V_L$ 間의 幅이 변화되어 임의의 判定레벨을 얻게 된다.

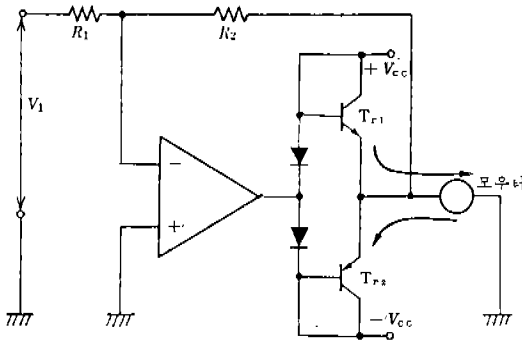
3. 應用例

(1) 모우터의 正逆制御回路

그림 16은 오페앰프의 負歸還動作을 응용한 것으로 反轉增幅器와 電力制御回路를 함께 구성하여 모우터를 제어하는 회로이다.

이 회로에는 R_1 과 R_2 에 각각 $1k\Omega$ 과 $10k\Omega$ 이 붙어 있으므로 增幅度가 10배로 되어 있으며 $0.5V$ 의 入力電壓을 加하면 出力電壓은 $-5V$ 가 되며 또한 $-0.5V$ 의 入力電壓을 加하면 出力電壓은 $5V$ 가 되어 모우터는 正逆으로 運轉制御된다.

또한 모우터에의 電流는 出力電壓이 $-5V$ 인 때에는 트랜지스터 T_{r2} 를 통하여, 또한 出力電壓이 $5V$ 인 때에는 트랜지스터 T_{r1} 을 통하여 공급된다.



(注) $R_1 : 1k\Omega, R_2 : 10k\Omega$

〈그림-16〉 모우터의 正逆制御回路

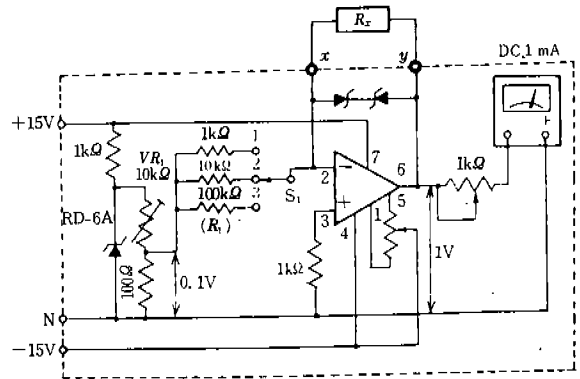
(2) 測定抵抗値의 미터指示回路

그림 17은 未知의 抵抗 R_x 를 測定端子에 접속하여 抵抗을 미터에 지시시키는 것이다.

그림 17에서 入力電壓은 제너다이오드를 통하여 일정한 $0.1V$ 를 印加하도록 되어 있다.

또한 既知의 抵抗 R_1 과 未知의 抵抗 R_x 및 오페앰프로 反轉增幅器를 구성하고 있다.

따라서 다음 식이 성립된다.



S_1 미터의 指示 (1 : $0 \sim 10k\Omega$, 2 : $0 \sim 100k\Omega$, 3 : $0 \sim 1M\Omega$)

〈그림-17〉 測定抵抗値의 미터指示回路

$$R_x = \frac{R_1}{V_1} \cdot V_0 = KV_0 \quad (15)$$

단, S_1 이 스위치 1인 때 : $K=10^4 [\Omega/V]$

S_1 이 스위치 2인 때 : $K=10^5 [\Omega/V]$

S_1 이 스위치 3인 때 : $K=10^6 [\Omega/V]$

(15)式 및 그림 17의 미터 指示內容과 같이 미터는 풀스케일 $1mA$ 가 되도록, 直列의 抵抗은 미터의 内部抵抗도 합쳐 $1k\Omega$ 이 되도록 조정하면 出力電壓으로서는 풀스케일 $1V$ 를 얻을 수 있다. 이 값에 k 를 곱한 것이 구하는 抵抗値를 지시하게 된다.

(3) 溫度調節回路

그림 18에 든 회로는 오페앰프의 正歸還動作을 응용한 것으로 더미스터로 온도를 검출하여 그 檢出電壓을 슈미트트리거回路에 加하여 릴레이를 ON·OFF 시키도록 만든 회로이다. *