

技師會員을 爲한 理論과 實務

● 連 載 ●

메카트로화에 필요한 엘렉트로닉스技術入門

엘렉트로닉스制御(1)

連載「메카트로화에 필요한 엘렉트로닉스技術入門의 第2部로서 엘렉트로닉스制御에 대하여 그 기초와 應用을 기술한다. 한정된 지면관계로 이 分野全般에 대하여 詳述할 수는 없으나 技術者로서 필요한「活用할 수 있는 技術」「發展시킬 수 있는 能力」에 초점을 맞추어 각 분야에서의 要點을 抽出하여 설명하기로 한다.

1. 트랜지스터에 의한 制御

1. 트랜지스터에 의한 制御의 基礎

리니어IC, 디지털IC의 출현으로 트랜지스터의 중요성은 急低下가 된 것 같이 보인다. 확실히 製造코스트, 信賴性은 물론 최근에는 部品코스트面에서도 IC가 優位에 있다.

그러나 消費電力이 문제가 되는 파워 엘렉트로닉스의 分野를 비롯하여 트랜지스터의 각종 용도에의 柔軟性은 그活用面에서 앞으로도 중요한 것이다.

여기서는 메카트로닉스라는 視點에서 트랜지스터의 制御에의 活用技術을 중심으로 설명하기로 한다.

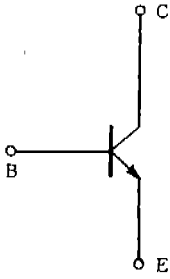
(1) 트랜지스터

트랜지스터가 발명된 이래로 半導體 材料 및 製造프로세스 材料의 발달과 함께 高度化, 高利得化, 高電力化, 高信賴性化를 기하여 그 종류는 分類조차도 곤란할 정도로 많다.

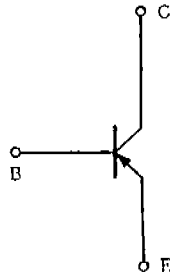
기본적으로는 트랜지스터를 구성하는 N形 不純物 半導體와 P形 不純物 半導體의 구성의 차이에 따라 트랜지스터에는 그림1과 같은 NPN形 트랜지스터와 그림2와 같은 PNP形 트랜지스터로 大別된다.

그러나 이들 兩者는 特性上的 기본적인 차이는 없고 電流의 方向이 모두 반대가 되는 것뿐이므로 PNP形 트랜지스터의 경우에는 加하는 電壓의 方向이나 電流의 方向을 NPN形 트랜지스터와 반대로 생각하면 된다.

따라서 다음의 설명에서는 NPN形 트랜지스터를



〈그림-1〉 NPN형 트랜지스터



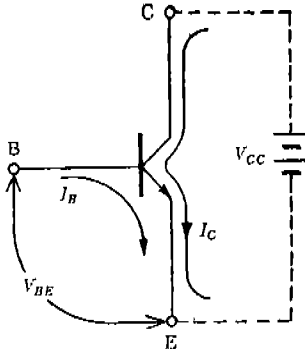
〈그림-2〉 PNP형 트랜지스터

中心으로 한다.

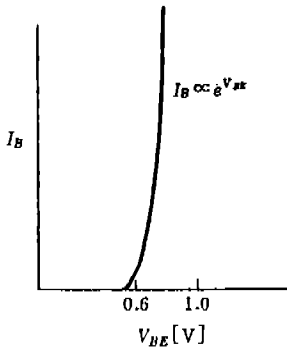
(2) 트랜지스터活用的 基本

트랜지스터를 活用하기 위해서는 먼저 트랜지스터란 어떤 動作을 하는 것인지를 明確히 해야 된다. 實用性에 重點을 두고 간결하게 表現하면 다음과 같이 된다.

그림 3 과 같이 에미터(E), 베이스(B), 콜렉터(C)라는 3개의 電極을 가지고 베이스에미터間에



〈그림-3〉 트랜지스터의 動作



〈그림-4〉 트랜지스터의 $I_B - V_{BE}$ 特性

加해지는 電壓(V_{BE})에 의하여 그림 4의 特性에 든 베이스電流(I_B)가 흐르고 그리고 이 I_B 에 의하여 電源 V_{CC} 가 콜렉터에서 에미터로 흐르는 電流(I_C)를 $I_B \times h_{FE}$ 로 制限하는 것이다(h_{FE} 란 I_C/I_B 이며 電流增幅率이라고 하는 트랜지스터定數이다.)

즉 트랜지스터의 콜렉터와 에미터間에는 電流制限機能이 있고 그림 3의 電壓 V_{CC} 에 아무리 큰 電壓을 加해도 흐르는 電流는 $I_B \times h_{FE}$ 가 되는 것이다.

트랜지스터單體의 基本動作에 대해서는 이것으로 充分하며 이 이외에 필요한 것은 트랜지스터를 이용하는 용도에 대하여 그 機能과 性能을 充足시키는 回路技術과 각 특징을 가진 트랜지스터品種의 선택력이다.

따라서 트랜지스터의 應用分野를 아날로그의인 것과 디지털의인 것으로 크게 分類하여 前者의 기본이 되는 增幅器에의 應用과 後者の 기본이 되는 半導体스위치에의 應用을 들어 回路構成方法 및 트랜지스터品種 선택의 가능성이 되는 트랜지스터 特性에의 要求事項 등을 설명하기로 한다.

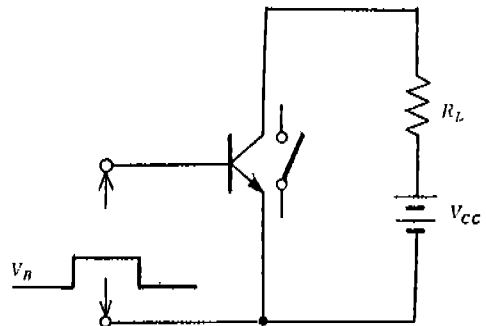
2. 트랜지스터의 半導体스위치에의 應用

半導体스위치란 文字 그대로 半導体를 사용하여 스위칭의 작용을 시킨 것이며 制御分野에서는 가장 重要하고 또한 많이 使用되고 있는 것이다. 여기서는 스위칭素子에의 應用에 대하여 설명한다.

스위치란 電流를 흐르게 하거나 阻止시키거나 하는 作用을 하는 것이다.

트랜지스터는 어떻게 하여 스위치로서의 作用을 하는 것일까. 그 基本回路를 그림 5에 들었다.

그림 5에서 V_B 를 0.6V 정도보다 낮게하면 그림 4의 特性에서와 같이 베이스電流는 흐르지 않는다



〈그림-5〉 트랜지스터의 基本回路

따라서 당연히 콜렉터에 흐르는 電流의 制限値 ($I_B \times h_{FE}$)도 0가 된다. 즉 콜렉터-에미터間은 電流가 흐르는 것을 阻止하는 作用을 하는 것이다.

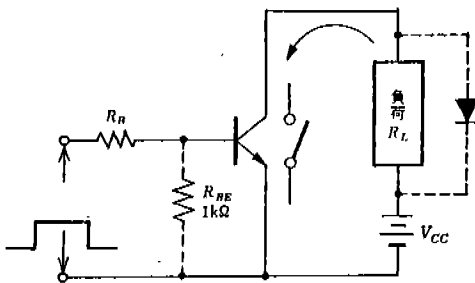
한편 베이스-에미터間에 0.7V 이상의 電壓을 加하여 콜렉터電流의 制限値 ($I_B \times h_{FE}$)를 V_{CC} 에서 供給되는 電流(이 경우에는 V_{CC}/R_L)보다 큰 電流가 흐르도록 設定하면 결국 콜렉터-에미터間에는 電流의 흐름을 阻止하는 作用이 없어진 것이 되며 스위치는 ON의 상태가 된다.

트랜지스터에 이같은 動作을 시키는 것을 스위칭 動作을 시킨다고 한다.

(1) 트랜지스터의 스위칭動作의 應用

트랜지스터의 스위칭動作의 應用으로서는 그 대표적인 것으로서 그림 6과 같이 負荷의 ON·OFF 制御를 들 수 있다. 여기서는 이것을 例로 하여 回路構成上의 문제점 및 필요한 트랜지스터 特性에 대하여 고찰해 본다.

트랜지스터를 사용하여 負荷를 ON·OFF 制御할 경우의 문제점으로서는 여러 가지를 들 수 있는데 우선 그 첫째는 트랜지스터의 耐壓과 電流容量과 消費電力이다.



(그림 - 6) 負荷의 ON·OFF 制御

(a) 耐 壓

트랜지스터가 ON인 때에는 負荷電流가 흘러 負荷에서 電壓降下가 발생하여 콜렉터-에미터間 電壓은 거의 0V (正確하게는 飽和電壓이라고 하는 0.2V 정도의 電壓이 남는다)이며 트랜지스터의 콜렉터-에미터間 耐壓은 문제가 없다. 그러나 OFF인 때에는 負荷에서의 電壓降下가 0이며 V_{CC} 의 電壓이 加해지게 된다.

또한 이 負荷가 L性(인덕턴스成分)을 포함하고

있으면 ON에서 OFF로 이행할 때에 $L \frac{di}{dt}$ 의 逆起電力이 발생하여 상당히 過大한 電壓이 加해진다. 즉 L性 負荷가 아닌 때에는 트랜지스터의 콜렉터-에미터間 耐壓으로서 V_{CC} 이상이 필요해지며 L性인 때에는 逆起電力도 고려한 콜렉터-에미터間 耐壓이 필요해진다(그림 6의 點線으로 표시한 다이오드는 逆起電力을 抑壓하기 위한 것이다).

(b) 電流容量과 消費電力

트랜지스터가 OFF인 때에는 콜렉터電流, $I_C=0$ 따라서 消費電力($V_{CE} \times I_C$)도 0가 되어 문제가 없는데 트랜지스터가 ON인 때에는 $I_C = \text{定格負荷電流}$ 消費電力 = 定格負荷電流 \times 飽和電壓(일반적으로는 0.2V 정도인데 大電流가 되면 1V 정도에 達하는 경우도 있다)이 되어 이에 의한 熱發生에 견디는 것 이라야 된다.

(2) 스위칭動作時的 문제점

스위칭動作時的 문제점의 둘째는 트랜지스터의 不完全性에서 오는 것이다.

트랜지스터는 半導體이며 前述한 特性은 모두 不均一하며 온도에 따라 變化가 발생하고 또한 不必要한 電流를 흐르게 하는 不完全한 것이다. 스위칭動作上 관계가 있는 사항에 대해서는 h_{FE} 의 不均一과 遮斷電流를 들 수 있다.

(a) h_{FE} 의 不均一

예를 들면 그림 6과 같은 回路에서 定格負荷電流를 1A라 하면 h_{FE} 가 100이면 10mA의 베이스電流이면 되는데 실제의 h_{FE} 는 不均一하며 이 베이스電流에서는 負荷電流를 흐르게 할 수 없는 경우가 있다.

따라서 計算値보다는 큰 베이스電流로 設定 해야 된다(일반적으로는 計算値의 3배 정도의 베이스電流를 흐르게 한다)

(b) 遮斷電流

또한 일반적으로 트랜지스터는 콜렉터-에미터間에 電流가 흐르지 않는다고 생각하고 있다. 그러나 完全한 絶緣物이 아니기 때문에 약간의 電流가 흐른다. 더구나 電流는 溫度上昇에 의하여 급격히 증대하는 것이다. 이 電流를 遮斷電流라고 한다. 그리고 이 電流는 그림 6과 같이 R_B 가 接續되고 있는 경우에는 베이스에 流入되게 되며 h_{FE} 배의 값이 되

어 콜렉터-에미터間에 흐르며 스위치 OFF의 상태를 파괴해 버리는 것이다. 이것을 防止하기 위해 일반적으로는 點線과 같이 베이스-에미터間에 $1k\Omega$ 정도의 抵抗(R_{BE})을 붙여 스위치 OFF時에는 이 電流가 베이스에 流入되지 않도록 하고 있다.

3. 트랜지스터의 增幅素子로서의 利用 方法

트랜지스터를 增幅素子로서 利用할 場合의 代表로서는 電力增幅器와 電壓增幅器가 있다. 이 이외의 回路도 이 두 가지를 다시 應用하고 있다고 생각할 수 있다.

따라서 여기서는 이 두 가지에 主眼을 두고 스위칭動作時와 같은 요령으로 설명한다.

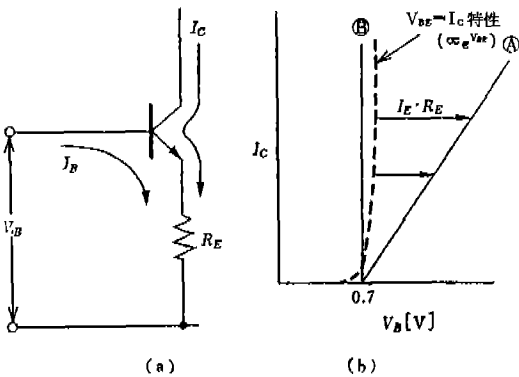
(1) 트랜지스터의 增幅素子에의 應用的 課題

스위칭動作에의 應用時에는 그 동작이 ON, OFF 등의 간단한 것이었기 때문에 利用上의 문제점은 있었으나 그림 4와 같은 非直線性에 대해서는 별로 문제가 없었다. 그러나 增幅素子로서 利用할 場合에는 入出力관계에 일그러짐이 없어야 한다는 것이 大前提이며 이 非直線性이 큰 문제가 된다.

즉 非線形의 것을 線形素子로서 취급할 수 있도록 하는 것이 增幅素子에의 應用的 최대과제이다.

트랜지스터를 線形素子로서 취급할 수 있도록 하기 위한 基本은 에미터에 抵抗을 넣는 것이다.

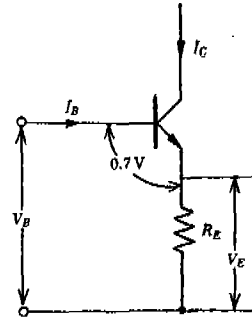
에미터에 抵抗을 넣음으로써 抵抗을 포함한 트랜지스터의 特性은 $(I_B + I_C) \cdot R_E$ 의 電壓降下가 加해져 그림 7 (b)의 實線과 같이 경사진 것으로 된다. 이에 의하여 다음의 두 가지를 말할 수 있게 된다.



(그림-7) 트랜지스터의 特性

① 抵抗 R_E 도 포함한 回路特性이 근사적으로 거의 直線素子 ①(그림 7 (b))로서 취급할 수 있다.

② 트랜지스터의 特性이 ②(그림 7 (b))와 같이 0.7V의 定電壓特性으로서 근사시킬 수 있게 되며, V_B 의 값에서 콜렉터電流를 그림 8과 같이 간단히 求할 수 있게 된다. 이것이 增幅器에의 트랜지스터 應用的 基本이다. 따라서 반대로 에미터回路에 抵抗이 없는 트랜지스터回路는 모두 스위칭動作에의 應用이라고 보면 된다.



(注) (1) $V_{BE} \approx 0.7(V)$
이므로 V_E 는 $V_B - 0.7$ 이 된다.
(2) R_E 에서의 電壓降下가 $V_B - 0.7$ 이므로 $I_B + I_C$ 는 $(V_B - 0.7) / R_E$ 가 된다.
(3) $I_B = I_C / h_{FE}$ 이므로 $I_C = \frac{(V_B - 0.7) / R_E}{1 + 1/h_{FE}} \approx \frac{V_B - 0.7}{R_E}$ 가 된다

(그림-8) 콜렉터電流의 算式

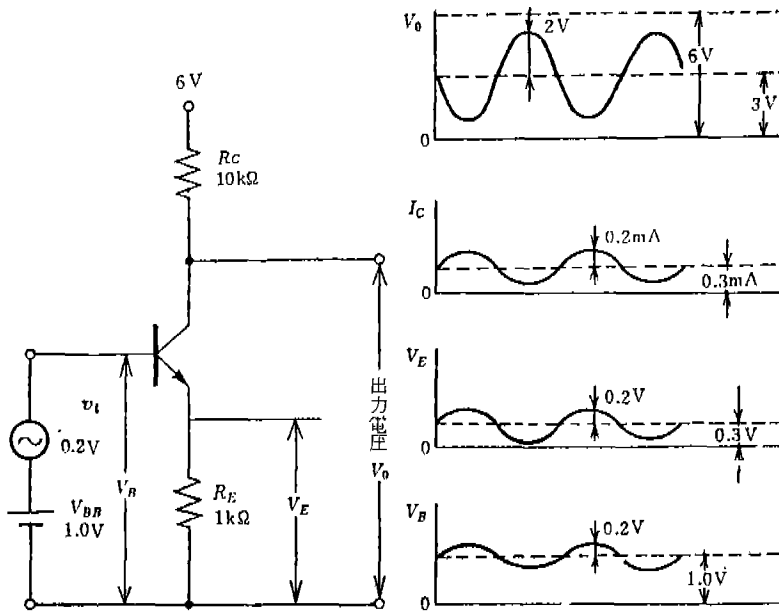
(2) 電壓增幅器에의 應用

에미터 抵抗을 넣음으로써 V_B 의 값에 따라 I_C 가 거의 直線적으로 變化하는 것을 설명했는데 이 콜렉터回路에 抵抗을 넣으면 電壓增幅器가 된다. 그림 9에 基本 增幅回路과 0.2V의 入力信號電壓 v_i 를 加했을 때의 電壓-電流關係를 들었다. 入力信號電壓의 0.2V가 出力에서는 2V의 振幅으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 그림 5의 요령에 따라 각종의 電壓, 電流值를 알아본다.

여기서 V_{BB} 의 電壓은 V_{BE} 가 0.7V 이하에서는 I_B 가 흐르지 않기 때문에 그 범위를 제외하고 使用하기 위해 加하는 電壓이며 일반적으로 바이어스(編倚)電壓이라고 한다. 이 電壓은 V_{CC} 에서 抵抗分壓에 의하여 만드는 것이 通例이다.

(3) 電力增幅器에의 應用

電力增幅器란 電力($v \times i$)을 增幅하는 것인데 機能面에서 구체적으로 말하면 電壓增幅器에서의 出力電壓을 가령 낮은 負荷抵抗이라도 出力電壓을 내리지 않고 負荷에 전달하는 것이라고 할 수 있다

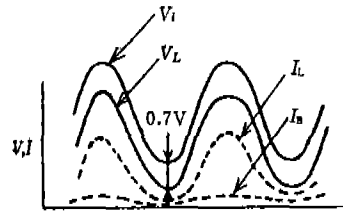


(그림-9) 電壓과 電流의 관계

(그림 9의 경우에 出力端子間에 낮은 抵抗을 접속하면 R_c 와의 電壓分割에 의하여 低下된다).

한편 電壓增幅器와 마찬가지로 일그러짐의 발생을 억제하기 위해 에미터回路에 抵抗을 넣을 필요도 있다.

여기서 兩쪽을 만족시키는 回路로서 그림 10과 같은 回路가 일반적으로 사용된다. 그림 11에 各部의 電壓, 電流波形을 들었는데 負荷에 加해지는 信號電壓은 V_i 와 같은데 負荷에 供給하는 電流 I_L 은 I_B 의 $(1+h_{FE})$ 배가 되어 있다. 즉 電流增幅을 기본으로 한 電力增幅을 하고 있는 것이다.



(註) $I_L = I_B + I_C = I_B (1 + h_{FE})$

(그림-11) 各部의 電壓, 電流波形

4. 應用例

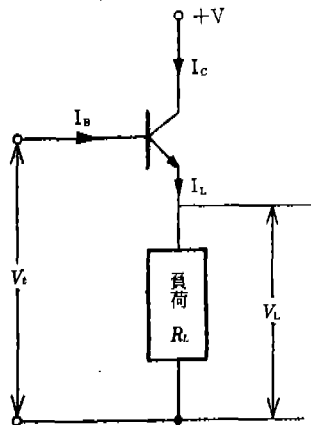
(1) 빛을 이용한 物体의 檢出

그림 12는 發光다이오드(LED)에 의한 發光부와 호트트랜지스터에 의한 受光部사이를 物体가 통과하면 그것을 檢출하여 릴레이를 ON·OFF 시키는 回路이다.

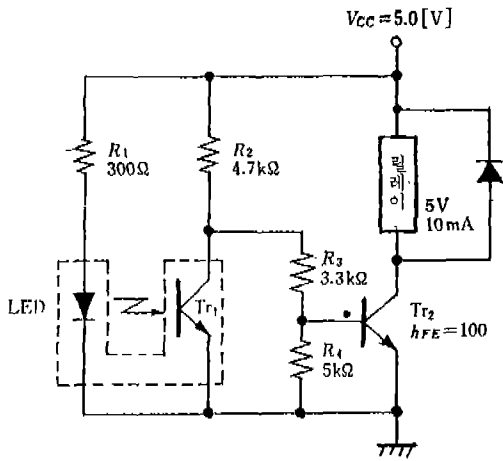
① LED에는 일반적으로 2V의 電壓降下가 있기 때문에 LED에는 $I = (5 - 2) / 300 = 10$ (mA)의 電流가 흘러 發光하고 있다.

② 物体가 通過하여 빛을 차단하면 호트트랜지스터 T_{r1} 은 OFF가 되고 T_{r2} 콜렉터電流는 다음 식의 값으로 制限된다.

$$I_{C2} = I_{B2} \times h_{FE} = \{ (5 - 0.7) / (4.7k\Omega + 3.3k\Omega) - 0.7 / 5k\Omega \} \times h_{FE} = 39 \text{ (mA)}$$



(그림-10) 에미터回路에 抵抗을 넣는다



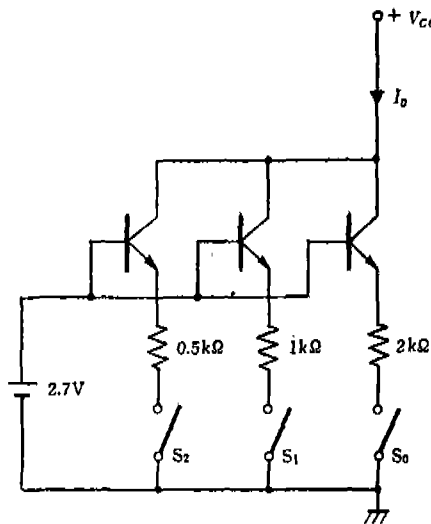
〈그림-12〉 릴레이를 ON·OFF시키는 회로

③ 릴레이의定格電流는制限値를下廻하고 있으며 T_{r2} 는 ON이 되어 릴레이에 약 5V의電壓이加해져 작동한다.

(2) 디지털-아날로그變換器

그림 13은 스위치($S_2 \sim S_0$)를 ON, OFF함으로써 2進 3자리의 디지털入力を 아날로그의電流値로變換하는 것이다.

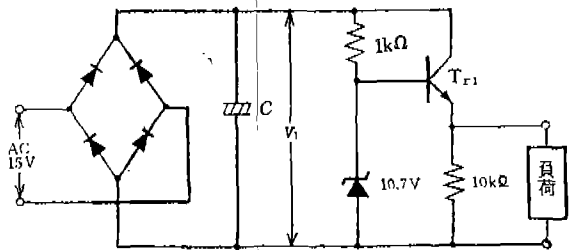
각각의 스위치를 모두 ON으로 했을 때의電流値 I_0 는 $I_0 = (2.7 - 0.7)/R_E$ 로 표시되며 또한 複數의 스위치를 동시에 ON으로 했을 때에는 그代數和을



〈그림-13〉 디지털入力を 아날로그로變換하는 회로

〈표-1〉 스위치入力에 따른 아날로그電流値

S_2	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
S_1	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
S_0	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
I_0 [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7



〈그림-14〉 電力增幅回路를 應用한 安定化電源回路

로 되며 표 1과 같은 스위치入力에 따른 아날로그電流値를 얻을 수 있다.

(3) 安定化電源回路

그림 14는 電力增幅回路를 應用하여 安定化電源回路를 구성한 것이다.

電力增幅回路 T_{r1} 의 入力電壓이 제너다이오드에 의하여 10.7V로 固定되어 있기 때문에 그出力電壓은 10V로 固定되며 安定化電源回路가 얻어진다. 단, 整流回路의 出力電壓은 항상 11V 이상의 電壓이 나오도록 整流, 平滑되어 있어야 한다. *

