

시퀀스 제어의 기본회로 및 전동기 운전회로(Ⅵ)



글/최완호
(한국산업기술원 전문위원)

Ⅵ. 각종 반도체 특성 및 제어회로

체라 한다.

1. 반도체의 정의

물질은 전기가 잘 통하는가 통하지 않는가에 따라 도체와 부도체로 나뉘어지며 고유저항(저항률)의 크기에 따라 $10^{-4}(\Omega m)$ 이하의 것을 도체, $10^7(\Omega m)$ 이상의 것을 부도체(절연체), 이 사이의 것을 반도체라 한다.

-반도체

1) 진성 반도체 : 최외각 전자가 4인 원소
- 게르마늄, 실리콘

2) 불순물 반도체

- P형 반도체 : 4족 원소+3족 원소(In, Ga, B)
- N형 반도체 : 4족 원소+5족 원소(Sb, As)

1항	2항	3항	4항	5항
숫자	문자(영자 S)	문자(영자)	(숫자)	문자(영자)

예) 2 S C 1000 A

- 5항 : 원형 제품의 개량형을 나타내고 A, B, C순으로 쓰인다.
- 4항 : 등록된 순번을 나타내며 11부터 시작되는 2행 이상 숫자
- 3항 : 반도체 제품의 종류, 극성, 대략적인 용도를 나타낸다.
- 2항 : S반도체(Semiconductor)를 나타낸다.

1항 : 유효 전극에서 1을 뺀 숫자로서 숫자에 따라 다음과 같다.

- 0 : 바리스터, 서미스터, cds셀
- 1 : 다이오드
- 2 : 트랜지스터, FET, 사이리스터(SCR, TRIAC)
- 3 : 4극 전계 효과 트랜지스터

※ 3항에 사용하는 영자의 내용

- | | | |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A : PNP 고주파 트랜지스터 | B : PNP 저주파 트랜지스터 | C : NPN 고주파 트랜지스터 |
| D : NPN 저주파 트랜지스터 | F : P게이트 3극 역전지 사이리스터(SCR) | G : N게이트 3극 역전지 사이리스터(SCR) |
| H : UJT | J : P채널 FET | K : N채널 FET |
| M : 3극쌍방향성 사이리스터(TRIAC) | | |

<그림 1> 반도체의 형명 붙이는 법

2. 반도체의 형명 붙이는 법

형명 구성은 5항으로 되고 그림 1과 같다.

3. 반도체의 종류

반도체 재료로서는 실리콘이나 게르마늄이 주체가 되어 있으나 이 밖에 화합물 반도체로서 서미스터나 바리스터 등이 주역이 되어 있고 일반적으로 접합수가 1개인 다이오드나 2개인 트랜지스터가 반도체 소자의 대표적인 것으로 알려져 있다. 여기원(勵起源)에서 본 경우 전압, 전류에 의하는 것이 태반을 차지하며 광여기(光勵起)에 의한 소자도 비교적 많이 차지한다.

4. 다이오드(Diode : D)

P형 반도체와 N형 반도체 또는 반도체와 금속을 접합시키면 전류가 한쪽 방향으로 잘 흐르나, 반대방향으로는 잘 흐르지 않으므로 정류 작용을 하게 된다. 이러한 것을 다이오드(Diode)라 한다.

※ 다이오드의 종류

-구조상으로

- 점 접촉형 : IN60, IN34A 등
- 점합형 : 합금 점합형, 확산 점합형

-용도상으로

- 검파용 다이오드 :

- 게르마늄 다이오드 : IN60, IN34A

- 실리콘 다이오드

• 정류용 다이오드 : 10DI, IS 1885 등

• 브리지 다이오드 : M4C-1, WDZ, 5BZ 등

• 스위칭 다이오드 : IS 1588

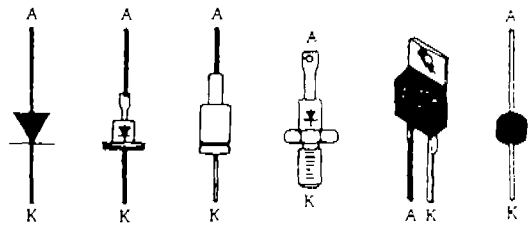
• 발광 다이오드(LED) : TLR103, TLG103 등

• 제너 다이오드(정전압 다이오드) : RD5A

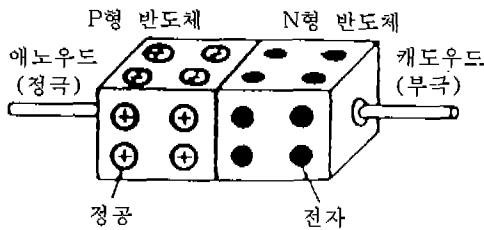
• 기타 : 터널 다이오드(E, b), 광전 다이오드, 가변 용량 다이오드

1) PN접합 다이오드

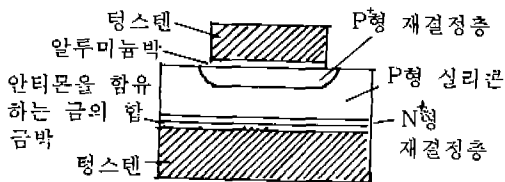
(a) 구조 및 외형과 극성 : 그림 2와 같이 P형과 N형 반도체를 접합시킨 것을 PN 접합이라고 하며 P형 반도체측을 애노드(anode : 양극), N형 반도체측을 캐소드(cathode : 음극)라 하며 P형에서는 정공, N형에서는 전자가 존재하게 된다. 그림 3은 다이오드의 각종 모양과 기호이다.



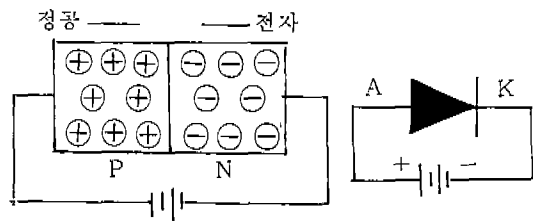
<그림 3> 다이오드의 각종 모양과 기호



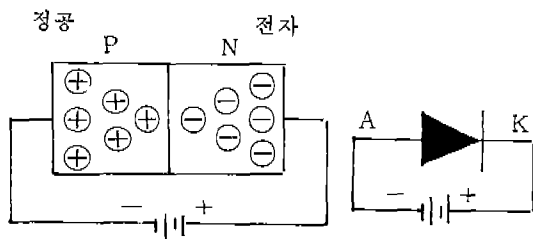
(a) PN접합



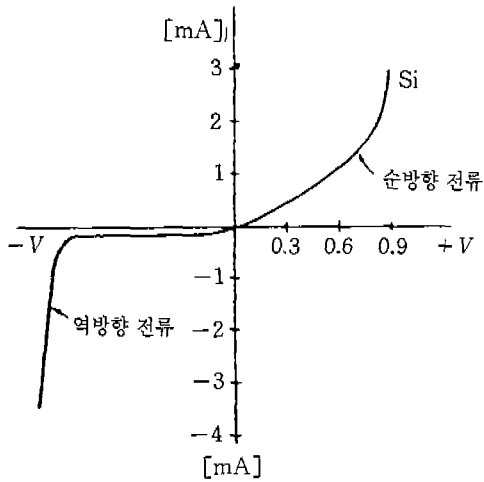
<그림 2> PN 접합과 내부구조



<그림 4> PN 접합에 순방향 전압을 가했을 때



<그림 5> PN 접합에 역방향 전압을 가했을 때



<그림 6> PN 접합의 전압, 전류 특성(실리콘 다이오드 경우)

(b) 동작 및 특성 : PN 접합 다이오드에 그림 4와 같이 P형에 (+), N형에 (-) 전압을 가하면 정공과 전자는 상대방의 전극에 끌려 전류가 흐르게 되며 이를 순방향 특성이라 하고 그림 5와 같이 전압을 걸면 정공은 (-)의 단자로 전자는 (+)의 단자로 끌리어 접합면에 공핍층이 생겨 전류가 거의 흐르지 않는다. 이를 역방향 특성이라 한다. 이들의 전압 전류 특성은 그림 6과 같다.

(c) 다이오드의 극성 및 양부 판별법

㉠ 그림 7(a)의 그림과 같이 회로 시험기의 -단자(검은색 리드봉)에는 내부 전지의 +극성이 걸려 있고 +단자(빨간색 리드봉)에는 -극성이 걸려 있으므로 회로 시험기의 레인지를 저항 측정 레인지에 놓고 그림 7(b)와 같이 접속하면 순방향이 되

어 저항이 작고 그림 7(c)와 같이 접속하면 역방향이 되어 저항이 크다. 순방향과 역방향의 저항비가 클수록 좋은 다이오드이다.

㉡ 다이오드가 파괴되거나 불량품은 바늘이 움직이지 않는다.

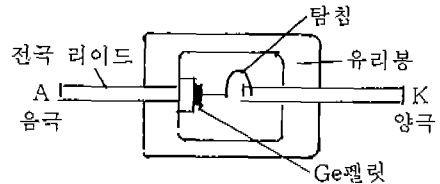
㉢ 극성은 바늘이 움직일 때(순방향) 흑색봉(내장 전지의 +쪽)이 양극이 되고 적색봉을 댄 곳이 음극이 된다.

2) 점 접촉형 다이오드

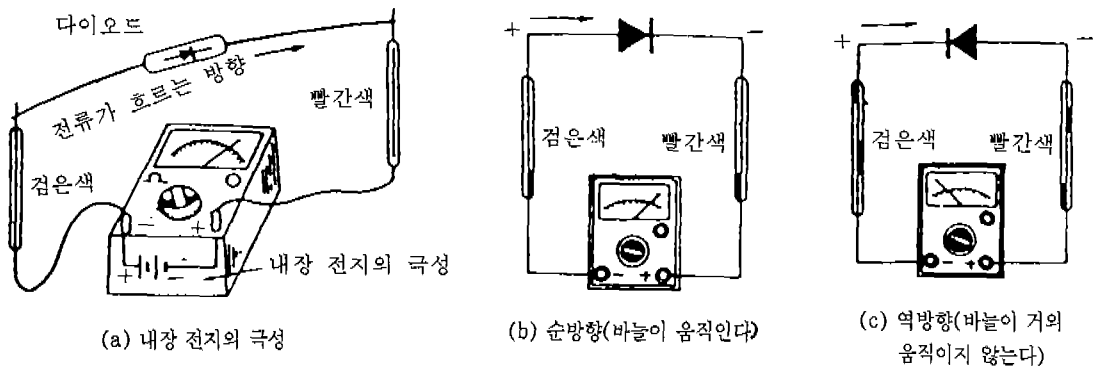
그림 8과 같이 펠릿으로 N형과 Ge가 사용되고 끝을 뾰족하게 한 W-Me 등의 합금으로 일정한 압력으로 펠릿 면에 접촉시킨다. 이 다이오드는 구조가 간단하고 값이 싸서 대량 생산이 가능하지만 내진동 등 기계적 특성에 미치는 영향이 크다는 결점이 있다.

3) 브리지 다이오드

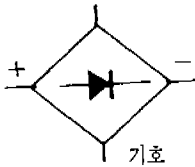
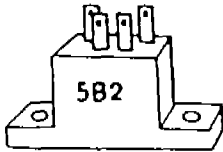
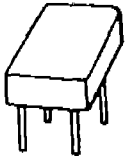
정류에는 반파 정류와 전파 정류가 있으며 전파 정류시 권선이 하나면 정류 회로를 구성할 수 있도록 브리지 회로를 사용하는데 이때 다이오드 4개를 하나로 패키징한 것으로 그림 9와 같은 모양으로 극성은 케이스에 (+)(-)의 표시가 되어 있다.



<그림 8> 점 접촉형 다이오드의 내부구조



<그림 7> 다이오드의 극성 검사 및 양부 판별법

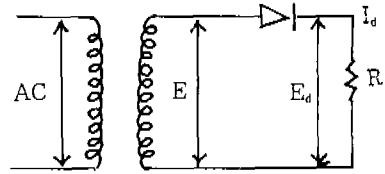


<그림 9> 브리지 다이오드의 외형 및 기호

4) 발광 다이오드(LED)

(a) PN 접합에 순바이어스를 걸어 전류를 흘림으로써 각기의 파장으로 발광하는데 인가 전압은 1~1.6V, 전류는 5~50mA 정도로 충분히 사용할 수 있는 광에너지 조명이 되며 응답 속도는 빨라 100ns의 응답 특성을 가지고 있다. 여기에 사용되는 반도체 재료에 따라 빛의 색깔이 다르며 Ga, As는 적색, GaP는 적색, 녹색 등의 색깔이 나온다.

(b) 발광 다이오드 구조와 극성 판별법: 발광 다이오드 내부 구조는 그림 10(a)와 같으며 TLR103, TLG103 등이 있고 극성은 그림 10(b)와 같이 다리가 굵거나 길면 음극(캐소드 : cathode)이고 가늘거나



<그림 11> 단상반파 정류회로

짧은 쪽이 양극(애노우드 : anode)이다.

5) Diode 정류회로

(a) 단상반파 정류회로(그림 11)

직류평균전압 $E_d = 0.45E$

E : 변압기 2차측교류 실효값

$$\text{직류평균값 } I_d = \frac{E_d}{R} A$$

직류회로에서는 R만이 E_d 나 I_d 를 변화시킬 뿐이고 L과 C는 직류평활화 작용만 할 뿐이다.

반도체 회로에서는 역점을 두고 설계해야 할 부분이 PIV(Peak Inverse Voltage)첨두역전압이다.

Diode에 걸리는 최대역전압 $PIV = \sqrt{2}E$ 이다.

예를 들어 변압기 2차측 교류 실효값이 10V라면 Diode 첨두역전압은 14.14V 이상이어야 된다.

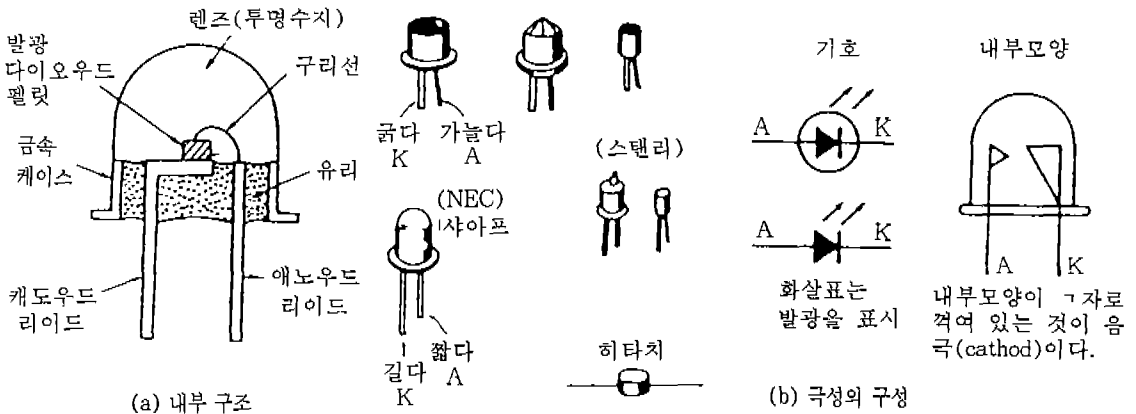
약 14.14V 미만일 때는 Diode가 빨리 파괴된다.

(b) 단상전파 정류회로(그림 12)

직류평균전압 $E_d = 0.9E$

$$\text{직류평균전류 } I_d = \frac{E_d}{R} A$$

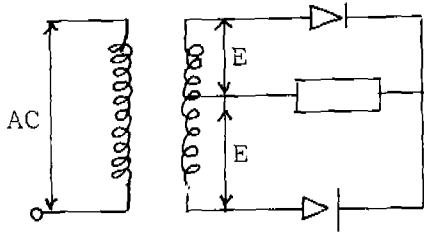
(a) 회로의 $PIV = 2\sqrt{2}E$ 이고 (b) 회로의 $PIV =$



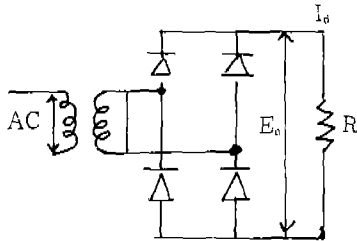
<그림 10> 발광 다이오드의 내부 구조와 외형 및 기호

$\sqrt{2}E$ 이다.

단상전과 정류회로에서 변압기 용량면이나 PIV

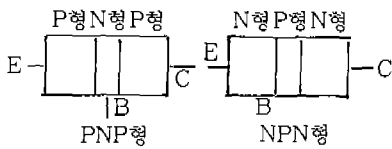


(a) 단상전과 정류회로

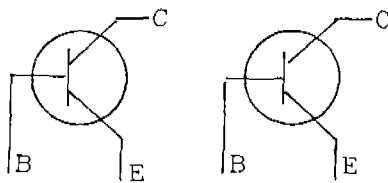


(b) 단상전과 브리지회로

<그림 12> 단상전과 정류회로



(a) 구조



(b) 기호

<그림 13> 트랜지스터의 구조와 기호

면에서 보았을 때 브리지회로가 유리하기 때문에 브리지회로를 많이 쓰고 있다.

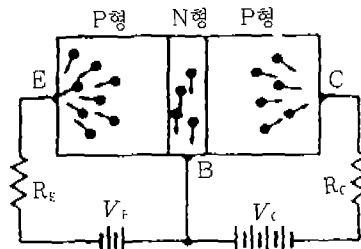
5. 트랜지스터(Transistor : TR)

1) 트랜지스터의 구조 및 외형과 극성

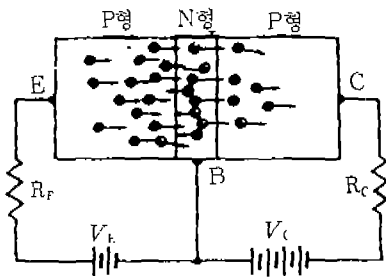
그림 13과 같이 NPN형과 PNP형이 있고 가운데 있는 것을 베이스(base : B)라 하고 양쪽 2개 중 하나를 이미터(emitter : E), 다른 하나를 컬렉터(collector)라 한다. 그림 14는 여러가지 트랜지스터의 외형과 극성을 표시한다.

2) 트랜지스터의 동작 원리

그림 15와 같이 PNP형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이이다.

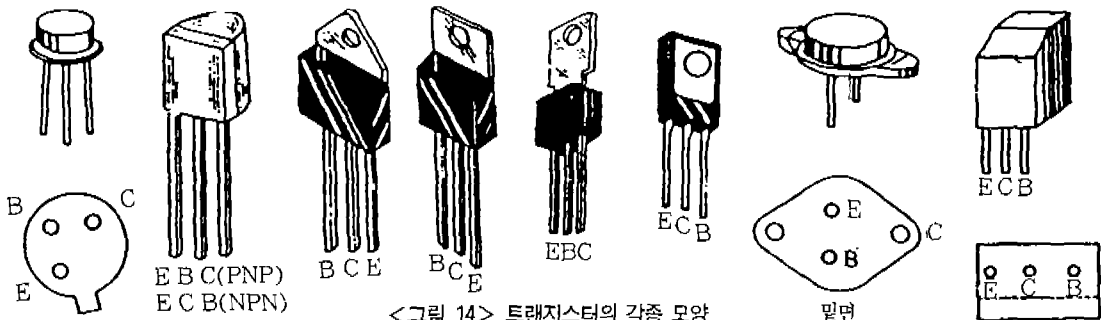


(a) 차단 상태

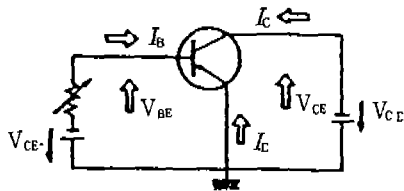


(b) 통전 상태

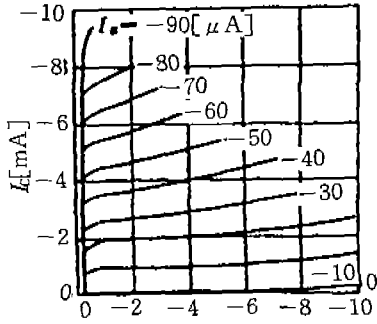
<그림 15> 트랜지스터의 작용



<그림 14> 트랜지스터의 각종 모양



(a) 이미터 접지 회로



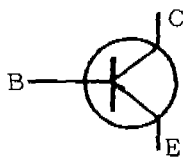
(b) 이미터 접지 회로의 출력 특성

<그림 16> 트랜지스터의 정특성

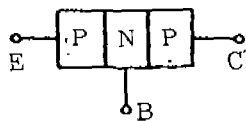
베이스와 컬렉터 사이에 역전압을 가하면 전류가 흐르지 않게 되는데 이를 차단 상태라 하며 그림 15(b)와 같이 이미터와 베이스 사이는 순방향 전압을 가하고 베이스와 컬렉터 사이는 역방향으로 전압을 가하면 이미터와 베이스 사이의 순방향 전압에 의해 이미터의 정공은 베이스 쪽으로 흐른다. 이때 베이스의 폭은 수십 μm 이하이므로 베이스에 주입되는 정공의 약간만 전자와 재결합하고 나머지는 베이스와 컬렉터 사이의 역전압에 의해 컬렉터로 주입되어 전류가 흐르게 된다. 이 상태를 통전 상태라 한다.

3) 트랜지스터의 정특성

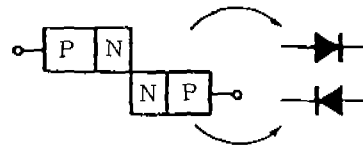
그림 16와 같이 이미터 접지 회로를 구성하고 베이스 전류 I_B 를 어떤 값으로 고정시키고, 컬렉터 전압 V_{CE} 를 변환시키면 컬렉터 전류 I_C 가 변화한다.



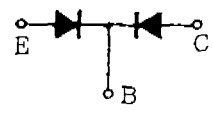
(a) 기호



(b) 구조



(c)



(d)

<그림 18> PNP형 트랜지스터의 양부 판별법

2 S C 372

↑ 넷째항 : 등록된 순번을 표시
 ↑ 셋째항 : 트랜지스터의 종류 - A, B, C, D로 표시
 둘째항 : 반도체(semiconductor)의 첫 S자 표시
 첫째항 : 유효 전극에서 1을 뺀 수 - 즉 전극이 3개임을 표시

<그림 17> 트랜지스터 형명 붙이는 법

다음에 베이스 전류 I_B 를 다른 값으로 고정시키고 컬렉터 전압 V_{CE} 를 변화시켜 컬렉터 전류 I_C 의 변화를 보면 그림 16(b)와 같이 되는데 이것을 출력 특성이라고 한다. 이와 마찬가지로 컬렉터 전압 V_{CE} 를 어떤 값으로 고정시키고 베이스 전류 I_B 와 베이스전압 V_{BE} 관계를 그릴 수 있는데 이를 입력 특성이라 하며 이러한 입력 특성과 출력 특성을 트랜지스터의 정특성이라고 한다. 그리고 이미터와 컬렉터 사이의 전류 증폭률을 α , 베이스와 컬렉터 사이의 전류 증폭률을 β 라 할때 $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ 의 식이 성립하며 보통의 트랜지스터에서 α 는 0.95~0.99, β 는 20~100 정도 된다.

4) 트랜지스터 형명 붙이는 법

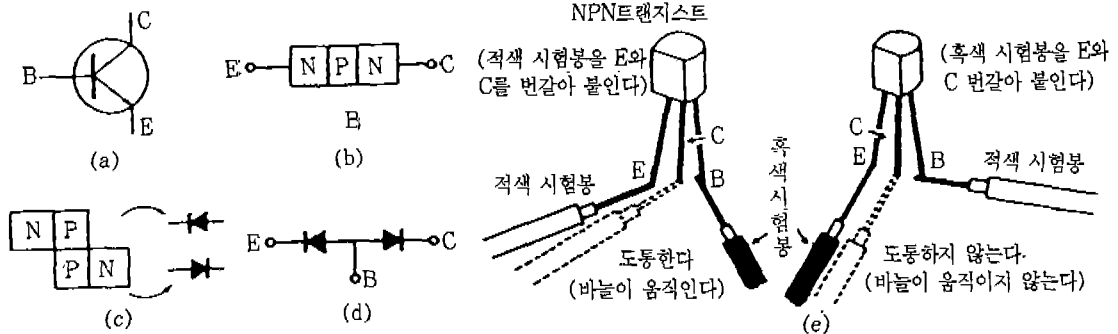
트랜지스터의 형명 구성은 4항으로 되고 각 항을 그림 17와 같이 표시한다.

5) 트랜지스터 양부 판별법

회로 시험기의 레인지 스위치를 저항 측정 레인지 중 $R \times 10$ 이나 $R \times 100$ 으로 놓는다. $R \times 1000$ 은 내장 전지가 22.5V이므로 전류가 너무 많이 흐른다. $R \times 10$ 이나 $R \times 100$ 은 내장 전지가 3V이다.

(a) PNP형인 경우 : PNP 형의 경우는 그림 18(d)와 같이 2개의 다이오드가 E와 C에서 B로 향하여 조합된 것이라고 생각할 수 있다. 따라서

① E와 B에 순방향 전압(E에 +전압 : 테스트의 흑색봉)을 걸어 E에서 B방향으로 도통을 확인한다.

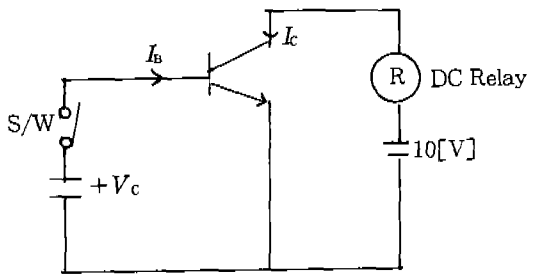


<그림 19> NPN 트랜지스터의 양부 판별법

- ㉠ B에서 E방향으로 부도통을 확인한다.
 - ㉡ C와 B에 순방향 전압(C에 +전압: 테스트의 흑색봉)을 걸어 C에서 B방향으로 도통을 확인한다.
 - ㉢ B에서 C로 부도통을 확인한다.
- 이것으로 어느 쪽도 도통하는 것 같으면 그 다이오드가 낡은 것이므로 트랜지스터는 불량품이다.
- ㉣ 맨 마지막으로 E에서 C 또는 C에서 E방향의 저항이 무한대나 고저항 값이면 좋다.

(b) NPN 형인 경우 : NPN 형의 경우는 PNP 형과는 반대로 그림 19(d)와 같이 2개의 다이오드가 B를 중심으로 E와 C를 향해 흘러나간다고 생각한다. 따라서,

- ㉠ PNP와 같이 B에서 E방향으로 순방향 전압(B가 +, 흑색봉)을 걸었을 때 도통 또 B에서 C방향도 도통 확인하고,
- ㉡ E에서 C방향과 C에서 E방향이 불통임을 확인한다.
- ㉢ 마지막으로 E에서 C 또는 C에서 E방향의 저항이 무한대(∞) 또는 고저항값을 나타내면 좋은 것이다.



<그림 20> NPN TR을 이용한 S/W 회로

6) 트랜지스터의 극성을 찾는 방법

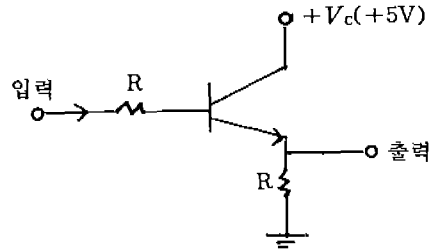
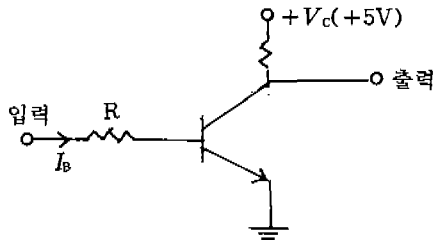
앞의 양부 판별법과 같은 2개의 다이오드 성질을 이용하여 PNP형일 경우 3개의 다리 중 한 개의 다리로 양쪽에서 도통되면 (E에서 B 또는 C에서 B) 그 다리가 베이스(B)가 되고 베이스를 일단 찾은 후 베이스와 나머지 두 다리의 저항을 재어 보아서 일반적으로 저항값이 작은 쪽을 이미터(E), 큰 쪽을 컬렉터(C)로 잡으나 꼭 이 방법이 원칙이 되지는 않는다.

7) NPN을 이용한 Switching 작용(그림 20)

- (a) On작용 : S/W를 On하면 Tr 베이스에 전류가 흐르게 되며 이때 컬렉터에서 에미터로 전류가 흐르게 되어 Dc Relay가 여자된다. 이 작용은 Relay에서 보았을 때 On 작용이다.
 - (b) Off 작용 : S/W를 Off하면 Tr 베이스에 전류가 흐르지 않게되어 컬렉터에서 에미터로 전류가 흐르지 않게되어 Dc Relay는 Off된다.
- 자동제어에서 이용되는 Tr은 거의 대부분 Switching 작용이다. 그리고 PLC 출력 모듈 종류에 있는 Tr 출력 모듈 또한 On, Off 작용이다.

8) Tr을 이용한 출력회로(그림 21)

입력이 0이면 전원전압 +5V가 출력전압으로 나타나게 되나 입력이 1이면 Tr 베이스에 전류가 흐르게 되어 컬렉터에서 에미터로 전류가 흐르게 되어 전원전압 +5V가 ㉠점과 ㉡점에 전압이 다 걸리게 되어 출력단에 전압이 나타나지 않게 된다. 그러므



<그림 21> TR을 이용한 출력회로

로 이 회로는 NOT 회로이다.

Tr 입력 베이스에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에서 에미터로 전류가 흐르지 않으므로 출력단에 전압이 발생되지 않으며 Tr 베이스에 전류가 흐르면 출력단에 전압이 발생된다.

6. SCR

(a) SCR란 반도체 스위칭 소자의 일종으로 그림 22(a)와 같은 그림 기호로 나타내며, 애노드(A), 캐소드(K), 게이트(G)라는 3개의 단자를 가지고 있다. 그리고 그림 22(b)와 같이 AK 사이가 스위치의 점접 동작을 한다.

(b) 따라서 그림 22(c)와 같이 전원과 부하와 SCR의 A-K간을 접속해 두면 SCR를 On, Off시키는 것에 의하여 부하를 On-Off 제어할 수가 있게 된다.

(c) SCR의 동작(그림 23)

① SCR는 애노드(A)-캐소드(K)간에 순방향 전류가 흐르게 전원 전압 V_{cc} 를 가해 두고 게이트로부터 캐소드의 방향으로 게이트 전류를 흐르게 하면 AK간이 On의 상태가 된다.

그리고 한번 On이 되면 게이트 전류를 0으로 하여도 On상태는 유지된다.

② SCR를 On으로 하기 위하여 필요한 게이트 전류 I_g 의 값과 게이트-캐소드간 전압 V_g 의 값을 각각 게이트-트리거 전류, 게이트-트리거 전류라고 한다.

③ SCR를 On으로 한 후 원래의 Off 상태로 되돌리려면 애노드 단자에 흐르고 있는 전류(I_a)를 어떠한 값 이하로 할 필요가 있다.

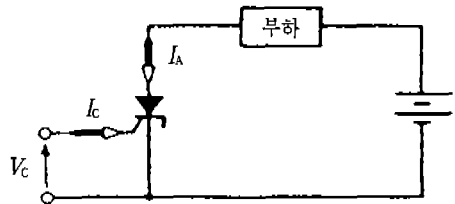
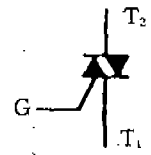
이 전류값을 유지전류라고 한다.

(d) SCR에 의한 On-Off 제어

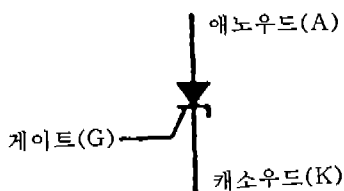
그림 24(a)와 같이 교류 전원을 사용한 회로에 게이트-트리거 전압을 가하면 그림 24(b)와 같은 동작을 하여 부하를 On-Off 제어할 수 있다.

(e) 트라이악

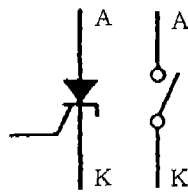
트라이악은 그림과 같은 그림 기호로 나타내며 T_1 , T_2 , G의 3개의 단자를 가지고 있다.



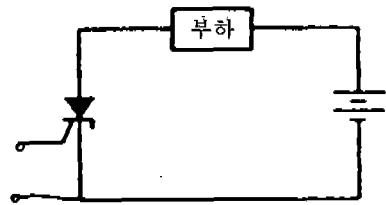
<그림 23> SCR의 동작



(a) SCR의 그림 기호

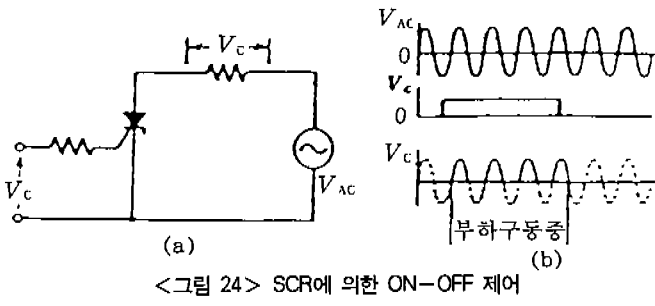


(b)

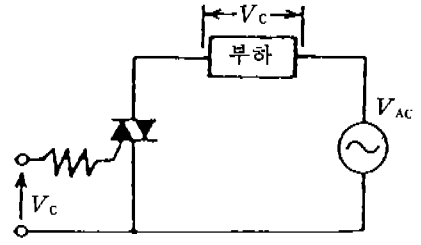


(c)

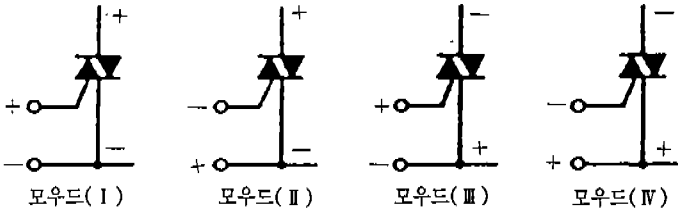
<그림 22> SCR의 동작



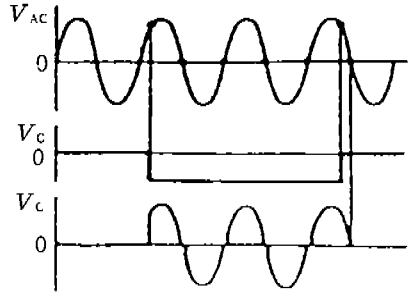
<그림 24> SCR에 의한 ON-OFF 제어



<그림 26> 트라이악에 의한 ON-OFF 제어



<그림 25>



그리고 T_1 , T_2 사이가 스위치의 점접 동작을 한다.

7. 트라이악의 동작

(a) 트라이악은 T_1 , T_2 간에 전압이 가해져 있으면 그 극성에 관계없이 게이트·트리거 전압을 가하는 것에 의하여 On으로 할 수가 있다.

그리고 이 게이트·트리거 전압의 극성에도 제약은 없다.

(b) 트라이악을 On으로 하는 상태에는 그림 25와 같이 4가지가 있다.

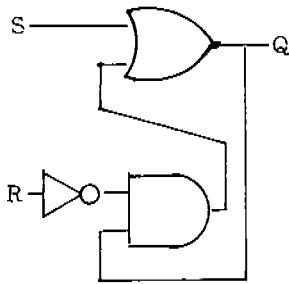
(c) 그러나 여기서 모드(III)에 대해서는 게이트 감도에 불안정한 것이 있기 때문에 일반적으로는 사용하지 않도록 하고 있다.

(d) 따라서 전원에 교류 전압을 사용할 경우에는 게이트·트리거 전압에는 일반적으로 부(-)극성의 전압을 가하도록 하고 있다.

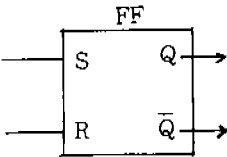
(e) 트라이악을 On으로 한 후, 원래의 Off 상태로 되돌리려면 T_1 , T_2 간에 흐르고 있는 전류를 유지 전류값 이하로 할 필요가 있다.

(f) 트라이악에 의한 On-Off 제어

그림 26(a)의 회로에 게이트·트리거 전압 V_G 를 가하면 그림 26(b)와 같은 동작을 하여 부하를 On-Off 제어할 수 있다.



(a) 논리회로

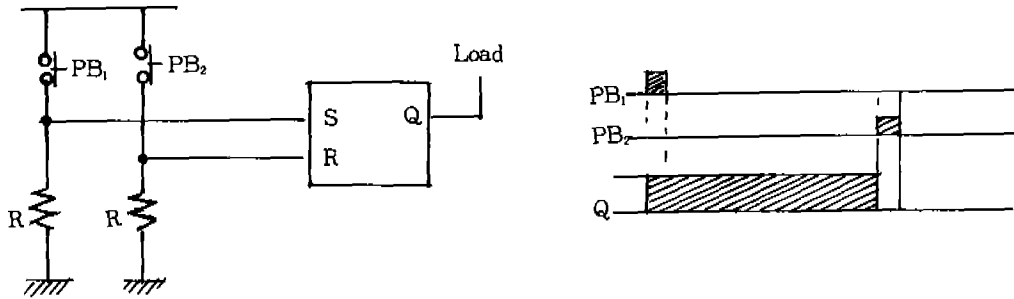


(b) 심벌기호

S	R	Q
0	0	Qn → 현상태유지
0	1	0
1	0	1
1	1	불능

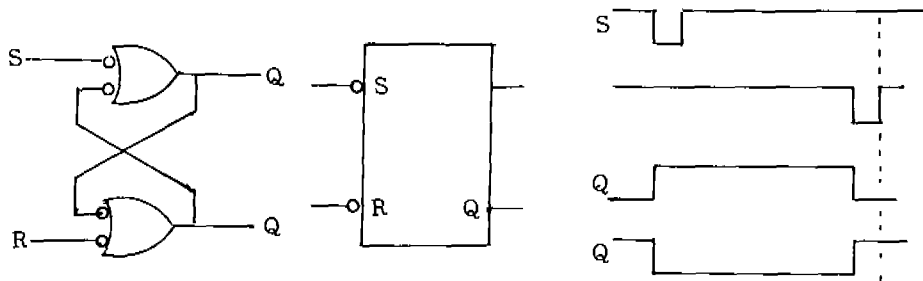
(c) 진리표

<그림 27> R-S 플립플롭



PB₁을 ON하면 Set 입력이 주어주고 바로 부하가 동작되면
 PB₁을 OFF하여도 출력이 계속 유지되게 된다.
 PB₂를 ON하면 Reset 입력이 주어주고 출력은 바로 Reset되고
 PB₂를 OFF하면 출력은 Reset 그 상태 그대로 유지된다.

<그림 27> R-S 플립플롭

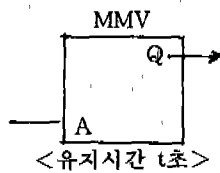


<그림 28>

8. 플립플롭

1) MMV(mono-multivibrator)

입력이 주어지면 유지시간 t 초 동안만 출력이 주어지는 소자로서 하나의 안정상태와 하나의 준안정상태로 가진 스위칭 회로이다.



2) R-S 플립플롭(그림 27)

3) RS 플립플롭

㉠ 그림 28(a)와 같이 인버터를 제거하면, L-능동입력단자를 갖는 플립플롭으로 된다.

㉡ 이와 같은 플립플롭을 RS 플립플롭(RS FF)이라고 한다.

㉢ 일반적으로 이와 같은 RS 플립플롭이 사용되고, IC화된 RS 플립플롭도 시판되고 있다.

㉣ 플립 플롭은 그림 28(b)와 같은 그림기호로도 표시한다.

