

— 현장 계전기 기술 4 —

역/박 한 증(협회 교육홍보위원)

18. 유도원판형의 구조

유도원판형은 회전차에 동 또는 알루미늄의 원판을 사용한 유도형 계전기이다. 1920년대에 처음 등장하여, 이 계전기가 사용되고부터 정밀도와 안정성이 비약적으로 향상되었다. 또한 방향계전기와 차동계전기 등의 적용도 용이해졌고 계전방식도 발달하여 보호계전 시스템의 주축을 이루게 되었다. 이후 유도원판형이 본격적으로 사용되기 시작할 때까지 약 30년간 최고급 계전기로서 사용되었다.

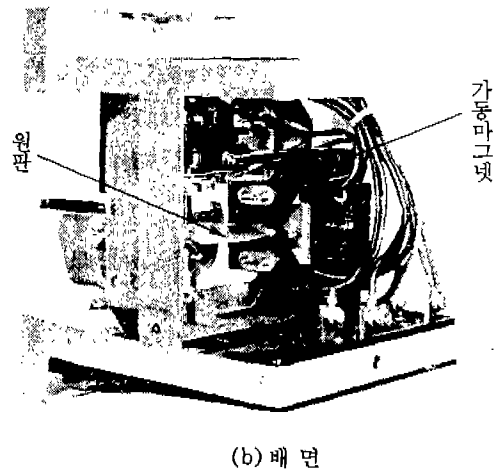
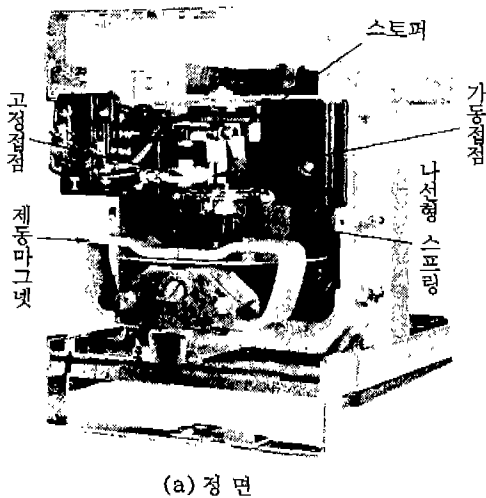
동작시간은 늦지만 열가로 비교적 높은 정밀도를 얻을 수 있다는 특징이 있으며, 특히 반한시 특성 등 동작시간이 입력의 함수가 되는 것같은 한시동작을 얻는 데는 우수한 구조이다. 이 때문에 전력계통의

중후부에서 계전기의 고속도 동작을 필요로 하는 경우의 보호를 제외하고 널리 사용되고 있다.

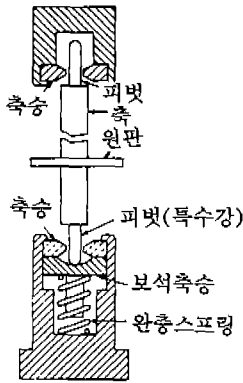
그림 18·1은 유도원판형 계전기의 예이다. 뒷면에 자기회로가 원판을 끼우게 되어 있는 구동 마그넷이 있으며, 이 부분에서 원판에 회전력을 발생시킨다. 전면에는 원판에 부착된 가동접점이 있으며, 원판이 회전하면 고정접점과의 사이가 폐로된다.

일반적으로 가동접점은 나선형 스프링에 접속되어 있으며, 이 나선형 스프링은 고정부에서 가동접점으로의 전기회로를 구성하는 동시에 가동부에 억제력(부동작 방향에의 힘)을 가한다. 가동부는 스토퍼에 의해 부동작시의 위치가 정해진다.

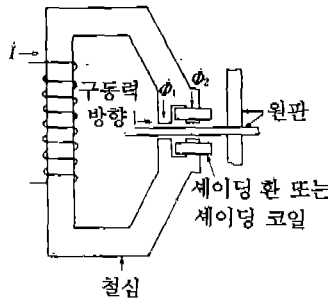
영구자석을 사용한 제동 마그넷이 원판을 끼고 설치되어 있는데, 이것은 원판의 회전속도를 늦게 하는



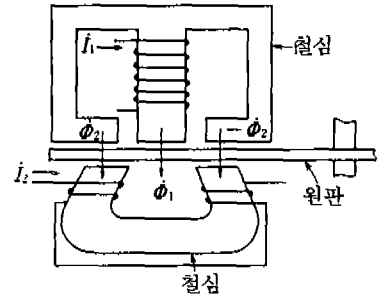
<그림 18·1> 유도원판형 계전기



<그림 18-2> 유도형 베어링



<그림 18-3> 셰이딩 코일형



<그림 18-4> 전력계형

역할을 가지고 있다. 원판의 관성은 구동력에 비해서 커서 제동 마그넷이 없으면 접점을 폐로했을 때의 가동부의 되튀어움(반조 또는 바우싱)이 크기 때문에 동작시간을 빠르게 하려고 할 때도 제동자석을 제거하기 곤란하다. 가동부 축의 상하는 그림 18-2와 같은 피벗 (Pivot)과 보석축승(軸承)으로 지지되어 마찰을 극소시키고 있다.

구동 마그넷은 셰이딩 코일형과 전자력형으로 대별된다. 셰이딩 코일형은 그림 18-3과 같이 구동 마그넷의 극 부분을 2분할하여 그 한 쪽에 셰이딩 코일 또는 셰이딩 환을 설치한 것이다. 일반적으로는 셰이딩 환을 사용하며, 이것은 셰이딩 환형이라고도 한다. 셰이딩 코일은 환(環) 대신 코일로 한 것으로서, 코일 양단간을 개폐할 수 있게 되어 있다.

이것은 한시동작의 계전기를 다른 계전기가 동작하고 나서 기동시키는 경우에 사용한다. 그림 16-2에서 설명한 바와 같이 셰이딩 코일 또는 셰이딩 환으로 감겨진 부분의 자속 ϕ_2 가 다른 부분의 ϕ_1 보다 뒤진 위상이 되어 감겨져 있지 않은 부분으로부터 감겨져 있는 부분의 방향으로 토크가 생긴다. 토크는 자기포화(磁氣飽和)를 무시하면 코일 전류의 2승에 비례한다.

전력계형은 그림 18-4와 같은 원판을 끼는 두 쌍의 자기회로를 둔 것으로서, 전력계와 동일한 기구이다. 각 자기회로마다 코일이 있어 상이한 전류 I_1 , I_2 가 흐르게 한다. 이것에 의해 위상이 상이한 두 쌍의 자속이 발생, 토크가 생긴다. 토크는 다음 식으로

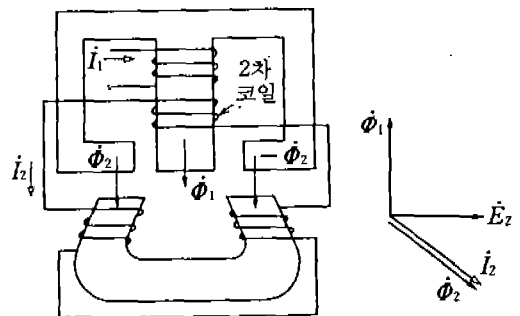
구해진다.

$$F = KI_1 I_2 \sin \theta_{12} \dots \dots \dots (13)$$

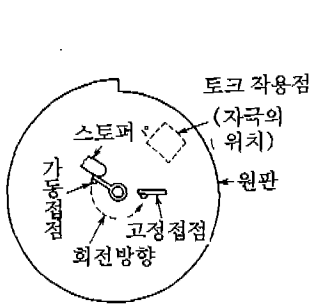
여기서 K : 비례정수, θ_{12} : I_1 이 I_2 보다 앞서는 각도
전력계형의 기구를 사용하여 단일 입력량으로 동작시키는 일도 많다. 그림 18-5는 변압기형이라 불리는 것으로서, 한 쪽 자기회로에 2차 코일을 설치하고 이 코일에 유기(誘起)된 전압 E_2 로 다른 쪽 코일에 I_2 를 흘린다. 전압 E_2 는 자속 ϕ_1 보다 90° 뒤지고 전류 I_2 는 전압 E_2 보다 약간 각도가 뒤지며, 자속 ϕ_2 는 전류 I_2 와 동위상이 된다.

자속 ϕ_1 과 ϕ_2 에 그림과 같은 위상차가 발생, 전류의 2승에 비례하는 토크가 얻어진다. 이 밖에 병렬회로에서 위상이 상이한 2전류를 1입력에서 얻어 토크를 발생하는 방법도 이용된다.

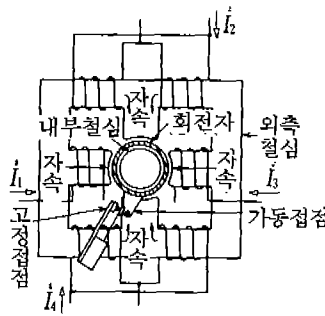
유도원판형을 한시동작형으로 하려면 접점이 폐로하기까지의 가동부 행정을 길게 한다. 이렇게 하면 나선형 스프링이 크게 말려 들어가기 때문에 가동부



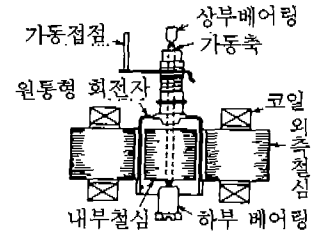
<그림 18-5> 변압기형



<그림 18.6> 캠형상 원판



<그림 19.1> 유도원통형 계전기



의 위치에 따라 나선형 스프링의 억제력이 변화한다. 이 변화를 보상하기 위해 그림 18-6의 캠형 원판 등을 사용해서 토크를 변화시켜 나선형 스프링과 조화되는 토크를 발생하는 전류치가 가동부의 위치에 따라 바뀌지 않도록 한다.

19. 유도원통형의 구조

유도원통형은 회전자를 알루미늄의 원통형상으로 한 유도형 계전기이다. 유도원판형에 비해 토크가 크고 관성이 작기 때문에 고속도의 동작이 얻어진다. 그래서 고정밀도, 고속도의 교류계전기로 널리 사용되고 있다. 이 형은 1930년대에 등장했으며, 트랜지스터형이 본격적으로 채용되기 시작할 때까지 약 20년간 최고성능의 계전기로 군림하였다.

그림 19-1은 유도원통형의 예이다. 4개의 극이 있는 외측 철심과 내부 철심간에 원통형상의 회전자가 설치되고 외측 철심의 각 자극에 자속이 생기게 코일이 감겨져 있다. 전류 I_2 및 I_1 가 흐르는 코일은 2개의 코일로 화살표 방향의 자속을 발생, 1개의 자극

을 여자하게 되어 있다. 회전자 측면의 대부분이 자극으로 싸여있고 토크를 발생하기 때문에 토크가 크며 또한 토크에 비해서 관성이 작다. 이 때문에 고속도 동작이 얻어진다.

가동부를 지지하는 축승(軸承) 및 접점 등은 유도원판형과 동일하지만 제동자석이 없다. 이것은 가동부가 동작했을 때의 반조(反跳)가 유도원판형에 비해서 훨씬 적기 때문에 고속도 동작에 방해가 되는 제동자석을 제거한 것이다. 그러나 반조가 전혀 없는 것이 아니며 이것이 유도원통형의 단점으로 되어 있다.

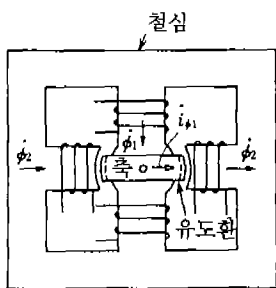
토크는 다음 식으로 구해진다.

$$F = K(I_1 I_2 \sin \theta_{12} + I_2 I_3 \sin \theta_{23} + I_3 I_4 \sin \theta_{34} + I_4 I_1 \sin \theta_{41}) \dots \dots \dots (14)$$

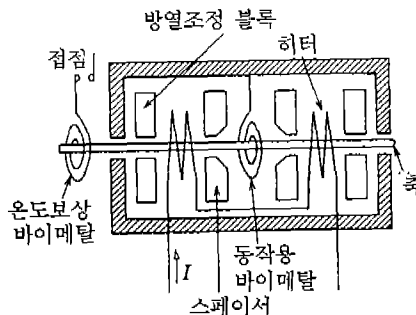
여기서 K 는 비례정수, θ_{12} 는 I_1 이 I_2 보다 앞선 각도이고, θ_{23} , θ_{34} , θ_{41} 도 동일하다.

대항하는 자극의 코일 전류, 즉 I_1 과 I_3 , I_2 와 I_4 에서 는 자극의 기계적 위치관계로 토크를 발생하지 않는다. 또 I_1 과 I_3 , I_2 와 I_4 를 동일 전류로 하는 경우도 많다.

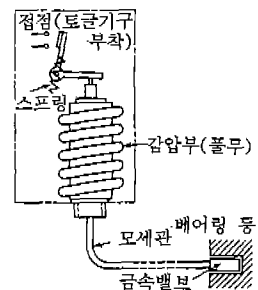
그림은 자극을 4극으로 한 것으로서, 이것이 유도



<그림 20.1> 유도환형



<그림 20.2> 바이메탈식 열형 과전류 계전기



<그림 20.3> 압력이용형 온도계전기

원통형의 대부분이지만 6극 또는 8극으로 한 것도 있다.

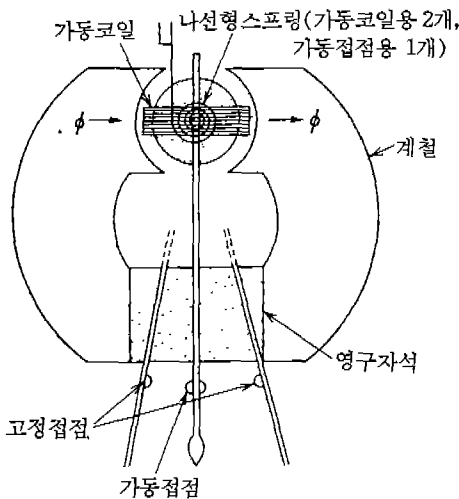
20. 기타 가동형 계전기

이상은 가동부가 있는 계전기의 주류로서 널리 사용되고 있는 것인데, 이 밖에 특정용도나 과거의 제품으로 사용되고 있는 여러가지 기구가 있다.

유도환형(誘導環形)은 그림 20·1과 같은 구조로 되어 있으며, 자속 ϕ 에 의해 유도환에 생긴 전류 i 와 자속 ϕ 의 상호 작용으로 회전력을 발생한다. 이 형은 2차 대전 후 일부 메이커에서 제작되었으나 진동이 심한 등의 결점이 있어 10 수년만에 유도원통형으로 대체되었다.

열동형은 열 효과에 의해 가동부가 동작하는 것으로, 모터 보호용 과전류계전기나 배선용 차단기의 과전류검출부 등에 사용된다. 그림 20·2는 그 일례로서, 전류가 히터에 흘러 발열하면 동작용 바이메탈이 늘어나 접점을 닫는다.

바이메탈은 열 팽창계수가 상이한 2종의 금속, 예를 들면 엄버(35% Ni 강, 열 팽창계수 2×10^{-6})와 황동(2×10^{-5})를 합친 것으로서, 고온이 되면 열 팽창계수가 큰 황동이 크게 신장하여 엄버측으로 굽어진다. 주위온도의 영향을 받지 않도록 온도보상용 바이메탈을 거쳐 접점을 개폐한다. 스페이서, 방열조정 블록 등에 의해 반한시 특성을 소요 특성으로 만든다.



<그림 20·4> 가동 코일형

다. 이 형은 정밀도는 낮지만 염가이기 때문에 앞에 기술한 것과 같은 용도에 많이 사용된다. 그림 20·3은 이 예이다. 급속 밸브, 보세관 및 감압부로 구성되며, 밸브를 베어링 등에 매입하여 사용한다.

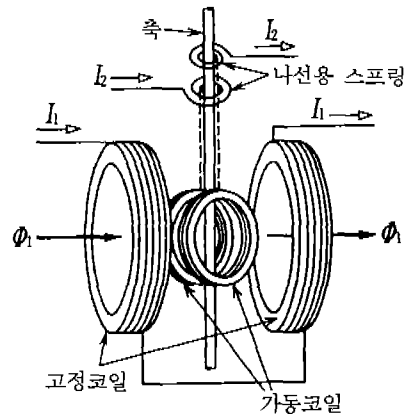
밸브의 온도가 오르면 봉입된 액체의 기화 등에 의해 압력이 상승하고 감압부가 신장하여 동작한다. 그림의 것은 감압부에 풀무를 사용한 것으로서, 토글 기구를 사용하여 접점을 급속하게 개폐하게 되어 있다. 이 토글 기구는 가동부의 이동이 스프링의 사점(死点)을 초과하면 스프링에 의한 힘이 접점을 폐로하는 방향으로 움직이며 풀무의 변형 속도가 늦어도 접점이 급속히 움직인다.

가동 코일형은 직류지시계기와 동일한 것으로, 그림 20·4와 같은 기구이다. 영구자석에 의한 자속과 나선형 스프링을 통해서 가동 코일에 흐르는 전류에 의해 가동부에 전류에 비례하는 토크를 발생한다.

가동부에는 큰 전류를 흘릴 수 없기 때문에 일반 보호계전기로서 사용되는 일은 드물고 미터 릴레이로서 다용된다.

이전에는 그림과 같이 지침에 접점을 단 것이 많아 접점의 개폐능력에 문제가 있었으나 최근에는 정전용량 등의 정수(定數) 변화나 광 등을 이용해서 전자회로를 제어하여 접점을 개폐하는 것이 증가하고 있다.

전류력계형은 지시전력계와 동일한 것으로, 그림 20·5와 같은 기구이다. 유도형이 나타나기 전에는



<그림 20·5> 전류력계형

방향계전기로서 사용됐지만 최근에는 미터 릴레이로서 사용될 뿐이다. 고정 코일에 흐르는 전류 I_1 에 의해 생기는 자속 ϕ 과 가동 코일에 흐르는 전류 I_2 에 의해 토크를 발생한다. 토크는 θ 를 I_1 과 I_2 의 위상차로 하면 다음 식과 같이 된다.

$$F = I_1 I_2 \cos \theta \dots \dots \dots (15)$$

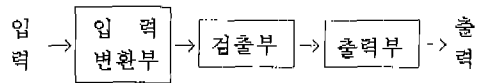
모터형은 워렌 모터 등 소형의 동기전동기 회전을 기어로 감속하여 가동부를 회전시키는 것으로서, 비교적 장시간의 한시계전기에 사용된다.

21. 트랜지스터형의 구성

트랜지스터형은 주요부에 트랜지스터, 다이오드 및 IC를 사용하고, 또 아날로그 검출에 의해 동작, 부동작을 판정하는 것이다. 일렉트로닉스를 보호계전기 분야에 도입하려는 시도는 옛날부터 있었다. 진공관을 사용한 위상비교계전기는 1927년에 시험 제작되었으나 당시는 아직 3극관 시대로서 실용화되지 않았다. 이 계전기는 2차 대전 말기인 1944년에 미국에서 실용화되고, 일본은 1956년부터 제작되기 시작하였다.

진공관이나 방전관을 사용하여 과전류계전기나 거리계전기 등 여러가지 계전기를 얻으려는 시도는 1934년에 활발히 시행됐지만 실패하였다. 이 연구는 고신뢰도 진공관의 등장에 따라 재차 실시되어 1954년에는 전진공관식 방향비교계전기의 필드 시험까지 시행되어 상당한 성공을 거두었으나 실용화에 이르지 못하는 못하였다.

트랜지스터가 1948년에 발명되고 성능이 안정됨에 따라 트랜지스터형 계전기가 연구되기 시작하여 1955년부터 연구 결과가 발표되었다. 실용화되기 시작한 것은 1959년부터이며 미국과 일본이 거의 동시



<그림 21·1> 트랜지스터형의 기본구성

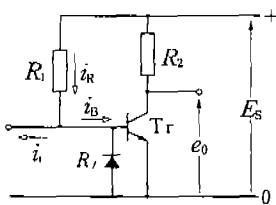
에 이루어졌다.

실용화되기 시작한 시기에는 트랜지스터의 신뢰도도 낮고 또 가동형 계전기에 비해 상당히 가격이 높았다. 이 때문에 가동형으로는 원리상 얻어지지 않는 것이나 기구나 감도에 심한 무리가 있는 것이 많이 실용화되었다. 즉 최초의 실용화는 위상비교계전기이고, 이어서 한시계전기(타이머)와 특수 용도로서 가동형으로는 실현시킬 수 없는 특성의 거리계전기 등이 실용화되었다.

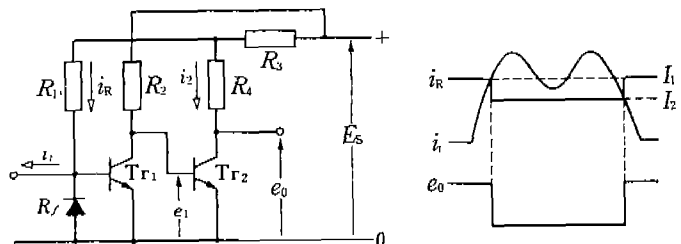
당초의 보호용 한시계전기는 직류전자석을 동작시켜 스프링을 조여 이 힘으로 회전부를 공기 댐퍼나 자기 댐퍼(원판형 제동자석과 동일한 것) 등의 계동력에 대항해서 회전시킨 것으로서, 정밀도도 낮고 또 충격에 의한 신뢰도도 낮은 것이었다. 이 때문에 트랜지스터형 타이머가 급속하게 보급되었다.

과전류계전기, 차동계전기, 거리계전기 등 각종 계전기에 트랜지스터형이 광범위하게 채용되기 시작한 것은 신뢰성과 경제성이 향상된 1971년경부터이다. 또 고도성장에 의한 전력계통의 확대와 용지난에 의한 전력설비의 건설이 곤란해진 것도 이 시기에 심각해지고 보호계전기의 성능 향상에 대한 요구도 높아져 트랜지스터화의 동향을 조장시켰다. 가동형 계전기를 트랜지스터형으로 대체하는 경향은 현재도 계속되고 있고 디지털 또는 아날로그 IC의 발달도 이를 조장시키고 있다.

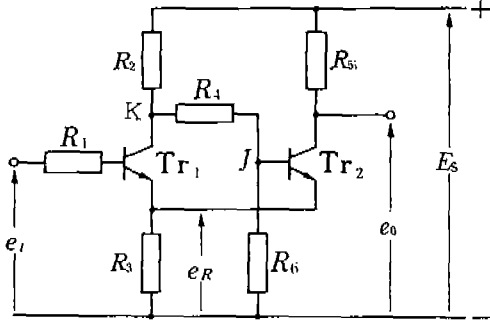
트랜지스터형의 기본구성은 그림 21·1과 같이 되



<그림 21·2> 전류레벨검출기



<그림 21·3> 정귀환형 전류레벨검출기

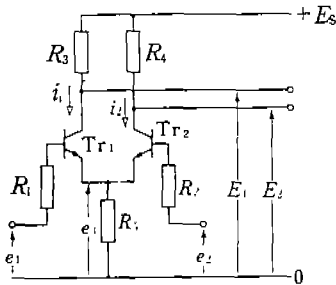


<그림 21-4> 슈미트 트리거 회로

어 있다. 입력변환부는 계기용 변성기에서 부여된 입력을 트랜지스터 회로에 적당한 값의 전류전압으로 변환한다. 동시에 정류, 정류파형의 리플의 감소, 위상각의 변화, 복수 입력의 합성, 입력의 적분 등을 검출상 필요에 따라 행한다. 또, 필요하면 검출부에 해가 있는 고조파나 직류분을 제거하는 필터도 설치된다.

검출부는 검출부의 입력이 소정치 이상인가의 여부, 또는 둘 이상의 입력이 동시에 정 또는 부가 되는가의 여부, 또는 이것들의 계속시간이 소정시간 이상인가의 여부 등을 검출하여 출력을 발생시킨다. 검출부의 출력이 그대로 사용되는 일도 많지만 필요가 있는 경우는 출력부에서 검출부의 전기 출력을 점점의 개폐로 바꾸거나 펄스 형상의 출력을 연속적인 출력으로 바꾸거나 한다.

1개의 계전기 동작으로 직접 차단기를 트립시키는 경우나 가동형 계전기와 병용되는 경우는 계전기의 출력을 점점 출력으로 하지만 1개의 보호계전장치에 다수의 계전기가 사용되는 경우는 전기 출력대로 출력을 내고 논리회로에서 결합한다.



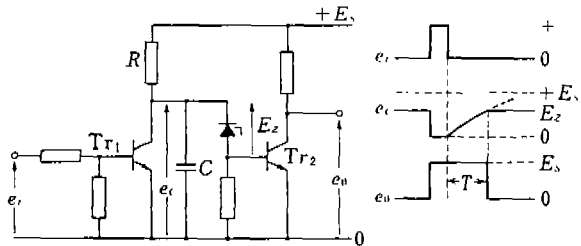
<그림 21-5> 차동증폭기

검출부에서 기본회로로서 사용되는 것은 레벨검출기, 타이머 및 논리회로이다. 레벨검출기는 각종의 것이 사용되고 있다. 레벨검출기는 각종의 것이 사용되고 있다. 전류레벨검출기는 그림 21-2와 같은 구성으로 되어 있다. 기준전류 i_R 가 정전압(定電壓) E_s 로부터 저항 R_1 을 통해서 트랜지스터 Tr의 베이스·에미터간에 흐른다. 입력전류 i_i 가 작은 동안은 $i_R - i_i$ 와 같은 값의 i_B 가 화살표 방향으로 흐르며 Tr가 ON이 되어 있고 출력전압 e_o 는 0이다. i_i 가 i_R 보다 커지면 Tr가 OFF가 되고 e_o 가 E_s 와 같아진다. 정류기 R_1 는 $i_i > i_R$ 일 때 전류가 Tr의 에미터·베이스 간을 역류하는 것을 방지한다.

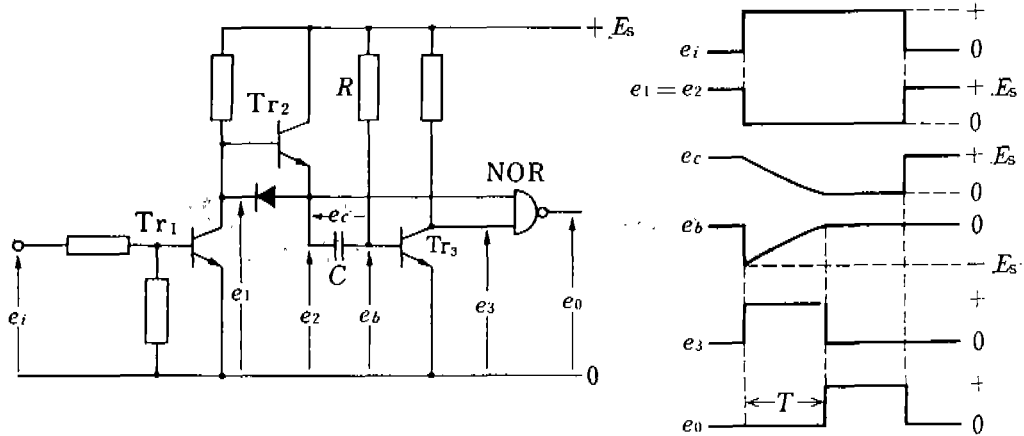
그림 21-3은 정귀환형 전류레벨검출기이다. 그림 21-2의 것과 동일하게 $i_i > i_R$ 일 때 Tr1의 출력 e_i 이 나오는데, 이 출력에 의해 Tr2가 ON이 되고 출력 e_o 가 없어진다. 이때 t_2 가 흐르기 때문에 i_R 은 I_1 에서 I_2 의 값으로 감소하여 $i_i < I_2$ 가 될 때까지는 출력 e_o 가 생기지 않는다. 즉, $i_i < I_1$ 에서 출력 e_o 가 제로가 되고 $i_i < I_2$ 에서 출력이 생기는 동작치와 복귀치에 차가 있는 레벨검출기이다.

그림 21-4는 슈미트 트리거 회로로서 정귀환형 전압레벨검출기로 사용된다. e_i 이 e_R 보다 낮으면 Tr1이 OFF로 K, J점의 전위가 정이 되어 Tr2가 ON이 된다. 이때 e_R 는 $E_1 = E_s R_3 / (R_3 + R_5)$ 로서 출력 e_o 는 E_1 과 같다. $e_i > E_1$ 이 되면 Tr1이 ON, Tr2가 OFF가 되며 e_R 는 $E_2 = E_s R_3 / (R_3 + R_2)$, e_o 는 E_s 가 된다.

$R_2 > R_3$ 로 하면 $E_1 > E_2$ 가 되고 $e_i > E_1$ 에서 출력이 E_s 가 되며 $e_i < E_2$ 에서 출력이 E_1 이 되는 레벨검출기가 된다. 그림에서 R_1, R_6, Tr_2 를 제거하고 R_5 와 R_3 를 직결하여 K점에서 출력을 끄집어내면 단순한 전압레벨검출기가 된다. 이 경우는 $e_i > E_1$ 에서 출력이 제로, $e_i < E_1$ 에서 출력이 E_s 가 된다.



<그림 21-6> 한시복귀회로(오프딜레이 타이머)



<그림 21.7> 한시동작회로(온 딜레이 타이머)

그림 21.5의 차동증폭기도 전압레벨검출기로서 사용된다. $e_1 < e_2$ 일 때는 i_2 가 $e_3 = e_2$ 가 되게 흐르며 Tr_1 은 OFF가 된다. 출력은 $E_2 = e_2$, $E_1 = E_S$ 가 된다. 반대로 $e_1 > e_2$ 면 $e_3 = e_1$ 으로 Tr_2 가 OFF가 되고 $E_1 = e_1$, $E_2 = E_S$ 가 된다.

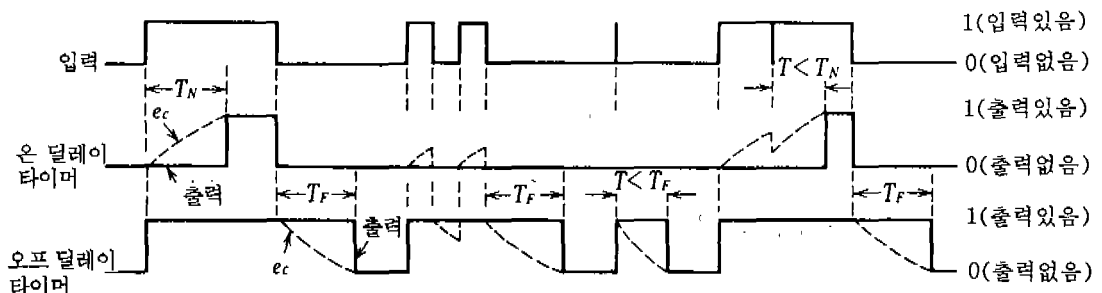
그림 21.6은 한시복귀회로(오프 딜레이 타이머)의 예이다. 정입력 e_1 가 가해지면 Tr_1 이 ON이 되어 C 를 단락, 즉시 $e_c = 0$ 가 된다. Tr_2 가 OFF가 되어 $e_0 = E_S$ 가 된다. $e_1 = 0$ 가 되면 Tr_1 은 OFF가 되지만 e_c 는 시정수 CR 를 따라 서서히 상승한다. e_c 가 제너 전압 E_2 를 초과할 때까지는 Tr_2 에는 베이스 전류가 흐르지 않고 Tr_3 는 OFF 상태를 계속한다. $e_c > E_2$ 가 되면 Tr_2 는 ON이 되고 $e_0 = 0$ 가 된다.

그림 21.7은 한시동작회로(온 딜레이 타이머)의 예이다. $e_1 = 0$ 에서는 Tr_1 이 OFF, Tr_2, Tr_3 가 ON으로 $e_6 = 0$, $e_1 = e_2 = e_c = E_S$ 이다. $e_2 = E_S$ 때문에 출력 e_0 는 생기지 않는다. e_1 가 정이 되면 Tr_1 이 ON, Tr_2 가

OFF가 되고 $e_1 = e_2 = 0$ 가 된다.

$e_c = E_S$ 때문에 $e_6 = -E_S$ 가 되어 Tr_3 가 OFF가 된다. e_c 는 시정수 CR 로 $-e_c \rightarrow E_S$ 를 향해서 방전된다. $e_c = 0$ 가 되면 $e_6 = 0$ 가 되고 Tr_3 가 ON이 된다. Tr_3 가 OFF인 동안은 $e_3 = E_S$ 로 e_0 가 생기지 않지만 Tr_3 가 ON이 되면 $e_3 = e_2 = 0$ 로 e_0 가 생긴다. $e_1 = 0$ 일 때의 C 의 충전은 Tr_2, Tr_3 에서 행하여져 신속하며 e_c 는 즉시 $+E_S$ 까지 회복한다.

이상과 같이 일반 한시회로는 콘덴서의 충전 또는 방전의 한 쪽을 늦게, 다른 쪽을 빠르게 하여 고속 동작 한시복귀 또는 한시동작 고속복귀를 얻고 있다. 한시회로의 응답은 그림 21.8과 같이 된다. 콘덴서 전압 e_c 는 입력 유무에 따라 변화하지만 출력은 입력의 유무가 시간 T_N 또는 T_F 계속한 후에 생긴다. 다만 입력 유무의 시간이 극단적으로 짧은 경우는 e_c 의 급속방전 또는 충전이 완료하지 않고 다음의 응답시간이 변화한다.



<그림 21.8> 한시회로의 응답