—현장 계전기 기술5—

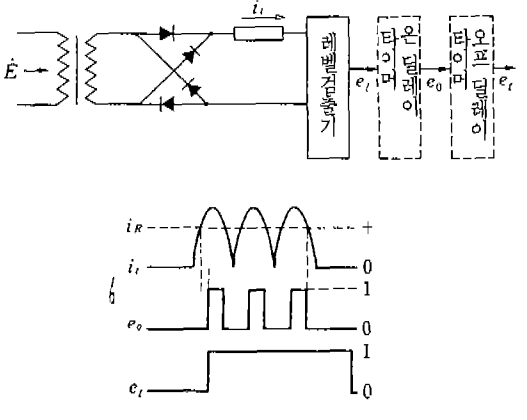
역/박 한 종(협회 교육홍보위원)

22. 트랜지스터형의 기본검출회로

트랜지스터형의 기본검출회로는 진폭검출기와 위상검출기로 전술한 입력변환회로와 검출부를 조합한 것이다.

진폭검출기는 교류전압 또는 전류의 진폭에 응동하는 것이다. 그림 22.1은 순시치형 진폭검출기의 예로서, 입력 $\dot{E}$에 비례한 평활되지 않은 전파정류전류(電波整流電流) i_1의 순시치를 레벨검출기를 검출하는 것이다.

i_1의 순시치가 동작치 i_R(기준량)보다 큰 동안 레벨검출기의 출력 e_l을 발생하고 e_l이 일정시간 이상 계속되면 온 딜레이 타이머에 출력 e_0를 발생한다. 타이머는 입력에 혼압하는 서지에 의한 오출력을 방지하기 위한 것으로서, 입력회로의 필터 등에 의해 이러한 우려가 없을 때는 생략된다.



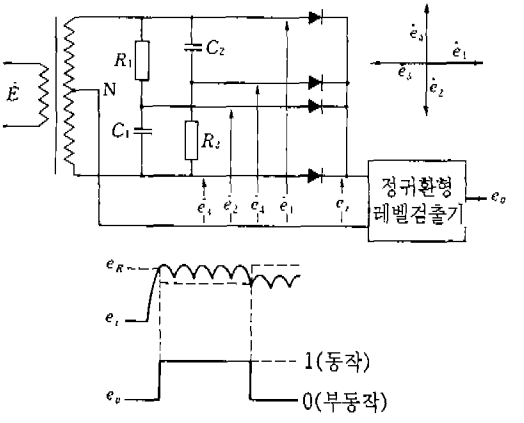
<그림 22·1> 순시치형 진폭검출기

출력 e_0는 단속출력이므로 연속출력을 필요로 할 때는 그림과 같이 입력파형의 1/2 사이클 이상의 오프 딜레이 타이머를 사용하여 출력을 연속화한다.

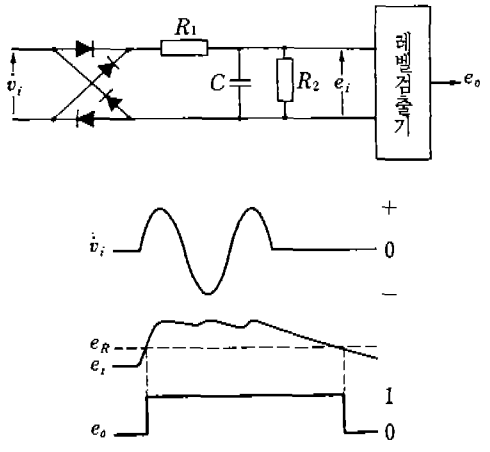
증상정류형(增相整流形) 진폭검출기의 예를 그림 22·2에 나타낸다. 단상입력 E가 그림의 회로에서 진폭이 같은 4상 교류전압 e_1, e_2, e_3 및 e_4로 변환되고 이것을 반파 정류하여 리플이 적은 전압 e_l가 얻어진다. 이 전압 e_l를 정귀환형 레벨검출기를 사용하여 검출한다.

맥류파형(脈流波形) 피크값이 레벨검출기의 동작치에 달하면 정귀환에 의해 레벨검출기의 동작치를 맥류파형의 곡(谷)(최소치)보다 약간 하회하는 값으로 저하시켜서 동작을 계속시킨다. 이것에 의해 그림과 같은 연속출력이 얻어진다.

평활형 진폭검출기는 그림 22·3과 같은 구성으로 되어 있다. 입력에 비례하는 전압 v_i가 정류되어 그



<그림 22·2> 정귀환형 레벨검출기



파형은 R_1이 작은 경우를 나타낸다.
R_1이 클 때는 적분형 진폭검출기가 된다.

<그림 22·3> 정류평활형 진폭검출기

림과 같은 회로에서 평활된 전압 e_i를 얻어 레벨검출기를 동작시킨다. R_1을 작게 하면 e_i는 급속히 v_i의 피크값까지 올라가지만 v_i 감소시의 감쇠가 늦다. 이 때문에 예를 들면 과전류계전기의 경우 고속도 동작은 가능하지만 복귀는 한시(限時)를 기다리게 된다.

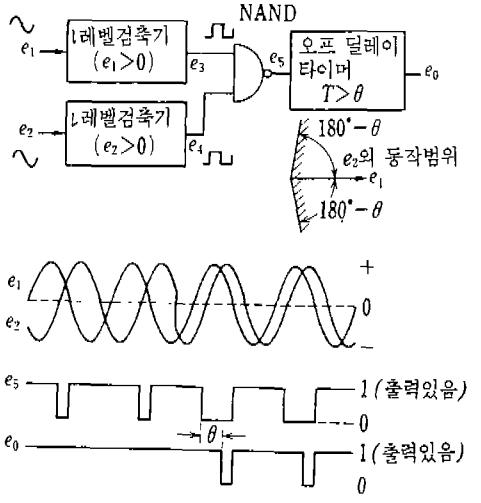
적분형 진폭검출기는 입력의 진폭 적분치를 검출하는 것이다. 그림 22·3에서 R_1를 크게 하면 이 회로는 CR 적분회로이며 적분형 진폭검출기로서 사용된다. 또 미러 적분회로나 부트스트랩 적분회로 등과 같은 특수한 적분회로가 사용되는 일도 있다. 이 검출기는 반한시 동작의 계전기 등에 많이 사용된다.

위상검출기는 복수 교류입력의 위상관계를 검출하는 것으로서, 방향계전기나 거리계전기의 검출기로서 사용된다. **그림 22·4**는 **시간측정형 위상검출기**의 예이다. 교류입력 e_1 및 e_2가 각각의 레벨검출기에서 순시치가 정인 기간에 출력을 발생하는 방형파 e_3, e_4로 변환된다. e_5는 이 양출력이 함께 생기는 기간만 소실되고 그림과 같이 e_1, e_2가 함께 정의 기간에 출력이 없는 펄스파형이 된다.

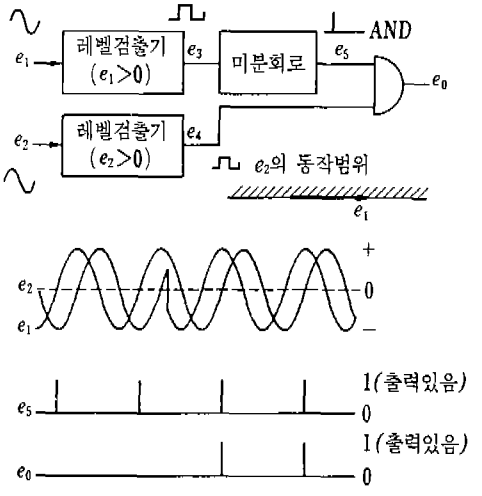
e_5의 소실시간이 오프 딜레이 타이머의 복귀시간 θ 이상 계속되면 출력 e_0가 그림과 같이 소실된다. 이 소실이 그림의 위상검출기의 동작이다. 동작범위는 e_2가 e_1에 대하여 사선내, 즉 $\pm(180°-\theta)$의 경우가 된다.

이상과 같이 시간측정형은 2입력의 순시치가 동시에 정, 동시에 부 또는 한쪽이 정이고 다른 쪽이 부인 등의 기간을 검출, 그 계속시간이 θ 이상 있는가의 여부를 한시회로로 검출하는 것이다. 출력은 단속출력이며, 적당히 한시회로를 사용하여 연속화한다.

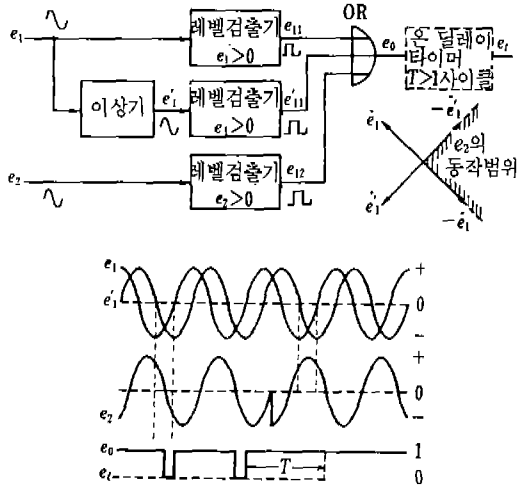
샘플링형 위상검출기는 입력 e_1 파형의 특정 순시에 다른 입력 e_2의 순시치가 정 또는 부 어느 것인가를 검출하는 것으로, **그림 22·5**는 그 예이다. 그림에



<그림 22·4> 시간측정형 위상검출기



<그림 22·5> 샘플링형 위상검출기



<그림 22·6> 연단속형 위상검출기

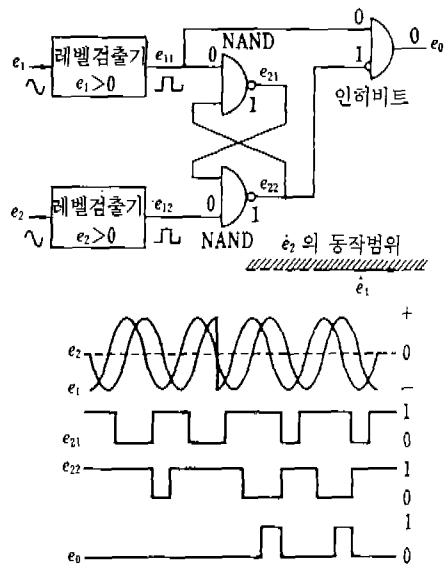
서 입력 e_1 및 e_2는 그림 22·4의 경우와 동일하게 순시치가 정인 기간에 출력을 내는 방형파 e_3, e_4로 변환된다.

e_5는 e_3의 미분파형으로 e_3가 일어나는 순시, 즉 e_1이 부에서 정으로 옮기는 순시에만 출력을 일으키는 펄스파형이다. e_5 발생 순시에 e_4가 있으면, 즉 e_2 순시치가 정이면 AND회로에 위상검출기의 동작출력 e_0가 얻어진다. 출력 e_0는 펄스파형이며 필요에 따라 연속화한다. 동작범위는 그림과 같이 e_2가 e_1에 대해서 0°~180°뒤질 때 동작한다.

연단속형 위상검출기를 그림 22·6에 나타낸다. 이것은 검출에 3량 이상의 교류량을 필요로 하고 2량의 경우는 그림과 같이 이상기를 사용하여 e_1에서 위상이 다른 교류량 e_1'를 만들어낸다. 각 레벨검출기는 교류량 e_1, e_1', e_2의 순시치가 정일 때 출력을 내고 이 출력이 전부 없는 기간 OR회로 출력이 없어진다.

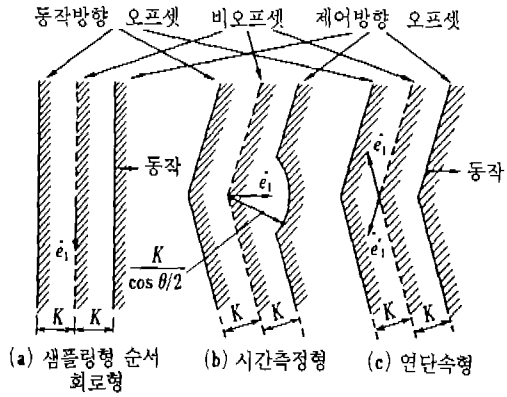
e_2 벡터가 그림의 동작 범위, 즉 $-e_1$과 $-e_1'$의 벡터 안에 들은 범위에 있으면 e_0 출력이 연속해서 생기고 다른 경우는 1사이클에 한 번 없어진다. 1사이클 이상의 온 딜레이 타이머를 그림과 같이 사용하면 타이머의 출력 e_t는 동작시에만 연속출력으로서 생긴다.

순서회로형 위상검출기는 논리회로를 사용해서 교류량이 정·부로 극성을 바꾸는 순서를 검출하는 것



<그림 22·7> 순서회로형 위상검출기

으로서 그림 22·7은 이 예이다. 그림은 e_1, e_2의 순시치가 모두 부이고, e_{11}, e_{12}가 모두 없는 상태의 출력 상태를 나타내며, NAND회로 출력 e_{21}, e_{22}가 모두 발생하고 있다. 그 후에 e_2의 순시치만이 정이 되면 e_{22}가 소실되고 e_2가 정의 기간 이 상태가 유지된다. 이 사이에 e_1의 순시치도 정이 되면 인히비트 회로에 출력 e_0가 생긴다. e_1이 e_2 보다 먼저 정이 되면 e_{21}이 소실되며 e_1이 정인 기간 e_{22}는 소실되지 않고 출력 e_0가 생기지 않는다. 즉, e_0는 e_2가 e_1 보다 먼저 부에서 정으로 변화했을 때 e_1이 정이 됨과 동시에 발생



<그림 22·8> 성분검출기의 e_2의 동작범위

<표 23·1> 트랜지스터형 특징

	장 점	결 점
성능	고감도, 저부담이 얻기 쉽다. 소입력으로도 고속도동작을 얻기 쉽다. 특수성능의 계전기를 얻기 쉽다. 고빈도 동작에 견딘다.	왜곡파형에 약하다.
신뢰성	충격, 진동에 강하다. 기계적 장해가 없다. 접점의 장해나 반조가 거의 없다. 점검장치나 감시장치를 부가시키기 쉽다.	외래 서지 등으로 파손, 오동작의 우려가 많다. 사용부품이 많아 부품불량의 확률이 높다. 접속부가 많아 접속불량의 확률이 높다.
기타	소형이다. 접점, 가동부의 보수가 필요없다.	별도 전원이 필요하다. 불량부분의 발견에 수고가 들고 부품교환이 필요한 경우가 많다. 값이 비싼 것이 많다.

한다. 동작법위는 그림과 같이 e_2가 e_1보다 0~180° 앞서는 경우이다.

성분검출기는 전술한 그림 22·4~22.7의 위상검출기로 e_2를 입력으로 하는 레벨검출기의 검출 레벨을 바꾼 것으로서, 방향계전기에 많이 사용된다. 즉 각 레벨검출기의 동작조건을 $e_2>0$에서 $e_2>$(정 또는 부의 일정치)로 오프셋하면 성분검출기가 되어 e_2의 e_1에 대한 동위상 또는 직각 위상 등의 성분 크기에 응동하게 된다.

그림 22·8은 성분검출기에서 e_1을 기준으로 한 경우의 e_2 실효치 벡터의 동작범위이다. 그림에서 억제방향 오프셋은 각 그림의 레벨검출기를 e_2의 순시치가 $\sqrt{2}K$(K=정의 일정치) 이상일 때 출력이 생기게 한 경우로서 동작범위가 비 오프셋에 비해서 좁다.

동작방향 오프셋은 반대로 $\sqrt{2}K$ 이상일 때 출력이 생기는 경우이다. 오프셋시의 특성은 대강 비 오프셋시의 특성과의 간격이 K의 평행선인데, 시간축 정형의 억제방향 오프셋은 그림의 원호부분만큼 부동작 범위가 넓다. 이것은 e_2의 실효치가 $K/\cos 0.5\theta$ 보다 크지 않으면 레벨검출기의 출력이 각 θ 이상이 되지 않기 때문이다.

23. 트랜지스터형의 특징

트랜지스터형을 가동형과 비교할 때의 득실은 표 23·1과 같다.

트랜지스터형의 검출 중추부는 가동형에 비해 훨씬 고감도이다. 이 때문에 입력변환회로에서 상당한 손실이 있는 경우라도 가동형보다 충분히 저부담 또는 고감도 계전기가 얻어진다.

또한 입력이 작은 경우라도 충분한 고속도 동작이 가능하며, 가동형으로 성능상 한계가 생긴 경우는 트랜지스터형으로 상당한 개선이 가능한 경우가 많다.

그러나 고조파로 인한 왜곡파형이나 외래 서지에 대해서도 검출부가 즉응하므로 오동작·오부동작 등의 불량 응동을 일으키기 쉽다. 이에 대한 대책으로 기본파 통과 필터를 사용하여 고조파가 검출부에 침입하지 않도록 하지만 이 필터를 강화하면 동작시간 지연이 커지기 때문에 한계가 있다.

트랜지스터형의 신뢰성은 가동형과 거의 동등하다고 말하고 있지만 이것은 가동형에 비해서 훨씬 신뢰성이 높게 되어 있다. 부품이나 전기접속부가 많은 것이 약점으로 불량이 자주 일어날 가능성이 있고, 치명적 불량률도 높다고 생각되고 있다. 그러나 계전장치에 점검장치나 감시장치를 부가시키는 것이 비교적 용이하며, 이것들을 사용하여 보수의 간이화와 불량의 조기발견을 도모할 수가 있다.

24. 디지털형의 구성

디지털형(계산기형)은 입력전압 전류를 디지털 부호화하고 이것을 사용하여 디지털 계산기로 수치를 계산, 이 계산결과에 응동하는 것이다. 이 형은 1968년에 최초의 검토결과가 발표되고, 1971년부터 현장

시험도 실시되었다.

그림 24·1은 디지털형의 구성이다. 각상 전압 전류의 기본파분이 밴드파스 필터 BPF로부터 샘플홀드 회로 SH에 유도된다. SH는 입력의 순시치를 일정 주기마다 샘플하여 그 값을 다음 샘플까지 유지한다.

이 유지값은 그림과 같이 샘플 주기마다 값이 변화하는 계단형상 파형이 된다. 멀티 플렉서 MPX는 각 SH의 유지값을 샘플 주기간에 순차 아날로그·디지털 변환기 AD에 송입한다. AD는 입력의 아날로그값을 디지털 2진 부호로 변환하여 입력제어장치 IO에 송입한다.

계산기 CPU는 IO에서 온 디지털 부호를 사용하여 메모리 MEM에 기억되어 있는 계산식에 의해 수치계산을 한다. 이 결과는 IO에 되돌려져 동작조건이면 차단기에 트립 지령을 부여한다.

수치계산에 사용하는 계산식에는 여러가지가 있다. **2승법 진폭연산**은 90° 떨어진 샘플값의 합을 구하는 것이다. 샘플값을 **그림 24·2**의 e_0, e_ϕ로 하고 $\phi=90°$라고 하면 다음 식과 같이 실효치 E의 2승에 비례하는 것이 얻어진다.

$$e_0^2+e_{\phi(\phi=90)}^2=(\sqrt{2}E\sin\alpha)^2[\sqrt{2}E\sin(\alpha+90°)]^2$$
$$=2E^2(\sin^2\alpha+\cos^2\alpha)=2E^2\cdots(16)$$

이 방법은 90°간격의 차로 좋고 이론상의 오차는 발생하지 않는다.

극대치법 진폭연산은 1/2 사이클 이상인 기간의 각 샘플값을 비교하여 그 극대치를 구하는 것이다. 극대치의 샘플시각은 ϕ의 1/2만큼 파형의 피크값에서 떨어질 가능성이 있으므로 산출치는 다음 식과 같이 된다. ϕ가 클 수록 오차가 크며 30°에서 ±1.7%, 90°에서 ±14.6%가 된다.

(간격 ϕ의 샘플값이 극대)

$$=\sqrt{2}E\cos(0°\sim\phi/2)\cdots\cdots(17)$$

정류가산법 진폭연산은 1/2 사이클 또는 그 배수(倍數)간 샘플값의 합을 구하는 것으로, 오차는 극대치법과 동일하지만 샘플링 오차나 고조파의 영향을 잘 받지 않는 이점이 있다.

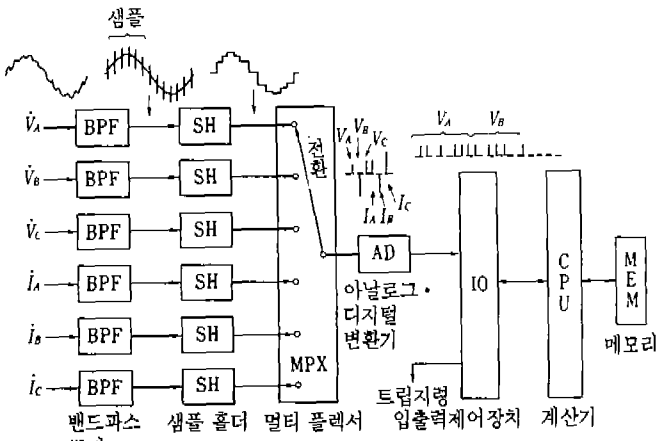
2치가산법 진폭연산은 피크값을 마주하는 두 샘플값 e_0 e_ϕ를 사용하여 식(18)의 좌변을 계산하는 것으로서, ϕ의 값에 따라 정수 K를 적당히 선택하면 우변의 결과가 얻어진다. 오차는 $\phi=30°$에서 ±0.45%, $\phi=90°$에서는 ±3.95%가 된다. $\phi=90°$에서는 이웃 샘플값이 피크를 끼거나 또는 이것과 등가가 되므로 피크를 마주하는 샘플값을 추출할 필요는 없다.

$$K(|e_0|+|e_\phi|)+||e_0|-|e_\phi||\propto E\cos(0°\sim\phi/4)\cdots\cdots(18)$$

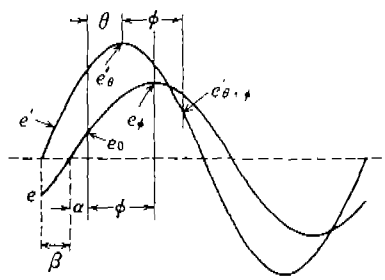
다시 식(19)로 하면 $\phi=90°$라도 오차는 ±0.97%가 된다.

$$K(|e_0|+|e_\phi|)+K'||e_0|-|e_\phi||+||e_0|+|e_\phi|\quad K''||e_0|-|e_\phi|||\cdots\cdots(19)$$

적연산법은 2전기량 e, e'의 각 2 샘플값 e_0, e_ϕ, e_θ', $e_{\theta-\phi}'$를 사용하여 (식) 20의 좌변의 계산을 하는



<그림 24·1> 디지털형의 구성



<그림 24·2> 샘플값의 기호

<표 25·1> 계전기 접점의 심볼

명 칭		심 볼	명 칭	심 볼
a 접점	일반		*l* 접점	a b c
	(주)		쌍방향접점	
b 접점	일반		수동복귀계전기, 전기복귀 계전기의 접점	와 같이 ×를 표시한다.
	(주)		한시응동의 접점	← 한시 → 한시 ↔ 한시 와 같이 >를 표시한다.
c 접점		a b b a		

(주) 제어전원만 인가, 피검출 입력없이 닫히는 a접점, 열리는 b접점

것으로, 최종항의 결과가 얻어진다(그림 24 • 2 참조).

$$e_\phi e_\theta' - e_\theta e_{\theta+\phi}' = \sqrt{2}E\sin(\alpha+\phi)\sqrt{2}E'\sin(\alpha+\beta+\theta) - \sqrt{2}E\sin\alpha\sqrt{2}E'\sin(\alpha+\beta+\theta+\phi)$$

$$= 2EE'\sin\phi\sin(\beta+\theta) \propto 2EE'\sin(\beta+\theta)\cdots(20)$$

$\sin\phi$ 및 θ는 일정하고 E, E'와 그 위상차 β에 관계하는 적이며, 유도원판형의 전력계형 토크와 동일한 것이다.

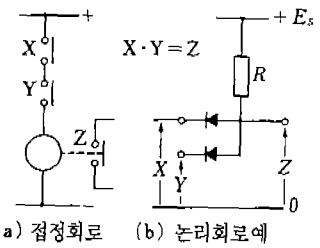
25. 접점회로와 논리회로

가동형 계전기의 응동(應動)은 접점의 개폐에 의해 외부에 전달되며, 트랜지스터형도 출력부에서 접점을 개폐하는 것이 많다. 보호계전기의 접점 심볼은 JEC 174에 표 25·1과 같이 정해져 있다.

a접점은 모든 입력이 없을 때 열리는 접점으로서, 반드시 봉(棒)을 우측 또는 상측으로 그린다. **b접점**은 모든 입력이 없을 때 닫히는 접점으로서, 본의 위치는 좌측 또는 아래에 있다. 가동형 계전기는 대부분의 것이 동작시 a접점 폐, b접점 개가 되는데, 부족전압계전기 등 입력이 없을 때 동작하는 계전기는 동작시 b접점 폐, a접점 개가 된다. 접점출력의 트랜지스터형은 이 점이 일의적이 아니고 반대인 경우도 있다.

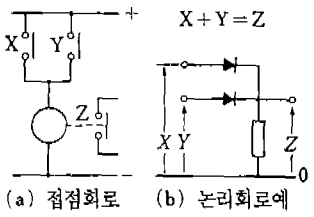
c접점은 가동접점을 공통으로 하고 a접점과 b접점을 조합한 것이다. 이것도 봉이 우측 또는 상측에 있는 것이 a접점, 좌측 또는 하측에 있는 것이 b접점이다. ***l*접점**은 개폐시에 b접점이 열리기 전에 a접점이 닫히고 a접점이 열리기전에 b접점이 닫히는 접점으로서, a 및 b접점을 구별할 때는 a*l*접점, b*l*접점이라고 한다. **쌍방향접점**은 상시 개로하고, 입력의 정부극성, 사고전류의 방향 등에 따라 닫히는 접점이 다른 것이다.

수동복귀 및 전기복귀의 계전기는 동작한 후 입력이 원상으로 돌아가도 복귀하지 않고 수동조작 또는 다른 입력의 인가에 의해 복귀하는 것이다. **한시**(限



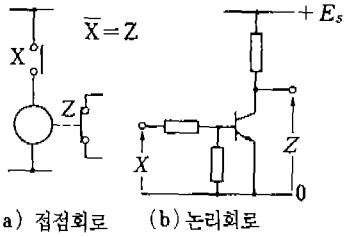
(a) 접정회로 (b) 논리회로예

<그림 25·1> AND회로



(a) 접점회로 (b) 논리회로예

<그림 25·2> OR회로



(a) 접점회로 (b) 논리회로

<그림 25·3> NOT회로

時)라는 용어는 응동을 특별히 늦게 한 경우에 사용되고, 고속도라는 용어는 특별히 응동을 빠르게 한 경우에 사용된다. 특별히 이러한 배려를 하지 않는 경우의 응동은 즉시라고 불린다. 한시응동의 접점은 그림과 같은 삼각표지를 사용하여 한시응동의 방향을 표시한다.

보호계전장치에서는 일반적으로 복수의 계전기가 사용된다. 접점회로의 경우는 각 접점이 직렬·병렬로 접속되고 또 보조계전기로 릴레이되어 신호가 전달된다. 전기출력의 트랜지스터형은 이와 같은 신호의 중계에 논리회로가 사용된다. 이들 논리의 기본은 AND, OR, NOT이다.

그림 25·1은 AND회로이다. 접점회로는 X, Y의 양 접점 모두 폐로하면 Z가 닫힌다. 그림의 논리회로예는 다이오드 논리회로라고 불리는 것인데 X, Y에 모두 정전압이 있으면 Z에 출력전압을 발생한다.

그림 25·2의 OR회로에서는 접점회로는 X, Y 어느 하나가 닫히면 Z가 닫히고 논리회로예에서는 X, Y 어느 하나에 정전압이 있으면 Z에 전압이 생긴다.

그림 25·3의 NOT회로에서는 접점회로는 X가 닫히면 Z가 열리고 논리회로는 X에 정전압이 있으면 Tr가 ON이 되고 Z의 전압이 없어진다. 그림의 논리회로 구성은 일례를 든 것이고 이 밖에도 여러가지 구성이 있다.

<표 25·2> 논리치의 약속

논 리 치	접 점	논리회로
1	폐	출력있음
0	개	출력없음

보호계전장치의 기능을 이해하는 데는 논리식(불대수)를 사용하면 편리하다. 논리식에서는 접점의 개폐 및 출력 유무를 전부 표 25·2와 같이 논리치 1과 0으로 표시한다. 각 논리회로의 논리식은 다음 식으로 표시된다.

AND회로 $Z=X\cdot Y$(논리적) …… (21)

OR회로 $Z=X+Y$(논리화) …… (22)

NOT회로 $Z=\overline{X}$ …… (23)

이들 식에서 일반 산수와 다른 점은 취급되는 숫자가 1과 0 이외는 $1+1=1$, $\bar{1}=0$, $\bar{0}=1$이라는 것이다.

식 (21)의 AND회로는 $X=Y=1$일 때만 $1\cdot1=1$이 되고 다른 경우는 $0\cdot1=1\cdot0=0\cdot0=0$으로 접점 개 또는 출력없음을 나타낸다. 식 (22)의 OR회로는 $X=Y=0$일 때만 $0+0=$이고 다른 경우는 $1+1=1+0=0+1=1$이 된다. 식 (23)의 NOT회로는 $X=1$일 때 $Z=\bar{1}=0$이 되고 $X=\bar{0}$일 때 $Z=0=1$이 된다.

<다음호에 계속>

한국형 경수로란?

'한국형 경수로'는 외국기술에 의존하지 않고 설계, 제작, 시공 등이 모두 한국기술로 이루어진 원자력발전소이다. 한국형은 '한국 표준형(Korean Standard Type)'을 줄인 말이다.

한국형 경수로의 핵심이 되는 원자로의 기본모델은 미국 컴버스천 엔지니어링(Commbustion Engineering)사가 개발한 'System 80 원자로'이다. System 80 원자로는 전력출력용량 122만kW를 낼 수 있는 열출력을 갖고 있는 모형이다. 그러나 우리나라에 가장 적합한 원자력발전소의 전기출력량이 90만kW로 추정됨에 따라 System 80을 1백만kW급으로 변경 설계하고, 중대사고(Severe accident)배제와 인간·기계 상호작용(Man-machine interface)개선 등 원형보다 1백군데 이상의 설계개선을 한 최신에 원자로를 사용한 것이 한국형 경수로이다.

한국형 경수로는 원자로의 압력용기내 노심과 제어장치와 같은 핵심부분의 국내생산이 불가능하기 때문에 95%수준의 기술 자립도를 나타내고 있다.