

CT의 접속과 흐르는 전류 ①

CT를 3상 회로에 접속하는 경우 접속방식에 따라 흐르는 전류가 어떻게 될까하는 것을 아는 것은 전류계의 지시, 전기보호 등을 이해하는데 있어 대단히 중요하면서도 필요하다. 그러므로, 여기서는 이에 대해 기술하고자 하며, 이에 앞서 변류기의 이론을 살펴본 뒤 본론으로 들어가하고자 한다.

1. 변류기의 이론

가. 원리

변류기의 원리를 그림 1 (a)에, 극성부호와 접속도를 (b)에 나타내었다.

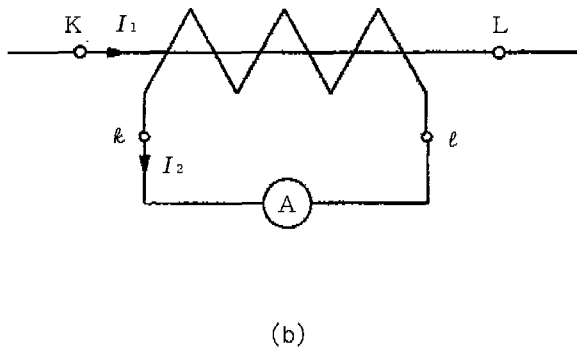
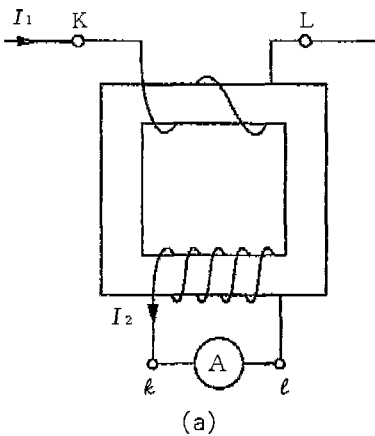
여자전류를 무시하면 1차, 2차 기자력은 같으므로,

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \dots \dots \dots (2)$$



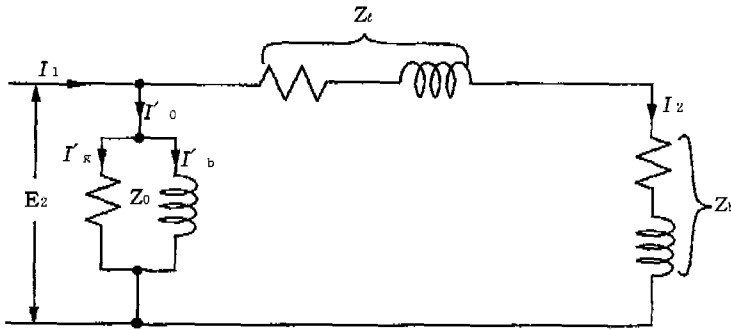
클/전 민 호
한전 정비기획실 처장



<그림 1>

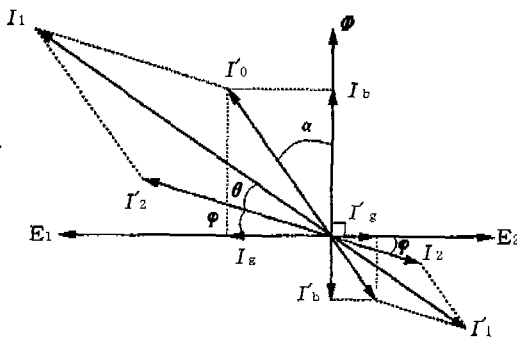
I_1 / I_2 를 변류비, $N_2 / N_1 = k$ 를 변류기의 권수비라 말한다. 이상적인 경우에는 (2)식과 같이 이들 양자는 일치하나 실제로는 여자전류가 존재하기 때문에 (1)식은 성립하지 않고 오차를 발생한다.

그림 2의 (a)는 2차측으로 환산한 등가회로, (b)는 2차측 기전력 E_2 를 기준으로 하여 그린 Vector도이다. 2차 환산치와 1차 환산치의 관계는 (c)와 같이 되어있다.



Z_t : 권선 임피던스, Z_b : 전류계 임피던스

(a)

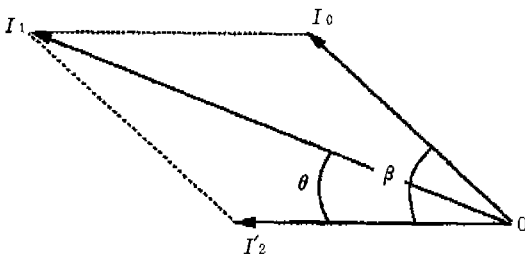


(b)

1차 환산치	E_1	I'_2	I_0	I_b	I_g	I_1
2차 환산치	E_2	I_2	I'_0	I'_b	I'_g	I'_1

(c)

<그림 2>



<그림 3>

$(Z_t + Z_b)$ 의 편각을 φ 라 하면 E_2 와 I_2 의 위상차가 φ 로 된다. φ 와 I_0 의 위상차를 α 라 하면 I_0 와 I'_2 의 위상차 β 는 $\beta = 90^\circ - (\alpha + \varphi)$ 로 된다.

그림 3에 I_2 , I_1 , I_0 의 관계를 Vector도로 나타내었다.

이 그림에서 I_1 을 구하면,

$$I_1 = I'_2 + I_0 \cos \beta + j I_0 \sin \beta \dots (3)$$

단, (3)식은 I'_2 를 기준으로 할 때의 I_1 이다.

$$\cos \beta = \cos \{90^\circ - (\alpha + \varphi)\}$$

$$= \sin(\alpha + \varphi)$$

$$\sin \beta = \sin \{90^\circ - (\alpha + \varphi)\}$$

$$= \cos(\alpha + \varphi)$$

권수비 k 에 의해,

$$I'_2 = k I_2$$

이 관계를 (3)식에 대입하면,

$$I_1 = k I_2 + I_0 \sin(\alpha + \varphi) + j I_0 \cos(\alpha + \varphi)$$

또한 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이

I_1 과 I'_2 의 위상차 θ 는,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{I_0 \cos(\alpha + \varphi)}{k I_2 + I_0 \sin(\alpha + \varphi)} \dots (4)$$

θ 가 작을 때 $\tan \theta \approx \theta$ 의 관계를 이용하여,

$$\begin{aligned} \theta &\approx \frac{I_0 \cos(\alpha + \varphi)}{k I_2 + I_0 \sin(\alpha + \varphi)} \\ &\approx \frac{I_0 \cos(\alpha + \varphi)}{k I_2} \dots (5) \end{aligned}$$

이 θ 를 변류기의 위상각이라 부르며, 변류비는,

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} &= \left| \frac{I_1}{I_2} \right| \\ &= \left| k + \frac{I_0 \sin(\alpha + \varphi) + j I_0 \cos(\alpha + \varphi)}{I_2} \right| \end{aligned}$$

..... (6)

나. 오차와 이의 보상

(6)식에서 알 수 있는 바와 같이 실제 변류비는 권수비보다 조금 크고, 식(5)로 부터는 I_1 과 I'_2 와의 사이에는 위상차가 있어 각각 오차의 원인이 됨을 알 수 있다.

위상차는 CT를 단독으로 사용할 때는 오차로 되지 않지만 전력 측정 등에 사용할 때는 위상 관계가 들어가므로 오차의 원인이 된다. 양자의 영향은 I_2 가 작을수록 크게 된다. 권수비와 실제 변류비를 근접시키기 위해 2차권수를 약 1[%]정도 적게 감는 일이 있으며 이것을 권수 되맞추기라

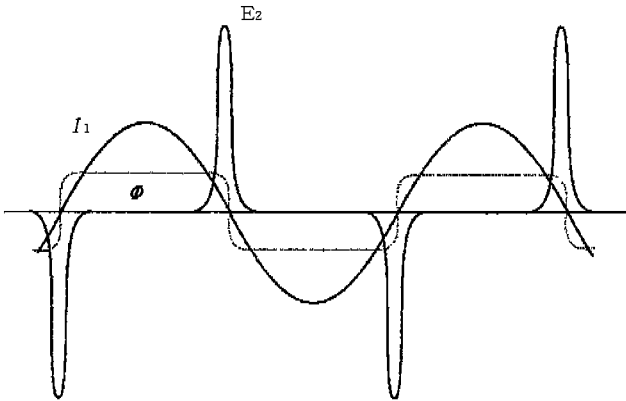
말한다. 또한 위상각은 3차권선을 설치하고 이것에 저항이나 콘덴서를 접속함으로써 2차전류 위상을 조정하는 등의 방법을 취하고 있다.

변류기 명판에 기재되어 있는 비오차 ϵ 은,

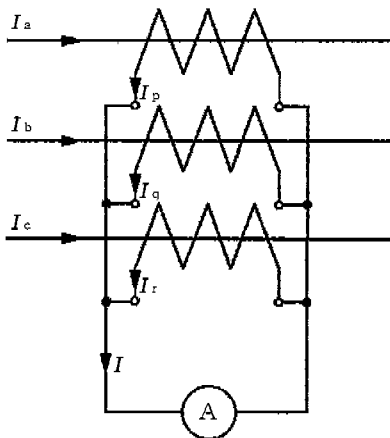
$$\epsilon = \frac{\text{공칭변류비} - \text{실제변류비}}{\text{실제변류비}} \times 100[\%] \dots (7)$$

로 정의되며, 공칭변류비를 사용하여 1차전류를 구할 때의 오차 백분율이다.

오차 인자를 작게 하기 위해서는 될수록 단순한 구조로 하고 우수한 철심재료를 사용하여 여유 있는 설계를 해야 한다.



<그림 4>



<그림 5>

다. 변류기의 2차 부담

변류기 출력은 2차측의 단자전압과 전류의 積(적)[VA]으로 나타내며 이것을 2차부담이라 부른다. 일반적으로 변류기 2차 정격전류는 1차전류가 어떠한 5[A]이다. 따라서 정격 2차부담이 25[VA]인 변류기에서는 $25/5^2 = 1[\Omega]$ 인 Z_b 까지 부담시켜도 좋다.

라. 이상 현상

○ 서어지에 의한 것

선로의 개폐동요나 1선지락시 등에 발생하는 전압 서어지가 변류기에 침입하면 선로의 서어지 임피던스에 비해 변류기의 그것이 훨씬 크기 때문에 집중 임피던스로 작용하여 1차단자로 반사되어 이상 고전압이 발생한다. 이것에 의해 단자간 및 권선층간 절연이 위협받게 된다. 이것에 대한 보호는 1차 단자간에 병렬로 By-pass 저항, 밸브 저항형 By-pass 피뢰기를 설치한다.

○ 2차 개로에 의한 것

사용중 변류기 2차측을 Open시키면 얼마나 위험한지 그 이유를 생각해보자.

변압기와 달리 변류기에서는 2차회로를 Open하여도 1차전류는 거의 변하지 않는다. 2차회로가 Close 상태라면 1차전류에 의한 기자력은 2차전류에 의한 기자력에 의해 거의 상쇄되어 철심중에는 약간의 여자전류에 의한 자속이 존재하게 되나, 2차측을 Open하면 상쇄가 일어나지 않기 때문에 1차전류에 의한 기자력은 모두 자화력으로 작용, 철심을 완전히 포화시켜 자속은 그림 4와 같이 구형파(矩形波)에 근접하게 되며, 2차전압은 최대치인 극히 큰 첨두파로 된다.

이 때문에 철심은 철손이 증가하여 현저한 온도 상승을 야기하고, 2차회로는 절연이 위협받게 되며, 취급자도 위험하다. 따라서 사용중인 변류기의 접속을 바꾸든지, 전류계를 떼어내려고 할 때에는 필히 2차측을 단락시켜 놓을 필요가 있다. 이와같은 2차전압은 특성이 우수한 변류기, 정격 1차전류가 큰 변류기 일수록 높아진다. JIS에서는 1차측에 정격 1차전류를 흘린 상태에서 그의 2차측을 1분간 Open시켜도 기계적으로나 전기적으로 손상을 받아서는 안된다고 되어있다.

2. CT의 3상 회로에의 접속

CT 2차측에 저임피던스가 접속되어 있을 때는 1차측 전류가 일정한 경우 1차측 전류에 위상과 크기가 비례하는 정전류원으로 취급해도 좋다.

앞의 이론에서 기술한 바와 같이 오차가 있는 것도 큰 영향은 없다.

예를들어 그림 5와 같은 회로의 전류계의 지시 I를 구해보자. 단, 변류비는 k로 한다.
 각 CT의 전류 I_p, I_q, I_r 은

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{k} I_a \\
 I_q &= \frac{1}{k} I_b \\
 I_r &= \frac{1}{k} I_c \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

로 생각해도 좋다. 그러므로 전류계 ㉔에 흐르는 전류 I 는

$$I = I_p + I_q + I_r = \frac{1}{k} (I_a + I_b + I_c) \dots\dots (9)$$

여기서 대칭좌표법에 의하면,

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_0 + I_1 + I_2 \\
 I_b &= I_0 + a^2 I_1 + a I_2 \\
 I_c &= I_0 + a I_1 + a^2 I_2 \dots\dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

라 쓸 수 있다. (10)식을 (9)식에 대입하면,

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{k} (I_0 + I_1 + I_2 + I_0 + a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \\
 &\quad + a I_1 + a^2 I_2) \\
 &= \frac{1}{k} \{3I_0 + I_1 (1+a+a^2) + I_2 (1+a+a^2)\} \\
 &= \frac{3}{k} I_0 \dots\dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

단, a는 3상의 벡터 연산자로서, 1+a+a²=0의 관계가 있으며,

I₀를 영상전류, I₁을 정상전류, I₂를 역상전류라 말한다.

불평형 3상 전류에는 이들이 포함되어 있으나 평형 3상전류에는 정상분 I₁ 뿐이다. 전류계의 지시 I는 I_a, I_b, I_c가 평형 3상 전류일 때는 I₀, I₂가 영이기 때문에 I = 0이다. 또한 불평형이라 해도 영상분을 포함하고 있지 않으면 역시 I = 0이다.

(11)식으로부터 알 수 있는 바와 같이 그림 5의 접속에서는 전류계 ㉔의 지시 I는 영상전류 I₀의 3배에 비례한 값을 지시한다.

● 다음호에 계속 됩니다

가을 은 참 이상한 계절이다. 조금 차분해진 따
 음으로 오던 길은 되돌아 볼 때, 푸른 하늘
 아래서 시름시름 앓고 있는 나무들을 바라볼 때, 산다는
 게 뭘까 하고 문득 혼자서 중얼거릴 때, 나는 새삼스레
 착해지려고 한다. 나뭇잎처럼 우리들의 마음도 얇은 우
 수에 물들어 간다. 그래서 집으로 돌아가는 버스 안에서
 대중 가요를 들으며 속이 뻘뻘 들떠다 보이는 가사 하나
 하나에도 곧잘 귀를 모은다. 또 깊은 밤 주소록을 펼쳐
 들고 친구들의 눈매를, 그 음성을 기억해 낸다.

☞ 무소유, 법정