CT의 접속과 흐르는 전류 ②

CT를 3상 회로에 접속하는 경우 접속방식에 따라 흐르는 전류가 어떻게 될까하는 것을 아는 것은 전류계의 지시, 전기보호 등을 이해하는데 있어 대단히 중요하면서도 필요하다.
이번호에는 전월에 이어 주어진 상황에 따른 CT의 접속과 흐르는 전류에 대해 기술하고자 한다.

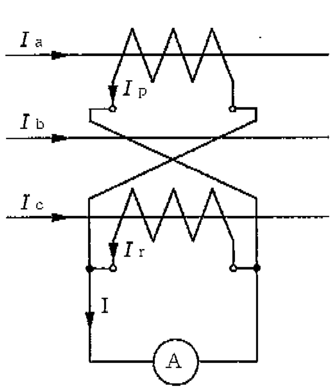
글/전 민 호
한전 정비기획실 처장

문제 1

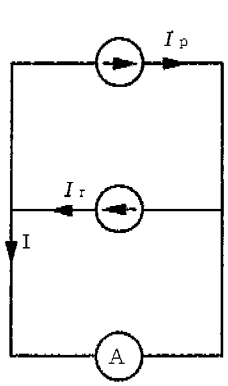
그림 1과 같은 회로에서
$I_a = I$
$I_b = a^2 I$
$I_c = aI$ 라 할 때, 전류계의 지시 I_A를 구해보자.
단, 변류비는 k로 한다.

답

각 변류기를 I_p, I_r인 정전류원으로 하여 그림을 바꿔 그리면 그림 2와 같다.
전류계 Ⓐ에 흐르는 전류 I_A는



<그림 1>



<그림 2>

$$I_A = I_r - I_p \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

I_p, I_r 은

$$\left.\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{k} I_a = \frac{1}{k} I \\ I_r &= \frac{1}{k} I_c = \frac{1}{k}\, aI \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

(2)식을 (1)식에 대입하면,

$$I_A = I_r - I_p = \frac{1}{k}\, aI - \frac{1}{k} I = \frac{1}{k}\,(a-1) I \quad \cdots (3)$$

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$ 을 (3)식에 대입하면,

$$I_A = \frac{1}{k}\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - 1\right) I = \frac{1}{k}\left(-\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) I$$

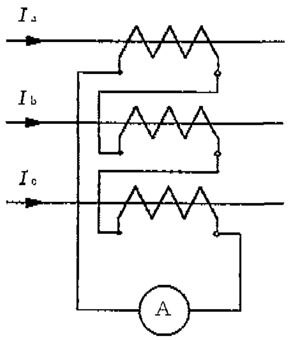
$$= \frac{\sqrt{3}}{k}\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right) I \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

따라서 전류계 Ⓐ의 지시 I_A 는

$$I_A = |\,I_A\,| = \frac{\sqrt{3}}{k} I \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

(단, $\sqrt{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} \cong 1$ 로 되는 것은 말할 것도 없다)

문 2



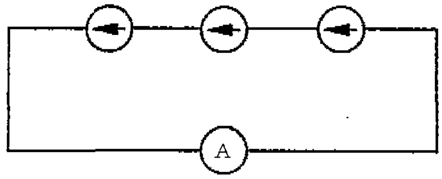
<그림 3>

그림 3의 회로에서

$$\left.\begin{aligned} I_a &= I \\ I_b &= a^2 I \\ I_c &= aI \end{aligned}\right\} \text{ 라 할 때}$$

전류계 Ⓐ의 지시 I_A를 구해보자.
단, 변류비는 k로 한다.

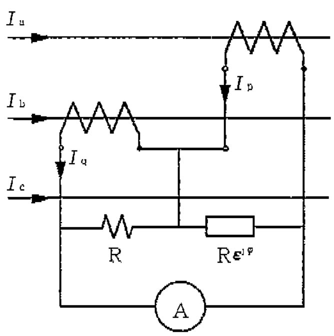
답



<그림 4>

그림 3은 변류기 2차측이 직렬로 접속되어 있기 때문에 그림 4와 같이 그러나 정전류원은 내부임피던스가 무한대라 생각해도 좋으므로 실제로는 개로상태와 같다. 개로상태에서는 전류를 흘릴 수 없으므로 전류계 Ⓐ에는 전류가 흐르지 않는다. 이 때 변류기 2차측에는 최초에 기술한 바와 같이 펄스상의 고전압이 발생하고 있다. 그러므로 이런 접속을 하는 것은 위험하다.

문 3



<그림 5>

그림 5에 나타난 바와 같은 회로에서 전압계 Ⓥ의 지시를 역상전류에 비례하도록 하기 위해서는

φ를 어떻게 선정하면 좋을까?
단, 변류기의 변류비는 k로 한다.

답

3상 3선식 선로에서는 중성점이 접지되어 있지 않고 1선 지락사고가 발생되어 있지 않으면 선전류에 관해서 다음 식이 성립한다.

$$I_a+I_b+I_c = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

따라서 이 경우 영상전류 I_0는

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a+I_b+I_c)=0 \text{ 이다.}$$

정상분전류 I_1, 역상분전류 I_2라 하면 거꾸로 I_a, I_b는

$$\left.\begin{aligned} I_a &= I_1+I_2 \\ I_b &= a^2I_1+aI_2 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

으로 된다. 변류기 2차측을 흐르는 전류 I_p, I_q는

$$\left.\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{k}I_a = \frac{1}{k}(I_1+I_2) \\ I_q &= \frac{1}{k}I_b = \frac{1}{k}(a^2I_1+aI_2) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (8)$$

I_p는 $R\varepsilon^{j\varphi}$를, I_q는 R를 흐르기 때문에 전압계에 걸리는 전압 V는

$$V = I_pR\varepsilon^{j\varphi}+I_qR = R(I_p\varepsilon^{j\varphi}+I_q) \quad \cdots (9)$$

(8)식을 (9)식에 대입하면,

$$V = R\cdot\frac{1}{k}\{(I_1+I_2)\varepsilon^{j\varphi}+a^2I_1+aI_2\}$$

$$= \frac{R}{k}\{I_1(\varepsilon^{j\varphi}+a^2)+I_2(\varepsilon^{j\varphi}+a)\} \quad \cdots (10)$$

V를 역상전류 I_2에 비례시키기 위해서는 정상전류 I_1의 계수가 영으로 되면 된다. 즉,

$$\varepsilon^{j\varphi}+a^2 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (11)$$

또는

$$\varepsilon^{j\varphi} = \cos\varphi+j\sin\varphi \quad \cdots\cdots\cdots (12)$$

$$a^2 = -\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cdots\cdots\cdots (13)$$

이므로 (11)식에 (12), (13)식을 대입하면,

$$\cos\varphi+j\sin\varphi-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2} = 0$$

$$\therefore\ (\cos\varphi-\frac{1}{2})+j(\sin\varphi-\frac{\sqrt{3}}{2}) = 0 \quad \cdots (14)$$

(14)식이 성립하는 φ는 $\varphi=60°$, 이 φ를 (12)식에 대입하면,

$$\varepsilon^{j60°} = \cos 60°+j\sin 60° = \frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cdots (15)$$

(15)식을 (10)식에 대입하면 $\varphi=60°$일 때의 V를 구할 수 있다.

$$V = \frac{R}{k}I_2(\varepsilon^{j60°}+a) = \frac{R}{k}I_2(\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2})$$

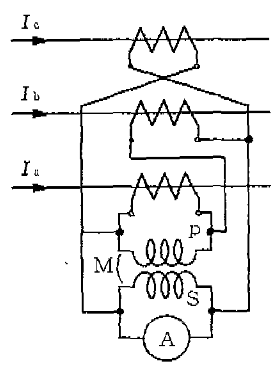
$$= j\sqrt{3}\frac{R}{k}I_2 \quad \cdots\cdots\cdots (16)$$

$\varphi=60°$일 때 전압계 V의 지시 V는

$$V = \sqrt{3}\frac{R}{k}I_2 \quad \cdots\cdots\cdots (17)$$

로 되고 역상전류 I_2에 비례한다.

문제 4

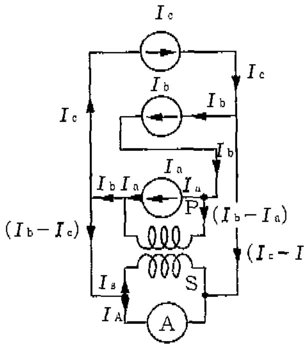


<그림 6>

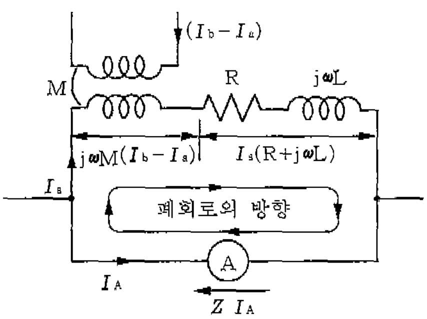
3상 배전선로에서 변류기 2차측에 그림 6과 같이 상호 유도코일 P, S를 접속하고 코일 S의 자기 임피던스를 R+jωL, 코일 P와 S의 상호임피던스를 jωM이라 할 때,

$M=2L$, $R=\frac{\sqrt{3}}{2}\omega M$의 관계가 있을 때 전류계 Ⓐ의 임피던스 Z를 일정하게 한다면 전류계에 흐르는 전류는 역상전류에 비례한다는 것을 증명해 보자(단, 변류비는 1).

답



<그림 7>



<그림 8>

그림 6 회로의 CT를 정전류원에 바꿔놓고 전류 분포를 나타내면 그림 7과 같이 된다.

전류계와 S코일에 흐르는 전류를 I_A 및 I_S라 하면,

$$I_b - I_c = I_A + I_S \quad \cdots (18)$$

전류계 Ⓐ와 S코일의 폐회로를 자세히 그리면 그림 8과 같이 되며, 폐회로를 한바퀴 돌았을 때의 전압의 합은 영이기 때문에,

$$ZI_A + j\omega M(I_b - I_a) - I_s(R + j\omega L) = 0 \quad \cdots (19)$$

(18)식에 의해,

$$I_s = I_b - I_c - I_A \quad \cdots (20)$$

(20)식을 (19)식에 대입하여 I_s를 소거하면,

$$ZI_A + j\omega M(I_b - I_a) - (I_b - I_c - I_A)(R + j\omega L) = 0$$

각 전류로 구획을 지으면,

$$I_A(Z + R + j\omega L) + (R + j\omega L)I_c + (j\omega M - R - j\omega L)I_b - j\omega M I_a = 0 \quad \cdots (21)$$

(21)식에서,

$$I_A = \frac{j\omega M I_a - (j\omega M - R - j\omega L)I_b - (R + j\omega L)I_c}{Z + R + j\omega L} \quad \cdots (22)$$

여기서 주어진 조건 $M = 2L$, $R = \frac{\sqrt{3}}{2}\omega L$ 에 의해, $L = \frac{1}{2}M$, $R = \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M$ 을 식 (22)에 대입하면 분모는,

$$Z + R + j\omega L = Z + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M \quad \cdots (23)$$

분자인 I_b와의 관계는,

$$j\omega M - R - j\omega L = j\omega M - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M - j\frac{1}{2}\omega M$$

$$= \omega M\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j - j\frac{1}{2}\right)$$

$$= \omega M\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right) = j\omega M\left(\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad \cdots (24)$$

똑같이 I_c의 계수는,

$$R + j\omega L = \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M = \omega M\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)$$

$$= j\omega M\left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \quad \cdots\cdots (25)$$

(22)식에 (23), (24), (25)식을 대입하면,

$$I_A = \frac{j\omega M I_a - j\omega M\left(\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)I_b - j\omega M\left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)I_c}{Z + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M}$$

$$= j\omega M \frac{I_a + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)I_b + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)I_c}{Z + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M} \quad \cdots (26)$$

Vector 연산자는,

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

이기 때문에 (26)식은,

$$I_A = \frac{j\omega M(I_a + a^2 I_b + aI_c)}{Z + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M} \quad \cdots\cdots (27)$$

3상전류 I_a, I_b, I_c의 역상분 전류 I_2 는,

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$\therefore\ 3I_2 = I_a + a^2 I_b + a I_c \quad \cdots\cdots\cdots (28)$$

(28)식을 (27)식에 대입하면,

$$I_A = \frac{j3\omega M}{Z + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega M + j\frac{1}{2}\omega M} I_2 \quad \cdots\cdots\cdots (29)$$

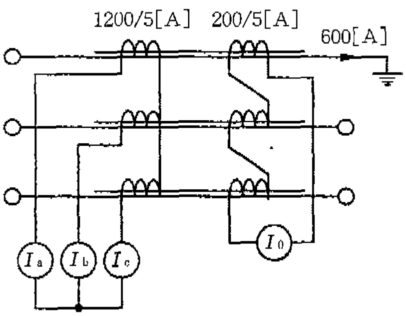
(29)식은 I_2에 비례하고 있다. Z 및 M 이 일정하다면 전류계의 지시 I 는,

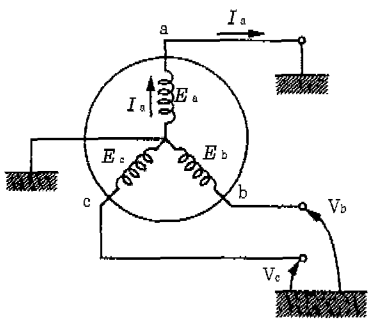
$$I = \left| \frac{j3\omega M}{Z + j\omega M\left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)} \right| \cdot |I_2| \quad \cdots\cdots (30)$$

로 되어 역상전류의 크기에 비례하는 전류를 지시한다.

문제 5

그림 9와 같은 회로에서 a상에 1선 지락사고로 600[A]가 흘렀다. 3차권선 CT의 2차, 3차전류를 계산해 보자.





<그림 9>

1선 지락전류란 중성점을 접지한 3상 교류발전기를 무부하 운전중 a상의 단자 a가 완전 접지되었을 경우의 전류로, 지금 a, b, c상 전류를 각각 I_a, I_b, I_c라 하면, b 및 c 단자는 개방되어 있기 때문에 $I_b=0$, $I_c=0$ 이다. 이 관계를 정상, 역상, 영상전류의 식에 대입하면,

$$\left.\begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3}I_a \\ I_1 &= \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3}I_a \\ I_2 &= \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + aI_c) = \frac{1}{3}I_a \end{aligned}\right] \quad \cdots (31)$$

(31)식에 의해,

$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3}I_1$ 이 된다.

또한, a, b, c 각 단자의 전위를 V_a, V_b, V_c로 하고, V_a, V_b, V_c의 대칭분을 V_0, V_1, V_2라 한다면,

$$\left.\begin{aligned} V_a &= V_0 + V_1 + V_2 \\ V_b &= V_0 + a^2 V_1 + aV_2 \\ V_c &= V_0 + aV_1 + a^2 V_2 \end{aligned}\right] \quad \cdots (32)$$

가 된다. 또한 발전기의 영상, 정상, 역상 임피던스를 각각 Z_0, Z_1, Z_2라 한다면,

$$\left.\begin{aligned} V_0 &= -Z_0 I_0 \\ V_1 &= E_a - Z_1 I_1 \\ V_2 &= -Z_2 I_2 \end{aligned}\right] \quad \cdots (33)$$

로 된다.

a 단자는 완전 접지되어 있으므로 $V_a=0$로 되어 (32)식에서,

$V_a = V_0 + V_1 + V_2 = 0$

로 된다. (33)식의 관계를 여기에 대입하면,

$-Z_0 I_0 + (E_a - Z_1 I_1) - Z_2 I_2 = 0$

$\therefore\ Z_0 I_0 + Z_1 I_1 + Z_2 I_2 = E_a$

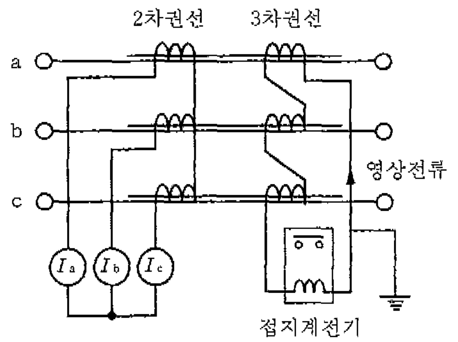
로 되고, 이것을 (31)식에 대입하면,

$I_a = \dfrac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$ 로 된다.

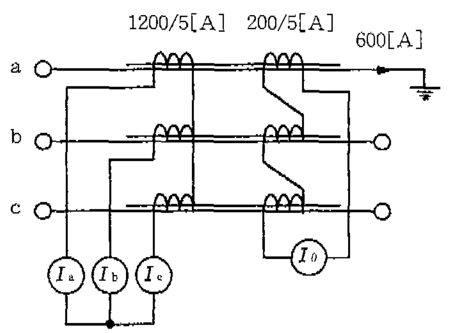
3차권선 CT의 2차권선, 3차권선이란?

그림 10과 같이 1차측 전류에 비례하는 전류를 꺼내는 변류기를 2차권선이라 말하고, 영상전류를

꺼내기 위한 변류기를 3차권선 변류기라 말한다.



<그림 10>



<그림 11>

3권선 CT의 3차, 3차전류는?

1차, 2차, 3차권선의 권수를 각각 n_1, n_2, n_3라 하면, 제의에 의해

$$\frac{1200}{5}=\frac{n_2}{n_1},\quad \frac{200}{5}=\frac{n_3}{n_1}$$

1차 권선의 권수를 1이라 하면,

$$n_2=\frac{1200}{5},\quad n_3=\frac{200}{5} \qquad \cdots (34)$$

1차권선의 기자력은 2차, 3차권선의 기자력의 합계와 같으므로, a, b, c선에 각각 그것을 적용하면,

$$\left.\begin{array}{l} n_2 I_a + n_3 I_0 = 600 \\ n_2 I_b + n_3 I_0 = 0 \\ n_2 I_c + n_3 I_0 = 0 \end{array}\right] \qquad \cdots (35)$$

(34)식을 (35)식에 대입하면,

$$\left.\begin{array}{l} \frac{1200}{5}\times I_a+\frac{200}{5}\times I_0 = 600 \\ \frac{1200}{5}\times I_b+\frac{200}{5}\times I_0 = 0 \\ \frac{1200}{5}\times I_c+\frac{200}{5}\times I_0 = 0 \end{array}\right] \qquad \cdots (36)$$

또한, $I_a+I_b+I_c=0$ $\qquad \cdots (37)$

가 성립하므로 (36)식에서,

$$I_b=I_c \qquad \cdots (38)$$

이것을 (37)식에 대입하면,

$$I_a+2I_c=0 \quad \therefore I_c=-\frac{I_a}{2} \qquad \cdots (39)$$

(36)식에 의해,

$$\frac{1200}{5}(I_a+I_b+I_c)+\frac{200}{5}\times 3I_0=600$$

$$\frac{200}{5}\times 3I_0=600 \quad \therefore I_0=5[A] \qquad \cdots (40)$$

(40)식을 (36)식에 대입하면,

$$\frac{1200}{5}\times I_a+\frac{200}{5}\times 5=600 \quad \therefore I_a=\frac{5}{3}[A] \qquad \cdots (41)$$

(41)식을 (39)식에 대입하면,

$$I_c=-\frac{1}{2}\times\frac{5}{3}=-\frac{5}{6}[A]$$

$I_b=-\frac{5}{6}[A]$ 정리하면,

$$I_0=5[A],\ I_a=\frac{5}{3}[A],\ I_b=-\frac{5}{6}[A],\ I_c=-\frac{5}{6}[A]$$

가 된다.

3권선 CT의 2차, 3차전류가 옳은지를 구하려면, a상의 1차전류 I_A는 $I_A=I_0+I_1+I_2=600[A]$에서 $I_0=I_1=I_2$에 의해 $I_0=I_1=I_2=200[A]$가 된다. 2차권선의 5[A]는 영상전류 200[A]에 대한 전류이다. 2차권선 a상의 5/3[A]에 대한 1차전류는,

$$\frac{5}{3}\times\frac{1200}{5}=400[A]로$$

$I_1+I_2=200+200=400[A]$와 같다.

2차권선 b상의 $-\frac{5}{6}[A]$에 대한 1차전류는,

$$-\frac{5}{6}\times\frac{1200}{5}=-200[A]$$

$$a^2 I_0 + a I_1 = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200$$

$= -200$[A]와 같다.

2차권선 c상의 $-\frac{5}{6}$[A]에 대한 1차전류는,

$-\frac{5}{6} \times \frac{1200}{5} = -200$[A]로

$$a I_0 + a^2 I_1 = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200$$

$= -200$[A]와 같다.

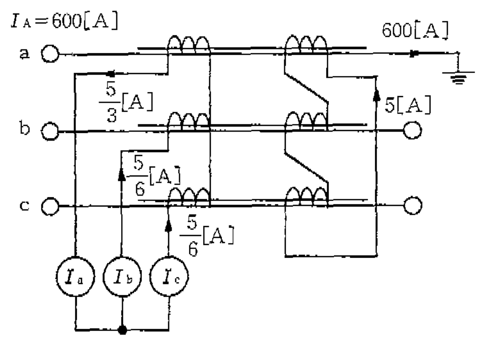
이런 것들에 의해 2차권선에는 정·역상분만, 3차권선에는 영상전류만 흐르는 것을 알 수 있다. 그러므로 a상의 1차전류는,

$$I_A = I_0 + I_1 + I_2 = 200 + 200 + 200 = 600[A]$$

$$I_B = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 200 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 = 0$$

$$I_C = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 200 + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \times 200 = 0$$

그러므로, $I_A = 600$[A], $I_B = 0$, $I_C = 0$가 되어 바르게 구해진 것이다.



<그림 12>

전력기술문화 창달 시리즈 ⑤

전력시설물의 유지관리·보수·점검을 철저히 합시다 ③

전동기의 절연재료를 열화시키는 요인으로는 열적, 전기적, 물리적, 기계적, 화학적 요인 등으로 대별할 수 있다. 최근의 전동기는 재료기술의 현저한 진보에 의하여 고온에 견디는 절연재료를 사용하여 소형·경량화의 방향으로 발전하고 있다.

✠ 절연재료의 종류와 허용최고온도 ✠

절연의 종류	허용최고온도(℃)	구 성 재 료
O	95	면직물, 견, 지 등의 재료로 구성, 바니쉬를 함침하지 않고 유중에 침투하지 않는 것
A	105	면직물, 견, 지 등의 재료로 구성, 바니쉬함침 또는 유중에 침투한 것
E	120	합성유기재료(폴리에스텔전선, 폴리에틸렌테레프터레이트 필름 등)
B	130	마이카, 석면, 유리섬유 등의 재료를 접착제와 함께 써서 구성한 것
F	155	마이카, 석면, 유리섬유 등의 재료를 실리콘아르키드수지 등의 접착제와 함께 써서 구성한 것
H	180	마이카, 석면, 유리섬유 등의 재료를 실리콘수지 또는 동등 재료로된 접착제와 함께 써서 구성한 것
C	180 이상	생마이카, 석면, 자기를 단독 또는 접착제와 함께 쓴 것