

현장엔지니어 시리즈 4

# 다회선 병가에서 생기는 트러블

역/대한전기기사협회

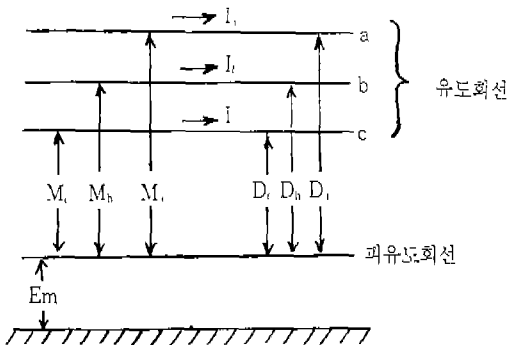
송전선은 2회선 구성이 보통이지만 근래에 와서 용지사정으로 4회선, 6회선과 같이 다회선 병가의 송전선이 많아지고 있다. 이와 같은 다회선 병가 송전선에서는 병가 타회선으로부터의 유도에 의해 계통 보호에 영향을 주는 경우가 있다. 이하, 이 문제에 대해서 설명한다.

## 1. 병가 타회선으로부터의 유도 전압

병가 타회선으로부터의 전기적 유도에는 부하전류 등으로 인한 전자유도와 송전 전압으로 인한 정전 유도가 있다.

### (1) 전자 유도

<그림 1>에 나타내는 바와 같이 병가 타회선의 각상 전류를  $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ 로 하고, 각상 전선과의 사이의 상호 임피던스를  $M_a, M_b, M_c$ 라고 하면 전자유도 전압  $E_m$ 은



<그림1> 전자유도

$$E_m = j2\pi f(M_a \dot{I}_a + M_b \dot{I}_b + M_c \dot{I}_c) / \quad (1)$$

$l$ : 병가 증장,  $f$ : 주파수  
가 된다.

여기서 상호 인덕턴스는 카슨·폴라체크(Carson-Pollaczek) 식에서

$$M = 0.2 \log_e \frac{2}{r |K| D} + 0.1 - \frac{j\pi}{20} \text{ (mH/km)} \quad (2)$$

단,  $r = 1.7811$

$$|K| = \sqrt{4\pi\omega \left(\frac{1}{\rho} \times 10^5\right) \times 10^{-14}}$$

$D$ : 양선간의 거리 [cm]

$\rho$ : 대지의 고유저항 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]

전류가 부하전류 등으로 영상분을 포함하지 않는 경우는

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

이므로 유도전압  $E_m$ 은 식(1), 식(2)에서

$$\begin{aligned} E_m &= j2\pi f \left\{ \left( 0.2 \log_e \frac{2}{r |K| D} + 0.1 - \frac{j\pi}{20} \right) \right. \\ &\times (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c) - \dot{I}_a \times 0.2 \log_e D_a - \dot{I}_b \times 0.2 \log_e D_b - \dot{I}_c \\ &\times 0.2 \log_e D_c \left. \right\} \\ &= -j 0.4\pi f (\dot{I}_a \log_e D_a + \dot{I}_b \log_e D_b + \dot{I}_c \log_e D_c) \quad (3) \end{aligned}$$

가 된다. 이 경우에 예를 들면  $D_a = D_b = D_c$ 이면 유도 전압은 영이 되고 유도회선 전류 내에 영상분이 없으면 전자유도전압은 유도회선의 각상 전선과 피유도회선 전선의 위치의 불평형에서 생기게 된다.

따라서 유도회선 각상의 선간거리에 비해서 병가 회선간의 거리가 커지면  $D_a \approx D_b \approx D_c$ 가 되어 유도전압이 거의 영이 되기 때문에 이와 같은 경우에는 전

류의 영상분(지락 고장시의 전류)만의 유도전압이 문제가 된다.

(2) 정전 유도

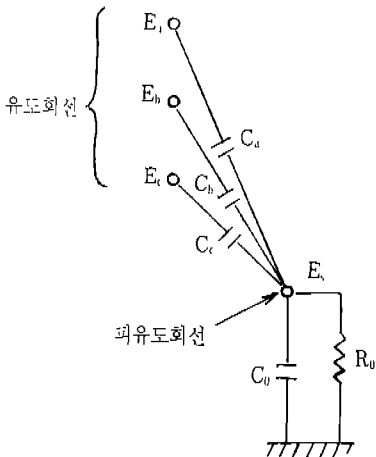
<그림 2>와 같이 병가 타회선의 각상 전압  $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ 로 하고 각상 전선과 피유도회선의 전선 사이에 정전용량을  $C_a, C_b, C_c$ , 피유도회선 전선의 대지 정전용량과 중성점 접지저항을 각각  $C_0, R_0$ 라고 하면 정전유도전압  $\dot{E}_s$ 는

$$j\omega C_a(\dot{E}_a - \dot{E}_s + j\omega C_b(\dot{E}_b - \dot{E}_s) + j\omega C_c(\dot{E}_c - \dot{E}_s)) = \dot{E}_s(1/R_0 + j\omega C_0)$$

$$\dot{E}_s = \frac{j\omega(C_a\dot{E}_a + C_b\dot{E}_b + C_c\dot{E}_c)}{\{1/R_0 + j\omega(C_0 + C_a + C_b + C_c)\}} \quad (4)$$

여기서 각상전압은 평형 삼상전압이라고 하면

$$\dot{E}_a = E, \dot{E}_b = E(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}), \dot{E}_c = E(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})$$



<그림 2> 정전유도

가 되고, 이것은 식(4)에 대입하면

$$E_s = \frac{j\omega\{C_a + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2})C_b + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})C_c\}E}{\{1/R_0 + j\omega(C_0 + C_a + C_b + C_c)\}}$$

$$= \frac{j\omega\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{\{1/R_0 + j\omega(C_0 + C_a + C_b + C_c)\}} \times E \quad (5)$$

가 된다.

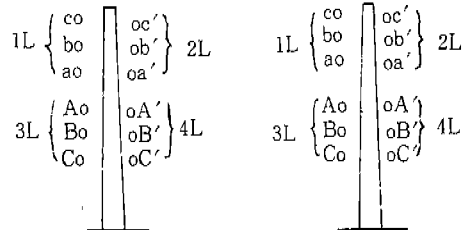
정전 유도의 경우도 각상 전압에 영상분(지락 고

장시에 발생)이 없고  $C_a = C_b = C_c = C$ 면 유도전압은 영이 된다. 즉, 상시 전압으로부터의 정전 유도는 유도회선의 각상 전선과 피유도회선 전선과의 상대 위치의 불평형에서 생기므로 이 경우도 전자유도와 동일하게 유도회선 각상의 선간 거리에 비해서 양 회선간의 거리가 길면 상시 전압에 의한 정전 유도전압은 거의 영이 되며 영상분 전압만에 의한 정전 유도 전압이 문제가 된다.

또한 정전 유도전압은 식(4)에 나타내듯이 피유도회선의 중성점 접지저항값이 작거나 대지 정전용량이 크면 유도전압이 작아진다.

2. 병가회선의 유도장해 문제

이상과 같이 다회선 병가 송전선에서는 타 병가회선으로부터의 유도를 받는데, 이것에 의한 장해는 주로 고저항 접지계에서의 지락 보호가 문제가 되는 일이 많지만 병가회선의 전압차가 큰 경우는 하위 전압계의 절연설계에 영향을 주는 경우도 있다. 이하, 일본의 경우를 예로 든다.

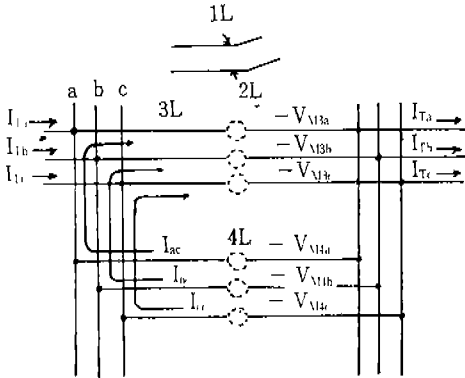


(a) 1L~4L 154kV 이상  
(b) 1L~2L: 187kV 이상 3L~4L: 154kV 이하  
<그림 3> 4회선병가철탑의 상 배열

<그림 3>은 4회선 병가 송전선의 상 배열을 나타낸 것이다. 그림(a)는 전회선이 154kV 이하인 경우로서 각상의 배치가 철탑에 대해서 선대칭 배열로 되어 있다. <그림(b)>는 상선이 187kV 이상의 초고압, 하선이 154kV 이하인 경우로서 초고압 송전선은 유도 전압을 작게 하기 위해서 그림과 같은 역배열로 되어 있다.

<그림 4>는 상선의 1L 및 2L의 전류에 의해 하

선 3L 및 4L에 생기는 유도전압 및 이것에 의해 생기는 순환전류의 상태를 나타낸 것이다.



<그림 4> 4회선병기에 의한 전자유도전압·전류

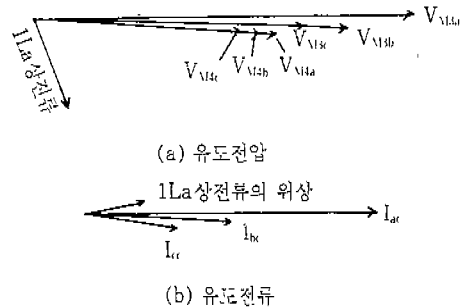
순환전류는  $V_{M3a}$ ,  $V_{M3b}$ ,  $V_{M3c}$ 와  $V_{M4a}$ ,  $V_{M4b}$ ,  $V_{M4c}$ 의 유도전압차에 의해 생기는 것이기 때문에 <그림 3(a)>의 경우도 1L, 2L 공히 운전되고 있을 때는 3L, 4L의 유도전압이 같으므로 순환 전류가 생기지 않는다. 따라서 순환전류가 생기는 것은 <그림 3(a)>의 경우로서, 1L 또는 2L 어느 것이 정지되어 있을 때 또는 <그림 3(b)>와 같이 상전의 상배열이 역배열로 되어 있을 때 생기게 된다.

예를 들면 <그림 3(a)>의 경우로서 2L이 정지되어 있을 때의 3L, 4L에의 유도전압에 대해서 생각해 보면 3L, 4L의 유도전압은 1L 하선 a상의 전류 영향을 크게 받게 되기 때문에 그 유도전압의 상태는 <그림 5(a)>와 같이 표시된다.

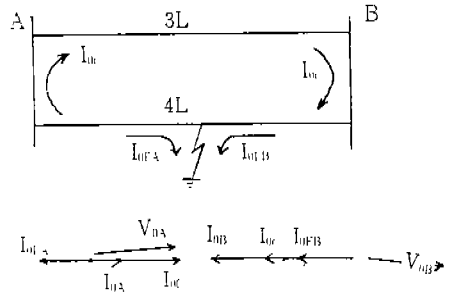
즉, 유도전압, 순환전류는 각상에서 그 크기는 상이하지만 위상은 거의 동위가 된다. 이때문에 3L, 4L 회선에는 영상전압, 영상전류가 발생하지만 영상전압은 통상적으로 지락사고시에 대해서 작은 값이며 지락계전기를 동작시키는 정도의 것은 아니다.

그러나 영상순환전류 고저항 접지계에서의 지락사고 전류에 대해서 비교적 큰 값이며 지락보호상 문제가 된다. 단락 보호에서는 사고전류가 크기 때문에 순환전류의 영향은 작다. 또한 <그림 4>의  $I_{T0}$ ,

$I_{Tb}$ ,  $I_{Tc}$ 와 같이 3L, 4L 외부에 통과하는 전류도 흐르지만 이 외부회로의 임피던스에는 중성점 접지회로의 임피던스도 포함해서 선로 임피던스에 대해서 크기 때문에 이 전류는 순환전류에 대해서 통상 무시할 수 있다.



<그림 5> 2L 정지시의 유도전압 및 순환전류



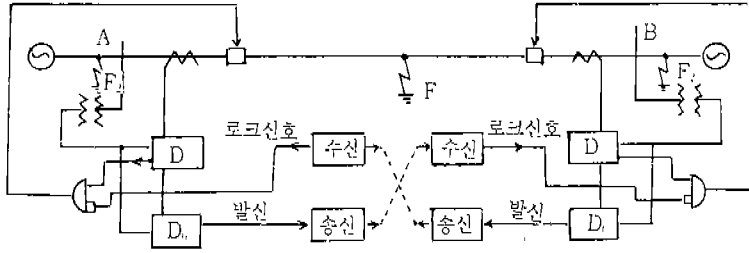
<그림 6> 영상순환전류가 있는 경우 지락시 영상전압·전류에

<그림 6>은 영상순환전류가 흐르고 있는 상태에서 고저항 접지계 4L에 지락사고가 발생한 경우의 영상전압, 전류의 관계를 나타낸 것으로서 영상순환전류의 위상이 이따금 사고분 전류와 동상의 경우이다.

(1) 방향비교 계전방식인 경우의 영향

방향비교계전방식은 고장전류가 송전선 양단에 있어서 모두 모선에서 송전선 방향으로 흐르기 때문에 이와 같이 전류가 흘렀을때 송전선의 내부고장으로서 차단기를 동작시키는 것이다.

즉 <그림 7>에 있어서 송전선 고장이  $F_1$ 인 경우는 양단에서  $F_1$ 을 향해서 고장전류가 흘러 어느 단자도  $D_1$ 이 동작, 차단기가 트립된다. 고장이  $F_2$ 인



D : 내부방향단전기 D<sub>0</sub> : 외부방향단전기

<그림7> 방향비교단전방식의 원리도

경우는 A단에서 B단으로 전류가 통과하기 때문에 A단에서는 D<sub>1</sub> 동작, D<sub>0</sub> 부동작, B단에서는 D<sub>1</sub> 부동작, D<sub>0</sub> 동작이 된다. 이때문에 A단에서는 차단기를 트립하려고 하지만 B단에서 D<sub>0</sub>의 동작에 의해 로크 신호가 도착해 있으므로 트립이 되지 않는다. 그러나 <그림 6>과 같은 영상순환전류가 있으면 고장회선의 A단에서는 송전선에서 모선방향으로 영상전류가 흐르기 때문에 고장회선을 차단할 수가 없다.

(2) 회선선택 계전방식인 경우의 영향

평행 2회선 송전선의 보호방식으로서 사용되는 것으로, 그 기본원리는 외부고장의 경우는 양회선 고장전류의 크기가 동일하지만 내부고장의 경우는 고장회선의 고장전류가 키지는 것을 이용해서 고장회선을 선택 차단하는 것이다.

실제로는 <그림 8>과 같이 1,2L의 변류기를 교차접속으로 하여 방향계전기를 접속한다. 이 방식에 있어서 <그림 6>과 같은 순환전류가 흐르면 영상교차회로에 영상순환전류의 2배의 전류가 흐른다. 이 상태에서 평행회선 외의 지락고장에 의해 영상전압이 생기면 계전기에 이 전압·전류가 동작하여 A단에서는 3L을, B단에서는 4L을 차단하게 된다. 또한 내부고장에 있어서도 고장전류분 교차회로전류가 순환전류보다 작을 때는 건전회선을 차단하는 오동작이 생긴다.

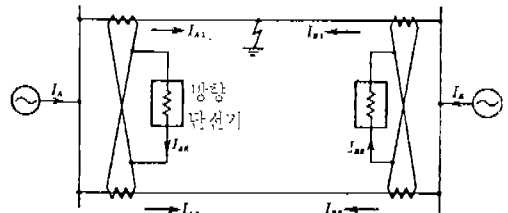
3. 영상순환전류대책 보호방식

이상과 같이 영상순환전류가 문제가 되는 경우에는 자동작원리를 이용한 표시선 계전방식이나 반송차동방식이 가장 적합하다.

그리나 이들 계전방식이 이용되는 경우에는 방향비교방식, 회선선택방식에 대해서 다음과 같은 방식이 사용되고 있다.

(1) 표시선 계전방식

<그림 9>와 같이 의부고장인 경우에는 억제 코일에 전류가 많이 흐르고 동작 코일 전류는 적으므로 계전기가 동작하지 않는다. 내부고장의 경우에는 동작 코일에 전류가 많이 흐르고 억제 코일의 전류는 적으므로 계전기가 동작, 계전기의 트립을 한다.

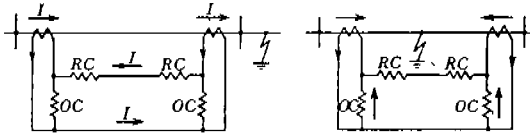


$$I_{A1} = \frac{(2-a)}{2} I_A + \frac{(1-a)}{2} I_B$$

$$I_{A2} = \frac{a}{2} I_A - \frac{(1-a)}{2} I_B$$

$$I_{AR} = I_{A1} - I_{A2} = (1-a)(I_A + I_B)$$

<그림8> 회선선택단전방식의 원리도



(a) 외부고장 (b) 내부고장  
OC : 동작코일 RC : 억제코일

<그림9> 표시선단전방식의 동작원리

환전류가 외부고장과 동일한 현상이 되어 계전기가 동작하는 일은 없다.

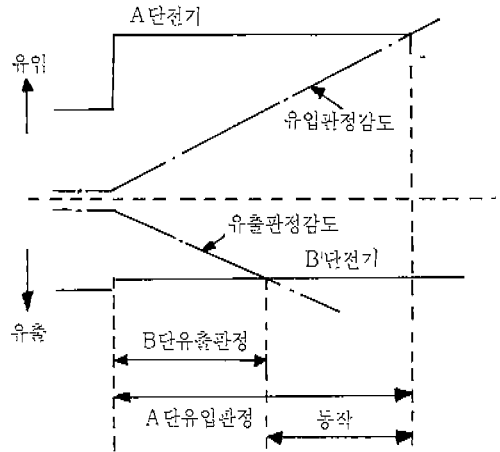
(2) 반송차동 계전방식

표시선방식은 전송한 바와 같은 장점이 있지만 적용하는 송전선은 단거리의 것에 한 하고 표시선의 유도대책이 어려운 등의 난점이 있다. 반송차동방식은 표시선방식의 장점을 제외하고 장점을 살리고자 하는 것으로서 전류값을 반송신호로 변환하여 상대 단으로 전송하는 방식이다.

전송방식에 따라 두가지로 분류된다. 하나는 FM (frequency modulation) 전송으로 전류값을 전송하는 방식이고 또 하나는 PCM(pulse code modulation) 전송으로 전류값을 전송하는 방식인데, 전자를 FM 전송전류 차동계전방식, 후자를 PCM 전송전류 차동계전방식이라고 한다.

(3) 방향비교방식의 개량

방향비교방식의 영상전류 유입 및 유출 판정의 감도를 <그림10>과 같이 주사(走査)함으로써 오동작을 방지코자 하는 것이다. 즉, 지락고장 발생이 지



<그림10> 방향비교방식의 개량

락과전압계전기 등으로 검출되면 유입 유출판정에 사용되는 지락방향계전기의 동작값을 <그림 10>과 같이 변화시킨다. 내부고장의 경우는 유입전류가 유출 전류보다 고장전류분만큼 크기 때문에 유입 판정이 정지하기 전에 유출 판정이 정지하고 이 사이에 계전기가 동작하는 외부고장의 경우는 유입 유출의 전류가 같으므로 유출 판정이 정지하기 전에 유입 판정이 정지하여 계전기는 동작하지 않는다.

(4) 회선선택방식의 개량

영상 교차회로전류의 변화분을 사용하는 방식이 이따금 사용된다. 즉, 예를 들면 영상 교차회로전류를 기억하여 기억값과 현재값의 차와 영상전압의 위상관계에 의해 응동한다. 고장발생 순시의 변화분은 고장전류분과 같으므로 고장회선을 검출할 수 있다.

