



最近의 特高压 受電設備의 信賴性

= 차락계천기의 오동작원인과 방지대책 =

The Extra-High Voltage Receiving Electric Equipment for Confidence in Recent Years

金 東 薰

新亞電氣工業(株)

I. 序 論

近年 우리나라는 産業의 高度發展과 一般需用家の 家電機器 使用 急增에 따라 電力使用이 增加추세에 있으며 良質의 電力供給과 信賴度 向上이 加一層 要求되고 있다. 특히 電力會社의 事故는 設備의 現代化와 老朽施設의 改替等으로 毎年 감소추세에 있으나 自家用需用家の 事故에 依한 系統波及事故는 점차 增加하고 있어 信賴度를 低下시키는 原因으로 되어 있는 것이 現實이다.

自家用需用家の 事故는 設備의 不適正으로 因한 地絡事故가 그 大部分을 차지하고 있다. 이러한 波及事故의 防止對策으로서는 철저한 設備의 改修工事を 통한 事故要因 除去가 先行되어야 할 것이며 또한 완벽한 保安施設을 갖추어야 한다.

특히 配電系統의 接地方式에는 非接地方式과 抵抗接地方式이 있어 地絡事故時의 現象은 各기 系統마다 다르다. 이 때문에 地絡保護方式의 決定에는 各기 系統의 地絡事故 現象을 충분히 파악하고 이것에 適合한 方式을 採用하는 것

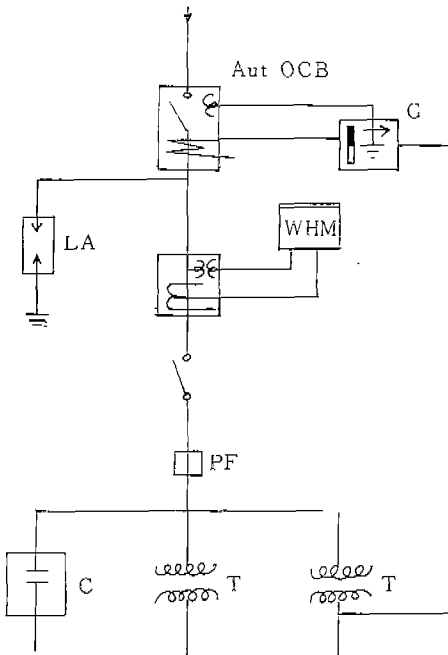
이 중요하다. 一般的으로 非接地式에서는 方向地絡繼電器에 의한 方式, 抵抗接地系에서는 地絡過電流에 의한 方式이 채용되고 있다. 여기서는 非接地系統(ASYSTEM) 配電線의 零相電流檢出方式인 方向地絡繼電裝置에 대하여 論하기로 한다.

II. 本 論

1. 地絡繼電裝置의 動作原理

가. 概 要

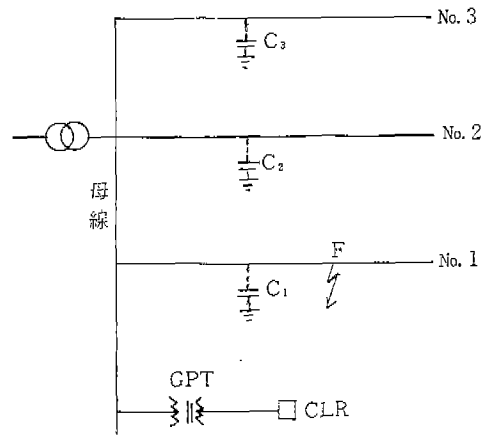
非接地系의 地絡保護方式으로서는 그림 1 과 같이 零相變流器(ZCT) 負荷側線路에서 地絡事故가 發生하면 大地로부터 電源側 配電線路의 對地靜電容량을 거쳐 地絡電流回로를 形成한다. 이 回路에 흐르는 電流가 零相電流로서 零相變流器 2次側에 誘起되는 2次電流가 地絡繼電器를 動作시켜 引外裝置에 의하여 차단기 開閉器를 動



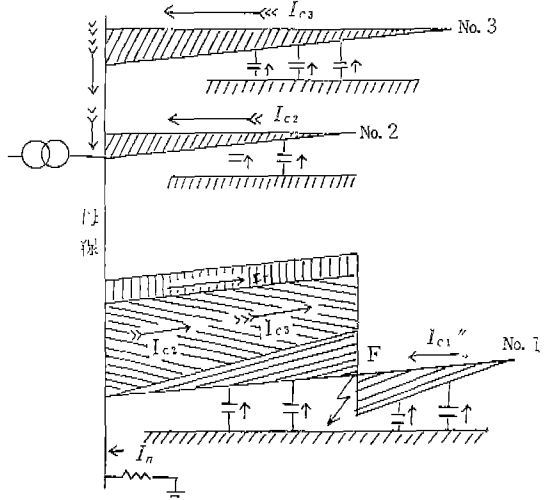
〈그림 1〉 單線結線圖

작시키게 한다.

그림 2에서 No.1線路 F점에서 1線地絡事故가 發生하면 地絡分布는 그림 3과 같이 된다. 곧 健全路線 No.2와 3의 對地充電電流는 제각기 I_{c2} , I_{c3} 가 母線을 向하여 흐르고 事故路線의 事故點 F로 흘러 들어간다. 또 事故路線은 事故點 F의 母線側과 負荷側의 對地充電電流가 事故點 F를 向해서 흐른다. 이들의 電流는 모두 充電電流이고 또한 位相이 同相이 되므로 母線에서 事故點 F를 向해서 合成한다. 여기서 充電電



〈그림 2〉 非接地系配線圖



〈그림 3〉 非接地系統의 1線地絡時 電流分布

流 I_{c1}, I_{c2}, I_{c3} 등은 事故時에 發生하는 零相電壓 V_0 에 대해 90° 進相電流가 되며 GPT에 흐르는 電流 I_n 은 V_0 에 대해 同相이 되므로 母線에서 事故線路의 事故點에 흐르는 전체의 地絡電流는 零相電壓 V_0 에 대하여 位相은 進相이 되는 것이 일반적이다. 따라서 方向地絡繼電器의 경우는 이 地絡電流가 動作範圍內에 들어가면 繼電器는 動作하고 他線路 事故時에는 自線路分의 充電 電流만이 事故時와 反對方向으로 흐르기 때문에 繼電器는 不動作하게 된다.

나. 電源側 電線에 直接 連結되는 경우

自家用需用家에 地絡事故가 發生하였을 때의 電流分布를 보면 그림 4와 같다. 그림 4에서 需用家 受電點에 설치한 地絡繼電裝置의 動作電流 I_{g0} 는 다음의 式에 의하여 求할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} I_g &= \frac{E}{Z+R_g} & V_0 &= I_g \cdot Z = \frac{E}{Z+R_g} \cdot Z \\ I_{g0} &= \frac{V_0}{Z_n} = \frac{E}{Z+R_g} \times \frac{Z}{Z_n} \end{aligned} \right\} (1)$$

여기서 V_0 : 零相電壓[V] I_g : 地絡電流[A]

Z : 3相 一括大地間 Impedance[Ω]

Z_n : 零相變流器의 取付點으로부터 地絡點을 負荷側으로 본 電源側의 大地間 Impedance[Ω]

I_{g0} : 地絡繼電器의 動作電流[A]

R_g : 地絡抵抗[Ω]

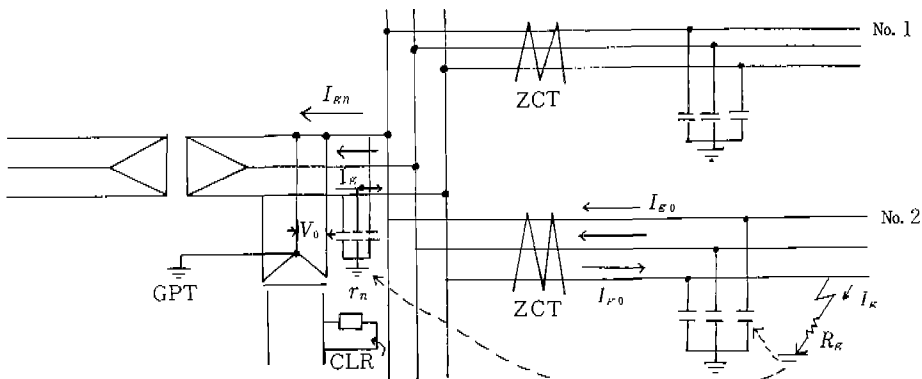
E : 健全時의 一線 對地電壓[V]

動作電流 I_{g0} 가 地絡繼電器의 動作整定值 以下이면 繼電器는 動作하게 된다.

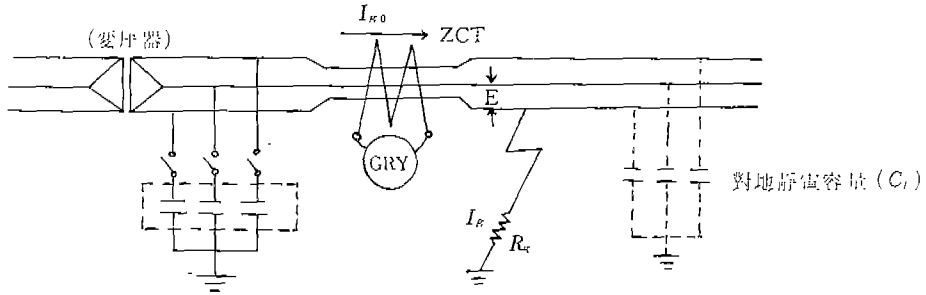
다음에는 地絡電流 $I_g = \frac{E}{Z+R_g}$ 의 式에 있어 線路-大地間의 Impedance Z 가 적어지면 一定한 地絡抵抗에 對하여 I_g 는 커지는 結果가 된다. 즉 Z 가 적어지면 R_g 는 增加되어도 檢出可能하지만 $R_g > Z$ 의 關係가 되면 I_g 는 R_g 에 의해 支配되므로 I_g 는 增加되지 않는다. 따라서 自家用需用家에 부착되는 地絡繼電裝置의 檢出能力은 부착 장소에서 본 電源側의 對地靜電 容量이 크게 支配되는 結果가 된다. 實際적으로는 電源側에는 數 μF 의 對地靜電容量이 存在하므로 負荷側의 地絡事故에 對해서는 比較的 큰 地絡抵抗까지 檢出 可能하다.

다. 變壓器 2次側에 地絡繼電裝置를 設置할 경우

受電電壓을 特高壓으로 受電하여 2次側 回路(△系線)에 繼電裝置를 設置하게 될 경우는 電源側線路에서 大地靜電容量을 利用할 수 없기 때문에 그림 5와 같이 變壓器 2次側과 零相變流器間에 對地靜電容量을 代身하는 接地 콘덴서를 設置하여 容量(C)를 補充하여야 한다. 그 理



〈그림 4〉 地絡事故時의 地絡電流分布圖



〈그림 5〉 變壓器를 사용한 配電線의 地絡電流分布圖

은 그림 5로서 論하기로 하다.

그림 5에서 地絡繼電裝置의 I_g 는 電源側의 對地靜電容量에만 支配되기 때문에 對地靜電容量의 不足으로 因하여 地絡繼電裝置의 檢出能力이 減退되므로 이 경우는 接地 콘덴서를 設置하여 補償하여야 한다.

즉,

$$I_g = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{\sqrt{R_g^2 + \left(\frac{10^6}{3W(C_s + C_l)}\right)^2}} \quad [A] \quad (2)$$

$$I_{g0} = I_g \times \frac{C_s}{C_s + C_l} = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{\sqrt{R_g^2 + \left(\frac{10^6}{3W(C_s + C_l)}\right)^2}} \times \frac{C_s}{C_s + C_l} = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(R_g \cdot \frac{C_s + C_l}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{10^6}{3WC_s}\right)^2}} \quad [A] \quad (3)$$

(3)식에서 $C_s \rightarrow 0$ 로 되면

$$\sqrt{\left(R_g \cdot \frac{C_s + C_l}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{10^6}{3WC_s}\right)^2} \rightarrow \infty \text{로 되}$$

므로 $I_{g0} \rightarrow 0$ 로 된다.

(3)식에서 $R_g \rightarrow 0$ 일 때

$$I_{g0} = \sqrt{3} (C_s + C_l) E \times 10^{-6} \times \frac{C_s}{(C_s + C_l)}$$

$$= \sqrt{3} W C_s E \times 10^{-6} \quad [A] \quad (4)$$

(4)식에서 $C_s \rightarrow 0$ 이면 $I_{g0} \rightarrow 0$ 으로 된다. 따라서 接地 콘덴서 (C_s)로 補償하여야 한다.

예를 들면 地絡繼電裝置의 檢出能力이 0.6A 일 때 $R_g = 0$ (一線完全地絡)으로 假定하면 0.6A 以上の I_{g0} 를 흘릴 수 있는 容量을 補充할 必要가 있다.

$$(4)식에서 $I_{g0} = \sqrt{3} W C_s E \times 10^{-6} \geq 0.6A$$$

$$\therefore C_s \geq \frac{0.6 \times 10^6}{\sqrt{3} W E} \quad [\mu F] \quad (5)$$

(5)식에서 $E = 3,300V$ $f = 60Hz$ 이면

$$C_s \geq \frac{0.6 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 2\pi \times 60 \times 3,300} = 0.27\mu F$$

따라서 0.6A 以上の I_{g0} 를 흘리기 위해서는 接地 콘덴서 容量을 0.27 μF 以上 設置하여야 檢出이 可能하게 된다. 또 負荷側의 線路 長이 길 경우는 地絡繼電裝置의 檢出電流 I_{g0} 는 同 地絡抵抗 R_g 에 對하여 負荷側線路의 對地靜電容量으로 分流되는 만큼 電流分이 減少된다.

즉 (3)식에서 $C_l = 0$ 일 때

$$I_{g0} = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{\sqrt{R_g^2 + \left(\frac{10^6}{3WC_s}\right)^2}} \quad [A] \quad (6)$$

로 되어 (3)식의 $C_l \neq 0$ 인 때의 檢出電流 I_{g0} 와 比較하면 R_g 가 低下하지 않는 한 繼電器感度는 R_g 의 低下分만큼 내려가게 된다.

2. 位相關係

非接地系 配電線에 直接으로 連係된 수용가의 構內 地絡事故의 保護를 主目的으로 한 本方式의 方向性 地絡繼電裝置는 그림 6에 나타낸 것과 같이 配電線側의 零相變流器 ZCT (a)와 接地 콘덴서들의 零相變流器 ZCT (b)에 의해 入力檢出部가 構成된다.

그림 6에 있어서 A 또는 B에서 1線地絡事故가 發生했을 때 그림 7 및 그림 9의 等價回路와 零相變流器의 一次電流의 位相關係를 解釋하면 다음과 같다.

$$V_0 = \frac{E}{1 + R_g \left(\frac{1}{R_p} + \frac{3}{\tau_{g1}} + \frac{3}{\tau_{g2}} + j\omega(C_1 + C_2 + C_g) \right)} \quad (1)$$

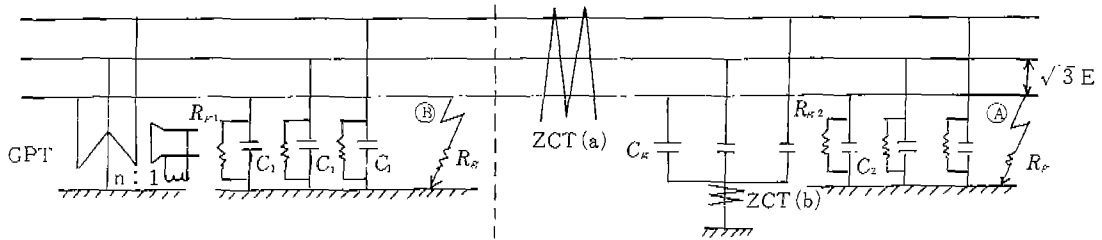
$$I_0 = (I'_1 + I'_2 + I'_3) = \left(\frac{1}{R_p} + j3\omega C_1 \right) V_0$$

$$\text{단 } \left(\frac{1}{R_p} > \frac{3}{\tau_{g1}} \right) \quad (2)$$

$$I_c = j3\omega C_g V_0 \quad (3)$$

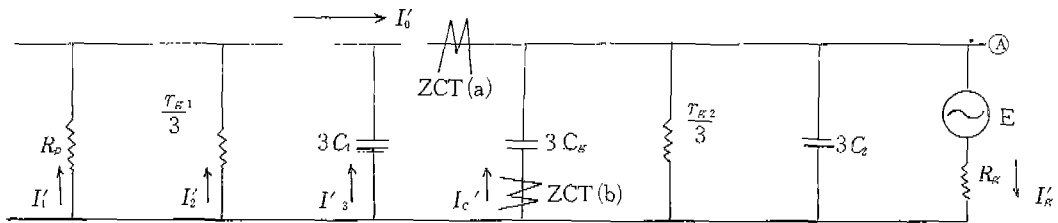
$$J_0 = \tan^{-1} 3\omega C_1 R_p$$

$$J_c = \pi/2$$

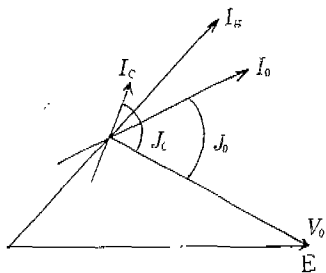


C_1, C_2 : 對地容量
 C_g : 接地콘덴서容量
 R_{g1}, R_{g2} : 漏洩抵抗
 $R_p : \left(\frac{n}{3} \right)^2 \times R_{GPT}$ 一次側換算抵抗
 E : 相電壓

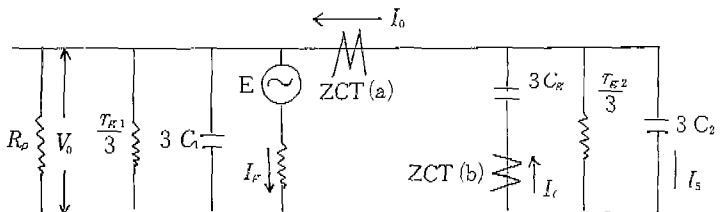
〈그림 6〉 電源側 負荷側



〈그림 7〉



〈그림 8〉



〈그림 9〉

$$I_0 = I_c + I_1 + I_3 = \left\{ \frac{3}{r_{g2}} + j3W(C_g + C_2) \right\} V_0 \quad (4)$$

$$I_c = j3WC_g V_0 \quad (5)$$

$$J_0 = \tan^{-1} W(C_g + C_2) r_{g2}^2$$

$$J^c = \pi/2$$

(2)(3)式 또는 (4)(5)식에 나타난 I_0, I_c 의 位相關係는 그림 5, 그림 10과 같이 된다. 一般的으로 (4)식에 따라 $3/r_{g2}$ 은 需要家 構内の 範圍로 하던 $3W(C_g + C_2)$ 에 대하여 아주 적기 때문에 I_0 와 I_c 와의位相差는 극히 적다. 다음에 容相變流器의 1次電流의 位相關係에서 2次檢出電流의 關係는 그림 7과 그림 9의 等價回路에서 ZCT(a)의 1次慣通電流의 方向이 反對되기 때문에 A側(負荷側)地絡의 경우는 그림 8의 位相關係에서 그림 11에 나타나게 되며 또 B側(電源側)地絡의 경우는 그림 10의 位相關係에서 그림 12와 같이 된다.

따라서 I_c 를 基準에 대하여 逆相側이 同相側으로 關係된다. 또 限定된 保護範圍의 零相 임피던스를 생각하면 動作位相特性도 誤動作이 없고 不動作領域을 중요시한 特性으로 충분히 安定된 方向性을 가질 수 있다.

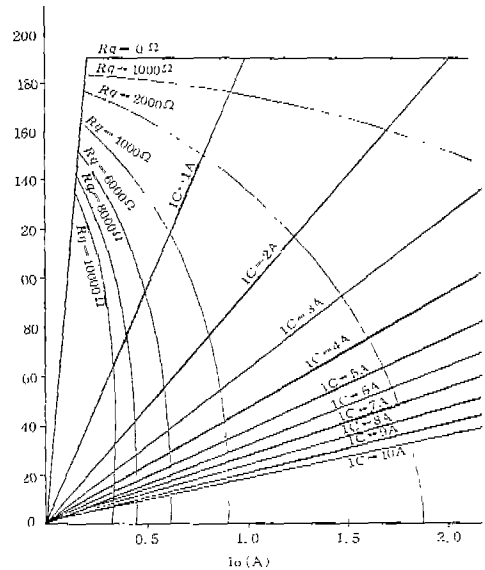
3. 動作感度

一般 方向性 地絡繼電器는 V_0 와 I_0 가 각각 動作感度を 갖기 위해 對地容량이 增加하면 V_0 感

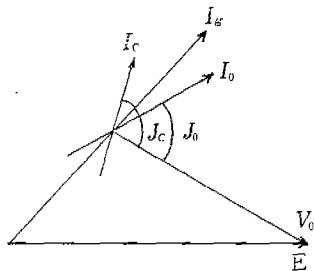
度가 低下하여 總合的으로 繼電器의 動作感度は 低下된다. 充電電流 I_0 를 Paramount로 된 $V_0 - I_0$ 特性을 보면 그림 13과 같다.

本 繼電器의 경우는 動作方向을 基準으로 한 電流 I_c 는 繼電器의 動作電流 I_0 를 抑制하고 있기 때문에 保護範圍의 地絡事故에 對하여 I_0 를 抑制하지 않기 때문에 I_0 만 動作感度로 된다.

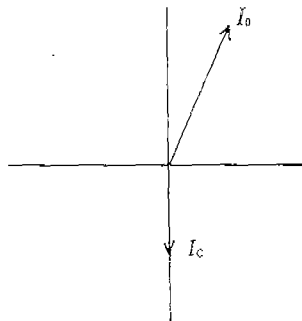
단 限定된 保護範圍의 零相 임피던스부터 保護範圍外의 地絡에 對하여 誤動作하지 않도록



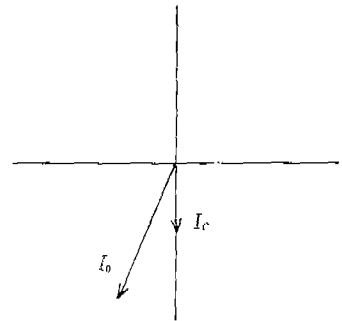
(그림 13) 6.6kV 配電線系統 1線 地絡時의 $I_0 - V_0$ 特性



(그림 10)



(그림 11)



(그림 12)

I_0 와 I_c 와의 크기에 (6)식의 比例關係를 만족시켜야 한다.

그림 9의 等價回路에서 I_0 가 繼電器의 動作感度值에 달하여 誤動作하는 것을 抑制하기 위해 필요한 I_c 의 크기는 (4)(5)식에서 아래와 같이 된다.

$$\frac{I_0}{I_c} = \frac{\text{繼電器의 動作感度 整定值}}{\text{繼電器의 動作을 抑制하는 值}} \geq 1$$

$$\frac{C_g + C_2}{C_g} = 1 + \frac{C_2}{C_g} \quad (6)$$

$$\text{단 } \frac{3}{r_{g2}} \ll 3W(C_g + C_2)$$

또는 位相關係에서 記述한 動作位相 特性은 不動作 領域을 重視한 特性부터 不動作 領域을 極端으로 좁혀 動作領域을 넓혀 保護範圍內的 地絡感度는 I_c 와의 位相에 影響을 주지 않는다.

4. 리액터 過補償方式 配電線의 適用性

리액터 過補償方式 配電線에 있어 零相變流의 1차電流의 位相關係는 非接地系의 等價 回路圖의 R_r 에 並列로 리액터를 $wL < \frac{1}{WC}$ 의 條件에 있을 때나 같은 方式으로 解析하면 다음과 같이 된다.

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$= \left(\frac{1}{R_g} + j3(WC_1 - \frac{1}{WC}) \right) V_0 \quad (7)$$

$$I_c = J3W C_g V_0 \quad (8)$$

$$J_0 = \tan^{-1} 3(WC_1 - 1/WL) R_r$$

$$J_c = \pi/2$$

$$I_0 = I_c + I_5 + I_6 = (3/r_{g2} + J3W(C_g + C_2)) V_0 \quad (9)$$

$$I_c = J3W C_g V_0 \quad (10)$$

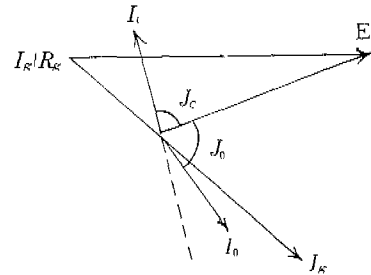
$$J_0 = \tan^{-1} W(C_g + C_2) r_{g2}$$

$$J_c = \pi/2$$

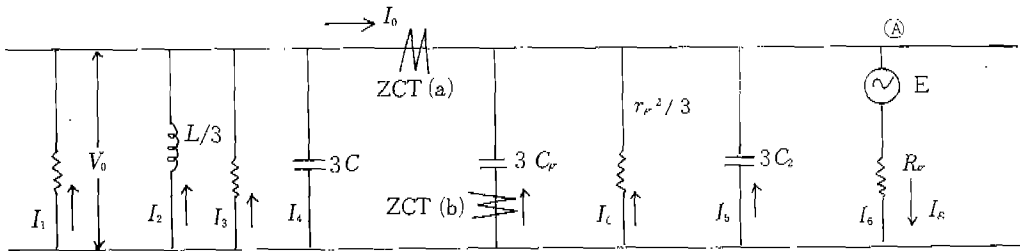
따라서 零相變流器의 2次檢出電流는 A側(負荷側) 地絡의 경우는 그림 16과 같고 B側(電源側)의 경우는 그림 17과 같다.

그림 18, 그림 19에 있어서 I_c 를 基準으로 하여 A 또는 B의 地絡이 發生한 I_0 와 比較하면 어 디서든지 同相側으로 된다.

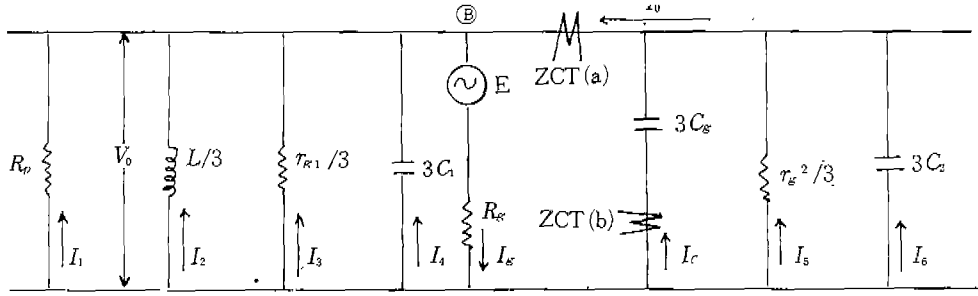
이것은 非接地系와 다른 不動領域側으로서 方向判別로 되기 때문에 一般繼電器에서는 特性을 變換하지 않으면 檢出되지 않는다. 不動作 領域을 $\pm 30^\circ$ 좁혀 動作領域을 넓힐 수 있다.



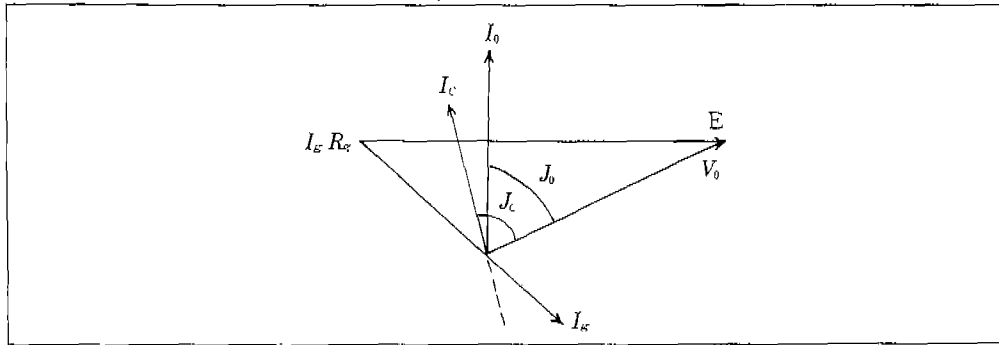
(그림 15)



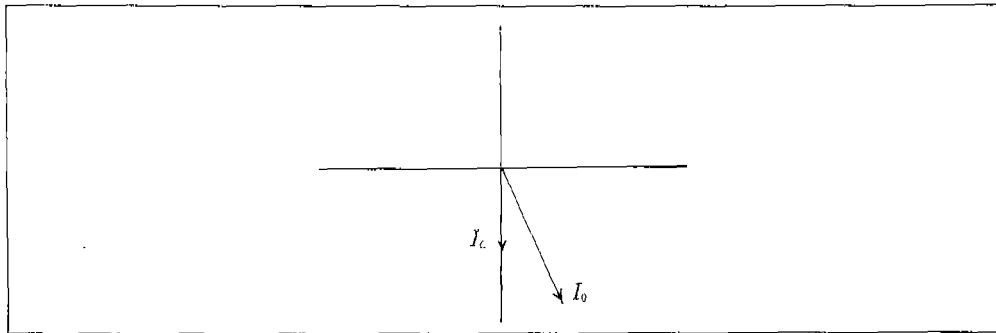
(그림 14)



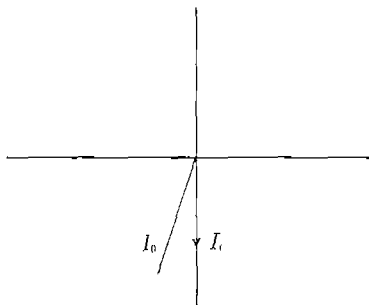
〈그림 16〉



〈그림 17〉



〈그림 18〉



〈그림 19〉

5. 配線關係의 注意

- ① 配電線用 ZCT는 側面記號 K를 入力側으로 할 것
- ② 零相基準 入力用 ZCT는 側面記號 N을 Condenser 中性點側에, E를 接地點側으로 할

것

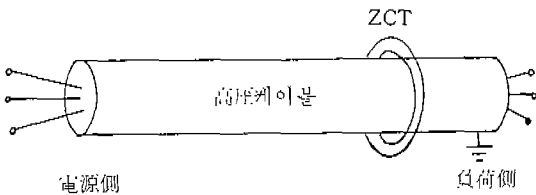
③ 配電線用 ZCT의 2次 配線長은 10m를 초과하는 경우 Shield線을 使用할 것

④ 零相基準人刀用 ZCT의 2次 配線長은 20m 以內로 하여 반드시 Shield線을 使用할 것. 20m 초과하는 경우 Condenser의 外함에서 ZCT를 분리하여 移設하고 接地線은 Condenser의 接地와 별도로 하여 ZCT를 貫通하여 별도 接地할 것

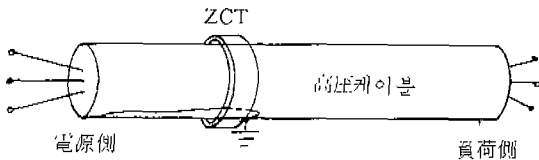
⑤ 接地線의 配線은 5.5mm² 以上 IV線을 使用할 것

⑥ ZCT를 設置할 때 大電流導體로부터 10cm 以上の 距離를 維持할 것. 또 3kV 모터起動리액터 근처를 避할 것

⑦ ZCT를 高壓 케이블 貫通의 경우 케이블 차폐 接地方法은 아래와 같이 할 것
(a) 貫通部가 負荷側일 때



(b) 貫通部가 電源側일 때



⑧ ZCT에 貫通하는 6kV用 貫通電線(K1₀)의 施工에 대하여 다음 사항을 注意할 것

(a) Separator에 貫通할 때 電線에 高壓 테이프를 감고 Separator 內徑과 隙間을 파묻을 것

(b) 電線을 鋪 때는 電線外徑의 6倍 以上으로 할 것

6. 使用上の 注意事項

繼電器의 取扱에 있어서는 다음과 같은 項目을 注意하여야 한다.

① 周圍溫度 -20~40℃의 場所에서 使用할 것

② 標高는 1,000m 以下에서 使用할 것

③ 異常한 振動, 충격 또는 傾斜를 받지 않는 곳에서 使用할 것

④ 靜止形 繼電器는 Transceiver 등을 極端에 近接하여 使用하지 말 것

⑤ 繼電器와 零相變流器는 必히 同一製造番號를 使用할 것

⑥ ZCT의 2次 端子 K₀ 에 Mega-Test 등 直流를 흘려 絶緣測定 및 通電을 하면 ZCT Core의 特性上 感度가 變化되므로 이와 같은 測定은 絶對로 禁할 것

⑦ 耐壓 또는 Mega-Test를 行할 경우는 Z₁ Z₂間 또는 K₀間을 必히 短絡시켜 놓고 行할 것

⑧ ZCT 2次 端子를 開放한채로 1次動作電流를 흘리지 않도록 할 것

⑨ ZCT의 試驗用端子 K_t, k_t는 短絡시키지 않을 것

7. 保守點檢 및 기타

繼電器의 保守點檢은 定期的으로 施行하고 取扱說明書를 整備하여 整定記錄, 動作記錄, 點檢記錄 등을 作成하여 保存하는 것이 바람직하다.

III. 結 論

受電設備에 使用하는 地絡繼電裝置는 地絡事故를 신속하게 檢出하여 事故區間을 系統으로부터 分離하고 波及事故를 豫防하여 同一系統에 連結된 數 많은 他需用家에 對한 不意의 停電被害를 防止하는 裝置이다. 이 裝置에 對한 動作原理, 誤動作原因, 保守點檢 등을 숙지하여 完備한 設備의 運用으로 信賴性を 提高시킬 수 있을 것으로 思料된다.