

技 術 解 說

位 相 比 較 方 式 의 概 論

崔 一 淳
〈韓電(株) 서울電力管理本部〉

目 次

1. 序 論
2. 送電線 保護方式의 種類
3. 位相比較, 方向比較方式의 性態比較
4. 位相比較繼電方式의 原理
5. 位相比較繼電器의 構成
6. 方向制御付 位相比較繼電方式
7. 多端子 送電線의 保護
8. 自動點檢 및 常時監視回路
9. 信號送電方式
10. 位相比較方式의 種類
11. 結 論

1. 序 論

超高壓 以上の 送電線은 系統內에서도 매우 重要な 位置를 차지하므로 保護는 區間選擇의 確實性, 動作感度 및 速度등이 優秀한 繼電方式을 適用 事故를 조속히 除去 安定度를 維持시켜 安定된 電力을 供給하여야 한다.

通常 超高壓 以止의 送電線 保護는 主保護로 位相 및 方向比較, 傳送遮斷方式 中 2方式을 並用하며 서로의 問題點을 補充하도록 阻合하여 使用한다.

또 保護信賴性 向上을 위해 常時監視 및 自動點檢回路를 附加하며 CT 直流電源 Trip Coil등을 2系列化 하고 傳送路로는 Micro Wave를 使用하고 安定度 維持를 위해 多相再閉方式을 適用한다.

韓國의 345kV系統에는 主保護를 靜止型의 YTG31을 主繼電器로한 GEC의 MM3T Carrier Blocking Distance Protection(方向比較方式)과 電磁型繼電器를 主繼電器로한 GEC의 MM3V Protection with Carrier Intertripping(電力線 搬送制御 Underreach 傳送遮斷方式)을 阻合하여 使用하고 後備保護는 2方式의 距離繼電器를 使用한다.

그러나 繼續되는 系統의 擴張을 位相比較繼電方式의 使用이 불가피하므로 이에 대한 原理, 特性, 適用등을 考察하여 보므로 系統保護業務에 參考가 되었으면

한다.

2. 送電線保護方式의 種類

保護方式의 適用은 系統規模, 構成 接地方式 供給重要度, 經濟性등에 따라 各國의 實情에 맞추어 選定하며 現在使用되는 方式은 使相比較方式, 方向比較方式 傳送遮斷方式, 表示線方式, Carrier電流差動方式, 回線選擇方式 距離繼電方式, 過電流繼電方式이 있다.

3. 位相比較, 方向比較方式의 性態比較

(1) 多重事故時 性能

多重事故時 繼電器에 流入되는 電壓, 電流의 位相關係는 매우 複雜하며 距離繼電器의 一部를 使用하는 方向比較繼電方式은 整定 Impedance角에서 最大感度を 같게 調定되어 있으므로 이 範圍를 벗어나면 故障檢出 感度は 低下된다.

그러나 位相比較繼電方式은 動作位相角의 測定을 正確히하여 動作 不動作 範圍의 限界가 確實하며 動作感度も 範圍內에서는 一定하다.

(2) 同期脫調時의 應動

脫調時 Impedance變化는 時間과 位相差에 따라 周期的으로 變化하므로 이때 方向比較方式의 一部로 使用되는 距離繼電器의 整定 範圍內로 Impedance가 變化하면 誤動作한다.

그러나 位相比較繼電方式은 脫調時 電流의 方向은 位相이 앞선 電源으로부터 뒤진 電源의 方向으로 흐르므로 誤動作되지 않는다.

(3) 直列 Condenser의

影響方向比較繼電方式은 線路定數가 變化하므로 動作이 不安定하거나 誤動作이 發生되나 位相比較繼電方式은 過補償을 하여 直列 con-를 通하는 電流가 進相電流가 (內部事故時 流出) 되지 않는 한 誤動作되지 않

는다.

(4) 事故檢出 感度

位相比較繼電器의 整定은 負荷電流의 關係없이 內部事故時 流出電流에 誤動作하지 않도록 하므로 敏感한 檢出感度を 얻을 수 있고 兩波比較를 하는 경우 高速度動作을 한다.

(5) 再閉路方式의 通用

故障檢出能力이 優秀한 位相比較繼電方式에서는 대개 多相再閉路方式을 利用한다.

(6) 其他 性能의 比較

方向比較方式은 速度가 3(HZ)程度이고 距離繼電器의 Z-3를 並用하므로 電壓을 一定時間 記憶시켜(1~2N : 過電流繼電器를 直列 付加 하기도함) 誤動作을 防止하며 多端子 保護時 分流效果에 의한 Impedance減少分만 償償하면 된다. 位相比較方式은 速度가 1(HZ) 程度이고 記憶效果가 不必要하며 後備保護用으로 距離繼電器를 別置한다.

4. 位相比較繼電方式의 原理

(1) 事故檢出 原理

事故 發生時 兩端子에 檢出되는 電流의 位相差로 判斷하는 方式으로 內部事故時는 0° 外部事故時는 180°의 位相差를 갖는 兩端 電流를 方形化하여 相對端에 傳送 位相差를 時間으로 判斷하는 方式이다.

遮斷許容 位相角은 兩端 發電機의 過渡安定度 限界 位相角을 最大 60° 其他 事故種類 및 內部事故 除去와 同時 外部事故가 發生되는 多重事故를 考慮하여 0±120°의 範圍를 한다.

그러므로 阻止 位相角은 0±60°가 되며 10/3(mS)의 時間이되고 이 時間보다 긴 時間동안 兩端의 方形波가 겹쳐야 Trip이 된다.

(2) 動作感度の 協調

保護區間의 事故電流를 方形化 하는데는 어떤 크기의 値가 必要하며 그 電流의 크기를 定整하는 것을 Seace Level이라고한다.

이 Level은 自端의 位相比較에 使用되는 遮斷許容信號를 發生시키는 H-Level(FDH: 信號가 發生)과 相對端에 傳送될 信號를 發生시키는 L-Level(FDL:信號가 없다)가 있다. 그러므로 2個의 信號는 서로 協調되게 發生되어야 하며 L-Level(阻止信號)의 發生이 優先되게 設定하므로 正確한 位相比較를 하여 誤動作을 防止할 수 있다.

(3) Salce Level 設定 方法 感度 協調를 위해 H>L의 條件으로 Level를 設定하는 경우 Level 設定을

모두 陽波쪽으로 하는 S₀方式 FDH는 陽波 FDL은 負波로 하는(外部事故時 電流 基準) S₀方式 모두 負波로 하는 S₂方式이 있다.

(4) 各 Slace Level의 阻合 特性

各 方式의 特徵을 阻合시켜 實用性을 向上시키며 信號 傳送量 減少를 위해 3가지 形想로 各方式을 阻合시켜 使用할 수 있으며 實際 系統에 適用時는 系統特性, 運用상의 問題點등을 考慮하여 選擇한다.

5. 位相比較繼電器의 構成

여기서는 三相一括 位相比較繼電의 機能과 構成을 紹介하기로 한다.

(1) 標本量回路

이 回路는 三相入力에 比例하는 單相分 出力을 얻는 回路로 出力 成分으로는 正相, 逆相, 零相分 電流나 電壓을 使用한다.

正相分 使用時는 어떤 事故의 檢出도 可能한 反面 1線地絡時 非電源端에서의 正相分 電流의 크기가 事故前 負荷電流의 2/3I_L이 되어 FDL의 整定値가 上向 調定되므로 高感度の 整定이 不加態하며 兩端電流의 位相差가 90°를 超過한다.

逆相分 使用時는 非電源端 電流가 1/2I_L로 되고 兩端電流의 位相差도 90°以內 이나 三相 短絡時 逆相分 電流의 檢出이 不可能하다.

零相分 使用時는 負荷電流의 影響이 없어 高感度の 整定이 可能하나 三相短絡時 零相分 電流의 檢出이 不可能하다.

① 逆相位相比較方式

이 方式은 平衡事故時는 正相電流로 位相比較를 하고 不平衡 事故時는 逆相電流로 位相比較 하는 方式으로 正, 逆相 回路 切換은 事故檢出繼電器(距離繼電器, 過電流繼電器)로 한다.

또 이 方式은 內部事故時 한쪽 端은 三相短絡事故 다른 端은 不平衡 事故로 判斷하여 正相과 逆相分이 比較되어 誤動作 되는것을 防止하기 위해 方向制御觸相比較繼電方式을 使用한다.

通常 位相比較方式은 脫調時 Impedance變化에 따른 電流值에 의해 正常, 不平衡, 三相故障 順으로 되기 때문에 過渡의으로 正相과 逆相分比較 狀態가 尊在하므로 脫調時 遮斷을 抑制시킨다.

② 正, 逆相分 電流를 阻合한 方式 이 方式은 標本量 I₁+K₀I₀을 利用하여 位相比較를 行하는 方式으로 切換回路가 必要없어 動作이 빠르고 外部制御裝置가 必要없어 構成이 簡單하다.

II 1. 各 Slice level의 特性

Table 1. Characteristic of each Slice level

*Slice level의 種類에서 電流의 方向은 內部로 흐르며를 表示한다.

方式의 名稱	Slice level의 種類	位相 特性式	比率 特性式	整定 值
S_a		$\theta > 60^\circ + \sin^{-1} \frac{H}{\sqrt{2} I_A}$ $- \sin^{-1} \frac{L}{\sqrt{2} I_B}$ $(0 < \theta < 180^\circ)$	$I_B < \frac{L I_A}{\sqrt{2} I_A^2 - H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $+ \frac{H \cos(60^\circ - \theta)}{\sqrt{2} I_A^2 - H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $I_A > \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} H$	$H > 2\sqrt{2} I_C + L$ $L > 0$
S_b		$\theta > 60^\circ + \sin^{-1} \frac{H}{\sqrt{2} I_A}$ $+ \sin^{-1} \frac{L}{\sqrt{2} I_B}$ $(0 < \theta < 180^\circ)$	$I_B < \frac{L I_A}{\sqrt{2} I_A^2 + H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $- \frac{H \cos(60^\circ - \theta)}{\sqrt{2} I_A^2 + H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $I_A > \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} H$	$L > 2\sqrt{2} I_C$ $H > 0$
S_c		$\theta > 60^\circ - \sin^{-1} \frac{H}{\sqrt{2} I_A}$ $+ \sin^{-1} \frac{L}{\sqrt{2} I_B}$ $(0 < \theta < 180^\circ)$	$I_B < \frac{L I_A}{\sqrt{2} I_A^2 - H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $+ \frac{H \cos(60^\circ - \theta)}{\sqrt{2} I_A^2 - H^2 \sin(60^\circ - \theta)}$ $I_A > \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} H$	$L > 2\sqrt{2} I_C + H$ $H > 0$

II 2. 各 Slice level方式의 組合特性

Table 2. Combined characteristic of each Slice level method

組 合 方 式	比率 特性	機 態 概 要	問 題 點	Slice level 午	傳送回線數
$S_a \sim S_a$ A 端 子 B 端 子 		電原이 있는 端子는 常時遮斷된다 $H > L + 2\sqrt{2} I_C$	非電原端은 傳送이 없으면 遮斷되지 않는다	2	S3ch R3ch 傳送이 있으면 S6ch R6ch
$S_b \sim S_b$ A 端 子 B 端 子 		1端子에서 본 感度는 $S_a \sim S_a$ 方式보다 좋지만 兩端의 總合感度는 同等하다	兩端에 電原이 없으면 遮斷되지 않는다	1	S3ch R3ch
$S_a \sim S_c$ A 端 子 B 端 子 		S_a 端에 電原이 있으면 兩端이 遮斷된다 $H > L + 2\sqrt{2} I_C$	兩斷이 可變電原에 適用하지 않는다 (電原端이 無電流에서 動作되지 않음)	1	S3ch R3ch

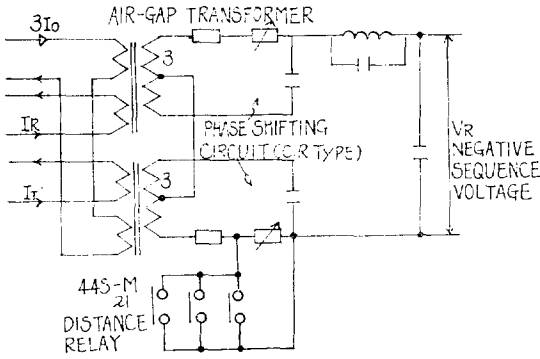


그림 1. 送相 Filter
Fig. 1. Negative Phase Sequence Component Filter

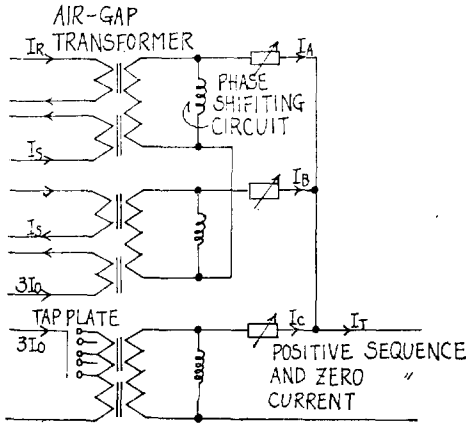


그림 2. $I_1 + K_0 I_0$ 標本量 Filter
Fig. 2. $I_1 + K_0 I_0$ Sampling Filter

內, 外部 事故에 正相분과 逆相分の 電流値와 位相을 充分히 考慮하여 K_0 值를 整定하여야 誤動作을 하지 않는다.

③ 各相, 三相一括 位相比較方式의 比較方式의 性能을 比較하면 다음과 같다.

(2) 位相比較繼電器의 構成要素

變換回路는 空際變流器로 Reactor로 動作되며 事故時 入力電流에 包含되는 過渡直流分을 除去하고 入力電流을 出力電壓으로 變換한다.

三相一括方式에서는 標本量回路가 附加된다. 制限回路는 入力에 包含되는 過電壓과 Surge性 電壓을 吸收하여 半導體 部品의 破損을 防止한다. 主로 使用되는 方法으로는 變換回路의 入力이나 出力側에 Surge吸收素子(Diode, Zener Clipper, Varistor)를 使用한다.

增幅回路는 出力電壓을 增幅하는 回路로 負歸還增幅器가 使用되며 整流回路는 兩波 Bridge回路가 使用된다. 方形化回路는 交流波形을 方形波로 變換하는 回路

표 3. 各相位相比較方式과 三相一括位相比較方式의 特徵
Table 3. Peculiarity of the three-phase lumped and the segregated phase comparison relaying

項目	方式	各相位相比較方式	三相一括位相比較方式
事故檢出性能		內外部 多重事故를 包含 어떻한 事故에 對하여도 速度가 빠르고 安定하다	內·外部 多重事故에 對한 動作이 不安定하고 Filter의 過渡特性에 의 해 速度가 各相位相比較方式보다 遅어진다
高速度 再閉路		어떻한 內部事故에도 事故相의 選擇遮斷이 可能하여 多相再閉路를 適用할 수 있고 系統安定度 유지에 有利하며 그 回線同時事故時 그相이 遮斷되지 않으면 再閉路가 可能하다	어떻한 內部事故에도 三相이 一括遮斷되므로 3相再閉路에만 쓰인다 (故障相選別 繼電器 使用시는 單相再閉路도 可能하다)
經濟性		繼電器의 數가 많아지고 傳送信號 回線數도 三相一括方式에 比해 3倍가 되므로 Micro wave傳送方式이 適用되고 三相一括方式에 比해 高價가 된다	繼電器의 數가 적어지고 電力線傳送方式을 適用하므로 各相位相比較方式에 比하여 安價가 된다

로 Transistor의 Switching作用을 利用한다.

Level檢出回路는 入力量이 整定値를 超過할 때 出力을 發生시키는 回路로 대개는 Schmitt Trigger回路를 使用한 正歸還形 Level檢出器나 差動增幅器를 使用한 回路가 利用된다.

Level 整定은 FDH와 FDL로 하며 信號傳送 關係는 다음과 같다.

④ FDL以下 일때는 許容信號를 送信하며 相對端이 非電源端 일때도 內部事故의 檢出이 可能하게 한다.

⑤ FDL以上 FDH以下 일때는 方形波 信號를 相對端에 送信한다.

⑥ FDH以上 일때는 自端信號와 相對端 受信信號를 位相比較한다.

信號傳送補償回路는 傳送되는 信號의 遲延을 補償하기 위한 回路로 自端의 方形波 信號의 發生을 一定時間 遲延시켜주며 대개는 一定하므로 製作時 調定하여 준다(2~5ms) 位相比較回路는 時間測定型이 使用되며 自端과 相對端 傳送信號가 整定된 位相角 範圍內에 드는가를 檢出하는 回路로 限時動作 TIMER(T.D.E)에 의해 位相角을 測定하고 限時復歸 TIMER(T.D.D)에 의해 信號를 連續시키는 回路로 構成된다.

또 이 繼電器에는 正常時 誤動作을 防止하기 위해 事故檢出繼電器(抵電壓繼電器)를 直列로 附加시킨다.

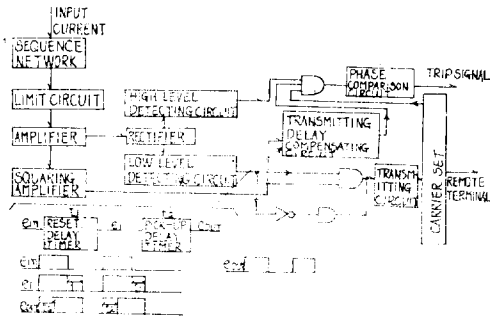


그림 3. 位相比較繼電器의 構成圖
Fig. 3. Block Diagram of the Phase Comparison Relay

6. 方向制御付 位相比較繼電方式

方向比較繼電方式으로 搬送波 信號을 傳送을 制御하고 內部事故 檢出을 位相比較繼電器에 의하여 하는 方式으로 固定電源端은 充分한 事故電流가 供給되는 反面 可變電源端(非電源端)은 充分한 電流 供給이 어려우므로 事故時 電壓降下를 檢出하는 方式(27繼電器 使

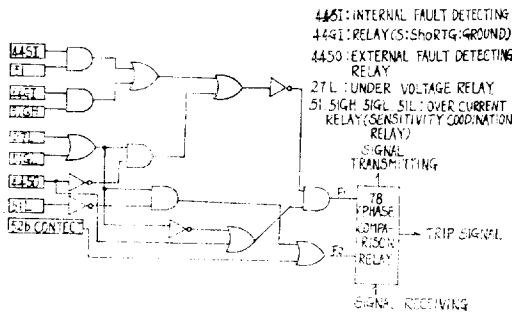


그림 4. 方向比較付 位相比較繼電方式의 基本回路圖
Fig. 4. Basic Operation of the Distance-Supervised Phase Comparison Pilot Relaying System.

표 4. 方向制御付位相比較繼電器의 傳送信號制御
Table 4. Signal control of the distance-supervised phase comparison relaying

制御 入力	送信 出力	機 能
$F_1 F_2 = 1$	○	遮斷 Lock
$\bar{F}_1 \bar{F}_2 = 1$	方形波信號	位相比較
$F_2 = 1$	1	遮斷許容

用을 使用하며 地絡時는 地絡過電流繼電器(51GL: 低整定)로 檢出한다.

여기에 使用되는 位相比較繼電器는 信號制御으로 FDH를 51H로 FDL을 51L로 代用한다.

7. 多端子 送電線의 保護

電力系統 構成上 多端子를 保護區間으로 하는 것은 불가피하며 이에 대한 保護는 內, 外部事故時 電流의 方向이 相異한 端子가 發生하며 位相比較繼電器는 誤動作 하므로 特別한 保護方式이 必要하게 된다.

(1) 多段位相比較繼電方式

多端子 保護는 內部事故時 流出端子와 外部事故時 流入되는 端子가 發生 位相比較方式 만으로는 保護가 難易하므로 Slice Level을 多段으로 設定하여 流出分이 적을때는 高感度 流出分이 많을때는 檢出感度가 鈍化되거나 兩端子의 電流量을 傳送하여 流出入電流의 크기를 比較하여 遮斷하는 多段位相比較方式에 差動繼電方式을 阻合하여 使用한다. 三端子 保護時 誤動作防止를 위한 條件으로는(A端의 流入電流 $\geq I$), (B端의 流出電流 $< L$), (C端의 流出電流 $< L$)이 되어야 한다.

이 條件은 $H > 2L$ 이 되며 2段 및 3段 繼電器의 경우는 다음과 같다.

2段 繼電器

$$\begin{aligned} H_1 &> 2L_1 \\ H_2 &> L_1 + L_2 \\ H_3 &> 2L_2 \end{aligned}$$

3段 繼電器

$$\begin{aligned} H_1 &> 2L_1 \\ H_2 &> L_1 + L_2^2 \\ H_3 &> L^1 + L_3 \\ H_4 &> 2L_3(L_1 + L_2) \\ H_5 &> L_2 + L_3 \\ H_6 &> 2L_3 \end{aligned}$$

送信 Level을 設定하는 方式에는(3個의 送信 Level을 兩側으로 하는 方式, 2個는 陽 1個는 負側으로하는

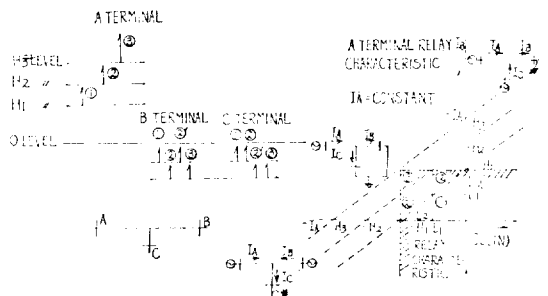


그림 5. 2段 繼電器의 Slice Level과 特性
Fig. 5. Slice level and Characteristic of Two-Sliced Level Relay.

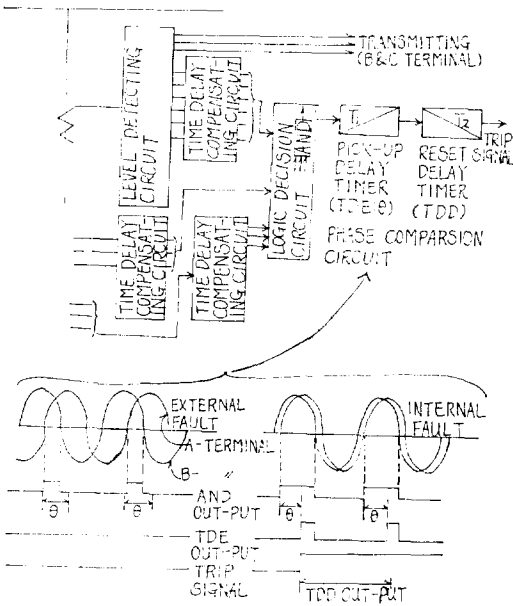


그림 6. 多段 位相比較繼電器의 構成圖
 Fig. 6. Block Diagram of the Multi-sliced Level Phase Comparison Relay.

方式, 1個는 陽 2個는 負側으로 하는 方式 3個 모두負側으로 하는 方式) 4가지가 있으며 流入電流가 있을때만 TRIP하게 Level을 設定하는 電源 Trip方式과 流入電流가 없을때로 TRIP하게 Level을 設定하는 非電源 Trip方式이 있다.

(2) 多段位相比較方式의 構成

入力電流를 Slice Level 回路에 導入하여 이에 對應하는 方形波를 相對端으로(BC端) 送信하고 自端에 方形波 信號는 遲延補償을 하여 論理判定部로 보내진다. 理論判定部에서는 條件式과 같이 自端信號와 受信信號를 阻合하여 流入電流 $>$ 流出電流合으로 만들어 位相差를 檢出하여 事故를 判斷한다.

8. 自動點檢 및 常時監視回路

主保護로 位相比較繼電方式을 適用할시 信賴度 向上을 위해 自動點檢과 自動監視를 行할수 있는 回路를 付加시킨다. 이 回路는 常時監視部, 點檢始動部, 遮斷 Lock部, 點檢實施部, 判定部로 構成되며 常時監視部는 平常時에는 保護對象이 되는 全 繼電器의 動作狀態를 監視誤動作을 防止하지만 點檢時에는 點檢을 實施하지 않는 繼電器를 監視한다.

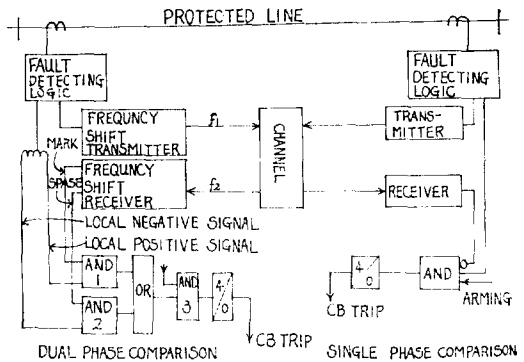


그림 7. 位相比較繼電方式의 基本動作圖
 Fig. 7. Basic Operation of the Phase Comparison Pilot Relaying System.

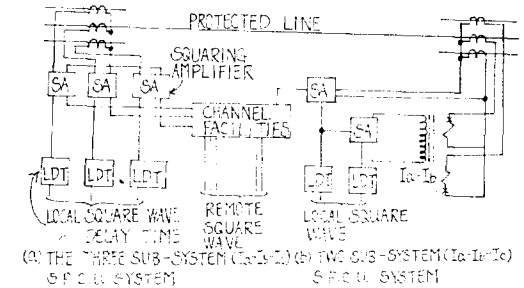


그림 8. 各相位相比較方式의 信號發生 回路圖
 Fig. 8. Basic Operation of the Segregated Phase Comparison Pilot Relaying System.

點檢은 Timer에 의해 一定周期로 實施되거나 手動操作으로 할 수 있으며 點檢이 始作되면 Trip回路는 Lock되고 實際入力와 같은 模擬入力を 引加 出力을 判定한다.

點檢中 事故가 發生하면 點檢은 中止되고 原狀態로 復歸된다.

그리고 點檢은 하나의 繼電器가 正常으로 判斷되면 다음 繼電器로 移動되며 異常이 있으면 點檢이 中止된다.

9. 信號傳送方式

方形波信號를 正確하고 多量으로 傳送해야 하는 位相比較方式이나 多段位相比較方式은 Micro Wave方式이 使用되며 1과0의 搬送波周波數의 差를 두는 FS方式(周波數 偏移)과 方形波를 一定 間隔으로 Sampling

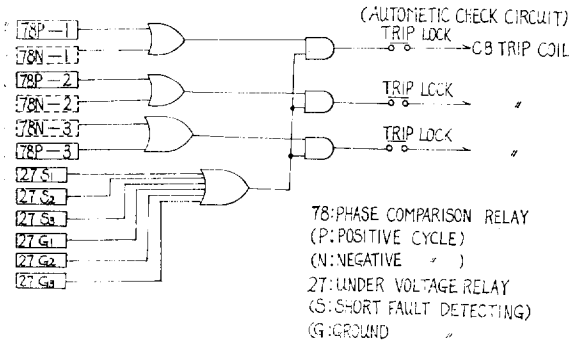


그림 9. 遮斷 回路圖
Fig. 9. Tripping Circuit.

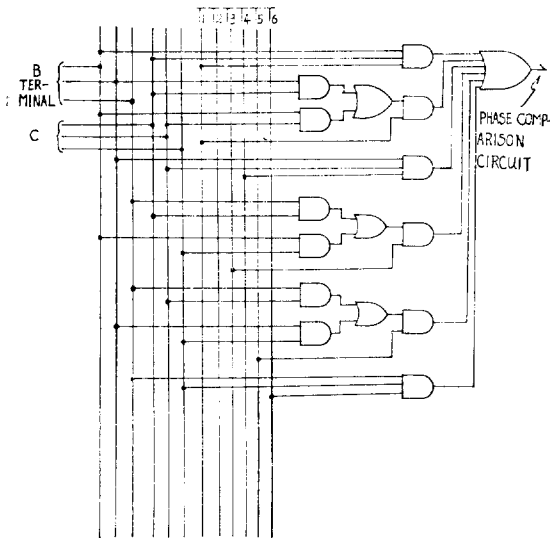


그림 10. 多段 位相比較 繼電器의 論理判斷回路
Fig. 10. Logic Decision Circuit at the Multi-slice Level Phase Comparison Relay.

하고 이 信號를 三相組合 Digital. 하여 四相位相變 調하는 Digital 符號化四相位相變調方式이 있다.

電力線搬送方式은 信號 傳送量이 적은 三相一括位相 比較方式이나 方向比較方式에 使用된다.

10. 位相比較方式의 種類

信賴度, 經濟性, 系統特性등에 의해 여러 種類의 方

式들이 使用되며 이를 分類하면 다음과 같다.

(1) 相數에 의한 分類: 三相一括方式과 各相比較方式이 있으며 各相比較에는 Two Sub-System과 Three Sub-System이 있다.

(2) 檢出方式에 의한 分類: 半波位相比較繼電方式과 兩波位相比較繼電方式이 있다.

(3) 機能에 의한 分類: 純粹位相比較方式과 方向制御付位相比較方式이 있다.

11. 結 論

이상에서 論한바와 같이 位相比較繼電方式은 지금까지 開發된 保護方式中 가장 完璧한 保護機能을 가진 方式으로 世界各國에서 超高壓 以上の 系統保護에 많이 使用된다.

以上 位相比較方式에 대한 概要를 記術하여 보았으나 미흡한 점이 많으므로 이에 대해 더욱 알고져 하시는 분은 이에 대한 專門外書와 參考文獻을 참고하시기 바랍니다.

參 考 文 獻

1. 岡村正己, 太田宏次: "送配電線의 保護繼電システム" 電氣書院 pp. 67~102, pp. 246~256, 1 pp. 22~23.
2. 太田宏次: "電力系統의 保護制御システム" 電氣書院 pp. 101~105.
3. 長谷良秀, 增井三千雄: "保護繼電技術" 東京電氣大學出版局 pp. 30~314.
4. 電氣計算增刊シリーズ "トランシズタリレ1 應用技術入門" 電氣書院 pp. 158~164.
5. 大森武司, 大嶋幸一: 電力用コンデンサ 電氣書院 pp. 214~220.
6. 電氣計算增刊シリーズ: "現場技術者のための保護繼電器取扱マニュアル" 電氣書院 pp. 191~194, pp. 198~205.
7. 福田節雄: "保護繼電器ハンドブック" 오이ム社 pp. 122~125, pp. 179~181.
8. W.H. Relay-Instrument Division "Applied Protective Relaying W.H. 16~7, 16~13.