

디지털형繼電器의 動作原理와 構造

保護繼電器의 高性能·高機能化, 信賴性和 保守性의 向上, 그리고 經濟性의 向上, 小形化, 標準化等의 目的으로서, 마이크로프로세서를 사용한 各種의 디지털형繼電器(以下 디지털릴레이라고 말함)의 開發이 急速으로 進展되어 필드試驗에 의한 實用化의 檢證도 終了하여 一部에서는 이미 實用機가 運轉되는 時代가 되었다.

여기서는 디지털릴레이의 主要한 動作原理와 具體構成에 對해 記述하기로 한다.

1. 디지털릴레이의 特徵

保護릴레이는 電磁力를 應用한 機械式의 電磁形 릴레이의 時代에서 트랜지스터나 리니어 IC 等의 半導체를 이용하여 電子回路網을 構成하고, 아날로그 演算과 論理演算을 하게하는 靜止形릴레이의 時代

로 移行하고 있다.

이러한 것은 어느 것도 아날로그 技術이 主体이며 一般적으로 디지털 릴레이에 대하여 아날로그 릴레이라고 부르고 있으나, 保護릴레이의 高精度化나 高機能化의 니이즈에 대하여 技術的인 限界가 생기거나 하이드가 極히 複雜化하기 때문에 實現이 困

〈表- 1〉 디지털릴레이의 特徵

디지털릴레이의 特徵		디지털 技術의 一般의 特徵							
項 目	主 要 內 容	디지털數 值演算	高速演算 · 時分割 處理	메이터의 記憶이 容易	메이터의 集中化· 共用化가 容易	소프트웨 어 (프로 그램) 에 의해, 各 種機能을 實現	다른디지 털裝置와 의結合이 容易	半導體技 術의 高度 한進歩	
高性能·高機能 化	아날로그로서는 困難한 새로운機能特性을 實現할 수 있다.	○	○	○	○	○	○	○	
信賴性·保守性 向上	온라인 그대로 高度의 自己診斷이 可能하게 된다.	○			○	○	○	○	
小形化·低負擔 化	1 臺의 CPU로 複數臺의 릴레이機能을 處理可能하며 半導體技術의 進歩도 다시 期待된다.			○	○	○		○	
裝置의 標準化와 保護시스템 變更 에 대한柔軟性	소프트웨어 (프로그램)에 의해 各種의 릴레이에 對應可能하다.	○			○	○			
經濟性의 向上	上記의 各메리트를 살림으로써 經濟上의 向上도 期待된다.			○	○	○	○	○	

難하다는 問題가 생기고 있다.

또 信賴性을 向上시켜 엔태너스플리를 指向하기 위해 現用的 靜止形 릴레이도 이미 自動點檢機能과 常時監視機能을 附加하여 效果를 올리고 있으나 은 라인 點檢의 實現과 點檢對象範圍의 擴大, 그리고 點檢精度의 向上 등을 圖謀하여 窮極의 入手에 의한 保守를 不要로 하는 目的에 대해서는 아날로그 릴레이로서는 困難한 問題가 적지 않다.

最近 急速으로 發展한 마이크로프로세서 技術을 應用한 디지털 릴레이는 이같은 課題를 解決하는 동시에 하아드의 小形化·標準化 등의 메리트도 期待할 수가 있다.

표 1에 디지털 릴레이의 特徵과 그 背景이 되는 디지털 技術의 一般의 特徵의 關係를 表示한다.

2. 基本構成

디지털 릴레이의 基本構成은 小規模인 릴레이 以外는 一般으로 그림 1과 같이 되어 있다.

電圧이나 電流의 系統入力情報를 入力하여 絶緣과 레벨 變換을 行하는 入力變成器部 아날로그 量을 샘플링하여 디지털 值에 變換하는 入力部, 샘플링된 디지털 데이터를 사용하여 保護 릴레이 演算을 하는 演算處理部, 保護 릴레이 演算에 必要한 整定 值를 入力하는 동시에 릴레이의 演算處理 結果를 表示하는

整定·表示部, 演算結果를 기초로 하여 遮斷器 등의 外部機器에 制御指令을 주는 出力部 등에 의해 構成된다.

各部의 主要한 技術을 다음에 說明한다.

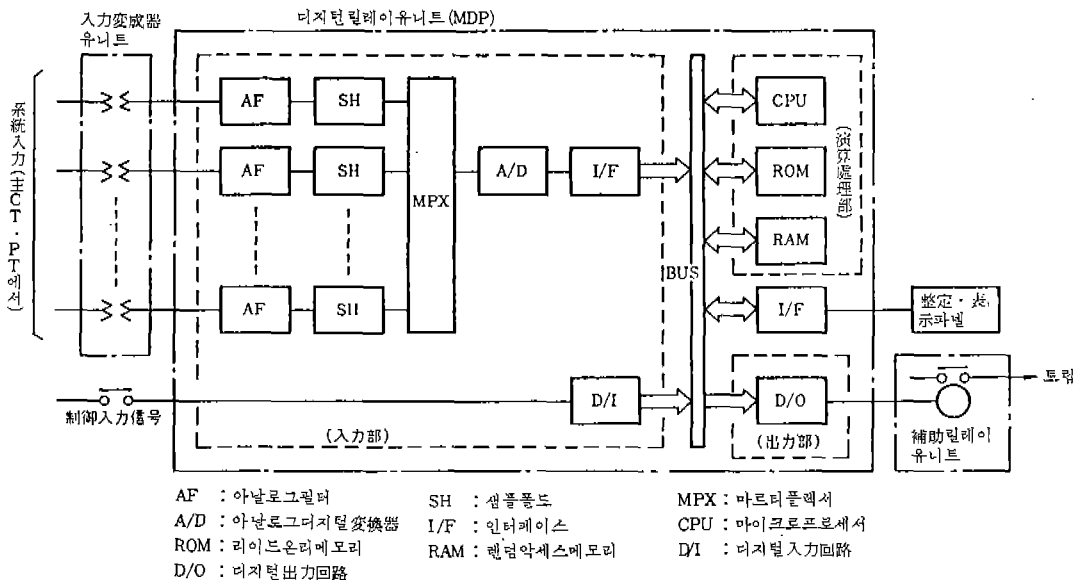
(1) 아날로그 필터 (AF)

系統 入力에 포함되는 高調波를 除去하기 위해 入力部에 演算增幅器를 사용한 帶域 필터를 설치한다. 系統 入力의 高調波와 直流分은 後述하는 디지털 필터로도 除去하는 것은 可能하나 디지털 릴레이는 交流 入力의 瞬時 值를 샘플링하여 디지털 值에 變換할 때에 샘플링 周波數 (現狀에서는 系統 周波數의 12배—50 Hz에 대해서는 600Hz, 電氣角으로 30°間隔이 一般的)의 1/2 以下의 周波數 成分은 뒤돌아하여 誤差를 생기게 하므로 正確한 디지털을 얻을 수가 없다.

이때문에 샘플링하기 前에 이와같은 高調波를 除去해 둘 必要가 있다.

(2) 샘플링 폴드 (SH), 마르티플렉서 (MPX)

샘플 폴드 回路은 아날로그 필터 出力의 瞬時 值 (아날로그 데이터)를 周期的으로 샘플링하여 아날로그 디지털 變換이 끝날 때까지 데이터를 保持한다. 保護 릴레이 演算에 사용되는 入力 데이터는 同一時刻에 샘플링된 것이 必要하기 때문에 샘플링 回路은 系統 入力 個個로 설치하여 크로크 信號에 의해 同一時刻의



〈그림-1〉 디지털 릴레이의 基本構成

데이터를 샘플링하도록 構成한다.

마르티플렉서는 이들 複數의 샘플링볼드의 出力 데이터를 순번으로 切換하여 A/D變換器에 준다.

(3) 아날로그디지털變換器 (A/D)

마르티플렉서로 부터의 아날로그데이터를 디지털 値로 變換하여 演算處理部에 轉送한다. 디지털 릴레이用的 A/D變換器는 一般으로 12비트程度의 것으로 安定性, 精度 및 變換速度에 뛰어난 逐次比較形이 사용되고 있다. 아날로그디지털變換에 對해서는 動作原理의 項에서 詳述하겠다.

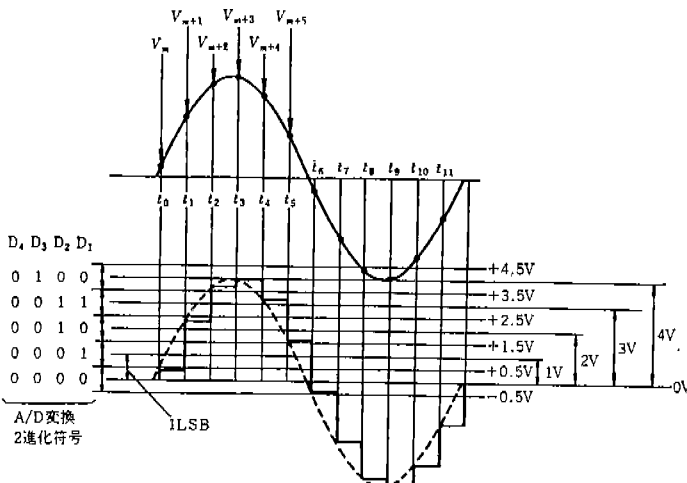
(4) 演算處理部

마이크로프로세서 (CPU) 는 16비트 또는 8비트의 것이 使用된다. CPU는 ROM에 入力된 릴레이演算 프로그램을 判讀, 프로그램에 따라 A/D 變換器서 出力된 디지털을 사용하여 保護릴레이演算을 하며, 演算結果에 따라 D/O에 制御信號를 出力한다.

ROM은 한번 入力한 데이터를 半永久的으로 保守할 수가 있기 때문에 프로그램以外에도 固定데이터와 같이 變更을 必要로 하지않는 데이터의 메모리로서 使用된다.

RAM은 데이터의 入力, 出力이 自由롭기 때문에 A/D變換데이터나 演算途中의 데이터等を 一時的으로 記憶하기 위한 메모리로서 使用된다.

3. 動作原理



(그림 - 2) 아날로그디지털變換(量子化)

디지털 릴레이는 電力系統의 情報로서 電壓, 電流의 아날로그量을 入力하여 入力信號의 瞬時値를 샘플링하여 “1” 또는 “0”의 디지털 2進化符號로 變換한後 디지털數值 演算에 의해 電力系統의 保護에 필요한 電壓, 電流의 크기와 兩者의 位相角 인피던스, 周波數等を 求하여 論理演算에 의해 事故系統의 選擇遮斷과 系統의 制御指令의 判斷處理를 行하도록 構成된다. 다음에 디지털 릴레이의 動作原理를 記述한다.

(1) 아날로그 디지털變換(量子化)

디지털에서는 一般으로 交流正弦波를 入力信號로서 取扱하는 일이 많으며 正弦波의 瞬時値를 샘플링하여 이를 A/D變換함으로써 디지털 2進化符號로 變換한다. 이를 量子化라고 한다. 그림2에 量子化의 具體例를 表示한다.

時刻 t_0, t_1, \dots 에 있어서의 電壓의 瞬時値 V_m, V_{m+1}, \dots 를 샘플링하여 그值를 保持해 둔다. 以下는 아날로그量 1V를 디지털 値의 1비트에 對應시킨 例로 說明한다.

샘플링된 아날로그데이터는 A/D變換器에 의해 +0.5~1.5V는 0001, +1.5~2.5V는 0010의 2進化符號로 變換된다. 이 結果 變換後의 디지털데이터 0001은 1V, 0010은 2V로 認識되기 때문에 아날로그量의 眞值에 대해 量子化된 데이터는 誤差를 생기게 된다. 이 量子化 誤差는 A/D變換器의 비트數, 즉 分解能에 의해 決定된다.

샘플링時刻	데이터		데이터의 디지털化 (量子化)				
	데이터 符號	眞眞 [V]	A/D交換에 의한 2進化符號*				量子化後의 데이터 [V]
			D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	
t_0	V_m	0.35	0	0	0	0	0
t_1	V_{m+1}	2.29	0	0	1	0	2
t_2	V_{m+2}	3.63	0	1	0	0	4
t_3	V_{m+3}	3.98	0	1	0	0	4
t_4	V_{m+4}	3.28	0	0	1	1	3
t_5	V_{m+5}	1.69	0	0	1	0	2

* D_i이 量子化데이터의 LSB (Least Significant Bit : 重加가 最下位의 비트)

디지털 릴레이에서는 간단한 릴레이 외에는 一般으로 12비트의 A/D變換器가 使用되고 있으며 12비트 가운데의 1비트는 波形的 正負를 表示하는 符號로서 使用, 나머지의 11비트로서 데이터를 表示하도록 하고 있다. 이는 디지털值로서 最大 $2^{11}=2048$ 까지 取扱할 수 있다는 것을 뜻하고 있다. 이 值를 入力의 폴스케일에 맞추면 데이터의 分解能을 폴스케일의 $1/2048$ 이 된다.

이때의 量電化 誤差는 $\pm 1/2\text{LSB}$ (LSB는 電加가 最下位의 비트)이기 때문에 $\pm 1/2048 \times 1/2 = \pm 0.024[\%]$ 가 되어 入力條件이 폴스케일에 가까운 경우에는 極히 높은 精度를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

그러나 實際의 保護릴레이의 경우에는 所要入力 폴스케일과 整定值와의 比가 큰것도 적지않기 때문에 個個의 릴레이種別마다 檢討를 하여 量子化 誤差의 影響을 輕減시켜 디지털릴레이의 매력트를 살리는 研究도 필요하다.

(2) 保護릴레이 演算알고리즘

여기서는 保護릴레이에 共通의 基本演算알고리즘과 保護릴레이 演算의 具体例로서 距離릴레이의 알고리즘의 一例를 表示한다.

(1) 디지털필터處理演算

디지털필터는 系統入力에 포함되는 高調波나 直流分을 除去하거나 特定の 周波數 成分을 抽出하기 위해 使用된다. 디지털필터에는 差分필터(微分), 加算필터, 積分필터가 있다. 이 演算式과 개인特性은 表2 (a)에 表示한다.

(2) 移相演算

保護릴레이 演算에서는 電壓과 電流의 位相을 시프트시키는 例가 많다. 이를 移相演算이라고 한다. 디지털릴레이에서는 메모리에 샘플링데이터를 記憶시켜 두는 것이 可能하므로 移相演算은 容易하다.

表2 (b)는 移算演算의 方法을 表示한 것으로서 移相角이 샘플링 間隔의 整數倍의 경우에는 現在值의 代身에 얼마만큼 前이나 後의 데이터를 使用하는 것 만으로 移相할 수 있다는 것을 表示하고 있다.

例로 位相을 60° 遲延시킬 경우에는 現在值 V_m 의 代身에 그샘플前의 데이터 V_{m-1} 를 使用하면 된다. 그리고 移相角이 샘플링間隔의 整數倍가 아닐 경우

에는 2點의 샘플링데이터에 의해 任意의 位相角을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

(3) 레벨演算

過電流릴레이와 不足電壓릴레이와 같이 入力의 크기를 求하는 레벨演算 알고리즘로서는, 一般적으로 加算形과 積形이 使用되고 있다. 加算形은 正弦波의 半사이클分の 샘플링데이터를 加算하는 方式이며, CPU의 演算時間이 짧아도 좋은 特徵이 있으나 샘플링데이터의 點數가 적을수록 演算誤差는 增加한다. 그러나 샘플링데이터가 半사이클에 6點(30° 間隔)의 경우에는 最大 $\pm 1.7\%$ 程度의 誤差로 그치기 때문에 充分히 實用이 可能하다.

積形은 演算이 複雜하게되나 原因의으로는 誤差가 없다는 特徵이 있다. 表2 (c)에 加算形과 積形의 比較를 表示한다.

(4) 位相演算

方向릴레이와 距離릴레이 등에서는 電壓과 電流, 또는 그것들의 벡틀演算結果의 位相關係를 求할 필요가 있다.

位相演算알고리즘으로서 2個 交流의 位相角 θ 를 直接 求하는 方式과 $\cos\theta$ 와 같은 三角關數의 形態로 求하는 方式이 있다. 이 가운데 三角關數의 形態로 求하는 方式은 積形演算을 使用하면 레벨演算과 같이 原理의으로는 誤差가 생기지 않는 것 또 相對的으로도 演算이 簡單하다고 하여 一般적으로 使用되고 있다. 表2 (d)에 具体例를 表示한다.

(5) 距離릴레이演算

保護릴레이의 演算알고리즘의 具体例로서 積形演算方式의 모호特性 距離릴레이의 演算알고리즘과 벡틀圖를 그림3에 表示한다.

動作原理式의 動作條件은 $\cos\theta > 0$ 이기 때문에 벡틀V가 円의 内側에 오면 $\theta < 90^\circ$ 가 되어 動作한다.

이 距離릴레이의 演算알고리즘은 移相, 減算, 位相, 論理의 各演算에 의해 構成되고 있음을 알 수 있다.

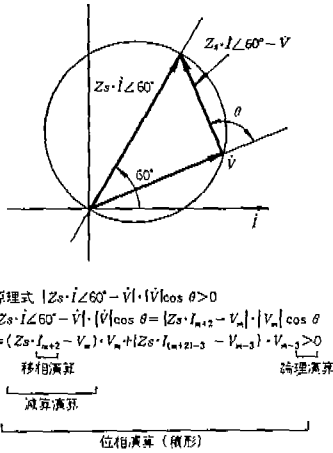
(3) 소프트웨어

1) 프로그램에 의한 時分割處理

디지털릴레이에서는 保護릴레이 演算과 시이퀀스의 論理演算은 모두 소프트웨어(프로그램)에 의해 遂行된다. 따라서 從來 릴레이와 같이 하드웨어

〈表-2〉保護릴레이의 基本演算 알고리즘(例) (샘프링 間隔30°의 경우를 表示)

項	演算種別	演算式	說明圖	備考	
(a)	디지털 필터 處理演算	差分	$V = V_m - V_{m-1}$		
		加算	$V = V_m + V_{m-1}$		
		적분	$V = V_m + V_{m-1} \pm \dots + V_{m-n}$		
(b)	移相演算	移相角 = 샘플링 間隔의 整數倍 $V_m \angle n \cdot \theta = V_{m+n}$ θ : 任意의 位相角 n : 任意의 整數			
		移相角 = 샘플링 間隔의 整數倍 $V_m \angle \theta' = k_2 \cdot (k_1 \cdot V_m + V_{m+n})$ θ' : 任意의 位相角 V_{m+n} : V_m 에 대해 n 番後의 데이터 k_1 : 移相角決定定數 k_2 : 계인補正定數			
(c)	레벨演算	加算形	$ \bar{V} = \sum_{n=0}^5 V_{m-n} $ 振幅値 \propto 面積		演算이 簡單 誤차는 若干 크다 (30° 샘플링으로 $\pm 1.7\%$)
		積形	$ \bar{V} ^2 = V_m^2 + V_{m-1}^2$		原理的으로는 誤차는 생기지 않는다. 演算結果가 2次가 된다.
(d)	位相演算	$ \bar{V} \cos \theta = V_m \cdot I_m + V_{m-1} \cdot I_{m-1}$		原理的으로는 誤차는 생기지 않는다. 位相演算으로서는 演算이 簡單	



(그림-3) 모오特性距離릴레이의
演算 알고리즘 (例)

에 의해 保護릴레이 機能이 決定되고 만다는 制約이 없어져 同一의 하아드웨어 로서도 프로그램 여하에 따라 各種의 릴레이 特性이나 보다 高度의 保護機能을 實現시키는 것이 可能하게 되었다.

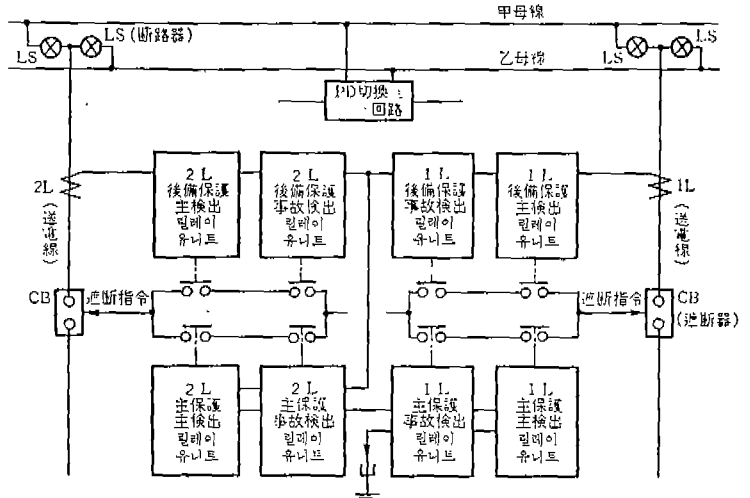
한편 CPU 自身은 하나의 하아드 이기 때문에 同時刻에는 하나의 일만 處理된다. 그러나 一般적으로 1台的 保護릴레이 演算處理를 實行하기 爲해 必要한 時間은 大體로 數10~數百 μ s 정도이며 데이터의 샘플링 間隔을 30°로 했을 경우의 샘플링 周期 (50Hz系에서 1.17ms, 60Hz에서 1.33ms)와 保護릴레이의 許容動作時間數 10ms에 比하면 짧은 시간이 되므로 1台的 CPU로 複數台分の 릴레이 處理를 時分割로 多重處理시킬 수가 있다.

그림 4에 保護릴레이 演算의 時分割多重處理의 例를 表示한다.

2) 自己診斷機能

保護릴레이의 디지털化的 目的의 하나로 信賴性의 向上과 高度인 自己診斷 機能을 具備하게 되는 멘테넌스플리이化的 期待가 있다. 디지털 릴레이 에서는 一般의 CPU 시스템으로서도 實施例가 있는 파리티체크, 위치도그타이머, 리드라이트 에러체크 등의 自己診斷機能 以外에 디지털 릴레이 獨自의 診斷機能을 附加하는 일이 많다.

(a) 零相체크 : 系統이 健全한 경우에는 三相電壓



(그림-4) 回線選擇릴레이裝置의 시스템構成

의 和가 零이라는 것을 感視한다.

$$\dot{V}_{a,b} + \dot{V}_{b,c} + \dot{V}_{c,a} > K$$

(b) A/D 變換체크 : 既知의 아날로그值를 A/D 變換시켜 메모리의 基準值와 比較하여 精度點檢을 한다.

(c) 自動點檢 : 入力部에 模擬入力を 印加하여 精度點檢을 하거나 出力部의 D/O에 模擬動作信號를 주어 出力릴레이의 動作까지 確認한다.

保護릴레이裝置와 같은 取扱을 할 수 있도록 考慮되고 있다.

마이크로프로세서技術은 앞으로 急速한 進展을 보여 處理速度, 處理能力의 向上, 消費電力의 低減 등이 豫測된다. 이에 따라 演算알고리즘을 中心으로 한 保護릴레이機能과 自己診斷機能 등은 더욱 高度化함으로써 保護릴레이의 디지털化的 目的을 達成해 나갈 것으로 생각된다.

한편 整定表示部, 保守, 點檢판넬, 補助릴레이 유닛 등은 裝置의 機能에 對應하여 하아드가 製作되기 때문에 프로그램에 의해 容易하게 機能을 變更할 수 없는 面이 있다. 이점이 디지털 릴레이의 標準化, 코스트다운에 對한 課題의 하나이며 앞으로 使用者 메이커間에 研究해갈 必要가 있다. *