

變電機器의 豫測保全

(3)

가스絶緣開閉機器의 豫測保全技術

1. 머리말

미쯔비시電機에서는 1965년에 日本에서 최초의 가스遮斷器(이하 “GCB”라 한다)를 제작, 납품한 이래, 에너지의 蓄積效率이 높은 토션바식의 용수철操作裝置(BM形)라든가 油中混入空氣의 영향을 배제한 常時高壓安定回路方式의 油壓操作裝置(OM形)의 채용으로 유지보수·점검업무의 省力化를 도모한 GCB, 各種解析技術과 新材料를 적용한 新形 D시리즈 消弧空의 채용에 의하여 보다 더 高性能化·小型化를 실현한 GCB 등 여러 가지의 GCB를 製品化하여 1984년에 10,000대, 1991년에 20,000대를 납품하였다.

가스絶緣開閉裝置(이하 “GIS”라 한다)도 1968년에 日本에서 처음 설치한 이래, 이미 24년이 경과하였다. 特高클래스에서부터 超超高壓은 물론 UHV 變電所에도 적용을 계획하고 있고 GCB와 함께 變電機器의 主流를 이루고 있으며 5,800배 이상(1992년 3월 현재)이 사용되고 있다.

系統의 過電壓保護를 위하여 사용되는 避雷器는 당초 炭化矽(SiC) 抵抗體와 續流遮斷能力이 큰 直列 갭의 조합으로 구성되어 있었으나 非直線抵抗特性이 우수한 酸化亞鉛素子로 구성된 酸

化亞鉛形 避雷器가 1975년대초에 發變電所用으로 도입되었다. 그 우수한 保護特性, 에너지 處理能力, 耐汚損性 및 小型·輕量化 등 많은 利點이 인정되어 酸化亞鉛形 避雷器는 이제 全電壓階級에 채용되어 GIS용 避雷器만으로도 3,100相 이상(1992년 3월 현재)이 납품되고 있다.

어느 것이나 가스絶緣機器의 縮小性 및 高信賴性 때문에 보급이 비약적으로 진전된 것이지만 가스絶緣開閉機器 운전중의 各種情報에 바탕을 둔 異常의 조기발견이나 機器정비업무의 효율화 와 信頼화를 위하여 豫測保全技術도 瞞 수 없는 요구사항이 되었다. 미쯔비시電機에서는 이와 같은 정세를 감안, 재빨리 연구에 착수하여 1975년대초에 GIS 內部異常診斷裝置를 개발하여 본격적인 監視 시스템을 1985년에 西國電力(株) 北松山變電所에 납품하였다. 그후 各電力會社의 지도하에 10여개소의 變電所에 납품한 실적이 있으며 센서로부터 얻은 데이터와 機器의 異常狀態와의 關係情報를 추적하면서 보다 더 高壓의 信賴性있는 센서와 알고리즘의 開發을 추진하고 있다.

여기서는 가스絶緣開閉機器를 대표하는 GCB, GIS 및 酸化亞鉛形 避雷器에 대하여 豫測保全을 뒷받침하는 監視·診斷裝置의 원리, 적용례, 적용

에 있어서의 문제점과 그 해결책에 대하여 實
드에서의 실적을 토대로 소개한다.

2. 監視·診斷裝置에 대한 사고방식

監視·診斷裝置는 機器가 고장에 이르기 전에
異常이 경미한 단계에서 檢出하는 것을 主目的
으로 하고 있으며 돌발적인 事故發生時 事故復舊에
요하는 時間의 단축을 위하여 事故點標定機能을
부가하는 경우도 있다.

기본적으로는 外部診斷方式으로 機器의 상태를
檢出한다. 檢出센서의 설치시에는 機器本體의 信
賴性を 손상하지 않도록 원칙적으로 機器의 主回
路부에 貫通구멍 등을 새로 만들지 않도록 하고
있다. 따라서 既設機器에의 설치도 비교적 容易하
다. 센서로부터의 데이터處理는 分散處理方式
으로 하고 있으며 센서出力을 演算하는 마이크로프
로세서를 機器 근방에 배치하여 센서의 독립성을
높이고 있다. 이렇게 함으로써 일부분이 故障를
일으켜도 다른 곳으로 波及되는 것을 한정시킬
수 있고 센서 增設時에도 시스템을 停止시키지
않고 대응할 수가 있다.

가스絶緣開閉裝置에 필요한 監視項目으로는 異
常의 조기발견, 巡視點檢의 성력화 및 事故의 확
대방지라는 관점에서 各機器에 대하여 표1에 표
시한 것과 같은 項目을 예로 들 수 있다.

탱크型 GCB 및 GIS는 主要部分이 密封 金屬
容器內에 收納되어 있어서 耐環境의으로 高信賴
성을 가지고 있다. 또 主絶緣要素인 SF₆ 가스 및
에폭시系 注型絶緣物에 있어서도 통상 사용조건
에서는 거의 劣化를 고려할 필요가 없다. 그러나
만일 事故나 그 징후가 나타날 경우 密封容器이
기 때문에 内部狀態의 診斷, 事故點의 標定 및 신
속한 복구작업이 곤란하게 된다는 문제가 있다.
따라서 보다 초기단계에서 異常 징조를 찾아내어
事故를 미연에 방지하기 위한 豫測保全技術과 사
고발생시의 신속한 복구작업을 가능케 하기 위한
事故點標定技術의 高度化가 중요하게 된다.

<표1> 가스絶緣開閉機器의 監視項目

機 器	異 常 의 早期發見	巡視點檢의 省 力 化	異常事故時의 即 應 處 置
GCB DS/ES	· 操作裝置特性 監視 · 投入·트립코일 異常監視 · 部分放電監視 · 가스壓力監視	· 操作裝置特性 監視 · 操作裝置壽命 監視 · 콘택트消耗監 視 · 가스壓力監視	· 遮斷器의 아 크時間監視
GIS	· 部分放電監視 · 가스壓力監視 · 分解가스監視 · 異常振動監視	· 가스壓力監視	· 故障點標定 · 故障子역標定 · 溫度異常監視
酸化亞鉛形 避雷器	· 누설電流監視	· 누설電流監視 · 動作電流監視	· 動作電流監視 · 動作實務 (에너지 監 視)

GCB는 消弧室部가 高速으로 동작하여 SF₆ 가
스를 壓縮하여 아크에 내뿜어 冷却消弧하기 때문
에 그 遮斷性能은 消弧室 可動部의 動作特性에
크게 영향을 받는다. 이 때문에 가스壓力의 監視
와 함께 開閉時 動作特性의 監視도 중요하게 된
다. 斷路器(DS) 및 接地開閉裝置(ES)에 대하여
마찬가지로 可動部의 動作特性이 그 性能에 영향
을 준다.

酸化亞鉛避雷器에 대하여는 劣化하면 抵抗分
누설電流가 증가하기 때문에 劣化의 早期檢출을
위해서는 變 수 없는 監視項目이다.

다음에 監視·診斷裝置에 대하여 상세히 설명
한다.

3. GCB의 豫測保全技術

GCB는 SF₆ 가스가 가진 우수한 絶緣性能과 消
弧性能 외에 電界解析, 아크現象解析, 操作裝置의
動作解析 등의 解析技術의 進歩에 따라 小型·高
性能化가 추진되고 있다.

小型·高性能화와 함께 항상 최적한 상태를 유
지할 필요성이 높아져 設計, 製作, 試驗 및 設置
에 이르는 모든 工程에서 보다 高壓의 技術과 관

리가 요구되고 있다. GCB의 최적한 상태를監視하고 豫測保수에 이용하기 위해서는 絶緣性能과 遮斷性能을 확보하기 위한 開閉性能에 대하여監視할 필요가 있다.

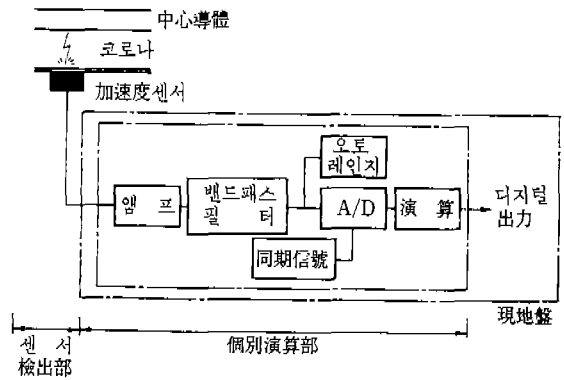
또한 GCB 탱크內에 예측하지 못했던 만약의 상태가 발생하여 SF₆ 가스壓力의 低下 외에 絶緣性能의 低下가 발생했을 경우에는, 대체로 部分放電을 수반하기 때문에 部分放電의 發生有無를 判定함으로써 GCB 內部的 絶緣性能의 健全 여부를 判定할 수 있게 된다.

GCB의 또 하나의 중요한 機能인 遮斷性能은 SF₆ 가스의 封入壓力, 遮斷部の 尺寸·形狀과 더불어 그 動作特性에 크게 영향을 받는다. 이 때문에 氣溫이나 操作壓力 등이 다른 조건하에서도 動作特性은 遮斷性能保證의 觀點에서 定하여진 許容範圍內에 있어야 한다는 것이 필요조건이므로, 따라서 動作特性의 監視가 중요하게 된다. 여기서는 상기한 絶緣性能과 遮斷性能을 監視하는 센서에 대하여 소개한다.

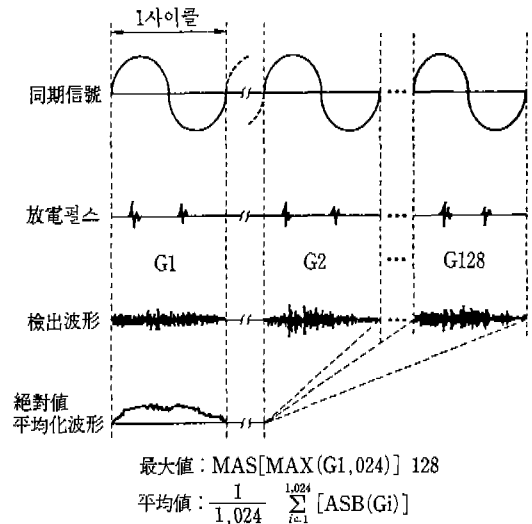
(1) 絶緣特性센서

絶緣特性을 監視하는 센서로서는 가스壓力센서와 部分放電센서가 있다. 가스壓力은 현재에도 密度 스위치로 監視하고 있으나 壓力센서로 置換함으로써 가스壓力의 온라인 連續監視를 할 수 있고 警報가 나기 前段階에서 精確하게 상황을 파악할 수가 있다. 部分放電센서로서 GCB에 적용할 수 있는 대표적인 것은 加速度센서이다.

加速度센서의 構成을 그림 1에 표시하였다. 加速度센서 素子로 檢出된 탱크壁의 高周波微小振動을 앰프로 增幅한 후 밴드패스필터에 의하여 部分放電에 의한 信號成分이 많이 포함되어 있다고 생각되는 周波數帶域 10~20kHz의 周波成分만을 추출한다. 그 다음 그림 2에 표시하는 것과 같이 部分放電이 어느 정도 主回路電壓의 位相과 同期되어 발생한다는 特性을 이용하여 一周期마다 同期加算平均이 행하여진다. 이와 같이 처리된



<그림 1> 加速度센서 構造



<그림 2> 信號處理 順序

信號의 最大値 등을 기초로 異常의 發生有無를 判定한다.

檢出感度는 外部周圍環境(백그라운드 노이즈)의 영향에 따라 工場內와 現地變電所 사이에 차이가 생길 때도 있다.

이 때문에 최종적인 部分放電의 有無判定은 가스체커 등의 다른 센서를 병용하여 실시하고 있다.

(2) 閉閉性能센서

GCB 制御回路의 制御電流通電時間을 재는 動作時間센서와 GCB 操作裝置의 움직임을 직접 計測하고 結合하여 制御電流通電時間도 計測하는 스트록 센서의 2종류가 있다. 動作時間센서는 制御電流을 計測하기 때문에 制御回路의 異常과 操作裝置의 電磁輻射關係의 異常이 主監視對象이 된다. 스트록 센서는 制御回路 및 操作裝置 전체가 監視對象이 된다. 動作時間센서는 制御回路에 電流센서를 설치할 뿐이므로 既設 GCB에도 대응할 수 있다. 스트록 센서는 操作裝置의 可動部에 직접 또는 連結機構를 통하여 설치하기 때문에 既設 GCB에 설치하기 위해서는 다소 改造할 必要가 있다.

스트록 센서의 構成을 그림 3에 測定原理를 그림 4에 표시한다. 驅動回路로 一定週期마다 動作行程센서에 펄스光을 보내 光反射板에서의 反射光을 增幅回路에서 檢知한다. GCB의 動作이 없으면 反射光이 있으나 動作이 발생하면 光反射板이 回轉하여 反射板에 설치한 마커가 動作行程센서를 가로지르면 反射光이 없어진다. 이것을 이용하여 GCB의 動作을 檢出한다. 動作行程센서를 光反射板의 回轉方向으로 여러개 설치함으로써

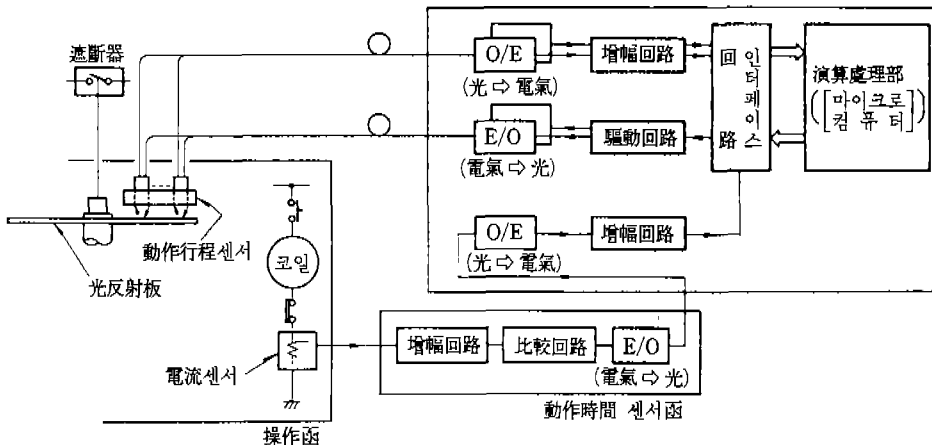
GCB의 移動距離時間特性 트리플을 일정한 간격으로 檢知할 수 있다.

이와 같이 하여 얻어진 動作行程센서 信號와 動作時間센서 信號와의 時間差로부터 閉閉特性의 異常有無를 判定한다. 計測誤差는 $\pm 0.2\text{ms}$ 이고 判定方法은 工場出荷時의 시험결과를 基準値로 하여 各種 操作條件을 가미한 형태로 變動幅(예를 들면 $\pm 20\%$)을 결정하고, 動作責務를 고려하여 그 범위에서 벗어나면 異常일 가능성이 있다고 判定하고 있다.

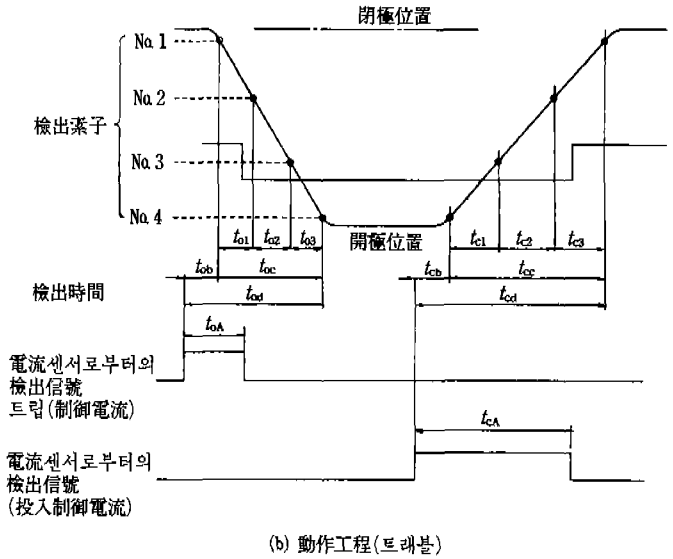
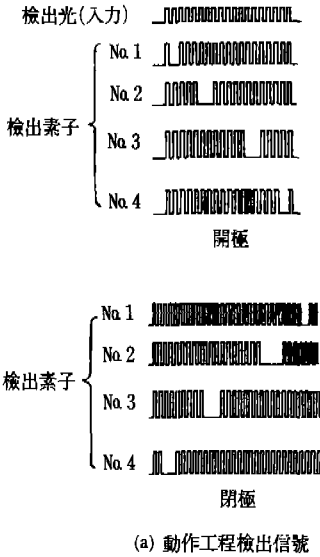
4. GIS의 豫測保全技術

GIS의 絕緣性能에 관해서는 GIS에 致命的이라고도 할 수 있는 絕緣破壞의 進조현상인 部分放電(잘못 混入된 金屬異物, 浮遊電極 등에 起因)이나 가스壓力의 低下 등의 檢出을 생각할 수 있다. 部分放電檢出에는 電氣的(탱크電位變動, 靜電分壓 및 기타), 機械的(탱크의 機械的振動 및 기타) 및 化學的(分解가스)方式이 있으며 가스壓力低下檢出에는 가스壓力센서 등에 의한 方式이 있다.

通電性能에 관해서는 접촉불량, 접촉불량으로 인한 主回路抵抗의 增大에 의한 容器外面의 局部溫度上昇 또는 部分放電의 檢出 등을 생각할 수



<그림 3> 스트록 센서 構成



<그림 4> 스트록 센서 測定原理

있으며, 전자에 대하여는 赤外線카메라 등에 의한 檢出方式이 있다.

GIS의 事故點標定技術로는 GIS 內部에서 短絡 또는 地絡事故가 발생하였을 때 아크 근방에서 생기는 壓力波 또는 內壓上昇을 檢出하는 방식외에 振動加速度, 容器外周磁界의 檢出 등의 방식도 있다.

여기서는 豫測保全技術로서 絕緣破壞의 전조현상으로, 많은 경우에 발생하고 있다고 생각되는 部分放電의 檢出方法中 GIS의 絕緣부착 스페이스부에 적용하는 電壓差動센서에 관하여 또 事故點標定技術로서는 衝擊壓力센서에 대하여 기술한다.

(1) 絕緣特性센서(壓力差動센서)

絕緣特性을 監視하는 센서로서 電壓差動센서를 소개한다. 電壓差動센서의 構成을 그림 5에, 信號處理順序를 그림 6에 나타낸다.

部分放電에 의한 서지波는 GIS의 탱크 內部를 전파하여 탱크間的 絕緣부착部에서 電位로 되어

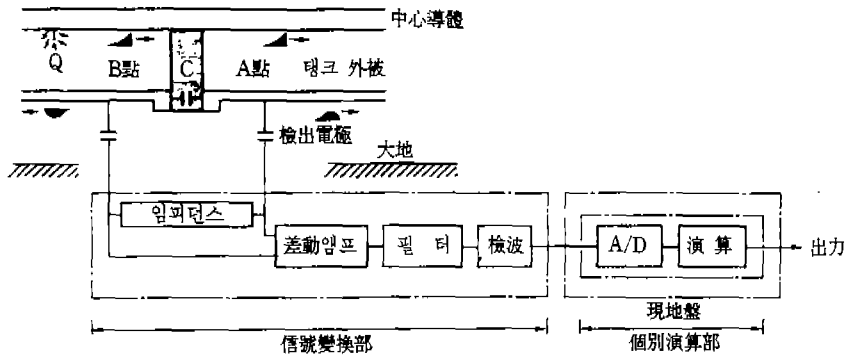
스페이스의 兩端에 나타나는데, 이것을 탱크 外被에 설치한 電極에 의하여 電位差로서 檢出하여 差動앰프로 增幅한다. 그 다음 노이즈를 除去하고 檢波回路에서 電位差의 피크值만을 信號로 끌어낸다. 電位差의 피크值는 部分放電電荷量과 일정한 관계가 있으며 피크值의 個數는 部分放電發生狀態의 가늠이 되므로 一定週期 동안의 個數, 크기 등으로 異常有無의 判定을 하고 있다.

檢出方式으로 보아 비교적 外部 노이즈의 영향은 받기 어렵지만 최종적인 部分放電有無의 判定에는 가스체커 등의 별도의 센서를 병용할 필요가 있다.

(2) 衝擊壓力센서

이 센서는 GIS 內部事故發生時의 아크에너지에 의한 가스壓力의 급격한 上昇을 檢出한다. 이 가스壓力의 變化量은 事故電流值와 가스區分容積으로 결정되므로 GIS 가스區分마다 상세한 計算이 필요하게 된다.

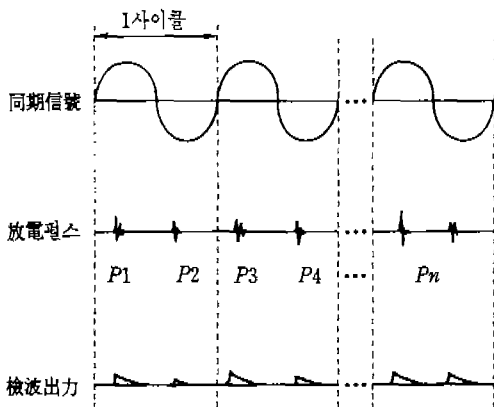
그림 7에 衝擊壓力센서의 構成을 표시한다. 탱



<그림 5> 電壓差動센서 構成

크 내에서 地絡 등에 의하여 아크가 발생하면 가스壓力이 短時間에 急上昇한다. 이 壓力上昇은 配

管에 의하여 衝擊壓力센서의 벨로즈內로 전달되는데 이퀄라이저에 의하여 벨로즈外로는 전달되지 않는다. 그 때문에 벨로즈 內外에 壓力差가 생겨 벨로즈가 變位하여 마이크로스위치가 닫혀, 이 信號에 의하여 地絡事故가 발생한 것을 판정한다.



最大值: $\text{MAX}(P_n)$

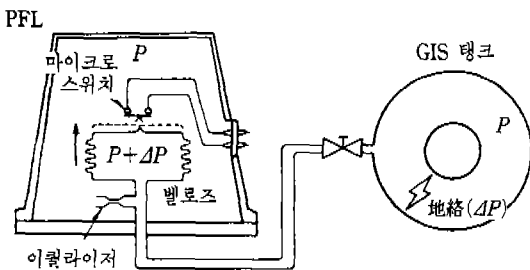
平均值: $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{2048} P_n$

<그림 6> 信號處理 順序

5. 酸化亞鉛形 避雷器의 豫測保全 技術

酸化亞鉛形 避雷器의 우수한 保護特性은 그 안에 直列로 사용되고 있는 수십~백수십枚의 酸化亞鉛素子(ZnO 素子)의 우수한 非直線抵抗特性에 의한다. 이 ZnO 素子는 高純度의 ZnO를 主成分으로 하고 첨가물로서 微量의 Bi_2O_3 , CoO, MnO, Sb_2O_3 등의 金屬氧化物을 첨가한 混合物을 造粒·成形한 후 1,000°C 이상의 高溫에서 燒成한 燒結體이다. 그 微細構造를 보면 10 μm 정도의 ZnO 粒子 사이에 Bi_2O_3 을 중심으로 하는 첨가물로 된 高抵抗의 粒界層이 있고, 이 粒界層이 ZnO 素子의 非直線抵抗特性에 기여하고 있다고 추측된다. 系統電壓下에서는 避雷器에 걸리는 電壓은 ZnO 素子中の 多數의 粒界層에 가해져 있고 避雷器에는 수십~수백 μA 의 抵抗分 누설전류가 흐르고 있다.

避雷器의 劣化는 實系統에서 여러 가지 電氣의 스트레스를 받음으로써 일어나고 있다. 電氣의 스



<그림 7> 衝擊壓力센서 構成

트레스로는

- (a) 常時運轉電壓
- (b) 雷 서지
- (c) 開閉 서지
- (d) 短時間交流過電壓

을 들 수 있는데 (c)과 (d)는 避雷器의 動作電流值가 (b)에 비하여 작아 그다지 영향을 주지 않기 때문에 보통은 (a) 常時運轉電壓과 (b) 雷 서지가 劣化의 主要因으로 생각된다. 避雷器가 劣化하면 상기 粒界層의 抵抗이 低下하여 抵抗分 누설전류가 增加한다.

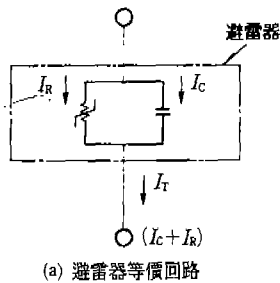
여기서는 避雷器의 劣化檢出을 위한 누설전류 센서와 劣化의 主要因인 雷 서지 動作電流를 計測하는 動作電流센서에 대하여 기술한다.

(1) 누설전류센서

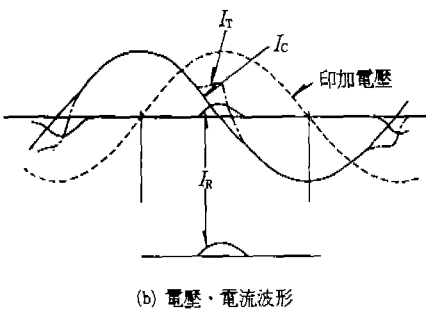
避雷器의 劣化에 의한 누설전류의 變化를 避雷器의 接地回路에 설치한 電流센서로 檢出하여 抵抗分電流를 計測한다. 누설電流센서의 構成을 그림 8에, 그 檢出原理를 그림 9에 표시한다.

避雷器의 接地回路에 설치한 CT에 의하여 누설電流를 檢出하고 避雷器 탱크內에 內藏한 分壓器에 의하여 主回路電壓을 끌어낸다. 이 電壓을 기초로 누설電流를 同期整流함으로써 抵抗分 누설전류를 押出하여 抵抗分 누설電流의 값에 따라 避雷器의 異常有無를 判定한다.

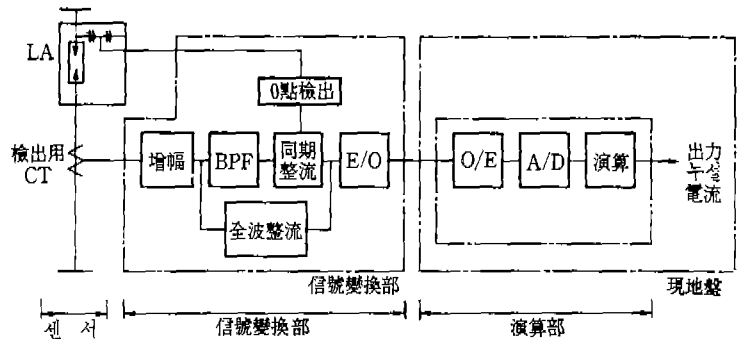
(2) 動作電流센서



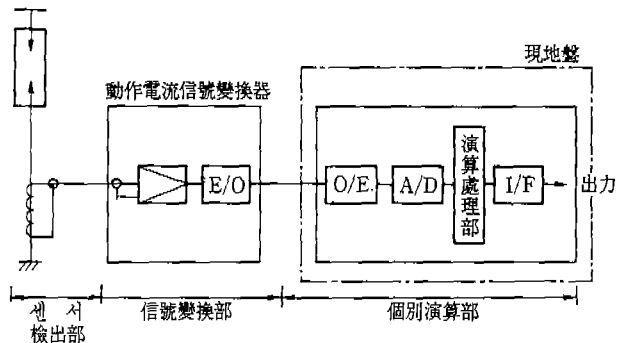
I_T : 全누설電流
 I_R : 抵抗分누설電流
 I_C : 容量分누설電流



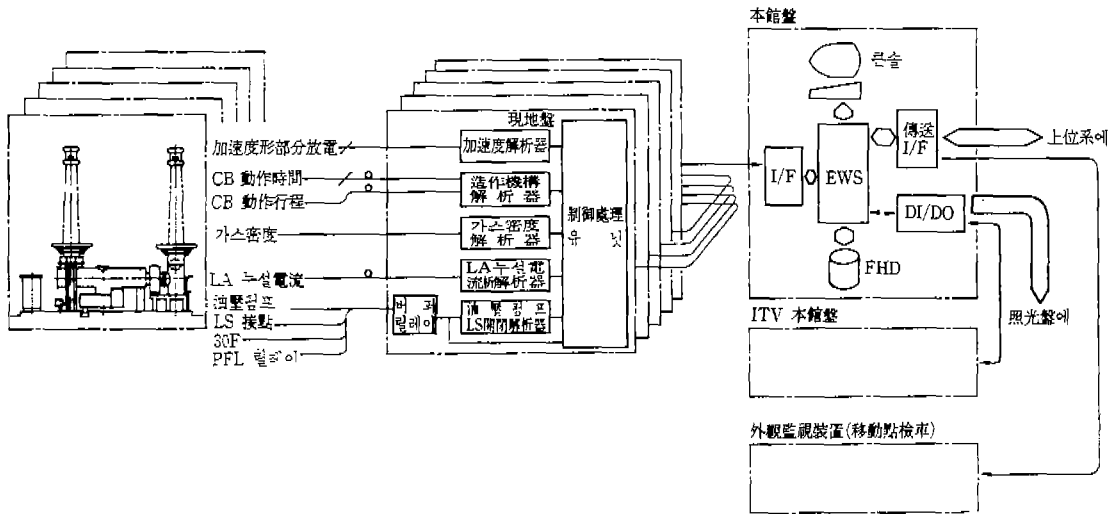
(b) 電壓·電流波形
 <그림 9> 누설電流의 檢出原理



<그림 8> 누설電流센서 構成



<그림 10> 避雷器 動作電流센서 構成



<그림 11> 시스템 構成例

避雷器의 放電電流를 接地回路에 설치한 CT에 의하여 檢出하여 피크電流를 計測한다. 아울러 放電回數를 計測한다. 避雷器動作電流센서의 構成을 그림 10에 표시한다.

6. 豫測保全 시스템

豫測保全 시스템의 실제 構成例를 그림 11에 나타낸다. 여기서는 監視項目으로서 표 1에 따라 다음과 같은 項目을 선정하고 있다.

- 部分放電監視 (GCB/GIS)
- 가스壓監視 (GCB/GIS)
- 操作裝置特性監視 (GCB)
- 溫度異常監視 (GCB)
- 누설電流監視 (LA)
- 故障點標定 (GIS)

現地盤에서는 各種 센서로부터의 計測데이터의 1次判定을 하여 判定結果와 計測데이터를 本館盤에 出力한다. 本館盤에서는 現地盤에서 傳送되어 온 데이터 등의 表示와 保存을 하는 이외에 1次判定과의 組合判定도 한다.

또 이 시스템은 아크光을 畫像處理에 의하여 檢出하는 事故區間標定用 ITV와 巡視點檢用의

移動點檢車를 갖추고 있다. 센서 및 故障表示器(30F)의 情報 組合處理, 異常檢出時의 가이드스內容의 適切化, 事故區間標定の 詳細化 등에 의하여 보다 高度의 處理도 가능하다.

7. 맺음말

이상 가스絶緣開閉機器의 豫測保全技術을 지탱하는 GCB, GIS 및 酸化亞鉛形 避雷器의 대표적 인 센서에 대하여 소개하였다. 豫測保全을 위하여는 GCB 및 GIS에서는 潜在的인 不良이 經年에 따라 전조현상으로 나타났을 때 檢出하며 또 酸化亞鉛形 避雷器에서는 劣化가 進行하는 도중에서 檢出하는 것이 되므로 保全을 위한 시간적 여유도 고려하여 檢出할 필요가 있다. 따라서 센서의 高信賴性和 함께 判斷基準이 중요하게 된다.

금후에도 센서技術과 시스템 適用技術의 開發·實用化를 추진하여 나갈 생각이다.

本稿는 日本 三菱電氣(株)의 諒解下 에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.