

工場電氣의 最新技術

最近의 設備診斷技術 (2)

지난호는 電動機에 대해서 記述했다. 이번호는 變電機器, 電力케이블, 制御裝置의 診斷技術에 대해서 기술한다.

1. 變電機器의 診斷技術

變電機器에는 變壓器, 電力用콘덴서 遮斷器, 變成器 등이 있다. 이것들에 대한 診斷技術·監視技術에 對해서 기술한다.

(1) 劣化의 要因

變壓器나 電力콘덴서 등의 靜止變電機器의 수명을 短縮하는 것은 絶緣物의 劣化이다. 가령 變壓器의 壽命限界라함은 「一般的으로 絶緣物이 운전중의 溫度나 水分 그리고 酸素의 影響을 받아 劣化하여 이것이 오랫동안의 운전으로 進行하면서 外部短絡이나 서어지 등의 異常電壓에 의한 기계 또는 電氣의 스트레스를 받았을 경우에 파괴할 위험성이 매우 강하게 된 時點」으로 定義되고 있다.

표 1을 變電機器의 主로된 絶緣劣化의 要因과 劣化의 형태를 표시한 것이다. 劣化는 이같은 요인중의 하나가 原因이 되는 것은 거의 없으며 두가지 이상의 要因이 重複하여 劣化가 進行되는 수가 많다.

(2) 設備診斷·監視技術

(1) 變壓器의 絶緣診斷·監視技術

표 2는 變壓器의 絶緣診斷·監視技術을 表示한 것이다.

표 3은 絶緣診斷法과 內容을 表示한 것이다. 다음은 최근의 기술에 對해 기술한다.

〈표-1〉 電力機器의 주요한 絶緣劣化의 要因과 劣化의 形態

電力機器 劣化要因	油入變壓器	콘덴서	모출드機器
電 壓	보이드放電에 의한 絶緣體 侵食	同 左	同 左
異常電壓 (電氣트라이)	트라이發生에 의한 絶緣體의 急速한 侵食	同 左	同 左
水	含浸油의 絶緣耐力 低下	同 左	
機 械 力	振動에 의한 卷線絶緣의 脫落		振動, 熱應力에 의한 絶緣體中の 龜裂發生
光			屋外사용의 경우, 耐 候性低下에 의한 클 리크의 發生
熱	過度의 溫度上昇에 의한 絶緣體 및 含浸油의 絶緣耐力 低下	同 左	
化學藥品			酸·알칼리·油·有機溶劑 등에 의한 侵食

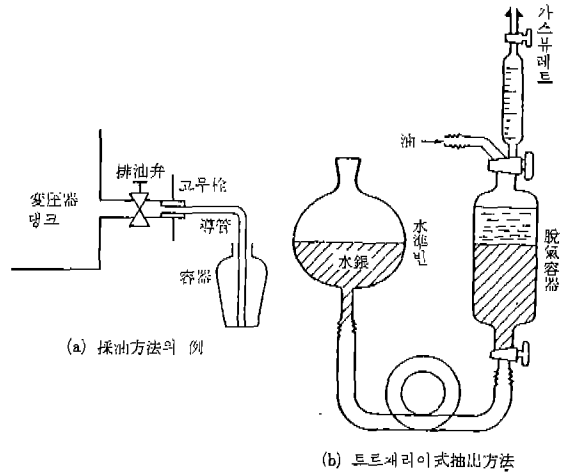
(1) 油中가스分析

變壓器 등의 油入機器의 内部에서의 異常現象은 반드시 發熱과 함께 發生한다. 이같은 發熱源에 접촉한 絶緣油, 絶緣紙, 폴레스보우드 또는 베이클라이 트 등의 絶緣材料는 그 熱의 影響을 받아 分解反應하여 CO₂·CO·H₂·CH₄·C₂H₄ 등의 炭化水素系가스를 발생한다.

그 대부분은 絶緣油中에 용해하므로 變壓器에서

〈표-2〉 變壓器의 絶緣診斷·監視技術

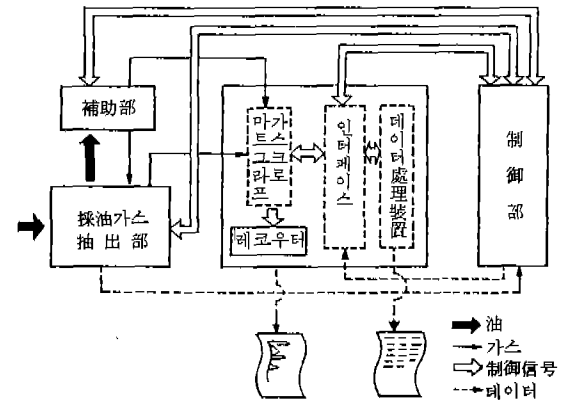
從來의 技術	最近의 技術
商用周波絶緣耐力試驗	油中가스分析의 進歩 部分放電監視 音響에 의한 異常診斷
絶緣抵抗試驗	
$\tan \delta$ 測定	
絶緣油性能試驗	
油中가스分析	
部分放電試驗	
油溫 및 卷線溫度監視	



〈그림-1〉 油中가스分析法

〈표-3〉 變壓器의 絶緣診斷의 內容

試驗項目	內容의 概要
絶緣耐力試驗	電氣設備에 관한 技術基準에 따라 對地間絶緣耐力를 檢證한다.
絶緣抵抗試驗 (에가試驗)	絶緣物의 吸濕劣化·汚損等の 傾向을 絶緣抵抗値에 의해 大体로 確認한다.
$\tan \delta$ 試驗	絶緣物의 吸濕·汚損·劣化等の 傾向을 $\tan \delta$ 値에 의해 확인한다.
部分放電試驗	絶緣物中의 코로나레벨을 測定하여 異常의 有無를 확인한다.
絶緣油性能試驗	絶緣油의 耐電壓性能·酸化· $\tan \delta$ 等を 測定하여 絶緣油의 絶緣性能을 확인한다.
油中가스分析	絶緣物中의 가스를 分析하여 絶緣物의 過熱·部分放電油中의 아아크等の 異常의 有無를 判定한다.



〈그림-2〉 變壓器油中가스自動分析裝置의 構成圖

採取한 絶緣油中의 가스를 抽出·分析하여 그 ガス量 및 組成에서 變壓器의 内部異常 判定의 有無 및 異常內容을 진단할 수가 있다. 油中가스分析은 試料油의 採取-油中가스의 抽出-가스의 分析이라는 順序로 실시한다.

그림 1(a)은 試料油의 採取方法의 예이다. 그림 1(b)는 가스의 抽出方法의 예이다. 먼저 水準빈을 내리고 脫氣容器 内の 油面上에 트리체리의 眞空을 만들어 油中가스를 탈기한다. 다음은 水準빈을 올리고 脫氣한 가스를 가스뷰렛內에 보내고 再次脫氣操作을 반복한다. 油中가스分析法은 20年前에 開發되었는데 그동안 많은 實績과 經驗에 의해 設備診斷기술상 많은 進歩가 있었다.

(2) 分析의 자동화

一般的으로 실시되고 있는 油中가스分析은 操作이 복잡하며 分析은 熟練을 要한다. 따라서 油中가스分析은 전문적인 會社 또는 電氣메이커에 의뢰하

는 것이 常例이다.

그러나 최근 油中가스를 自動적으로 分析하는 裝置 및 高分子膜에 의한 油中가스 抽出과 가스센서에 의한 가스檢知를 組合한 가스檢知裝置가 開發되어 一部에서는 이미 사용하게 되었다. 그림 2는 變壓器 油中가스 自動分析裝置의 構成圖이다.

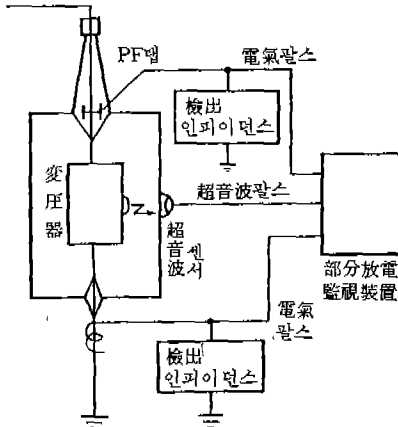
試料油에 不活性가스를 바브링하여 抽出한 가스를 가스크로마토그래프에 이끌어 自動分析하는 것으로서 分析値는 데이터處理器에 걸러 가스量 異常의 有無와 異常 종류의 判定等이 모두 自動적으로 실시된다.

(3) 部分放電監視裝置

機器内部에 部分的인 絶緣劣化나 결함이 있으면 部分放電이라고 하는 파괴가 따르지 않는 微小한 放電이 발생한다. 그리고 발생한 部分放電은 絶緣物

의劣化를 촉진하고 끝내는 全体破壞에 이르는 수가 있다. 이 때문에 발생하는 部分放電의 크기·發生頻度·發生位置等を 檢出함으로써 絶緣物의劣化를 判定할 수가 있다.

變壓器의 出荷時에는 部分放電시험이 實施되어 部分放電이 發生하지 않는 것이 확인되나 최근에는 운전중의 變압기를 연속하여 감시하는 部分放電감시장치가 개발되고 있다. 部分放電 發生에 따르는 物理現象으로서는 電氣펄스의 발생과 超音波펄스의 발생이 있다. 部分放電監視장치는 이러한 物理現象을 이용하는 것이다. 그림 3은 그 예이다.



(그림-3) 部分放電監視裝置

(4) 音響에 의한 異常診斷

운전중의 變압기에서는 여러가지의 음과 진동이 발생한다. 그 크기나 周波數分布를 상세하게 分析하면 正常時와 異常時는 다를 것이다. 그래서 音과 振動을 센서로 檢出하고 컴퓨터를 사용하여 音과 振動의 變化에서 機器의 異常을 診斷하는 試圖가 최근 실시되고 있다.

(2) 電力用콘덴서의 絶緣診斷

電力用콘덴서는 絶緣紙나 폴리프로필렌필름을 素子로 鐵케이스에 收納하고 絶緣油를 含浸하여 完全密封形으로 한 것이며, 사용중의 經年變化는 거의 없는 것으로 長久(20~30年)한 동안 安定하게 사용할 수 있다. 또 用途는 力率改善을 위해 만일 사고가 발생해도 系統에서 끊어서 분리하면 되므로, 電力供給上 支障은 거의 없다. 따라서 絶緣分斷의 必要性도 거의 없으며, 絶緣抵抗시험, 耐電壓시험, 靜電容量시험, $\tan\delta$ 시험 등이 정기적으로 실시되고 있

는 程度이다. 新技術로서는 内部에서 發生하는 部分放電을 音響센서로 檢출하는 方法이 시도되고 있으나 아직 研究開發階段이다.

2. 電力케이블의 診斷技術

工場에서 사용되는 高電壓케이블의 大部分이 CV케이블이다. (既設의 옛것으로는 BN케이블이 있으나) 따라서 여기서는 CV케이블의 設備診斷技術을 중심으로 기술한다.

(1) 劣力要因과 形態

표 4는 케이블의 劣化要因과 形態를 表示한 것이다. 要因으로서는 電氣的·熱的·環境的·機械的·其他의 要因이 있다.

CV케이블 事故의 形態別 分類에서는 水트리가 劣化가 가장 많다. 트리와 トラ킹의 의미는 前회에서 설명했으나 水트리는 물과 電壓의 양쪽이 存在하는 조건하에서 發生하는 現象이며 플리에칠된 속에 작은 보이드가 모여 구름과 같이 보이며 너무 電界方向으로 늘어나는 트리가 發生하는 現象이다.

〈표-4〉 高電壓 CV케이블의 絶緣劣化要因과 形態

要 因	原 因	劣化의 形態
電氣的的要因	常時運轉電壓 事故時의 過電壓 開閉서어지 雷서어지	電氣트리아劣化 絶緣破壞 部分放電劣化
熱的的要因	通常運轉中의 熱膨脹收縮 短絡·地絡에 따른 溫度上 昇過度의 高溫에서의 使用	部分放電劣化 熱的劣化
環境要因	水, 硫化物, 化學藥品, 紫 外線, 오존, 塩分, 塵埃	水트리아劣化 (電壓에의 複合劣化) 化學트리아劣化 化學的劣化 트라킹劣化
機械的的要因	屈曲, 側壓, 衝擊荷重, 外 傷, 振動	機械的劣化, 變形
其他要因	生物에 의한 施工不良	部分放電劣化 生物에 의한 食害·孔食

(2) 絶緣診斷·監視技術

표 5는 高電壓 CV케이블의 診斷·監視技術을 表示한다. 케이블의 劣化는 絶緣物의 劣化로서 本質的으로 回轉機나 變電機의 絶緣診斷과 變함은 없다. 최근의 동향으로서는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 從來法의 改良

例로서는 超低周波를 사용한 $\tan \delta$ 試驗法이 있다.

(2) 裝置의 高機能化·自動化

엘렉트론릭스技術과 센서技術의 發展, 應用에 의해 各種 特性의 同時測定, 自動測定, 데이터의 自動解析 活線下에서의 測定等의 기능을 가진 裝置와 시스템이 出現하고 있다. 이에 대해서는 前回, 絶緣診斷裝置의 例로서 들었다. 活線下에서의 絶緣診斷裝置도 개발되고 있다.

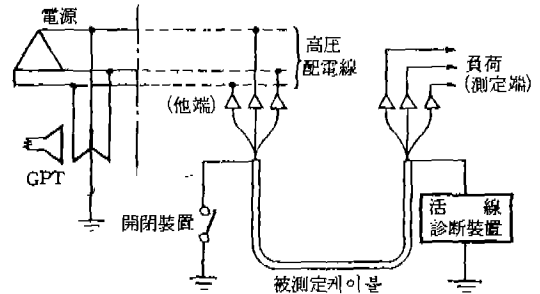
〈표-5〉 CV케이블의 絶緣診斷·監視技術

從來의 技術	最近의 技術
直流耐電壓試驗	從來法의 改良
絶緣抵抗試驗	· 超低周波 $\tan \delta$ 測定
直流漏電流試驗	裝置의 高機能化·自動化
$\tan \delta$ 試驗	· 自動式絶緣診斷裝置
部分放電試驗	· 活線下絶緣監視裝置
	· 水트리이活線診斷裝置
	· 光파이버式部分放電監視裝置
	데이터自動處理·自動判定
	絶緣體中の 電荷의 解析法
	· 殘留電壓法·逆吸收電流法
	· 電位減衰法·直流리크電流法
	라디오그래피에 의한非破壞檢査·診斷
	絶緣劣化判定法의 充實

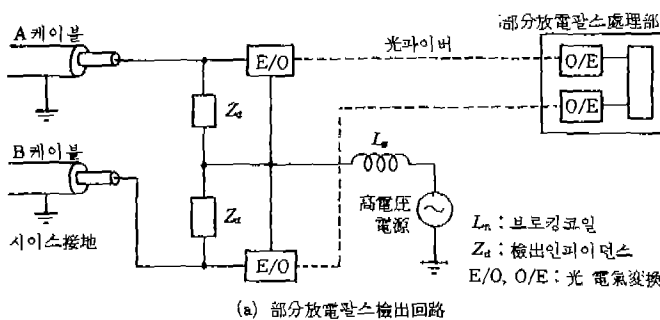
그림 4는 水트리이活線診斷裝置의 例이다. 原理的으로는 接地電流中の 直流電流成分을 測定함으로써, 水트리이의 發生有無를 診斷한다. 測定方法은 測定端의 金屬遮蔽層과 大地間에 活線診斷裝置를 설치한다. 測定時에 他端의 金屬遮蔽層의 接地를 切放하면 GPT-高壓配電線-케이블導體-케이블絶緣體-金屬遮蔽層-活線診斷裝置-大地의 루우트로서 直流回路가 形成되므로 直流電流成分이 測定된다.

그림 5는 光파이버式部分放電監視裝置의 例이다. 從來의 部分放電檢出方式에서는 백그라운드 노이즈(주로 라디오雜音) 때문에 微弱電氣脈스를 檢出하는 것은 쉽지 않았다. 光파이버의 絶緣性과 耐노이즈性에 의해 S/N比를 향상시켜 脈스檢出 感度를 높이는 것이 가능하게 되었으므로 實有設케이블에 있어 部分放電 監視裝置로서 實用段階에 있다. 그림 5 (b)는 等價回路이다. A의 케이블에 있어서, 部分放電脈스의 發生이 있으면 脈스電流 i_p 는 화살표와 같이 흐르므로 Z_d 에 의해 脈스가 檢出된다.

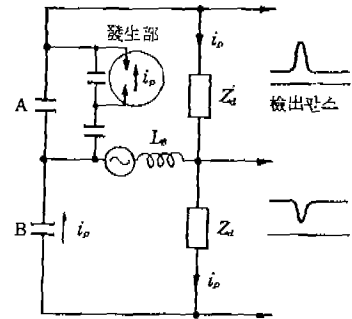
그림 5의 경우는 二相의 경우에서 A相이 被檢出



〈그림-4〉 水트리이活線診斷裝置



(a) 部分放電脈스檢出回路



(b) 等價回路

〈그림-5〉 光파이버式部分放電監視裝置

케이블, B相의 케이블이 結合콘덴서의 역할을 하고 있다. 三相의 케이블의 경우도 같은 方法으로 測定할 수 있다.

(3) 데이터의 自動處理·自動判定

마이크로컴퓨터로 情報處理하여 判定하거나 大形 컴퓨터에 데이터파일하여 그 統計值나 과거의 데이터를 참고로 하여 絶緣診斷을 실시하는 것이 시도되고 있다.

(4) 絶緣体中の 電荷解析法

固体絶緣物の 絶緣과피가 電氣트리를 經由하여 일어나는 것, 또 電氣트리의 發生은 絶緣체 中の 電荷의 發生과 관계가 있다고 생각하는 方法에 基因하는 것으로서 巨視的인 電荷測定法으로서 殘留 電壓法, 逆吸收電流法, 電位減衰法, 直流 피이크電流法이 제안되고 있다.

(5) 라디오그래피에 의한 非破壞檢査·診斷

라디오그래피라 함은 放射線을 이용한 透過攝影法 또는 技術이며 X線을 사용한 醫學診斷과 X線에 의한 熔接部の 檢査등으로 周知의 技術이다.

이 기술에 의해 一般的으로 電氣試驗·外觀日視檢査等에서는 檢査할 수 없는 内部構造의 欠陥, 異常이 檢出된다.

주로 케이블終端部·中間接續部等の 内部檢査에 쓰여지고 있다.

(6) 絶緣劣化判定法の 充實

絶緣劣化判定 基準으로서는 증례는 유어저인各社마다 틀렸으나 그後の 연구나 데이터의 採集檢討에 의해 어느 정도 統一된 判定基準이 發表되고 있다. 예로서 電力公社, 鐵鋼메이커 鐵道等이 있다.

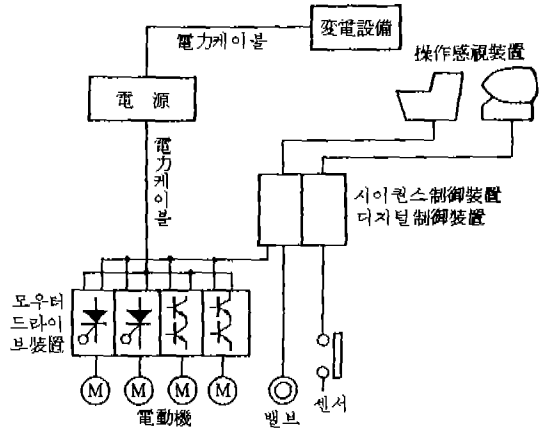
方法으로서는 먼저 정기적으로 실시되는 絶緣抵抗測定에서 簡易診斷을 실시한다. 異常이 있으면, 直流漏電流시험·tan δ 시험·部分放電시험등으로 精密診斷을 한다.

現在 사용되고 있는 劣化判定기준은 그 時點에서의 良否를 判定하는 것으로서 余命推定은 今後的의 研究에 기대하는 바가 많다.

3. 制御裝置의 診斷技術

(1) 制御裝置의 診斷特徵

그림 6 은 生産플랜트의 電氣設備를 시스템의



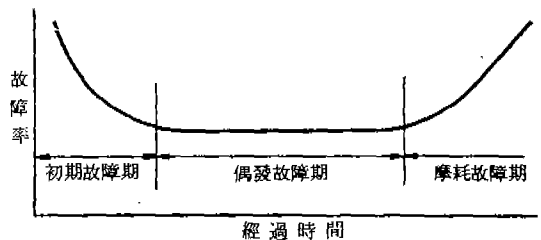
〈그림-6〉 플랜트의 電氣設備

表示한 것이다. 上位에서 표시하면 變電設備, 電力케이블, 電源設備 모우터드라이브裝置, 制御裝置, 制御對象(電動機·밸브等) 센서가 된다.

이때까지 記述한 것은 變電設備 電力케이블, 電動機에 관한 診斷技術이었다. 이제부터 記述하는 것은 모우터드라이브裝置, 制御裝置에 관한 診斷기술이다. 이러한 것들의 진단에서 주의하지 않으면 안 되는 것은 다음과 같은 점이다.

① 모우터드라이브裝置나 制御裝置等の 엘렉트로닉스機器는 故障를 故障率이라는 概念으로서 생각할 필요가 있다. 즉 稼動後의 故障率은 그림 7에 表示하는 것과 같이 이른바 바스터브曲線이 된다. 즉 安定期에서도 偶發故障이 발생한다. 따라서 電動機와 같이 故障를 未然에 防止하는 것과 같은 診斷技術은 不可能하며 故障確率을 極力 작게 하거나 故障確率의 增加傾向에서 裝置의 更新시기를 決定하는 것과 같은 診斷기술이 필요하다.

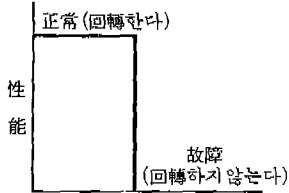
② 電氣設備를 要求되는 機能이라는 점에서 판단했을 경우 電動機의 경우는 그림 8 (a)에 表示하는 것과 같이 正常(움직이고 있다)이나 故障(움직이지



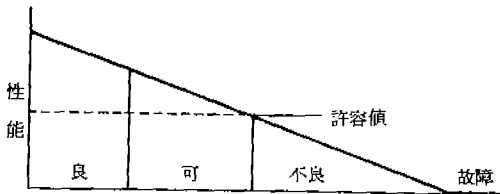
〈그림-7〉 바스터브曲線

않고 있다)이나의 두가지의 狀態밖에 없다.

그러나 모우터드라이브裝置의 경우 例로 速度制御의 精度라는 機能에서 보면 그림 8 (b)에 표시하는 것과 같이 良·可·不良·故障과 같은 네가지의 狀態가 있을 수 있다. 電動機의 診斷은 고장을 방지하면 되는 것이나 모우터드라이브裝置나 制御裝置의 경우는 움직이고 있다는 것만으로는 되지 않으며 性能値를 허용치 이상으로 유지할 필요가 있으며 그러기 위한 진단기술이 필요하다.



(a) 電動機의 狀態



(b) 모우터드라이브裝置의 狀態

(그림-8) 機能에서 본 機器의 狀態

(2) 劣化의 要因

표 6은 劣化의 要因을 표시한 것이다. 大別하면 機械的·熱的·電氣的·環境的 要因이 있다. 이러한 要因들이 複合作用하여 劣化가 進行된다. 각각의 요인과 劣化形態의 相關關係를 명확하게 하는 것은 어렵다. 표 7은 例로서 電動機 可變速制御 장치의 構成要素와 劣化의 形態를 表示한 것이다.

(3) 診斷·監視技術

制御裝置에 대한 診斷·監視는 종래 거의 實施되지 않고 있으며 故障나면 나쁜部品을 交換한다는 事後保全이 主体였다. 따라서 保全기술로서는 監視·警報·故障의 早期復旧가 主体이며 진단의 단계까지는 이르지 못하고 있다.

최근에 들어서 서서히 更新의 시기를 맞이하는 制御裝置를 많이 갖는 企業에이커에 있어서 設備診斷의 움직임이 보여지고 있다. 그 내용 概略은 다음과 같다.

(표-6) 制御裝置의 劣化要因

機械的 要因	靜的力, 衝擊, 振動, 壓力
熱的 要因	靜的(周圍溫度), 衝擊, 熱사이클
電氣的 要因	電壓, 電流, 電力(連續), 電力(사이클)
環境的 要因	溫度, 塵埃, 腐食가스

(표-7) 電動機可變速制御裝置의 構成要素와 劣化의 形態

大分類	小·分類	劣化의 形態
半導體	다이오드, 다이오드트랜지스터, IC, 포오드카플러, 사어지킬러	特性劣化, 腐食性能低下
配線器具	電線케이블, 플러그, 銅體 크넥터, 터미널, 류우즈	絶緣低下, 腐食속가늘어짐, 斷線
回路器具	콘덴서, 可變抵抗器	容量低下, 가늘어짐, 斷線
스위치類	누름단추, MCB, 마이크로스위치 保護繼電器	動作不良
其他	플린터基板, IC基板	斷線, 腐食, 패턴뭉힌더의 ぬ음
	電源裝置	電壓規定이탈
	表示器具	不點燈
	팬	回轉不良

(1) 制御裝置의 하아드웨어 診斷

프로그램머플로프트로올러나 아날로그式 다이리스터 레오나아드裝置에 있어 표 8과 같은 點檢診斷이 실시되고 있다. 良否의 判斷기준은 메이커의 點檢기준 또는 유우저의 기준에 의한다. 나쁜 것은 部品交換 또는 調整을 한다.

(2) 故障發生狀況의 統計的 分析

制御裝置는 摩耗故障期에 들면 그림 7에 표시하는 것과 같이 故障率이 經年的으로 오른쪽이 올라가는 경향이 있다. 故障率이 어느值 이상이 되면, 部品 교환과 같은 應急의 對處로서는 고장을 低減은 不可能하며 制御裝置 全體의 更新이 필요하게 된다. 이 更新時期의 예측에 누적 log-log 曲線, 파저어드 確率紙, 와이불차아드 등의 신뢰성 統계 手法이 쓰여지고 있다.

log-log 曲線: 橫軸에 경과시간(年) 縱軸에 累積 故障件數를 어느 것도 對數 눈금으로 프트한다. 曲線의 傾斜가 45°以上이 되면 어떠한 對策이 필요하

〈표-8〉 制御裝置의 하이웨어診斷

項目	內 容	使用計器
全 般	過熱跡, 損傷, 열거움	
塵埃量	等價塩分濃度, 粉塵濃度	各濃度計
絶 緣	主回路, 制御回路	메가테스터, SCR척카
波 形	SCR出力波形, 팔스波形	싱크로스코우프
프린트板	基板의패턴및 납땜의 남음 素子の 리이드의發錆, 가 느름.	
機 能	電圧마아진, 周波數마아진 電源裝置리플 리미터레벨保護繼電器動作點	定電壓裝置 디지털 디지털計器
其 他	回路素子, 指示計器目視點檢	

다고 생각한다.

파자아드確率紙: 橫軸에 累積故障件數, 縱軸에 경과시간을 對數눈금으로 프로트한다. 形狀 파라미터 η 의 개념을 도입하여 $\eta = 1$ 에서 같은 比率로 고장發生, $\eta < 1$ 로 故障減少 傾向, $\eta > 1$ 로 고장증가 傾向으로 判斷한다.

와이블차아드: 橫軸에 경과시간, 縱軸에 累積故障率을 對數눈금으로 프로트, η 의 생각하는 方法은 파자아드確率紙와 같다. 상세한 점에 있어서는 신티성工學의 文献을 參照해야 한다.

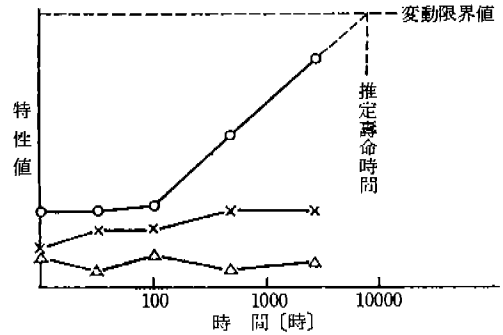
다이오드·트랜지스터·다이리스터等の 電力用素子에서는 표9와 같은 特性의 經年變化를 그림9와 같이 圖示하여 變動限界值에 달하는 시기를 推定하는 것으로하여 更新時期를 決定할 수 있다.

(3) 制御裝置의 靜特性·動特性診斷

다이리스터레오나아더裝置나 交流可變速制御裝置는 基本的으로 그림10과 같은 制御시스템을 구성하고 있다. 이같은 制御特性(定常偏差·스텝應答·周波數應答·零調等)은 經年的으로 어긋나게 된다. 심하게 되면 製品에 여러가지 영향(品質等)을 준

〈표-9〉 디바이스에 의한 測定特性

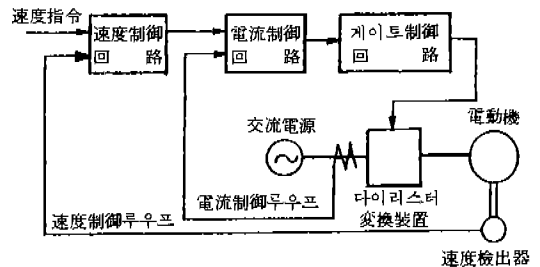
디바이스	劣化判定을 위한 測定特性
다이오우드	逆電流 (I_R)
트랜지스터	크레크터 遮斷電流 (I_{CEO}) 直流電流增幅率
다이리스터	오프 및 逆電流 (I_D, I_R) 게이트트리거電壓, 電流 (V_{GT}, I_{GT})



〈그림-9〉 特性의 經年變化特性例

〈표-10〉 制御裝置의 靜特性·動特性診斷 (아날로그系)

項目	內 容	使用計器	
靜 特 性	制 御 앰 프	零調, 入出力特性	
	速 度 設 定 器 電 流(張力)設 定 器	直線性, 接觸不良	디지털 디지털計器
	速 度, 電 壓, 電 流 센	直線性, 精度	X-Y 레코우
動 特 性	傳 達 關 數	周波數應答, 스텝應答	專用測定器
	精 度	設定과 實速度와의 比較	펜클레코우더
	현 텅 량	正常時와의 比較	



〈그림-10〉 다이리스터레오나아드시스템의 基本構成

다. 그래서 이것들에 대한 診斷이 실시되고 있으며 不良일 것 같으면 最適調整이 실시된다.

표10는 그 例이다.

(4) 監 視

대형컴퓨터나 마이크로컴퓨터 端末器等을 이용하여 制御裝置의 集中監視를 실시하는 것은 新設設備에서 많이 行해지고 있다. 최근에는 모우더 드라이브裝置도 디지털化되어 上位시스템과의 링케이지도 容易하게 되었다. 즉 하이웨어는 完成하고 있으며 유우저프로그램만 있으면 어떠한 감시도 가능하다. *