

PVC絶緣케이블의 劣化診斷法

1. 序 言

電力케이블은 고무, PVC絶緣케이블과 油浸紙絶緣케이블의 두 종류가 있는데, 각각 특색이 있다. 超高電圧用으로는 油浸紙絶緣케이블이 사용되고 있지만 수萬볼트 이하의 電壓제급에 있어서는 고무·PVC絶緣케이블이 내량으로 사용되는 경향이 있다.

이는 後者の 케이블은 부설 시공이나 보수 관리가 용이한데다가 低損失이라는 큰 장점을 가지고 있기 때문이다. 그러나 최근에 와서 일부 PVC 絶緣케이블에 있어서 水트리이(Tree)라 불리는 특수한 劣化현상으로 인한 絶緣破壞事故가 발생하였다.

이 事故를 계기로 고무, PVC絶緣케이블의 절연 특성 측정시험법에 대한 관심이 급격히 높아져 水트리이로 인한 절연성능의 저하를 早期에 檢知하는 방법도 포함한 多數의 시험법이 제안되기에 이르렀다. 또 近年에 이르러 급속하게 진보된 컴퓨터計測技術을 절연특성 측정에 응용한 예도 있으며, 앞으로 더욱 수요가 증대할 것으로 보이는 고무·PVC 絶緣케이블의 劣化진단기술도 급속한 진보를 보이고 있다.

여기에서 이들 최신의 컴퓨터計測技術도 포함해서 고무·PVC絶緣케이블中에서도 특히 중요하다고 생각되는 架橋폴리에틸렌 絶緣電力케이블(이하 CV 케이블이라고 한다)의 劣化診斷法의 概略에 대해서 설명하기로 한다.

2. CV 케이블의 劣화와 絶緣特性

CV 케이블이 劣化하는 요인은 주로 電氣的·熱

的·化學的·機械的·生物學的 要因의 다섯가지를 생각할 수가 있다. 이中에서 電氣的 劣化要因은 운전전압·개폐 서어지 전압 또는 雷 서어지 전압등이 있으며, 熱的 要因으로서는 負荷변동에 수반하는 하이트사이클, 事故時의 온도상승 등이 있다.

한편 化學的 要因으로서는 水分·기름·化學약품 부식성 가스 등이 있고, 機械的인 要因으로서는 케이블에 加해지는 屈曲·충격荷重, 外傷 등을 들 수 있다. 그리고 生物學的 要因中에는 쥐 등의 食害, 孔食 등이 중요하다. 이와같은 각종 劣化要因에 대해서 劣化要因이나 劣化의 程度에 대응하여 절연체의 材質 및 구조의 變化가 생기고, 그 결과로 전기 특성에도 變化가 나타난다.

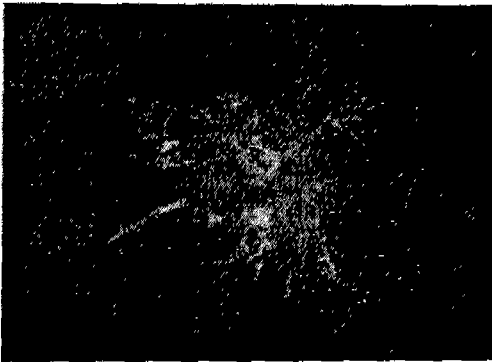
電氣特性中 耐電壓性能과 좋은 相關關係를 나타내는 특성치로써 直流누설전류·誘電緩和 특성(절연체에 전압을 인가하였을 때 생기는 電氣分極의 특성)·部分방전특성 등이 있다. 또 外觀·形狀의 變化 등은 電氣특성은 아니지만 耐電壓성능에 큰 영향을 주고 있다고 생각된다. 이들 劣化의 정도를

〈표-1〉 劣化를 나타내는 특성치의 測定方法

特性別의종별	絶緣 測定 法
直流누설전류	直流누설전류測定
誘電緩和	誘電正接(tanδ)測定 直流電壓 인가후의 逆吸收電流測定 " " 잔류電壓測定
部分放電	部分放電測定
非電氣의特性值	超音波診斷 X線 라디오그래피



〈그림-1〉 内部半導體層으로 부터 發生한 水트리



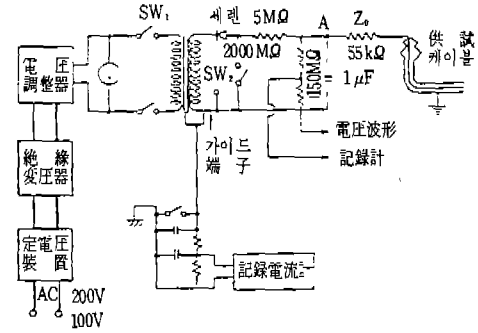
0 50 100 μm

〈그림-2〉 絶緣体中の 보이드로 부터 發生한 電氣트리

표시하는데 적합한 특성과 그 測定法을 표 1에 든다.

CV 케이블의 劣化를 생각할 때는 要因外에 劣化 형태를 생각할 필요가 있다. 즉 經年的인 劣化 형태를 나타내는 것과 제작의 不完全 또는 施工不良 등 經年劣化와는 관계없는 케이블 구조내의 결함에 發生하는 劣化 형태를 나타내는 것이 있다. 前者 中에서 가장 有害한 것으로 水트리劣化가 있다. 이것은 水分과 電壓의 존재하에서 發生하는 絶緣체 내의 미소한 물방울의 積결로서, 전체적으로는 그림 1과 같은 樹枝狀의 劣化形狀을 나타내기 때문에 水트리라고 불리고 있다. 이런 종류의 劣化가 생기면 絶緣抵抗의 저하, 誘電正接의 증대 등과 같은 電氣特性의 변화가 있다.

그리고 다른 한쪽의 결함에서 發生하는 劣化에는



〈그림-3〉 直流漏洩電流測定回路例

電氣트리劣化 등이 있다. 이것도 역시 形狀이 그림 2와 같이 樹枝狀이기 때문에 電氣트리라고 호칭되고 있다. 구조적 결함이나 電氣트리의 發生은 部分放電의 측정에 의해 檢出되는 일이 많다. 이하 經年的 劣化의 診斷法과 구조적 결함에 의한 劣化의 진단법에 대해서 記述한다.

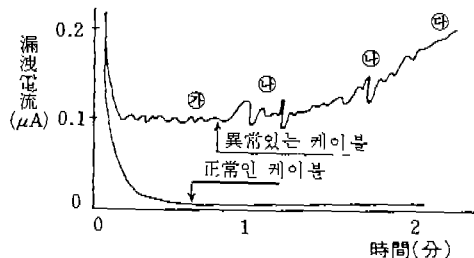
3. 經年的 劣化의 診斷法

經年的 劣化를 진단하는데 적합한 방법으로 많은 시험법중에서 여기서는 直流누설전류·逆吸收전류 誘電正接(tan δ)法에 대해서 간단히 설명한다.

3.1 直流漏洩電流法

CV 케이블에 直流를 印加하고 그때의 直流누설 전류를 관찰하여 絶緣劣化를 測定하는 방법으로서, 특별한 機器를 필요로 하지 않으며 예전부터 실시되고 있다. 그림 3에 直流누설전류 측정회로의 예를 든다. 이와같은 回路를 사용하여 測定된 漏洩電流의 예를 그림 4에 든다.

케이블이 正常인 경우에는 누설전류가 시간과 더



- (i) 漏洩電流의 絶對值가 크다(㉔部).
- (ii) 棘現象이 있다(㉕部).
- (iii) 電流의 增加傾向이 있다(㉖部).

〈그림-4〉 漏洩電流—時間特性의例

〈표-2〉 漏洩電流에 의한 劣化判定 基準例

項 目	要注意 判定基準
漏洩電流의 絶對值	22kV~33kV 케이블 : 10 μA/km 이상 66kV~77kV 케이블 : 40 μA/km 이상
漏洩電流의 時間特性(1)	電流척이 있는 것
漏洩電流의 時間特性(2)	電流가 시간적으로 증대하고 成極比가 1미만의 것
不平衡率	200% 이상의 것

불어 감소하고 이후 거의 변화하지 않는다. 그러나 케이블이 劣化되어 있으면 누설전류의 값도 크며 시간과 더불어 증가하거나 킥現象(그림 4 참조)이 나타난다. 이 방법을 사용한 絶緣劣化 判定의 基準例를 표 2에 든다.

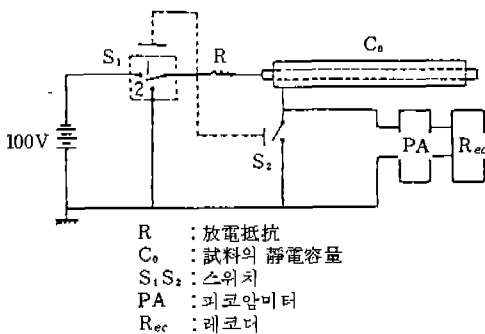
$$\text{成極比} = \frac{\text{電壓上昇 1分후의 누설전류 } (\mu\text{A})}{\text{電壓上昇 7分후의 누설전류 } (\mu\text{A})}$$

$$\text{不平衡率} = \frac{(3 \text{ 相의 누설전류 최대치}) - (\text{최소치})}{3 \text{ 相의 누설전류 최대치}}$$

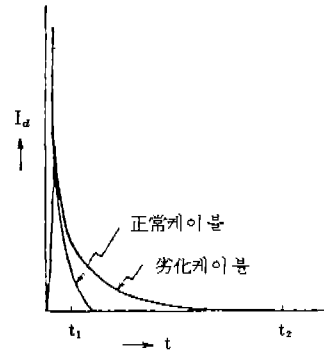
印加直電壓界 = 5 ~ 8 kV/mm

3.2 逆吸收電流法

直電試驗法의 일종이며, 특히 배전용 CV 케이블의 수트리에 檢出用으로 고안된 방법이다. 이 방법은 前述한 漏洩電流法과는 달리 CV 케이블에 一定時間 전압을 印加하여 充電電流가 충분히 감소한 時點에서 電源을 끊고 다음에 外部回路를 단락하여 放電電流, 즉 逆吸收電流를 측정한다(그림 5 참조). 그림 6에 正常 케이블과 劣化 케이블에 있어서의 逆吸收電流의 차이를 든다. 이 逆吸收電流를 一定



〈그림-5〉 逆吸收電流測定回路例



〈그림-6〉 逆吸收電流의 時間特性

時間 積分하여 逆吸收電荷 Q를 구하고 이 값을 被測定 케이블의 靜電容量 Co로 나눈 값의 百分率 $Q/C_o \times 100(\%)$ 를 劣化判定의 指標로 사용한다. 劣化判定의 기준으로서 표 3과 같은 값이 생각되고 있다. 이 방법에 입각해서 CV 케이블의 劣化를 판정하는 컴퓨터內藏의 장치도 판매되고 있다.

3.3 誘電正接法(tanδ法)

CV 케이블의 劣化特性을 측정하는 방법으로 가장 널리 보급되고 있는 방법의 하나로 이 tanδ法이 있다. tanδ는 電壓印加에 의해 絶緣体内에 생기는 전기적인 로스를 나타내는 量으로, 동상 웨빙 브리지를 사용하여 측정되는데 CV 케이블의 接地回路를 浮上시킬 수가 없는 경우에는 逆웨빙브리가 사용된다(그림 7 참조). 이 tanδ法에서는 測定交流電壓은 높은 편이(예컨대 常規대지전압 정도) 잡음의 영향을 받기 어렵고 測定精度가 높지만 電壓이 높아지면 測定用 電源용량이 커져서 現場計測을 하기 어려워질 가능성이 있다. 따라서 통상은 3 kV 정도로 測定되고 있다. 이 測定法에 의한 데이터의 蓄積量은 대단히 많으며 수트리에 劣化가 진행하고 있는 케이블에 대해서 신뢰성이 높은 劣

〈표-3〉 逆吸收電流法에 의한 3.3kV~6.6kV

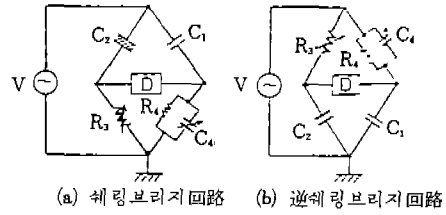
CV케이블 劣化判定 暫定 基準例

$Q/C_o \cdot 100\%$	判 定
10% >	良 要注意
10~20%	(수트리가 發生하고 絶緣性能이 低下)
20% <	不良

인가전압 100V

〈표-4〉 CV 케이블의 誘電正接 測定結果에 대한 판정기준의 예

判定例	케이블電壓階級 (kV)	誘電正接測定電壓 (kV)	判定基準
1	6.6	1.0, 1.9, 3.8	0.2이하 : 健全 0.2~5.0% : 약간 異常
	22	1.0, 3.0, 5.0	5%를 초과하는 것 : 劣化 또는 異常이 있다.
	33	1.0, 3.0, 5.0	
2	6.6	定格電壓	5.0% 이하 (有害 水트리가 無)
3	3.3	1.9	0.2%미만 : 健全 0.2%이상 5%미만 : 水트리가 발생
	6.6	3.8	5%이상 : 水트리가 상당히 발생, 진전
4	22, 33	$22/\sqrt{3}$, $33/\sqrt{3}$	5.0% 이하



C_2 : 供試體 (케이블)
 C_1 : 標準컨덴서
 R_3, R_4, C_4 : 브리지調整素子
 V : 電源
 D : 平衡檢出裝置

〈그림-7〉 誘電正接測定の 基本回路

化判定이 가능하다. 표 4에 종래로 부터 제안되고 있는 $\tan \delta$ 法에 의한 CV 케이블 劣化判定 基準例를 든다. 어느 判定基準에 있어서도 $\tan \delta$ 의 값으로서 5%가 케이블의 良·不良을 결정하는 값으로 되어 있다.

● 規程案內 ●

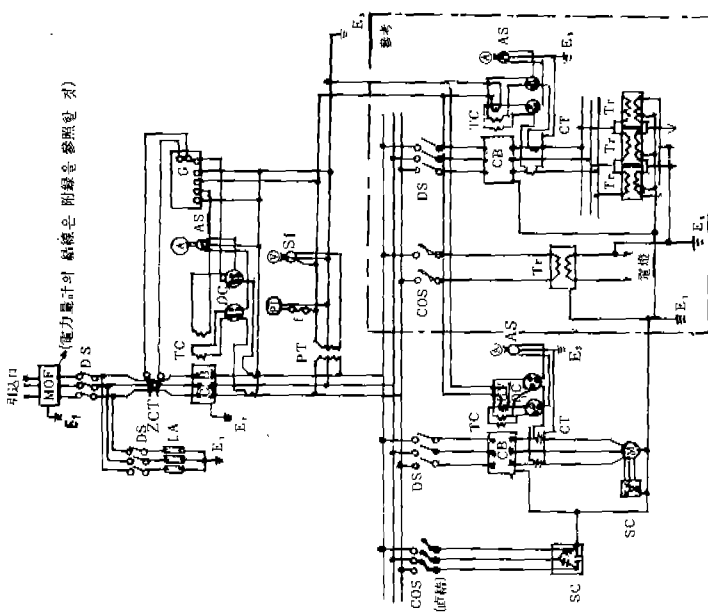
內線規程 一部改正
動資部 承認으로 確定

本協會는 電氣技術의 急速한 發達과 新技術 및 新機資材 等の 開發로 施工技術이 크게 發展하였음은 물론 KS-C의 改正으로 인한 機資材의 規格 變更等으로 인하여 現內線規程의 一部 改正이 不可避하게 되었다 이의 補完改正을 위하여 「韓國電力公社, 韓國電氣安全公社, 韓國電氣工事協會, 韓國電氣工業協同組合 等 關係團體의 意見을 蒐集하고 內線規程專門委員會를 召集하여 數次의 審議로서 改正作業을 進行한 結果 지난 12月 28日자로 動力資源部の 第2次 改正이 承認 確定됨에 따라 于先 改正部分만을 本誌에 掲載키로 한다.

(編輯者 註)

改正内容: 補完, 페이지: 473p 그림 7-2, 施行日: 1983. 4. 1

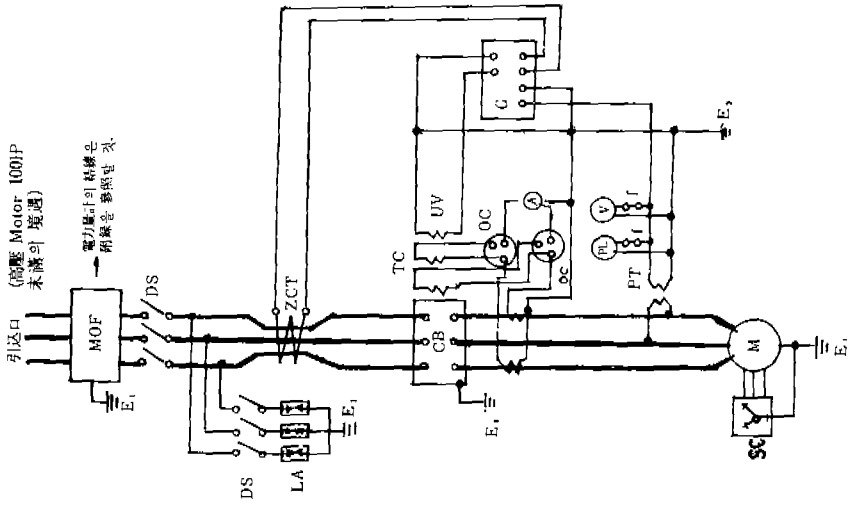
그림 7-1 高壓受電設備 參考結線圖



- (註 1) 高壓電動機의 操作用變電器에는 過不足 電壓繼電器 및 欠相繼電器 (부우스) 를 使用된 것을 裝置하는 것이 바람직하다.
- (註 2) 2回線으로부터 切替受電하는 境遇는 電氣事業者와 受電方法을 協議할 것.
- (註 3) 計器用 變成器의 1次側에는 부우즈를 넣지 아니한 것을 原則으로 한다. 더만, 保護裝置을 必要로 하는 境遇에는 配力부우즈를 使用하는 것이 바람직하다.
- (註 4) 計器用 變成器는 폴드形의 것이 바람직하다.
- (註 5) 繼電器用 變成器는 保護範圍를 넓히기 爲하여 遮斷器의 電壓側에 設置하는 것이 바람직하다.
- (註 6) 遮斷器의 트립方式은 DC 또는 CTD 方式도 可한.
- (註 7) 計器用 變成器는 主遮斷器의 負荷側에 施設한을 標準으로 하여 705-7 (計 器用 變成器)의 規定에 따르는 境遇에는 電壓側에 施設할 수 있다.
- (註 8) LA 用 DS는 省略할 수 있다.

改正内容: 補完, 페이지: 475p 그림 7-5, 施行日: 1983. 4. 1

그림 7-2 高壓受電設備 參考結線圖

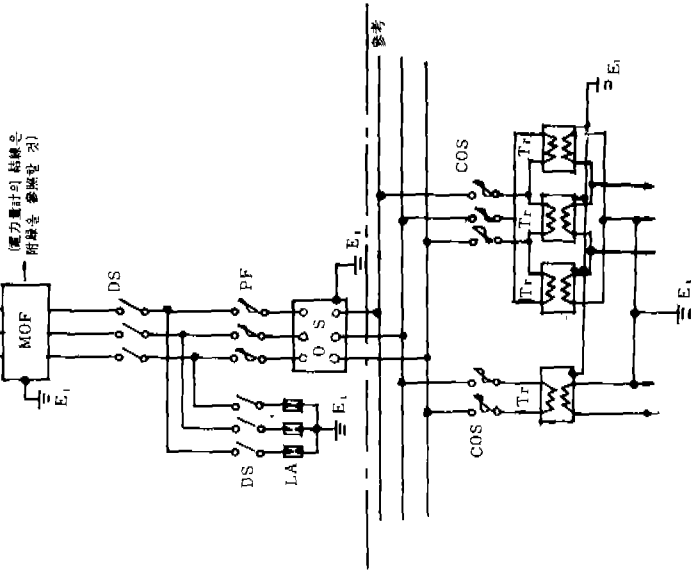


- (註 1) 100HP 以上の 境遇에는 그림 7-1에 따를 것.
- (註 2) 繼電器用 變成器는 保護範圍를 넓히기 爲하여 遮斷器의 電壓側에 設置하는 것이 바람직하다.
- (註 3) 遮斷器의 트립方式은 DC 또는 CTD 方式도 可한.
- (註 4) LA 用 DS는 省略할 수 있다.

改正内容: 補完, 페이지: 476p 그림 7-3, 施行日: 1983. 4. 1

그림 7-3 高壓受電設備 參考結線圖

引込口
(變壓器 負荷의 設備容量
300kVA 未滿의 境遇)

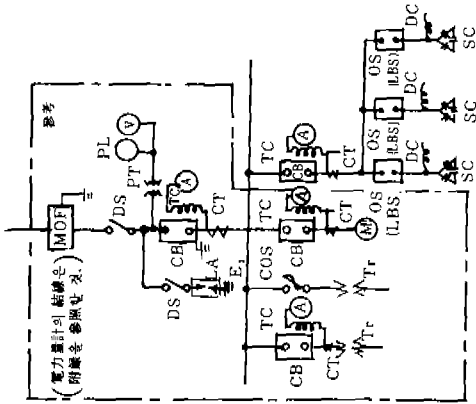


- [註1] 150kVA 以下の 境遇에는 PF 代身 OS로 負荷를 遮斷할 수 있는 境遇에 限하여 COS를 使用할 수 있다.
- [註2] 300kVA 以上の 境遇에는 그림 7-1에 따를 것.
- [註3] OS는 地絡繼電裝置 및 過電流 LOCK 裝置付 自動 OS를 使用하여야 한다.
- [註4] 過電流 및 地絡遮斷裝置部 OS를 使用할 境遇에는 PF를 省略할 수 있다.
- [註5] PF代身 OCB를 使用할 境遇에는 그림 7-1에 따를 것.
- [註6] LA用 DS는 省略할 수 있다.

改正内容: 補完, 페이지: 477p 그림 7-4, 施行日: 1983. 4. 1

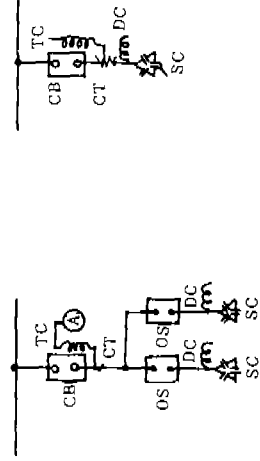
그림 7-4 高壓受電設備 參考結線圖

(進用 本圖서 參考接線圖)
(本圖서 總容量이 600kVA 超過의 境遇)



本圖서 總容量이 300kVA 超過 600kVA 以下の 境遇

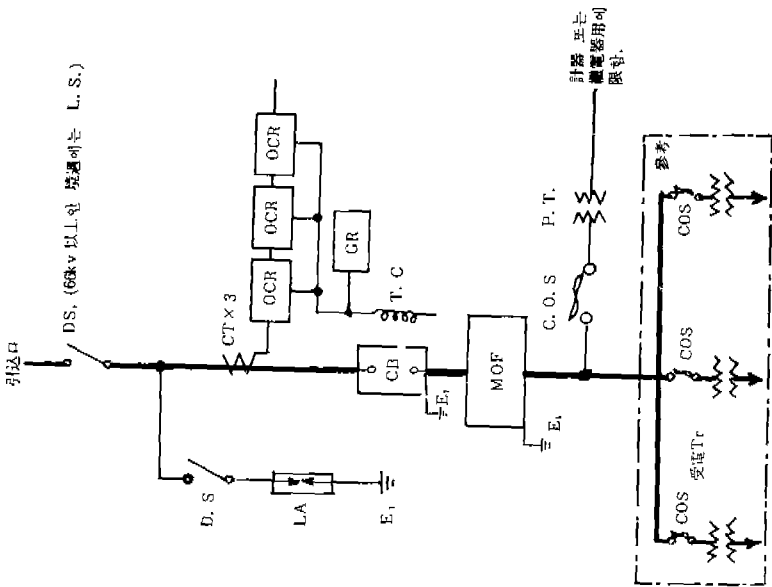
本圖서 總容量이 300kVA 以下의 境遇 電流計를 省略할 때



[註1] 本圖서의 容量이 100kVA 以下の 境遇에는 CB代身 OS 또는 類似한 것 Int. Sw.等)을, 50kVA 未滿의 境遇에는, COS (地絡阻 礙)를 使用할 수 있다.

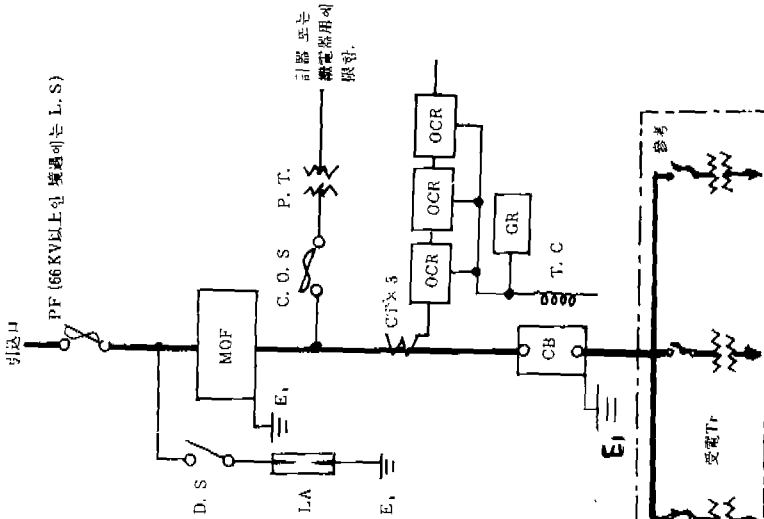
[註2] LA用 DS는 省略할 수 있다.

그림 7-5 特別高壓受電設備 參考結線圖



- (註 1) 22.9kV-Y 4,000kVA 以下 및 11.4kV-Y 2,000kVA 以下の 境遇에는 그림 7-6 簡易受電設備 結線圖에 依할 수 있다.
- (註 2) 負荷設備에 適合한 PF/PP 定格이 2倍의 定格負荷電流보다 큰 境遇)를 使用할 境遇에는 6,000kVA 未滿까지 簡易受電設備 結線圖에 依할 수 있다.
- (註 3) 遮斷器의 트립方式은 DC 또는 CTD 方式이 必需적하나, 단, 受電電壓 66kV 以上은 DC方式이어야 한다.
- (註 4) CB 1次側에서 電源(10kVA 以下)에 限한)이 必要한 境遇에는 7-5-가 圖의 參考結線圖에 依할 수 있다.
- (註 5) LA用 DS는 省略할 수 있다.

그림 7-5-가. 特別高壓受電設備 參考結線圖



- (註 1) 22.9kV-Y 4,000kVA 以下 및 11.4kV-Y 2,000kVA 以下の 境遇에는 그림 7-6 簡易受電設備 結線圖에 依할 수 있다.
- (註 2) 負荷設備에 適合한 PF(PP 定格이 2倍의 定格負荷電流보다 큰 境遇)를 使用할 境遇에는 6,000kVA 未滿까지 簡易受電設備 結線圖에 依할 수 있다.
- (註 3) PF代身에 自動故障區分 閉閉器를 設置할 수 있으며 66kV 以上인 境遇에는 L.S를 使用하여야 한다.
- (註 4) 遮斷器의 트립方式은 DC 또는 CTD方式이 必需적하다. 단, 受電設備 66kV 以上은 DC方式이어야 한다.
- (註 5) LA用 DS는 省略할 수 있다.

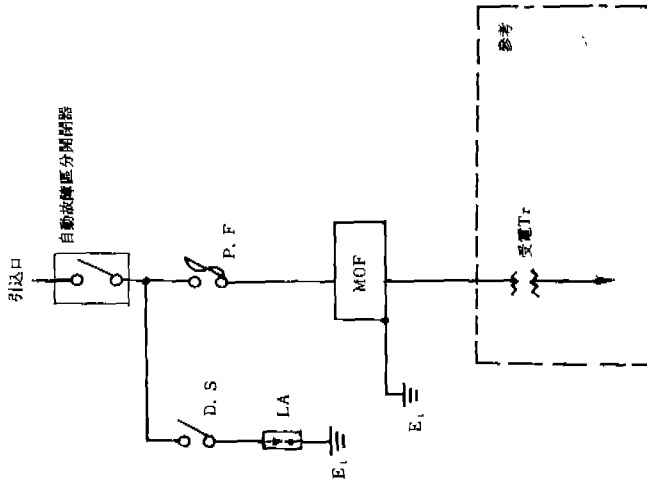
改正内容:補完.

페이지:479p

施行日:1983.4.1

그림 7-6 特別高壓簡易受電設備 參考結線圖

(11.4kV-Y 2,000kVA) 以下の 境遇
(22.9kV-Y 4,000kVA)



- [註1] 300kVA 超過 500kVA 까지는 自動故障區分 開閉器代身 Int. Sw.를 使用할 수 있다.
- [註2] 300kVA 以下로서 簡易設備의 境遇에는 自動故障區分開閉器를 省略할 수 있으며 P.F代身 C.O.S (遮斷容量 10,000A 以上の 装置)를 使用할 수 있다. 境遇 LA는 COS의 負荷側に 設置하여 維持補修가 容易하도록함이 바람직하다.
- [註3] LA用 DS는 省略할 수 있다.

改正内容:補完, 페이지:721p, 施行日:1982.12.28

番號	件名	關聯條
3-6	콘덴서附設에 關한 參考事項	340-1

1. 콘덴서附設容量基準表 (力率90%까지의 改善值임)

(1) 單相誘導電動機

出力		附設容量 (μF)	
KW	HP	100V	200V
0.1	1/8	40	10
0.2	1/4	50	15
0.25	1/3	75	20
0.4	1/2	100	20
0.55	3/4	100	30
0.75	1	120	30

(2) 單相 200級交流 電弧熔接機

最大入力	3	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
KVA	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
附設容量	100	150	250	300	450	600	700	900	1000	1100	1300	1450

※ 交流電弧熔接機에 對하여는 위표의 容量을 使用할 것.

(3) 200V級, 380V級 3相誘導電動機

出力		附設容量(μF)		出力		附設容量(μF)	
KW	HP	200V	380V	KW	HP	200V	380V
0.2	1/4	15	-	7.5	10	200	75
0.4	1/2	20	-	11	1.5	300	100
0.75	1	30	-	15	20	400	100
1.5	2	50	10	22	30	500	150
2.2	3	75	15	30	40	800	200
3.7	5	100	20	37	50	900	250
5.5	7.5	175	50	-	-	-	-

(4) 3000V級 高壓電動機

出力		附設容量	
KW	HP	(KVA)	
37	50	15	
55	75	25	
75	100	30	
110	150	50	
150	200	75	

(5) 其他 電氣機械器具의 境遇

負荷種別	콘덴서容量(最低KVA)
380V 3相으로 使用하는것	負荷定格入力(KVA)의 1/3
200V 3相 또는 單相으로 使用하는것	負荷定格入力(KVA)의 1/4
100V 單相으로 使用하는것	負荷定格入力(KVA)의 1/5
其他의 電氣機器	電氣事業者와 協議決定

改正内容: 補完, 페이지: 675p, 施行日: 1982. 12. 28

番號	件名	關係條
1-8	3相電路에서 單相 負荷를 使用하는 境遇 各種 接續方法 比較表	115

接續方法의 種類	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
2次逆V接續	2次逆V接續	스코트接續	別個의 線間에 負荷를 接續	普通의 單相接續
負荷의 數	1	2	2	1
結線 (□는 負荷)				
負荷容量(KVA)	100	100 (50×2)	100 (50×2)	100
負荷力率(%)	100	100	100	100

(備考) 이 表는 負荷容量 100KVA (100%)에 대하여 1次 및 2次線間 電壓, 其他를 假定하여 諸數值를 比較한 것이다.