

## 高壓比壓器局部放電抑制 To Restrain the Activity of Partial Discharge on Epoxy Resin Type Potential Transformer

楊智雄                      陳世民                      陳燮榮                      蔡士材                      方丁彥  
Chih-Hsiung Yang      Shi-Min Chen      Shie-Rung Chen      Shi-Cai Tsai      Ding-Yan Fang  
震江機電技術顧問(股)公司                      力晶半導體製造(股)公司  
台灣 新竹市                      台灣 新竹縣  
Chan-Ching Electric Technique Consulting. Co.,LTD                      Powerchip Semiconductor Corp.  
Hsin-Chu , TAIWAN.                      Hsin-Chu , TAIWAN.  
[hyperyang@hotmail.com](mailto:hyperyang@hotmail.com)    [t3a51@yahoo.com.tw](mailto:t3a51@yahoo.com.tw)    [t3b1839@yahoo.com.tw](mailto:t3b1839@yahoo.com.tw)    [jackey@psc.com.tw](mailto:jackey@psc.com.tw)    [dennyf@psc.com.tw](mailto:dennyf@psc.com.tw)

### 摘要

根據筆者於現場針對高壓受電設備實際量測部份放電現象的經驗，在環境中時常會有與部份放電相似的訊號存在，其中乾式比壓器(Epoxy Resin Type Potential Transformer)的電力熔絲固定座與壓克力套管之間的放電現象屬於外部放電的一種。由於外部放電之放電量偏高，對於現場量測而言，可能致使較需注意的內部放電訊號被隱蔽，而造成不必要的損失。本文針對台車型的乾式比壓器做探討，使用有限元素分析軟體進行模擬，並且實際改善此一外部放電現象發生的可能。

關鍵詞：局部放電 乾式比壓器 有限元素分析

### Abstract

Based on authors' field experiences of partial discharge measurement(PDM) on high voltage equipments, there are always some signals similar to internal partial discharge signals(PDs). The discharge caused by insufficient distance between acrylic tube and fuse terminal of a PT set is a common type of PD-like signals. Such signal usually has high amplitude, and the real internal PDs will be hid by these signals. Therefore, the risk will easily be ignored by wrong interpreting, and the additional loss may introduce. In order to prevent such phenomenon, this paper utilizes finite element analysis to calculate the distribution of electric field, and does some modification of the PT set to eliminate the PD-like signals. In such way, the accuracy of PDM on PT set can be improved.

**Keywords:** Partial Discharge, Epoxy Resin Type Potential Transformer, Finite Element Analysis

### I. 前言

比壓器之功能為將系統電壓至低電壓，以供儀錶監控系統狀態。由於比壓器之負載多僅有保護電驛，或電壓表，其負載電流小，且影響範圍亦有限，故保護裝置多使用高速電力熔絲。然而，與比壓器連接之保護電驛為過電壓 / 低電壓電驛，且多安裝於主饋線上，一旦電力熔絲失效時，則很容易造成保護電驛誤判，導致系統大範圍停電。基此，與比壓器連接之保護電驛多需增加防呆之邏輯控制。

在供電高可靠度要求的系統中，除了電力熔絲之失效外，比壓器本體的可靠度亦是需要受到重視。目前除了例行之耐壓試驗，絕緣電阻量測外，最有效之試驗法

為線上局部放電量測。在現場應用上，比壓器高壓端子係透過電力熔絲與系統匯流排相連接，相關高壓元件皆暴露在空間中。為避免異物碰觸，製造廠常會於電力熔絲及其相關高壓端子處，使用壓克力套管進行保護，如圖 1 所示。

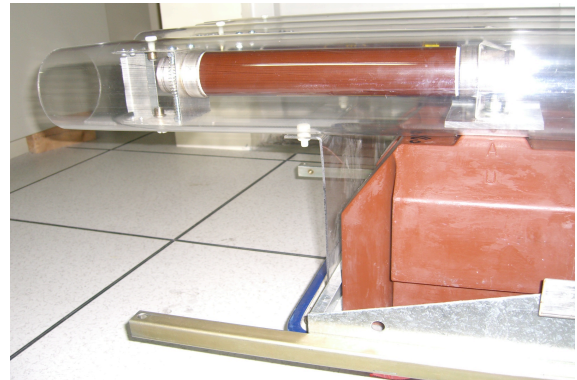


圖 1 乾式比壓器外觀

現場經驗顯示，此類型之比壓器的線上局部放電檢測時，容易觀察到電力熔絲之高壓端子對壓克力套管產生放電的訊號。將比壓器停電隔離後，可以在高壓端子台與壓克力套管靠近處，觀察到因放電所產生之白色氧化物，如圖 2 所示。

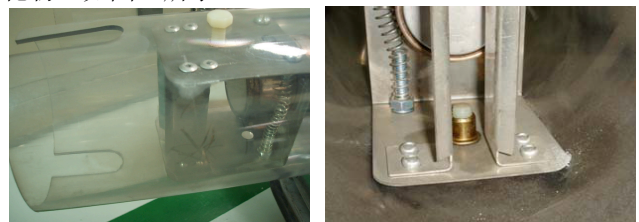


圖 2 壓克力套管的放電痕跡

此種放電現象係為跨於壓克力套管與高壓端子台之跨壓過大，導致其間之空氣耐壓不足，產生部分放電現象，屬於外部放電。此類放電現象係為空氣之絕緣崩潰，其對於設備主絕緣並無太大影響，亦即屬於非危險訊號。然而，外部放電訊號之放電量皆偏大，常會蓋過內部放電的訊號。此類空氣之絕緣崩潰現象亦是同樣情形，其放電訊號遠大於比壓器之內部放電訊號。亦即會干擾到量測人員判讀比壓器內部絕緣之好壞，導致無法診斷出比壓器的真正絕緣狀態。

現場量測經驗顯示，多數此類型之比壓器台車皆有此現象發生。此狀況常會影響到比壓器之絕緣特性的偵斷結果，導致無法達成線上局部放電量測之早期預警效果。基此，本論文遂對該壓克力套管及高壓端子台進行

量測，利用有效元素模擬軟體計算電場分佈。根據量測分析結果，進行相關元件之改善，期能降低此外部訊號之干擾。試驗結果顯示，改良後之高壓端子能有效降低外部雜訊之干擾，大幅提升比壓器線上局部放電量測之準確度。

## II. 數值分析

圖 1 所示為比壓器之外觀，係由三顆單相比壓組成三相比壓器，以台車型式呈現。該比壓器之保護設備為電力熔絲，並以壓克力套管將高壓部份隔離。壓克力套管與端子台之週遭，可看到白色粉末及黑色放電痕跡，如圖 2 所示。

由於並非所有此類型之比壓器台車怕有此放電現象（筆者經驗中，250 台比壓器組，約有 27 組有放電訊號）。本文遂比較有放電訊號與沒有放電訊號之比壓器台車，觀察到沒有放電訊號之比壓器的壓克力套管呈正圓形，而有放電訊號之比壓器的壓克力套管則略呈橢圓形如圖 3。因為固定壓克力套管與端子座之間距係由螺絲來控制，現場安裝時，該間距很容易因為施工人員的用力不同而過小，導致放電現象的產生。

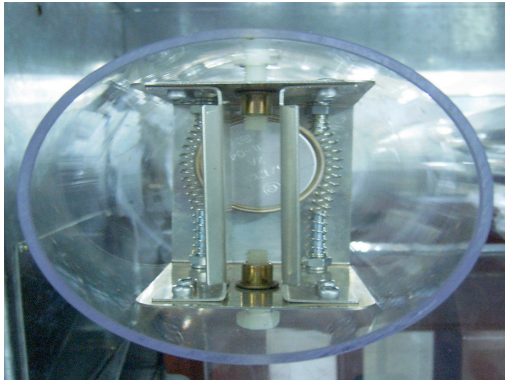


圖 3 不當施力之套管形狀呈橢圓形

基此，本文利用數值模擬，進行正常安裝與異常安裝之壓克力套管的電場分佈計算。圖 4 為套管與端子台之原始尺寸，圖 5 為正常安裝下之模擬結果。圖 6 為安裝時，上下固定螺絲施力過大，導致端子台與壓克力套管過近的電場模擬結果。

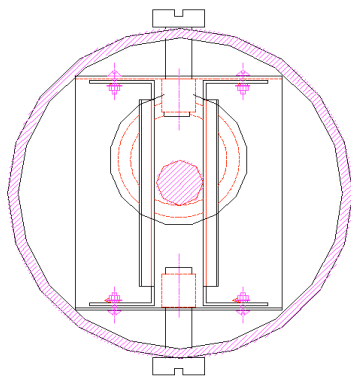


圖 4 壓克力套管與端子台之原始尺寸

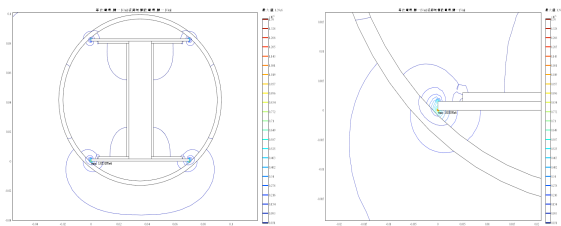


圖 5 正常狀態(原始尺寸): 最大電場為 1.85 kV/mm

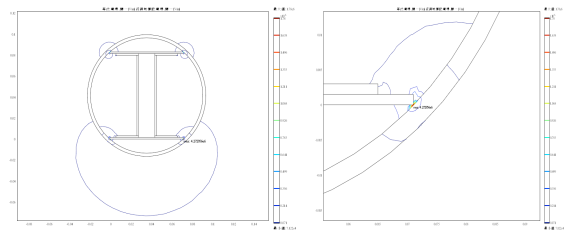


圖 6 施工異常(銅極接觸壓克力板): 最大電場為 4.27 kV/mm

圖 5 可觀察到正常狀況下，最大電場發生在端子台與壓克力套管的接近處，最大電場強度約 1.85 kV/mm，尚未大於空氣的崩潰場強，故不會發生空氣放電現象。圖 6 可觀察到最大電場強度發生在同位置，且該處之電場強度高達 4.27 kV/mm，已大於空氣的崩潰場強，故會發生空氣放電現象。基此，遂產生如圖 2 之放電痕跡。如前所述，該放電現象係肇因於間隙不足，而間隙不足之主因係為人為安裝不慎所引起。因此，考量人為安裝之可能疏失，遂考慮將端子台之尺寸縮小，並添加固定位置之壓克力擋板，以及增加固定螺母等改善措施。期能維持壓克力套管之正圓形，以降低因間隙不足所導致之空氣放電現象。

圖 7 所示為進行改善之端子台與壓克力套管的相關位置示意圖。改善方案一為端子台內縮 5 公釐，以因應安裝時之人為疏失，圖 8 所示；改善方案二為端子台內縮 5 公釐，並加入固定之壓克力版，如圖 9 所示；方案三為端子台內縮 5 公釐，增加固定位置之壓克力版，並增加螺母，固定壓克力版與端子台之距離，如圖 10 所示。圖 8，圖 9，和圖 10 顯示，最大電場皆發生於端子台與壓克力版之最接近處，其最大場強分別為 1.39 kV/mm、0.69 kV/mm、0.66 kV/mm，皆小於空氣的崩潰場強。

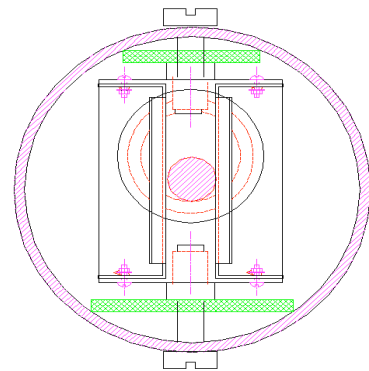


圖 7 改良之套管與端子台的原始尺寸

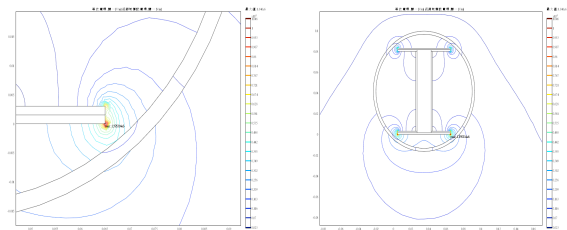


圖 8 改善狀況一(銅極內縮 5 mm): 最大電場為 1.39 kV/mm

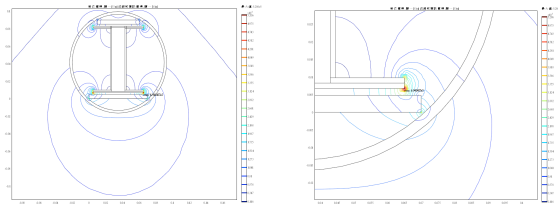


圖 9 改善狀況二（銅極內縮 5 mm，加 P C 板）：  
最大電場為 0.69 kV/mm

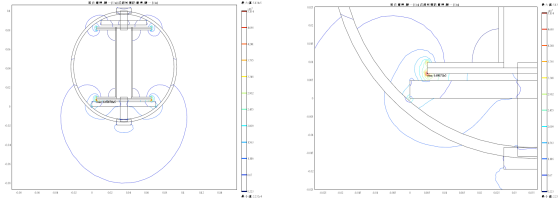


圖 10 改善狀況三（銅極內縮 5 mm，加螺母）：  
最大電場為 0.66 kV/mm

表 1 所示為前述模擬結果摘要。由表中可以觀察到，原始設計之端子台與壓克力套管的絕緣距離尚稱足夠。然而，因為套管與端子座之間距係由固定螺絲所控制，在現場安裝時，固定螺絲之位置並無法如預期般固定，故易發生圖 6 之局部過電壓現象。即原始設計因未考量人為安裝之容許誤差，故容易發生局部放電現象。

改善方案中，考量到人為安裝之可能誤差，進而縮小端子台之尺寸，增加安全裕度，如圖 8 所示。若為確保人為施工之精準，增加壓克力之固定檔版及固定螺母，可以確保端子台與壓克力套管有足夠為絕緣距離，且可大幅降低最大電場強度。模擬結果亦顯示，改善方案確實降低局部電場過大的問題。

表 1 套管與端子台之案例模擬結果摘要

狀況	最大電場 (kV/mm)	最大電場發生位置	備註
正常狀況	1.85	端子台與套管最靠近處	圖 5
安裝失誤	4.27	端子台與套管邊界處	圖 6
改善方案一	1.39	端子台接縫尖端處	圖 8
改善方案二	0.69	端子台接縫尖端處	圖 9
改善方案三	0.66	端子台接縫尖端處	圖 10

### III. 量測分析

為釐清造成比壓器台車之部份現象來源，本文將安裝失誤之比壓器台車移至實驗室進行實驗。試驗過程依據 IEC60044-2，進行加壓及量測。測試過程分為三階段：第一階段為比壓器台車之部份放電試驗；第二階段為比壓器本體試驗，用以確認比壓器本體無放電現象；第三階段係使用改良後之端子台座，將比壓器台車復原，測試比壓器台車本體，用以確認改善結果是否與預期相同。

第一階段之測試係將加壓設備與電力熔絲之高壓端子直接連接，由零電壓加壓至額定電壓（14 kV），持壓 1 分鐘，記錄此時之放電量，降至零電壓。考量壓克力套管造成之影響，壓克力套管及電力熔絲被視為比壓器之一體，進行加壓測試，放電圖譜如圖 11 所示。由圖 13 中，可觀察到該變壓器組有多個放電位置。

此外，另使用超音波之部份放電檢測設備，在套管部位亦聽到放電聲響。

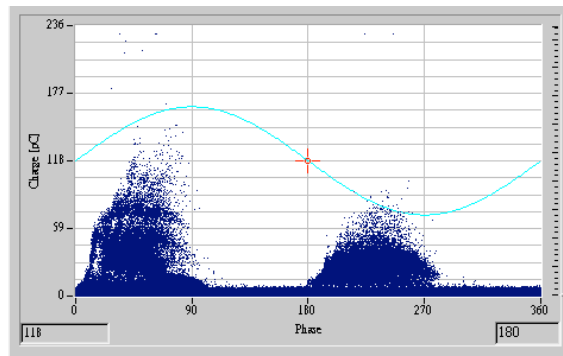


圖 11 比壓器含改善前之端子座 14 kV 放電量約 150 pC

第二階段之測試係將比壓器台車拆解，僅對比壓器本體進行試驗，測試結果為無放電現象，如圖 12 所示。比較第一及第二階段之測試結果，確認放電現象為比壓器台車之套管所引起。

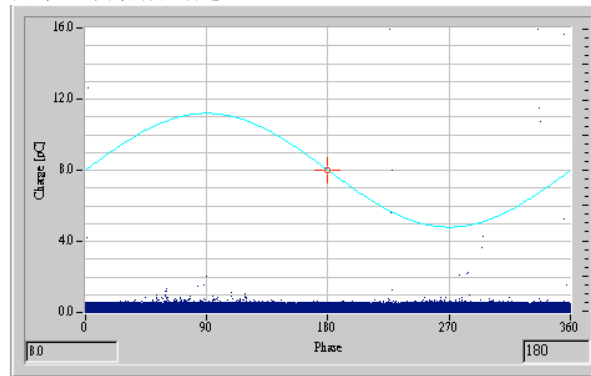


圖 12 比壓器本體，無放電訊號

比較圖 11 及圖 12，顯示比壓器本體並未有局部放電訊號。此外，套管與端子台在加壓測試時，有部份放電聲響。基此，局部放電訊號應來自於壓克力套管及電力熔絲的相關配件。

第三階段係進行改善後之端子台的部份放電量測。根據第二節之模擬分析，製作如圖 13 的端子台，並將原始之端子台更換，進行部份放電量測，測試結果如圖 14 所示。

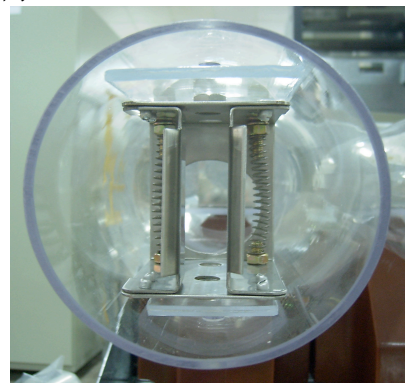


圖 13 改善後之套管構造

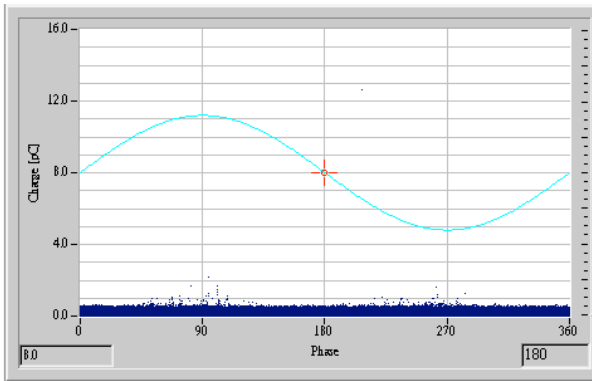


圖 15 比壓器含改善後之端子台，無放電訊號

圖 15 顯示壓克力套管及新端子台之連接並不會造成局部過壓現象，即無產生局部放電現象。

#### V. 結論

過往經驗顯示，比壓器台車容易被測得部份放電訊號，且在壓克力套管及端子台之最近處會有放電痕跡。本文經由數值模擬及量測分析，確認壓克力套管與端子台在安裝不慎時，容易產生局部過壓，進而導致局部放電現象的發生。

由於此類放電訊號為外部放電訊號，並不顯響主絕緣。然而，該外部放電訊號高達 170 pC，容易將比壓器內部放電訊號掩蓋過去，使得預警時間變短，甚致直致比壓器絕緣破壞都無法觀察到內部放電訊號。

基此，本文針對可能之人為疏失提出改善建議，並對可行之方案進行評估模擬分析。模擬顯示，縮減端子台之尺寸增加安裝時之裕度，以及增加固定座以避免人為疏失，皆能有效降低電場過大之可能性。同時，本文亦據此製作新端子台套件，並以一台北壓器台車進行實測。實測結果顯示改善方案確實可行。

#### V. 誌謝

特別感謝國立清華大學電機研究所 許肇棠先生協助，使本研究計劃得以順利完成。

#### 參考文獻

- [1] 李長興、邱敏彥、黃智賢、吳明學、顏世雄，”比壓器絕緣診斷手法之差異研究”，第 26 屆電力工程研討會，pp. 712-716。
- [2] IEC 60270 High-voltage test techniques – Partial discharge measurements.
- [3] IEC 60044-2 Instrument transformers – Part2: Inductive voltage transformers.