

## 特高壓油浸式變壓器之現場局部放電量測

### On-site Partial Discharge Measurement on EHV Oil-immersed Transformer

李長興

邱敏彥

黃智賢

吳明學

顏世雄

Chang-Hsing Lee Min-Yen Chiu Chih-Hsien Huang

Ming-Xuei Wu

Shih-Hsiung Yen

震江機電技術顧問(股)公司

台電綜合研究所

工業技術研究院 材料所

Chan-Ching Electric Technique Consulting Co., LTD  
Chan.ching@msa.hinet.net

Taiwan Power Research Institute Industrial Technology Research Institute  
yen@cobra.ee.ntu.edu.tw

#### 摘要

一組油浸式變壓器之避雷器因線路雷擊損毀，於避雷器更新後，進行整體絕緣測試。該變壓器通過整體絕緣測試，以及繞組變形試驗。然而在試驗人員嘗試以交流 12 kV 對低壓線做感應加壓時，卻發生激磁電流過大，導致加壓設備跳脫的現象。基此，使用繞組變形試驗，以及局部放電檢測，用以瞭解內部有無異常。繞組變形試驗顯示變壓器線圈並無移位情形。現場局部放電檢測使用套管以及內部感測器進行量測，量測顯示該變壓器內部有強烈放電現象，且經由定位確認發生位置在於 S 相線圈。量測結果顯示，高壓套管之測試端子亦受背景雜訊影響，大幅減低其靈敏度。而內部感測器則具有良好之抗干擾能力，維持良好之靈敏度。

關鍵詞：局部放電，油浸式變壓器，絕緣診斷。

#### Abstract

One arrester of the 345 kV/4.16 kV oil-immersed power transformer was damaged by lightning strike. After the replacement of damaged arrester, the transformer passed the insulation test. As the induced voltage test was executed, however, the excitation current of S phase became very large and caused the voltage source to trip. Therefore, an additional winding deformation test and partial discharge test were then carried out. The result of winding deformation test showed the transformer being normal. The bushing test tap and the electromagnetic type internal sensors were adopted to perform on-site partial discharge measurement. The result of partial discharge measurement showed that there were strong partial discharge activities inside the transformer. Moreover, the partial discharge source was confirmed at phase S by internal sensors. During the measurement, the bushing test tap is easily interfered by background noise, and the sensitivity is reduced significantly. Internal partial discharge sensors maintain high sensitivity due to the good immunity against background noise.

*Keywords:* Partial discharge, oil-immersed transformer, insulation diagnostics.

#### I. 前言

北部某電廠，於運轉中發生線路雷擊，致使起動變

壓器 (345 kV/4.16 kV/4.16 kV) 之 R 相避雷器 (370 kV) 動作並且毀損。避雷器更換完成後之完工試驗[1]中，發生高壓側線圈對地絕緣不良，如表 1 之第一次測試結果所示。此外，目視檢查時，亦發現變壓器高壓側 R 相套管有污損。因此，遂對變壓器進行開蓋目視檢測。此時，發現避雷器底座有裂縫，且變壓器內部有水漬。由於該變壓器為外鐵型變壓器，如圖 1 所示，且內部空間不足，故無法進行詳細內檢。基此，遂對該變壓器進行濾油動作。變壓器之保養完成後，再次進行檢測，並加做繞組變形試驗。試驗結果顯示一切正常，如表 1 第二次測試結果所示。

然而，在測試人員使用交流 12 kV 電壓源，對低壓線圈做感應電壓耐壓試驗時，S 相之激磁電流偏大 (約 R 相及 T 相的 4 倍)，且上下振盪。當第二次嘗試加壓至 12 kV 時，僅加壓至 8 kV，即發生激磁電流過大，導致加壓設備跳脫。第三次加壓時，僅加壓至 4 kV，加壓設備旋即跳脫。

由於除了 12 kV 之激磁電流異常外，其於試驗結果皆為正常。基此，遂安排局部放電測試[2,3]，以釐清變壓器內部有無受損。若有異常，則嘗試定位出異常點[4]。

表 1 絕緣診斷測試摘要

		第一次	第二次
變壓器介質功率因數 (%)	CH	40.48	0.14
	CL	0.55	0.20
	CT	0.66	0.22
	CHL	0.53	0.17
	CLT	0.24	0.08
	CHT	0.41	0.17
絕緣套管介質功率因數 (%)	H1	1.90	0.22
	H2	0.94	0.22
	H3	0.60	0.22
	H4	0.36	0.17
激磁電流 (mA)	H1	19.0	25.2
	H2	12.5	20.3
	H3	15.1	25.8
匝比	H1-H0/X1-X2	-	46.67
	H2-H0/X2-X3	-	46.68
	H3-H0/X3-X1	-	46.67
	H1-H0/Y1-X2	-	46.62
	H2-H0/Y2-X3	-	46.62
	H3-H0/Y3-X1	-	46.62

表 1 絕緣診斷測試摘要 (續)

線圈阻抗 (mΩ)	H1-H2	-	4020
	H2-H3	-	4000
	H3-H1	-	4010
	X1-X2	-	2.04
	X2-X3	-	1.99
	X3-X1	-	1.99
	Y1-Y2	-	2.03
	Y2-Y3	-	2.05
	Y3-Y1	-	2.02
備註：1. 表列測試之高電壓皆 2.5 kV。 2. 感應電壓試驗時，H2 之激磁電流過大，使電源跳脫。			

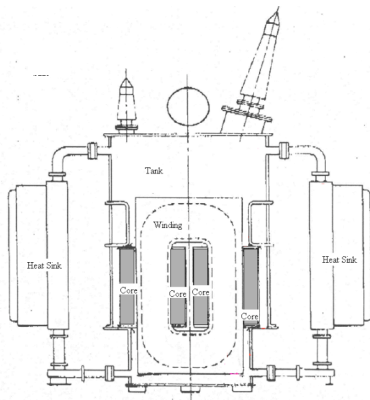


圖 1 外鐵式變壓器構造圖

## II. 現場局部放電量測

由於低壓線圈之感應電壓試驗時，S 相二次側激磁電流過大，無法通過感應電壓測試。基此，現場局部放電測試時使用加壓車由變壓器 S 相高壓側加壓，局部放電測試儀器包含 LDIC LDS-6, LDS-5, and Lecroy WaveRunner 64Xi，接線圖如圖 2 所示。

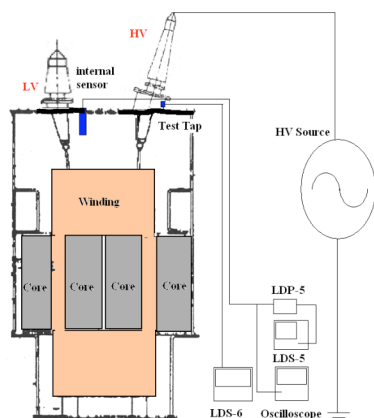
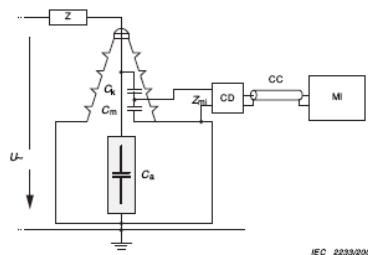


圖 2 現場局部放電量測接線示意圖

### ● 安裝感測器

現場局部放電量測使用兩種型式的感測器，一為套管型式[2,3]，一為電磁型之內部感測器[5]。套管型式係利用套管作為耦合電容，並使用其測試端點作為輸出點，如圖3所示。



(a) 測試電路[3]



(b) 套管測試端子



(c) 阻抗匹配器

圖 3 套管測試端子之接線圖

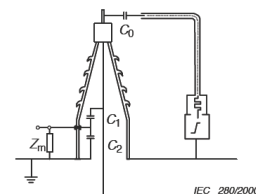
電磁型內部感測器主要感測局部放電訊號之暫態電磁波變化，其頻率響應高達1.7 GHz。因為變壓器非為新品，故利用洩油閥做為感測器的安裝位置，如圖4所示。惟可供安裝之手孔數量不足，故無法進行3D故障定位。



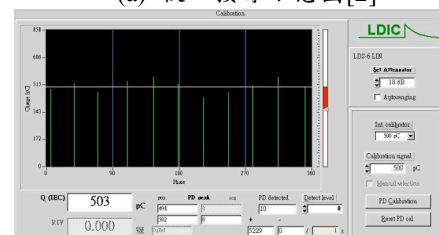
圖 4 裝於油閥之內部感測器

### ● 靈敏度確認 (功能確認) [2,5]

感測器靈敏度測試時，分為內部感測器與套管兩部份。套管部份，係比照標準測試法，在測試線路中注入特定大小之電荷，用以校正量測系統。由於現場雜訊干擾較大，套管部份的校正訊號為5000 pC，且訊號較不穩定，如圖5所示。



(a) 校正接線示意圖[2]



(b) 校正畫面

圖 5 套管測試端子之校正

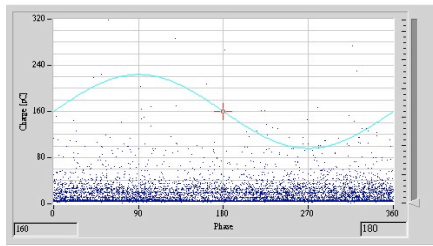


圖 6 套管測試端子測得背景雜訊

內部感測器部份，因為有兩個感測器，故可由 A 端感測器送校正訊號，由 B 端量測校正訊號，如圖 6，量測設備係利用示波器進行量測。校正訊號輸出為 10 V，受到阻抗變化影響，A 端感測器所量得之校正訊號約為 2.6 V，B 端感測器量得之校正訊號約為 0.2 V。

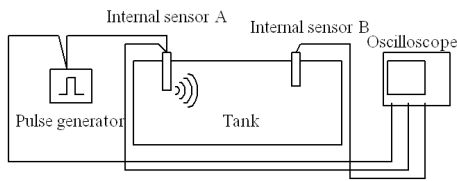


圖 7 內部感測器效能測試[5]

靈敏度確認試驗顯示，利用套管進行之標準測試法，易受到現場環境之雜訊干擾，大幅減低量測之靈敏度。而使用內部感測器之在線量測法，則可利用變壓器之鐵殼隔離外部雜訊，進而維持良好之靈敏度。

### III. 局部放電圖譜

加壓過程中，套管測試點因為背景雜訊大，故放電訊號並不穩定，且會振盪。因此，該接點僅在 4.7 kV 及 9.8 kV 時，有觀察到短暫的放電訊號，惟該訊號極不穩定，出現一下子就消失，故並未被儀器紀錄下來。

然而，兩個內部感測器則不受背景雜訊影響，在 5.7 kV 時測得放電訊號，且放電量隨施加電壓升高而增加。表 2 為現場量測的結果摘要，顯示內部感測器有較佳之靈敏度。

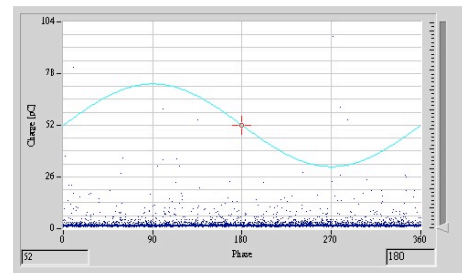
表 2 局部放電量測摘要

施加電壓	套管測試端子	內部感測器 1	內部感測器 2
4.7 kV	訊號不穩定	-	-
5.7 kV	-	26 pC	32 pC
8.9 kV	1254 pC	126 pC	152 pC
9.7 kV	訊號不穩定	120 pC	152 pC

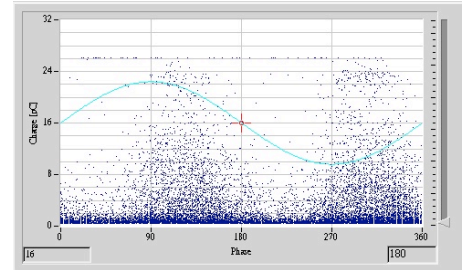
備註：

1. 套管測試端子和內部感測器的校正方法不一樣，故兩者之量測數據並無法直接比較。
2. 套管測試端子的讀值受到背景雜訊影響，並不穩定。

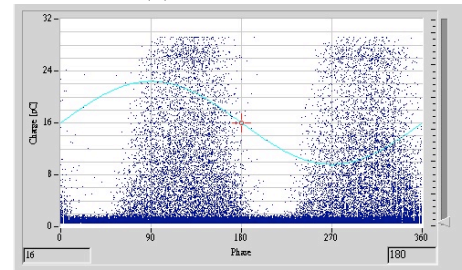
在加壓過程中，套管測試點於 4.7 kV 時有觀察到短暫的局放訊號，但旋即消失。然而，兩個內部感測器皆未測得放電訊號。一直到 5.7 kV 時，兩個內部感測器始測得放電訊號，且一直持續存在。此時，套管測試點並未觀察到放電訊號。如圖 7 所示。



(a) S 相套管測試端子



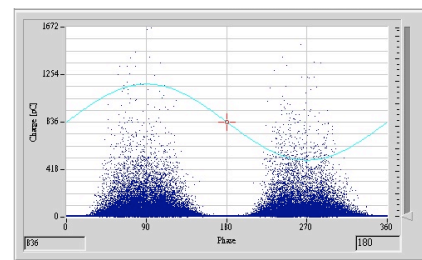
(b) 內部感測器 1



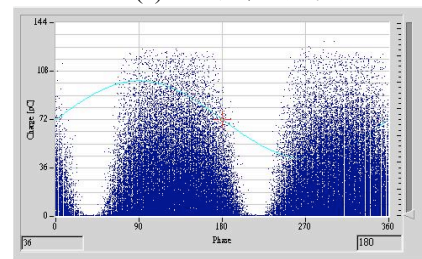
(c) 內部感測器 2

圖 8 施加電壓為 5.7 kV 時之局部放電圖譜

電壓持續增加至 8.9 kV，套管測試端子始又測得放電訊號，但該訊號在測試電壓擾動後，旋即消失。同時，內部感測器皆持續測得相似放電訊號，如圖 8 所示。



(a) S 相套管測試端子



(b) 內部感測器 1

圖 9 施加電壓為 8.9 kV 時之局部放電圖譜

#### IV. 局部放電源定位

由於局部放電源的定位為三維空間，其位置座標為  $P_0(X_0, Y_0, Z_0)$ ，計有三個未知數，而第  $N$  個感測器的座標為已知， $P_N(X_N, Y_N, Z_N)$ 。因為訊號時間差之量測，僅能測得  $N-1$  組感測器與局部放電源之距離差 ( $P_N-P_0$ )。基此，若要準確求得局部放電源位置，則需要至少 4 個感測器，如式 1 所示。然而，本文案例僅有兩個感測器，故僅能找出局部放電源可能存在之平面。

$$\begin{aligned} |P_1 - P_0| - |P_2 - P_0| &= |\Delta t_{12}|V \\ |P_2 - P_0| - |P_3 - P_0| &= |\Delta t_{23}|V \\ |P_3 - P_0| - |P_1 - P_0| &= |\Delta t_{31}|V \end{aligned} \quad \text{式 1}$$

圖 12 所示為內部感測器 1 及 2，於施加電壓為 11 kV 時所測得之局部放電波形，兩者波形之時間差為 2.4 ns。假設電磁波在絕緣油中的傳播速度為  $3 \times 10^8$  m/s，則該局部放電源位置與內部感測器 1 與 2 之距離差約為 72 公分。

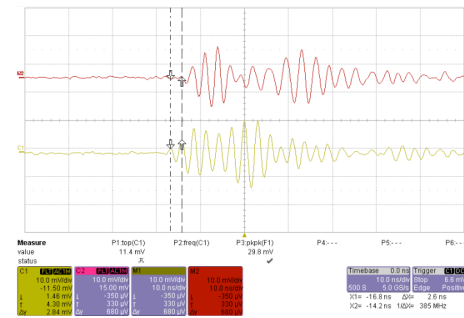


圖 11 施加電壓為 11 kV 時之局部放電波形

由式 1 可知，僅有兩個感測器並無法計算局部放電源的位置，只能估算可能之發生平面。圖 12 為局部放電源之定位圖，圖中之曲面即為可能發生位置。考量實際線圈之佈置，該曲面經過 S 相線圈。基此，該變壓器之局部放電源應在 S 相線圈，與前述推論相符。

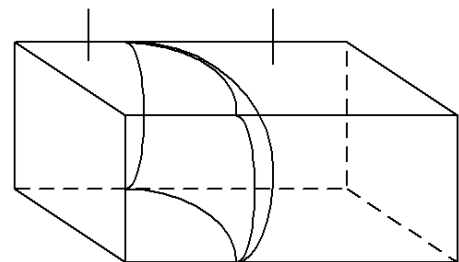
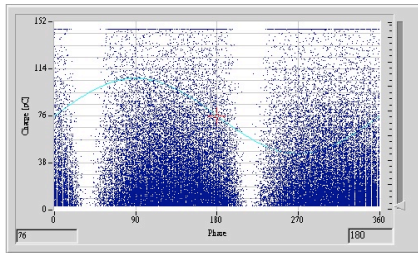


圖 12 局部放電源定位圖

#### V. 結論

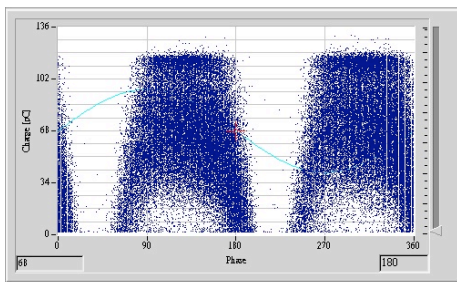
由表 1 可知，傳統絕緣測試及繞組變形試驗皆顯示該變壓器為正常狀態。然而在感應電壓試驗，以及局部放電試驗時卻顯示該變壓器異常。基此，該變壓器之異常點應為線圈匝間異常，而非線圈對地絕緣異常。



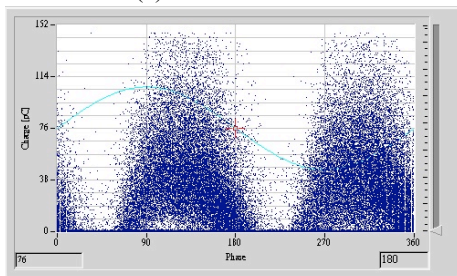
(c) 內部感測器 2

圖 9 施加電壓為 8.9 kV 時之局部放電圖譜(續)

加壓至 9.8 kV 時，內部感測器測得圖 10 之圖譜。一直到測試終了前，套管測試端子的測得訊號皆不強烈。根據經驗顯示[6]，此類型放電較常出現在絕緣紙絕緣不良，如圖 11 所示。

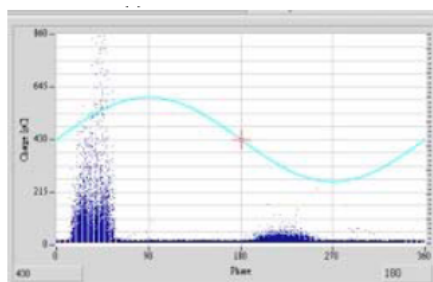


(a) 內部感測器 1

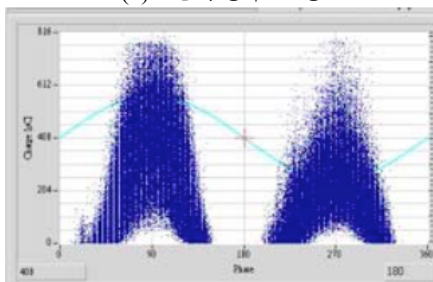


(b) 內部感測器 2

圖 10 施加電壓為 9.7 kV 時之局部放電圖譜



(a) 尖端電暈放電



(b) 絕緣紙放電

圖 11 油浸式變壓器典型放電圖譜[6]

變壓器之局部放電測試顯示，內部感測器具有較高靈敏度，且可有效隔離背景雜訊干擾。局部放電圖譜顯示，該放電特徵為絕緣紙絕緣不良所導致。與變壓器外殼破損進水，有一致性之觀察。

此外，本文案例之感測器雖僅有兩個，不足以用做精準定位局部放電源。然而，兩個內部感測器亦可做概略之局部放電源的定位，定位結果顯示異常點位於S相線圈內。與感應加壓之觀察結果一致。

## VI. 參考文獻

- [1] “電力試驗工作手冊”，試驗所。
- [2] IEC 60270, High-voltage test techniques – Partial discharge measurements.
- [3] IEC 60076-3, Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air.
- [4] Sacha M. Markalous, Stefan Tenbohlen and Kurt Feser, “Detection and Location of Partial Discharges in Power Transformers using Acoustic and Electromagnetic Signals”, IEEE Trans. on dielectrics and Electrical insulation, Vol. 15, 2008.
- [5] IEC 62478 (draft) High-voltage test techniques – Measurement of partial discharge by electromagnetic and acoustic methods.
- [6] 邱敏彥，李長興，黃智賢，吳明學，顏世雄，“應用 VHF/UHF 檢測油浸式電力變壓器局部放電的開發”，第二十六屆電力工程研討會。