

## 常用線上局部放電感測器之特性分析

### Characteristics analysis of sensors for on-line partial discharge measurement

李長興

邱敏彥

黃智賢

顏世雄

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

Shih-Hsiung Yen

震江機電技術顧問股份有限公司

工業研究院 材料所

Chan-Ching Electric Technique

Industrial Technology

Consulting CO.,LTD

Research Institute

Hsinchu, Taiwan, R. O. C.

Hsinchu, Taiwan, R. O. C.

Chan.ching@msa.hinet.net

yen@cobra.ee.ntu.edu.tw

#### 摘要

隨著電力系統可靠度要求提高，設備之週期性維修保養已漸不符合需求，取而代之的是狀態檢測手法。根據線上檢測手法，瞭解設備狀態，據以定出維修保養對策。其中，線上局部放電檢測係為一項重要的診斷方式，用以診斷絕緣材料之瑕疵劣化狀況。現場局部放電量測的困難在於放電訊號與背景雜訊之辨別。為此，各廠家利用不同技術，將儀器之量測頻率提高以增加訊號雜訊比。然而，不同廠家使用不同感測器，且使用不同頻寬，往往造成彼此數據溝通不良及靈敏度之優劣差異。為此，本文使用常用之不同感測器，量測局部放電訊號特性，據以瞭解不同感測器之使用限制，及其特性，以供分析人員對於不同廠家之量測結果能有進一步之瞭解。

關鍵詞：線上局部放電，感測器，特性分析。

#### Abstract

As the demand of high power system reliability, time based maintenance is not satisfying for maintaining equipment reliability, and is replaced by condition based maintenance. According to the diagnostics, one can estimate the condition of insulator, and find the strategy. Among them, on-line partial discharge measurement is one of the most important diagnostics assessing the condition of insulator. However, the majority difficulty of on-site measurement is the noise distinguishability. Therefore, different manufactories develop their own methods to overcome this difficulty. Unfortunately, different methods utility different sensor with vary bandwidths, and they are difficult to compare the measurement results with each other. Based on these problems, this paper tests different commercial sensors to assess their characteristics. Furthermore, one can compare different measurement results from different instruments to estimate the condition of insulator.

**Keywords:** on-line partial discharge, sensor, characteristic analysis.

#### I. 前言

隨著電力系統可靠度要求提高，設備之週期性維修保養已漸不符合需求，取而代之的是狀態檢測手法。根據線上檢測手法，瞭解設備狀態，據以定出維修保養對策。其中，線上局部放電檢測係為一項重要的診斷方式，用以分析絕緣材料之瑕疵劣化狀況。

現場局部放電量測的困難在於放電訊號與背景雜訊之辨別。因為電力系統中之雜訊多低於 30 MHz，

故目前的發展技術多先提高量測頻寬，以增加訊號雜訊比。為此，各儀器廠家根據自家經驗，改變儀器之量測頻寬。然而，不同廠家使用不同感測器，且使用不同頻寬，往往造成彼此數據溝通不良及靈敏度之優劣差異。

目前常被用來比較之感測器多應用於特高壓設備（氣封絕緣開關，油浸式變壓器，電纜），其量測頻帶多為 UHF 及 VHF 頻帶，且特高壓設備之電力雜訊較單純[1~7]。而對應用於高壓設備之感測器的比較則較少提及。

基此，本文使用常見之不同形式感測器（電場、磁場、電磁場），量測局部放電訊號特性，據以瞭解不同感測器之使用限制，及其特性，以供分析人員對於不同廠家之量測結果能有進一步之瞭解。

本文先使用不同大小量值之標準校正訊號送入待測系統中，觀察各個不同感測器之讀值，波形以及頻譜，找出其關連性。接著對一異常比壓器進行加壓，觀察其放電波形及圖譜，用以驗證真實放電訊號與模擬之放電訊號之異同。最後透過加壓過程，比較各式感測器之靈敏度。

測試結果顯示，根據 IEC60270 之標準測試法[8]具有最佳之靈敏度。其它各型線上量測之感測器之靈敏度較差，需要局部放電訊號大於 30 pC 以上，才能偵測到。

#### II. 校正訊號比較

圖 1 所示為本研究之測試電路圖。圖上方為加壓設備，圖下方為本研究之測試品一比壓器。圖中間所示耦合電容，係根據 IEC60270 所提量測架構所需，安裝時需停電安裝。待測物右方之電場感測器係利用空氣當耦合電容，當與待測物越接近時，其靈敏度越高，但亦不能太過靠近待測物表面，以避免待測物表面對感測器放電。置於待測物接地線上之感測器為 UHF 感測器及磁場感測器，其皆需置於待測物之接地路徑上，量測局部放電之暫態電流訊號。若待測物無接地線時（如電纜），則無法應用。待測物左側之感測器為全頻帶感測器，其係量測局部放電訊號之電磁場變化，據以瞭解待測物之放電狀態。

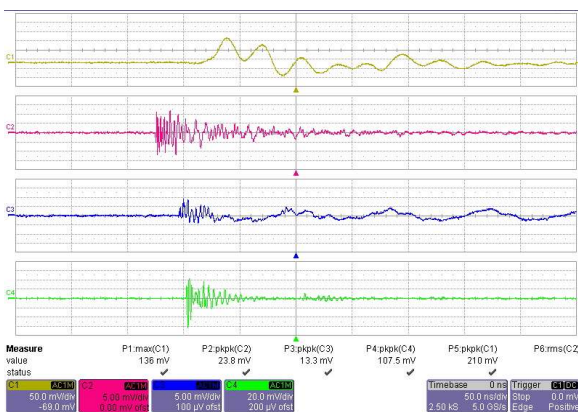
本研究使用立肯科技之 WaveRunner 64Xi 示波器量測不同感測器之放電波形，並使用惠普科技之 E4402B 頻譜分析儀進行放電訊號之頻譜分析，以及 LDIC 之 LDS-6 進行局部放電之標準測試量測。



圖 1：量測接線圖

本文目的之一為比較各型式感測器之特性，包含標準測試法之耦合電容器，電場形感測器，磁場形感測器，及電磁場之感測器（UHF 頻帶及全頻帶）。但因為欲比較之感測器多於示波器之頻道數目，故無法使用示波器同時觀察。為此，本文先使用兩個不同量值（37 pC 及 2000 pC）之校正訊號送入待測系統（如圖 1 所示），觀察其波形（圖 2 及圖 4）及頻譜（圖 3 及圖 5）。

圖 2 及圖 3 所示為使用 37 pC 校正訊號所記錄之波形及頻譜數據。因為 37 pC 之校正訊號並無法被本文之電場感測器所觀察到，故圖 2 及圖 3 並未記錄電場感測器之數據。由圖 2 可觀察到，耦合電容所測得之波形振盪較小，故可使用積分電路換算電荷量。磁場感測器，TEM 感測器及 UHF 感測器測得之波形為振盪波形，若直接使用積分電路換算放電量，或藉由降頻電路來計算放電量，則其值誤差甚大。基此，使用高頻之感測器，多使用其峰值大小以比較放電量大小。



C1: 耦合電容, C2: TEM, C3: 電感, C4: UHF  
圖 2：波形圖@37 pC

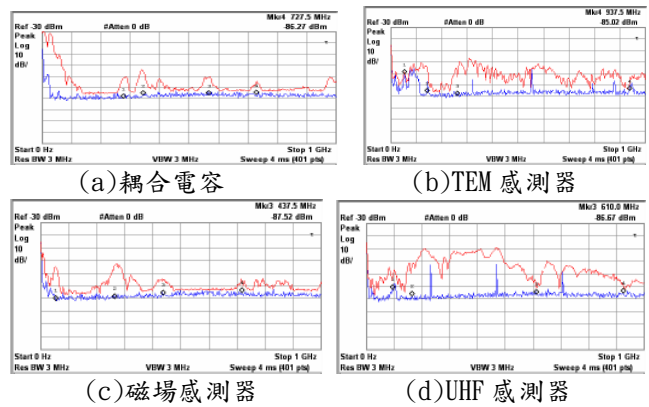


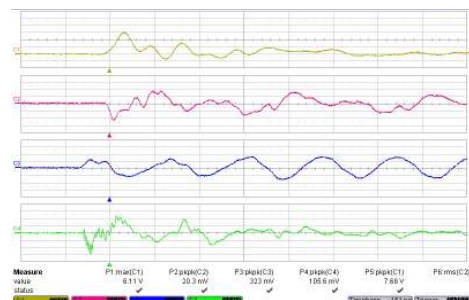
圖 3：不同感測器之量測頻譜@37 pC

圖 4 及圖 5 所示為使用 2000 pC 校正訊號進行測試之波形及頻譜資料。圖 4 可觀察到，五種感測器之量測值中，初始振盪變大，圖 2 之高頻振盪成份並未出現。主要原因為使用 2000 pC 之校正訊號時，該校正訊號之振幅較大，且校正器使用較大之耦合電容值，導致高頻成份消失。此時若使用積分電路計算相對應之放電量值，則雖有讀值，但其誤差仍大。

比較圖 3 及圖 5，耦合電容觀察到之頻譜差異頗大，主因為校正訊號差異大（37 pC 與 2000 pC），即校正器之耦合電容值差異大，造成系統之頻率響應改變所致。另一原因為，雖然耦合電容之量測頻帶低，但是校正訊號之振幅大，其高頻成份亦相對變大，故在頻譜中會觀察到大於標準測試法所設計之頻率成份。

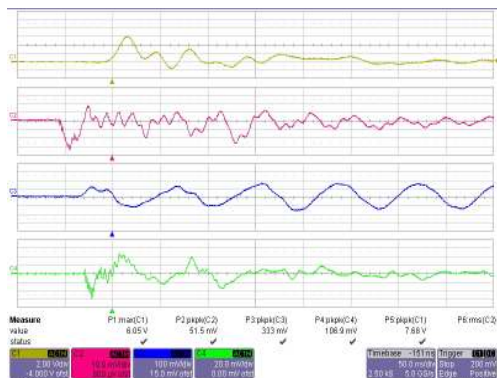
此外，由圖 3 及圖 5 亦可觀察到，耦合電容器，電場感測器及磁場感測器的感測頻帶多落在 50 MHz 以內。而現場之雜訊多落在 30 MHz 內，故在雜訊環境惡劣之環境中，耦合電容器，電場感測器及磁場感測器之訊號雜訊比不易提高，若搭配濾波器進行濾波，則因為耦合電容器，電場感測器及磁場感測器之感測頻帶不廣，可能導致量測靈敏度過差的結果。

觀察圖 3 及圖 5，TEM 感測器除在 200 MHz 附近靈敏度較差外，與 UHF 感測器之量測頻帶皆為寬頻帶。基此，在現場雜訊大時，使用 TEM 感測器或 UHF 感測器搭配適當濾波器（如 100 MHz 之高通濾波器），仍可有效濾除雜訊，並量測到足夠大小之放電訊號。



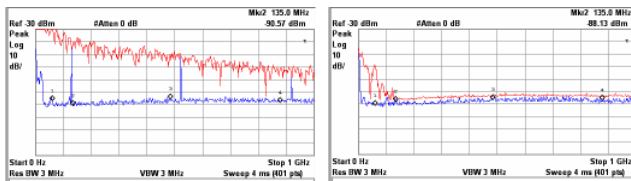
C1: 耦合電容, C2: 電容, C3: 電感, C4: UHF  
(a)

圖 4：波形圖@2000 pC

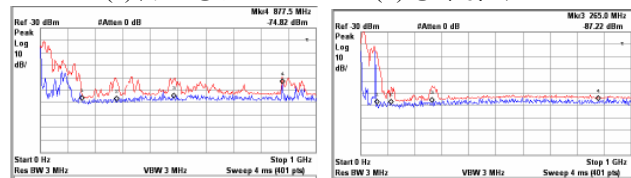


C1: 耦合電容, C2: TEM, C3: 電感, C4: UHF  
(b)

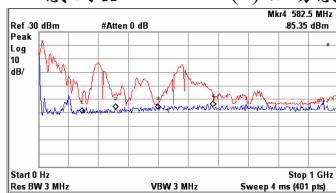
圖 4: 波形圖@2000 pC



(a) 耦合電容 (b) 電場感測器



(c) TEM 感測器 (d) 磁場感測器



(e) UHF 感測器

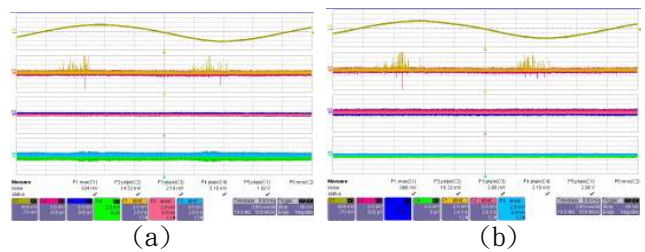
圖 5: 不同感測器之量測頻譜@2000 pC

### III. 實測訊號比較

考量實際放電特性與模擬之放電訊號不同，故另使用一具有瑕疵之比壓器進行加壓測試，接線圖如圖 1 所示，同時比較標準測試法與各式不同感測器之量測特性。

比壓器加壓至 19 kV 時始發生局部放電現象，圖 6 所示為加壓至 19 kV 時，不同感測器量測之比壓器放電訊號與參考電壓的分佈情形。比壓器加壓至 19 kV 時，LDS-6 之局部放電量讀值約 20 pC，此時僅有耦合電容有量測到訊號，其餘感測器皆未有量到訊號。

由於僅有耦合電容器量到放電訊號，故僅針對耦合電容器量得之訊號進行分析，圖 7 為耦合電容之量測頻譜。圖 7 顯示該放電訊號僅有低頻成份（小於 100 MHz）。比較圖 3 與圖 7，顯示小放電量時，局部放電訊號多僅有低頻帶成份。



(a) C1: 參考電壓, C2: 耦合電容, C3: 電容, C4: 電感  
(b) C1: 參考電壓, C2: 耦合電容, C3: TEM, C4: UHF  
圖 6: 放電相位圖@19 kV

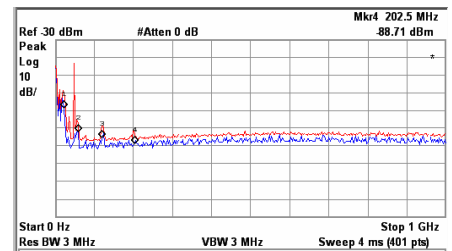
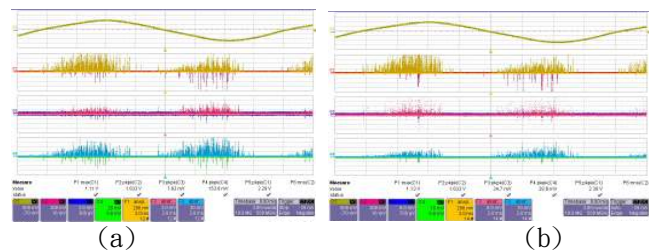


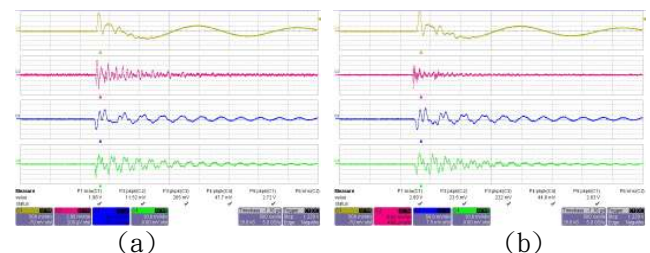
圖 7: 耦合電容之量測頻譜@19 kV

比壓器持續加壓至 24 kV，此時局部放電現象加劇，圖 8 為比壓器加壓至 24 kV 時，各感測器量測到的放電相位圖，此時之局部放電量約為 2000 pC。圖 8 顯示在如此大的局部放電量下，所有感測器皆能量測到放電訊號，且相位圖與標準測試法具有一致性。

圖 9 為各感測器量得之放電波形，除耦合電容器外，皆具有高頻振盪成份。比較圖 4 及圖 9，兩者之局部放電量皆約為 2000 pC，但是感測器測得之波形卻差異頗大。2000 pC 校正訊號於各感測器之波形的高頻振盪較小，但在實測系統中的 2000 pC 放電訊號則具有較大之高頻振盪。即在不同的放電架構下，相同感測器可能測得不同波形特徵。



(a) C1: 參考電壓, C2: 耦合電容, C3: 電場, C4: 電感  
(b) C1: 參考電壓, C2: 耦合電容, C3: TEM, C4: UHF  
圖 8: 放電相位圖@24 kV, 2000 pC



(a) C1: 耦合電容, C2: 電容, C3: 電感, C4: UHF  
(b) C1: 耦合電容, C2: TEM, C3: 電感, C4: UHF  
圖 9: 放電波形圖@24 kV, 2000 pC



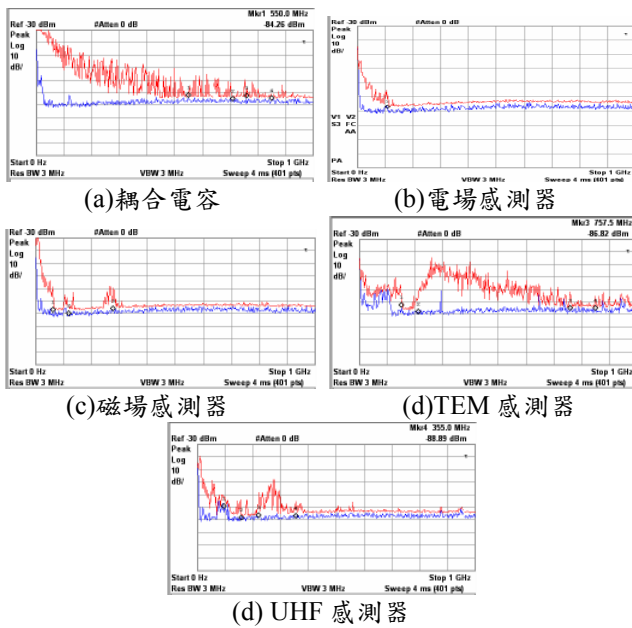


圖 10：不同感測器之量測頻譜@24 kV, 2000 pC

圖 10 為比壓器加壓至 24 kV 時，各感測器測得訊號之頻譜分析。圖中可觀察到，電場感測器及磁場感測器所觀察到之頻帶約在 50 MHz 以內。TEM 感測器除了 200 MHz 左右之盲點外，為一全頻寬之觀察頻帶。UHF 感測器所測得之頻帶約範圍約在 400 MHz 以內。耦合電容器則呈現全頻帶特性。

比較圖 10 與圖 5，兩者在頻帶分佈上具有一致性。電場及磁場感測器所測得之頻帶皆在 50 MHz 以下。耦合電容器因局部放電訊號大，皆具有全頻帶特性。然而 UHF 及 TEM 感測器雖具有相似之高頻特性，但頻帶之分佈卻大有異趣。

綜前所述，在標準測試法下，相同放電量但不同電路架構之放電訊號，可能具有相異之頻率特性。此外，比較圖 3，圖 5 及圖 10，顯示在雜訊污染重之環境下，TEM 感測器及 UHF 感測器搭配適宜之雜訊濾除設備，可以有較佳之訊號雜訊比。

#### IV. 結論

由模擬訊號觀察到，在局部放電量小時 (37 pC)，電場感測器並不易偵測到訊號，亦即電場感測器之靈敏度最差。由量測波形可觀察到，除了耦合電容器所量測之訊號適合用積分電路計算放電量外，其餘感測器因波形之振盪大，適用峰值大小進行放電量大小之評估。

比較校正訊號及實際加壓測試，具有相同放電量 (標準測試法測得) 之放電訊號，可能因電路架構不同，而在波形及頻率分佈上有顯著差異。在此觀點下，局部放電量測之放電量讀值僅在於比較放電現象之有無，而對於放電現象之強度則可能具有盲點。

在現場應用時，考量雜訊污染之環境，TEM 感測器及 UHF 感測器因具有可觀察到較高頻帶之放電訊號特性，故可搭配合適之濾波器進行訊號濾波，以提升訊號雜訊比，而有較佳之靈敏度。電場感測器及磁場感測

器則受限於量測頻帶，則較不適用於雜訊污染重之環境。

#### 參考文獻

- [1] S. Coenen, S. Tenbohlen, S. Markalous, T. Strehl, "Performance Check and Sensitivity Verification for UHF PD Measurements on Power Transformers", XVth International Symposium on High Voltage Engineering, T7-100
- [2] D. Templeton, H.Q. Li, K.F. Lee, J. Pearson, R. Brinzer, A. Reid, M.D. Judd, "Sensitivity Testing of a UHV Power Transformer Monitoring System", XVth International Symposium on High Voltage Engineering, T7-617
- [3] S. Meijer, J.J. Smit, "Sensitivity Check Procedure for GIS with Retrofit UHF PD Sensors", T7-97
- [4] T. Hoshino, S. Maruyama, T. Sakakibara, S. Ohtsuka, S. Matsumoto, M. Hikita, H. S. Kaneko, S. Okabe, "Sensitivity of UHF Coupler and Loop Electrode with UHF Method and their Comparison for Detecting Partial Discharge in GIS", t7-496
- [5] C. Nyamupangedengu, I.R. Jandrell, J.P. Reynders, "Optimisation of the Sensitivity and Bandwidth of a Capacitive Coupler for Wideband PD Detection in Solid Dielectric Power Cables", T7-36
- [6] T. Hoshino, H. Koyama, S. Maruyama, M. Hanai, "Comparison of Sensitivity Between UHF Method and IEC 60270 Standard for On-site Calibration in Various GIS", T7-264
- [7] M. MUHR, T. STREHL, E. GULSKI, K. FESER, E. GOCKENBACH, W. HAUSCHILD, E. LEMKE, "Sensors and Sensing used for Non-Conventional PD Detection", CIGRE 2006 conference, D1-102
- [8] IEC60270