

一 般

台灣電力股份有限公司 101 年度  
研究計畫 TPC-546-2102-0003

# 連接站避雷器線上監測及維護系統研發

## 完成報告

台灣電力股份有限公司

中華民國 103 年 2 月



「台灣電力股份有限公司  
2011年度股份研究報告」

連接站避雷器線上監測及維護系統研發 完成報告

# 連接站避雷器線上監測及維護系統研發

## 完成報告

研究方式：合作研究

執行期間：100年11月16日至102年11月15日

計畫主持人：李財福、沈政毅

協同主持人：卓明遠、張銘鑑

研究人員：藍榮進、陳建男、黃啟銘、李冠融、徐永騰

執行單位：國立高雄應用科技大學  
台電綜合研究所

# 摘要

本研究計畫目的建立一套整合氣象資料蒐集、避雷器洩漏電流自動監測之遙測監控系統，對重要避雷器進行即時監測，並分析氣象參數與避雷器洩漏電流之關係，以建立合理之避雷器之維護機制。計畫首先蒐集世界先進國家維護避雷器所作測試及試驗工作種類。比較國外與供電處目前所施行之避雷器(停電與非停電)維護作業方式，並提出有效之避雷器檢測方式、維護週期供維護單位施行。再者分析各廠牌不同電壓等級避雷器之電氣特性包括介質功率損失 $p$ 、介質功率因數(p.f.)、電壓分佈、電阻性洩漏電流 $I_r$ 、與三次諧波電流 $I_{180}$ 分量。以及從洩漏電流、材質及絕緣電阻等特性來分析聚合型與陶瓷型避雷器之耐污染能力，並蒐集國內、外資料，檢討現行耐污損之相關規範。蒐集世界各國避雷器監測方法與種類等相關資料，比較其優劣後找出適用本公司之監測系統，開發即時監測避雷器各種洩漏電流(含三次諧波洩漏電流、電阻性洩漏電流、總洩漏電流)、釋放雷擊電流次數、溫濕度等狀態經由 3.5G 之 GPRS 無線通訊模組傳回伺服器儲存，以電腦人工智慧方式分析診斷，超過維護標準者發出警訊即時通知維護人員。最後監測系統安裝於本公司選擇連接站、變電所以驗證可行性。

關鍵字：遙測監測系統、避雷器、洩漏電流、三次諧波、GPRS 無線通訊



## Abstract

This purpose of this project is to establish a remote supervisory control and data acquisition (SCADA) system which integrates analog/digital data of weather, arrester leakage current, with image signal of arrester discharging image to real time monitor critical connecting station and to analyze relationship between weather parameters and arrester leakage current/discharging current and then to propose a rational maintenance procedure for arrester of connecting station. This project first collect testing and investigating types of arrester maintenance of world advanced country, Taipower's current arrester maintaining procedure (outage and nonoutage) is compared with foreign's one to propose effective arrester testing method, maintaining cycle for charged department. Furthermore, electrical characteristics of arresters with various types of different voltage level is analyzed by power loss  $p$ , power factor p.f., voltage distribution, resistive leakage current  $I_r$ , and the third order harmonic current  $I_{180}$ , and pollution prevention ability for both polymeric and ceramic arresters are analyzed in terms of leakage current, material, and insulating resistance as well as to discuss current codes for pollution withstand by collecting relative information. The second part of this project is to compare world's arrester monitoring method to conclude proposed on line monitoring system for Taipower. Microprocessor /embedded system are integrated with 3.5G wireless communication technique to develop real time monitoring system to detect various types of leakage current of the third order harmonic current, resistive leakage current, and total leakage current, discharged image indicated surface pollution severity, lightning count, temperature and humidity and automatically send back via GPRS module. Besides,

artificial intelligent technique is applied to analyze collected data and alarm signal is enabled to notify engineer while collected data violate the limit. Finally, proposed and developed system is installed at selected connecting station and distribution to justify the practicality.

Keywords : monitor and data acquisition 、 arrester 、 leakage current 、 third order harmonic 、 GPRS wireless network

# 目 錄

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
圖 目 錄.....	IX
表 目 錄.....	XIX
第一章 緒 論 .....	1-1
1.1 研究背景與目標.....	1-1
1.2 研究方法及步驟.....	1-4
1.3 報告內容.....	1-16
第二章 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數分析 .....	2-2
2.1 避雷器參數定義[9].....	2-2
2.2 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數 .....	2-11
2.3 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數比較 .....	2-19
2.4 規範標準.....	2-22
第三章 各國之避雷器耐污染能力分析 .....	3-1
3.1 各國聚合型避雷器耐污染能力分析 .....	3-1
3.2 各國陶瓷型避雷器耐污染能力分析 .....	3-17
3.3 各國聚合型與陶瓷型避雷器耐污染測試方法比較 .....	3-28
第四章 國內外避雷器現行耐污損相關規範檢討 .....	4-1
4.1 國際電工協會 IEC 60099-4 2009[6] .....	4-1
4.2 國際電工協會 IEC 62217 Ed.1(僅適於聚合型)[7] .....	4-12
4.3 大陸規範 GB/T 20639—2006[22] .....	4-15

第五章 洩漏電流量測方法之比較分析 .....	5-1
5.1 電阻性洩漏電流量測方法比較.....	5-1
5.2 相間電容耦合對測試數據的影響[26].....	5-39
5.3 監測原理分析.....	5-42
第六章 監控系統設計與測試 .....	6-1
6.1 中寮超高壓變電所參訪.....	6-1
6.2 監控系統架構簡介.....	6-6
6.3 洩漏電流監測子系統軟硬體設計.....	6-7
6.3.1 避雷器洩漏電流監測子系統簡介 .....	6-7
6.3.2 ARM 嵌入式系統.....	6-9
6.3.3 GPRS 通訊模組 .....	6-10
6.3.4 洩漏電流擷取設計 .....	6-13
6.3.5 洩漏電流量測模組 .....	6-16
6.3.6 RS485 通訊模組 .....	6-19
6.3.7 Modbus 通訊協定 .....	6-21
6.3.8 微處理機模組測試 .....	6-28
6.3.9 氣象參數子系統軟硬體整合 .....	6-37
6.4 洩漏電流監測子系統測試.....	6-39
6.4.1 測試架構.....	6-39
6.4.2 衝擊電流試驗 .....	6-43
6.4.3 加壓試驗 .....	6-45
6.5 資料收集主站規劃.....	6-58
6.5.1 系統功能和介面規劃 .....	6-58
6.5.2 通訊程式設計 .....	6-73
6.6 以 SVM 建構避雷器監控模型 .....	6-81

6.6.1 支撐相量機概述 .....	6-81
6.6.2 多元分類問題.....	6-85
6.6.3 建立避雷器現況診斷模型 .....	6-87
第七章 現地系統整合安裝與測試 .....	7-1
7.1 前端資料蒐集站建置.....	7-1
7.1.1 新營-下營二路#19 鐵塔.....	7-1
7.1.2 龍崎超高壓變電所 .....	7-7
7.2 現地系統資料蒐集.....	7-12
7.2.1 氣象觀測站 .....	7-12
7.2.2 洩漏電流監測站 .....	7-15
7.2.3 補償原理.....	7-28
7.3 成本與性能分析.....	7-29
7.3.1 成本與性能分析 .....	7-29
第八章 避雷器之維護與檢查[27].....	8-1
8.1 GE 製 161 kV THYRITE 式避雷器之運轉與維護方法[27].....	8-1
8.2 W.H.製 161 kV 避雷器之運轉與維護[27] .....	8-9
8.3 OHIO BRASS 製 161 kV THOREX DYNAGAP 式避雷器之運轉與維護方法[27] .....	8-12
8.4 ELPRO 避雷器的維護保養[27] .....	8-16
8.5 CG 製避雷器的維護保養[27] .....	8-18
8.6 中興日立製槽型避雷器的維護保養[27].....	8-21
8.7 供電處避雷器維護及檢測方法.....	8-27
8.8 加拿大電力公司的維護保養.....	8-33
8.9 各廠家之維護保養比較.....	8-39

第九章 結論與建議 .....	9-1
9.1 結論 .....	9-1
9.2 建議 .....	9-4
參考文獻.....	A1
附 錄.....	A4

# 圖目錄

圖 1.1 氧化鋅避雷器簡化等效電路[16].....	1-5
圖 1.2 氧化鋅的穩定性與熱崩潰趨勢示意圖[9].....	1-6
圖 1.3 避雷器 V-I 特性曲線圖.....	1-7
圖 1.4 計畫第一年之進行步驟流程圖.....	1-14
圖 1.5 計畫第二年之進行步驟流程圖.....	1-15
圖 3.1 老化試驗設備之配置圖[2].....	3-2
圖 3.2 全新樣本經過 1000 小時試驗的洩漏電流[2].....	3-4
圖 3.3 經 1000 小時試驗之表面洩漏電流圖[2].....	3-4
圖 3.4 樣品 B 與樣品 C 經過 2000-3000 小時試驗之表面洩漏電流[2] .....	3-5
圖 3.5 夏天安裝測試於室外的避雷器之洩漏電流狀況[2].....	3-5
圖 3.6 冬天安裝測試於室外的避雷器之洩漏電流狀況[2].....	3-6
圖 3.7 B 組經加速老化測試前、後圖[2].....	3-6
圖 3.8 B 組經加速老化測試前、後之表面微結構圖[2].....	3-7
圖 3.9 安裝於戶外 3 年[2].....	3-7
圖 3.10 A 組(#1 樣品)的紅外線光譜圖[2].....	3-8
圖 3.11 紅外光譜峰值的透射率[2].....	3-9
圖 3.12 外殼材料 60Hz 條件下的介電耗損[2].....	3-10
圖 3.13 外殼材料 1MHz 條件下的介電耗損[2].....	3-10
圖 3.14 外殼和氧化鋅-柱的表面之電場應力[3].....	3-13
圖 3.15 中壓避雷器安裝在南非岸邊試驗[3].....	3-15
圖 3.16 高壓避雷器[3].....	3-16
圖 3.17 215kV 避雷器之測試照片[1].....	3-18
圖 3.18 陶瓷型避雷器污染測試之比較[1].....	3-19

圖 3.19 電流與溫升趨勢之關係圖[1].....	3-20
圖 3.20 數位暫存器量測當產生局部電弧之洩漏電流波型[1] .....	3-22
圖 5.1 $I_x$ 、 $I_c$ 和 $I_r$ 向量圖[18].....	5-1
圖 5.2 電阻性洩漏電流之計算方塊圖[18].....	5-3
圖 5.3 模擬之波形[18].....	5-4
圖 5.4 MTSM 來獲得 $I_r$ [18].....	5-4
圖 5.5 量測之洩漏電流、MTSM、電阻性洩漏電流[18].....	5-6
圖 5.6 MTSM 法與補償法之結果比較[18].....	5-6
圖 5.7 外加最大連續運轉電壓操作未老化避雷器之電阻電容波形[19] .....	5-8
圖 5.8 在最大連續運轉電壓 0.8-1.2 P.U.的 $I_{r1peak} - \phi_{clt1}$ 特性[19].....	5-9
圖 5.9 在溫度 23°C、50°C和 100°C的 $I_{r1peak} - \phi_{clt1}$ 特性[19].....	5-9
圖 5.10 兩組 MCOV=36.5kV 之避雷器的 $I_{r1peak} - \phi_{clt1}$ 特性[19] .....	5-10
圖 5.11 解決(5-10)和(5-12)的方法(X軸沒有按照比例) [19].....	5-11
圖 5.12 第一組之 $I_{r1peak}$ 隨電壓變化圖[19] .....	5-13
圖 5.13 第二組之 $I_{r1peak}$ 隨電壓變化圖[19] .....	5-14
圖 5.14 第三組在不同諧波的情況下的電阻性洩漏電流狀況[19] ..	5-15
圖 5.15 測量電壓波形和電阻性洩漏電流電路[20] .....	5-17
圖 5.16 電阻性洩漏電流量測電路[20].....	5-17
圖 5.17 以 FLUXOGRAM 計算避雷器洩漏電流[20].....	5-19
圖 5.18 電路模擬 RC 分支[20] .....	5-20
圖 5.19 電阻 R 的電壓信號[20].....	5-20
圖 5.20 電阻 R2 上的電壓信號[20].....	5-21
圖 5.21 壓敏電阻的電流信號[20].....	5-21

圖 5.22 電場傳感器[21].....	5-22
圖 5.23 基本成分之向量圖[21].....	5-24
圖 5.24 三次諧波成分之向量圖[21].....	5-24
圖 5.25 探測避雷器洩漏電流器的結構[21].....	5-26
圖 5.26 算法的流程圖[21].....	5-28
圖 5.27 避雷器洩漏電流探測器的測試連接圖[21] .....	5-29
圖 5.28 氧化鋅可變電阻體之典型電壓-電流特性[32] .....	5-33
圖 5.29 在+20°C下之典型標準電壓相依特性[32] .....	5-34
圖 5.30 在 $U_C$ 下之典型標準化溫度相依特性[32].....	5-34
圖 5.31 依非線性氧化鋅可變電阻體不同電容成分及電壓-電流特性之 洩漏電流內三次諧波的錯誤評估及不同系統電壓諧波之相角[32] .....	5-35
圖 5.32 標準電壓操作實況之轉換資訊[32].....	5-37
圖 5.33 標準周遭溫度實及情況之轉換資訊[32] .....	5-37
圖 5.34 三相氧化鋅避雷器直線排列示意圖 .....	5-39
圖 5.35 相間耦合對洩漏電流測量影響的相量圖[26].....	5-40
圖 5.36 監測原理分析流程圖 .....	5-42
圖 5.37 以 C 語言實現數學等式.....	5-45
圖 5.38 洩漏電流數值擷取流程圖 .....	5-46
圖 5.39 離散點的示意圖 .....	5-47
圖 5.40 計算後各筆的數值 .....	5-47
圖 5.41 相位偵測方法 .....	5-48
圖 5.42 $I_r$ 與 $I_c$ 之向量關係圖.....	5-49
圖 6.1 避雷器監測站 .....	6-1
圖 6.2 EXCOUNT-II 標準型感測器與掌上型接收器.....	6-2

圖 6.3 EXCOUNT-II 與電場感測器 .....	6-2
圖 6.4 避雷器線上監測系統 .....	6-3
圖 6.5 避雷器總洩漏電流監測紀錄趨勢圖 .....	6-3
圖 6.6 避雷器電阻性洩漏電流監測紀錄趨勢圖 .....	6-4
圖 6.7 中寮系統避雷器維護資料畫面 .....	6-5
圖 6.8 避雷器遙測監控系統架構規劃圖 .....	6-6
圖 6.9 避雷器洩漏電流子系統架構 .....	6-7
圖 6.10 數據處理單元 .....	6-8
圖 6.11 數據接收單元 .....	6-8
圖 6.12 ARM 核心功能規劃 .....	6-9
圖 6.13 ARM9 之模組 .....	6-10
圖 6.14 GPRS (3.5G) 通訊硬體系統方塊圖.....	6-10
圖 6.15 SIM 卡座接線圖 .....	6-11
圖 6.16 GSM/GPRS 型資料蒐集與控制模組圖正面.....	6-12
圖 6.17 GSM/GPRS 型資料蒐集與控制模組圖背.....	6-12
圖 6.18 電流感測器.....	6-14
圖 6.19 JCQ4 型避雷器用監測器 .....	6-15
圖 6.20 JCQ4B-Y1 電錶(背面).....	6-15
圖 6.21 洩漏電流量測模組.....	6-16
圖 6.22 電源電路板 .....	6-17
圖 6.23 比較器電路.....	6-17
圖 6.24 微處理機運算核心.....	6-18
圖 6.25 RS485 通訊模組.....	6-19
圖 6.26 RS485 通訊介面電路.....	6-19
圖 6.27 MODBUS 主從式架構示意圖.....	6-21

圖 6.28 MODBUS RTU 封包傳輸格式.....	6-22
圖 6.29 MODBUS TCP/IP 封包傳輸格式 .....	6-22
圖 6.30 TEKTRONIX TDS1010B .....	6-28
圖 6.31 輸入信號 .....	6-29
圖 6.32 DSPIC33F 取樣值 .....	6-30
圖 6.33 DSPIC33F 進行快速傅立葉轉換後之頻譜圖 .....	6-31
圖 6.34 MATLAB 模擬之結果 .....	6-32
圖 6.35 TEKTRONIX 示波器之頻譜圖 .....	6-33
圖 6.36 突波產生器 .....	6-34
圖 6.37 測試圖 .....	6-34
圖 6.38 分壓電路 .....	6-35
圖 6.39 經過分壓衰減後的波形 .....	6-35
圖 6.40 訊號產生器 .....	6-36
圖 6.41 整體測試 .....	6-36
圖 6.42 氣象資料蒐集單元 .....	6-37
圖 6.43 溫濕度感測器 .....	6-38
圖 6.44 溫濕度感測器尺寸圖 .....	6-38
圖 6.45 現場量測實際圖 .....	6-39
圖 6.46 高壓研究室之加壓設備 .....	6-40
圖 6.47 衝擊電流試驗設備 .....	6-40
圖 6.48 測試板、示波器與監控電腦設備現場圖 .....	6-41
圖 6.49 量測架構圖 .....	6-42
圖 6.50 電場感測器 .....	6-42
圖 6.51 電源板以及微處理機運算板 .....	6-42
圖 6.52 衝擊電流儀器之畫面 .....	6-43

圖 6.53 突波保護器 .....	6-44
圖 6.54 經 10kA 衝擊突波保護器動作之波形 .....	6-44
圖 6.55 ALCL-40 洩漏電流計 .....	6-45
圖 6.56 儀器施加電壓 30kV 之系統畫面 .....	6-46
圖 6.57 儀器施加電壓 40kV 之系統畫面 .....	6-46
圖 6.58 儀器施加電壓 50kV 之系統畫面 .....	6-47
圖 6.59 儀器施加電壓 60kV 之系統畫面 .....	6-47
圖 6.60 儀器施加電壓 72kV 之系統畫面 .....	6-48
圖 6.61 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖 .....	6-49
圖 6.62 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖 .....	6-49
圖 6.63 儀器施加電壓 30kV 之系統畫面 .....	6-50
圖 6.64 儀器施加電壓 35kV 之系統畫面 .....	6-50
圖 6.65 儀器施加電壓 40kV 之系統畫面 .....	6-51
圖 6.66 儀器施加電壓 45kV 之系統畫面 .....	6-51
圖 6.67 儀器施加電壓 50kV 之系統畫面 .....	6-52
圖 6.68 儀器施加電壓 55kV 之系統畫面 .....	6-52
圖 6.69 儀器施加電壓 60kV 之系統畫面 .....	6-53
圖 6.70 儀器施加電壓 65kV 之系統畫面 .....	6-53
圖 6.71 儀器施加電壓 70kV 之系統畫面 .....	6-54
圖 6.72 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖 .....	6-55
圖 6.73 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖 .....	6-56
圖 6.74 ALCL-40 洩漏電流計與微處理機運算值之比較圖 .....	6-56
圖 6.75 全區避雷器監控流程圖 .....	6-58
圖 6.76 個別輸電線路礙子詳細監控流程圖 .....	6-59
圖 6.77 即時監控功能流程圖 .....	6-60

圖 6.78 歷史資料查詢流程圖 .....	6-61
圖 6.79 帳號密碼管理流程圖 .....	6-62
圖 6.80 權限管理流程圖 .....	6-63
圖 6.81 權限角色設定流程圖 .....	6-64
圖 6.82 編輯首頁公告流程圖 .....	6-65
圖 6.83 站點設定流程圖 .....	6-66
圖 6.84 登入帳號密碼 .....	6-67
圖 6.85 首頁畫面 .....	6-68
圖 6.86 功能列表 .....	6-68
圖 6.87 即時資訊畫面 .....	6-69
圖 6.88 異常資料檢索畫面 .....	6-70
圖 6.89 統計報表檢索畫面 .....	6-71
圖 6.90 站點設定畫面 .....	6-71
圖 6.91 通知設定畫面 .....	6-72
圖 6.92 警戒設定畫面 .....	6-72
圖 6.93 軟體架構簡略圖 .....	6-75
圖 6.94 SQL SERVER 資料庫應用軟體.....	6-76
圖 6.95 WINDOW FORM 伺服器端程式架構圖.....	6-77
圖 6.96 SERVER 端啟動畫面 .....	6-77
圖 6.97 無線通訊單元連線請求畫面 .....	6-78
圖 6.98 無線通訊單元加入系統連線畫面 .....	6-78
圖 6.99 SQL 資料庫資料表架構.....	6-79
圖 6.100 帳號權限關聯圖.....	6-80
圖 6.101 線性可分之分類超平面 .....	6-82
圖 6.102 支撐向量機分類架構.....	6-83

圖 6.103 一對多的 SVM 設計之樹狀示意圖 .....	6-85
圖 6.104 一對一的 SVM 設計之樹狀示意圖 .....	6-86
圖 6.105 SVM 分類架構 .....	6-88
圖 6.106 SVM TRAINING 架構圖 .....	6-95
圖 6.107 EXCEL SVM 訓練檔 .....	6-95
圖 6.108 建立 SVM 分類器 .....	6-96
圖 6.109 TESTING WIZARD STEP1 .....	6-96
圖 6.110 TESTING WIZARD STEP2 .....	6-96
圖 6.111 SVM 功能畫面 .....	6-98
圖 6.112 SVM 診斷畫面 .....	6-98
圖 7.1 新營-下營二路#19 鐵塔現地整體系統 .....	7-1
圖 7.2 各相量測箱體之位置圖 .....	7-2
圖 7.3 溫濕度與電源/通訊箱體 .....	7-2
圖 7.4 電場收集盤安裝實體圖(新營-下營二路#19 鐵塔) .....	7-3
圖 7.5 TRANSINOR AS 型號 FP-3 的波形 .....	7-4
圖 7.6 自製電盤的波形 .....	7-4
圖 7.7 已拆除 TRANSINOR AS 電盤 .....	7-5
圖 7.8 現地風力發電機架設圖 .....	7-5
圖 7.9 太陽能板組裝完成圖 .....	7-6
圖 7.10 控制箱體內部圖 .....	7-6
圖 7.11 龍崎超高壓變電所現地整體系統 .....	7-7
圖 7.12 夾式治具 .....	7-7
圖 7.13 電場收集盤安裝實體圖(龍崎超高壓變電所) .....	7-8
圖 7.14 電源引接圖(使用備用端子) .....	7-8
圖 7.15 新設管路 .....	7-9

圖 7.16 電源信號纜線引接之管溝 .....	7-9
圖 7.17 電源配電箱 .....	7-10
圖 7.18 通訊電路箱體 .....	7-10
圖 7.19 量測電路箱體 .....	7-11
圖 7.20 屋外型溫濕度計設置位置圖 .....	7-11
圖 7.21 濕度趨勢折線圖 .....	7-12
圖 7.22 溫度趨勢折線圖 .....	7-12
圖 7.23 R 相總洩漏電流趨勢圖 .....	7-16
圖 7.24 R 相電阻性洩漏電流趨勢圖 .....	7-16
圖 7.25 R 相三次諧波成份趨勢圖 .....	7-16
圖 7.26 ABB EXCOUNT II 總洩漏電流擷取系統畫面 .....	7-17
圖 7.27 ABB EXCOUNT II 電阻性洩漏電流擷取系統畫面 .....	7-17
圖 7.28 新營-下營二路 R 相測量值比較 .....	7-22
圖 7.29 新營-下營二路 S 相測量值比較 .....	7-23
圖 7.30 新營-下營二路 T 相測量值比較 .....	7-23
圖 7.31 R 相總洩漏電流趨勢圖 .....	7-25
圖 7.32 S 相總洩漏電流趨勢圖 .....	7-25
圖 7.33 T 相總洩漏電流趨勢圖 .....	7-25
圖 7.34 R 相電阻性洩漏電流趨勢圖 .....	7-26
圖 7.35 S 相電阻性洩漏電流趨勢圖 .....	7-26
圖 7.36 T 相電阻性洩漏電流趨勢圖 .....	7-26
圖 7.37 R 相三次諧波成份趨勢圖 .....	7-27
圖 7.38 S 相三次諧波成份趨勢圖 .....	7-27
圖 7.39 T 相三次諧波成份趨勢圖 .....	7-27
圖 7.40 電流電壓向量圖 .....	7-28

圖 8.2 GE 賽萊特式避雷器斷面圖[27] .....	8-2
圖 8.3 GE, ALUGARD 賽萊特避雷器外型圖[27] .....	8-2
圖 8.4 雷擊波電流波形[27] .....	8-3
圖 8.5 接地電阻測試方法[27] .....	8-5
圖 8.6 試驗用脈波發生迴路圖[27] .....	8-7
圖 8.7 漏電流試驗[27] .....	8-7
圖 8.8 WH 自閘避雷器上部斷面圖[27] .....	8-9
圖 8.9 WH 製 SV-SVS 自閘型避雷器外型圖[27] .....	8-9
圖 8.10 V-I 特性曲線[27] .....	8-10
圖 8.11 OB 製 161kV MPR 型避雷器內部構造[27] .....	8-12
圖 8.12 OB 製 DYNAGAP 避雷器外型圖[27] .....	8-13
圖 8.13 避雷器理想之特性曲線[27] .....	8-14
圖 8.14 144kV 避雷器構造[27] .....	8-21
圖 8.15 簡易試驗電路圖[27] .....	8-25
圖 8.16 加拿大電力公司維護表(1) .....	8-34
圖 8.17 加拿大電力公司維護表(2) .....	8-35
圖 8.18 加拿大電力公司維護表(3) .....	8-36
圖 8.19 加拿大電力公司維護表(4) .....	8-37
圖 8.20 加拿大電力公司維護表(5) .....	8-38

# 表 目 錄

表 1.1 印度 ELPRO 72kV 避雷器電氣特性.....	1-1
表 1.2 供電處現行避雷器維護重點工作一覽表 .....	1-12
表 2.1 典型之非故障相對地電壓升程度與時間 .....	2-3
表 2.2 供電處高壓避雷器之額定 .....	2-5
表 2.3 高壓避雷器之額定與對應之 MCOV[24] .....	2-5
表 2.4 三相系統之避雷器額定電壓選擇表 .....	2-7
表 2.5 中間級避雷器保護特性[24].....	2-8
表 2.6 變電所級避雷器保護特性[24].....	2-9
表 2.7 配電級避雷器保護特性[24].....	2-10
表 2.8 配電級避雷器(保護迴轉機及乾式變壓器用者) 特性[24] ....	2-10
表 2.9 ABB 避雷器 .....	2-12
表 2.10 TRIDELTA 避雷器 .....	2-13
表 2.11 SIEMENS 避雷器 .....	2-14
表 2.12 HUBBELL 避雷器 .....	2-15
表 2.13 TOSHIBA 避雷器 .....	2-16
表 2.14 ELPRO 避雷器 .....	2-17
表 2.15 OB 避雷器 .....	2-18
表 2.16 72kV 絕緣套管耐壓試驗 .....	2-19
表 2.17 144kV 絕緣套管耐壓試驗 .....	2-20
表 2.18 288kV 絕緣套管耐壓試驗 .....	2-20
表 2.19 72kV 試驗 .....	2-21
表 2.20 144kV 試驗 .....	2-21
表 2.21 288kV 試驗 .....	2-21
表 2.22 脈衝波形 .....	2-22

表 2.23 液浸式避雷器絕緣耐壓試驗試驗電壓 .....	2-23
表 2.24 雷電衝擊分級電流 .....	2-23
表 2.25 開關突波分級電流 .....	2-24
表 2.26 站級與配電級避雷器之短路試驗電流 .....	2-24
表 2.27 避雷器之分級電流與最低性能要求 .....	2-25
表 2.28 標準額定電壓值 .....	2-26
表 2.29 20KA 和 10KA 避雷器線路放電試驗參數 .....	2-27
表 2.30 5 KA 和 2.5 KA 避雷器長週期電流衝擊試驗需求 .....	2-27
表 2.31 操作衝擊殘餘電壓試驗之峰值電流 .....	2-31
表 2.32 每單位額定電壓下 20 KA 和 10 KA 等級避雷器殘餘電壓 .	2-31
表 2.33 每單位額定電壓下 5 KA、2.5 KA 和 1.5KA 等級避雷器殘餘電 壓.....	2-32
表 2.34 供電處規範標準 .....	2-32
表 3.1 加速老化之樣本和其初始條件表[2].....	3-3
表 3.2 測試避雷器的規格[1].....	3-18
表 3.3 每個測試之最高溫升[1].....	3-19
表 3.4 氧化鋅避雷器性能表[17].....	3-24
表 3.5 某沿海地區 200kV 變電站主變中壓側 MOA 帶電測試結果[17] .....	3-25
表 3.6 某 110kV 變電站 MOA 帶電測試結果[17].....	3-26
表 3.7 MOA 停電測試結果[17].....	3-26
表 3.8 各國耐污染測試方法與結果比較 .....	3-28
表 4.1 針對不同的污染嚴重程度的平均外部放電[6].....	4-2
表 4.2 用於污染測試的樣品特徵[6].....	4-4
表 4.3 電荷測量設備的最低要求[6].....	4-4

表 4.4 溫度設備的最低要求[6].....	4-5
表 4.5 初始水含鹽量[7].....	4-14
表 5.1 避雷器資料[18].....	5-5
表 5.2 以補償技術獲得之峰值比較[19].....	5-12
表 5.3 功率損耗比較[19].....	5-12
表 5.4 比較結果[19].....	5-16
表 5.5 探測器測量數據[21].....	5-29
表 5.6 傳統方法測量數據[21].....	5-30
表 5.7 電阻性洩漏電流量測方法比較 .....	5-38
表 6.1 後端監控中心之 REQUEST 傳輸格式.....	6-23
表 6.2 前端資料收集站 RESPONSE 傳輸格式 .....	6-23
表 6.3 UNIT IDENTIFIER 功能碼表 .....	6-24
表 6.4 FUNCTION CODE 功能碼表 .....	6-24
表 6.5 MODBUS 功能碼表.....	6-25
表 6.6 MODBUS 資料傳輸協定(風光系統端).....	6-25
表 6.7 MODBUS 資料傳輸協定(突波計數器端).....	6-26
表 6.8 MODBUS 資料傳輸協定(洩漏電流端).....	6-26
表 6.9 溫度感測器規格表 .....	6-38
表 6.10 微處理機運算結果 .....	6-48
表 6.11 微處理機運算與加壓儀器結果比較 .....	6-48
表 6.12 微處理機運算結果 .....	6-54
表 6.13 微處理機運算與加壓儀器洩漏電流結果比較 .....	6-54
表 6.14 微處理機運算與洩漏電流計三次諧波結果比較 .....	6-55
表 6.15 INPUT DATA .....	6-89
表 6.16 DESIRE DATA .....	6-90

表 6.17 SVM-1.....	6-91
表 6.18 SVM-2.....	6-92
表 6.19 SVM-3.....	6-93
表 6.20 SVM-4.....	6-94
表 6.21 11 月份現地資料輸入測試模型結果 .....	6-97
表 7.1 3 月份氣象觀測儀之氣象資料 .....	7-13
表 7.2 中央氣象局 3 月份之氣象資料 .....	7-14
表 7.3 新營站監測資料(原始).....	7-15
表 7.4 計算樣本表 .....	7-19
表 7.5 利用 5/27 數據樣本計算之結果 .....	7-20
表 7.6 龍崎站監測資料 .....	7-24
表 7.7 ABB EXCOUNT II 避雷器線上監測系統採購成本 .....	7-30
表 7.8 自製避雷器線上即時監測系統建置成本 .....	7-30
表 7.9 固定式監測系統綜合性能對照表 .....	7-31
表 A.1 雷電衝擊耐壓試驗(乾燥).....	A4
表 A.2 雷電衝擊耐壓試驗(潮濕).....	A4
表 A.3 開關脈衝耐壓試驗(潮濕).....	A5
表 A.4 電源頻率耐壓試驗(潮濕).....	A5
表 A.5 急劇升降之脈衝電流殘餘電壓測試 .....	A6
表 A.6 雷電衝擊殘餘電壓試驗 .....	A6
表 A.7 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50MS(乾燥).....	A7
表 A.8 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50MS(乾燥).....	A7
表 A.9 功率頻率耐壓測試，50Hz, 60s,潮濕 .....	A8
表 A.10 功率頻率耐壓測試，60Hz, 10s ,潮濕 .....	A8
表 A.11 功率頻率耐壓測試，60Hz, 60s,潮濕 .....	A8

表 A.12 SBKC 6~288/10.3 型號系列之測試(1) .....	A9
表 A.13 SBKC 6~288/10.3 型號系列之測試(2) .....	A10
表 A.14 測試結果.....	A11
表 A.15 SBKC 84/10.3 (UR=84KV) 避雷器短路測試結果.....	A12
表 A.16 3EL2 系列避雷器技術數據.....	A13
表 A.17 避雷器技術數據.....	A13
表 A.18 耐壓值表.....	A14
表 A.19 60 秒脈衝間隔之兩個持續長時間的電流脈衝 .....	A15
表 A.20 各個避雷器之保護特性表 .....	A17
表 A.21 電源頻率電壓測試避雷器特性 .....	A18
表 A.22 電源頻率電壓測試之施加電壓 .....	A19
表 A.23 電源頻率電壓總測試結果 .....	A20
表 A.24 加速劣化測試樣本特性 .....	A21
表 A.25 加速劣化程序之測試結果 .....	A21
表 A.26 高分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試樣本 .....	A22
表 A.27 高分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試條件 .....	A22
表 A.28 分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試結果 .....	A22
表 A.29 污染測試之洩漏電流的電阻性分量(1).....	A24
表 A.30 污染測試之洩漏電流的電阻性分量(2).....	A24
表 A.31 避雷器的最大設計懸臂負載和濕氣浸潤測試樣本 .....	A24
表 A.32 避雷器的最大設計懸臂負載和濕氣浸潤測試結果 .....	A25
表 A.33 水份浸潤測試結果 .....	A25
表 A.34 OB VN 型號避雷器.....	A26
表 A.35 OB SVN 型號避雷器 .....	A27
表 A.36 OB PVI 型號避雷器 .....	A27

表 A.37 OB PDV-100 型號避雷器 .....	A28
表 A.38 OB PDV-65 型號避雷器 .....	A28
表 A.39 OB PVR 型號避雷器 .....	A29
表 A.40 OB 製 ZNO 廠家特性 .....	A29

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與目標

電力系統運轉的可靠性、經濟效益取決於系統中各種電氣設備的絕緣協調及工作狀況，而電力系統中經常出現的雷擊突波暫態過電壓和開關突波暫態過電壓是影響設備絕緣狀態的最主要的因素之一。為了把電力系統運轉的可靠性以及電力系統的建設成本都控制在比較合理的水準，需要廣泛的結合電力設備絕緣性能及各種保護裝置，提昇暫態過電壓防護效能。

輸電線路暫態過電壓保護方法基本上可以分為兩類：(1) 屏蔽、疏導暫態過電壓，例如鋪設架空遮蔽接地線以及降低鐵塔接地電阻，來防範直接雷擊及降低雷擊之電壓突波幅值。(2) 使用避雷器限制電氣設備之暫態過電壓：電源線經避雷器與大地連接，當避雷器動作時，可將突波能量導向地面，因而抑制電氣設備端所承受之暫態過電壓。

前述方法中，避雷器是一種重要的暫態過電壓保護電氣設備，其性能的優劣不但對電氣設備安全運轉有著很大的作用，而且對電力系統的經濟效益，具有顯著的影響。

避雷器在啟用後，使用者往往無法判斷其在線上運轉時，是否可以持續保護設備運轉安全；為防止氧化鋅避雷器發生故障，傳統的做法是定期對氧化鋅避雷器進行絕緣維護測試，但停電測試具有很大的局限性。現場檢測避雷器狀態的方法，需要檢測人員定期到現場進行查看，為了在線上即時了解避雷器狀態，有必要提出了一種基於 GPRS 的線上即時監測避雷器性能狀態的新方法，該方法可以通過 GPRS 網路監測氧化鋅避雷器的狀態，以便即時排除性能異常避雷器。

隨著無線網路的發展，網路化遠距離的氧化鋅避雷器線上監測將能實現，並將成為一種的重要方法。因此，即時遠端線上監測具有十分重要的意義。

避雷器是保證電力系統安全運轉的重要保護設備之一。現行避雷器之維護人力及線上量測(如紅外線檢測、三次諧波、總洩漏、電阻性洩漏，含停電絕緣特性試驗、功率分析等測量)項目增加維護人力。故需研究建立一套線上即時監測系統及歸納整理有效定期量測的方法與準則，使維護人員可隨時掌握避雷器之運轉狀況並立即診斷判別避雷器良劣與否。

本研究計畫目的在於建立一套整合溫度、溼度之氣象資料、避雷器洩漏電流自動監測之遙測監控系統，對避雷器進行即時監測，應用以 SVM(Support Vector Machine)為基礎之模型辨識技術，分析氣象參數與避雷器洩漏電流/放電之關係，並建立合理之避雷器之維護機制。

目標：

計畫第一年：

- (一)完成分析各廠牌不同電壓等級避雷器之電氣特性(包括：介質功率損失  $P$ 、介質功率因數 p.f.、電壓分佈、電阻性洩漏電流  $I_r$ 、三次諧波電流  $I_{180}$ )。
- (二)從洩漏電流、材質及絕緣電阻等特性來分析聚合型與陶瓷型避雷器之耐污染能力，並蒐集國內、外資料，檢討現行耐污損之相關規範。
- (三)應用微處理機/嵌入式系統與 GPRS 無線通訊模組設計與發展一套整合氣象資料(溫度、溼度)參數蒐集及避雷器洩漏電流(含三次諧波、電阻性洩漏電流、總洩漏電流)、雷擊次數監測之遙測監控系統。
- (四)選擇連接站、變電所各一處進行安裝與測試。

計畫第二年：

- (一)進行連接站、變電所溫溼度氣象參數資料以及避雷器洩漏電流資料蒐集。
- (二)應用以 SVM(SUPPORT VECTOR MACHINE)為基礎之模型辨識技術，分析氣象參數與避雷器洩漏電流之關係。
- (三)蒐集世界先進國家維護避雷器所作測試及試驗工作種類。比較國外與供電處目前所施行之避雷器(停電與非停電)維護作業方式，並提出有效之避雷器檢測方式、維護週期供維護單位施行。

預期成效：

計畫第一年：

- (一)開發完成避雷器線上即時監測系統並安裝於連接站與變電所，以量測診斷所蒐集之資訊並評估避雷器狀態。

計畫第二年：

(一)建立有效之避雷器檢測方式及適當之維護週期。

## 1.2 研究方法及步驟

針對本計畫需求規範書以及計畫進度表需完成的工作項目所要用到的研究方法與技術，將依照下列單元敘述：

- 一. 分析各廠牌不同電壓等級避雷器之電氣特性(包括：介質功率損失  $P$ 、介質功率因數 p.f.、電壓分佈、電阻性洩漏電流  $I_r$ 、三次諧波電流  $I_{180}$ )
- 二. 從洩漏電流、材質及絕緣電阻等特性來分析聚合型與陶瓷型避雷器之耐污染能力，並蒐集國內、外資料，檢討現行耐污損之相關規範
- 三. 避雷器洩漏電流與氣象參數參數關聯性分析
- 四. 蒐集世界先進國家維護避雷器所作測試及試驗工作種類。比較國外與供電處目前所施行之避雷器(停電與非停電)維護作業方式，並提出有效之避雷器檢測方式、維護週期供維護單位施行

- 一. 分析各廠牌不同電壓等級避雷器之電氣特性(包括：介質功率損失  $P$ 、介質功率因數 p.f.、電壓分佈、電阻性洩漏電流  $I_r$ 、三次諧波電流  $I_{180}$ )

(一) 避雷器之特性

在連續運轉電壓作用下，氧化鋅避雷器是作用在低電流區域範圍內，其簡化等效電路如圖 1.1[16]所示，它由一個非線性電阻與電容並聯。

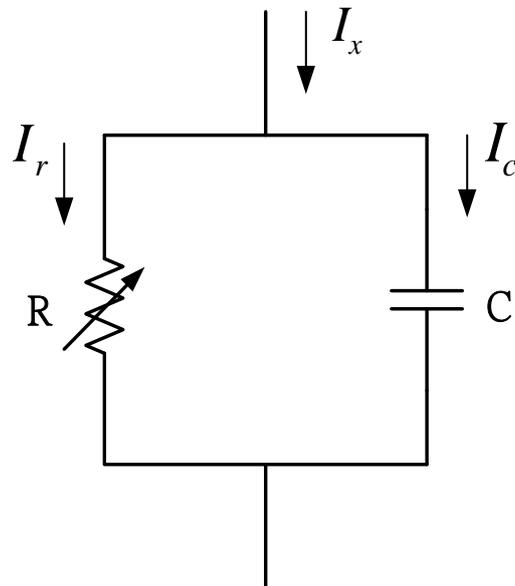


圖 1.1 氧化鋅避雷器簡化等效電路[16]

由圖可知 MOA 由非線性電阻 R 和電容 C 並聯組成。其中  $I_x$  為 MOA 的總洩漏電流， $I_r$  為電阻性洩漏電流， $I_c$  為容性電流。在正常的系統電壓下，流經避雷器的洩漏電流  $I_x$  很小，其中容性洩漏電流是由氧化鋅電阻膜片間的電容、雜散電容及內部電容組成，一般為 0.5~3mA（與氧化鋅閘元件直徑有關），電阻性分量  $I_r$  所占比重很小，只占到全電流的 5%~20%，一般為 50~250 $\mu$ A[11]。

氧化鋅元件的非線性特性，主要係靠其將吸收的能量化為熱能並散發掉。當其吸入的熱量少於散發的熱量，氧化鋅閘元件就呈穩定狀態；反之就是不穩定狀態，稱之為熱崩潰(thermal runaway)[9]。如圖 1.2。

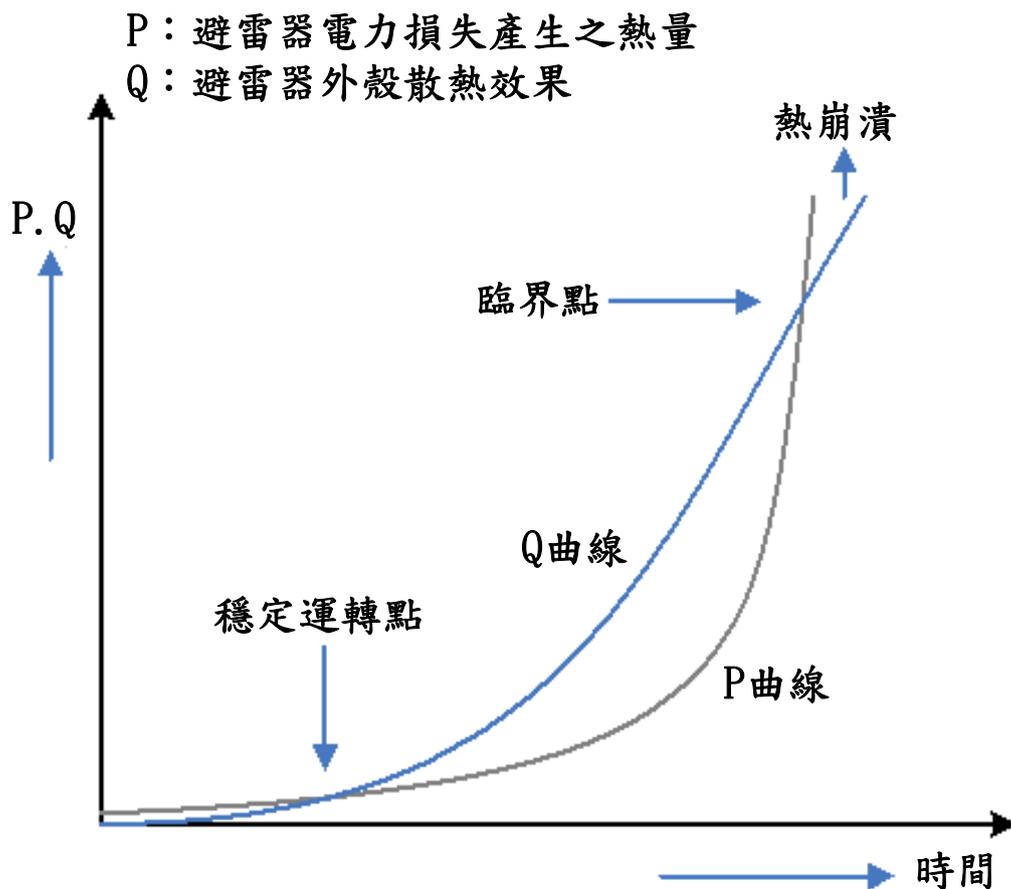


圖 1.2 氧化鋅的穩定性與熱崩潰趨勢示意圖[9]

氧化鋅避雷器其整個電壓-電流特性曲線如圖 1.3 所示包括有三個區域：

(1) 第一區(低電流區域)，該區域的電壓-電流特性曲線比較陡峭，具有較好的線性特性，呈絕緣狀態，通過的電流很小一般為 10-15 $\mu$ A。由於碟片有電容，在交流電壓下總電流可達數百  $\mu$ A。

(2) 第二區(崩潰區)，MOA 限制過電壓的作用就由此區開始，隨後逐漸加強。該區電壓-電流特性非常平坦，具有較好的非線性。

(3) 第三區(高電流區)，在該區域內氧化鋅碟片晶體的固有電阻開始起作用，特性曲線開始往上走。MOA 的電壓-電流特性曲線接近理想避雷器的電壓-電流特性曲線，其非線性特性較 SiC 碟片避雷器好。

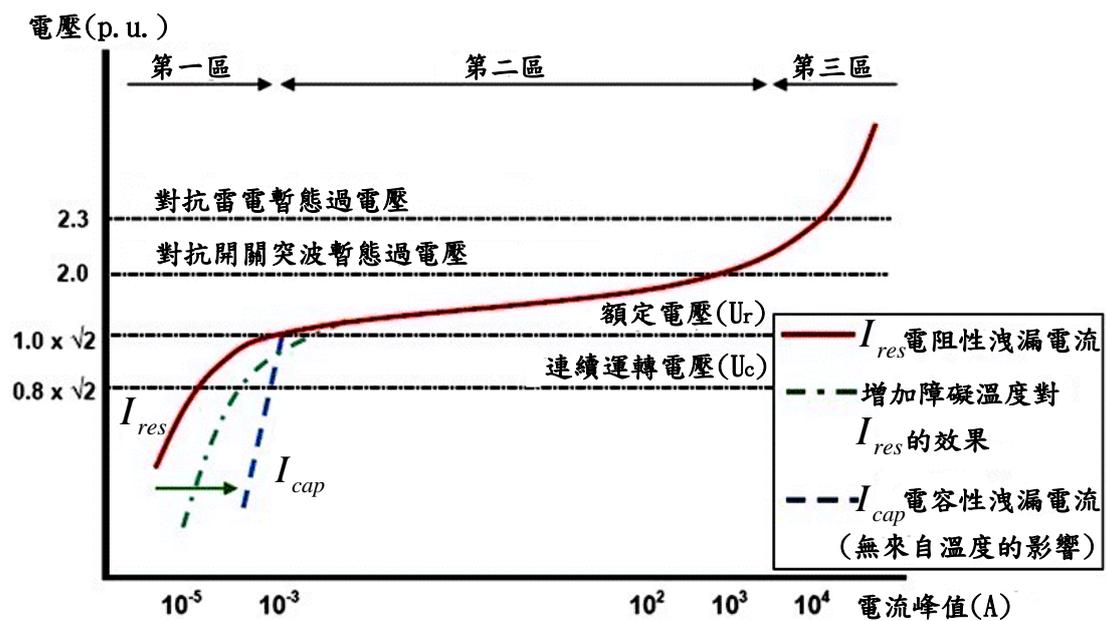


圖 1.3 避雷器 V-I 特性曲線圖

表 1.1 所示為印度 ELPRO 公司所出產的 72kV 避雷器電氣特性資料。

表 1.1 印度 ELPRO 72kV 避雷器電氣特性

耐壓試驗 (陶瓷型)		
60 Hz, 1 分鐘乾式測試電壓	175	kV rms
60 Hz, 10 秒鐘濕式測試電壓	145	kV rms
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s)	350	kV crest
於最大連續工作電壓下的洩漏電流	$\leq 3$	mA
在 60°C 環境溫度與額定電壓條件下，避雷器可以不短路且通電下的持續時間		
在 1.4MCOV 的情況下	8	sec
在額定負載閃烙試驗電壓	1000	sec
最大波前衝擊保護位準電壓	$\leq 205$	kV crest
10kA 陡波脈衝之最大殘餘電壓	$\leq 190$	kV crest
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓	$\leq 175$	kV crest
最大開關突波保護等級(500A)	$\leq 145$	kV crest
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓		
在衝擊電流 1,500 A	$\leq 155$	kV crest
在衝擊電流 3,000 A	$\leq 160$	kV crest
在衝擊電流 5,000 A	$\leq 165$	kV crest
在衝擊電流 10,000 A	$\leq 175$	kV crest
在衝擊電流 20,000 A	$\leq 190$	kV crest
在衝擊電流 40,000 A	$\leq 215$	kV crest
持續高電流(4-6)x(10-15) $\mu$ s 波	100,000	A
在 1 分鐘內最大放電能量	8.9	kJ/kV MCOV
故障電流導致減壓裝置動作的最長時間		
在 40,000 - 60,000A (sys.rms)	0.085	sec
在 400 - 600A (sys.rms)	1	sec
內部壓力導致陶瓷破裂的百分比	8	%
總高度	1111	mm
最小的表面沿面距離	2565	mm
總重量	105	kg
水平的抗震設計	0.5g	
垂直的抗震設計	0.3g	
避雷器適合之系統頻率	60	Hz
避雷器型號編號	9LS1	BMH072

間隙避雷器洩放突波電壓之後尚有商用頻率對地電壓的續流，由於氧化鋅元件的非直線性電阻特性優良，續流極小，因此對多重雷擊波或開關突波等有充分能力處理，無間隙氧化鋅元件可併聯連結，利用數個 ZnO 串併聯連接，使放電增大；反之 SiC 型因有串聯氣隙，併聯十分困難，放電能量亦比 SiC 型的大，ZnO 避雷器對任何突波都可動作，有效疏導了暫態過電壓，以達到保護設備的目的。

避雷器應具有優良的暫態過壓保護性能，保護特性優良的傳統式間隙避雷器由間隙開始放電，因此對侵入脈波電壓之放電有延時現象，在正常運轉時，間隙為絕緣抑阻商用頻率之電流通過，但當遇雷擊波或開關突波時，間隙絕緣破壞而產生放電現象。故其保護特性因受間隙特性影響，而氧化鋅避雷器無間隙不會發生反應遲延，能迅速抑制脈波高電壓加上有良好非直線性電阻特性，即低電壓時電阻很大，當雷擊波或開關突波流通時，使雷擊波或開關突波電流瞬即導入大地，由小電流到大電流範圍呈現不平坦 V-I 特性如圖 1.3，雷擊及開關突波領域有良好協調保護特性。ZnO 避雷器對接近雷之脈波突波保護極為優良。

二. 從洩漏電流、材質及絕緣電阻等特性來分析聚合型與陶瓷型避雷器之耐污染能力，並蒐集國內、外資料，檢討現行耐污損之相關規範

IEC 60099-4 2009 年版本為突波避雷器- Part 4 : AC 系統無間隙金屬氧化鋅避雷器電氣與各種測試規範，其中在附錄 F 的規範詳述了陶瓷型多節式金屬氧化鋅避雷器之污染溫升試驗流程與範例。規範開宗明義說明了避雷器耐污試驗主要是關係到 1. 避雷器的閃絡電壓，2. 避雷器內部主動元件與外部表面的電場所產生部份放電，3. 因污染所

引起的暫態電壓梯度於內部主動元件造成溫升的現象。該規範僅針對第 3 點即污染所引起的溫升進行測試與計算。

普通陶瓷型避雷器的使用已有長久的歷史，標準規範完備，至今也累積甚多維護經驗，因此對其較為明瞭。一般而言，當陶瓷型避雷器的表面受到污損，在潮濕的狀態下，則可以觀察到避雷器表面放電現象，此種表面放電現象隨著洩漏電流的大小，其放電的程度亦不相同，因此，藉由觀察避雷器表面放電的情況，大致上可了解是否即將達到閃絡事故的階段，但由於此種放電之觀察又涉及當時大氣環境的狀況，例如相對溼度、風速、風向，以及避雷器附著污穢物的種類及程度、污穢物附著於避雷器上之均勻度等各項變數，因而顯得相當複雜，但如果只求大致狀況之把握，則經由實驗可求出沿面放電程度與洩漏電流之間的關係。

輸電級聚合型避雷器之材質及防鹽霧處理，完全基於矽橡膠表面所具有的優異撥水性質，使潮濕時洩漏電流路徑被加以阻斷，因此得以提昇其污損耐電壓特性。此乃因若避雷器表面附著污損物時，此污損物在潮濕狀態下雖呈現導電性，但因撥水性之作用而不會形成連續性的導電路徑而形成不連續之珠串，因而阻止了洩漏電流之增加，使局部電弧之延伸受到抑制而不易發展至閃絡階段，因此聚合型避雷器如果在撥水性正常良好的情況下，洩漏電流極低，對於線路洩漏損失之抑制極有幫助，聚合型避雷器之污損閃絡機制與其撥水性質關係密切，但其撥水性變化與表面材料劣化之間的關係不明之處仍多，因此世界各研究機構仍持續不斷研究探討。

本研究計畫將參酌此 IEC 規範中陶瓷型避雷器的污染測試流程與規範，並將其應用在聚合型避雷器上，以比較其在洩漏電流、材質及絕緣電阻上的耐污能力。

### 三. 避雷器洩漏電流與氣象參數關聯性分析

根據國內外所作之避雷器洩漏電流特性研究方法不外乎應用實驗室在不同的測試條件下(例如不同避雷器種類以及不同避雷器電位梯度等)進行量測並獲得最大洩漏電流值與上述參數間之關係。避雷器洩漏電流除了電阻性洩漏電流外,亦須計算出三次諧波洩漏電流值,其變化趨勢往往與溫溼度等氣候參數變化趨勢有密切的關係。

本研究計畫擬應用 SVM(Support Vector Machine)支撐向量機在模型辨識優異的性能特點,根據所蒐集的避雷器洩漏電流與溫溼度資訊,利用 SVM(Support Vector Machine)技術結合所歸納出的特徵,建立在不同環境條件下的洩漏電流模式,據此可迅速判斷出新的受測洩漏電流模型是否已達受污損的情形。本計畫擬建立的關聯模式包含:洩漏電流與溫溼度關聯模式。

四. 蒐集世界先進國家維護避雷器所作測試及試驗工作種類。比較國外與供電處目前所施行之避雷器(停電與非停電)維護作業方式,

五. 表 1.2 所示為供電處現行避雷器維護重點工作一覽表。

表 1.2 供電處現行避雷器維護重點工作一覽表

類別	項目	週期	標準	依據	備註
日常巡視及外部診斷 不停電量測	洩漏電流量測	1.每年雷雨季(5月)前完成。 2.CG,LAMCO製屋外、所內及線路144kV(含)以上每年2次(5月前、10月後)。 3. $I_{180} > 110\mu A$ 時需縮短量測週期(ex: 1月)。	1.以 ISA AR-2005 量測 $I_{RMS} \leq 2mA$ $I_{180} \leq 110\mu A$ (固定位置量測比較)。 2.TransiNor LCM II 量測 $I_R > 200\mu A$ 6個月追蹤量測一次， $I_R > 800\mu A$ 建議送綜研所特定試驗。 3.SVL 循環電流=0A。	96.7.31 D 供字第 09607064961 號 96.9.21 D 供字第 09609000791 號 96.6.25 D 供字第 09806001011 號 QP-L82-03 電纜導體絕緣及被覆測試程序書	1. $I_{180} > 110\mu A$ 時縮短量測週期，安排停電作 $U_{1mA}$ 及放電特性試驗。 2.停、復電前後量 $I_{180}$ 比較。 3.需長期趨勢追蹤判斷比較。
	紅外線溫度檢測	1年	1.溫度判斷法： 以 70 °C 判定是否有發熱情況。 2.相對溫差法： 溫升的比值 $\geq 35\%$ 時。 3.同類比較法： 同型避雷器設備的三相逐節比較溫差過大(ex.5°C 或更小)。	96.10.11 D 供字第 09610000421 號 供電單位變電設備維護手冊	逐節、逐相比對紅外線溫度
	引線	日常巡視	1.不宜過緊承受拉力，不宜過鬆造成長期搖晃。 2.T 接觸下移可減小晃動。	87.8.11 供電處簽 95.1.18 D 供字第 09501062751 號 98.6.25 D 供字第 09806001011 號	144kV 以上者附雙條導體引接
	計數器(144kV 以上)	日常巡視	1.紀錄動作次數 2.紀錄洩漏電流	98.6.25 D 供字號 09708000341 號	計數器更換前宜先接妥臨時接地線
	接地電阻	1.每年雷雨季(5月)前完成。 2.週邊工程施工後立即量測。	1.超高壓(345kV)0.1Ω 2.一次(161 kV)0.5Ω 3.二次(69 kV) 5Ω 4.鐵塔連接站 1Ω 5.簡易型連接站 10Ω 以下	輸工處變電工程作業手冊 97.11 供電系統管路工程施工規範 96.7.17D 供字第 09608000831 號	

停電維護	絕緣電阻量測	1.初檢1年。 2.屋外6年 (CG,LAMCO製3年) 3.屋內12年一次	1.2.5kV以上高阻器量測1000MΩ以上 (CG,LAMCO製3000MΩ以上)。 2.SVL2MΩ以上。	供電單位變電設備維護手冊 96.623 D 供字第 09606064101 號 96.9.21 D 供字第 09609000791 號 97.9.5 D 供字第 09709000281 號	多節式避雷器逐節量測，並視結果、服一年限及廠牌分級管理
	介質損耗量測	4.SVL初檢1年，若無異常每6年一次。	廠家說明書(或同廠牌、同電壓等級作比較)		
	直流 $U_{1mA}$ 特性試驗	必要時	$\pm 10\% U_{RATED} \times \sqrt{2}$ $I_{0.75U_{1mA}} < 50\mu A$	98.3.24 D 供字第 09803001161 號	可作避雷器放電特性試驗參考
	放電試驗	洩漏電流或直流 $U_{1mA}$ 特性試驗異常	如 LA01 規範 Table 1	LA01 規範	送綜研所試驗
	礙子布拭或注水清掃	布拭或礙掃時	2.5kV以上高阻器量測1000MΩ以上 (CG,LAMCO製3000MΩ以上)。	98.6.1 D 供字第 0980600031 號 98.6.25 供字第 09806001011 號	1.勿攀爬布拭 2.勿直接對釋壓閥沖水噴洗
文件資料整理	建立保養卡	避雷器加入系統或更換	1.釐清變電與線路維護責任。 2.避雷器加入系統前建立廠試、綜研所試驗、盒約號碼、保固期限等背景值。	89.9.8 電供字第 8908-1382 號 96.9.21 D 供字第 09609000791 號	

## 計畫第一年的工作流程

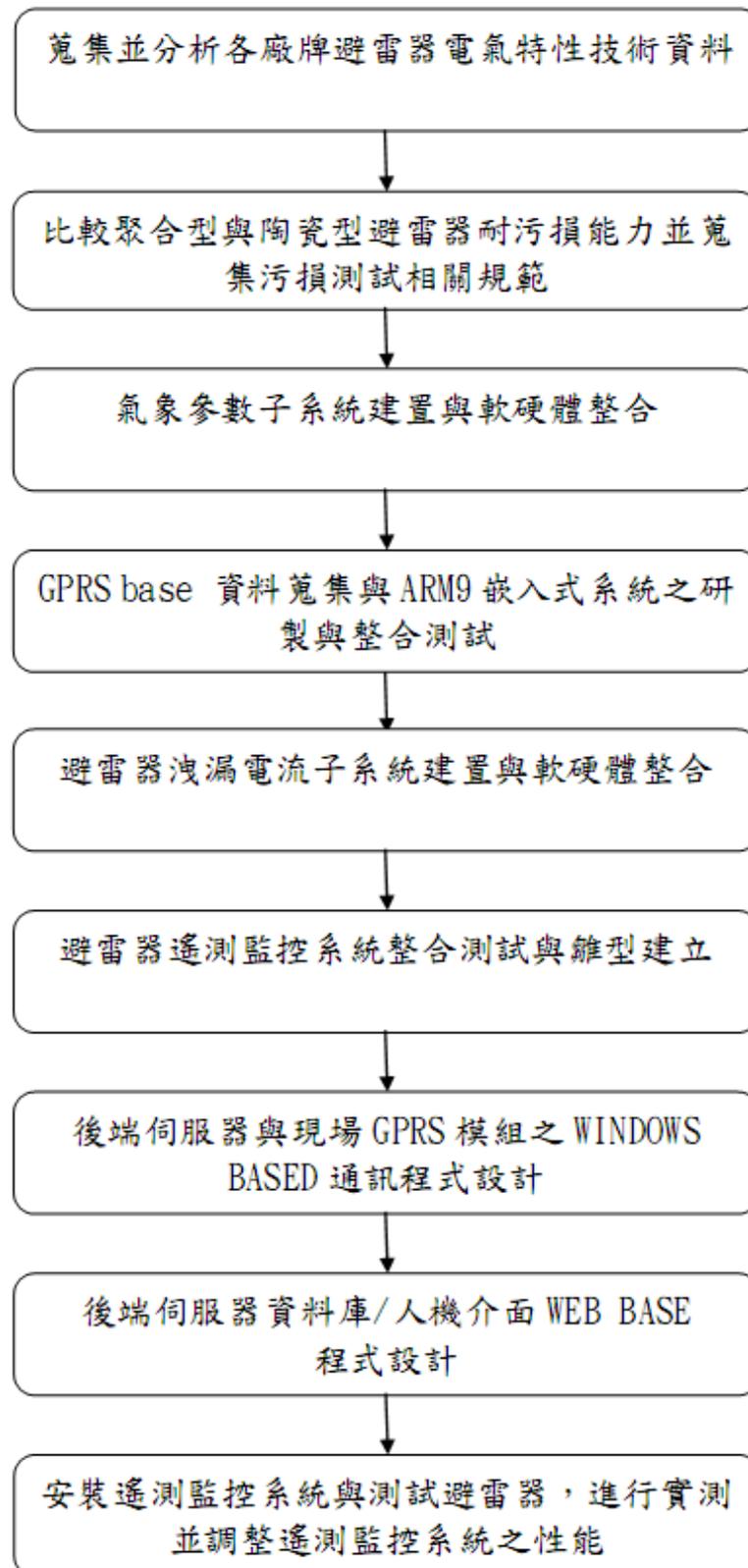


圖 1.4 計畫第一年之進行步驟流程圖

## 計畫第二年的工作流程

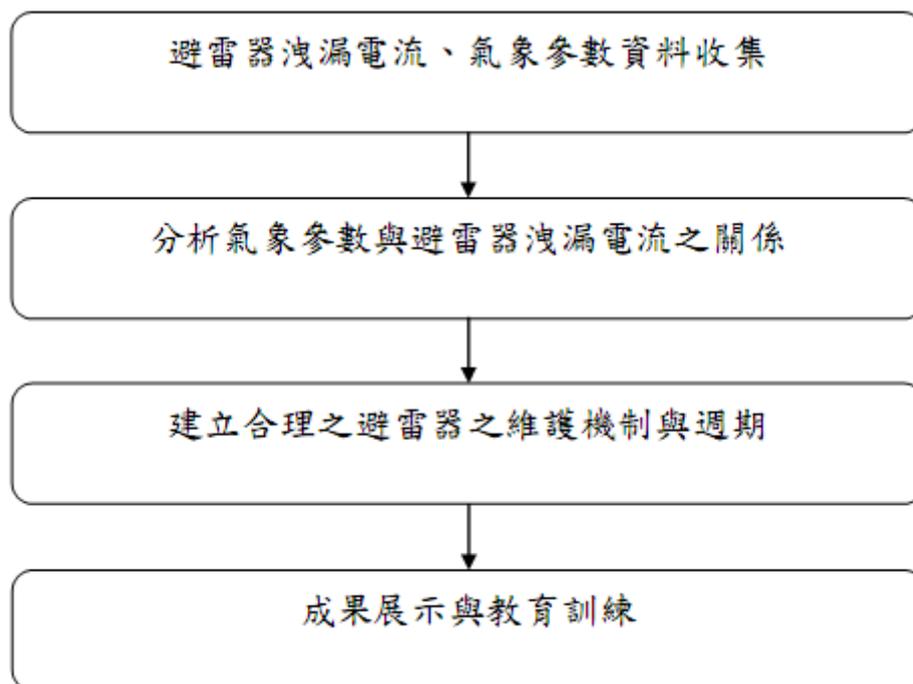


圖 1.5 計畫第二年之進行步驟流程圖

### 1.3 報告內容

章節	報告內容	對應計畫工作項目
第二章	本章節蒐集常見各廠牌避雷器(ABB、TRIDELTA、SIEMENS、HUBBELL、TOSHIBA及ELPRO)於不同電壓等級之電氣特性與測試參數進行分析與比較，並針對國際IEEE、IEC及台電供電處之規範標準進行對照說明。	分析各廠牌不同電壓等級避雷器之電器特性
第三章	本章節針對各國避雷器(聚合型和陶瓷型)耐污能力分析及採行測試方法進行比較與說明。	從洩漏電流、材質及絕緣電阻等特性分析聚合型與陶瓷型避雷器之耐(防)污染能力
第四章	本章節針對國內、外避雷器耐污損之相關規範(IEC 60099-4 2009、IEC 62217 Ed.1、GB/T 20639-2006)對於其測試程序、步驟、環境條件等項目進行初步了解。	蒐集國內外資料，檢討現行耐污損之相關規範
第五章	本章節針對產學界常見的電阻性洩漏電流量測方法進行比較，並說明了本系統採行之監測原理與立論基礎。此章中也特別獨立一小節針對相間電容耦合對於測試數據的影響進行深入探討。	蒐集國內外資料，收集世界各國避雷器監測方法與種類等相關資料，比較其優劣後找出適用本公司之監測系統。
第六章	本章節主要針對洩漏電流監測子系統軟/硬體之設計架構、通訊整合、後端資料庫功能及介面規劃設計進行細部介紹。其並針對採行SVM辨識技巧建構避雷器分類模型與診斷原理及分析步驟作一詳細地說明。	開發即時監測避雷器各種洩漏電流、表面污穢程度、溫濕度…等狀態傳回伺服器儲存，以電腦人工智慧

		方式分析診斷，超過維護標準者發出警訊即時通知維護人員。
第七章	本章節針對安裝於現地兩示範站的系統進行成果實景說明。再者亦針對氣象與避雷器監測數據及相位補償原理進行子小節探討。最後，再針對與市售同樣為固定式監測系統(ABB ExcountII)從成本與性能之角度來探討分析兩者之優缺點。	監測系統安裝於本公司選擇連接站、變電所以驗證可行性。
第八章	本章節針對 161kV 國內外避雷器(GE、W.H、Ohio Brass、ELPRO、CG 及中興日立製槽型)之維護保養與檢查作業方式進行比較。最後，再針對供電處現行避雷器的維護與檢測方法進行差異對照，以了解期間的差異與提出可改進之處。	比較國內外避雷器維護作業方式，並提出有效之避雷器檢測方式、維護週期
第九章	本章主要針對本案所獲致的經驗、心得與成果進行統整總結，並提供未來可供持續改善與因應之建議。	
附錄	檢附龍崎 E/S 及新營下營#19 兩示範站實際蒐集的氣象與避雷器監測數據	連接站、變電所溫濕度氣象參數資料以及避雷器洩漏電流



## 第二章 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數分析

### 2.1 避雷器參數定義[9]

#### 一. 衝擊波絕緣基準(Basic impulse insulation level, BIL)

將各種電力設備依照系統運轉電壓之高低，依其絕緣強度分為若干等級，各級設備進行標準衝擊波試驗時，規定其應能承受之全波試驗最低衝擊波試驗值稱為絕緣基準(Basic insulation level, BIL)。

絕緣基準(BIL)亦稱為基本衝擊波絕緣基準(Basic impulse insulation level)，通常簡稱為BIL。

#### 二. 開關突波絕緣基準(Basic switching impulse insulation level, BSL)

電氣設備耐受  $250 \times 2500 \mu\text{s}$  衝擊波之絕緣能力，衝擊波之持續時間視設備種類而定。

#### 三. 短時暫態過電壓(Temporary overvoltage, TOV)

短時暫態過電壓主要分為下列幾種產生源：

1. 接地或短路故障。
2. 緊急卸載。
3. 無載線路加壓(Energizing unloaded line)。
4. 電力系統共振(resonance)等異常事故所造成。

通常只有第1項於選用避雷器列入考慮，其餘則屬於系統規劃之特別議題。當接地故障發生時，非故障相對地電壓之升高程度(Earth fault factor, EFF)視系統接地情形而定，對直接接地或低電阻接地系統，故障可在一秒鐘內排除，故此短時異常暫態過電壓不致對電氣設備造成絕緣威脅。對非接地、高阻抗或諧振接地系統，則可能導致更

高暫態過電壓(最大值約 2.0 pu)，且持續時間相當長(可達數小時以上)，對於此類問題，須在規劃時選用適當之電氣設備絕緣等級。所以 TOV 之短時暫態過電壓不是避雷器之保護目的，反而是避雷器耐短時暫態過電壓之能力(TOV capacity)須大於系統可能產生之 TOV 暫態過電壓，因此系統只是發生單相接地故障，避雷器不應動作，否則將因為經常動作而損壞。典型之非故障相對地電壓升程度(EFF)與持續時間如表 2.1 所示。

表 2.1 典型之非故障相對地電壓升程度與時間

保護設備本身發生單相接地故障		
種類	EFF(pu)	持續時間
接地系統(Grounded system)	1.2~1.4	1 sec.
非接地系統(Isolated system)	1.73~1.8	4sec. with fault clearing
阻抗共振接地系統(Resonant grounded system)	1.73~2.0	8 hr w/o fault clearing
受保護設備以外之事件影響		
種類	EFF(pu)	持續時間
切離負載(Load rejection)	1.05~1.5	10 sec.
無載線路加壓(Charging unloaded line)	1.0~1.2	10 sec.
阻抗共振耦合或飽和	2.0~5.0	0.5~10sec

#### 四. 開關突波暫態過電壓(Switching overvoltage, SOV)

1. 對於 345kV(含)以上之輸電線路之絕緣設計需考慮開關突波暫態過電壓。
2. 由於開關突波暫態過電壓之上升率(Rate of rise)遠小於雷擊突波暫態過電壓，故距離效應可忽略。

## 五. 雷擊突波暫態過電壓(Lightning overvoltage, LOV)

雷擊突波暫態過電壓因各地區發生雷擊事件次數與密度不同，亦為機率之議題，並屬機率性分佈。雷擊電流造成之突波暫態過電壓，依機制不同可分為下列三種：

1. 感應暫態過電壓(Induced overvoltage)：為較低絕緣等級之配電線路絕緣協調所須考慮之主要項目。
2. 逆閃絡暫態過電壓(Back flash overvoltage)：當輸配電線路之架空地線或鐵塔遭受雷擊，鐵塔之接地電阻太高，雷擊電流通過產生很高之電壓升，使鐵塔之電壓升高超過其絕緣體之閃絡電壓值時，亦會引起絕緣體之閃絡，異常電壓反而由鐵塔侵入線路，此現象稱為逆閃絡。
3. 屏蔽失效暫態過電壓(Shielding failure overvoltage)：由於線路與變電所應具備有效之屏蔽，得以防範較大之雷擊電流侵入，相對而言，侵入之雷擊電流必須被限制在某一程度下，其所造成之暫態過電壓波峰值之威脅應小於逆閃絡暫態過電壓，為完整性仍應列入絕緣協調之考慮項目。

## 六. 最大連續運轉電壓(MCOV)

最大連續運轉電壓表示避雷器在該電壓下仍為不動作之狀態。休息狀態之避雷器僅有很小的洩漏電流，以限制避雷器本身之電力損耗，同時不致干擾到受保護之線路。選用避雷器之 MCOV 時需比系統最大相電壓略高，約為避雷器額定電壓之 0.8 倍，如 69kV 電壓系統，避雷器額定電壓為 72kV，故 MCOV 約為 58kV( $72\text{kV} \times 0.8 = 57.6\text{kV}$ )，詳細設計請參考步驟 3，實例應用如表 2.2 供電處高壓避雷器之額定中 MCOV 欄之所示，表 2.3 所示為 IEEE Std C62.11-2005 年版建議之典型高壓避雷器額定與對應之 MCOV。

表 2.2 供電處高壓避雷器之額定

系統電壓	避雷器額定電壓	MCOV	BIL	放電電壓 (Dis. Volts)
69 kV	72kV	58 kV	350 kV	175 kV
161 kV	144 kV	116 kV	650 kV or 750 kV	350 kV
345 kV	288 kV	232 kV	1300 kV	700 kV

表 2.3 高壓避雷器之額定與對應之 MCOV[24]

工作週期電壓( $kV_{rms}$ )	最大連續運轉電壓( $kV_{rms}$ )
3	2.55
6	5.1
9	7.65
10	8.4
12	10.2
15	12.7
18	15.3
21	17
24	19.5
27	22
30	24.4
36	29
39	31.5
45	36.5
48	39
54	42
60	48
72	57
90	70
96	76
108	84
120	98
132	106
144	115
168	131
172	140
180	144
192	152
228	180
240	190

258	209
264	212
276	220
288	230
294	235
312	245
396	318
420	335
444	353
468	372
496	392
540	428
564	448
576	462
588	470
612	485

## 七. 避雷器額定電壓(Rated Voltage rms, $V_r$ )

避雷器額定電壓為避雷器兩端所承受之最高 AC 電壓有效值，此電壓代表避雷器於放電後保證切斷續流之最高電壓，並非代表放電電壓。

實際上，據避雷器之標準規定，60Hz 電壓值低於避雷器額定值之 150% 以下應不放電，額定電壓的選擇需考慮系統電壓及系統接地條件。

避雷器的額定電壓通常為線路對地之可能最大電壓的 1.25 到 1.55 倍，須視系統接地而定。根據 IEC 標準，預熱 60°C 避雷器之 TOV 耐受能力最少須為  $V_r$  持 10 秒鐘，但實際應用上，以 ABB 之 EXLIM 型之避雷器為例，其 TOV 能力(10sec) =  $1.1V_r$ 。

通常直接接地及有效接地(Effective grounding)的系統以線電壓 80% 左右決定其避雷器額定電壓故稱「80% 避雷器法」，非接地系統或電阻接地系統以大於線電壓 100% 以上決定其避雷器額定電壓故稱「100% 避雷器法」。表 2.4 所示為三相系統之避雷器額定電壓選擇表[25]。

表 2.4 三相系統之避雷器額定電壓選擇表

系統供稱電壓(kV)	避雷器額定電壓(kV)	
	非接地或電阻接地系統	有效接地系統
0.12	0.65	0.175
0.24	0.65	0.65
11.4	15	9
22.8	30	18
69	72	60
161	-	144
345	-	276

#### 八. 有效接地(Effective grounding)系統

電力系統中一相發生接地故障時，健全相對地電壓不超過系統電壓之 80% 者以及在  $R_0/X_1 < 1$  與  $X_0/X_1 < 3$  時，稱為有效接地系統。

#### 九. 放電電壓或擊穿電壓(Discharge Voltage)

避雷器在放電電流通過後兩端所出現之波峰電壓，有時又稱 IR 壓降或稱殘餘電壓(Residual Voltage)，IEEE Std C62.11-2005 是以  $8 \times 20 \mu\text{s}$  突波電流通過後之最大電壓為準，如表 2.5 至表 2.8 所示。

#### 十. 衝擊波放電之開始電壓(Impulse Spark overvoltage)

經衝擊電壓試驗決定，以 IEEE Std C62.11-2005 為例，以波前電壓上昇率  $100 \text{ kV}/\mu\text{s}$  之衝擊波試驗以及  $1.2 \times 50 \mu\text{s}$  衝擊波試驗，在波前放電的最大電壓值，如表 2.5 至表 2.8 所示。

表 2.5 中間級避雷器保護特性[24]

避雷器 額定電壓 (kVrms)	波頭放電電壓		$8 \times 20 \mu\text{s}$ 突波電流放電電壓值		
	電壓升高率 kV/ $\mu\text{s}$	電壓峰值 kV(Crest)	5000A kV(Crest)	10000A kV(Crest)	20000A kV(Crest)
3	25	12	10	10.8	12.5
6	50	31	19.6	21.6	24.5
9	75	35	29	32	36
12	100	45	36.5	40.5	48
15	125	55	46	51	60
21	175	72	63	70	83
24	200	90	76	84	95
30	250	105	90	100	118
36	300	125	116	129	143
39	325	130	125	139	164
48	400	155	152	169	188
60	500	190	180	200	233
72	600	230	230	255	282
90	750	283	274	302	349
96	800	300	296	328	372
108	900	335	338	375	417
120	1000	370	375	415	463

表 2.6 變電所級避雷器保護特性[24]

避雷器 額定電壓 (kVrms)	波頭放電電壓		8×20μs 突波電流放電電壓值		
	電壓升高率 kV/μS	電壓峰值 kV(Crest)	5000A kV(Crest)	10000A kV(Crest)	20000A kV(Crest)
3	25	12	8.5	9	10
6	50	31	17	19	20
9	75	35	24	26	28
12	100	45	32	35	38
15	125	55	40	44	47
21	175	72	55	60	65
24	200	90	65	71	76
30	250	105	80	87	94
36	300	125	96	105	113
39	325	130	104	114	123
48	400	155	130	142	153
60	500	190	160	174	189
72	600	230	195	212	230
90	750	283	240	262	283
96	800	300	258	280	304
108	900	335	282	316	333
120	1000	370	320	350	378
144	1200	440	375	408	440
168	1200	510	450	490	530
180	1200	545	470	510	530
192	1200	575	500	545	588
240	1200	685	640	695	755
258	1200	730	522	584	666
276	1200	770	558	624	714
294	1200	800	594	665	758

表 2.7 配電級避雷器保護特性[24]

避雷器 額定電壓 (kVrms)	波頭放電電壓			8×20μs 突波電流放電電壓值		
	電壓 升高率 kV/μS	無外部放 電間隙電 壓峰值 kV(Crest)	有外部放 電間隙電 壓峰值 kV(Crest)	5000A kV(Crest)	10000A kV(Crest)	20000A kV(Crest)
3	25	25	32	12.4	13.8	15.5
6	50	35	51	23	26	30
9	75	50	65	36.5	41	46
10	83.8	50	67	38	45	53
12	100	61	79	46	52	60
15	125	76	94	55	64	74.5
18	150	91	120	66	76.5	90
21	175	106	150	77.5	87	104
27	225	105	-	99	114	134
30	250	112	-	110	126	149

表 2.8 配電級避雷器(保護迴轉機及乾式變壓器用者) 特性[24]

避雷器 額定電壓 (kVrms)	波頭放電電壓		8×20μs 突波電流放電電壓值		
	電壓升高率 10μs 至放電 電壓 kV(Crest)	電壓升高率 每 12kV 為 100kV/μs kV(Crest)	5000A kV(Crest)	10000A kV(Crest)	20000A kV(Crest)
3	13	13	12	13.9	16
4.5	17	17	20.2	23.3	26.7
6	22	22	24	27.5	31.9
7.5	26	27	32.2	37	42.2
9	30	32	36	41.5	47.5
12	41	42	48	51	63
15	49	52	61	70	80

2.2 到 2.7 節將顯示 ABB、TRIDELTA、SIEMENS、HUBBELL、TOSHIBA、ELPRO 以及 OB 避雷器之電氣特性。其它之測試於附件顯示。

## 2.2 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數

表 2.9 為 ABB 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等，而其他相關試驗：雷電衝擊耐壓試驗、脈衝電流殘餘電壓試驗、雷電衝擊殘餘電壓試驗、功率頻率耐壓試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.9 ABB 避雷器

製造商	ABB		
型號	PEXLIM Q072-XV072M	PEXLIM Q144-XV170M	EXLIMQ 288-DV362M
額定電壓 kV rms	72	144	288
最大連續運轉電壓 kV rms	58	115	230
絕緣套管耐壓			
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	>293	>586	1434
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	293	586	1077
衝擊波電壓(1.2x50µs) (BIL) kV crest	578	1156	2322
最大波前衝擊保護準電壓 kV crest	186	372	699
最大 1.2x50µs 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	170	339	666
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	143	285	550
各種衝擊電流(8x20µs)之最大放電電壓			
衝擊電流 kV crest	149(At 1.5 kA)	297(At 1.5 kA)	585(At 1.5 kA)
	156(At 3 kA)	312	611
	161(At 5 kA)	322	623
	170(At 10 kA)	339	666
	187(At 20 kA)	373	724
	209(At 40 kA)	417	804
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kV MCOV	9.75	9.75	9.75
最小的表面沿面距離 mm	3625	7250	13296
接線端子板標準導線連接孔	4	4	4
絕緣電阻 MΩ	>2000	> 2000	> 2000
總高度 cm	127.5	230.0	-
總重量 kg	39	73	470

表 2.10 為 TRIDELTA 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等，而其他相關試驗：加速老化試驗、短路試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.10 TRIDELTA 避雷器

製造商	TRIDELTA	
	SBKC 72/10.3	SBKC 144/10.3
型號	72/10.3	144/10.3
額定電壓 kV rms	72	144
最大連續運轉電壓 kV rms	58	115
絕緣套管耐壓		
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	190	525
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	190	460
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	410	850
最大波前衝擊保護準電壓 kV crest	205	375
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	175	346
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	145	290
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓		
衝擊電流 kV crest	155 (At 1.5 kA)	305 (At 1.5 kA)
	160	320
	164	329
	173	346
	189	377
	201	401
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kV MCOV	8.3	8.3
最小的表面沿面距離 mm	3200	6000
接線端子板標準導線連接孔	4	4
接地線端子板適用於	100-500	500
絕緣電阻 M $\Omega$	> 2000	> 2000
總高度 cm	100.1	187.4
總重量 kg	24	45

表 2.11 為 SIEMENS 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等，其他相關試驗：長時間脈衝、雷擊脈衝電壓以及開關脈衝電壓試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.11 SIEMENS 避雷器

製造商	SIEMENS	
型號	3EL2 072-2PJ31-4NA1	3EL2 144-2PJ31-4NA1
額定電壓 kV rms	72	144
最大連續運轉電壓 kV rms	57	115
絕緣套管耐壓		
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	296	>586
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	266	586
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	571	1156
最大波前衝擊保護位準電壓 kV crest	180	372
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	170	339
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	139	285
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓		
衝擊電流 kV crest	160(At 5 kA)	322(At 5 kA)
	170(At 10 kA)	342(At 10 kA)
	189(At 20 kA)	380(At 20 kA)
	215(At 40 kA)	431(At 40 kA)
	136(At 500 A)	274(At 500 A)
	139(At 1 kA)	280(At 1 kA)
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	6.30	6.30
最小的表面沿面距離 mm	3820	6160
接線端子板標準導線連接孔	4	4
接地線端子板適用於	-	max 340
絕緣電阻 M $\Omega$	>2000	> 2000
總高度 cm	106.2	176.7
總重量 kg	28.6	51.1

表 2.12 為 HUBBELL 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等，而其他相關試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.12 HUBBELL 避雷器

製造商	HUBBELL	
型號	SVN072GC057BB	SVN144GD115BB
額定電壓 kV rms	72	144
最大連續運轉電壓 kV rms	57	115
絕緣套管耐壓		
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	426	769
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	294	528
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	588	1061
最大波前衝擊保護位準電壓 kV crest	181	365
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	164	330
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	127	257
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓		
衝擊電流 kV crest	140(At 1.5 kA)	283(At 1.5 kA)
	147(At 3 kA)	297(At 3 kA)
	153(At 5 kA)	310(At 5 kA)
	164(At 10 kA)	330(At 10 kA)
	177(At 20 kA)	358(At 20 kA)
	197(At 40 kA)	399(At 40 kA)
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	13	13
最小的表面沿面距離 mm	3620	6500
接線端子板標準導線連接孔	4	4
絕緣電阻 M $\Omega$	>2000	> 2000
總高度 cm	132.4	230.7
總重量 kg	61	114

表 2.13 為 TOSHIBA 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等參數，而其他相關試驗：電源頻率電壓試驗、加速劣化試驗、水份浸潤試驗以及污染試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.13 TOSHIBA 避雷器

製造商	TOSHIBA	
型號	RVLQC-72HPLVY	RVLQC-144HPLHY3
額定電壓 kV rms	72	144
最大連續運轉電壓 kV rms	57	115
最大連續運轉電壓下之洩漏電流 mA	-	-
絕緣套管耐壓		
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	296	>586
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	266	586
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	571	1156
最大波前衝擊保護位準電壓 kV crest	180	372
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	170	339
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	139	285
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓		
衝擊電流 kV crest	160(At 5 kA)	322(At 5 kA)
	170(At 10kA)	342(At 10kA)
	189(At 20kA)	380(At 20kA)
	215(At 40kA)	431(At 40kA)
	136(At 500 A)	274(At500A)
	139(At 1 kA)	280(At 1 kA)
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	6.30	6.30
最小的表面沿面距離 mm	3820	6160
接線端子板標準導線連接孔	4	4
需裝設突波計數器(161kV 電壓等級增設)	YES(3EX5 030)	YES(3EX5 030)
絕緣電阻 M $\Omega$	>2000	> 2000
總高度	106.2 cm	176.7 cm
總重量 kg	28.6	51.1

表 2.14 為 ELPRO 避雷器之電氣特性與測試參數：最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離以及絕緣電阻等參數，而其他相關試驗之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.14 ELPRO 避雷器

製造商	ELPRO		
型號	9LS1-BMH072	9L11-BMH144	9L01-BMH288
額定電壓 kV rms	72	144	288
最大連續運轉電壓 kV rms	58	117	233
最大連續運轉電壓下之洩漏電流 mA	3	3	3
絕緣套管耐壓			
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	175	335	680
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	145	275	565
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	350	650	1300
最大波前衝擊保護位準電壓 kV crest	205	405	775
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	175	350	675
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	145(at 500A)	289(at 500A)	569(at 500A)
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓			
衝擊電流 kV crest	155(At 1.5 kA)	305(At 1.5 kA)	610(At 1.5 kA)
	160(At 3 kA)	320(At 3 kA)	630(At 3 kA)
	165(At 5 kA)	330(At 5 kA)	645(At 5 kA)
	175(At 10 kA)	350(At 10 kA)	675(At 10 kA)
	190(At 20 kA)	380(At 20 kA)	750(At 20 kA)
	215(At 40 kA)	435(At 40 kA)	845(At 40 kA)
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	8.9	8.9	8.9
最小的表面沿面距離 mm	2565	4890	13060
接線端子板標準導線連接孔	1	2	4
需裝設突波計數器(161kV 電壓等級增設)	-	-	-
絕緣電阻 M $\Omega$	-	-	-
總高度	1111 mm	2421 mm	5262 mm
總重量 kg	105	245	530

表 2.15 為 OB 避雷器之電氣特性與測試參數:最大連續運轉電壓、絕緣套管耐壓、衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓、1 分鐘內最大放電能量等參數，而其他型號避雷器之詳細資料於附錄中呈現。

表 2.15 OB 避雷器

製造商	OB		
	PVN-31*057	PVN-31*115	PVN-31*180
型號	PVN-31*057	PVN-31*115	PVN-31*180
額定電壓 kV rms	72	144	288
最大連續運轉電壓 kV rms	57	115	180
最大連續運轉電壓下之洩漏電流 mA	-	-	-
絕緣套管耐壓			
1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	175	335	630
10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	145	275	565
衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	350	650	1300
最大波前衝擊保護位準電壓 kV crest	-	-	-
最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	-	-	-
最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	136.6	285.0	448
各種衝擊電流(8x20 $\mu$ s)之最大放電電壓			
衝擊電流 kV crest	147.3(At 1.5 kA)	296.5(At 1.5 kA)	465(At 1.5 kA)
	154.9(At 3 kA)	311.7(At 3 kA)	493(At 3 kA)
	162.0(At 5 kA)	326.1(At 5 kA)	516(At 5 kA)
	174.4(At 10 kA)	351.0(At 10 kA)	556(At 10 kA)
	193.1(At 20 kA)	388.6(At 20 kA)	607(At 20 kA)
	219.2(At 40 kA)	441.2(At 40 kA)	684(At 40 kA)
在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	9.0	9.0	9.0
最小的表面沿面距離 mm	-	-	-
接線端子板標準導線連接孔	-	-	-
需裝設突波計數器(161kV 電壓等級增設)	-	-	-
絕緣電阻 M $\Omega$	-	-	-
總高度	-	-	-
總重量 kg	-	-	-

## 2.3 各廠牌避雷器之電氣特性與測試參數比較

### 一. 絕緣套管耐壓

表 2.16-表 2.18 將對於各廠牌(ABB、TRIDELTA、SIEMENS、HUBBELL、TOSHIBA、ELPRO、OB)之絕緣套管耐壓試驗：1 分鐘乾式測試電壓、10 秒鐘濕式測試電壓、衝擊波電壓(1.2x50 $\mu$ s) (BIL) 、最大波前衝擊保護準電壓、最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓以及最大開關突波衝擊保護位準電壓之參數針對不同廠家，同樣 72 kV、144 k 以及 288 kV 之電壓等級進行整理比較。

表 2.16 72kV 絕緣套管耐壓試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELTA	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIBA	ELPRO	OB
72 kV	1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	>296	190	296	426	296	175	175
	10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	293	190	266	294	266	145	145
	衝擊波電壓 (1.2x50 $\mu$ s) (BIL) kV crest	578	410	571	588	571	350	350
	最大波前衝擊保護準電壓 kV crest	186	205	180	181	180	205	-
	最大 1.2x50 $\mu$ s 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	170	175	170	164	170	175	-
	最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	143	145	139	127	139	145(at 500A)	136.6

表 2.17 144kV 絕緣套管耐壓試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELTA	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIBA	ELPRO	OB
144 kV	1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	>586	525	>586	769	>586	335	335
	10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	586	460	586	528	586	275	275
	衝擊波電壓 (1.2x50µs) (BIL) kV crest	1156	850	1156	1061	1156	650	650
	最大波前衝擊保護準電壓 kV crest	372	375	372	365	372	405	-
	最大 1.2x50µs 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	339	346	339	330	339	350	-
	最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	285	290	285	257	285	289(at 500A)	285.0

表 2.18 288kV 絕緣套管耐壓試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELTA	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIBA	ELPRO	OB
288 kV	1 分鐘乾式測試電壓 kV rms	1434	-	-	-	-	680	630
	10 秒鐘濕式測試電壓 kV rms	1077	-	-	-	-	565	565
	衝擊波電壓 (1.2x50µs) (BIL) kV crest	2322	-	-	-	-	1300	1300
	最大波前衝擊保護準電壓 kV crest	699	-	-	-	-	775	-
	最大 1.2x50µs 全波衝擊保護位準電壓 kV crest	666	-	-	-	-	675	-
	最大開關突波衝擊保護位準電壓 kV crest	550	-	-	-	-	569(at 500A)	448

## 二. 其他測試參數比較

表 2.19-表 2.21 將對試驗：在 1 分鐘內最大放電能量、最小的表面沿面距離、絕緣電阻以及總高度，以同樣電壓等級(72 kV、144 kV 以及 288 kV)不同廠家之測試參數做整理比較。

表 2.19 72kV 試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELTA	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIB A	ELPRO	OB
72 kV	在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	9.75	8.3	6.30	13	6.30	8.9	9.0
	最小的表面沿面距離 mm	3625	3200	3820	3620	3820	2565	-
	絕緣電阻 MΩ	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	-
	總高度 cm	127.5	100.1	106.2	132.4	106.2	111.1	-

表 2.20 144kV 試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELT A	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIB A	ELPRO	OB
144 kV	在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	9.75	8.3	6.30	13	6.30	8.9	9.0
	最小的表面沿面距離 mm	7250	6000	6160	6500	6160	4890	-
	絕緣電阻 MΩ	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	-
	總高度 cm	230.0	187.4	176.7	230.7	176.7	242.1	-

表 2.21 288kV 試驗

電壓等級	試驗項目	ABB	TRIDELTA	SIEMENS	HUBBELL	TOSHIB A	ELPRO	OB
288 kV	在 1 分鐘內最大放電能量 kJ/kVMCOV	9.75	-	-	-	-	8.9	9.0
	最小的表面沿面距離 mm	13296	-	-	-	-	13060	-
	絕緣電阻 MΩ	>2000	-	-	-	-	>2000	-
	總高度 cm	-	-	-	-	-	526.2	-

## 2.4 規範標準

### 一. IEEE Std C62.11-2012

(一)標準額定電壓：額定電壓與對應之最大連續操作電壓值

額定電壓之有效值標準以及對應之最大連續操作電壓有效值如表 2.3。

(二)衝擊波試驗之公差

所有測試之標準規範如表 2.22 所示。

表 2.22 脈衝波形

量測	1.2/50 波	其他指數波
峰值	±3%	±10%
波前	±30%	±10%
半峰值	±20%	±10%
標稱速率上升波前	-	±10%

(三)避雷器絕緣耐壓測試

液浸式避雷器絕緣耐壓試驗電壓應按照表 2.23。此測試需於避雷器浸入絕緣液體進行測試，且在  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的溫度下進行。

表 2.23 液浸式避雷器絕緣耐壓試驗試驗電壓

避雷器額定電壓有效值(kV)	1.2/50 全波脈衝 (kV crest) (BIL)	60Hz 1 分鐘 (kV rms)
1	30	10
3	45	15
6	60	21
9	75	27
10	75	27
12	85	31
15	95	35
18	125	42
21	125	42
24	125	42
27	150	70
30	150	70
36	-	-
39	-	-
48	-	-

(四)雷電衝擊放電電壓標準

表 2.24 中顯示於電壓峰值所測量之分級電流。

表 2.24 雷電衝擊分級電流

避雷器類別	脈衝峰值(kA)
800 kV(系統最大電壓)	20
550 kV(系統最大電壓)	15
550 kV 以下(系統最大電壓)	10
中間級	5
重載配電級	10
配電級	5
輕載配電級	5

(五)開關衝擊放電電壓標準

表 2.25 開關突波分級電流

系統最大電壓(kV)	站級(A)	中間級(A)
3-150	500	500
151-325	1000	-
326-900	2000	-

(六)短路試驗

表 2.26 站級與配電級避雷器之短路試驗電流

避雷器類別	額定短路電流	降低短路電流		低短路電流
	A rms	A rms		A rms
試驗樣品數	1	1	1	1
站級	80000	50000	25000	600±200
站級	63000	25000	12000	600±200
站級&中間級	50000	25000	12000	600±200
站級&中間級	40000	25000	12000	600±200
中間級	31500	12000	6000	600±200
中間級	20000	12000	6000	600±200
中間級	16100	6000	3000	600±200
配電級	不小於最大要求	0.5±0.05 時間最大 大要求	0.25±0.05 時間最大 要求	600±200

(七) 避雷器的電流分級和最低性能要求

表 2.27 避雷器之分級電流與最低性能要求

類別	額定電壓 (kV)		雷電突波分級電流 (kA)	開關突波分級電流 (A)	短時間持續高電流之耐受最小值 (kA)	長時間持續低電流之耐受最小值 (A,μs)	高電流保護閥 (kA)	低電流保護閥 (A)
	責務週期	最大連續電壓						
站級	3-48	2.55-39	10	500	65	-	40-65	400-800
	54-312	42-245	10	500-1000	65	-	40-65	400-800
	396-564	318-448	15	2000	65	-	40-65	400-800
	576-612	462-485	20	2000	65	-	40-65	400-800
中間級	3-144	2.55-115	5	500	65	-	16.1	400-800
配電重載級	3-36	2.55-29	10	-	100	250,2000	-	-
配電級	3-36	2.55-29	5	-	65	75,2000	-	-
配電輕載級	3-36	2.55-29	5	-	40	75,2000	-	-

## 二. IEC60099-4

### (一)標準額定電壓值

表 2.28 所示為避雷器標準之額定電壓值(kV 有效值)。

表 2.28 標準額定電壓值

額定電壓範圍 kV r.m.s.	額定電壓階層
< 3	-
3 - 30	1
30 - 54	3
54 - 96	6
96 - 288	12
288 - 396	18
396 - 756	24

(二)標準額定

放電電流

標準的

8/20 放電電流：

20 kA、10 kA、

5 kA、2.5 kA、1.5 kA

### (三)內部放電電壓

避雷器在 1.05 倍持續工作電壓下的局部放電量應不大於 50pC。

### (四)長持續時間電流衝擊耐受

對 20 kA 和 10 kA 等級避雷器，應按用戶規定的線路放電等級通過線路放電試驗(表 2.29)驗證長持續時間耐受能力。對 20 kA 和 10 kA 等級避雷器，應通過長持續時間電流衝擊試驗(表 2.30)驗證長持續時間耐受能力。

試驗後目測樣品，金屬氧化電阻片應無擊穿、閃絡、破碎或其他明顯損傷痕跡。

表 2.29 20kA 和 10kA 避雷器線路放電試驗參數

避雷器等級	線路放電等級	線路突波阻抗 Z Ω	峰值之持續時間 T μs	充電電壓 $U_L$ kV(直流)
10 kA	1	$4.9U_r$	2000	$3.2U_r$
10 kA	2	$2.4U_r$	2000	$3.2U_r$
10 kA	3	$1.3U_r$	2400	$2.8U_r$
20 kA	4	$0.8U_r$	2800	$2.6U_r$
20 kA	5	$0.5U_r$	3200	$2.4U_r$
$U_r$ 是樣品之額定電壓 kV(有效值)				

根據表 2.29 的參數得到輸入測試樣品之功率(W)：

$$W = U_{res} \times (U_L - U_{res}) \times 1/Z \times T \quad (2-1)$$

(2-1)式中用表 2.29 中較低電流值對三個樣品做測試所得之衝擊殘餘電壓最低值。該試驗需滿足下列要求：

1. 衝擊電流峰值的持續時間應為表 2.29 規定值 100%~120%。
2. 衝擊電流的總持續時間應不超過峰值之持續時間的 150%。
3. 振盪或起始過衝應不超過峰值持續時間的 150%。
4. 每個樣品每次衝擊承受的能量規定為：第一次衝擊應為上數計算值的 90%~110%，其餘各次衝擊應為計算值的 100%~110%。

表 2.30 5 kA 和 2.5 kA 避雷器長週期電流衝擊試驗需求

避雷器分類	峰值電流 A	峰值持續時間 T μs
5 kA	75	1000
2.5 kA	50	500

根據表 2.30，本試驗

產生之電流衝擊應滿足下列要求：

1. 峰值持續時間應為表 2.30 規定值的 100%~120%。
2. 總持續時間應不超過峰值持續時間的 150%。
3. 振盪與起始過衝不超過電流峰值的 10%。若有振盪，應會一條平均曲線以確定峰值。

4. 第一次衝擊電流峰值應為表 2.30 規定值的 90%~110%，其餘各次衝擊應為計算值的 100%~110%。

#### (五) 外殼絕緣耐壓耐受試驗

耐壓試驗驗證避雷器外部絕緣的耐壓能力。如欲驗證其設計結構，必須與製造廠與採購廠商協議。

##### 1. 雷擊衝擊電壓試驗

每種極性連續施加 15 次衝擊試驗電壓，如果內部無發生閃絡，且每 15 次衝擊中外部閃絡不超過 2 次時，則認定此避雷器通過試驗。試驗電壓值等於雷電衝擊保護水平乘以 1.3。

如果電弧距離或部分電弧距離總和大於試驗電壓除以 500 kV/m，則可不用進行此試驗。

##### 2. 操作衝擊電壓試驗

戶外用避雷器應在潮濕環境下試驗，戶內用避雷器應在乾燥環境下試驗。每種極性連續施加 15 次衝擊試驗電壓，如果內部無發生閃絡，且每 15 衝擊外部閃絡不超過 2 次時，則此試驗避雷器通過測試。試驗電壓值等於操作衝擊保護水平乘以 1.25。

##### 3. 工頻電壓試驗

戶外用避雷器應在潮濕環境下試驗，戶內用避雷器應在乾燥環境下試驗。1.5 kA、2.5 kA、5 kA 及高強度防雷之避雷器外殼應耐受雷電衝擊保護水平乘以 0.88 工頻電壓，持續 1 分鐘。

對額定電壓 200 kV 以下的 10 kA 和 20 kA 之避雷器外殼耐受衝擊保護水平乘以 1.06 的工頻電壓，持續 1 分鐘。

## (六)殘餘電壓試驗

殘餘電壓試驗目的是為了獲得最大殘餘電壓，包括各種規定衝擊電流下之電壓與在例行試驗中所檢驗之電壓水平的比值，後者可用參考電壓或者在 0.01~2 倍標稱放電電流範圍內任一適當的雷電衝擊電流下之殘餘電壓，該電流值可依據製造商之例行試驗程序來選定。

對於額定電壓 36 kV 以下避雷器，在例行試驗中製造商可以選擇僅檢驗參考電壓，此時應規定最大參考電壓。各節試驗中所測得之殘餘電壓乘以避雷器最大參考電壓與各節的參考電壓之比值獲得所有規定電流與波形之最大殘餘電壓。

所有殘餘電壓試驗均應在相同三隻避雷器進行試驗，兩次放電之間隔時間應足以使試驗樣品恢復到接近環境溫度。對多個避雷器，試驗可僅對取自單一避雷器進行試驗，試驗之電流值為整個避雷器之總電流除以避雷器各數。

### 1. 陡坡電流衝擊殘餘電壓試驗

應對三個樣品之每一個樣品施加一次幅值等於避雷器標稱放電電流(偏差 $\pm 5\%$ )的陡坡電流衝擊，紀錄三次電壓峰值和衝擊之波形，必要時應校正電壓測量電路和試驗電路及試驗樣品之幾何結構引起的感應誤差。

是否需要校正感應誤差由下列方法判定：在樣品試驗時以相同尺寸的金屬塊上施加上述之陡坡電流衝擊，紀錄於金屬塊上的電壓峰值和波形。若此峰值為試驗樣品之電壓峰值的 2%~20%之間，則應紀錄每一試驗樣品上的電壓衝擊波形和最終結果波形用來校正感應誤差；若峰值大於試驗樣品之電壓峰值 20%，則需要改進試驗電路和電壓測量電路。

避雷器的陡坡電流衝擊殘餘電壓應用試驗樣品最高峰值的衝擊電壓波形(必要時校正)按下述步驟(1)或(2)來確認：

步驟(1)

- A. 將試驗樣品的衝擊電壓波形乘以比例因數。
- B. 根據陡坡電流衝擊波形，確定整個波型的電流變化率  $di/dt$ ，乘以電感量後便得到感應壓降：

$$u(t) = L \cdot di/dt = L' \cdot h \cdot di/dt \quad (2-2)$$

式中

$u(t)$  - 感應壓降與時間的函數 kV；

$L'$  - 單位長度的電感量  $\mu\text{H}/\text{m}$ ；

$L' = 1$  (戶外避雷器)；

$L' = 0.3$  (GIS 避雷器)；

$h$  - 避雷器兩端之間的長度 m；

$di/dt$  - 電流對時間變化率  $\text{kA}/\mu\text{s}$ 。

- C. 將 A.和 B.所得之結果相加，生成波形的峰值即為避雷器得陡坡電流衝擊殘餘電壓。

步驟(2)

- A. 將試驗樣品的衝擊電壓波形乘以比例因數。
- B. 採用下面的公式，確定避雷器終端之間的感應壓降。

$$U_L = L \cdot di/dt = L' \cdot h \cdot I_n / T_f$$

(2-2)

式中

$U_L$  - 感應壓降的峰值 kV；

$L'$  - 單位長度的電感量  $\mu\text{H}/\text{m}$ ；

$L' = 1$  (戶外避雷器)；

$L = 0.3$  (GIS 避雷器);

$h$  - 避雷器兩端之間的長度 m;

$T_f$  - 陡坡電流衝擊的波前時間,等於  $1\mu\text{s}$ ;

$I_n$  - 標稱放電電流 kA。

C. 將 A.和 B.所得結果相加,即得到避雷器的陡坡電流衝擊殘餘電壓。

## 2. 雷電衝擊殘餘電壓試驗

應對三個試驗樣品之每一樣品施加一次雷電電流衝擊,其幅值分別於為避雷器標稱放電電流的 0.5 倍、1 倍和 2 倍。是在波前時間應在  $7\mu\text{s}\sim 9\mu\text{s}$  之間,而半峰值時間(無嚴格要求)可有任意偏差。

## 3. 操作衝擊電壓試驗

應對三個試驗樣品之每一樣品施加一次操作電流衝擊,其幅值如表 2.31 中規定的幅值(偏差 $\pm 5\%$ )。於表 2.31 規定之電流下測得的最高殘餘電壓定義為避雷器的操作衝擊保護水平。

表 2.31 操作衝擊殘餘電壓試驗之峰值電流

避雷器分類	峰值電流 A
20 kA, 線路放電等級 4 和 5	500 和 2000
10 kA, 線路放電等級 3	250 和 1000
10 kA, 線路放電等級 1 和 2	125 和 500

表 2.32 每單位  
額定電壓下 20  
kA 和 10 kA 等

## 級避雷器殘餘電壓

額定電壓 $U_r$ kV 有效值	20kA kV(峰值)/ $U_r$			10kA kV(峰值)/ $U_r$		
	陡坡	雷電	操作	陡坡	雷電	操作
3~29	-	-	-	2.6~4.0	2.3~3.6	2.0~2.9
30~132	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.7	2.3~3.3	2.0~2.6
144~342	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.7	2.3~3.3	2.0~2.6
360~756	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3

表 2.33 每單位額定電壓下 5 kA、2.5 kA 和 1.5kA 等級避雷器殘餘電壓

額定電壓 $U_r$ , kV 有效值	5kA kV(峰值)/ $U_r$		2.5kA kV(峰值)/ $U_r$		1.5kA kV(峰值)/ $U_r$	
	陡坡	雷電	陡坡	雷電	陡坡	雷電
0.175~2.9	2.7~4.0	2.4~3.6	3.7~5.0	3.3~4.5	4.5~6.7	4.0~6.0
3~29	2.7~4.0	2.4~3.6	4.0	3.6		
30~132	2.7~3.7	2.4~3.3	4.0	3.6		

### 三. 供電處之規範標準

表 2.34 供電處規範標準

系統特性	345 kV Y 型 中性點 有效接 地	161 kV Y 型 中性點 有效接 地	69 kV Y 型 中性點 無效接 地	33 kV Δ 型 中性點 不接地	24 kV Δ 型 中性點 不接地	23.8 kV Y 型 中性點 有效接 地	11kV Δ 型 中性點 不接地	11.95kV, Y 型 中性點 有效接 地
額定系 統電壓, kV, rms.	345	161	69	33	24	23.8	11	11.95
工作週 期之額 定電壓, kV, rms.	288	144	72	36	24	21	12	9
最小 MCOV, kV, rms.	230	115	57	29	19.5	17	10.2	7.65
陶瓷絕緣耐壓試驗額定電壓, kV, rms.								
避雷器 額定電 壓, kV, rms.	288	144	72	36	24	21	12	9
60 Hz 電壓測試, rms. ,kV								
1 分鐘 (乾式)	680	335	175	95	70	70	50	35
10 秒鐘 (濕式)	565	275	145	80	60	60	45	30

1.2x50 $\mu$ s 全波突 波測試, kV crest (BIL)	1,300	650	350	200	150	150	110	95
波前脈 衝之最 大保護 等級, kV, crest	775	405	205	113	85	70	40	30
1.2x50 $\mu$ s 全波突 波之最 大保護 等級 kV, crest	675	350	175	97	75	60	35	27
開關突 波之最 大保護 等級, kV, crest	605	290	145					
最大放電電壓( 8x20 微秒之電流波), kV, crest								
1,500 A crest	610	305	155	83	60	50	30	23
3,000 A crest	630	320	160	87	65	52	31	24
5,000A crest	645	330	165	91	70	55	33	25
10,000A crest	675	350	175	97	75	60	35	27
20,000 A crest	750	380	190	112	80	66	40	30
40,000A crest	845	435	215	132	95	77	48	35
一分鐘 內之最 大放電 能力, kJ/KV MCOV	7.2	7.2	7.2	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

## 第三章 各國之避雷器耐污染能力分析

本章將對各國(包括韓國、德國、日本以及大陸)聚合型以及陶瓷型避雷器之防汙能力相關維護試驗以及監測方法對其測試結果作介紹，其中韓國以及德國是以聚合型避雷器之耐汙相關測試做分析，對於陶瓷型避雷器之分析則是以日本和大陸之相關測試作介紹。

### 3.1 各國聚合型避雷器耐污染能力分析

#### 一. 韓國的作法[2]

##### (一)加速老化測試設備

本試驗將以額定電壓 18kV 聚合型避雷器進行測試。圖 3.1 為老化試驗設備之配置，其尺寸約 80 立方米，可以模擬陽光紫外線輻射、溫度、溼度、鹽霧、雨水及高壓電進行測試。

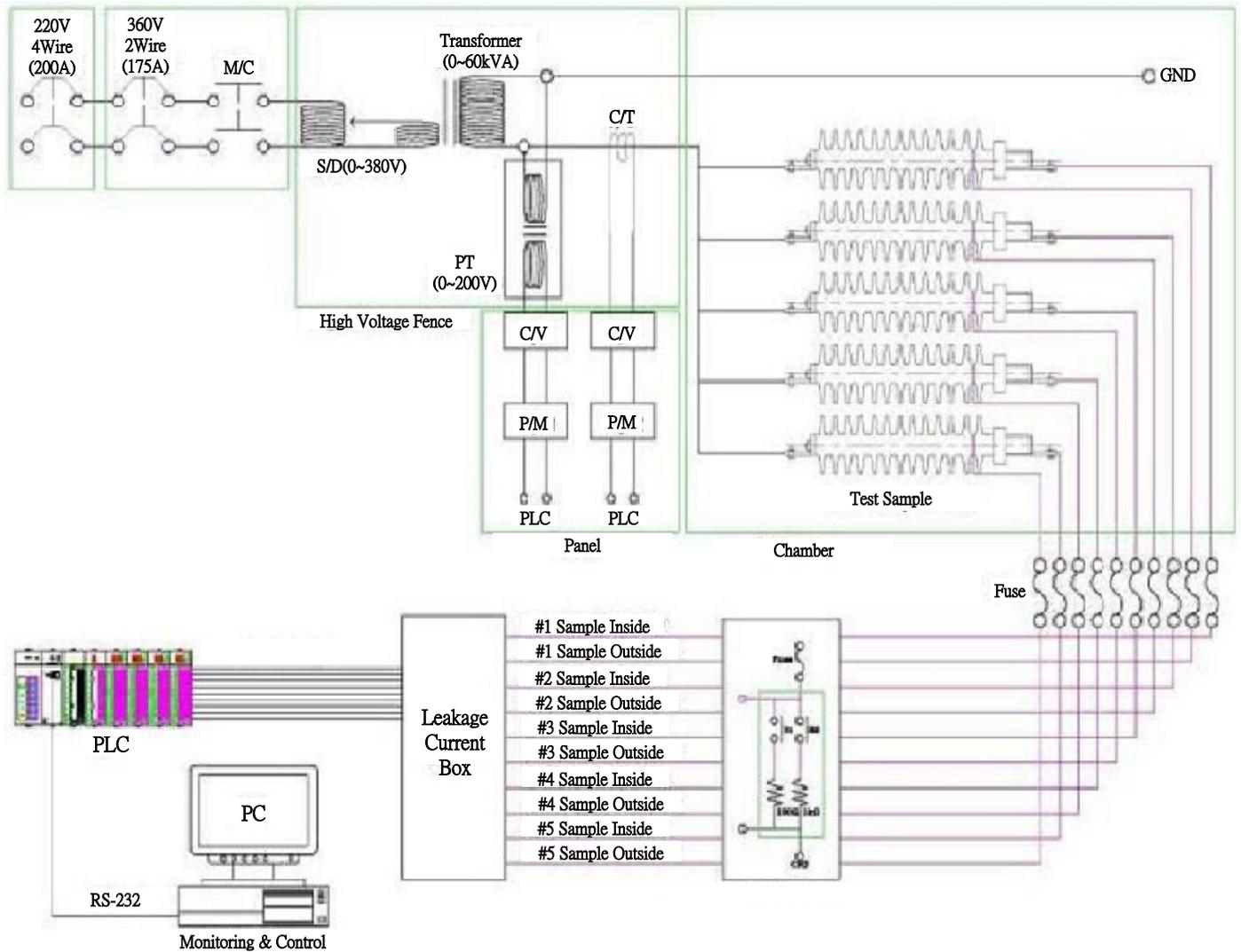


圖 3.1 老化試驗設備之配置圖[2]

老化試驗之週期測試由夏天和冬天組成，最高溫度是 80°C，最低溫度是-20°C。建造於曝露室外且靠海的場所試驗，並監測其試驗避雷器之洩漏電流狀況。每年以加速老化之試驗避雷器之外殼材料為樣本，做化學分析特徵做分析和比較。表 3.1 顯示加速老化之樣本和其初始條件。

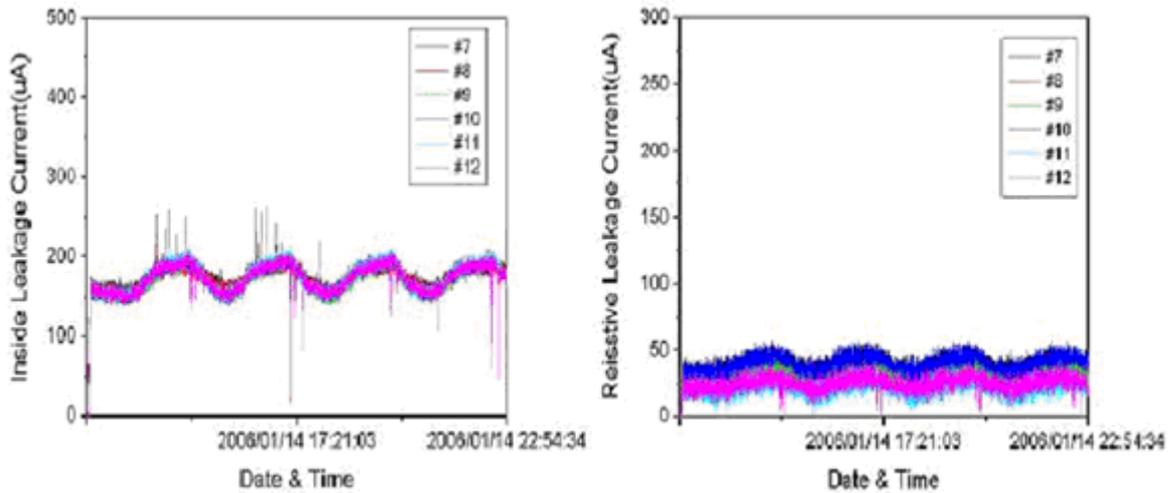
表 3.1 加速老化之樣本和其初始條件表[2]

類型	編號	製造商	Ref. Vol. [kV <sub>1mA<sub>dc</sub></sub> ]	洩漏電流[ $\mu$ A, at15.3kV ]	
				總電流	電阻性洩漏電流
A	#1~#6	V co.[new]	29.6	160	15
B	#7~#12	B co.[new]	29.0	170	20
C	#13~#14	V co.[2 years]	30.0	230	25
D	#15~#16	V co.[2 years]	30.0	160	23

### 1. 老化特性

老化試驗得知避雷器表面以及內部洩漏電流，由於內部洩漏電流包含了電阻性洩漏電流以及電容性洩漏電流，其電阻性洩漏電流是由內部洩漏電流分離而來。

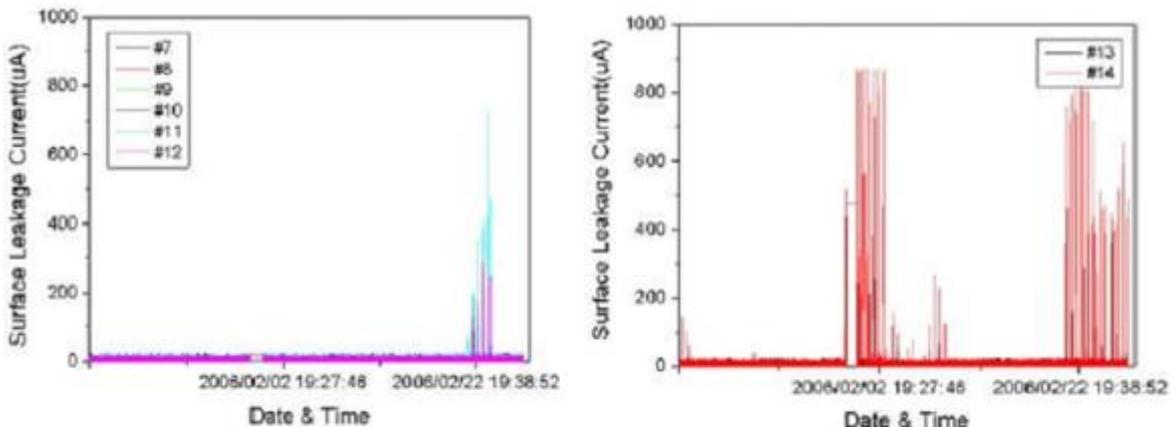
其中電阻性洩漏電流是影響避雷器試驗的最大因素，電阻性洩漏電流與試驗電壓大小成正比。老化試驗之試驗週期由夏天 10 天以及冬天 11 天組成，其需 3 次重複試驗。試驗避雷器之洩漏電流變化取決於施加之溫度。全新樣本經過 1000 小時加速老化試驗之避雷器內部洩漏電流約 180 $\mu$ A，電阻性洩漏電流約 50 $\mu$ A 如圖 3.2。



(a) Inside leakage current (b) Resistive leakage current

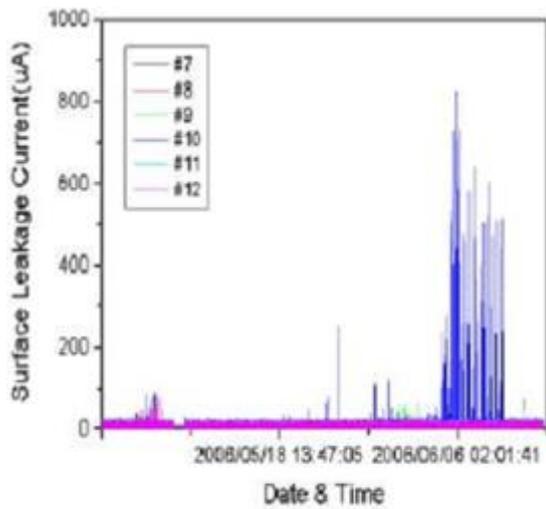
圖 3.2 全新樣本經過 1000 小時試驗的洩漏電流[2]

圖 3.3 和圖 3.4 顯示表面洩漏電流。第一批試驗避雷器，A 組和 B 組顯示其電流非常低，但是放置於外地之試驗避雷器 C 組和 D 組於冬天的降雨期間顯示出較高的洩漏電流。數據顯示表面洩漏電流在冬天的降雨期間數值較高。因此，此條件可以做為老化反應之條件。

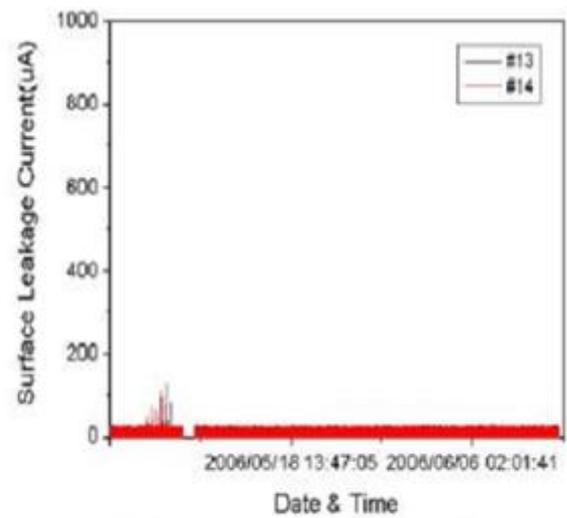


(a) New specimens (b) Field aged specimens

圖 3.3 經 1000 小時試驗之表面洩漏電流圖[2]



(a) group B specimens



(b) group C specimens

圖 3.4 樣品 B 與樣品 C 經過 2000-3000 小時試驗之表面洩漏電流[2]

圖 3.5 和圖 3.6 顯示安裝曝露室外測試的避雷器總洩漏電流，顯示了冬季較大的洩漏電流狀況。

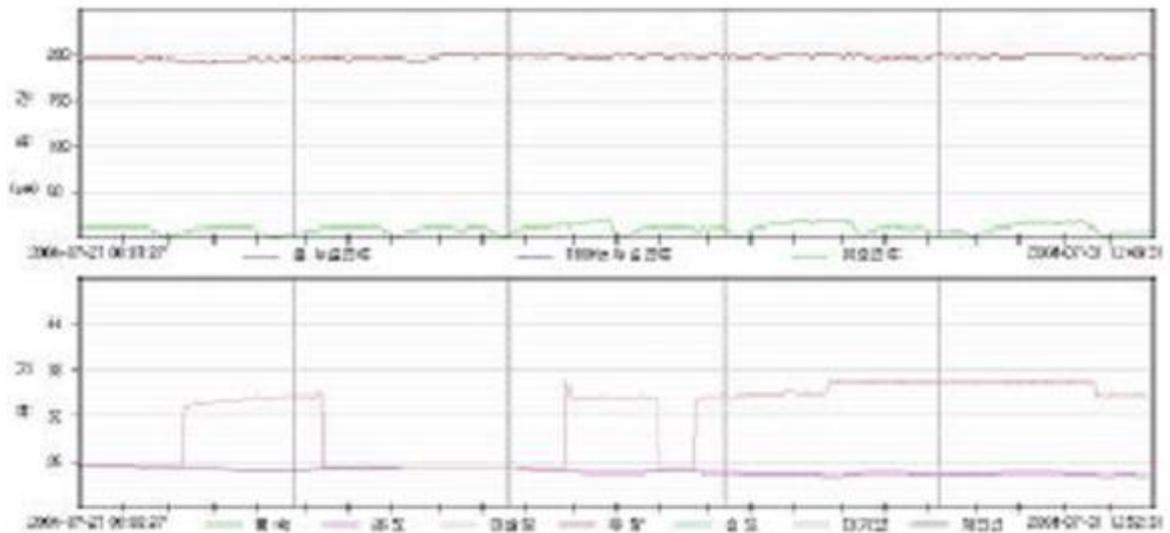


圖 3.5 夏天安裝測試於室外的避雷器之洩漏電流狀況[2]

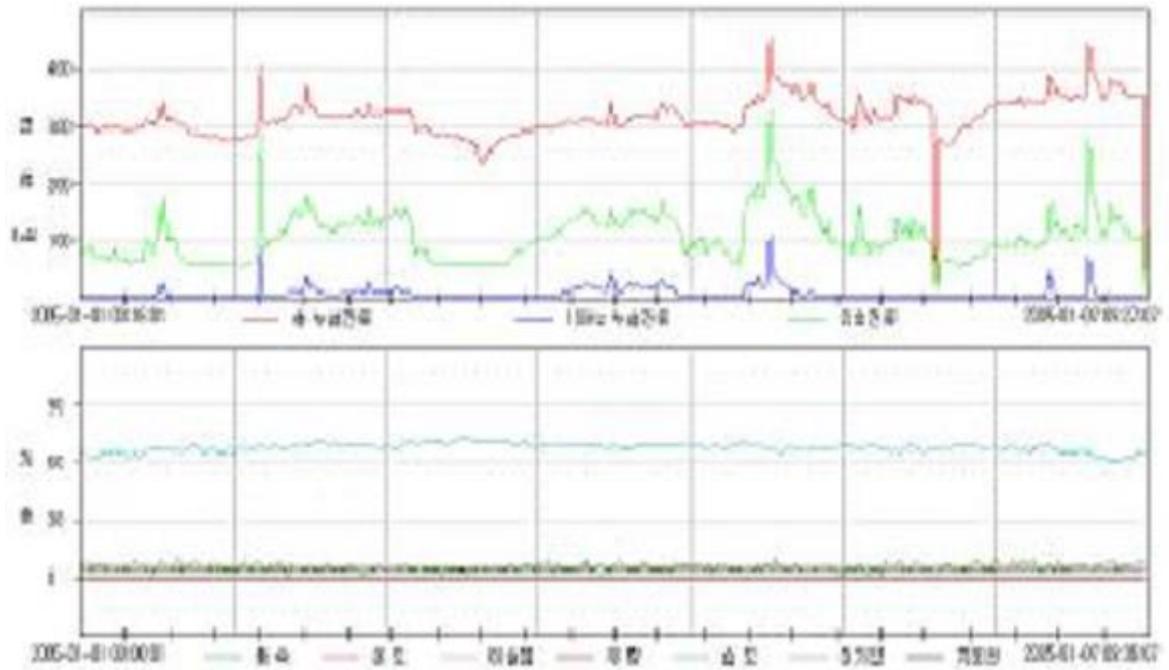


圖 3.6 冬天安裝測試於室外的避雷器之洩漏電流狀況[2]

A 組和 B 組經過 3000 小時的加速老化測試其潑水性下降，如圖

3.7

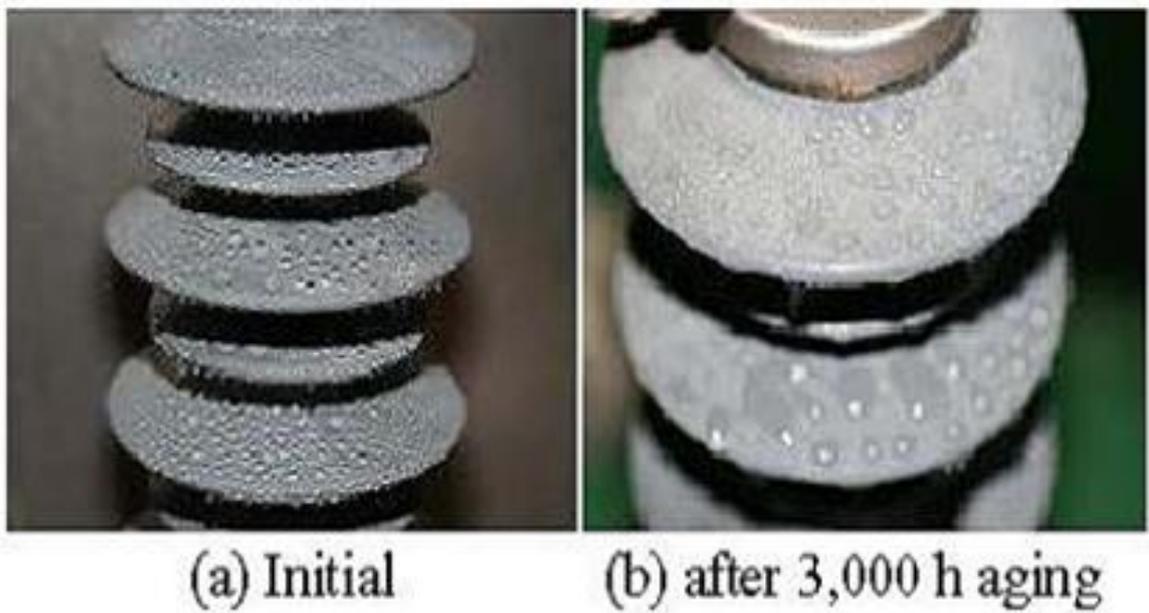
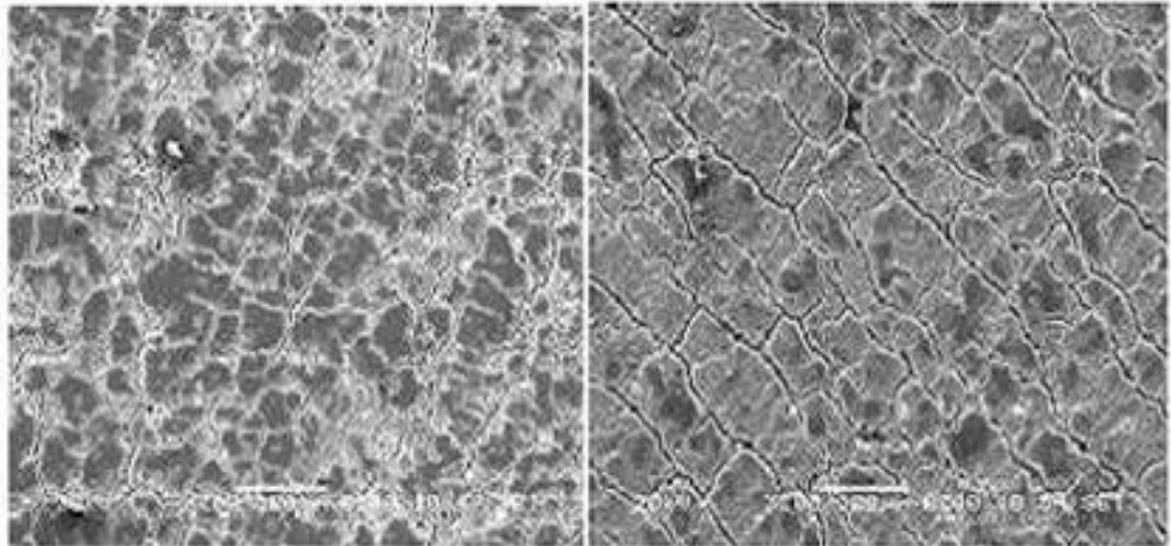


圖 3.7 B 組經加速老化測試前、後圖[2]



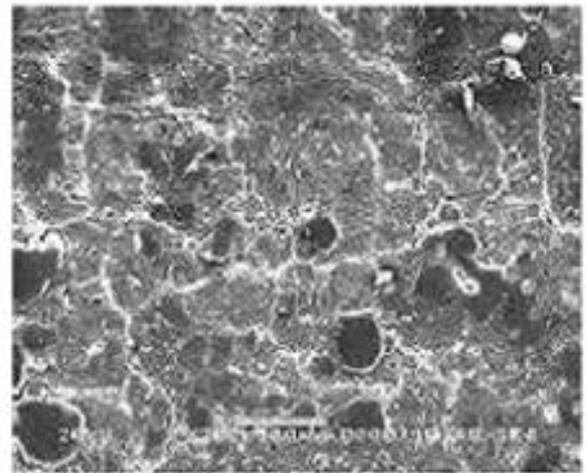
(a) Initial

(b) after 3,000 h aging

圖 3.8 B 組經加速老化測試前、後之表面微結構圖[2]



(a) Hydrophobicity



(b) surface microstructure

圖 3.9 安裝於戶外 3 年[2]

安裝於室外的避雷器經過 3 年老化，其表面有高度退化。這意味著，表面的老化狀況取決於污染物。加速老化試驗，只可以模擬鹽霧污染，但是現場安裝之避雷器是受到多種污染物影響。

為了評估外殼材料的表面狀況，提取測試樣本之一小部份，作每 1000 小時加速老化試驗。也提取安裝於室外的試驗避雷器與加速老化測試之避雷器作比較。

以紅外線光譜的結果，自然和加速老化樣本 2,916cm 和 1,014cm 峰值結果相比。

圖 3.10 顯示 A 組(#1 樣品)的紅外線光譜峰值。3000 小時的老化試驗包含 6 次的夏天和冬天的測試週期。

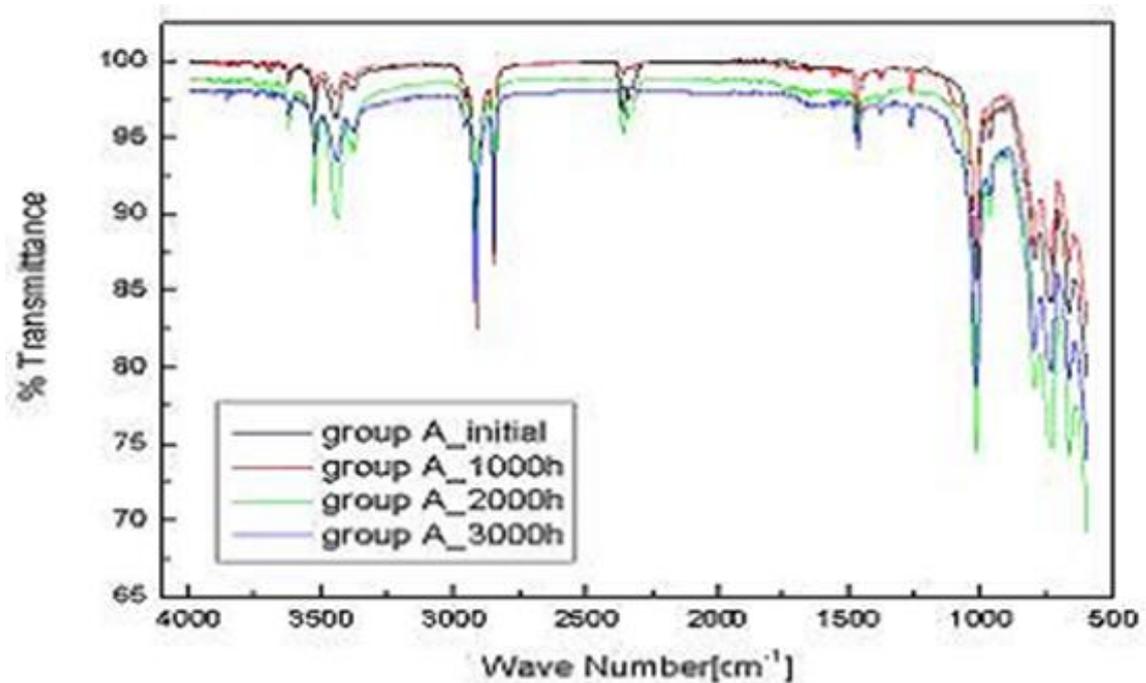


圖 3.10 A 組(#1 樣品)的紅外線光譜圖[2]

圖 3.11 顯示出  $Al_2O_3$  填料(a)和  $CH_2$  填料(b)的紅外光譜峰值的透射率。顯示，加速老化試驗可以反映出現場狀況和  $CH_2$  的黏接將減緩老化， $Al_2O_3$  也將隨著老化的時間被耗盡。

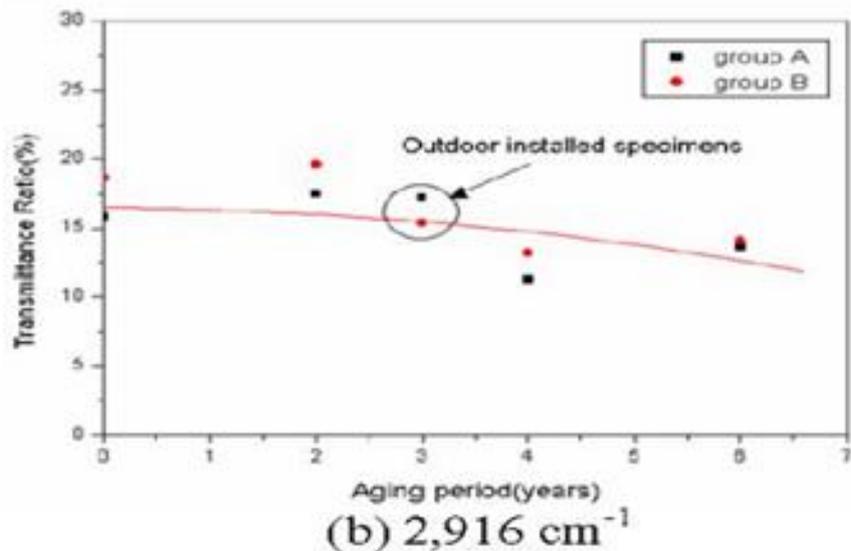
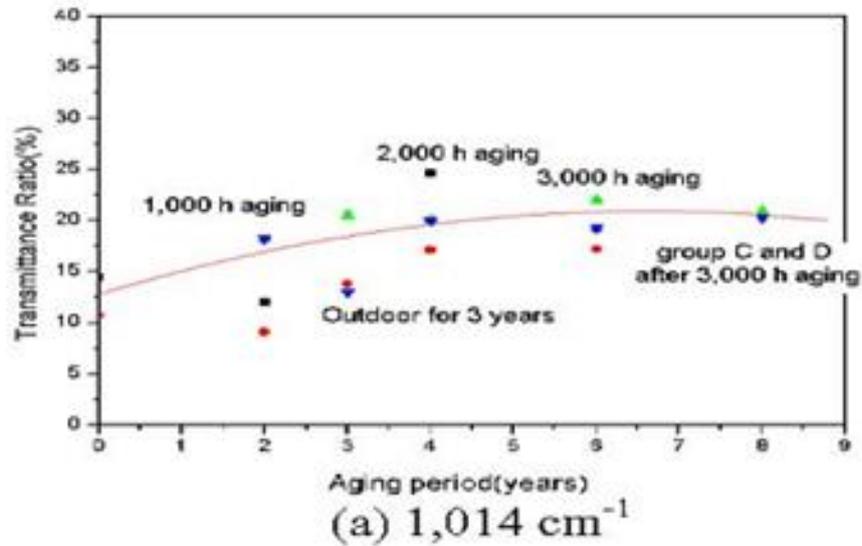


圖 3.11 紅外光譜峰值的透射率[2]

為了比較 0.2mm-0.4mm 厚度之外殼材料樣本的介電損失。其介電特性之測量必須藉由熱分析儀用溫度和頻率進行分析。

圖 3.12 和圖 3.13 顯示樣品經過加速老化試驗和室外自然老化之外殼材料初始條件下的介電損耗。介電損失在初始條件下的避雷器上沒有因為溫度的上升而增加，但是老化避雷器卻隨著溫度的增加，介電損失大幅提高。此外，經過 3000 小時老化試驗之避雷器樣品之介電損失高於曝露戶外的避雷器。

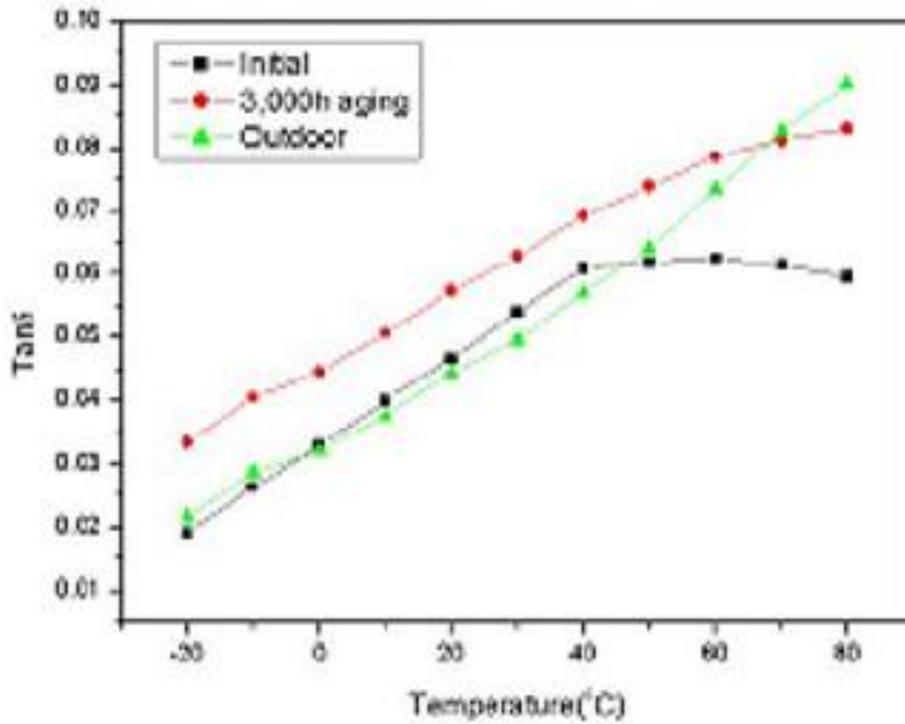


圖 3.12 外殼材料 60Hz 條件下的介電耗損[2]

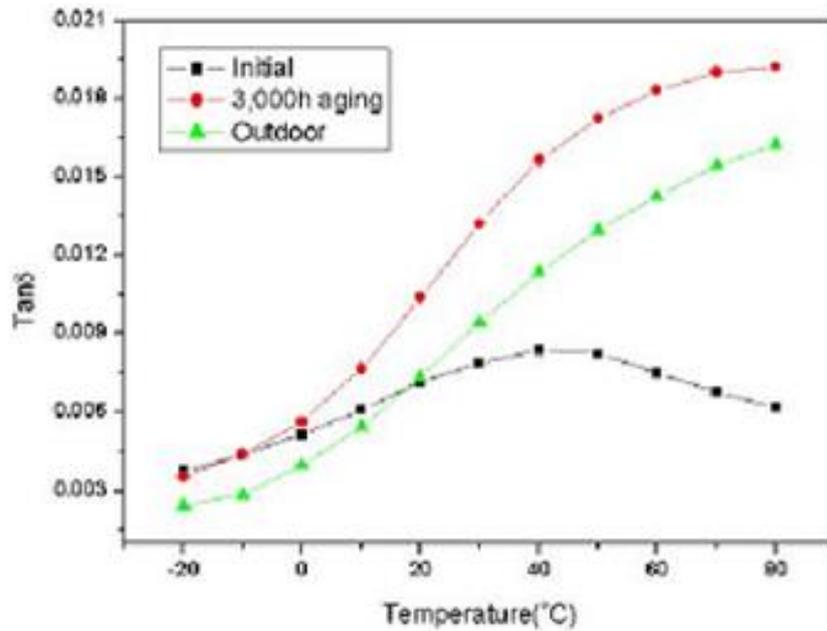


圖 3.13 外殼材料 1MHz 條件下的介電耗損[2]

本試驗對於聚合型避雷器加速老化試驗顯示，對於試驗後之特性評估，測試樣品之密封隔離性能呈現劣化狀況。這意味著，聚合型避雷器經過長期的運作可能產生水分滲透之現象。

## 二. 德國作法[3]

### (一)引言

避雷器是電力系統不可缺少的設備，以確保適當的絕緣保護，如電源變壓器、GIS、電纜等免受雷擊和開關暫態過電壓保護之設備。在過去二十年中，經歷重大的技術變革。

第一個變化是從間隙碳化矽（SiC）到無間隙氧化鋅避雷器。這種發展在 20 世紀 70 年代末開始到 20 世紀 80 年代末，氧化鋅避雷器已經建立於先進的國家。中壓氧化鋅避雷器的故障率範圍在 0.1% 內（與地理環境的變化有關），在高壓系統幾乎為零。一個氧化鋅避雷器的結構非常簡單與強大，基本上由圓柱氧化鋅電阻元件堆疊組成，也在僅僅幾年內推動另一種發展，聚合型代替瓷外殼的應用越來越多。中壓系統於 20 世紀 80 年代中期首次引入聚合型避雷器。主要的動力是因為部分性能較差的陶瓷型中壓避雷器，經常遭受密封不足，污染嚴重和造成較差的性能。儘管密封問題不會因使用聚合型避雷器而自動解決，但這項技術與自動化生產方面提供了一些優勢，如時間，運輸，裝卸，依此類推。今天的聚合型中壓避雷器的市場接近到 100%。高壓避雷器的情況是有點不同。聚合型高壓避雷器的估計是 25% 至 30%，有增加的趨勢。必須注意到，聚合型外殼氧化鋅避雷器用於鐵路設施（AC 和 DC），發電機保護，電纜和電纜護套保護和其它特殊應用越來越多。

## (二)氧化鋅避雷器的設計

原則上氧化鋅避雷器包括兩個主要部分：外殼與內部。內部由一堆由機械結構串接在一起，具有高度非線性電壓-電流特性氧化鋅電阻。絕緣外殼針對環境的保護。避雷器的設計可以根據製造技術及內部結構進行分類。

## (三)測試

近來的 IEC 標準(IEC 60099-4, Ed.1.2,2001-12)發表後，包含對於聚合型避雷器的測試程序。

### 1. 經過長時間的外部絕緣性能

程序中已制定在嚴酷環境條件下檢測聚合型絕緣體的性能。長時間的測試大部分得持續時間為 1000 小時或 5000 小時。其中重要的一點是測試程序應考慮所使用的聚合材質。其潑水性決定聚合材質的長期運作之性能。其材質潑水性的喪失可以是永久性的(如：EPDM)或暫時性的(如：矽膠)。

基於現有的標準測試程序，皆試圖對高壓聚合型避雷器建立一個長時間的測試。現有的測試實驗室可以執行 1000 小時的鹽霧測試，測試電壓在 100kV~150kV 的範圍內。也可作 5000 小時的循環測試。

## 2. 污染性能和電場強度

由於高電容之關係，在高壓氧化鋅避雷器內部的軸向電壓分佈非常接近。使得可能在外殼和氧化鋅-柱的表面出現一個高電場應力，見圖 3.14。

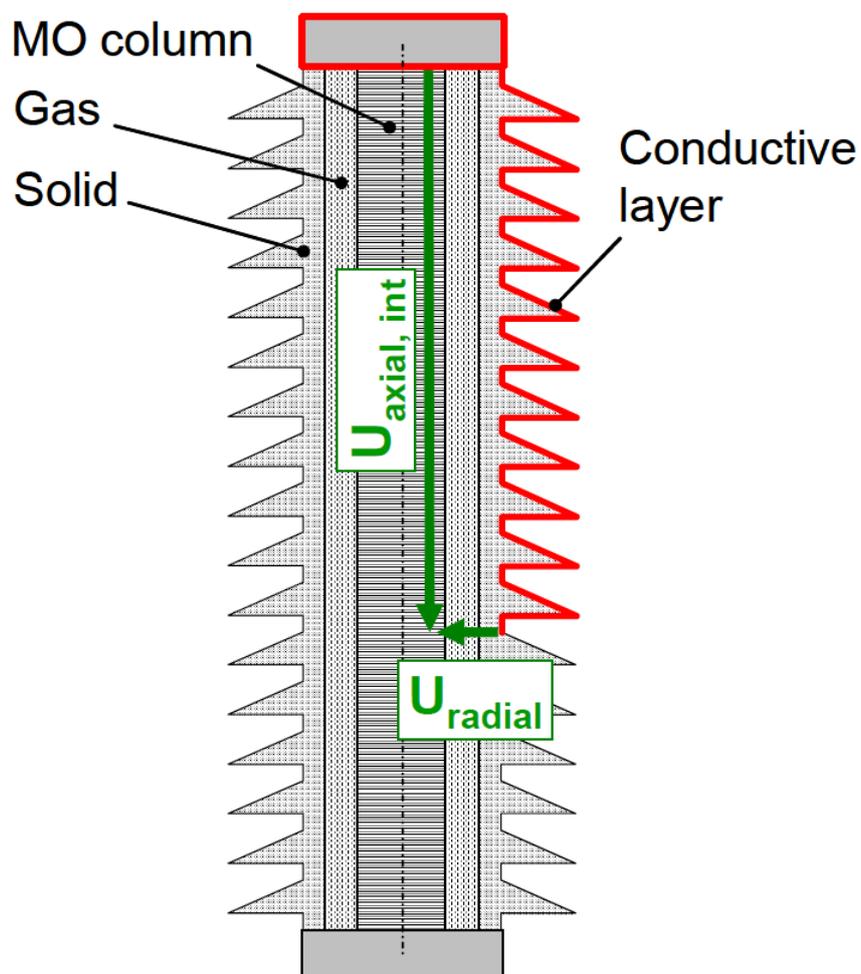


圖 3.14 外殼和氧化鋅-柱的表面之電場應力[3]

鹽霧害下的調查顯示，聚合型外殼與葉片 10 毫米至 20 毫米的間隙距離能有效地避免內部局部放電。此外，專用材料和氧化鋅電阻不易於產生局部放電。

電場應力也是避雷器所關注的部分。此電壓降跨在距離只有幾毫米之間的外殼和氧化鋅柱間，並且一個星期就可擊穿。出於這個原因，在實際避雷器標準需要長時間的進行老化測試所有聚合型避雷器（包括鹽霧施加電壓下）。

#### (四)現場測試

取自各 24 千伏網絡在芬蘭共有 67 個中壓氧化鋅避雷器與 8 個不同品牌（年齡 4 年至 15 年）的聚合外殼。進行下列測量：

1. 目視檢查。
2. 絕緣與電阻電壓測量。
3. 測量的總 AC 峰值電流。
4. 測量的 A.C. 在 3 毫安的電流（峰值）的電壓和介質功率損失。
5. PD 測量 1.05 UC。
6. 殘餘電流脈衝（2.5/70 微秒）。

為 4 年至 15 年的運作，所有的研究氧化鋅避雷器與聚合型外殼在良好的條件。比較測量結果顯示，交流特性沒有顯著變化。

#### (五)戶外測試

聚合型外殼的氧化鋅避雷器安裝在室外測試站。例如，中壓避雷器安裝在南非岸邊 ESKOM 試驗站，如圖 3.15 所示，承受大海嚴重的鹽霧害，沙漠中的沙塵，強烈的紫外線都沒任何故障。



圖 3.15 中壓避雷器安裝在南非岸邊試驗[3]

英國的高壓輸電公司(NGC)要求製造商須證明避雷器能承受靠近海岸的特殊環境。對於此避雷器在 Dungeness 的室外測試站且需承受至少兩個冬季的測試。避雷器經常受到海風吹襲，因此外殼表面長期受到污染。圖 3.16 為此站高壓避雷器(420kV 系統， $U_r = 360\text{kV}$ )。經過兩個冬季，製造商會帶回避雷器做最終檢查。避雷器與新的條件相比，潑水性沒有重大的變化。



圖 3.16 高壓避雷器[3]

中壓系統的矽膠外殼氧化鋅避雷器安裝試驗，在世界有廣大農業和靠近水泥廠的不同的地區，都有非常好的性能。即使在洩漏電流的標準範圍內，必須與嚴重污染地區保持適當的距離。

如圖 3.16 所示，氧化鋅避雷器有特定每千伏 28 毫米洩漏電流的測試電壓。

聚合型外殼氧化鋅避雷器可根據內部結構和生產過程劃分。外殼材質為矽膠，顯現其性能優於其他聚合型材質。

氧化鋅避雷器與聚合型外殼在中壓領域占有率幾乎達 100%。現在大約已經成功投入近 20 年。聚合型高壓避雷器佔有率大約 30% 左右，而有增加的趨勢。

在這段期間，已經出現於不同的設計原理，基本上分為 tube、wrapped 或 cage 的設計。這些不同設計通常用在不同領域。該技術可以被視為已成熟。因此可預測聚合型高壓避雷器將會增加佔有率。

在 2001 年發表 IEC 測試標準無間隙氧化鋅避雷器，包括了聚合型外殼避雷器的長期測試。然而，現今仍在進行討論。因為實驗室的限制，並不可能長期的進行完整的高壓避雷器測試，尤其考慮到循環試驗。執行長期的外層絕緣測試，應考慮實際使用的材料。

一般來說，從實驗室測試和該領域不同避雷器的性能測試結果相關性仍受到質疑。中壓避雷器在長期高濕度下的測試(測試時間超過 2 年)證明，直接成型(如矽膠)設計，表現出最佳性能。

此外，不僅要考慮到滲入濕度的設計，且經過一段高濕度，必須保證在設計上沒有增加濕度。

在南非(ESKOM)和英國(NGC)戶外測試站的實地考察經驗證明，聚合型整體性能，氧化鋅避雷器裝置在中壓、高壓和超高壓系統皆非常好。

## 3.2 各國陶瓷型避雷器耐污染能力分析

### 一. 日本作法[1]

由於陶瓷型避雷器絕緣表面受到污染後其散熱性能有很大的差異性。因此，需要建立一個污染測試來對陶瓷型避雷器進行評估。以下介紹經人工污染後，對測試避雷器之溫升結果進行分析。

(一) 測試之避雷器

測試避雷器的規格如表 3.2。

表 3.2 測試避雷器的規格[1]

測試避雷器	A	B	C
額定電壓[kV]	266	266	280
殘餘電壓[kV at 10kA]	720	600	628
表面沿面距離[mm]	7630	8540	11970
瓷葉片的直徑	250	300	345
瓷殼的外直徑	150	180	205
重量[kg]	275	530	600
參考電壓[kV]	430	348	382

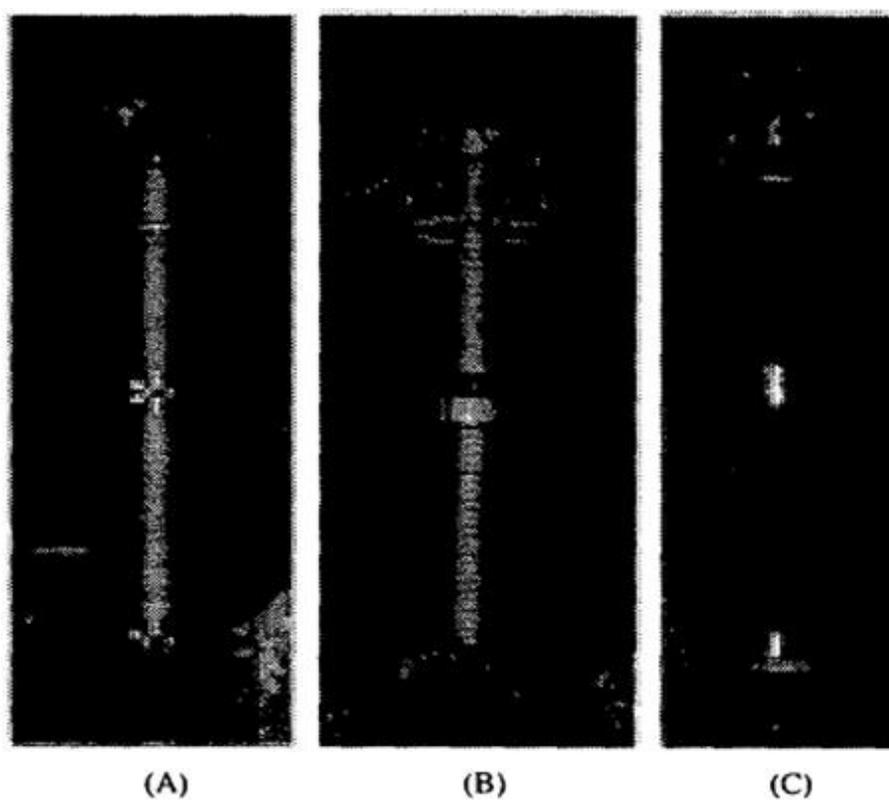
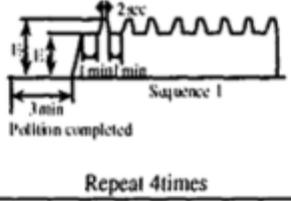
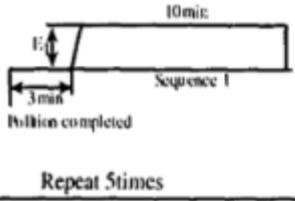


圖 3.17 215kV 避雷器之測試照片[1]

## (二) 污染測試

Test Method	(a) JEC-217-1984	(b) Modified JEC-217	(c) IEC-60099-4 Annex F
Contamination	Tonoko powder of 40g/liter, Salt		Bentonite of 5 g/liter, An undiluted non-ionic detergent of 1g/liter, Salt
Pollution Level	Specified ESDD (0.01 and 0.06 mg/cm <sup>2</sup> )		Resistivity of 400 to 500 Ω·cm
Test Procedure			

$E_1$ : MCOV (A & B:  $287.5\text{kV}/\sqrt{3}$ , C:  $300\text{kV}/\sqrt{3}$ ),  $E_2$ : 78% of rated voltage

圖 3.18 陶瓷型避雷器污染測試之比較[1]

## (三) 測試結果

### 1. 洩漏電流

對測試樣品施加電壓後每分鐘測量其洩漏電流，洩漏電流之門檻值為 2、5、10 和 20mA。在每次測量中，其表面電流在開始階段呈現逐步增加的趨勢。

## (四) 氧化鋅元素之溫升

當洩漏電流波形中開始產生連續電弧時，氧化鋅之溫度開始上升。表 3.3 顯示每個測試之最高溫升。

表 3.3 每個測試之最高溫升[1]

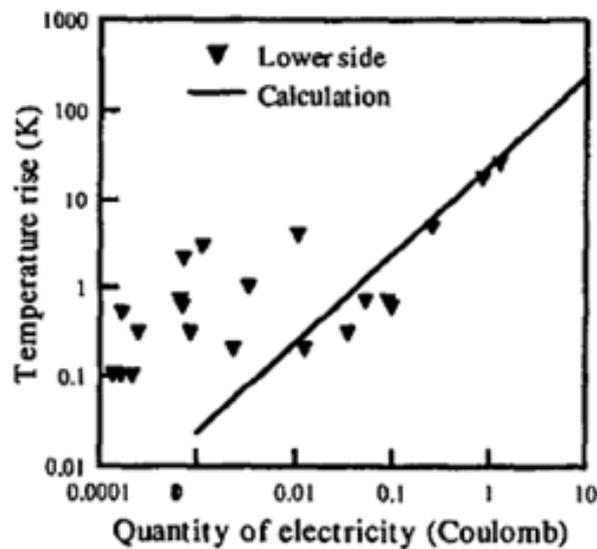
	JEC-217-1984		Modified JEC-217		IEC-60099-4 Annex	測量方法
	0.01	0.06	0.01	0.06		
A	4.2	9.0	4.2	8.9	11.0	T.C.
B	8.6	10.7	18.4	16.2	2.1	Optical fiber
C	-	4.5	-	34.1	-	Optical fiber

每次測試中，氧化鋅元素之溫升比產生熱崩潰的避雷器相比下較為輕微。在 Modified JEC 測試中，最大溫升 34.1K，ESDD  $0.06 \text{ mg/cm}^2$  的情況下。三個測試觀察其溫升，最大差異約在 17K。

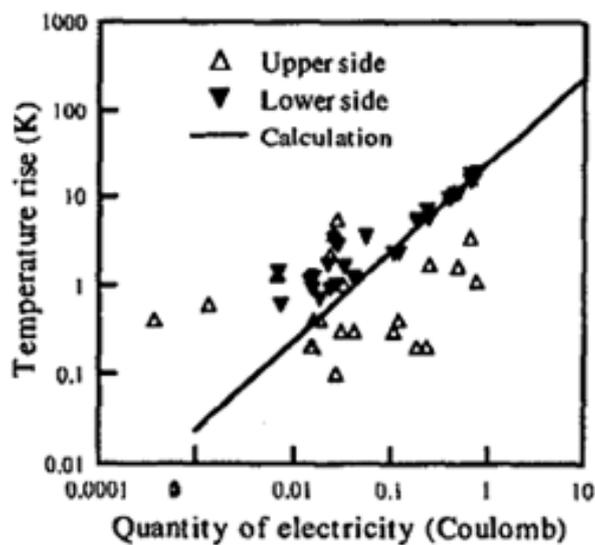
### (五) 討論

#### 1. 氧化鋅元素參考電流之溫升

考慮其參考電流氧化鋅元素之溫升。圖 3.19 顯示電流與溫升趨勢之關係圖。



(a) Upper unit ZnO elements



(b) Lower unit ZnO elements

圖 3.19 電流與溫升趨勢之關係圖[1]

經由下文檢測以電流參考其溫升。溫升  $\Delta T$  所吸收之能量  $W$  由下面公式。

$$\Delta T = \frac{W}{\rho SCQ} \quad (3-1)$$

其中  $\rho$  是具體的比重 ( $g/cm^3$ )， $S$  是元素體積 ( $cm^3$ )， $C$  是比熱 ( $0.125cal/gK$ ) 和  $Q$  是熱量 ( $4.18J/cal$ )。每個測試元件接使用來自避雷器  $B$ ，其重量為  $560g$ ，參考電壓為  $7.05kV$ 。

從電流及溫升之公式或得以下公式。

$$W \approx I \times t \times V \quad (3-2)$$

經電流計算，元件溫升幾乎都發生在  $10\sim 30K$  之間。三種測試元件之溫升，接近元件電流和熱特性之計算結果。

在這種情況下，所有電流流經過氧化鋅，因此，所有元件皆是因電流而造成溫升，而造成的幾乎都相等。

## 2. 氧化鋅元件之部分溫升

在污染測試中，陶瓷外殼乾燥表面產生電弧。以避雷器結構角度來看，陶瓷外殼產生的熱是最直接影響的元素。因此本試驗指出，當局部電弧產生時能觀察到電流波形。圖 3.20 顯示以數位暫存器量測當產生局部電弧之洩漏電流波型。上表面和下表面電流幾乎相等。圖 3.20(b)顯示相對較高的電流脈衝頻率。

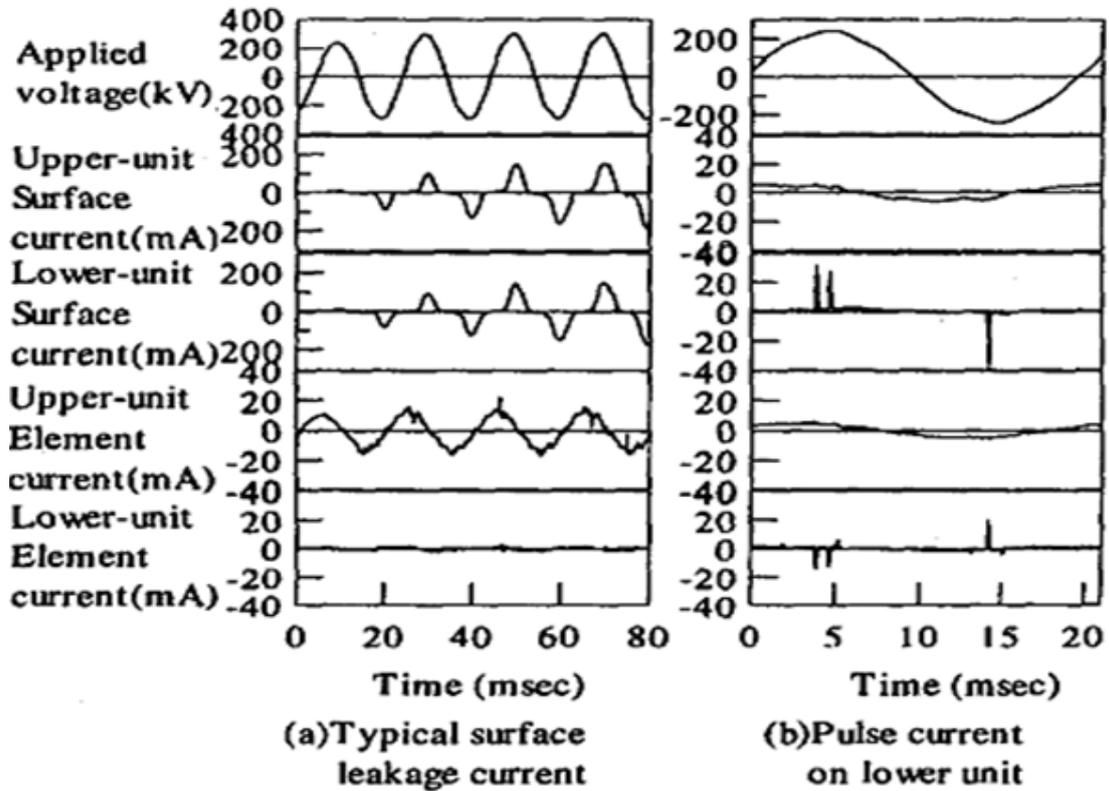


圖 3.20 數位暫存器量測當產生局部電弧之洩漏電流波型[1]

機組表面之脈衝電流，含有相位相反之電流。在其他機組上發現有輕微的影響。藉由電路模擬器(MicroCapIV)分析這個現象，以簡化模型放置一個開關於表面電弧處。作為一個模擬研究結果，以類似實驗，當陶瓷外殼表面產生局部電弧時，發現元件之電流脈衝相位相反。這個發現表示，測試機組電流存在循環脈衝，如此是因為陶瓷外殼表面產生電弧所造成。

因此，與任何元件之溫升和陶瓷外殼發生局部電弧有高度的關聯性。然而，在同一區域表面溫度之相應元素將不會被改變。

本節顯示氧化鋅元件之電流，與耐污測試方法以及流經氧化鋅之電流，與局部元件之溫升關係不大。暫態過電壓，以模擬實際系統條件，考慮單相接地故障，於 JEC-217-1984 進行測試，單獨應用 MCOV，測試評估溫升。

陶瓷外殼之局部電弧，造成電流脈衝。高頻率電流造成陶瓷外殼表面產生局部電弧，與氧化鋅元件之局部溫升有關。

## 二. 大陸[17]

陶瓷型避雷器的正常運轉，使能夠對電氣設備發揮良好的保護作用，電力設備預防性試驗程序規定了陶瓷型避雷器之預防性試驗項目、週期和要求，然而，在現場應用中，陶瓷型避雷器帶電測試卻受到很多干擾因素的影響，例如溫度、濕度及設備表面的汙穢等等，這些都影響了帶電測試的準確性，甚至會造成試驗人員的誤判斷。

### (一) 氧化鋅帶電測試

氧化鋅帶電測試中，採用二次法利用 PT 二次電壓最為參考信號，該信號由 PT 的二次端子經電壓隔離取得，即使主機側發生故障也不會影響現場設備的運轉，同時利用角度補償來降低干擾。

二次法原理是：向儀器引入 PT 二次電壓信號和氧化鋅避雷器在運轉下的洩漏電流信號，經傅立葉轉換可以得到電壓基波幅值  $U_1$ 、電流基波峰值  $I_{x1p}$  和電流電壓夾角  $\phi$ ，與電壓同相分量為電阻性洩漏電流基波峰值 ( $I_{r1p}$ )，正交分量是電容性電流基波峰值 ( $I_{c1p}$ )，則有：

$$I_{r1p} = I_{x1p} \cos \phi \quad (3-3)$$

$$I_{c1p} = I_{x1p} \sin \phi \quad (3-4)$$

用  $\phi$  值的大小來判斷氧化鋅洩漏電流的狀況，若電阻性洩漏電流不能超過總電流的 25%，則  $\phi$  不能小於  $75.5^\circ$ ，同時又因  $\phi$  大多在  $81^\circ - 86^\circ$  之間。如表 3.4，在  $\phi < 80^\circ$  時應該要開始注意。

表 3.4 氧化鋅避雷器性能表[17]

	$<75^\circ$	$75^\circ \sim 77^\circ$	$78^\circ \sim 80^\circ$	$81^\circ \sim 83^\circ$	$84^\circ \sim 86^\circ$	$>86^\circ$
性能	劣	差	中	良	優	有干擾

## (二)溫、濕度影響

陶瓷型避雷器內部空間較小，散熱條件較差，加有功率損耗產生的熱量會使閘元件的溫度高於環境溫度，這些都會使陶瓷型避雷器的電阻性洩漏電流增大；實際運轉中的閘元件溫度變化範圍很大，因此電阻性洩漏電流的變化範圍也很大。另外在濕度比較高的情況下，陶瓷外殼的表面洩漏電流會增加。總之，在不同溫、濕度下，陶瓷型避雷器的總洩漏電流、電阻性洩漏電流以及角度  $\phi$  將發生變化，從而影響帶電測試的準確性。

因此對同一組陶瓷型避雷器進行監測，應盡可能選擇相近的季節作測試；盡量選擇天氣晴朗、相對濕度小等條件下進行測量，這樣歷年得到的測試數據才有比較的意義。

## (三)陶瓷型避雷器表面汙穢

由於陶瓷型避雷器多數運轉於戶外，其瓷外殼極容易受到環境灰塵的污染，這些表面汙穢不僅影響閘元件的電壓分佈而使其內部洩漏電流增加，同時也使外部表面洩漏電流明顯增加。由於陶瓷型避雷器本體的電阻性洩漏電流較小，因此即使較小的表面洩漏電流也會給測試結果帶來誤差，如表 3.5。

表 3.5 某沿海地區 200kV 變電站主變中壓側 MOA 帶電測試結果[17]

相別	檢測時間	$I_x / mA$	$I_{xp} / mA$	$I_{rp} / mA$	$I_{r1p} / mA$	$I_{c1p} / mA$	$\phi / (^\circ)$
A 相	2008.03.01	0.574	0.809	0.059	0.810	0.810	86.2
	2009.02.12	0.577	0.811	0.071	0.813	0.813	85.14
B 相	2008.03.01	0.568	0.803	0.046	0.802	0.802	87.5
	2009.02.12	0.570	0.805	0.054	0.805	0.805	86.47
C 相	2008.03.01	0.572	0.805	0.035	0.809	0.809	88.1
	2009.02.12	0.574	0.801	0.046	0.811	0.811	87.11

根據表 3.5 的診斷參考依據對 2007 年的測試結果進行判斷，不論是總電流還是角度  $\phi$  都大幅超過了規定的要求值；一般總電流都不會超過 0.8mA，否則必須進行監測，同時測得的角度  $\phi$  都比 75° 小得多，根據試驗人員判定該陶瓷型避雷器存在的缺陷，可能是內部受潮而劣化，必須進行停電測試。但測試完後發現，所有角度都沒有超過 65°，但是  $I_x$  都超過臨界電流 0.8mA 的 50%。總結分析，並非內部受潮劣化，而是由於沿海地區在春季濕度和鹽度較高等環境因素引起。可見氧化鋅避雷器汙穢引起的表面洩漏電流是不能忽視的。

#### (四) 測試

以某 100kV 變電站母線 PT 氧化鋅避雷器帶電測試為例，採二次法的角度補償，並在天氣晴朗、相對濕度較小的環境進行測試，測試中運用屏蔽法來消除 MOA 表面汙穢引起的洩漏電流影響，測試結果如表 3.6、表 3.7 所示。

表 3.6 某 110kV 變電站 MOA 帶電測試結果[17]

相別	檢測時間	$I_x / mA$	$I_{xp} / mA$	$I_{rp} / mA$	$I_{r1p} / mA$	$I_{c1p} / mA$	$\phi / (^\circ)$
A 相	2009.04.15	0.684	0.972	0.203	0.197	0.947	78.21
	2010.03.26	0.551	0.779	0.081	0.074	0.776	84.4
B 相	2009.04.15	0.607	0.846	0.146	0.121	0.849	81.84
	2010.03.26	0.599	0.841	0.082	0.065	0.845	85.5
C 相	2009.04.15	0.578	0.804	0.01	0.145	0.805	80.2
	2010.03.26	0.529	0.747	0.068	0.060	0.746	85.4

表 3.7 MOA 停電測試結果[17]

相別	檢測時間	$U_{1mA} / kV$	75% $U_{1mA}$ 下洩漏電 流/ $\mu A$	絕緣電阻 / $M\Omega$
A 相	2010.05.14	161	16	20000
B 相	2010.05.14	159	17	20000
C 相	2010.05.14	163	19	20000

陶瓷型氧化鋅避雷器帶電測試下實現對避雷器的診斷，由本節可知溫濕度的變化以及表面汙穢等等，將影響帶電測試的準確性。因此提出相應的解決措施，使陶瓷型氧化鋅避雷器帶電測試之總洩漏電流、電阻性洩漏電流以及電流電壓夾角能更真實的反應避雷器性能，提高準確性。

### 3.3 各國聚合型與陶瓷型避雷器耐污染測試方法比較

表 3.8 為韓國、德國、日本以及大陸，對於聚合型避雷器以及陶瓷型避雷器耐污染測試方法，並對各國所使用的污染方法以及試驗場所作比較整理。

表 3.8 各國耐污染測試方法與結果比較

國家	韓國	德國	日本	大陸
類型	聚合型避雷器	聚合型避雷器	陶瓷型避雷器	陶瓷型避雷器
測試場所	實驗室與室外且靠海之場所作測試比較	沿海	於實驗室中進行人工污染試驗	沿海帶電試驗
測試方法	以鹽霧進行加速老化試驗，觀察老化特性及潑水性。	鹽霧狀況下之避雷器，對潑水性進行討論。	污染後的避雷器，對散熱性能、電力品質以及洩漏電流的結果進行討論。	測量其相角、總洩漏電流以及電阻性洩漏電流來判斷汙穢對機組的影響。
測試結果	<ol style="list-style-type: none"> <li>對於加速老化試驗後之電氣特性評估，結果試驗樣品之密封隔離性能呈現劣化。</li> <li>表示，聚合型避雷器經過長期的運作可能產生水分滲透之現象。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>聚合型外殼氧化鋅避雷器可根據內部結構和生產過程劃分。</li> <li>外殼材質為矽膠，顯現其性能優於其他聚合型材質聚合型在嚴重污染後無法恢復(潑水性完全喪失)，應通過 1000 小時鹽霧試驗測試聚合型在在嚴重的污染之後並恢復(例如矽膠)作循環測試。</li> <li>陶瓷外殼避雷器有經濟和技術的優勢，因此可預測聚合型高壓避雷器將會增加佔有率。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>氧化鋅元件之電流，與耐污測試方法有關係。</li> <li>流過外殼之局部電弧，造成電流脈衝。</li> <li>高頻率電流造成外殼表面產生局部電弧，與氧化鋅元件之局部溫升有關。</li> </ol>	溫濕度的變化以及汙穢造成的影響將造成陶瓷型避雷器帶電測試的準確度，因此提出解決措施來解決。

## 第四章 國內外避雷器現行耐污損相關規範檢討

### 4.1 國際電工協會 IEC 60099-4 2009[6]

一. 外部絕緣之金屬氧化物避雷器，應考慮到三個可能影響因素：

1. 外部閃絡之風險
2. 內部避雷器之局部份放電
3. 污染層於避雷器外殼表面所造成非線性和暫態電壓等級使內部元件溫度上升

實驗室的測試和經驗顯示，在污染條件下，避雷器內部元件之溫升與電荷吸收有關聯，因此，此參數在避雷器污染之評估是不可或缺的。考慮不同絕緣體和避雷器之表面平均外部放電，成立一個代表性的污染程度分類。本附件所描述之程序，僅針對陶瓷外殼避雷器。

本附件程序描述，在操作責任測試前預先加熱測試期樣品，考慮到污染的加熱效果。

## 二. 現場嚴重程度的分類

現場污染程度分類，以平均外部電荷  $q_z$  作為依據，根據不同污染嚴重度進行測量。考慮到絕緣體表面之電荷流動與直徑成正比，其  $q_z$  值，標準等效直徑為 1m。污染現象的持續時間(tz)假設如下：持續中等時間的高強度污染事件(2h)與持續長時間污染事件(6h)。表 4.1 中顯示不同污染區域所給的  $q_z$  值

表 4.1 針對不同的污染嚴重程度的平均外部放電[6]

污染等級 (zone)	最小表面沿面距離 mm/kV	$q_z$ : 平均外部放電 C/h·m	
		tz = 2 h	tz = 6 h
I - 輕微	16	0.5	0.24
II - 中等	20	3.3	2.4
III - 嚴重	25	24.0	14.0
IV - 非常嚴重	31	55.0	36.0

### (一) 初步加熱試驗測量熱時間常數 $\tau$ 和 $\beta$ 的計算

使用規定程序，有以下條件，加熱時間應小於 10 分鐘、應測量應用在加熱過程中避雷器的電荷  $Q_h$  與  $\tau$  是從避雷器冷卻曲線  $60^\circ\text{C}$  和  $22+0,63T_a$  和溫度之間得出的時間， $T_a$  為環境攝氏溫度。

$$\beta = \frac{\Delta T_h}{Q_h} \quad (4-1)$$

其中  $\Delta T_h$  是在加熱過程中測試的溫升， $Q_h$  是在加熱過程中測試的電荷。

## (二) 需要進行污染測試的驗證

為了檢查實際進行污染測試的需要，應進行初步計算的最大溫升（ $\Delta T_{z \max}$ ）。該計算假設所有樣品預期電荷（ $q_z$ ）流入內部。在這一假設， $\Delta T_{z \max}$  可以得出如下：

$$\Delta T_{z \max} = \beta \times q_z \times D_m \times \tau \times \left[ 1 - e^{\left( \frac{-t_z}{\tau} \right)} \right] \times \left[ \frac{U_r - U_{r \min}}{U_r} \right] \quad (4-2)$$

其中  $U_r$  是避雷器的額定電壓； $U_{r \min}$  避雷器每分鐘單位之間的最小額定電壓。

如果計算的最高溫升  $\Delta T_{z \max}$  結果值小於 40K 時，則不需要污染測試且操作責任測試起始溫度應為 60°C。如果計算的最高溫升  $\Delta T_{z \max}$  結果值大於等於 40K 時，應進行根據本附件所述的測試程序，除非，用戶與製造商之間有協議，則污染測試可以被省略。

### (三) 污染測試的通用要求

#### 1. 試驗樣品

根據給定的標準，測試樣品的特點，應選擇表 4.2。

表 4.2 用於污染測試的樣品特徵[6]

參數	選擇標準
$U_c / U_r$	最大
加權不平衡性(WU)	最大
具體的爬電距離[mm/kV]	最小
座截面積	最小
等效瓷器直徑	最大

#### 2. 測量設備和測量程序

##### (1) 電荷的測量

電阻元件的內部電荷的測量應考慮：消除在電荷測量時的電容電流的影響。

表 4.3 電荷測量設備的最低要求[6]

特徵	Requirement
最小電流整合範圍	0 mA to 500 mA
最小電流分辨率	0,2 mA
最小的模擬帶寬	0 Hz to 2 000 Hz
最小採樣頻率	1 000 Hz
放電的最大更新週期	1 min
在更新期間的最大殘留電容充電	校正週期內全部電荷的±10 %
最大總測量不確定度	±10 %

在兩個單位避雷器的情況下，內部和外部的電荷應在線上和接地端子進行測量。

在兩個單位以上組成的避雷器的情況下，應採取以下測量過程：

- A. 內部和外部的電荷應測量避雷器線上和接地端子。
- B. 只有外部電荷需做中間單位的測量。
- C. 內部的電荷是通過下列公式計算：

$$Q_i = \frac{(Q_{iT} + Q_{eT}) + (Q_{iB} + Q_{eB})}{2} - Q_e \quad (4-3)$$

其中， $Q_i$  是中間元件的內部電荷； $Q_{iT}$  是頂端元件的內部電荷； $Q_{iB}$  是底部元件的內部電荷； $Q_e$  是中間元件的外部電荷； $Q_{eT}$  是頂端元件的外部電荷； $Q_{eB}$  是底部元件的外部電荷。

## (2) 溫度的測量

表 4.4 溫度設備的最低要求[6]

特徵	Requirement
溫度量測範圍	20 °C to 200 °C
絕對測量的不確定性	±1 K
分辨率	≤0,4 K
最大熱時間常數	1 min
最小取樣頻率	1 min

#### (四) 試驗準備

##### 1. 樣品的清洗

避雷器外殼應仔細清洗，污垢、油脂及痕跡，清洗後不得用手觸摸。在絕緣體徹底用自來水沖洗之後，使用 50°C 的水和磷酸三鈉或同等清潔劑清洗。

##### 2. 測式程序

###### (1) 泥漿法

###### A. 污染物的準備

污染物，應存放在容器中，以便可以徹底的攪拌。污染物應包括水，膨潤土(水每公升 5g)，氯化鈉以及類似非離子型組成物，泥漿電阻率應在 400Ω.cm 和 500Ω.cm 之間的範圍。

###### B. 環境條件

在試驗開始時，避雷器應在與空氣熱平衡測試室。環境溫度不得低於 5°C 或高於 40°C。步驟如下：

(A) 避雷器在斷電的情形下，污染物應均勻的在整個避雷器表面。

(B) 污染物均勻塗抹完成後三分鐘，將避雷器通電 10 分鐘。

(C) 避雷器應以水清洗乾淨，之後乾燥。

(D) 步驟(A)、(B)和(C)應重複三次。

在處理過程結束時，避雷器應先讓其溫度冷卻。為了驗證，避雷器在測試過程中沒有發生劣化，測試前避雷器之參考電壓與測試後之避雷器進行測量比較，其變化值應在製造商指定之接受範圍內。

在預處理過程結束時，避雷器應在室溫下進行冷卻。為了驗證過程中避雷器沒有發生劣化，應測量避雷器的參考電壓和試驗前的測量值做比較。參考電壓應在製造商指定可接受的變化範圍內。

### C. 測式程序

應採用以下步驟

- (A) 隨著避雷器斷電，污染物應完整用於避雷器上，包括葉片的底部。污染層，應為連續的薄膜。使用污染物的最大時間是 10 分鐘。
- (B) 污染物用於避雷器三分鐘後，應在電壓  $U_c$  通電 10 分鐘；且電荷測量應在通電時開始。
- (C) 用清水洗避雷器後移除瀝乾。在下一個測試開始之前，避雷器內部零件應留下來冷卻至最大  $\pm 2$  K 平均環境溫度。如果沒有測量內部零件的溫度，最低時間  $2\tau$  應隨後排在的兩個測試之間，以確保避雷器已冷卻並接近環境溫度。製造商接受任何方法來冷卻避雷器使接近環境溫度。幾個避雷器可在並聯測試，以減少等候時間。
- (D) 步驟(a)、(b) 和(c)重複 5 次。
- (E) 預期的溫升  $\Delta T_z$  應當按照程序規定計算。
- (F) 如果  $\Delta T_z$  值低於 40 K 時，則不需要進一步的污染測試，而操作責任測試起始溫度 TOD 應為  $60^\circ\text{C}$ 。假如  $\Delta T_z$  的值大於或等於 40K 時步驟(a)(b)(c)應重複操作 5 次以上。

## (2) 鹽霧法

### A. 污染物的準備

鹽溶液應符合 IEC60507-1991 第 7 條規定：鹽溶液應由氯化鈉和商業用純水調合而成，鹽度值應符合 IEC60507 第 7 條，鹽度測量應通過測量電導率來校正符合 IEC60507。

### B. 避雷器表面的預先處理

開始測試前的處理，應確定避雷器的參考電壓。預處理過程應以一次一個單位的避雷器來進行。如果預處理單組避雷器時，其他單位應與外部線路短路，不通電。對避雷器裝置通電電壓  $U_c$  和鹽霧 20 分鐘直到閃絡為止。如果沒發生閃絡，則避雷器電壓提高額定電壓 5 秒或直到閃絡，然後再次降低  $U_c$  值 5 分鐘。此過程反復進行，直到閃絡。

另外，製造商和買方之間的協議，避雷器之預處理可在外殼上進行。每個機組在預處理後，避雷器應除霧並以自來水沖洗。在預處理過程結束時，避雷器應當冷卻至環境溫度。為了驗證，在調節的過程中避雷器沒有發生劣化，避雷器測量之參考電壓與預處理前的值做比較。參考電壓的變化應比照製造商指定可接受的範圍內。

避雷器應在空氣熱平衡的試驗室中進行試驗。環境溫度不得低於 5°C 或高於 40°C，其水溶液的溫度差異不得超過 15K。

### C. 測試程序

應採用以下步驟：

- (A) 避雷器應統一用自來水沖洗。在避雷器仍是潮濕狀態時，用測試電壓  $U_c$  加壓。
- (B) 避雷器應在指定的測試電壓和鹽溶液下通電，而空氣壓縮機應接通。一旦壓縮空氣，噴嘴達到的正常工作壓力，則視為測試已經開始。
- (C) 霧的生產應在 15 分鐘後停止，另外避雷器應保持通電 15 分鐘。
- (D) 在隨後的測試週期開始之前，鹽霧應撤離並讓避雷器冷卻至室溫。
- (E) (A) ，(B) ，(C) 和(D) 重複 5 次。
- (F) 預期溫升  $\Delta T_z$  應按照規定的程序計算。
- (G) 如果  $\Delta T_z$  值低於 40 K 時，則不需要進一步的污染測試，而操作責任測試起始溫度 TOD 應為 60°C。假如  $\Delta T_z$  的值大於或等於 40K 時步驟(A)(B)(C)應重複操作 5 次以上。

## (五) 測試結果評估

### 1. 計算， $K_{ie}$

對於每個重複性測試週期的 $K_n$ 的值的計算公式如下：

$$K_n = \frac{\sum \left[ \frac{Q_{ik} \times U_{rk}}{U_r} \right]}{Q_{e \max}} \quad (4-4)$$

其中， $Q_{e \max}$  是最大的外部電荷等級； $Q_{ik}$  是關於機組 k 內部電荷； $U_{rk}$  是機組 k 的額定電壓； $U_r$  是避雷器的額定電壓； $k = 1, 2, \dots, n$ ； $n$  是避雷器單位的數量。

在內部零件的溫度已被測量，而不是內部電荷的情況下，方程(5-4)被(5-5)替換：

$$K_n = \frac{\sum \left[ \frac{\Delta T_k \times U_{rk}}{\beta \times U_r} \right]}{Q_{e \max}} \quad (4-5)$$

其中 $\Delta T_k$  是溫度上升與機組 k 在本單位的不同點測得的最高溫度之間的算術平均值計算有關。

$$Q_{e \max} = \max \left( Q_{tot} - \frac{\Delta T_k}{\beta} \right) \quad (4-6)$$

$K_{ieM}$  的平均值是 $K_n$  值做算術平均數計算， $\sigma$  是 $K_n$  值做標準偏差，統計比 $K_{ie}$  按下列公式計算：

$$K_{ie} = K_{ieM} + c\sigma \quad (4-7)$$

其中， $c=2$  有關的 10 個測試週期測量進行計算的情況下， $c=2.9$  在測量有關 5 個測試週期的基礎上進行計算的情況下。

在操作下計算預期溫升 $\Delta T_z$ ，預計溫升 $\Delta T_z$  按下列公式計算：

$$\Delta T_z = \beta \times K_{ie} \times q_z \times D_m \times \tau \times \left[ 1 - e^{\left( \frac{-t_z}{\tau} \right)} \right] \quad (4-8)$$

## 2. 責任測試的準備

以責任測試之起始溫度 TOD 為準則做計算遵循下列標準：

- (1) 如果  $\Delta T_z$  大於 40 K 時，TOD = 20°的 C +  $\Delta T_z$
- (2) 如果  $\Delta T_z$  低於或等於 40 K 時，TOD 的 = 60°C

## 4.2 國際電工協會 IEC 62217 Ed.1(僅適於聚合型)[7]

### 一. 追蹤和侵蝕測試

#### (一)小時鹽霧測試

##### 1. 過程

此試驗是以高頻率定功率的電壓下且在有限時間內連續測試。千伏之測試電壓由實際的表面沿面距離來進行調整，表面沿面距離除以 34.6 毫米決定測試樣品表面沿面距離(相當於具體的漏電距 20mm/kV)。當測試電路以連續電流 250mA(rms)。以高壓測試經過 1 秒，應經歷最大壓降 5%。其保護等級應設置在 1A(rms)。

##### 2. 試驗室

其試驗應在抗腐蝕且防潮濕密閉的試驗室中，體積不得超過 15 立方公尺。

##### 3. 霧氣之產生

以一個有噴灑能力之渦輪噴霧機，採用水霧化方式，產生 5 到 10 $\mu$ m 大小的水滴。噴霧器和噴嘴應安裝靠近試驗室底部且朝試驗室屋頂向上噴灑。霧氣應完全充滿於試驗室中，且不能直接噴灑於試驗樣品上。

以 NaCl 和去離子水製成之鹽水供噴霧器噴灑。霧氣之強度與均勻度應保持在試驗樣品能接觸的範圍內。

##### 4. 霧氣之標定

標定應在試驗開始時進行。至少有兩個 8000mm<sup>2</sup>±2000mm<sup>2</sup>、最大高度 100mm 乾淨的蒐集容器，並設置靠近實際測試樣品之末端。蒐集器之放置必須以不遮蔽到試驗樣品且避免因建築構造或其它因素造成之水滴滴落至試驗樣品上。應蒐集每小時 1.5ml 和 2.0ml 之間

的量，平均最少超過 16 小時的週期。要取得如此的水量(典型為每 3 小時 0.3 l/m)應注意其流量。(水流量是指每小時每立方米的試驗室容積)之後，在測試過程中，其流量應至少每 100 小時進行檢查，且應保持在初始值得 $\pm 25\%$ 。不得使用循環水。

## 5. 測試樣本

用兩個相同的絕緣體，其設計之表面沿面距離 500mm~800mm 之間的測試應用於裝配線上。假如這樣的絕緣體，無法使用於裝配線，測試樣品應做出與其他絕緣體之表面沿面距離落於給的定值之間。測試樣品應以去離子水進行清洗，然後開始測試。第一個測試樣品應水平安裝測試(大約試驗室一半的高度)而第二個樣品應垂直安裝。樣品之間需有至少 400mm 的間隙，與屋頂和地板的距離也是一樣的。

## 6. 測試條件

測試時間：1000 小時

允許每週不超過 1 小時的中斷檢查測試。

中斷期間不得算在測試時間內。

長時間中斷不得超過 60 小時。

應額外增加一個三次中斷的測試週期時間。

最終的測試報告應包含中斷的所有細節。

環境溫度： $20^{\circ}\text{C} \pm 5\text{K}$

水初始含鹽量：根據表 4.5，NaCl 在最初含量時，如果超過一個以上產生閃絡，應把試驗之 NaCl 含量減半並重新啟動。絕緣體應用自來水清洗，在 8 小時內重新啟動測試(其中斷時間不計算在測試過程中)。閃絡和跳閘動作，應紀錄在試驗報告中。

表 4.5 初始水含鹽量[7]

柄部直徑(mm)	水初始含鹽量	
	I/P ≤ 3	I/P > 3
<50	8 ± 0.4	4 ± 0.2
50~150	4 ± 0.2	2 ± 0.1
>150	2 ± 0.1	1 ± 0.1

I/P is leakage distance divided by the distance between end fitting

## 7. 驗收標準

設計相同的測試樣品共同做評估測試。

以下為通過測試之條件：

- (1) 沒產生漏電電痕。
- (2) 複合材料絕緣體：侵蝕深度小於 3mm，且沒有達核心。
- (3) 樹脂絕緣體：侵蝕深度小於 3mm。
- (4) 其樣品的外殼、葉片以及接口無出現裂痕。

## 4.3 大陸規範 GB/T 20639—2006[22]

### 一. 測試程序

在試驗室安裝測試避雷器。根據所選定的方法施加污穢和電壓。當在有關的污穢條件下施加試驗電壓時，則開始試驗。

#### (一)污穢度

對於鹽霧法用溶液鹽分來表示刻度，對於固體污穢物法用污漿電導率來表示刻度。下列各值：

- (1) 鹽霧法： 2.5、5.0 和 10kg(NaCL)/ $m^3$ ；
- (2) 固體污穢-潮濕法：2.5、5.0 和 10ms/cm；
- (3) 固體污穢-乾燥法：不大於 2.5ms/cm。

#### (二)試驗評估

試驗結果確定避雷器在規定的污穢條件下耐受四次試驗而無放電產生。試驗後放電值和電導電流值都不應有明顯的變化。

#### (三)試驗監測

為了區別表面閃絡和間隙放電，應用示波器分別記錄施加的試驗電壓、流經內部的電流和表面洩漏電流。通常視、聽覺可觀察到表面電流突然增大到接近短路電流，表示閃絡；內部電流比增大，表示間隙放電。

如果示波器指示電壓的五個半波降落到小於 10%的試驗電壓，表示閃絡，而電壓降落大於 10%的試驗電壓，表示間隙放電。

## 二. 污染方法

### (一) 鹽霧法

測試樣品經清洗以後，由專用噴頭產生控制鹽分的鹽溶液細霧，噴頭對向避雷器，佈置成垂直的兩柱，噴頭供有溶液和壓縮空氣。

在試驗期間每個噴頭溶液的流量為  $0.5 (1 \pm 0.5 \%) \text{L/min}$ 。壓縮空氣的壓力為 650kPa 和 750kPa 之間。

若以試驗避雷器放電為目的時，建議每次試驗開始 15min 後應停止霧產生，在 30 min 試驗的剩餘時間供乾燥。施加規定的電壓時，加壓時間按規定或直到發生放電或閃絡為止。

其高電壓值是避雷器額定電壓或按最高對地電壓乘以接地故障係數計算出的電壓值，電壓幅值之間的時間為 5min。該過程可重複進行，每次試驗間皆要清洗避雷器。

### (二) 固體污穢-潮濕法

盡可能均勻地澆在整個乾燥的避雷器上，澆 2 min 後測量避雷器每組的表面電導率與平均值差不應大於 10%。

試驗開始前將污層完全乾燥。規定的每個參考電導值下做四次試驗，每次歷時 30 min 或直到發生放電為止。每次試驗施加給定的試驗電壓。每一次試驗後用自來水洗滌避雷器，然後重新再塗污染物。

為了潤濕預澆在試驗避雷器上的污層，應使用蒸汽霧。為了完成避雷器全長和四周均勻潤濕，應將足夠的蒸汽通到試驗霧室內，每立方米霧室體積每小時 0.5kg 蒸汽流量即可。可以用佈置在試驗霧室底部等距離分佈的管子產生蒸汽霧。

如果試驗循環期間在額定電壓或以下，避雷器發生外部閃絡，則應間隔大約 5min，再做完這個試驗循環，直到成功完成一個循環為止。

### (三)固體污穢-乾燥法

污液通過噴霧、澆灑或浸濕方式將避雷器完全塗敷好，包括葉片下面的面積。塗抹 3 min 內對避雷器施加 0.8 倍避雷器額定電壓的起始試驗電壓。經 60s 將電壓升到額定電壓保持 1s，然後降至起始電壓。

這種循環重複 8 次構成大約 8min 的試驗週期。完成 8 個循環的試驗週期後，就停止試驗並對避雷器塗上新的污染物塗層。四組 8 次循環試驗週期的構成一完整的試驗。

因為當避雷器瓷套有許多火花（即大量的短小電弧）時避雷器內部放電電壓降低最多，污染物的體積導電率必須高到足以產生火花，並可隨避雷器葉片形狀的設計而改變。

有些設計需要比另外一些設計的電導率高，但是所用污染物的電導率應不大於 2.5ms/cm。

塗抹污染物間進行清洗和乾燥。然而，如果試驗程序中斷或延誤致使塗層已乾燥，則避雷器應清洗和乾燥，此後再塗敷。

當試驗循環時，在額定電壓或以下發生避雷器外部閃絡，則在約 1min 時間內再做一次試驗，直到成功完成一個循環為止。如果在試驗期間任何時間內沒有在規定的試驗電壓或以下放電，則認為避雷器通過此試驗。

### 三. 乾燥法與潮濕法固體污穢物之準備

#### (一)潮濕法之污染物

污液為：1000g 水；20g 的氧化矽（高分散的  $SiO_2$ ）；2g 的濕潤劑氯化鈉（NaCl）；用加適量的氯化鈉方法將污液的導電率調到所要求的值。注：污液備好後超過 48h 就不應再使用。

#### (二)乾燥法之污染物

每升水 5g 膨潤土和 1g 未稀釋的非游離的清淨劑的液漿。用加適量氯化鈉的方法將污液電阻率調到所要求的值。

### 四. 乾燥法與潮濕法的污染物

污液為 1000g 水中加 40g 高嶺土粉。為了得到要求的電導率，將一定量的氯化鈉，例如 20g，40g，80g 或 160g，加到以上污液中。

## 第五章 洩漏電流量測方法之比較分析

本章節參考 IEEE 以及 IEC 對於洩漏電流量測之方法進行分析探討，其中包含 MTSM 法、補償法、差動補償法、諧波分析法以及 IEC 60099-5 2000 所提出的方法，本節將其整理比較找出一個理想的方法進行參考採用。

### 5.1 電阻性洩漏電流量測方法比較

#### 一. MTSM 法(Modified Time Shifted Method)[18]

氧化鋅避雷器可以用一個非線性電阻並聯一個分支電容形成簡化的等效電路模型如圖 1.1。

總洩漏電流( $I_x$ )可以分離出電容性分量( $I_c$ )與電阻性分量( $I_r$ )如圖 5.1。

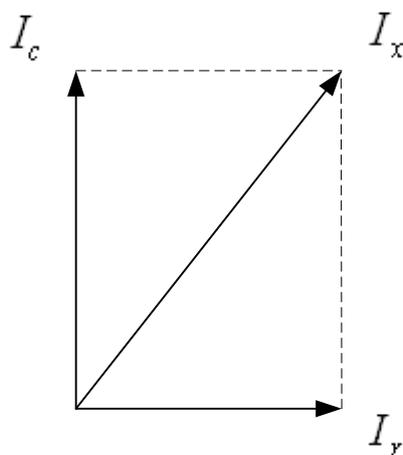


圖 5.1  $I_x$ 、 $I_c$ 和  $I_r$  向量圖[18]

當前的所有電流皆會隨時間變化，因此  $I_x$ 、 $I_c$  和  $I_r$  可以用以下等式表示：

$$I_x(t) = I_R(t) + I_C(t) \quad (5-1)$$

$$I_R(t) = I_x(t) - I_C(t) \quad (5-2)$$

電阻性洩漏電流可以從總洩漏電流中扣除電容性洩漏電流而獲得。將一個相位差  $\pi$  的電容性電流加入到總洩漏電流中來去除電容性洩漏電流分量。

$$I_x(t) = I_C \cos \omega \cdot t + [I_R] \quad (5-3)$$

$$I_R(t) = I_C \cos \omega \cdot t + [I_R] + I_C \cos(\omega \cdot t - \pi) \quad (5-4)$$

$$I_R(t) = I_C (\cos \omega \cdot t + \cos(\omega \cdot t - \pi)) + [I_R] \quad (5-5)$$

$$I_R(t) = 2I_C \cos \frac{\pi}{2} + \cos(\omega \cdot t - \pi) + [I_R] \quad (5-7)$$

$$\text{while } 2I_C \cos \frac{\pi}{2} \cdot \cos(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}) = 0$$

### (一) MTSM 算法

此算法使用修改後的時間移位來計算電阻性洩漏電流，方法描述如下：

1. 取得總洩漏電流的零參考點。
2. 確定總洩漏電流的頻率。
3. 增加延遲總洩漏電流的四分之一週期。
4. 總洩漏電流的峰值時間對應電阻性洩漏電流的峰值時間。
5. 總洩漏電流的四分之一週期的峰值時間為電容洩漏電流的峰值時間。
6. 產生的電容性洩漏電流以偵測其頻率為基礎。
7. 電阻性洩漏電流可以從總洩漏電流中減去電容性洩漏電流來獲得。

計算方塊圖如圖 5.2 所示。

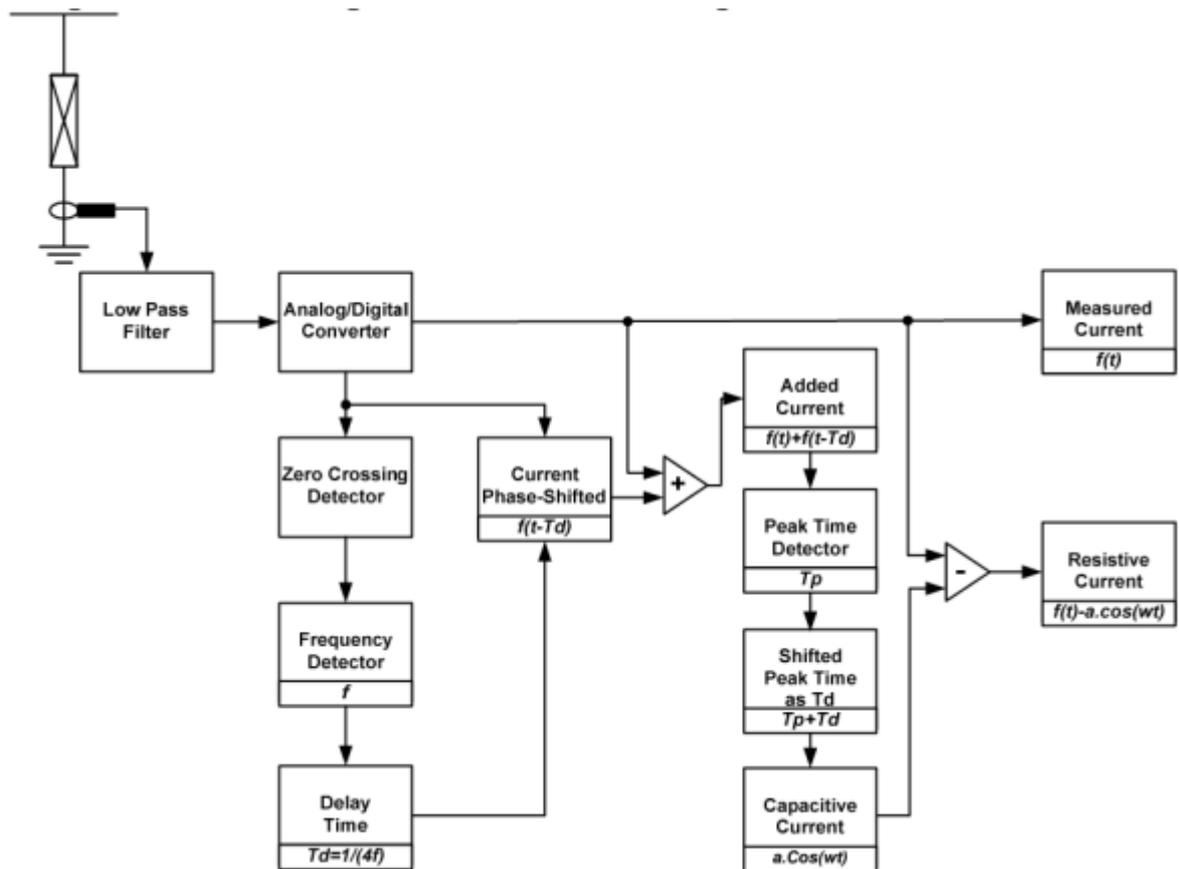


圖 5.2 電阻性洩漏電流之計算方塊圖[18]

該算法以使用 MATLAB7.0.1 模擬。圖 5.3 顯示電阻性洩漏電流、電容性洩漏電流和總洩漏電流的模擬波形。電阻性洩漏電流的峰值大約為 30mA，電容性洩漏電流峰值約為 10mA。總洩漏電流峰值為 30mA。

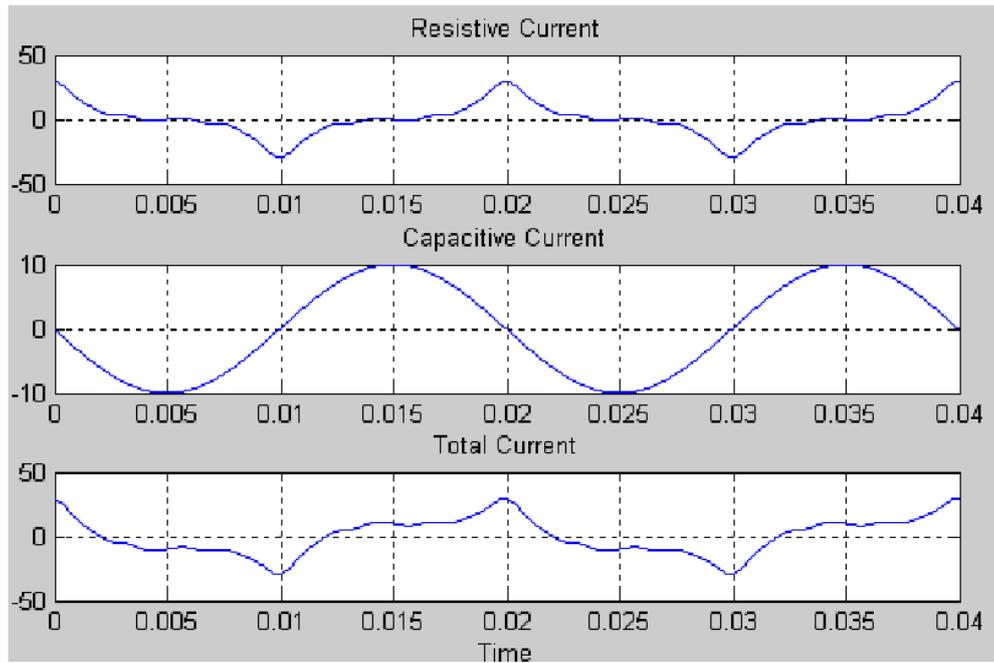


圖 5.3 模擬之波形[18]

以 MATLAB 軟體使用 MTSM 模擬獲得電阻性洩漏電流得到一個滿意的結果。如圖 5.4 所示。

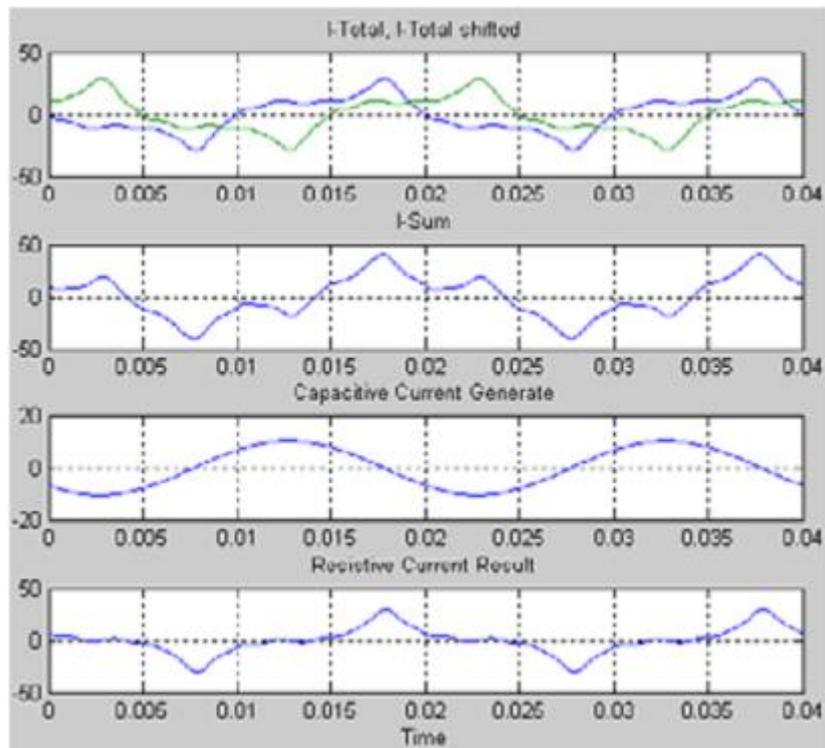


圖 5.4 MTSM 來獲得  $I_r$  [18]

## (二)量測的設置

開發 MTSM 計算程序在電腦上顯示電阻性洩漏電流的結果。

用比值為 1：2000 的電阻分壓器測量電流、比值 1：686 的電容分壓器測量電壓。在這種情況下，電壓的量測只為驗證電阻性洩漏電流與電壓相位相同的結果。

洩漏電流與電壓藉由泰克 TDS3025 數位示波器抓取，並輸入到電腦，如圖 5.2。對當地的電力公司(TNB)的老化氧化鋅避雷器進行一系列的測試。其避雷器樣品的規範以及電氣特性，列於表 5.1。

表 5.1 避雷器資料[18]

Manufature	Ohio Brass,USA
Rated voltage	12 kV
Rated current	5 kA
Housing	Polymeric

## (三)結果

老化氧化鋅避雷器於溫室下進行測量。總洩漏電流與輸入電壓在同一時間進行量測。藉由數位示波器測量總洩漏電流，以電腦程式計算電阻性洩漏電流。

避雷器的電阻性洩漏電流的結果如圖 5.3 和圖 5.4 顯示。

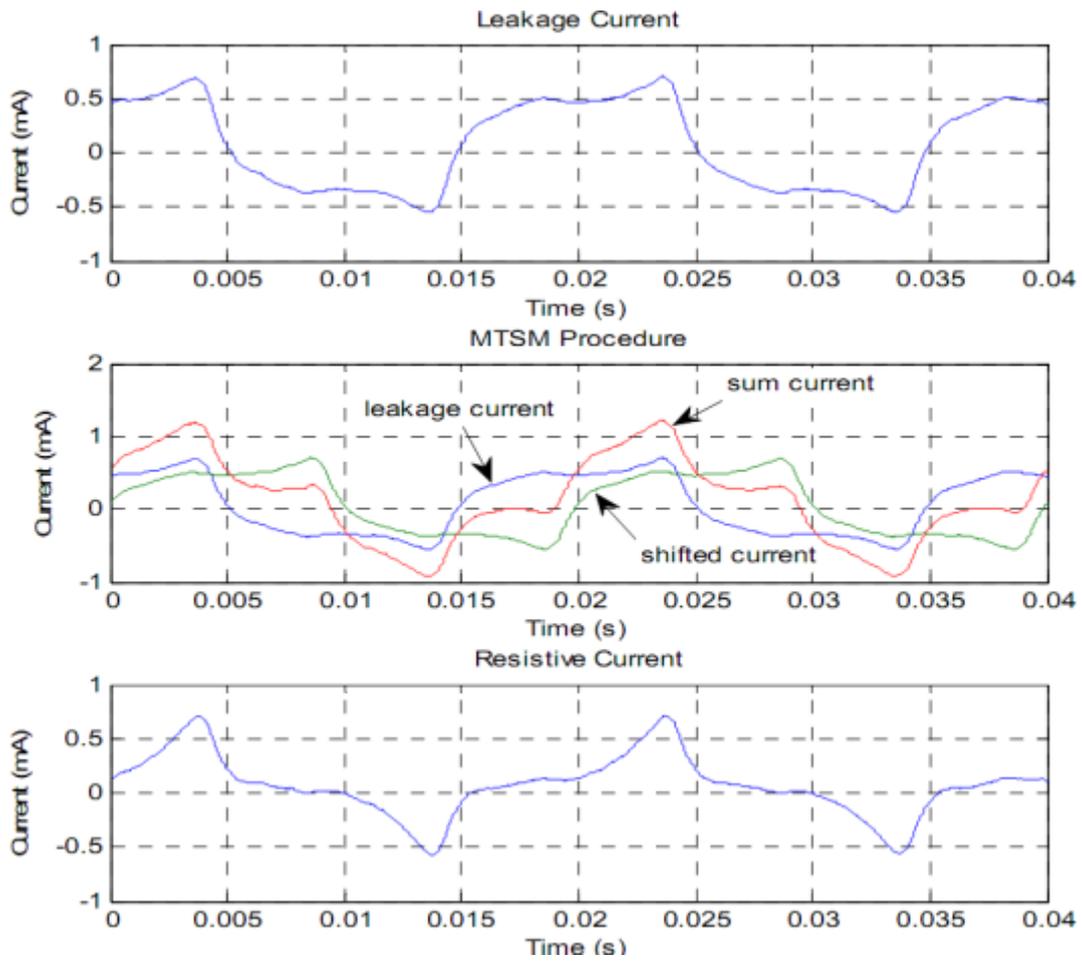


圖 5.5 量測之洩漏電流、MTSM、電阻性洩漏電流[18]

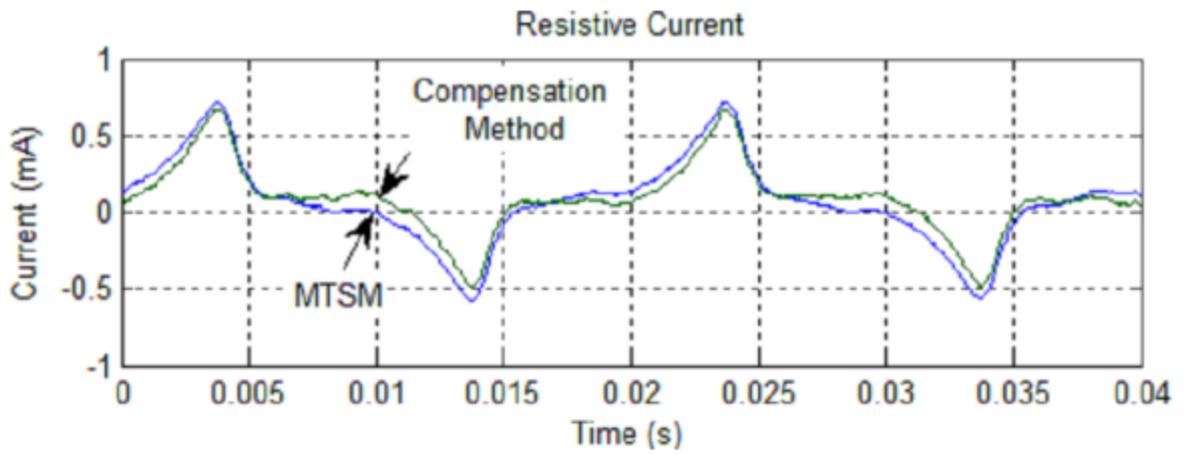


圖 5.6 MTSM 法與補償法之結果比較[18]

## 二. 補償法[19]

本節介紹一種方法來評估現場氧化鋅避雷器的狀況。補償技術的基本概念和相關實踐，在後面進行說明。

根據補償技術

$$\int_0^T i_r i_{c1} dt = 0 \quad (5-8)$$

和

$$i_t = i_r + i_c \quad (5-9)$$

其中  $i_t$ 、 $i_r$  和  $i_c$  分別為避雷器總洩漏電流、電阻性洩漏電流和電容性洩漏電流。

方程式(5-8)和(5-9)可簡化獲得電阻性洩漏電流的峰值和電容性洩漏電流的峰值，分別為方程式(6-10)和(6-11)

$$i_{r1peak} = I_{t1peak} \sin(\phi_{clt1}) \quad (5-10)$$

$$i_{c1peak} = I_{t1peak} \cos(\phi_{clt1}) \quad (5-11)$$

方程式(5-10)和(5-11)中  $I_{t1peak}$ 、 $I_{r1peak}$  和  $I_{c1peak}$  為避雷器總洩漏電流、電阻性洩漏電流和電容性洩漏電流的峰值。角度  $\phi_{clt1}$  為避雷器總洩漏電流與電容性洩漏電流之間的相位移。

等式(5-10)的  $I_{t1peak}$  和  $I_{r1peak}$  和角度  $\phi_{clt1}$  為未知。唯一的已知量為避雷器的電流  $I_{t1peak}$ 。以下說明建議步驟，從避雷器總洩漏電流波形中找出  $I_{r1peak}$ 。

(一) 氧化鋅避雷器  $I_{r1peak} - \phi_{clt1}$  的特性

本節中，對於氧化鋅避雷器的狀況和溫度的關係進行討論。根據特點可以分類為三項，未老化、輕度老化和嚴重老化。在最大連續運轉電壓所產生的電阻性洩漏電流峰值  $<250$ 、 $>300$  和  $>500\mu\text{A}$ ，分別表示其避雷器呈現未老化、輕度老化和嚴重老化之特點。脈衝電流的通過將造成老化現象。根據不同的外加 MCOV 範圍 0.8-1.2 p.u. 進行測試。

圖 5.7 顯示未老化之樣品的總洩漏電流、電阻性洩漏電流和電容性洩漏電流。

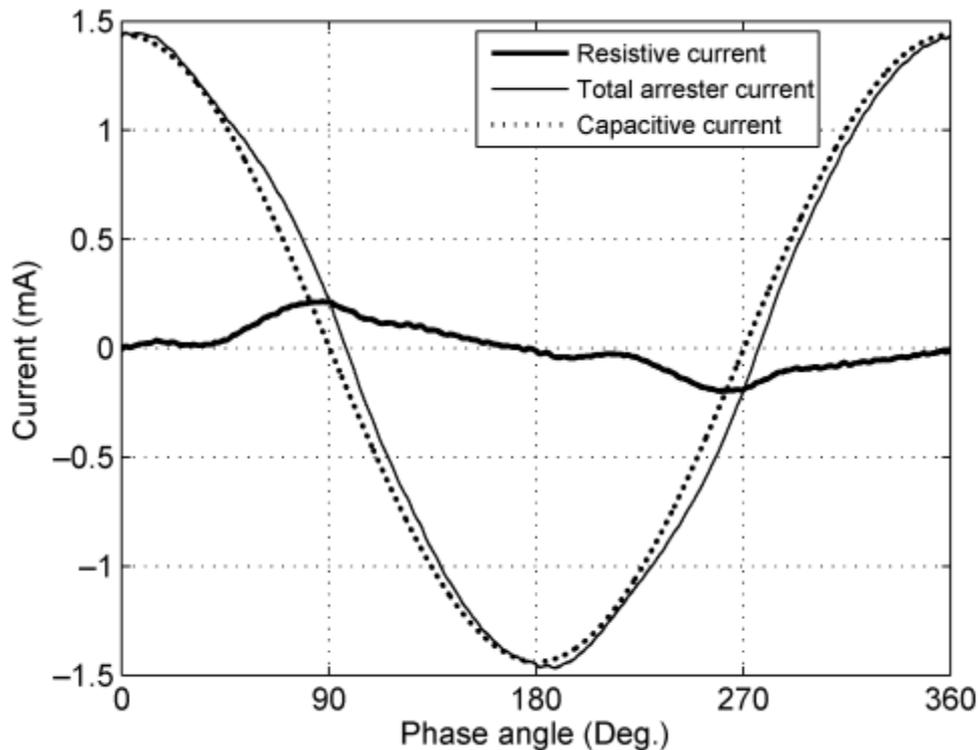


圖 5.7 外加最大連續運轉電壓操作未老化避雷器之電阻電容波形[19]

圖 5.8 結果顯示發現三個樣品的特點皆相同。因此，與氧化鋅避雷器之狀態無關係。

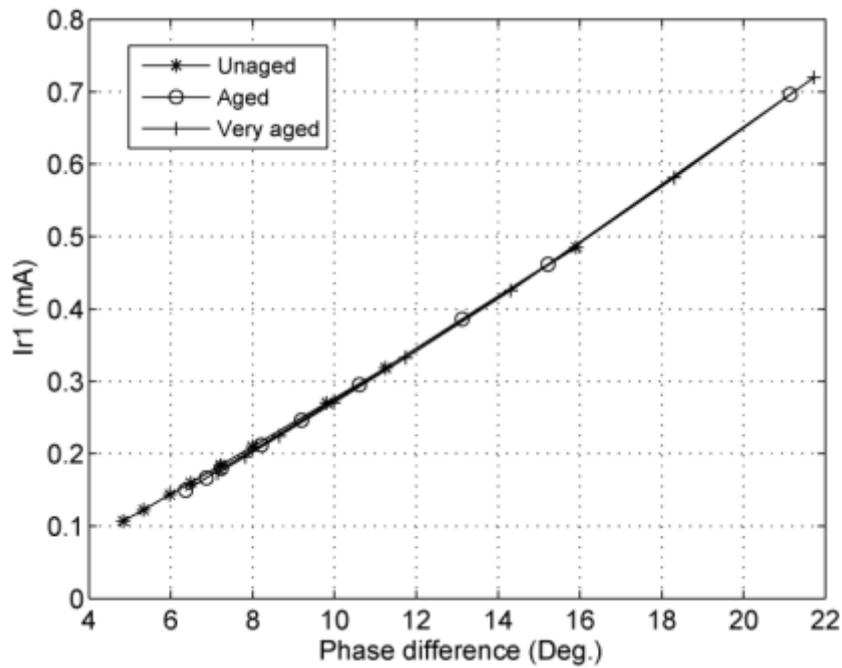


圖 5.8 在最大連續運轉電壓 0.8-1.2 p.u.的  $I_{r1peak} - \phi_{c1t1}$  特性[19]

以三種不同溫度：23°C、50°C和 100°C進行測試。測試結果如圖

5.9 顯示因為溫度 23°C-100°C 產生的變化是很微小的。

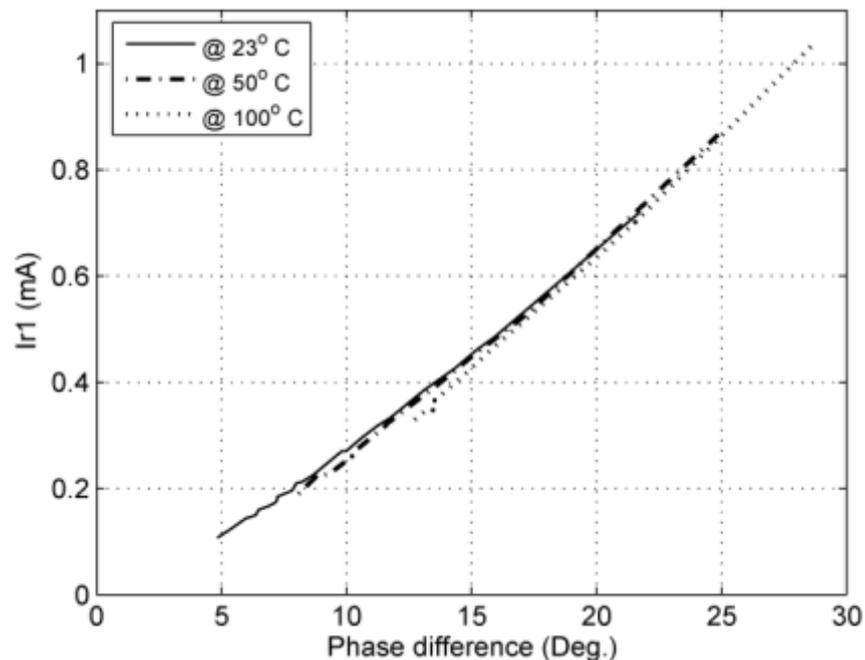


圖 5.9 在溫度 23°C、50°C和 100°C的  $I_{r1peak} - \phi_{c1t1}$  特性[19]

此特點可以再 MCOV=36.5 kV 避雷器上得出，通過兩個相似的避雷器所獲得的結果比較如圖 5.10。

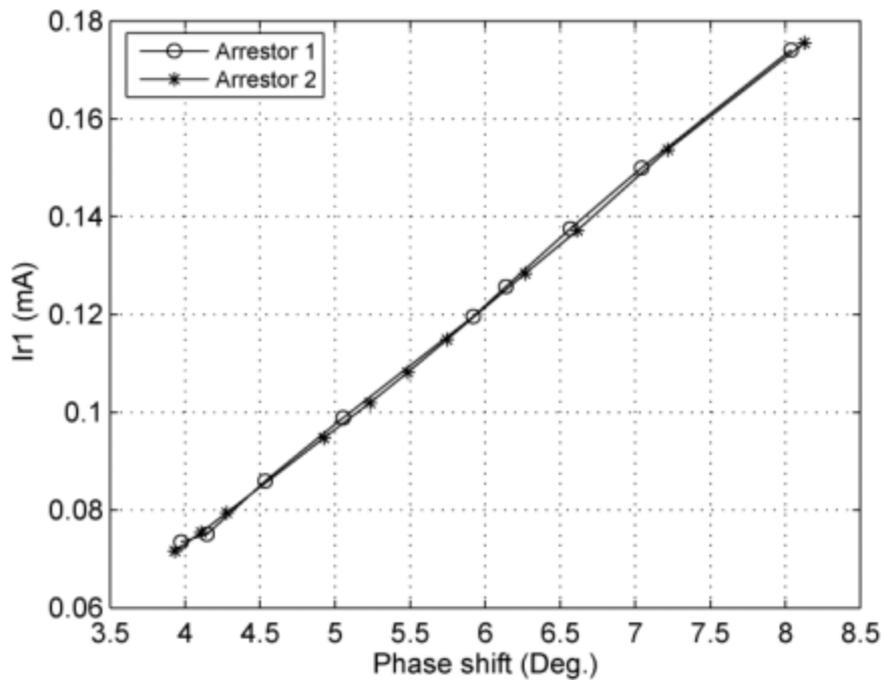


圖 5.10 兩組 MCOV=36.5kV 之避雷器的  $I_{r1peak} - \phi_{c1t1}$  特性[19]

由於這種關係涉及到基本元件，電壓諧波不影響的特性。因此，與特定的避雷器類型有關，且可以在工作電壓範圍內呈線性關係。

使用最小平方線性曲線擬合技術和均方根(rms)計算，其誤差大約  $3\mu A$ 。等式(5-12)為一般的型式。A 和 B 可以藉由實驗室，以幾個不同的電壓測試避雷器來決定。

$$i_{r1peak} = A \cdot \phi_{c1t1} + B \quad (5-12)$$

## (二) 建議的診斷程序

1. 紀錄避雷器總電流和決定基波分量。
2. 基波的電阻性分量取決於：

(1)對於一個特定電壓量測，圖 5.11 中以(5-10)得到  $I_{r1peak}$  相對於  $\phi_{c1t1}$

的特性曲線 A。正弦波變化曲線 A 不是電流波形。它代表一種特徵關係，曲線 A 和直線 B 交叉上的一點，代表其操作點，這點是

同步解決(5-10)(曲線 A)及(5-12)(直線 B)。電阻性洩漏電流的基波分量峰值在圖 5.11 曲線 A 和直線 B 交叉點。

(2) 運用連續疊代方法達到當  $I_{r1peak} = 0$  的近似  $\phi_{c1t1}$  的值。這個值將在(5-10)中發現。重複疊代以達到收斂至操作點。連續疊代的圖形如圖 5.11 解釋。

(3) 重複同樣的測量過程和平均能得到更高的準確性。

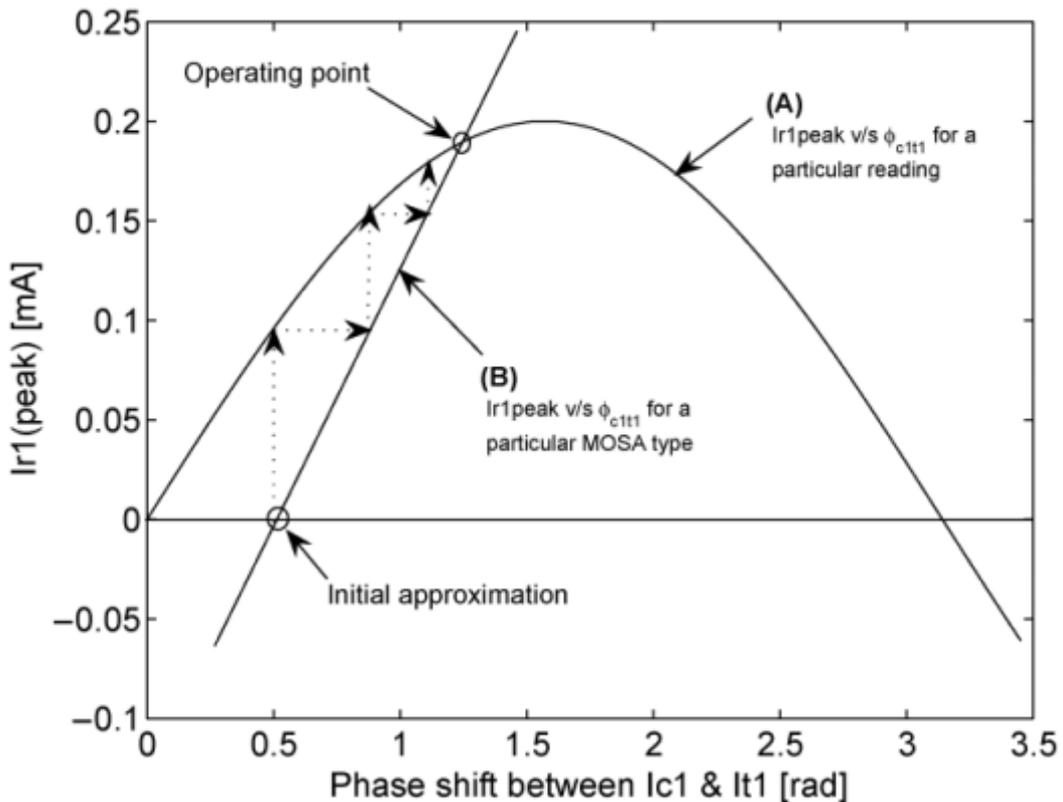


圖 5.11 解決(5-10)和(5-12)的方法(x 軸沒有按照比例) [19]

3. 電阻性洩漏電流可作為一個指標，將在下節討論。

### (三) 診斷指標

在介紹中提到的避雷器的電流，電阻的電流分量反映氧化鋅避雷器的狀況。在此方法中，電阻性洩漏電流的峰值被用來作為一個指標。表 5.2 顯示增加中的電阻性洩漏電流，在不同電壓中，未老化、老化及嚴重老化的閘元件將獲得之相對百分比。表 5.3 顯示了相關的功率

損耗結果。比較顯示，電阻性洩漏電流的峰值與功率損耗，反應了閘元件的狀況。

表 5.2 以補償技術獲得之峰值比較[19]

電壓	$I_{r1\ peak}(\%)$ 未老化	$I_{r1\ peak}(\%)$ 老化	$I_{r1\ peak}(\%)$ 嚴重老化
0.8 MCOV	100	139.7	162.0
0.9 MCOV	100	132.6	156.3
MCOV	100	133.7	180.8

表 5.3 功率損耗比較[19]

電壓	功率損耗(%) 未老化	功率損耗(%) 老化	功率損耗(%) 嚴重老化
0.8 MCOV	100	139.8	161.7
0.9 MCOV	100	133.1	155.3
MCOV	100	133.6	181.0

#### (四) 結果與討論

下列各組避雷器將於室溫以及較高溫的環境下進行測試。

第一組：

未老化和輕微老化的樣品，直徑 3 英吋高 1.75 英吋閘元件 MCOV=10kV 系列的氧化鋅避雷器兩組。

第二組：

全新、MCOV=36.5kV 的避雷器兩組。

第三組：

全新、MCOV=15.3kV 的聚合型避雷器一組。

對於第一組所使用的未老化樣品，推導出  $I_{r1\ peak} - \phi_{clt1}$  的關係特性。以相同技術用於輕微老化的樣品上。兩樣品以 MCOV 範圍 0.8-1.0 p.u. 進行測試。結果呈現於圖 5.12。

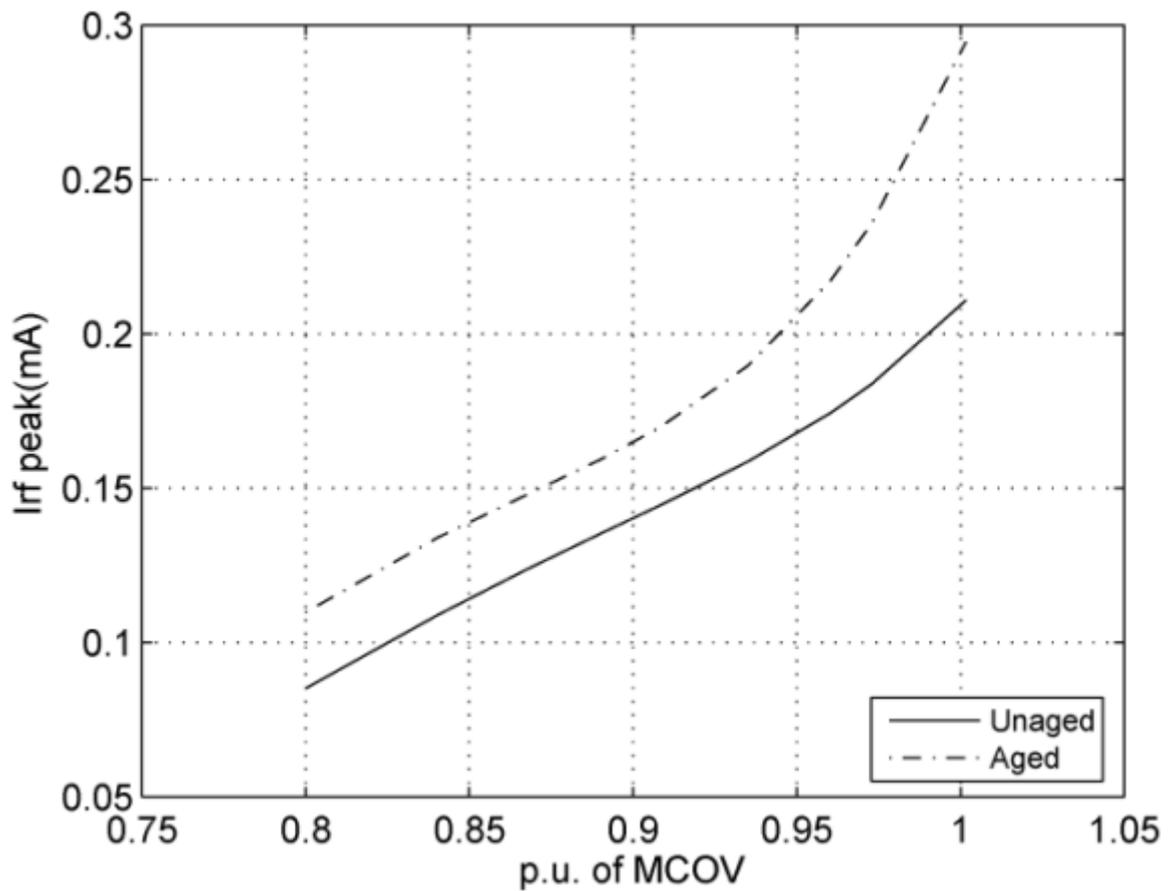


圖 5.12 第一組之  $I_{r1\ peak}$  隨電壓變化圖[19]

由此技術發現老化避雷器之電阻性洩漏電流成份增加超過 30% 以上。這項技術也適用於第二組避雷器上，並得到其特性圖 5.13 顯示結果幾乎相等。第三組外加不同諧波條件的電壓進行測試。

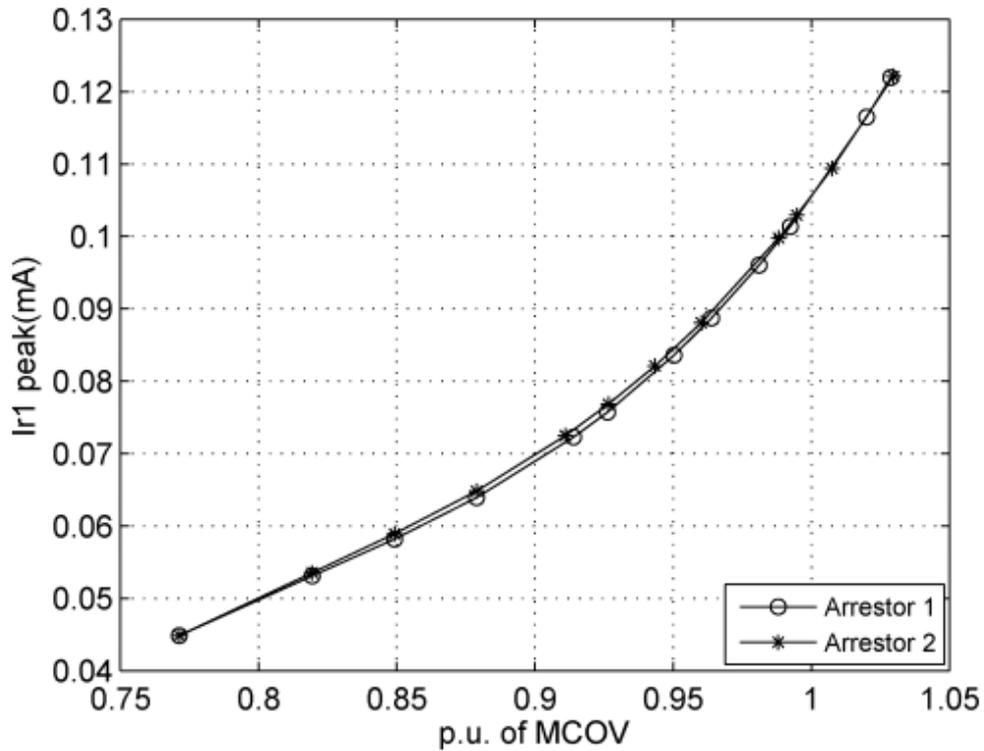
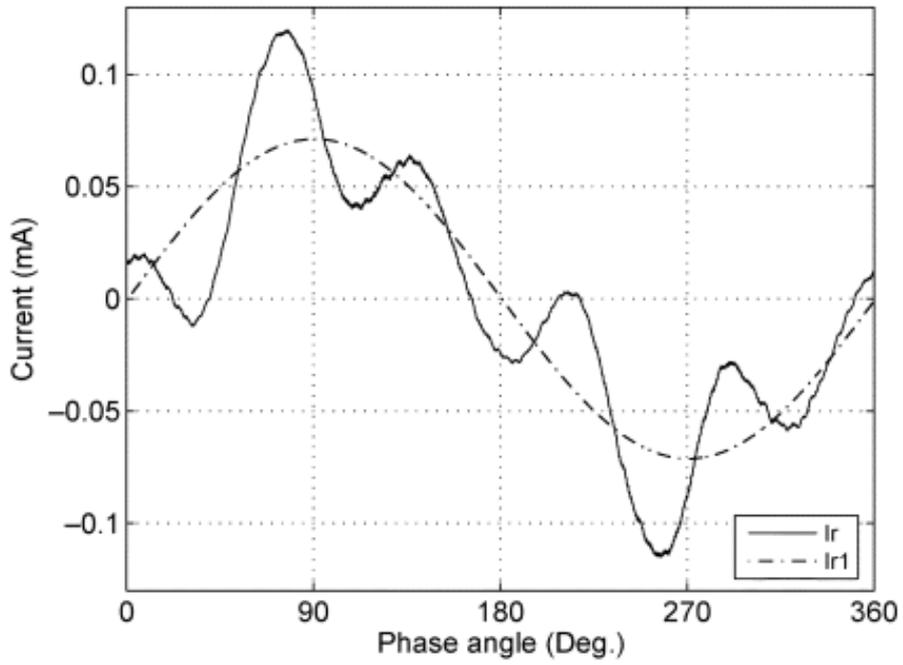


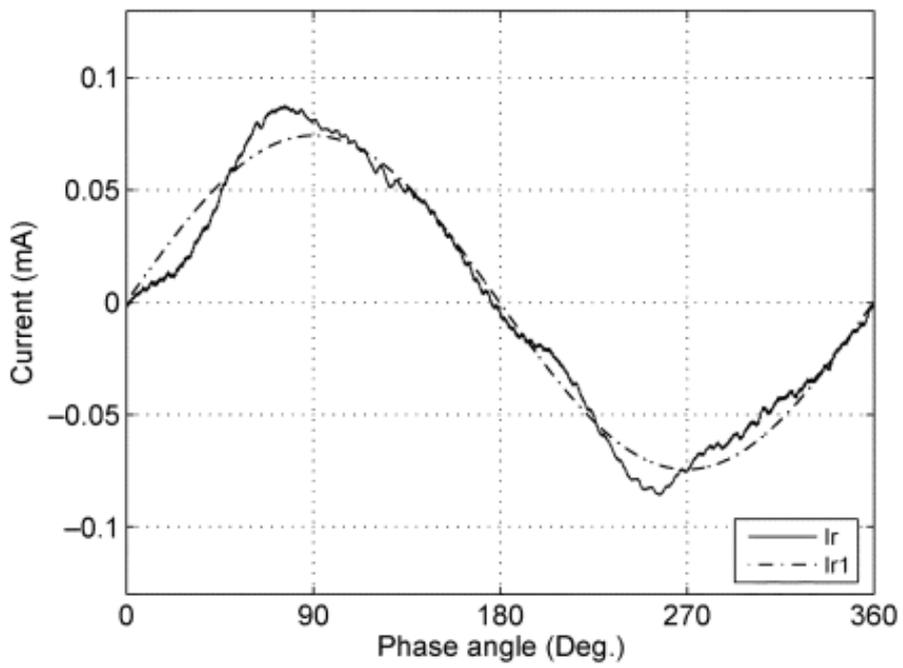
圖 5.13 第二組之  $I_{r1peak}$  隨電壓變化圖[19]

圖 5.14 顯示了在不同的外加電壓情況下，藉由總洩漏電流減去電容性洩漏電流而獲得第三組之電阻性洩漏電流。

圖 5.14 電壓總諧波失真(THD)分別為 1.15% 和 0.67%。雖然電阻性洩漏電流有相當大的差異，此技術取得之基波成份幾乎相等，而且電壓諧波對此技術沒有影響。



(a)



(b)

圖 5.14 第三組在不同諧波的情況下的電阻性洩漏電流狀況[19]

最後表 5.4 得到使用補償技術三組在 MCOV 下之結果比較，成果非常好。

表 5.4 比較結果[19]

組別	$I_{r1}(\mu A)$ 補償技術	$I_{r1}(\mu A)$ 本節技術
第一組，未老化	184	184
第一組，老化	246	234
第二組，避雷器 1	100	101
第二組，避雷器 2	108	101
第三組	90	86

#### (五) 結論

基本元件組成的電阻性洩漏電流，可以用來作為一個 MOSA 老化的診斷指標。他們的獨特關係是由基本元件組成之電阻性洩漏電流的的峰值和基本元件組成的總電流相移與基本元件組成之電容性電流而得。使用疊代方式獲得的結果，以及利用補償方式（基準法）得到的結果比較。所建議的方法可以得到更可靠和準確的結果。由於這種方法只涉及基本組成部分，其結果是不受電壓諧波影響。

### 三. 差動補償法[20]

圖 5.15 電路是利用差動補償來運算。

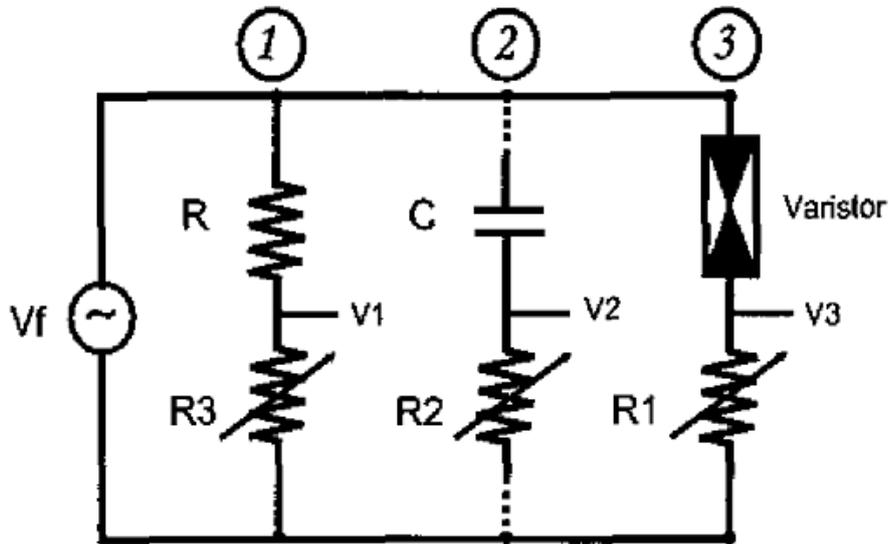


圖 5.15 測量電壓波形和電阻性洩漏電流電路[20]

此電路是用高壓電容組件來補償總電流。調整低壓電阻  $R$  和  $r$ ，直到差動放大器輸出電源電壓相獲得補償。差動放大器的輸出值即是電阻性洩漏電流值。高壓電容器必須是無損失且  $(1/\omega C) \gg R$ 。

電路如圖 5.16 所示，提出了一些問題，非線性電阻值取決於溫度變化，因此電路須達到平衡。另一困難點是，要以目測方式觀察波形有無達到平衡。

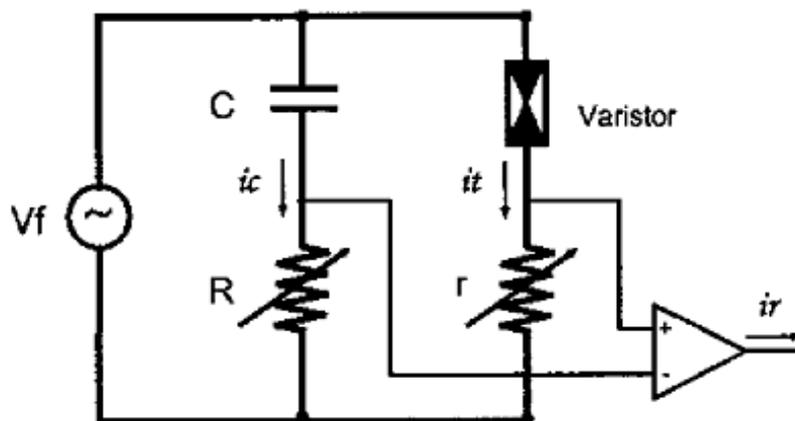


圖 5.16 電阻性洩漏電流量測電路[20]

文中以差動補償方式來進行運算，運用軟體平衡電路，此電路只需要測量總壓敏電阻電流波形和電源電壓波形。

### (一) 差動補償技術

在建議方法中，模擬差動補償 RC 分支電路在模擬程式中忽略。輸入電源電壓波形和壓敏電阻總洩漏電流。而高壓電容器為另一輸入參數且為固定值。如圖 5.16、R 為既定值，將補償信號電源電壓進行傅立葉轉換。

圖 5.16 為量測電阻洩漏電流的測試電路。圖中為 RC 分支電路進行的模擬點。電容組的補償表示於(5-13)-(5-16)式

$$V2 = V2_r + jV2_c \quad (5-13)$$

$$V3 = V3_r + jV3_c \quad (5-14)$$

$$V23 = V2 - V3 = V2_r - V3_r \quad (5-15)$$

$$V2 - V23 = V2 - (V2_r - V3_r) = V3_r \quad (5-16)$$

R2 從初始值開始調整，最後可以得到， $V2_c = V3_c$ 。因此， $V23 = V2_r - V3_r$ 。 $V23$  波形與電源電壓相等時停止調整。電阻由下式(6-17)取得：

$$i_r = \frac{V3_r}{R1} \quad (5-17)$$

### (二) 計算程序

參照圖 5.16，至少一個週期電源電壓波形和總洩漏電流波形以數位方式取得。進行電源電壓波形傅立葉分析，而電壓源以(5-18)表達

$$V_f = V_0 + V_1 \sin(\omega t + \theta_1) + \dots + V_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (5-18)$$

圖 5.17 顯示了 Matlab 中撰寫的 fluxogram 碼，高壓電容器的電容值被視為常數，此程序式計算補償電容電流 R2 的值。

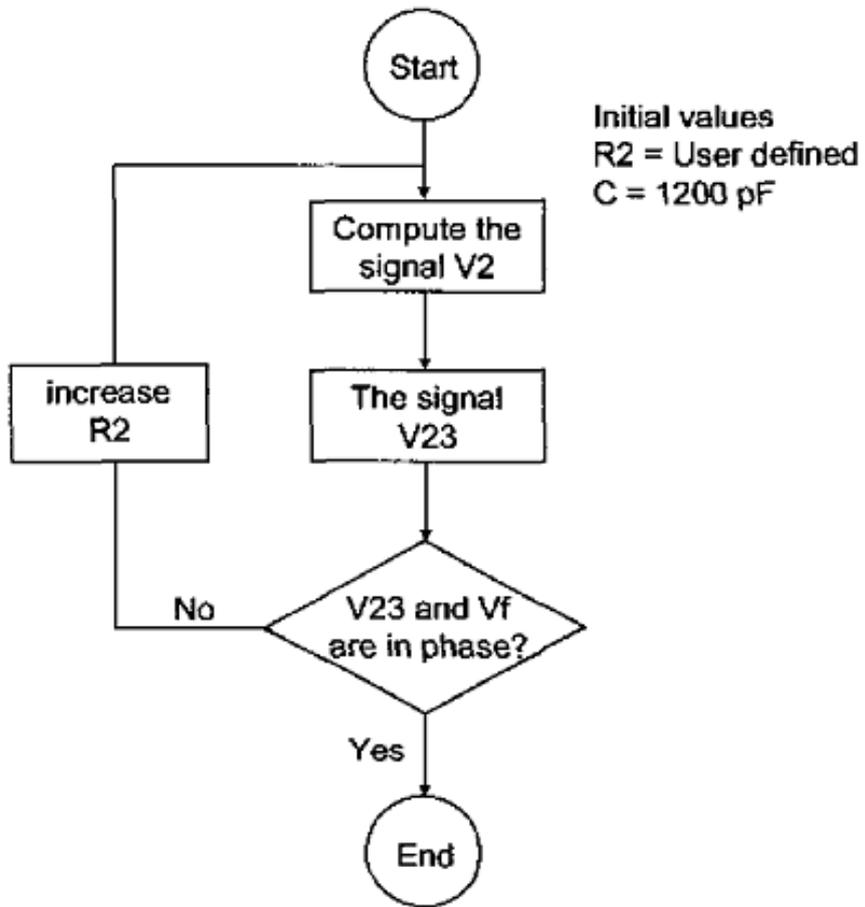


圖 5.17 以 fluxogram 計算避雷器洩漏電流[20]

### (三)結果

使用模擬軟體進行兩種補償電路測試。圖 5.18 為 10pF 電容和四個 150Ω 並聯電阻串接成一個測試電路。電源電壓有效值  $V_{rms}=14.7V$ ，五次諧波失真 60Hz 波形。圖 5.19 為量測和計算電阻的電壓波形。兩個波形非常的相近。

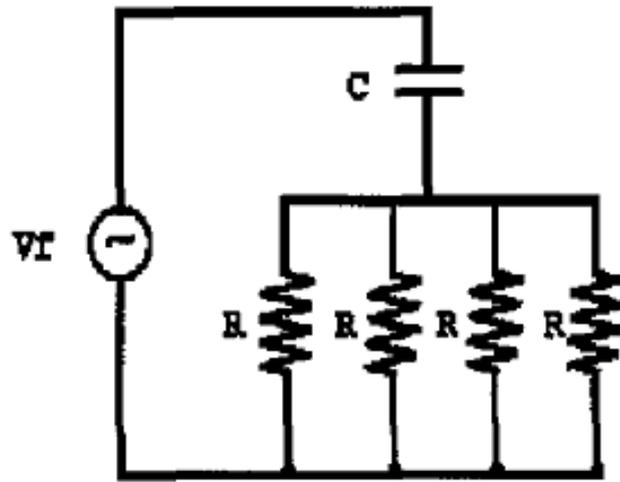


圖 5.18 電路模擬 RC 分支[20]

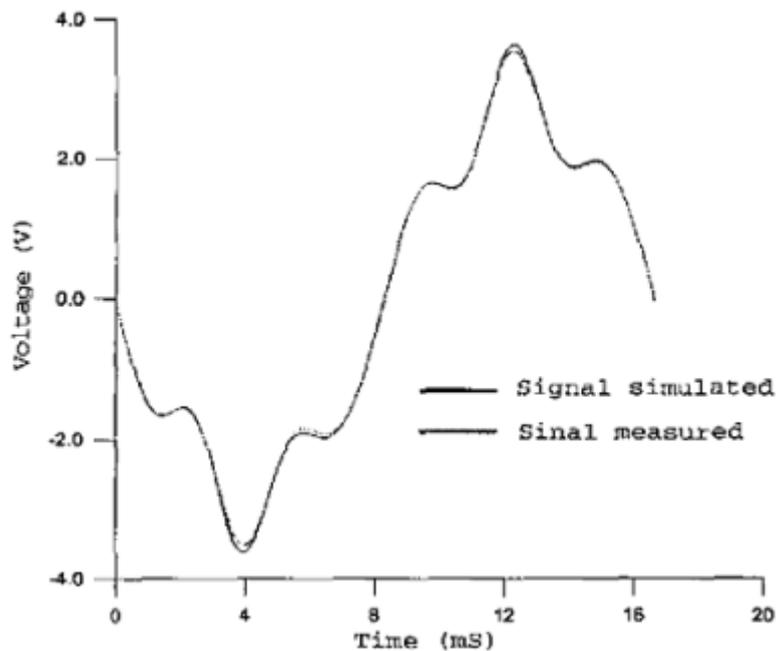


圖 5.19 電阻 R 的電壓信號[20]

第二個測試電路圖 5.15 所示，壓敏電阻的額定電壓為 6kV 和供應有效值電壓為 9.3kV，3 次和 5 次諧波失真 60Hz 波形。

電阻洩漏電流使用差動補償方法。圖 5.20 為電容組測量和模擬波形，圖 5.21 為電阻測量和模擬波形。在一般情況下，量測和模擬波形會很相近。但波形之間也是會有些微差異，這些差異可以歸咎於在高電壓電容器的損失。

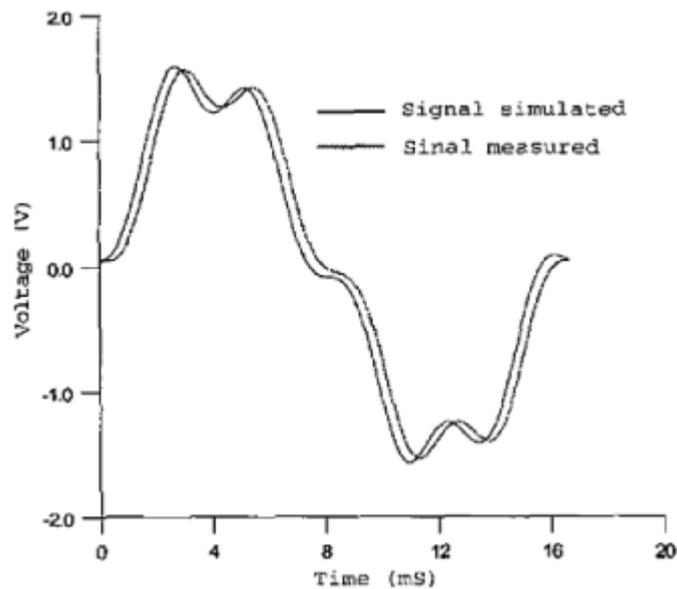


圖 5.20 電阻 R2 上的電壓信號[20]

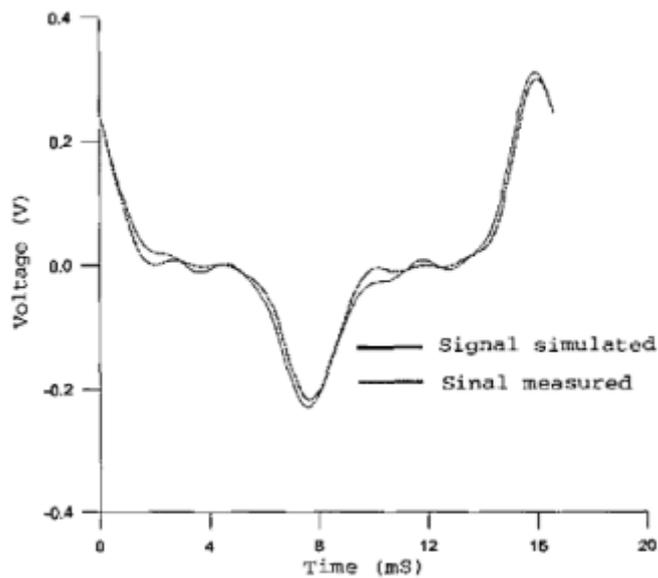


圖 5.21 壓敏電阻的電流信號[20]

#### (四) 結論

該技術是一種軟體差動補償為原則執行。該技術的主要優點是不需要昂貴的高壓電容器。另一個好處是，差動補償是有效和迅速地進行了計算程序。該技術已通過實驗驗證。

#### 四. 諧波分析法[21]

##### (一) 測量法的原理

氧化鋅避雷器的模型如圖 1.1 所示。電場傳感器如圖 5.22。

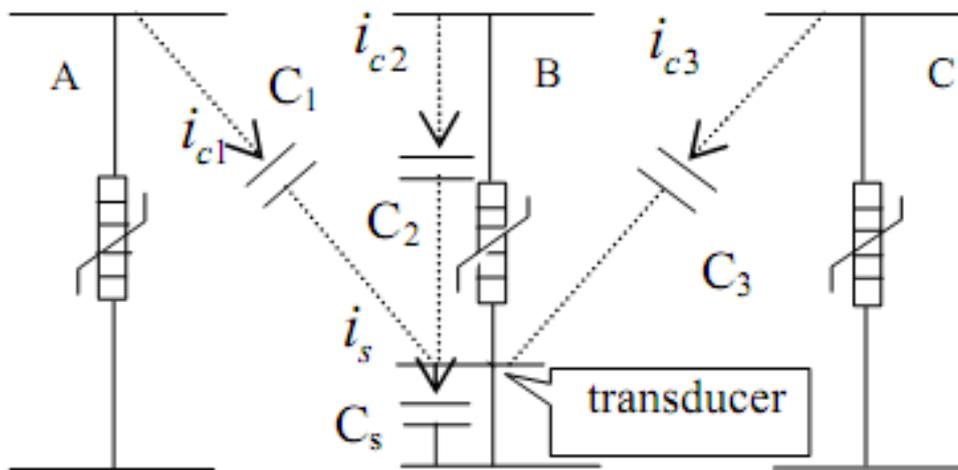


圖 5.22 電場傳感器[21]

$C_1$  和  $C_2$ ,  $C_3$  為耦合電容的電場傳感器的三相線， $C_s$  是取樣電容。由於對稱， $C_1 = C_3$ 。

## 1. 信號分析

忽略線電壓的高頻諧波，相電壓可以表示為：

$$\begin{aligned} u_A &= u_A + u_{3A} \\ &= U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_1) + U_{3m} \sin(3\omega t + \alpha_3) \end{aligned} \quad (5-19)$$

$\alpha_1$  和  $\alpha_3$  是電壓和三次諧波電壓最初階段的基本角度。

A 相避雷器的基本電流 (5-20)：

$$\begin{aligned} i_{AT1} &= i_{Ar1} + i_{Ac1} \\ &= I_{Ac1m} \cos(\omega t + \alpha_1) + I_{Ar1m} \sin(\omega t + \alpha_1) \\ &= I_{AT1m} \sin(\omega t + \alpha_{AT1}) \end{aligned} \quad (5-20)$$

A 相避雷器的電流三次諧波(5-21)：

$$\begin{aligned} i_{AT3} &= i_{Ar3} + i_{Ac3} \\ &= I_{Ac3m} \cos(3\omega t + \alpha_3) + I_{Ar3m} \sin(3\omega t + \alpha_1 - 180^\circ) \\ &= I_{AT3m} \sin(3\omega t + \alpha_{AT3}) \end{aligned} \quad (5-21)$$

電場傳感器的基本電流(5-22)：

$$\begin{aligned} i_{r1} &= U_{1m} \omega C_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + U_{1m} \omega C_2 \cos(\omega t + \alpha_1 - 120^\circ) \\ &\quad + U_{1m} \omega C_3 \cos(\omega t + \alpha_1 + 120^\circ) \\ &= U_{1m} \omega (C_3 - C_1) \cos(\omega t + \alpha_1 - 120^\circ) \end{aligned} \quad (5-22)$$

電場傳感器電流的三次諧波(5-23)：

$$i_{r3} = 3U_{3m} \omega (2C_1 + C_3) \cos(3\omega t + \alpha_3) \quad (5-23)$$

根據(5-22)，(5-23)， $\alpha_1$  與  $\alpha_3$  可計算求得。圖 5.23 為由基本成分組成之相序 A 之相量圖，圖 5.24 為由三個相序 A 組成之相量圖。

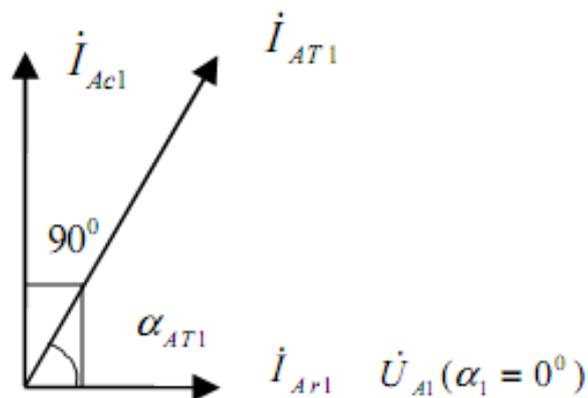


圖 5.23 基本成分之向量圖[21]

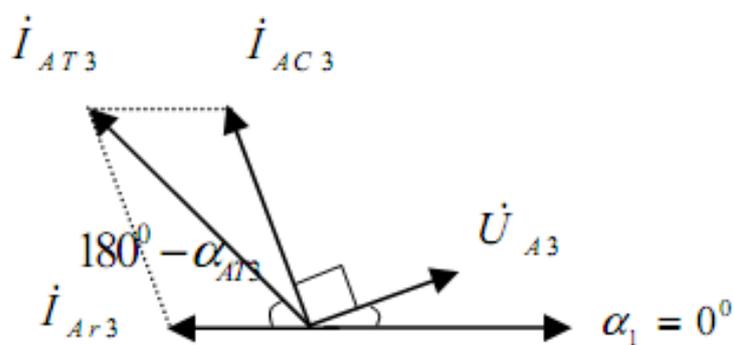


圖 5.24 三次諧波成分之向量圖[21]

## 2. 計算電阻性洩漏電流的方法

一般避雷器電場傳感器的信號和電流信號可以同時取樣，根據信號分析的結論，以 A 相作為例子，電阻性洩漏電流的計算方法如下：

- (1)  $\alpha_1$  根據圖 5.23，由避雷器的基波電流幅值  $I_{AT1}$  以及電容性基波電流與基波電流之間的相位差  $\alpha_{AT1}$  可以計算出避雷器的電阻性和電容性基波電流。
- (2) 根據 A 相線路電壓初相位  $\alpha_1 = 0$  和(5-21)計算出電阻性三次諧波洩漏電流的初相位  $-180^\circ$ 。

(3) 由圖 5.24 算出三次諧波電阻性、電容性電流向量  $I_{Ar3}$ 、 $I_{Ac3}$  與三次諧波電流向量  $I_{AT3}$  的相位差分別為  $180^\circ - \alpha_{AT3}$  和  $\alpha_{AT3} - (90^\circ + \alpha_3)$ 。

(4) 由圖 5.24 向量分解  $I_{AT3}$  算出  $I_{Ac3}$  和  $I_{Ar3}$ 。

(5) 避雷器的電阻洩漏電流可以計算(5-24)。

$$i_{Ar} = i_{AT} - i_{AC1} - i_{AC3} \quad (5-24)$$

(二)金屬氧化鋅避雷器洩漏電流測試儀的實現。

### 1. 硬體結構

TMS320LF2407 是 16 位元 DSP 晶片，其頻率是的 30 兆赫，與強大的操作性能，在本文介紹的監控系統可以通過數位處理來獲得更高測量精度。避雷器洩漏電流監測系統的硬件結構原理圖如圖 5.25。取樣，控制，液晶顯示和數據操作都是由 DSP 控制。

MAX120 被選為類比-數位轉換器在測量過程中，避免該角度錯誤，電場感應器和避雷器的 CT 信號取樣資料將保存在 DSP 晶片的 RAM 中。

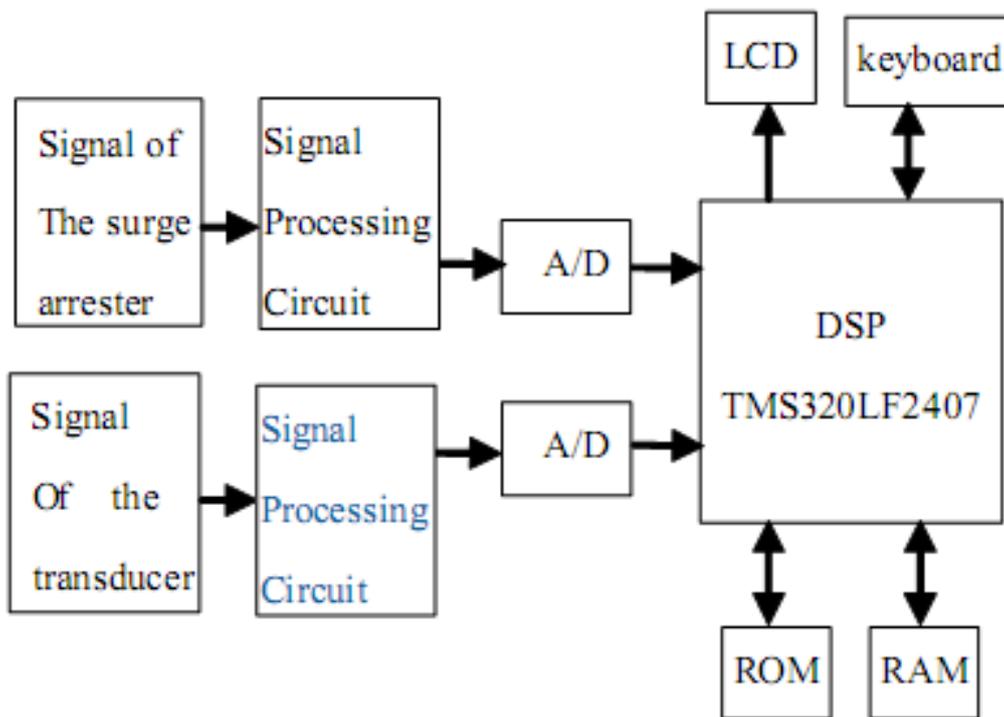


圖 5.25 探測避雷器洩漏電流器的結構[21]

## 2. 軟體流程圖

該算法的流程圖如圖 5.26。數據採集系統的運作模式為中斷模式，A / D 轉換的啟動是由 EVB 的定時器觸發 TMS320LF2407 的。工作流程如下：

- (1) 系統初始化。
- (2) 開啟中斷，定時器產生週期性的中斷信號。
- (3) ADC 接收到的控制信號，並啟動 A / D 轉換，然後進入中斷服務序。
- (4) 讀取轉換結果，DSP 的計算程序傳輸操作。
- (5) 輸出操作的結果。

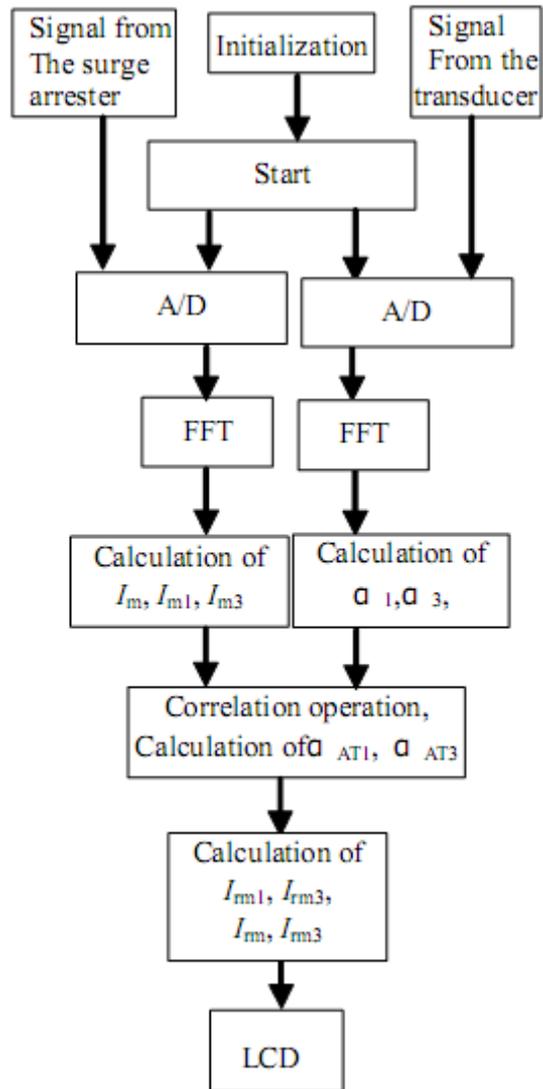


圖 5.26 算法的流程圖[21]

### (三)測試結果

連接圖如圖 5.27 所示。測試結果表 5.5 和表 5.6 所示。資料是由避雷器和常規方法的洩漏電流檢測儀測量的。與傳統方法相比，在本節介紹的探測器測量的結果是正確的。

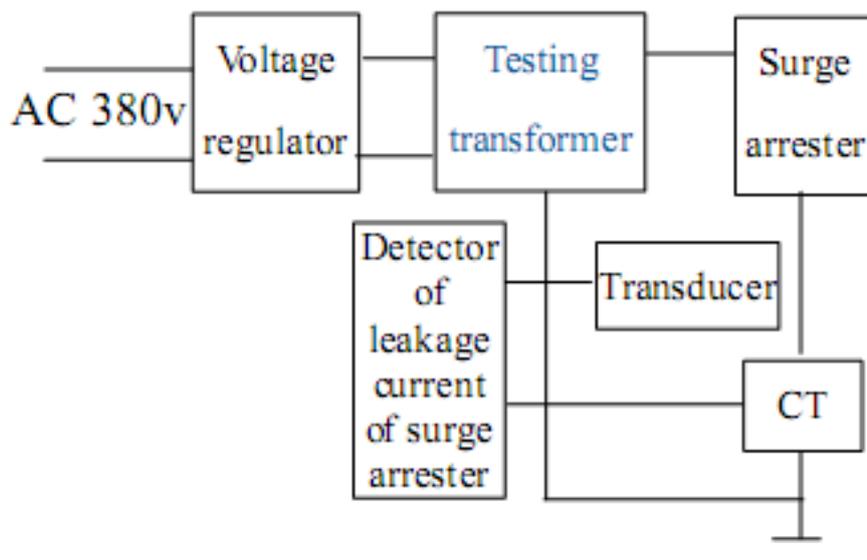


圖 5.27 避雷器洩漏電流探測器的測試連接圖[21]

表 5.5 探測器測量數據[21]

$U_{1m}$ (kV)	$I_{rm}$ (mA)	$I_{1rm}$ (mA)	$I_{3rm}$ (mA)
81.47	0.154	0.075	0.037
84.54	0.176	0.083	0.041
88.53	0.214	0.091	0.045

表 5.6 傳統方法測量數據[21]

$U_{1m}$ (kV)	$I_{rm}$ (mA)	$I_{1rm}$ (mA)	$I_{3rm}$ (mA)
81.47	0.147	0.072	0.035
84.54	0.168	0.079	0.040
88.53	0.205	0.087	0.044
92.54	0.211	0.093	0.047
95.52	0.236	0.098	0.049
99.09	0.259	0.105	0.053

#### (四) 結論

在本文中，避雷器電阻性洩漏電流的技術提出了諧波分析法。電場傳感器安裝在 B 相避雷器的接地線，可以蒐集操作電壓的角度資訊，由數學運算和相關處理，避雷器阻性洩漏電流的操作電壓能夠進行計算。

根據文章中，發展的氧化鋅避雷器阻性洩漏電流檢測器和 DSP TMSC320LF2407 提出的技術。利用強大的運算能力的 DSP，很容易實現在本文介紹的技術。測試結果顯示檢測儀的準確度。

## 五. 國際電工委員會 IEC 60099-5 2000[32]

### 第六節：氧化鋅避雷器之現場診斷指標

避雷器的出現使的許多診斷方式及指標被用來凸顯避雷器老化或故障的絕緣特性。此節的目的為了提供需用到任何診斷方式的使用者些許指引及提供現有診斷方式的綜合概述。此外另提供詳細關於氧化鋅避雷器洩漏電流之測量之資料。

#### (一)溫度測量

熱影像法可做遠距離測量出避雷器的溫度。因內部電阻體及礙子表面可能有大幅度之溫降，故此測量只當作象徵性之數據。其過熱狀態可由鄰近的避雷器或避雷元件之測量比較才可得知。

直接測量氧化鋅可變電阻體雖可提供避雷器正確無誤之資訊，但卻需特殊感應器。故此法只適用於一些較特殊避雷器的應用上(有間隙)。

#### (二)測量氧化鋅避雷器之洩漏電流

在一定的溫度及電壓下，任何氧化鋅避雷器絕緣特性的老化可能導致電阻性洩漏電流的增加或功率損耗上升。判斷無間隙氧化鋅避雷器狀況的絕多數診斷方法則以洩漏電流之流量為準。

測量步驟可分為兩種：線上測量及離線測量。線上測量為正常運作時，將避雷器連接至系統並由以正常運轉電壓供電。離線測量為在現場或實驗室裡將避雷器從系統隔離並由另外之電壓來源供電。

離線測量法通常經由特殊用途之電壓源來完成，如移動式交流或直流測試產生器。如有足夠的高測試電壓，離線測量則可提供可靠及精確度較高的資料來源。

此測量最大之缺點為設備的支出成本及避雷器必須跟系統隔離。最普遍的方式則為在正常運轉電壓下進行的線上測量法。為實際及安全考量，洩漏電流通常只在避雷器的接地端進行量測。為了測量流進接地端之洩漏電流，避雷器的接地端必須絕緣。

一般來說，可移動式或不可拆除式儀器常被用來測量線上洩漏電流。可移動式儀器通常藉由鉤表或永久設置的比流器連接於避雷器的接地端。長時間的洩漏電流測量則為近距離研究所需，尤其當暫態測量顯示避雷器狀態已出現顯著的改變。遠距離測量可植入電腦化系統以監控變電所設備。

### (三)電容性洩漏電流

在避雷器接地端所測得的電容性洩漏電流為非線性氧化鋅可變電阻體之電容成分、雜散電容、及均壓電容元件(如有用到)所為。可變電阻體元件裡特殊的電容性電流典型為  $60\text{pF.kV/cm}^2$  至  $150\text{pF.kV/cm}^2$ (額定電壓)，導致在正常使用下避雷器有著約  $0.2\text{mA}$  到  $3\text{mA}$  的最大電容性洩漏電流。

沒有證據顯示非線型氧化鋅可變電阻體電壓電流特性的老化會導致電容性洩漏電流顯著的改變。因此，電容性洩漏電流也不太可能提供關於氧化鋅避雷器之狀態可靠的資訊。

### (四)電阻性洩漏電流

在特定的電壓及溫度下，洩漏電流的電阻性成分是很敏感的，其可指出非線性氧化鋅可變電阻體電壓-電流特性的改變。有鑑於此，電阻性洩漏電流可探測出在使用中的避雷器的改變。圖 5.28 顯示典型的交流電壓中電阻性及電容性電壓-電流特性，為了做比較，典型的直流電壓也可在圖 5.28 比較。

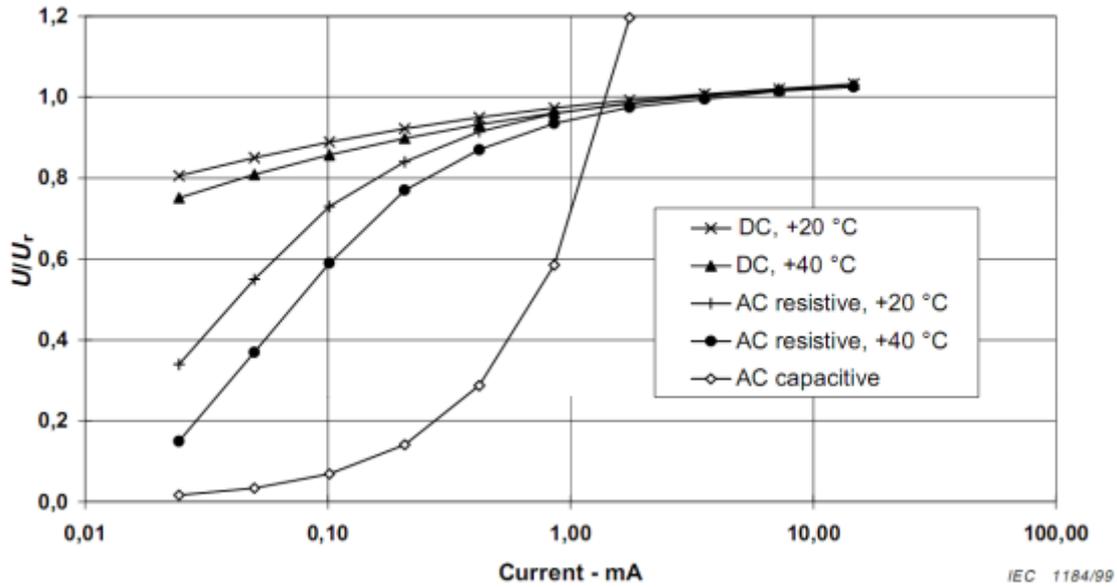


圖 5.28 氧化鋅可變電阻體之典型電壓-電流特性[32]

(五) 洩漏電流諧波成份

當避雷器施以正弦電壓加壓時，氧化鋅避雷器裡非線性電壓-電流之特性將會使洩漏電流中出現諧波成分。此諧波成分將依電阻性洩漏電流之強度及非線性之程度(又依據電壓及溫度之函數)為依據。舉例來說，電阻性電流的第三諧波成分通常於 10% 至 40% 之間，並可做為電阻性洩漏電流之指標。三次諧波分量的電壓之變數及溫度正常數值可參考圖 5.29、圖 5.30。

除了其他可排除之來源，對洩漏電流之諧波測量造成重大影響的另一諧波來源是系統電壓裡的諧波成分。非線性可變電阻體避雷器所產生的電容性諧波電流與電壓諧波產生的電容性諧波電流在強度上是不相上下的。系統電壓產生的諧波成分將導致洩漏電流諧波成分的出現。

(六) 包含補償電壓所產生之諧波的三次諧波含量分析

三次諧波含量加上補償系統電壓諧波之影響，此法的起點基於由洩漏電流所產生之諧波，而非線性電壓-電流又為避雷器之特性，因此假設所有諧波皆由非線型電阻性電流成分而引起，故並不需要參考

電壓。諧波成分取決於電阻性電流之強度及電壓-電流之非線性特性程度。舉例來說，如圖 5.29、圖 5.30 之三次諧波所指出，諧波成分會隨著避雷器的溫度及電壓而有所變化。

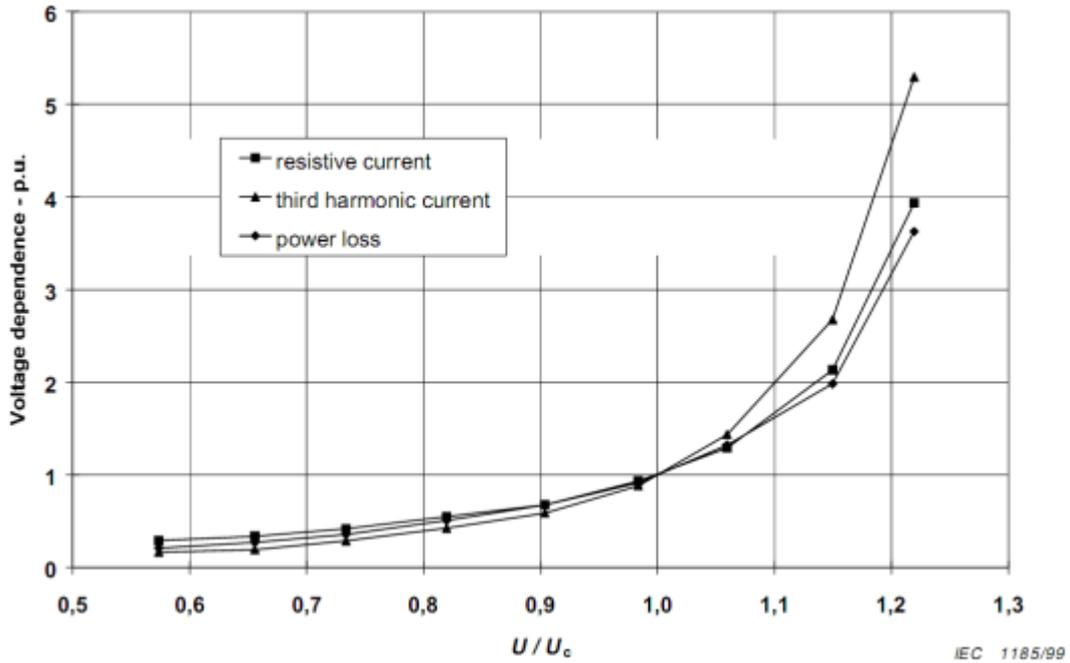


圖 5.29 在 +20°C 下之典型標準電壓相依特性[32]

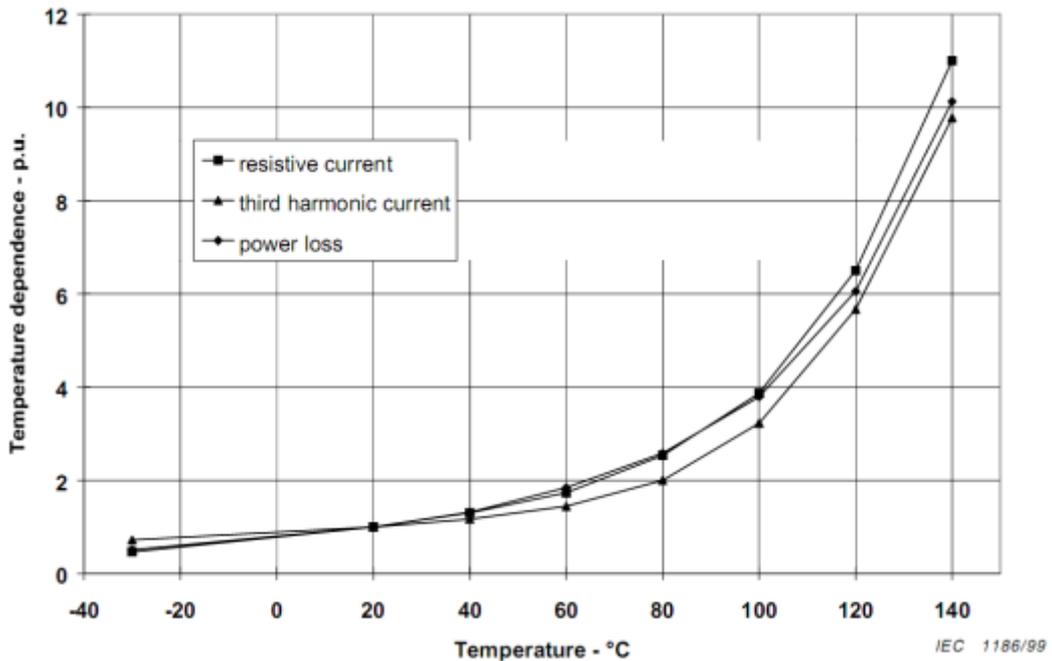


圖 5.30 在 U<sub>c</sub> 下之典型標準化溫度相依特性[32]

三次諧波是電阻性洩漏電流中最大的成分，所以常用於診斷測量中。如需諧波到電阻性電流等級的轉換，需要製造商提供之資料或實驗室之測量報告。

但是最大問題就是對系統電壓產生之諧波敏感度。系統電壓中的諧波可能產生與避雷器非線性之電阻性電流相類似之電容性諧波電流。電壓中之諧波含量過高將導致諧波電流之測量產生誤差。圖 5.31 顯示系統電壓之諧波量函數在洩漏電流內以三次諧波為基礎的錯誤評估。此圖亦指出，不同電壓電流之特性及電容性成分之影響及電壓中三次諧波相角度的影響。

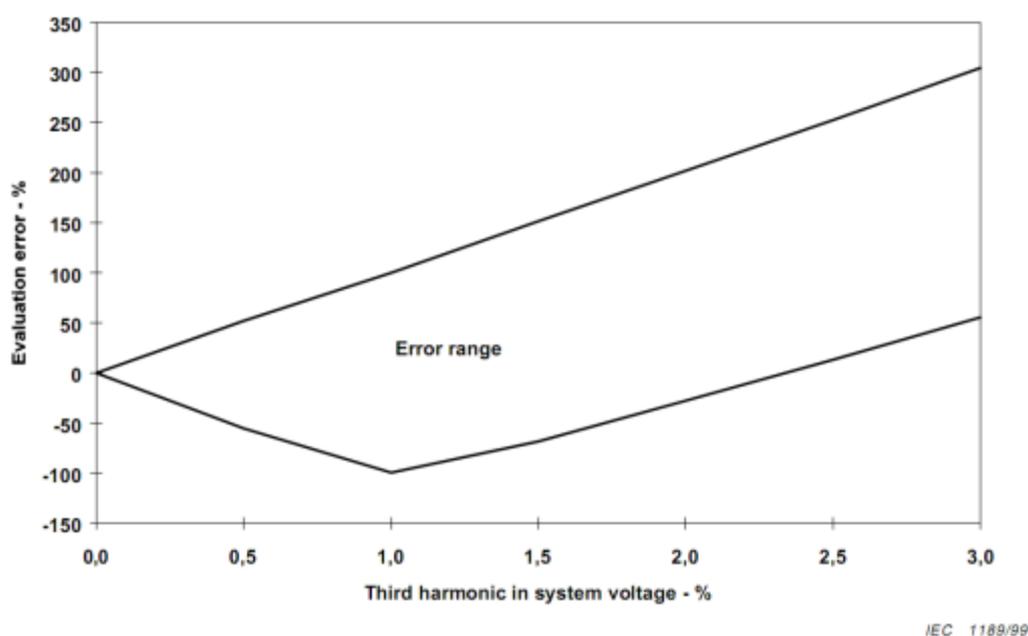


圖 5.31 依非線性氧化鋅可變電阻體不同電容成分及電壓-電流特性之洩漏電流內三次諧波的錯誤評估及不同系統電壓諧波之相角[32]

電壓諧波產生的敏感度影響可由避雷器中三次諧波產生之電容性電流被引進至電流信號補償方式中而大幅縮小。此信號取自置於避雷器基座的”磁場感測器”。嚴格分析後，由電場導入感測器之諧波電流將由總諧波電流量中扣除。由避雷器產生之非線型電阻性洩漏電流的諧波電流即產生。如需諧波到電阻性洩漏電流的相對轉換同上述，需要避雷器製造商所提供的資料。此法可適用於運轉中進行測量。

#### (七)從避雷器製造商取得洩漏電流資料

已取得的洩漏電流數據可與從避雷器製造商取得洩漏電流資料做比較。為可充分利用此資訊，運轉電壓及周遭溫度需在測試前先取得。

為有效利用上述之診斷方法，避雷器製造商可提供眾多關於測量法之相關資訊，包括各種避雷器之電阻性電流，三次諧波電流含量，及功率損耗對每個避雷器之於電壓及溫度函數。

實際上，電壓相依性可視為實際運轉電壓除以  $U_r$  之函數。此資訊應可涵蓋 0.40 至 0.90  $U_r$  的工作電壓。在峰值應可產生電阻性及三次諧波電流。功率損耗在額定電壓基礎下可被視為特殊數值。

如假設某電阻體在過熱的情況下，溫度相依性可設為周遭溫度之函數。因在測量中無法取得實際電阻體之溫度，最佳環境溫度範圍應為 -10°C 到 +40 度°C。

由避雷器製造商所提供之測量結果評估有兩種較受關注：

#### A. 電壓及鄰近溫度在不同運轉狀況之結果比較：

把測得結果轉換為一套標準操作環境，如在 0,70  $U_r$  之供電壓加上 +20°C 之鄰近溫度環境下就極有可能用來比較在不同狀態下所取得之測量結果。由避雷器製造商所取得之資訊可作為校正加乘用，如圖 5.32、圖 5.33。

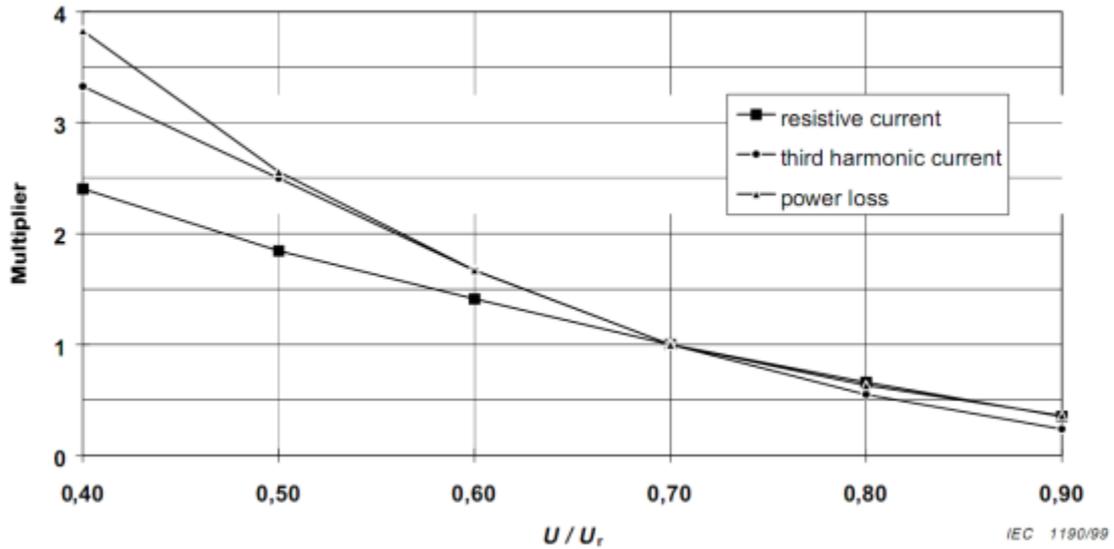


圖 5.32 標準電壓操作實況之轉換資訊[32]

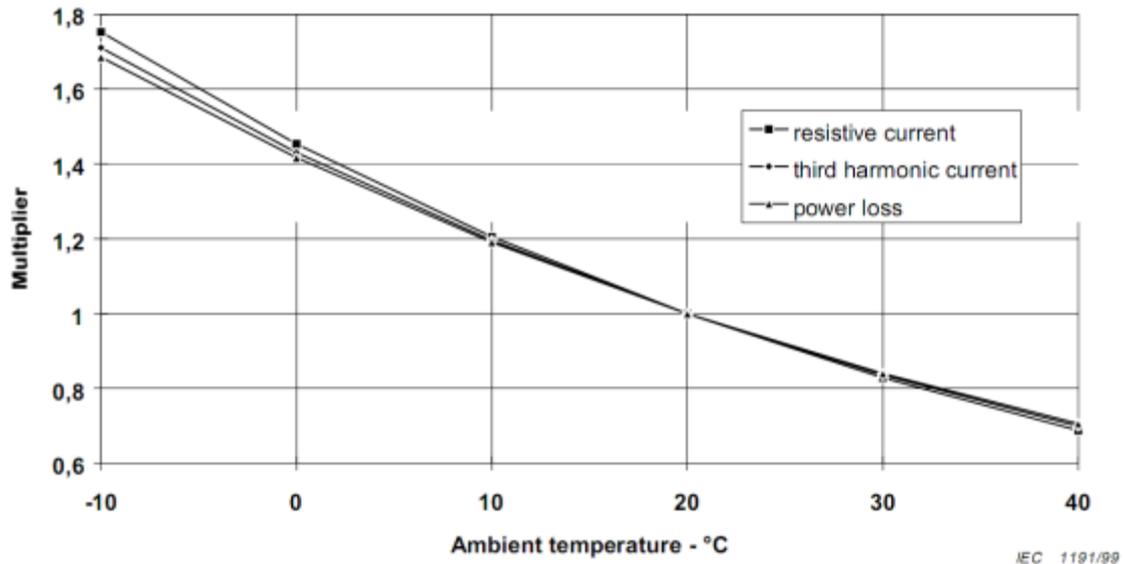


圖 5.33 標準周遭溫度實及情況之轉換資訊[32]

避雷器製造商在標準運轉實際情況之轉換後可給定測量極限判斷值。如超過限制之值可向製造商尋求幫助，限制可能是絕對值或隨時間而變化。

## 六. 方法比較

表 5.7 顯示本節所使用的四種方法：MTSM 法、補償法、差動補償法、諧波分析法以及國際電工委員會 IEC 60099-5 2000 進行比較。

表 5.7 電阻性洩漏電流量測方法比較

方法類別	MTSM 法	補償法	差動補償法	諧波分析法	IEC 60099-5 2000
方法概述	以 MATLAB 7.0.1 使用 MTSM 模擬獲得電阻性洩漏電流。	使用疊代方式獲得的結果，以及利用補償方式（基準法）得到的結果比較。	用高壓電容組件來補償總電流。調整低壓電阻 R 和 r，直到差動放大器輸出電源電壓相獲得補償。運用軟體平衡電路。	氧化鋅避雷器阻性洩漏電流檢測器和 DSP 提出的技術。	三次諧波含量加上補償系統電壓諧波之影響進行分析。
結論	以 MATLAB 軟體使用 MTSM 模擬可獲得結果。但是此節模擬的電阻性洩漏電流 30mA、電容性洩漏電流 10mA 並不符合實地的合理範圍，因此方法僅供參考並不適用於實地測試。	方法可以得到更可靠和準確的結果。由於這種方法只涉及基本組成部分，其結果是電壓諧波不夠靈敏。此建議的方法是可行的，如果有設計合適的電流監視器測量避雷器之洩漏電流。	由軟體差動補償為原則執行。該技術的主要優點是不需要昂貴的高壓電容器。另一個好處是，差動補償是有效和迅速地進行了計算程序。	數學運算和相關處理，避雷器阻性洩漏電流的操作電壓能夠進行計算。利用強大的運算能力的 DSP，很容易實現在本文介紹的技術。測試結果顯示檢測儀的準確度。	此方法由避雷器之三次諧波成份進行分析，並以三次諧波產生之電容性電流進行補償，縮小電壓諧波產生的敏感度影響，並扣除系統產生的諧波進行分析。所得諧波對照避雷器製造商的電阻性洩漏電流轉換資料求得電阻性洩漏電流，以及環境溫度與操作電壓的校正資料作數值修正。

## 5.2 相間電容耦合對測試數據的影響[26]

三相氧化鋅避雷器呈直線排列時洩漏電流及相間電容耦合示意圖如圖 5.34 所示。

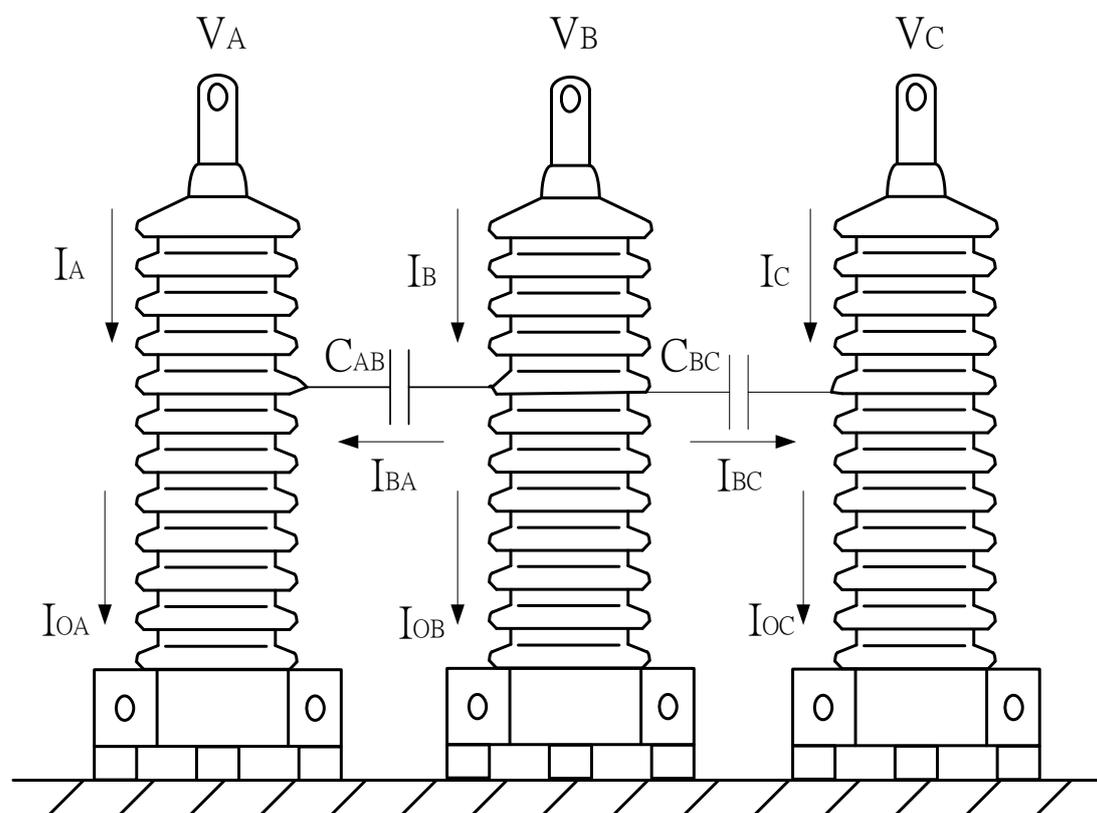


圖 5.34 三相氧化鋅避雷器直線排列示意圖

由圖 5.34 可見，A 相底部測量的洩漏電流  $I_{OA} = I_A + I_{BA}$ ，其中  $I_A$  為 A 相避雷器在  $V_A$  電壓下的實際洩漏電流， $I_A$  可分解為電容性洩漏電流  $I_{AC}$  和電阻性洩漏電流  $I_{AR}$ ；式中  $I_{BA}$  為鄰相 B 相與 A 相間的雜散電容  $C_{AB}$  所引起的電容性干擾電流，因 C 相與 A 相距離較遠，其影響可忽略不計。同理，C 相底部測量的洩漏電流  $I_{OC}$  以類似方法得出。因為 B 相位置位於中間，A、C 兩相對其的電容耦合效應基本上是對稱，因此其影響可忽略不計。

氧化鋅避雷器洩漏電流的電容性洩漏電流分量為主要成份，而電阻性洩漏電流分量所佔比例很小；由於相間耦合電容產生的干擾電流不大，因此對於電容性洩漏電流分量影響很小，但是對電阻性洩漏電流分量的影響較大。圖 5.35 相量關係可知，B 相對 A 相干擾，使 A 相底部測量的洩漏電流  $I_{OA}$  的功率因數角減小了  $\Phi$ ，B 相對 C 相干擾，使 C 相底部測量的洩漏電流  $I_{OC}$  的功率因數角增大了  $\Phi$ ；即 B 相對 A、C 相的干擾，使 A 相底部測量的洩漏電流  $I_{OA}$  的電阻性分量增加，而使 C 相底部測量的洩漏電流  $I_{OC}$  的電阻性分量減少。

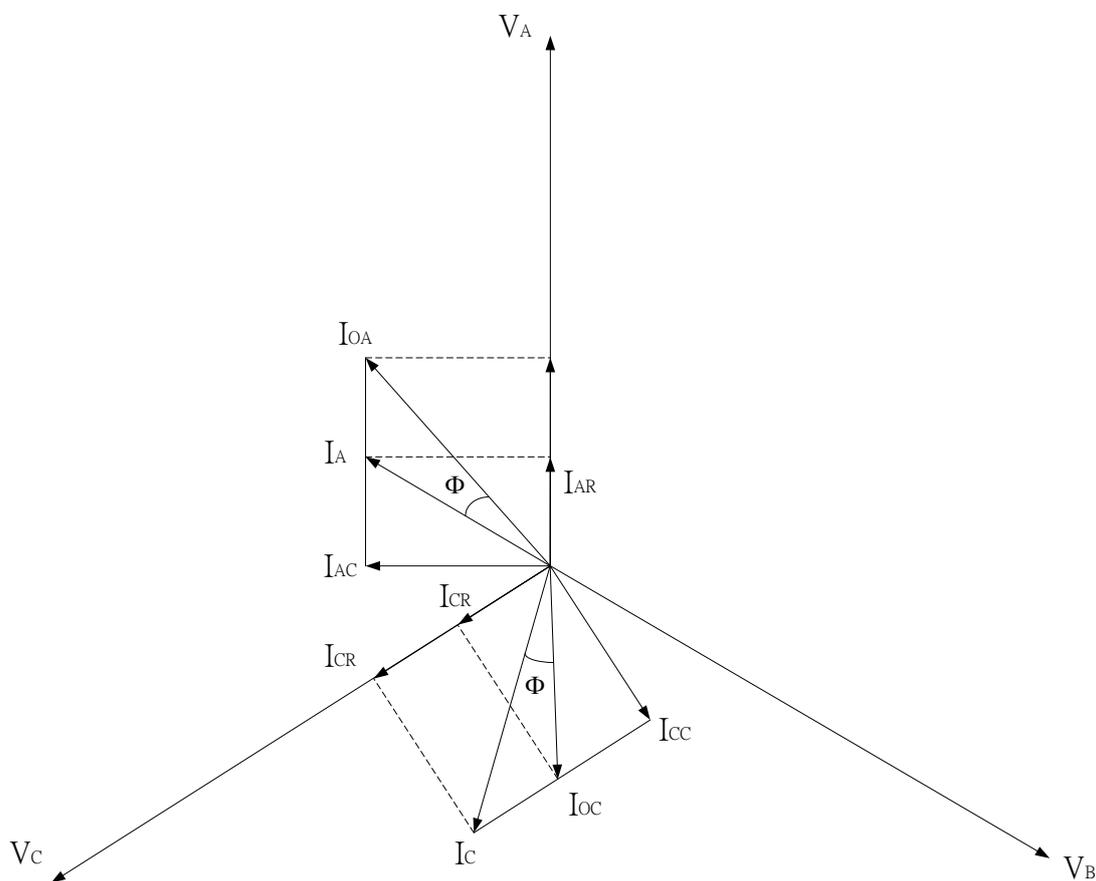


圖 5.35 相間耦合對洩漏電流測量影響的相量圖[26]

通過以上分析，要消除相間耦合電容對洩漏電流測量的影響可採取兩種方法，硬體改善以及軟體補償。

### 一. 硬體改善

於被測氧化鋅避雷器下端的瓷套外貼金屬箔，屏避相間耦合電容對洩漏電流測量的影響。

### 二. 軟體補償

取 A 相的  $V_A$  電壓信號和 A、C 兩相洩漏電流信號，分別測得相位角  $\Phi_A$ 、 $\Phi_C$ 。由圖 5.35 可知， $\Phi_A - \Phi_C = 120^\circ + 2\Phi$ ，則  $\Phi = (\Phi_C - \Phi_A - 120^\circ)/2$ 。通過軟體修正功率因數角，使 A 相的功率因數角  $\Phi'_A = \Phi_A + \Phi$ ，C 相的功率因數角  $\Phi'_C = \Phi_C - \Phi$ ，消除相間耦合電容對氧化鋅避雷器的影響，而採用軟體補償較為簡單可靠，較容易受到廣泛的應用。

### 5.3 監測原理分析

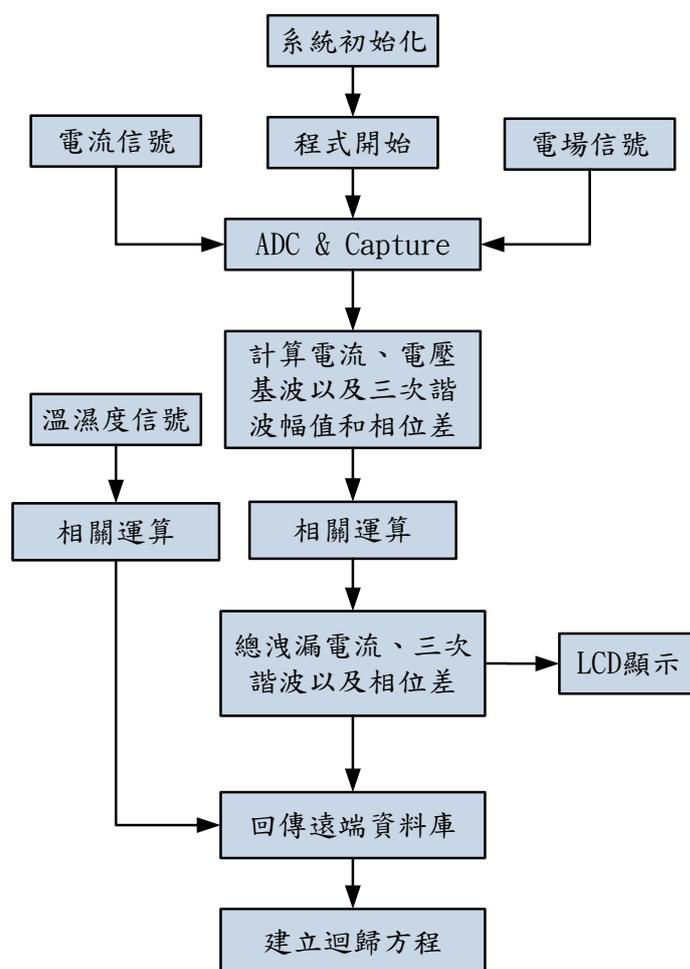


圖 5.36 監測原理分析流程圖

本研究案將參考國際電工委員會 IEC 60099-5 2000 ”補償電壓所產生之諧波的 3 次諧波含量分析法”進行洩漏電流分析。

為了分析避雷器基波分量和三次諧波分量，利用微處理機擷取洩漏電流並作快速傅立葉轉換以求得洩漏電流之三次諧波分量進行分析，但因系統電壓所產生的電容性諧波成份與避雷器三次諧波成份類似，故使用電場感測器將系統電壓的諧波成份信號取出，並從總諧波電流量中扣除，即可得到避雷器的三次諧波電流。

### (一)快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform)

考慮電力系統諧波污染的情況，假設某元件之電壓及電流分別為  $u_x$  及  $i_x$ ，則其傅立葉展開式如下：

$$u_x = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \alpha_k) \quad (5-25)$$

$$i_x = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \beta_k) \quad (5-26)$$

其中  $U_0$  及  $I_0$  分別為電壓及電流中的直流成分， $U_{km}$  及  $I_{km}$  為  $k$  次諧波電壓及電流， $\alpha_k$  及  $\beta_k$  為  $k$  次諧波電壓及電流的相角， $k$  為正整數。另外，若  $f(t)$  為間段連續且週期為  $T$  之函數，則可由下列傅立葉展開級數表示

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) \right] \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt - \phi_n\right) \right] \end{aligned} \quad (5-27)$$

$$\phi_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right) \quad (5-28)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{\frac{T}{2}}^T f(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) dt \quad (5-29)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \cdot \int_{\frac{T}{2}}^T f(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) dt \quad (5-30)$$

其中  $a_0$  為直流成分， $a_n$  及  $b_n$  分別代表  $n$  次諧波的餘弦及正弦函數之振幅。 $a_n$  及  $b_n$  之計算，可利用梯形積分方法處理離散數位化後之週期信號來實現。但每一傅立葉係數必須改變一次  $n$ ，然後執行積分運算。如此在欲求出之係數較多的場合（如諧波測量），所需運算時間將十分龐大，無法進行線上即時量測。

因此必須借助於離散傅立葉轉換 (Discrete Fourier Transform, DFT) 設信號  $f(t)$  以  $\Delta T$  間隔取樣，且每週共取  $N$  個點，則可得其離散傅立葉級數 (discrete Fourier series) 如下：

$$f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} F(n) \cdot e^{i \frac{2\pi}{N} kn} \quad (5-31)$$

$$F(n) = \frac{1}{N\Delta T} \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-i \frac{2\pi}{N\Delta T} n \cdot k \cdot \Delta T} \cdot \Delta T = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-i \frac{2\pi}{N} kn} \quad (5-32)$$

若只取單一週期來轉換，則式 (5-32) 可改寫成為

$$f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} F(n) \cdot e^{i \frac{2\pi}{N} kn}, \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$F(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-i \frac{2\pi}{N} kn}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (5-33)$$

其中  $f(k)$  是連續時域週期信號經類比對數位轉換器 (ADC) 取樣得到之離散數位信號，而  $F(n)$  則是經離散傅立葉轉換所得的離散頻譜。由式(5-33)可知  $N$  點 DFT 轉換共需  $N^2$  次複數乘法及  $N \cdot (N-1)$  次複數加法運算，若取樣點數達千點，用 DFT 轉換，乘法和加法次數將超過數百萬次，使得 DFT 無法達到即時處理的要求。

因此，1965 年 Cooley-Tukey 提出快速傅立葉轉換技術，以達到快速處理的目的。實現過程如下：

- (1) 設定類比信號取樣的間隔  $\Delta T$  及總取樣點數  $N$ 。
- (2) 進行取樣及類比對數位轉換。
- (3) 將步驟(2)結果代入快速傅立葉轉換算式，計算出各次係數。
- (4) 將步驟(3)結果乘上適當之轉換因數即可得到各次諧波成分。

```

void recursive_fft(double x[],int len_x,double y_re[],double y_im[])
{
    int i,k;
    double re_w = 1.0,im_w = 0,save_re,save_im;
    double x_even[len_x/2],x_odd[len_x/2];
    double y1_re[len_x/2],y1_im[len_x/2];
    double y2_re[len_x/2],y2_im[len_x/2];
    int index_even = 0,index_odd = 0;
    for(i=0;i<len_x/2;i++)
    {
        y1_re[i] = y1_im[i] = y2_re[i] = y2_im[i] = 0;
    }
    if(1 == len_x)
    {
        y_re[0] = x[0];y_im[0] = 0;
        return ;
    }
    /*按奇偶分組*/
    for(i = 0;i<len_x;i++)
    {
        if(i % 2 == 0)/*偶數*/
            x_even[index_even++] = x[i];
        else
            x_odd[index_odd++] = x[i];
    }
    /*處理奇數*/
    recursive_fft(x_odd,index_odd,y2_re,y2_im);
    /*處理偶數*/
    recursive_fft(x_even,index_even,y1_re,y1_im);
    for(k = 0;k<len_x/2;k++)
    {
        y_re[k] = y2_re[k]*re_w - im_w*y2_im[k] + y1_re[k];
        y_im[k] = y2_im[k]*re_w + y2_re[k]*im_w + y1_im[k];
        y_re[k+len_x/2] = im_w*y2_im[k] - y2_re[k]*re_w + y1_re[k];
        y_im[k+len_x/2] = -1*y2_im[k]*re_w - y2_re[k]*im_w + y1_im[k];
        save_re = re_w;save_im = im_w;
        re_w = save_re*W_RE(len_x) - save_im*W_IM(len_x);
        im_w = save_im*W_RE(len_x) + save_re*W_IM(len_x);
    }
}

```

圖 5.37 以 C 語言實現數學等式

## (二) 洩漏電流擷取方法

如圖 5.38 為利用微處理機 ADC 進行信號擷取之示意圖，由於本研究案使用之微處理機核心只能擷取 0V 以上之準位，須透過電路進行電壓位準偏移(Voltage offset)將電壓準位提升至 1.65V，進行信號擷取。

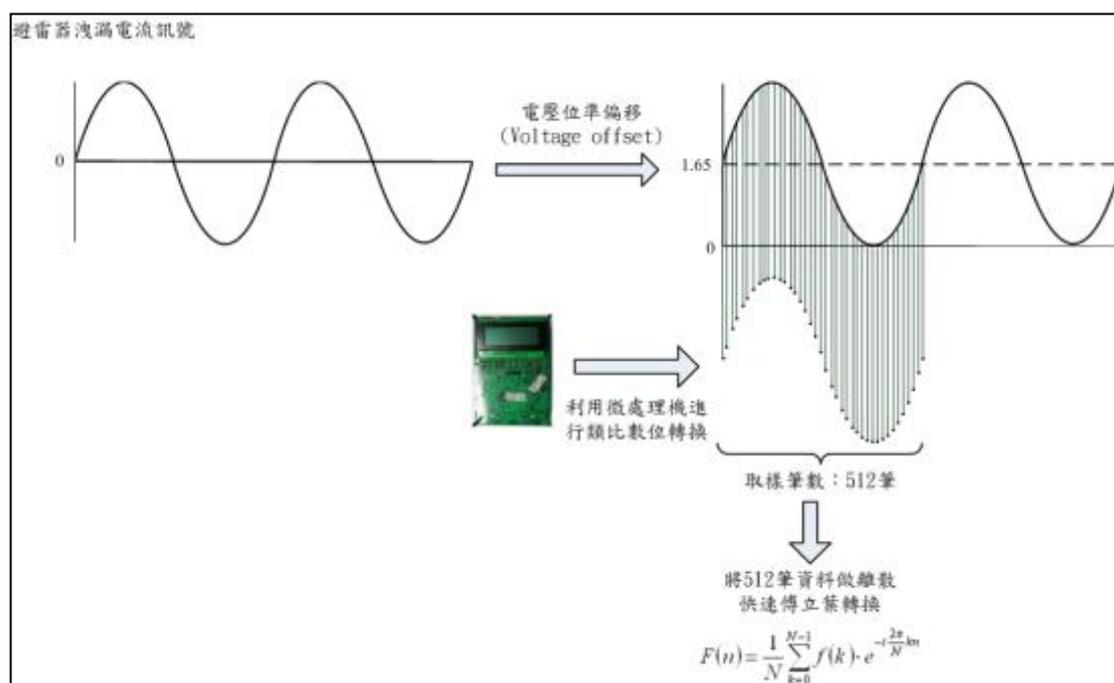


圖 5.38 洩漏電流數值擷取流程圖

擷取洩漏電流的計算步驟方法如下(以 1mA 的總洩漏電流為例進行計算)：

1. 透過前端電路將 1mA 電流訊號轉換為 1V 的電壓訊號。
2. 將電壓訊號零點準位提昇至 1.65V 準位如。
3. 利用微處理機進行類比數位轉換(微處理機設定:取樣筆數 512 點、取樣頻率: 30720 Hz)將取得以下 512 筆離散值(如示意圖 5.39)：  
1.65、1.662272、1.674541、1.686807、1.699068、1.711321、  
1.723565、1.735797、1.748017、1.760222、1.772411、  
1.784581、1.79673、1.808858、1.820962、1.83304、

1.84509 、 1.857111 、 1.869101 、 1.881058 、  
 1.89298 .....1.50327 、 1.515419 、 1.527589 、 1.539778 、  
 1.551983 、 1.564203 、 1.576435 、 1.588679、 1.600932 、 1.613193 、  
 1.625459 、 1.637728 。

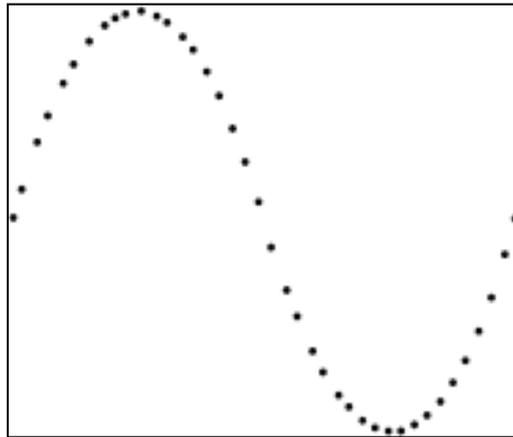


圖 5.39 離散點的示意圖

4. 將 512 個取樣離散點代入(5-33)離散快速傅立葉轉換得到各頻域之  
 頻譜值，將產生 256 筆帶有(實部+虛部)的數值如圖 5.40 。

第一筆即為直流準位(前面步驟提昇位準的 1.65V 值)。

第二筆為基本諧波(也就是總洩漏電流成份)。

$$\text{以下為例計算其基本波值} = 2 \times \sqrt{0^2 + 0.5^2} = 1$$

第三筆為第二次諧波。

第四筆為第三次諧波.....以此類推(以下數值從第二筆以後皆為  
 零，由於本次訊號源假設無任何諧波成份)。

第一筆~第五筆	[ 1.6500 ] [ -0.0000 - 0.5000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ 0.0000 - 0.0000i ]
第六筆~第十筆	[ -0.0000 - 0.0000i ] [ 0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ]
第十筆~第十五筆	[ 0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ 0.0000 - 0.0000i ] [ -0.0000 - 0.0000i ] [ 0.0000 - 0.0000i ]
.....~第二五六筆	[ 0.0000 - 0.0000i ] ..... [ 0.0000 - 0.0000i ]

圖 5.40 計算後各筆的數值

### (三)微處理機擷取洩漏電流與感應電場相位方法流程圖

除了進行三次諧波的分析外，利用電場感測器擷取到的系統電壓進行與總洩漏電流的相位偵測，方法如圖 5.41。

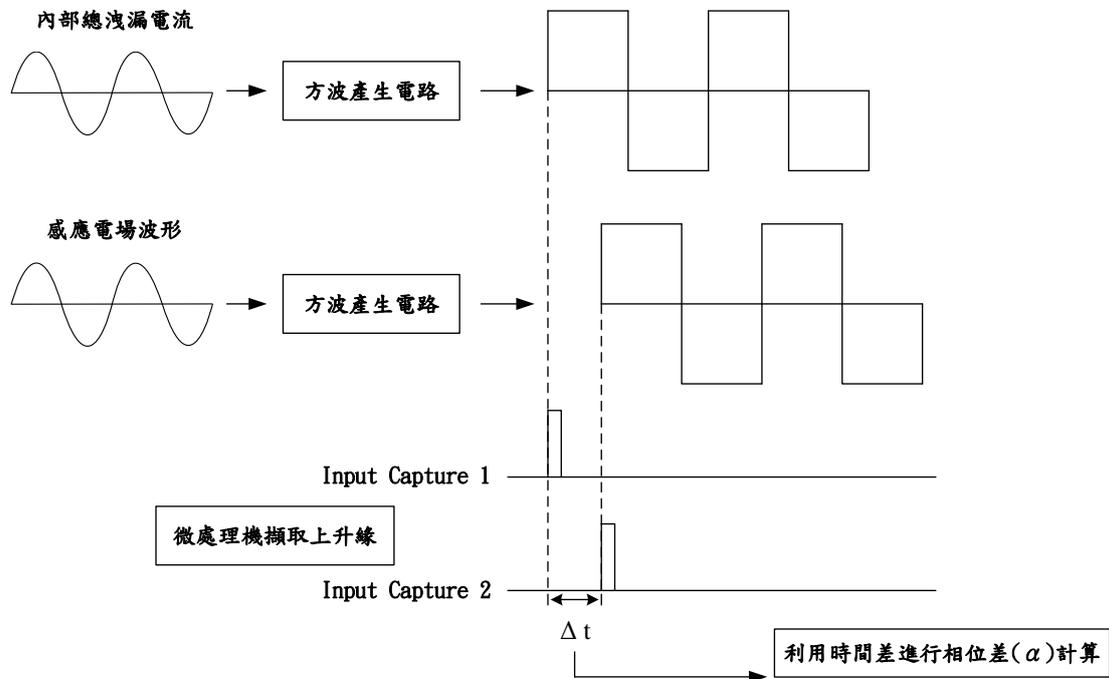


圖 5.41 相位偵測方法

微處理機擷取洩漏電流與感應電場相位的計算步驟方法如下：

1. 洩漏電流以及電廠趕應訊號接藉由方波電路轉換為方波訊號。
2. 利用微處理機偵測其方波訊號之上升緣。
3. 利用所得之第一筆上升緣做為起始點計算下一筆上升緣之間的時間差，如上頁流程圖  $\Delta t$ ，再經過計算轉換為相位差角度  $\alpha$ 。

計算如下：

系統頻率 = 60Hz、假設  $\Delta t = 3.5 \text{ ms}$ 。

$$\alpha = 3.5 \times 10^{-3} \times 360^\circ \times \frac{1}{\frac{1}{60}} = 75.6^\circ$$

#### (四) 電阻性洩漏電流計算方法

藉由微處理機計算出電場電壓信號與總洩漏電流之相位差做電阻性洩漏電流之計算。如圖 5.42，由避雷器的基波電流幅值  $I_t$  以及電場電壓信號之相位差  $\alpha$ ，可以計算出避雷器電阻性洩漏電流幅值  $I_r$ ，如等式(5-34)利用其相位角度差計算出電阻性洩漏電流的成份。

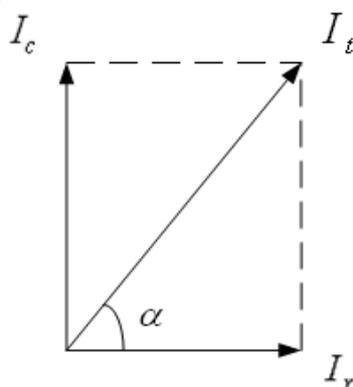


圖 5.42  $I_t$  與  $I_r$  之向量關係圖

$$I_r = I_t \times \cos \alpha \quad (5-34)$$

利用以上假設之數據進行解釋本研究案計算之方法。

計算如下：

1. 已經利用微處理機進行類比數位轉換並利用離散快速傅立葉轉換取得各次諧波值，將利用第二筆諧波值(總洩漏電流值)進行計算。

$$I_t = 1mA$$

2. 利用微處理機計算之相位差  $\alpha$  進行計算。

$$\alpha = 75.6^\circ$$

3. 利用右圖相量關係進行計算取得電阻性洩漏電流。

$$I_r = I_t \times \cos \alpha = 1 \times 10^{-3} \times \cos(75.6^\circ) = 248.6 \mu A$$

為取得正確的相位移，參考現地之 ABB Excount-II 讀值進行相位補償以及校正。校正後將洩漏電流資料與現地之溫度與濕度進行迴歸

分析，取得迴歸方程作為避雷器洩漏電流的數學模型以便觀察特定變數來預測。

IEC 60099-5 規範，第六節：氧化鋅避雷器之現場診斷指標，中提出電阻性洩漏電流對於溫度以及諧波成份之間的關係圖如圖 5.28 圖 5.29，本研究案將對其之間的關係進行建立迴歸數學模型等式。

#### (五)複迴歸模型建立

##### 1. 本計畫迴歸模型設立如下：

本研究將應用迴歸分析模型來建立合理的電阻性洩漏電流對應關係。其理論為研究兩個或兩個以上的自變數對應變數的影響分析方法即是所謂的迴歸分析方法，對多個自變數作試驗可相對的提高資料的正確性及可信度。其複迴歸方程式一般表示如下：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (5-35)$$

$Y$  為應變數(做為被預測者的變數)

$\beta_0$  為常數截距項

$\beta_1 \cdots \beta_n$  為模型估計係數

$X_1 \cdots X_n$  為自變數(做為提供預測的變數)

$\varepsilon$  為誤差值

應變數：電阻性洩漏電流

自變數：總洩漏電流、溫度、濕度、相位差補償量、三次諧波以及各次諧波。

## 2. 估計係數檢定

在迴歸分析中的預測 R 平方值是用來解釋模型預測新觀測值的好壞能力，R 平方值能避免過度配適的情況並且在比較模型上會比修正 R 平方值還要有用，因為它使用了估計模型未包含的觀測值來計算。過度配適指的是模型在模型估計上解釋現了有資料中應變數和自變數之間的關係，但是卻無法提供對新的觀測值的有效預測值。

預測 R 平方值是有系統地將資料中的移除單一觀測值移除並估計迴歸模型之後所得之一種修飾 R 平方值，並且決定了模型預測移除觀測值能力的好壞。預測 R 平方值的範圍介於 0 到 1 之間，當模型的預測 R 平方值越接近 1，則模型預測能力越好：計算公式如下：

$$R^2 = 1 - \frac{SS_e}{SS_t} \quad (5-36)$$

$SS_e$  為誤差變異量

$SS_t$  為總變異量

P 值則為回規模式的自變數與應變數之間的影响顯著性，P 值的範圍介於 0~1 之間，若在 0.05 以下則為非常顯著，若越高的話代表自變數與應變數並無非常的顯著性。

#### (六)迴歸補償方式

5. 比對 ABB Excount-II 之總洩漏電流與電場電壓之相位差，計算所需之補償量，並加入現地之總洩漏電流值、溫度、濕度、三次諧波幅值以及各次諧波幅值，並建立迴歸補償模型於系統中。
6. 日後持續進行相未補償量之數據，並加入原系統建立之迴歸補償模型進行比對，若與模型計算之補償值有 $\pm 5\%$ 差距，則納入迴歸補償數據中進行模型在建立，直到收斂至誤差值以內。
7. 當迴歸補償數據收斂時，則能建立一套配合以上現地之數據(總洩漏電流值、溫度、濕度、三次諧波幅值以及各次諧波幅值)之補償方法，為日後能準確監測電阻性洩漏電流之狀態。

## 第六章 監控系統設計與測試

### 6.1 中寮超高壓變電所參訪

為了解目前中寮超高壓變電所現有避雷器線上診斷系統應用現況與探討現場使用需求及安裝事項，因此本研究團隊前往參訪請教與討論。

圖 6.1 為避雷器監測站，現地採用 Excount-II 標準型感測器如圖 6.2 進行洩漏電流監測。圖 6.3 為現地安裝圖，Excount-II 經由外接的電場感測器進行電阻性洩漏電流之計算，可將量測資料以無線傳輸方式傳至掌上型接收器。



圖 6.1 避雷器監測站



圖 6.2 Excount-II 標準型感測器與掌上型接收器



圖 6.3 Excount-II 與電場感測器

中寮超高壓變電所建立一套「避雷器線上監測系統」如圖 6.4，透過掌上型接收器所接收之洩漏電流資料做趨勢的分析管理，以呈現狀態變化趨勢如圖 6.5、圖 6.6。



圖 6.4 避雷器線上監測系統



圖 6.5 避雷器總洩漏電流監測紀錄趨勢圖

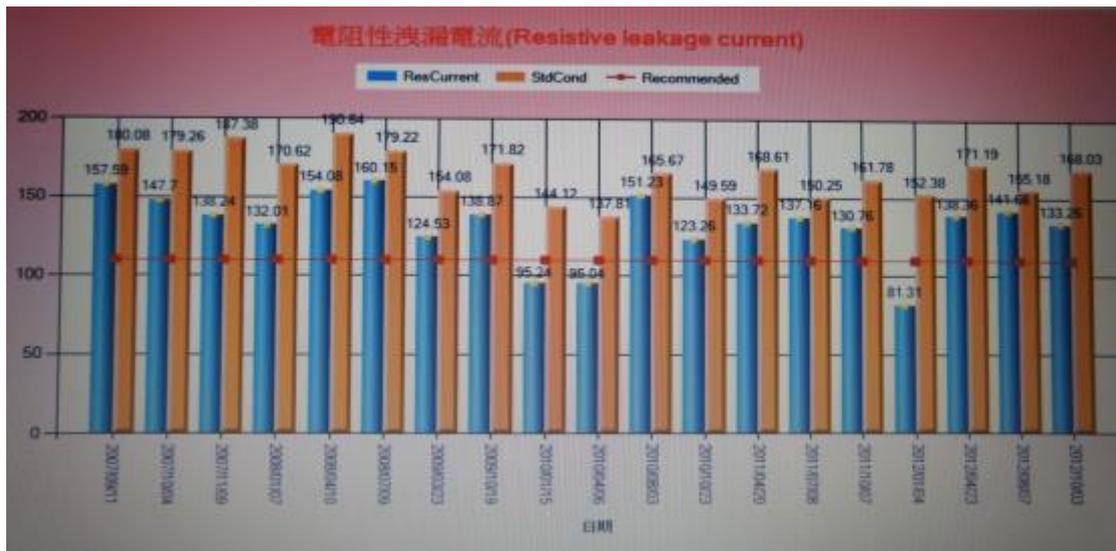


圖 6.6 避雷器電阻性洩漏電流監測紀錄趨勢圖

因避雷器的絕緣性能或狀態是隨著運行時間長久而逐漸老化，演變過程是非常緩慢且較難預期，所以長期監測運行中的絕緣狀態是必然的。中寮現地即運用「避雷器監測系統」狀態趨勢管理，篩選出疑似絕緣不良的避雷器，以離線採樣方式收集電阻性洩漏電流變化趨勢進行診斷，再經停檢量測避雷器介質損失、絕緣電阻、直流絕緣特性等避雷器劣化參考指標做複檢驗證，以確認避雷器是否絕緣劣化，汰換以確保供電安全，故具有相對地可靠準確度。換言之，研究團隊也將參考中寮現地管理分析方式，進行線上即時的避雷器狀態監測。

圖 6.7 為中寮現行開發的離線採樣監測系統的避雷器維護畫面，維護資訊項目包含有避雷器出廠序號、型號、額定電壓、SYS 電壓、OP 電壓、安裝地點及維護更換日期等基本避雷器設備銘牌資訊。研究團隊在未來開發完成的線上監測系統中除了納入上述所提之維護資訊外，也規劃將相關的維運供應商/製造廠家必要聯繫資訊及避雷器運作特性規格都納入管理範疇，以提供更全面長期的分析資訊來供診斷避雷器良劣之參考。

台灣電力公司

中寮超高壓變電所

雷擊突波 總洩漏電流 電阻性洩漏電流 異常資料 設備資料 資料維護

點 69KV線路 線路 線路69kv筒二線路#1連接站

避雷器資料(Equipment information)

避雷器	相別	模式	型號TYPE	額定電壓	SYS電壓	OP電壓	線路地點	更換日期
10700106	R	3	IEC CLASS 3 TYPE	72	69	0	線路69kv筒二線路#1連接站	2007/07/27
10700133	S	3	IEC CLASS 3 TYPE	72	69	0	線路69kv筒二線路#1連接站	2007/07/27
10700123	T	3	IEC CLASS 3 TYPE	72	69	0	線路69kv筒二線路#1連接站	2008/04/09

圖 6.7 中寮系統避雷器維護資料畫面

## 6.2 監控系統架構簡介

圖 6.8 為避雷器遙測監控系統架構規劃圖，系統前端裝置有資料處理單元，維持運作所需之電源是透過獨立供電系統單元所提供。透過本案中所設計的資料處理單元可統籌負責現地避雷器與氣象資料的即時數據收集，其內置採用了高階微處理機晶片作為運算核心。

後端的資料整合單元則整合了 GPRS(3.5G) 無線通訊以及各項數據量測功能，其包含了氣象參數（溫度、溼度）、避雷器洩漏電流（避雷器表面洩漏電流、避雷器電阻性洩漏電流、突波）等功能，並採行嵌入式系統為運作核心來連結上述之所有功能。

嵌入式系統本身建置有 RS-485、數位輸出輸入等多樣化的通訊介面。在本案中利用 RS-485 通訊來連接氣象參數子系統、避雷器洩漏電流子系統，並運用工業自動化常見之 Modbus 通訊協定來傳送資訊。

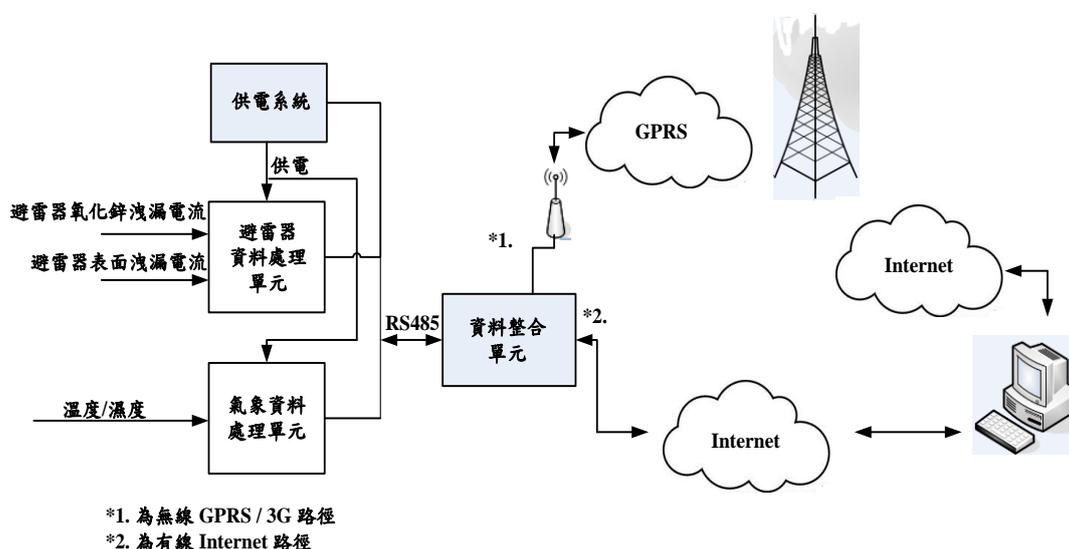


圖 6.8 避雷器遙測監控系統架構規劃圖

系統首先透過設置於避雷器現地端之資料蒐集單元將避雷器、氣象之類比訊號擷取進資料整合單元，再將類比訊號轉為數位信號，透過內部 MCU 運算後藉由 RS-232 通訊將資料傳送至 GPRS 無線通訊單元(或經過 Internet 路徑)。GPRS 無線通訊接收完資料後，會於固定時間間隔使用 GPRS Network 將資料傳送回監控端，而監控端使用有線網路由電信基地台接收資料。

資料接收後即傳送至監控端之 SQL Server Database 將資料加以保存。而使用者則是透過人機介面軟體對系統進行監控及操作，軟體係由 SQL Server Database 中取得系統資料，資料取得後再經人機介面顯示溫度、濕度、洩漏電流資料等數值，以便人員檢視即時現況。

### 6.3 洩漏電流監測子系統軟硬體設計

#### 6.3.1 避雷器洩漏電流監測子系統簡介

如下圖 6.9 所示，避雷器洩漏電流子系統架構可分為三個部分，即避雷器洩漏電流計、數據處理單元以及數據接收單元。

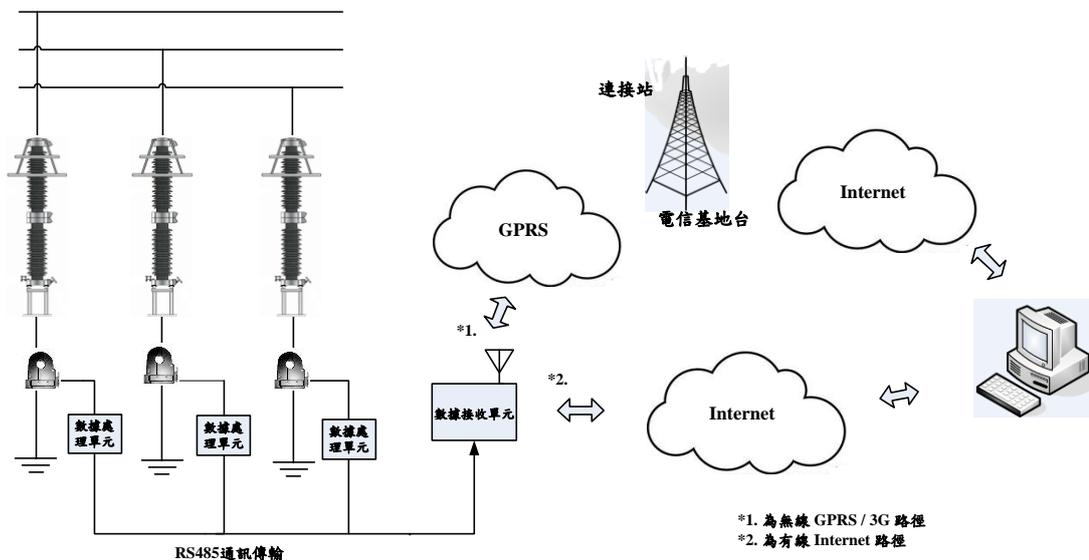


圖 6.9 避雷器洩漏電流子系統架構

數據處理單元方塊如圖 6.10，其包括 AFE ( Analog Front-end ) 電路、比較電路(Comparator)與微處理機運算核心(MCU)，避雷器氧化鋅洩漏電流訊號經過 AFE 電路傳到 MCU，避雷器表面洩漏電流經過比較器電路將訊號傳到 MCU。另外於通訊上，則於微處理機電路部分設計一組 RS-485 通訊介面，藉此 RS-485 通訊傳輸方式來與嵌入式系統完成資料傳輸部分。

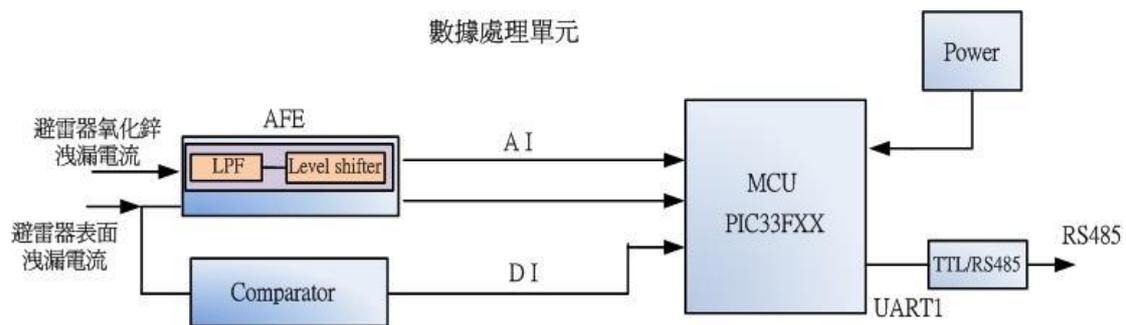


圖 6.10 數據處理單元

數據接收單元方塊圖如圖 6.11，包含嵌入式系統以及 GPRS 模組數據的接收一樣是透過 RS-485 通訊介面傳輸到嵌入式系統再經過 UART 傳到 GPRS 模組進行無線傳輸。

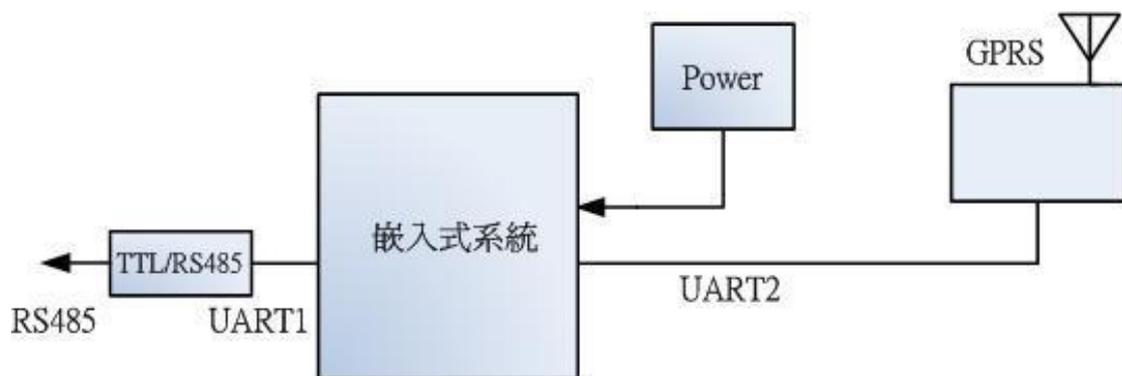


圖 6.11 數據接收單元

### 6.3.2 ARM 嵌入式系統

本嵌入式系統將採用 Samsung 公司以 ARM 為架構所推出的 ARM920T 微處理器核心之微處理機晶片 S3C2440 如圖 6.12 來實現設計，硬體應用部分則必須實現數位輸出輸入、SD 記憶卡存取、乙太網路、GPRS(3.5G)無線網路傳輸、USB 介面、RS-232 串列傳輸及 RS-485 通訊傳輸。

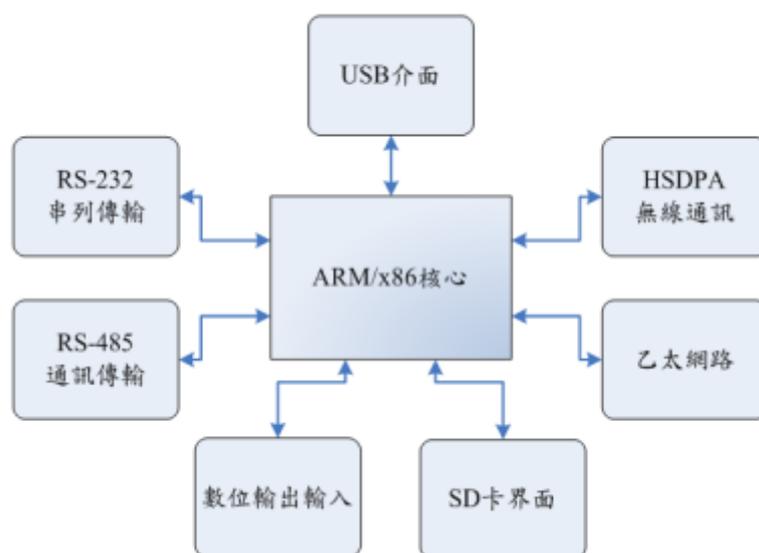


圖 6.12 ARM 核心功能規劃

圖 6.13 為 ARM9 之模組，本嵌入式系統將於系統核心中建立起 Linux 作業系統，使嵌入式系統能靈活運用網路通訊、USB 傳輸、SD 記憶卡、HSDPA 無線通訊等。軟體設計上搭配開發完成的硬體電路，使用以 C 語言撰寫，於 PC 平台上使用交叉編譯器 GCC (GNU Compiler Collection) 編譯出能於 ARM 執行之機器碼，其基本功能主要包含了數位訊號處理、SD 記憶卡存取、USB 介面辨識、Shell 指令執行、通訊、入侵訊號偵測等功能。



圖 6.13 ARM9 之模組

### 6.3.3 GPRS 通訊模組

圖 6.14 為 GPRS based 資料蒐集模組硬體系統方塊圖，依其架構可細分為：

- (1) 電源轉換器：將輸入直流電源(8V 以上)轉換成兩組直流電源，一組 5V 直流電源，提供 GSM/GPRS (3.5G) 模組使用，另一組 3V 提供給 SIM 卡使用。

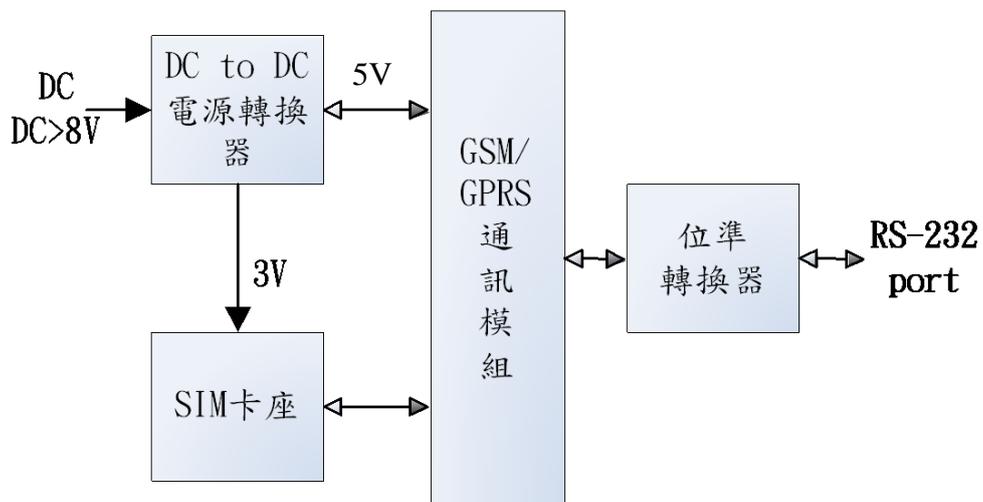


圖 6.14 GPRS (3.5G) 通訊硬體系統方塊圖

- (2) GSM/GPRS (3.5G) 通訊模組：GSM 其功能與一般手機相同，GPRS 則是以封包的方式傳送、計費，另外此通訊模組提供一組串列介面 RS-232 供連線使用。如圖 6.16、圖 6.17 為其資料蒐集與控制模組。
- (3) 位準轉換器：係將 GSM/GPRS 串列介面位準提昇至一般標準 RS-232 準位，使 GSM/GPRS 模組可與外部連線作控制。只要有標準 RS-232 介面均可與其連接，但必須注意此 RS-232 介面為 DCE(Data Circuit Equipment)，故連線時須注意連線纜線為非交越型(No cross over type)。
- (4) SIM 座：提供放置 SIM 卡使用，並將 SIM 卡連接至 GSM 通訊模組。接線圖如圖 6.15 所示。

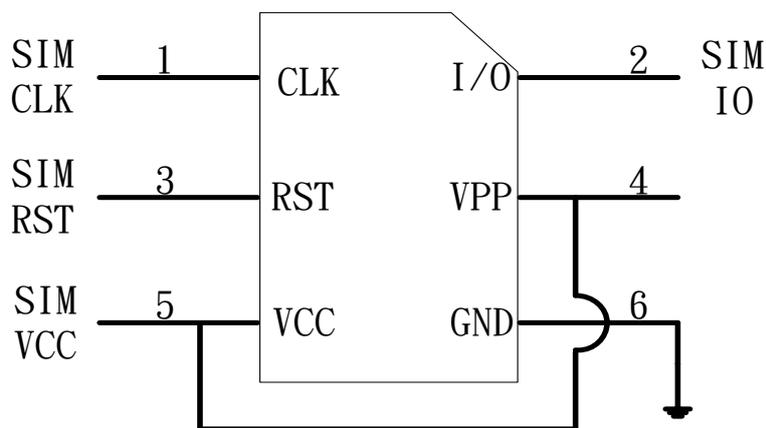


圖 6.15 SIM 卡座接線圖

本 GPRS 資料收集模組(圖 6.16、圖 6.17)可採用 GSM 簡訊或 GPRS 封包方式通訊或以更高速率的 3.5G 方式連接，GSM 的簡訊主要利用 GSM 通訊網路傳輸於行動台之間的文字訊息。

GSM 系統允許簡訊服務(Short Message Service, SMS)訊息可被系統定義的編碼機制、使用者編碼或二進制資料所編碼。GSM 系統可以於手機通話時接受被投遞出來的訊息，因為資料通訊協定單元(Protocol Data Unit, PDU)控制簡訊在訊號通道傳送，而不是語音通道。信號通道主要是用來載送網路與手機之間所需的控制訊號相關訊息，所以和語音不相干擾。

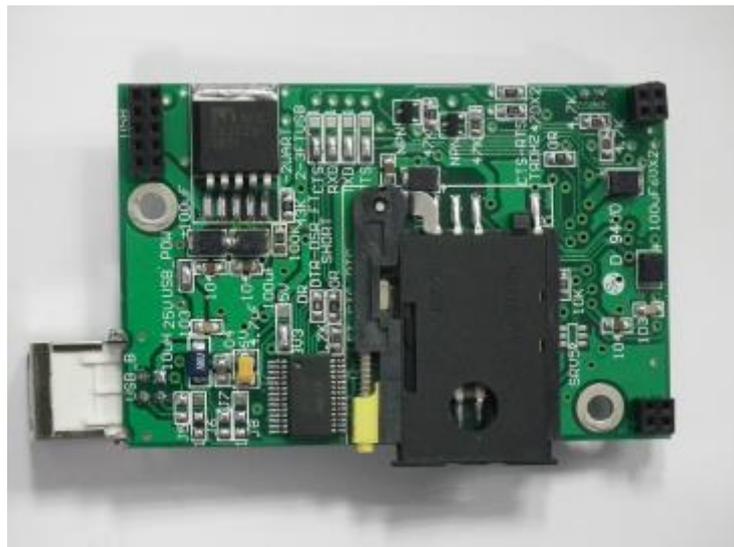


圖 6.16 GSM/GPRS 型資料蒐集與控制模組圖正面



圖 6.17 GSM/GPRS 型資料蒐集與控制模組圖背

### 6.3.4 洩漏電流擷取設計

金屬氧化物避雷器(簡稱 MOA)電流信號取樣正確與否對於性能狀態的檢測極為重要，一般全電流來自 MOA 的接地下引線。由於在正常的運轉條件下全電流是一個幾十至幾百 的微弱信號，這樣的微弱信號測量起來很困難，而且很容易受到外界電磁信號的干擾。

雖然 MOA 在正常運轉時流過它的洩漏電流是一個毫安培級的弱信號，而在暫態過電壓動作放電時的放電電流又是一個很大的(可以達到上千安培)的大電流信號，同時對其進行採樣，還必須保證二次取樣不影響一次的安全運轉，一次的雷擊等暫態過電壓不傳入二次設備。

所以信號取樣既要保證精度還要對上述的幾個原則進行特殊考慮。目前，在 MOA 性能檢測中通常選擇全電流作為信號取樣狀態量，而目前 MOA 洩漏電流的取樣有三種方法：

#### 一. 計數器取樣：

從與 MOA 串聯的雷電計數器取得電壓信號，以此來反映電流值。採用這種方法要求計數器的等效電阻是線性的，流經計數器的電流與計數器兩端的電壓成線性關係，但多數計數器不能滿足這個要求。因此，此方法有比較大的局限性。

#### 二. 小電阻取樣：

在 MOA 的接地線處串入一小電阻，通過電阻兩端的電壓值來反映流過 MOA 的電流。這種方法一旦出現故障，可能導致一次設備接地出現開路，危及一次設備的安全，而且一次設備和二次系統之間沒有實線隔離，在暫態過電壓的情況下，如果放電管或壓敏電阻沒有立即起作用，將嚴重損壞後面的電子線路，所以這種方法在實際應用中一般不用。

### 三. 電流感測器取樣：

用比流器從 MOA 的接地線處取得洩漏電流值，這種方法是採用電磁感應將洩漏電流耦合二次線圈上，取信號的時候可以實現與一次系統之間得電隔離，比較安全；缺點是由於空間電磁場的干擾，很難保證獲得準確的電流信號。為獲得較高的取樣精準度，對電流比流器的結構、參數以及抗干擾等環節的選擇要求很高。

經由以上幾種取樣方法的分析說明，採用比流器來提取 MOA 的洩漏電流是比較好的一種方法，電流感測器擔負採集電流信號的任務，獲取洩漏總電流，此時，電流傳感器是系統的關鍵部分，其性能直接影響到監測的精度和可靠性，因此對其有一定的要求，基本以下幾點：

- (一) 能夠適用於測量小電流(mA)的要求，靈敏度高，同時二次輸出的電壓盡可能高。
- (二) 在測量範圍內線性度好，輸出波形不畸變，被測電流與輸出電壓之間的相位差變化小。
- (三) 溫度係數小，工作穩定性好，具有良好抗干擾能力。

可採用零磁通電流感測器，套在設備接地線上獲取洩漏電流信號，感測器的接入不改變被測設備(MOA)原有的接線方式。



圖 6.18 電流感測器

目前公司裝設的 JCQ4 型避雷器用監測器詳見圖 6.19，其監測器除了能由人工讀取上頭類比表之數值外，其內含有一小電流感測器，能夠精確的線性感應 MOA 之洩漏電流。



圖 6.19 JCQ4 型避雷器用監測器

JCQ4 型避雷器用監測器，監測項目包括避雷器之連續電流、監測表面污穢電流的讀錶以及操作電流 $\geq 10A$ 的計數器。

電錶背面擁有兩個內部洩漏電流以及外部污穢洩漏電流經過  $1\text{ k}\Omega$  的電壓輸出、一個外部洩漏電流輸入點以及接地共四個點如，將避雷器洩漏電流訊號傳送至 MCU 進行擷取運算。



圖 6.20 JCQ4B-Y1 電錶(背面)

### 6.3.5 洩漏電流量測模組

圖 6.21 為洩漏電流量測模組測試板，系統硬體方塊圖如圖 6.10，主要的微處理機電路係由一微處理機（MCU）為運算核心，此微處理機晶片由避雷器洩漏電流計取得表面洩漏電流與總洩漏電流（突波）類比訊號，再使用微處理機內建之 10 位元 A/D 轉換器將類比訊號轉換為數位訊號，這些數位訊號經由微處理機運算後，一方面由 LCD 模組顯示表面洩漏電流與總洩漏電流（突波）值於面板上。

另一方面則使用微處理機電路中設計的 RS-485 通訊介面來傳輸資料，藉此 RS-485 通訊傳輸方式來與 ARM9 嵌入式系統完成資料傳輸。本避雷器資料蒐集單元之軟體設計將搭配硬體電路設計，並使用 C 程式語言撰寫之，其基本背景功能主要包含了表面洩漏電流、總洩漏電流數據轉換、各個等級突波電流記錄（10~99、100~999、1000~4999、5000~9999、>10000）、數據運算、LCD 面板顯示、RS-485 介面的 MODBUS 通訊協議等功能。

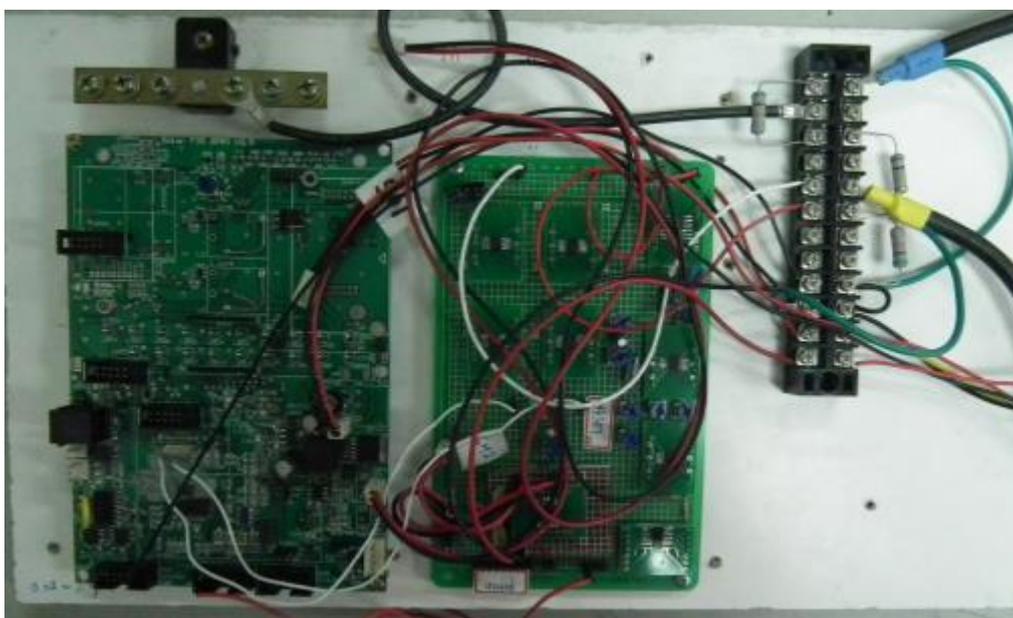


圖 6.21 洩漏電流量測模組

## 一、電源電路板

圖 6.22 為測試電源電路板，由兩個交換式電源供應器 SPS-35-24 以及 NED-35A 組成，輸入電源 110V 即可獲得輸出 5V、12V 以及 24V，提供前端電路、微處理機(MCU)以及溫濕度感測器電源。

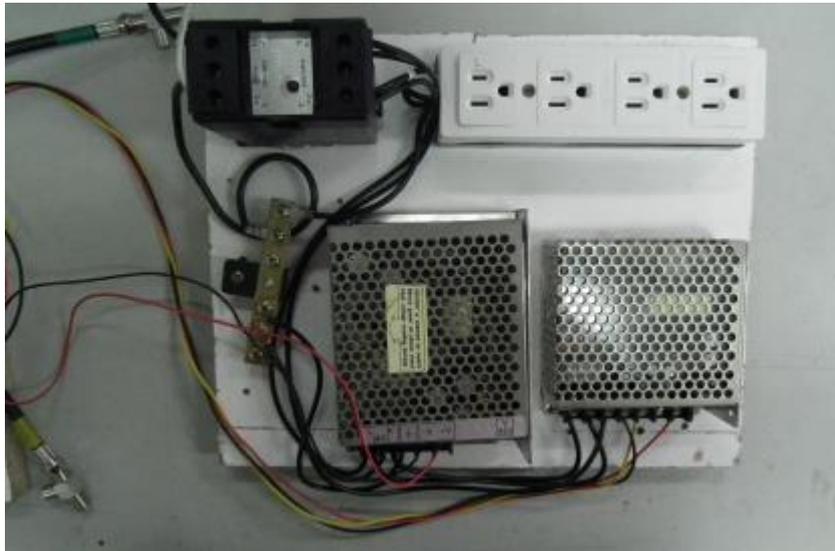


圖 6.22 電源電路板

## 二、比較器電路

如圖 6.23 此電路可由 5V 單電源供電，且轉換速度快，輸入偏置電流小，而輸出部分具有獨立之地線引出端，輸出與 TTL/RTL/DTL 電容相容，靈敏度高，能對弱小信號進行比較。

本電路將分為八個電流區段的階層，當大於比較器八個區段時，則立即觸發則立即觸發光耦合電路，計數器便會有所動作。



圖 6.23 比較器電路

### 三、微處理機電路

如圖 6.24 為微處理機 (MCU)，由 TI 公司推出的 DSPIC33FJ128MC710 做為控制晶片，該晶片結合 16 位元微處理機控制特點和 DSP 高速運算之優點，因此極適合作為前端訊號擷取轉換使用，主要功能為利用此控制晶片完成 12 位元 ADC 對避雷器氧化鋅洩漏電流進行快速傅立葉轉換以及對其表面洩漏電流作為突波計數器以提供了解避雷器經歷多少次的明顯放電資訊，將這些資訊顯示於 LCD 同時透過 RS485 進行串傳輸。



圖 6.24 微處理機運算核心

### 6.3.6 RS485 通訊模組

圖 6.25 為 RS232 轉 RS485 通訊模組，MCU 可藉由此通訊模組將避雷器洩漏電流資料傳送至嵌入式系統並透過 GPRS 或 Internet 進行傳輸。



圖 6.25 RS485 通訊模組

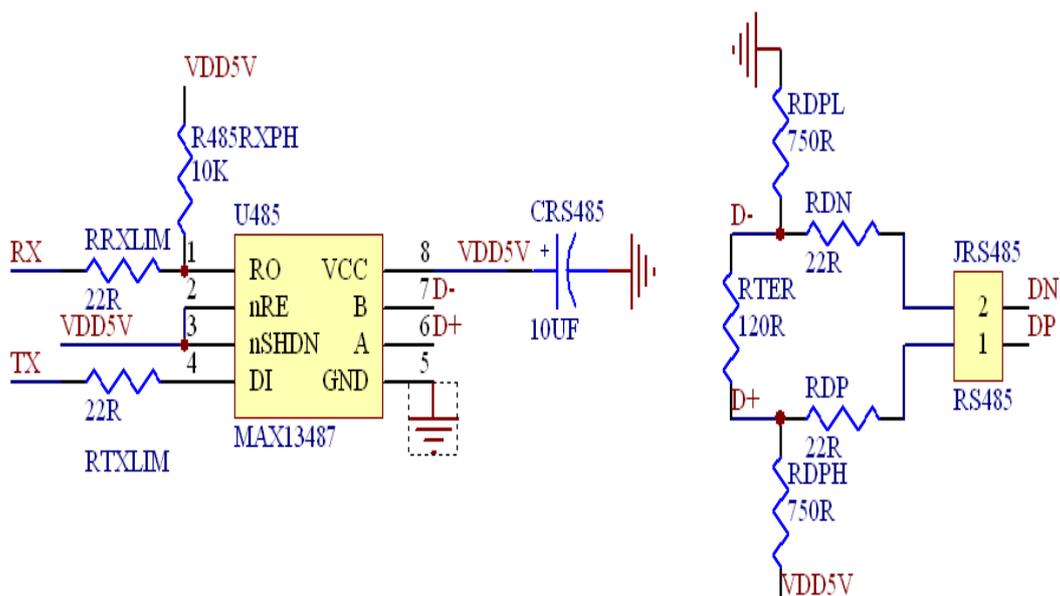


圖 6.26 RS485 通訊介面電路

RS-485 通訊技術具有對雜訊免疫、寬資料傳輸速率適當以及多點傳輸能力等優點，可應用場合包括程式控制網路、工業自動化、遠端控制以及安全系統等。這些應用場合一般都需要在相當長的距離下進行穩定的資料傳輸，因此它們皆採用 RS-485 技術。RS-485 必須配合諸如 Profibus、Interbus、Modbus 或 BACnet 等通訊協定進行資料傳輸，使用者會依其需要而決定採用何種通訊協定。

由於 RS-485 訊號的傳遞方式是以差動訊號傳輸，但是一般微處理機晶片 UART 通訊埠之訊號位準係為 TTL(0V~5V)，故需經由位準轉換電路將微處理機晶片 TTL 位準之信號轉換為差動的 RS-485 訊號來傳輸。本文所使用的 RS-485 介面轉換晶片為 MAX13487，如圖 6.26 所示。為使資料不致失真，電路設計上於 DATA+ 及 DATA- 兩腳位加上一 120 歐姆之終端電阻，用以達到傳輸線路阻抗匹配之效。

### 6.3.7 Modbus 通訊協定

Modbus是由Modicon公司在1979年發展出一種通信協定，常被採用於自動化領域、電力監控以及樓宇監控領域中。Modbus是一個主從式（Master / Slave）的通訊協定架構，在整個Modbus的通訊範圍中，主要節點可以發出詢問的訊息給任一從屬節點裝置，符合條件的從屬節點裝置會執行主要節點所指定的動作。

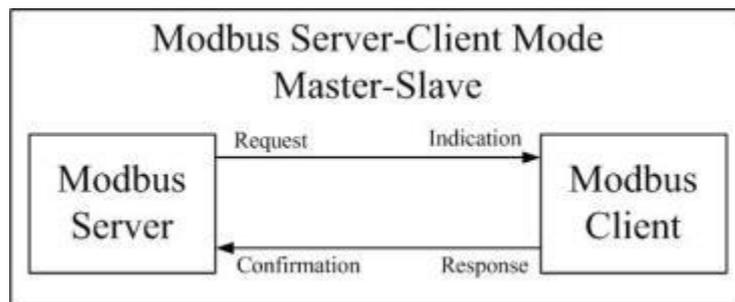


圖 6.27 Modbus 主從式架構示意圖

一般而言，Modbus通訊協定可分為Modbus ASCII、Modbus RTU、Modbus TCP / IP三種傳輸方式，Modbus ASCII顧名思義就是以ASCII碼的方式來傳輸，而Modbus RTU是以Binary的方式來傳輸；而RTU所傳輸1個Byte的數據量時，ASCII就必須傳輸2個Byte的數據量，舉例來說，RTU傳輸0xF9一個位元組時，ASCII就必須傳輸0x39與0x46兩個位元組；因此以RTU的方式最快，亦能傳輸比較大量的資料，而本文的前端監控現場的監控資料皆是以Modbus RTU的方式傳輸，再由Modbus TCP / IP的方式將現場的資料傳輸回後端監控中心。

一般Modbus RTU的傳輸封包格式如下圖6.28所示，而Modbus TCP/IP的傳出封包格式如圖6.29所示，由於主機伺服器與前端資料收集站不是利用傳輸線路傳輸數據資料，因此在Modbus TCP/IP中不使用Slave ID，而是使用一IP位址與前端資料收集站進行傳輸溝通；此外Modbus TCP/IP本身在傳輸的過程中，會進行Checksum的動作，因此將Modbus RTU中的CRC校正碼移除。

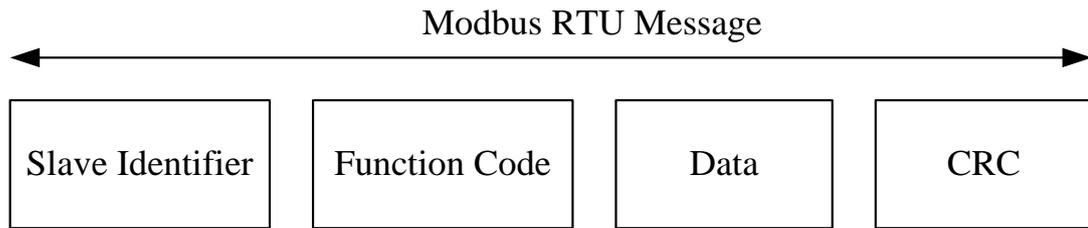


圖 6.28 Modbus RTU 封包傳輸格式

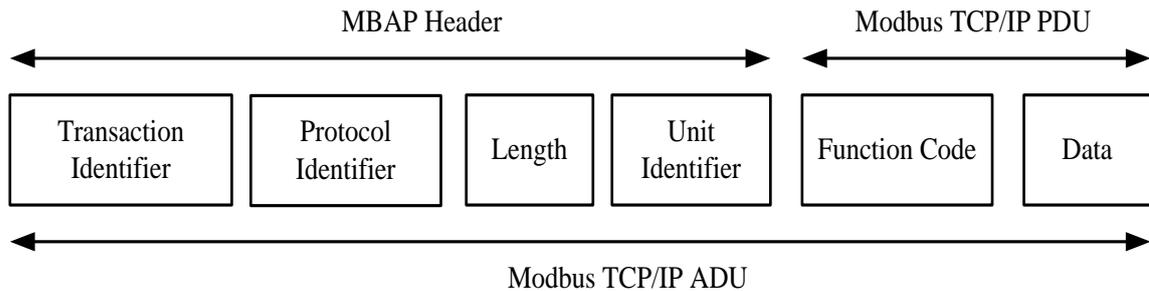


圖 6.29 Modbus TCP/IP 封包傳輸格式

在本案中設計採用 Modbus TCP/IP 封包格式傳遞量測系統收集的數據資料，以下則簡要說明前端資料收集端與後端監控中心於資料傳輸時的指令規則。首先監控中心 Request 的資料傳輸協定如表 6.1 所示，範例中的示範方式是由監控中心發送 Request 的要求，當輸電鐵塔的 IP 位置以及其他位址指令校驗正確時，即開始向前端資料收集站要求讀取風力發電機的即時電壓值。

當前端資料收集站接收本機伺服器的 Request 時，即開始回應後端伺服機所需要的即時資訊並進行校驗，校驗正確後立即將風力發電機電壓值回傳至監控中心網站，範例中可於 Registers Value 中得到風力發電機電壓值如表 6.2 所示為 15.3V，待監控中心接收到前端資料收集站的資訊時，即完成數據傳輸。其中 Unit Identifier 與 Function Code 之功能碼如表 6.3、表 6.4 所示，Function Code 一般只使用 0x03 之指令，當有其他的需求時，方可使用表格內的其他指令。

表 6.1 後端監控中心之 Request 傳輸格式

Request	指令描述	Byte
MBAP Header	Transaction Identifier	2
	Protocol Identifier	2
	Length	2
	Unit Identifier(註表 6.3)	1
MODBUS Request	Function Code(註表 6.4)	1
	Starting Address	2
	Quantity of Registers	2
範例：0001,0000,0006,01,03,0004,0002		

當前端資料收集站接收本機伺服器的Request時，即開始回應後端伺服機所需要的即時資訊並進行校驗，校驗正確後立即將監控中心所要求的風力發電機數值回傳至監控中心網站，範例中可於Registers Value中得到風力發電機的發電電壓值，待監控中心接收到前端資料收集站的資訊時，即完成數據傳輸。

表 6.2 前端資料收集站 Response 傳輸格式

Response	指令描述	Byte
MBAP Header	Transaction Identifier	2
	Protocol Identifier	2
	Length	2
	Unit Identifier(表 6.3)	1
MODBUS response	Function Code(表 6.4)	1
	Byte Count	1
	Registers Value	N*2
範例：0001,0000,0006,01,03,02,15.3(V)		

表 6.3 Unit Identifier 功能碼表

Unit Identifier	作用
0x01	R 相洩漏電流資訊
0x02	S 相洩漏電流資訊
0x03	T 相洩漏電流資訊
0x04	R 相突波感測器資訊
0x05	S 相突波感測器資訊
0x06	T 相突波感測器資訊
0x07	溫、濕度資訊
0x10	風光發電資訊

表 6.4 Function Code 功能碼表

Function Code	作用
0x01	Read coils - 讀取 DO
0x03	Read multiple registers - 讀取多個內部記憶體位置
0x04	Read multiple input registers - 讀取多個 AI
0x05	Write single coils – 控制單個 DO
0x0F	Write multiple coils – 控制多個 DO

Modbus 通訊協定功能碼如表 6.5 所示，風光能和溫、濕度的 Modbus 資料傳輸協定如表 6.6 所示，系統中是以兩個各自獨立的 ARM 嵌入式系統負責處理運算風光系統資料、溫濕度以及突波次數，表 6.7 為突波計數器端的 Modbus 資料傳輸協定，表 6.8 為洩漏電流的 Modbus 資料傳輸協定。

表 6.5 Modbus 功能碼表

功能碼	名稱	作用
03H	讀取資料	讀取個設備之資訊，如氣象資料、突波計數器數值、洩漏電流值。
06H	資料寫入	將溫、濕度資料或突波計數器中的紀錄值歸零，重新計算數據。

表 6.6 Modbus 資料傳輸協定(風光系統端)

暫存器位址	功能		資料形態	Modbus 位址	單位	名稱
0x8001	03H	06H	String	0x0001	Time	時間
0x8003	03H	06H	String	0x0002	Date	日期
0x8005	03H		Integer	0x0004	V	風力機電壓
0x8006	03H		Integer	0x0006	A	風力機電流
0x8007	03H		Integer	0x0008	V	太陽能電壓
0x8008	03H		Integer	0x0008	A	太陽能電流
0x8009	03H		Integer	0x0009	V	蓄電池-電壓
0x800A	03H		Integer	0x000A	A	蓄電池-電流
0x800D	03H		Integer	0x000D	V	負載電壓
0x800E	03H		Integer	0x000E	A	負載電流

表 6.7 Modbus 資料傳輸協定(突波計數器端)

暫存器位址	功能		資料形態	Modbus 位址	單位	名稱
0x8020	03H	06H	Integer	0x0020	次數	絕緣礙子串-1
0x8021	03H	06H	Integer	0x0021	次數	絕緣礙子串-1
0x8022	03H	06H	Integer	0x0022	次數	絕緣礙子串-1
0x8023	03H	06H	Integer	0x0023	次數	絕緣礙子串-1
0x8024	03H	06H	Integer	0x0024	次數	絕緣礙子串-1
0x8025	03H	06H	Integer	0x0025	次數	絕緣礙子串-1
0x8026	03H	06H	Integer	0x0026	次數	絕緣礙子串-1
0x8027	03H	06H	Integer	0x0027	次數	絕緣礙子串-1

表 6.8 Modbus 資料傳輸協定(洩漏電流端)

功能	資料形態	Modbus 位址	單位	名稱
03H	Integer	0x0001		判斷相位超前與落後
03H	Integer	0x0002	°	相位
03H	Integer	0x0003	mA	一次諧波
03H	Integer	0x0004	mA	二次諧波
03H	Integer	0x0005	mA	三次諧波
03H	Integer	0x0006	mA	四次諧波
03H	Integer	0x0007	mA	五次諧波
03H	Integer	0x0008	mA	六次諧波
03H	Integer	0x0009	mA	七次諧波
03H	Integer	0x0010	mA	八次諧波
03H	Integer	0x0011	mA	九次諧波
03H	Integer	0x0012	mA	十次諧波
03H	Integer	0x0013	mA	十一次諧波
03H	Integer	0x0014	mA	十二次諧波

透過 Modbus通訊協定能將多樣的裝置連接在一起，當在Modbus網路上使用通訊時，此通訊協定可讓每一台控制器知道它本身的設備位址，並識別對它定址的資料，判斷應該作用的資料類型，讀取出在資訊中的資料和數據，控制器也可編輯回答資訊，並使用Modbus通訊協定將此資訊傳送出去。透過Modbus通訊協定，控制器之間可經由網路(例如乙太網路)與其他設備相互通信，它已成為一種通用工業標準，有了此通訊協定，不同廠商所生產之控制設備便可連成工業網路，進行集中監控。

## 6.3.8 微處理機模組測試

### 一. 諧波分析試驗

利用如圖 6.30 Tektronix TDS1010B 訊號產生器模擬避雷器氧化鋅洩漏電流主要經由 MCU(DSPIC33F)進行類比/數位轉換(A/D)進行訊號之擷取，將擷取到之訊號進行快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform)，以分析其信號之諧波成分，並以 Tektronix 示波器測量以及 MATLAB 模擬進行三方比對，以確保 DSPIC33F 程式之撰寫的正確性。

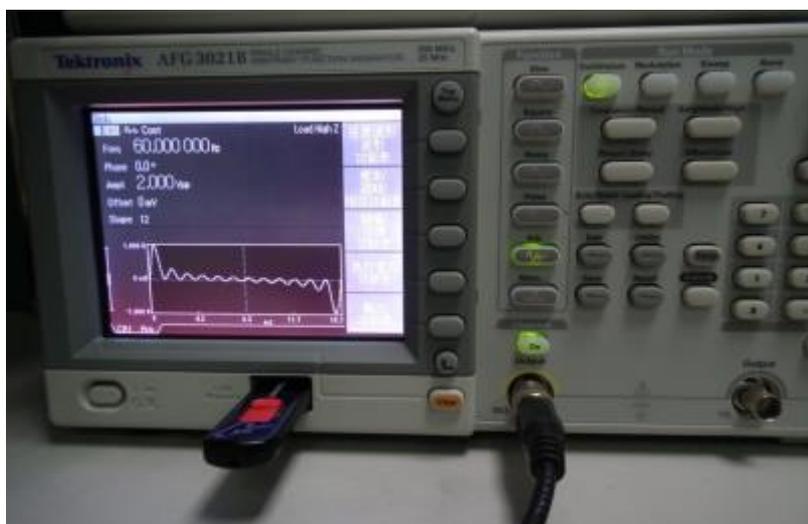


圖 6.30 Tektronix TDS1010B

## (二) 類比/數位轉換(A/D)

類比/數位轉換器為取樣保持電路，將該測量電路的類比訊號轉換成數位訊號，以供 DSPIC33F256MC710 讀取使用。

以訊號產生器模擬輸入信號為  $1+1 \times \sin(2 \times \pi \times 60 \times t)$  如圖 6.31，DSPIC33F 設置之  $\Delta t$ (每筆之取樣時間) =  $3.255 \times 10^{-5}$ ，共取 512 筆的點數如圖 6.32。取樣後的值 DSPIC33F 以 16 進制表示，10bits A/D 轉換後之滿刻度為 1024，故換算  $V(n)$  應為：

$$V(n) = \left[ \frac{\text{Value}V(n)}{1024} \times 3.3 \right] \quad (6-1)$$

$\text{Value}V(n)$  為電壓取樣經 A/D 轉換過後之值

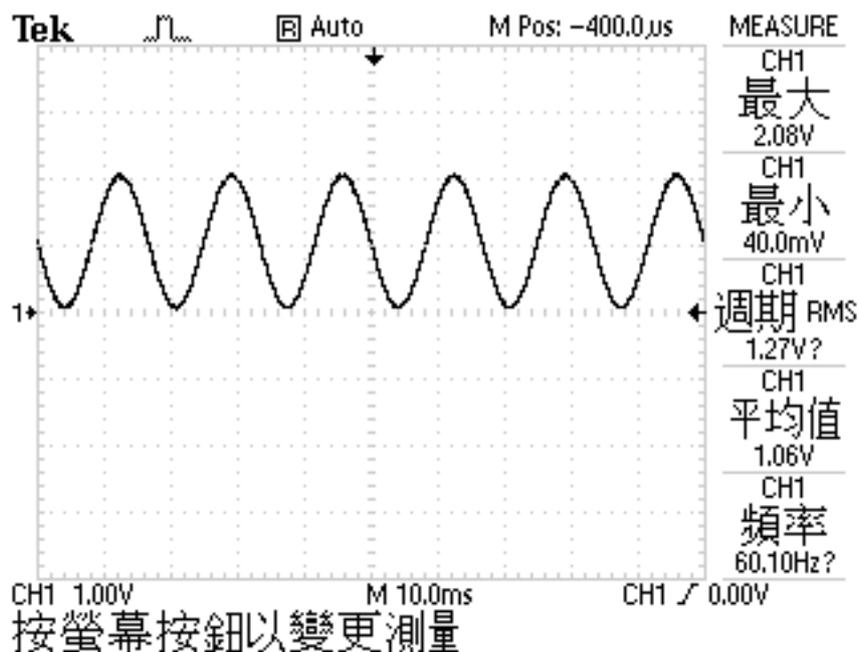


圖 6.31 輸入信號

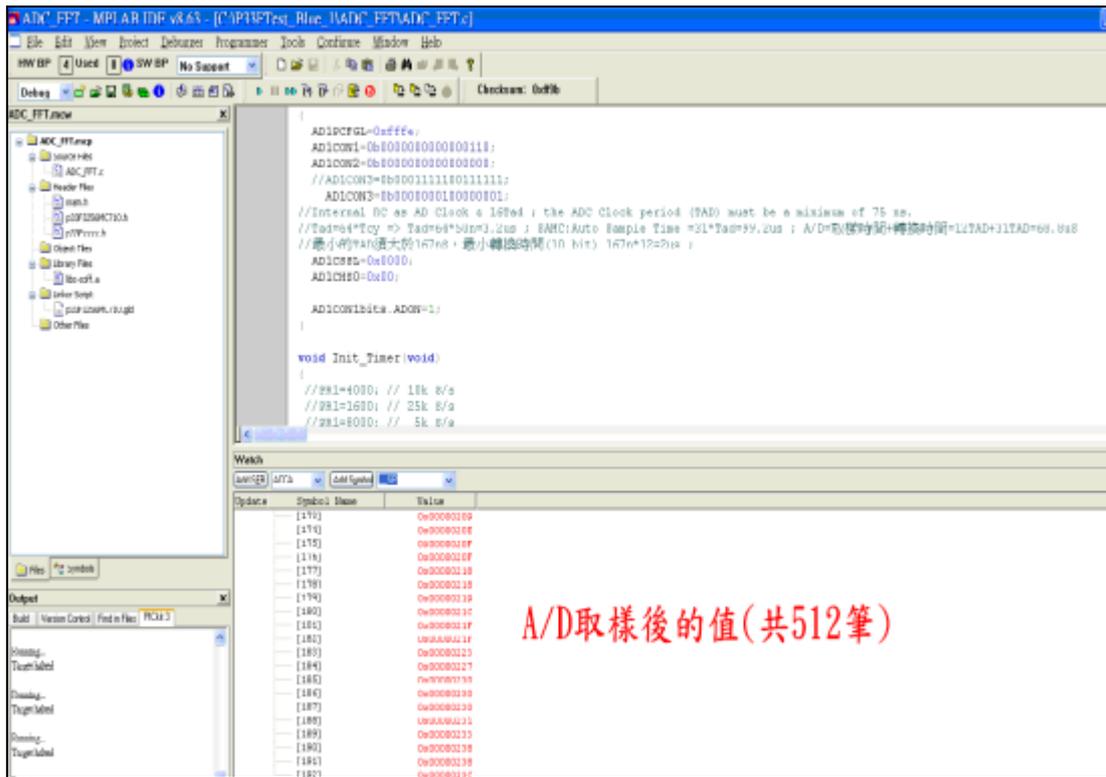


圖 6.32 DSPIC33F 取樣值

## 8. DSPIC33F

將 DSPIC33F 之類比/數位轉換(A/D)的值進行快速傅立葉轉換，並畫出頻譜圖如圖 6.33。

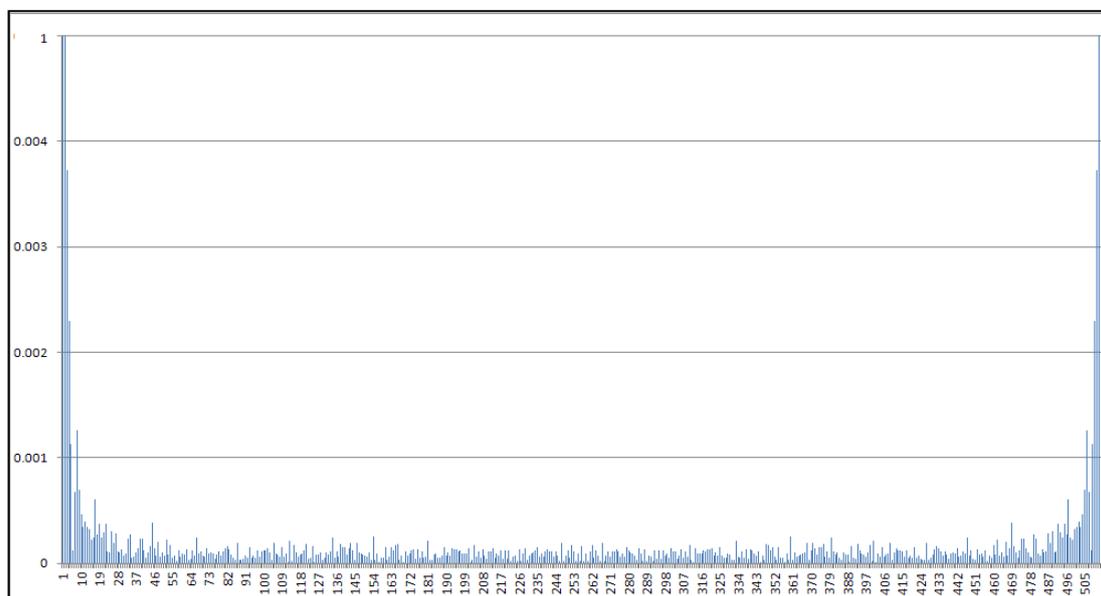


圖 6.33 DSPIC33F 進行快速傅立葉轉換後之頻譜圖

由於訊號產生器模擬輸入信號為  $1 + 1 \times \sin(2 \times \pi \times 60 \times t)$ ，因此，由頻譜圖可得到第 0 筆與第一筆的振幅(直流成分與基波成份)趨近於 1 其他諧波部分趨近於 0。

## 9. MATLAB

同樣假設輸入信號為  $1+1\times\sin(2\times\pi\times60\times t)$  進行快速傅立葉轉換並描出頻譜圖。

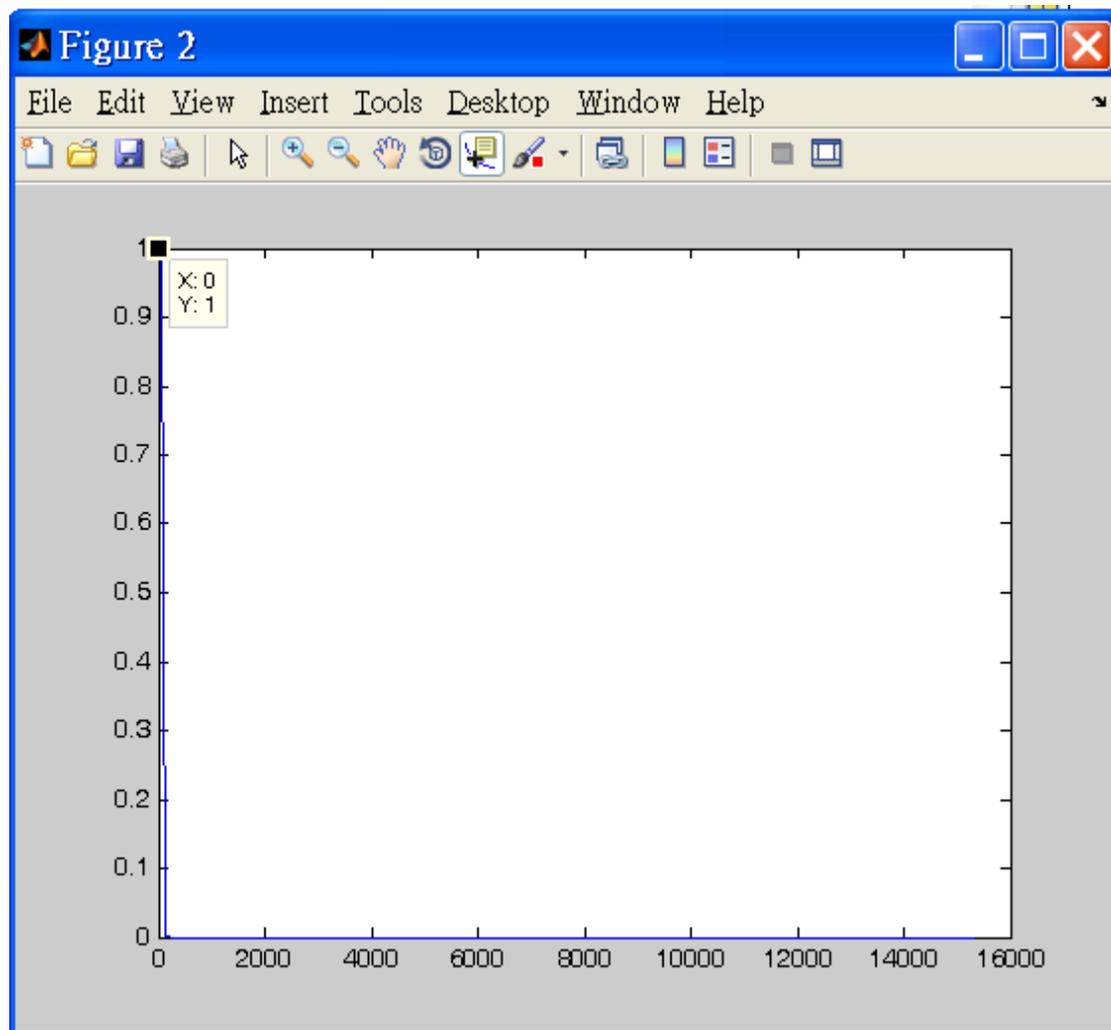


圖 6.34 MATLAB 模擬之結果

其模擬之輸出為理想化之結果，直流與基頻部分皆為 1，與 DSPIC33F 之結果相近。

## 10. Tektronix 示波器

以同樣輸入信號運用 Tektronix 示波器之內建快速傅立葉轉換功能進行運算，觀察頻譜圖如圖 6.35。示波器單位每格以 dB 為單位的垂直刻度( $0\text{dB} = 1V_{rms}$ )，因此，其值需經過  $U = 20 \times \log_{10}(\frac{u}{u_0})$  轉換。其中 U 為所得 dB 值，u 為轉換之有效值， $u_0 = 1\text{V}[\text{dBV}]$ ，所得之 u 還需乘  $\sqrt{2}$  轉為最大值以對應 MATLAB 與 DSPIC33F 之值。

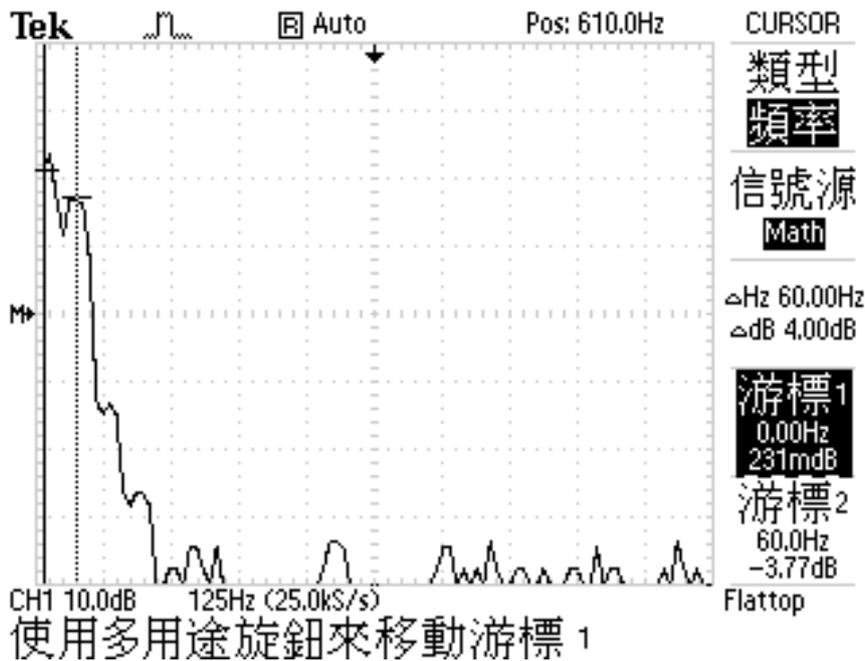


圖 6.35 Tektronix 示波器之頻譜圖

如圖 6.35 游標 1 之振幅為直流成分、游標 2 之振幅為基波成分，其結果也接是趨近於 1，與上兩種方法之結果類似。

DSPIC33F 之 A/D 與快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform)之程式撰寫輸出之結果，經 Tektronix 示波器與 MATLAB 三方結果比對，得以證實 DSPIC33F 之輸出結果之正確性。

## 二. 突波量測試

圖 6.36 為突波產生器，產生 4kV 突波對洩漏電流量測模組進行突波測試。本實驗將所產生的突波進行分壓，以確保過大突波電壓不會使洩漏電流量測模組當機或故障。



圖 6.36 突波產生器

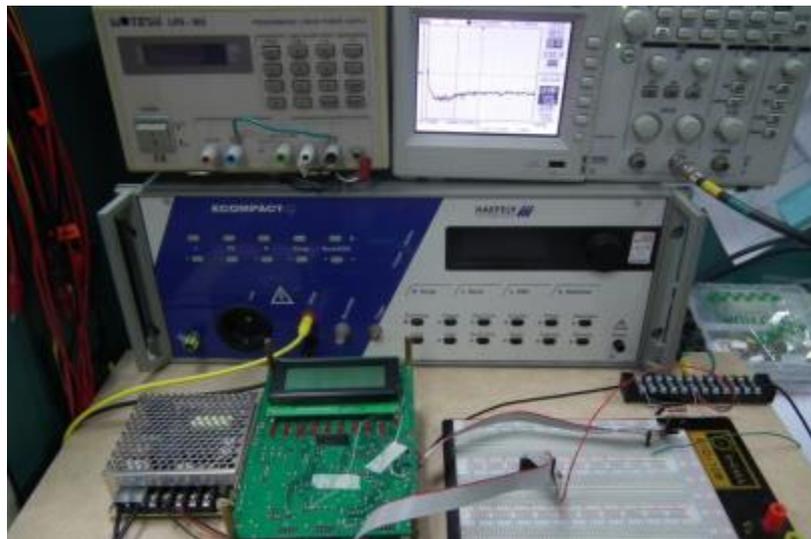


圖 6.37 測試圖

由於 MCU 之 A/D 腳位耐壓為 5V，為了防止過大的突波電壓燒壞腳位，因此加入分壓電路如圖 6.38 衰減其過大的突波電壓。經過多次突波試驗後，微處理機運算模組一樣能夠穩定的運作。

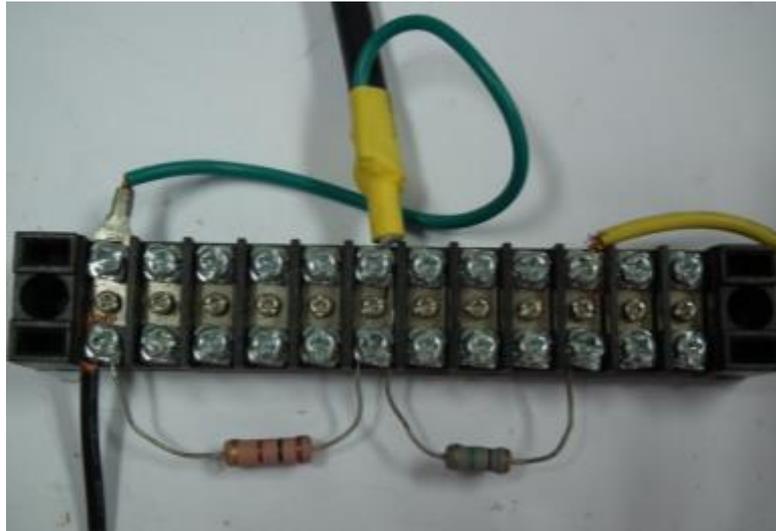


圖 6.38 分壓電路

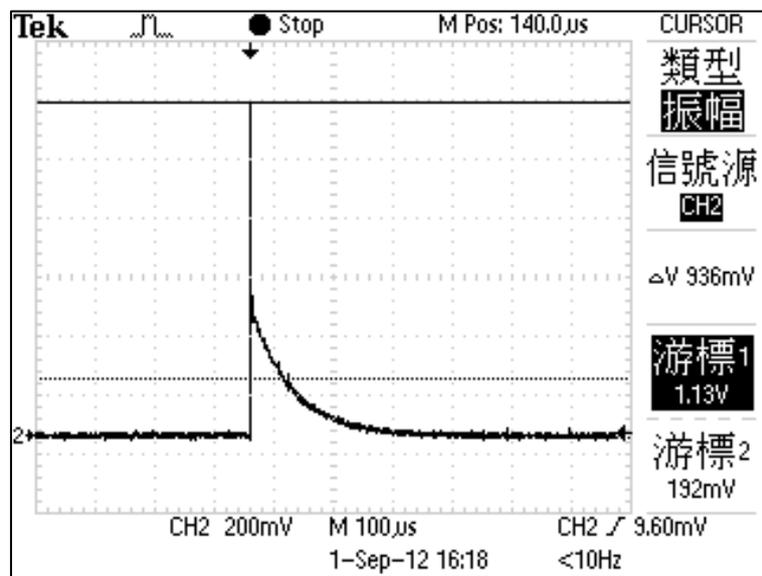


圖 6.39 經過分壓衰減後的波形

### 三. 洩漏電流量測試

利用如圖 6.40 訊號產生器產生模擬洩漏電流產生 0.2mA~1mA 輸入至 JCQ4B-Y1 電錶再由電錶後端接點輸出至 MCU 進行 AD 取樣以及運算。



圖 6.40 訊號產生器

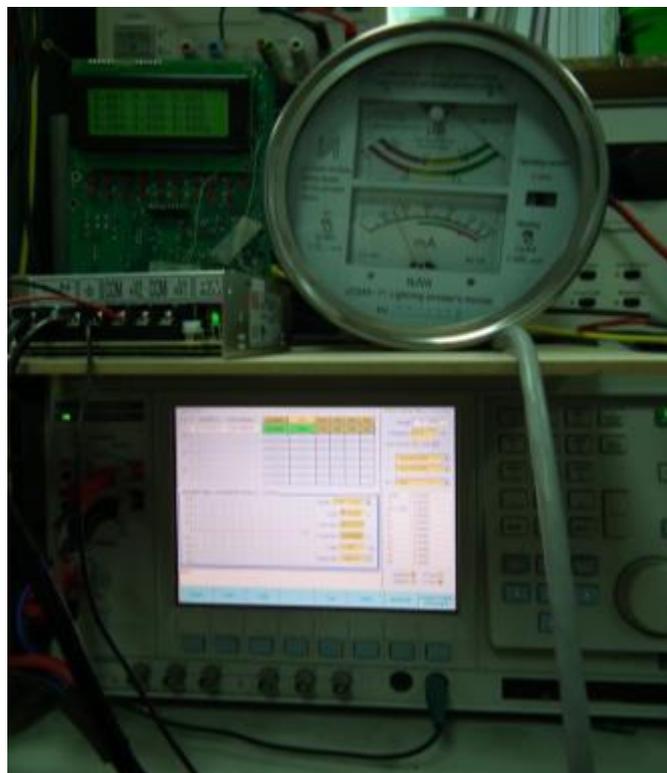


圖 6.41 整體測試

### 6.3.9 氣象參數子系統軟硬體整合

氣象資料蒐集單元硬體電路方塊圖如圖 6.42 所示，可分為三個部分，即溫溼度感測器、微處理機電路和數據擷取電路。數據擷取電路負責收集現地溫溼度感測器所採擷到的數據，並藉由規畫的 RS-485 通訊方式來與後端嵌入式系統做資料的傳遞。本氣象資料蒐集單元之軟體設計將搭配以上硬體電路設計，採用 C 程式語言撰寫之，其基本背景功能主要包含了各項氣象資料轉換、數據運算、RS-485 介面的 MODBUS 通訊協議等功能。

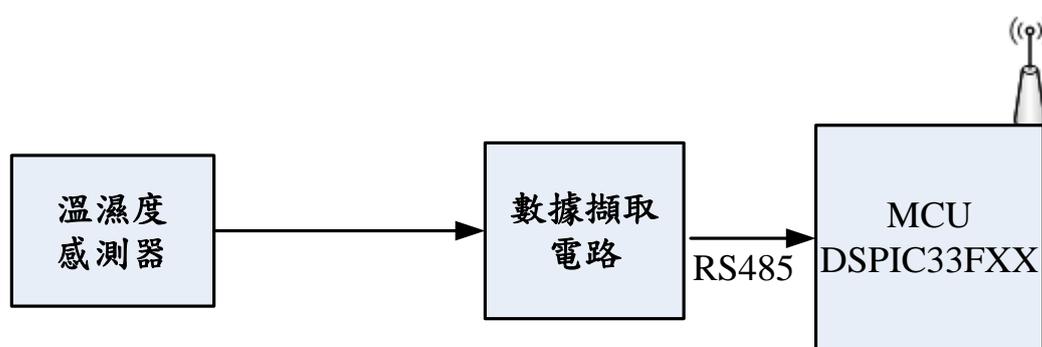


圖 6.42 氣象資料蒐集單元

溫濕度感測器以及其尺寸如圖 6.43 所示，此感測器尺寸輕巧、精度高、工作範圍寬，適用於氣象監測使用，其規格如所示表 6.9。



圖 6.43 溫濕度感測器

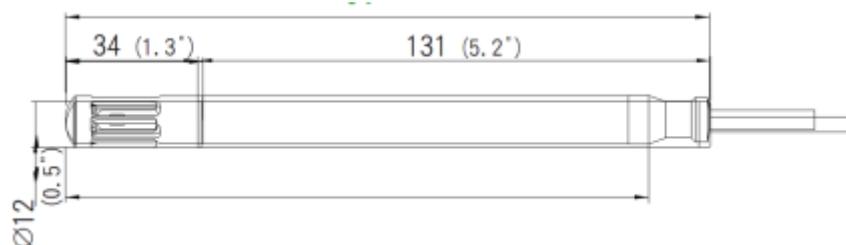


圖 6.44 溫濕度感測器尺寸圖

表 6.9 溫度感測器規格表

	濕度	溫度
傳感器	HC105	Pt1000
精準度(at 20°C)	±3%RH(10~90%RH)	±0.3°C
	±5%RH(<10%RH/>90%RH)	
工作溫度	-40~60°C	
操作電壓	9~28VDC	
輸出	4-20mA	

## 6.4 洩漏電流監測子系統測試

### 6.4.1 測試架構

本次試驗為了解避雷器之特性以及控制板運作之性能，研究團隊至台電綜合研究所進行高壓實驗以模擬未來現地實際裝測狀況。本次實驗包含加壓測試與衝擊電流測試兩部分：加壓測試主要用來比對控制板在不同運轉電壓級距下洩漏電流量測精度；衝擊電流測試則是確認控制板在異常突波電流發生後運作的可靠度及耐用性，以評估未來此設計電路實際應用於現地監測避雷器之參考。而高壓實驗室現場模擬之量測、加壓設備以及衝擊電流試驗設備分別如圖 6.45、圖 6.46 以及圖 6.47 所示。

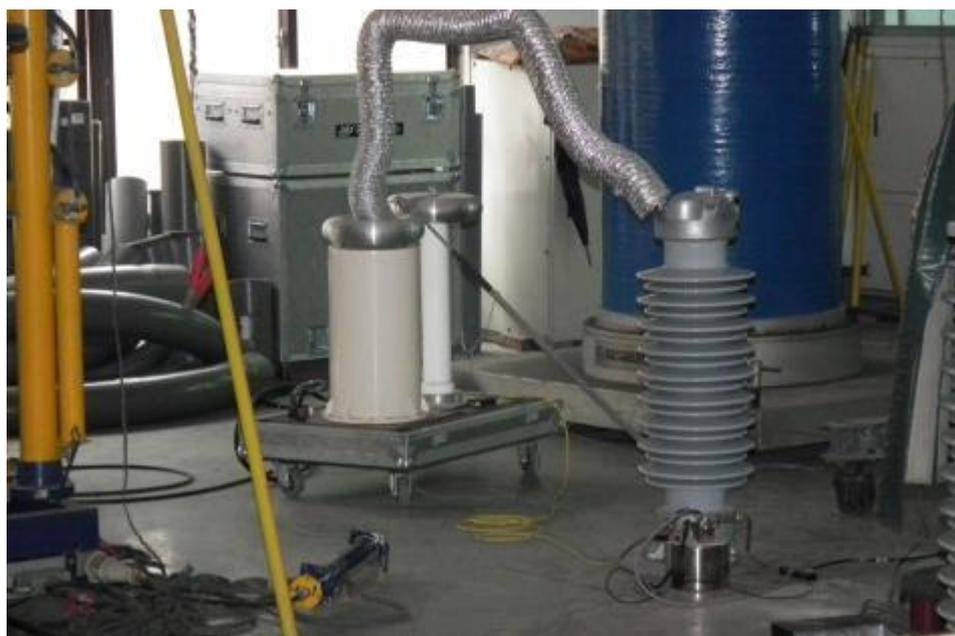


圖 6.45 現場量測實際圖



圖 6.46 高壓研究室之加壓設備



圖 6.47 衝擊電流試驗設備

其現場實際量測設備與架構如圖 6.48、圖 6.49 所示，電流訊號透過 JCQ4B-Y1 監測器(或電流感測器)信號線接至系統板上進行擷取，電場訊號則透過電場感測器如圖 6.50 將訊號傳送至微處理機進行電壓與電流的相位偵測，後端量測電路則由電源板以及微處理機運算板所組成(如圖 6.51，市電藉由隔離變壓器引入 AC 110V 至電源板再轉換成 DC 5V、12V 以及 24V 供給溫濕度計以及微處理機運算板使用，所量測擷取之訊號統一透過 RS485 傳輸採 Modbus 協定送至電腦端進行監測與紀錄，同時利用數位示波器觀看其電路實測波形之狀態。



圖 6.48 測試板、示波器與監控電腦設備現場圖

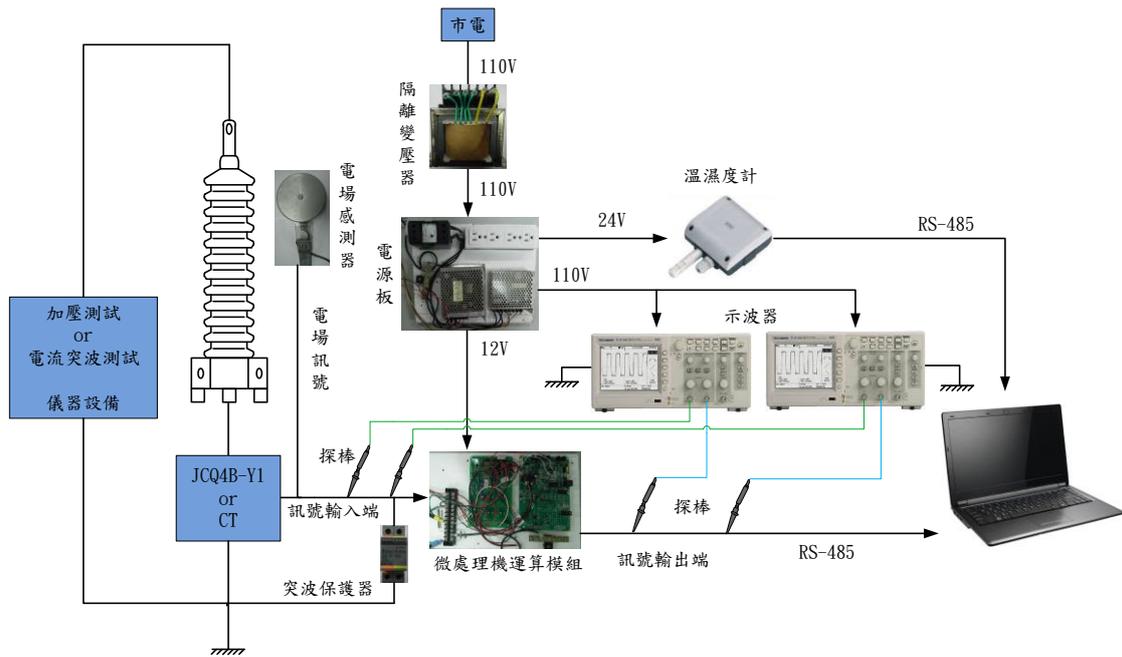


圖 6.49 量測架構圖



圖 6.50 電場感測器

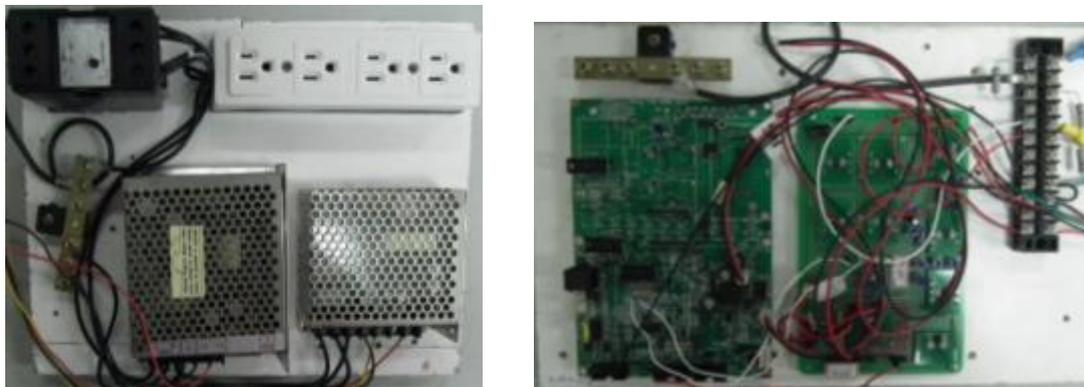


圖 6.51 電源板以及微處理機運算板

## 6.4.2 衝擊電流試驗

本試驗利用圖 6.47 衝擊電流測試器對本系統之電源板以及微處理機運算板做 2 次 10kA 衝擊電流試驗如圖 6.52，並於試驗後測試電源板以及微處理機運算板之運作功能是否正常。本試驗中採用士林電機之突波保護器以及 JCQ4B-Y1 監測器內部之氧化鋅作為量測電路前端的隔離保護，設備如圖 6.53。10kA 的衝擊電流波形經突波保護器以及 JCQ4B-Y1 內部氧化鋅動作保護後之波形如圖 6.54 所示。經過 2 次 10kA 衝擊電流試驗後，量測電路經測試仍然能夠正常運作以及傳輸量測結果，證實此前置保護裝置能夠有效保護後端監測電路之正常運行。



圖 6.52 衝擊電流儀器之畫面

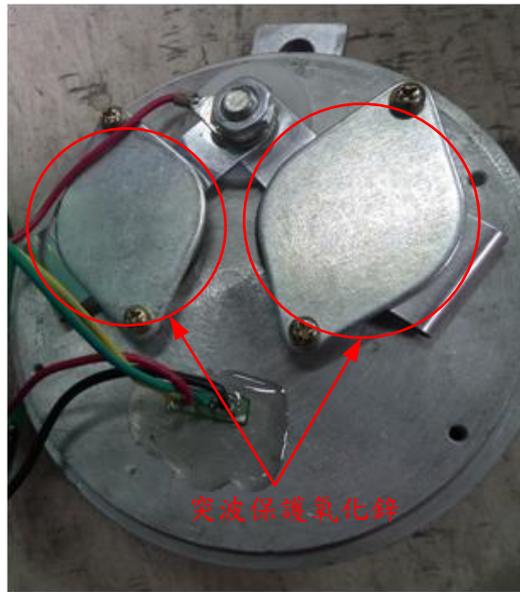


圖 6.53 突波保護器

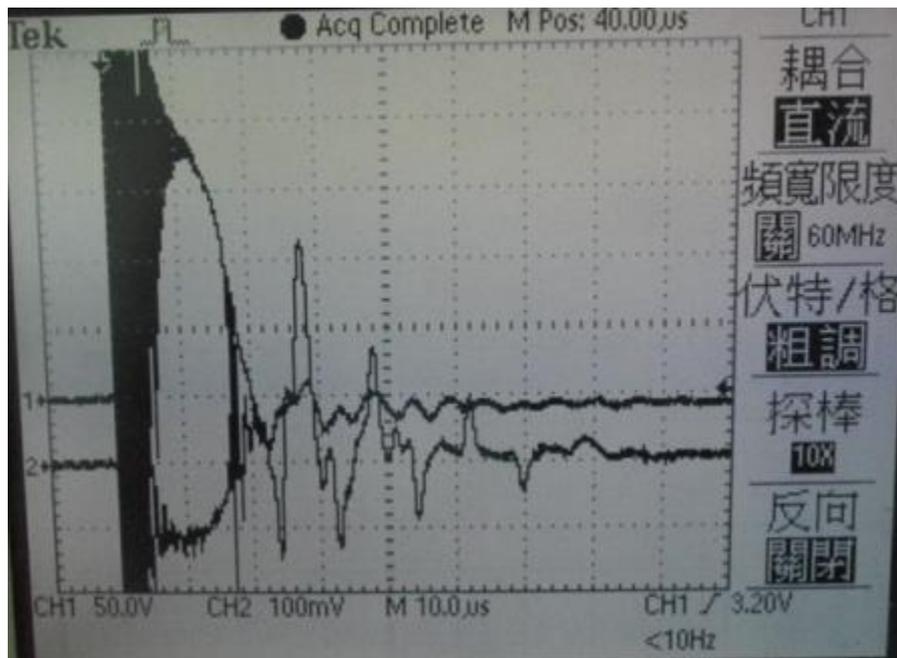


圖 6.54 經 10kA 衝擊突波保護器動作之波形

### 6.4.3 加壓試驗

本試驗分別以圖 6.18 電流感測器以及圖 6.19 JCQ4B-Y1 避雷器監測電錶進行總洩漏電流以及相位測試，並以圖 6.55 避雷器洩漏電流計以及加壓系統之計算值作為校正標準。



圖 6.55 ALCL-40 洩漏電流計

利用圖 6.46 儀器對避雷器加壓並觀察微處理機運算板之運算結果對照儀器所測之洩漏電流數值，比對其量測精度。圖 6.56 至圖 6.60 為利用 JCQ4B-Y1 之測試儀器畫面。圖 6.63 至圖 6.71 為利用電流感測器之測試儀器畫面。錯誤! 找不到參照來源。、表 6.11、表 6.12、表 6.13 與表 6.14 為微處理機電路運算以及測試儀器之結果比較表。

(一)JCQ4B-Y1 測試數據

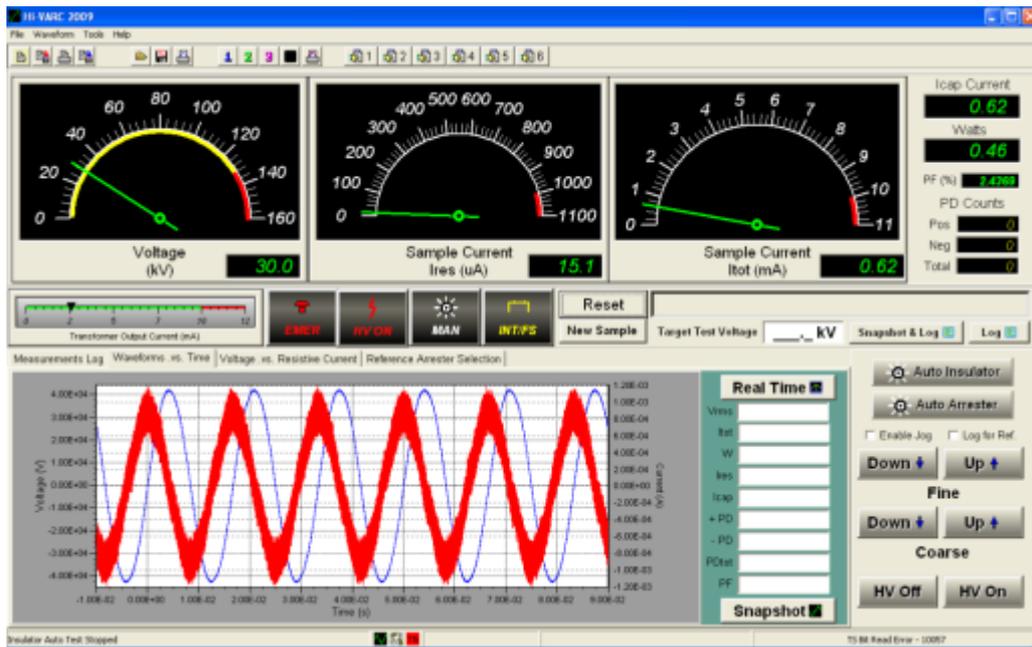


圖 6.56 儀器施加電壓 30kV 之系統畫面

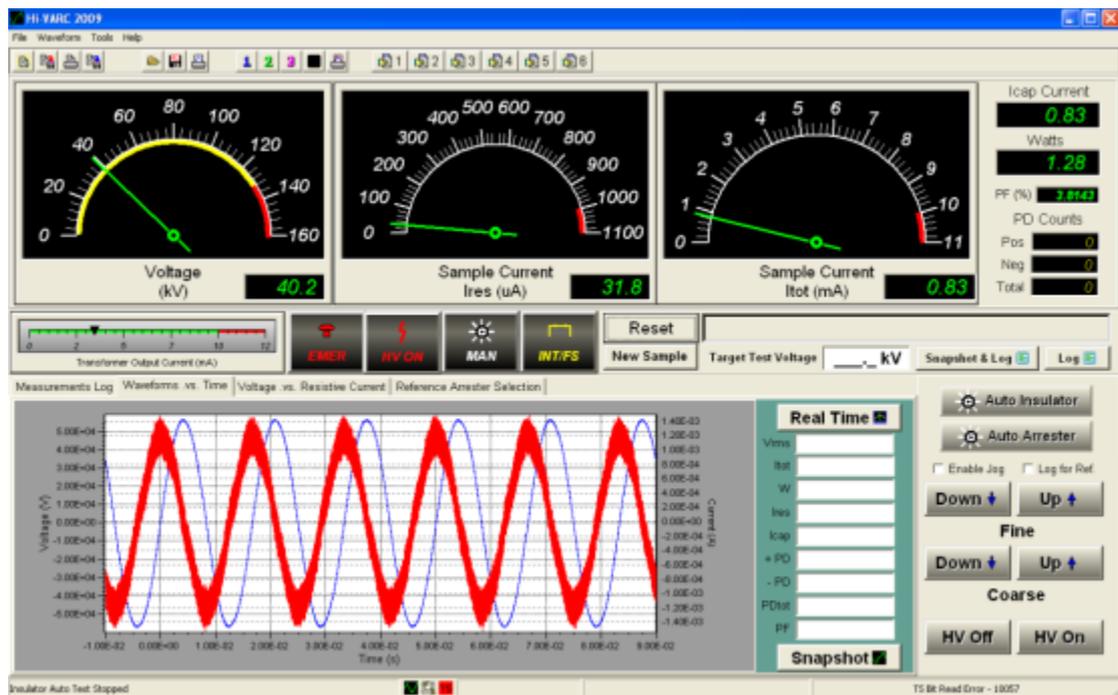


圖 6.57 儀器施加電壓 40kV 之系統畫面

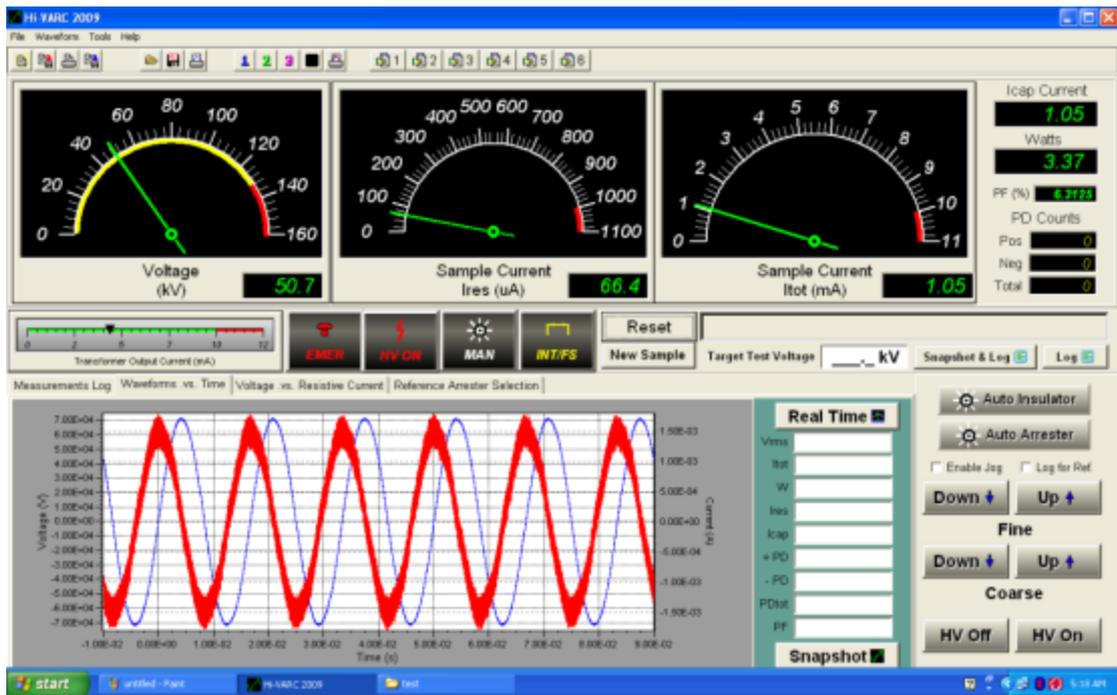


圖 6.58 儀器施加電壓 50kV 之系統畫面

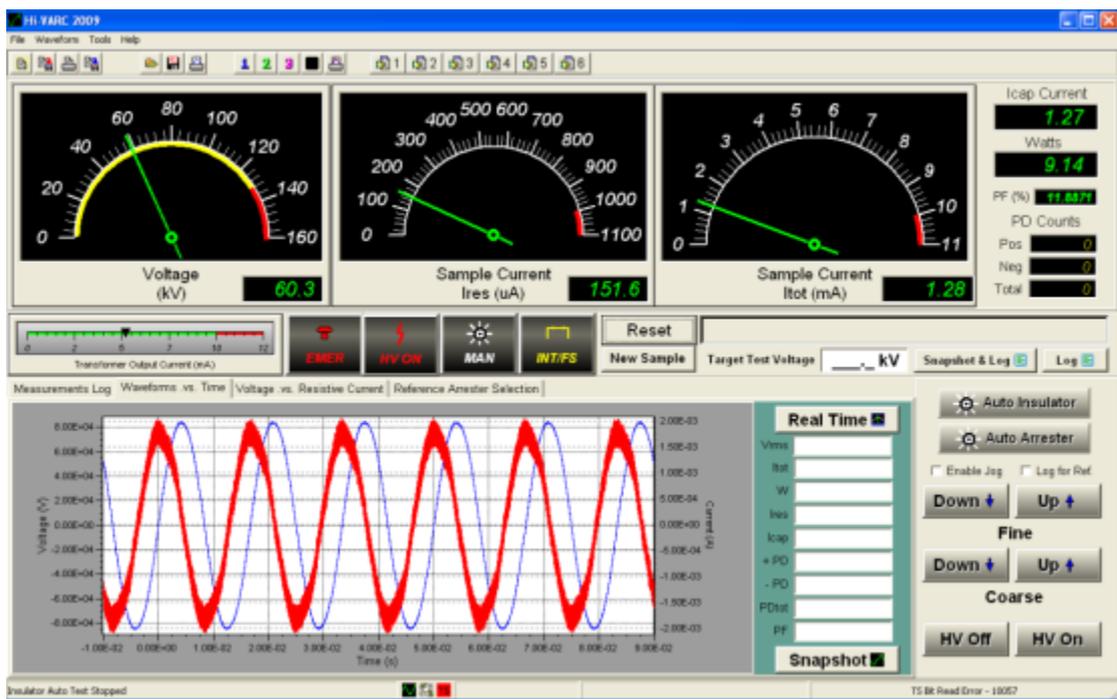


圖 6.59 儀器施加電壓 60kV 之系統畫面

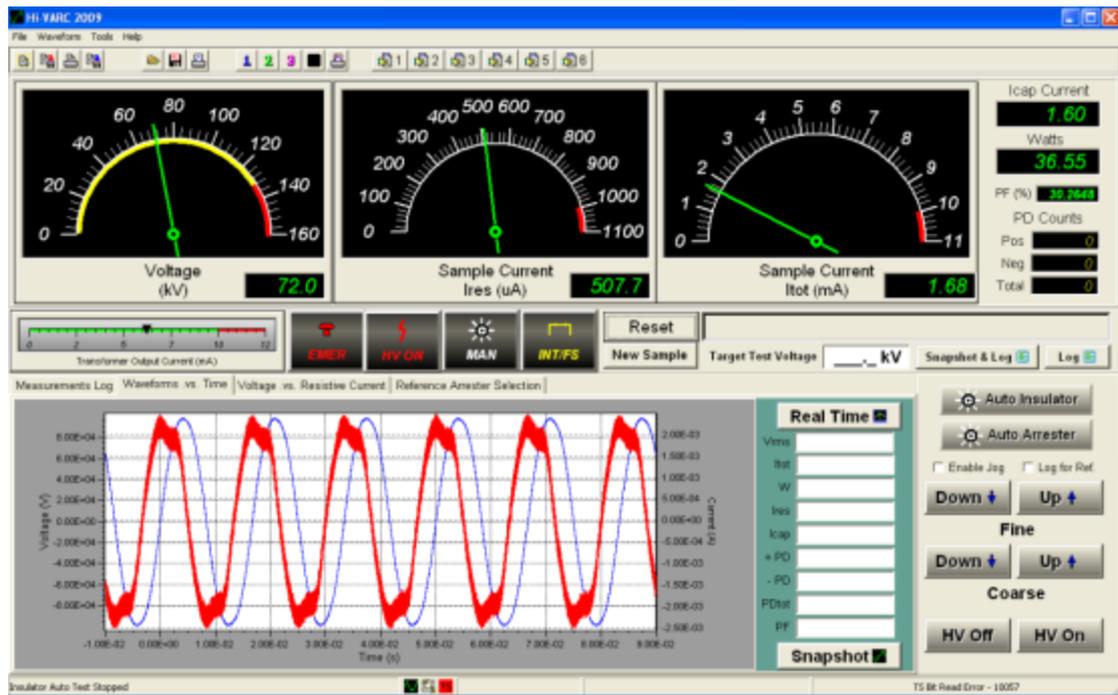


圖 6.60 儀器施加電壓 72kV 之系統畫面

表 6.10 微處理機運算結果

	30 kV	40 kV	50 kV	60 kV	72 kV
總洩漏電流(mA)	0.601	0.83	1.07	1.267	1.61
3 次諧波(mA)	0.108	0.072	0.087	0.074	0.181
相位(°)	46.68°	37.12°	28.36°	27.14°	23.72°
補償後的相位(°)	88.604°	87.79°	86.37°	83.198°	72.41°
電阻性洩漏電流( $\mu$ A)	14.6	32.0	67.7	150.06	486.5

表 6.11 微處理機運算與加壓儀器結果比較

	30 kV	40 kV	50 kV	60 kV	72 kV
微處理機 總洩漏電流(mA)	0.601	0.83	1.07	1.267	1.61
加壓儀器 總洩漏電流(mA)	0.62	0.83	1.05	1.28	1.68
微處理機 電阻性洩漏電流( $\mu$ A)	14.6	32.0	67.7	150.06	486.5
加壓儀器 電阻性洩漏電流( $\mu$ A)	15.1	31.8	66.4	151.6	507.7

圖 6.61 與圖 6.62 為利用 JCQ4B-Y1 經微處理機數據平均計算後在總洩漏電流與電阻性洩漏電流比對加壓儀器之顯示值精度誤差大約為 5% 以下。

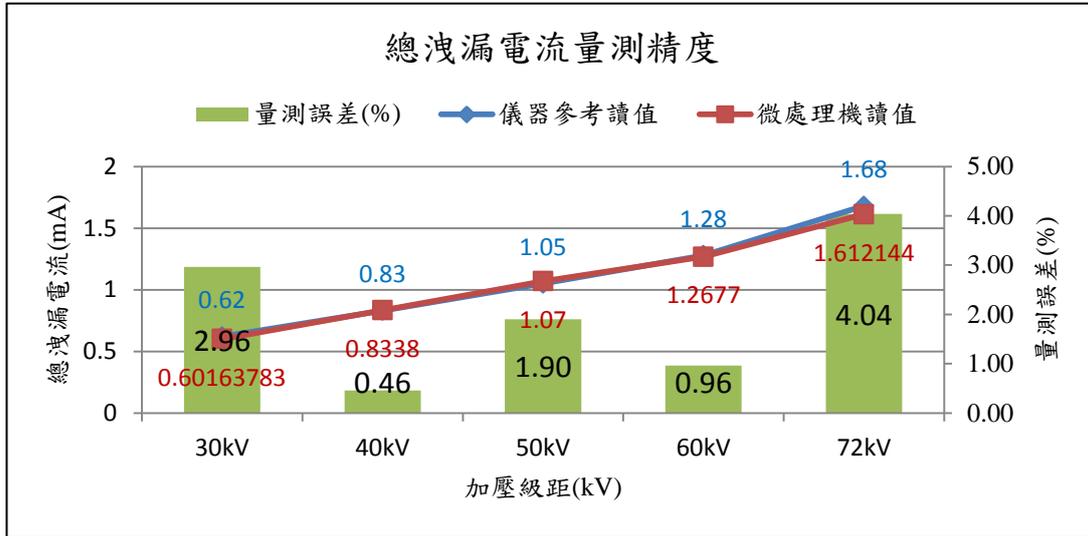


圖 6.61 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖

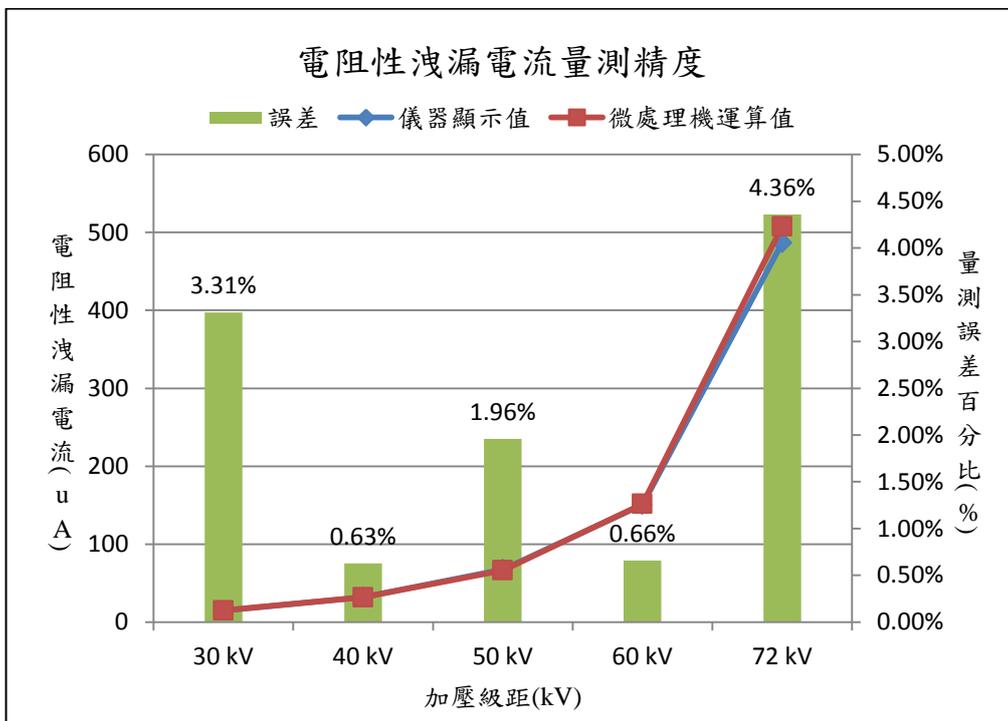


圖 6.62 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖

## (二)電流感測器測試數據

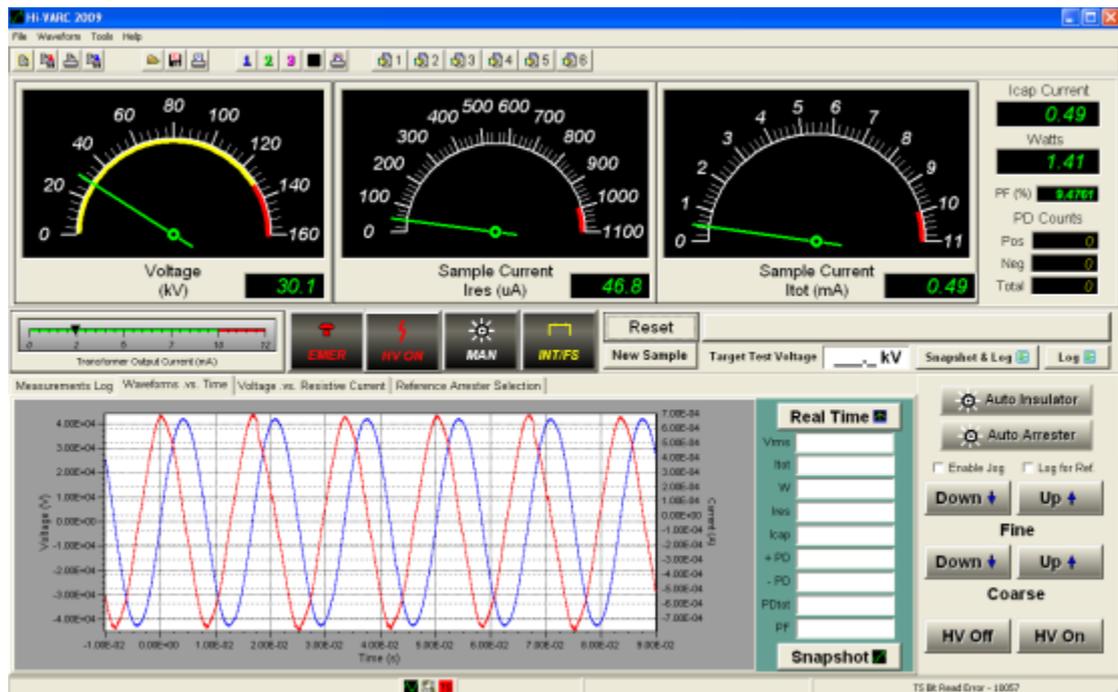


圖 6.63 儀器施加電壓 30kV 之系統畫面

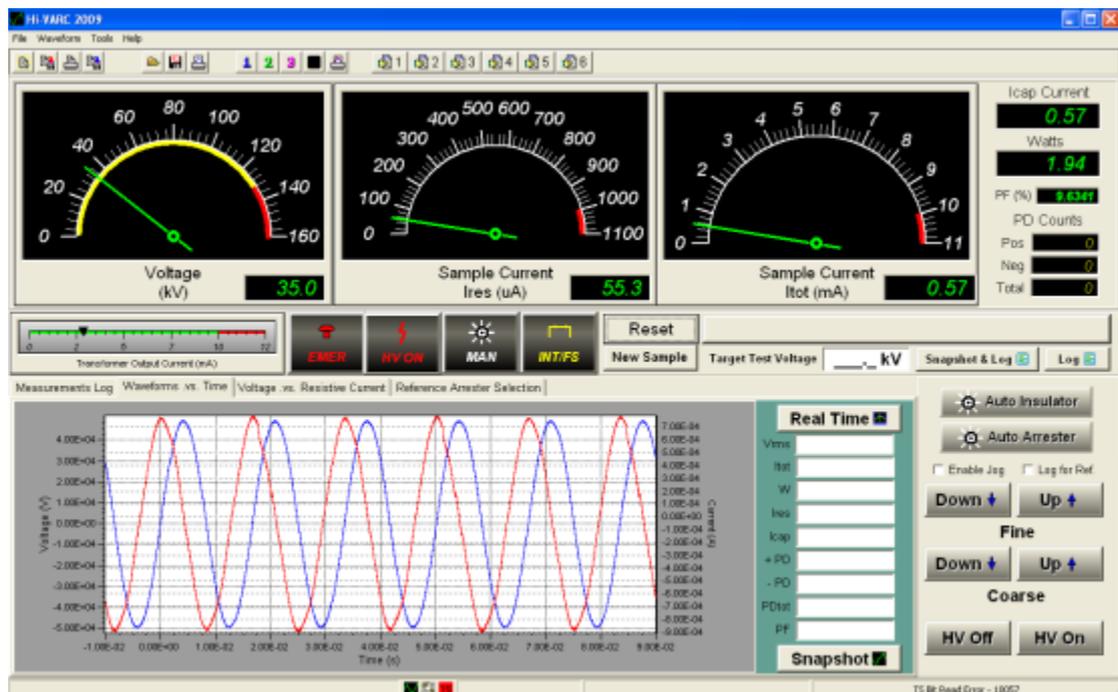


圖 6.64 儀器施加電壓 35kV 之系統畫面

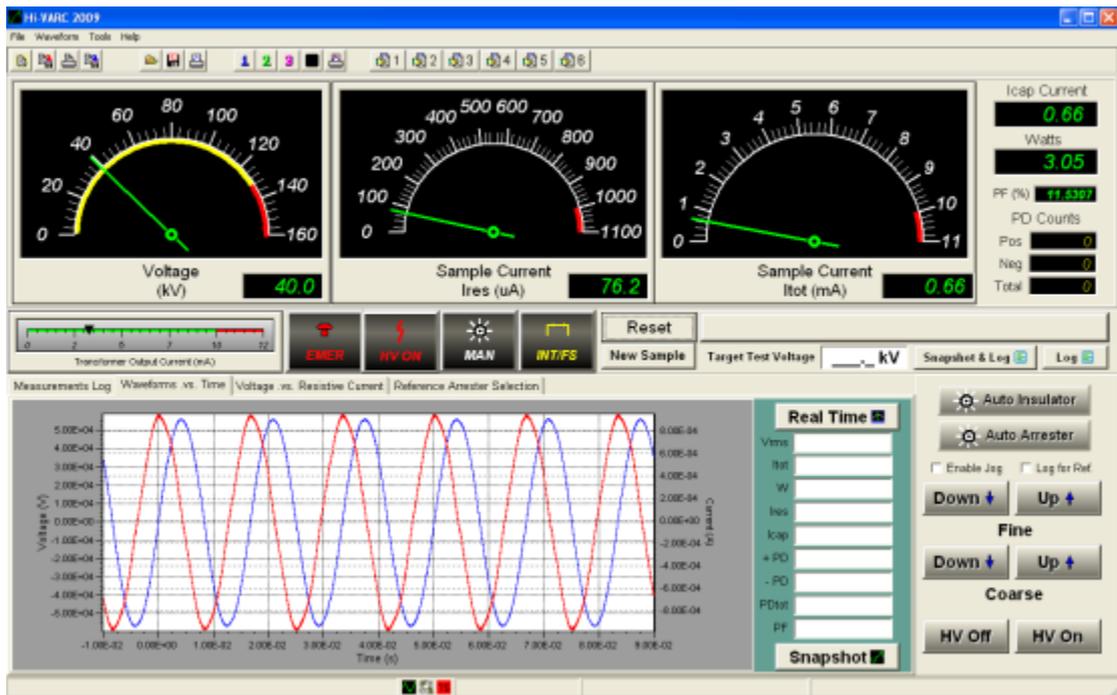


圖 6.65 儀器施加電壓 40kV 之系統畫面

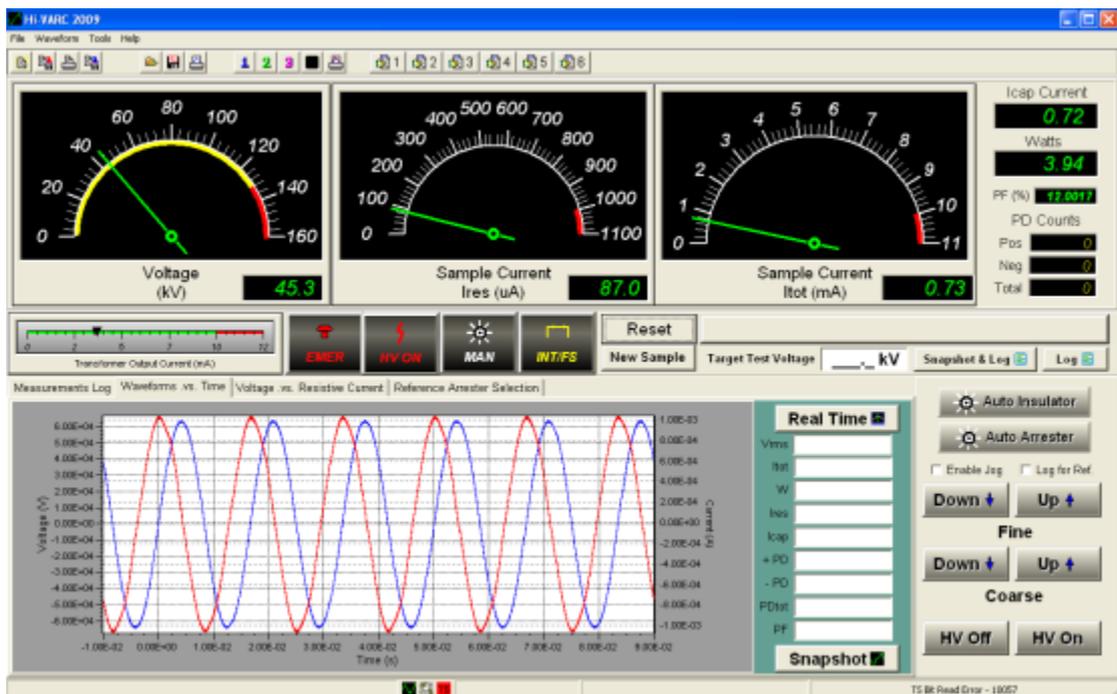


圖 6.66 儀器施加電壓 45kV 之系統畫面

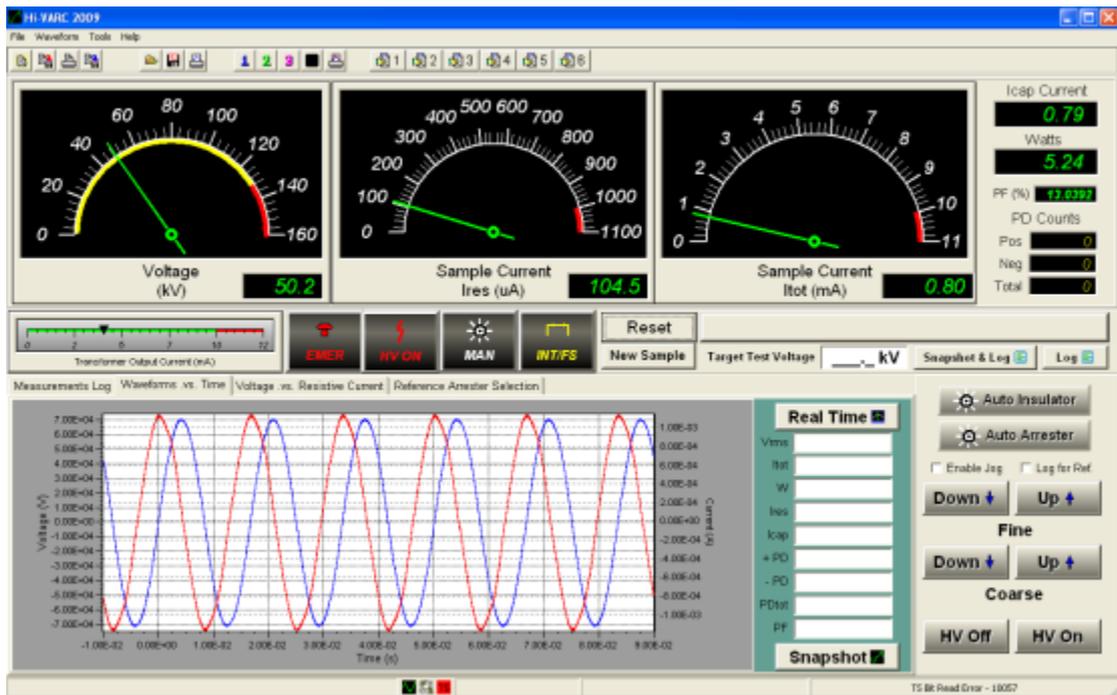


圖 6.67 儀器施加電壓 50kV 之系統畫面

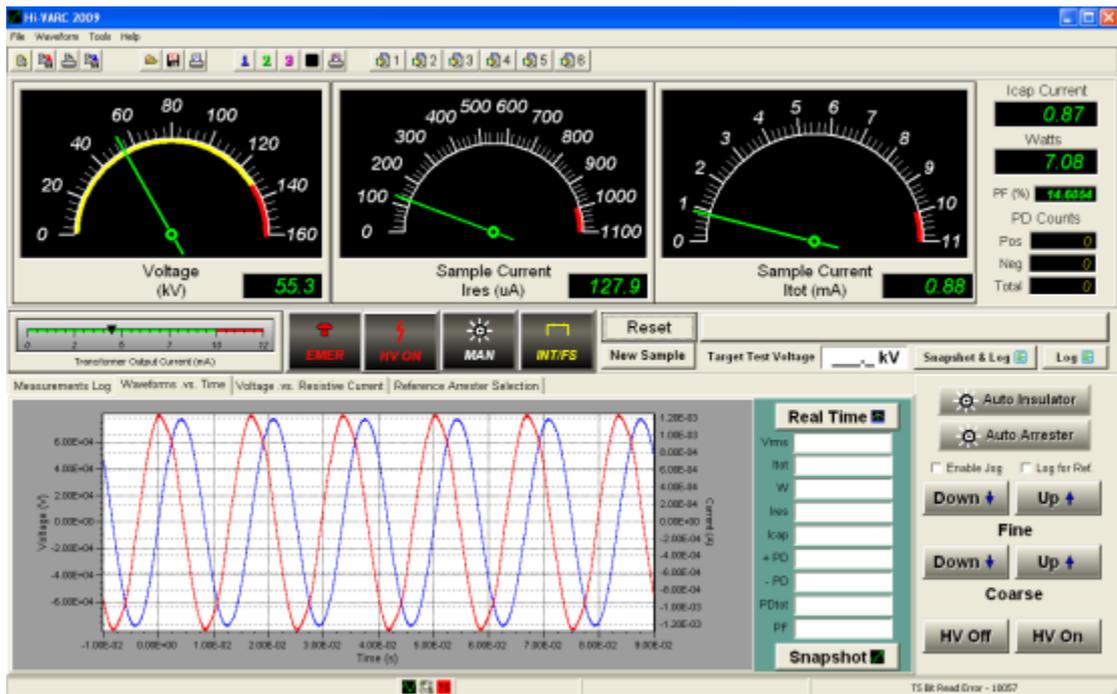


圖 6.68 儀器施加電壓 55kV 之系統畫面

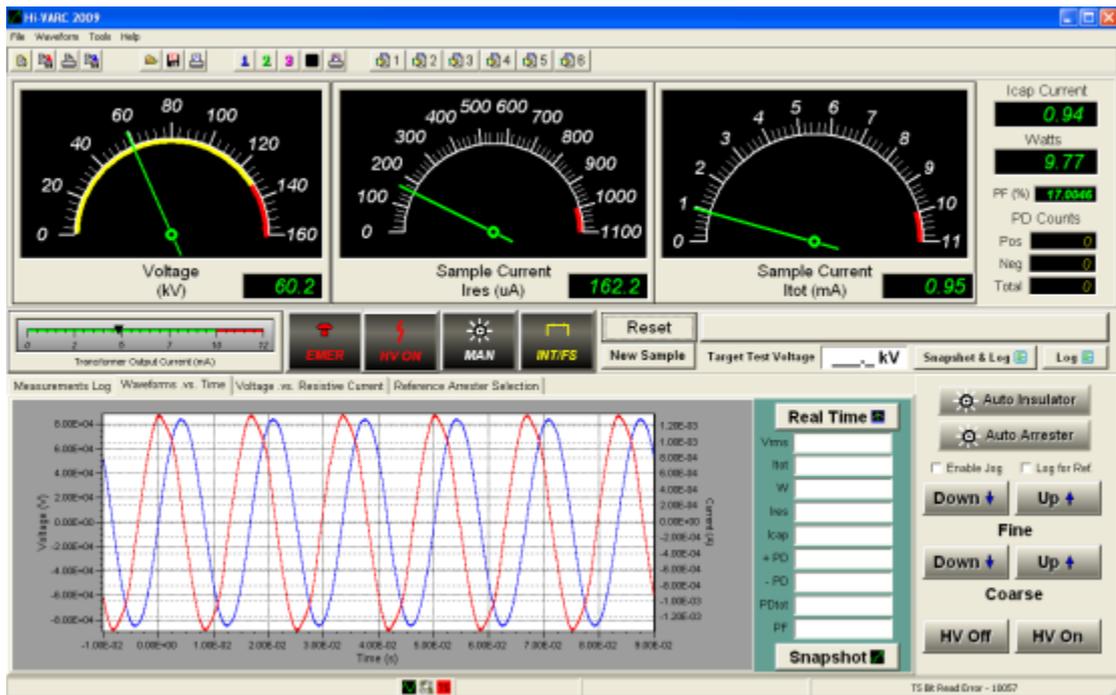


圖 6.69 儀器施加電壓 60kV 之系統畫面

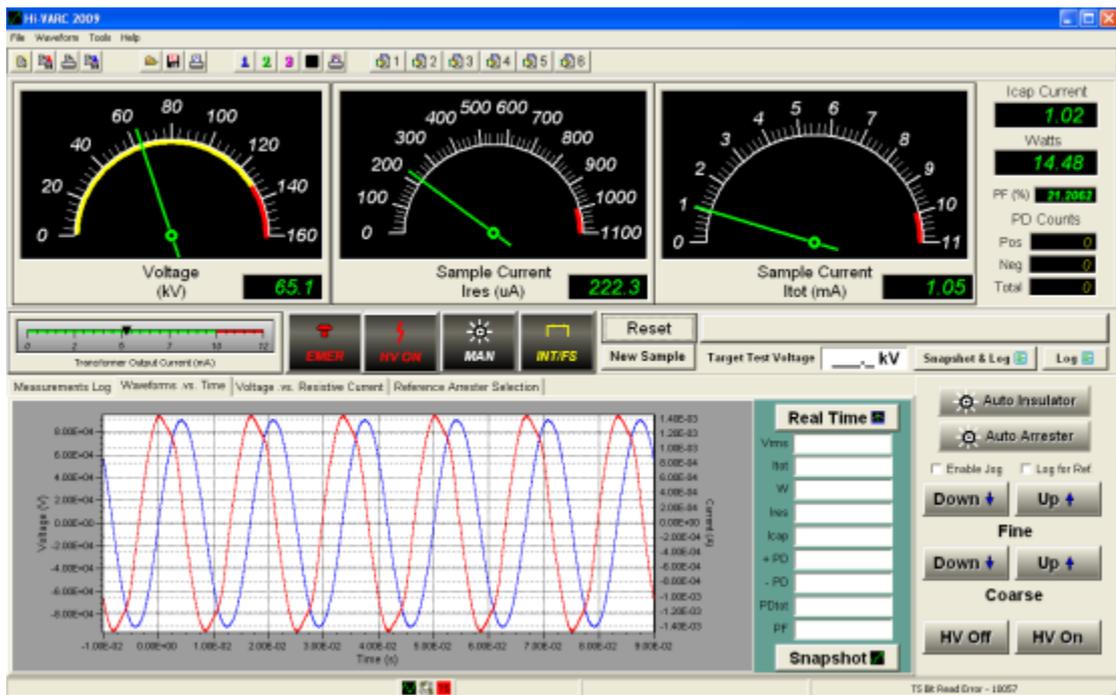


圖 6.70 儀器施加電壓 65kV 之系統畫面

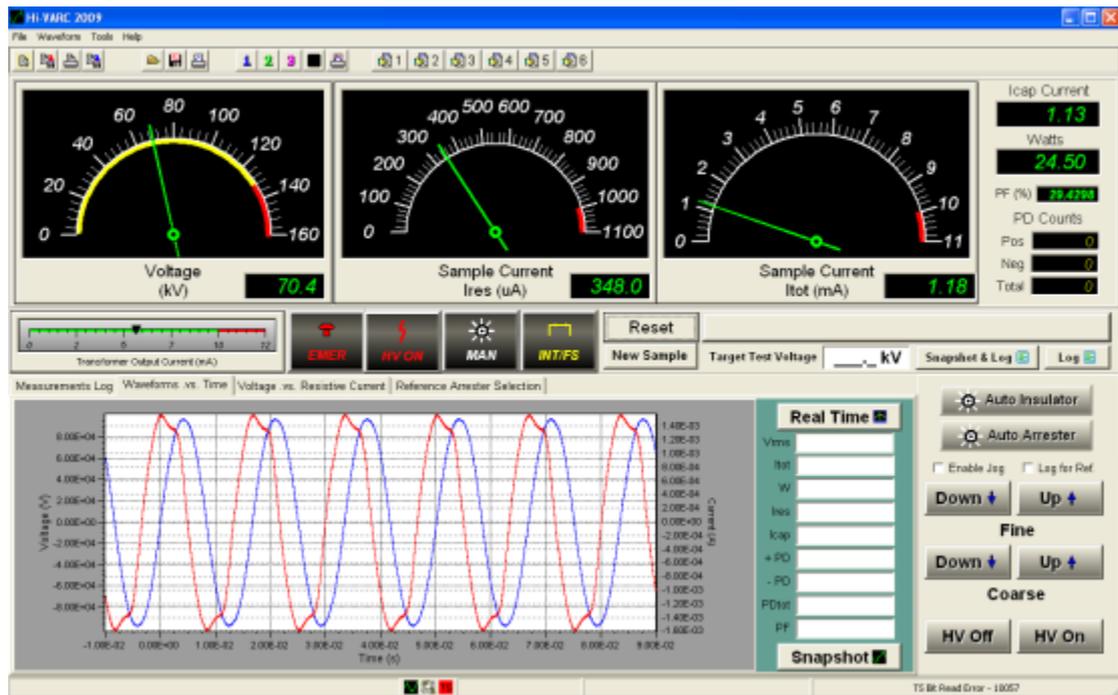


圖 6.71 儀器施加電壓 70kV 之系統畫面

表 6.12 微處理機運算結果

	30 kV	35 kV	40 kV	45 kV	50 kV	55 kV	60 kV	65 kV	70 kV
總洩漏電流 (mA)	0.477	0.56	0.65	0.75	0.82	0.91	0.98	1.06	1.16
3 次谐波(mA)	0.006	0.006	0.006	0.005	0.07	0.015	0.019	0.025	0.046
相位(°)	64.4°	69.4°	63.7°	74.2°	72.8°	83.4°	86.2°	90.4°	96.4°
補償後的相位 (°)	84.56°	84.47°	83.38°	83.1°	82.5°	81.6°	80.21°	77.7°	72.8°
電阻性洩漏電流(μA)	45.5	53.9	74.9	90.1	107	132.9	166.6	225.8	343
第三次谐波 (mA)	5	4.8	4.7	5	4.6	10	18	50	110

表 6.13 微處理機運算與加壓儀器洩漏電流結果比較

	30 kV	35 kV	40 kV	45 kV	50 kV	55 kV	60 kV	65 kV	70 kV
微處理機 總洩漏電流(mA)	0.48	0.56	0.65	0.75	0.82	0.91	0.98	1.06	1.16
加壓儀器 總洩漏電流(mA)	0.49	0.57	0.66	0.73	0.80	0.88	0.96	1.05	1.18
微處理機 電阻性洩漏電流 (μA)	45.5	53.9	74.9	90.1	107	132.9	166.6	225.8	343

加壓儀器 電阻性洩漏電流 ( $\mu\text{A}$ )	46.8	55.3	76.2	87	104.5	127.9	162.2	223.3	348
--------------------------------------	------	------	------	----	-------	-------	-------	-------	-----

表 6.14 微處理機運算與洩漏電流計三次諧波結果比較

	30 kV	35 kV	40 kV	45 kV	50 kV	55 kV	60 kV	65 kV	70 kV
微處理機 三次諧波電流 (mA)	5	4.8	4.9	5	4.6	10	18	50	110
加壓儀器 三次諧波電流 (mA)	5	5	4.7	5	4.5	11.5	20	51.9	113

圖 6.72、圖 6.73 與圖 6.74 為利用電流感測器經微處理機數據平均計算後在總洩漏電流與電阻性洩漏電流比對加壓儀器與 ALCL-40 洩漏電流計之顯示值精度誤差大約為 4% 以下。

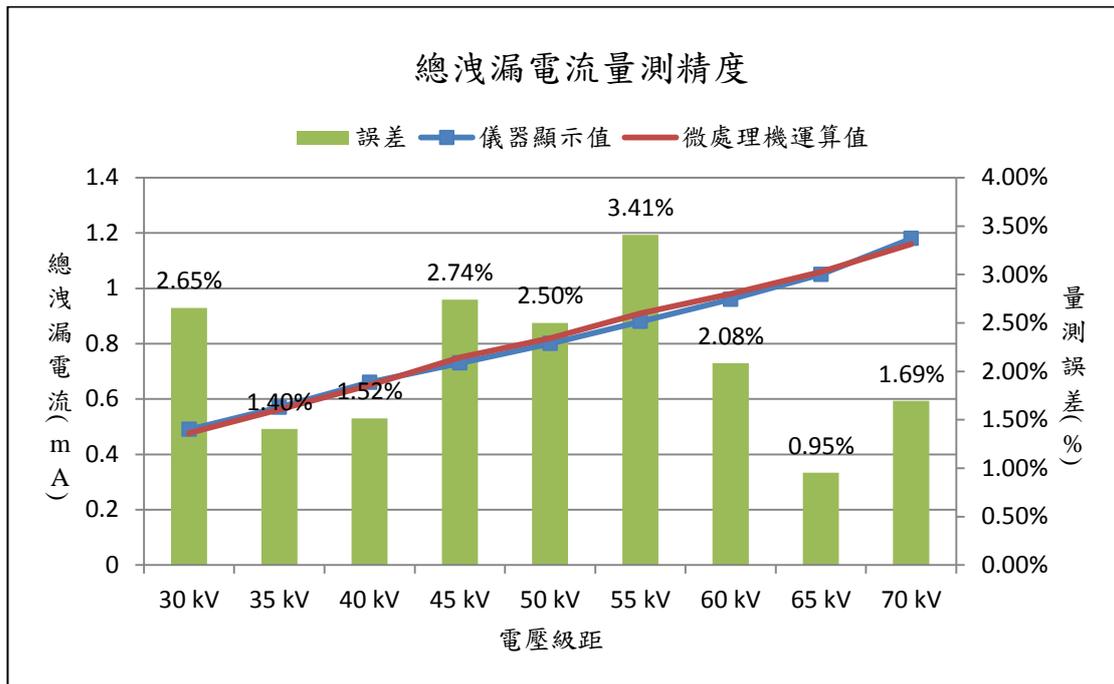


圖 6.72 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖

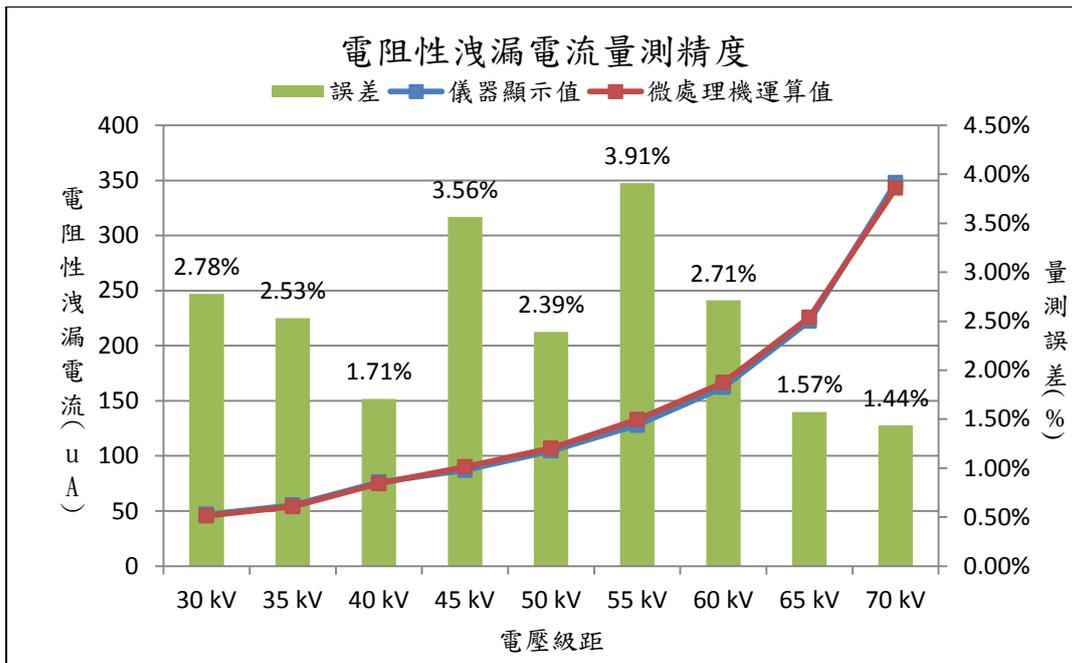


圖 6.73 儀器顯示值與微處理機運算值之比較圖

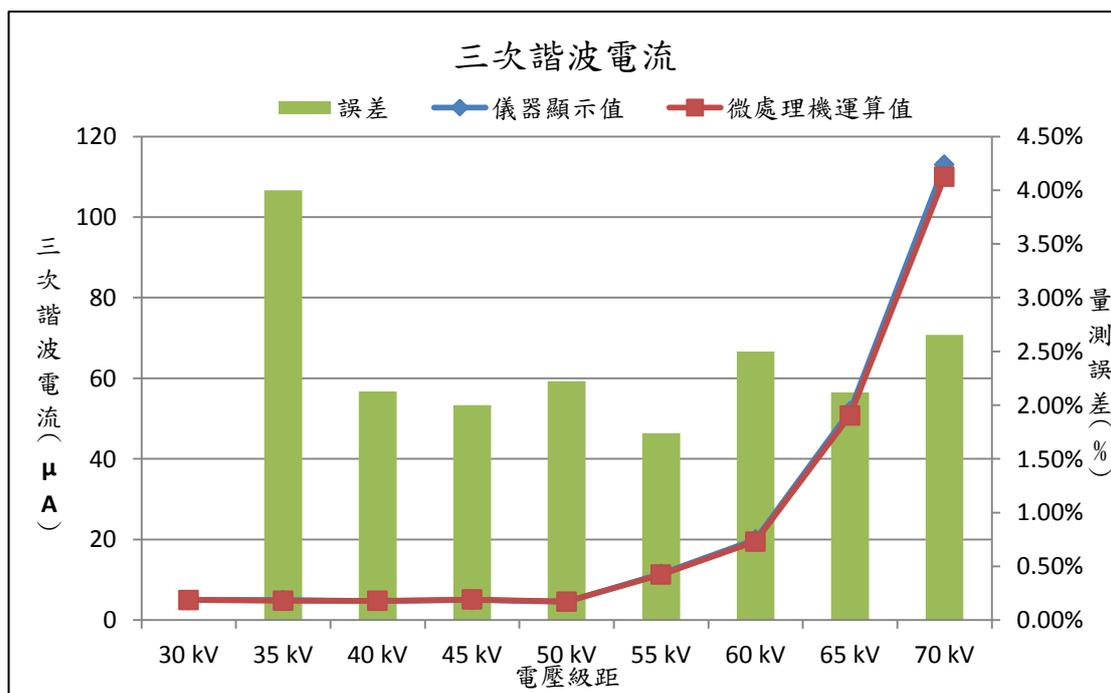


圖 6.74 ALCL-40 洩漏電流計與微處理機運算值之比較圖

經由本次實驗獲致的結論整理如下：

1. 衝擊電流試驗：

經過 2 次 10kA 衝擊電流試驗後，量測電路經測試仍然能夠正常運作及傳輸量測數據，證實若搭配有前置保護裝置後能夠有效保護目前所研製的監測電路之運行。

2. 加壓試驗：

(1) 總洩漏電流

在多段不同的操作電壓(30~72kV)下，以高壓實驗室儀器比對其總洩漏電流部分的量測精度誤差能穩定控制在 5% 以下。

(2) 電阻性洩漏電流

由上述實測數據分析可看出量測精度誤差控制在 4% 以下，電阻性洩漏電流部分可明顯看出隨著施加電壓逐漸上升其呈現的電阻性洩漏電流也隨之遞增。在施加電壓 30kV~60kV 時，其電阻性洩漏電流增加量較為微小，因此其三次諧波含量變化不大，但是當 60kV 再升壓至 72kV 時電阻性洩漏電流相增加顯著。

(3) 三次諧波電流

如圖 6.74 所示，對於微處理機計算之三次諧波與 ALCL-40 洩漏電流計讀值其測量精度誤差控制在 4.5% 以下。

## 6.5 資料收集主站規劃

### 6.5.1 系統功能和介面規劃

系統管理功能之主要目的為讓監控系統管理者有效管理此監控系統之用，其功能共規劃：帳號與權限管理、區處帳密與權限管理、管理權限 IP 限制、資料欄位維護、顯示欄位維護、編輯首頁功能、網站記錄檔功能、區處紀錄檔功能、編輯 Email 發送清單以及警示值上下設定。各監控功能之流程圖將介紹如下：

#### 一. 連接站避雷器線上偵測及維護系統之功能

圖 6.75 與圖 6.76 分別為全區避雷器監控與個別避雷器監控功能流程圖。

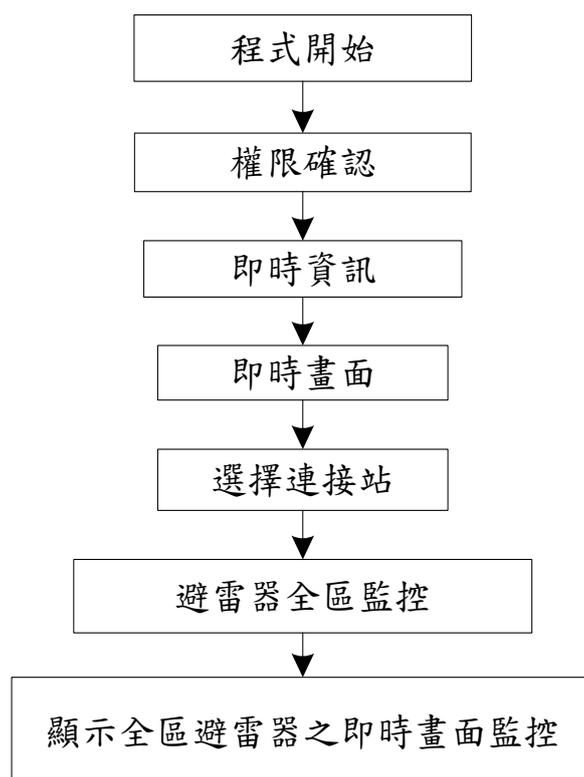


圖 6.75 全區避雷器監控流程圖

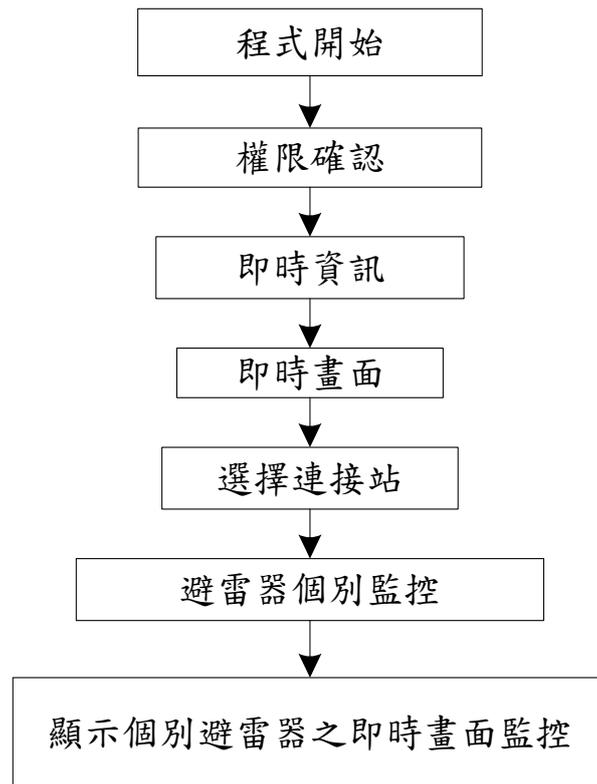


圖 6.76 個別輸電線路礙子詳細監控流程圖

圖 6.77 為即時監控功能流程圖，使用者可在即時監控中選擇輸電鐵塔站點，於介面中就能夠查詢氣候、洩漏電流以及風光發電系統等資訊，以及最新更新之時間。

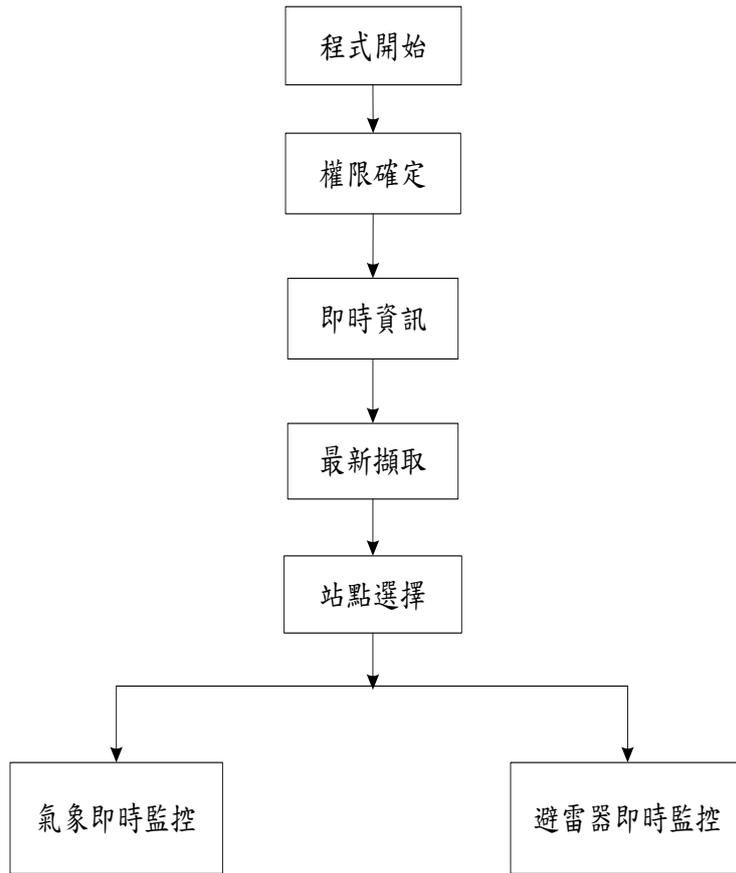


圖 6.77 即時監控功能流程圖

## 二. 報表產生功能

圖 6.78 為歷史資料查詢功能之流程圖，使用者可以依其所需要選擇想查詢之連接站避雷器，接著選擇欲查詢之時間區間，最後新增想查詢的欄位即可由畫面檢視結果。

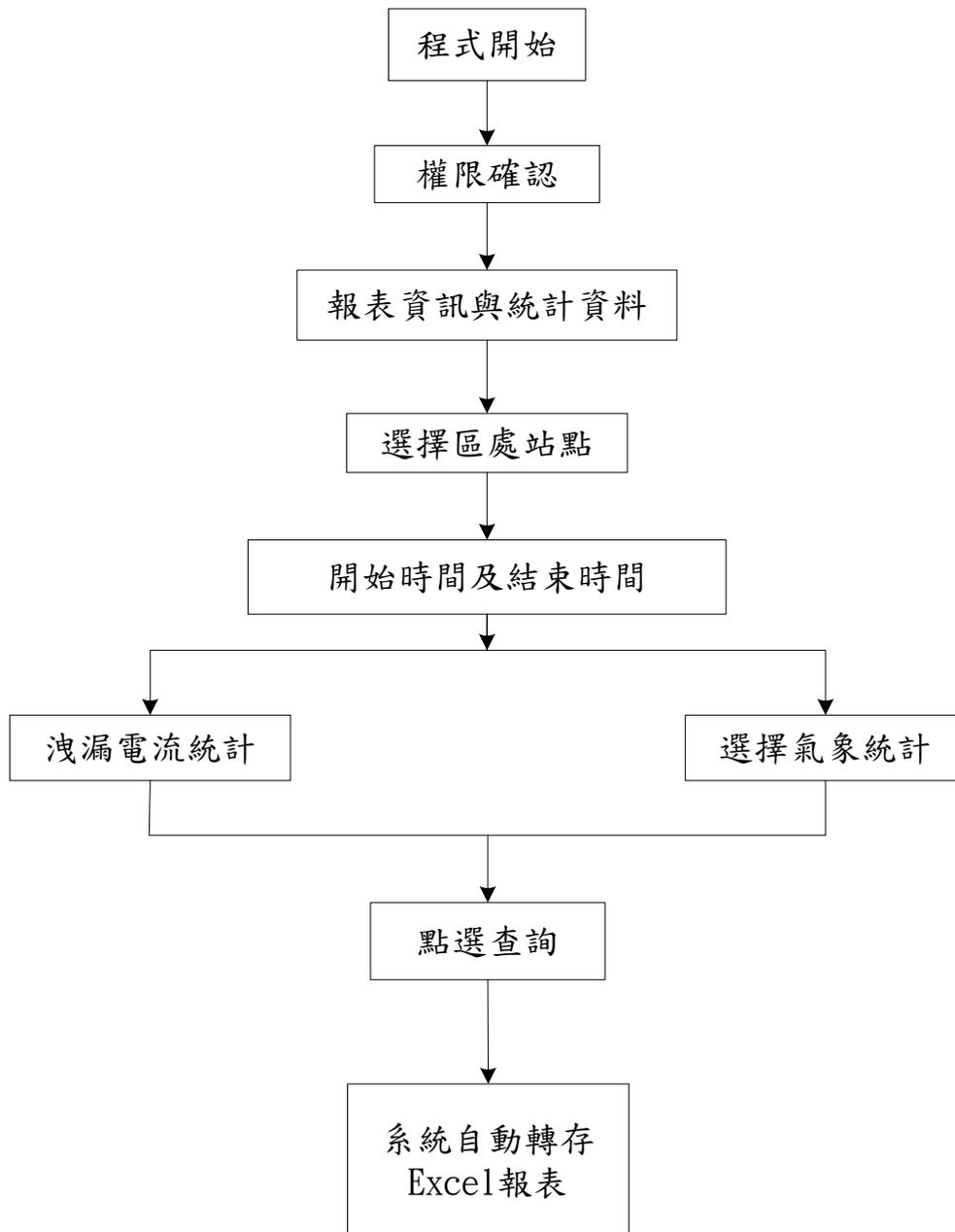


圖 6.78 歷史資料查詢流程圖

### 三. 系統管理功能

圖 6.79 為帳號密碼與管理流程圖，其帳號密碼管理主要內容為更改密碼、新增使用者帳號以及使用者角色設定。

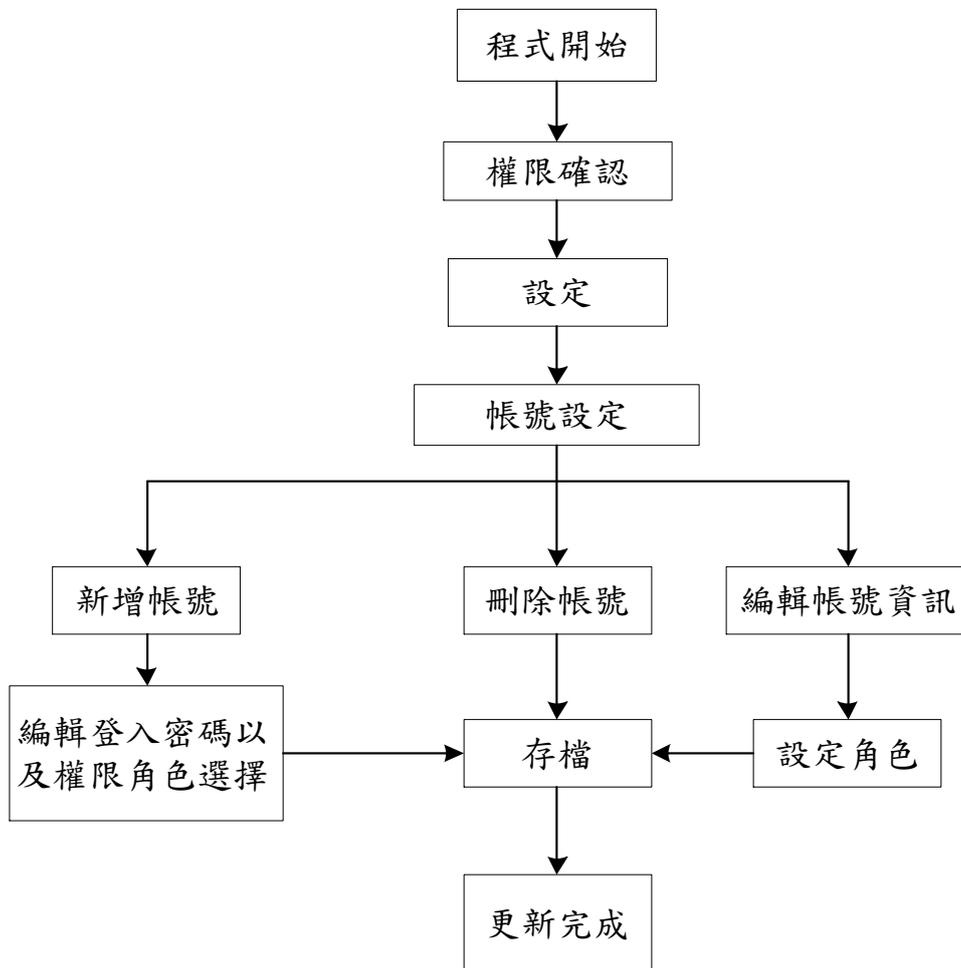


圖 6.79 帳號密碼管理流程圖

圖 6.80 為權限管理流程圖，權限管理主要內容為編輯各個權限角色所能使用的網站之功能介面。

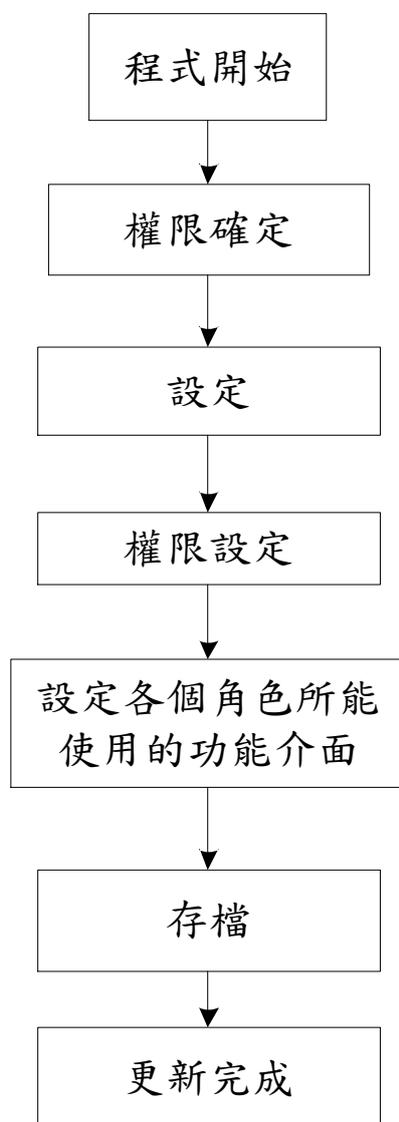


圖 6.80 權限管理流程圖

圖 6.81 為角色設定流程圖，其主要內容是新增、更改或刪除權限角色名稱，未來使用者新增一組帳號之後，再經由維護人員將使用者配置於何種角色。

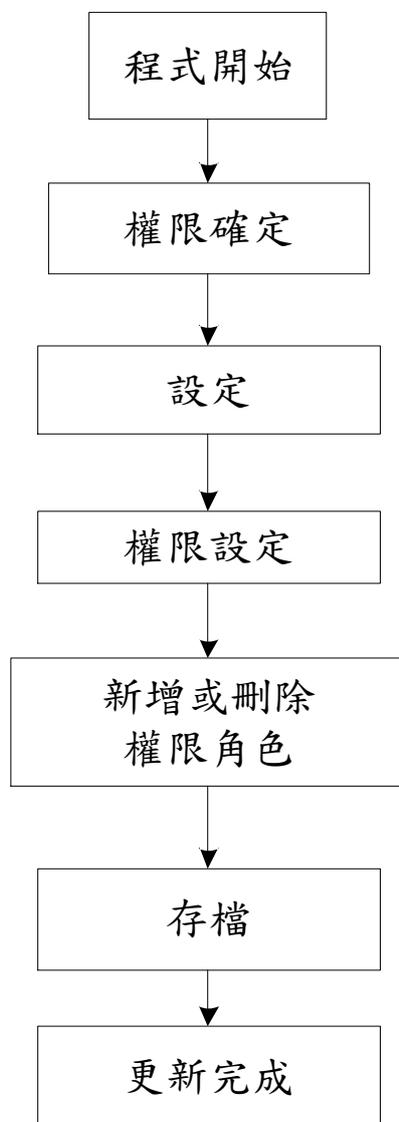


圖 6.81 權限角色設定流程圖

圖 6.82 為編輯首頁公告流程圖，圖中其主要內容是將首頁要公告的資訊做編輯的動作，再將公告事項公佈或更新。

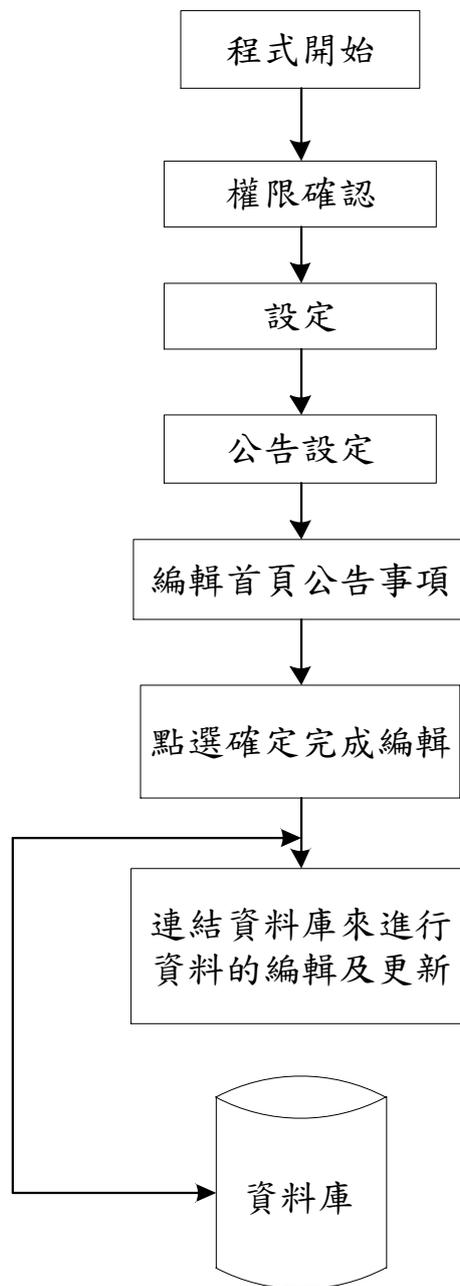


圖 6.82 編輯首頁公告流程圖

圖 6.83 為站點設定流程圖，可新增、刪除、更改站點站號、名稱、IP 位置、攝影機連接埠，使用者可依實際狀況做編輯。

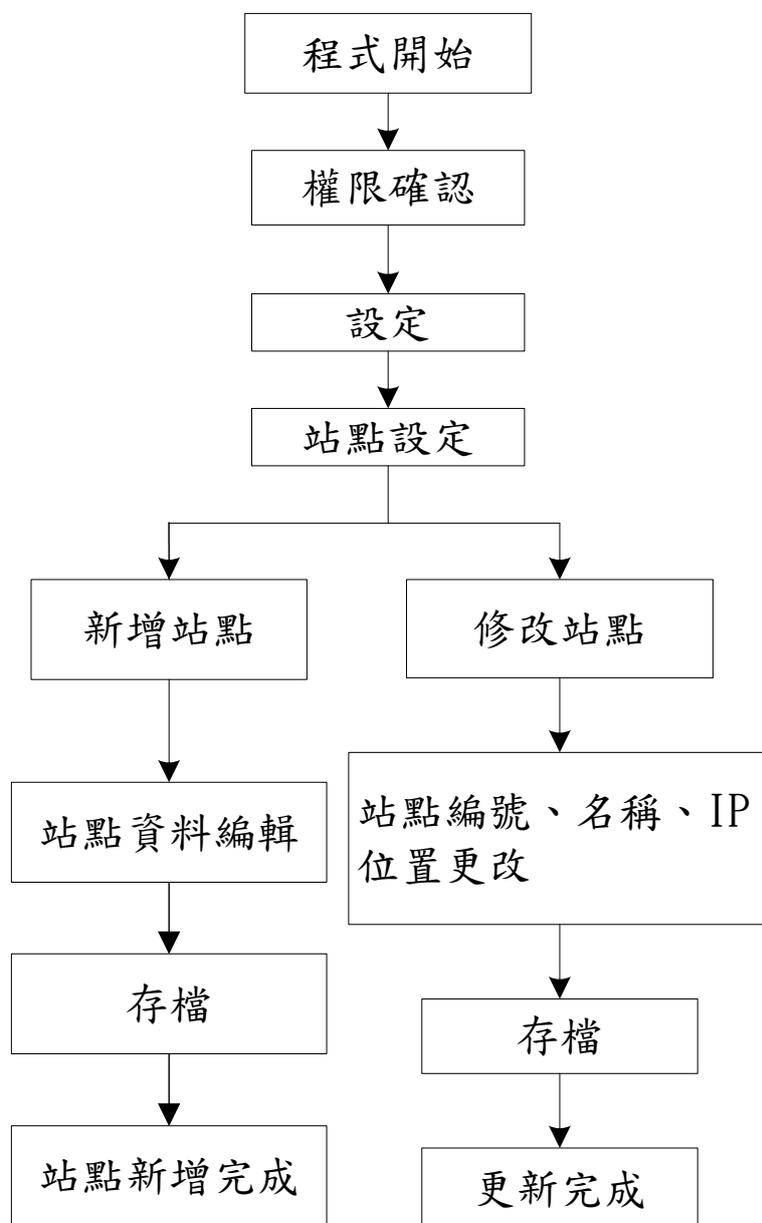


圖 6.83 站點設定流程圖

#### 四. 控制中心系統管理功能

登入作業圖 6.84 為避雷器遙測監控系統之登入畫面，使用者可以在此輸入帳號和密碼進入此系統。如果還沒有建立帳號的使用者，則可以點選畫面中的「請註冊」，建立新的帳戶。

人機暫放網址: <http://211.20.205.163/ACS/>

登入帳號: kuas

登入密碼: kuas



請輸入您的使用者名稱和密碼。

帳戶資訊

使用者名稱

密碼

登入

圖 6.84 登入帳號密碼

圖 6.85 為首頁畫面，此處功能是進行首頁資訊公告，透過公告方式來告知使用者在系統上的最新資訊。

The screenshot shows the homepage of the 'Connection Station Lightning Protection Online Detection and Maintenance System'. At the top, there is a navigation menu with the following items: 系統 (System), 即時資訊 (Real-time Information), SVM 診斷 (SVM Diagnosis), 圖表資訊 (Chart Information), 統計報表 (Statistical Reports), 異常資料 (Abnormal Data), and 設定 (Settings). Below the menu is a '公告' (Announcement) section with a table of recent updates. The table has two columns: '公告日期' (Announcement Date) and '標題' (Title). The announcements include updates to SVM diagnosis functionality, CT Type modification work at station #19, and a power outage at station E/S.

公告日期	標題
2013/11/27	11/27(三)SVM診斷分機功能上線!
2013/10/30	11/1(五)新營下營#19變電站進行CT Type改裝作業!
2013/10/14	龍崎E/S 站 10/7(一)~10/18(五)因例行維護停電作業而數據異常!
2013/06/26	龍崎站 - 調校作業

Below the announcements is a '避雷器資訊' (Surge Arrester Information) table with the following columns: 避雷器編號 (Surge Arrester No.), 相別 (Phase), 型號 (Model), 額定電壓 (Rated Voltage), SYS電壓 (SYS Voltage), 站名 (Station Name), and 更換日期 (Replacement Date). The table lists six surge arrester units across three stations (新營#19, 龍崎 E/S).

避雷器編號	相別	型號	額定電壓	SYS電壓	站名	更換日期
	R相		144 kV	161 kV	新營#19 變電	2013-06-02
	S相		144 kV	161 kV	新營#19 變電	2013-06-05
	T相		144 kV	161 kV	新營#19 變電	2013-03-14
	R相		144 kV	161 kV	龍崎 E/S	2013-06-03
	S相		144 kV	161 kV	龍崎 E/S	2013-06-27
	T相		144 kV	161 kV	龍崎 E/S	2013-06-27

圖 6.85 首頁畫面

### 1. 功能介紹

使用者登入後即可由畫面中看到首頁公告事項，（由於每個使用者帳號權限不同，顯示的功能列表也將會有所不同）功能列表主要分為七類如圖 6.86：(A)系統(B)即時資訊(C)SVM 診斷(D)圖表資訊(E)統計報表(F)異常資料(F)設定。使用者可直接由列表中點選欲使用的功能即可進入該功能頁面。

This screenshot is identical to the one in Figure 6.85, showing the homepage of the system with the navigation menu and announcement table.

圖 6.86 功能列表

圖 6.87 為即時資訊介面，此介面將會顯示避雷器當地的即時氣象與洩漏電流資訊，讓維護人員可即時了解兩站點當地的最新資訊。

當現場的感測器擷取到洩漏電流時，圖中的電錶圖將會顯示該避雷器的洩漏電流狀態，用綠色(輕微)、黃色(嚴重)以及紅色(極度嚴重)來顯示避雷器的劣化程度。



圖 6.87 即時資訊畫面

圖 6.88 為異常資料檢索介面，此介面提供站點選擇、單位搜尋(提供日或月的選擇)、日期選取以及電流值或斜率界限的判定，利用斜率判定能夠於檢索欄下方顯示出大於設定之斜率界限的時間點，並提供使用者點選異常發生時間點的避雷器所有資訊(總洩漏電流、電阻性洩漏電流、三次諧波…等資訊)。

連接站避雷器線上偵測與維護系統

歡迎 kwms! [登出]

搜尋條件

站點: 龍崎 E/S  
 搜尋單位: 月  
 月份: 2013/12  
 項目: 電阻性洩漏電流  
 電流值 ≥: 120 μA  
 斜率 ≥: %

查詢

輸出報表

R相 S相 T相

異常發生時間	總洩漏電流		電阻性洩漏電流斜率(%)		三次諧波斜率(%)	
	電流值(mA)	斜率(%)	電流值(μA)	斜率(%)	電流值(mA)	斜率(%)
2013/12/10	0.61	0.22	126.83	19.73	0.04	2.66
2013/12/15	0.57	1	147.53	49.05	0.04	3.56
2013/12/16	0.6	5.21	124.75	15.44	0.04	7.47

圖 6.88 異常資料檢索畫面

圖 6.89 為統計報表功能介面，此介面提供站點選擇、單位搜尋(提供日或月的選擇)、日期檢索以及匯出即時報表功能。報表中包含避雷器之總洩漏電流、電阻性洩漏電流、相位、諧波值以及氣象…等資訊，供使用者下載。



圖 6.89 統計報表檢索畫面

本系統之設定功能主要包含站點設定、通知設定以及警戒設定功能，如圖 6.90、圖 6.91 以及圖 6.92 所示，其中站點設定提供站點的新增以及刪除功能，通知設定功能提供系統發生警戒時發通知給新增之相關人員，警戒設定功能提供選擇觸發通知的斜率界限功能。



圖 6.90 站點設定畫面



系統 ▾ 即時資訊 SVM 診斷 圖表資訊 ▾ 統計報表 異常資料 設定 ▾						
歡迎 kuas! [登出]						
Email	名稱	通報?	+新增			
urmgand35@yahoo.com.tw	李冠魁	✘	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
shen.enthusiasm@gmail.com	沈政毅	✔	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
jann.nan@gmail.com	陳達勇	✘	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

圖 6.91 通知設定畫面



系統 ▾ 即時資訊 SVM 診斷 圖表資訊 ▾ 統計報表 異常資料 設定 ▾						
歡迎 kuas! [登出]						
站點	項目	警戒上限	是否通知	通報週期	前次發送時間	
觀崎 E/S	電阻性洩漏電流 ▾	<input checked="" type="checkbox"/> 警戒值 ≥ 250 $\mu$ A <input type="checkbox"/> 斜率值 ≥ %	<input checked="" type="checkbox"/>	連續 2 日 ▾	2013/10/23 23:00	
新營#19 線塔	總洩漏電流 ▾	<input checked="" type="checkbox"/> 警戒值 ≥ 250 $\mu$ A	<input checked="" type="checkbox"/>	連續 2 日 ▾	2012-05/13 00:00	

圖 6.92 警戒設定畫面

## 6.5.2 通訊程式設計

ASP.NET MVC 是建立在共通語言執行時期上的程式設計架構，可以使用在伺服器上以建置功能強大的 Web 應用程式。

### 一、Web 開發模型

- (一) 頂級工具支援：ASP.NET Framework 是由 Visual Studio 整合式開發環境中的多樣化工具箱和設計工具所補足的。拖放伺服器控制項和自動部署等功能只是這個強大的開發軟體中的一小部分功能。
- (二) 效能增強：ASP.NET 編譯的共通語言執行時期(Common Language Runtime)程式碼可以在伺服器上執行。與前一版本的解譯器不同的是，ASP.NET 能充分利用早期繫結 (Early Binding)、Just-In-Time 編譯 (Compilation)、原生 (Native) 最佳化和超越範圍的快取服務。
- (三) 安全性：其所內建的 Windows 驗證和前置應用程式組態，可確保您的應用程式是安全的而不易遭到破壞的。
- (四) 自訂性和擴充性：ASP.NET 提供良好的分離式架構，可讓開發人員在合適的層級中「外掛」他們的程式碼。事實上，使用自行撰寫的元件，可以擴充或取代 ASP.NET Runtime 的任何子元件。
- (五) 延展性和可用性：ASP.NET 已設計好具有延展性(Scalability) 的功能，具備特別量身訂做的功能，以增進在集群的多處理器環境中的效能。再者，ASP.NET Runtime 嚴密地監視和管理處理序(Process)，如此，若有一個處理序發生異常狀況 (遺漏、死結)，

可在它的位置中建立新的處理序，這有助於使用者的應用程式隨時能夠處理要求。

(六) 管理性：ASP.NET 利用文字架構的階層式組態系統，來簡化套用設定到伺服器環境和 Web 應用程式。這種「無本機系統管理」原理也同樣延伸到部署 ASP.NET Framework 應用程式。只要將必要的檔案複製到伺服器，就可以將 ASP.NET Framework 應用程式部署到伺服器上。不需要重新啟動伺服器，甚至部署或取代執行中的編譯程式碼也是一樣。

(七) 簡單性：ASP.NET 讓使用者可輕鬆執行從簡單表單送出與用戶端驗證 (Authentication) 到部署與站台組態的一般性工作。此外，共通語言執行時期(Common Language Runtime) 使用 Managed 程式碼服務來簡化開發過程。

本文所使用的軟體，是使用 .NET Framework 並且利用 Visual Studio.NET 的整合開發環境來建構，高效建立各類型的 .NET 元件或應用程式，例如：WinForms、SQL Web Services、.NET 元件、ASP.NET 應用程式等。將規畫之軟體架構簡略圖如圖 6.93 所示：

現說明 SQL 資料庫之概念資料庫、邏輯資料庫與實體資料庫之設計方式。

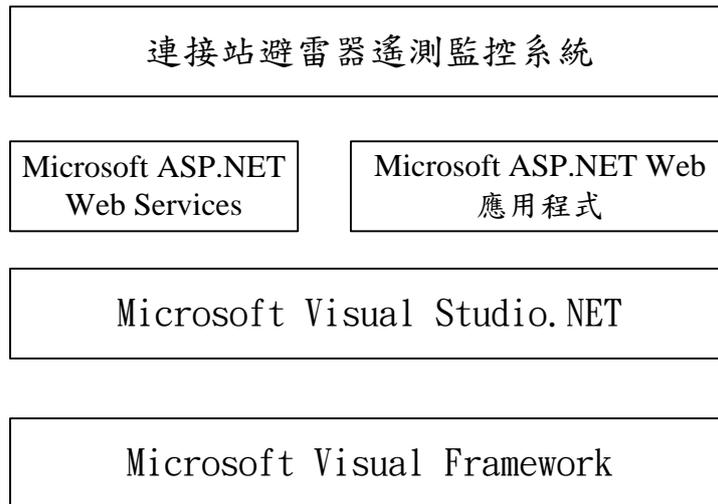


圖 6.93 軟體架構簡略圖

Visual Studio.NET 是一個整合的開發環境，提供了一些有利於程式快速開發的工具及功能，例如整合的視覺化除錯工具、使用拖拉放的方式來設計使用者介面、動態說明、整合 Microsoft.NET 企業級伺服器等特色。使用任何語言開發專案，都是使用相同的 Visual Studio.NET 整合開發環境來開發解決方案，讓方案的開發更為容易，圖 6.94 為 Visual Studio.NET 整合開發環境。

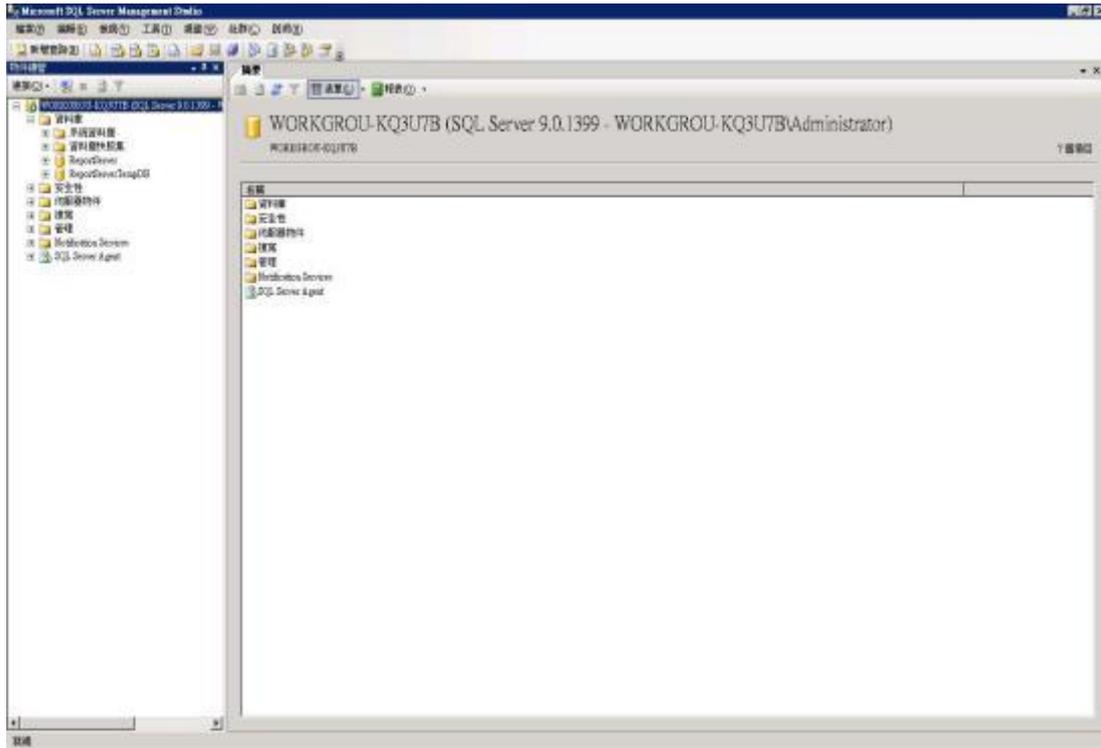


圖 6.94 SQL SERVER 資料庫應用軟體

## 二、Window Form 伺服器端軟體設計

如圖 6.95 為 Window Form 伺服器端程式架構圖，此 Window Form 伺服器端程式當伺服器電腦被開啟時，便會自動載入及執行。Window Form 伺服器端程式主要負責與遠端 GPRS 無線通訊單元連線溝通，透過該程式接收遠端 GPRS 無線通訊單元回傳的鹽霧害資訊，程式會判斷該 GPRS 無線通訊單元連線是否合法，及透過該程式將輸電線路礙子之量測數據寫入關聯式資料庫。

當 GPRS 無線通訊單元開機連線時如圖 6.96，便會向 Window Form 伺服器端程式傳送自己 GPRS 站號、密碼、IP、連線 PORT 等資訊，Window Form 伺服器端經由網際網路接收到無線通訊單元連線要求後，即核對該密碼是否正確，若是正確才與該無線通訊單元建立連線，且該次連線會建立一個唯一的 Socket ID 供給該無線通訊單元連線使用。

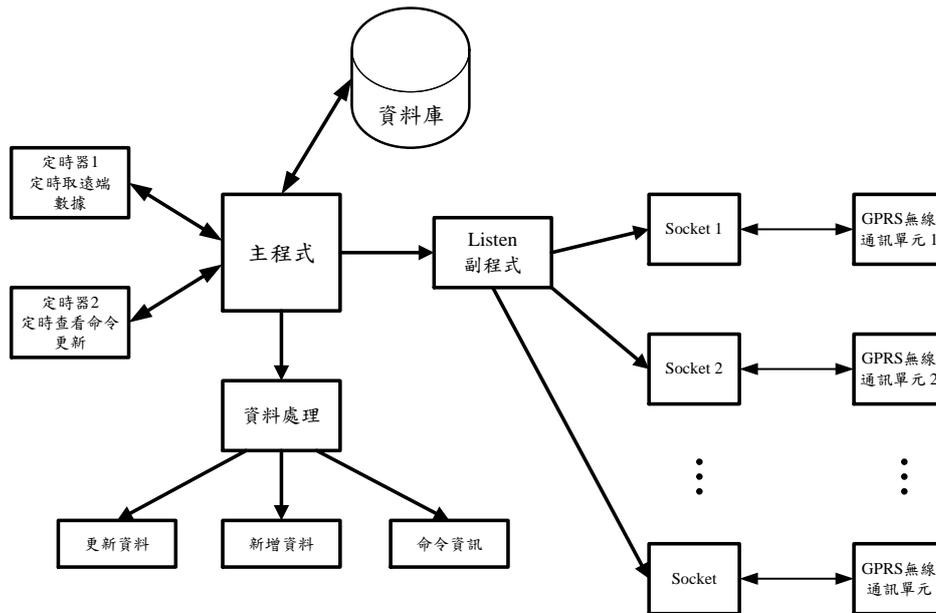


圖 6.95 Window Form 伺服器端程式架構圖

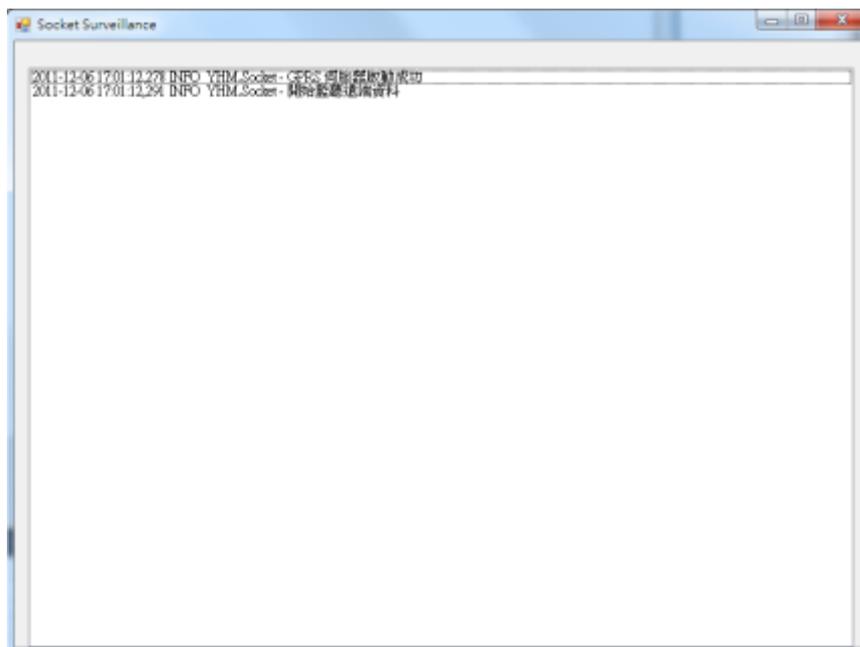


圖 6.96 Server 端啟動畫面

每當 Window Form 伺服器端程式收到遠端 GPRS 無線通訊單元連線請求時，便會自動產生一個此連線唯一的 Socket ID，如圖 6.97 所示。

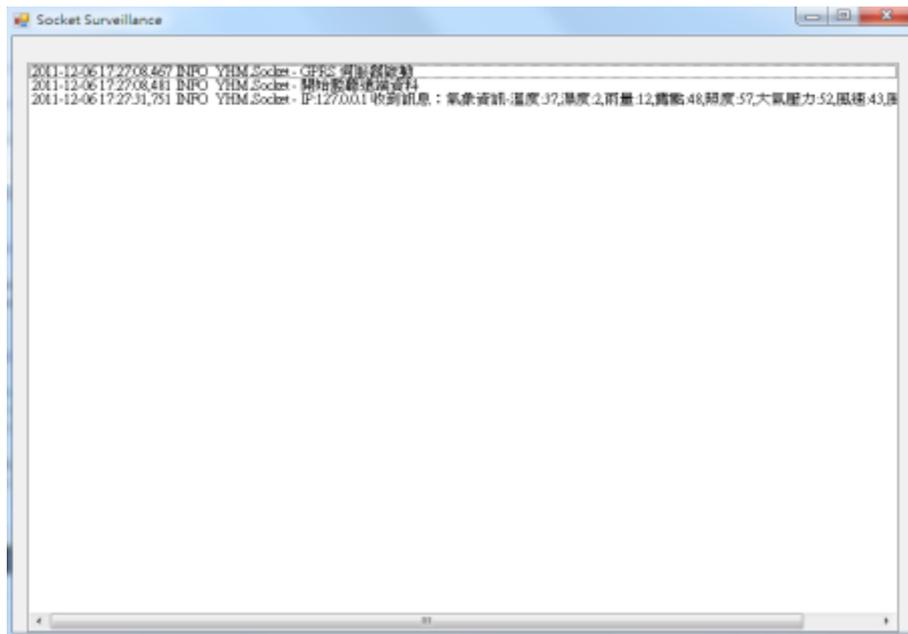


圖 6.97 無線通訊單元連線請求畫面

伺服器端偵測到遠端 GPRS 無線通訊單元連線斷線時，則顯示斷線資訊，如圖 6.98 所示。

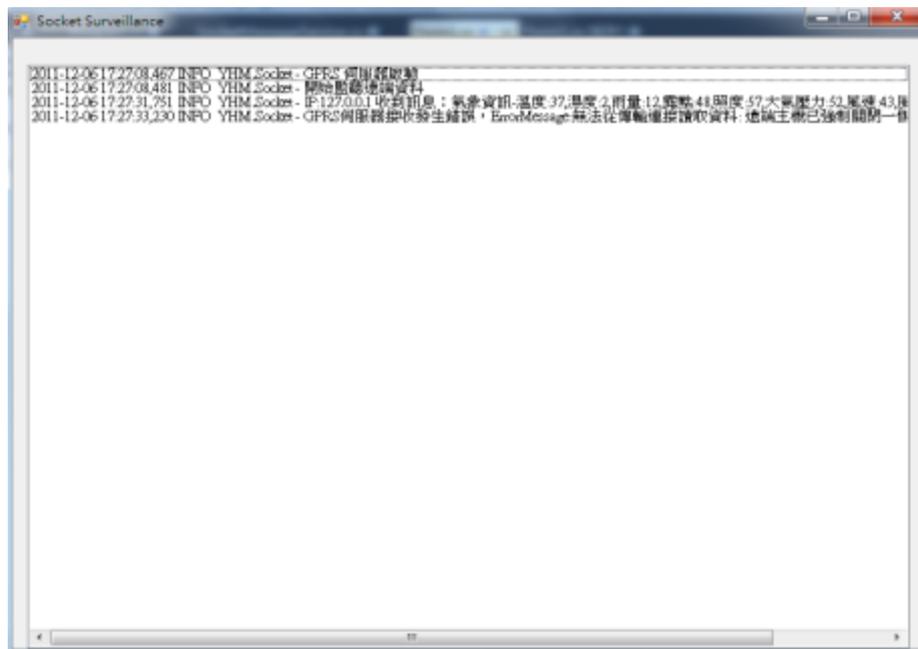


圖 6.98 無線通訊單元加入系統連線畫面

目前擬建置的資料庫系統內資料表的定義將參考「輸電線路航空障礙燈及蓄電池壽命遙測監控系統技術之研究與建立」重新規劃，如圖 6.99 所示。圖中為規劃中有關所開發系統可能之資料表組成，初步規劃至少包含 19 個。



圖 6.99 SQL 資料庫資料表架構

圖 6.100 為擬設計的使用者帳號權限關聯圖，以使用者帳號為主  
 鍵對應相關之資料表，並針對員工之區處、單位來進行分別管理之作  
 業，且利用各區處、單位使用者的作業方式不同給予不同之權限，透  
 過分別管理與權限類別的區分使使用者更能有效進行操作。

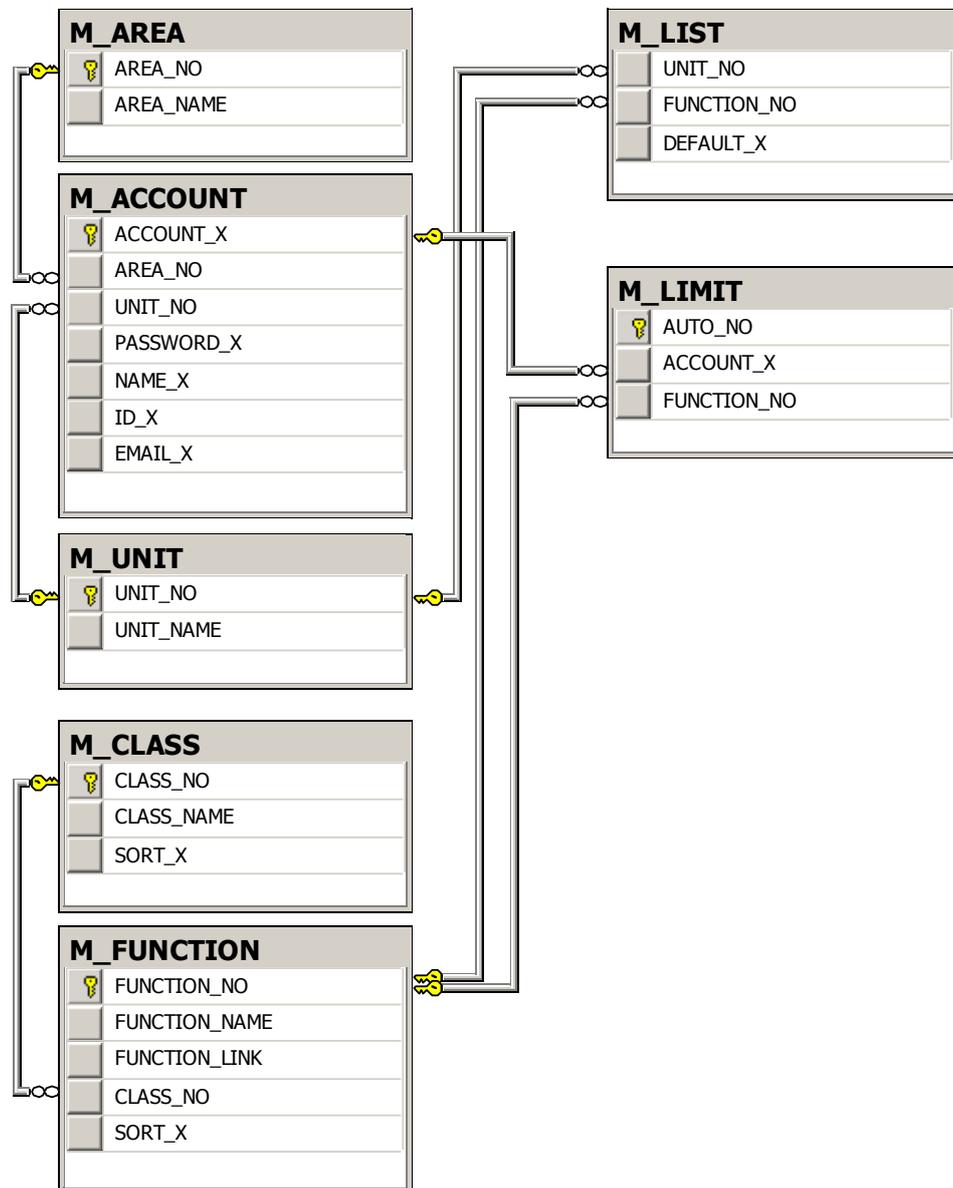


圖 6.100 帳號權限關聯圖

## 6.6 以 SVM 建構避雷器監控模型

### 6.6.1 支撐向量機概述

支撐向量機(Support Vector Machine,SVM)是 1995 年，由 Vapnik 等，根據統計學習理論為基礎，結構風險最小化(Structural Risk Minimization, SRM)原理所發展出來的理論。應用領域包含：資料分類、影像辨認、手寫辨識與生物資訊等。SVM 的基礎主要是在討論二元分類問題，即可在高維度空間中，尋找一個超平面作為二類的分割，達到分類的錯誤率最小。在多元空間中，SVM 就是要在之中尋找最佳決策面。該決策面能作最好的區分，並使分類之間間隔為最大。在應用上，加上某些技巧後，可進行多元分類。

SVM 針對一般在低維度空間線性可分類之問題，能將不同類型之樣本分離。若是遇上非線性不可分類之問題時，SVM 則可以經由非線性映射轉化(Feature Mapping： $\Phi: x \rightarrow \phi(x)$ )為某個高維度特徵空間的線性問題，而在高維度特徵空間中會對應到低維度輸入空間的一個曲面上。利用核函數(Kernel Function)將不可分類的問題轉變為線性可分類的問題，並在變換空間中尋找最佳的分類面。因此，核函數在支撐向量機中扮演一個很重要的角色，事實上有許多種類的核函數都可以被拿來使用，例如：線性、多項式或是高斯等。

SVM 是在線性可分類的情況下，找尋最佳分類平面發展而來，是統計學理論中最實用的部分。一般分類器是由兩類樣本全部的訓練向量(training vector)來決定其決策邊界。因為全部的訓練向量對決策邊界並沒有較重要之影響，所以大部分的訓練向量都是不需要的。但 SVM 卻是由兩類樣本邊界的幾個訓練向量所決定。其基本理論用兩維空間來說明如下。圖 6.101 中，兩類樣本分別為圓形和方形。中間以分類的超平面將兩類區隔開來。在超平面的左右兩條虛線，分別為

通過該類中離分類超平面最近的樣本，且平行於分類超平面的平面。這之間的距離稱之為分類間隔(margin)。所謂最佳分類平面就是要求分類平面不但能將兩類正確分開（訓練錯誤率為0），而且使分類間隔為最大。距離最佳分類超平面最近的訓練向量稱為支撐向量。

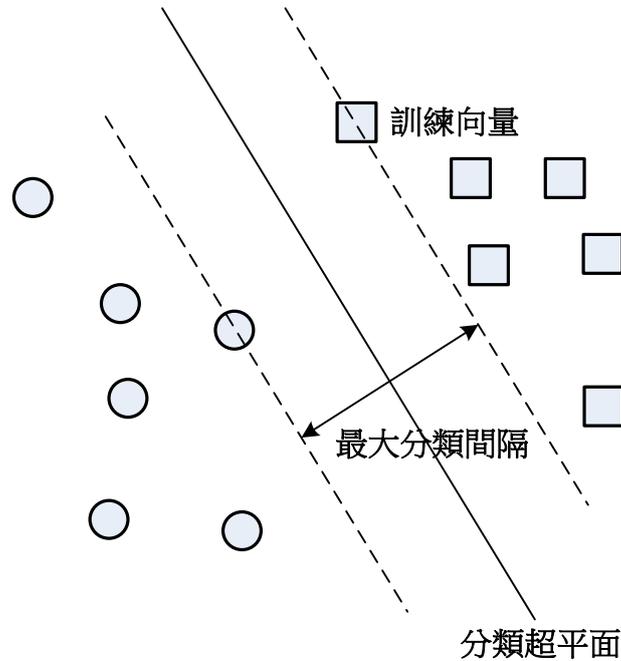


圖 6. 101 線性可分之分類超平面

假設若有測試的資料作預測時，SVM 就會將資料歸類，利用將資料分成兩類，判斷式如下定義  $y$  值：

若存在訓練樣本有  $n$  維向量，某區域的  $l$  個樣本及其所屬的分類表示為：

$$(x_i, y_i), \dots, (x_l, y_l), x \in R^n, y \in \{+1, -1\} \quad (6-2)$$

$l$  為樣本數， $n$  為輸入維度， $x_i$  為訓練樣本， $y_i$  為對於  $x_i$  輸入樣本之分類結果（1 或 -1）。在線性可分情況下，存在一個超平面  $H$  能將二類樣本完全分隔該平面描述為：

$$(w * x) + b = 0 \quad (6-3)$$

其中  $w$  為權重值， $b$  為偏權值

$$\begin{aligned} w * x_i + b &\geq +1, y_i = +1 \\ w * x_i + b &\leq -1, y_i = -1 \end{aligned} \quad (6-4)$$

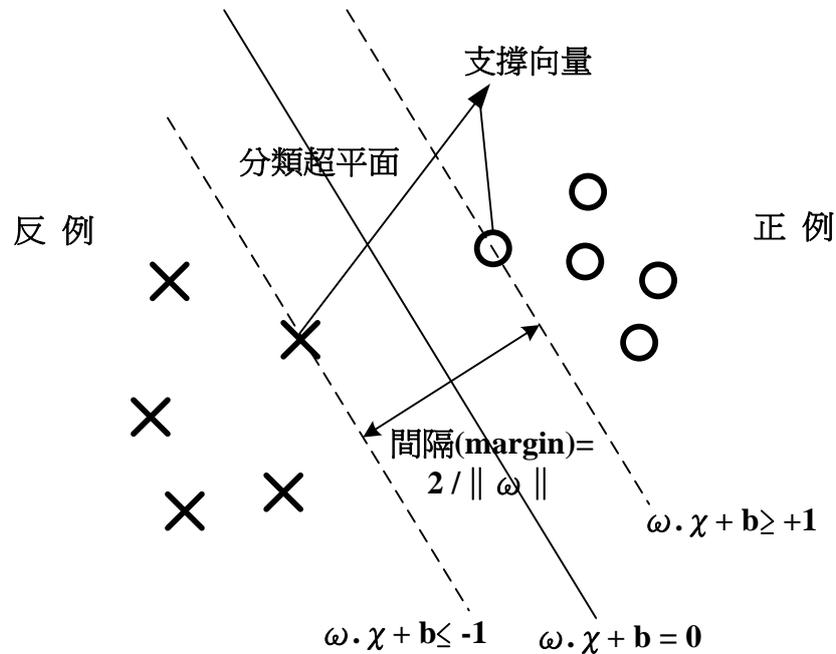


圖 6. 102 支撐向量機分類架構

從圖 6. 102 的概念，當有一群的資料可以利用直線將資料區分成兩類，此直線的方程式為  $(w * x) + b = 0$ ，而支撐向量在直線的左邊為一群，在右邊的為一群，依分類公式決定。

可將上述不等式的規範形式合併為如下緊湊型式：

$$y_i(w * x_i + b) \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (6-5)$$

則點  $x$  到超平面  $H$  的距離為：

$$d(w, b, x) = \frac{|w * x + b|}{\|w\|} \quad (6-6)$$

根據最佳分類超平面的定義，則分類間隔可表示為：

$$\begin{aligned} p(w, b) &= \min_{\{x_i: y_i=1\}} d(w, b, x_i) + \min_{\{x_j: y_j=-1\}} d(w, b, x_j) \\ &= \min_{\{x_i: y_i=1\}} \frac{|w \cdot x_i + b|}{\|w\|} + \min_{\{x_j: y_j=-1\}} \frac{|w \cdot x_j + b|}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|} \end{aligned} \quad (6-7)$$

要使分類間隔最大化，就是使  $2/\|w\|$  最大如圖 6.102 所示。因此建構最佳分類超平面的問題可轉化為在滿足式(6-5)條件下最小化的問題。

$$\emptyset(w, b) = \frac{1}{2} w * w \quad (6-8)$$

另外，考慮到可能存在一些樣本不能被超平面正確分類，因此引入正值的鬆弛變量（Slack variable）：

$$\xi \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \quad (6-9)$$

顯然，當分類出現錯誤時， $\xi$  大於零， $\sum_{i=1}^l \xi_i$  是分類錯誤數量的一個上限，為此引入一個錯誤懲罰分量，因此建構廣義最佳分類超平面問題就轉化為在限制條件下：

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (6-10)$$

得到最小化函數

$$\emptyset(w, b) = \frac{1}{2} w * w + C \sum_{i=1}^l \xi_i \quad (6-11)$$

上式中， $C$  為正值懲罰常數(Regularized constant)，第二項為經驗（風險）誤差， $C$  越大，對錯誤的懲罰越重。其中第 1 項是樣本到超平面的距離要盡量大，從而提高泛化能力；第 2 項要使誤差盡量小。

## 6.6.2 多元分類問題

支撐向量機處理的是分兩類的辨識問題，對於多類模式的分類問題，有多種技術可以用在二元分類支撐向量機的基礎上構造多分類學習器。分類如下：

一、一對多(one-against rest)：

當資料有  $N$  類就會有  $N$  個 SVM 模型，第  $K$  個 SVM 可以將第  $K$  類與其他類作分類。例如、當資料有 3 類時，將資料分成第 1 類資料與其他類資料、第 2 類資料與其他類資料、第 3 類資料於其他類資料等 3 個 SVM。

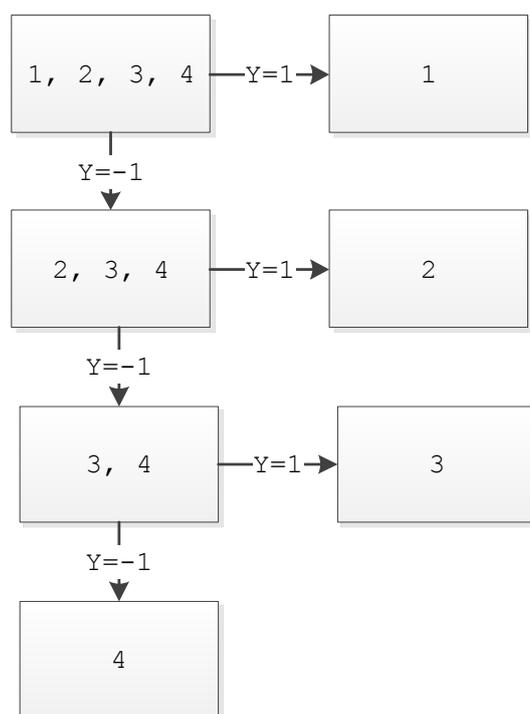


圖 6. 103 一對多的 SVM 設計之樹狀示意圖

## 二、一對一(one-against one)：

對於任兩個類別都造一個 SVM，共需要  $n(n-1)/2$  個 SVM。以圖 6.104 為例。假設我們的測試資料總共有 4 類，共有三層， $3*(2-1)/2$ ，共需要 3 個 SVM 分類器。圖中，第一次的分類的結果是 12 或 34 這兩個類，接著使用另一個分類器，再將 1、2 或 3、4 類分出後就可得知這是哪一類的資料了。

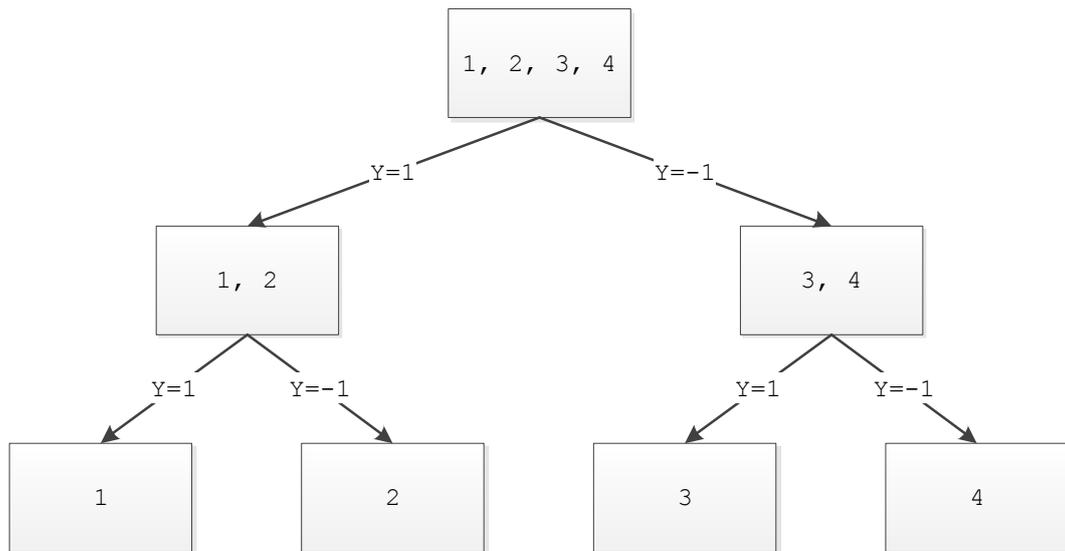


圖 6.104 一對一的 SVM 設計之樹狀示意圖

### 6.6.3 建立避雷器現況診斷模型

避雷器現況診斷過程中，對於不同的環境條件下不同廠牌具備有不同的運作特性，不僅僅是單一洩漏電流的監測數據即可判定是否劣化的指標。依據實驗和現地資料，結合專家經驗，選用總洩漏電流( $I_t$ )、電阻性洩漏電流( $I_r$ )、相位角( $\theta$ )、三次諧波洩漏電流( $I_{3h}$ )、環境濕度(H)與溫度(T)等 6 個變數資料作為 SVM 模型的輸入參數。輸出為避雷器現況診斷的狀況。

洩漏電流等級為五段，使用一對多 (one against rest) 的方式進行分類訓練。因此只需要訓練四個分類模型即可。其訓練方式如下：

- 1.將第一段等級為一類，第二到第五段等級為另一類進行模型訓練。
- 2.將第二段等級為一類，第三到第五段等級另一類進行訓練。
- 3.依此類推至第四段等級，不屬於一到四等級，即為第五等級。

訓練資料輸入主要有兩類，一是龍崎連接站現地實際搜集之資料；另一則是依照分類所產生之設定值。避雷器現況的診斷輸出區分為五類，分別是 1.良好、2.正常、3.注意、4.異常與 5.劣化這五大類。

以下即針對 SVM 診斷分類模型規劃設計的方法步驟，作一簡要的分述：

一、以 SVM 建立的分類器，作為避診斷雷器劣化程度的判別。

如圖 6.105 所示，其包括下列三個步驟：

- (一)擷取受測資料加以整理。作為 SVM 分類器的輸入數據。
- (二)訓練、測試 SVM 分類器。產生符合標準的分類系統。
- (三)避雷器現況辨識分類。以現地資料輸入訓練後之 SVM 分類模型進行判別。

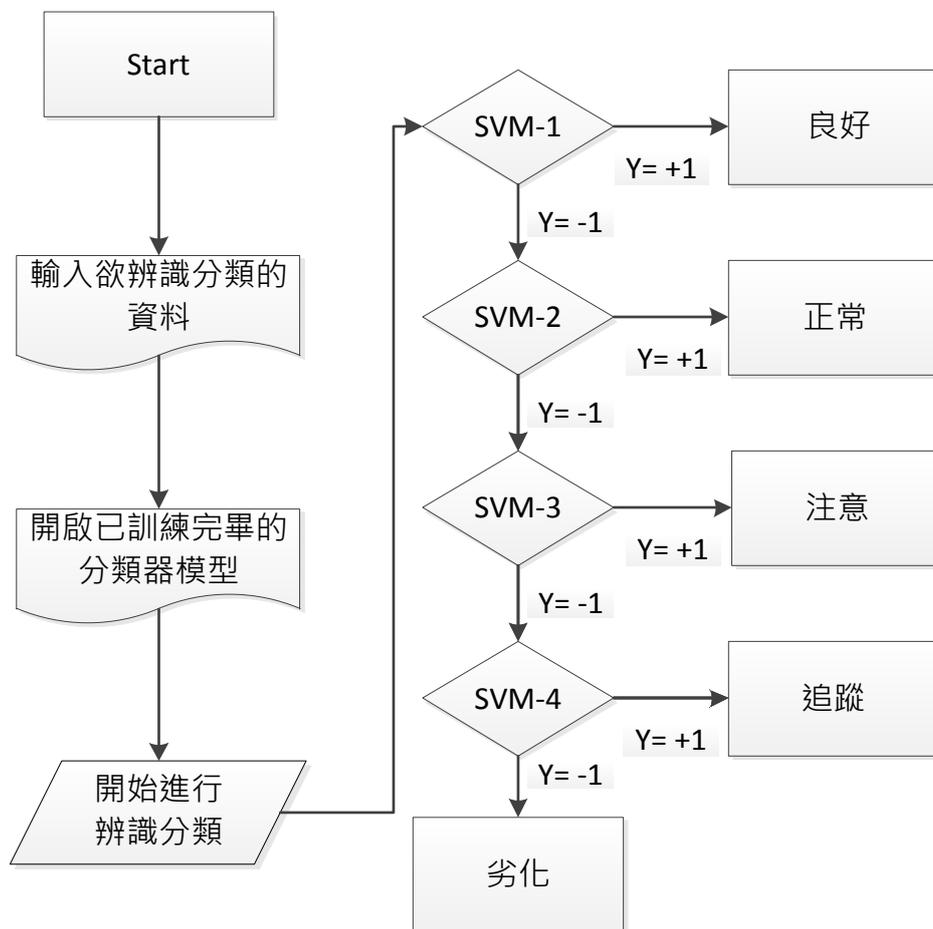


圖 6.105 SVM 分類架構

本研究資料輸入之數據，包含總洩漏電流( $I_t$ )、電阻性洩漏電流( $I_r$ )、相位角( $\theta$ )、三次諧波洩漏電流( $I_{3h}$ )、環境濕度(H)與溫度(T)等 6 個變數資料，如下表 6.15 所示。

表 6. 15 Input Data

總洩漏 $I_t$	電阻性 $I_r$	相位角 $\theta$	三次諧波 $I_{3h}$	溫度 T	濕度 H
0.5	250	60	0.06	27.36	103.24
0.58	159.87	74	0.04	27.56	98.43
0.55	133.06	76	0.06	27.84	95.38
0.53	101.13	79	0.07	26.88	100.76
0.62	75.56	83	0.1	28.24	103.23
0.46	64.02	82	0.05	27.06	95.67
0.61	31.92	87	0.02	29.51	79.31
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

依據台電電力綜合研究所訂定之之管制值，標準電阻性洩漏電流分為五級。分別為良好、正常、注意、追蹤、劣化。必須要有四類的期望值資料，利用以分別產出 SVM-1、SVM-2、SVM-3 與 SVM-4 分類器。

訓練資料必須經過整理(正規化處理)，再進行訓練。否則，龐大的訓練筆數將造成訓練時間冗長。換言之，若系統已確認資料所屬類別區域，將在下一分類區域中剔除，不再進行訓練，將大大節省訓練花費的時間。亦即若 SVM-1 的資料主要判斷  $I_r$  在  $110\mu A$  以內的，確定為良好類型  $I_r$  在  $110\mu A$  以內的資料，就不再 SVM-2 的訓練資料檔內。以此類推，SVM-3 訓練檔之中，將不包含  $I_r$  小於  $400\mu A$  以內的資料範疇。

表 6. 16 Desire Data

避雷器現狀診斷	X：電阻性洩漏電流	SVM1	SVM2	SVM3	SVM4
良好	$I_r < 110 \mu A$	1	×	×	×
正常	$110 \mu A < I_r < 200 \mu A$	-1	1	×	×
注意	$200 \mu A < I_r < 400 \mu A$	-1	-1	1	×
追蹤	$400 \mu A < I_r < 800 \mu A$	-1	-1	-1	1
劣化	$800 \mu A < I_r$	-1	-1	-1	-1

如下表 6.17 至 6.20 分別為 SVM-1 至 SVM-4 四級分類器的訓練資料，其每級分類器都有對應的輸出(Y11~Y41)期望值，不屬於該區域分類器操作範圍之輸出期望值則判定為-1。

表 6.17 SVM-1

$I_t$	$I_r$	$\theta$	$I_{3h}$	T	H	Y11
0.58	10.12	91	0.07	27.73	90.8	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.52	108.11	78	0.04	26.8	97.42	1
0.58	110.67	79	0.05	27.66	92.45	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.62	149.99	76	0.04	30.01	78.07	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.5	286.79	55	0.08	27.14	103.24	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.63	475.47	41	0.06	27.3	103.35	-1

備註：訓練資料由現地值， $I_r < 110\mu A$ ，期望值  $Y_{11} = 1$ ，其餘， $Y_{11} = -1$ 。

表 6. 18 SVM-2

$I_t$	$I_r$	$\theta$	$I_{3h}$	T	H	$Y_{21}$
0.56	118.25	83	0.10	27.71	93.70	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.54	193.52	69	0.10	29.02	86.44	1
0.5	203.37	66	0.07	28.11	96.76	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.62	249.99	76	0.04	30.01	78.07	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.5	286.79	55	0.08	27.14	103.24	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.63	475.47	41	0.06	27.30	103.35	-1

備註：訓練資料由現地值， $I_r < 200\mu A$ ，期望值  $Y_{21} = 1$ ，其餘  $Y_{21} = -1$ 。

表 6. 19 SVM-3

$I_t$	$I_r$	$\theta$	$I_{3h}$	T	H	$Y_{31}$
0.59	202.45	76	0.1	26.79	82.57	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.5	386.79	51	0.08	27.14	103.24	1
0.54	439.76	51	0.03	30.02	69	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.5	446.09	50	0.02	30.04	69.54	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.52	537.9	53	0.1	27.27	99.02	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.61	637.9	53	0.02	28.87	96.89	-1

備註：訓練資料由現地值， $I_r < 400\mu A$ ，期望值  $Y_{31} = 1$ ，其餘  $Y_{31} = -1$ 。

表 6. 20 SVM-4

It	I <sub>r</sub>	$\theta$	I <sub>3h</sub>	T	H	Y <sub>41</sub>
0.5	433.73	67	0.04	27.71	91.37	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.61	799.34	59	0.04	27.41	103.23	1
0.62	800.56	59	0.1	28.24	103.23	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.62	853.91	54	0.02	30.22	67.07	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.57	919.95	46	0.02	30.96	58.37	-1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0.61	1007.8	41	0.09	26.99	103.13	-1

備註：訓練資料由現地值，I<sub>r</sub> < 800μA，期望值 Y<sub>41</sub> = 1，其餘 Y<sub>41</sub> = -1。

## 二、訓練、測試 SVM 分類器

如下圖 6. 106 所示為本研究中採行的 SVM 分類技巧建置的架構圖。本研究使用 Neuro Solutions 5 分析軟體中的 SVM 模型去建構分類系統之模型架構，其規劃步驟如下：

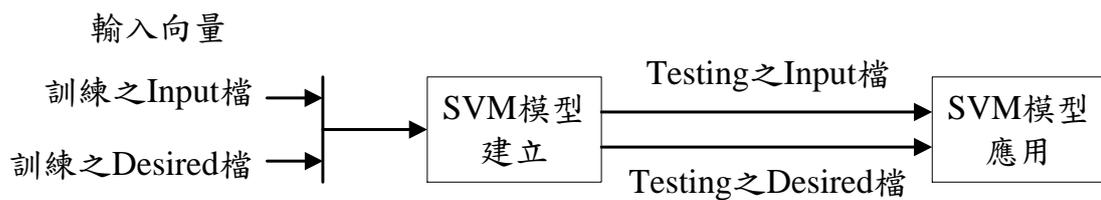


圖 6. 106 SVM Training 架構圖

(一)建立 EXCEL 訓練資料檔之輸入與期望值資料後儲存附檔名為 CSV 檔。第 1-6 列為 Input Data，第 7 列為 Desired Data。分別建立 SVM-1、SVM-2、SVM-3、SVM-4 等 4 級輸入檔與配合之 Desired Data，如下圖 6. 107 所示。

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	lrms	IR	Itheta	I3w	T	H	Y31	
2	0.6	124.75	77.81	0.04	26.58	90.87	1	
3	0.61	147.57	75.92	0.05	27.32	95.32	1	
4	0.6	134.97	76.66	0.04	26.6	89.51	1	
5	0.61	157.88	75.48	0.05	26.58	91.4	1	
6	0.6	145.15	76.42	0.05	26.42	93.07	1	
7	0.6	114.49	78.93	0.05	26.5	90.88	1	
8	0.6	104.19	79.53	0.04	26.82	88.15	1	
9	0.6	114.49	78.69	0.05	26.69	93.52	1	
10	0.61	105.93	80.38	0.05	26.98	93.43	1	
11	0.62	107.66	80.16	0.05	27.34	92.15	1	
12	0.61	95.43	80.07	0.04	25.58	91.41	1	

圖 6. 107 EXCEL SVM 訓練檔

(二)分別進行訓練後，可分別建立 SVM 分類器。如圖 6. 108 所示。

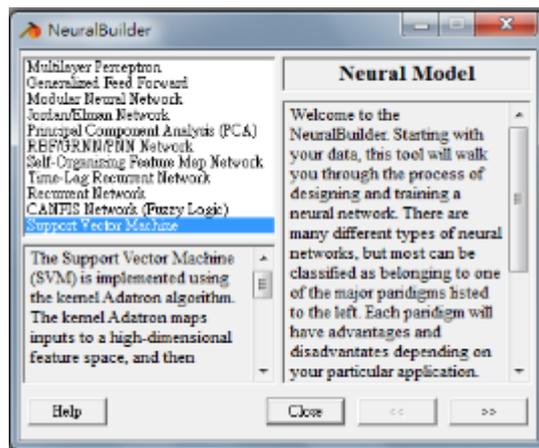


圖 6. 108 建立 SVM 分類器

(三)使用 Testing Wizard 測試資料。分別選用需要測試的 Input 檔與 Desired 檔如圖 6. 109 及圖 6. 110 Testing Wizard Step2 所示。

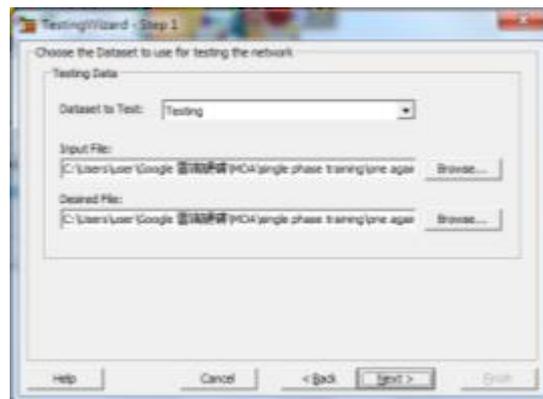


圖 6. 109 Testing Wizard Step1

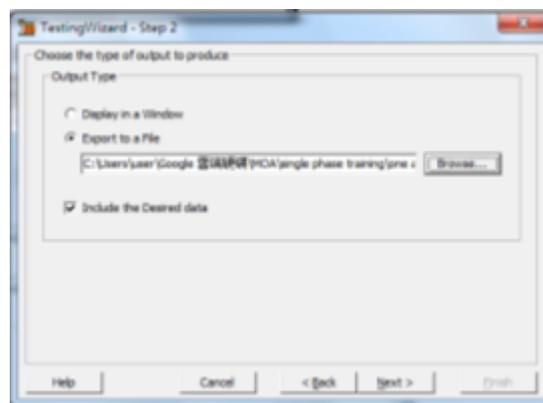


圖 6. 110 Testing Wizard Step2

將輸入資料開始輸入進入 SVM-1 進行分類，而當資料輸入 SVM-1 分類器，若輸出資料 Out Y<sub>11</sub> 大於 0，則該筆被分類為良好。反之，若 Out Y<sub>11</sub> 小於 0，則必須再輸入 SVM-2 分類器，判斷是否為正常。以此類推，SVM-3 產出之結果 Out Y<sub>31</sub> 分類判定的準則則是否為追蹤類；SVM-4 產出之結果 Out Y<sub>41</sub> 分類是否為異常類。最後，若都不屬於任何一類，則是屬於劣化類。將設計完成的 SVM 分類器實際放入現地監控站點龍崎 E/S (11 月 1 日至 9 日)S 相避雷器資料輸入來驗證分類的功能是否正常，其結果如下表 6.21 所示。

如下頁圖 6.111 為將 SVM 辨識技術整合進後端線上監測系統的開發介面，只要操作者選定監測站點及要診斷月份，即會輸出該站點該月份每日各相避雷器的診斷結果，以供使用者判定避雷器狀態之參考，如圖 6.112 所示。

表 6.21 11 月份現地資料輸入測試模型結果

月份		輸入資料						輸出資料				分類
日期	相	I <sub>t</sub>	I <sub>r</sub>	$\theta$	I <sub>3h</sub>	T	H	Out Y <sub>11</sub>	Out Y <sub>21</sub>	Out Y <sub>31</sub>	Out Y <sub>41</sub>	結果
11 月 1 日	S	0.54	112.27	78.46	0.05	26.58	90.87	0.4191	×	×	×	良好
11 月 2 日	S	0.54	121.47	77.41	0.06	27.32	95.32	0.2369	×	×	×	良好
11 月 3 日	S	0.54	112.27	77.91	0.05	26.60	89.51	0.3028	×	×	×	良好
11 月 4 日	S	0.54	121.47	77.35	0.05	26.58	91.40	0.1397	×	×	×	良好
11 月 5 日	S	0.54	103.04	79.27	0.06	26.42	93.07	0.8081	×	×	×	良好
11 月 6 日	S	0.54	121.47	77.29	0.10	26.50	90.88	-0.5229	0.7774	×	×	正常
11 月 7 日	S	0.55	123.72	77.17	0.07	26.82	88.15	0.3728	×	×	×	良好
11 月 8 日	S	0.54	112.27	77.97	0.09	26.69	93.52	-0.4223	0.8392	×	×	正常
11 月 9 日	S	0.54	112.27	77.77	0.05	26.98	93.43	0.2873	×	×	×	良好

搜尋條件

站點

月份

圖 6.111 SVM 功能畫面

[回查詢畫面](#)

站點：龍崎 E/S	SVM 判斷		
日期	相別	輸出值	判斷
2013-12-01	R相	0.036609523	正常
	S相	0.1264008	良好
	T相	0.02566301	正常
2013-12-02	R相	0.0158880427	正常
	S相	0.2234769	良好
	T相	0.006087178	良好
2013-12-03	R相	0.04375742	正常
	S相	0.07847454	良好
	T相	0.02657072	正常
2013-12-04	R相	0.0148701034	正常
	S相	0.1769989	良好
	T相	0.0226655323	正常
	相別	輸出值	判斷

圖 6.112 SVM 診斷畫面

## 第七章 現地系統整合安裝與測試

### 7.1 前端資料蒐集站建置

為配合本研究計畫進度，研究團隊分別於新營-下營二路#19 鐵塔與龍崎超高壓變電所進行避雷器監控系統整合與安裝，系統整合安裝前已於兩座避雷器之負責區處與台電相關人員以及負責本次施工之承包商、勞工安全衛生管理師、本研究團隊招開工業安全協調會議，並於會議中協調輸電鐵塔停電施工之日期、施工注意事項、安全衛生管理以及職業災害防止等安全衛生事項。以下將說明系統施工過程以及現況。

#### 7.1.1 新營-下營二路#19 鐵塔

新營-下營二路#19 鐵塔現地安裝圖如圖 7.1，R、S、T 相接裝有資料擷取系統於箱體內如圖 7.2，並透過 RS485 將洩漏電流、汙穢電流計數等資料傳輸至電源/通訊箱體，系統之通訊電路及電源電路裝設於原航空障礙燈監控箱體內，溫濕度計則架設於電源/通訊箱上方如圖 7.3 所示。

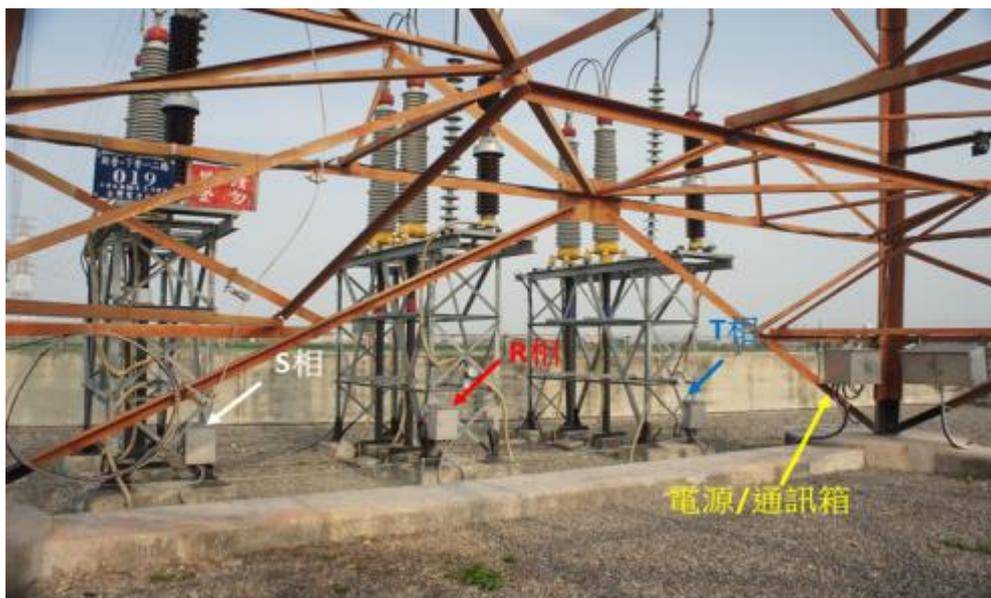


圖 7.1 新營-下營二路#19 鐵塔現地整體系統



各相量測箱

圖 7.2 各相量測箱體之位置圖



溫溼度計

圖 7.3 溫濕度與電源/通訊箱體

如圖 7.4 為新營-下營二路#19 鐵塔之避雷器電場收集盤安裝位置圖，此站於 R 相以及 T 相安裝兩個收集電場盤，分別為由 TransiNor As 製造型號 FP-3 的電場盤以及本研究團隊自製的電場盤進行波行對照，如圖 7.5、圖 7.6 為 TransiNor As 製造以及自製之電盤感應之波形，由圖可知研究團隊自製之電盤所感應之波形相位與 TransiNor As 製造之電盤的波形相位一致。

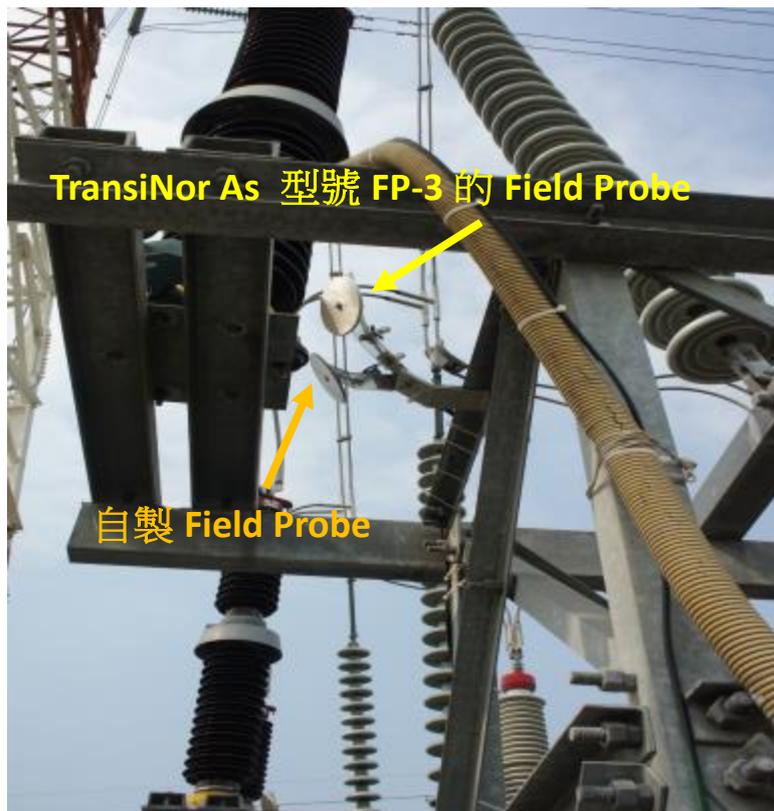


圖 7.4 電場收集盤安裝實體圖(新營-下營二路#19 鐵塔)

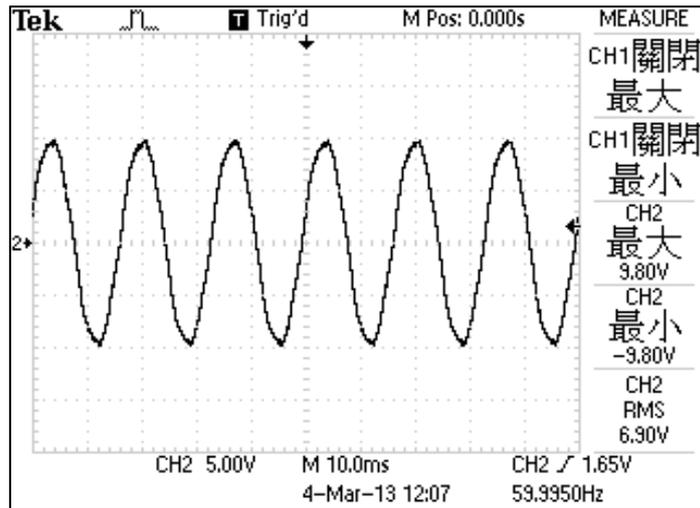


圖 7.5 TransiNor As 型號 FP-3 的波形

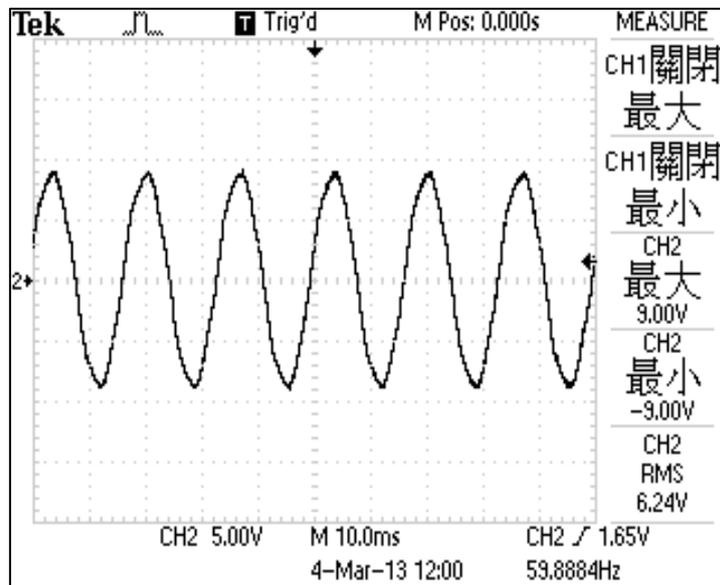


圖 7.6 自製電盤的波形

經過研究團隊評估自製電盤能夠實現 TransiNor As 電盤感應之電壓，因此於 5/14 日施工進行 TransiNor As 電盤感應的拆除工作，如圖 7.7 利用自行研發之電盤進行電場偵測。

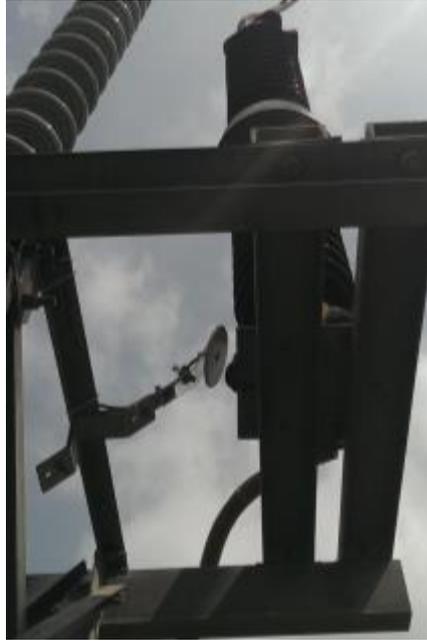


圖 7.7 已拆除 TransiNor As 電盤

現地之 600W 的風力發電機之架設如圖 7.8 所示，本風力發電機採用貼近圍牆之固定方式，並配合輔助桿來加強其穩定性，避免因風速太快使的風力發電機轉速增加導致風力發電機支撐桿晃動幅度過大，使固定螺絲遭到破壞。



圖 7.8 現地風力發電機架設圖

太陽能板之架設如圖 7.9 所示，此太陽能板利用 L 型夾片將支撐架固定於鐵塔支架上，並面相正南方進行安裝，增加太陽能板的發電效率。



圖 7.9 太陽能板組裝完成圖

本風光系統之訊號線統一牽引至控制箱體內部如，進行控制以及後端傳輸。



圖 7.10 控制箱體內部圖

## 7.1.2 龍崎超高壓變電所

圖 7.11 為龍崎超高壓變電所現地之量測系統實體完成圖，此站避雷器之接地線皆包覆於各相之量測箱體中，作為防止各相之相間電容的影響以及保護內部箱體之電流感測器的作用，所有箱體皆採用夾式治具安裝如圖 7.12。圖 7.13 為現地電場收集盤之安裝圖，並於 T 相安裝自製的電場收集盤作為對照。



圖 7.11 龍崎超高壓變電所現地整體系統



圖 7.12 夾式治具

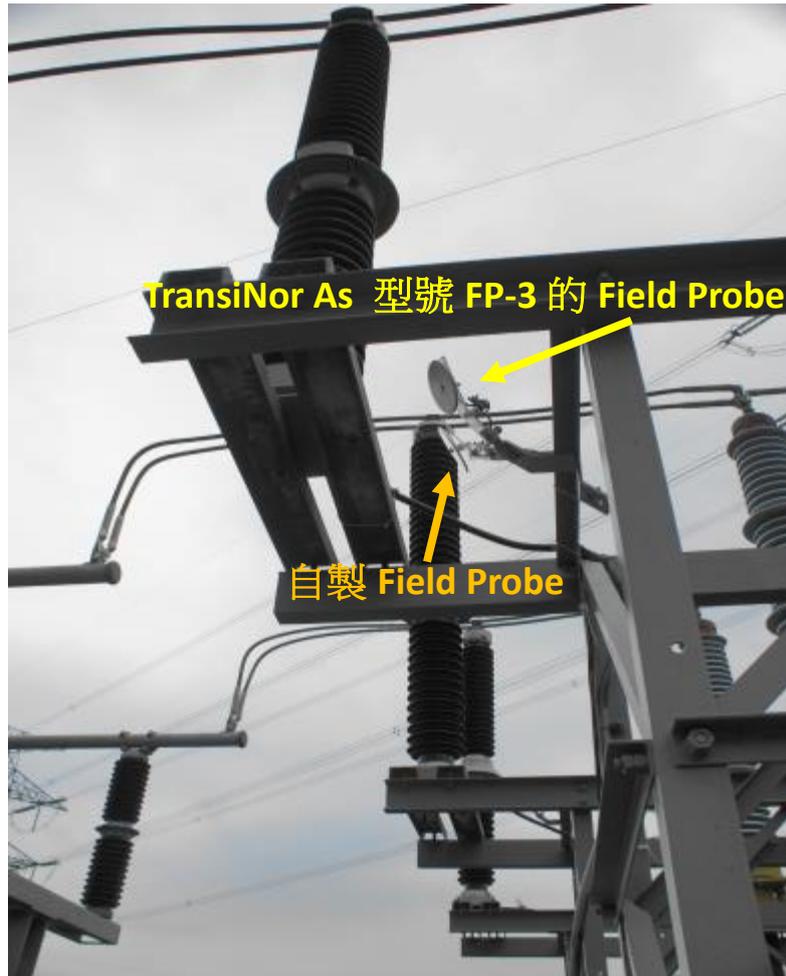


圖 7.13 電場收集盤安裝實體圖(龍崎超高壓變電所)

電源部分則由現地既有的電源控制箱進行引接如圖 7.14，利用備用端子引接 110V 的電源信號至電源箱體，引接之纜線皆採用軟管包覆如圖 7.15，並走現地既有的管溝至安裝點如圖 7.16。



圖 7.14 電源引接圖(使用備用端子)



圖 7.15 新設管路



圖 7.16 電源信號纜線引接之管溝

如圖 7.17 為電源配電箱體，其中市電引接至漏電斷路器一次測，本系統引接二次測最為監測系統之電源，圖 7.18 為通訊電路箱體內部裝設嵌入式系統進行 3.5G 通訊以及溫濕度信號轉換器，圖 7.19 為量測電路箱體，本站採用電流感測器進行洩漏電流信號擷取並由箱體內部的 DSPIC 量測單元偵測計算，圖 7.20 為屋外型溫濕度計設置位置圖。



圖 7.17 電源配電箱



圖 7.18 通訊電路箱體

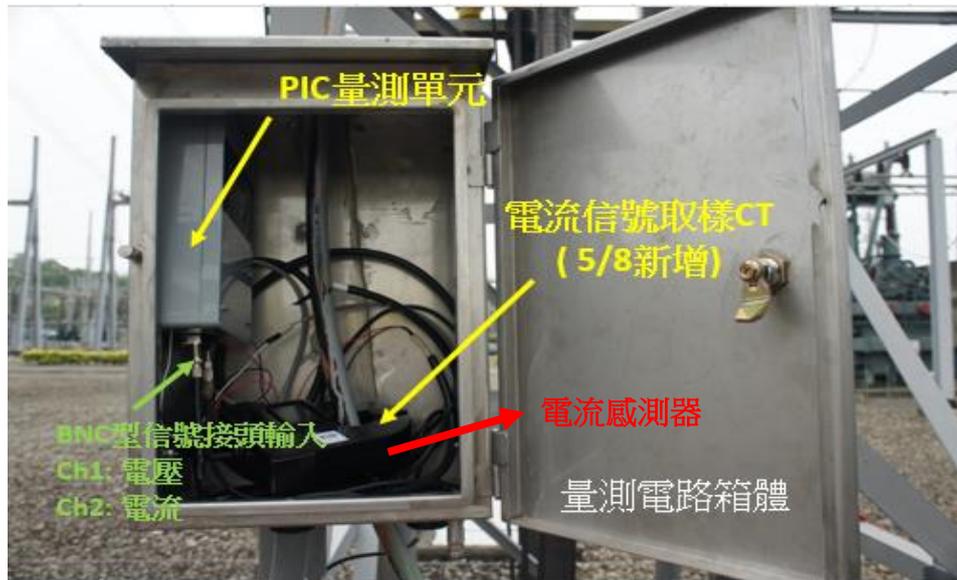


圖 7.19 量測電路箱體



圖 7.20 屋外型溫溼度計設置位置圖

## 7.2 現地系統資料蒐集

### 7.2.1 氣象觀測站

為準確地量測出安裝環境現地的氣象資訊，本研究團隊採用屋外型溫/溼度計來量測所需的氣象資訊(溫度、濕度)，並以每一分鐘記錄一筆，最後再將各項氣象資料統計值做平均計算。為確保量測系統之可靠度，特與中央氣象局觀測站獲得之地區氣象資訊相互對照比較量測的差異程度。如表 7.1 為三月份本氣象量測系統所量測的各項氣象資料，表 7.2 則為同月份中央氣象局發佈之氣象資料，由圖 7.21 與圖 7.22 三月份所量測之日溫/溼度趨勢對照結果可發現：兩者量測資料具有一致性趨向，誤差也皆在合理誤差範圍內，故本系統獲致的溫/溼度氣象資訊確實具備可參考性。

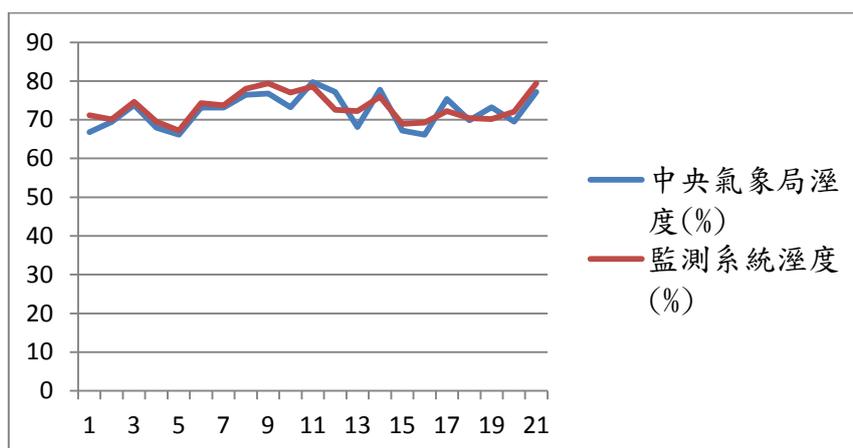


圖 7.21 濕度趨勢折線圖

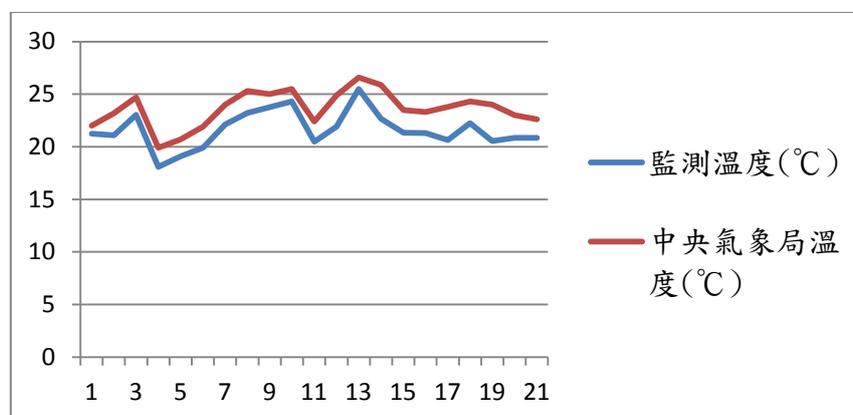


圖 7.22 溫度趨勢折線圖

表 7.1 3 月份氣象觀測儀之氣象資料

日期	溫度(°C)	溼度(%)
3 月 11	21.23	66.8
3 月 12	21.1	69.45
3 月 13	23.03	73.84
3 月 14	18.09	67.95
3 月 15	19.095	66.16
3 月 16	19.9	73.16
3 月 17	22.13	73.15
3 月 18	23.23	76.44
3 月 19	23.77	76.81
3 月 20	24.32	73.26
3 月 21	20.48	79.77
3 月 22	21.91	77.22
3 月 23	25.48	68.087
3 月 24	22.66	77.75
3 月 25	21.32	67.21
3 月 26	21.29	66.15
3 月 27	20.64	75.37
3 月 28	22.23	69.85
3 月 29	20.55	73.19
3 月 30	20.86	69.52
3 月 31	20.86	77.21

表 7.2 中央氣象局 3 月份之氣象資料

日期	溫度(°C)	溼度(%)
3 月 11	22	71.16
3 月 12	23.2	70.12
3 月 13	24.7	74.62
3 月 14	19.9	69.5
3 月 15	20.7	67.21
3 月 16	21.9	74.29
3 月 17	24	73.7
3 月 18	25.3	78
3 月 19	25	79.37
3 月 20	25.5	77
3 月 21	22.4	78.58
3 月 22	24.9	72.54
3 月 23	26.6	72.25
3 月 24	25.9	75.91
3 月 25	23.5	68.91
3 月 26	23.3	69.29
3 月 27	23.8	72.25
3 月 28	24.3	70.41
3 月 29	24	70.2
3 月 30	23	72.04
3 月 31	22.6	79.41

## 7.2.2 洩漏電流監測站

(一) 表 7.3 為新營-下營二路#19 鐵塔 5 月 27 日的 R 相原始監測資料。目前暫利用已裝設在同迴路的 R 相 ABB Excount II 系統短期量測數據對照參考，作相位差補償量進行分析，以達到要求之準確度。

表 7.3 新營站監測資料(原始)

站點：新營#19 鐵塔				
時間	總洩漏電流 (mA)	電阻性洩漏電流 ( $\mu$ A)	相位差( $^{\circ}$ )	三次諧波(mA)
2013/05/27 00	0.26	225.43	29.88	0.12
2013/05/27 01	0.25	225.56	25.54	0.12
2013/05/27 02	0.27	225.13	33.50	0.13
2013/05/27 03	0.25	209.34	33.13	0.13
2013/05/27 04	0.24	202.96	32.25	0.12
2013/05/27 05	0.24	196.34	35.10	0.12
2013/05/27 06	0.25	210.29	32.73	0.13
2013/05/27 07	0.23	204.35	27.31	0.13
2013/05/27 08	0.22	177.39	36.26	0.13
2013/05/27 09	0.22	183.56	33.45	0.12
2013/05/27 10	0.23	184.87	36.50	0.13
2013/05/27 11	0.24	190.51	37.45	0.13
2013/05/27 12	0.24	197.53	34.60	0.12
2013/05/27 13	0.24	189.49	37.85	0.12
2013/05/27 14	0.25	182.87	42.98	0.12
2013/05/27 15	0.24	182.07	40.65	0.12
2013/05/27 16	0.26	211.97	35.38	0.13
2013/05/27 17	0.26	211.07	35.72	0.12
2013/05/27 18	0.27	214.91	37.25	0.12
2013/05/27 19	0.28	232.68	33.79	0.13
2013/05/27 20	0.29	232.29	36.77	0.12
2013/05/27 21	0.29	231.46	37.04	0.13
2013/05/27 22	0.28	238.74	31.49	0.12
2013/05/27 23	0.28	239.38	31.24	0.11

圖 7.23、圖 7.24 以及圖 7.25 為 R 相總洩漏電流、電阻性洩漏電流以及三次諧波成份趨勢圖。

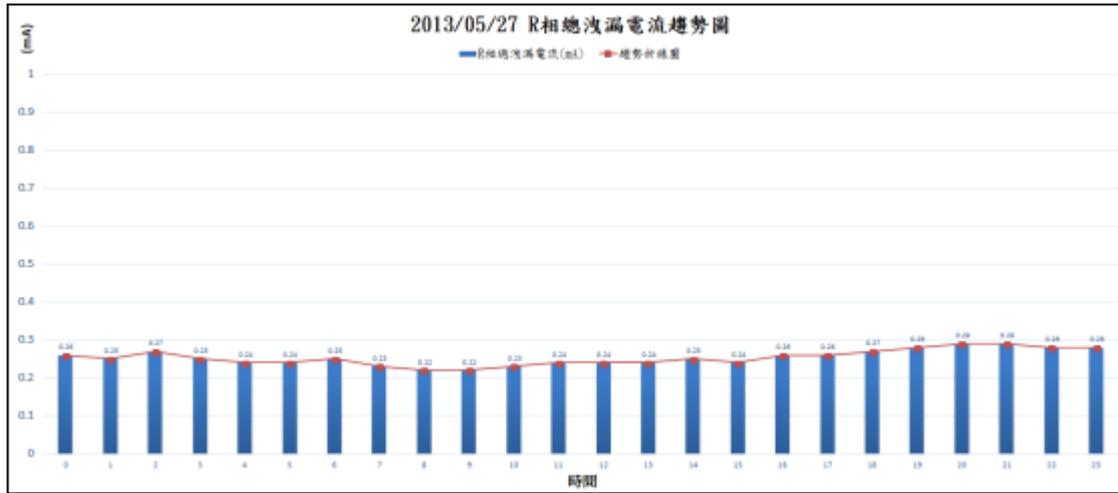


圖 7.23 R 相總洩漏電流趨勢圖

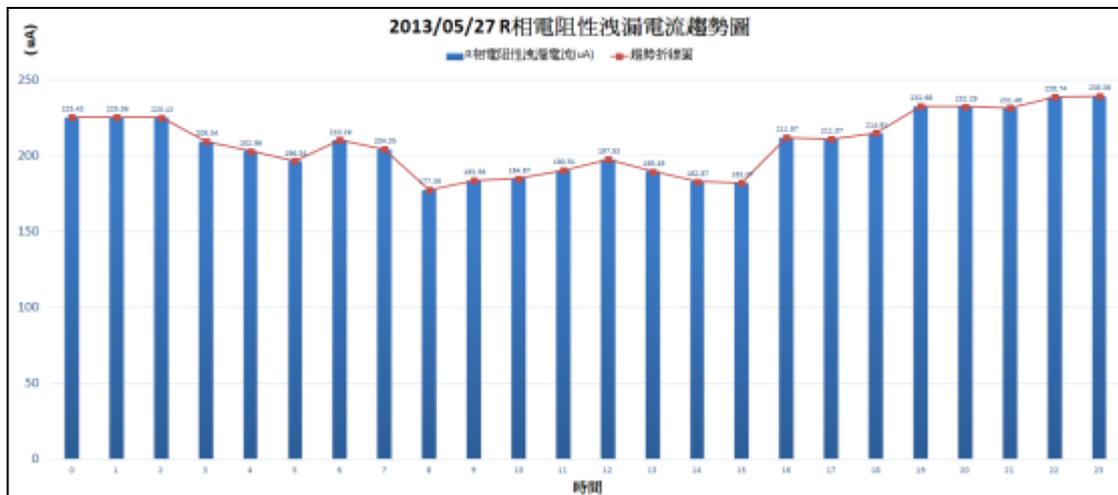


圖 7.24 R 相電阻性洩漏電流趨勢圖

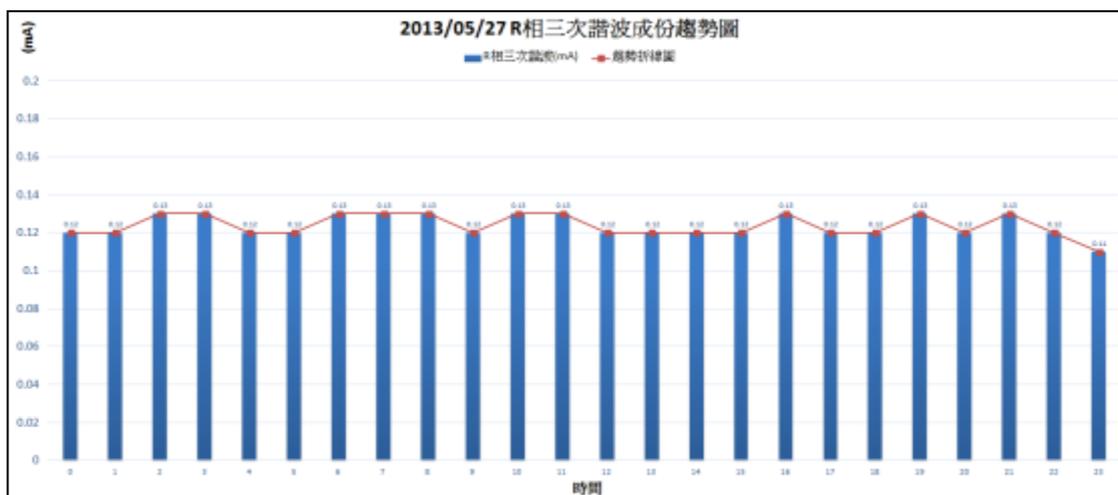


圖 7.25 R 相三次諧波成份趨勢圖

圖 7.26、圖 7.27 為 ABB Excourt II 擷取之總洩漏電流以及電阻性洩漏電流資料。由以下資料計算得知，相角大約為  $74^{\circ}\sim 77^{\circ}$  之間，研究團隊將參考此值進行補償。

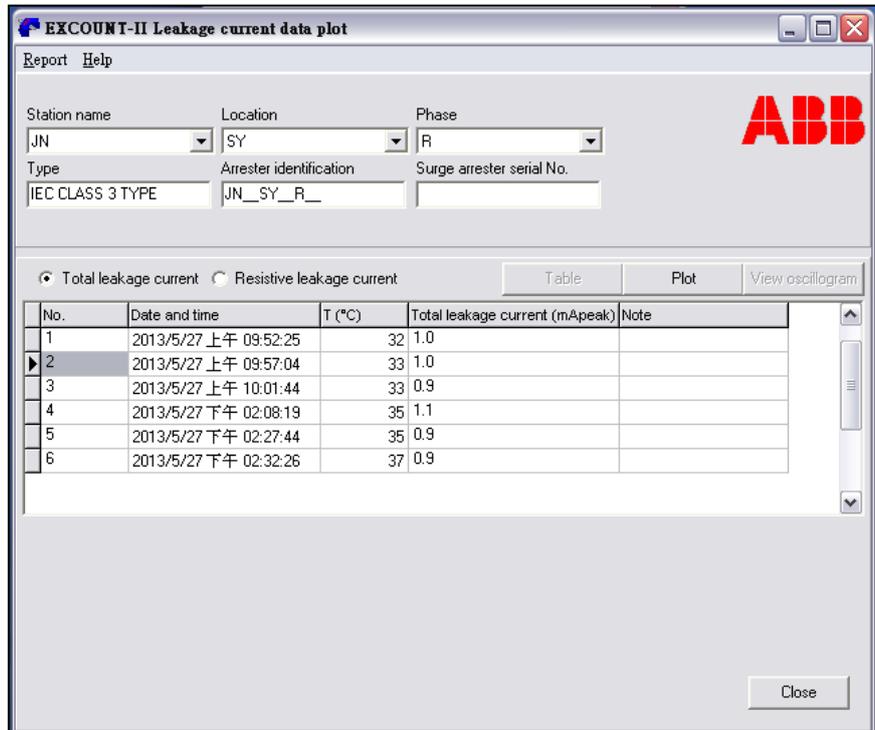


圖 7.26 ABB Excourt II 總洩漏電流擷取系統畫面

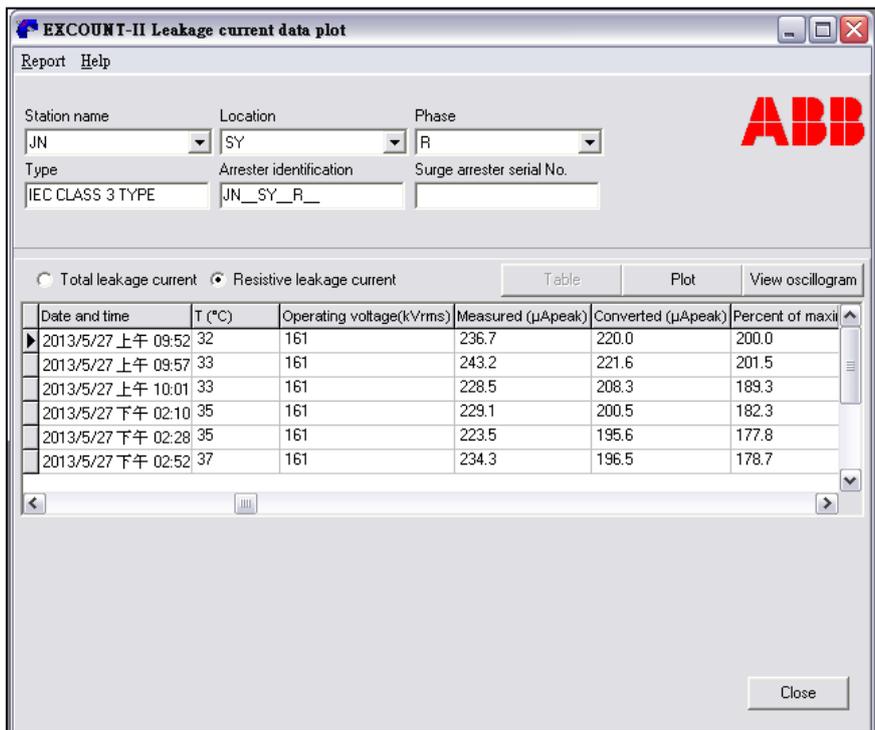


圖 7.27 ABB Excourt II 電阻性洩漏電流擷取系統畫面

利用 ABB Excount II 資料進行相位修正補償，利用統計值估算  
得到等式：

$$y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (7-1)$$

其中  $y$  = 相位補償量

$X_1$  = 總洩漏電流

$X_2$  = 電阻性洩漏電流

$\varepsilon$  = 隨機誤差

兩自變數  $X_1$ 、 $X_2$  的估計值公式：

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (y_i - \bar{y}) - \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 - [\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2)]^2} \quad (7-2)$$

$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2) \times (y_i - \bar{y}) - \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \times \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 - [\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2)]^2} \quad (7-3)$$

$$\varepsilon = \bar{y}_i - \beta_1 \times \bar{x}_1 - \beta_2 \times \bar{x}_2 \quad (7-4)$$

其中  $y_i$  = 相位補償修正值的第  $i$  個值

$\bar{y}_i$  = 相位補償修正值的平均值

$x_{ki}$  = 第  $k$  個自變數第  $i$  個值

$\bar{x}_1$  = 所有總洩漏電流樣本值的平均值

$\bar{x}_2$  = 所有電阻性洩漏電流樣本值的平均值

$\beta_1$ 、 $\beta_2$  = 參數估計值

計算過程如下：

表 7.4 為 5 月 27 日新營#19 監測站 R 相避雷器之數據表，將利用以下數據計算其相位補償等式。

表 7.4 計算樣本表

時間(hr) i	總洩漏電流(mA) $x_{1i}$	電阻性洩漏電流( $\mu$ A) $x_{2i}$	相位補償修正值( $^{\circ}$ ) $y_i$
00	0.26	225.43	45.67
01	0.25	225.56	51.67
02	0.27	225.13	41.67
03	0.25	209.34	41.67
04	0.24	202.96	41.77
05	0.24	196.34	41.67
06	0.25	210.29	41.67
07	0.23	204.35	48.67
08	0.22	177.39	41.67
09	0.22	183.56	41.67
10	0.23	184.87	38.67
11	0.24	190.51	38.67
12	0.24	197.53	41.67
13	0.24	189.49	37.67
14	0.25	182.87	33.67
15	0.24	182.07	35.67
16	0.26	211.97	41.67
17	0.26	211.07	41.67
18	0.27	214.91	40.67
19	0.28	232.68	41.67
20	0.29	232.29	39.57
21	0.29	231.46	40.67
22	0.28	238.74	44.67
23	0.28	239.38	43.77

計算結果如下表 7.5：  
表 7.5 利用 5/27 數據樣本計算之結果

時間(hr) i	總洩漏電流 (mA) $x_{1i}$	電阻性洩漏電 流( $\mu$ A) $x_{2i}$	相位補償修正 值( $^{\circ}$ ) $y_i$	$x_{1i} - \bar{x}_1$	$x_{2i} - \bar{x}_2$	$y_i - \bar{y}$	$(x_{1i} - \bar{x}_1)^2$	$(x_{2i} - \bar{x}_2)^2$	$(x_{1i} - \bar{x}_1) \times (y_i - \bar{y})$	$(x_{2i} - \bar{x}_2) \times (y_i - \bar{y})$	$(x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2)$
00	0.26	225.43	45.67	0.006666667	17.08875	4.079167	4.44444E-05	292.0253766	0.027194447	69.70786507	0.113925
01	0.25	225.56	51.67	-0.003333333	17.21875	10.079167	1.11111E-05	296.4853516	-0.03359722	173.5506568	-0.057395833
02	0.27	225.13	41.67	0.016666667	16.78875	0.079167	0.000277778	281.8621266	0.00131945	1.329114971	0.2798125
03	0.25	209.34	41.67	-0.003333333	0.99875	0.079167	1.11111E-05	0.997501563	-0.00026389	0.079068041	-0.003329167
04	0.24	202.96	41.77	-0.013333333	-5.38125	0.179167	0.000177778	28.95785156	-0.00238889	-0.96414241	0.07175
05	0.24	196.34	41.67	-0.013333333	-12.00125	0.079167	0.000177778	144.0300016	-0.00105556	-0.95010295	0.160016667
06	0.25	210.29	41.67	-0.003333333	1.94875	0.079167	1.11111E-05	3.797626563	-0.00026389	0.154276691	-0.006495833
07	0.23	204.35	48.67	-0.023333333	-3.99125	7.079167	0.000544444	15.93007656	-0.16518056	-28.2547252	0.093129167
08	0.22	177.39	41.67	-0.033333333	-30.95125	0.079167	0.001111111	957.9798766	-0.0026389	-2.45031760	1.031708333
09	0.22	183.56	41.67	-0.033333333	-24.78125	0.079167	0.001111111	614.1103516	-0.0026389	-1.96185721	0.826041667
10	0.23	184.87	38.67	-0.023333333	-23.47125	-2.920833	0.000544444	550.8995766	0.06815277	68.55560155	0.5476625
11	0.24	190.51	38.67	-0.013333333	-17.83125	-2.920833	0.000177778	317.9534766	0.03894444	52.08210343	0.23775
12	0.24	197.53	41.67	-0.013333333	-10.81125	0.079167	0.000177778	116.8831266	-0.00105556	-0.85589422	0.14415
13	0.24	189.49	37.67	-0.013333333	-18.85125	-3.920833	0.000177778	355.3696266	0.052277773	73.91260309	0.25135
14	0.25	182.87	33.67	-0.003333333	-25.47125	-7.920833	1.11111E-05	648.7845766	0.026402777	201.7535176	0.084904167
15	0.24	182.07	35.67	-0.013333333	-26.27125	-5.920833	0.000177778	690.1785766	0.07894444	155.547684	0.350283333
16	0.26	211.97	41.67	0.006666667	3.62875	0.079167	4.44444E-05	13.16782656	0.00052778	0.287277251	0.024191667
17	0.26	211.07	41.67	0.006666667	2.72875	0.079167	4.44444E-05	7.446076563	0.00052778	0.216026951	0.018191667
18	0.27	214.91	40.67	0.016666667	6.56875	-0.920833	0.000277778	43.14847656	-0.015347217	-6.048721769	0.109479167
19	0.28	232.68	41.67	0.026666667	24.33875	0.079167	0.000711111	592.3747516	0.00211112	1.926825821	0.649033333
20	0.29	232.29	39.57	0.036666667	23.94875	-2.020833	0.001344444	573.5426266	-0.07409721	-48.39642431	0.878120833
21	0.29	231.46	40.67	0.036666667	23.11875	-0.920833	0.001344444	534.4766016	-0.033763877	-21.28850792	0.8476875
22	0.28	238.74	44.67	0.026666667	30.39875	3.079167	0.000711111	924.0840016	0.08211112	93.60282784	0.810633333
23	0.28	239.38	43.77	0.026666667	31.03875	2.179167	0.000711111	963.4040016	0.05811112	67.63861972	0.8277
合計	6.08	5000.19	998.18	0	0	0	0.009933333	8967.889463	0.104333333	849.173375	8.2903
平均值	0.253333333	208.34125	41.590833								

依照上表 7.5 全日統計數據結果可得：

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (y_i - \bar{y}) - \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 - \left[ \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \right]^2}$$

$$= \frac{8967.88946 \times 0.104333333 - (8.2903) \times (849.173375)}{0.009933333 \times 8967.88946 - (8.2903)^2} = -299.9343$$

$$\beta_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2) \times (y_i - \bar{y}) - \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \times \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \times \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 - \left[ \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1) \times (x_{2i} - \bar{x}_2) \right]^2}$$

$$= \frac{0.009933333 \times 849.173375 - 8.2903 \times 0.104333333}{0.009933333 \times 8967.88946 - (8.2903)^2} = 0.371963$$

$$\varepsilon = \bar{y}_i - \beta_1 \times \bar{x}_1 - \beta_2 \times \bar{x}_2 = 41.590833 - (-299.9343) \times 0.253333333 - 0.371963 \times 208.34125$$

$$= 40.07906$$

利用以上計算之係數得到一補償方程：

$$y = 0.371963X_1 - 299.9343X_2 + 40.07906 \quad (7-5)$$

日後隨著數據樣本群之增加會讓式(7-5)趨近收斂。

利用 LCMII 檢驗儀校準時發現錶頭有無 ByPass 時其量測數據差異很大的現象。在第三次期中報告會議中決議確立將新營-下營二路 JCQ type 比照龍崎 E/S 改為 CT type。

測試結果如下：

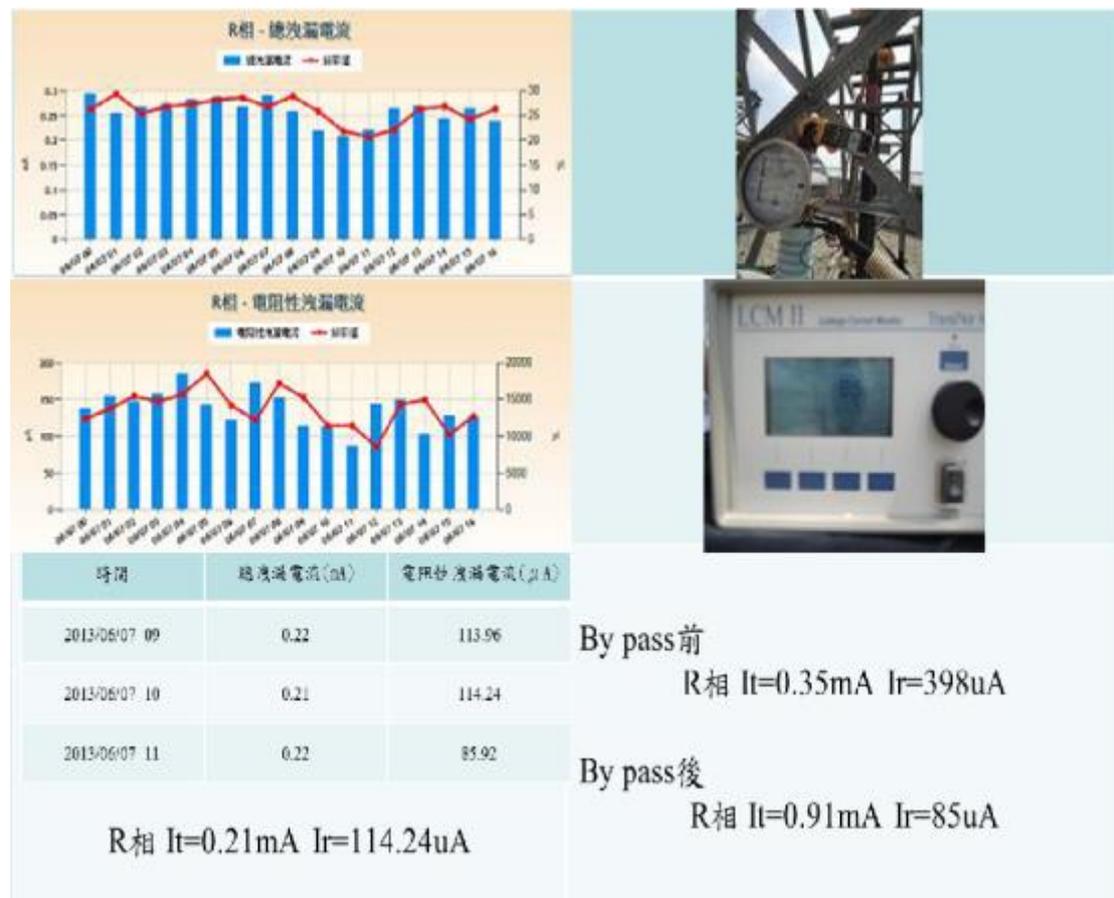


圖 7.28 新營-下營二路 R 相測量值比較

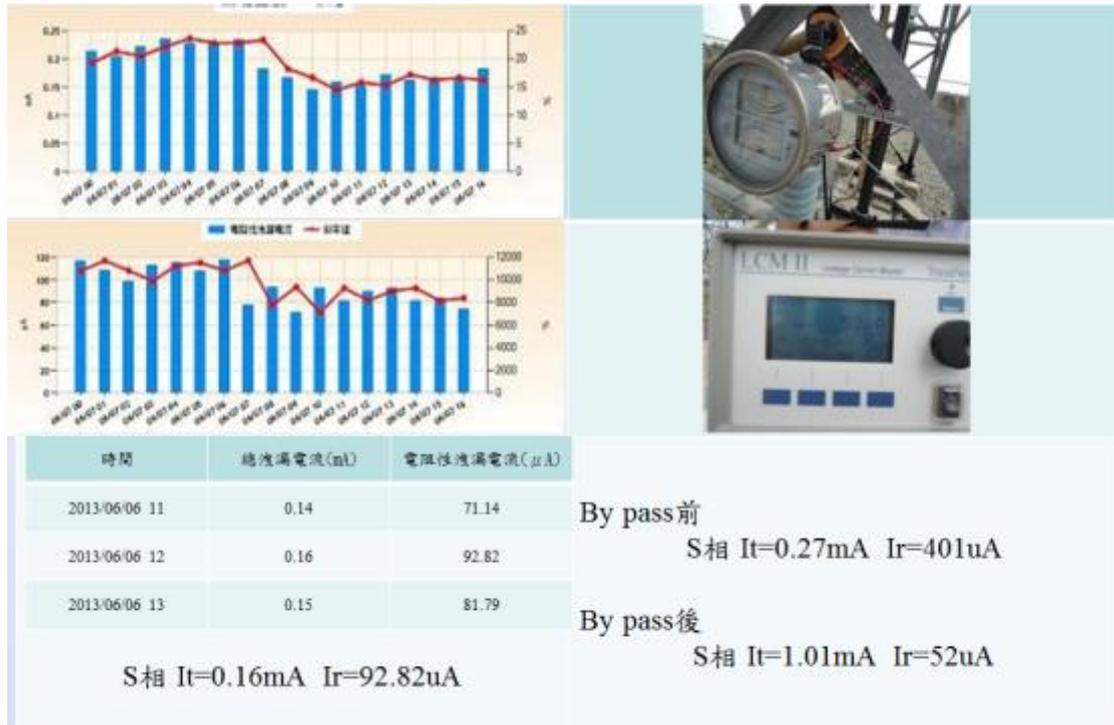


圖 7.29 新營-下營二路 S 相測量值比較

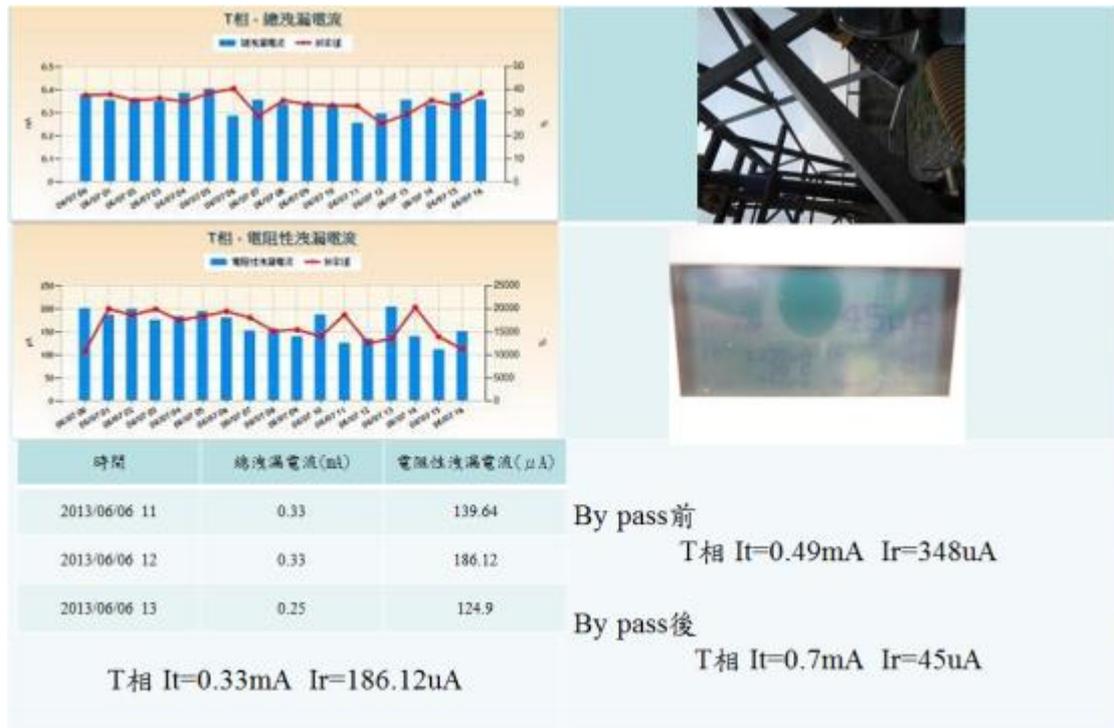


圖 7.30 新營-下營二路 T 相測量值比較

(二) 表 7.6 為龍崎站 8 月份的資料。圖 7.31 R 相總洩漏電流趨勢圖~圖 7.33 為各相總洩漏電流趨勢圖，圖 7.34 ~圖 7.36 各相電阻性洩漏電流趨勢圖，圖 7.37~圖 7.39 各三次諧波成份趨勢圖。由於資料量不足且暫無市售量測系統作同步校對，故未能建立迴歸方程式提供補償資訊，日後待資料足夠時再進一步建立其數學方程式。

表 7.6 龍崎站監測資料

站點：龍崎 E/S														
時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	溼度(%)
2013/08/01	0.61	0.54	0.55	95.43	103.04	76.55	81.09	79.25	82.38	0.04	0.06	0.02	27.72	91.85
2013/08/02	0.61	0.53	0.55	105.93	119.22	67.03	80.36	76.99	82.88	0.04	0.06	0.02	28.41	87.26
2013/08/03	0.62	0.54	0.54	96.99	93.77	93.77	81.07	80.41	80.05	0.07	0.09	0.01	26.96	101.91
2013/08/05	0.62	0.55	0.57	118.3	151.6	98.98	79.37	74.12	80.14	0.04	0.03	0.02	29.03	84.48
2013/08/06	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	77.94	81.36	77.67	82.08	0.04	0.04	0.02	29.37	74.95
2013/08/07	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	86.04	80.57	78.81	81.34	0.05	0.06	0.02	28.74	85.83
2013/08/08	0.62	0.54	0.55	96.99	121.47	76.55	80.95	77.27	82.28	0.04	0.05	0.02	29.11	81.28
2013/08/09	0.62	0.54	0.56	86.29	112.27	68.25	81.56	78.17	83.06	0.05	0.05	0.02	28.98	80.04
2013/08/10	0.62	0.54	0.56	107.66	93.77	77.94	80.03	79.69	81.93	0.05	0.04	0.02	28.83	84.34
2013/08/11	0.61	0.53	0.54	105.93	110.19	65.81	79.59	78.39	83.13	0.05	0.04	0.02	29.2	86.08
2013/08/12	0.62	0.53	0.54	86.29	110.19	65.81	82	77.62	82.56	0.04	0.03	0.02	28.99	88.66
2013/08/13	0.62	0.53	0.56	139.47	110.19	87.6	77.47	78.16	81.28	0.05	0.02	0.02	28.93	93.93
2013/08/14	0.61	0.53	0.55	137.22	110.19	76.55	77.33	77.94	81.69	0.05	0.07	0.02	28.19	92.64
2013/08/15	0.61	0.53	0.55	105.93	101.13	76.55	80.27	78.89	82.2	0.06	0.09	0.02	27.99	94.34
2013/08/16	0.61	0.53	0.54	116.39	101.13	84.47	78.63	79.1	81.42	0.05	0.1	0.02	28.31	91.33
2013/08/17	0.6	0.53	0.54	83.5	119.22	84.47	82.05	76.94	80.98	0.05	0.07	0.02	28.44	91.81
2013/08/18	0.62	0.54	0.55	96.99	112.27	86.04	80.84	78.32	80.8	0.05	0.05	0.02	28.92	84.59
2013/08/19	0.62	0.54	0.55	96.99	93.77	57.49	80.61	79.94	83.64	0.05	0.05	0.02	29.2	83.04
2013/08/20	0.61	0.52	0.53	116.39	90.3	64.59	79.08	80.44	83.11	0.06	0.05	0.02	27.92	101.33
2013/08/21	0.59	0.51	0.5	102.45	88.56	52.26	79.6	79.6	83.59	0.06	0.08	0.02	28.26	96.98
2013/08/22	0.55	0.5	0.45	142.35	78.22	39.22	75.08	81.38	84.71	0.07	0.04	0.02	28.48	99.47
2013/08/23	0.54	0.5	0.43	112.27	86.82	37.48	77.9	80.39	84.8	0.07	0.07	0.01	27.61	101.59
2013/08/24	0.59	0.53	0.5	92.3	101.13	52.26	81.18	79.24	83.62	0.05	0.05	0.02	28.91	86.71
2013/08/25	0.6	0.53	0.53	83.5	101.13	64.59	81.86	78.68	82.72	0.06	0.05	0.02	28.16	91.6

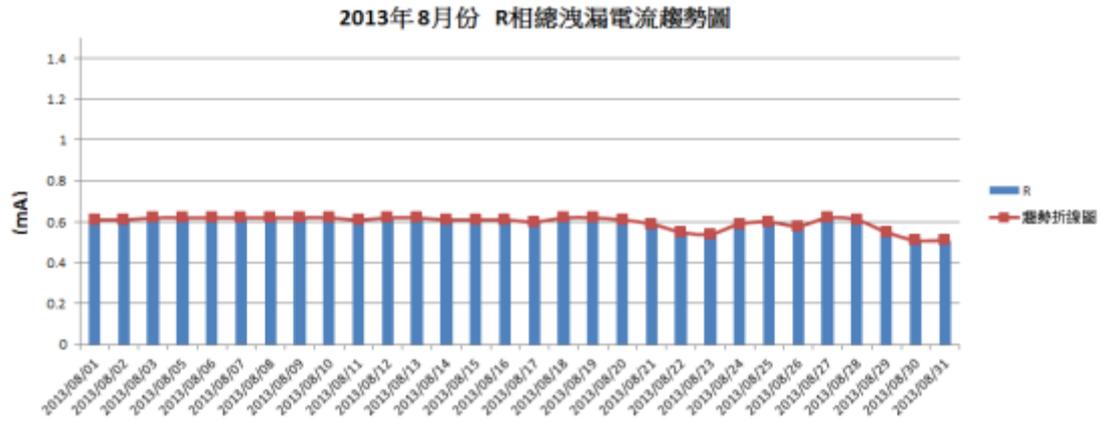


圖 7.31 R 相總洩漏電流趨勢圖

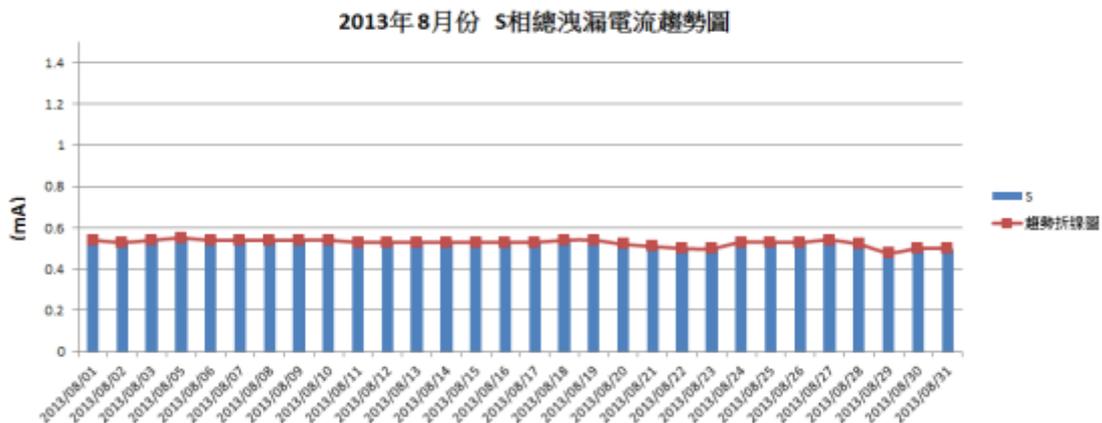


圖 7.32 S 相總洩漏電流趨勢圖

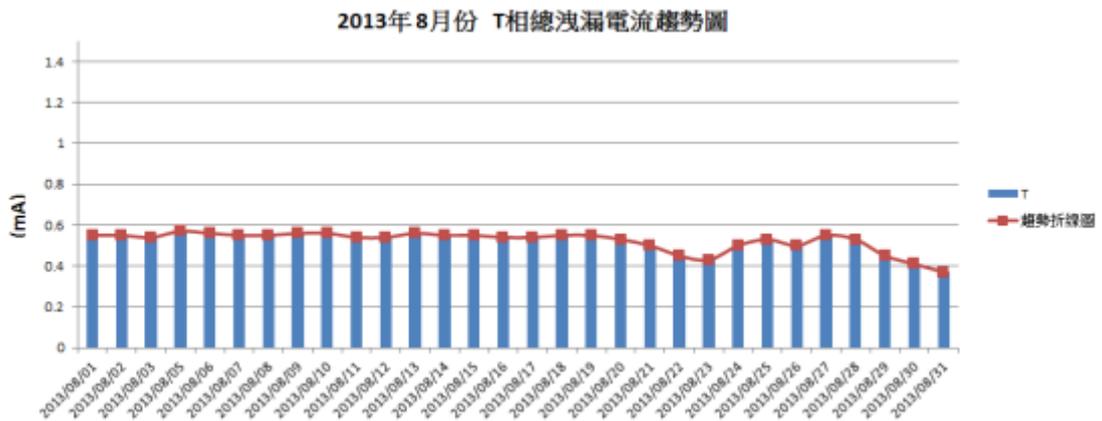


圖 7.33 T 相總洩漏電流趨勢圖

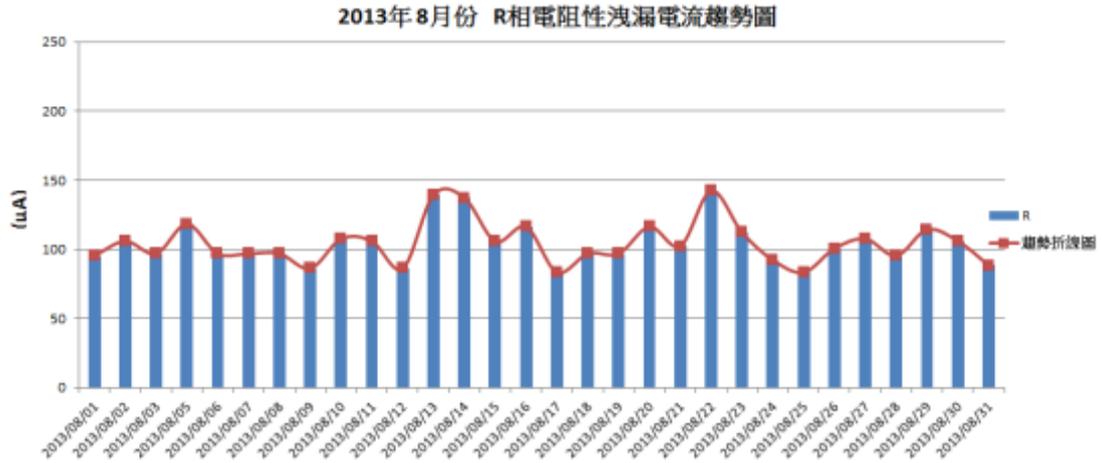


圖 7.34 R 相電阻性洩漏電流趨勢圖

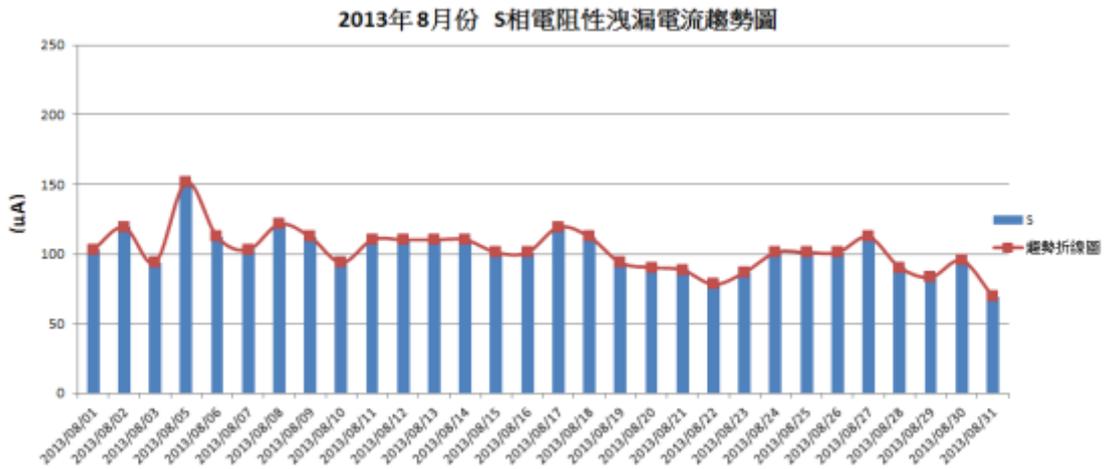


圖 7.35 S 相電阻性洩漏電流趨勢圖



圖 7.36 T 相電阻性洩漏電流趨勢圖

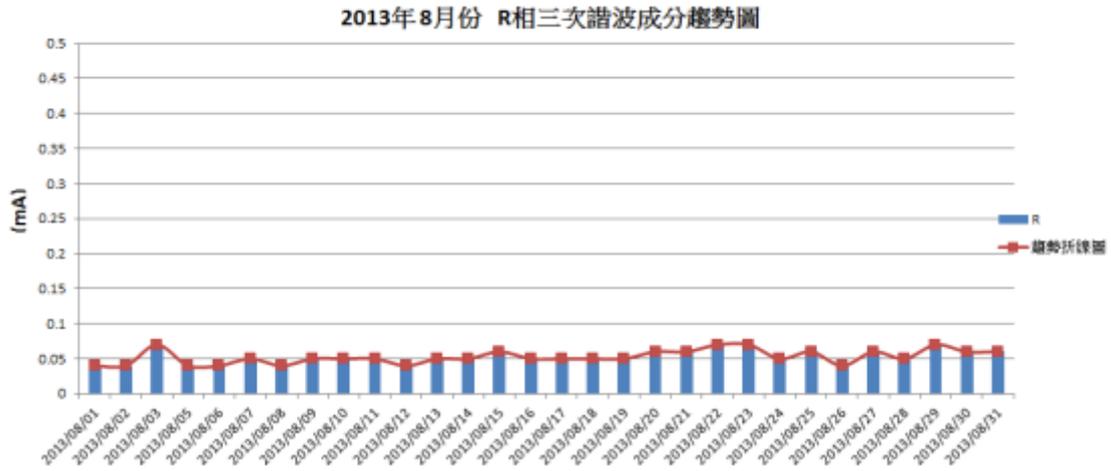


圖 7.37 R 相三次諧波成份趨勢圖

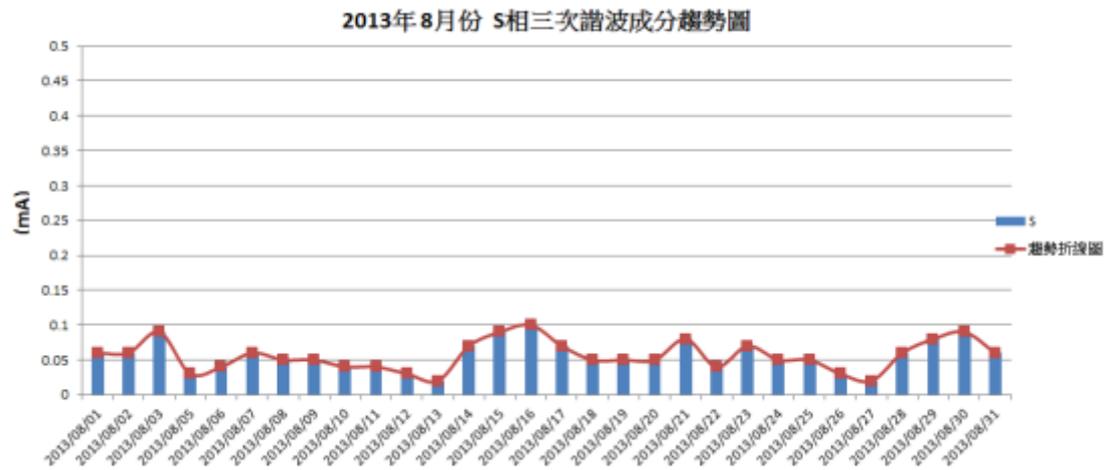


圖 7.38 S 相三次諧波成份趨勢圖

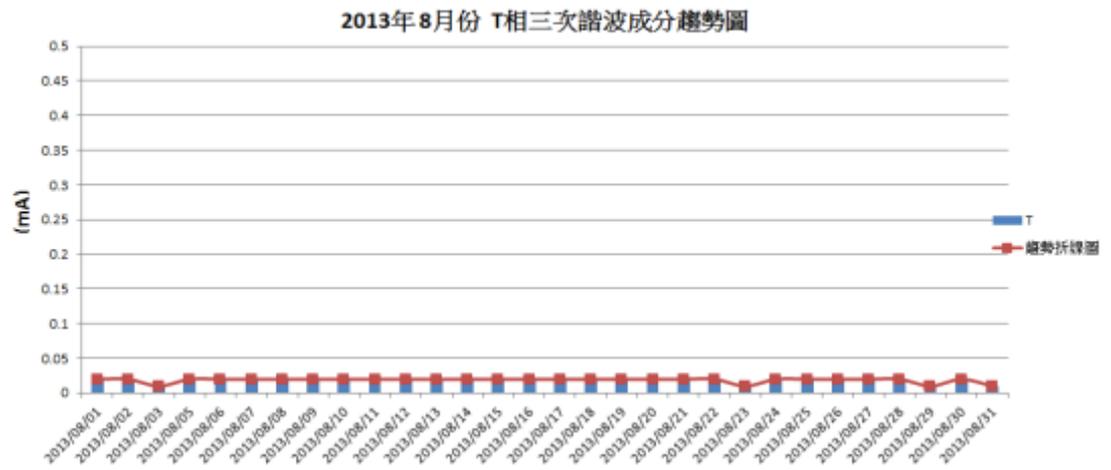


圖 7.39 T 相三次諧波成份趨勢圖

### 7.2.3 補償原理

假定系統是穩定時，若以 S 相為例，由感應電盤感應出來的 S 相感應電壓  $V_G$ ，與 S 相 MOA 電流  $I_S$  間可測得兩者間之夾角為  $\Phi_{SG}$ ，其空間上感應電壓  $V_G$  與原參考電壓  $V_S$  間存在著一特定偏差角度，而本案開發的量測系統即是實際量測到  $\Phi_{SG}$  角度而已  $\Phi_{SG}$ ，故須另外加上一補償角度  $\Phi_{(S)}$  將空中電場還原至參考電位  $V_S$  向量位置才能運算出真實的阻值分量夾角，如下圖所示  $\Phi_{(S)} = \Phi_S - \Phi_{SG}$ 。

$\Phi_S$  是  $I_S$  與  $V_S$  的夾角(一般為 80 度左右)， $\Phi_{(S)}$  是一校正角， $\Phi_{SG} + \Phi_{(S)}$  可算得  $V_S$  原始相位。在沒有相間干擾的情況下， $\Phi_S$  大多在 81 度~86 度之間， $\Phi_S$  小於 75.5 度時則需要注意檢測。

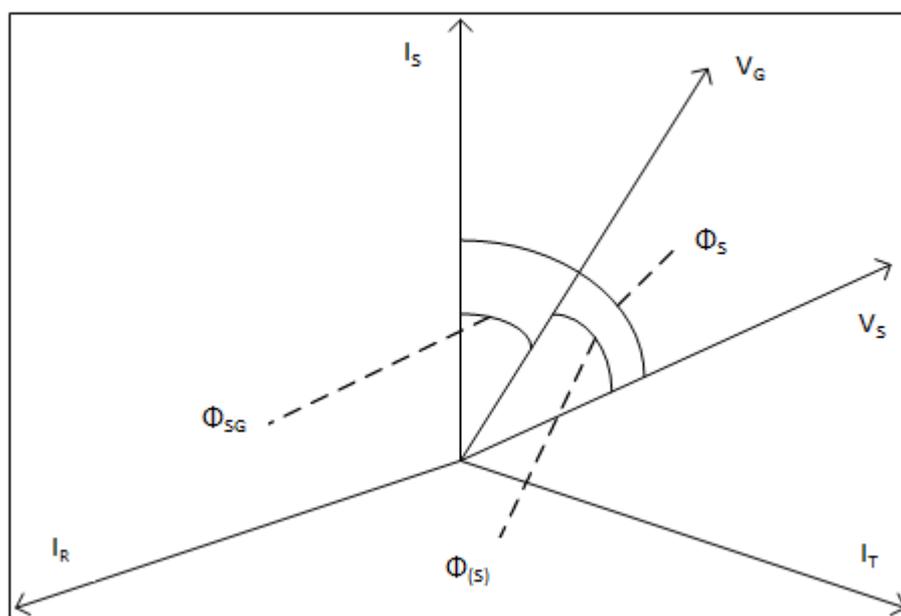


圖 7.40 電流電壓向量圖

## 7.3 成本與性能分析

### 7.3.1 成本與性能分析

研究團隊自主開發的避雷器線上監測系統採現地固定式安裝與量測架構，故本小節則僅針對台電供電區處現行較為普遍採用的同款國外大廠固定式系統(ABB ExcourtII)來對照比較，並歸納為成本與性能兩部分角度來作對照探討。為具體比較兩者的建置成本的差異，兩者先設定採用相同的基數條件(監測二站點，共六套量測設備並搭配一套軟體)來對照。如下表 7.7 為台電嘉南供電區處評估 100~102 年期間而推估的採購 ABB Excourt II 避雷器監測系統的預算成本。而下表 7.8 則為本計畫自製的系統建置成本表。特別要說明的是，兩表中只針對設備成本羅列並不含實際現地安裝的人力成本。換言之，兩表則呈現了系統的軟體/硬體原始的建置成本。

由表 7.7 與表 7.8 對照可以得知，ABB Excourt II 比本案自製的系統價格還高了約 30 萬左右，主要是在後端分析和資料收集軟體和紅外線接收器裝置報價很昂貴，分別佔整體售價的四成和二成，研判可能已隱含後續技術及業務人員售後服務的成本於其中。相對於表 7.8 本案開發的系統，其比較高的成本支出主要是操之於高精度的進口特製比流器設備上，就佔了整體研發成本的一半之強，主因為特製品而本案需求數量少故供應商無法提供更佳的價格優惠，此點也是研究團隊可以再降低研發成本而後續可以努力之處。

綜言之，單就在設備投資成本部分，本案自製系統比起國際大廠 ABB 系統具備有較佳的競爭優勢，但產品的價值仍須從呈現的性能上做比較才能客觀，後面則就性能面向作一對照的探討。

表 7.7 ABB Excourt II 避雷器線上監測系統採購成本

品名	單價(元)	數量	小計(元)
量測裝置	68,000	6	408,000
數據接收器(紅外線)	220,000	1	220,000
PC based 軟體	400,000	1	400,000
總 計			1,028,000

資料來源：嘉南供電區處提供採購參考價格

表 7.8 自製避雷器線上即時監測系統建置成本

品名	單價(元)	數量	小計(元)	備註
量測電路	35,000	6	210,000	含白鐵箱體
感應電盤	6,000	6	36,000	
感應比流器	60,000	6	360,000	日本製訂製高精度
Web based 軟體	100,000	1	100,000	
總 計			706,000	

下頁表 7.9 為兩固定式監測系統的綜合性能對照，其針對建置成本、平台架構、人機操作界面、數據採集方式、維護管理、線上監測功能、遠距即時監控/異常警報通知/權限管理/統計報表匯出功能、未來擴充或整合性及技術掌握度等眾多面向進行比較。從表 7.9 中顯而易見，本案採行微處理機核心技術搭配 GPRS 無線通訊技術的自製系統其綜合各面向都具備有較佳的優勢，可提供的服務功能也較為完善，更加強應用面的廣度與深度，且納入了人員後續維護與擴充性的需求考量，針對客製化需求也較能因應，相較於國外的產品仍只專注於量測系統的基本功能來說，更具有推廣的價值，故相當適合落實在台電公司此等具有龐大的避雷器管理及使用需求的企業用戶上。

表 7.9 固定式監測系統綜合性能對照表

系統 面向	ABB Excourt II	自製線上監測系統	備註
投資建置成本	較高	較低	僅針對設備，不含後續通訊維護建置費用
平台架構	PC-based 單機	開放式 Web-based	
人機操作界面	英文	中文化，管理人員容易上手，界面親和度高。	
數據採集方式	採用紅外線接收器現地取樣，再使用 USB 介面讀入 PC 端	採 GPRS/3.5G 無線方式傳輸進遠端伺服器主機	自製系統通訊媒介可視系統需要調整
維護管理	較不便利，人員須定期現地量測取樣(干擾環境則量測耗時不易)，數據取得亦非即時。	方便且完全自動化，且後端人機管理介面簡單，人員可隨時即時遠端獲取最新避雷器資訊，並以統計報表輸出。	
線上即時監測功能	無	具備	
遠距即時監控/異常警報通知/權限管理/統計報表匯出	無	具備	
未來擴充或整合性	較困難	容易	通訊/技術整合/資料庫管理/需求支援性
技術掌握度	國外廠商把持	自主技術開發，可隨時配合需求客製功能修改。	

總言之，無論於建置成本或是性能面向來比較兩系統，本案所自製開發的系統確實都有優勢，因具有較高的 C/P 值，倘若能邁向商品化推廣於市場上也將能迫使一些國外設備商大廠為爭食台電大餅而進行良性競爭，以提供更佳的功能與售價誘因，製造出雙贏的局面。

以目前自製系統投入市場競爭態勢來分析之，缺乏的只是沒有商品化和實際案例實蹟得以驗證其優勢。再者，品牌價值也是目前國際著名大廠得以在國內推廣時受到信賴的主要因素。然而，本小節僅比較具體可量化的初期建置成本和系統可提供的功能服務方面來做比較，後續運轉後所獲致產生的無形效益並無在此小節被來探討，若將此部份也考量其中，長期運轉下將會更突顯本案開發之採行自動化在線監測系統之優勢所在。不論如何，本系統在未來可能面臨商品化進程時，還有許多值得關注的事項，例如：如何降低研發成本、強化系統抗干擾能力、縮少系統體積和精緻化，才能適應市場之競爭之未來需求。

## 第八章 避雷器之維護與檢查[27]

本章節將對廠家之避雷器構造、性能及運轉維護事項進行介紹。

### 8.1 GE 製 161 kV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法[27]

#### 一. 構造

GE 製閘流式 (Thyrite) 係美國奇異公司研製，此種避雷器係取用 Thyrite 絕緣材料做其阻抗元件，故又稱之為賽萊特式避雷器 (Thyrite Arrester)。此避雷器之內部構造如圖 8.1，外型如圖 8.2。賽萊特式避雷器之構造可分為兩大部份：

#### (一) 阻抗元件 (Impedance Element)

採用碳化矽 (SiC 加極少量導電材料混合壓縮燒成之多孔質材料形狀呈圓餅，直徑約 6 吋 (15.2 厘米)，厚 1 吋，在圓餅上下表面噴敷銅粉做為電的接觸用，每一只圓餅可承受電壓 1500V，按使用電壓之多寡依序將圓餅串聯疊加。

此種材料製成之阻抗元件之電阻係非線性者 (Non-linear)。在未達臨界電壓時，此種阻抗元件係良好之絕緣體，當電壓超過臨界值，阻抗元件之電阻突然減低，使其變為良好之導體，將異常電壓引導經串聯間隙而至大地。

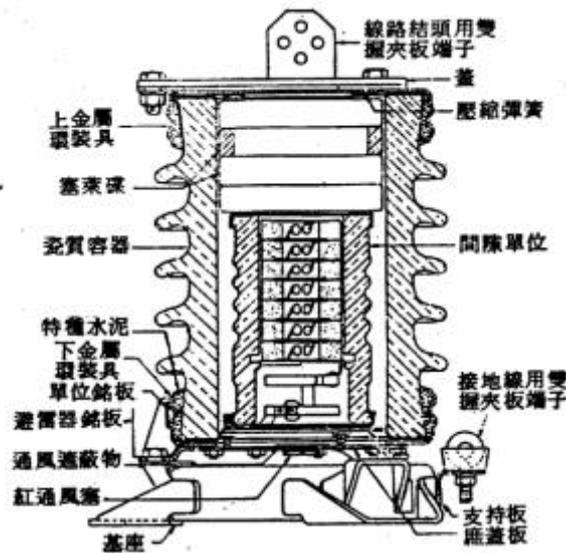


圖 8.1 GE 賽萊特式避雷器斷面圖[27]

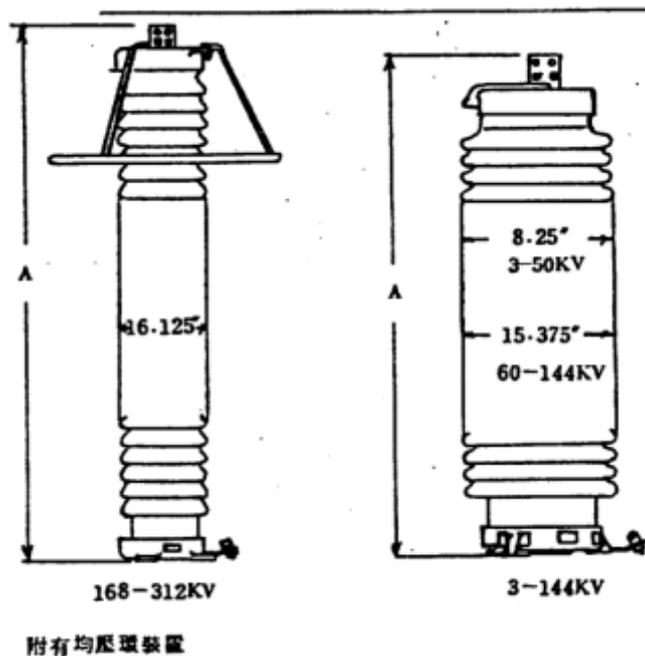


圖 8.2 GE, ALUGARD 賽萊特避雷器外型圖[27]

## (二) 串聯間隙 (Series Gap)

串聯間隙作用是決定避雷器之放電開始電壓，並作啟斷續流 (Follow current) 之用。閘流式避雷器備有兩個瓷殼，內瓷殼內設串聯間隙，利用兩金屬體設計成犄角形之間隙，每隙置於隔成之腔內，並予以密閉。內殼之上堆置圓餅，圓餅上端用彈簧壓緊固定。

對於較高電壓之避雷器，因串聯間隙之靜電容量影響，將使電壓分佈不均勻致放電特性不良，改善電壓分佈之方法是在串聯間隙之頂部設遮蔽環。

## 二. 動作原理

在應用系統裡除了正常運轉之額定電壓外，尚有開關突波，雷擊波（如圖 1-4 所示）所產生的異常高電壓，這些突波產生的異常高電壓，其所產生之時間是非常快速的，約為數百萬分之一秒，如果讓這些異常電壓施加在系統設備上，設備絕緣將無法承受，因此，避雷器就擔任保護系統設備的主要任務。

避雷器之一端接上導線通以電壓，另一端接至大地，當異常電壓出現時，由於避雷器內阻抗元件係非線性電阻，即電壓低時電阻高，電壓高時電阻低，因此避雷器開始動作，突波電流通過阻抗元件之非線性電阻，並擊穿串聯間隙而放電至大地。

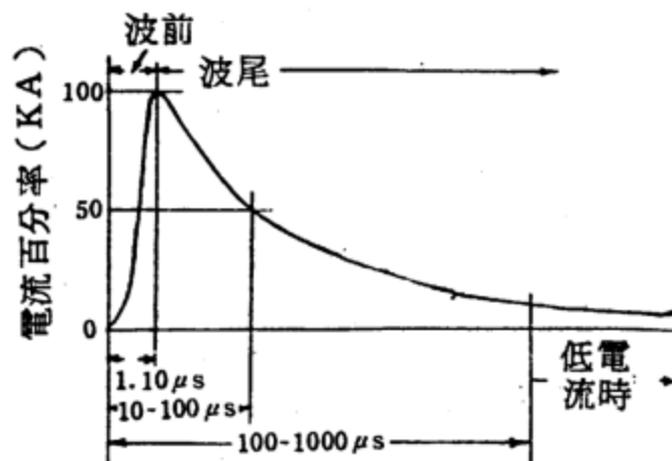


圖 8.3 雷擊波電流波形[27]

### 三. 外部檢查

避雷器在使用中因受各種因素之影響可能會減低原有之性能，因此在每隔一段時間後必須加以檢查，以策安全，檢查項目包括：

#### (一)礙管

經常加壓中之避雷器如發現礙管表面無光澤或礙管葉片有飛弧（flash-over）現象時，可能礙管本身有劣化之趨勢，造成其劣化之原因可能係由於：

1. 反覆受到異常電壓衝擊，致使礙管瓷體（porcelain）發生電氣的破壞。
2. 礙管原有微小裂縫在長年加壓使用逐漸擴大，使瓷體本身吸收水份而失去絕緣耐力。
3. 瓷體與膠接之金屬物因不同之膨脹率而在瓷體內發生應力。

#### (二)端子、夾板及引線

運轉中避雷器如電源端引線發生脫落時，則失去保護效果，如係接地端引線脫落，則在異常電壓衝擊下，避雷器無法將異常電壓所產生的大能量洩放於大地，那麼避雷器將有被炸毀之可能。

(三)鹽塵害由於空氣中鹽塵飄浮附著於礙管表面，當造成過份污染時，對於串聯間隙之電位分佈會有影響，同時放電開始電壓亦會有變動。究竟鹽份附著到達多少，才會影響避雷器之性能變化，尚未有明確之定論，因此在氣候不正常或巡視時發現有異常現象時，應即做詳細檢查。

#### (四)絕緣測定

1. 絕緣電阻測定使用 DC 2500 V，測定同時應記錄當時之氣候、溫度、濕度。
2. 評判避雷器絕緣電阻之良劣，原則上以「本次測定值」與「新品時之測定值」互做比較，如有顯著之差降，程度在 50% 以上時，應立即調換或暫時拆除。
3. 如果無「新品時之測定值」可資參考時，可以「本次三相測定值」或「歷次測定值」互為比較，以為判斷之參考。

#### (五)接地電阻測定

接地電阻值之大小與故障電流有密切關係，同時為了避免發生電位差而影響工作人員之安全，因此在每年雷雨前必須測量一次，所測值應保持在  $5\Omega$  以下，唯一次變電所規定須在  $0.5\Omega$  以下，測試方法參考圖 8.4。

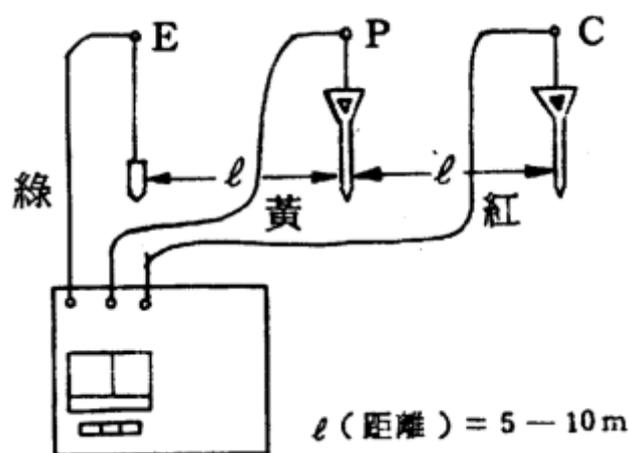


圖 8.4 接地電阻測試方法[27]

#### (六)避雷器動作次數之計算：

避雷器之動作時間非常快速，究竟其動作了多少次，亦無從確認，如果能串接一動作表示計數器，則可明確指示出動作之次數，根據其動作次數之多寡來研判其對避雷器性能之影響，以做為運轉維護之參考。

#### 四. 內部檢查

##### (一) 功率因數試驗

避雷器因試驗係以損失 (mw) 來判定，其值大小與避雷器製造廠及電壓階級有甚大之差別，非能一概而論。根據美國 doble 公司所做試驗報告，GE 公司酌予修定後暫定之避雷器功因損失 (mw) 標準值。

表 8.1 避雷器之耗損 (mw) 標準試電壓 2.5KV，單位：具[27]

製造廠 \ 電壓	12 kV	37 kV	48 kV	72 kV	144 kV
GE	30	-	-	10	3

如試驗電壓 10kV 時，依型式之維護標準(w)如

表 8.2 GE 避雷器損失特性與標準值[27]

額定電壓(kV)	型號	新裝標準	維護標準
20~50 Kv	9L11LAA020~050	0.4 Watt 以下	0.4 Watt 以下
3~18 kV	9L11LAA003~018	6.5 Watt 以下	7.5 Watt 以下
3~30 kV	9L11LAB003~922	4.5 Watt 以下	5.5 Watt 以下
60~318 kV	9L11LBA060~318	0.06 Watt 以下	0.07 Watt 以下
3~27 kV	9L11MAB003~027	5.5 Watt 以下	6.5 Watt 以下
60~312 kV	9L11MBA060~312	0.04 Watt 以下	0.05 Watt 以下
84~132 kV	9L16ABD060~740	0.08 Watt 以下	0.09 Watt 以下

##### (二) 放電特性試驗

圖 8.5 所示為產生電壓脈衝波形的結線略圖，以此方法可得較緩和的電壓上昇率（到波頂 5 $\mu$ S）之衝擊電壓，來測定避雷器之衝擊放電開始電壓，再與標準互做比較檢討其放電性能之良劣程度。放電特性試驗目前各一次變電所因試驗儀器，設備所限無法做到，因此，如欲做此試驗可委託綜研所。

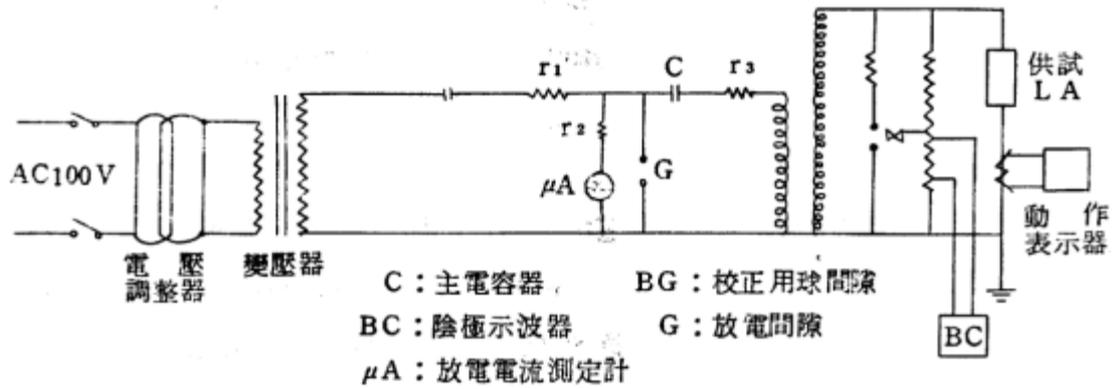


圖 8.5 試驗用脈波發生迴路圖[27]

### (三) 漏電流試驗

如圖 8.6 所示接線，將避雷器加壓，測量避雷器本身之微小電流，依其漏電流之多寡來研判其良劣程度。如避雷器串聯間隙本身有加接並聯電阻，則所測避雷器之漏電流以不大於 2mA 為原則，如避雷器串聯間隙無並聯電阻，所測漏電流以不大於 60 $\mu$ A 為原則，但以此法判定並不見得準確可靠，應以歷次所測紀錄互做比較。

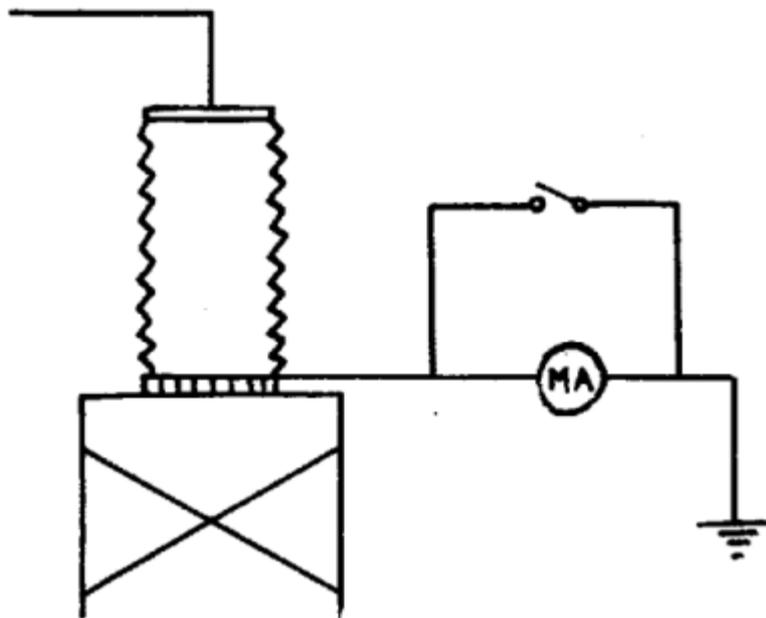


圖 8.6 漏電流試驗[27]

(四)GE 之運轉與維護標準(如表 8.3 以及表 8.4)

表 8.3 GE 製避雷器保護特性 (ALUGARD 電站型) [27]

額定電壓	型號	新裝標準	維護標準
12~37 kV	9LA2G1~G6	0.25 Watt 以下	0.3 Watt 以下
3~18 kV	9LA2D1~D4	0.4 Watt 以下	0.5 Watt 以下
3~30 kV	9LA2H12~H50	0.2 Watt 以下	0.3 Watt 以下

表 8.4 GE 製避雷器保護特性 (ALUGARD 電站型) [27]

避雷器額定電壓 kV	4.5	9	12	36	48	72	144	288	312	
衝擊飛弧開始電壓(峰值 kV)	15	25	32	90	118	166	350	640	690	
開關突波放電開始電壓(峰值 kV)	15	27	35	100	132	170	340	640	693	
60 週飛弧開始電壓(rms kV)	6.8	13.5	18	54	72	108	216	389	422	
最高放電電壓 8x20 $\mu$ s 放電電流 (峰值 kV)	1.5 kA	7.4	14.6	19.4	57.5	114	76	226	448	485
	3.0 kA	8.7	17.1	22.7	67	133	89	262	525	620
	5.0 kA	9.5	18.8	24.9	73.5	146	97.5	287	570	690
	10.0 kA	10.8	21.2	28.1	83	164	110	321	640	740
	20.0 kA	12.3	24.3	32.1	74.5	125	187	363	720	780
高度(A 英吋)	14.27	18.25	20.63	36.9	47	43.9	75.7	154.5	154.5	
重量(磅)	37	46	51	97	126	370	585	1060	1150	

## 8.2 W.H.製 161 kV 避雷器之運轉與維護[27]

### 一. 構造

Westinghouse 製 S.V 型自閥式避雷器之主要構造，為串聯間隙電極及自閥多孔圓碟串聯組成，本公司各一次變電所裝用者為單元設計式，即每一單元之避雷器，皆有串聯間隙電極和自閥多孔圓碟，按照使用電壓選擇適當數目之單位組合應用。電壓在 97KV 以上者，則此組合體應加用『均壓環』以得到良好之電壓分佈。此避雷器之內部構造如圖 8.7，外型如圖 8.8。

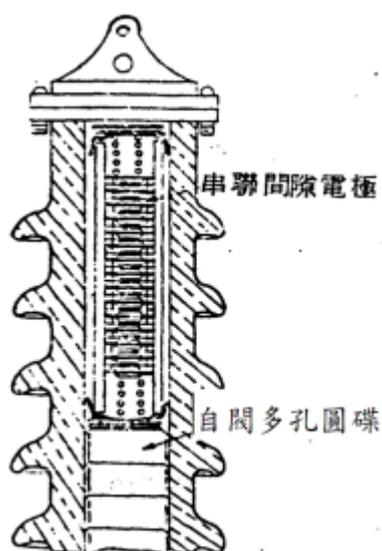


圖 8.7 WH 自閥避雷器上部斷面圖[27]

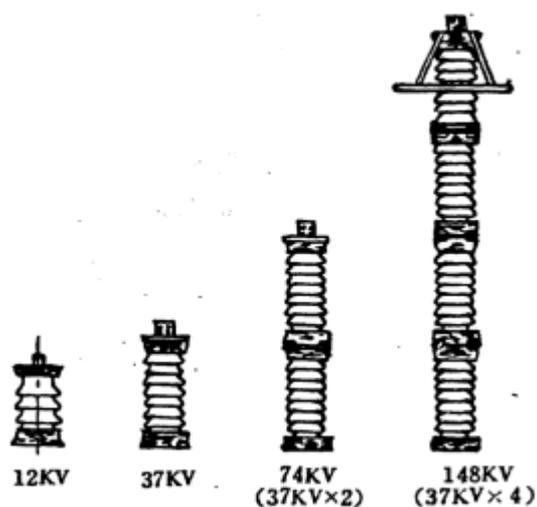


圖 8.8 WH 製 SV-SVS 自閥型避雷器外型圖[27]

每一自閥圓碟自成一單元特性要素，是以碳化矽加上極少量之導電材料，混合壓縮燒成之多孔質材料，形如圓碟，圓碟之兩端面，襯以鋁板，作為電極，側面塗以絕緣混合物，俾防止沿面放電。每節避雷器所需要圓碟之數量依電路電壓之高低串聯積疊於礙管容器內，再與串聯間隙組合而成一完整之避雷器。有串聯間隙與特性要素同一礙管者，亦有分開者。

## 二. 動作原理

此式避雷器之單元特性要素為多孔質絕緣體中，於許多微孔內作氣體放電作用，利用如閥的電壓和電流的特性，其特性曲線如圖 8.9。通常在廣大之通路內產生之電弧特性如圖中(A)曲線，若在磚瓦，輕石等多孔質之狹小孔中產生弧光時則其特性如(B)曲線，意即放電電流充滿細孔後，再增加電流則增大其電流密度，不會轉變為普通的弧光放電，若孔再狹小時，則成為(C)曲線，即小孔中產生電弧時，電弧保持很高之電壓，此原理相當於閥(Valve)作用者，故稱為自閥式避雷器 (Auto-valve Arrester)，但絕緣物為多孔性者，一般其放電開始電壓與閥電壓之差，相當大，加入少量之導電材料，予以混合，如是，閥電壓並未上昇，而放電開始電壓則顯著地降低，將兩者間之差距拉近，符合實際需要。

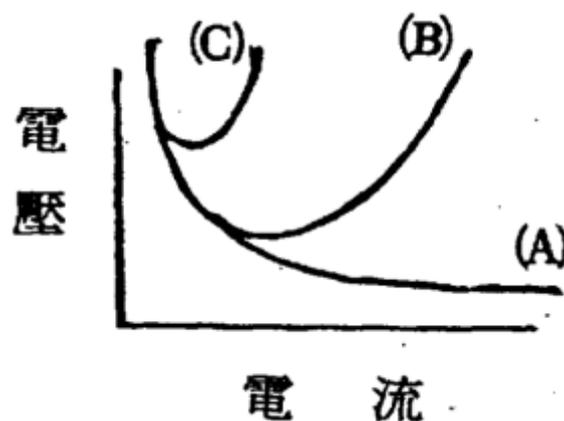


圖 8.9 V-I 特性曲線[27]

### 三. 外部檢查

- (一)端子夾板及引線，導線長度、曲度是否正常，夾板端子，螺絲有無鬆弛。
- (二)礙管：清潔、完整無缺損。
- (三)金屬部份：接頭、支架有無生鏽變形，穩固。
- (四)接地線：接地電阻應在  $0.5\Omega$  以下，導線，端子夾板穩固良好。
- (五)絕緣測定：使用 1000V 或 500V 高阻計。每年雷雨季前測定一次，但絕緣電阻值一般甚難代表避雷器之絕緣性能，原則上以『本次測定值』與『新品時之值』相比較，或以『三相之測定值』相互比較，如三相測定值相差超出 $\pm 50\%$ 時，則暫停使用，送電力研究所特性試驗，俾便進一步研判處理。
- (六)特性試驗：應包括絕緣電阻，功率因數，交流飛弧開始電壓，衝擊飛弧開始電壓，和放電電壓等特性。

### 四. WH 之運轉與維護標準

表 8.5 WH 製避雷器保護特性[27]

SV 避雷器額定電壓 kV	3	9	12	37	50	73	145	-	-	
SVS 避雷器額定電壓 kV	-	-	-	-	-	73	145	288	320	
衝擊飛弧開始電壓(峰值 kV)	8	24	32	96	130	195	375	760	845	
開關突波放電開始電壓(峰值 kV)	8	25	34	104	141	206	410	810	900	
60 週飛弧開始電壓(rms kV)	5	16	22	66	90	132	260	520	575	
最高放電電壓 10x20 $\mu$ s 放電電流 (峰值 kV)	1.5 kA	7	21	28	83	112	167	324	650	725
	3.0 kA	8	23	30	90	122	184	350	715	795
	5.0 kA	8.5	24	32	96	130	195	375	760	845
	10.0 kA	9	26	35	105	142	212	408	830	920
	20.0 kA	10	28	38	113	153	230	440	895	995

## 8.3 Ohio Brass 製 161 kV Thorex Dynagap 式避雷器之運轉 與維護方法[27]

### 一. 構造

OB 製 161 kV "Dynagap"式避雷器之主要元件係由串聯間隙 (Series gap) 與特性元件 (characteristic Element) 兩大部份所組成。串聯間隙是利用其間隙來控制臨界破壞電壓及臨界截止電壓 (Critical cut-off voltage)，並經常與電力系統電壓保持隔離絕緣以保護特性元件免於劣化。

此種避雷器內部構造是以三組間隙排列並立，每組串聯間隙以陶器材料將其上下及鄰近圓柱交錯金屬板隔離絕緣，內部構造如圖 8.10，因為其間隙元件採用三組並立，不必疊加很高，因此可相對的減低其高度，此為其製造上之特色。外型如圖 8.11。

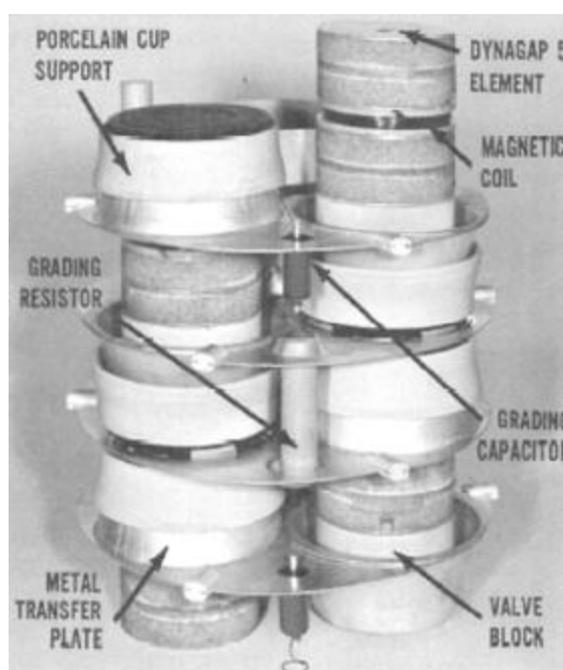


圖 8.10 OB 製 161kV MPR 型避雷器內部構造[27]

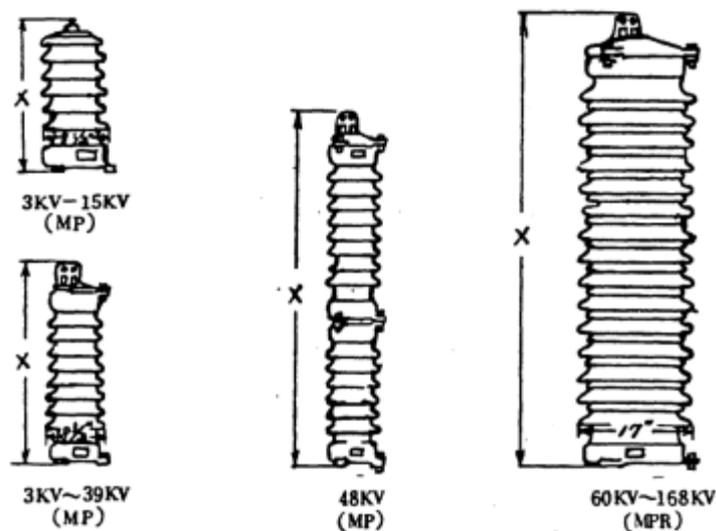


圖 8.11 OB 製 DYNAGAP 避雷器外型圖[27]

## 二. 動作原理

當雷擊或開關突波加於避雷器時，由於突波所產生的異常電壓打穿了避雷器串聯間隙原有之絕緣耐力，因此在串聯間隙處便產生火花而放電，因而突波所產生大電流便經特性元件而通地。而當雷擊或開關突波消失後，串聯間隙即刻啟斷電力週波的電流，亦即使電隙恢復其原有之絕緣耐力。因此，我們知道避雷器的動作是分做兩個階段，第一個階段是雷擊或開關突波電壓超過避雷器之臨界電壓時避雷器開始放電，第二個階段是雷擊或開關突波消失後，避雷器應封閉電弧回路，使停止放電，因為此時突波雖已消失，但避雷器本身尚有系統正常頻率的電壓，如果避雷器還是在繼續放電的話，過多的能量在避雷器內持久消耗，避雷器將有炸毀之可能，因此避雷器應俱備有放電與遮斷電流（follow current）的功能。

理想之避雷器應如圖 8.12 所示曲線，即在異常電壓達到避雷器界臨電壓時，即圖中 a 點部分，避雷器應即予放電，讓其電流通過，使端電壓不會再繼續升高，但實際上避雷器電流增加時，其端電壓亦稍會升高，如圖曲線 ab 部份，當異常電壓消失系統恢復正常後，避雷器必須立即截止電流通過，即停止放電。

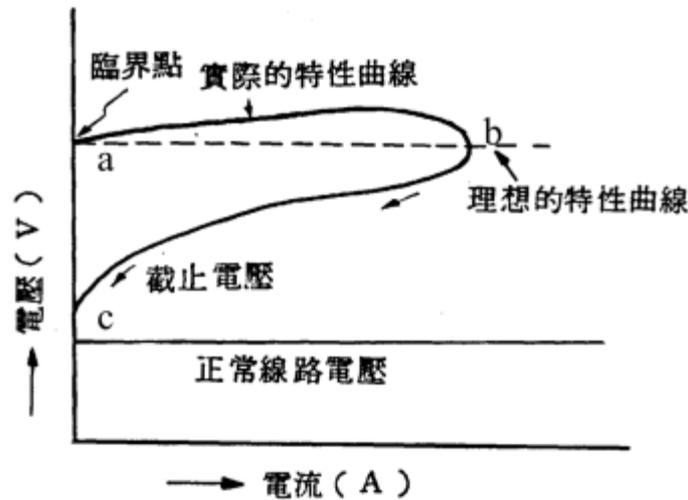


圖 8.12 避雷器理想之特性曲線[27]

### 三. 外部檢查

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

### 四. 內部檢查

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

#### (一) 功率因數試驗

本公司對 OB 製 MPR 144KV 避雷器介質電力因數損失值維護標準，試驗電壓 2.5KV 時標準定為 5mw；試驗電壓 10KV 時標準定為 80mw，如超上述標準值應送試驗所做特性試驗。

#### (二) 放電特性試驗

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

#### (三) 漏電流試驗

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

## 五. 故障處理

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

## 六. 運轉

請參考 GE 製 161 KV Thyrite 式避雷器之運轉與維護方法。

## 七. OB 避雷器之運轉與維護表

表 8.6 OB 製避雷器絕緣耐壓試驗[27]

商用系統電壓 kV(rms)	避雷器 額定電壓 kV(rms)	1.2x5.0 $\mu$ s 全波脈衝試驗 kV(BIL)	60 Hz rms 測試電壓 kV	
			1 分鐘乾式	10 秒濕式
11.95(Y)	9	95	35	30
11( $\Delta$ )	12	110	50	45
15(Y)	15	110	50	45
23.8(Y)	21	150	70	60
24( $\Delta$ )	24	150	70	60
33( $\Delta$ )	36	200	95	80
69(Y)	72	350	175	145
161(Y)	144	650	335	275
345(Y)	288,312	1,300	630	565

## 8.4 ELPRO 避雷器的維護保養[27]

週期性保養之參考依據：

- 一. 避雷器主要裝在室外，因此，常常會有一些灰塵堆積在絕緣陶瓷的表面。這些灰塵或粒子的附著會使得洩漏電流有一個較好通過的路徑，而破壞陶瓷表面的絕緣。避雷器計數器上的電流表即是用來量測總洩漏電流量，包括通過氧化鋅元件的電流及通過絕緣陶瓷表面的洩漏電流。因此，必須要定期的清洗(布拭)絕緣陶瓷以去除表面附著的灰塵。
- 二. 在避雷器剛安裝完成時，應趁著表面還很乾淨且乾燥的時候記錄洩漏電流表上所指示之初始洩漏電流值；此值可做為日後判斷避雷器好壞之重要參考依據。
- 三. 若在清洗過陶瓷表面後，洩漏電流表上的洩漏電流值並沒有減少，則應更換一新的洩漏電流表並觀察其量測值。若新的洩漏電流表所指示之洩漏電流值與原本相同，則可能表示避雷器本身有老化的現象或有其他的問題。
- 四. 若所測得的洩漏電流值有明顯的變化，則應針對該避雷器進行放電特性試驗，以做進一步的評估。
- 五. 洩漏電流表上數字的變化表示避雷器導通的次數。若計數器上所顯示的數值有異常之變化，則須特別注意。若計數器上的讀值突然以倍數的方式成長，應先了解在讀值變化前系統上是否有任何的操作或其它異常的情況，以做進一步之判斷。
- 六. 高阻計(Megger test)判斷避雷器之功能是否正常。在避雷器剛安裝完成時，即應趁表面還很乾淨且乾燥時，量測並記錄每個避雷器的電阻值。在量測電阻時，應設定高阻計之量測電壓為 5kV；一般來說，一具新安裝完成的避雷器的初始讀值應在幾 GΩ 左右。

在每次停電時都應量測電阻值並與初使值做比較。若所測得的電阻值明顯地下降，如降至數  $M\Omega$  則表示有濕氣滲入避雷器中。在此情況下，須與避雷器供應商聯絡，以做進一步調查及建議。

- 七. 量測電阻電流(resistive current)／第三諧波電流(third harmonic current)亦可作為判斷避雷器功能好壞的依據。進行此測試須要較高等級的設備，且須由經驗及技術良好的人員執行。測試程序一定要依據製造商所提供的說明步驟進行；用來量測第三諧波的儀器所得之量測結果會因為量測位置的不同而有所改變，因此在每次量測時都應使用相同的儀器並在相同的位置量測。如此才能避免因讀值不同而有誤判的情形發生。
- 八. 評估避雷器功能是否正常最好的方法就是量測瓦特損(watt loss)。在避雷器剛安裝完成時，即應趁表面還很乾淨且乾燥時，量測並記錄每個避雷器的瓦特損，此值是用來做為日後比較之重要參考依據。量測瓦特損時之輸入電壓至少應等於系統的相電壓。應週期性量測避雷器的瓦特損，並與剛安裝完成後所記錄的初始值做比較。一般來說，若測得的瓦特損為初始值的兩倍，則表示該避雷器之”健康”有特別值得注意的地方，在此情況下，須與避雷器之供應商聯絡以進行深入之分析及相關之因應措施。

## 8.5 CG 製避雷器的維護保養[27]

### 一. 設計及構造

CG(Crompton Greaves)製避雷器之氧化鋅 (ZnO) 組件堆疊在纖維玻璃管內，然後裝載於中空陶瓷／聚酯礙子內而組成 CGL 避雷器 (LA)，這些組件堆疊於堅固纖維玻璃桿上，並以壓縮彈簧夾緊，CGL 避雷器屬於自容式隱藏密封裝置。

### 二. 維修及檢查 (操作)

CG 製氧化鋅避雷器之維修及檢查如表 8.7 說明，除須遵守的一般要點，但仍需依安裝現場及影響避雷器性能的環境狀況，持續保持注意。

表 8.7 操作及維修一般要點[27]

安裝現場	檢查要點	週期
一般正常地區	檢查突波計數器。	每季
	1.外觀檢查。 2.量測絕緣電阻。	每年 每年
嚴重汙染地區	檢查突波計數器。	每季
	3.外觀檢查。 4.量測絕緣電阻。	每年 每年
	清洗	必要時

#### (一)清洗

可用數種方法清洗陶瓷礙子表面及聚酯礙子，例如：切斷電源後，以水清洗，水注不可沖釋壓板或以布擦拭，可依實際情況採用任何適當方式。

## (二)量測絕緣電阻

避雷器會因水分侵入而劣化，所以應利用高阻計監視絕緣電阻，使用高阻計時，應定期量測並記錄大氣情況（溫度及濕度），絕緣電阻的可容許範圍不得低於 1,000 佰萬歐姆(MΩ)。量測絕緣電阻應注意事項：

- (1) 量測前，應先切斷線路電源並讓高壓端子放電。
- (2) 清洗陶瓷表面，並在天氣良好時量測。
- (3) 使用最低 1000V 等級的高阻計。
- (4) 使用絕緣良好的正常導線，並確認絕緣性能。
- (5) 絕緣電阻測試 $>3\sim4G\Omega$ (試驗電壓 5kV)。

## (三)避雷器洩漏電流量測

建議安裝避雷器時量測值作為背景值，以一年為期作比較，若有偏高或逐年增加趨勢時，為不正常須注意，必要時送綜合所作特性試驗確認是否不良品。

## 三. 嚴重污染區域的維護

應依污染物的等級及類型定期清洗，為確保將每個避雷器陶瓷礙子的污染物維持在保證的極限範圍內，應參考樣本陶瓷礙子定期量測結果，刷洗或清洗陶瓷礙子。

## 四. 過電壓

任何性質測試的過電壓，不得超過保證的電壓位準，若以超過正常操作電壓，在避雷器以外的設備或設施執行耐電壓測試時，應先讓避雷器與電路隔離，以超過 MCOV 的電壓長期使用時，將會影響氧化鋅元件，進而造成避雷器特性的劣化。

五. CG 避雷器安裝及運轉檢查表[27]

表 8.8 CG 避雷器安裝及運轉檢查表[27]

檢查程序	檢查項目	檢查項目	準則	R 相	S 相	T 相
1. 安裝及組裝前之檢查及測試	目視檢查	1. 礙子損壞或裂開。 2. 檢查螺栓及組件是否鎖緊。 3. 操作時出現異常。	1. 礙子不得損壞或裂開。 2. 檢查時，不得有任何部分鬆動。 3. 不得出現異常現象。			
	絕緣之量測	以 1kV 高阻計檢查絕緣電阻。	測量值不得低於 1000MΩ。			
2. 安裝及組裝後之檢查及測試	目視檢查	1. 依照圖說檢查實際的避雷器。 2. 檢查螺栓及螺帽是否鬆動。 3. 確認其他外部零件。	1. 實際的避雷器應符合 LA 圖說要求。 2. 檢查時，不得有任何部分鬆動。 3. 不得出現異常現象。			
	絕緣之量測	1. 以 1kV 高阻計檢查絕緣電阻。 2. 試驗電壓 5kV。	1. 測量值不得低於 1000MΩ。 2. 絕緣電阻測試 > 3~4GΩ。			
3. LA 及接地物件之距離	量測	依照圖說檢查實際距離。	實際間隙應大於或等於規定的最低距離值。			

## 8.6 中興日立製槽型避雷器的維護保養[27]

### 一. 構造

中興-日立製槽型氧化鋅避雷器(ZLA)，提供了非線性伏安特性，且氧化鋅元件被組合在一個內部充滿 SF6 氣體之接地金屬槽內如圖 8.13(144kV 避雷器構造)，而 SF6 氣體壓力由 GIS 的現場控制箱監視，並作警報控制。

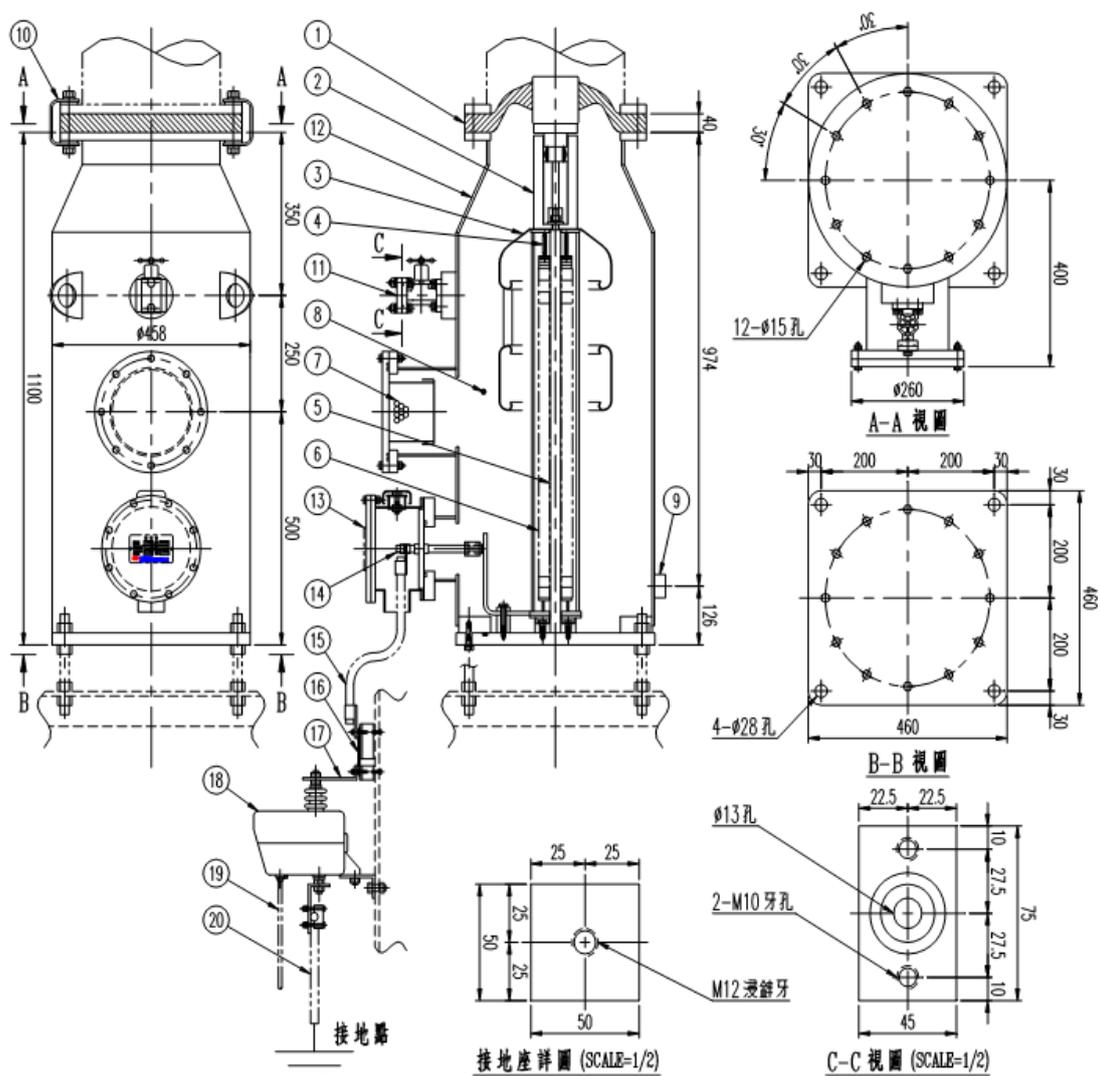


圖 8.13 144kV 避雷器構造[27]

## 二. 安裝後檢查

日立-中興產製之氧化鋅避雷器，基本上為免維護，但為增加可靠性，廠家建議依照避雷器檢查記錄表檢查(如表 8.9 及表 8.10)，以確定避雷器是否有可靠的保護能力，以下為檢查避雷器性能方法：

### (一)使用高阻計測量絕緣電阻

#### 1. 測量方法

當使用高阻計測量時，須同時測量和記錄測試值及大氣狀況如日期、時間、氣候、溫度和濕度等並轉換後，確認測試值是否合格。

2. 當使用高阻計測絕緣電阻時，須注意下列事項：

(1) 在晴天時測量。

(2) 使用 1000V 額定之高阻計。有關高阻計之引線，應使用良好絕緣之電線，並確定跨越其上的絕緣電阻為無限大。

#### 3. 絕緣電阻容許範圍

絕緣電阻容許範圍須大於 1000MΩ。當高阻計測量結果，在上述之容許範圍內時，則測量結果為合格。

### (二)以避雷器洩漏電流檢測器測量洩漏電流

當 ZLA 元件洩漏電流改變時將影響避雷器的性能，因此建議執行洩漏電流的測試，測量時避免因電壓而產生電擊現象。

當測量(二)項時，須先測量(一)項，若絕緣電阻未達標準值時，則不可執行洩漏電流測量。

表 8.9 避雷器檢查紀錄表(組裝後) [27]

檢查場所		檢查日期	
使用單位			
型式			
檢查者			
氣候狀況	大氣壓力： 氣候：	mmHg	溫度： 相對溼度：
			°C %
檢查項目	檢查內容	準則	結果
外觀檢查	損失化破裂	避雷器應無損傷及破裂	
	檢查螺栓、螺帽有無鬆脫	檢查螺栓之標線處應無鬆脫現象	
	確認接地完全	依據圖面接地	
	ZLA 有無腐蝕或異常	不應有腐蝕或異常現象	
	銘牌有無損傷或污染	銘牌應無損傷及污染	
絕緣電阻測試 (安裝前)	使用 1000V 高阻計測量絕緣電阻	應大於 1000MΩ	
SF <sub>6</sub> 氣體洩漏試驗	制止閥之開關	無誤	
	使用 SF <sub>6</sub> 氣體探漏器檢查銅管 連接處等可能漏氣的位置	應無氣體洩漏	
SF <sub>6</sub> 氣體壓力檢察	檢查 SF <sub>6</sub> 氣體壓力	須為正常壓力	

表 8.10 避雷器檢查紀錄表(運轉中) [27]

檢查場所		檢查日期	
使用單位			
型式			
檢查者			
氣候狀況	大氣壓力： <span style="float:right">mmHg</span>	溫度： <span style="float:right">°C</span>	
	氣候：	相對溼度： <span style="float:right">%</span>	
檢查項目	檢查內容	準則	結果
外觀檢查	損失化破裂	避雷器應無損傷及破裂	
	檢查螺栓、螺帽有無鬆脫	檢查螺栓之標線處應無鬆脫現象	
	確認接地完全	依據圖面接地	
	ZLA 有無腐蝕或異常	不應有腐蝕或異常現象	
	銘牌有無損傷或污染	銘牌應無損傷及污染	
SF <sub>6</sub> 氣體洩漏試驗	制止閥之開關	無誤	
	使用 SF <sub>6</sub> 氣體探漏器檢查銅管連接處等可能漏氣的位置	20°C 時，壓力範圍 4~5.5 kg/cm <sup>2</sup> .G	
可能的異常噪音檢查	避雷器槽內可能的異聲 (如電暈等)	應無異聲	
檢查計數器次數及 安培表	檢查計數器	讀取計數器次數	
	檢查安培表	讀取安培表數值	
SF <sub>6</sub> 氣體壓力檢察	檢查 SF <sub>6</sub> 氣體壓力	須為正常壓力	

### 三. 耐壓測試

當耐壓試驗在變電設備或裝置上進行時，氧化鋅避雷器可能被充入超過額定的操作電壓，所以請先將避雷器從線路上拆除，委託綜合所測試。

#### 四. 突波計數

當避雷器因閃電突波或開關突波放電時，突波計數器將有信號送至控制室，同時記錄放電的次數，操作記錄器測量放電電流的最大值，這二者的功能是協助避雷器之維護及統計資料之收集。

動作試驗：突波計數器為屋外型耐候結構，可參考中興電工提供測試方式來做動作試驗。

##### (一) 測試設備

1. 高阻計 1000V。
2.  $8\mu\text{F}$ ，1000V 之電容器。

##### (二) 試驗方法

由試驗線路上的電容器提供一個相當於 500A ( $10 \times 20\mu\text{s}$ ) 的衝擊電流推動避雷器動作(中興電工提供測試方式)。實際的試驗步驟如下：

(圖 8.14)首先設定切換開關於(a)位置，其次搖動 1000V 高阻計當電容器 CO 完全充電時(高阻計指示“inf”)，將切換開關轉至(b)的位置，如果突波計數器動作正常，則記數器上的記數號碼會增加 1。重復上述的步驟 2~3 次以確定突波計數器動作正常。

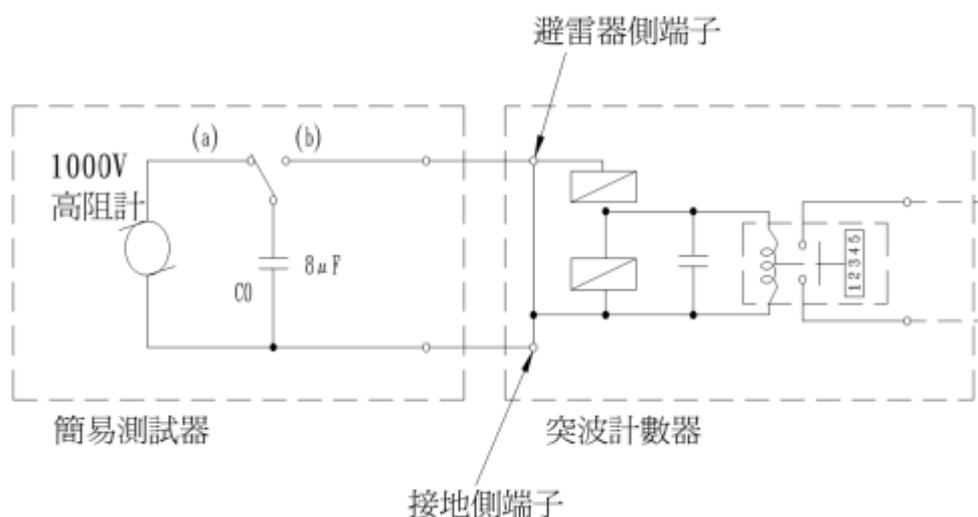


圖 8.14 簡易試驗電路圖[27]

## 五. ZLA 維護與檢查步驟

### (一) 檢查週期

檢查的週期如表 8.11 中之說明。

表 8.11 檢查週期[27]

項次	項目	週期	檢查項目
1	日常檢查	一星期	(1) $SF_6$ 氣體壓力檢查。 (2) 檢查突波計數器數值是否變更，並記錄之。
2	一般檢查	三年 (備註※)	(1) 測量 $SF_6$ 氣體洩漏量。 (2) 測量 $SF_6$ 氣體含水量。
3	細部檢查	六年	(1) 檢查外部表面。 (2) 檢查突波計數器。 (3) 檢查漏電電流。

備註※：安裝送電後第一個月及第三個月，各檢測一次；以後每隔三年檢測一次。

### (二) 檢查程序

檢查的程序依表 8.11 的項目及表 8.12 之步驟進行。

表 8.12 檢查程序[27]

檢查項目	檢查項目	注意
$SF_6$ 氣體壓力	當 $SF_6$ 氣體壓力降小於 $0.5 \text{ kg/cm}^2.G$ 時補充 $SF_6$ 氣體，補充完成後，關閉氣體入口制止閥及連接其上之保護蓋。	
不正常的雜音	耳朵放在槽外邊，傾聽槽內部，是否發出不正常雜音(類似電暈雜音)。	
$SF_6$ 氣體洩漏量	使用 $SF_6$ 氣體漏氣偵測器，檢查配管連接處及以襯墊密封之接合處。	
$SF_6$ 氣體含水量	使用 $SF_6$ 氣體含水量檢測器，在各氣體密度檢測器之閥座處檢測。	

## 8.7 供電處避雷器維護及檢測方法

表 8.13 為供電處對於避雷器之維護項目及週期，主要的檢定項目為絕緣電阻、功率因數、洩漏電流、接地線及紅外線影像溫度檢測。

表 8.14 ~ 表 8.17 為供電處之檢測維護表。

### 一. 定期試驗週期規定

初檢第 1 年，其後點檢週期則依據廠家說明書規定實施，若廠家說明書無規定，則訂為 6 年量測一次(配合外部診斷條件，否則 3 年量測一次)。

### 二. 維護量測項目、標準值

(一) 礙管表面有無龜裂、破損、污染。

(二) 記錄計數器數值。

(三) 絕緣電阻測試

各種廠牌避雷器絕緣電阻需大於  $1000M\Omega$  以上，或以『三相之測定值』相互比較，如不合格時，則暫停使用，進行特性試驗，進一步研判處理。

(四) 功率因數測量(量 mW)

避雷器功因試驗係以介質損失值 (mw) 判定，試驗電壓 2.5kV 時，標準值：50mW 以下。

(五) 接地線接地電阻量測

接地電阻：P/S  $0.5\Omega$  以下、E/S  $0.5\Omega$  以下 (每年雷雨季前測定一次)。

(六) 介質電力因數試驗

因構造形式甚多，其介質電力因數值相當小，僅能就同電壓等級之損失值 比較，並留下紀錄以供參考。

(七) 洩漏電流量測

每年雷雨季前量測洩漏電流值，洩漏電流值依廠家說明書規定，無規定者當洩漏總電流有效值大於或接近 2mA 時，表示礙管污染或內部電阻元件有劣化趨勢，則需縮短維護週期，及施行放電特性試驗。

表 8.13 氧化鋅避雷器維護項目及週期

<p>定期點檢 1.絕緣電阻 2.功率因數</p>	<p>1.初檢第 1 年。 2.依廠家規定，無規定屋外 6 年惟 CG 製 3 年、屋內 12 年一次。 3.洩漏電流測試異狀時需檢查。 4.低電壓等級或無法量測洩漏電流者，屋外 6 年、屋內 12 年至少一次。</p>	<p>1.量測時需逐節量測個別判斷。 2.依廠家規定，無規定者標準如下： (1)絕緣電阻值需大於 1000MΩ 以上，或以『三相之測定值』相互比較，有一不合格時，則暫停使用，委託綜研所施行放電特性試驗，俾進一步研判處理。 (2)功率因數測試(量 mW)試驗電壓 2.5kV 時，50mW 以下。</p>
<p>3.洩漏電流</p>	<p>每年雷雨季(5月)前完成。屋外、所內及線路 CG 製 144kV 以上 LA 每年量測二次三次諧波電流，(4月配合防颱檢查量測一次、10月尖載過後量測一次)</p>	<p><math>I_{rms} \leq 2mA</math>、<math>I_{180} \leq 110\mu A</math></p>
<p>4.接地線</p>	<p>1.每年雷雨季(5月)前完成。 2.週邊工程施工後立即量測。</p>	
<p>5.紅外線影像溫度檢測</p>	<p>1 年</p>	<p>1.相對溫差法:是指多節式避雷器的兩個對應測點之間的溫差，與其中較熱測點溫升的比值，其數學表達式為： <math>\Delta T(\%) = ((T1 - T2) / T1) \times 100(\%)</math> 式中：T1：溫度較高測點的溫升(K); T2：溫度較低測點的溫升(K)。當<math>\Delta T \geq 35\%</math>時，則該設備存在缺陷，列入追蹤改善。 2.同類比較法:是指同一回路的同型避雷器設備的三相，對應部位溫度值進行比較，如有溫差超過 5°C 可能有劣化現象，列入追蹤改善。</p>

表 8.14 避雷器一般檢查紀錄表

維護部門：\_\_\_\_\_分隊 \_\_\_\_\_ 保線所(班) 點檢日期： 年  
月 日

線路名稱：\_\_\_\_\_

點檢位置： # \_\_\_\_\_ 連接站  \_\_\_\_\_ 變電所

點檢結果：

點 檢 項 目	要 求 標 準	良	否	備 註
1. 避雷器	外觀清潔無裂痕或破損			
2. 礙子	礙子連外觀清潔無破損			
	礙管清潔無破損			
3. 支架	無生鏽			
	無油漆脫落			
4. 計數器動作(洩漏電流)	正常			
5. 計數器動作(雷擊計數)	正常			
6. 支架基礎	無變動			
7. 引下線、接頭及端子板	無鬆脫			144kV 以上者附雙條導體引
	引線及支持物安全距離足夠			
	接續端子清潔及塗抹電氣接觸膏			
8. 接地電纜	無損傷			
	無鬆脫、接地良好			
9. 接地線接地電阻	1. 超高壓(345kV) 0.1Ω 以下 2. 一次(161kV) 0.5Ω 以下 3. 二次(69kV) 5Ω 以下 4. 鐵塔連接站 1Ω 以下			接地電阻： Ω

異狀處理：急修續注意列入設備異狀改善追蹤表  
( 編號 \_\_\_\_\_ )

表 8.15 地下電纜連接站避雷器絕緣試驗報告表

維護部門：						試驗日期：					
製造廠：			型式：			製造年度：					
天氣：		氣溫：		°C		溼度：					
避雷器額定電壓(KV)：											
線路名稱：											
桿塔號	相別	避雷器序號	試驗電壓(KV)	功率因素 (10KV 等值讀數)					絕緣電阻 DC 2.5KV		測試結果 (絕緣性能)
				mA	新品/ 上次 測試 值	Watt	新品/ 上次 測試 值	PF %	新品/ 上次 測試 值	MΩ	
	R										
	S										
	T										
	R										
	S										
	T										
	R										
	S										
	T										
	R										
	S										
	T										
備註：											
1. 絕緣性能代號說明. G：良好 D：劣化 I：須調查 B：不良											
2. 2.5kV 以上高阻計量測 1000MΩ 以上(CG, LAMCO 製 3000 MΩ 以上)											
3. SVL 2 MΩ 以上											

表 8.16 洩漏電流測量、計數器紀錄報告表

南科~道爺一路 #6J.T				南科~道爺二路 #6J.T			
R:	S:	T:		R:	S:	T:	
$I_{rms}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA	$I_{rms}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA
$I_{pk}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA	$I_{pk}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA
$I_{180}$ :	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	$I_{180}$ :	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A
CT :				CT :			
(本次)	_____	_____	_____	(本次)	_____	_____	_____
(前次)	_____	_____	_____	(前次)	_____	_____	_____
LCM $I_R$	_____	_____	_____	LCM $I_R$	_____	_____	_____
量測 $I_T$	_____	_____	_____	量測 $I_T$	_____	_____	_____
良	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	良	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
否	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
備註 :				備註 :			
南科~道爺一路 #7J.T				南科~道爺二路 #7J.T			
R:	S:	T:		R:	S:	T:	
$I_{rms}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA	$I_{rms}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA
$I_{pk}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA	$I_{pk}$ :	_____ mA	_____ mA	_____ mA
$I_{180}$ :	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	$I_{180}$ :	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A	_____ $\mu$ A
CT :				CT :			
(本次)	_____	_____	_____	(本次)	_____	_____	_____
(前次)	_____	_____	_____	(前次)	_____	_____	_____
LCM $I_R$	_____	_____	_____	LCM $I_R$	_____	_____	_____
量測 $I_T$	_____	_____	_____	量測 $I_T$	_____	_____	_____
良	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	良	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
否	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
備註 :				備註 :			

標準：

- 1.以 ISA AR-2005 量測，其  $I_{RMS} \leq 2mA$ 、 $I_{180} \leq 110\mu A$ (固定位置量測比較)。
- 2.TransiNor LCM II 量測， $I_R > 200\mu A$  六個月追蹤量測一次， $I_R > 400\mu A$  三個月追蹤量次一次， $I_R > 800\mu A$  建議送綜研所特性試驗。
- 3.SVL 循環電流=0A。

備註：

1. $I_{180} > 110\mu A$  時縮短量測周期，安排停電作  $U_{1mA}$  及放電特性試驗。
2. $U_{1mA}$ (避雷器動作電壓)，高壓直流加壓  $1mA$  後再降至  $0.75 U_{1mA}$ ，觀察其洩漏值，目前暫定( $U_{1mA}$  約額定電壓  $\times \sqrt{2}$ ) 在  $\pm 10\%$  為正常，且  $0.75 U_{1mA}$  下洩漏電流應小於  $50\mu A$ 。
- 3.停、復電前後量  $I_{180}$  比較。
- 4.需長期趨勢追蹤判斷比較。

表 8.17 紅外線熱影像檢測報告表

報告編號		位置名稱			
檢測人員		設備名稱			
檢測日期		負載比例		參考點溫	
環境溫度		天氣狀況		熱點溫度	
環境溼度		備註		診斷結果	
檢測距離					
熱影像分析			可見光相片		
熱影像分析描述			參考建議說明		

備註：一、避雷器紅外線測溫項目應包括熱分析診斷技術，診斷故障方法如下：

- (一)溫度判斷法：對顯示溫度過熱的部位，以 70℃ 判定是否有發熱情況。
- (二)相對溫差法：是指同串多節式避雷器的兩個對應測點之間的溫差，與其中較熱測點溫升的比值，其數學表達式為：  

$$\Delta T(\%) = ((T1 - T2) / T1) \times 100(\%)$$
 式中：  
 T1：溫度較高測點的溫升(K)；T2：溫度較低測點的溫升(K)。  
 當  $\Delta T \geq 35\%$  時，則該設備劣化存在，列入追蹤改善。
- (三)同類比較法：是指同一回路的同型避雷器設備的三相，對應部位溫度值進行比較，如有溫差超過 5℃ 可能有劣化現象，列入追蹤改善。

## 8.8 加拿大電力公司的維護保養

### 三. 維護保養項目

#### (一) 接地線

4. 避雷器中性點接地確認。
5. 確認是否符合標準結構以及設備接地。

#### (二) 絕緣電阻測試

外觀確認清潔無裂痕或破損。

#### (三) 計數器作動

#### (四) 間隙距離

1. 電暈環到地面之距離。
2. 同相設備與相鄰線路之距離。
3. 避雷器基座到地面之距離(如圖 8.17, E1 部分)。
4. 底部套管到基座之距離(如圖 8.17, E2 部分)。

#### (五) 接地桿

若讀值高於  $3000\mu\Omega$  則進行調查。

Subject: <b>SURGE ARRESTERS</b> General, 12 kV – 500 kV Various Manufacturers	Prepared by: <b>G. Munroe</b>	<b>ES 44-B6020</b>
	Reviewed by: <b>P. Gillan / S. Chan</b>	
	Accepted by: <b>E. Klusiewich</b>	
	Date: <b>2005 October</b>	
Category: <b>Equipment Testing &amp; Commissioning Standard – Field Inspection and Test Reports (FITR)</b>		
This document forms part of the Equipment Testing and Commissioning standards set which is intended to provide consistent practice and collection of data, for all new and/or relocated substation equipment on the BC Hydro system. It is the responsibility of those using this document to ensure that they have the latest version.		

CONTRACT \_\_\_\_\_  
 STATION \_\_\_\_\_  
 DESIGNATION \_\_\_\_\_  
 PURCHASE ORDER NO. \_\_\_\_\_  
 PROJECT SHORT NAME \_\_\_\_\_  
 INSTRUCTION MANUAL \_\_\_\_\_

TESTED BY: \_\_\_\_\_  
 TEST SUPERVISION: \_\_\_\_\_  
 DEPARTMENT: \_\_\_\_\_  
 DATE : \_\_\_\_\_

Revision: Format change for engineering standard			
Revision Date: January 2012	Revised by: D. Ocampo	ES 44-B6020	R3
Reviewed by: S. Chan	Accepted by: B. Sunga	Page 1 of 5	

圖 8.15 加拿大電力公司維護表(1)

**A NAMEPLATE DATA**

DESIGNATION	_____	MANUFACTURER	_____
P. O. No.	_____	TYPE	_____
RATED VOLTAGE $U_r$	_____ kV	YEAR OF MANUF.	_____
MCOV $U_c$	_____ kV	IEC DISCHARGE CLASS	_____ kV
RATED DISCHARGE CURRENT $I_n$	_____ kA	PRESSURE RELIEF CLASS PR-CL	_____
SERIAL No.	TOP _____	_____	_____
	MIDDLE _____	_____	_____
	BOTTOM _____	_____	_____

**B GENERAL INSPECTIONS**

		A phase	B phase	C phase
1	Designation	_____	_____	_____
2	Base frames	Level, base bolts tight	_____	_____
3	Grounding	Arrestor neutral directly grounded	_____	_____
		Structure and equipment grounded per design standards	_____	_____
		Verify Ground Rods Installed as per Design drawings and as per BCH standard: ES 44-G0231-01	_____	_____
		Connections tight	_____	_____
		Wire size of ground conductor	_____	_____
4	Bolts, nuts, etc	Bolts tight	_____	_____
5	Insulator stacks	Clean, no damage	_____	_____
6	230/500 kV			
	Base insulator	No damage, bolts tight	_____	_____
	Ground conductor	Insulated from SA down to counter	_____	_____
	Counters	Count as left	_____	_____

Equipment Commissioning: Field Inspection & Test Report	ES 44-B6020	R3
	Page 2 of 5	

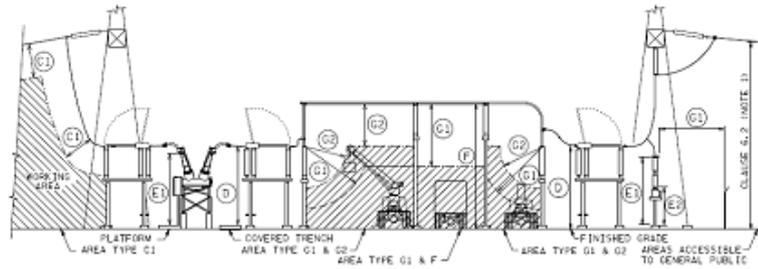
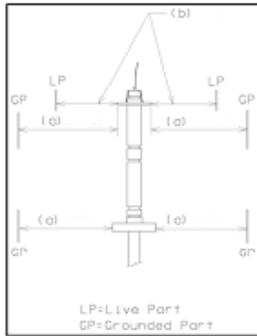


圖 8.16 加拿大電力公司維護表(2)

7 Clearances

Ph - ph clearance	_____	_____	_____	mm
Ph - G clearance	_____	_____	_____	mm
Line to Adjacent equipment on same phase	_____	_____	_____	mm
Live Parts to Footings, Foundations, etc. (E1)	_____	_____	_____	mm
Bottom of Bushings to Footings/Foundation (E2)	_____	_____	_____	mm

Reference BCH Standards: ES 44 - C0051, ES 44-G0470



**Standard Minimum Clearances**

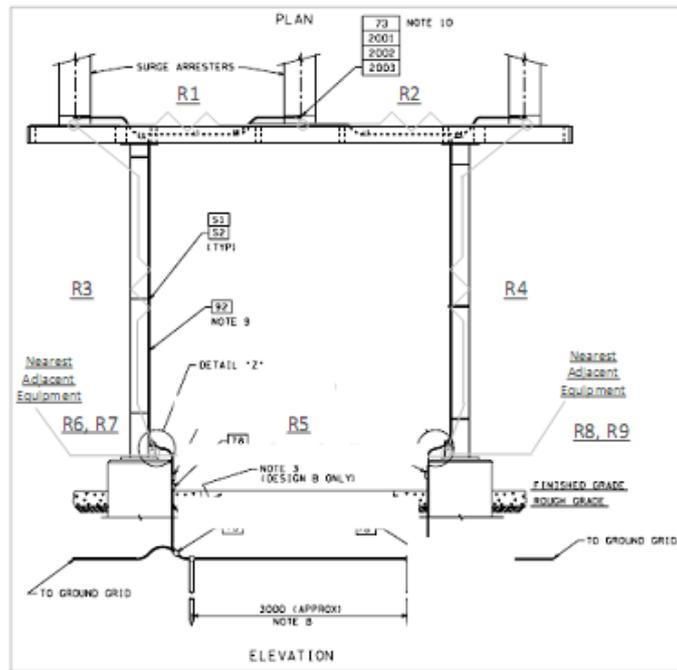
<b>Outdoor</b>	15kV	25kV	69kV	138kV	230kV	287kV	345kV	500kV (1800kV BIL)	500kV (1550kV BIL)
Ph to Ph in mm	310	380	800	1350	2280	2700	3750	5200	5200
Ph to G in mm ( a )	180	260	650	1100	1800	2100	2400	3650	3100
Line to adjacent equipment on same phase ( b )	180	260	650	1100	1800	2100	2400	3650	3100
Live Parts to Footings, Foundations, etc. (E1)	3200	3200	3350	3950	4550	5050	5450	6150	6150
Bottom of Bushings to Footings/Foundation (E2)	2800	2600	2800	2600	2600	2600	2600	2600	2600
<b>Indoor</b>									
Ph to Ph in mm	155	210	665						
Ph to G in mm	140	190	595						

Equipment Commissioning: Field Inspection & Test Report	ES 44-B6020	R3
	Page 3 of 5	



圖 8.17 加拿大電力公司維護表(3)

8	Doble tests OR Megger test	Results satisfactory	_____	_____	_____
	For SAs 25kV and above	10 kV DC for 1 min. Ph to G	_____	_____	MΩ
	For SAs below 25 kV	5 kV DC for 1 min. Ph to G	_____	_____	MΩ
9	Ground Risers – Verify interconnectivity between SA Risers and adjacent equipment risers (see figure below)		R1 _____	R2 _____	R3 _____ μΩ
	Investigate readings higher than 3000 μΩ.		R4 _____	R5 _____	R6 _____ μΩ
			R7 _____	R8 _____	R9 _____ μΩ



Equipment Commissioning: Field Inspection & Test Report	ES 44-B6020	R3
	Page 4 of 5	

MSWord 2003: ES 44-B6020, Surge Arresters, General R3.doc [2012-10-26 3:45 PM]



圖 8.18 加拿大電力公司維護表(4)

**C COMMENTS**

---



---



---



---

**D TEST EQUIPMENT**

Make and Model	Serial Number	Last Calibration Date	Test Used for:
			Megger Test
			Ductor Test
			Doble Test

SPACE PROVIDED FOR ADDITIONAL INFORMATION:

Equipment Commissioning: Field Inspection & Test Report	ES 44-B6020	R3
	Page 5 of 5	



圖 8.19 加拿大電力公司維護表(5)

## 8.9 各廠家之維護保養比較

如表 8.18 為 GE、WH、OB、ELPRO、CG、中興日立、加拿大電力公司、以及現行供電處的維護比較表，各廠家幾乎都以礙管表面外觀、接地電阻、絕緣電阻測定、計數器動作次數、功率因數、放電特性作為避雷器之維護指標。表中顯示，現行供電處之維護方式與加拿大電力公司相比嚴謹許多，本研究案將加入三次諧波、電阻性洩漏電流之趨勢作為維護保養之指標。

表 8.18 維護項目比較表

	GE	WH	Ohio Brass	ELPRO	CG	中興日立	加拿大電力公司	供電處(現行)
礙管、端子、夾板及引線	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
絕緣電阻	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
計數器動作次數	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
功率因數試驗	✓	✓	✓	✓				✓
放電特性試驗	✓	✓	✓	✓				✓
漏電流試驗	✓		✓	✓	✓	✓		✓
交流飛弧開始電壓試驗		✓						
衝擊飛弧開始電壓試驗		✓						
紅外線影像溫度檢測								✓
耐壓試驗						✓		
三次諧波測量				✓				
SF <sub>6</sub> 氣體洩漏試驗						✓		
SF <sub>6</sub> 氣體壓力檢察						✓		
間隙距離							✓	

表 8.19 為各廠家對於避雷器維護項目之維護週期比較表，對於供電處現行之維護，本系統不僅能增加三次諧波、電阻性洩漏電流趨勢的維護指標，還能實現線上即時維護。

表 8.19 維護項目之維護週期

	GE	WH	Ohio Brass	ELPRO	CG	中興 日立	加拿大 電力公司	供電處 (現行)
礙管、端子、夾板 及引線	日常 巡視	日常 巡視	日常巡 視		每年	六年	~	每週
絕緣電阻	每年 雷雨 前	每年 雷雨 前	每年雷 雨前	~	每年	安裝 前測 試	~	每年雷 雨季前
計數器動作次數	~	~	~	~	每季	每週	~	每週
功率因數試驗	~	~	~	週期性 量測				六年
放電特性試驗	當功 因損 失超 過標 準	~	當功因 損失超 過標準	~				洩漏電 流異常 時
漏電流試驗	定期 紀錄		定期紀 錄	~	每年	六年		每年雷 雨季前
交流飛弧開始電壓 試驗		~						
衝擊飛弧開始電壓 試驗		~						
紅外線影像溫度檢 測								一年
耐壓試驗						~		
三次諧波測量				~				
SF <sub>6</sub> 氣體洩漏試驗						三年		
SF <sub>6</sub> 氣體壓力檢察						每週		
間隙距離							~	

## 第九章 結論與建議

### 9.1 結論

依照本研究計畫原訂甘特圖進度表，研究團隊目前已順利完成所有工作進度，獲致的結論分述如下：

- 一、研究團隊自主開發的『避雷器線上監測及維護系統』(後簡稱本系統)具體實現了避雷器在線即時性能監測的可能性。藉由 GPRS 通訊功能其可線上即時收集監測避雷器之總洩漏電流、電阻性洩漏電流、三次諧波電流、表面汙損程度及現地環境(溫/溼度)等多樣參數，提供避雷器診斷及劣化預判之重要參考資訊。
- 二、目前市售的可攜式電阻性洩漏電流量測分析儀器廠牌眾多(尤以大陸自製品牌)，雖具備可攜之方便性，但價格差異頗大(約台幣 5 萬~30 萬都有)。實際使用時也易因人員操作方法和現場的干擾環境而產生很大的誤差，故所量測數據變異略大，面對須長期監測的避雷器劣化狀況較難以提供有效追蹤參考，稍不及本系統採用固定式監測方式來得穩定和較具參考性。
- 三、經實地驗證，原規劃採行 JCQ 錶頭實施電流取樣方式已不適用。在 Bypass 環境下 JCQ 錶頭經定電流儀器的檢測，都能反映對應數值的偏轉量，但若掛載於現地接地系統上，其產生的負載效應確實會相當程度影響到避雷器洩漏電流的讀值，無法反映出實際真實值，造成電阻性洩漏電流量測估算失準。故實際示範的兩監測站點，其前置電流取樣方式改採行精度高的非破壞式感應比流器來取代。

- 四、 依照 7.3 成本與性能分析該小節分析結果，本系統不論是建置成本或是性能都確實比目前供電區處較普遍採用的國際大廠 ABB Excourt II 系統略具競爭力與優勢。再者，因本系統採國內自主開發，有助於扎根本土技術，也可迫使國外相關技術改良與抑低價格的良性競爭。
- 五、 近年台中供電區營運處開始導入一套 Web-Based 架構的『避雷器監測資料分析管理系統』，其成效卓著也間接印證了開發本系統的必要性。以該轄區中寮 E/S 為例，前端量測系統採用 ABB Excourt II 硬體設備，透過離線採樣方式定期人工作業輸入分析管理系統中進行長期監測。而本系統更去蕪存菁改善了離線採樣的管理不便缺點，且保留了 Web-Based 的通透彈性與擴充優點，未來後續驗證此系統可行性，將能提供區處一種更佳的選擇。
- 六、 供電處參酌國外維護項目，於民國 96 年起將現行避雷器定期維護排程工作納入洩漏電流量測項目(總洩漏電流、三次諧波電流和電阻性電流)，而本系統可線上即時提供此些工作項目數據，除可簡化維護作業項目外，未來也將協助區處改善維護人員必須至現地量測採集的不便，進而提升維護效率。
- 七、 避雷器的運轉特性須長期進行監測才能得知，透過本案所導入的支撐向量機(SVM)歷史經驗分類的判定結果可與量測系統內置的監測功能(斜率變化與警戒值)同時進行雙向交叉驗證，若有一致性的趨向，將能提高劣化判定的準確性，以降低誤判率與簡化現行耗時冗長的複判程序。

- 八、 本系統後端平台採用 Web-based 架構，核心採開放式靈活的資料結構設計，每具量測裝置設計都具備可移裝與重複使用(非破壞性)的特性，可針對實際需要隨時調整裝設點，而針對移裝作業的變更可迅速完成，且只要於後端人機平台上進行設定修改即可，更可簡化了繁雜的硬體修改時間。
- 九、 本系統在研製期間，其量測硬體電路經配置的隔離保護裝置已通過過實驗室 10kA 等級連續多次衝擊電流耐受度試驗，其功能運作皆能維持正常，未來將透過現地環境耐用度和可靠度適用性考驗，方可得知其耐受水準。
- 十、 避雷器運轉特性易受到空氣中濕度及表面髒污等外在因素影響而變化，本系統特於新營下營二路#19 該示範站增設截流環和外部洩漏電流 count 比對取樣電路能即時提供的汙損程度指標，除能提供維護人員排訂實施清潔時程的診斷參考外，也可對汙穢造成的測量變異的誤差情況得以了解及改善。
- 十一、 配合風光系統並聯市電架構導入本系統運作，確實可滿足市電供電異常期間供電穩定度的要求，也提供了無市電或停電環境時的另一種選擇參考。但受限於監測環境的差異與現地實際安全性考量其適用性將可能被大大地侷限。再者，蓄電池裝置的維護也為該系統持續穩定運作的考量因素之一。
- 十二、 因現場環境取樣 PT 二次側參考電壓不易，故本系統採用與廣為區處採用的挪威 TransiNor 公司 LCMII 系統一樣的參考電壓取樣方式(利用 Field Probe)，透過自行仿製電場感應盤實施參考電壓取樣，經實驗比對證明本系統仿製的電場感應盤與原廠擁有近似的相位取樣特性(差別在於振幅大小)，有可替代 LCMII

原廠電壓取樣設備參考，且後端固定治具採活動式設計改良，更兼具現地安裝的方便性。重點是其自製成本約只有原廠進口報價的十分之一，此仿製也協助台電了解該產品 Field Probe 損害時重新購置的採購成本。

## 9.2 建議

透過本案的執行積累了許多實務的寶貴經驗，也提供了研究團隊未來研究改善的參考方向，研究團隊未來可繼續努力和改善之處羅列於下：

- 一、目前使用市售可攜儀器至現地量測數據來驗證本系統量測精度的方式，因種類多、量測手法和許多外在因素干擾多難以作為校正之參考。未來應採用固定式(如 ABB Excount II)系統一同安裝於同一迴路上或 TransiNor LCM 並搭配各廠牌經驗值來進行鑑測。再者，本系統目前僅選擇兩處安裝(變電所和連接站)，其收集運轉資料也約半年多左右，樣本群和資料尚不夠，目前線上監測的避雷器設備也都尚屬新品(僅約三~五年)，距離劣化階段仍有一段時間來觀察，故待後續再進一步追蹤與分析來考證其系統監測性能。
- 二、通訊品質的良窳為系統後端即時監測各分析功能是否能發揮功效的關鍵，受限於安裝點環境信號品質和後端人為管理因素等，未來推廣時也需一併考量通訊系統的適用性。本系統後端採 ARM 架構執行通訊的傳輸，其具備多種通訊拓樸的支援性優點，建議應視安裝地點不同而導入不同適用之通訊媒介以維持系統可靠度。例如：在變電所內因暨有光纖網路較適合實體網路佈線方式；若郊區偏遠的連接站則適用 GPRS/3.5G 無線通訊方式。

綜言之，後續的硬體/通訊維護費用的投入及通訊品質可靠度也是未來管理時必須考量的重要因素，如此才能發揮出最大的預期功效。

- 三、 國外有文獻研究探討，若量測系統整體外部加裝有屏蔽層，將可有效提高量測系統的精準度，並增進抗干擾能力。以現行開發完成的雛型系統為例，量測系統已規劃有外箱體進行包裹屏蔽，未來在商品化的過程中也須納入此部分考量加以因應以提高量測系統的精度與穩定性。
- 四、 一般國外市售的可攜式避雷器阻性電流在線測量儀器，其可提供參考電壓取樣來源大約有三類（一）從 PT 二次側（二）感應電壓（三）從 220V 使用電源取得，目前本系統僅採行感應電壓取樣方式，主因為台電系統現地 PT 二次側參考電壓取得與接線不易，未來也可進行多樣電壓取樣方式的研究納入多種模式，適應於各類型現地環境之需要。
- 五、 本系統人機界面因採 Web based 網頁架構，建議維護人員可利用行動平板電腦或手機進行線上移動式監測，藉由其輕便及可攜性等優點，隨時遠地或於現場查閱避雷器的即時運作狀況，提供預判的先機，亦可提供區處在維護作業能靈活彈性處置的一種選擇。
- 六、 未來可結合現行台電供電處避雷器維護既有工作項目，加入如紅外線測溫、現地即時影像錄影、接地電阻紀錄提供資料庫的輸入整合成一套完整自動化與資訊化的避雷器線上維護紀錄系統，提供更完整的長期判定資訊收集，未來也可達到少紙化作業以符合環保效應。

- 七、 擬未來台電公司採多廣泛自製系統，除可驗證系統運作成效外，亦可維達續投入商品化準備，朝降低研發成本、強化抗干擾能力並縮小硬體設備體積等方面進行性能與技術優化之改良。再者，可落實本土技術扎根，避免國外技術壟斷，可與國外系統進行良性競爭，開發更具競爭力且價格低廉的監測設備。
- 八、 SVM辨識功能可搭配量測系統的即時監測數據分析進行複判，未來可依據準確度設定權衡值，依照驗證精準之比重及嚴重度快速區分出避雷器的衰裂週期與劣化程度，並導入不同廠牌運轉特性分類推估的分析準則，針對不同環境(溫/濕度)、汙損程度等外在干擾變因納入分析以提供更精確的預判，換言之，要達到不用安裝監測設備，即可用現有有限用電資訊來判定各廠牌合理正常的劣化區間，其能幫區處採購 C/P 較高的避雷器以達到真正從源頭著手節省投入成本的最高目標。

## 参考文献

1. Kado, H.; Izumi, K.; Shirakawa, S.; Komatsu, K.; Watanabe, H.; Yamaguchi, M.; Nakajima, M.; Kobayashi, M.; Nishimura, S. “Artificial Pollution Tests on Porcelain-housed Metal-Oxide Surge Arresters for 275kV Power Systems” Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE.
2. Juyong Kim, Chulbae Park, Yeunha Jung, Ilkeun Song “An investigation of aging characteristics of polymer housed distribution surge arresters by accelerated aging test” in Korea Electric Power Research Institute 103-16 Munji-dong Yusung-gu Daejeon, 305-380 Korea.
3. B. RICHTER\*, W. SCHMIDT, “LONG TERM PERFORMANCE OF POLYMER HOUSED MO-SURGE ARRESTERS”.
4. IEC 60099-5, Surge Arresters - Part 5: Selection and Application Recommendations, March 2000.
5. D. W. Lenk, Member, IEEE, The Ohio Brass Company, Wadsworth, Ohio “An examination of the pollution performance of gapped and gapless metal oxide station class surge arresters”
6. IEC 60099-4 2009, Surge Arresters - Part 4: Artificial pollution test with respect to the thermal stress on porcelain-housed multi-unit metal-oxide surge arresters.
7. IEC 62217 Ed.1, Surge Arresters - Part 9: Tests on shed and housing material.
8. Oliveira, S.C. Fontana, E. do Monte de Melo Cavalcanti, F.J. “Real-Time Monitoring of the Leakage Current of 230-kV Glass-Type Insulators During Washing”, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 24 Issue: 4, pp. 2257 - 2260 ,Oct. 2009.

9. 陳世榮，中原大學電機工程學系碩士學位論文，氧化鋅避雷器之維護及線上監測技術。
10. Fontana, E., Oliveira, S.C., Cavalcanti, F.Jd.Md.M., et al., "Novel sensor system for leakage current detection on insulator strings of overhead transmission line", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 4, pp. 2064-2070, Oct. 2006.
11. J. Lundquist, L. Stenstrom, A. Schei, and B. Hansen, "New Method for Measurement of the Resistive Leakage Currents of Metal-Oxide Surge Arresters in Service," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No.4, P.P. 1811-1822, 1990.
12. G. Montoya , I. Ramirez and J. I. Montoya "Correlation among ESDD, NSDD and leakage current in distribution insulators", Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm. Distrib., vol. 151, pp. 2004 .
13. 吳致緯，高壓避雷器老化監測之研究，國立高雄應用科技大學，碩士論文，2009。
14. J. Taylor, Production Guide, ABB, 2008.
15. 吳世軒，近代避雷器的發展與選用藝術，2009。
16. T.Zhao , Q.Li , and J.L.Qian,"Investigation on Digital Algorithm for On-Line Monitoring and Diagnostics of Metal Oxide Surge Arrester Based on An Accurate Model, "IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 20, Issue 2, Part 1, April 2005, P.P.751 – 756.
17. 蔡伟贤,陈蓓,提高氧化物避雷器带电测试准确性的探讨。
18. Novizon,Zulkurnain Abdul Malek,Aulia." A NEW METHOD TO SEPARATE RESISTIVE LEAKAGE CURRENT OF ZnO SURGE ARRESTER",2008。
19. R. T. DE SOUZA,E. G. DA COSTA, s. R. NAIDU, MEMBER, IEEE, M. J. DE A. MA~A," A virtual bridge to compute the resistive leakage current waveform in ZnO surge arresters",2004。

20. Chandana Karawita, Student Member, IEEE, and M. R. Raghuveer, Senior Member, IEEE” Onsite MOSA Condition Assessment—A New Approach”,2006。
21. Huijia Liu, Hanmei Hu,” Development of Tester of the Resistive Leakage Current of MOA”。
22. GB 20639-2006 有間隙閘式避雷器人工污穢試驗。
23. IEC60099-5 2000, SECTION 6: DIAGNOSTIC INDICATORS OF METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS IN SERVICE。
24. IEEE Std C62.11-2005, IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV)。
25. 范振理，避雷器現場檢測方式研究，研究計畫，台電綜合研究所，台北，2003。
26. 刘海永,张家安，氧化鋅避雷器現場帶電測試研究，2005。
27. 供電單位變電設備維護手冊。

## 附 錄

### 不同廠牌避雷器相關測試

#### 七. ABB 避雷器相關測試

##### (一) 雷電衝擊耐壓試驗(乾燥)

表 A.1 雷電衝擊耐壓試驗(乾燥)

外殼規格	所需的測試電壓 (uncorrected)(kV)	所需的測試電 壓 (corrected)(kV)	實際測試電 壓(kV)	極性	脈衝 數	Osc. nr
36 kV	283	283	282,3-285,0	Positive	15	195-209
36 kV	283	283	282,3-285,0	Negative	15	211-225
72 kV	400	396	399,1-401,2	Positive	15	227-241
72 kV	400	396	401,2-403,4	Negative	15	243-257
120 kV	578	567	576,2-579,8	Positive	15	259-273
120 kV	578	567	576,2-579,8	Negative	15	275-289

##### (二) 雷電衝擊耐壓試驗(潮濕)

表 A.2 雷電衝擊耐壓試驗(潮濕)

外殼規 格	所需的測試電壓 (uncorrected)(kV)	所需的測試電 壓 (corrected)(kV)	實際測試電 壓(kV)	極性	脈衝 數	Osc. nr
36 kV	283	283	282,3-283,6	Positive	15	163-177
36 kV	283	283	282,3-285,0	Negative	15	179-193
72 kV	400	400	399,1-401,2	Positive	15	131-145
72 kV	400	400	399,1-403,4	Negative	15	147-161
120 kV	578	578	576,8	Positive	15	99-113
120 kV	578	578	576,8	Negative	15	115-129

(三)雷電衝擊耐壓試驗(潮濕)

表 A.3 開關脈衝耐壓試驗(潮濕)

外殼規格	所需的測試電壓 (uncorrected)(kV)	所需的測試電壓 (corrected)(kV)	實際測試電壓 (kV)	極性	脈衝 數	Osc. nr
36 kV	242	242	241,0-242,3	Positive	15	2-16
36 kV	242	242	242,3-243,7	Negative	15	18-32
72 kV	330	330	329,0-330,8	Positive	15	34-48
72 kV	330	330	330,8	Negative	15	50-64
120 kV	462	462	458,9-464,2	Positive	15	66-80
120 kV	462	462	458,9-461,5	Negative	15	82-96

(四)電源頻率耐壓試驗(潮濕)

表 A.4 電源頻率耐壓試驗(潮濕)

外殼規格	所需的測試電壓 (uncorrected)(kV)	所需的測試電壓 (corrected)(kV)	實際測試電壓 (kV)	Time(s)
36 kV	242	242	241,0-242,3	Positive
72 kV	330	330	330,8	Negative
120 kV	462	462	458,9-464,2	Positive

(五)PEXLIM Q 避雷器之測試

1. 急劇升降之脈衝電流殘餘電壓測試

表 A.5 急劇升降之脈衝電流殘餘電壓測試

Section No	1 kA readings			5 kA readings		
	A	kV	%	kA	kV	%
1	1019	8.79	84.2	5.02	10.04	96.3
2	1026	8.74	84.1	5.06	10.00	96.2
3	1012	8.79	84.1	5.00	10.05	96.1
4	1029	11.87	84.9	4.96	13.35	95.5
5	1019	11.80	84.5	5.02	13.46	96.4
6	1035	11.87	85.0	4.98	13.38	95.7

2. 雷電衝擊殘餘電壓試驗

表 A.6 雷電衝擊殘餘電壓試驗

Section No	0.5 kA readings			1 kA readings			5 kA readings		
	A	kV	%	kA	kV	%	kA	kV	%
1	491	8.36	80.1	1.00	8.67	83.2	4.99	9.73	93.3
2	500	8.33	80.1	1.02	8.64	83.2	5.01	9.70	93.3
3	499	8.38	80.1	1.00	8.69	83.1	4.96	9.75	93.2
4	497	11.19	80.0	1.00	11.65	83.3	4.98	13.06	93.4
5	514	11.19	80.2	1.02	11.62	83.2	4.99	13.03	93.4
6	506	11.22	80.3	1.02	11.62	83.2	5.01	13.06	93.4

(六)2732 2108-4、2732 2108-6、2732 2108-7 型號避雷器之測試

1. 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50 $\mu$ s(乾燥)

表 A.7 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50 $\mu$ s(乾燥)

1.2/50 $\mu$ s, 乾燥, ANSI/IEC	2732 2108-4 U50%擾動放 電	2732 2108-6 U50%擾動放 電	2732 2108-7 耐壓級別校正 (kV)
Corrected(kV), K=0.91	604	798	928
	耐壓級別	耐壓級別	耐壓級別
Corrected(kV), K=0.91	586	774	900

2. 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50 $\mu$ s(乾燥)

表 A.8 雷電衝擊耐電壓試驗，1.2/50 $\mu$ s(乾燥)

250/2500 $\mu$ s,乾燥, ANSI/IEC	2732 2108-4 U50%擾動放 電	2732 2108-6 U50%擾動放 電	2732 2108-7 耐壓級別校正 (kV)
Corrected(kV), K=0.97	495	649	737
	耐壓級別	耐壓級別	耐壓級別
Corrected(kV), K=0.97	462	616	687

3. 功率頻率耐壓測試, 50Hz, 60s, 潮濕

表 A.9 功率頻率耐壓測試, 50Hz, 60s, 潮濕

50Hz, 60s, 潮濕, IEC	2732 2108-4 U50%擾動放電	2732 2108-6 U50%擾動放電	2732 2108-7 耐壓級別校正 (kV)
Corrected(kV), K=0.97-0.98	K=0.97 294	K=0.98 388	K=0.98 421
	耐壓級別	耐壓級別	耐壓級別
Corrected(kV), K=0.97-0.98	K=0.97 278	K=0.98 378	K=0.98 409

4. 功率頻率耐壓測試, 60Hz, 10s, 潮濕

表 A.10 功率頻率耐壓測試, 60Hz, 10s, 潮濕

60Hz, wet, ANSI/IEEE	2732 2108-4 U50%擾動放電	2732 2108-6 U50%擾動放電	2732 2108-7 耐壓級別校正(kV)
Corrected(kV), K=0.97-0.98	K=0.97 281	K=0.98 370	K=0.98 413
	耐壓級別	耐壓級別	耐壓級別
Corrected(kV), K=0.97-0.98	K=0.97 273	K=0.98 359	K=0.98 401

5. 功率頻率耐壓測試, 60Hz, 60s, 潮濕

表 A.11 功率頻率耐壓測試, 60Hz, 60s, 潮濕

60Hz, wet, ANSI/IEEE	2732 2108-4 U50%擾動放電	2732 2108-6 U50%擾動放電	2732 2108-7 耐壓級別校正(kV)
Corrected(kV), K=0.90	377	488	574
	耐壓級別	耐壓級別	耐壓級別
Corrected(kV), K=0.90	367	478	

## 八. TRIDELTA 避雷器相關測試

### (一)SBKC 6~288/10.3 型號系列之測試

表 A.12 SBKC 6~288/10.3 型號系列之測試(1)

操作條件	
額定溫度	-60°C 到 +55°C
額定頻率	16 cps 到 62 cps
技術參數	
額定電壓	6 kV 到 228 kV
固定放電電流	10 kA
高電流脈衝(4/10)	100 kA
長持續電流脈衝	1000 A / 2000 $\mu$ s
電纜放電等級	3
額定短路電流	63 kA
具體能量承受力	
量承受	6.7 kJ/kV <sub>ur</sub>
雙脈衝 3000 $\mu$ s	12 kJ/kV <sub>ur</sub>

表 A.13 SBKC 6~288/10.3 型號系列之測試(2)

	額定電壓	工作電壓	暫時超壓 TOV		殘餘電壓在急速、閃電及開關衝擊電流的絕緣								
	Ur	Uc	U <sub>1s</sub>	U <sub>10s</sub>	10 kA (1/2 μs)	5 kA (8/20 μs)	10 kA (8/20 μs)	20 kA (8/20 μs)	40 kA (8/20 μs)	250 kA (30/70 μs)	500 kA (30/70 μs)	1000 kA (30/70 μs)	2000 kA (30/70 μs)
	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
SBK 06/10.3	6	4.8	6.9	6.5	16.6	14.4	15.2	16.6	17.6	12.2	12.5	12.9	13.3
SBK 12/10.3	12	9.6	13.8	13.0	33.1	28.9	30.4	33.1	35.3	24.3	25.1	25.8	26.7
SBK 18/10.3	18	14.4	20.7	19.4	49.6	43.2	45.5	49.6	52.8	36.4	37.5	38.7	39.9
SBK 30/10.3	30	24.0	34.5	32.4	78.5	68.4	72.0	78.5	83.5	57.6	59.4	61.2	63.1
SBK 36/10.3	36	28.8	41.4	38.9	94.2	82.1	86.4	94.2	100.2	69.1	71.2	73.4	75.8
SBK 42/10.3	42	33.6	48.3	45.4	109.9	95.8	100.8	109.9	116.9	80.6	83.1	85.7	88.4
SBK 48/10.3	48	38.4	55.2	51.8	125.6	109.4	115.2	125.6	133.6	92.2	95.0	97.9	101.0
SBK 51/10.3	51	41	59	55	133	116	122	133	142	98	101	104	107

### 1. 加速老化測試

三個新的完全裝配避雷器剖面以 6.77kV 額定電壓的電壓作為加速的老化試驗：測試溫度：115°C；測試持續：1393 小時。

#### (八) 測試結果

表 A.14 測試結果

	樣品 13	樣品 14	樣品 15
$U_{1mA(dc.)}$ [kV]	6.88	6.87	6.88
$U_{ref(1+10mA)}$ [kV]	12.15	12.15	12.16
測試電壓 [kV]		6.66	
電力損失(2 小時) [W]	19.9	23.2	28.3
電力損失(1393 小時) [W]	11.9	12.2	12.9
關係	0.60	0.53	0.46

(二)SBKC 84/10.3 (Ur=84kV) 避雷器測試

1. 短路測試

額定短路電流：63kA

降短路電流：25kA、12kA

超低短路電流：0.6kA

表 A.15 SBKC 84/10.3 (Ur=84kV) 避雷器短路測試結果

	額定短路電流	降短路電流	降 短 路 電 流	超低短 路電流
使用測試電壓 [kV]	15.5	25.5	25.5	25.5
頂峰電流 [kA]	111	60.2	30.8	-
短路電流 [kA]	63.5	26.5	13.0	0.60
電流持續 [秒]	0.22	0.22	0.22	1.00
排器時間 [毫秒]	0.7	2.1	2.8	-
故障結構	適度地劣化，僅一些 聚合型外殼碎片在圍 牆外裡面	適度地劣化，僅一些聚 合型外殼碎片在圍牆 外裡面	無	無
嚴重粉碎	無	無	無	無
火燄	無	無	無	無
測試通過	是	是	是	是

## 九. SIEMENS 避雷器相關測試

### (一)3EL2 系列避雷器技術數據

表 A.16 3EL2 系列避雷器技術數據

最大額定電壓	252 kV
最大連續操作電壓	201 kV
標稱放電電流	10 kA
持續長時間電能脈衝能力	1100 A/2ms
線路放電類型	3
熱能放電能力	8.0 kJ/kV <sub>rated voltage</sub>
單脈衝能量放電能力(>4ms)	4.0 kJ/kV <sub>rated voltage</sub>
高電流脈衝能力	100 kA
最大允許負載，動態(MPSL)	4000 Nm
最大允許負載，靜態	2800 Nm
抗扭強度	130 Nm

### (二)型號 3EL2 120-2PM31-4NT 避雷器技術數據

表 A.17 避雷器技術數據

額定電壓	120 kV
最大連續操作電壓(U <sub>c</sub> )	96 kV
頻率	60 Hz
最大殘餘電壓 8/20 $\mu$ s, 10kA	288 kV
最大殘餘電壓 30/60 $\mu$ s, 1kA	236 kV
最大殘餘電壓 1/2 $\mu$ s, 10kA	305 kV
標稱放電電流	10 kA
電能放電能力(thermal)	8.0 kJ/kV <sub>r</sub>
電能放電能力(single impulse)	4.0 kJ/kV <sub>r</sub>
高電流脈衝能力	100 kA
短路電流(0.2s)	65 kA
高度	1240 mm

(三)耐壓值

表 A.18 耐壓值表

	外殼 類型	狀態	極性	所需電壓 /kV	修正電壓 /kV	應用電壓 /kV	測試結果
							imp/flash
雷擊脈衝電壓 1.2/50 $\mu$ s	4		positive	676	677	680	15/1
			negative	676	677	680	15/0
	9		positive	1050	1071	1086	15/0
			negative	1050	1071	1094	15/0
開關脈衝電壓 250/2500 $\mu$ s	4	乾燥	positive	496	499	500	15/0
			negative	496	499	500	15/0
		潮濕	positive	489	492	492	15/0
			negative	489	492	492	15/0
	9	乾燥	positive	800	813	879	15/0
			negative	800	813	880	15/0
		潮濕	positive	750	754	758	15/0
			negative	750	754	756	15/0

(四)以  $U_c$  和  $60^\circ\text{C}$ ，第一次持續長時間脈衝電流之洩漏電流

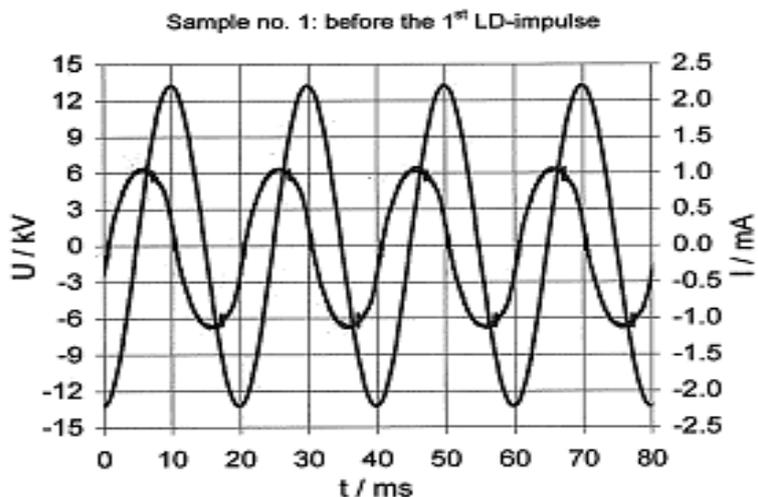


圖 A.1 洩漏電流圖

(五)60 秒脈衝間隔之兩個持續長時間的電流脈衝

表 A.19 60 秒脈衝間隔之兩個持續長時間的電流脈衝

Sample no.	1 impulse			2 impulse			W <sub>total</sub> /kJ
	I /A	U <sub>res</sub> /kV	W /kJ	I /A	U <sub>res</sub> /kV	W /kJ	
1	843	21.16	47.8	819	21.56	47.2	95.0
2	851	21.07	48.1	823	21.53	47.3	95.4
3	844	21.22	48.0	822	21.57	47.5	95.5

(六)Ur 後 Uc 5 秒 和 30 分鐘 的洩漏電流

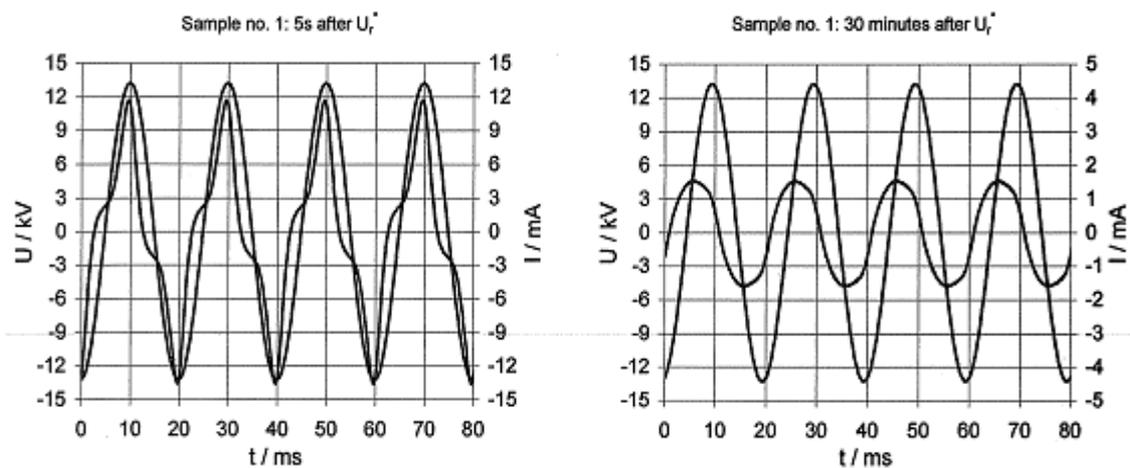


圖 A.2 Ur 後 Uc 5 秒 和 30 分鐘 的洩漏電流

(七)Uc 經過 30 分鐘的洩漏電流之功率消耗、溫度、電壓和電阻成分

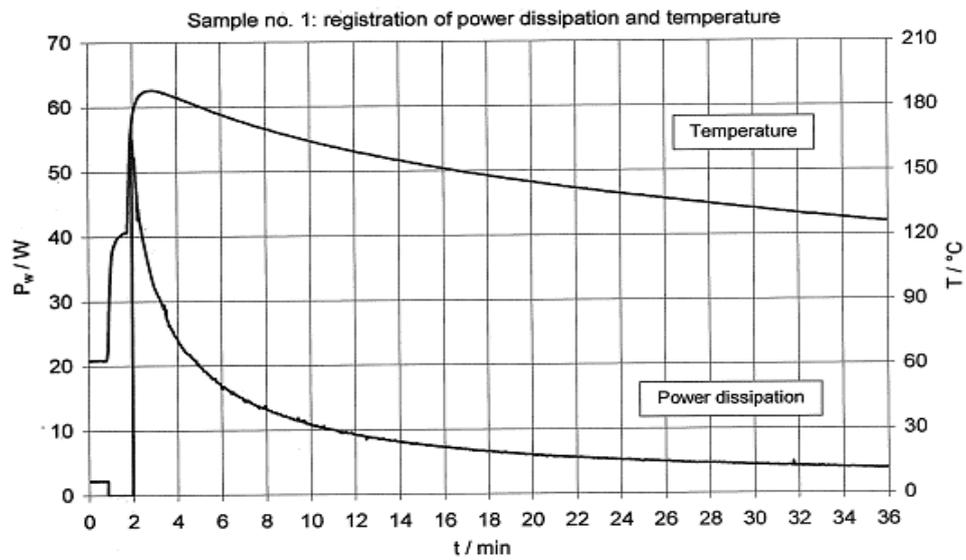


圖 A.3 No.1 樣品結果(1)

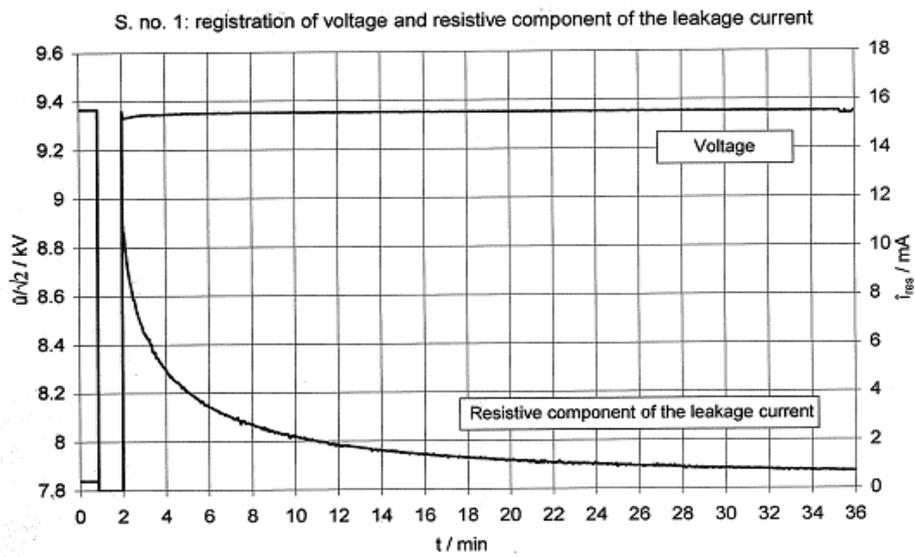


圖 A.4 No.1 樣品結果(2)

## 十. HUBBELL 避雷器相關測試

### (一) 保護特性

表 A.20 各個避雷器之保護特性表

Type	避雷器 目錄編號	額定電壓	MCOV	0.5 $\mu$ s 放電電壓	開關突 波保護 電壓	最大放電電壓(kV) 使用 8/20 電流波型					
		kVrms	kVrms	kV	kV	1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
SVN	SVN054GA042AA	54	42	133	94	103	108	113	121	131	146
SVN	SVN060GA048AA	60	48	152	107	118	124	129	138	150	166
SVN	SVN072GA057AA	72	57	181	127	140	147	153	164	178	198
SVN	SVN090GA070AA	90	70	222	156	172	181	188	201	218	243
SVN	SVN090GA074AA	90	74	235	165	182	191	199	213	231	256
SVN	SVN096GA076AA	96	76	241	170	187	196	205	218	237	263
SVN	SVN108GA084AA	108	84	266	187	207	217	226	241	262	291
SVN	SVN108GA088AA	108	88	279	196	217	227	237	253	274	305
SVN	SVN120GA098AA	120	98	311	228	241	253	264	282	305	340
SVN	SVN132GA106AA	132	106	336	247	261	274	285	305	330	367
SVN	SVN144GA115AA	144	115	365	268	283	297	310	330	358	399
SVN	SVN168GA131AA	168	131	416	305	323	338	353	376	406	454

## 十一. TOSHIBA 避雷器相關測試

### (一) 電源頻率電壓測試

表 A.21 電源頻率電壓測試避雷器特性

測試條件	潮濕狀態	
	溫度	15°C
	大氣壓力	1016 hPa
	絕對溼度	5 g/m
降水條件	各元件平均降水率(標準程序)	
	垂直	1.4 mm / 分鐘
	水平	1.1 mm / 分鐘
	降水溫度	14°C
	水分的電阻率修正為 20°C 90Ωm	
電源頻率	50Hz	
測試時間長度	乾燥狀態	1 分鐘
	潮濕狀態	10 秒

合格標準：內部不得出現破裂

測試結果：可耐受所有衝擊

表 A.22 電源頻率電壓測試之施加電壓

額定電壓 [kVrms ]	避雷器高度 [mm]	施加電壓 [kVp ]
42	895	140
45	895	140
48	895	140
51	895	140
54	895	140
60	895	140
66	895	140
69	1095	200
72	1095	200
75	1095	200
84	1095	200
90	1295	280
96	1295	280
102	1295	280
108	1295	280

表 A.23 電源頻率電壓總測試結果

避雷器總成額定電壓 (kVrms)	剩餘電壓 (kVcrest)			保證電壓 (kVcrest)		
	5kA	10kA	20kA	5kA	10kA	20kA
42	92.4	99.0	109	96.6	102	112
48	106	113	124	111	116	128
54	119	127	140	125	131	144
60	132	141	155	138	145	160
66	146	156	171	152	160	176
69	154	164	180	161	169	186
72	159	170	186	165	174	190
75	167	178	196	174	183	202
84	185	198	217	194	203	224
90	198	212	233	207	218	240
96	212	226	248	221	232	256
102	225	240	264	235	247	272
108	238	254	279	249	261	288
120	264	282	310	276	290	320
126	278	297	326	290	305	336

## (二)加速劣化程序

### 1. 測試樣本

表 A.24 加速劣化測試樣本特性

編號	1mA <sub>p</sub> V1mA 下的 參考電壓 [kVp]	工作電壓 U <sub>r</sub> [kVrms]	最大連續操作電壓 U <sub>c</sub> [kVrms]
1	8.16	5.95	5.05
2	8.15	5.94	5.05
3	8.16	5.95	5.05

### 2. 測試程序

- (1) 將樣本在加熱爐內加熱至 115°C 左右。
- (2) 對樣本 U<sub>ct</sub> 傳導電能 1000 小時。U<sub>ct</sub> 為 5.95kVrms，大於最大連續操作電壓並等於工作電壓。
- (3) 測試開始後，測量 U<sub>ct</sub> 上的功率消耗 2(~5)個小時。
- (4) 測試開始後，測量 U<sub>ct</sub> 上的功率消耗 1000(~1100)個小時。

### 3. 測試結果

表 A.25 加速劣化程序之測試結果

編號	劣化時間 [小時]	施加電壓 [kVrms]	U <sub>ct</sub> 上的功率消耗 [W]		比率 P <sub>2ct</sub> / P <sub>1ct</sub>
			U <sub>ct</sub>	P <sub>1ct</sub>	
1	1008	5.95	18.65	5.49	0.29
2	1008	5.95	16.68	3.93	0.24
3	1008	5.95	16.68	3.93	0.24

P<sub>1ct</sub>：測試開始後，測量 U<sub>ct</sub> 上的功率消耗 2 個小時

P<sub>2ct</sub>：測試開始後，測量 U<sub>ct</sub> 上的功率消耗 1008 個小時

結論：MCOV 額定係數(KC)和工作電壓額定係數(KR)為下列。

MCOV 額定係數(KC)：1.0；工作電壓額定係數(KR)：1.0

### (三) 高分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試

#### 1. 測試樣本

表 A 26 高分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試樣本

型式	額定電壓 [kVrms]	連續運作電壓 [kVrms]	爬雷距離 [mm]
額定電壓 42kV 的避雷器	42	34.1	1300

#### 2. 測試條件

表 A.27 高分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試條件

測試時間長度	1000 小時
水流率	0.41 – 0.45 l/h/m
霧滴大小	5 – 10 $\mu\text{m}$
溫度	20°C 5K
水分的 NaCl 含量	1 – 10 kg/m

#### 3. 測試結果

表 A.28 分子外殼避雷器暴露於鹽霧下的加速劣化測試結果

測試項目	測試結果			測試評估
	前	後	變化值[%]	
1mA[kVp]下的參考電壓	61.7	61.7	0	良好
1.05xCOV[pC]下的局部放電值	低於 BGN	低於 BGN	-	良好
目視檢查	Tracing and erosion puncture was not occurred			良好

#### (四) 污染物測試

##### 1. 測試樣本

避雷器總成 1 組(電壓額定：240kV)。

##### 2. 污染物備製

每公升自來水 + 膨潤土 5g

每公升自來水 + 鹽 1g

污染物的阻抗：20°C 時 446Ωcm

##### 3. 測試程序

(1) 避雷器外殼清潔乾燥

(2) 避雷器以 MCOV 通電一小時，並且通電結束時測量電流。施加電壓：194kV

(3) 避雷器外殼表面的下半部表面塗佈污染物。

(4) 避雷器以 MCOV 通電 15 分鐘，並且通電結束時測量阻抗電流。

(5) 重複步驟(3)和(4)；第二次結束時，避雷器以 MCOV 通電 30 分鐘，藉由監控數值朝向步驟(2)取得的初始值降低，驗證熱穩定性。

#### 4. 測試結果

不得出現閃烙，樣本不得出現目視可見之劣化，並避雷器驗證其熱穩定性。

##### (1) 洩漏電流的電阻性分量

表 A.29 污染測試之洩漏電流的電阻性分量(1)

	MCOV 1 小時 通電結束	第 1 次 15 分鐘 通電結束	第 2 次 15 分鐘 通電結束
阻抗電流	128 $\mu$ A	262 $\mu$ A	232 $\mu$ A

表 A.30 污染測試之洩漏電流的電阻性分量(2)

	MCOV 30 分鐘		
	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘
阻抗電流	215 $\mu$ A	209 $\mu$ A	197 $\mu$ A

結論：合格

##### (五) 高分子外殼避雷器的最大設計懸臂負載和濕氣浸潤測試

##### 1. 測試樣本

表 A.31 避雷器的最大設計懸臂負載和濕氣浸潤測試樣本

型式	額定電壓 [kVrms]	連續操作電壓(COV) [kVrms]
額定電壓 132kV 的避雷器總成	132	106

##### 2. 測試條件

端子扭力：45Nm

最大連續曲撓負載：1667N

最大連續曲撓矩力：2467Nm

保持時間：每個散熱機構負載 24 小時

### 3. 測試結果

表 A.32 避雷器的最大設計懸臂負載和濕氣浸潤測試結果

階段	溫度 [°C]	負載方向 [°]	曲撓	
			最大 [mm]	剩餘 [mm]
1	+60	0	82	5
2	-25	180	95	7
3	-45	270	82	5
4	-40	90	94	6

#### (六) 水份浸潤測試

##### 1. 測試條件

鹽水濃度：1kg/m<sup>3</sup>

測試時間：42 小時

溫度：100°C

##### 2. 測試結果

表 A.33 水份浸潤測試結果

測試項目	測試結果		數值變更 [%]	測試評估
	之前	之後		
COV[W]下的功率損耗	2.2	2.5	+13.6	良好
100A[kVp]下的阻抗電流	245	248	+1.2	良好
1.05xCOV[pC]下的局部放電值	低於 BGN	低於 BGN	-	良好
目視檢查	未發生目視可見的劣化		-	良好

結論：合格

十二. OB 其他型號避雷器之電氣資料

表 A.34 OB VN 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ S 最大放電 電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
VN	219557	72	57	178	141	148	154	165	179	199
VN	219570	90	70	225	178	187	195	208	226	251
VN	219574	90	74	238	188	198	206	220	239	265
VN	219576	96	76	238	188	198	206	220	239	265
VN	219584	108	84	269	213	224	233	249	270	300
VN	219588	108	88	275	218	228	238	254	276	306
VN	217598	120	98	306	242	254	265	283	307	341
VN	219606	132	106	332	263	276	287	307	333	370
VN	219615	144	115	360	285	299	312	333	361	402
VN	219631	168	131	416	330	346	360	385	418	464
VN	217740	172	140	438	347	363	379	405	439	488
VN	217744	180	144	450	357	374	390	416	452	502
VN	217752	192	152	476	377	395	412	440	477	531
VN	217780	228	180	568	450	472	492	526	570	634
VN	217909	258	209	659	522	547	570	609	661	735
VN	217912	264	212	662	524	550	573	612	664	738
VN	217920	276	220	687	544	570	594	635	689	766
VN	217945	312	245	773	612	641	668	714	775	862

表 A.35 OB SVN 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ S 最大放電 電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
SVN	072GA057AA	72	57	181	140	147	153	164	178	198
SVN	090GA070AA	90	70	222	172	181	188	201	218	243
SVN	090GA074AA	90	74	235	182	191	199	213	231	256
SVN	096GA076AA	96	76	241	187	196	205	218	237	263
SVN	108GA084AA	108	84	266	207	217	226	241	262	291
SVN	108GA088AA	108	88	279	217	227	237	253	274	305
SVN	120GA098AA	120	98	311	241	253	264	282	305	340
SVN	132GA106AA	132	106	336	261	274	285	305	330	367
SVN	144GA115AA	144	115	365	283	297	310	330	358	399
SVN	168GA131AA	168	131	416	323	338	353	376	408	454
SVN	172GA140AA	172	140	444	345	362	377	402	436	485
SVN	180GA144AA	180	144	457	355	372	388	414	449	499
SVN	192GA152AA	192	152	482	374	393	409	437	473	527
SVN	228GA180AA	228	180	419	443	465	485	517	561	624

表 A.36 OB PVI 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ S 最大放電 電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
PVI	300610	12	10.2	34.1	27.1	28.6	29.9	32.3	35.8	40.3
PVI	300813	15	12.7	42.9	34.1	36	37.6	40.6	44.9	50.6
PVI	300815	18	15.3	51.6	40.9	43.2	45.2	48.8	54	60.9
PVI	300817	21	17	56.9	45.1	47.7	49.9	53.8	59.6	67.1
PVI	300620	24	19.5	68.3	54.2	57.2	59.9	64.6	71.5	80.6
PVI	300822	27	22	77.4	61.4	64.9	67.9	73.2	81	91.3
PVI	300824	30	24.4	85.3	67.7	71.5	74.8	80.7	89.3	101
PVI	300629	36	29	102	81.3	85.9	89.8	96.9	107	121
PVI	300831	39	31.5	108.4	86.1	90.9	95.1	102.6	113.6	127.9
PVI	300636	45	36.5	125.1	99.3	104.9	109.8	118.4	131.1	147.6
PVI	300639	48	39	136.6	108.4	114.5	119.8	129.2	143	161.1
PVI	300642	54	42	147.9	117.4	125	129.7	139.9	154.9	174.5
PVI	300648	60	48	165	131	138.3	144.7	156.1	172.8	195
PVI	300657	72	57	199	158.1	166.9	174.6	188.4	209	235

表 A.37 OB PDV-100 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ sec 10 kA 之 最大電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
PDV	213703	3	2.55	10.6	8	8.5	9	9.9	11.1	13.2
PDV	213705	6	5.1	21.3	15.9	17	18	19.8	22.3	26.5
PDV	213708	9	7.65	31.2	23.3	24.9	26.4	29	32.6	38.8
PDV	213709	10	8.4	34	25.4	27.1	28.8	31.6	35.6	42.3
PDV	213710	12	10.2	40.4	30.3	32.3	34.2	37.6	42.3	50.3
PDV	213713	15	12.7	51.4	38.5	41.1	43.5	47.8	53.8	64
PDV	213715	18	15.3	60.6	45.4	48.4	51.3	56.4	63.5	78
PDV	213717	21	17	68.3	51.1	54.5	57.8	63.5	71.4	85
PDV	213720	24	19.5	81.9	61.3	65.5	69.3	76.2	85.7	102
PDV	213722	27	22.	91.9	68.8	73.4	77.8	85.5	96.2	114.4
PDV	213724	30	24.4	101.1	75.7	80.7	85.5	94	105.8	125.8
PDV	213729	36	29	121.4	97.9	97	102.7	112.9	127	151

表 A.38 OB PDV-65 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ sec 10 kA 之 最大電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
PDV	217253	3	2.55	12.5	9.8	10.3	11	12.3	14.3	18.5
PDV	217255	6	5.1	25	19.5	20.5	22	24.5	28.5	37
PDV	217258	9	7.65	33.5	26	28	30	33	39	50.5
PDV	217259	10	8.4	36	27	29.5	31.5	36	41.5	53
PDV	217560	12	10.2	42.4	33.8	36.3	38.5	42.8	49	59.7
PDV	213263	15	12.7	54	43.1	46.3	49	54.4	62.4	76
PDV	213265	18	15.3	62.8	50.1	53.8	57	63.3	72.6	88.4
PDV	213267	21	17	68.3	54.5	58.5	62	68.9	79	96.1
PDV	217570	24	19.5	84.9	67.7	72.7	77	85.5	98.1	119.4
PDV	213272	27	22.	96.4	76.9	82.6	87.5	97.2	111.5	135.6
PDV	213274	30	24.4	105.2	83.9	90.2	95.5	106.1	121.7	148
PDV	217579	36	29	134	104	112	120	132	156	202

表 A.39 OB PVR 型號避雷器

類型	產品編號	額定電壓 kV rms	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ sec 10 kA 之 最大電壓 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
PVR	221603	3	2.55	9.9	7.2	7.8	8.2	9.1	10.4	12.3
PVR	221605	6	5.1	20	14.6	15.7	16.6	18.3	21	24.8
PVR	221608	9	7.65	26.8	19.5	21	22.2	24.5	28.1	33.2
PVR	221609	10	8.4	29.5	21.5	23.1	24.4	27	31	36.6
PVR	221610	12	10.2	35.5	25.9	27.9	29.4	32.5	37.3	44
PVR	221613	15	12.7	44.2	32.2	34.7	36.7	40.5	46.5	54.8
PVR	221615	18	15.3	53.4	38.9	41.9	44.3	48.9	56.1	66.2
PVR	221617	21	17	60.7	44.3	47.6	50.3	55.6	63.8	75.3
PVR	221620	24	19.5	70.9	51.7	55.6	58.7	64.9	74.4	87.9
PVR	221622	27	22.	78.6	57.3	61.7	65.2	72	82.6	97.5
PVR	221624	30	24.4	88.5	64.5	69.4	73.3	81	92.9	110
PVR	221629	36	29	105	76.5	82.4	87	96.1	110	130

表 A.40 OB 製 ZnO 廠家特性

類型	產品編號	MCOV kV rms	0.5 $\mu$ sec 10 kA 之最大 電壓 kV	最大開 關突波 保護基 準 kV	衝擊電流(8/20)之最大放電電壓 kV					
					1.5kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
VLA	217003	3	11.5	7.5	8.5	9.0	9.5	10.0	11.5	13.0
VLA	217004	4	16.0	11.0	12.0	12.5	13.0	14.0	16.0	18.5
VLA	217005	5	19.5	13.0	14.0	15.0	15.5	16.5	19.0	22.5
VLA	217007	7	27.5	18.0	20.0	21.0	22.0	23.5	27.0	32.0
VLA	217008	8	31.0	20.5	22.5	24.0	25.0	26.5	30.5	36.0
VLA	217009	9	34.0	23.0	25.0	26.5	27.5	29.5	34.0	40.0
VLA	217013	13	50.0	33.5	36.5	39.0	40.5	43.0	50.0	58.5
VLA	217014	14	53.5	36.0	39.0	41.5	43.5	46.0	53.0	62.0
VLA	217016	16	61.5	41.0	45.0	47.5	50.5	53.0	61.0	71.5
VL	216003	3	11.5	7.5	8.5	9.0	9.5	10.0	11.5	13.0
VL	216004	4	16.0	11.0	12.0	12.5	13.0	14.0	16.0	18.5
VL	216005	5	19.5	13.0	14.0	15.0	15.5	16.5	19.0	22.5
VL	216007	7	27.5	18.5	20.0	21.0	22.0	23.5	27.0	32.0
VL	216008	8	31.0	20.5	22.5	24.0	25.0	26.5	30.5	36.0
VL	216009	9	34.0	23.0	25.0	26.5	27.5	29.5	34.0	40.0
VL	216013	13	50.0	33.5	36.5	39.0	40.5	43.0	50.0	58.5
VL	216014	14	53.5	36.0	39.0	41.5	43.5	46.0	53.0	62.0
VL	216016	16	61.5	41.5	45.0	47.5	50.5	53.0	61.0	71.5
VL	216021	21	81.0	54.5	59.0	62.5	65.5	69.5	80.0	94.0
VL	216022	22	84.0	56.5	61.5	65.5	68.0	72.5	83.5	98.0
VL	216028	28	107	72.0	78.5	83.0	86.5	92.0	106	124
VL	216033	33	125	84.0	91.5	97.0	101	108	124	146

VL	216042	42	136	102	101	106	110	117	129	150
VS	216048	48	158	118	117	123	128	136	150	174
VS	216052	52	169	126	125	131	136	145	160	186
VS	216058	58	189	142	140	147	153	163	180	209
VS	216070	70	227	169	168	176	182	195	215	250
VS	216074	74	237	177	175	184	192	204	225	261
VS	216078	78	253	189	187	196	204	218	241	279
VS	216084	84	272	203	201	211	219	234	257	299
VS	216088	88	286	213	211	220	229	245	268	313
VS	216098	98	318	236	234	245	254	272	300	348
VS	216104	104	337	251	249	261	271	290	320	371
VS	216116	116	376	280	278	291	302	323	356	413
VS	216122	122	396	295	292	306	318	340	372	435
VS	216140	140	454	338	335	350	364	390	429	499
VS	216146	146	474	355	350	368	383	408	451	523
VS	216156	156	506	379	374	393	410	436	482	558
VS	216174	174	564	420	417	437	453	485	533	620
VS	216210	210	678	508	503	527	547	585	643	748
VS	216214	214	694	520	512	539	562	598	661	766
VS	216224	224	726	544	536	564	588	626	692	801
VS	216242	242	785	585	580	608	631	675	742	862
VS	216252	252	820	615	606	637	664	707	782	905
VX	216304(3)	304	1023	738	742	775	806	850	905	1000
VX	216318(3)	318	1070	774	776	812	843	890	947	1046
VX	216340(3)	340	1142	825	829	868	899	950	1012	1118
VX	216462(3)	462	1596	1120	1128	1180	1223	1290	1380	1520

### 龍崎E/S 6月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(℃)	濕度(%)
2013/06/01	0.62	0.54	0.56	10.82	28.26	29.31	89.2	87.33	87.4	0.05	0.04	0.03	24.63	46.29
2013/06/03	0.62	0.55	0.57	0	86.04	39.76	90.03	81.37	86.19	0.03	0.03	0.04	26.62	38.15
2013/06/04	0.62	0.54	0.56	32.45	18.85	48.81	87.23	88.12	85.14	0.07	0.05	0.02	22.96	49.28
2013/06/05	0.62	0.54	0.55	54.04	65.81	67.03	85.03	83.46	83.34	0.04	0.06	0.02	23.31	50.59
2013/06/06	0.62	0.54	0.55	96.99	93.77	76.55	81.35	79.61	81.56	0.05	0.04	0.02	23.55	48.87
2013/06/07	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	67.03	81.14	79.26	82.68	0.04	0.04	0.02	23.92	47.03
2013/06/08	0.62	0.54	0.55	96.99	84.47	57.49	80.61	80.77	84.37	0.05	0.04	0.02	23.93	47.14
2013/06/09	0.62	0.54	0.55	96.99	93.77	76.55	81.28	79.73	82.02	0.05	0.03	0.02	24.01	48.03
2013/06/10	0.61	0.53	0.55	105.93	101.13	67.03	80.1	79.08	82.77	0.04	0.02	0.02	23.72	53.18
2013/06/11	0.62	0.54	0.55	107.66	93.77	76.55	80.06	80.01	82.09	0.05	0.03	0.02	24.18	49.67
2013/06/12	0.63	0.54	0.55	98.55	93.77	67.03	80.88	80.03	82.53	0.05	0.03	0.02	24.2	47.83
2013/06/13	0.59	0.51	0.52	102.45	62.15	72.37	79.83	82.6	81.79	0.07	0.06	0.01	22.41	58.97
2013/06/14	0.6	0.53	0.53	93.86	82.91	73.76	80.73	80.73	82.42	0.04	0.04	0.02	23.38	54.02
2013/06/15	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	76.55	80.93	78.59	82.3	0.06	0.03	0.02	23.52	52.37
2013/06/16	0.61	0.54	0.55	116.39	103.04	76.55	79.46	79.25	82.26	0.05	0.04	0.02	23.47	51.32
2013/06/17	0.62	0.54	0.56	107.66	112.27	77.94	79.59	77.91	82.47	0.05	0.03	0.02	23.67	50.58
2013/06/18	0.61	0.54	0.56	116.39	103.04	68.25	79.24	78.6	82.52	0.05	0.06	0.02	23.17	52.31
2013/06/19	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	87.6	80.01	78.76	81.28	0.04	0.05	0.02	23.67	50
2013/06/20	0.62	0.54	0.56	96.99	93.77	77.94	81.4	80.22	82.5	0.05	0.04	0.02	23.96	49.5
2013/06/21	0.62	0.54	0.53	107.66	93.77	82.91	79.58	79.57	81.25	0.05	0.03	0.02	24.7	58.24
2013/06/22	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	68.25	79.95	79	82.77	0.04	0.02	0.02	29.2	72.39
2013/06/23	0.61	0.54	0.56	105.93	93.77	77.94	80.25	79.5	82.48	0.05	0.03	0.02	28.94	73.33
2013/06/24	0.59	0.52	0.52	122.67	81.35	72.37	77.78	80.86	81.89	0.07	0.06	0.02	27.28	86.33
2013/06/25	0.6	0.53	0.53	104.19	92.03	55.4	79.97	80.5	83.75	0.05	0.04	0.02	27.76	84.38
2013/06/26	0.62	0.54	0.55	86.29	103.04	76.55	81.6	79.34	82.35	0.05	0.03	0.02	29.42	79.88
2013/06/27	0.62	0.54	0.55	96.99	93.77	67.03	81.45	79.66	83.08	0.05	0.03	0.02	29.24	81.25
2013/06/28	0.61	0.54	0.54	95.43	112.27	75.15	81.37	78.25	82	0.05	0.04	0.02	28.93	80.24
2013/06/29	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	68.25	80.68	77.7	82.54	0.04	0.04	0.02	29.13	80.43
2013/06/30	0.62	0.54	0.55	86.29	103.04	67.03	82.09	79.3	82.91	0.05	0.03	0.02	29.38	81.17

### 龍崎E/S 7月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(℃)	濕度(%)
2013/07/01	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	68.25	80.46	79.36	83.11	0.04	0.03	0.02	29.61	76.5
2013/07/02	0.62	0.54	0.55	107.66	112.27	67.03	80.02	78.45	82.87	0.05	0.06	0.02	29.11	79.48
2013/07/03	0.62	0.53	0.55	118.3	92.03	67.03	79.36	79.82	82.56	0.04	0.09	0.02	28.47	85.14
2013/07/04	0.62	0.54	0.55	107.66	112.27	76.55	80.4	77.95	82.33	0.04	0.03	0.02	28.7	80.68
2013/07/05	0.62	0.54	0.56	86.29	112.27	77.94	82.38	78.5	81.95	0.05	0.03	0.02	28.94	81.41
2013/07/06	0.62	0.54	0.56	86.29	93.77	97.24	81.58	79.67	79.78	0.04	0.04	0.02	29.32	76.66
2013/07/07	0.62	0.52	0.53	107.66	90.3	73.76	79.58	79.82	82.11	0.05	0.03	0.02	29.51	74.36
2013/07/08	0.61	0.53	0.55	95.43	73.76	104.94	81.13	81.79	78.95	0.04	0.08	0.02	28.54	80.2
2013/07/11	0.62	0.54	0.55	107.66	84.47	86.04	80.49	80.83	81.07	0.06	0.03	0.02	28.29	79.58
2013/07/12	0.62	0.54	0.54	96.99	112.27	84.47	80.56	78.07	80.85	0.06	0.03	0.02	28.23	80.98
2013/07/13	0.6	0.51	0.51	165.38	79.78	70.98	74.28	80.54	81.99	0.08	0.06	0.02	28.42	91.51
2013/07/14	0.6	0.53	0.53	104.19	92.03	92.03	80.15	79.78	80.42	0.06	0.06	0.02	27.79	90.05
2013/07/15	0.61	0.54	0.54	95.43	103.04	75.15	80.64	79.29	82.08	0.04	0.03	0.02	28.86	78.48
2013/07/16	0.61	0.54	0.55	95.43	103.04	67.03	81.4	79.48	83.23	0.05	0.05	0.02	28.64	80.01
2013/07/17	0.61	0.55	0.55	84.9	95.51	67.03	81.67	79.69	82.87	0.04	0.03	0.02	28.48	80.74
2013/07/18	0.62	0.53	0.55	96.99	101.13	86.04	80.62	78.6	81.15	0.07	0.04	0.02	27.85	91.35
2013/07/19	0.62	0.53	0.55	96.99	92.03	76.55	80.99	80.13	81.54	0.05	0.05	0.02	28.46	83.88
2013/07/20	0.62	0.54	0.54	86.29	103.04	75.15	81.89	78.93	82.21	0.05	0.05	0.02	28.86	82.77
2013/07/21	0.62	0.54	0.55	86.29	103.04	76.55	82.06	78.96	82.05	0.06	0.03	0.02	29.24	79.03
2013/07/22	0.62	0.54	0.56	107.66	112.27	87.6	80.26	77.87	81	0.05	0.03	0.02	29.13	82.99
2013/07/23	0.62	0.54	0.55	86.29	103.04	95.51	81.78	78.85	80.47	0.05	0.04	0.02	28.93	79.2
2013/07/24	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	77.94	80.2	79.18	81.95	0.04	0.04	0.02	28.73	81.83
2013/07/25	0.61	0.54	0.55	105.93	112.27	95.51	80.36	78.39	80.41	0.05	0.05	0.02	28.25	88.77
2013/07/26	0.62	0.52	0.53	139.47	90.3	101.13	77.47	79.82	79.2	0.05	0.07	0.02	27.93	88.94
2013/07/27	0.62	0.53	0.54	107.66	101.13	75.15	80.5	78.65	81.99	0.05	0.04	0.02	29.08	80.04
2013/07/28	0.62	0.54	0.55	86.29	112.27	76.55	81.73	77.96	82.32	0.06	0.08	0.02	28.88	80.52
2013/07/29	0.62	0.54	0.56	96.99	103.04	87.6	81.14	78.57	80.81	0.04	0.04	0.02	29.09	80.77
2013/07/30	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	76.55	80.97	79.04	81.68	0.05	0.03	0.02	29.05	81.31
2013/07/31	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	86.04	80.66	78.59	81.39	0.05	0.06	0.02	28.62	83.43

### 龍崎E/S 8月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	濕度(%)
2013/08/01	0.61	0.54	0.55	95.43	103.04	76.55	81.09	79.25	82.38	0.04	0.06	0.02	27.72	91.85
2013/08/02	0.61	0.53	0.55	105.93	119.22	67.03	80.36	76.99	82.88	0.04	0.06	0.02	28.41	87.26
2013/08/03	0.62	0.54	0.54	96.99	93.77	93.77	81.07	80.41	80.05	0.07	0.09	0.01	26.96	101.91
2013/08/05	0.62	0.55	0.57	118.3	151.6	98.98	79.37	74.12	80.14	0.04	0.03	0.02	29.03	84.48
2013/08/06	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	77.94	81.36	77.67	82.08	0.04	0.04	0.02	29.37	74.95
2013/08/07	0.62	0.54	0.55	96.99	103.04	86.04	80.57	78.81	81.34	0.05	0.06	0.02	28.74	85.83
2013/08/08	0.62	0.54	0.55	96.99	121.47	76.55	80.95	77.27	82.28	0.04	0.05	0.02	29.11	81.28
2013/08/09	0.62	0.54	0.56	86.29	112.27	68.25	81.56	78.17	83.06	0.05	0.05	0.02	28.98	80.04
2013/08/10	0.62	0.54	0.56	107.66	93.77	77.94	80.03	79.69	81.93	0.05	0.04	0.02	28.83	84.34
2013/08/11	0.61	0.53	0.54	105.93	110.19	65.81	79.59	78.39	83.13	0.05	0.04	0.02	29.2	86.08
2013/08/12	0.62	0.53	0.54	86.29	110.19	65.81	82	77.62	82.56	0.04	0.03	0.02	28.99	88.66
2013/08/13	0.62	0.53	0.56	139.47	110.19	87.6	77.47	78.16	81.28	0.05	0.02	0.02	28.93	93.93
2013/08/14	0.61	0.53	0.55	137.22	110.19	76.55	77.33	77.94	81.69	0.05	0.07	0.02	28.19	92.64
2013/08/15	0.61	0.53	0.55	105.93	101.13	76.55	80.27	78.89	82.2	0.06	0.09	0.02	27.99	94.34
2013/08/16	0.61	0.53	0.54	116.39	101.13	84.47	78.63	79.1	81.42	0.05	0.1	0.02	28.31	91.33
2013/08/17	0.6	0.53	0.54	83.5	119.22	84.47	82.05	76.94	80.98	0.05	0.07	0.02	28.44	91.81
2013/08/18	0.62	0.54	0.55	96.99	112.27	86.04	80.84	78.32	80.8	0.05	0.05	0.02	28.92	84.59
2013/08/19	0.62	0.54	0.55	96.99	93.77	57.49	80.61	79.94	83.64	0.05	0.05	0.02	29.2	83.04
2013/08/20	0.61	0.52	0.53	116.39	90.3	64.59	79.08	80.44	83.11	0.06	0.05	0.02	27.92	101.33
2013/08/21	0.59	0.51	0.5	102.45	88.56	52.26	79.6	79.6	83.59	0.06	0.08	0.02	28.26	96.98
2013/08/22	0.55	0.5	0.45	142.35	78.22	39.22	75.08	81.38	84.71	0.07	0.04	0.02	28.48	99.47
2013/08/23	0.54	0.5	0.43	112.27	86.82	37.48	77.9	80.39	84.8	0.07	0.07	0.01	27.61	101.59
2013/08/24	0.59	0.53	0.5	92.3	101.13	52.26	81.18	79.24	83.62	0.05	0.05	0.02	28.91	86.71
2013/08/25	0.6	0.53	0.53	83.5	101.13	64.59	81.86	78.68	82.72	0.06	0.05	0.02	28.16	91.6
2013/08/26	0.58	0.53	0.5	100.72	101.13	60.93	80.04	78.79	83.17	0.04	0.03	0.02	28.83	84.49
2013/08/27	0.62	0.54	0.55	107.66	112.27	95.51	80.13	77.56	79.67	0.06	0.02	0.02	28.88	89.16
2013/08/28	0.61	0.52	0.53	95.43	90.3	73.76	80.63	80.26	82.01	0.05	0.06	0.02	28.19	99.46
2013/08/29	0.55	0.48	0.45	114.35	83.35	39.22	77.62	80.21	84.57	0.07	0.08	0.01	26.96	103.24
2013/08/30	0.51	0.5	0.41	106.03	95.4	57.06	78.44	79.34	82.44	0.06	0.09	0.02	26.94	102.91
2013/08/31	0.51	0.5	0.37	88.56	69.59	38.68	79.86	82.33	83.83	0.06	0.06	0.01	26.65	103.24

### 龍崎E/S 9月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流 (mA)			電阻性洩漏電流 (μA)			相位差 (°)			三次諧波 (mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	濕度(%)
2013/09/01	0.54	0.51	0.41	112.27	88.56	42.86	77.7	79.58	84.04	0.04	0.07	0.01	26.54	99.32
2013/09/02	0.6	0.53	0.51	104.19	110.19	62.15	80.46	77.82	82.78	0.04	0.06	0.02	27.31	85.98
2013/09/03	0.61	0.54	0.55	95.43	112.27	57.49	81.26	77.81	83.55	0.04	0.06	0.02	28.04	80.97
2013/09/04	0.62	0.54	0.55	107.66	121.47	76.55	80.3	76.71	82.12	0.05	0.05	0.02	28.13	85.19
2013/09/05	0.61	0.55	0.56	95.43	104.94	58.54	81.4	79.03	83.64	0.05	0.04	0.02	28.38	81.9
2013/09/06	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	68.25	81.41	77.59	82.75	0.05	0.05	0.02	28.81	80.54
2013/09/07	0.62	0.54	0.56	96.99	121.47	77.94	80.66	77.02	81.79	0.04	0.06	0.02	28.85	81.24
2013/09/08	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	68.25	80.96	77.98	82.68	0.05	0.05	0.02	28.51	83.29
2013/09/09	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	77.94	80.91	77.76	81.66	0.04	0.04	0.02	28.97	83.7
2013/09/10	0.62	0.54	0.56	96.99	103.04	77.94	81.31	79.04	82.03	0.05	0.04	0.02	28.94	85.28
2013/09/11	0.62	0.54	0.56	86.29	121.47	77.94	81.81	77.21	81.58	0.05	0.05	0.02	28.54	86.04
2013/09/12	0.61	0.53	0.56	84.9	101.13	77.94	81.65	79.26	82.1	0.05	0.08	0.02	28.01	96.71
2013/09/13	0.61	0.53	0.55	105.93	110.19	86.04	79.5	77.53	81.39	0.06	0.06	0.02	28.39	91.05
2013/09/14	0.61	0.54	0.56	84.9	121.47	87.6	82.32	76.97	81.45	0.05	0.06	0.02	28.37	89.66
2013/09/15	0.62	0.54	0.56	86.29	103.04	87.6	81.5	79.3	81.35	0.05	0.07	0.02	28.26	89.99
2013/09/16	0.6	0.53	0.55	104.19	110.19	57.49	79.78	77.51	84.05	0.06	0.07	0.02	28.39	89.42
2013/09/17	0.58	0.54	0.55	90.73	121.47	57.49	81.23	77.43	83.56	0.05	0.05	0.02	28.3	85.53
2013/09/18	0.62	0.55	0.56	96.99	114.35	77.94	81.42	77.95	82.08	0.05	0.04	0.02	28.74	81.67
2013/09/19	0.63	0.54	0.55	98.55	103.04	76.55	81.18	78.6	81.98	0.05	0.04	0.02	29.01	83.06
2013/09/21	0.6	0.53	0.56	83.5	110.19	87.6	81.65	77.82	80.97	0.07	0.07	0.02	27.71	99.43
2013/09/22	0.6	0.53	0.56	104.19	82.91	68.25	80.13	80.67	82.63	0.06	0.05	0.02	27.68	94.34
2013/09/23	0.61	0.53	0.56	95.43	110.19	97.24	81.04	78.12	80.35	0.05	0.07	0.02	28.31	89.54
2013/09/24	0.61	0.53	0.55	84.9	101.13	57.49	81.69	78.97	83.87	0.05	0.08	0.02	28.2	92.5
2013/09/25	0.62	0.54	0.55	75.56	103.04	76.55	82.6	79.11	81.65	0.05	0.05	0.02	28.21	89.77
2013/09/26	0.62	0.53	0.54	96.99	92.03	84.47	81.19	79.64	80.51	0.06	0.06	0.02	27.99	90.95
2013/09/27	0.61	0.54	0.55	95.43	121.47	76.55	80.66	76.88	82.49	0.04	0.05	0.02	27.88	89.67
2013/09/28	0.62	0.55	0.57	118.3	123.72	89.17	78.72	76.75	81.14	0.04	0.04	0.02	28.17	86.08
2013/09/29	0.62	0.54	0.56	96.99	112.27	68.25	81.22	78.49	82.6	0.05	0.05	0.02	28.57	84.15
2013/09/30	0.62	0.53	0.56	96.99	110.19	87.6	81.25	78.28	80.77	0.05	0.05	0.02	28.67	87.92

### 龍崎E/S 10月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	濕度(%)
2013/10/01	0.61	0.53	0.55	95.43	101.13	76.55	81.47	79.44	82.13	0.05	0.05	0.02	28.52	87.54
2013/10/02	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	77.94	79.76	78.71	81.51	0.06	0.06	0.02	27.1	85.58
2013/10/03	0.61	0.54	0.55	105.93	103.04	95.51	79.82	78.65	80.42	0.04	0.06	0.02	26.02	77.87
2013/10/04	0.62	0.54	0.55	128.91	112.27	86.04	77.63	78.37	81.15	0.04	0.05	0.02	25.94	79.56
2013/10/05	0.62	0.54	0.56	107.66	121.47	87.6	79.91	77.01	81.32	0.04	0.05	0.01	27.13	84.86
2013/10/06	0.62	0.55	0.56	86.29	95.51	68.25	81.72	80.3	82.83	0.06	0.05	0.02	26.68	90.51
2013/10/07	0.19	0.21	0.19	23.16	32.85	29.72	82.73	80.82	81.2	0.01	0.05	0.02	27.71	85.27
2013/10/08	0	0.09	0.02	0	3.14	1.74	20	92.17	85.04	0	0.04	0.01	28.25	83.75
2013/10/09	0	0.08	0.02	0	2.79	1.74	20	92.28	84.78	0	0.05	0.01	28.06	84.77
2013/10/10	0	0.07	0.02	0	2.44	2.09	20	92.1	83.94	0	0.06	0.01	28.5	86.31
2013/10/11	0.24	0.29	0.23	37.54	45.37	35.98	81.3	80.61	80.85	0.01	0.04	0.01	28.38	86.75
2013/10/12	0.63	0.54	0.57	98.55	103.04	79.33	81.37	78.96	81.53	0.05	0.05	0.02	28.23	86.73
2013/10/13	0.62	0.55	0.57	118.3	104.94	98.98	78.96	78.92	79.87	0.05	0.05	0.02	28.12	87.16
2013/10/14	0.62	0.55	0.57	86.29	104.94	79.33	82.25	79.26	81.97	0.06	0.05	0.02	27.73	88.24
2013/10/15	0.62	0.55	0.56	107.66	104.94	87.6	79.97	79.02	80.71	0.05	0.05	0.02	27.29	87.8
2013/10/16	0.61	0.54	0.56	116.39	121.47	87.6	78.55	77.48	81.36	0.04	0.07	0.01	26.14	78.37
2013/10/17	0.62	0.54	0.56	107.66	103.04	87.6	79.93	78.82	81.45	0.04	0.04	0.01	25.15	78.79
2013/10/18	0.61	0.54	0.57	105.93	112.27	89.17	79.7	78.29	81.16	0.04	0.04	0.01	26.01	79.38
2013/10/19	0.61	0.54	0.57	105.93	103.04	89.17	80	79.02	80.71	0.04	0.05	0.02	26.82	84.11
2013/10/20	0.62	0.55	0.57	96.99	95.51	98.98	80.97	80.37	80.48	0.04	0.06	0.02	26.18	84.55
2013/10/21	0.61	0.54	0.57	105.93	93.77	79.33	80.18	80.3	81.73	0.04	0.05	0.01	25.94	83.63
2013/10/22	0.61	0.54	0.57	105.93	93.77	98.98	80.1	79.56	79.93	0.04	0.04	0.01	25.46	81.48
2013/10/23	0.61	0.54	0.57	84.9	84.47	79.33	81.95	81.22	82.47	0.04	0.05	0.02	24.89	82.25
2013/10/24	0.61	0.54	0.57	53.17	65.81	49.68	84.77	82.82	84.67	0.05	0.05	0.01	25.16	81.66
2013/10/25	0.6	0.54	0.56	93.86	84.47	97.24	81.33	80.92	79.8	0.05	0.05	0.01	25.16	79.15
2013/10/26	0.61	0.54	0.56	105.93	112.27	97.24	80.33	77.62	80.34	0.04	0.03	0.01	24.94	79.24
2013/10/27	0.6	0.54	0.57	93.86	103.04	89.17	81.08	78.73	80.93	0.04	0.03	0.01	24.62	80.44
2013/10/28	0.61	0.54	0.57	95.43	112.27	89.17	80.58	77.83	81.14	0.04	0.03	0.01	23.82	76.24
2013/10/29	0.61	0.54	0.57	105.93	112.27	89.17	80.5	78.05	81.21	0.04	0.03	0.02	25.06	77.38
2013/10/30	0.61	0.54	0.57	105.93	121.47	89.17	79.59	77.18	81.46	0.04	0.05	0.01	25.43	80.64
2013/10/31	0.6	0.54	0.57	93.86	112.27	108.76	80.81	78.2	78.9	0.04	0.05	0.01	25.14	81.05

備註:灰色部分為龍崎 E/S 連續兩週進行 ATR#5 迴路停電維護作業

### 龍崎E/S 11月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	濕度(%)
2013/11/01	0.6	0.54	0.57	124.75	112.27	98.98	77.81	78.46	80.23	0.04	0.05	0.01	26.58	90.87
2013/11/03	0.61	0.54	0.57	147.57	121.47	89.17	75.92	77.41	80.89	0.05	0.06	0.02	27.32	95.32
2013/11/04	0.6	0.54	0.58	134.97	112.27	100.72	76.66	77.91	80.23	0.04	0.05	0.02	26.6	89.51
2013/11/05	0.61	0.54	0.58	157.88	121.47	100.72	75.48	77.35	80.24	0.05	0.05	0.01	26.58	91.4
2013/11/06	0.6	0.54	0.58	145.15	103.04	100.72	76.42	79.27	80.35	0.05	0.06	0.01	26.42	93.07
2013/11/07	0.6	0.54	0.58	114.49	121.47	100.72	78.93	77.29	80.45	0.05	0.1	0.01	26.5	90.88
2013/11/08	0.6	0.55	0.58	104.19	123.72	90.73	79.53	77.17	80.87	0.04	0.07	0.02	26.82	88.15
2013/11/09	0.6	0.54	0.57	114.49	112.27	89.17	78.69	77.97	80.98	0.05	0.09	0.01	26.69	93.52
2013/11/10	0.61	0.54	0.57	105.93	112.27	79.33	80.38	77.77	82.04	0.05	0.05	0.01	26.98	93.43
2013/11/11	0.62	0.55	0.57	107.66	104.94	79.33	80.16	79.47	81.61	0.05	0.05	0.02	27.34	92.15
2013/11/12	0.61	0.54	0.57	95.43	130.64	89.17	80.97	76.22	80.78	0.04	0.05	0.01	25.58	91.41
2013/11/13	0.61	0.53	0.56	105.93	101.13	87.6	79.77	79.41	81.22	0.04	0.05	0.01	25.84	88.52
2013/11/14	0.61	0.54	0.57	95.43	103.04	89.17	80.66	78.81	81.19	0.05	0.06	0.01	25.34	89.64
2013/11/15	0.61	0.53	0.56	126.83	92.03	97.24	78.43	79.75	80.49	0.04	0.05	0.01	26.15	87.86
2013/11/16	0.61	0.54	0.57	95.43	103.04	98.98	81.31	78.93	79.66	0.04	0.04	0.01	25.23	88.26
2013/11/17	0.6	0.53	0.56	104.19	110.19	77.94	79.52	78.17	82.46	0.04	0.03	0.01	24.33	80.24
2013/11/18	0.61	0.53	0.56	84.9	119.22	97.24	81.64	76.71	80	0.04	0.03	0.01	23.97	66.13
2013/11/19	0.61	0.53	0.55	95.43	128.22	95.51	81.11	75.88	80.06	0.04	0.04	0.01	23.65	77.42
2013/11/20	0.6	0.53	0.56	62.72	82.91	116.43	84.15	80.61	78.14	0.04	0.01	0.01	22.48	101
2013/11/21	0.61	0.53	0.56	105.93	119.22	87.6	79.56	76.98	80.67	0.05	0.03	0.01	24.78	82.29
2013/11/22	0.6	0.54	0.56	134.97	112.27	97.24	76.66	77.74	80.26	0.04	0.04	0.01	21.8	92.78
2013/11/23	0.61	0.53	0.56	116.39	119.22	97.24	79.34	76.81	80.16	0.04	0.03	0.01	23.96	82.63
2013/11/24	0.61	0.54	0.57	105.93	103.04	89.17	80.05	78.8	81.33	0.04	0.05	0.02	24.08	81.44
2013/11/25	0.57	0.5	0.51	89.17	69.59	70.98	99.34	98.19	98.15	0.04	0.04	0.01	23.94	91.29
2013/11/26	0.61	0.53	0.56	84.9	73.76	39.06	97.52	97.5	94.13	0.04	0.03	0.01	22.74	90.42
2013/11/27	0.61	0.54	0.56	105.93	65.81	39.06	100.25	97.23	93.99	0.05	0.03	0.01	23.81	85.47
2013/11/28	0.61	0.53	0.56	126.83	146.09	97.24	78.01	74.32	80.41	0.03	0.02	0.01	22.32	88.1
2013/11/29	0.6	0.53	0.55	83.5	110.19	86.04	81.75	78.36	81.43	0.03	0.03	0.01	22.04	61.31
2013/11/30	0.6	0.54	0.56	165.38	148.84	106.85	74.12	73.96	78.66	0.04	0.03	0.01	23.18	74.69

### 龍崎E/S 12月統計報表

站點：龍崎 E/S

時間	總洩漏電流(mA)			電阻性洩漏電流(μA)			相位差(°)			三次諧波(mA)			氣象	
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	溫度(°C)	濕度(%)
2013/12/01	0.6	0.53	0.55	62.72	101.13	86.04	84.2	79.03	80.68	0.03	0.03	0.01	23.05	79.92
2013/12/02	0.6	0.54	0.55	114.49	130.64	86.04	79.32	76.46	81.49	0.04	0.04	0.01	23.53	77.8
2013/12/03	0.6	0.53	0.56	93.86	110.19	87.6	80.7	78.23	80.84	0.03	0.03	0.01	23.23	83.17
2013/12/04	0.6	0.53	0.56	114.49	119.22	97.24	79.02	76.93	80.01	0.04	0.04	0.01	23.22	77.7
2013/12/07	0.61	0.54	0.57	95.43	130.64	89.17	80.67	76.01	81.49	0.04	0.03	0.02	25.2	78.75
2013/12/08	0.61	0.54	0.56	84.9	121.47	87.6	81.51	77.25	81.23	0.04	0.04	0.01	23.36	83.9
2013/12/09	0.61	0.53	0.56	105.93	110.19	87.6	80.46	78.21	80.53	0.04	0.04	0.01	24.97	85.27
2013/12/10	0.61	0.54	0.56	126.83	112.27	97.24	77.69	78.43	80.01	0.04	0.03	0.01	23.43	82.85
2013/12/11	0.6	0.53	0.56	114.49	128.22	106.85	78.93	76.48	79.03	0.03	0.04	0.01	23.25	84.02
2013/12/12	0.61	0.53	0.56	116.39	128.22	97.24	79.01	76.13	80.1	0.04	0.03	0.01	23.72	81.7
2013/12/13	0.61	0.54	0.56	95.43	103.04	97.24	80.64	79.02	79.91	0.05	0.05	0.01	24.37	86.5
2013/12/14	0.57	0.5	0.52	98.98	78.22	81.35	79.51	81.36	81.28	0.04	0.03	0.01	23.41	93.35
2013/12/15	0.57	0.5	0.51	147.53	112.48	70.98	75.27	77.44	81.65	0.04	0.04	0.01	24.61	96.23
2013/12/16	0.6	0.53	0.55	124.75	128.22	86.04	77.87	75.56	80.75	0.04	0.03	0.01	24.32	94.58
2013/12/17	0.56	0.51	0.53	106.85	114.73	92.03	79.45	77.2	80.04	0.03	0.02	0.01	21.07	99.62
2013/12/18	0.59	0.52	0.53	112.58	116.97	101.13	79.02	76.74	79.45	0.02	0.02	0.01	22.27	97.45
2013/12/19	0.6	0.52	0.54	114.49	125.8	93.77	79.27	76.05	79.92	0.02	0.01	0.01	21.54	97.82
2013/12/20	0.6	0.52	0.55	104.19	125.8	86.04	79.81	75.83	80.52	0.02	0.02	0.01	21.82	96.18
2013/12/21	0.6	0.53	0.55	124.75	128.22	95.51	78.41	76.49	79.97	0.02	0.02	0.01	22.03	97.95
2013/12/22	0.6	0.53	0.54	83.5	119.22	93.77	81.51	77.28	79.58	0.03	0.03	0.01	22.4	92.29
2013/12/23	0.6	0.53	0.55	114.49	110.19	114.35	78.96	78.17	78.5	0.03	0.03	0.01	22.72	89.42
2013/12/24	0.61	0.53	0.55	126.83	128.22	95.51	77.79	76.35	80.48	0.03	0.03	0.01	22.88	94.17
2013/12/25	0.61	0.53	0.55	116.39	119.22	95.51	79.15	76.67	80.29	0.03	0.03	0.01	21.45	93.15
2013/12/26	0.61	0.53	0.54	116.39	119.22	84.47	79.04	76.9	80.81	0.02	0.03	0.01	21.44	91.45
2013/12/27	0.59	0.52	0.54	112.58	108.11	84.47	79.14	78.36	80.94	0.02	0.02	0.01	20.55	76.89
2013/12/28	0.59	0.52	0.54	102.45	108.11	84.47	79.71	78.01	80.58	0.02	0.01	0.01	20.61	91.05
2013/12/29	0.6	0.53	0.54	93.86	110.19	84.47	80.72	78.08	81.3	0.02	0.02	0.01	21.38	91.34
2013/12/30	0.6	0.53	0.55	104.19	73.76	47.94	99.52	97.73	95.04	0.03	0.03	0.01	22.33	88.52
2013/12/31	0.6	0.53	0.55	104.19	82.91	47.94	100.08	98.81	95.04	0.03	0.03	0.01	23.33	84.57



## 設備移交一覽表

地點：新營下營二路#19 連接站

設備名稱：避雷器遙測監控發展系統(Arresters SCADA development system)

製表人：陳建男

編號	品名	規格	數量	用途及說明	備註
1	AC to DC converter		1	交流轉直流	
2	電源控制器	自製	1	控制風光系統及負載	
3	蓄電池	12V	2	與電源模組充放電	
4	溫濕度感測器		1	量測現地溫濕度	
5	太陽能板	210W	2	太陽能發電	
6	風力發電機	600W	1	風力發電	
7	ARM 嵌入式系統		1	通訊	
8	3.5G 無線網卡		1	中華電信 SIM 卡	
9	訊號擷取電路	dsPIC33FJ256MC710	7	計算接收訊號	
10	類比轉換電路	AFE 前端電路	3	接收 CT 訊號電盤訊號	
11	計數器電路		3	截取外部洩漏電流	
12	電流感測器(CT)	日製	3	截取總洩漏電流	
13	感應電盤	自製	3	感應電場訊號	仿造 LCMII 電盤
14	量測箱	自製	3	放置 CT、AFE	
15	控制箱	自製	2	放置風光系統模組及電源	

移交人：

單位主管：

接交人：

監交人：

中 華 民 國 年 月 日

## 設備移交一覽表

地點: 龍崎 E/S #ATR5

設備名稱: 避雷器遙測監控發展系統(Arresters SCADA development system)

製表人: 陳建男

編號	品名	規格	數量	用途及說明	備註
1	ARM 嵌入式系統		1	通訊	
2	3.5G 無線網卡		1	中華電信 SIM 卡	
3	訊號擷取電路	dsPIC33FJ256MC710	3	計算接收訊號	
4	類比轉換電路	AFE 前端電路	3	接收 CT 訊號電盤訊號	
5	電流感測器(CT)	日製	3	截取總洩漏電流	
6	感應電盤	自製	3	感應電場訊號	仿造 LCMII 電盤
7	溫濕度感測器		1	量測現地溫濕度	
8	量測箱		3	放置 CT、AFE	
9	電源箱		1	放置電源模組	
10	通訊箱		1	放置 ARM	

移交人:

單位主管:

接交人:

監交人:

中 華 民 國 年 月 日