

出國報告（出國類別：實習）

最新智慧型變電所設備技術

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：林健民 電機工程師

派赴國家：德國、瑞士

出國期間：100年9月13日至100年9月24日

報告日期：100年11月21日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：最新智慧型變電所設備技術

頁數 21 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

林健民/台灣電力公司/輸變電工程處/主辦規範編輯專員/(02)23229784

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100年9月13日至100年9月24日 出國地區：德國、瑞士

報告日期：100年11月21日

分類號/目

關鍵詞：電子式比壓器 (EVT)、電子式比流器 (ECT)、有載切換開關 (OLTC)、真空型 OLTC、變壓器監測系統、狀態維護 (CBM)、變電所自動化設備、智慧型電子裝置 (IED)、IEC 61850、六氟化硫 (SF6)、SF6 氣體監測系統

內容摘要：(二百至三百字)

在智慧型電網系統中，變電所為重要的一環，目前歐洲地區之先進國家均積極進行開發與研究智慧型變電所設備與技術，本文就本次出國研習有關最新智慧型變電所設備技術之電子式變比器、真空型有載切換開關、變壓器線上監測系統、變電所自動化設備採用 IEC 61850 標準、SF6 氣體線上監測系統等發展現況與應用實例，以及參訪 MR 公司之 OLTC 研發測試中心、ABB 公司之 IEC 61850 系統驗證中心與 ABB 公司之 52~170kV GIS 工廠之目的、行程與心得作完整說明，並於文末提出建議事項，作為本公司規劃及建置智慧型變電所時參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

| | |
|---------------------------------------|----|
| 壹、出國目的..... | 1 |
| 貳、出國行程..... | 2 |
| 參、實習心得..... | 3 |
| 一、電子式變比器之技術與應用 | 3 |
| 二、真空型有載切換開關及變壓器監測系統之技術與應用..... | 6 |
| 三、變電所自動化設備採用 IEC 61850 標準之技術與應用 | 10 |
| 四、GIS 監測系統之技術與應用 | 16 |
| 肆、建議事項..... | 21 |

摘要

在智慧型電網系統中，變電所為重要的一環，目前歐洲地區之先進國家均積極進行開發與研究智慧型變電所設備與技術，本文就本次出國研習有關最新智慧型變電所設備技術之電子式變比器、真空型有載切換開關、變壓器線上監測系統、變電所自動化設備採用 IEC 61850 標準、SF6 氣體線上監測系統等發展現況與應用實例，以及參訪 MR 公司之 OLTC 研發測試中心、ABB 公司之 IEC 61850 系統驗證中心與 ABB 公司之 52~170kV GIS 工廠之目的、行程與心得作完整說明，並於文末提出建議事項，作為本公司規劃及建置智慧型變電所時參考。

關鍵詞：電子式比壓器（EVT）、電子式比流器（ECT）、有載切換開關（OLTC）、真空型 OLTC、變壓器監測系統、狀態維護（CBM）、變電所自動化設備、智慧型電子裝置（IED）、IEC 61850、六氟化硫（SF6）、SF6 氣體監測系統

壹、出國目的

智慧型電網為整合發電、輸電、配電及用戶的先進電網系統，兼具自動化及資訊化的優勢，具備自我監視、診斷及修復等功能，可提供具高可靠度、高品質、高效率及潔淨之電力，本公司於民國96年設置「智慧型電網專案小組」，將建構智慧型電網規劃成短、中、長程三階段，並以電網安全與可靠、能源效率、用戶服務品質、分散型電源整合等4個目標領域來進行。在智慧型電網系統中，變電所為重要的一環，目前歐洲地區之先進國家均積極進行開發與研究智慧型變電所設備與技術，故此次出國研習目的說明如下：

- 一、變比器(instrument transformer)為量測電壓及電流的重要設備，傳統比流器(Current Transformer, CT)有鐵心飽和、開路高電壓之問題，而傳統比壓器(Voltage Transformer, VT)則有鐵磁共振、短路大電流之問題，此外，傳統變比器亦有體積大、重量重之缺點，隨著變電所自動化設備數位化與網路化的發展，使得變電所的電驛及儀表對於變比器的負擔要求大幅降低，促使電子式變比器(electronic instrument transformer)的應用範圍及使用數量擴增，其發展現況與技術值得本公司參考。
- 二、本公司營運單位近來積極將既有變電設備之維護，由定期維護(Time-Based Maintenance, TBM)改變為狀態維護(Condition-Based Maintenance, CBM)，以減少不必要的維護費用與停電時間，進而提升設備的可靠度與利用率，為達成此一目標，勢必要從採用可減少維護的設備及建立設備狀態監測系統著手，由於變壓器為變電所重要設備，且有載切換開關(On-Load Tap-Changer, OLTC)為變壓器調整系統電壓之重要元件，因此相關廠家積極開發變壓器狀態監測系統及真空型(Vacuum Interrupter Type)有載切換開關，其發展現況與技術值得本公司參考。
- 三、隨著電子、資訊與通訊技術的進步，變電所大量採用RTU、SCADA、IED等自動化設備，由於不同設備製造商的相容性與通訊協定等問題，造成既有變電所擴充的困難，自從IEC 61850變電所通訊網路與系統之標準於2004年公布後，有效解決不同製造商之自動化設備間的互操作問題，並將變電所各設備之間數位化與網路化，可大幅減少實體配線的數量及縮短變電所建設時間，促使許多電力公司將變電所的自動化系統紛紛採用IEC 61850標準，以利於整合不同廠家的自動化設備至既有系統中，並降低自動化系統的更換、擴充及維護成本，由於變電所自動化設備採用IEC 61850標準已成為世界趨勢，各廠家之技術與規劃經驗值得本公司參考。
- 四、由於六氟化硫(SF₆)具有優異的絕緣性能，因此廣泛使用於變電所氣體絕緣開關設備(Gas Insulated Switchgear, GIS)，惟SF₆為溫室氣體，為減少排放量，各國對於SF₆氣體的管制日趨嚴格，因此相關廠家積極開發GIS之SF₆氣體線上監測系統，並整合至變電所SCADA或遠端維護管理系統，以有效控管SF₆之洩漏量，其發展現況與技術值得本公司參考。

貳、出國行程

本次出國行程及實習內容如下：

- 一、100年9月13~14日：往程（台北－德國法蘭克福）
- 二、100年9月14日：（宿於德國法蘭克福）
研習電子式變比器之技術與應用（ABB公司）
- 三、100年9月15~17日：（宿於德國慕尼黑）
行程（德國法蘭克福－德國慕尼黑）
研習真空型有載切換開關及變壓器監測系統之技術與應用（MR公司）
參訪MR公司位於雷根斯堡（Regensburg）之OLTC研發測試中心
- 四、100年9月18~20日：（宿於瑞士蘇黎世）
行程（德國慕尼黑－瑞士蘇黎世）
研習變電所自動化設備採用IEC 61850標準之應用（ABB公司）
參訪ABB公司位於巴登（Baden）之IEC 61850系統驗證中心
- 五、100年9月21~22日：（宿於德國法蘭克福）
行程（瑞士蘇黎世－德國法蘭克福）
研習GIS監測系統之技術與應用（ABB公司）
參訪ABB公司位於哈瑙（Hanau）之GIS工廠(52~170kV)
- 六、100年9月23~24日：返程（德國法蘭克福－台北）



叁、實習心得

一、電子式變比器之技術與應用

由於傳統電磁式變比器有鐵心飽和、鐵磁共振等問題，且隨著電子、通信及數位化信號處理技術的發展，變電所採用智慧型電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)日趨增多，因此非傳統變比器(Non Conventional Instrument Transformer, NCIT)的應用範圍也隨之擴展，目前技術成熟且穩定之非傳統變比器為電子式變比器，國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)分別於1999年、2002年公布電子式比壓器(IEC 60044-7)及電子式比流器(IEC 60044-8)之標準，由於電子式變比器的二次側輸出為低電壓類比訊號(例如ECT: 150mV、EVT: 2V)或數位訊號，有別於傳統變比器的二次側輸出為電流或電壓類比訊號(例如CT: 5A、VT: 115V)，因此ABB公司將電子式變比器稱之為『Sensor』(感測器)。此外，非傳統變比器之通訊協定亦納入2004年公布之IEC 61850標準，更加速變電所各設備電壓、電流取樣的數位化與網路化，以邁向智慧型變電所的目標。

(一)電子式變比器基本原理

1. 電子式比流器

電子式比流器(Electronic Current Transformer, ECT)的電流量測是採用Rogowski線圈原理(如圖1)，其線圈均勻繞在一非磁性骨架上，輸出訊號為電壓訊號，且電壓與一次電流的導數成正比。

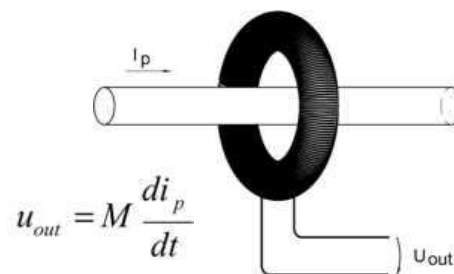


圖1 Rogowski線圈(資料來源: ABB公司)

2. 電子式比壓器(EVT)

電子式比壓器(Electronic Voltage Transformer, EVT)的電壓量測是採用電阻分壓或電容分壓原理(如圖2)，在量測範圍內，其輸出電壓均呈線性。

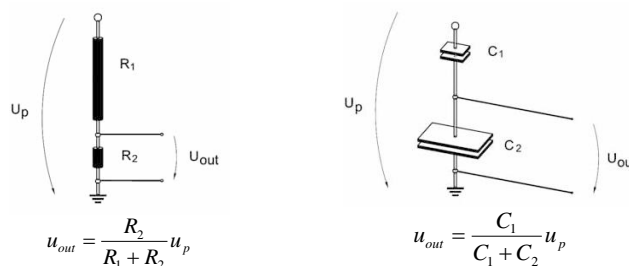


圖2 電阻分壓或電容分壓原理(資料來源: ABB公司)

(二)傳統電磁式變比器與電子式變比器的比較

1. 依ABB公司的說明，採用電子式變比器具有之優點如下：

- (1) 二次側輸出電壓低，不會有傳統比流器二次側開路產生高電壓、比壓器二次側短路產生大電流之危險。
- (2) 量測範圍廣、精確度一定，故不須如傳統比流器分不同變比或不同用途（保護及測量），相對而言，其體積與重量可大幅減少。
- (3) 不需要鐵心，不會有傳統比流器鐵心飽和、比壓器鐵磁共振之缺點。
- (4) 在量測範圍內，輸出與輸入均為線性變化。
- (5) 規格單一，不須計算負擔（burden）及客製化設計，容易標準化及生產製造。
- (6) 結構簡單、損失少，易於將電子式比流器及比壓器合併（combine）在一起。

2. 傳統電磁式變比器與電子式變比器之比較如下：

表1 傳統電磁式變比器與電子式變比器之比較（資料來源：ABB公司）

| | 傳統 CT/VT | 電子式 CT/VT(Sensors) |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 輸出信號(signal output) | 1/5A /100/ 110V | 150mV / 2V |
| 精確度(accuracy) | 0.5~1.0, 5P/10P | 1% |
| 短時/動態耐電流(Ith/Idyn) | 16~25KA/1sec, 40KA | 31.5~40KA/3sec, 80~100KA |
| 線性變比特性(linearity) | No | Yes |
| 飽和(saturation) | Yes | No |
| 鐵心共振(ferroresonance) | Yes (VT) | No |
| 溫度補償係數 (temperature coefficient) | No | Yes (已含在精密度內) |
| 電磁波干擾(EMC) | No | Shielded (需遮蔽隔離) |
| 二次側短路 | 損毀 (VT) | 安全 |
| 二次側開路 | 損毀 (CT) | 安全 |
| 二次側接線 (secondary wiring) | Wiring need | Standard cable |
| 損失(losses) | High | Low |
| 重量 | 40~60 kg (CT+VT) | 2-25 kg (combi) |
| 規格標準化(standardization) | No | Yes |

(三)電子式變比器的應用

1. 中壓氣體絕緣開關設備

本公司中壓氣體絕緣開關設備（GIS）之線路裝設2組傳統電磁式比流器（如

圖3、4），一組供IED用（保護用）、另一組則供Power Meter用（表計用），如採用電子式比流器，可考慮裝設1組（如圖5），同時供IED及Power Meter用。

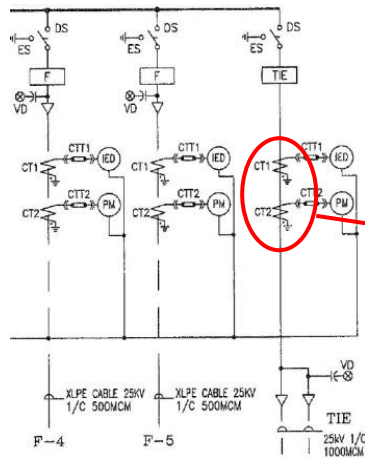


圖3 中壓GIS單線圖之比流器

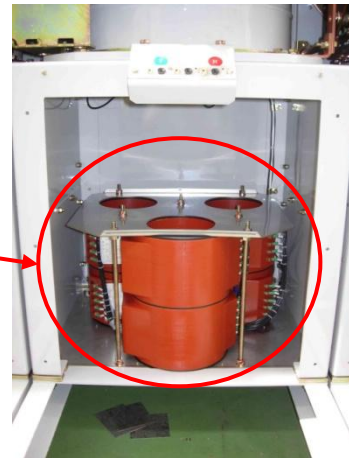


圖4 傳統比流器裝設於中壓GIS



圖5電子式比流器裝設於中壓GIS案例（資料來源：ABB公司）

2. 高壓氣體絕緣開關設備

ABB公司應用於高壓氣體絕緣開關設備之電子式變比器為比流器與比壓器合併型，其構造如圖6，此型電子式變比器設有兩組二次轉換器，係直接安裝在主轉換器，其包含訊號採集、訊號處理及數位傳輸電路，可直接將輸出之數位訊號引接至合併單元（Margin Unit, MU），再依需求以IEC61850-9之通訊協定引接至IED。

以本公司高壓氣體絕緣開關設備為例，可將此合併型電子式變比器裝設於設有Line PT之線路檔（如圖7），亦即將Line PT及CT3、CT4合併。

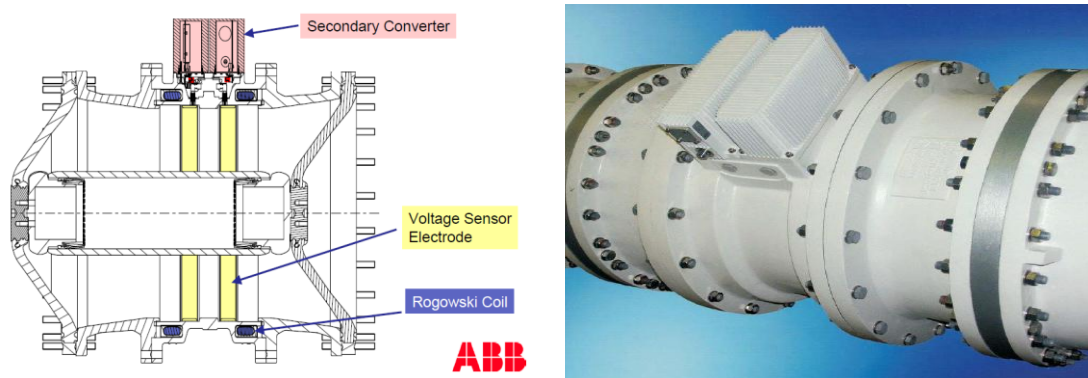


圖6 ABB公司合併型電子式變比器構造（資料來源：ABB公司）

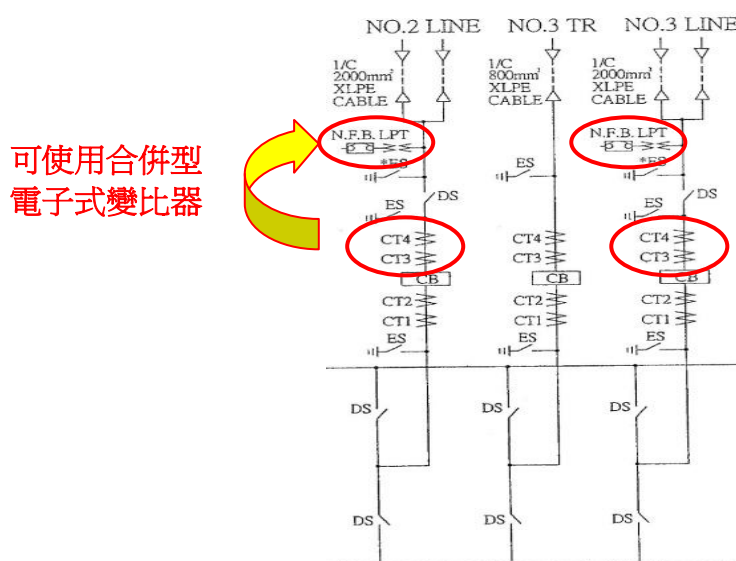


圖7 本公司高壓氣體絕緣開關設備採用合併型電子式變比器範例

二、真空型有載切換開關及變壓器監測系統之技術與應用

(一) 真空型有載切換開關之技術與應用

變壓器之有載切換開關（OLTC）為調整系統電壓之重要元件，亦為變壓器內部唯一可動元件，傳統型OLTC係在絕緣油中進行TAP的切換，由於切換時會產生電弧，並使絕緣油呈現碳化，降低絕緣油的絕緣性能，因此必須將切換開關與變壓器本體隔離，避免變壓器本體之絕緣油受污染，同時需裝設活線濾油機（hot-line oil filter），以濾除切換開關內絕緣油之碳化物。依2007年Cigre之統計資料，變壓器各元件的故障比例以切換開關為最高，約佔41%，其部份原因係OLTC未能妥適維護；另以本公司供電單位為例，OLTC的維護周期為每6年或每切換6萬次必須點檢切換開關，而電壓變動頻繁之地區，其變壓器OLTC亦必須經常性的點檢維護，因此，傳統型OLTC之維護成為維護人員沉重負擔，萊茵豪森機械製造（Maschinenfabrik Reinhausen, MR）公司為解決傳統OLTC之問題，因此研究及開發真空型OLTC，藉以在真空管(vacuum tube)內消弧，避免污染切換開關內

之絕緣油，並延長OLTC的維護週期。

1. 有載切換開關基本構造：

變壓器有載切換開關之構造與功能如下：

(1) 切換開關：切換負載電流的部分。

(2) 選擇開關：

依TAP位置順序，在切換過程將要切換的分接頭預先接通，其僅承擔連續負載電流，但不切換負載電流。

(3) 範圍選擇開關：

爲了增大調壓範圍，有時在選擇開關一側有一個(或幾個)範圍開關聯結成正反調壓、粗細調壓等方式，以增加調壓級數。

(4) 電動機構：

使開關本體動作的動力源，通常是由電力驅動，也可手動，並裝有必須的極限開關、安全連鎖、位置指示及計數器等附屬裝置。

2. 傳統型與真空型OLTC之構造與特性比較

(1) 構造比較

真空型OLTC係指切換的過程中，其切換開關接點之開閉及消弧係類似真空型斷路器是在真空管內完成（如圖8），有別於傳統型OLTC切換開關之接觸子係在絕緣油中切換與消弧（如圖9），可避免污染切換開關內之絕緣油，此外，切換開關之接點損耗受操作的次數、操作時電流、TAP間之電壓及開關瞬間之介質等因素影響，其中開關瞬間之介質部分，由於真空型OLTC之消弧係在真空管內，其損耗較傳統型OLTC之接觸子爲小，故真空型OLTC均較傳統型之使用壽命及維護週期爲長。

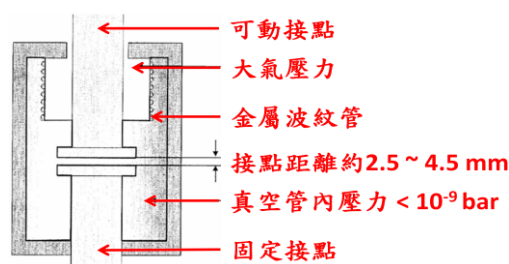


圖8 MR公司真空型OLTC之真空管構造（資料來源：MR公司）

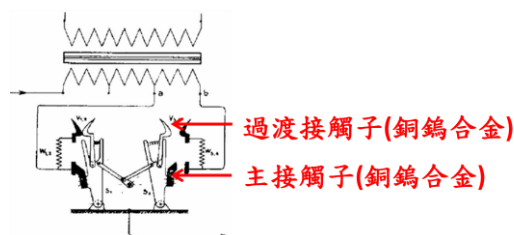


圖9 MR公司傳統型OLTC之接觸子構造（資料來源：MR公司）

(2) 特性比較

以MR公司生產之真空型OLTC為例，每30萬次的切換操作次數才須保養，與本公司傳統型OLTC每6年或每切換6萬次之維護周期比較，傳統型OLTC保養5次時，真空型OLTC僅需保養1次，因此可減少停電維護的次數及停電時間(不需長時間濾油)，並可提高變壓器的可用性(availability)，此外，MR公司真空型OLTC之真空管壽命為60萬次的切換操作次數，在變壓器的生命週期中幾乎可不用更換真空管，所以可以降低其生命週期之成本。綜合傳統型及真空型OLTC之特性，如下表2。依MR公司所述，雖然真空型OLTC初期購置成本較傳統型OLTC高，如加計維護人力及停電損失等成本(各電力公司均不相同)，兩者之生命週期總成本應可相當。

表2 傳統型及真空型OLTC之特性比較表

| | 傳統型OLTC | 真空型OLTC |
|--------|-----------------------------|--------------------|
| 特 性 | 傳統技術-在絕緣油中消弧 | 真空技術-在真空管(tube)內消弧 |
| | 單一接點損耗導致各接點(主接觸子及過度接觸子)損耗不同 | 接點損耗可降至最低 |
| | 絕緣油中有碳化物 | 絕緣油中無碳化物 |
| | 需要裝設濾油機 | 不需要裝設濾油機 |
| | 維護週期時間短 | 維護週期時間長 |
| | 維護所需停電時間長 | 維護所需停電時間短 |

(二) 變壓器監測系統之技術與應用

根據2007年Cigre的調查與研究，大多數變壓器的早期潛在故障是隨著運轉時間而發展，變壓器的故障主要發生在切換器、線圈、套管、鐵心及本體等，尤其又以切換器的故障比例最高，而MR公司擁有變壓器唯一可動部位有載切換開關多年生產與測試經驗，對於變壓器OLTC之狀態與特性十分瞭解，因此所開發變壓器監測系統，除可有效監測OLTC之狀態外，亦可評估下一次維護之時間，同時也可整合既有變壓器各項監測設備(如油中氣體分析器)之資料，並將相關監測資料傳送至維護或監控管理中心，以即早發現變壓器的缺陷及達到變壓器狀態維護之目標。

1. 變壓器監測系統之監測項目

MR公司變壓器監測系統之架構如圖10，相關監測項目如下：

(1) 本體監視項目

油溫、環境溫度及電動機構的內部溫度等狀態。

(2) 有載切換開關監視項目

電動機構功率(可藉此計算出OLTC運轉時之扭矩值)、切換開關油室溫度(不同溫度之絕緣油，其黏度不同，會造成扭矩值有所差異)、負載電流(可藉此計算出接觸子之損耗程度)、切換位置、切換操作次數、

傳動桿及同步運轉等狀態。

(3) 冷卻器監控項目

監視冷卻器（風扇及油泵）運轉狀態，並可依各組冷卻器運轉時間自動控制交替運轉，使各組冷卻器之運轉時間相當。

(4) 其他監控項目：可依需求增加I/O模組。

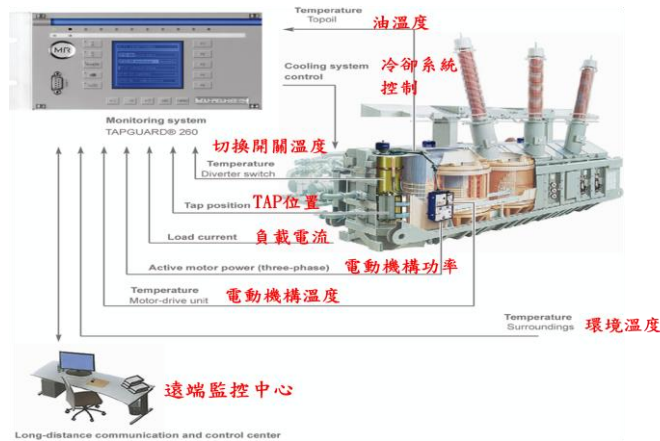


圖10 MR公司變壓器監測系統之架構（資料來源：MR公司）

2. MR公司變壓器監測系統之功能

(1) 可計算所有重要的維護標準

- A. 評估切換開關內絕緣油之碳含量及計算接觸子損耗程度（傳統型 OLTC）
- B. 顯示真空管的使用壽命（真空型OLTC）

(2) 提醒下次維護時間

(3) 測量有載分接開關在切換過程中經歷的各個切換步進之扭矩值並繪製扭矩曲線

(4) 控制電動機構之加熱器

(5) 記錄所有測量值和事件

(6) 支援IEC 61850、DNP 3.0等通訊協定，可將監測資料傳送至監控中心或維護管理系統

(三)參訪MR公司OLTC研發測試中心

MR公司為取代舊有之OLTC測試中心，故在其總部雷根斯堡（Regensburg）新建OLTC研發測試中心，該中心於2008年完成，總樓地板面積約有4800平方公尺，測試區域劃分為高壓測試、局部放電測試、功率測試、溫升測試、短路電流測試、機械測試及溫度測試等，能夠24小時自動化模擬OLTC在使用壽命期間可能承受之各種電氣、機械、化學或氣候等條件下之運轉狀態，亦包含IEC標準所要求的各種測試，以確保出廠之OLTC可符合IEC標準要求，甚至超越IEC標準所訂

之要求，而相關的測試數據可供研究人員研究與開發新的產品。

三、變電所自動化設備採用 IEC 61850 標準之技術與應用

早期變電所自動化設備的通信協定係由各廠家各自發展，各種通信協定均不相容，造成使用者的使用與設備的擴充及設備製造商的設計與生產造成極大的限制，同時花費在設備互連的人力和物力，也變得越來越大，因此歐洲主要電力設備製造商如ABB、SIEMENS、ALSTOM 等公司促請國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）將當前無序的通信協定規範化，提出了「One World, One Technology, One Standard」的IEC61850「變電所通訊網路和系統（Communication networks and systems in substations）」通信協定，並於2004年公布此一標準，由於IEC61850標準完整描述與規範變電所自動化的通信標準，對於變電所自動化設備的發展具有極大的優勢，因此各國電力行業莫不紛紛跟進投入研究及採用符合IEC61850標準之設備，其發展現況及應用範圍值得本公司參考。

（一）變電所自動化設備的發展趨勢

本公司變電所之量測、控制與保護設備，由早期的傳統機械式儀表、電驛及點對點的控制電纜引接方式，逐步改採數位式儀表、智慧型電子裝置（Intelligent Electronic Device, IED）、遠端遙控單元（Remote Terminal Unit, RTU）、SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）及串列通訊架構（如DNP3.0及RS-485），惟現行串列通訊的數位化設備，不同的廠商或同廠商不同版本之間，因為沒有共通的標準，無法整合在同一通信系統中，因此仍必須各自連接通信線或採用傳統的控制電纜接線。隨著電子、通信、電腦及變比器等技術的快速發展，以及自動化設備廠商紛紛採用IEC 61850標準，因此實現了變電所自動化設備（包含保護、量測、通訊及控制）的數位化與網路化（如圖11），並達到設備之間的互操作性（interoperability）、自由配置（free configuration）及長期穩定（long term stability）的要求。

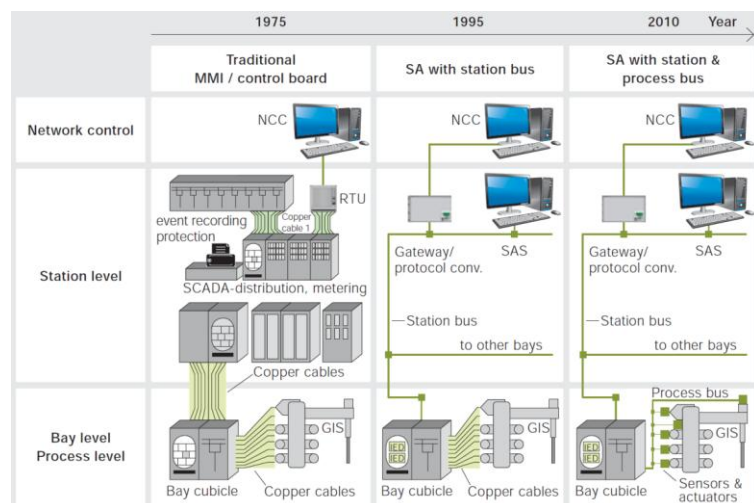


圖11 變電所自動化設備的發展趨勢（資料來源：ABB公司）

(二) IEC 61850標準簡介

IEC61850標準主要是規範變電所通訊網路和系統的通信協定，共可分為10部分，其內容如下表3。

表3 IEC61850標準的架構與內容

| 標準編號 | 名稱 | 內容 |
|--------------|--|---|
| IEC61850-1 | 基本原則 | IEC 61850標準的介紹與概述 |
| IEC61850-2 | 術語 | 本標準使用的術語說明 |
| IEC61850-3 | 一般要求 | 品質要求（可靠性、可維護性、系統可用性、安全性）、環境條件等 |
| IEC61850-4 | 系統和專案管理 | 專案要求（參數分類、工具、文件）、系統使用週期（產品版本、專案交接及交接後的支援）、品質保證（責任、測試設備、型式試驗、系統試驗、工廠試驗、現地試驗） |
| IEC61850-5 | 功能和設備模型的通信要求 | 邏輯節點的通路、邏輯通信鏈路、通信訊息部分（PICOM）的概念、功能的定義 |
| IEC61850-6 | 與 IED 有關的變電所通信結構語言 | IED和系統屬性的語言描述 |
| IEC61850-7-1 | 變電所和饋線設備的基本通信結構：原理與模型 | 變電所和饋線設備基本通信結構的原理與模型 |
| IEC61850-7-2 | 變電所和饋線設備的基本通信結構：抽象通信服務介面（ACSI） | 抽象通信服務介面的描述、抽象通信服務的規範、服務資料庫的模型 |
| IEC61850-7-3 | 變電所和饋線設備的基本通信結構：公共資料分類和屬性 | 抽象公共資料分類和屬性的定義 |
| IEC61850-7-4 | 變電所和饋線設備的基本通信結構：相容的邏輯節點和資料物件的定址 | 邏輯節點的定義、資料物件及邏輯定址 |
| IEC61850-8-1 | 特殊通信服務映射（SCSM）：映射到 MMS 和 ISO/IEC8802-3 | 變電所層和間隔層之間的通信映射 |
| IEC61850-9-1 | 特殊通信服務映射（SCSM）：串列單向多路點對點通信鏈路的採樣 | 間隔層和過程層之間串列單向多路點對點的通信映射 |
| IEC61850-9-2 | 特殊通信服務映射（SCSM）：映射到 ISO 8802-3 的採樣值 | 間隔層和過程層之間採樣值的通信映射 |

| | | |
|-------------|-------|------------|
| IEC61850-10 | 一致性測試 | 系統一致性測試的項目 |
|-------------|-------|------------|

IEC 61850標準將變電所通信體系分為3層（如圖12）：變電所層（Station level）、間隔層（Bay level）及過程層（Process level）。在變電所層和間隔層之間的網路採用抽象通信服務介面（ACSI）映射（Mapping）到製造信息規範（Manufacturing Message Specification, MMS）、傳輸控制協定/網際協定（TCP/IP）及乙太網或光纖網。在間隔層和過程層之間的網路採用單向多路點對點傳輸乙太網(如圖13)。變電所內的智慧型電子裝置均採用統一的通信協定，可透過網路進行垂直及橫向的資訊交換。

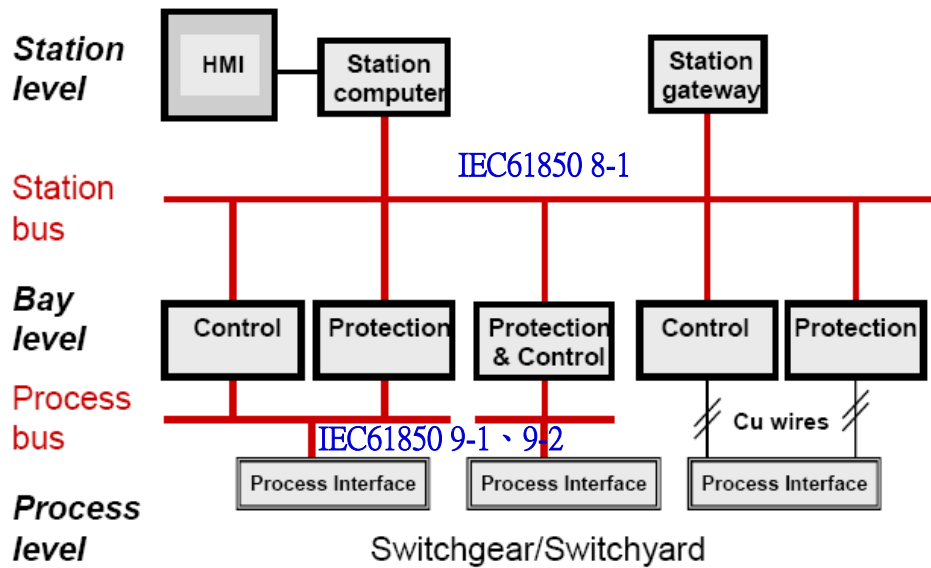


圖12 IEC 61850標準的變電所通信分層體系與通信協定（資料來源：ABB公司）

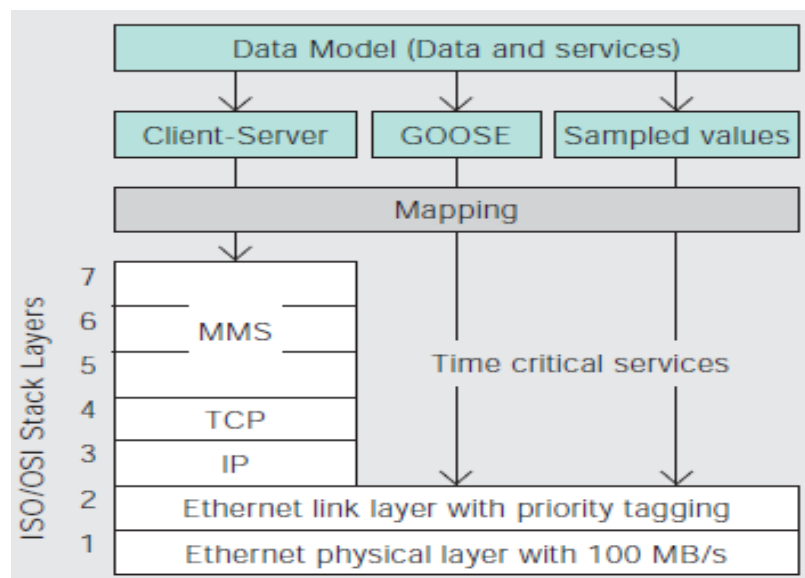


圖 13 IEC61850 的資料模型映射到通信堆疊層的架構（資料來源：ABB 公司）

(三) IEC 61850標準的特點

1. 變電站的資訊分層結構：

將變電站的通信體系分爲 3 個階層，即變電所層、間隔層和過程層，並且定義了層和層之間的通信協定，滿足即時資訊傳輸要求的服務模型。

2. 物件導向建模技術：

採用物件導向的建模技術，定義客戶端/伺服器結構的資料模型。每個IED包含一個或多個伺服器，每個伺服器本身又包含一個或多個邏輯設備(Logical device, LD)，邏輯設備包含邏輯節點(Logical Nodes, LN)，邏輯節點包含資料物件，資料物件則是由資料屬性所構成的公用資料，其中邏輯節點爲變電設備最小單元，由英文字母來代表各設備，如PDIF代表差動電驛、TCTR代表比流器等。每一個邏輯節點包含一至多個資料，每一個資料擁有多種屬性，例如XCBR 的邏輯節點的資料，包含了Pos (位置)、StVal(狀態)、q(品質)及t(時間標籤)等資訊。從通信而言，IED 同時也扮演客戶的角色。任何一個客戶可通過抽象通信服務介面 (ACSI) 和伺服器通信及取得資料物件。

3. 資料的自我描述

定義各變電所設備與元件、邏輯節點等命名規則及資料格式，並採用物件導向的方法，定義物件之間的通信服務，如獲取和設定物件值的通信服務、取得物件名清單的通信服務及獲得資料物件值清單的服務等。由於資料本身帶有說明，所以傳輸時可以不受預先定義限制，可簡化資料的管理和維護工作，並減少由於配置錯誤而引起的系統停機時間。

4. 網路的獨立性

針對變電所資料傳輸的通信服務，採用獨立於網路和應用層協定的抽象通信服務介面 (ASCI)。在IEC61850-7-2中，建立標準相容伺服器所必須提供的通信服務的模型，包括伺服器模型、邏輯設備模型、邏輯節點模型、資料模型和資料集模型。可透過ACSI由專用通信服務映射 (SCSM) 映射到所採用的具體協定堆疊，例如製造報文規範 (MMS) 等。IEC 61850 標準使用 ASCI 和 SCSM技術，解決了標準的穩定性與未來網路技術發展之間的矛盾，即當網路技術發展時只需要更改SCSM，而不需要修改ACSI。

(四)通用物件導向變電所事件的應用

爲提供IED之間即時 (real-time) 且可靠的輸入及輸出資料集 (data set) 的功能，IEC 61850標準定義通用物件導向變電所事件 (Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE) 的模型，其通信結構係採多個通信節點之間的點對點直接通信，由一個或多個發布者 (sender) 向多個訂閱者 (subscriber) 發送資料集，而每個訂閱者接收到資料集後的反應取決於其配置和功能。GOOSE所發送的資料集係指須快速傳遞的變電所事件，如命令、警報、指示等，其時間的延遲必須在4ms以內，主要應用在開關的跳脫 (trip)、故障紀錄器的啓動及開關位置的連鎖 (interlocking) 等。以往開關設備的連鎖係採用控制電纜實體接線方式達成，由於GOOSE模型的建立，便可採用通信的方式達到開關設備的連鎖 (如圖14)，

以減少盤與盤之間控制電纜的使用數量及接線的時間，並實現變電所完全網路化與數位化。

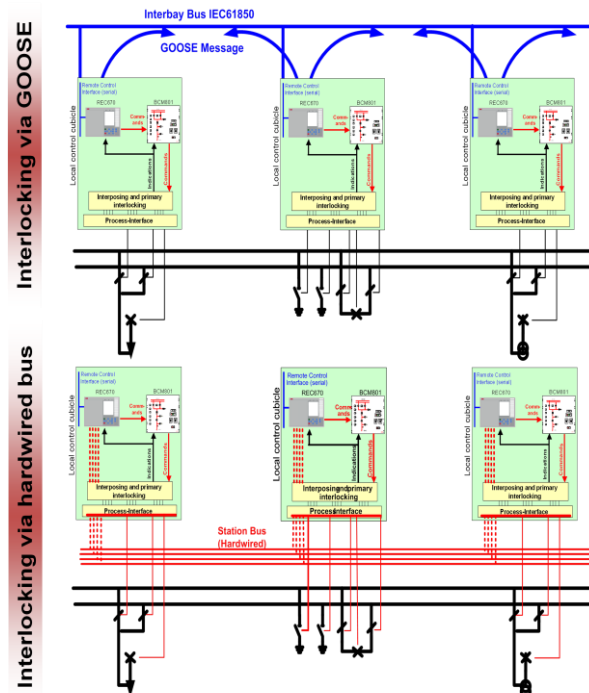


圖14 開關設備的連鎖採用GOOSE通信及傳統實體接線的比較(資料來源:ABB公司)

(五) 變電站層網路配置模式與應用

現行本公司變電所內使用的通信協定以DNP3.0為主，由於其僅能垂直式的傳送與接收資料或指令，故一般採星狀配置（Star Configuration）的架構，而採用IEC 61850標準之通信協定時，設備間不僅可垂直式傳送與接收資料或指令，亦可水平式的傳送與接收資料或指令，為提高通信網路的可靠度，並使設備間資料傳送與接收之性能（時效）可符合IEC 61850-5之規定，一般採用環狀配置（Ring Configuration），ABB公司建議的配置模式（如圖15）與應用如下：

1. 集中環狀架構（Centralized Ring）

(1) 乙太網功能

大型的交換器裝設於變電站層的箱體內、採用高速的主幹（Gigabit）、可設置備用電源供應器。

(2) 應用

各檔位IED至變電站層的距離短、每一個箱體只有少數的IED。

2. 分散式環路架構（Decentralized Ring）

(1) 乙太網功能

交換器分別裝設於各檔及變電站層的箱體內、可選擇大型或小型的交換器、主幹為100Mbit/s或1 Gigabit/s。

(2) 應用

各檔位IED至變電站層的距離長、每一個箱體裝設多只IED。

3. 多重網路架構 (Multi networks)

(1) 乙太網功能

大於3個實體分割的網路、每一個網路可自由選擇配置的模式 (集中或分散)。

(2) 應用

大型系統、多種電壓等級、控制及保護系統分離、保護系統分離(Main1、Main2)、高可靠度的要求。

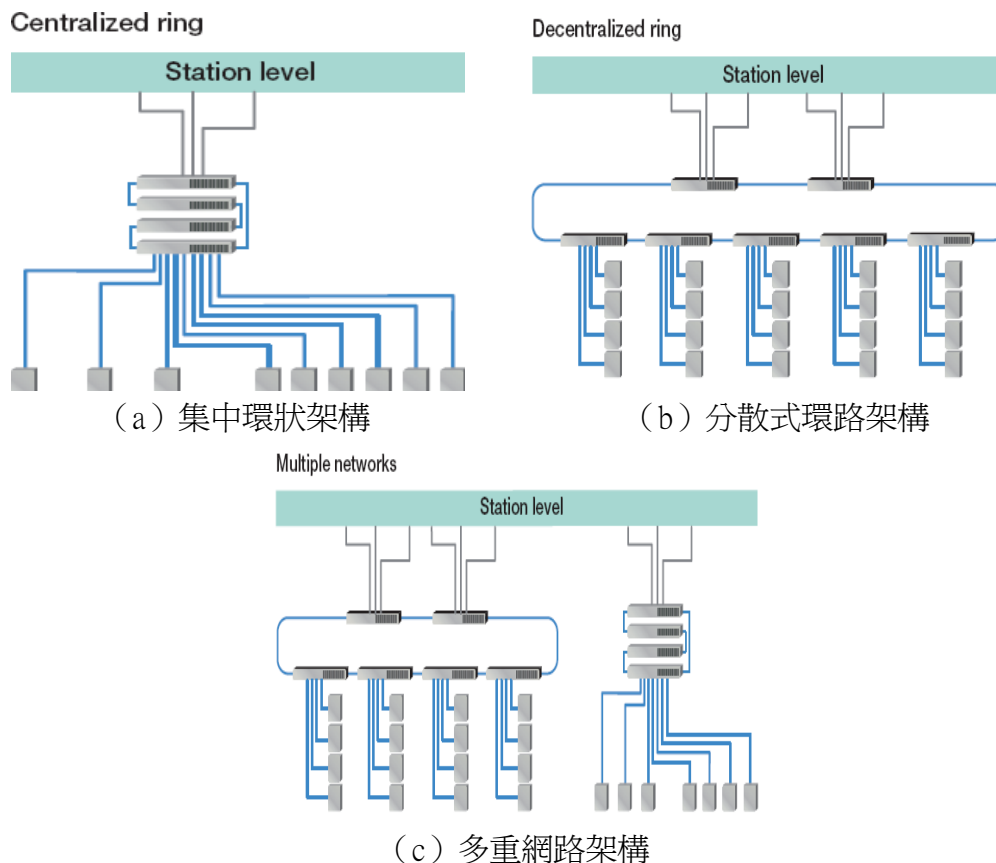


圖15 變電站層網路配置模式 (資料來源：ABB公司)

4. 應用實例

以ABB公司在杜拜水電局(DEWA)的自動化系統採用IEC 61850之專案為例，該系統分為132kV及11kV等級，因此採用多重網路架構 (如圖15)，將132kV及11kV各自組成分散式的環狀網路 (132kV為分散式雙環狀網路)，並分別連接至2套伺服器，以確保系統的可靠度、性能及安全性，132kV及11kV間隔層之IED則採用控制和保護整合方案，並將GPS的時間以SNTP通信協定連接至變電站層網路，確保伺服器及IED的時間同步，由於此專案案例類似本公司一次配電變電所之架構，可供本公司未來建構符合IEC 61850標準之自動化系統時參考。

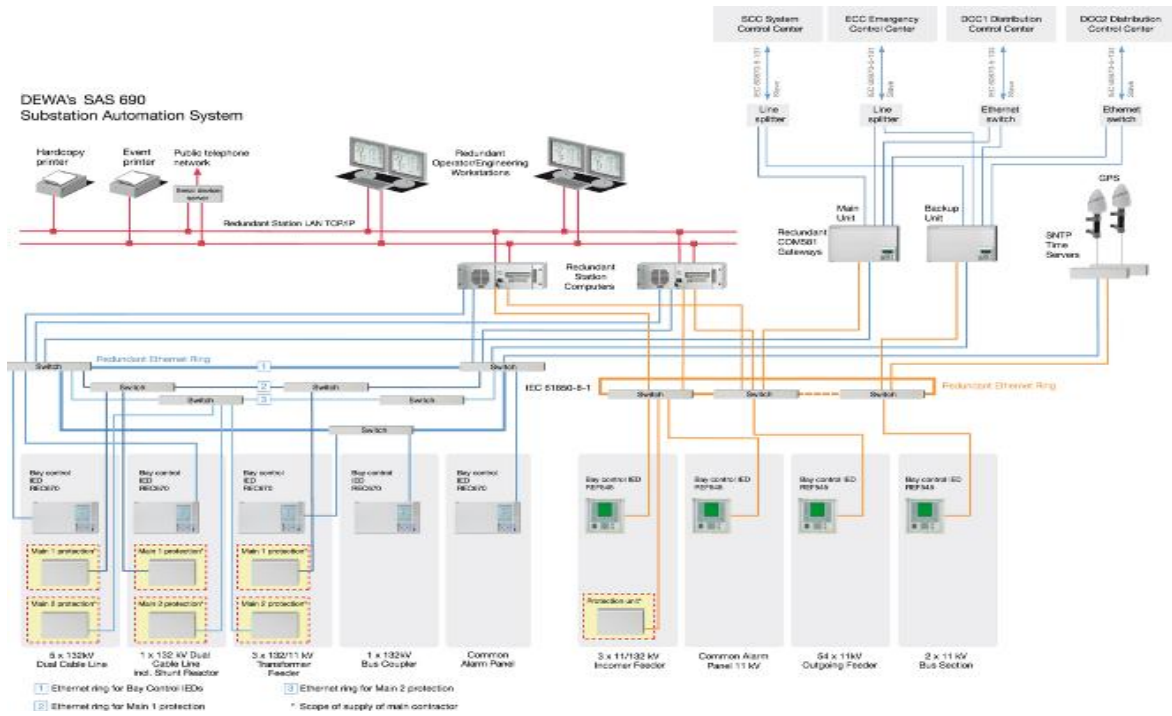


圖15 ABB公司在杜拜水電局（DEWA）之IEC 61850專案架構（資料來源：ABB公司）

(六) 參訪ABB公司位於巴登（Baden）之IEC 61850系統驗證中心

ABB公司之IEC 61850系統驗證中心（System Verification Center, SVC）位於瑞士巴登（Baden）地區，距離蘇黎士約有15~30分鐘的火車路程，於2005年規劃成立，並於2006年通過UCA（Utility Communications Architecture）認證該中心具備符合IEC 61850標準的試驗設備及能力，亦為全世界第一個獲得認證的IEC 61850測試實驗室。

經參觀後，該驗證中心雖然占地不大，然而卻擺放許多各廠牌的IED，主要是ABB公司為確保該公司生產之自動化設備具備與其他廠牌IED的互操作性（interoperability）。由於現行符合IEC 61850標準之自動化系統多採用專案方式辦理，ABB公司對於客戶自動化系統專案的試驗程序為工廠試驗（factory test）、工廠驗收試驗（factory acceptance test, FAT）、現地試驗（site test）及現地驗收試驗（site acceptance test, SAT）；對於客戶既設符合IEC 61850標準之自動化系統未來擴充之IED或新研發的自動化設備的試驗程序則為定型試驗（type test）、整合試驗（integration test）及系統試驗（system test），以確保新設或擴充之自動化設備的一致性。

四、GIS 監測系統之技術與應用

本公司變電所之開關設備目前大多採用氣體絕緣開關設備（GIS），由於GIS是全封閉式的電力設備，一旦發生事故，其故障修復時間長，停電影響範圍廣，因此監測GIS的運轉狀態更顯重要。此外，隨著電子及新型變比器的發展與使用，氣體絕緣開關設備亦朝智慧化的方向發展，而IEC 62063標準對於智慧型開關設備的定義為「具

有高性能的斷路器和控制設備，配備有電子設備、變比器及運算器，不僅具有斷路器的功能，還具有附加功能，尤其在監測及診斷方面」。因此，各廠家積極發展相關GIS監測與診斷系統，而在監測方面又以斷路器機械與電氣性能監測、局部放電監測及SF6氣體監測較為常見。

目前局部放電監測大多是利用超音波檢測技術，必須將檢測到的局部放電訊號與歷史數據相比較，以變化趨勢判別是否有局部放電故障的發生及局部放電的類型，因此需建置完整的診斷系統，以避免誤報，同時人員須經專業訓練始能輔助判別局部放電的位置與類型，其技術門檻及所需的裝置成本相對而言較其他監視系統為高，因此國外仍是以試點計畫（pilot project）的方式測試。

氣體絕緣開關設備採用之六氟化硫（SF6）因具有優異的絕緣性能，不僅可減少開關設備的體積，亦可減少開關設備維護的週期與時間，因此廣泛使用在都市等用地面積受限或鹽霧害等污染嚴重的變電所，由於SF6為溫室氣體，為減少排放量，歐洲各國對於SF6氣體的管制日趨嚴格，迫使歐洲地區之電力公司開始重視SF6氣體對於環境影響，此外，現行SF6的監測多採用人工定期巡檢方式，必須耗費大量的人力及物力，不僅無法即時了解設備洩漏趨勢，且紀錄之資料誤差大（人為、溫度），因此SF6線上監視系統不僅可以解決現行SF6氣體監測與管制所面臨的問題，其建置成本亦相對較低。

(一) ABB公司之GIS監視系統解決方案

ABB公司對於GIS監視系統的解決方案如表4，可供本公司建置智慧型開關設備之參考。

表4 ABB公司之GIS監視系統解決方案（資料來源：ABB公司）

| 設備/元件 | 功能 | 狀態 | 紀錄資料 |
|-------------|------------|------------------|-------------------|
| 開關元件 | 操作次數 | 壽命 維護週期 | 開關位置 最後一次維護的時間 |
| | 操作機構 | 機械故障或腐蝕 | 移動和反應時間 |
| 斷路器 | 接觸頭的磨損 | 由於遮斷故障電流造成接觸頭的磨損 | 一次側電流 電弧持續時間 |
| 斷路器 操作機構 | 液壓與能量儲存 | 內部洩漏 油泵馬達故障 | 油泵的啟動 |
| 氣室 | SF6氣體密度與趨勢 | 氣體洩漏 | SF6密度 |
| | 電弧偵測 | 內部閃絡 | 光學感測器 |
| | 局部放電 | 絕緣缺陷 | 超音波（UHF） |
| 電子裝置 | 自我檢測 | 電子裝置故障或停電 | 監視信號 一致性檢查 |

(二) ABB公司SF6氣體密度監測系統的組成

ABB公司所開發的SF6壓力監視系統稱之為開關設備監測模組（Modular Switchgears Monitoring, MSM），組成元件如下：

1. 混合氣體密度監測器（Hybrid Gas Density Monitors, HGDM）：係由密度計及密度感測器組成（如圖17），密度感測器的輸出為4~20mA的類比訊號。
2. 控制及通信模組（Control & Communication Modular, CCM）：含24V DC電源供應器（輸入電壓為100~240VAC），共可連接10組類比輸入模組，通訊介面為RJ45、10/100 Mbit/s。
3. 類比輸入模組（Analog Input Modular, AIM）：共可引接8組密度感測器。
4. 現場人機介面（Local HMI）顯示器：可視需求裝設，具有警報和歷史事件記錄功能，設有兩個LED燈號，紅色LED為MSM的設備狀態和氣體密度值的警報，綠色LED為HMI設備的狀態指示。

開關設備監測模組之設備架構如圖18。

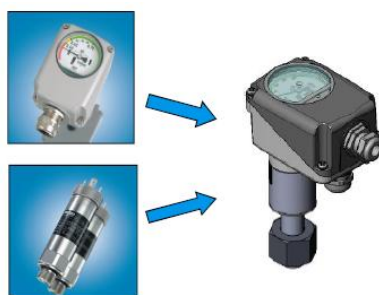


圖17 混合氣體密度監測器（資料來源：ABB公司）

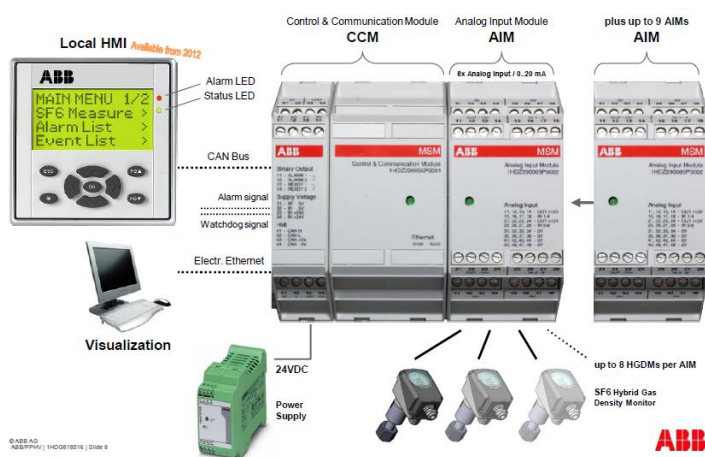


圖18 開關設備監測模組之設備架構（資料來源：ABB公司）

(三) ABB公司SF6氣體密度監測系統的功能

ABB公司SF6氣體密度監測系統的開關設備監測模組功能如下：

1. 線上監測SF6氣體密度值
2. 具有自我監視功能，可監測開關設備監測模組所有元件（CCM、AIM、HMI）

及感測器之狀態（HGDM）。

3. 可計算所有SF6氣室的洩漏率，並可圖像顯示SF6洩漏趨勢（Web介面）。
4. 各氣室之密度值、洩漏率及歷史事件可顯示在現場人機介面顯示器（CAN Bus）或經由IEC61850、SNTP、FTP、HTTP等通訊協定連接至SCADA、Web介面或其他管理系統（如圖19）。
5. 具有監視（Watchdog）、警報（Alarm）/預警（Warning）二進制信號輸出點及LED狀態指示燈。

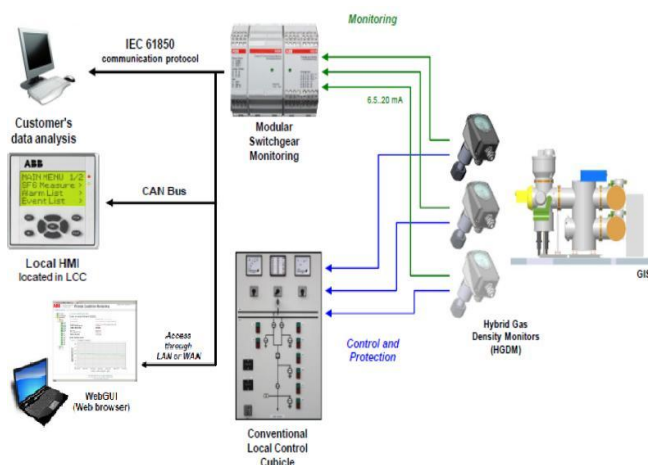


圖 19 SF6 氣體密度監測系統的監測方式（資料來源：ABB 公司）

(四) ABB公司SF6氣體密度監測系統的配置方式

由於SF6氣體密度監測系統係依密度計的數量彈性裝設開關設備監測模組，且其體積小，可直接安裝在DIN導軌上，因此適用於新設或既設的氣體絕緣開關設備，既設的GIS設備僅需將原有的氣體密度計更換為混合氣體密度監測器及裝設MSM模組，而ABB公司SF6氣體密度監測系統的配置可視需求裝設於現場控制箱或集中箱內，其方式如下：

1. 分散式配置：於氣體絕緣開關設備各檔控制箱裝設MSM及Local HMI（如圖20），可直接在HMI讀取SF6氣體密度值、洩漏趨勢、警報及歷史事件，惟遠端無法監視。

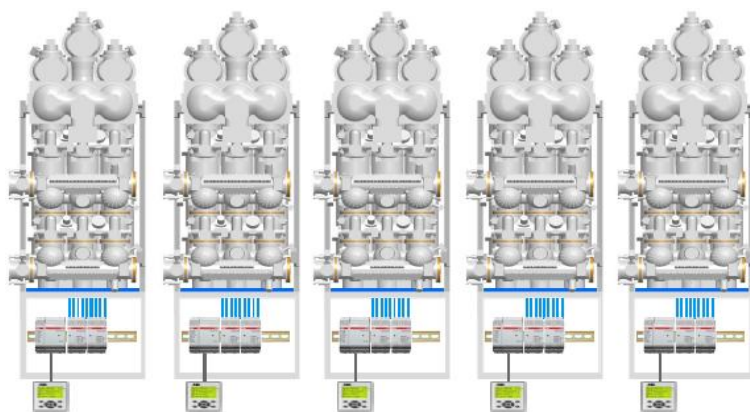


圖20 SF6氣體密度監測系統採分散式配置（資料來源：ABB公司）

2. 集中式配置：MSM集中裝設於監視盤，並將氣體絕緣開關設備各檔之SF6氣體密度信號引接至監視盤（如圖21），再經由通信線路連接至SCADA或其他管理系統，便於集中管理與監測，惟SF6氣體密度信號引接至監視盤的線路需較長。

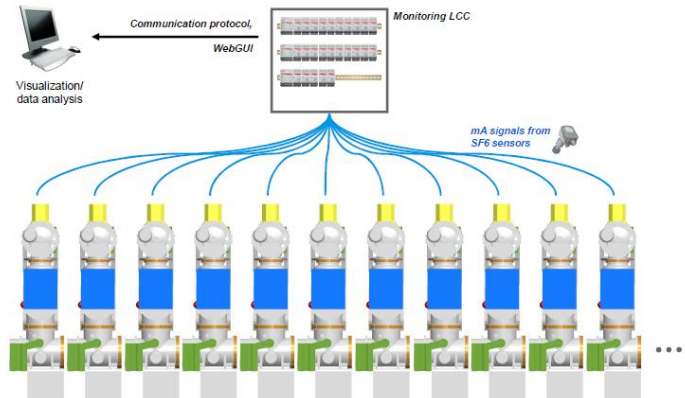


圖21 SF6氣體密度監測系統採集中式配置（資料來源：ABB公司）

(五) ABB公司SF6氣體密度監測系統的優點

依ABB公司所述，此SF6氣體密度監測系統的優點如下：

1. 在監測GIS SF6洩漏的方法中，最為節省成本的方案
2. 可即早偵測出GIS SF6洩漏的危急狀態
3. 可依照計算出的洩漏率安排維護計畫
4. 符合狀態維護（CBM）的趨勢
5. 減少巡檢及記錄的工作
6. 節省維護及人力成本
7. 容易整合於既有或新設的GIS設備
8. 易於控管SF6氣體的洩漏量及計算碳排放量

備註：二氧化碳（CO₂）之全球暖化潛勢（Global Warming Potential, GWP）值為1時，SF6的GWP值為22,800。

(六) 參訪ABB公司位於哈瑙（Hanau）之GIS工廠

ABB公司位於德國哈瑙（Hanau）之GIS工廠主要生產52kV至170kV級的開關設備，距離法蘭克福約有40分鐘的車程，當進入工廠登記時，服務人員隨即發給我一安全手冊，並解說工廠內的各項安全措施、發生火災事故等意外時人員的集合地點及廠區內未經同意均不得拍照，此次研習與參訪過程中，每一廠商都會做此一安全宣導與說明，顯見歐洲國家十分注重安全與管理，值得本公司及國內廠商學習。此一GIS工廠已有百年以上的歷史，部分早期的建築目前仍保留著，且工廠的空地與草坪放置著ABB公司製造的各類型式開關設備，宛若開關設備的博物館十分壯觀，可惜時間不足無法逐一觀看，其服務中心內亦擺放該公司

生產之GIS，展示GIS各個元件與配置，該公司開發之SF6氣體密度監視系統亦裝設於展示的GIS上，可以實際操作與模擬各種狀態，測試SF6氣體密度監測系統。ABB公司目前生產之GIS設備均採模組化設計，即便不同型式的開關設備，其模組仍可通用，且其體積較以往設計為小，有利於設備的運送，同時SF6氣體亦較同類型產品減少50%，符合現行環保要求，並創新使用「即插即用」(Plug & Play)技術，減少安裝和調試時間及節省成本。此外，工廠內生產環境的整理、物料的堆放與管理、生產的流程與出廠前的測試，均有嚴格的要求與控管，確保設備出廠時均可符合業主與國際規範的標準。

肆、建議事項

- 一、電子式變比器具有量測範圍廣、響應快、暫態性佳、體積小、重量輕、安全等優點，亦符合變電所智慧化的目標，惟其穩定性、抗干擾能力及使用壽命仍須加以驗證與評估；此外，電子式變比器具有數位與類比信號的輸出模式，其輸出模式的選擇及相關特性試驗之設備須一併考量。
- 二、變電設備的線上狀態監測與診斷技術是達成設備狀態維護（CBM）的關鍵，其目的是為了節省維護成本及提高設備的可利用率與可靠度，而各類監測裝置的裝設應考量事故率、相關事故案例、停電衝擊、成本效益等因素，避免無謂的投資。同時各廠商發展之線上狀態監測系統各有特色，建議可採試點方式測試，待其功能及穩定性等可符合公司需求後，再全面推廣採用。
- 三、現行變壓器採購係依材料處建立之合格廠商名單辦理選擇性招標，由於有載切換開關為變壓器重要設備，如公司評估更換為真空型具有維護成本效益，建議應由各變壓器廠商自行評估與設計後，提出評鑑申請，再由本公司各相關單位辦理評鑑，確保變壓器運轉安全。
- 四、變電所自動化設備採用 IEC61850 標準已成為世界電力產業發展的趨勢，由於其監控架構與現行變電所有所差異，本公司宜即早檢討及規劃下一代變電所自動化的架構，並積極培養設計、通訊及整合測試等相關人員，以解決未來朝向智慧型變電所發展時所面臨的相關問題。
- 五、電驛數位化是採行 IEC61850 標準的第一步，將來高壓設備之控制與保護模式的規劃與配置宜通盤考量，建議可參考國外案例，並選擇一新建變電所試辦。
- 六、IEC61850 不僅為通訊協定的標準，亦統一變電所相關資料的建構模式，且自動化設備網路化對於資料的採集、處理、傳輸及分享有極大的優勢，惟必須同時強化變電所網路安全性，避免因網路安全問題（如中毒或遭駭客入侵），導致停電事故的發生。