

出國報告（出國類別：實習）

智慧型變電所與狀態監控整合平台

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：周元生 組長

派赴國家：德國

出國期間：100年11月4日至100年11月17日

報告日期：101年1月4日

出國報告審核表

出國報告名稱：智慧型變電所與狀態監控整合平台		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
周元生	組長	供電處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：100年11月4日至100年11月17日		報告繳交日期：101年1月4日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	<input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人		審 核 人	
			單位 主管 主管處 主 管 總 經 理 副總經理

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：智慧型變電所與狀態監控整合平台

頁數_____ 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

周元生/台灣電力公司/供電處/組長/02-23666581

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 11 月 4 日至 100 年 11 月 17 日 出國地區：德國

報告日期：100 年 1 月 4 日

分類號/目

關鍵詞：變電所自動化(Substation Automation, SA)、先進電表基礎建設(Advance Metering Infrastructure, AMI)、廣域電網監測系統(Wide Area Measurement System, WAMS)、靜態串聯同步補償器(Static Synchronous Series Compensator, SSSC)、廣域電壓調整 (Wide Area Regulator)、無效功率補償裝置(Reactive Power Compensation equipment)、彈性交流系統(Flexible Alternating Current Transmission System, FACTS)、共同資訊模組(Common Information Model, CIM)、自動電壓調整器(Automatic Voltage Regulator, AVR)、配電自動化(Distribution Automation)、配電電能管理系

統(Distribution Energy Management System, DEMS)、配電再生能源(Distribution Energy Resources, DER)、需量反映(Demand Response, DR)、系統架構語言(System Configuration Language, SCL)。

內容摘要：(二百至三百字)

本報告全文共分為 11 章節，依據歐洲發展智慧電網有關「智慧變電所與狀態監控整合平台」的技術、實務與趨勢分章提出，可以作為本公司發展智慧電網之參考論述；本文第壹章是心得與建議，第貳章至第肆章為出國緣由、目的等之背景說明，第伍章「智慧型變電所」以「IEC Technical Committee 57」之電網架構及 CIGRE-“GUIDELINES FOR SPECIFICATION AND EVALUATION OF SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS”有關變電所自動化之建置程序展開，包括建立變電所自動化之原則、目標、標準系統架構及運行介面等為智慧型變電所自動化勾勒一發展之程序與建設之藍圖，第陸章基於現實面考量，從既有的「傳統式變電所發展至智慧型變電所自動化之領域」就有關推動的作法提出發展程序和目標。

第柒、捌章分別是變電所氣封開關設備之運轉狀況虛擬實境的做法與變壓器線上 (On-line) 監控診斷，這二章為智慧型變電所自動化的設備提昇運轉維護面之層次，第玖章為「電網電壓調整」提出未來電網發展因應大容量再生能源併網，其中維持電網穩定的做法就是讓電壓調整更具彈性化、效率化，文中敘述各種調整電壓之技術與應用，第拾章敘

述狀態整合平台以 CIGRE Reports 329 “GUIDELINES FOR SPECIFICATION AND EVALUATION OF SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS” 及 CIGRE Reports 326 ”THE INTRODUCTION OF IEC 61850 AND ITS IMPACT ON PROTECTION AND AUTOMATION WITH IN SUBSTATIONS”為規畫設計參考，引述德國 2008 年發展”E-Energy”之國際分工競合趨勢，可作為本公司發展智慧電網之參考。最後是第拾壹章之效益分析，可理解發展智慧電網是務實可行的做法。

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

壹、心得與建議.....	1
貳、出國緣由.....	3
參、行程說明.....	4
肆、本公司發展智慧電網里程與出國目的.....	5
一、本公司發展智慧電網里程.....	5
二、出國目的.....	5
伍、智慧型變電所.....	6
一、前言：.....	6
二、智慧型之變電所自動化.....	7
(一)按照 IEC Technical Committee 57 之電網架構.....	7
(二)建置智慧型之變電所自動化：.....	9
陸、從傳統式變電所發展至智慧型變電所自動化領域.....	15
柒、氣封開關設備之運轉狀況實境虛擬.....	17
捌、變壓器智慧型線上(On-Line)監視、診斷.....	21
玖、電網的電壓調整.....	26
拾、智慧型變電所狀態監控整合平台.....	29
拾壹、建設智慧型之變電所自動化的效益分析.....	31

壹、心得與建議

一、心得

本次出國研習的內容是由瑞士、瑞典跨國公司 ABB 提供之訓練教材，大部份時間安排在德國 Mannheim 工業區上課，內容以本次研習主題為中心，並涉及智慧電網各層面，上課的師資，由來自美國 Ventyx、瑞士、德國 ABB 的技術人員擔任，另有 2 天分別安排到法蘭克福近郊的 ABB 氣封開關設備工廠上課與參訪一社區型配電電力電子式(Static Synchronous Series Compensator, SSSC) 穩壓裝置，其功能為提供社區饋線穩定的電壓品質；經過 2 週出國研習的洗滌，對於智慧電網的認知，有比較清楚的想法，有如在以往智慧電網的拼圖中補上某一區塊，使之輪廓分明。

發展智慧電網技術與建設，欲竟其功，應該先有明確的邏輯思維，譬如下列思考方向：

- 為何需要智慧電網？
- 未來智慧電網的長相？
- 智慧電網的商務營運項目？
- 從傳統之既設電網設備銜接未來智慧電網的規劃作業

(一) 為何需要智慧電網？

1. 能源問題
2. 環境保護
3. 社會文明進展，推動第 4 次工業革命的浪潮

(二) 未來智慧電網的長相？

1. 現在的電網長相：發電、輸電、配電、用戶成輻射狀供電、受電
2. 未來長相：大量再生能源併網，傳統石化燃料之大電廠、核電廠部分退役，配電線用戶負載與再生能源併在一起，逐漸取代大型傳統電廠。
3. 「不穩定的電源供應」經過「變電所」供給「需求高品質的負載用戶」

所以變電所必須具備廣域電壓調整能力、縮短停電時間及故障自癒，以使電網具備智慧化、彈性化的運轉、調度功能。

(三) 智慧電網的商務營運項目？

社會層面經營策略包括配電自動化 (DA)、自動電表基礎建設(AMI)、需量反映(DR)、配電電能管理系統(DEMS)及家戶區域網路(HAN)等等之發展。

(四) 從傳統之既設電網銜接未來智慧電網的規劃作業

1. 自動化變電所之規劃建置-CGIRE Reports 329 – “ GUIDELINES FOR SPECIFICATION AND EVALUATION OF SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS ”
2. 電網架構之考量 - IEC Technical Committee 57
3. 變電所自動化 IEC 61850 標準 - CIGRE Reports 326 “ THE INTRODUCTION OF IEC 61850 AND ITS IMPACT ON PROTECTION AND AUTOMATION WITH IN SUBSTATIONS”

傳統電網以數位化為基礎，IEC 61850 為變電所通信平台，60870 為電力系統自動化應用標準，以此類推，逐漸將電網之銅控制通訊線改由光纖數位架構取代；電網設備採購或加裝符合 IEC、CIGRE 通訊界面及驗證合格產品，使電網具備全面性的監視、遙控、保護、互鎖的功能；同時配合再生能源併網、加置儲能設備、廣域、即時電網調壓設備，接下來擴展社會商務營運項目使之 AMI、DR、DA、HAN…等上網營運，如此則具智慧電網之雛形。

二、建議

- (一) 智慧電網技術領域涉及電腦、通信、自動化、半導體物理、金屬材料、電力電子等科學，國際間發展智慧電網之產業，已有趨向分工競合的做法，例如德國 2008 年配電線的“E-Energy”計畫由德國政府出面，邀請 ABB、EnBW、SAP、IBM 等廠家合作發展，鑑於此，建議本公司規劃智慧電網工程時宜透過合理機制篩選國內(外)具備強勢產品的廠商分工、合作建構本公司理想的智慧電網。

- (二) 智慧電網目前的發展進程，尚屬熟成階段，未來幾年一旦開拔，工作量、專業性人才需求，其勢不可擋，需及早綢繆適當的彈性組織網羅人才參與。
- (三) 師法歐洲經驗，智慧電網由配電自動化、配電再生能源併網、智慧電表基礎建設及配電變電所自動化等智慧配電為優先執行選項。
- (四) 研議中之「調度一元化」和智慧電網發展、智慧配電、微電網之建構策略不相容。
- (五) 未來電力調度自動化系統(CDCC、ADCC、FDCC)之建構系統要相當於 CIGRE、IEC 相關之智慧電網通訊規範。
- (六) 目前國產化設備譬如 SCADA、RTU、AVR、FACTS 中相關品項，是否符合智慧電網產業規範，應及早促進協同，以免成為本公司發展智慧電網的絆腳石。

貳、出國緣由

100 年度奉派出國研習「智慧變電所與狀態監控整合平台」，原提報出國目的地為美國，經洽商美國相關機構，沒有獲得適當學習之迴響，接著洽商歐洲、日本地區，日本亦無法提供稍具規模之研習項目，只有歐洲德國提供了比較完備的智慧變電所與狀態監控系統整合平台的發展技術有關的資訊，適可作為本案出國研習之標的，所以出國目的地改為到德國。

歐洲發展智慧電網的里程，主要的關鍵性技術有再生能源的發展與應用、配電系統智慧化及電網設備監測、控制系統。在面對大量再生能源併網、智慧用戶對電力品質產生的衝擊效應，變電所擔當電網與用戶間有關電力穩定、供電品質維持及改善的任務，責任加重必須付予變電所智慧化之彈性運轉、調度之能力；電力設備維護是提升供電安全必要的付出，由於未來電網，需具備更有彈性、自癒、可靠的運轉能力，所以在電力設備維護的層次上，也應與時俱進，例如發展狀態維護(Condition Base Maintenance)、預測維護(Predictive Base Maintenance)以取代經營多年的時間維護(Time Base Maintenance)以符合電業發展趨勢；供電單位把智慧化的彈性、自癒運轉調度能力加上狀態維護、預測維護整合起來，就是我們此行研習的緣由—「智慧變型

電所與狀態監控整合平台」。

參、行程說明

本出國計劃自 100 年 11 月 4 日起至 100 年 11 月 17 日止，合計 14 天行程概要如下表 3-1 所列。

表 3-1 行程概要表

日期	行程	工作紀要
100.11.4 100.11.5	台北至德國 法蘭克福	往 程
100.11.6 100.11.15	曼海姆 (Mannheim)	Smart Grid Pilot visit (RWE, Meregio) Smart Grid Overview and Presentations Trend in Substation automation; , Case studies Enhance RTU solutions in substation automation , Case studies software solution for Asset Management , GIS factory visit and Monitoring solution training
100.11.16 100.11.17	法蘭克福至台北	返 程

肆、本公司發展智慧電網里程與出國目的

一、本公司發展智慧電網里程

本公司自 96 年第 7 次經營會議決議成立「智慧電網專案小組」，以「電網安全與可靠」、「能源效率」、「用戶服務品質」、「分散式能源整合」四項目為目前領域，參考先進國家之經驗，訂定作業優先順序，系統整合與成本效益策略，規劃本公司發展智慧電網之里程，經過四年之經營在 100 年第 5 次經營會議中決議成立本公司智慧電網執行面專案小組，由李副總肖宗擔任召集人，本公司發展智慧電網里程中，正式由策劃階段，邁入規劃執行階段；100 年 8 月經濟部成立「我國智慧電網總體規劃(Master Plan)小組」，本公司參與規劃，並配合 Master Plan 就實務可行性，適度調整本公司執行計畫。

二、出國目的

承襲「我國智慧電網計畫 Master Plan」、「本公司智慧電網執行面專案小組」規劃內容及在供電單位多年來發展供電設備活線外部診斷技術、變電所自動化的基礎下，繼續發展智慧型變電所及狀態監控整合平台，為了未來發展方向能符合世界電業潮流和國際接軌，適時派遣相關同仁至先進國家觀摩研習，交流有關智慧電網、變電所、監控整合平台之技術，以務實發展策略，厚植本公司智慧電網根基，是為本次出國研習之目的。

伍、智慧型變電所

一、前言：

智慧型變電所，在歐美國家的定義上依現階段之發展情況等同於變電所自動化(Substation Automation, SA)，在智慧化或自動化定義的指標中泛指「安全性」(Security)、「穩定性」(Stability)、「彈性」(Flexibility)、「可控制性」(Controllability)；就智慧電網近 10 年發展領域觀察，偏重於再生能源，用戶端的發展，諸如先進電表基礎建設(Advance Metering Infrastructure, AMI)、共同資訊模組(Common Information Model, CIM)、配電自動化(Distribution Automation)、配電電能管理系統(Distribution Energy Management System, DEMS)、配電再生能源(Distribution Energy Resources, DER)、需量反映(Demand Response, DR)、彈性交流系統(Flexible Alternating Current Transmission System, FACTS)、家戶區域網路(Home Area Network, HAN)等，所以變電所智慧化或自動化的里程，以變電所類別區分，配電變電所的發展優先於輸電系統的一次變電所或超高壓變電所，而且，配電變電所智慧化，將擔任電網業者與用戶端的橋梁，在型制上用戶端因再生能源的併入電網及用電負載的變異性大(如 EV 之充放電)，所以配電變電所必須有智慧處理用戶端再生能源併網，負載變動及從電網傳送或接受電能之管理能力，這管理領域諸如配電系統之 DEMS、DER、DR、HAN...等，因此，可以定義配電變電所智慧化或自動化是發展智慧電網的一項指標性里程，請參考 Fig 5-1-1 智慧電網中智慧變電所佔有電能橋梁指標性地位。

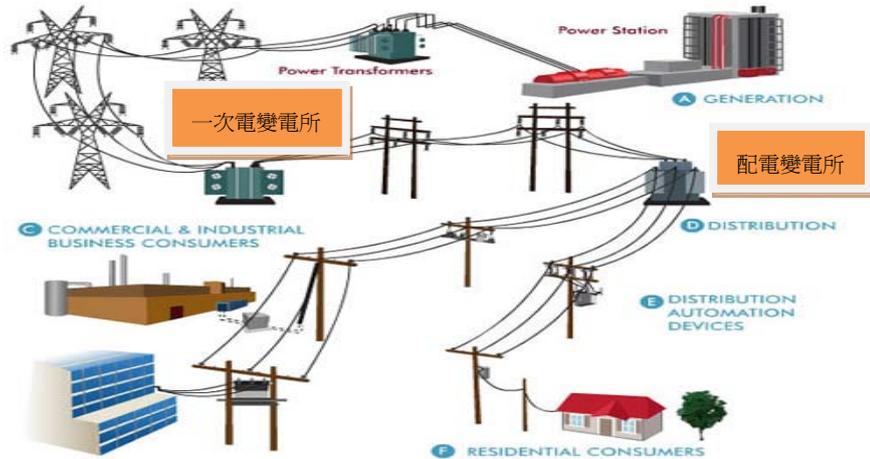


Fig 5-1-1 智慧電網中智慧變電所佔有電能橋梁指標性地位

二、智慧型之變電所自動化

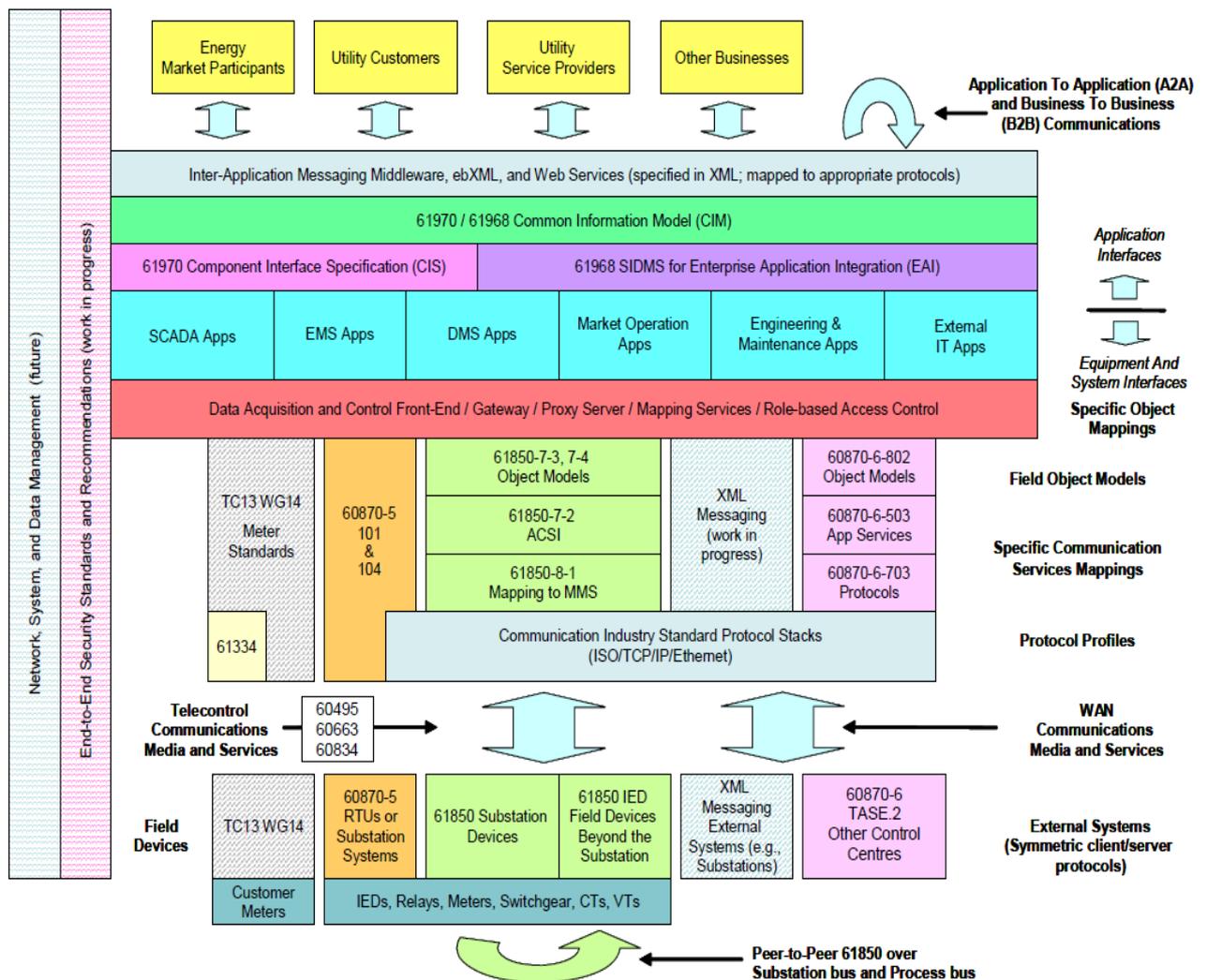
(一)按照 IEC Technical Committee 57 之電網架構

請參考 Fig5-2-1 智慧變電所最底層為輸變電設備之變壓器設備、開關設備、電纜設備等從高壓端經由比壓器、比流器(PT、CT)到低壓端，引接保護電驛、智慧裝置(IED)、電表，然後經由 WAN、IEC 61850 等階層通信協定、資料收集、Proxy Sever、Mapping Service 引接到 SCADA、EMS、DMS 市場運用階層。

有關架構中各階層應用 IEC 標準如下列，請參考 Fig5-1-2

- IEC 61850：變電所自動化設計應用標準協定
- IEC 60834：通訊保護和電力系統功能測試標準
- IEC 60870-5-103：遙控設備和系統通訊協定 - 配套標準設備保護介面
- IEC 62488：載波通訊標準協定
- IEC 60870-5-102：資料傳輸通訊協定

- IEC 61334：配電自動化配電線通訊協定
- IEC 60870-5-101/104：遙控設備和系統-Part 5-101 傳輸協定基本遙控配套標準
- IEC 60870-6-TASE.2：Inter-Control Center 通訊協定
- IEC 60870-6：應用於遙控系統之電氣系統和電力系統自動化應用標準
- IEC 61970：能源管理系列程序接口標準，提供方便準則和標準設置。
- IEC 61968：定義供配電系統資訊交流協定，定義接口管理系統於配電管理系統(DMS)



*Notes: 1) Solid colors correlate different parts of protocols within the architecture.
 2) Non-solid patterns represent areas that are future work, or work in progress, or related work provided by another IEC TC.

Fig5-2-1 IEC Technical Committee 57 之電網架構

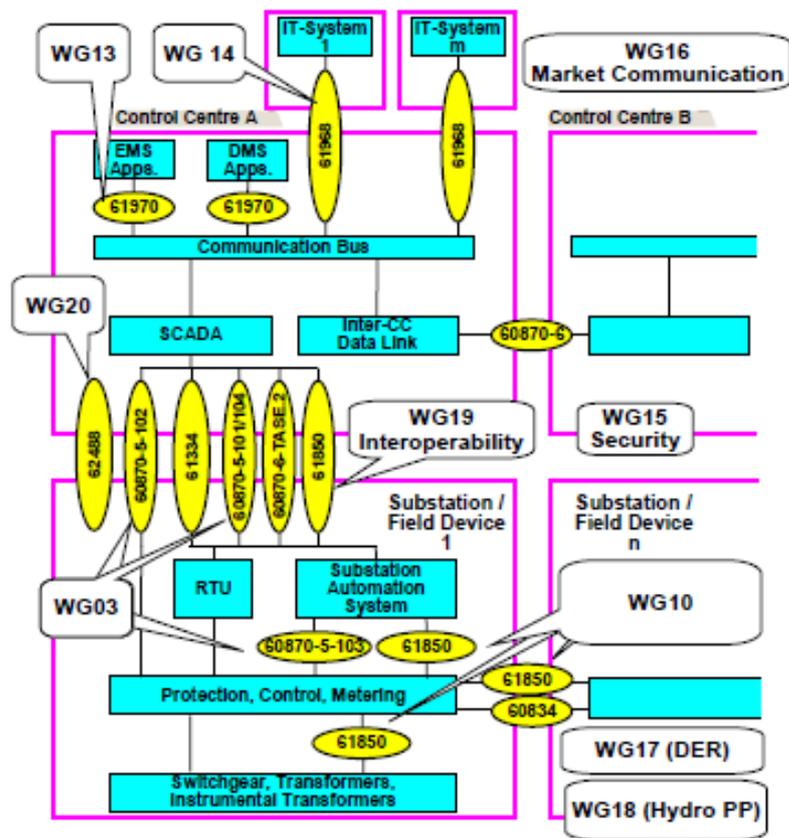


Fig5-2-2 智慧型之變電所階層通信標準

(二)建置智慧型之變電所自動化

參考 CIGRE-“GUIDELINES FOR SPECIFICATION AND EVALUATION OF SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS”有關變電所自動化之建置程序項目：

1.技術需求

- 基本技術層面
- 資訊管理
- 系統架構

2.計畫管理和服務

- 計畫管理

- 保證事項
- 銷售服務
- 訓練

3. IEC 61850 為基礎之變電所自動化注意事項

- 變電所相關注意事宜
- 功能、規格、數據管理
- 通訊架構

4. 需求重點討論

- 第一階段建設規範
- 第二階段評估、比較和招標事宜

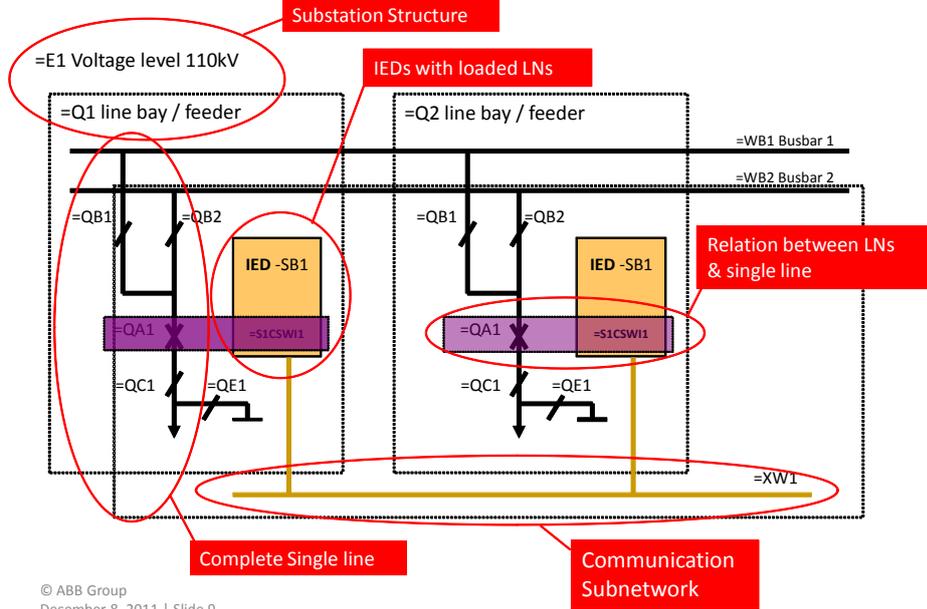
5. 智慧型變電所自動化的原則和目標

基於既設或新建的變電所之監視、控制與保護的任務是一致的，所以沒有改變既設設備，只是讓變電所自動化以提昇變電所的功能與效率，建置變電所自動化的目標是應用先進的技術解決傳統變電所運轉功能的限制性，以達到符合智慧用戶的需求。

6. 智慧型變電所自動化的規格，主要項目如下述

- 規劃單線圖(Diagram)
- 命名規範(如 IEC 61346)
- 功能需求(Functional requirements)
- 可靠度需求(Dependability requirements)
- 性能要求(Performance requirements)
- 企業環境(Environment requirements)
- 專案管理(Project management)
- 服務(Service)

Contents of a SCL file



Engineering process based on SCL data exchange

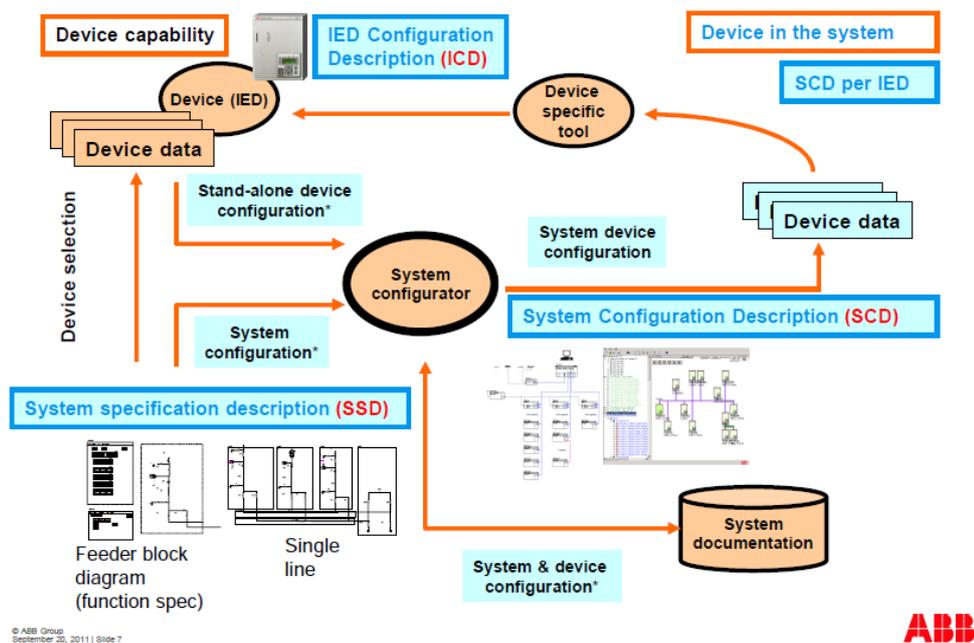


Fig 5-2-4 為 SCL 數據交換圖示

- 功能需求：可歸納為「系統」、「監視」、「控制」、「保護」

8. 一般設備規劃之規格

對於保護和控制設備之規格必須符合 IEC 61850 標準文件，具備 MICS 文件(Model Implementation Conformance Statement)、PICS 文件(Protocol Implementation Conformance Statement)、一致性的測試文件(Conformance Test Certificate)及 ICD 文件(IED 描述的文件)；對於客戶之電腦，Gateway 端，目前沒有一致性的文件表明有關測試方面的規定，但必須完全支應系統整合以確保彼此兼容伺服器的運行；就完整的 SA 系統而言，SCD 文件(Substation Configuration Description)應兼具全面性。

為了確保符合 IEC 61850 之規範，使用之設備都應經過 IEC 61850 之試驗合用之證明，有關 IEC 61850 框架證明，定義在 IEC 61850 Part 10。

IEC 61850 本質上沒有規範或限制變電所設備功能，但對設備功能之規範應特別注意「跳脫和響應的時間(Tripping and Response

times」、「保護的特性(Protection Characteristic)」、「互閉鎖條件(InterLock Conditions)」以及「操作員介面(Operator interfaces)」，關於配電系統變電所自動化，是屬於分佈式的調度系統，所以系統運作多有互相影響性，設備操作，通訊功能，「時間」是關鍵，通信系統架構的可用性、安全性需要慎重考慮。

關於設備或操作員功能與職能要有分層授權的作法，要有能力處理遷移和擴建方案，使老舊和新設備連接運行。

系統需求定義在 IEC 61850 Part 5，內容定義是用於各種不同等級設備、系統之應用、產業鏈和不同的負載性能之要求。

變電所自動化設備控制作業容許時間(Grace Time)根據 IEC 61850 Part5：

變電所人機介面操作容許時間>1s

配電線互鎖控制：100ms

輸電線互鎖控制：20ms

配電級保護設備動作時間：10ms

輸電級保護設備動作時間：3ms

原始資料訊息 SAV：3ms

9.智慧型變電所自動化系統架構

需求面例如「功能性」、「建設之性能需求」、「可用性」、「故障之處理」及「成本」，架構區分為「邏輯架構」和「物理實體架構」，兩者互聯提供功能、性能及通信系統之設計，請參考 Fig5-2-5 表示變電所自動化的簡單實體與通信架構

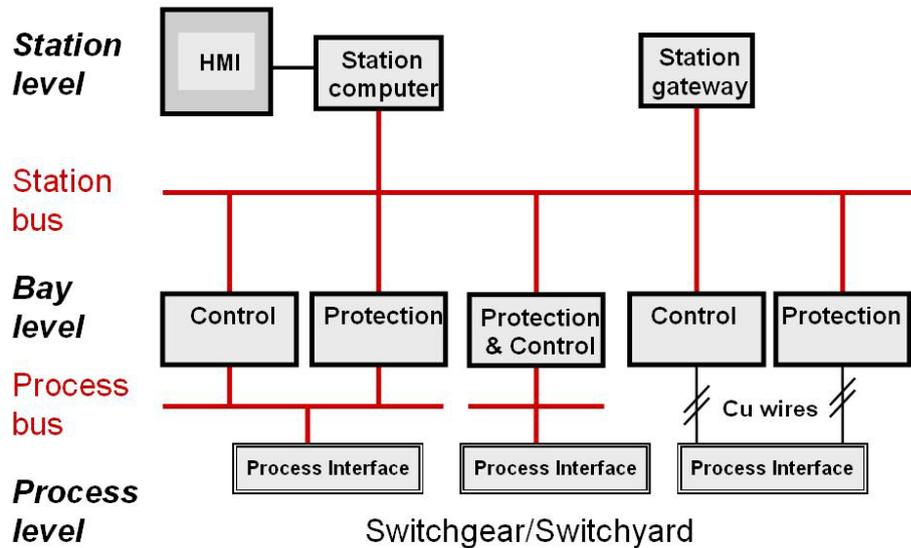


Fig5-2-5 智慧型變電所自動化的簡單實體與通信架構

10. 以 IEC 61850 為基礎之系統架構主要特點

- IEC 61850 開放可以和其他工業標準如乙太網、OPC 等互聯
- 和乙太網路以 100Mbit/s 無縫接軌
- IEC 61850 定義容許互操作性
- 設備 Bay 可以獨立，互饋及自動化操作
- 人機介面(HMI)和變電所可以做操作界面的選擇
- IEC 61850-8-1 可以行使縱向通信作業
- Bay 與 Bay 之間可以行使通信作業
- 管理乙太網路支持橫向或縱向通信溝通
- 容許使用預為測試之乙太網路設備

11. 智慧型變電所自動化之運行介面

- IEC 61850 允許作業領域如下述
 - 支援連接並行之傳統銅控制/信號導線
 - 智慧開關設備可以在電子集成設備納入串聯通訊介面
 - 適用非傳統或傳統比壓、比流器，採樣資料可根據 IEC 61850-9-X

定義

- 有關規範的重點是採用何種介面類型
- 變電所的資料管理包括「運轉」、「保護系統工程」、「維護作業」、「網路規劃」、「監測」、「維護策略和支援」及「資料、資產管理」等
- 連接到智慧型變電所自動化設備，業者擁有內部開放式的網路，有關資訊安全方面需要特別的考量設置，電網運行與商務網路要做嚴格劃分。

陸、從傳統式變電所發展至智慧型變電所自動化領域

請參考 Fig6-1-1 為一傳統變電所控制/通訊系統之接線略圖，這是目前台電變電所的規劃設計方式，有控制室、人機介面、具備有電力調度自動化、監視、遙控、警報等功能，在開關設備、變壓設備、電纜設備方面試行安裝一些感測器可作 On-line 監測運轉狀態；保護電驛數位化、安裝特別保護系統(SPS)、廣域電網監測系統(WAMS)，提昇供電安全與可靠度。

接下來，請參考 Fig6-1-2，導入 IEC 61850 將保護電驛，控制迴路引入串聯通訊界面設備(Serial Communication)，電驛數位化加串聯通訊介面，可以發揮電驛數位功能，增強數位電驛保護協調能力，對於其他控制設備、人機介面(HMI)及控制中心則關係更形緊密，可提升運轉調度能力，減緩事故處理時間。

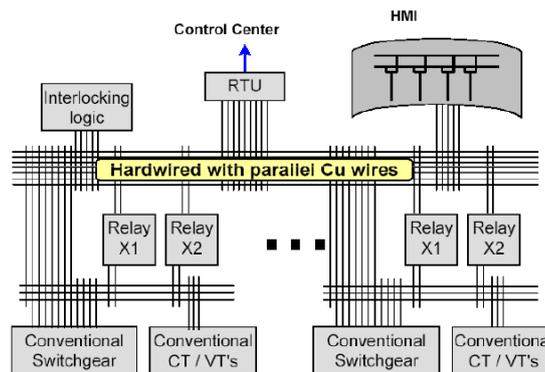


Fig6-1-1 為一傳統變電所控制/通訊系統之接線略圖

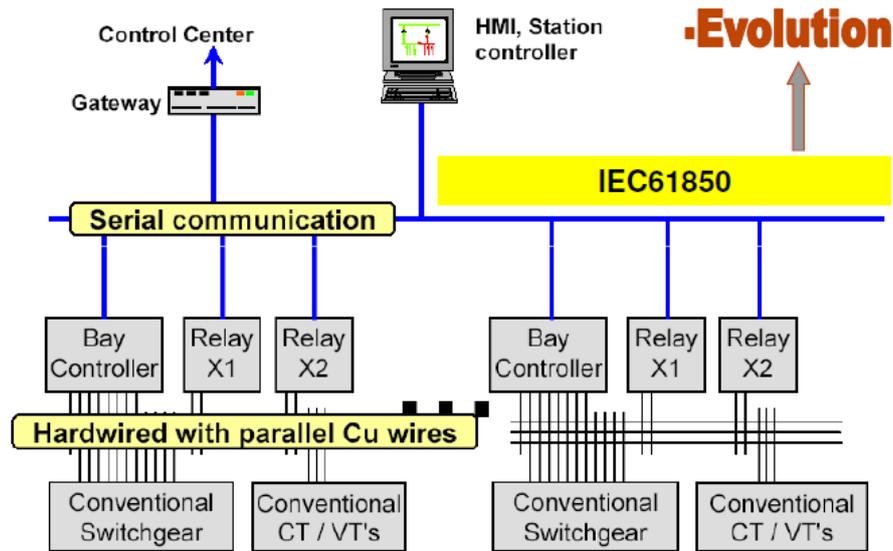


Fig6-1-2，導入 IEC 61850 將保護電驛，控制迴路引入串聯通訊界面設備

「智慧型開關設備」、「非傳統比壓器、比流器」加上「數位電驛」、「控制設備」，導入 IEC 61850 標準 Process Bus，為一準智慧型變電所，資訊、通訊增加信息交流容量，使運轉功能、保護功能、警報功能更趨細緻，運轉操作便捷，傳統銅控制線、電源線使用率大量降低，可以減少日後的絕緣檢查、維修工作與絕緣劣化造成誤動作的機率。

請參考 Fig 6-1-3 高傳輸容量智慧型變電所雛型，智慧型開關設備、變電設備、比壓器、比流器等，經由 Process Interface 接上 Process Bus (LAN)，IEC 61850-9-2 到 Bay，由各 Bay 分由控制、保護再接到 Station Bus 或 Interbay(LAN)，IEC 61850-1 進入 Station Level，交由 Station HMI 運轉或遙控。

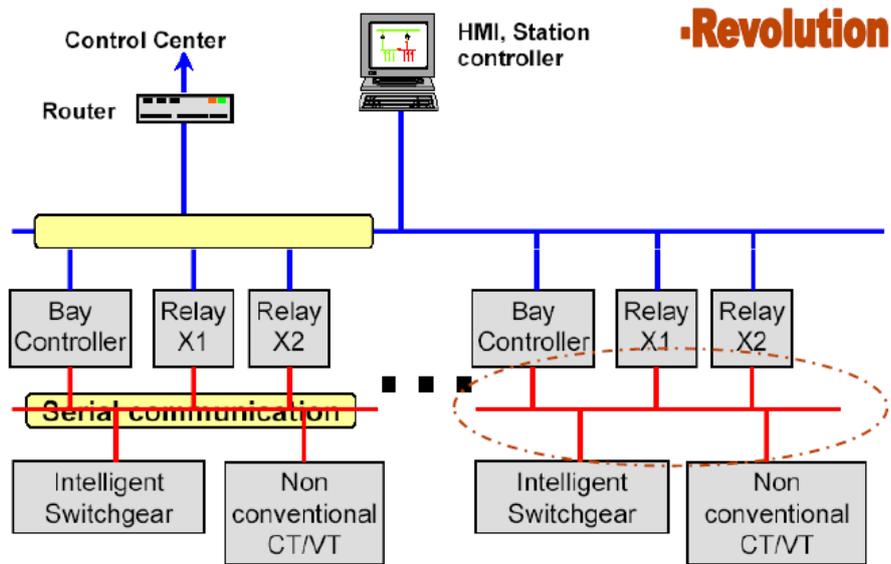


Fig 6-1-3 高傳輸容量智慧型變電所雛型

柒、氣封開關設備之運轉狀況實境虛擬

變電設備實體層，如開關設備、變壓設備，除了提供動作信號、警報信息及電氣信息外，如何把現場實務狀況，運轉情節帶到 HMI 運轉人員的螢幕上，使運轉人員如身歷其境，在運轉中獲得即時的運轉資訊，以利於迅速掌握電力系統的設備情況，對事故作較有利的處理程序，Fig 7-1-1 是開關設備實境虛擬的作法，圖中標示例舉 IEC 61850-6、61850-7-4/2、61850-8-1 及 TCP/IP 通訊協定，為智慧型變電所國際先進規劃作為。

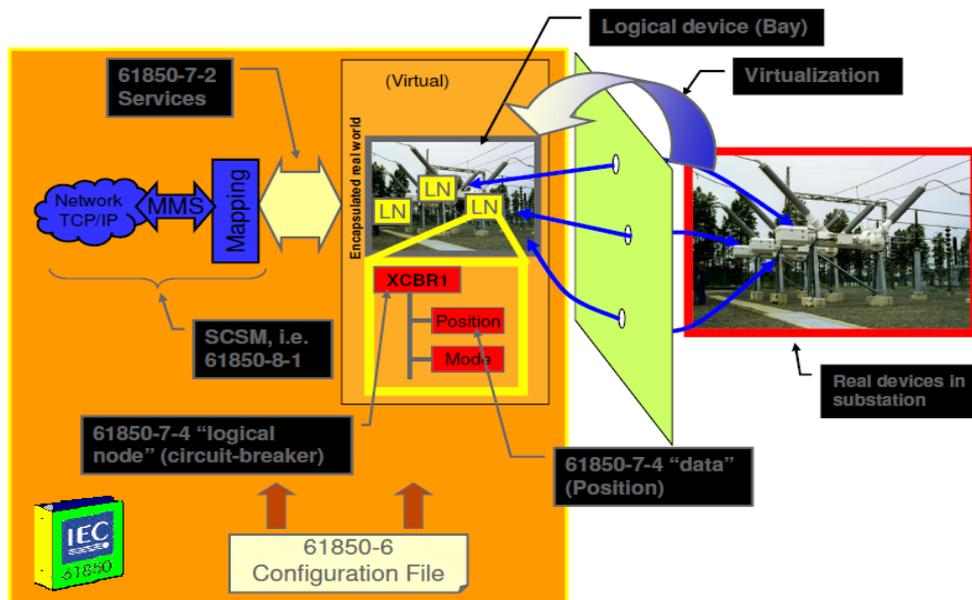


Fig 7-1-1 開關設備實境虛擬的作法

請參考 Fig 7-1-2 為氣封開關設備實境虛擬的標示圖，圖面中 SIMG、XSW1、PTRC...等英文代號請參考圖下方之說明；譬如 XSW1 代表開關設備第 1 台斷路器的位置。

User-near, object oriented Data model

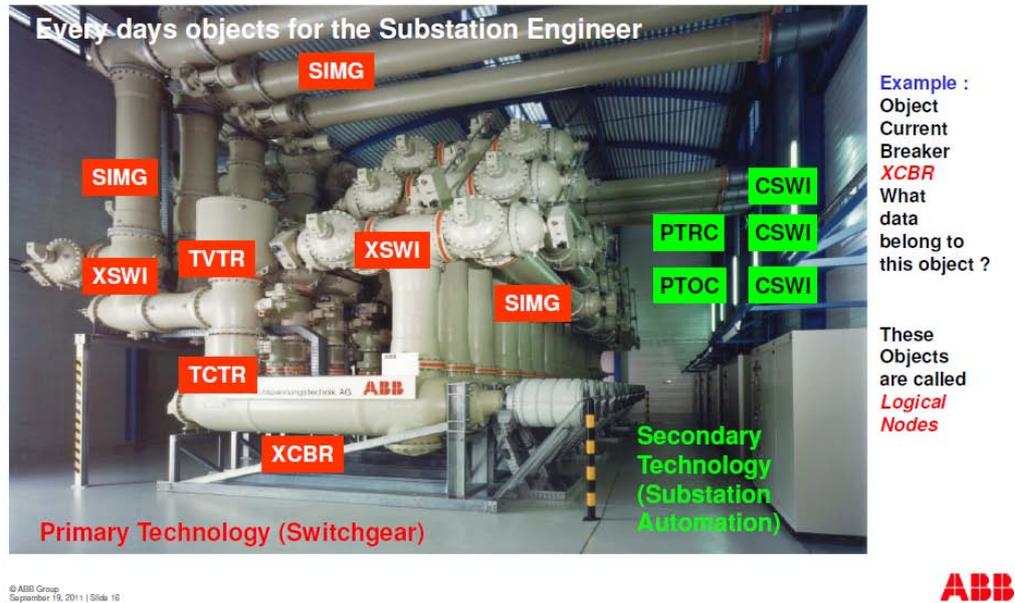


Fig 7-1-2 氣封開關設備實境虛擬的標示圖

第一個字母英文代號

- **L** System LN (2)
- **P** Protection (28)
- **R** Protection related (10)
- **C** Control (5)
- **G** Generic (3)
- **I** Interfacing and archiving (4)
- **A** Automatic control (4)
- **M** Metering and measurement (8)
- **S** Sensor and monitoring (4)
- **X** Switchgear (2)
- **T** Instrument transformers (2)
- **Y** Power transformers (4)
- **Z** Further power system equipment (15)

變電所自動化設備運轉狀況實境虛擬的做法

在氣封開關設備中裝設微型攝影設備，可以監視氣封開關設備中有關隔離開關、接地開關的投入、切離狀態，根據 IEC 61850 通訊規範，這個運轉影像傳送到 HMI 運轉操作者的螢幕上，避免隔離開關或接地開關操作機構失靈，使操作者因僅依據其”a”、”b”接點狀態信息操作，而產生誤判，發生機電事故，以下

Fig 7-1-3，攝影設備感測器組合。

Gas Insulated Switchgear Camera for switch position check



- Combined camera and light units plugged into view ports
- Large 6 inch monitor
- 2 units allow switch over between DS and GS
- Easy use by one person
- Possible permanent installation for indoor design
- Safe even if used during switch operation
- Designed with customer feedback



ABB Corp
© 2011 | 31661

ABB

Fig 7-1-3 攝影設備感測器組合

在氣封開關設備(GIS)中裝設超高頻(UHF)部份放電感測器監視系統(Partial Discharge Monitoring System)，對於偵測氣封開關設備(變壓器亦然)早期絕緣劣化，產生之電磁波具有效性，可以早期防止絕緣劣化產生之後果，根據 CIGRE Session 2000 公佈之資料，123kV 系統電壓絕緣劣化故障率為 0.27% / Bay-year，420kV 系統電壓絕緣劣化故障率為 0.95% / Bay-year，分析故障原因其中有 1/3 是可以追蹤至設計問題所導致，1/2 缺陷是在組裝與調校測試過程所使然，絕緣劣化所造成的故障，有 60~70%可以經由部分放電監視系統測量獲得異常放電信息，得以早期防止擴大故障，氣封開關設備故障率和運轉年限呈現相關性，請參考 Fig 7-1-4，以 30 年統計，以迴歸曲線看故障率前 6 年是故障高峰期，這可推估有二分之一故障率是由於組裝與調校、測試造成的原因。

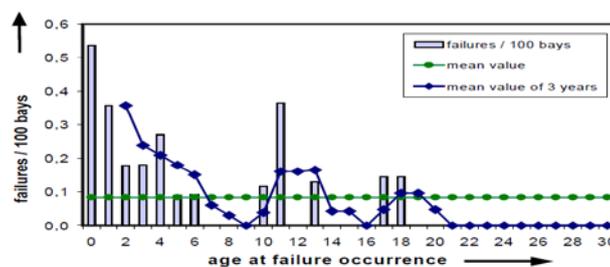


Fig 7-1-4 氣封開關設備故障率和運轉年限呈現相關性

表 7-1-1 智慧型氣封開關設備之監測功能

監測功能	狀態功能	監測資料
運轉計數	運轉壽命/維護管理	動作次數
操作機構狀態	操作機構失效防止	動作時間
接觸子磨耗	接觸子維修功能、預警	故障電流/發弧時間
泵運轉狀態	洩漏監測	泵運轉時間
SF ₆ 密度趨勢分析	SF ₆ 洩漏, 分析 GIS 內部閃	低壓警示
弧光檢知	絡	SF ₆ 密度
部分放電	部分放電監測	監測感知

請參考 Fig 7-1-5 氣封開關設備監控系統略圖，氣封開關設備分為本體監視資料(如表 7-1-1 所描述)及操作控制(如斷路器之啟開或投入)電流紀錄等控制資料二部份資料分別彙送到 IEC 61850 通訊 Bus，再轉送到乙太網路 Switch 分送至 HMI 之 Monitoring PC 或其他監控裝置。

Functional Modules Control and Monitoring (4)

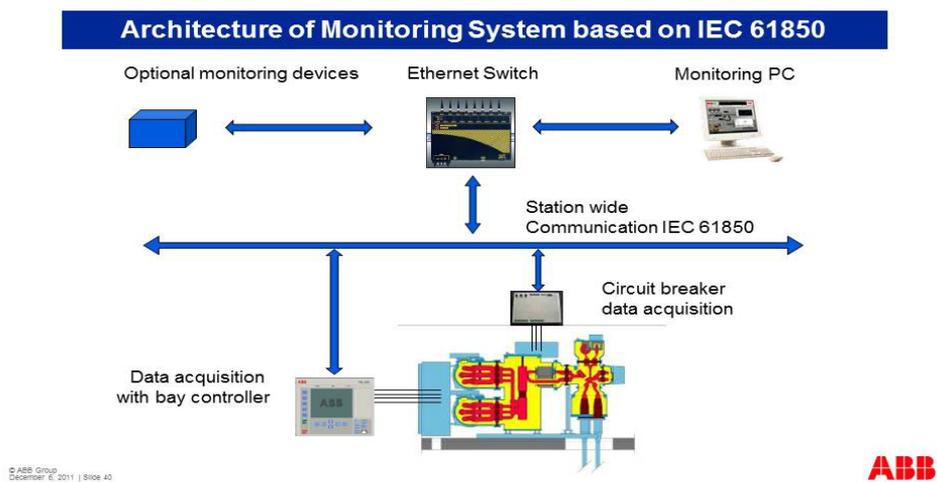


Fig 7-1-5 氣封開關設備監控系統略圖

列舉氣封開關設備之斷路器監視介面資料如 Fig 7-1-6，左側看到操作驅動用之 Pump 運轉資料、斷路器閉合和啟開之資料，右側是說明斷路器主接觸子的

磨耗比率以及啟開、閉合的時間曲線，這部份的信息可以作為運轉、維護人員操作、維護的參考資料，因為有明確的實務狀態信息，可據以訂立精確的維護計畫，在維護的層次中，這種做法可達到「狀態維護」及「預測維護」之層次，對於降低氣封開關設備的故障率，會有助益。

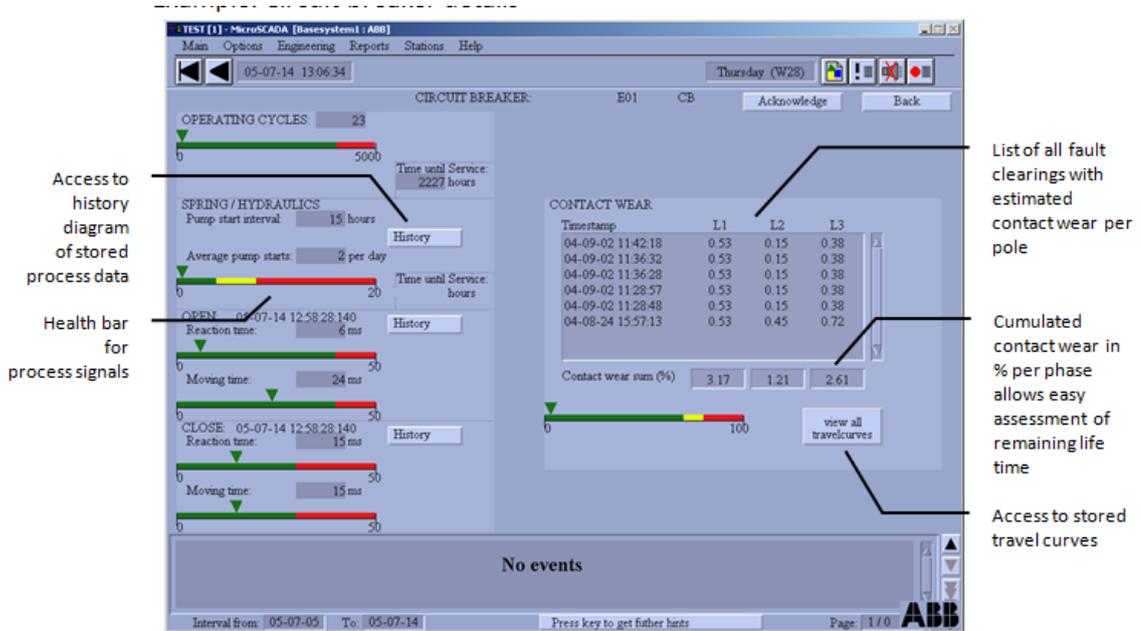


Fig 7-1-6 氣封開關設備之斷路器監視介面

捌、變壓器智慧型線上(On-Line)監視、診斷

變壓器的使用壽命受到「製造品質」、「運轉環境」和「維護、檢驗的能力」所影響，國際上一般電力變壓器故障率統計數值為 1~3%/Bay-year，電力變壓器的故障行為大致上可以分為突發性及設備長時間絕緣劣化導致的故障，目前維護、檢驗的方法，防止故障行為，比率有限；另一方面，就變壓器的運轉負載而言，變壓器是被動者，運轉調度人員鮮少能夠做到變壓器經濟運轉或對變壓器做進一步分析負載能力與冷卻系統的關係，所以目前對於變壓器的運轉條件，運轉者只能對變壓器的負載與運轉溫度有所理解，但不能掌握過負載能力，也不能調整變壓器使之在比較佳的運轉情況，當然也沒智慧型的監視診斷能力。接下來提出業界目前發展的「智慧型變壓器監視系統」，這一套監視系統發展的目的是希望成為變壓器線上監視診斷的工具，提高變壓器的運轉性能，降低變壓器失效風

險，降低維護成本，基本原理是在變壓器身上安裝各種感測器，如部分放電感測器、可燃性瓦斯感測器及搜集、紀錄變壓器電流、溫度...等元素，透過其內建程式了解變壓器的運轉狀況，適時提出變壓器內部放電的分析，或可燃性氣體的分析，模擬不同的運轉情況，預測變壓器的運轉壽命，有關紀錄資料可以長時間集存，實際之監視效能就是把變壓器的內部運轉狀況由程式分析提出報告給運轉、維護人員參考，就設計開發這一套智慧型線上監視診斷系統的理論而言，符合變壓器各方面運轉、維護理論，譬如 IEEE C57 相關文件中曾提及變壓器的運轉壽命計算方法及變壓器減損壽命的觀念。本套設備的發展實用性尚待理解，以下將簡略介紹其功能、特性：

- 早期偵知故障徵兆
- 過負載的評估
- 運轉狀況的評估
- 及時提供運轉資訊
- 遙控監視
- 長時間儲存運轉資料
- 提供預後資訊
- 先進的冷卻系統控制
- 變壓器內部最高溫度
- 切換開關溫度
- 事故事件紀錄
- 變壓器油中可燃性瓦斯、水分分析
- 變壓器油中發生氣泡之溫度
- 過載預測
- 計算過載能力
- 對於老變壓器絕緣熱應力老化(Thermal aging)監測尤具義意

請參考 Fig8-1-1 有關智慧型變壓器範例，強調少量感測器，高功能性之運轉，不須要增加維護人力，長壽命運轉時間，沒有操作轉動之部品零件，作業穩定。

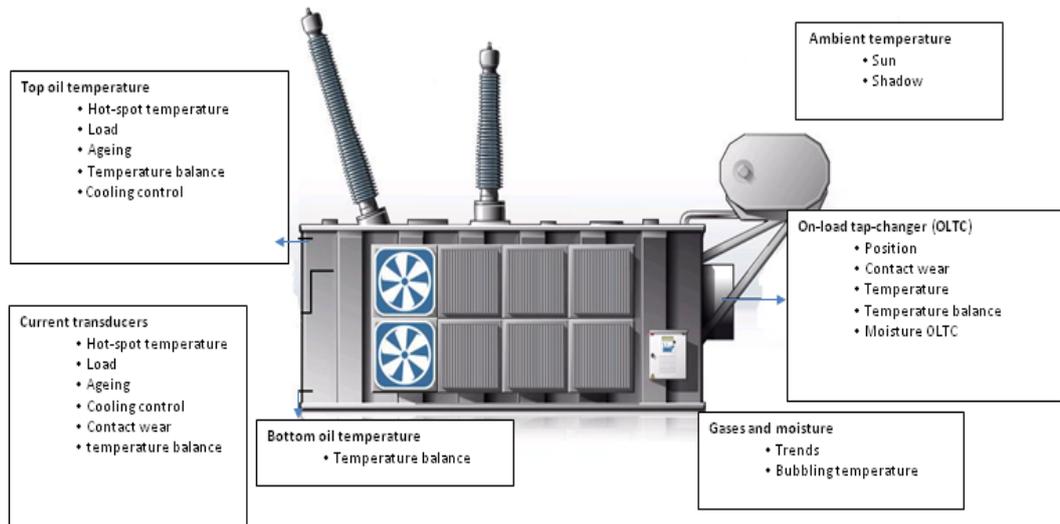


Fig8-1-1 有關智慧型變壓器範例

◆ 變壓器最熱點溫度

最熱點溫度是變壓器運轉壽命評估的依據，因為取得困難，所以一般以絕緣油溫度和線圈溫度作為變壓器運轉情況與過負載的參考指標，智慧型變壓器可以經由內部程式的計算或埋設光纖感測器以獲得最熱點溫度，對於變壓器的運轉能力、負載極限、運轉壽命可以獲得比較完整的資訊，提昇變壓器運轉技術之功能。

◆ 變壓器有載切換開關(ON Load Tap Changer, OLTC)溫度分析與故障檢測

請參考 Fig 8-1-2，變壓器有載切換開關之溫度分析與故障解析

$$\text{OLTC 正常溫度} = \Delta P_{tr} + P_{RI}^2 - P_{air}$$

ΔP_{tr} 是變壓器傳熱給 OLTC 之溫度

P_{RI}^2 是 OLTC 接觸元件之功率損失

Pair 是 OLTC 發散之熱源

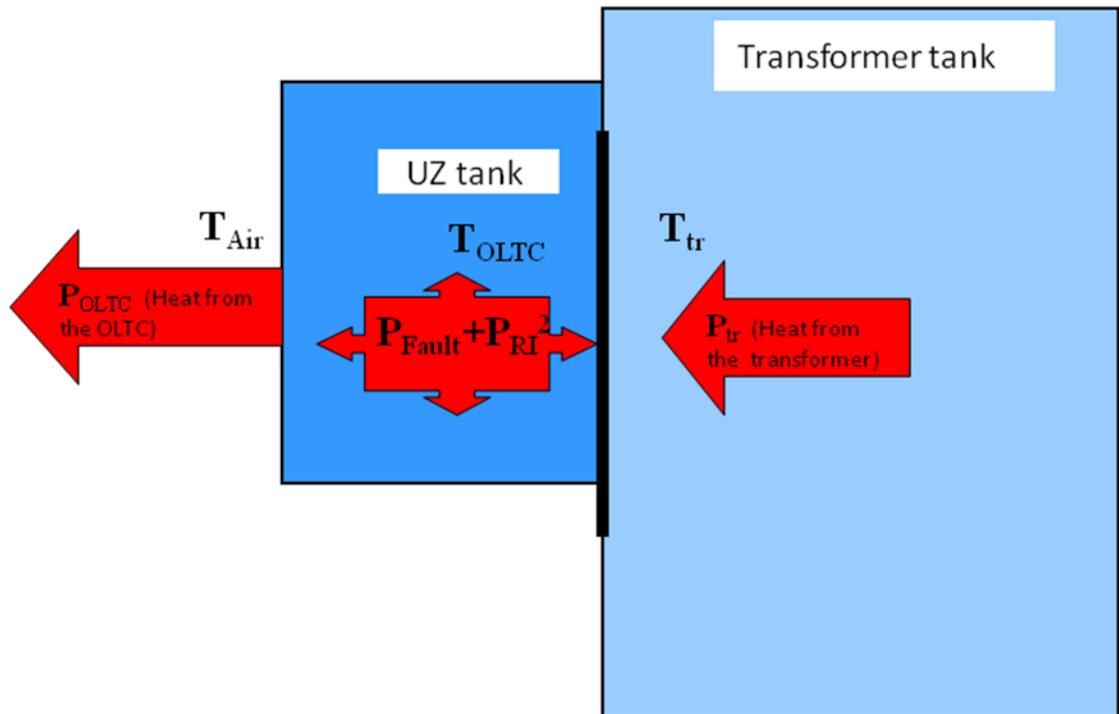


Fig 8-1-2 變壓器有載切換開關之溫度分析與故障解析

OLTC 正常溫度與負載和環境周溫成比例，這部分運轉資料由智慧型裝置內建程式分析，同時統計各切換接觸子(Tap)之使用次數，請參考 Fig 8-1-3，經由 OLTC 散逸溫度和 Tap 熱損失的分析，可以早期發揮 OLTC 切換接觸子次數或其他金屬接觸器之發熱炭化與衍生之可能故障行為。

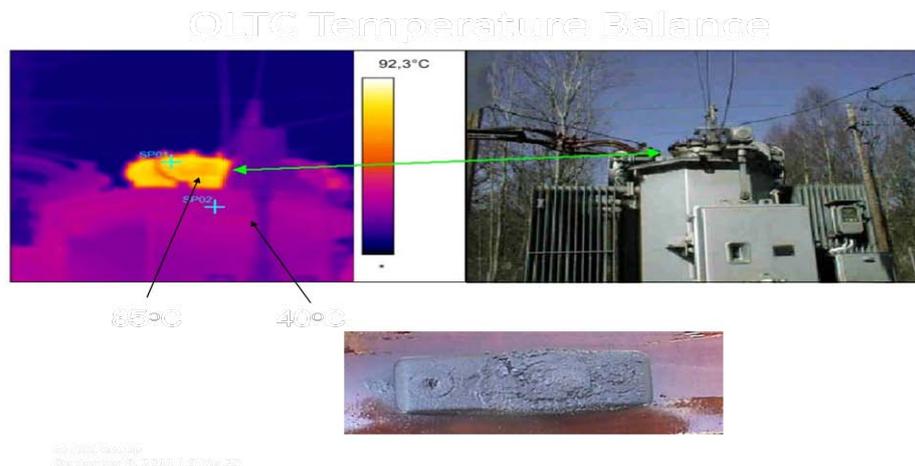


Fig 8-1-3 經由 OLTC 散逸溫度和 Tap 熱損失的分析

經由 OLTC 接觸子的切換次數和通過電流數值可以計算接觸子的磨耗度，

Fig 8-1-4 OLTC 接觸子磨耗之計算，經由磨耗值之信息可以訂定較為精確的 OLTC 內部檢查週期，避免過度或不足之維護檢查，這是未來電網設備運轉維護技術發展的理念。

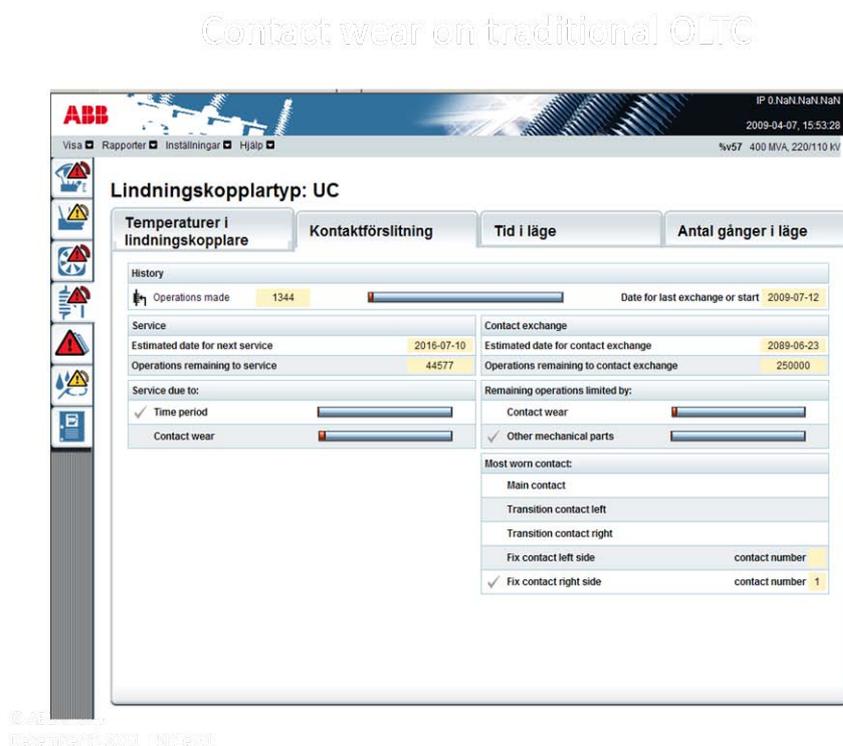


Fig 8-1-4 為早期發掘 OLTC 接觸子磨損率之圖面

◆ 變壓器老化、過載能力之預測

變壓器絕緣材料內含之水份會隨著運轉年限逐漸釋出溶於絕緣油中，當負載昇高水份氣化及最熱點溫度直接影響絕緣材料之壽命，所以從上述二項指標可經其內建程式綜合分析，據以作為變壓器壽命和過負載運轉能力的檢討，請參考 Fig 8-1-5 為某台變壓器過負載能力之指標，可作為夏季尖載，突發性過載之運轉參考指標。

- Ageing calculated from hot-spot temperature and moisture in oil
- Shows overload capacity
- Based on transformer data, ambient temperature and loading conditions

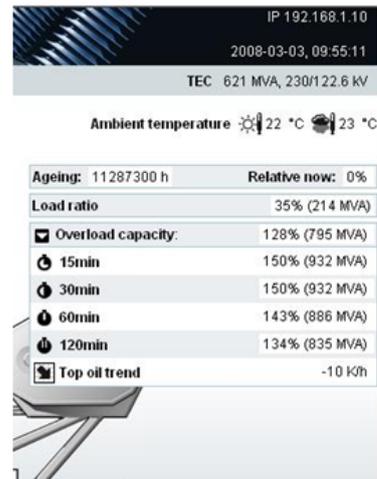


Fig 8-1-5 為某台變壓器過負載能力之指標

玖、電網的電壓調整

分散能源併入電網對電網產生的不穩定特性和未來負載變動率增大等因素，對電網會造成電壓穩定度的衝擊，尤其是配電線首當其衝，傳統電網電壓調整是依賴自動電壓調整器(Automatic Voltage Regulator, AVR)，靜電電容器組(Static Capacitor Bank, SC)、電抗器(Shunt Reactor, SHR)及調整電力潮流等方式，使電壓符合電力品質之規定，當新興分散能源(風力發電、太陽能)加入系統及如 EV 負載之變動多樣化加入電網後，欲維持電壓穩定達到電力品質規範，必須使用各種新興電壓調整的方式解決電壓變動的問題，以下 Fig 9-1-1 為各種電壓調整的方法，傳統的電壓調整方法，AVR、OLTC Tap 的調壓範圍放寬；新興方法是採靜態串聯同步補償器 (Static Synchronous Series Compensator, SSSC)、廣域電壓調整 (Wide Area Regulator)、無效功率補償裝置 (Reactive Power Compensation equipment) 及分散式電源功率角調整等。

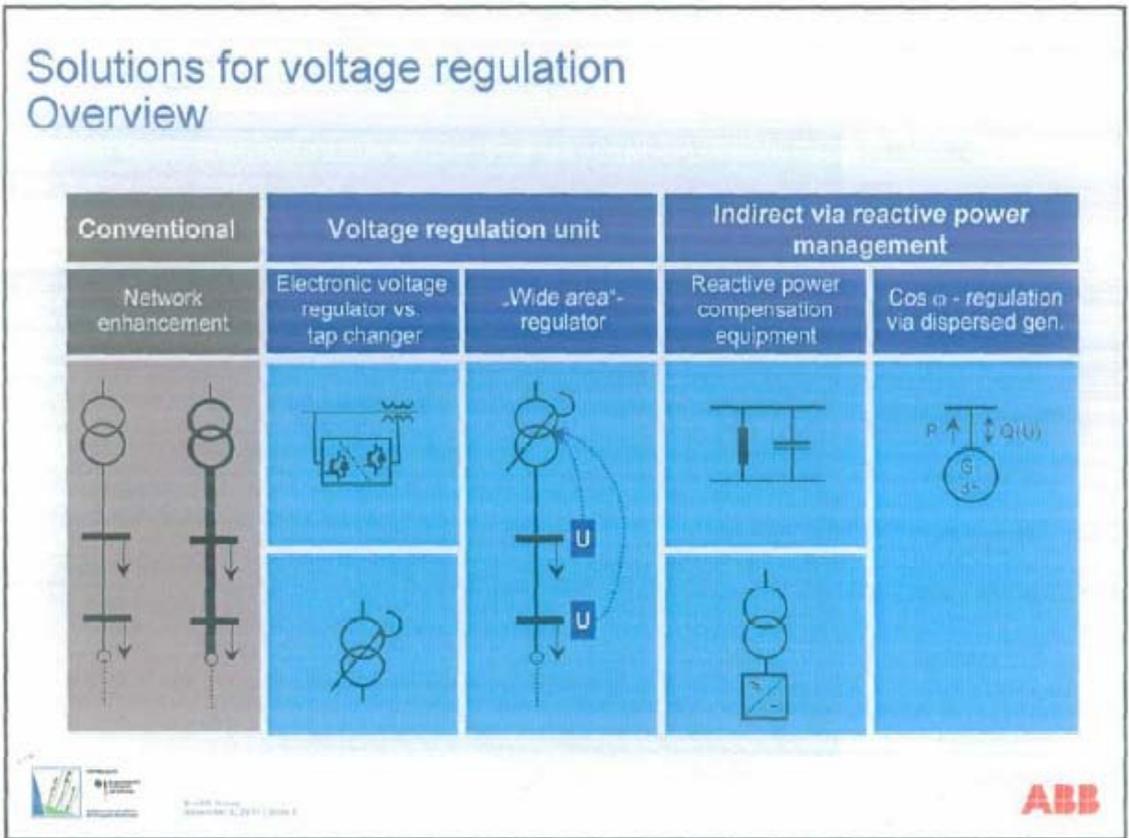


Fig 9-1-1 為各種電壓調整的方法

- ◆ 請參考 Fig 9-1-2 SSSC 電壓調整裝置，Fig 9-1-3 是等效圖，當 $\ddot{u}_1 \sim \ddot{u}_2$ 間線路產生壓降時，由 \ddot{u}_g 補償。

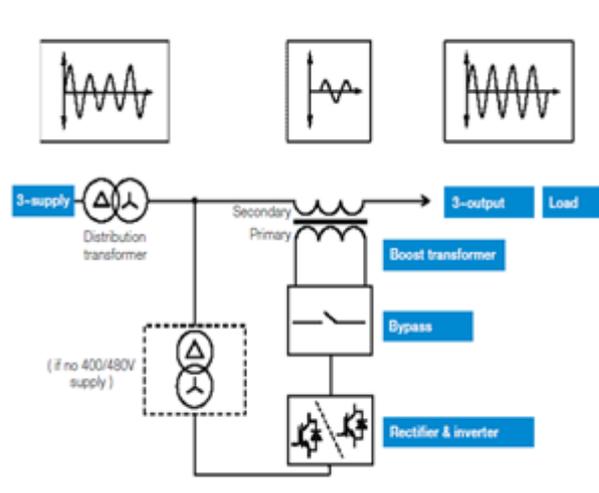


Fig 9-1-2 SSSC 電壓調整裝置

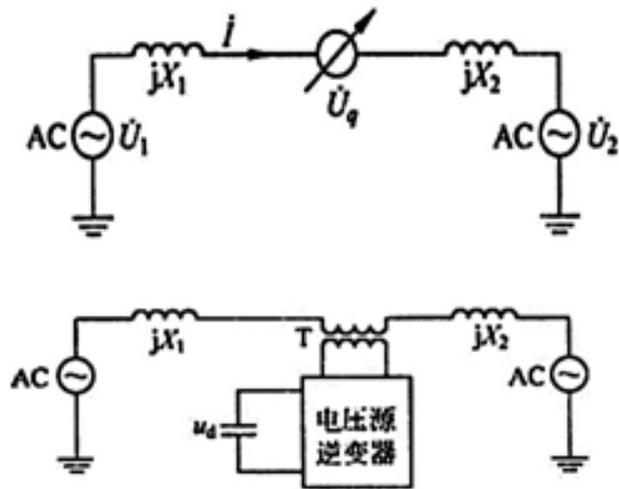
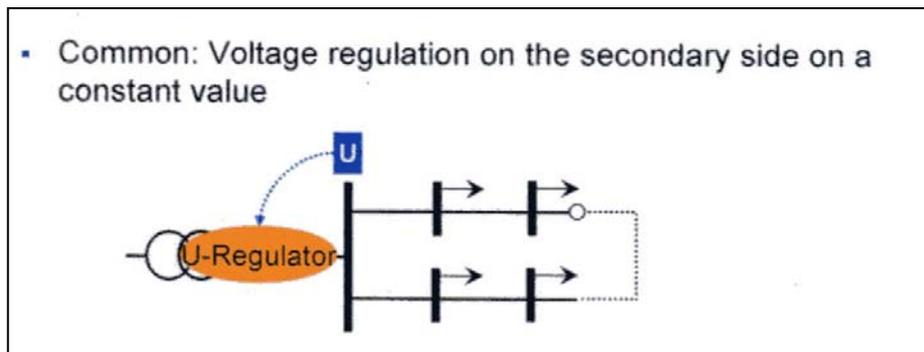


Fig 9-1-3 SSSC 等效圖

◆ 廣域電壓調整(Wide Area-Regulator)

傳統式 OLTC Tap 透過 AVR 調整，二次側的電壓是設定為固定值，對於線路壓降的問題，因負載之高、低，呈現電壓調整之不足，請參考 Fig 9-1-4 為單一電壓調整、Fig 9-1-5 為廣域電壓調整，廣域電壓調整採取電網中關鍵性電壓節點經過分析採取各節點適當的電壓調整，使區域性電壓達到均衡穩定的目標。



9-1-4 單一電壓調整

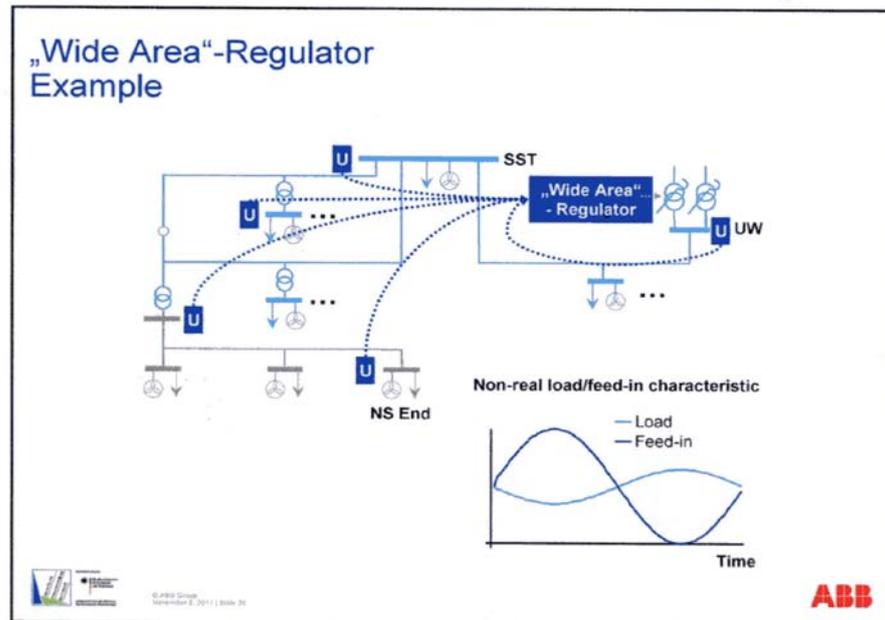


Fig 9-1-5 廣域電壓調整

拾、智慧型變電所狀態監控整合平台

依據 CIGRE Reports 329 “GUIDELINES FOR SPECIFICATION AND EVALUATION OF SUBSTATION AUTOMATION SYSTEMS”及 CIGRE Reports 326 “THE INTRODUCTION OF IEC 61850 AND ITS IMPACT ON PROTECTION AND AUTOMATION WITH IN SUBSTATIONS” 可以考量作為智慧型變電所狀態監控整合平台有關規劃設計之參考，此外，基於國際上智慧電網設備製造廠與各國家地區發展智慧電網各依其環境需求，而各有特色，目前已有分工、競合的趨勢，例如 2009 年 11 月德國、奧地利和瑞士正式簽署智慧電網 E-Energy 的合作備忘錄，專注於智慧電網的發展。能源互聯網和電力電子設備的發展與應用，主要合作領域有(1) 資訊合作：信息共享。(2) 協同合作：採取協同優勢，促進跨領域合作。(3) 合作：就操作性、標準化、安全性、法律面及兼容性聯合解決。(4)公共關係宣導：公共關係之協調，加快技術轉讓。(5) 聯繫：跨國研究。

2010 年 5 月 ABB 公司收購美國 Ventyx 公司，有著眼於開發智慧電網的營運角度，Ventyx 公司在北美市場是主要參與者，包括能源交易、風險管理、客戶信息系統(CIS)、人力資源管理、資產管理、發電分析及解決方案等；根據 Ventyx FocalPoint

Business Intelligence Case Study Georiga Power 每年每戶停電時間指標(SAIDI) 2006~2009 年間降低了 11%，每年每戶停電次數指標(SAIFI) 2006~2009 年間降低了 12%，請參考 Fig 10-1-1 FocalPoint 解決方案圖示

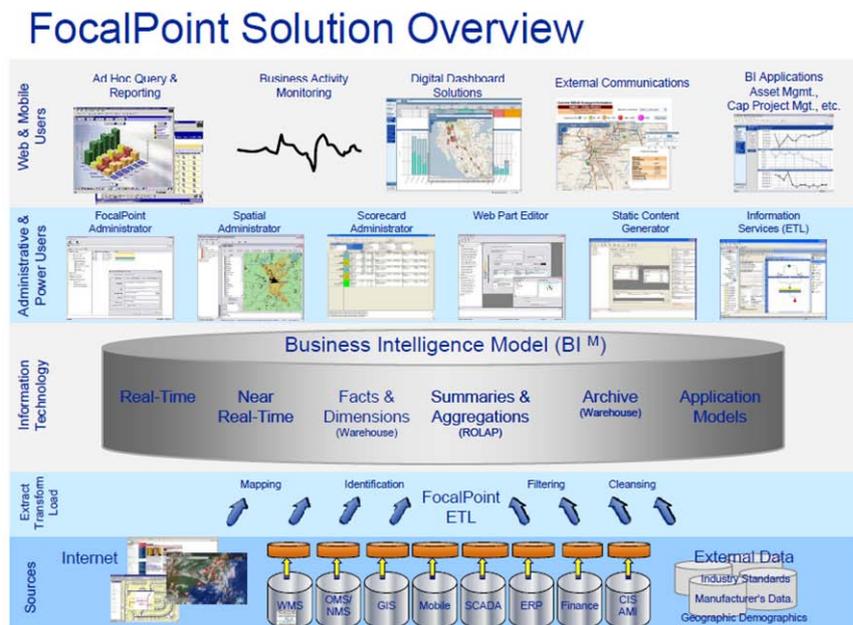


Fig 10-1-1 FocalPoint 解決方案圖示

狀態監控整合平台包含智慧型變壓器、斷路器、電力電纜等涵蓋商業、工程資產管理等領域，可以作為智慧變電所整合平台的參考。機電設備方面，以 IEC 61850 為各介面的通訊基礎，再加上整合之軟體核心技術等構成狀態監控整合平台。

就國際上發展智慧電網技術之策略，跨領域整合之合作關係是發展智慧電網的主流，以台灣產業特色，具有 IT、ICT 技術能力，但是軟體、電力電子技術方面，不如歐美、日先進國家的強勢，短期發展之評估，宜以慎選在世界上有優勢的產品統合台電的智慧電網建設，不宜單純公開招標百家爭鳴，造成系統軟體或硬體之相容性問題，例如德國 E-Energy，是由德國政府協調整合 ABB、EnBW、IBM、SAP 等廠商，分工合作的試驗計畫。IEC 61850 是智慧變電所的專用標準，建設智慧變電所之設備要有通過驗證的產品，以保證功能可以合乎應用需求，目前台電電力調度自動化方面分為中央調度中心(CDCC)、區域調度中心(ADCC)、配電調度中心(DDCC)，未來設備汰換，也應整合智慧電網的設備，使之無縫接軌，才不致留下智慧電網監視、控制、通訊、保護方面的缺陷。

拾壹、建設智慧型之變電所自動化的效益分析

根據 CIGRE 2000 年在巴黎 34-112 報告”Technical and economical consequence of digital technologies for EDF transmission substation”，之 point 6.2：數位化技術比傳統技術節省 15% 費用。

根據 CIGRE 2002 年 Session 34-106：有關變電所自動化與傳統變電所之投資金額比較資料。

投資金額比較項目	傳統	數位化設備
電纜線 (Cable)	30%	15%
控制室建物(Building)	5%	4%
控制盤(Board)	4%	-
SCADA/RUT/Gateway	3%	1%

CIGRE 2002 Special Report for SC34，人為誤操作佔 50% 為系統非希望之故障率(Unwanted operations)，根據挪威資料，50% 人為誤操作來自人為系統的操作，保護設備試驗、設定等因素所致；數位化、自動化系統及 IEC 61850 平台可作為改善的工具，請參考 Fig 11-1-1 變電所自動化趨勢，圖中傳統變電所使用大量銅導線用於控制、保護、通訊設備，進化為使用智慧型 GIS Process bus，降低大量銅導線之使用，在硬體設備方面降低銅導線的維修檢查與絕緣劣化的機率，在軟體應用方面，資訊、通訊功能都數位化後可以充分使用「互鎖機制」、「驗證程序」避免人為的誤操作。

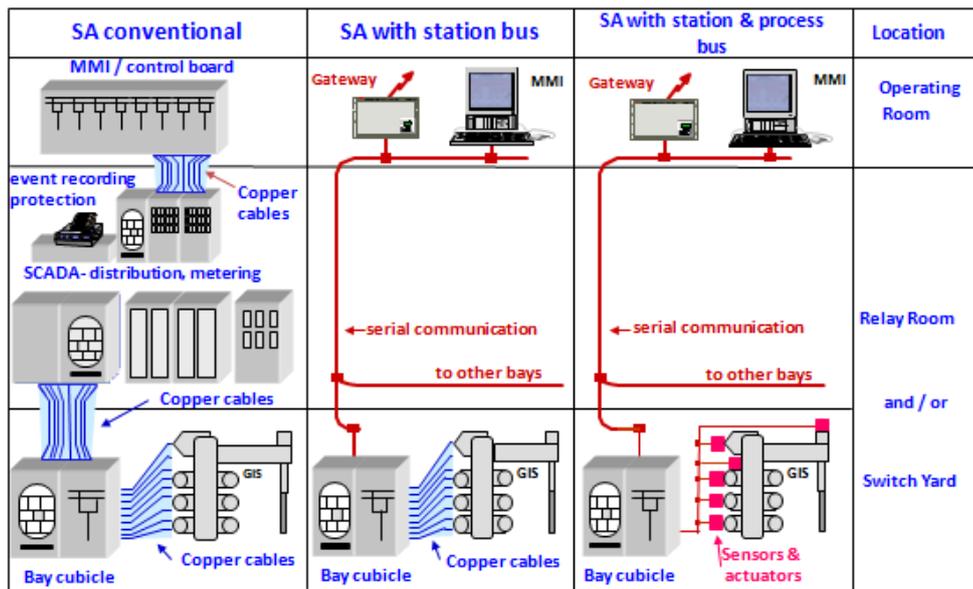


Fig 11-1-1 變電所自動化趨勢

◆ 智慧型變電所較之傳統變電所分項比較效益

特點(架構)	效益
硬體	減少庫存和備品
軟體	高親和力、減少訓練
SA 集成系統	減少操作和維護成本
控制、監視、保護干擾、電表...等	更多的靈活規畫應用層面
開放的系統	更多的可應用層面
使用光纖通信媒體	減少佈線和安裝成本
模組組合	減少控制電纜線和裝置成本
分散式系統	減少測試、調校成本
沒有傳統的模擬板	更少的空間和土建工程成本
特點(SA 增加之功能)	效益(工程簡化, 提昇運轉效率)
自適應保護	避免誤操作
自動操作	降低故障率
互鎖機能	減少操作成本
自動檢測	增加生命週期

維護	減少維護成本
特點(增加更多的運轉信息)	效益
運轉信息	降低計畫成本
主要設備狀態信息	高效設備故障排除
SA 系統狀態資訊	提昇監測功能
擾動紀錄	提昇監測功能
趨勢分析	高效之決策應用
報告	高效之資產管理