

出國報告（出國類別：實習）

多功能數位式保護電驛於智慧電網之 應用技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃欣媛 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：104/09/01-104/09/10

報告日期：104/11/02

目次

多功能數位式保護電驛於智慧電網之應用技術

壹、	前言與目的	02
貳、	過程	03
參、	智慧電網與數位式保護電驛	04
一、	61850 通訊協定簡介	05
二、	乙太網路	07
三、	智慧電網下的應用方式	10
I.	配電自動控制	10
II.	事故資料回傳	12
III.	系統監控	14
肆、	SEL 公司分享他國實際應用案例	16
一、	ELEKTRO 電力公司	16
二、	Vietnam 電力公司	18
伍、	心得與建議	20

壹、 前言與目的

電力輸電網路是擔任將電能送到各個用戶的重要角色，隨著時代進步，電力已經成為每個人不可缺少的重要資源，因此電力網路不斷地朝向高可靠度以及低損耗的供電方式演進，智慧電網便是以此為目的因應而生，它以通訊方式來偵測與收集發電端電力供應狀況和用戶用電情形，並處理這些收集到的資訊來調度並調整電力的輸配電方式，許多國家目前正積極發展研究智慧電網，期望智慧電網能有效減少能源依賴，減緩全球暖化情況。

電力系統無法避免地震水災、鳥獸碰觸以及電力設備本身劣化等因素所造成的事故發生，智慧電網亦是如此，為了使事故發生後對電力系統造成的損害減至最低程度，令其他正常的設備能照常繼續供應電力，此時需依賴保護電驛來進行，因此在發展智慧電網的同時，保護電驛亦扮演十分關鍵的角色，其發展方向可包括系統的故障偵測、判斷與自動試送電等，電驛廠商亦紛紛推出各式各樣擁有可邏輯規劃功能元件與通訊介面的數位式保護電驛，並以 IEC61850 做為不同廠牌電驛之間的通訊協定，來整合相關技術。

近年來臺灣用電需求節節上升，而且在環保議題影響下，台電公司為了更有效率並以最佳化方式滿足用電需求，亦積極推動智慧電網。為配合台電公司推行智慧電網之發展方向，且適逢電力系統保護電驛數位化汰換工作，計劃藉由赴國外電驛製造廠家實習，學習各類新型數位式保護電驛於智慧型電網之較新技術應用情形，以符合國際趨勢，並研討規劃應用於國內系統，符合國際趨勢及公司政策，提升提升整體電力系統保護效能。

貳、 過程

本次出國實習係依照行政院104年度第80號出國計畫，參訪對象為美國SEL公司，實習「多功能數位式保護電驛於智慧電網之應用技術」，為期10天，相關任務地點及實習內容行程，重點說明如下：

日期	機構名稱	工作紀要
104/09/01~104/09/01		往程(台北→西雅圖) 夜宿西雅圖
104/09/02~104/09/02		往程(西雅圖→普爾曼)
104/09/03~104/09/08	SEL 公司	<ul style="list-style-type: none">• SEL 電驛於智慧電網的發展及應用• 智慧電網相關實例研討• SEL 相關產品介紹• 參訪 SEL 測試實驗室與工廠製成• 相關技術經驗交流• 資料整理
104/09/08~104/09/08		返程(普爾曼→西雅圖)
104/09/09~104/09/10		返程(西雅圖→台北)

參、 智慧電網與數位保護電驛

電力系統分成發電、輸電、配電等部分，電能從電廠發出後經由輸電線路與變電站分配給用戶，變電站是輸電線路的匯集點，亦是電力系統中不可或缺的角色，主要的電力設備被設置在變電所內用來進行電力的分配與設備保護，如變壓器、斷路器、匯流排以及保護電驛…等，建置智慧電網需依賴先進的通訊技術整合系統其他電力設備、管理與監控系統，也就是變電所自動化系統(見圖 1)，其目標就是實現在變電所內的各種 IED(Intelligent Electronic Device)互操作方式。

IED(Intelligent Electronic Device，智慧型電子裝置)具有保護、量測、控制以及通訊等功能，泛指數位式保護電驛，具有複雜的邏輯運作，可規劃多樣保護元件，並且擁有精確的動作特性以及紀錄事故波形等優點，其結合通訊技術可使維護人員即時掌握系統訊息，在智慧電網上扮演重要環節。

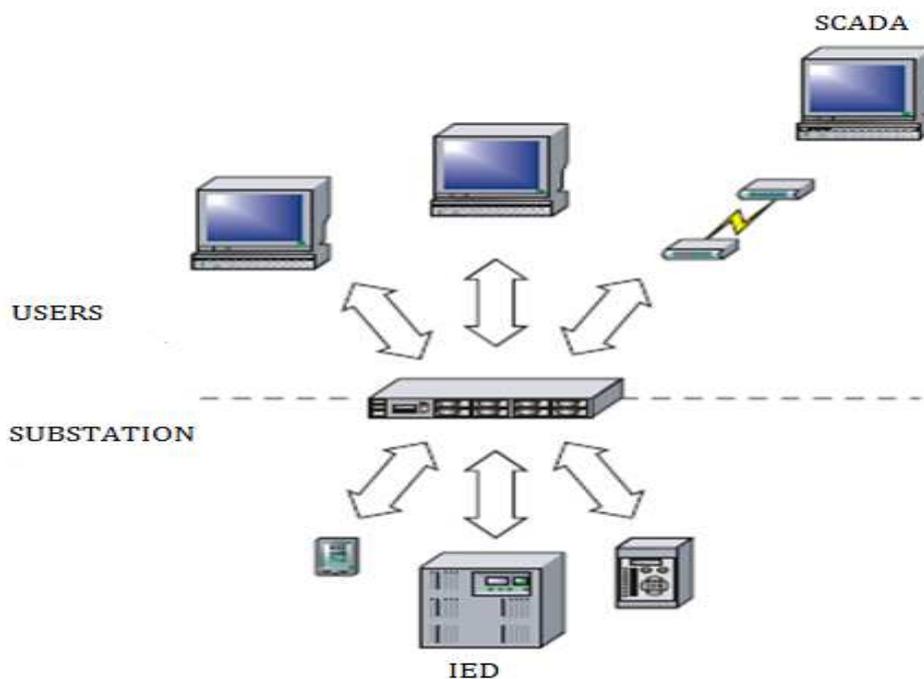


圖 1. 變電所自動化示意圖

為整合變電站內不同廠家的 IED 的操作，在過去 15 年裡，美國與歐洲國家都替 IED 裝置的標準化應用制定了一系列的技術規範與程序，IEC 61850 明確定義監控、保護、測量以及控制設備之技術整合並被各家 IED 製造商所採用，使不同廠家的 IED 可以實現互操作方式，下面將詳細介紹目前智慧電網相關技術與 IED 的應用。

一、IEC 61850 通訊協定簡介

早在 1984 年 SEL 公司發展了第一具數位式保護電驛，以直接連接的方式來查看電驛內部資訊，不僅掀起電力保護產業的新氣象，也是該公司早期發展電力系統數位通訊的雛型，隨著時代演進，乙太網路技術成熟，各家保護電驛廠家紛紛推出與結合通訊技術的數位式保護電驛。早期各廠家自行研發的通訊格式未能互通相容，在變電所自動化發展及推動上造成困擾，因此國際電工委員會 IEC (International Electro Technical Commission)與電力研究院 EPRI(Electric Power Research Institute)訂製國際標準，以利自動化變電所不同設備間之整合與擴充。

目前已定義超過 100 項與智慧電網有關的 IEC 標準，下面幾項是比較核心的標準：

IEC/TR 62357 : Service Oriented Architecture (SAO)

IEC 61970 : Common Information Model (CIM) / Energy Management

IEC 61850 : Power Utility Automation

IEC 61968 : Common Information Model (CIM) / Distribution Management

IEC 62351 : Security

IEC 62056 : Data exchange for meter reading、tariff and load control

IEC 61508 : Functional safety of electrical/electronic/programmable
electronic safety-related systems

其中的 IEC 61850 標準於 2005 年頒布，它參考並吸收既有的相關標準，主要有 IEC 60870-5-101 遠端通訊協定、IEC 60870-5-103 電驛保護訊號接收、UCA2.0 (Utility Communication Architecture2.0)與 ISO/IEC9506 MMS(Manufacturing Message Specification)，訂出自動化變電站內的網路通訊系統國際標準，目前已被各家 IED 廠家所採用，以下是 IEC 61850 系列的簡介：

- Part 1: Introduction and overview
- Part 2: Glossary
- Part 3: General requirements
- Part 4: System and project management
- Part 5: Communication requirements for functions and device models

- Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs

- Part 7: Basic communication structure for substation and feeder equipment
 - IEC 61850-7-1: Principles and models
 - IEC 61850-7-2: Abstract communication service interface (ACSI)
 - IEC 61850-7-3: Common Data Classes
 - IEC 61850-7-4: Compatible logical node classes and data classes
- Part 8: Specific Communication Service Mapping (SCSM)
 - IEC 61850-8-1: Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3
- Part 9: Specific Communication Service Mapping (SCSM)
 - IEC 61850-9-1: Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link
 - IEC 61850-9-2: Sampled values over ISO/IEC 8802-3
- Part 10: Conformance testing

在此規範下，自動化變電站內所有 IED 都將以符合 IEC61850 標準的方式進行通信。IEC61850 主要定義了以下：資料建模、報告方案、事件快速傳輸(GOOSE 和 GSSE)、設置群組、數位採樣資料傳輸(SV)、命令配置和資料儲存，解決了變電站自動化設備的互操作性和協定轉換的問題。

二、乙太網路

乙太網路為智慧電網的技術基礎，透過乙太網路把各 IED 連接起來，代替傳統電纜接線的 I/O 系統，並可遠端進行控制與資料收集，根據訊息傳遞的應用方式可將乙太網路分成兩個部分：OT(Operational Technology)網路與 IT(Information Technology)網路(見下圖 2)。

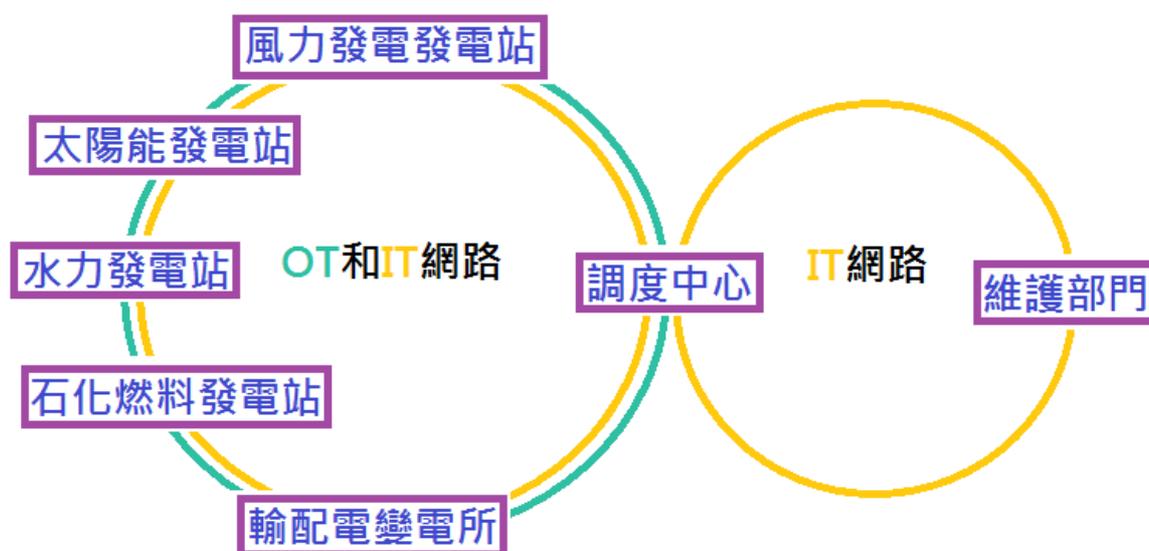


圖 2. 結合 IT 與 OT 網路的電力設備用乙太網路

IT 網路：用在收集以及重新分配數據以進行決策，其方式是「移動」資訊，例如：事故資料的讀取。

OT 網路：設備和方法以自動或手動來控制工業程序，其方式是「使用」資訊，例如 IED 之間封包的傳遞。

藉由 IT 和 OT 技術的整合，不僅能整合網絡中離散的電力資訊，還能監控能源產生、傳輸和配送的流程，是推動智慧電網的重要因素。

IEC 61850 定義下之 IED 裝置都需透過光纖或 CAT5/CAT6 電纜連接至乙太網路交換器，在 IED 裝置發送封包時，交換器可以避免這些封包發生衝突並把各個封包送到各自的接收端，除此之外，網管型交換器提供 VLAN(802.1Q)、SNMPv2、SNMPv3、RMON、SNTP(或 IEEE 1588v2)…等功能，方便對網路進行管理。

智慧電網下的自動化變電所網路連接架構比較常見的有以下四種：

1. 樹狀結構：為網路最基本的架構，優點是容易擴充與配置，但是缺點就是當某一路徑通訊故障時，在未修復前無法使用對該區域網路進行資料傳輸，此種結構較不適合應用於超高壓變電所或重要設備(見下圖 3)。

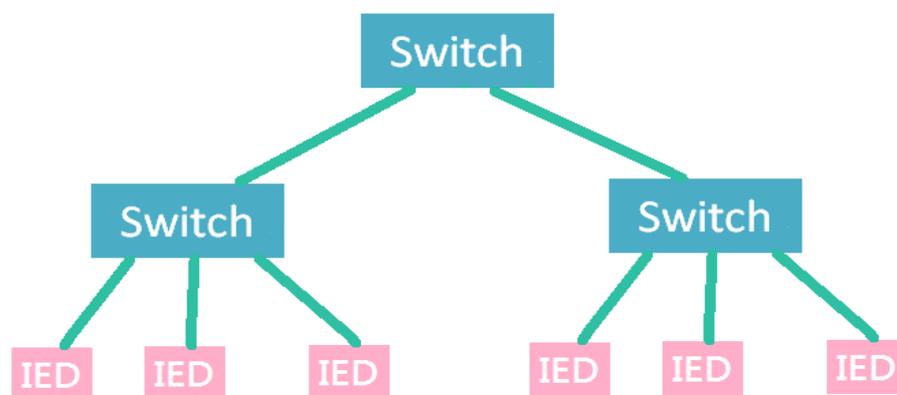


圖 3. 樹狀網路連接架構示意圖

2. 環狀結構：此種結構所有乙太網路交換器之間都存在備用通信路徑，可確保當一個路徑故障時還能維持通訊網路的功能運作正常，但是若環中節點過多時，會影響訊息傳輸速率，使網路響應時間延長(見下圖 4)。

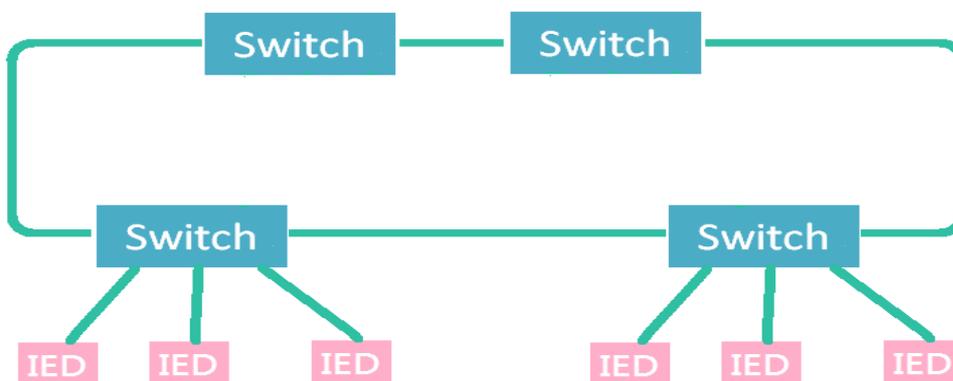


圖 4. 環狀網路連接架構示意圖

3. 多路環狀結構：此種結構設計原則是按照變電所的電壓等級或按照不同區域將整個網路分成不同環路，例如：345kV 的設備可規劃在同一個環路，而其他電壓等級的設備則是另一個獨立環路(見下圖 5)。此種結構亦可視為一種網狀結構。

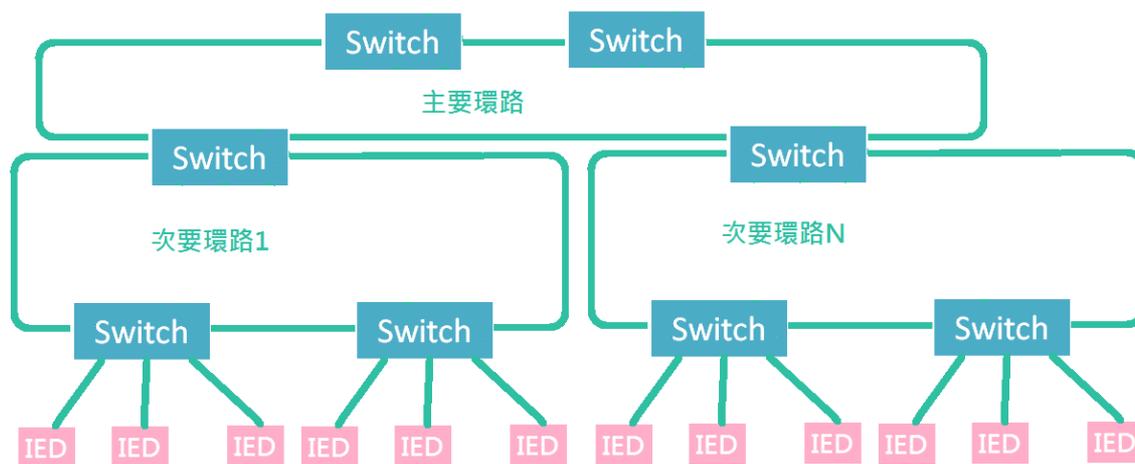


圖 5. 多路環狀網路連接架構示意圖

4. 網狀結構：這個連接架構優點在於減少傳輸節點使得傳輸數據時較環狀結構快，而且不易產生擁塞，同樣具有備用通信路徑，不過建置成本較高，不易擴充為其缺點(見下圖 6)。

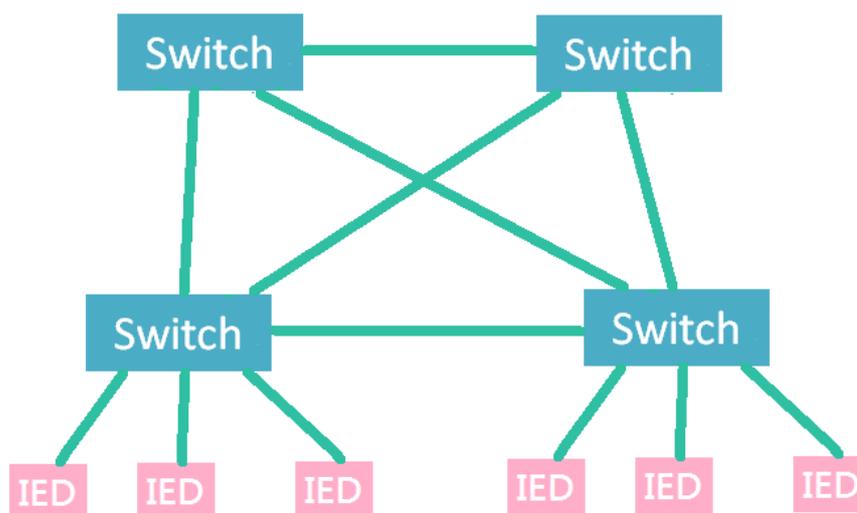


圖 6. 網狀網路連接架構示意圖

三、智慧電網下的應用方式

I. 配電自動控制

電力系統發生事故時需依賴需保護電驛偵測事故並隔離事故點，調度人員再依故障類型在事後進行轉供等處理方式，以令系統正常運作，在智慧電網下的電力系統，對於故障處置方式不僅做到偵測事故並隔離，更進一步因應當時系統狀況進行相關斷路器投切與標置切換等自動化控制，減少停電損失增強系統可靠度，以下為配電自動控制(Distribution Automation Controllers)與自動化網路配置(Automatic Network Reconfiguration)運作方式舉例說明。

以往電力系統在發生下圖 7 事故狀況，保護電驛僅啓斷 CB1 斷路器來隔離事故，然而若不考慮其他因素，在 DAC 運轉模式下情況下，在保護電驛啓斷 CB1 後 DAC 自動會將 CB2 啓斷，再將 CB3 投入，使得停電範圍減少，做到偵測、隔離以及恢復三個步驟。

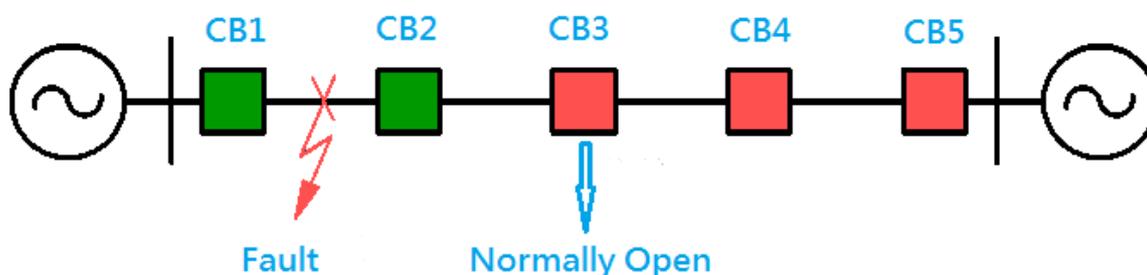


圖 7. 系統事故範例

上述為 DAC 基本動作概念，除此之外該操作策略仍需考慮事故類型(永久事故、多重事故)、環路改變後的保護標置協調與線路承載容量，以上圖 7 的狀況，當 CB3 投入後系統結構發生改變，此時標置協調需跟著改變。再來考慮線路容量，假設負載分佈如下頁圖 8 所示，而且 Zone1~Zone4 線段容量皆是 250A，然而當事故發生後，這時就不能將 CB3 投入，避免 Zone4 線段發生過載。

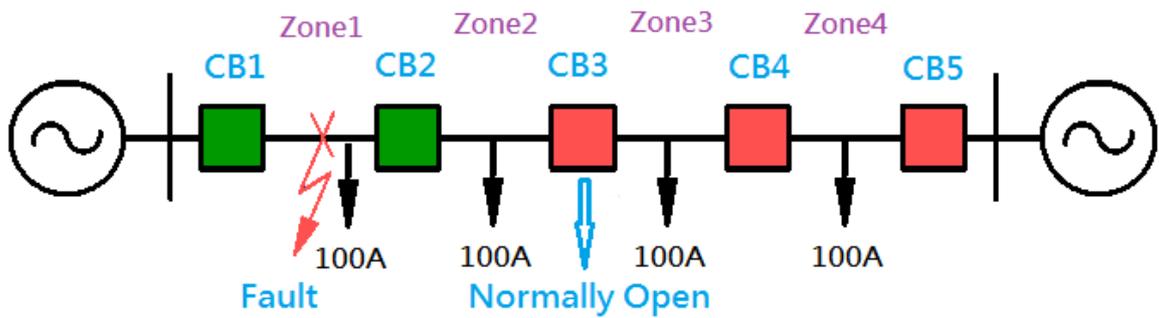


圖 8. 考慮線路容量的系統事故範例

SEL 公司介紹以搭配 ANR(Automatic Network Reconfiguration)的 DAC 可自動化運作複雜的系統，以數位保護電驛傳遞電壓電流以及相關接點訊息來執行功能（見下圖 9），採用高速的點對點通訊方式，更可依不同運轉策略更改數位式保護電驛的標置群組(例 group 1→group 2)，維持系統協調性，其彈性且易於擴充為其概念添色不少，密西西比電力公司、俄亥俄州電力系統…等皆有實際採用 DAC 設計。

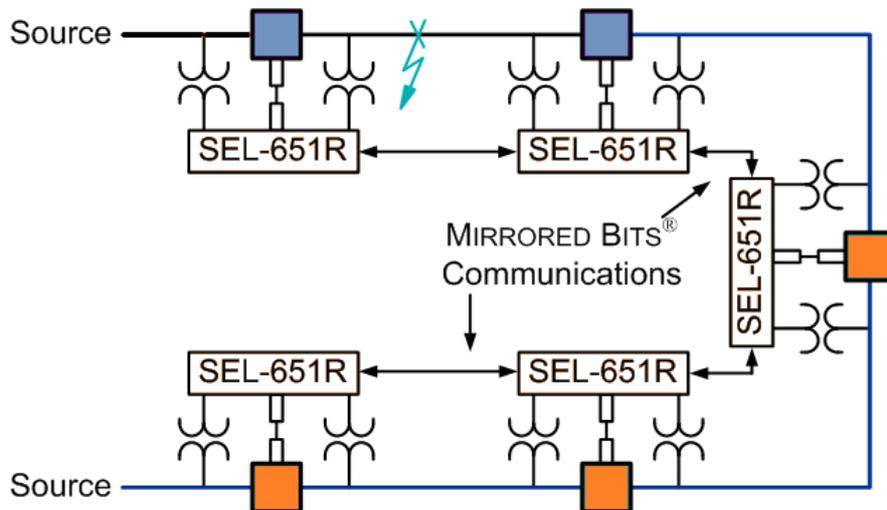


圖 9. SEL 公司的搭配輔助通訊 ANR 配電系統結構

II. 事故資料回傳

智慧電網結合通訊技術與數位化裝置令維護人員可以遠端取得電力系統資訊，節省了時間成本，SEL 公司更設計 ACCELERATOR TEAM® SEL-5045 Software 做為自動收集數位電驛內部的事務資料(可使用在 SEL、GE 與 ALSTOM 電驛上)，增加在電力系統管理維護上的便利性。

下圖顯示這個軟體在系統下的運行方式，DDC(Device Data Collector)安排並執行任務以及從數位電驛檢索資訊並收集事故資料，EDT(Event Data Translator)將 DDC 收集到的資料轉譯並儲存事件檔案在 SQL(Structured Query Language)資料庫。

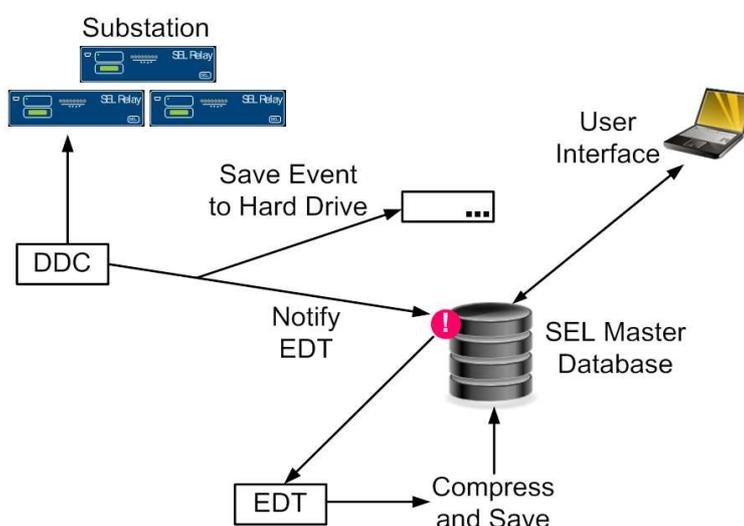


圖 10. TEAM Services 背景運作方式

下圖 11 是事故資料回傳的檢示畫面，此軟體有條理的整合收集回來的事務資料，可自訂收集的週期，若有設定開放式網路，還可設定 EMAIL 通知功能，使維護人員在事故訊息處理更加迅速。

Acknowledge	Device Name	Event Timestamp	Retrieval Timestamp	Retrieval Command Used	Event Type
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	8/2/2012 10:34:36.135000	2/22/2013 12:57:42.155000	CEV 2	PULSE
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	1/23/2012 15:01:52.498000	2/22/2013 13:02:40.075000	CEV 7	TRIG
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	8/2/2012 10:31:53.490000	2/22/2013 12:58:43.043000	CEV 3	PULSE
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	8/2/2012 10:37:26.243000	2/22/2013 12:56:40.920000	CEV 1	PULSE
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	8/2/2012 10:30:49.365000	2/22/2013 12:59:41.718000	CEV 4	PULSE
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	1/5/2012 09:49:42.738000	2/22/2013 13:05:38.668000	CEV 10	TRIG
<input type="checkbox"/>	SEL-351R-2	8/2/2012 10:30:27.242000	2/22/2013 13:00:39.863000	CEV 5	PULSE

圖 11. TEAM 事故收集

事故發生後，對電力公司來說迅速得知正確的事故點位置是非常重要的，一般的數位式保護電驛採用單端測量方式計算故障距離，然而電力系統中故障阻抗、不平衡的角度、負載以及相鄰線路的互感現象皆會影響此種計算方式。

爲了提高計算出的事故距離的準確度，TEAM(Team Transmission Fault Location, TFL)接收數位式保護電驛回傳的事故資料，用時標方式檢查這些事件的關聯性，並採用兩端故障定位計算出故障距離(見下圖 12)。

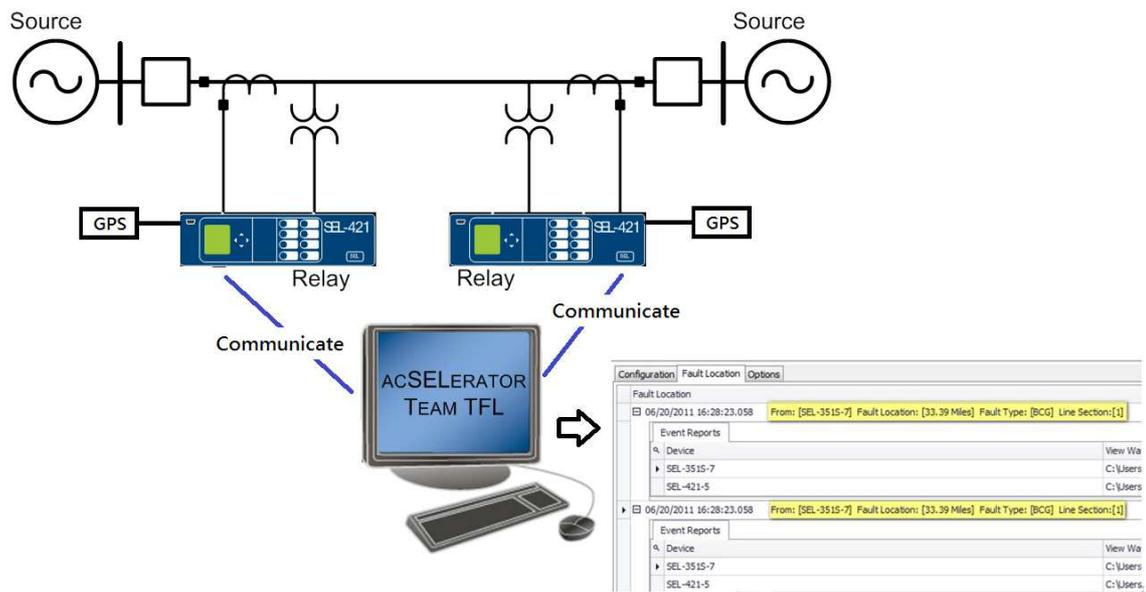


圖 12. TEAM Transmission Fault Location (TFL)

III. 系統監控

監控電力系統是掌握系統狀況的一種方式，SEL 公司所設計一套軟體 Synchronwave Central Software 可以即時監視電力系統的狀態，亦可回顧過去記錄，令調度人員隨時知悉電力系統情況，並制定相關防衛計畫。

整個完整的建置架構需要搭配 GPS 衛星校時器、相位量測裝置(phasor measurement units)、相量資料集中器(phasor data concentrator)、網路通訊以及 Synchronwave Central Software。軟體介面如下圖 13 所示，橘色框線的部分可令操作人員快速檢視主要變電站之間的潮流與電壓相角差，黃色框線部分可顯示系統即時或過去的頻率、電壓、電流等資訊，圖 13 的資訊可看到系統明顯發生事故造成頻率擾動，若搭配前述之 ACCELERATOR TEAM® SEL-5045 Software，自動回傳之事故資料可顯示在下表箭頭處的小點，紅色虛框是系統上的數位電驛，直接點下可直接看到該電驛的回傳的事故波形等詳細資料(見下頁圖 14)，令操作人員可迅速對應系統狀況，有利於分析系統事故。



圖 13. Synchronwave Central Software 操作介面

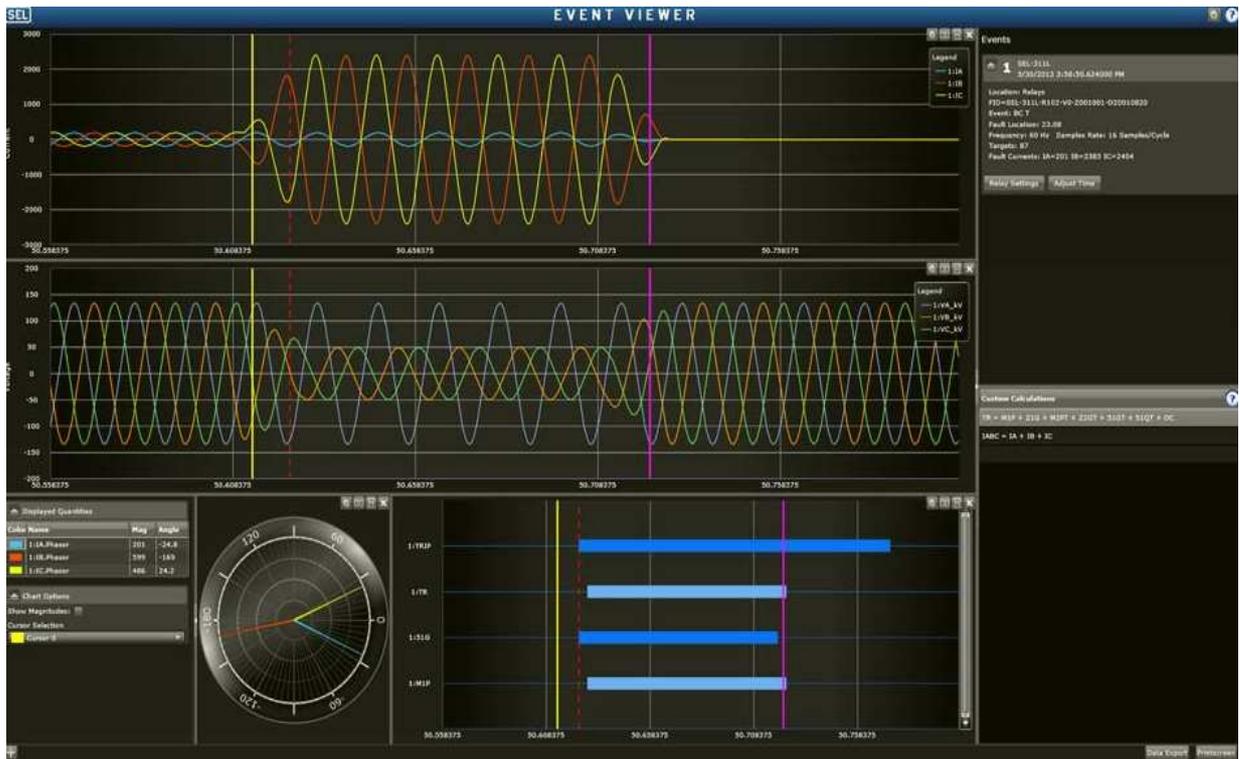


圖 14. SEL 廠家設計事故波形分析軟體介面

肆、 SEL 公司分享他國實際應用案例

一、ELEKTRO 電力公司

ELEKTRO 是巴西的電力公司，擁有 128 所變電站與超過 70,000 公里的輸電線路並供應超過五百萬人口電能，SEL 公司取得該公司工程的標案，在 2010 前完工 36 間自動化變電站，並引入 IEC61850 技術，電壓層級涵蓋 13.8kV 至 138kV，迄今超過 40 間以 IEC 61850 做為架構建置的變電站(見下圖 15)。



圖 15. ELEKTRO 電力公司建置自動化變電所區域

當地這些自動化變電所的建立對維護設備上帶來實質效益，建置上節省了約 30% 控制電纜而且依據 IEC 61850 的標準使得現場擴充其他廠家的設備也不再困難(見下頁圖 16)，設備可靠度的提升與自我檢測的功能使得設備維護的周期延長，此外通訊技術使得維護人員可從遠端控制或取得所需資料，減少去現場的次數，也降低可能發生的人員傷亡。



圖 16.ELEKTRO 變電所內 SEL 電驛與其他廠家電驛

二、Vietnam 電力公司

Vietnam Electricity(EVN)和台灣電力公司一樣屬於國有，並供應電力給整個越南，EVN 在過去十多年以來投資相當多財力在電力系統，目的是將電網走向現代化(見圖 17)，並整合控制與保護控制系統。

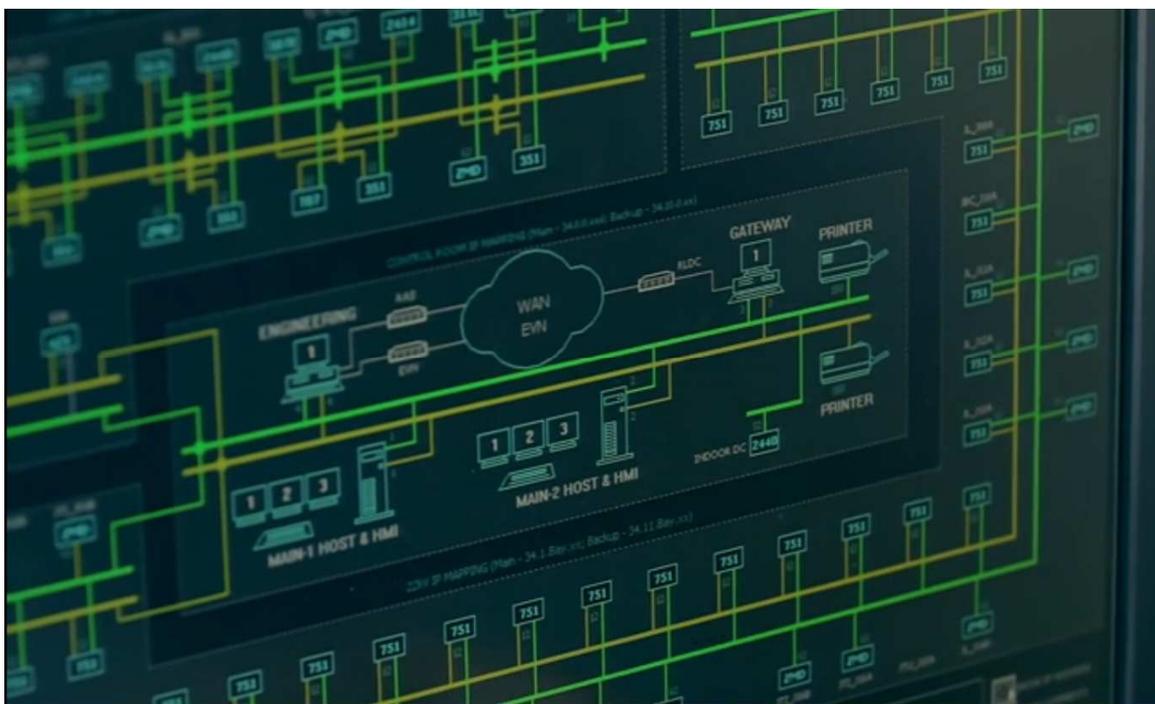


圖 17. Tan qui 變電站控制室監控畫面

傳統變電所是透過電纜將現場電流、電壓與控制迴路引回控制室，根據研究指出多數事故皆發生在此二次系統區間，其中的 7 成事故與二次系統的電纜有關，當地變電所自動化後將數位保護電驛放置一次系統附近開關箱內(見下頁圖 18)，僅用兩條光纜引回控制室監視資訊，不僅節省電纜，更進一步降低這些事故發生率，提升供電可靠度。



圖 18. Thu Duc 220kV 變電站

由於越南屬熱帶季風氣候，氣候高溫且潮濕，當地開關箱內溫度最高可達攝氏 80 度，易對現場設備多造成不良影響，SEL 公司以此工程案例做為分享，來表達該公司的 IED 裝置能在如此高溫高濕度的環境運轉 10 年而罕有發現設備故障，顯示該公司產品品質的保證。

伍、心得與建議

由衷感謝公司長官指派實習的機會，進公司以來因工作內容的關係，所以經常需要測試並維護保護電驛，其中也包括 SEL 廠家製造的電驛，此次能夠實地造訪 SEL 公司並與其他工程師交流想法與概念，不僅學習現在保護電驛在近年來的發展與趨勢，亦感受對方在技術開發上嚴謹心態與對於產品的用心經營，這些對我來說都是非常難得的經驗，我也十分樂意將我這次所見所聞分享給各位長官與同仁，希望能夠對各位有所幫助。

此次實習智慧電網相關技術，了解日後數位式保護電驛會以結合通訊、控制、量測與保護的方向發展，如同手機整合相機、電腦、網路…等多項技術演變至多功能智慧手機一般，在維護工作上不僅需要理解保護原理，更要涉獵通訊知識，以便遇到問題能迎刃而解。

目前台電公司正全面將系統內的傳統式電驛汰換為數位式保護電驛，並且用獨立專用的乙太網路連接數位電驛，但若要以現有乙太網路通訊建置智慧電網，在設定及結構上尚有改善空間，整合通訊、控制、量測與保護的數位電驛不斷推陳出新，建議公司多派員出國參訪學習相關技術，並讓電驛人員與通訊人員多互相交流，以利日後面對電驛的通訊問題時能更加迅速解決。

台電公司正在推行智慧電網，未來勢必將需要更多電驛與通訊等相關技術人員，建議公司可以多哉培訓或引進新人從事相關維護工作，並且將相關知識也導入各變電所維護單位，以利推動變電所自動化以及日後維護工作。

參考資料：

[1] SEL 公司提供講義資料

[2] IEC standard

[3] SEL Smart Solution

[4] ACCELERATOR TEAM® SEL-5045 Software Manual

[5] Synchrowave Central Software Introduction