

出國報告（出國類別：實習）

數位式多功能輸電線路保護電驛
及
事故資料自動回傳系統應用技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：梁錫焜 電驛三課長

派赴國家：美國

出國期間：101年8月18日至101年8月27日

報告日期：101年10月12日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：數位式多功能輸電線路保護電驛及事故資料自動回傳系統應用技術

頁數 41 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

梁錫焜/台灣電力公司/台北供電區營運處/電驛三課長/(02)29344125

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：101 年 8 月 18 日至 101 年 8 月 27 日 出國地區：美國

報告日期：101 年 10 月 12 日

分類號/目

關鍵詞：資料擷取,自動回傳,標置設定,伺服器

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、 本次出國計劃主要的目的是為當電力系統輸電線路發生事故時，除了相關保護電驛能正確快速動作外，動作後之事故資料亦能透過自動回傳系統傳至各指定地點(伺服器)，不需人工一一連線下載，可有效縮短事故資料擷取時間並提升事故分析效率及加快運轉人員系統復電時程。
- 二、 赴美國電驛製造廠家 SEL 及 E-MAX 公司實習「數位式多功能輸電線路保護電驛及事故資料自動回傳系統應用技術」，除更深入了解數位式多功能輸電線路電驛保護之技術與應用外，亦收集美國地區對事故資料自動回傳系統之應用情形，作為規劃

未來新技術運用參考，俾提升本公司電力系統保護效能、供電可靠度及事故後分析效率。

- 三、參觀當地電力公司藉以瞭解數位式多功能電驛設備規劃運用與標置設定技術，也藉此一交流機會了解美國當地電驛部門人力運作及事故後電驛資料之擷取方式等相關事宜，作為本公司電驛應用及設定業務參考。

目錄

一、出國原由-----	5
二、行程說明-----	8
三、數位式多功能輸電線保護電驛-----	9
3.1 SEL-421 測距電驛-----	10
3.1.1 Single pole and three pole Trip & Reclose	
3.1.2 增加 Phase Quadrilateral Element	
3.1.3 電驛偵測故障動作時間更快	
3.1.4 此型電驛傳統 CT 可改為光電式電流轉 換(MOCT)輸入	
3.1.5 同步比較器	
3.1.6 圖表式 Logic Editor	
3.2 SEL-411L 差流電驛-----	18
3.2.1 Dual breaker terminals (2 CT Input)	
3.2.2 External Fault Detection	
3.2.3 In line transformer	
3.2.4 SEL421 Backup feature	
3.3 Traveling Wave 事故測距技術-----	23
四、事故資料自動回傳系統應用技術-----	25
4.1 SEL 5040 TEAM SOFTWARE -----	25
4.2 E-MAX 示波器簡介及自動回傳技術應用---	30
五、參訪 SEL 製造研發中心及 Pullman 變電站-----	35
六、心得與建議-----	40

一、出國原由

目前台灣電力系統之輸電線路共分為超高壓 345kV 線路、一次系統 161kV 線路及二次系統 69kV 線路，上述輸電線路散佈於城鎮、平地、河岸、地底、甚至人煙罕至、冰天雪地之高山叢林中，到處都可以看到它們英挺高聳的身軀，它們就像人體內的血管一樣，一直運送著人體所需要之氧氣與養分，它也像一群沈默的巨人，一直默默地肩負著電力傳送的重要使命，目地就是為了帶給我們光明、便利與繁榮。

還記得 729 事件嗎？因為台南幾座 345kV 鐵塔因連日大雨倒塌，造成全台大停電之事故，我想大家應該記憶猶新，發生當時因為一時找不到事故點，人民一時驚恐便四處遙傳中共已發動攻擊，轟炸台灣造成全台大停電，由此可見停電除了造成人們生活不便外，也很可能造成社會不安，人心惶惶，可見得線路事故後如何迅速地找到事故點，並儘速地修復送電乃當前重點。

如何保持輸電線路正常運轉，尤其是在遭受颱風、雷擊、鹽霧害，甚至民眾過失導致停電後，如何在最短的時間內找出事故點，然後儘速修復送電則是目前當務之急，依據國外電力公司事故分析之經驗，若能建立事故自動回傳之機制，也就是一旦輸電線路發生故障則相關偵測事故之設備(如；保護電驛或示波器)將自動回傳事故資料予當時之值班人員，值班人員即可依據事故資料迅速地判斷事故可能之位置並通知現場維護人員儘速至現場處理排除故障，此時值班人員無需再一一連線相關偵測事故之設備與下載事故資料，大幅縮短事故處理時間，這樣即可有效地減少復電時程及提升供電品質，這就是我這次出國實習最主要的任務及目的。

本次出國計劃主要目的為當電力系統輸電線路發生事故時，相關輸電線路保護電驛正確快速動作後，其事故資料能透過自動回傳系統傳至各指定地點(伺服器)，不需藉由人力一一連線下載，可有效縮短事故資料擷取時間並提升事故分析效率及加快運轉人員系統復電時程。

這次出國實習與參訪的對象為美國知名之電驛製造廠家 SEL 公司(位於華盛頓洲-普爾曼)及示波器廠家 E-MAX 公司(位於科羅拉多洲-丹佛市)，實習的內容為「數位式多功能輸電線路保護電驛及事故資料自動回傳系統應用技術」，希望能深入地了解目前最新型數位式輸電線路電驛保護之技術與應用外，亦能收集美國地區對事故資料自動回傳系統之應用情形，以作為規劃未來新技術運用及參考，俾以提升本公司電力系統保護效能、供電可靠度及事故後分析效率。

另外藉由 SEL 公司之協助參觀普爾曼(Pullman)當地電力公司 115kV 之變電站，以瞭解數位式多功能保護電驛設備規劃運用與標置設定技術，也藉此一交流機會了解美國當地電力公司電驛部門人力運作及事故後電驛資料之擷取方式等相關事宜，作為本公司電驛應用及設定業務之參考。

二、行程說明

本次出國實習計劃是依據行政院通過之「101 年度出國計劃第 12 號」執行，但因公司近年營運虧損嚴重，而且遇到今年調整電價引起社會之反彈，公司為節省人事費用之開銷，故今年本案出國計劃奉上級長官指示；原定兩人同行變更為一人，且出國天數一併由原來 14 天調整為 10 天，而本次出國實習的地點為美國科羅拉多州-丹佛之 E-MAX 公司及美國華盛頓州-普爾曼之 SEL 公司，相關出國行程之日期及地點如下圖附表所示；

日期	行程	紀要
101.8.18~19	台北-洛杉磯 -丹佛	往程
101.8.20~21	丹佛	E-MAX 公司實習
101.8.22	丹佛-西雅圖 -普爾曼	往程
101.8.23~25	普爾曼	SEL 公司實習
101.8.26~27	普爾曼-西雅 圖-台北	返程

三、數位式多功能輸電線保護電驛

近年來輸電線路不斷地擴展延伸，相對地輸電線路保護也日益重要，於是世界各大電驛製造廠商無不卯足全力開發新式技術及產品研發，公司有鑑於此，為能與世界潮流接軌，近年來不斷地派員出國參訪實習，並引進新式保護電驛之技術與應用，以目前 345kV 及 161kV 輸電線路為例，已由原機電(E/M)型保護電驛全數汰換成新式數位型保護電驛，因為數位電驛具有事故波形及事件記錄之功能，方便值班主任與電驛人員分析判斷事故原因，並能有效地縮短復電時間並提升供電品質。

本次實習對象為美國知名的電驛製造廠家 SEL 公司，其公司電驛產品聞名世界，目前台電電力系統使用 SEL 系列產品繁多且其保護效能深獲好評，可算保護電驛界之模範生，這也是為什麼上級長官會指派職等向其公司學習技術之原因。

此趟之行 SEL 極力推薦該公司兩款最新型式之輸電線路數位式保護電驛；SEL421 測距電驛與 SEL411L 差流電驛，上述電驛已在北美、墨西哥及中國大路地區使用，且其保護功能與速度比起上一代也就是台電電力系統目前使用之 SEL311C 測距電驛與 SEL311L 差流電驛提升不少效能，有關其改進功能介紹如下：

3.1 SEL-421 測距電驛

3.1.1 Single pole and three pole Trip & Reclose

3.1.2 增加 Phase Quadrilateral Element

3.1.3 電驛偵測故障動作時間更快

3.1.4 此型電驛傳統 CT 可改為光電式電流轉換(MOCT)輸入

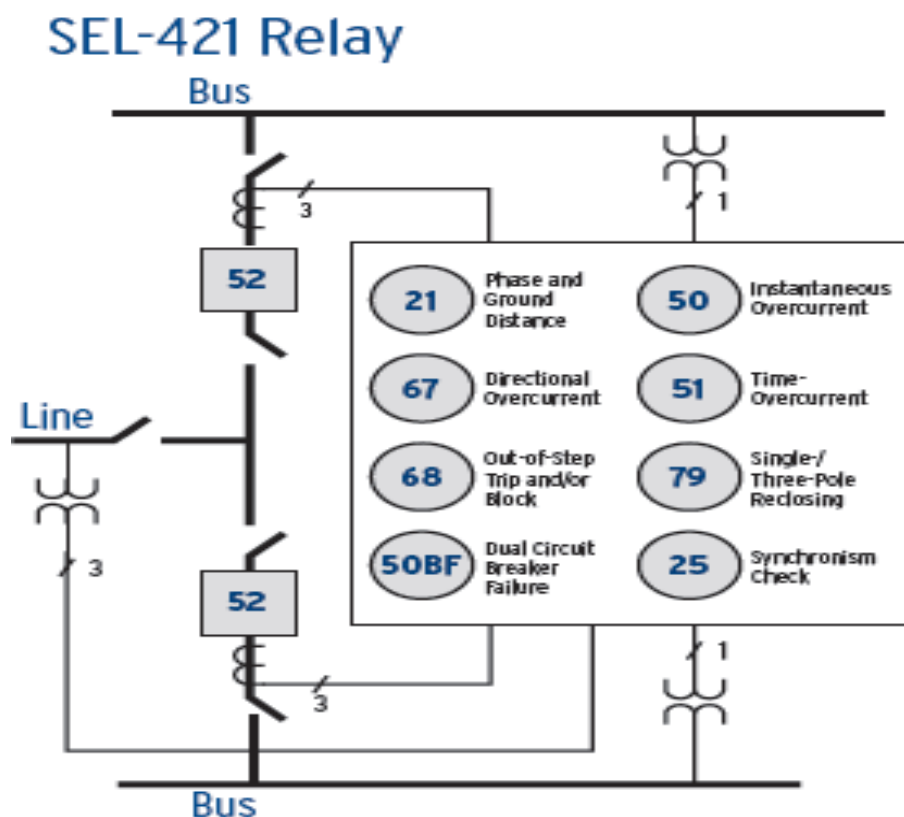
3.1.5 同步比較器

3.1.6 圖表式 Logic Editor

3.1.1 Single pole and three pole Trip & Reclose

因上一代數位式測距電驛 SEL311C 之設計，只考慮大多數 three pole Trip & Reclose 之使用者，未把實際電力系統需要 single pole trip and reclose 應用才可維持電力系統穩定之特殊地區一併設計進去，故 SEL 公司從善如流重新設計 SEL421 去改善此一不足之處。

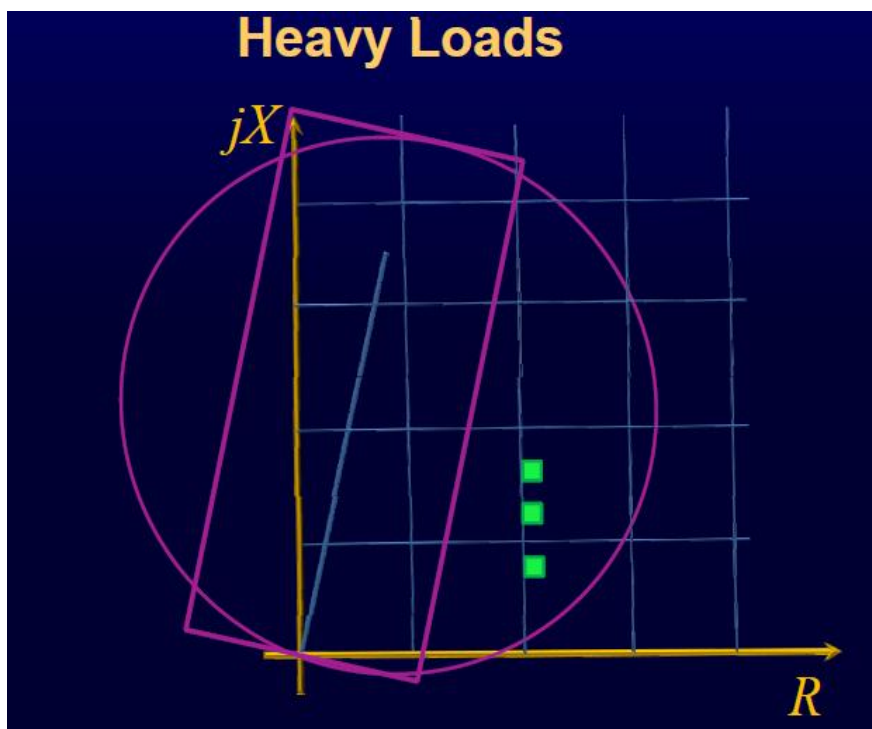
不只如此，SEL421 測距電驛在其電流及電壓之輸入埠也一併新增，原只有一組電流輸入埠今改為兩組電流輸入埠，這可適用於單或雙斷路器架構，另電壓輸入亦多兩組，可分別提供 BUS SIDE 或 CENTRAL SIDE 斷路器同步電壓判斷，並可視電力系統之需求可分別執行單一斷路器或雙斷路器復閉功能之使用，至於其它保護功能元件如 21,21N,50BF,68...等與 SEL311C 功能元件雷同，相關保護元件如附圖一所示；



附圖一

3.1.2 增加 Phase Quadrilateral Element

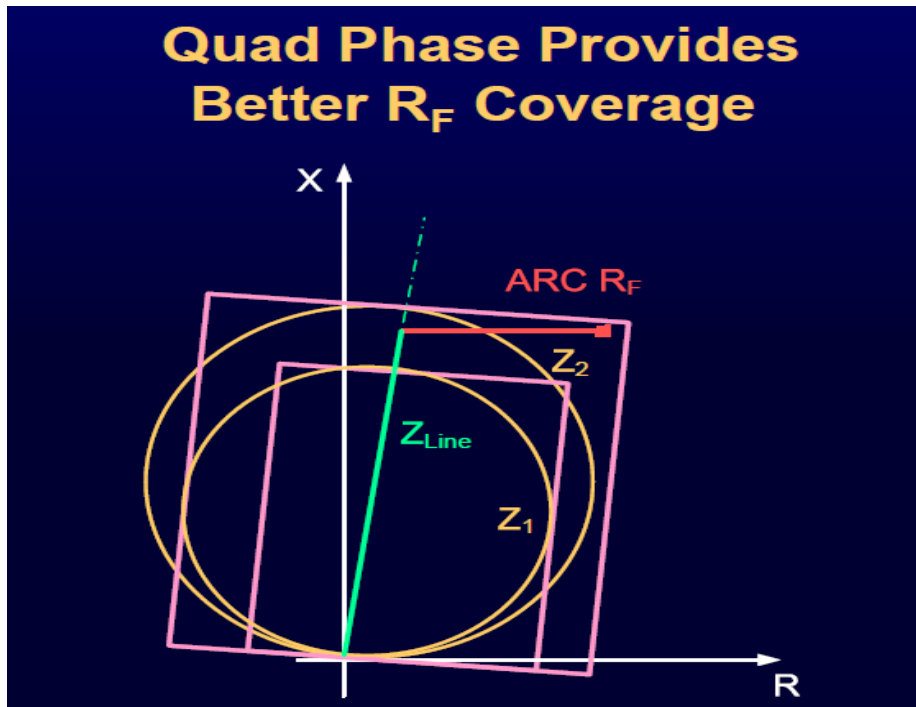
SEL 上一代測距電驛 SEL311C 設計接地元件為 MHO(姆歐圓)與 Quadrilateral 並行，而相間元件只採用 MHO(姆歐圓)，但在多次模擬試驗及實際事故證明，相間元件只採用 MHO(姆歐圓)並不足以涵蓋所有故障形式及負載情況，唯比照接地元件將 MHO 與 Quadrilateral 特性同時採用，方可提升保護功能，舉例說明；當輸電線路很長(超過 200 公里)而且又載送很大的負載時，其負載值很可能進入測距電驛 Z3 之保護區域內，而造成電驛誤判啟斷負載造成停電，這是不願意發生之情況，可由下附圖二清楚看出綠色點為負載值而它已經進入保護區域內。



附圖二

另一項 MHO 元件於短線路之保護區域所涵蓋的範圍並不如 Quadrilateral 元件來的好，這可由歷年來實際事故之經驗得到，我們可由附圖三清楚地看出 Quadrilateral 元件為四方形，而相間 ARC 故障其 R 值偏大，所以故障之阻抗值往往發生在邊邊角角的區域，而此故障點偏偏是 MHO 元件無法偵測到，而唯有靠 Quadrilateral 元件才可完全偵測到，由此可知，在短距離之輸

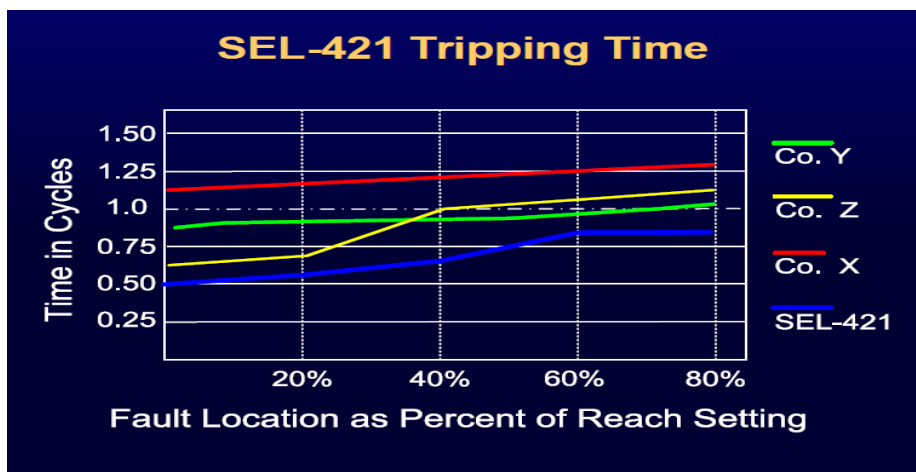
電線路 Quadrilateral 元件之特性是比 MHO 元件更能應付各種不同的事故形式。



附圖三

3.1.3 電驛偵測故障動作時間更快

SEL421 測距電驛在硬體與軟體設計加強不少，比起上一代測距電驛動作時間更準確、更快速，我們可由下附圖四可以看出，其它 CO.X CO.Y CO.Z 為它牌保護電驛。

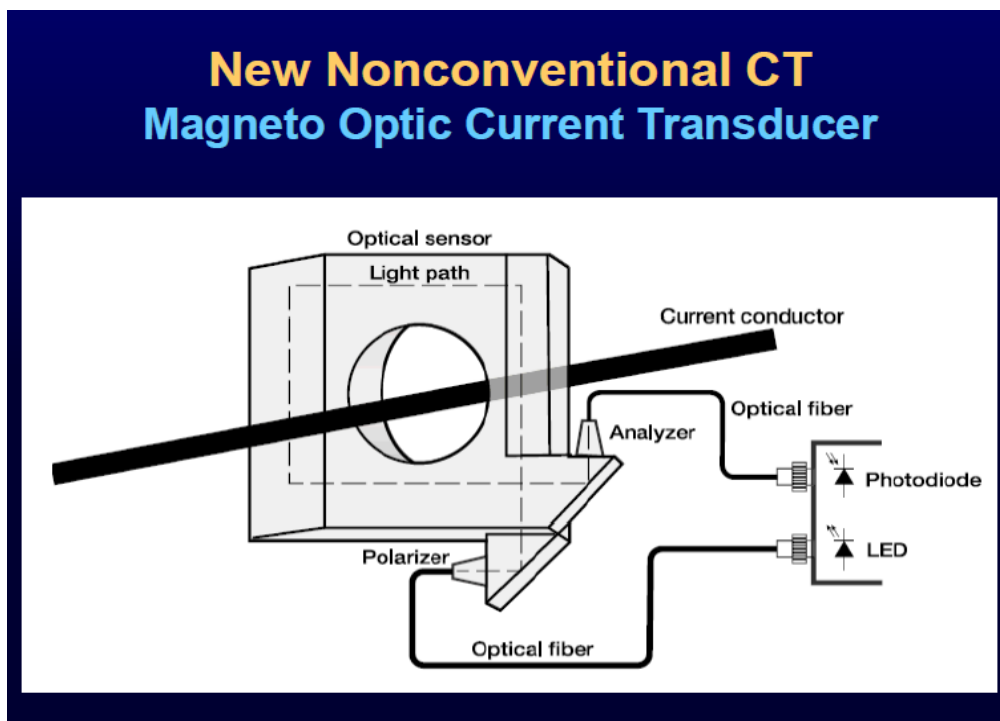


附圖四

3.1.4 此型電驛傳統 CT 可改光電式電流轉換(MOCT)輸入

目前台電系統保護電驛電流輸入皆採用傳統 CT 為輸入源，但是傳統 CT 為鐵磁結構，感應方式皆受限於磁滯曲線，簡言之傳統 CT 有一致命的缺點那就是磁飽合，一旦磁飽合，將造成保護電驛電流輸入信號不正確，這會導致保護電驛誤動作，於是光電式電流轉換(MOCT)輸入技術因而產生。

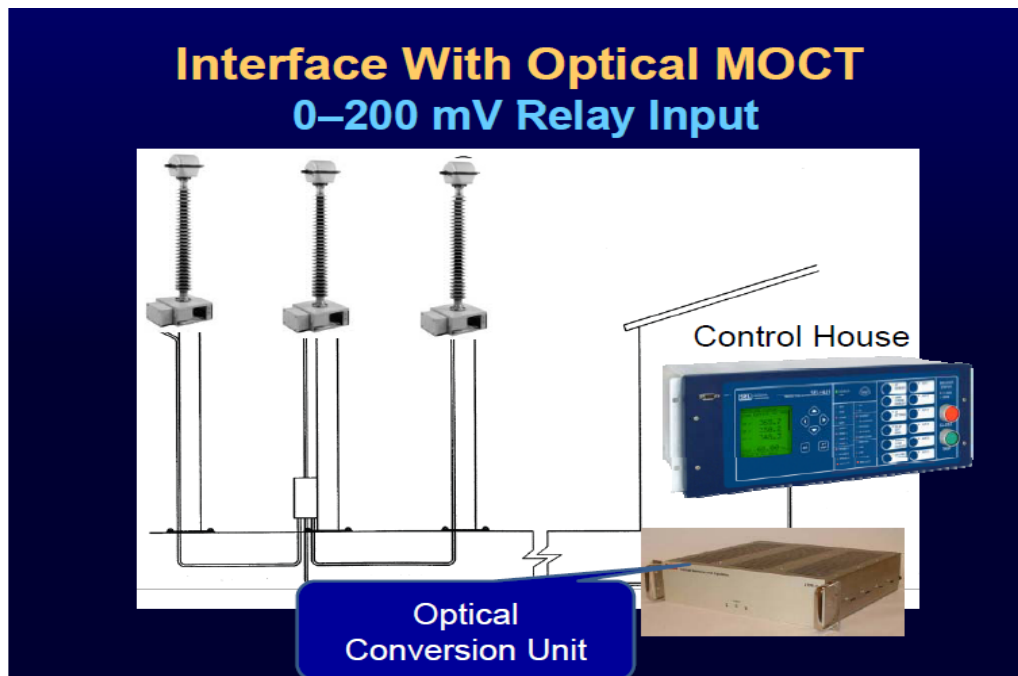
光電式電流轉換(MOCT)是藉由磁光轉換原理，將電流基波信號轉換成光的信號，此時不再有 CT 飽合之問題，而且磁光為線性關係再也不受限於磁滯曲線之影響，我想此一技術與應用將是未來保護系統之趨勢與潮流。如圖五所示，現場 CT 信號藉由 MOCT 將光的信號傳到一光電轉換器，然後再透過此一光電轉換器轉成一小的 AC 電壓信號予 SEL421 電驛使用，該款電驛為目前 SEL 公司研發出最新型輸電線保護電驛且可與光電式電流轉換(MOCT)作互相結合使用。



附圖五

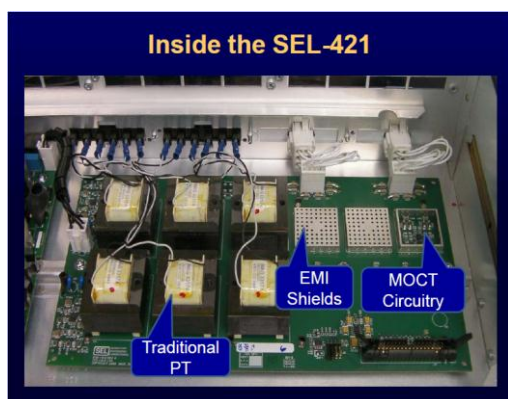
以下附圖六為現場光電式電流轉換器(MOCT)與電驛 SEL421

實際連接方式，我們可由圖面得知；需藉由光電式電流轉換器 (MOCT) 轉換現場傳統電流信號為光信號，再經由光電轉換器把光的信號轉成 200mV 電壓信號進入電驛，此時電驛 SEL421 不再使用傳統 CT Analog 信號。

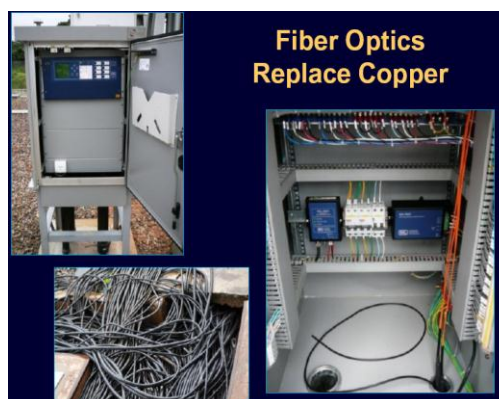


附圖六

由附圖七可看出電驛內部配線減少很多，不僅如此，電驛背後也無須 CT 電流信號引入，所以電驛接線大幅減少，此外現場 CT 信號由 MOCT 轉成光的信號進電驛盤，可省去大批電纜線引入控制室(如附圖八所示)，控制室之電驛盤面僅看到光纖信號，盤面乾淨簡明，所以此應用方式必為未來電驛現場配線之趨勢。

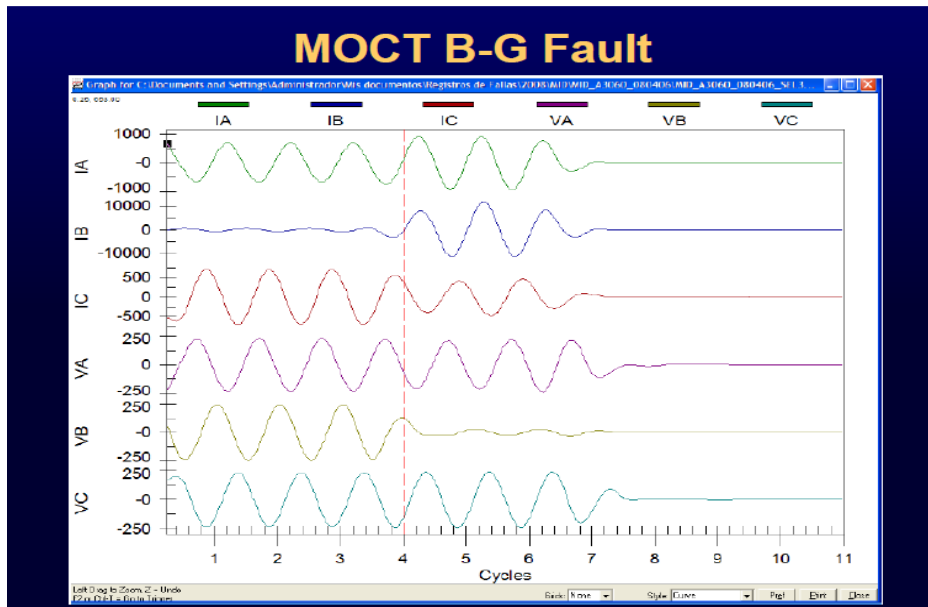


附圖七



附圖八

另外我們可能擔心一旦改為 MOCT 光電式電流轉換器後，其事故波形是否無法與傳統波形一樣，這方面我想是我們多慮了，我們可由附圖九看出 B-G 單相接地故障波形與原傳統 CT 所紀錄之波形並無差異之處。



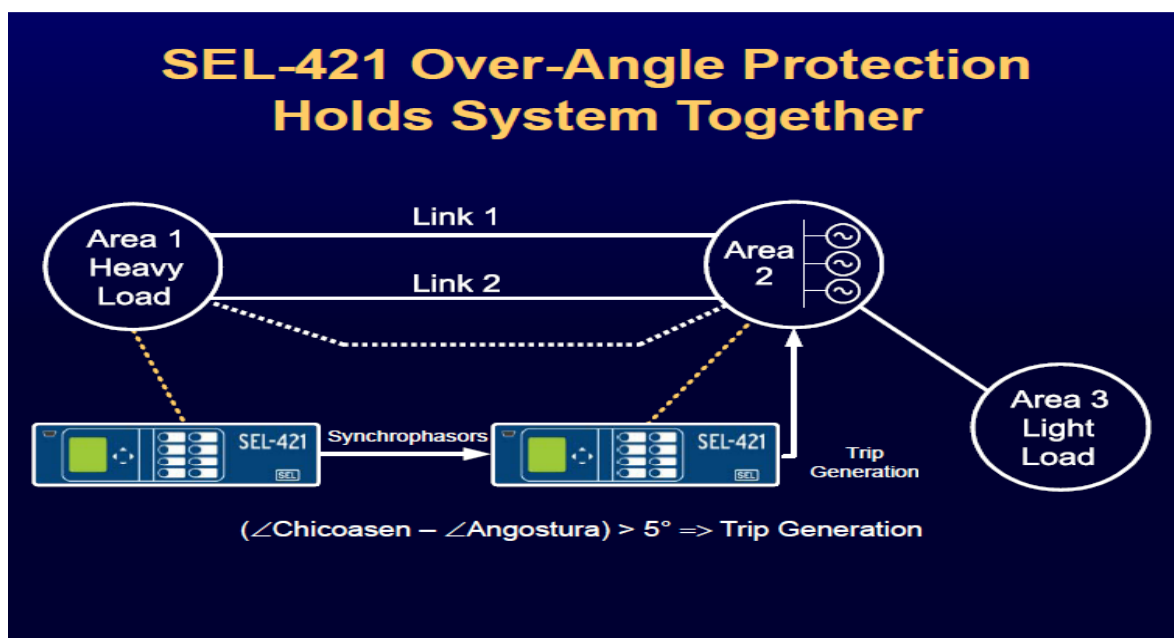
附圖九

3.1.5 同步比較器

SEL421 電驛提供一特殊保護應用，稱為同步比較器，其功能不同於一般同步併聯檢定或是復閉功能之同步信號用，如附圖十所示，A 站為重負載之變電站，B 站為一群發電機群，A,B 兩站藉由兩回線相連，當 A 端負載電壓角度因其負載過重導致與 B 端之發電機側 BUS 電壓角度相差 5 度以上，此時 A 端之 SEL421 電驛會發射一跳脫信號予 B 端之 SEL421 電驛，此時 B 端之 SEL421 電驛將依據發電量大之機組跳機解聯，此時即可將 A,B 兩端電壓夾角縮小，電力系統運轉將更加穩定可靠。

此運用類似目前使用在電力系統之 50+2 之功能，50+2 是以實際過載之電流量作判斷再加延時功能，一旦達到電流啟動值與延時設定時將作卸載動作，以使過載之情形不再加重，架空導

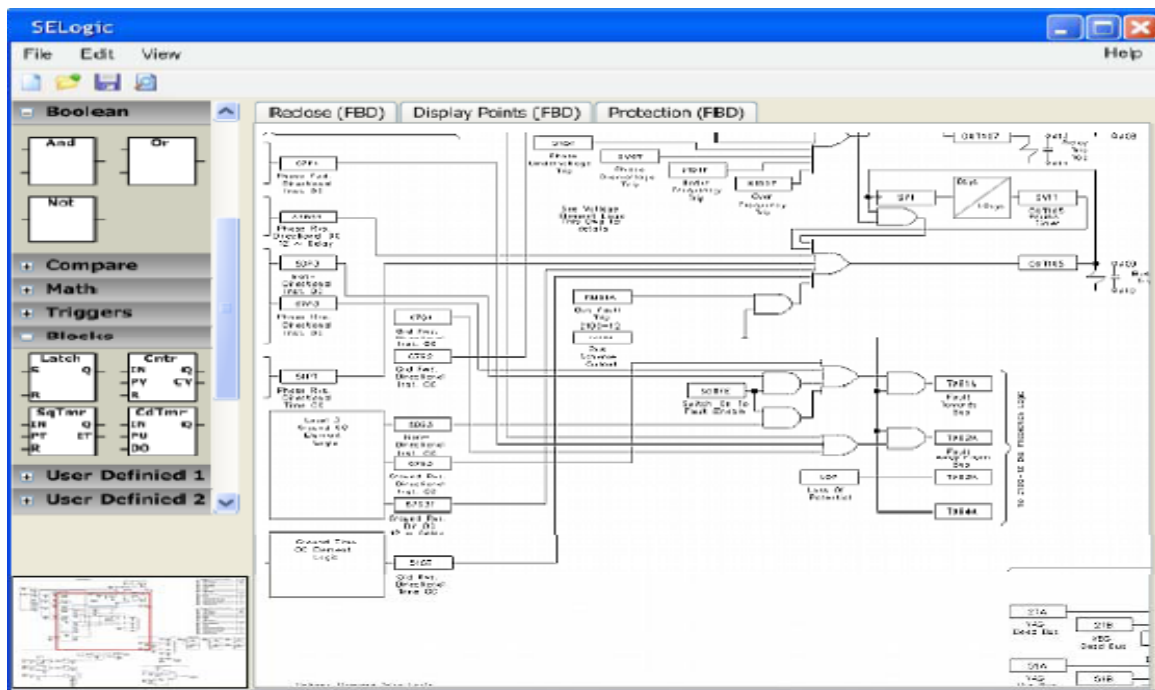
體不再因過載過熱而持續下降而危害人民性命之安全。而此可知 SEL421 之同步比較器與 50+2 則有異曲同工之妙，不同的是其運用的是角度差，而非實際的電流值，是否能適用？我想若能透過公司研究部門證實，則電驛保護之應用將更加靈活使用。



附圖十

3.1.6 圖表式 Logic Editor

SEL421 測距電驛在邏輯(Logic editor)設計上與上一代保護電驛 SEL311C 使用迥然不同之方式，以附圖十一來說明，圖右下角圖面為目前 SEL311C 測距電驛使用之邏輯規劃方式，其皆使用布林代數之組合以完成邏輯設計，而 SEL421 測距電驛則應用圖表式 Logic Editor 去規劃設計所需之保護運用，可說是相當方便與實用，Logic Editor 之左邊圖示為所有邏輯項目之總和；例如 AND, OR, NOT, F/F, ……等，可依照設計者之需求，自由地引用圖資內各項邏輯項目，並隨意組合所需之功能，而且簡易方便不易出錯，讓使用者不再為了較為複雜的邏輯規劃而傷腦筋，這是新型數位式測距電驛 SEL421 所提另一項很實用的設計。



SEL421 提供之 Logic Editor

SV3 SELLogic Control Equation Variable 3	Valid range = Boolean equation using word bit elements and the legal operators: !/\() * +	$(IN105 * !IN106 + !IN105 * IN106) * !Z3RB * !EKEY * !SV4T * ISV5T$
SV4 SELLogic Control Equation Variable 4	Valid range = Boolean equation using word bit elements and the legal operators: !/\() * +	SV3T
SV5 SELLogic Control Equation Variable 5	Valid range = Boolean equation using word bit elements and the legal operators: !/\() * +	$(IN105 + IN106) * (SV3T + SV5T)$
OUT101 Output Contact 101	Valid range = Boolean equation using word bit elements and the legal operators: !/\() * +	$KEY + SV1T + (SV4T * I52A)$
OUT102 Output Contact 102	Valid range = Boolean equation using word bit elements and the legal operators: !/\() * +	$KEY + SV1T + (SV4T * I52A)$

SEL311C 提供布林代數之邏輯規劃

圖十一

此趟美國實習之行 SEL 推薦該公司另一款最新型之輸電線路數位式保護電驛 SEL411L 差流電驛，以下之介紹會針對它與目前台電電力系統廣泛使用之 SEL311L 差流電驛作一下比較，同時並列出其差異性與優點，有關 SEL-411L 差流電驛改進之功能介紹如下：

3.2 SEL-411L 差流電驛

3.2.1 Dual breaker terminals (2 CT Input)

3.2.2 External Fault Detection

3.2.3 In line transformer

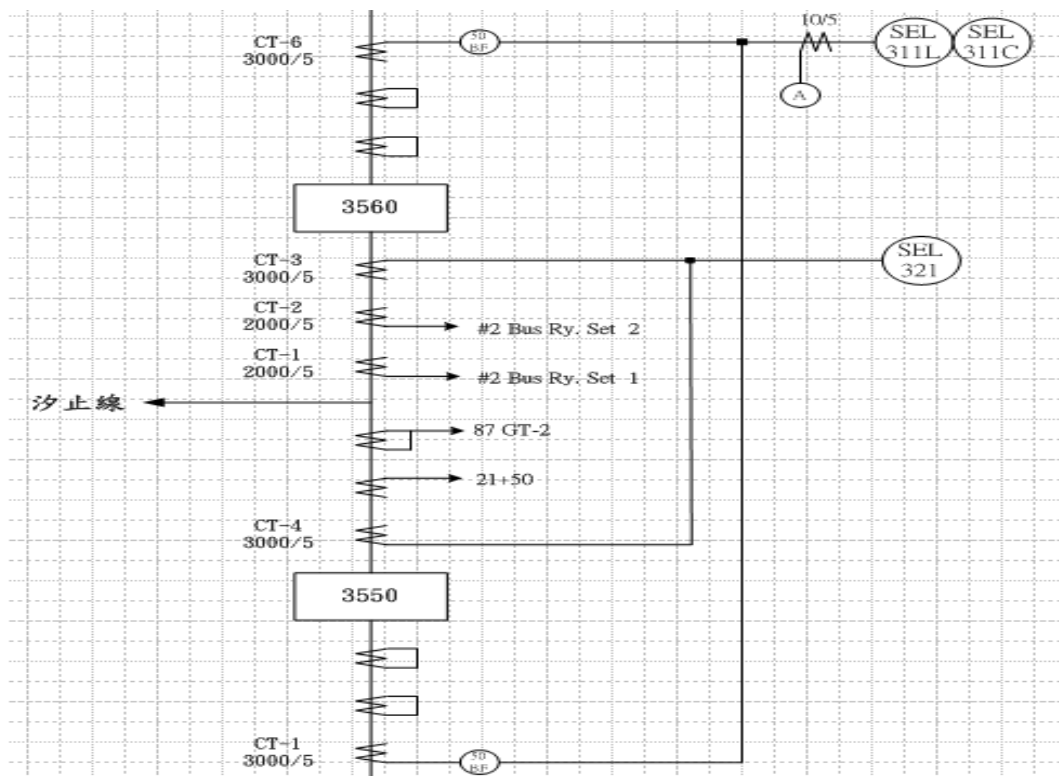
3.2.4 SEL421 Backup feature

3.2.1 Dual breaker terminals (2 CT Input)

首先要說明 SEL411L 差流電驛與目前台電電力系統使用之 SEL311L 最大的差異點為新增一組三相 CT 輸入，SEL311L 差流電驛僅有一組 CT 輸入埠，但是若使用於 1 ½ CB 保護架構時，因為保護電驛 CT 輸入埠只有一組，而現場 CB 架構 CT 有兩組，故只能以外部 CT 接線併接方式輸入，這樣才可以滿足 SEL311L 之應用。

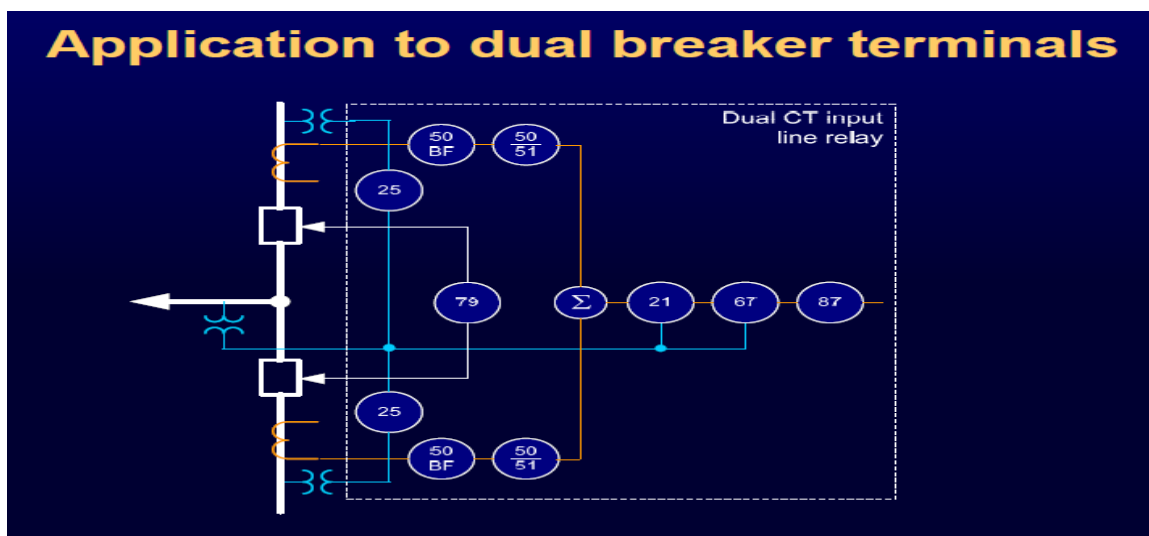
但是問題來了，我們可由附圖十二核一 G/S 345kV 保護電驛 CT 配置圖說明，當汐止線因#3550 CB 點檢 CB 開啟，此時值班主任會將#3550 CB PK-II 抽出，以避免現場 CT 絕緣試驗測試時倒貫電流而使差流電驛誤動作，而當時是以#3560 單 CB 送電之模式供電，當一旦#3550 CB 點檢完成後，值班主任復電前會先將#3550 CB PK-II 插入，當 PK-II 插入瞬間會導致#3560 CT 短路(因#3550 與#3560 兩組 CT 是採併接方式)致使 SEL311L 差流電驛動作，造成汐止線#3560 CB 跳脫停電。

由上述說明可知，SEL311L 差流電驛運用於 1 ½ CB 保護架構時，會有人為不慎造成電驛誤動作之危險，於是我們在現場 SEL311L 電驛盤上加註明顯之警語，以提醒現場值班人員操作差流電驛相關之 PK-II 時要特別小心，以避免類似之情形發生。



附圖十二 核一 G/S 345kV 保護電驛 CT 配置圖

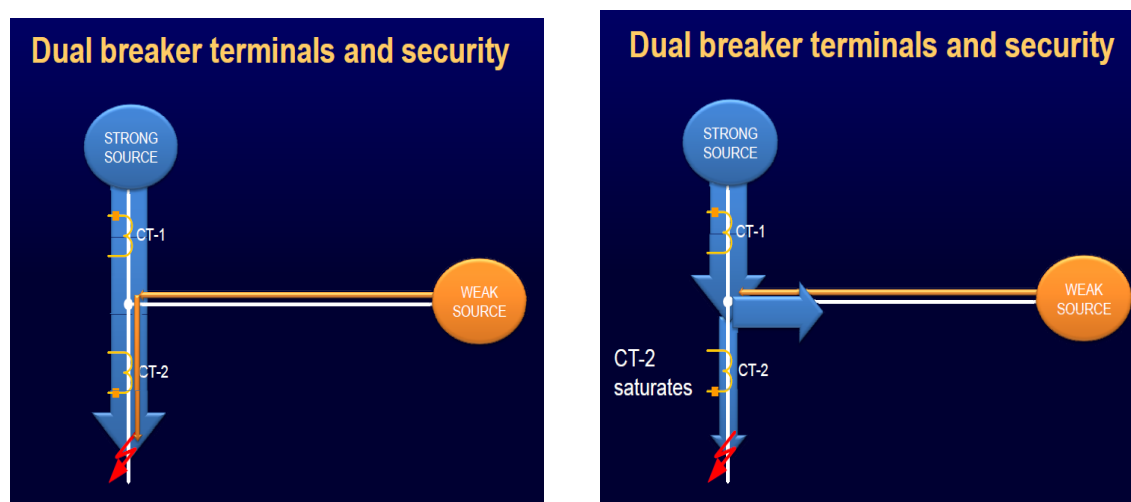
為避免 SEL311L 單組 CT 輸入造成可能電驛誤之問題，SEL411L 則新增一 CT 輸入埠，這樣一來值班人員操作外部 CT PK-II 如何插入及抽出，則不會造成另一組 CT 短路，差流電驛也不會誤動作，不僅如此 SEL411L 電驛可同時紀錄事故發生時兩組 CT 電流信號，若是發生 CT 飽合現象而造成電驛誤動作也可以一目瞭然，下圖附圖十三則為 SEL411L 差流電驛之動作元件圖。



附圖十三為 SEL411L 差流電驛之動作元件圖

3.2.2 External Fault Detection

差流電驛動作原理是依據線路兩端電流差值超過電驛設定值而動作，所以外部事故則需抑制差流電驛不可動作，但是遇到運用於 1 1/2 CB 架構保護又正巧遇到其中一組 CT 飽合，而當時線路兩端一端為強電源端，另一端為弱電源端時，若無特殊邏輯設計抑制，則差流電驛將無法判斷是內部事故或外部事故而動作，正如下圖十四說明；

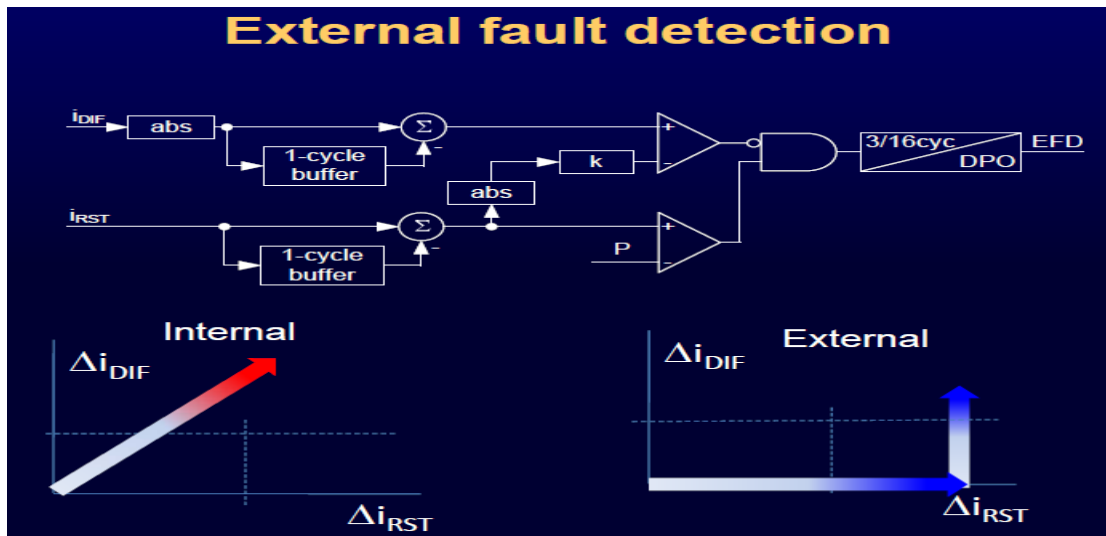


附圖十四

上左圖顯示是一外部事故，而藍色表示強電端，橙色代表為弱電端，發生外部事故時正巧遇到 CT-2 飽合，此時強電端與弱電端即有差電流產生，這種情形與發生內部事故狀態是一樣的，差流電驛無法分辨，有鑑於此，SEL 公司設計 SEL411L 差流電驛時特別設計 External Fault Detection Logic 以防範此一上述情況發生。

External Fault Detection Logic 設計如下圖附圖十五所示，經實驗證實，該邏輯確實可把所有電力系統發生之外部事故排除抑制，像上述 CT 飽合造成差流產生之情形也可安全穩靠地抑制住，而且正常內部事故發生時又不影響其差動特性之準確與靈敏性，與目前台電電力系統廣泛使用之差流電驛 SEL311L 比較，SEL 公司輸電線路差流電驛 SEL411L 其特性與技術上更上一層樓，產品更加優異與可靠，另外，該公司的另一項自豪的是該公司出廠之產品一律提供十年保固，不論是什麼不明原

因故障，皆可立即得到備品更換，在顧客滿意度得到相當高之評價。

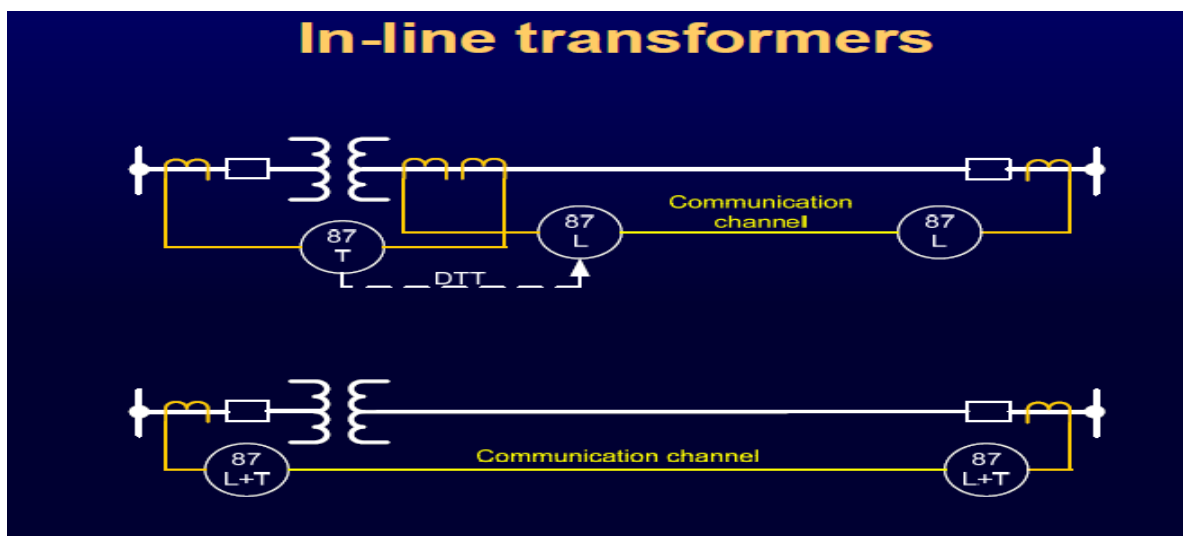


附圖十五

3.2.3 In line transformer

以往輸電線路上若串接一變壓器，在其保護電驛規劃設計上會以輸電線路保護與變壓器保護各自獨立分開，唯變壓器發生內部事故時，其保護電驛會發射一遙跳信號觸發輸電線路之差動電驛動作，啟斷 CB 以隔離事故，其保護方式如下附圖十六(上圖)所示。

而今 SEL411L 因內部電驛標置已含有變壓器之設定，故可將變壓器視為輸電線路保護之一環，並同時納入保護區域內，這可讓保護規劃更加靈活應用，保護方式如下附圖十六(下圖)所示。



附圖十六

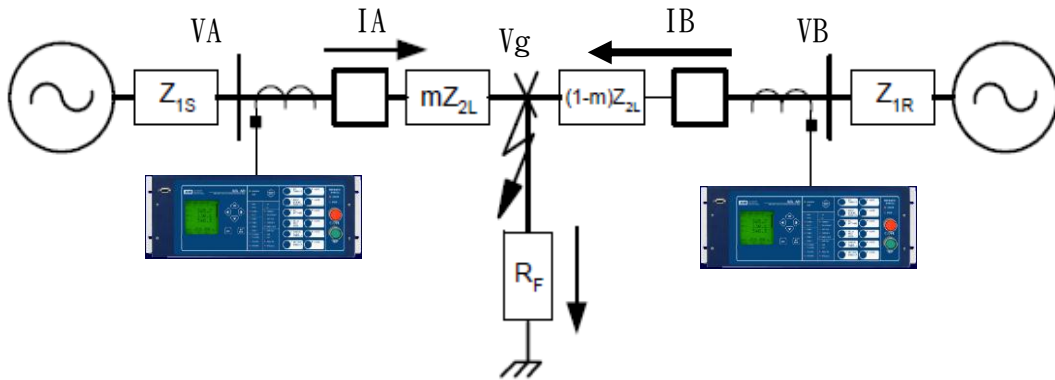
3.2.4 SEL421 Backup feature

SEL 公司在設計輸電線路保護電驛時了解若是能把差流電驛與測距電驛結合，主、後衛保護電驛皆為差流電驛，然後差流電驛用通信設為主通信通道(Primary Channel)與輔通信通道(Secondary Channel)給兩套差流電驛通信頻道使用，一旦任何差流電驛故障仍還有另一套差流電驛作快速差流保護，輸電線路差流保護功能並不受到另一套故障而影響，因為以往之輸電線路保護設計為一套主保護差流電驛，另一套為測距電驛，當主保護差流電驛故障或通信不良時，此時即喪失主保護差流功能之快速保護，而只能靠測距電驛作保護，若是發生在線路中間位置，輸電線路測距電驛之 Z1 仍可保持快速跳脫功能，但若發生在靠近變電所一端者，則必有一端保護電驛為 Z2 動作，屆時清除事故時間便不如差流電驛來的如此快速。

以保護性能及速度而言，差流電驛保護功能優於測距電驛，我們都不希望喪失主保護差流電驛，但是測距電驛也有其 Z1,Z2,Z3 區間之協調之優點，這是差流功能無法達到的功能，故也唯有兩套保護電驛內皆含有差流與測距特性才是明智之舉，所以 SEL 公司從善如流將差流特性與測距特性一起設計入 SEL411L 差流電驛內，讓該電驛同時擁有差流與測距特性，這是與目前台電使用之 SEL311L 差流電驛另一項不同之處。

3.3 Traveling Wave 事故測距技術

不論差流或測距電驛內部都有一項事故測距功能，也就是當輸電線路事故發生時，只要開啟此功能即能顯示當時事故之距離，然後線路維護人員就可以依據此一訊息儘速地找到事故點修護與復電，其測距之演算如下圖附圖十七所示；



附圖十七

測距電驛 $Z_A = (V_A - V_g) / I_A = (V_A - (I_A + I_B)R_F) / I_A$ **I_B, R_F 未知**

差流電驛 $Z_A = (V_A - V_g) / I_A = (V_A - (I_A + I_B)R_F) / I_A$ **R_F 未知**

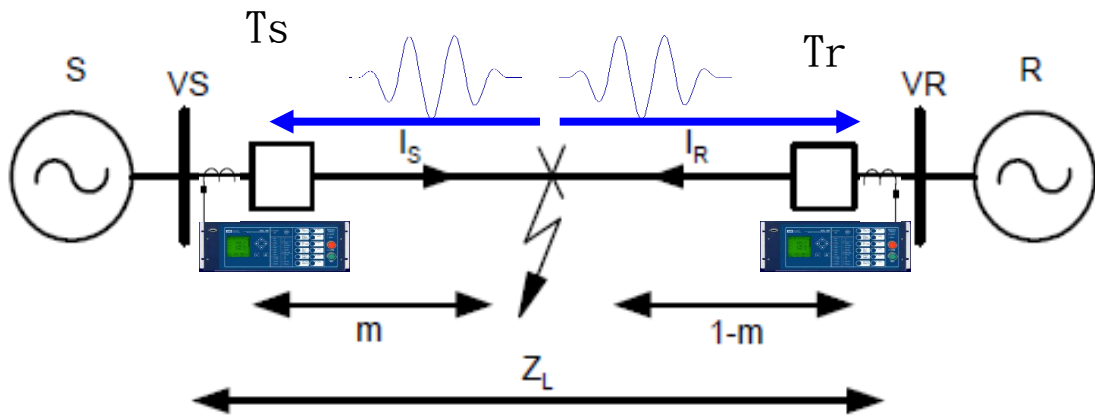
差流電驛故障距離算法 $Z_A / (Z_A + Z_B)$

由上述電驛事故距離計算公式得知，因為事故接地情形不一，若事故接地情況良好 $R_F \approx 0$ ，則故障距離顯示將非常準確，反之，若事故接地情況不良，屬於高阻抗接地，此時因為 R_F 值頗大，相對之下，電驛計算出來的阻抗當然變大，這是無法避免的事。

國外電力系統事故分析專家發現每次事故發生時，故障波皆會伴隨一高週波(約 10KHZ~0.6MHZ)，他們稱之為行波(Traveling Wave)，它的特行會像水波紋一樣，一經擾動便向四方傳遞波行前進，正因有如此特性故稱之為行波(Traveling Wave)。

經過 SEL 電驛專家反覆試驗證明，事故發生時所產生之行波(Traveling Wave)會向線路兩端傳送，是以近似光速的速度傳送，而且如果發生在輸電線路正中間之事故，其兩端電驛收到行波的時間

是一樣的，誠如下圖附圖十八所示之說明。



附圖十八

既然得知行波(Traveling Wave)於事故發生時會產生，且以光速速度往兩端傳遞，倘若能精準地紀錄行波抵達兩端之時間(兩端電驛需搭配相當準確且誤差值最好小於小數點五位數字之 GPS)，那事故距離即可由下列之計算公式得到。

$$m = Z_L \times (T_s / T_s + T_r)$$

m 代表為事故故障之距離， Z_L 代表為輸電線路總長度， T_s 為事故發生行波傳遞至 V_S 端之時間， T_r 為事故發生行波傳遞至 V_R 端之時間，我們可由上述之計算公式可得到實際之故障距離，經 SEL 公司實際運用於電力系統證實，事故誤差在 300 公尺內，也就是實際誤差僅僅兩座輸電鐵塔之距離而已，對於事故距離之誤差率可說是相當的準確，不僅如此，輸電線路串聯補償電容器、快速清除事故設備與不正確之線路常數，以上三項為造成傳統測距計算錯誤之原因，但是這三項對它不會有任何影響，主要之原因在於測量事故距離是以行波(Traveling Wave)經過實際線路測得之時間反推距離之長短，而不在使用 $Z=V/I$ 去計算，此行波測距之原理實在是測距理論之一大突破，公司可審慎考慮引進。

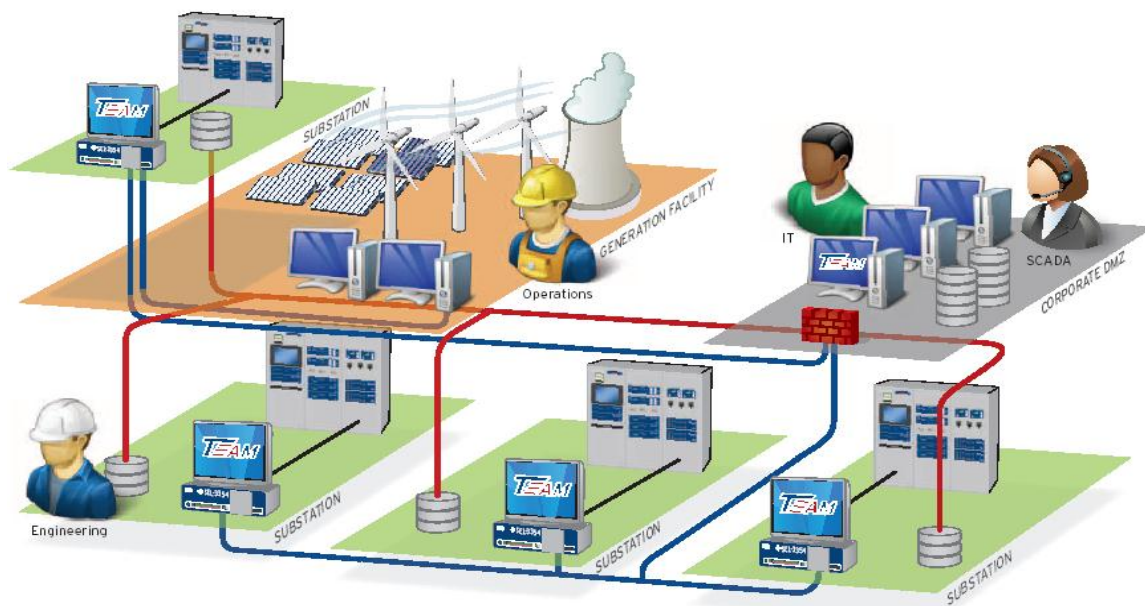
四、事故資料自動回傳系統應用技術

本次出國另一項重要之任務為學習與了解國外事故資料自動回傳系統應用之技術，其應用方式共有兩種，一種為藉由保護電驛觸發事故資料自動回傳技術，另一項為則由故障紀錄示波器(DFR)觸發事故資料自動回傳技術，本人將分別介紹該兩款不同架構之事故自動回傳之技術。

4.1 SEL 5040 TEAM SOFTWARE

SEL 公司設計事故資料自動回傳之技術，完全由 SEL5040 電驛軟體作規劃管理，在此說明，SEL5010 與 SEL5030 軟體為電驛連線軟體，負責掌控變電所內保護電驛之通信連結，SEL5060 軟體為事故分析軟體，負責執行保護電驛事故計紀錄與分析，而 SEL5040 軟體則是綜合上述軟體管理及規劃運用，故 SEL 公司簡稱其為 Team 軟體。

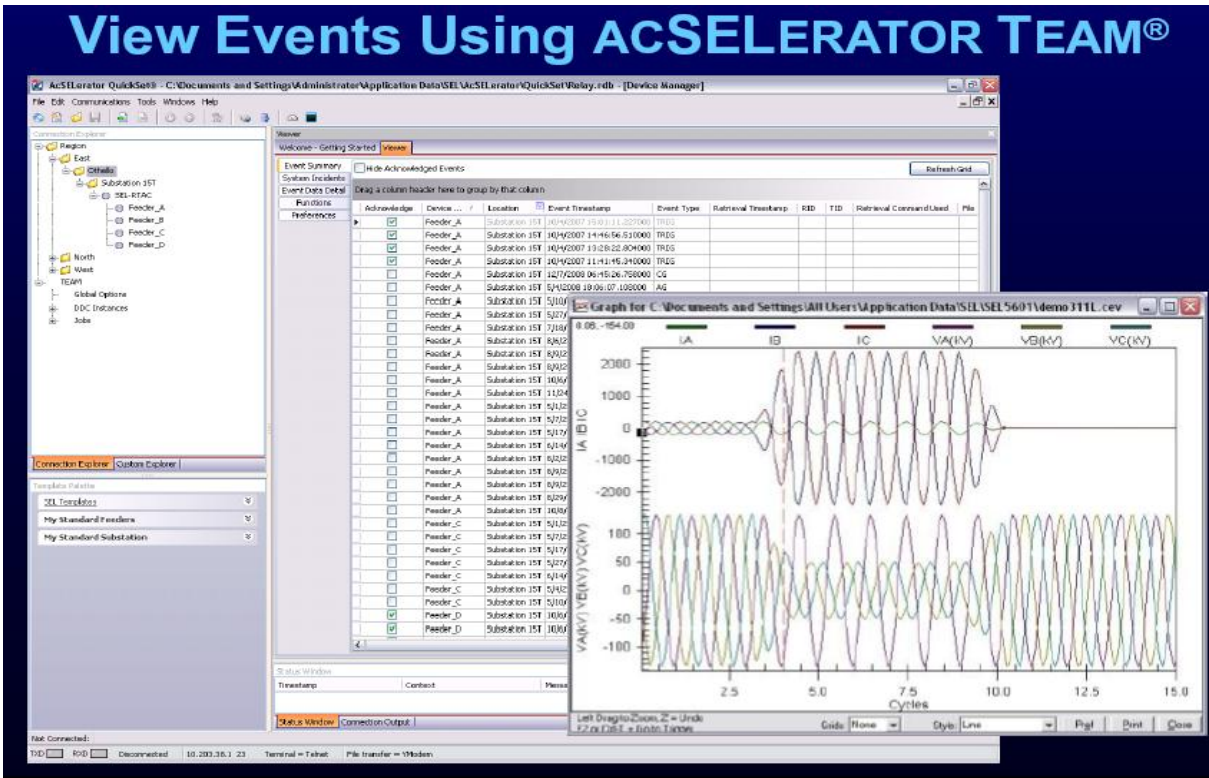
在設計保護電驛自動回傳技術之前要先規劃自動回傳網路架構之模式，是要走封閉 Intranet 網路或是走開放 Internet 網路，若走封閉網路則自動回傳訊息僅供公司內部人員於公司特定系統及辦公室操控使用，若要走開放 Internet 網路，則可方便操作人員在任何地方、任何地點去接收自動回傳之訊息，雖然方便但是安全性不如封閉系統，容易遭受外界不明駭客入侵破壞系統，唯有依靠安全可靠之防火牆隔離，才可兼顧網路之安全與方便性。諸如下附圖十九所示，此一電力系統之網路架構為 OT(Operation Technology)層與 IT(Information Technology)層併行使用，共通連結之處以設計防火牆阻隔，讓使用 OT 層之專門技術人員可以享用 Internet 無遠弗界之方便性，而且運用於 IT 層之 SCADA 與資訊人員也可充份分享一些自動回傳信息或是保護電驛實際之運用狀況，可以說是魚與熊掌兼得之設計，建議公司可採納此一網路架構，以方便公司各部門有關人員使用。



附圖十九

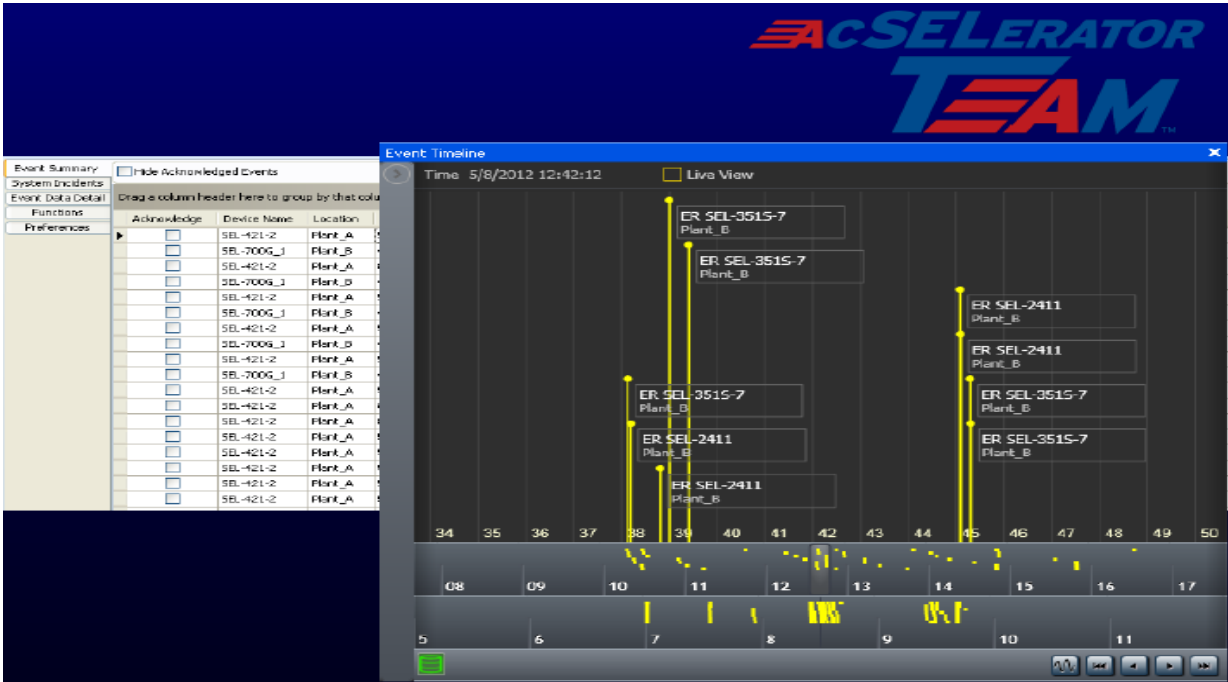
SEL 電驛自動回傳機制可藉由 SEL5040 軟體規劃管理，將變電所內所有 SEL 電驛與 SEL5040 軟體之網路設定連結，也就是網路 ADDRESS 定址，並設定何種信號觸發回傳，例如；Event Trigger、Trip Trigger 或其它自設方式，等所有自動回傳設定完成後，只要現場任何與 Server SEL5040 連線的保護電驛有任何動作訊息出現，則 SEL5040 軟體將自動搜尋並紀錄此觸發訊息於資料庫，電驛專業人員即可從資料庫尋找所需故障資料，無須像目前事故發生後皆要依靠電驛專業人員或現場值班人員一一連線下載電驛事故資料，可省去不少操作時間，並加速電力系統排除故障之復電時間，可大幅提升供電品質，實在是個值得推展試辦之技術，但在此建議；自動回傳電驛觸發條件應儘量嚴格，否則資料庫內將被不重要資料佔滿或者增加監控者無謂多增之工作與困擾。

下附圖二十為 SEL5040 軟體資料庫排列之情形，可清楚地看出每一筆資料皆載明變電所名稱、線路名稱、電驛型式、時間、日期與何種故障，相當清楚及易懂，讓現場值班人員可快速找到所需之故障資料，而且直接點擊就可與 SEL5060 分析軟體連線同時打開事故波形內容，如附圖二十右邊顯示之事故波形，就是經由資料庫所挑選並經點擊打開後之事故波形圖面。



附圖二十

此外，SEL5040 軟體為能更接近人性化的操作方式，它提供一 Live Event view 隨時可監看任一所保護電驛之狀態，一旦電驛觸發自動回傳則可由畫面看出並直接點選即可，如下圖附圖二十一所示。



附圖二十一

SEL 公司在設計自動回傳系統時，考慮相當多元及廣泛，其另一種回傳方式是將保護電驛回傳之信息與 E-Mail 信箱結合，這時便可設定多人接收信息，走的路徑不再是封閉網路，不再局限在特定地點與特定辦公室去接收電驛自動回傳之訊息，可說是相當方便，唯需另設伺服器系統專負責發信，此外同時必須設定嚴密的防火牆系統，最好是規劃硬體單方向(One Way)方式，代表該伺服器只接受保護電驛自動回傳之指令傳送信息，而外面系統無法入侵操控該伺服器，即使被駭客入侵，因防火牆只設計單方向(One Way)連線，故外面人員無法進入 OT(保護電驛操作)層，因為硬體設計已被限定單方向傳送，所以外面駭客軟體無法操控。

以下附圖二十二及附圖二十三顯示的資料為本人實際要求 SEL 技術人員利用 SEL5040 軟體傳送保護電驛自動回傳之信息到我個人 G-Mail 信箱之情況(如紅線框線所示)，在 G-Mail 信箱紅線框線內顯示的為代號 MARK 變電所內的 SEL-734 電驛於 8/25 時間觸發一筆保護電驛自動回傳之訊息。

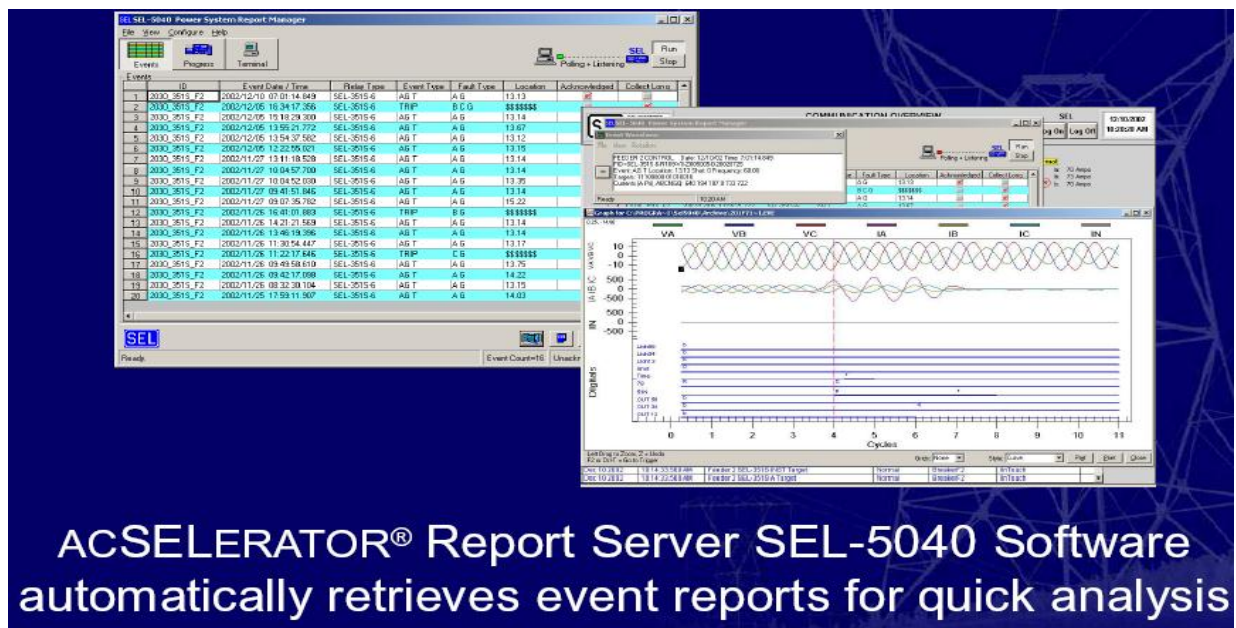


附圖二十二

另外我們由附圖二十二點開該夾帶之信息，就如同下圖附圖二十三所示，為一筆 SEL-734 保護電驛之 Event Report 信息，只要將檔案點擊就可看到事故當時之電壓、電流及保護電驛動作元件之直流信號，如附圖二十四所示之圖面。



附圖二十三



ACSELERATOR® Report Server SEL-5040 Software automatically retrieves event reports for quick analysis

附圖二十四

4.2 E-MAX DFR 示波器簡介及自動回傳技術應用

先前已介紹過運用保護電驛用軟體 SEL5040 去完成保護電驛偵測事故後，事故資料自動回傳技術之運用，現在要介紹另一種事故資料自動回傳之技術，它需要依靠事故記錄器(DFR)簡稱示波器去完成，在此簡介之示波器為 E-MAX Director Type，本公司是於 2000 年引進 E-MAX 生產之示波器，至今已陸續改款及升級數次，而現今該公司最新型 E-MAX Director 示波器除了增強功能與設備外，還率先引進事故資料自動回傳之技術於該款示波器內，在運用上相當實用，其說明與介紹如下；

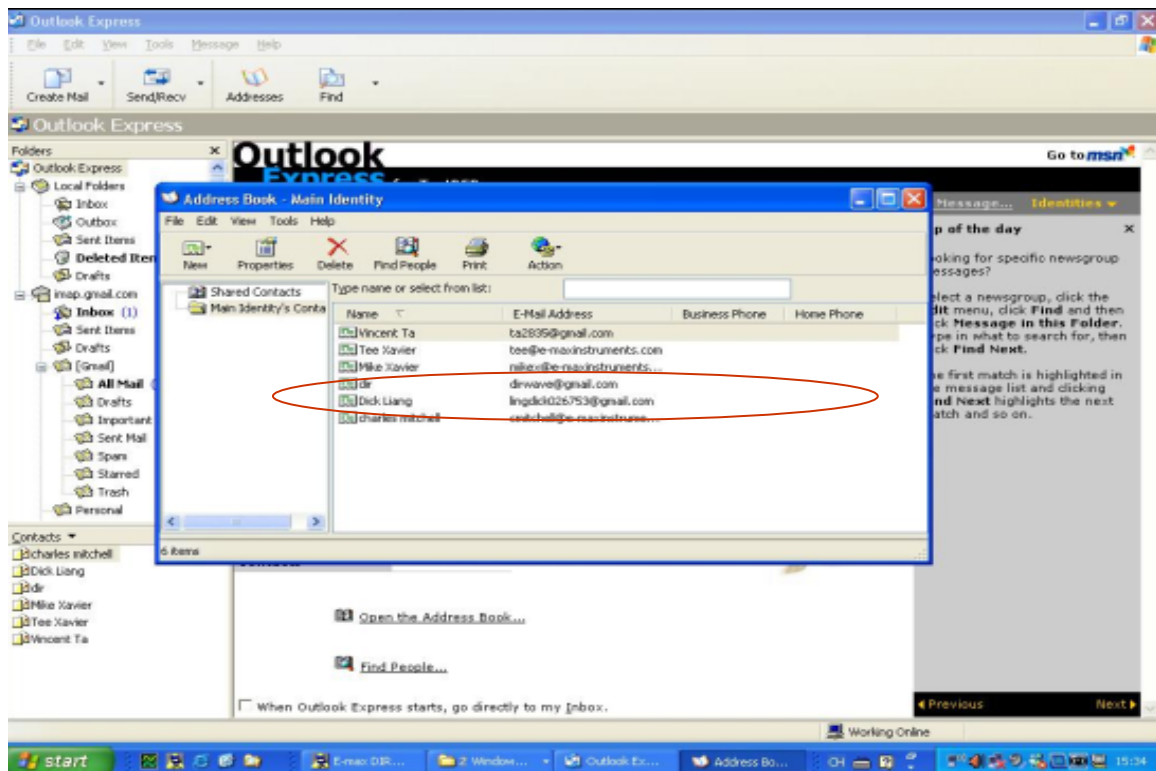


附圖二十五

上圖所示為最新型 E-MAX Director Type 示波器，它與上一代台電電力系統所使用之示波器已改善與新增不少功能，最重要的如原先只有 32 Channel 之 AC Channel 大幅增加為 64 Channel，讓可監視變電所內之設備增加一倍，此外；如原 12 bit A/D 解析度今改為 16 Bit with Sigma Delta Conversion (A/D)，這可讓事故波形解析度大大提升，使得事故分析人員得到更詳盡與清楚之事故資料，其它如 Fanless Processor，SSD (固態硬碟)，Windows XPTM，Software Auto-Calibration....等，這

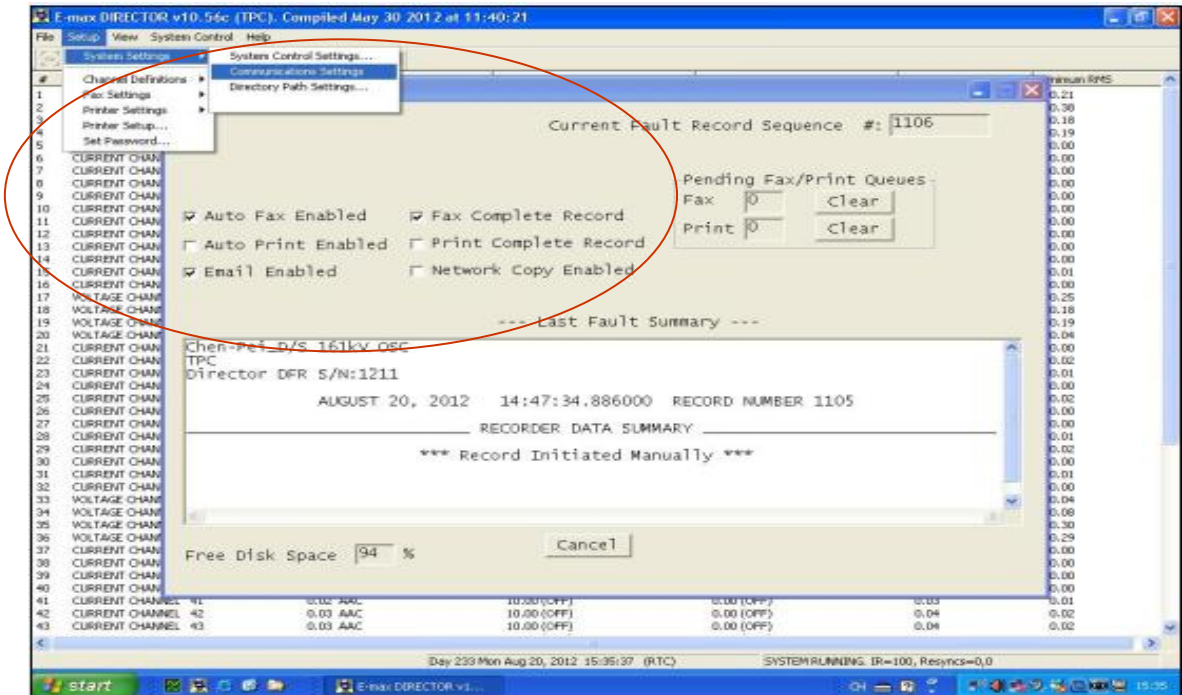
些都是 E-MAX 公司為符合台電需求與技術潮流所作不斷的更新，另一項最為重要也是本次出國任務的重點之一；事故資料自動回傳之技術，本項技術 E-MAX 公司已將該硬體與軟體設定載入最新型 E-MAX Director Type 示波器內，其方式是與 E-Mail 作連結，當示波器發現變電所內之電力系統有任何異常時，即會立刻傳送該示波器記錄之信息到示波器設定 E-Mail 收信人的信箱內，收信人只要下載該信件附檔，再予點擊即可看到該示波器記錄之波形、DC 動作與當時電壓電流實際的數值，此時收信人不論身在何方及何處，不管當下是有線或無線網路，只要有網路與電腦連線的地方，收信人即可收到任何來自示波器自動回傳之信息，真的相當方便與實用。

以上附圖為 E-MAX Director Type 示波器自動回傳設定之步驟；首先先設定收信人之信箱，我們實際使用 Outlook Express 來作示波器自動回傳信息之介面，如紅色圈內已設定 Dick Liang(本人)信箱；



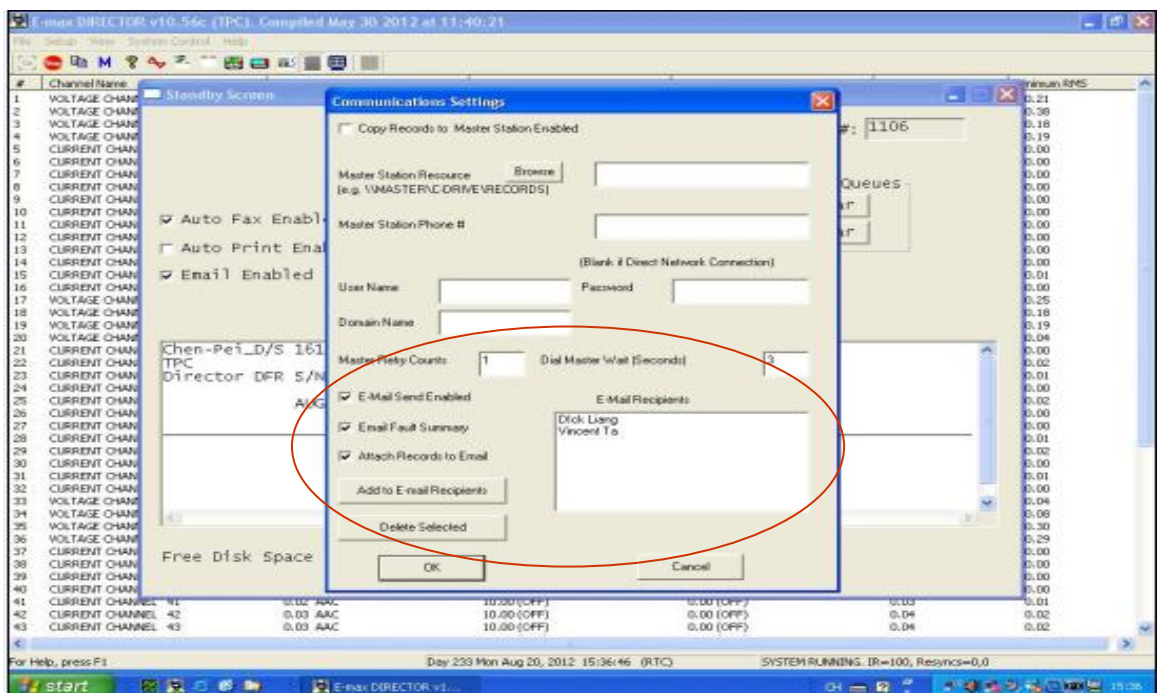
附圖二十六

附圖二十七所示為 E-MAX 示波器需打開其內部自動回傳功能之設定，如紅色框線所示



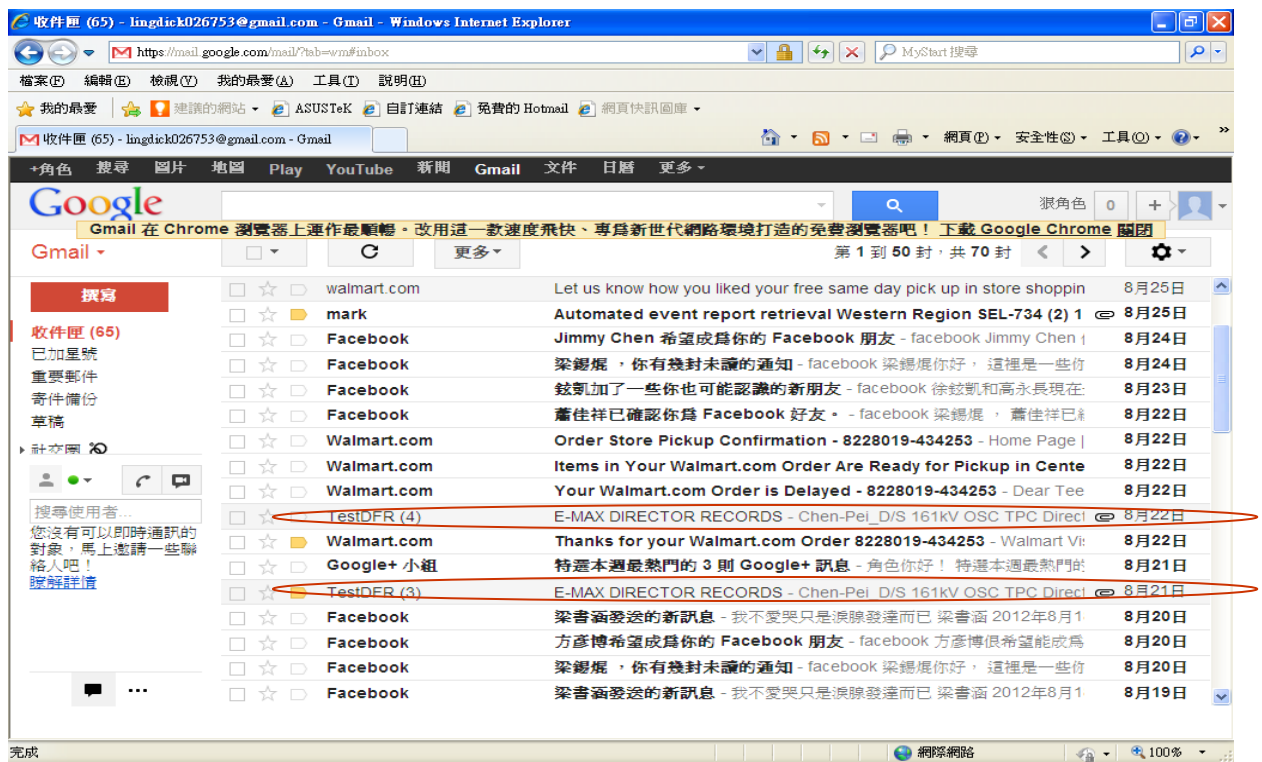
附圖二十七

附圖二十八所示為 E-MAX 內部設定與收信人通信介面作連結之設定，由紅線框內左邊可看出 E-Mail 之設定已全部被勾選，另外右邊為當初所設 Outlook Express 收信者



附圖二十八

當收信人 Outlook Express 與 E-MAX Director DFR 示波器內部 E-Mail 設定連結皆完成，本人要求 E-MAX 技術人員於 8/21 及 8/22 兩天個別觸發自動回傳信息，看本人設定之 G-Mail 信箱是否有收到示波器寄來之資料，結果 E-MAX Director DFR 示波器皆能順利觸發同時並完成發信之使命。下附圖二十九所示為本人 G-Mail 之信箱，而紅線框框為 E-MAX Director 示波器於分別兩天傳送之事故訊息。



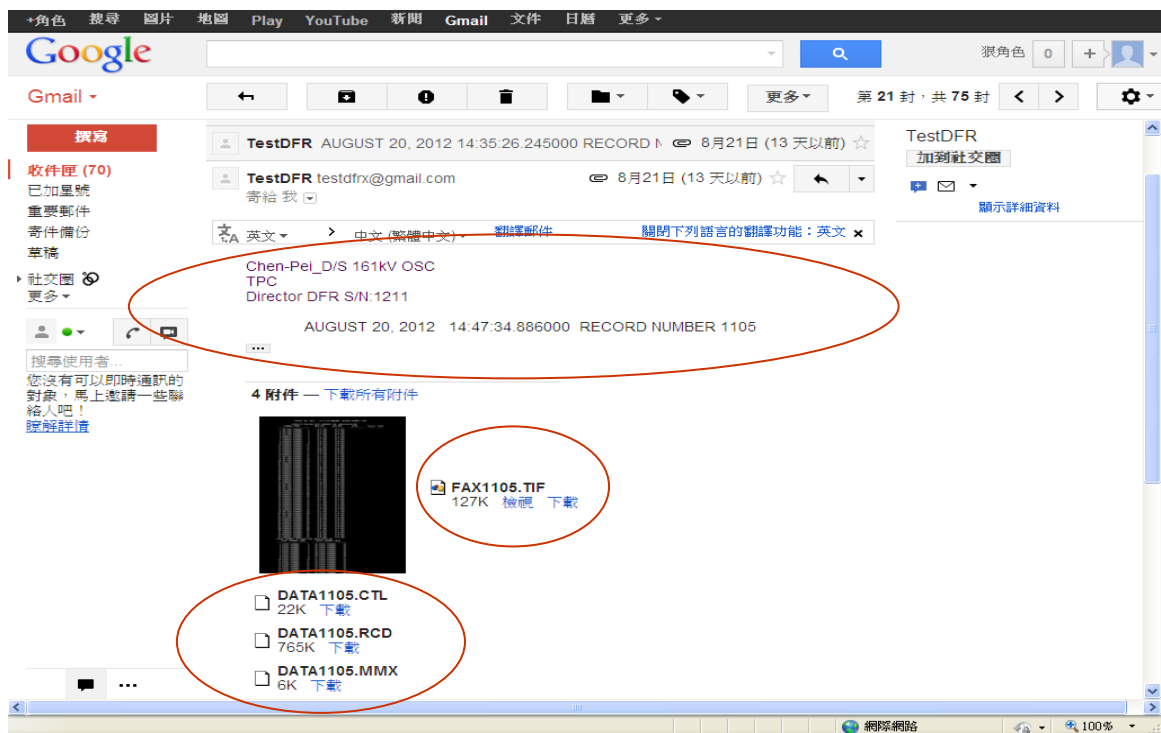
附圖二十九

在上述本人 G-Mail 信箱內顯示 8/21 與 8/22 個別收到 Test DFR 信件，題目說明是 E-MAX DIRECTOR RECORDS-Chen-Pei D/S 161kV OSC TPC Director DFR，我們點擊其中一個檔案，其附加信件同時夾帶四個檔案，DATA1105CTL, DATA1105RCD, DATA1105MMX 以及 FAX1105.TIF 如下圖附圖三十所示，事故分析人員只要把 CTL,RCD 與 MMX 三個檔案(附圖三十紅色框框)先下載然後利用 E-MAX 分析軟體點開，即可顯示所記錄之事故波形、DC 直流回路信號及各 AC Channel 之數值，不僅如此，該信件上有顯示該筆信息之時間、地點(變電所名稱)、電壓等級示波器與第幾筆事故資料(附圖三十紅色框框)，設計的相當簡潔與清楚，如附圖三十紅色

框框所顯示。

另一個檔案 FAX1105.TIF(附圖三十紅色框框)是為提供值班人員能迅速讀取事故波形之電流與電壓值而設計，該檔案內容為示波器事故發生當時所紀錄之資料，不含波形只有所有監視之電壓與電流值(數值)，這項資料可讓值班人員看出事故當時設備損害之嚴重性，若是屬於 I、VI 或是 P 破壞，則代表設備已有損害，不宜再次加壓受電，否則設備故障將再次加劇與擴大，若是屬於 V 破壞，則代表設備無礙，可以稍後再行試加壓送電即可。

以上自動回傳機制可讓電力系統發生事故時值班人員能減少個別一一上網連線的時間，並能快速判讀相關事故資料，找到事故發生之設備，儘速地排除故障而復電，使得供電品質可大大提升。



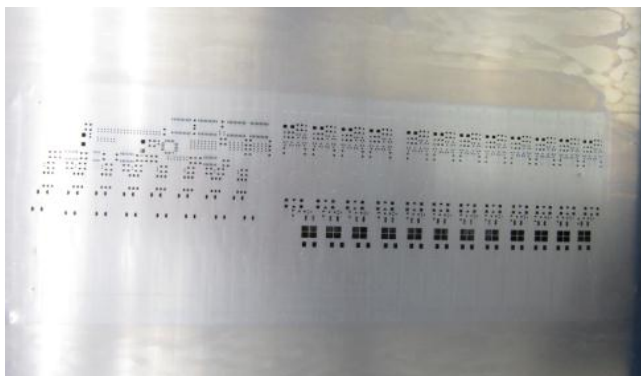
附圖三十

五、參訪 SEL 製造研發中心及 Pullman 變電站

本次出訪 SEL 公司在其安排下參觀 SEL 製造研發中心，發現該公司是一間很有制度與理想之公司，其主力產品保護電驛從設計、製造、生產、銷售及技術服務都是不假它人之手，一手包辦，不僅如此同時建立國家級電驛試驗中心去進行各項保護電驛試驗工作，務必達到產品零缺點的境界，所以只要該公司出廠之產品通通一律提供十年保固，除了是對自家的產品有信心外，也是對客戶一項負責之態度。

參訪 SEL 製造研發中心

以下是本人參觀 SEL 製造研發中心拍了幾張照片與大家分享!



(製程)

SEL 從最初 PC 面板設計開始



(製程)

PC 面板小型 IC 鑄連。



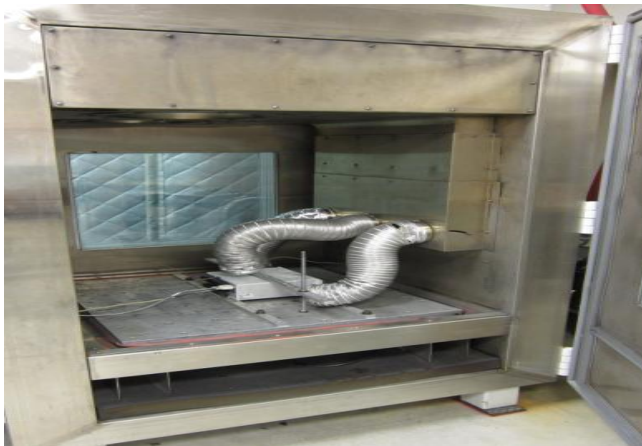
(製程)

一貫全自動 PC 板 IC 製程。



(製程)

大型電阻、電容及連接器則必需過錫爐進行焊接。



保護電驛經過嚴密的製程與組裝後，接下來便進入一連串嚴格且殘酷的試驗圖左為提供電驛高溫、低溫及濕度的試驗，保護電驛需接受連續長達 72 小時試驗(測試)。



圖左為保護電驛背景高低頻通信干擾試驗，主要測試目地是；試驗環境高低頻對保護電驛之影響，是否會造成電驛誤動作或影響其特性功能之試驗。

(測試)

接下來之試驗為靜電試驗，保護電驛內部由很多 IC 所組成，而 IC 很怕受靜電擊穿而無法運作正常，所以本試驗是利用一高電壓靜電放射器連續往保護電驛機身各接點、螺絲與金屬擊射看是否造成電驛故障。

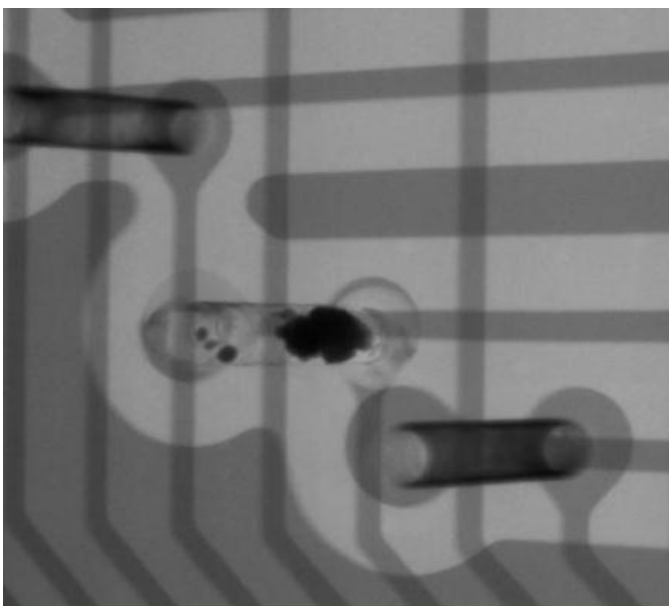




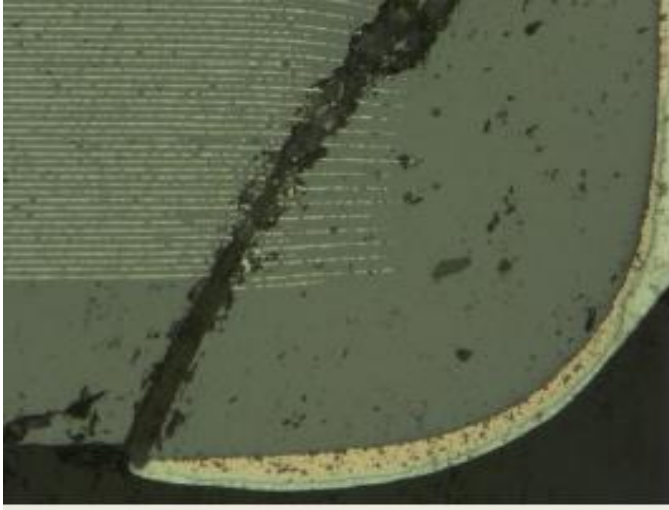
最後是保護電驛之特性試驗，利用故障產生器執行保護電驛各項功能測試；如 Z TEST PowerSwing，87L Alpha plane Test……等，還有接點、燈號、Display 信號等完整功能試驗，確認全數功能符合要求，此保護電驛才算試驗合格。



此設備為 SEL 公司 X 光攝影機，其功能用於 PC 電路板焊接情況檢驗，一般肉眼無法判斷 IC 與 PC 面板焊錫連接之良劣，但在此設備之攝影下很多細微不良之處，皆難逃其法眼。以下一張照片實例即可驗證。



這一張照片起因是，顧客反映保護電驛特性功能時好時壞，但是查遍所有電驛內部並無任何異狀，最後只好求助該設備之幫忙，經過快速攝影掃瞄很快便發現如照片中間所示冷焊的現象，正常良好之焊接為右下角均勻黑色，冷焊呈雲朵不規則狀經改善，電驛功能一切正常。



這也是一件顧客反映電源供應模組不良的情況，SEL 公司有一類似生化試驗室，將可疑之電子零件用透明膠質予以固態化，然後逐一橫切剖析，就如同本案經調查結果為電容器內部龜裂所致(如左圖所示)，可見得 SEL 在查誤的過程相當仔細與專業務必找到問題。

參訪 PULLMAN 變電站

以下是本人參觀 PULLMAN 變電站之照片分享!!



這次參訪 SEL 公司有幸被安排參觀 Pullman 115kV 之變電站，雖然是間小變電站，但麻雀雖小五臟俱全，就此幾張實際之現場照片解說；該所配電線路之保護電驛是放在現場斷路器下方與本公司設計不同，台電配電線路保護電驛大多數是置於控制室內，大多因為保護電驛需要在有室內空調與濕度適中的地方，電驛較不易損害，但如左圖 SEL 電驛可置於現場，而且 Pullman 當地夏天高溫而冬天下雪，代表 SEL 公司生產之電驛產品經得起嚴峻之氣候之考驗。





DC 回路隔離開關

左圖為該所控制室電驛盤設置之情形，共有三盤電驛，兩盤為輸電線路保護，另一盤為變壓器保護，值得一提的是，國外設計電驛盤有三點與國內電驛盤不同，一是增設 DC 回路隔離開關，如下圖，是將所有電驛用 DC 信號全部引接到該隔離開關，只要開啟則電驛人員可作任何電驛測試而不用擔心斷路器會啟斷停電，另兩項為 CB 操作開關及插座皆設計於盤上方便電驛人員執行電驛測試時使用。

此趟至 SEL 公司除參觀其製造研發中心外，並與其技術人員就保護電驛之應用技術交流與學習，覺得 SEL 公司無論是在電驛研發製程及售後服務的態度上都是相當積極與可靠，而且深獲顧客好評，也難怪其每年電驛市場的銷售量與市佔率不斷增加，而我們公司自從 88 年引進 SEL321 測距電驛至今也快有 13 年光景，目前使用該公司電驛產品種類繁多，電驛性能表現上也優於其它保護電驛，希望這次帶回最新型數位式輸電線路保護電驛 SEL411L(差流電驛)與 SEL421(測距電驛)之資料，能為未來台電系統輸電線路保護電驛之規劃提供另一項新的選擇，以期能提升供電品質至完美的境界。

六、心得與建議

首先我必須先感謝上級長官提供這次國外實習的機會，讓我獲益良多，亦感謝本組電驛同仁協助分擔出國期間本人負責之業務。

此行拜訪美國丹佛 E-MAX 公司和普爾曼 SEL 公司從參觀設計部門、研發部門、生產部門、測試部門到客服部門與到 Pullman(普爾曼) 115kV 變電所，以及與該兩家公司技術人員充份地技術交流與學術研討，並從其新型數位式輸電線路保護電驛、數位式示波器與事故資料自動回傳技術的介紹下，讓我這趟美國之行收獲相當豐盛可觀，所以想藉由以上報告完整呈現各階段學習之過程，並與大家一起分享與討論，也希望帶回國的資料能提供給公司無論在輸電線路保護電驛系統之規劃與未來設計事故資料自動回傳的架構上有任何實質的幫助，這樣才不會枉費公司每年積極規劃安排出國學習之機會。

建議一：持續提供出國實習之機會

科技日新月異，藉由與原廠專家研討交流，可以了解新型數位式電驛與示波器之發展及實際運用之情形，建議公司能持續提供出國實習之機會，以利了解國外新技術來提昇電驛保護及事故自動回傳之效能。

建議二：建立輸電線路事故保護電驛及示波器自動回傳系統

輸電線路事故保護電驛及示波器自動回傳系統於北美地區已使用多年，並頗受好評，建議公司可挑選一回輸電線路或一所變電所作為示範系統來評估事故自動回傳之成效，以作為未來是否全面推展之依據。

若決定全面推行，則需考慮網路架構之安全性及回傳信號之周延性。

建議三：試用 SEL-411L 之行波(Traveling Wave)技術

SEL-411L 之行波(Traveling Wave)原理為 SEL 公司最新獨家發展技術，在北美與墨西哥之輸電線路已有使用，依據其電力公司(SEL 客戶)表示行波(Traveling Wave)技術使用於輸電線路故障測距相當準確，可大大縮短事故點尋找及復電時間，建議公司可試用該款電驛挑選 161kV 輸電線路(三端子或部份架空及地下)一回線作為測試並評估其事故測距之準確性，以作為未來是否可獨家採購該型電驛之依據。

參考資料:

- (1) SEL421 Distance Relay Instruction Manual
- (2) SEL411L Current differential Relay Instruction Manual
- (3) The SEL Quality and Reliability Advantage (By Ron Schwartz)
- (4) Automation and integration (By Mark Weber)
- (5) E-MAX Wave Director Digital Fault Recorder Instruction Manual