

出國報告（出國類別：實習）

## 數位式多功能電驛保護技術實習報告

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：蔡隆田 主管保護軟體

派赴國家：英國、德國

出國期間：98年11月02日至98年11月15日

報告日期：99年01月11日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：數位式多功能電驛保護技術研習		
出國人姓名	職稱	服務單位
蔡隆田	主管保護軟體	台灣電力公司 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： 98 年 11 月 02 日至 98 年 11 月 15 日		報告繳交日期：99 年 01 月 11 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：數位式多功能電驛保護技術研習

頁數 39 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 臺灣電力公司/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡隆田/台灣電力公司/供電處/主管/(02)23666624

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：98年11月02日至98年11月15日 出國地區：英國、德國

報告日期：99年01月11日

分類號/目

關鍵詞：保護電驛、故障定位、自動復閉、特殊保護、IED

內容摘要：(二百至三百字)

保護電驛進入數位化世代後，可以整合多種保護功能於一身，同時也可發揮如故障測距、波形紀錄等極具效益之功能，數位電驛配合通信網路可以有助相關人員及時掌握系統異狀資訊以利正確判斷處置。本次出國任務前往英國AREVA公司及德國SIEMENS公司研習，瞭解不同廠家對多功能電驛之規劃運用與標置設定協調技術，期能於未來本公司可充份應用多功能電驛，俾提昇保護效能及增進供電可靠。

架空輸電線路復閉功能可確保供電連續性，運用多相復閉或單相復閉技術則有助於維持系統穩定及同步，電驛是擔任快速隔離故障設備的第一道防線，特殊保護系統則是在發生大擾動情形下確保電力系統穩定的第二道防線。本公司雖已有運用多相復閉技術及特殊保護系統，仍需多方學習累積有關技術經驗。這次實地造訪，除更深入了解相關數位電驛保護技術外，亦收集歐洲地區對輸電線路復閉技術及特殊保護系統之應用情形，作為規劃未來新技術運用參考，以符合維持系統穩定之需要。

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

# 目錄

一、前言及目的	5
二、出國實習過程	6
三、AREVA 公司數位多功能電驛技術研習	7
3.1 故障相識別及電力搖擺電驛偵測演算技術	7
3.2 數位電驛 Trouble shooting 及通信應用	12
3.3 數位電驛惡劣環境測試	14
四、SIEMENS 公司數位多功能電驛技術研習	15
4.1 架空及地下電纜混合線路之故障定位線路	15
4.2 差流電驛保護靈敏度 RTDS 測試	19
4.3 參觀紐倫堡市 N-ERGIE 電力公司 120kV 配電變電所	22
五、電驛技術應用研討	24
5.1 輸電線路復閉及特殊保護	24
5.2 數位匯流排保護電驛應用	28
5.3 輸電保護比壓器配置及加壓保護	30
5.4 變電所自動化 IEC61850 應用	33
5.5 數位電驛維護	36
六、心得與建議	38
七、參考文件	39

## 一、前言及目的

保護電驛的發展演進，最早期是電磁機械式電驛，隨著科技進步歷經固態電子式電驛，一直演變到現在以微處理器為基礎(Microprocessor-based)的數位式保護電驛(Numerical protection relay)。現在的趨勢單一具多功能數位電驛就可實現單一電力設備的各種保護原理應用，以往保護一項電力設備可能需要十幾個單一功能保護電驛，現在使用一套數位式保護電驛就可以完成，整體成本比較數位保護電驛較固態電子式電驛經濟許多。數位電驛功能強大，除具備安全可靠的完整保護功能之外，並整合有表計、故障測距、故障紀錄、自我偵測報警、可程式邏輯規劃、數位通信介面等等附加功能。整體而言，數位式電驛具有維護週期長、運用彈性高、透過詳實的事故分析研擬對策以提昇保護協調功能等等應用上的重要優點。

使用一只多功能數位電驛就能達到以往需要十多個保護電驛保護才能達到的完整保護功能，因此在安裝上大大節省空間。數位電驛具有自我偵測故障功能，隨時自我偵測，當電驛本身發生故障時可發出警報並自動閉鎖跳脫功能；具有事故記錄功能，可記錄事故發生的相關資料，供事後檢討分析；存取資料靈活，可依需求使用筆記型電腦於保護電驛設置現場或於遠端使用桌上型電腦更改電驛標置值、存取設定及下載事故資料等方便維護的功能。因此數位電驛可說是保護電驛問世約一百年歷史以來最具革命性的技術演變。

數位保護電驛之技術及應用發展一日千里，全世界各電力公司均在進行電力系統保護電驛的數位化。隨著數位電驛功能提昇及演進，除了滿足既有核心的電力設備保護功能之外，在變電所自動化領域也可扮演重要角色提供完整的自動化解決方案，此外數位電驛掌握了電力設備故障期間的電氣量演變動態資訊，因此如何有效率地運用集合多面向功能的數位電驛，來精進核心保護性能以及發揮自動化、資訊提供等高價值附加功能，可以對電力系統的安全運轉與可靠供電做出最大的貢獻。

依據 Newton-Evans <The Worldwide Study of the Protective Relays Marketplace in Electric Utilities:2006-2008> 之研究調查，世界上規模前五大電驛製造廠家分別為 ABB、AREVA、NARI、SEL 和 SEIMENS，其中 ABB、AREVA 和 SEIMENS 等公司是歐洲著名的大型電力及工業產品事業集團，南瑞(NARI)公司是中國市佔率最高的專業電驛製造廠，SEL(Schweitzer Engineering Laboratories)公司為美國專業電驛製造廠，是北美地區電驛市場的領導品牌。

藉由本次參訪頂尖電驛廠家的實習機會，與原廠專業人員研討最新研發的數位電驛技術並了解比較世界各地電力公司對數位電驛技術的運用情形，同時參觀當地電力公司瞭解數位式多功能電驛設備運用技術、性能統計及電驛維護等相關事宜，作為本公司電驛業務參考。希望引進良好之新知及觀念，作為本公司保護電驛規劃、維護及相關標置設定協調之參考，提升電力系統保護效能與供電可靠性。

## 二、出國實習過程

本次出國任務是數位式多功能電驛保護技術實習。主要係前往歐洲地區保護電驛著名廠家 AREVA 公司英國 AREVA T&D 部門以及 SIEMENS 公司德國 SIEMENS AG, Energy Automation 部門實習研討數位電驛技術並請廠家安排參訪自動化變電所，了解國外數位式保護電驛之規劃及運用技術。任務行程如表 1 所示。

在 AREVA 公司的研習內容包含各類型電驛介紹、技術研討課程以及電驛生產過程、RTDS(Real Time Digital Simulator, 電力系統即時數位模擬器)測試實驗室參觀等。參觀 AREVA 電驛裝配生產流程包括 U 型裝配生產線、溫度測試、產品測試、包裝等過程，工廠採用 Omicron 及 Doble 電驛測試器。

在 SIEMENS 公司的研習內容包含各類型電驛介紹、技術研討課程以及電驛生產過程及德國紐倫堡市 N-ERGIE 電力公司 120kV 配電變電所參觀等。參觀 SIEMENS 電路板焊裝及電驛裝配生產流程包括 SMT(表面黏著技術)生產線、DIP(雙列直插式封裝技術)生產線、U 型裝配生產線、突波忍受測試、溫度測試、產品測試、包裝等過程，工廠採用 Omicron 電驛測試器。

此行透過實地參訪及與專業研發人員之各種技術交流討論，著實獲益良多，這些學習經驗將有助於未來電驛工作上發揮運用。

起迄日期	任務地點	實習內容
98.11.02~98.11.03	台北－阿姆斯特丹－ 倫敦－斯塔福	往程 (中華航空)
98.11.04~98.11.07	英國 斯塔福	數位式多功能電驛保護及復閉技術研 討 (AREVA 公司)
98.11.08~98.11.08	英國斯塔福－德國 紐倫堡	前往下一任務地點
98.11.09~98.11.13	德國 紐倫堡、柏林	數位式多功能電驛保護及特殊保護系 統技術研討 (SIEMENS 公司)
98.11.14~98.11.15	法蘭克福－台北	返程 (中華航空)

表 1：任務行程

### 三、AREVA 公司數位多功能電驛技術研習

AREVA公司具有包含發電、輸電、配電、工業、鐵道等產業各類電力設備之數位保護電驛系列產品，如圖1所示，電驛產品名稱爲MiCOM保護電驛。其中在新開發測距電驛技術方面採用電壓變量 $\Delta V$ 以及電流變量 $\Delta I$ 的原理，在故障相識別、方向性判斷、電力擺動偵測等方面具有免設定及靈敏性的優點。

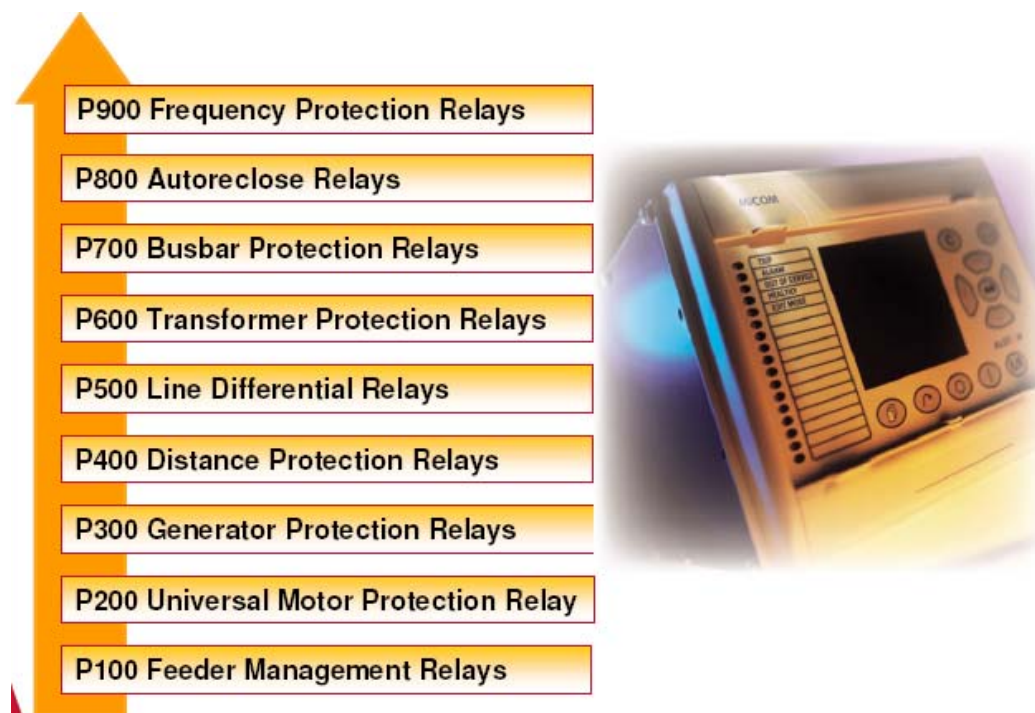


圖 1：AREVA 公司電驛系列產品

#### 3.1 故障相識別及電力搖擺電驛偵測演算技術

AREVA之P400系列是測距保護電驛主要作為輸電線路保護之用，其中P44x系列是最新開發的高階產品。所有P44x系列平台電驛均使用疊加電流方法，其特色為比對故障前後的電流變化量來作為故障偵測及故障相識別，可以快速地識別出發展中事故以及電力擺動(power swing)現象，對複雜的故障情形提供安全之故障相識別，對任何故障類型均具靈敏度且自動運作不須任何設定。

疊加電流分解原理如圖 2 所示，故障發生時電驛將偵測到的電流分解成故障前成份以及疊加之故障成份。利用疊加故障成份之故障相識別原理如圖 3 所示，利用 2 周波之比對時窗，不斷地與 2 周波前之電流進行疊加故障成份比較，當 I<sub>AB</sub> 未出現疊加故障成份，且 I<sub>BC</sub> 及 I<sub>CA</sub> 均出現疊加故障成份時，可立即判斷出 C 相發生接地故障。

利用這種方法可以得到確定的故障相識別，且不會因為殘留電流補償或”幽靈”阻抗等因素而導致未故障相誤啟動。

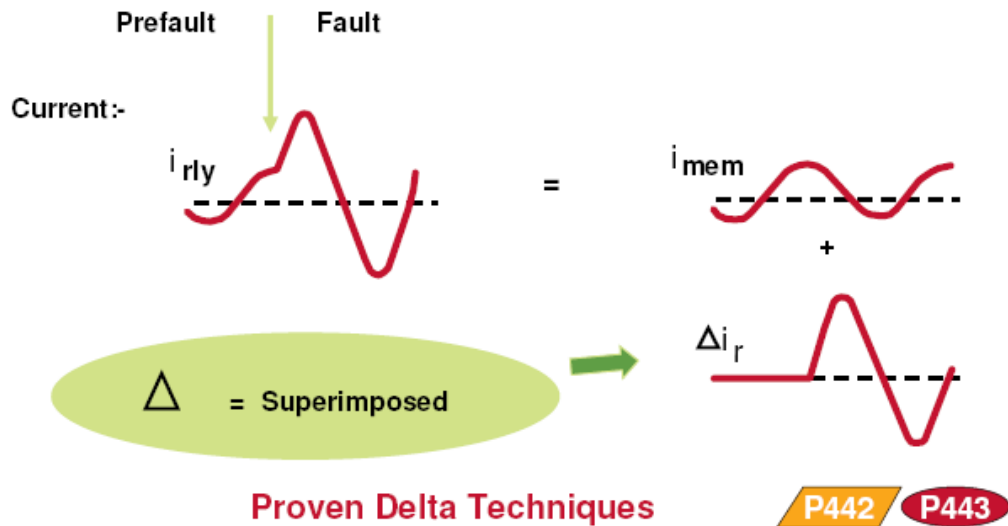


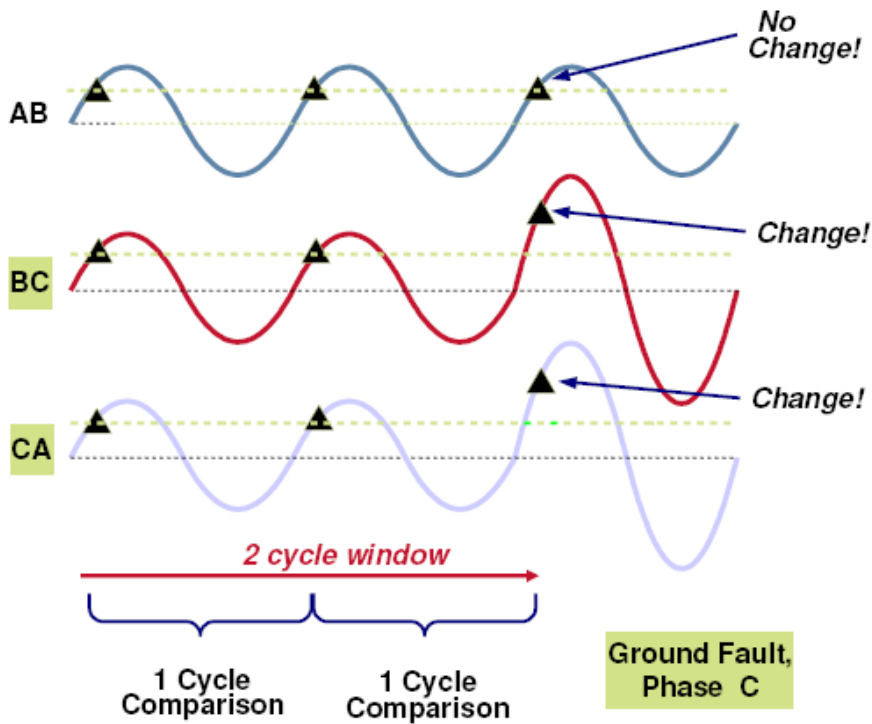
圖 2：疊加電流分解原理

電力系統的輸電能力須考慮靜態穩定度及動態穩定度的限制，當電力系統發生故障後電驛會偵測事故現象到而動作跳脫斷路器以將故障清除，但在這故障發生及清除過程中，發電機電氣功率輸出與原動機機械功率間不平衡的轉移關係會使發電機有加速及減速的情形，發電機功率角(轉子角度)由故障前運轉點在故障發生時發電機加速使功率角增大，故障清除後發電機減速使功率角拉回，在穩定到新運轉點前會來回擺動，當發電機功率角電力擺動的幅度大時，由線路測距電驛所看到的視在阻抗(apparent impedance)會移動進入保護區間，相較於故障情形，其進入測距保護區間之速度較為緩慢，至於線路差流電驛因是以線路兩端即時電流相量差比較為動作原理，故電力擺動並不會造成保護判斷上的困擾。測距電驛必須正確分辨出電力擺動現象，此時雖然視在阻抗會進入測距電驛的保護區間，但並非輸電線路故障，故測距電驛須自動閉鎖保護區間的動作跳脫，是為電力擺動閉鎖 PSB(Power swing blocking)功能。電力擺動視發電機功率角是否超過  $180^\circ$  可分為穩定擺動(stable swing)及不穩定擺動(unstable swing)，圖 4 顯示電力擺動與故障時電驛視在阻抗之變動軌跡。

傳統的 PSB 偵測係利用 Blinder-based 方法如圖 5 所示，在測距保護區間之外設定一個電力擺動偵測區間，利用偵測視在阻抗軌跡會先進入擺動區間再進到啟動延時保護區間的時間差來作判斷，如果視在阻抗是瞬間改變到保護區間內是屬於故障情形，如果視在阻抗軌跡擺動區間到啟動延時保護區間超過時間設定便是屬於電力擺動而須閉鎖保護區間的跳脫。

在發生電力擺動期間若再發生輸電線故障(電力擺動代表會有大電流流經輸電線路，此時遭遇線路故障之機率較正常運轉情形為大)，則原先成立之 PSB 邏輯必須有自動解閉鎖的判斷功能，才能發揮正確保護功能。





P443

圖 3：疊加成份故障相識別基本原理

一般 PSB 解閉鎖會以下列的設定來判斷：

- 使用 High set 相過流偵測
  - ◆ 通常 power swing 之電流不超過 2 倍  $I_n$
  - ◆ 設定故障電流  $I_{max} > 3$  倍  $I_n$  以上,來啓動解閉鎖
- 接地故障或帶阻抗之相間故障時故障電流有可能不超過  $I_{max}$
- 設定偏移偵測用以在故障造成相電流不平衡時解閉鎖
  - ◆  $I_{N>}$ 設為最大相電流之 40%(接地故障在 100%以上)
  - ◆  $I_{2>}$ 設為最大相電流之 30%(相間故障約 57%)

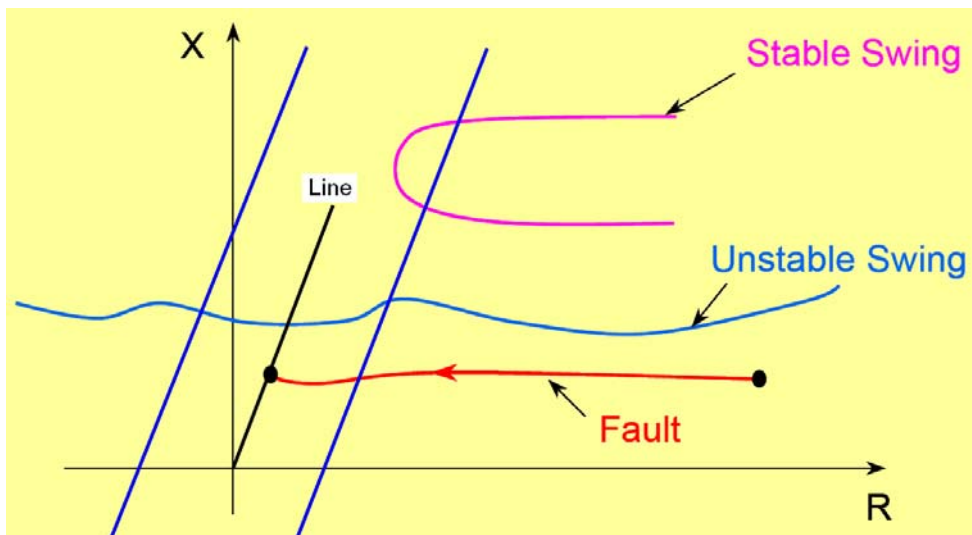


圖 4：電力擺動與故障之電驛視在阻抗變動軌跡

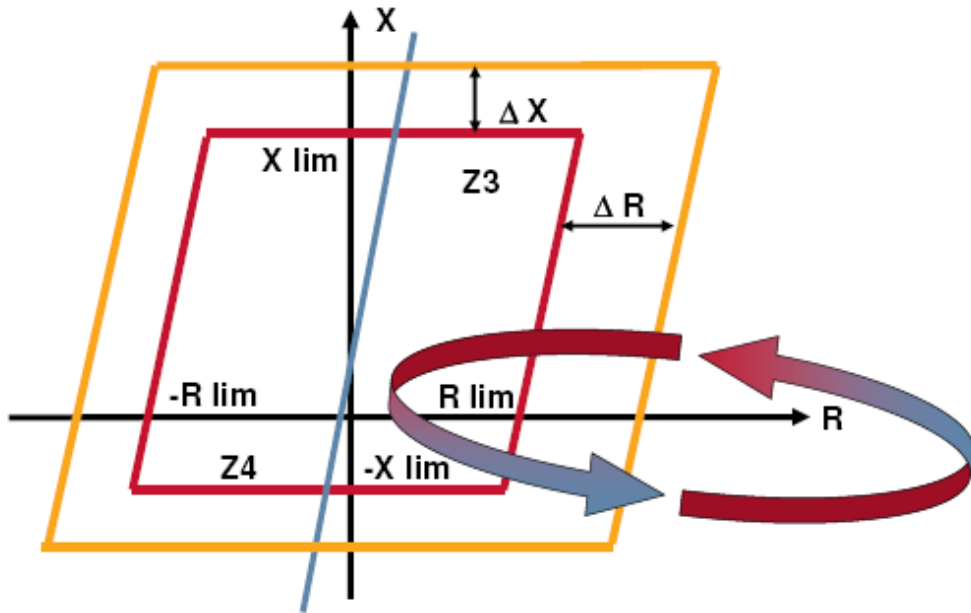


圖 5：電力搖擺偵測傳統方法

P443 電驛利用前述的疊加電流原理作故障相識別及電力擺動閉鎖/解閉鎖之判斷，發生故障時之判斷模式以圖 6 說明：2 周波的比對時窗設計使疊加量 PH1 旗標在故障發生 2 周波後因故障電流穩定未再變化而復歸，絕對量過電流 PH2 旗標在故障發生後成立並一直到故障清除才復歸；發生電力擺動時之判斷模式以圖 7 說明：電力擺動時由於電流會持續性變化，因此 PH1 旗標在電流開始變化後及電力擺動期間都會一直成立，倘若在電力擺動期間發生故障，因故障電流為穩定值故在 2 周波後 PH1 旗標便會復歸，PH2 旗標則是在發生電力擺動後成立並一直到故障清除才復歸。依此原理，利用 PH1 旗標及電流變化量  $\Delta I$  便可作為偵測電力擺動閉鎖及電力擺動期間故障解閉鎖之判斷。

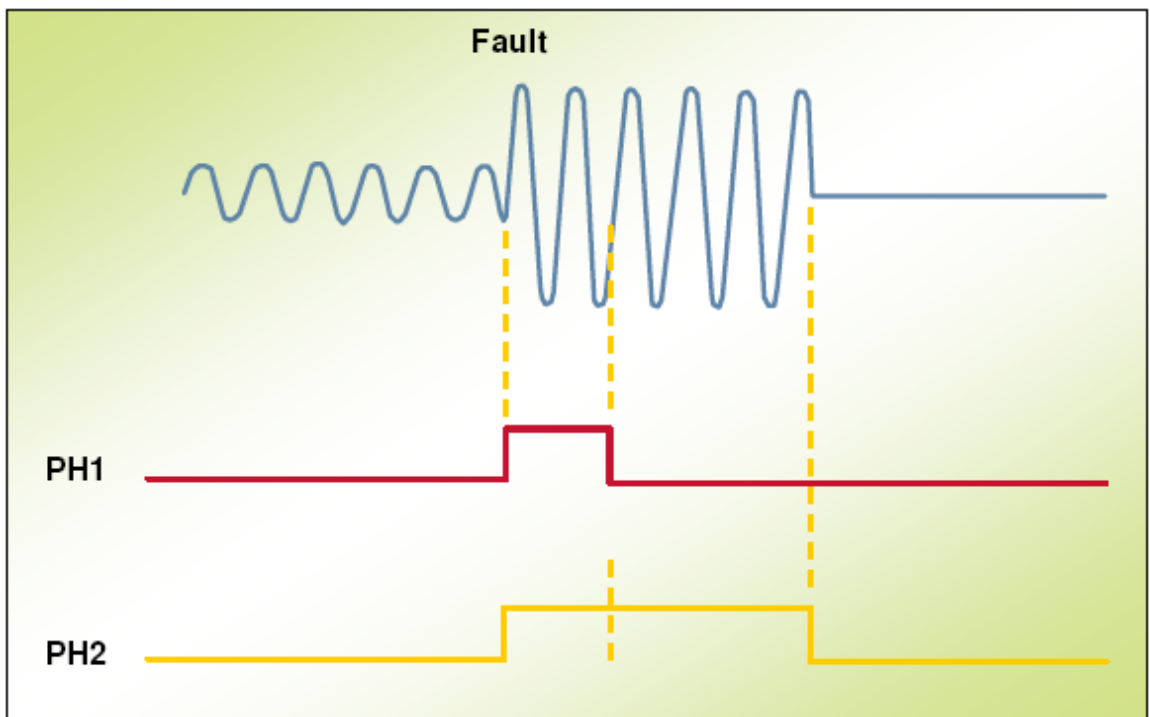


圖 6：發生故障時之判斷模式

利用  $\Delta I$  偵測原理，P443 電驛對於電力擺動期間發生的各類故障測距保護均可動作跳脫，對於不平衡故障而言，如圖 8 所示由持續固定  $\Delta I$  變成  $\Delta I$  很小可便以立即解閉鎖並由故障相識別重新判斷故障選相。

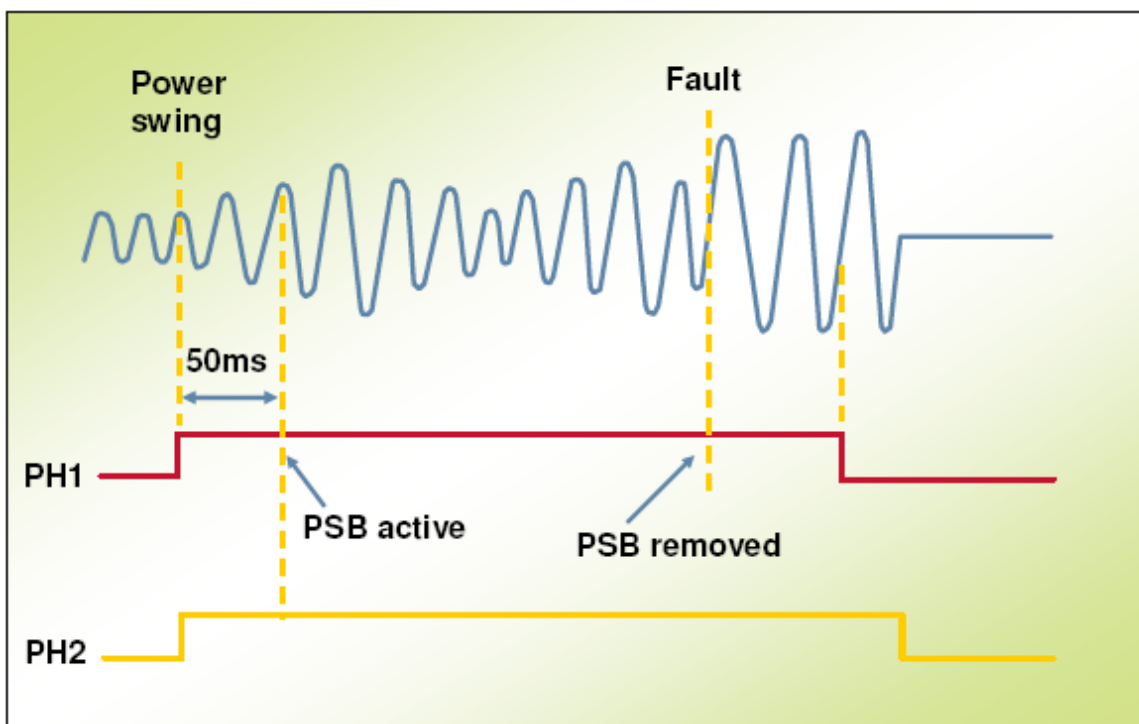


圖 7：發生電力擺動時之判斷模式

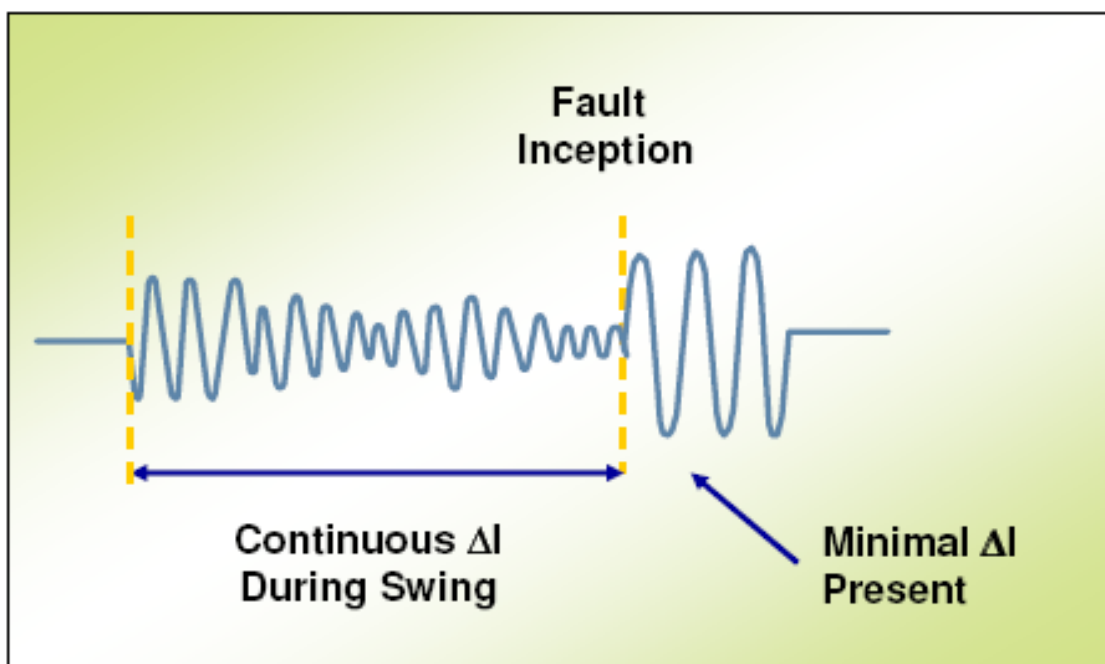


圖 8：電力擺動期間發生不平衡故障 PSB 解閉鎖

若在電力擺動期間發生三相平衡故障，亦可以由  $\Delta I$  躍階變化偵測來解閉鎖，如圖 9 所示若  $\Delta I$  值出現大幅躍階變化大於先前擺動期間所儲存  $\Delta I$  值的 2 倍，偵測

到此躍階變化情形便立即將 PSB 解閉鎖。

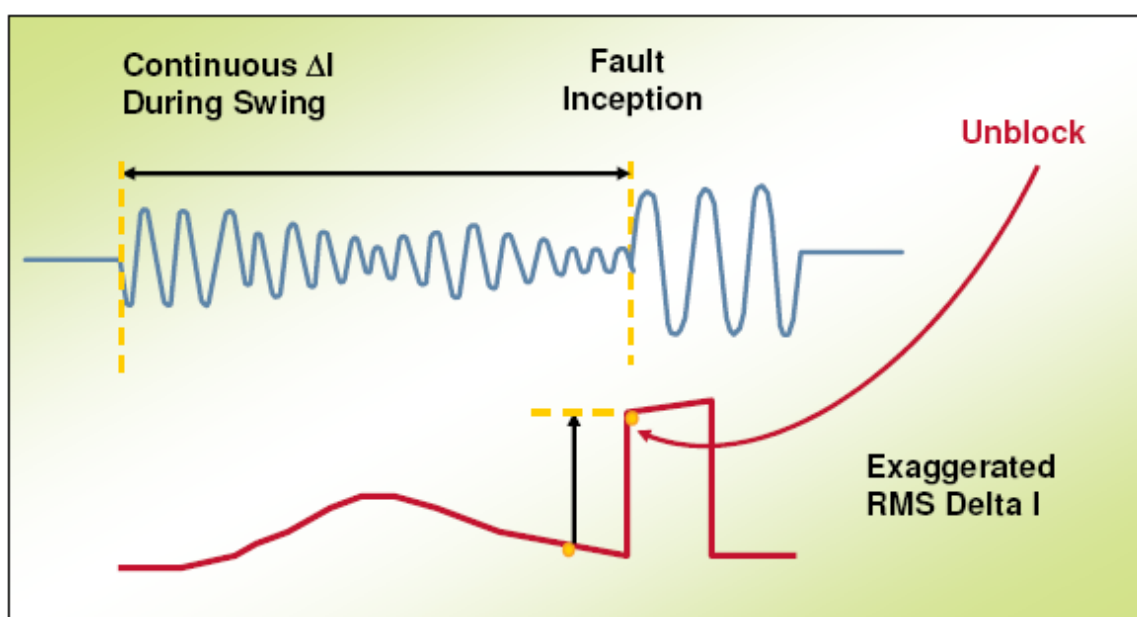


圖 9：電力擺動期間發生平衡故障 PSB 解閉鎖

### 3.2 數位電驛 Trouble shooting 及通信應用

英國電力事業實施解制自由化已多年，輸電系統主要為國家電網(National Grid)公司營運，電力公司大多選擇 2 家電驛供應商，並與電驛原廠簽訂服務契約，事故後通知原廠立即派員檢查分析，並提出報告及必要之處置。

以日本電力產業而言，電力設備及電驛的主要供應商為東芝、日立及三菱等廠家，對電力公司來說，其維護的設備設計原理及應用方式較為接近，或電力公司可以制定所須設計要求，設備廠家會依循其要求並充份溝通協調後來設計符合需要的產品。

台電基於法令、語言、專業考量等因素，無法採行類似英國或日本選擇少數電驛供應商及由電驛原廠進行事故後檢查分析的作法。台電使用之電驛廠牌眾多，必須自行培養電驛專長人員，並設法熟悉世界各地原廠家不同的設計原理、操作方式、介面整合，而且在安裝、測試及除錯等方面須適應台電公司負序輸電系統之相關工程設計，自行分析問題，必要時則須交涉要求原廠進行改善。所以電驛專長人員的訓練養成也悠關電力系統保護品質。

依照電壓等級將數位電驛分為輸電級與配電級，配電設備之保護一般使用基本過電流保護原理，而微處理機核心的數位電驛可同時肩負保護(Protection)、量測(Measurement)、控制(Control)及通信(Communication)等變電所自動化能力，在一般的應用上不再僅侷限於保護電驛的角色，因此配電設備進入數位保護世代後變習慣稱為智慧型電子裝置(IED, intelligent Electronic Device)，欲進行自動化控制的運用，通信能力是基本要件，所以 IED 會有 SCADA 用通信埠來上傳自動化運轉資訊及下達

控制命令，運轉資訊包含電壓、電流、頻率、實功、虛功、累計量等等電氣量以及斷路器、隔離開關、接地開關等設備狀態，控制命令則包含斷路器、隔離開關、接地開關等設備之啓斷及投入控制，因此透過 IED 可以實現自動化功能，IED 除了保護自動化功能之外，持續自我偵測、事件紀錄、事故紀錄及波型紀錄等重要資訊之讀取或保護協調變更電驛標置之存取便透過第二個保護工程人員用通信埠來達成遠方資訊存取，另外均在 IED 前方有一個現場維護用之資訊存取通信埠。

圖 10 顯示 AREVA IED 通信埠的一般運用規劃，COMM1 SCADA 通信埠為 RS485 或 FO 介面，可選用 Courier、Modbus、IEC60870-5-103 或 DNP3 等通信協定，COMM1 另可選用 Ethernet 埠 IEC61850 通信協定。

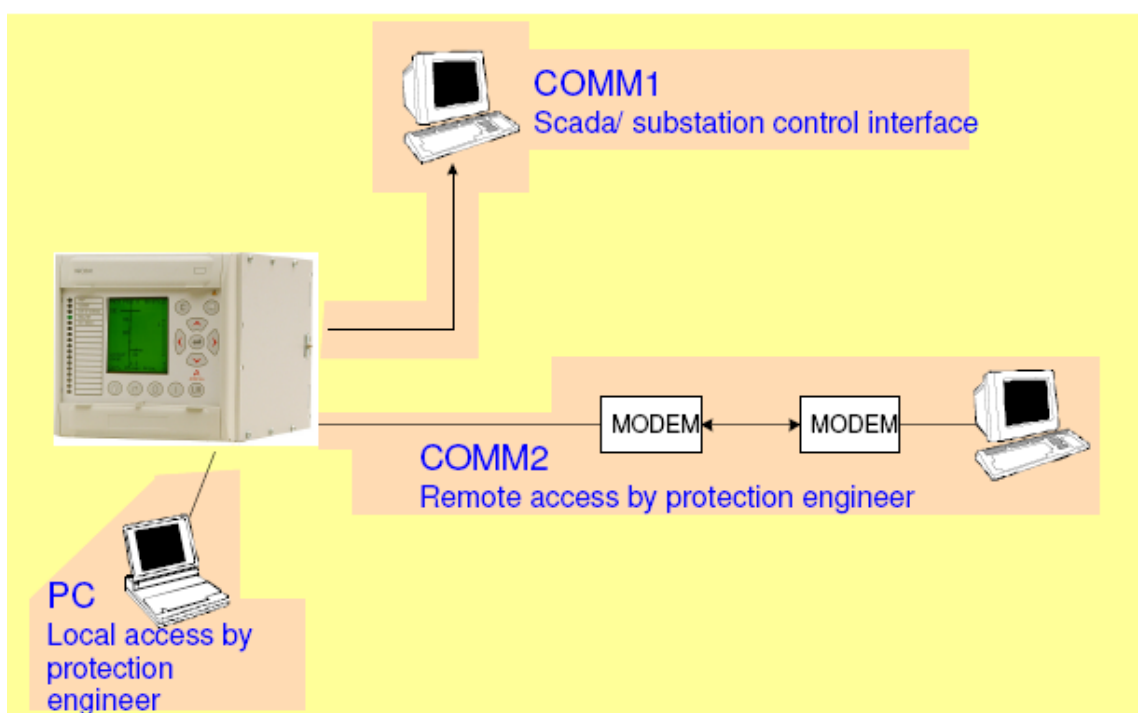


圖 10：AREVA 電驛通信埠規劃

COMM2 保護工程人員用通信埠為 RS485 介面使用 IEC60870-5-103 通信協定，現場維護用通信埠主要作為電驛標置變更及韌體昇級之用，使用 RS232 介面 IEC60870-5-103 通信協定。

輸電級數位電驛會使用差流原理、測距原理、方向性比較、通信輔助等較為複雜的保護原理，同樣具 IED 功能可在保護功能之外作自動化監控，但一般仍作保護專用。在歐美進來漸有將配電變電所之保護及自動化以相同 IED 實現之運用作法。

數位電驛除了發揮保護隔離故障的重要任務之外，還可以立即提供故障類別、故障電壓、故障電流、故障定位等重要資訊，在國外的應用中，這些資訊是透過 SCADA 通信埠傳送到控制中心，使值班人員可以即時且方便地獲得充份的事故資訊，這部份的應用是值得評估比較作為未來規劃方向。

### 3.3 數位電驛惡劣環境測試

數位電驛可說是順應電子科技發展的產物，其硬體製程技術也與科技產業之技術潮流並進，電路板裝配(PCB)的技術趨勢由傳統插件技術演變為表面黏著技術(SMT)為主流。

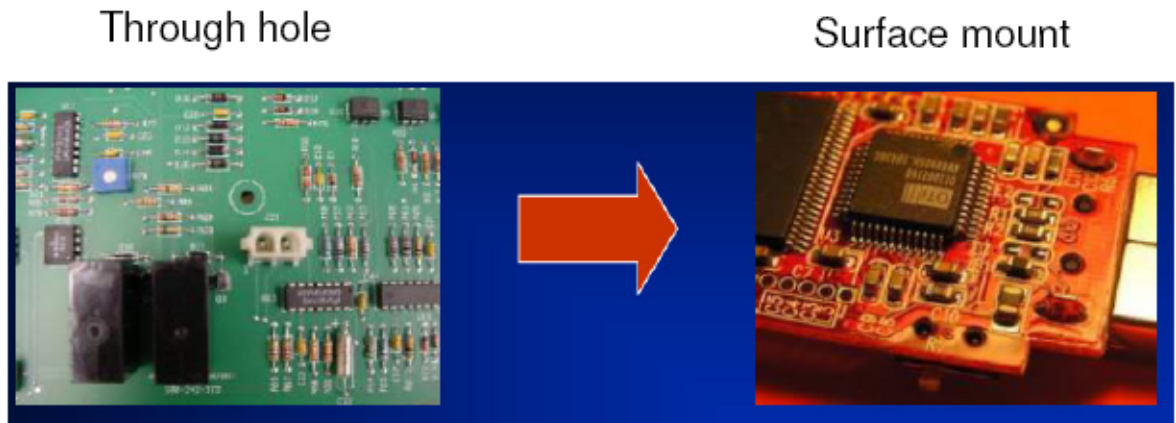


圖 11：電路板裝配的技術趨勢

在工業設施中表面貼裝技術面臨環境的挑戰，在苛刻的化學環境下，特別是那些含有硫化物氣體，可能導致表面黏著元件的腐蝕和最終故障。非常少量的硫化氫(H<sub>2</sub>S)濃度便可能會導致表面貼裝元件的故障。

此外存在於大氣中的硫化氫對銀組件的攻擊會造成稱為“銀晶須”的增長情形，如果“銀晶須”存在太久會形成一種潛在的破壞性短路。圖 12 為銀晶須增長照片。

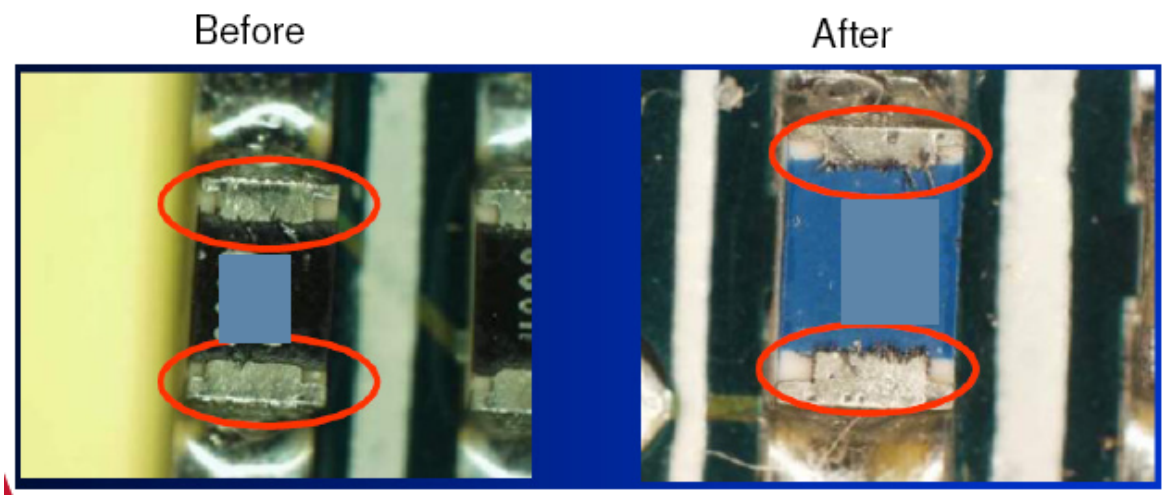


圖 12：銀晶須增長照片

為防止電子產品受環境腐蝕，對策為使用一種具有零溫度影響、無縫填充的塗層工藝，因此熱循環對它沒有任何的影響。這種塗層是無形的，它提供了一個約 1 微米的薄障礙，它的主要作用是改變電路板及組件的表面能量，使它們不受潮濕及污染所侵蝕。這種材料越來越廣泛地應用在包括軍事用途的高階電子產品。

IEC 標準中有關惡劣環境測試項目如下：

EN 60068-2-52 鹽霧 (7 天)

EN 60068-2-43 硫化氫(21 天)

EN 60068-2-42 二氧化硫 (21 天)

EN 60068-2-60 method 3, 混合氣體 (21 天)

在台電的數位電驛使用經驗中漸漸累積數位電驛各種故障情形，並追究其根本肇因，例如 IC 元件本身缺陷或封裝瑕疵等，歸屬硬體故障者與製程技術及管控有密切關係，因此應思考要求數位電驛產品通過適當的惡劣環境測試標準來確保硬體品質。

#### 四、SIEMENS 公司數位多功能電驛技術研習

SIEMENS 公司在電驛產品的發展歷經傳統電磁式、固態電子類比式及微處理機數位式各個世代如圖 13，是具有悠久歷史的大廠，各種電力設備保護原理的理論基礎完整。SIEMENS 電驛產品稱為 SIPROTEC，其中輸電線路差流電驛之雙端演算故障定位功能以及分散式匯流排電驛之安全可靠設計考量令人印象深刻。

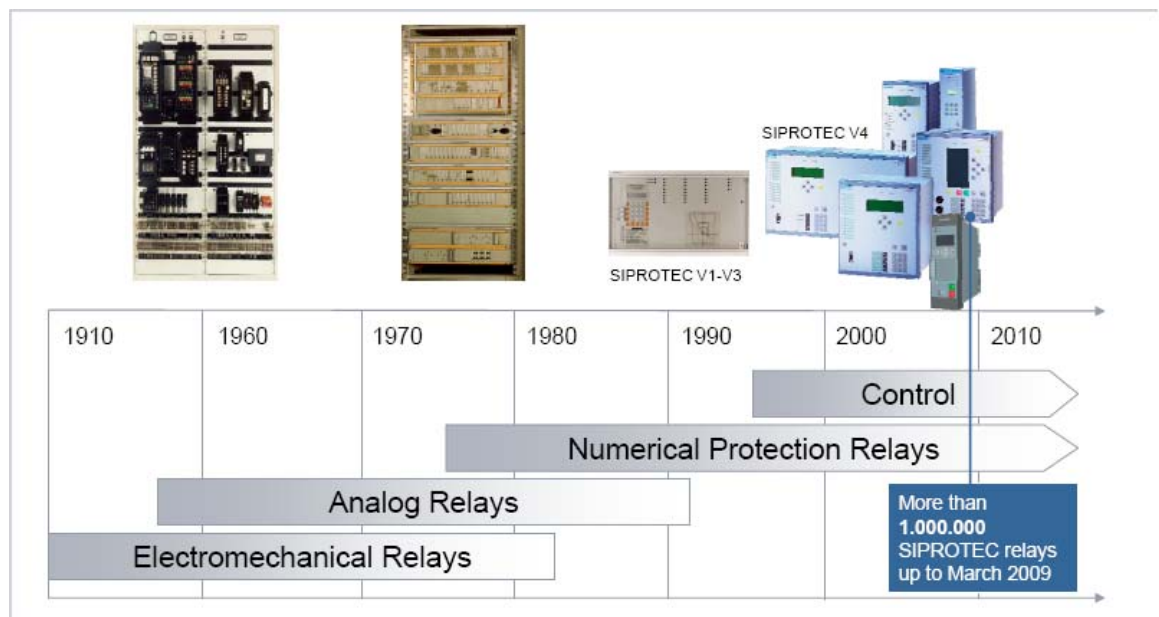


圖 13：SIEMENS 電驛產品發展歷程

#### 4.1 架空及地下電纜混合線路之故障定位線路

線路數位電驛一般利用線路阻抗大小的原理來判斷故障位置(Fault Location)，演算得到故障定位資訊可供輸電線路維護人員能在最短的時間內找到故障點及原因進而排除故障因素，恢復電力系統的正常供電。

圖 14 是阻抗演算線路故障定位的等效電路，可知線路故障定位之影響因素包含電源阻抗、故障前負載電流、故障阻抗、共模故障電阻、雙端匯入電流等。一般

數位電驛採用單端演算法，受限於上述影響因素，實際應用上相間故障準確度較高，接地故障則因接地故障阻抗變數而大大影響準確度，而線路事故多以單相接地故障佔大部份，因此減低了故障定位功能實用性。

台電公司供電處在數位電驛故障定位資訊的運用開發有很成功的經驗[4]，在 345kV 系統線路輸電線路測距系統將線路兩端電驛的故障定位值(單端演算)經過修正計算後，得到約等同於雙端演算的準確度，為縮短線路故障巡查時間提供極大的幫助。至於 161kV 系統因為三端子線路、架空地下電纜混合線徑及分歧負載等線路結構因素，使得數位電驛故障定位功能難以發揮。供電處仍透過綜研所委託研究採用離線故障波形比對分析等方法，試圖開發出應用價值。

雙端演算線路故障定位技術，在含電力潮流、雙端匯入及高故障電阻等情形下仍可得到正確之故障定位，故障定位精確度不受接地阻抗補償設定不正確之影響，此方法在平行共架線影響下仍維持穩定，故不須平行共架補償，如將線路非對稱列入考量可進一步提高準確度。在線路差流電驛中同樣利用保護通信得到遠端電壓、電流資訊可以方便實現雙端演算技術，電驛在故障清除的同時，可立即透過 SCADA 通信將準確的故障距離呈現在值班人員面前，這是最為簡便的運轉應用方式。

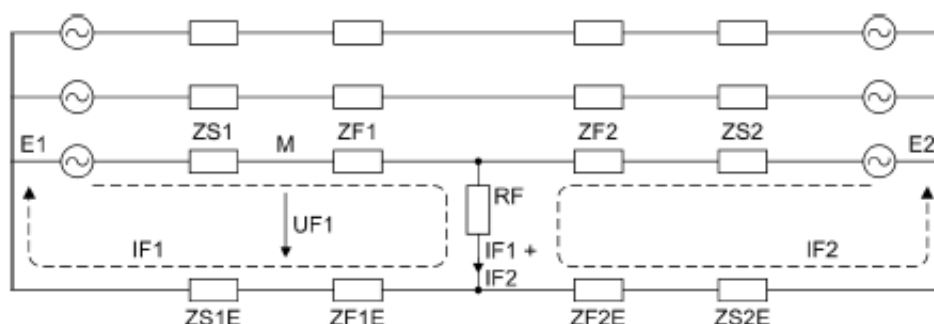


Figure 2-173 Fault currents and voltages on double-end fed lines

M	: Measuring point
E1, E2	: Source voltage (EMF)
IF1, IF2	: Partial fault currents
IF1 + IF2	: Total fault current
UF1	: Fault voltage at the measuring point
RF	: Common fault resistance
ZF1, ZF2	: Fault impedances
ZF1E, ZF2E	: Earth fault impedances
ZS1, ZS2	: Source impedances
ZS1E, ZS2E	: Earth source impedances

圖 14：線路故障定位等效電路

SIEMENS 製 7SD52/7SD53 線路差流電驛的故障定位功能如下：

- 雙端線路故障定位演算
- 架空地下電纜混合線路故障測距，可三段混合線徑計算
- 當欠缺遠端電壓、電流時(例如加壓時或保護通信中斷)，仍有單端故障測距



### 演算結果

- 三端子線路可下載電壓、電流波形後離線演算

圖 15 為 7SD52/7SD53 電驛雙端線路故障定位演算使用的原理簡圖，在雙端電壓、電流已知的條件下，線路上任何故障位置的電壓可以計算出來，且由左邊及由右邊計算的結果應該一致，也就是說故障點就在左邊及右邊兩條電壓特性曲線的交會處。

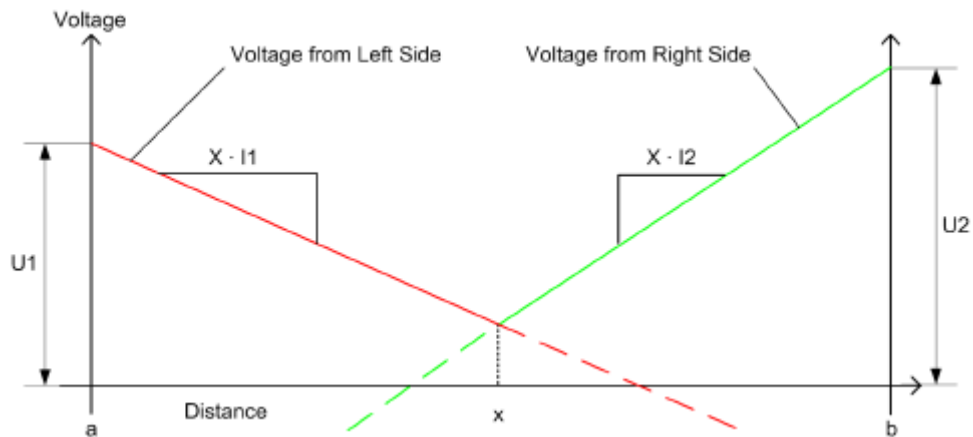


圖 15：7SD52/7SD53 電驛雙端線路故障定位演算簡化原理

SIPROTEC 推薦之 IED 通信埠規劃如圖 16，同樣區分 SCADA 用途及保護工程用途，事實上這是所有電驛廠家共同的通信功能設計。電力公司可以視需要充份應用 IED 通信功能來實現自動化或是提高事故判斷處理效能。

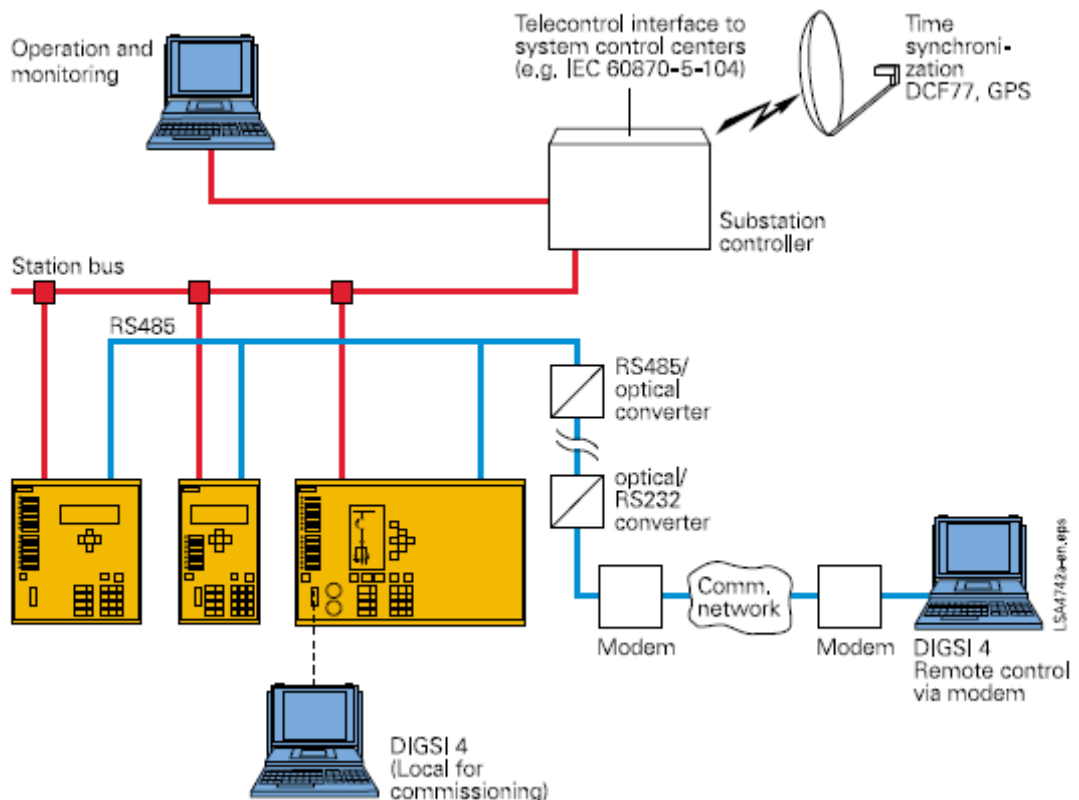


圖 16：SIPROTEC 保護電驛系統通信應用

圖 17 是 7SD52/7SD53 電驛的保護、量測、紀錄、通信等功能簡圖，輸電線路所需的差流、測距、方向性、T 接負載、復閉、故障定位、斷路器失靈等等保護有關功能一應俱全。

ANSI		ANSI	
(87L)	$\Delta I$ for lines / cables	(50HS)	Instantaneous high-current tripping (switch-onto-fault)
(87T)	$\Delta I$ for lines / cables with transformers	(59)(27)	Overtoltage/undervoltage protection
(87N)	Low impedance restricted earth-fault protection for transformers	(81O/U)	Over/underfrequency protection
(85)	Phase-selective intertrip, remote trip	(25)	Synchro-check
(86)	Lockout function	(79)	Single or three-pole auto-reclosure with new adaptive technology
(21)(21N)	Distance protection	(49)	Overload protection
(FL)	Fault locator	(50BF)	Breaker failure protection
(68)(68T)	Power swing detection/tripping	(74TC)	Trip circuit supervision
(85/21)	Teleprotection for distance protection	(50-STUB)	STUB bus protection
(27WI)	Weak-infeed protection		
(50N)(51N)(67N)	Directional earth(ground)-fault protection		
(85/67N)	Teleprotection for earth (ground)-fault protection		
(50)(50N)(51)(51N)	Three-stage overcurrent protection		

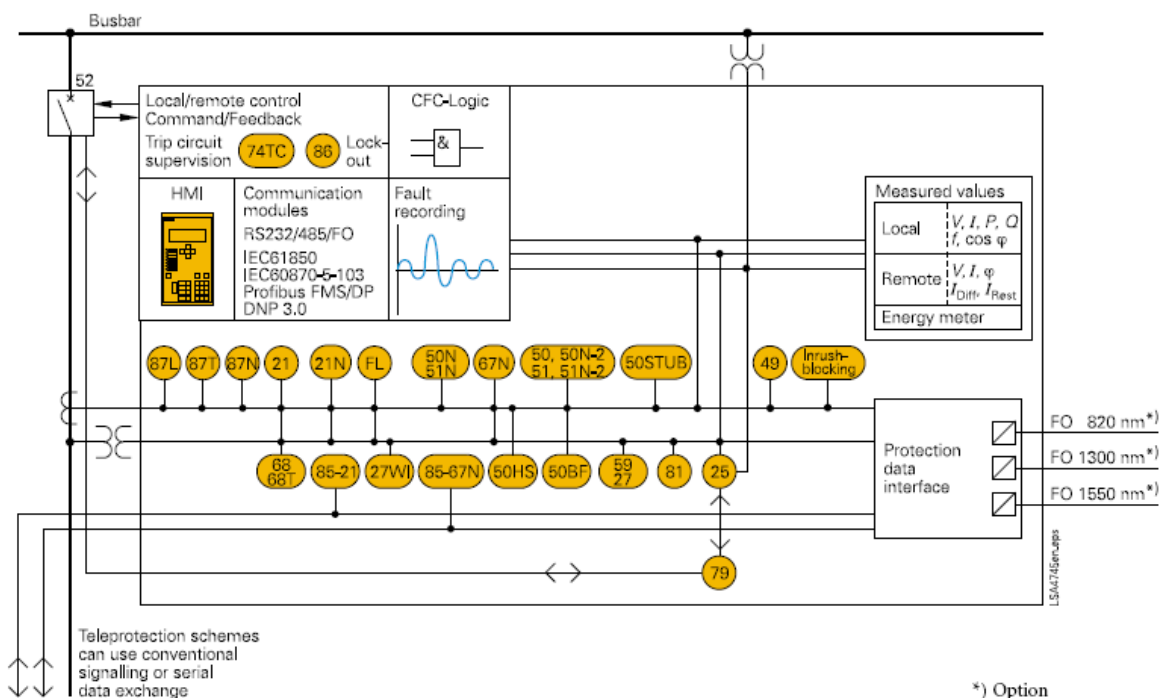


圖 17：7SD52/7SD53 電驛功能圖

將單一電力設備(如線路)的各種保護功能集合在同一只數位電驛也是各電驛廠家激烈競爭下的產品發展趨勢，在應用上只要使用兩只電驛配置便可達到電力設備全功能及兼具可靠性的優點。台電公司在電驛規劃上對於線路、變壓器、發電機等重要保護已採用複式多功能電驛的設計原則，可說是符合世界電驛技術的發展潮流，從另一方面看來，用戶的需求也是趨使技術開發的動力來源。

## 4.2 差流電驛保護靈敏度 RTDS 測試

電驛是電力系統確保安全穩定各環節中面對電力設備故障的第一道防線，由於電力系統的組成存在大量非線性元件，例如發電機、變壓器、線路、馬達等裝置以及斷路器操作，電力系統的故障干擾響應往往具多元性及時變性，而電驛則需在面對這些動態響應過程下正確的作出跳脫與否的判斷。

電驛廠家在產品研發過程中利用系統即時系統模擬設備來模擬電力系統的暫態並進行電驛動態試驗是必要的驗證過程。本次實習過程 AREVA 及 SIEMENS 公司均採用加拿大 RTDS 公司的即時數位模擬器設備來做電驛動態試驗及系統閉回路試驗。

電力系統即時數位模擬器(RTDS)之四大應用領域如圖 18 所示，其中電驛系統閉回路動態試驗是確保驗證電驛安全性的重要應用項目，除了電驛廠家研發產品驗證需要之外，各電力系統組成方式不同，動態現象及事故引發之暫態響應也不同，依各廠家數位電驛使用經驗，部份存在有「水土不服」情形，此時 RTDS 模擬是發掘原因並要求電驛原廠根本改善的利器之一。

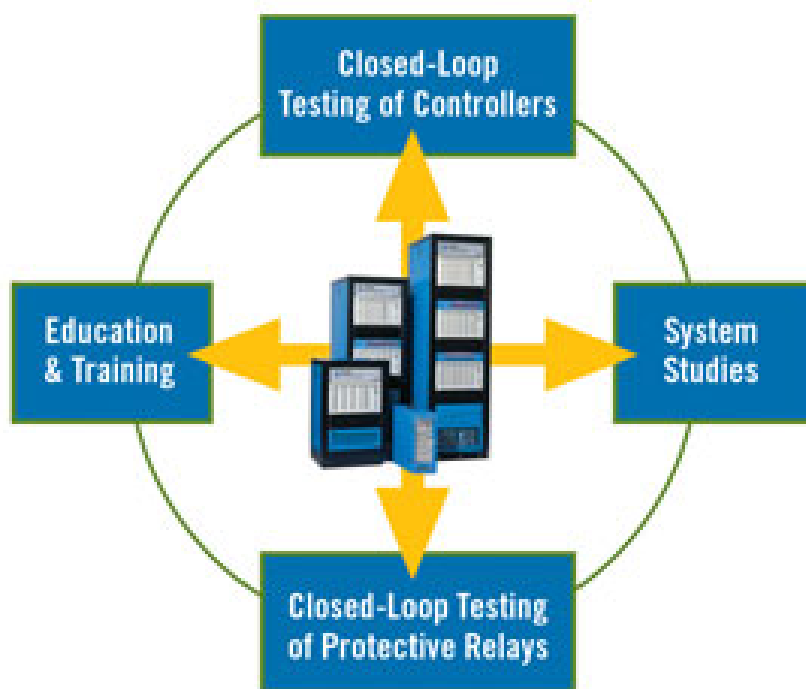


圖 18：電力系統即時數位模擬器(RTDS)之應用領域

電驛系統閉回路動態試驗如圖 19 所示，RTDS 模擬之系統設備故障動態結果可以經由信號放大器產生故障電壓、電流輸出，將此故障電壓、電流接至電驛來測試保護性能，電驛的跳脫判斷輸出回授到 RTDS 去跳脫對應的斷路器，使 RTDS 可以繼續模擬事故清除後的系統電力潮流變化。

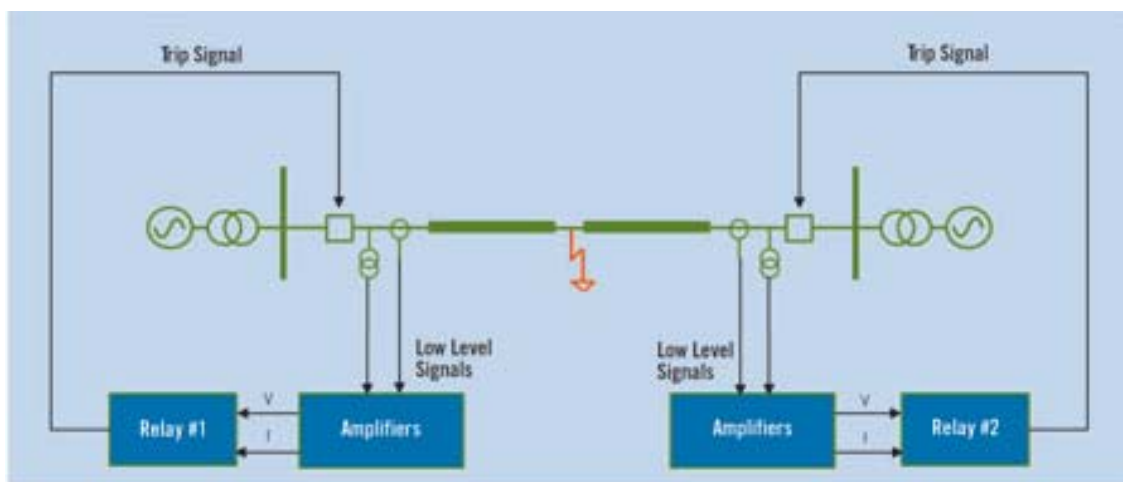


圖 19：RTDS 保護電驛閉回路系統測試

圖 20 是 7SD52 線路差流電驛之 RTDS 保護靈敏度測試結果之一，假設 380kV 電壓 200 公里長的重載線路中點處發生 B 相高阻抗接地故障，故障電阻為 300 歐姆，由線路兩端差流電驛之波形紀錄可知，因高阻抗接地之故兩端之故障電壓降非常輕微，在故障電流變化部份，本端電流僅較負載電流增大約 1/3，對方端電流則較負載電流反而減少約 1/3，在此故障情形下，電驛仍可正確判斷動作。

因為不同電驛廠家標榜其電驛之保護原理、元件名稱、性能及設定方式均各有春秋，往往難以在同一標準下評估高下，由上述試驗具體結果，可以思考對於各廠家電驛性能的要求，是否考慮不拘泥於保護元件之名稱，代之以具體之保護靈敏度測試結果來衡量一致的保護性能需求。

台電公司在電驛數位化的浪潮下，應值得投入電驛動態試驗的發展，例如指定系統上曾發生之特別案例作為性能要求的驗證或是定型測試，亦可作為廠家技術規格的動態驗證來確保電驛性能。

Test Nr. : 2036

Test Cover Sheet

Date: 23.06.08

Time: 13:36:06

**Test Description**

High resistive faults on protected line  
Permanent resistive faults

Very long line 200 km with charge current compensation

Fault Position F1 50,00%  
Fault Type F1 BG  
R1 [ohm] 300  
Angle [degree] 0  
Reference

Fault Position F2  
Fault Type F2  
R2 [ohm]  
Delay [ms]

	left	right
Trip Time L123	30.2 ms	29.8 ms
I diff > Time	30.1 ms	29.3 ms
I diff >>Time	-- ms	-- ms

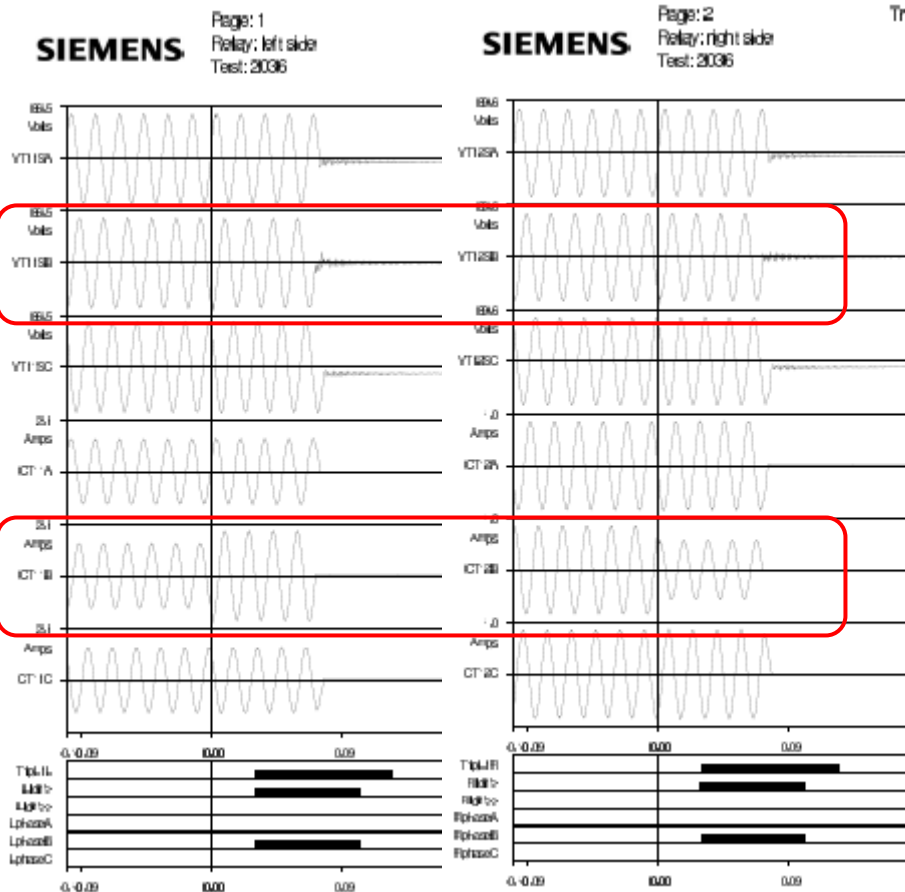


圖 20 : 7SD52 電驛 RTDS 保護靈敏度測試

### 4.3 參觀紐倫堡市 N-ERGIE 電力公司 120kV 配電變電所

本次行程 SIEMENS 公司安排參觀位於德國紐倫堡市郊 N-ERGIE 電力公司的一所 120kV 配電變電所。圖 21 為該變電所 120kV 系統單線圖，它是一個屋外式 VCB 斷路器設備的傳統變電所，有兩回 120kV 輸電線路及兩台 40MVA 變壓器，開關場設備特殊之處為在線路末端設置有限流電抗器，其中壓配電線路為非接地系統。

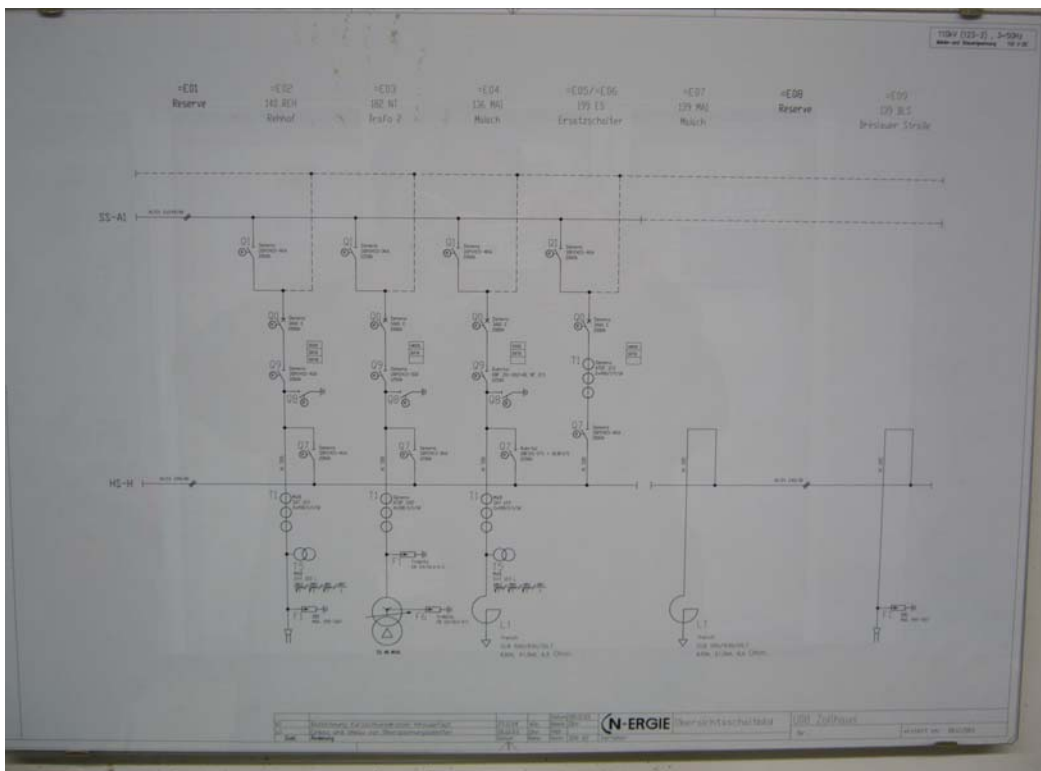


圖 21：N-ERGIE 電力公司的一所 120kV 配電變電所單線圖

該變電所在三年前進行全所的保護及自動化設備更新，輸電及配電系統全部採用 IED 方案實現保護及自動化功能。120 kV 之保護及自動化 IED 設備機櫃如圖 22 所示，以兩只 IED 分別作為線路及變壓器的主保護及後衛保護，使用 IEC-61850 通信方式作為自動化監控，匯流排保護則是運用 IEC-61850 之 GOOSE Message 來完成，閉鎖(Lock out)電驛的功能以 IED 動作接點保持來實現。雖然沒有控制盤，可以先將本地/遠方(L/R)開關切換後，透過 IED 面板選擇各斷路器及開關設備來進行本地投入/啓斷操作，在機櫃上設有傳統式故障掉牌指示器作為斷路器警報之用。這樣的設計使得盤面硬線接線(Hardwiring)最簡化，透過 IED 通信實現整個變電所的保護及自動化功能。

這種設計在 IED 維護上需要深入學習所有應用功能邏輯，也就是較高的技術門檻，需投入較多且深入的人員訓練來掌握新技術運用，在國外與 IED 設備沒有語言及設計溝通上的屏障，所以開始使用在輸電等級。

該變電所中壓 IED 電驛設計有維護測試開關如圖 23，據 N-ERGIE 電力公司人員表示該公司的 IED 電驛維護原則是輸電等級之電壓電流注入試驗(Injection test)必定是停電作業，因此盤面上不設計測試開關；配電等級則允許送電中進行注入試驗，所以設計測試開關。



圖 22：120kV IED 保護及自動化機櫃

當測試開關轉至維護位置時，會將電壓、電流、跳脫及警報回路隔開，然後由電驛試驗儀器專用接頭插入這具測試開關便可方便地進行活電下之電驛功能測試，需要進行跳脫試驗時，按下試驗按鍵便可接通跳脫回路，方便試驗。



圖 23：中壓 IED 電驛測試開關

配電線路的停電轉供不易且一般需要複雜長時的操作程序，當要進行全所配電 IED 試驗時，這種測試開關設計可以縮短活電測試時間，大大的簡化測試程序並確保測試過程的安全性。台電公司配電線路 IED 的測試便常遇停電轉供困難，在無測試開關下進行活電測試需以拆線方式隔離跳脫及警報接點並於測試完成後復原，這是一個藝高人膽大極具高風險的過程，稍有不甚便會造成意外跳脫，因此測試開關的設計頗具參考價值。

## 五、電驛技術應用研討

在出國執行任務之前，針對台電公司在設備及系統保護方面曾發生的一些問題或尚待累積之運用經驗議題，與原廠專業人員交流，利用此機會收集國外資料並與台電系統之實際需要進行分析比較。

### 5.1 輸電線路復閉及特殊保護

#### 自動復閉

架空輸電線路復閉功能可確保供電連續性，運用多相復閉或單相復閉技術則有助於維持系統穩定及同步，電驛在系統防禦中是擔任快速隔離故障設備的第一道防線，輸電線路電驛並須具備自動復閉功能，對於大部份的暫時性故障可以使系統在最短時間內回復原來的輸電能力。

英國國家電網(NG)認為英國的電網非常強健，所以輸電線路採用三相復閉方式，而且復閉時間(Dead Time)及重置時間(Reclaim Time)設定原則與台電公司有很大不同的觀點，兩者比較如表 2。

系統	Dead Time	Reclaim Time	Syn. check
National Grid 400&275kV	10~25s 最長 60s	2~3s 最長 5s	35°
National Grid 132kV	10~25s 最長 60s	2~3s 最長 5s	20°
TPC 345kV	0.5s	30s	20°
TPC 161kV	1s	30s	20°

表 2：英國國家電網與台電輸電線路復閉應用比較

英國國家電網公司使用 Delayed 3 pole auto reclose 方式簡稱 DAR，因為其 BUS 多為 Mesh 結構，在線路復閉應用之主要考量為 CBs、DSs 及 Tap load 等相互協調關係，所以並不要求高速自動復閉速度，故復閉時間在 10~25 秒，重置時間則在 2~3 秒，其超高壓 400kV 系統之同步併聯角度為 35°，是屬於中速復閉。但是因為英國北方風力資源豐富故風力發電正快速發展中，而風力發電受氣候影響甚巨所以電網大量電力傳輸之需求日增，未來將開始採用單相復閉方式。



台電公司之線路復閉應用與則大部份電力公司相同，主要考量為維持系統穩定，在超高壓 345kV 系統採用高速自動復閉，復閉時間為 0.5 秒，重置時間為 30 秒，同步檢定角度為 20°，系統上少數線路跳脫後線路兩端相角差會大於 20° 而無法自動併聯復閉，則個案檢討放寬同步檢定角度。

歐陸電力公司主要之復閉方式敘述如下：

通常 100kV 以上輸電線採用單相復閉方式，依故障類別可分為：

- 單相接地故障(P-G)：線路事故此類故障約佔80%，其中約80%屬暫時性故障可自動復閉成功，採用單相復閉方式
- 相間短路故障(P-P)：約10%公司會採用單相復閉方式
- 相間短路接地故障(P-P-G)：約40%公司採用三相跳脫(3 pole Trip)復閉方式
- 三相短路或三相短路接地故障(P-P-P/P-P-P-G)：不復閉

輸電線路單相復閉及多相復閉方式是維持系統穩定度重要的一環，單相復閉以歐洲及加拿大等地區應用較多，多相復閉則為日本電力公司較具使用經驗，台電以往使用三相快速復閉方式，96 年 345kV 大潭~龍潭同塔雙回線採用來自東京電力建議的多相復閉技術，對於是否採用 M2 復閉模式，發電處及大潭電廠方面基於機組安全考量採取保留態度，未來的規劃則採行單相加三相復閉方式。

日本中部電力公司持續研發多相復閉應用，如圖 24 在 500kV 及 275kV 同塔雙回線採用快速復閉與中速復閉搭配，因而具有下列性能：

- 各線單相接地故障時進行快速復閉
- 本線相間以上故障且相鄰線三相健全時進行中速復閉
- 兩線分別相間以上故障時不復閉

故障類型		1Φ		2Φ				3Φ												
		1 LG	2 LG	2 LG	3 LG	4 LG	3 LG	4 LG	5 LG	6 LG										
500kV 275kV	故障遮斷	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
	快速復閉	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
	中速復閉	-	-	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
154kV	故障遮斷 1	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
	快速復閉 1	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
	故障遮斷 2	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○
	快速復閉 2	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○	● ○

圖 24：中部電力公司現行復閉方式

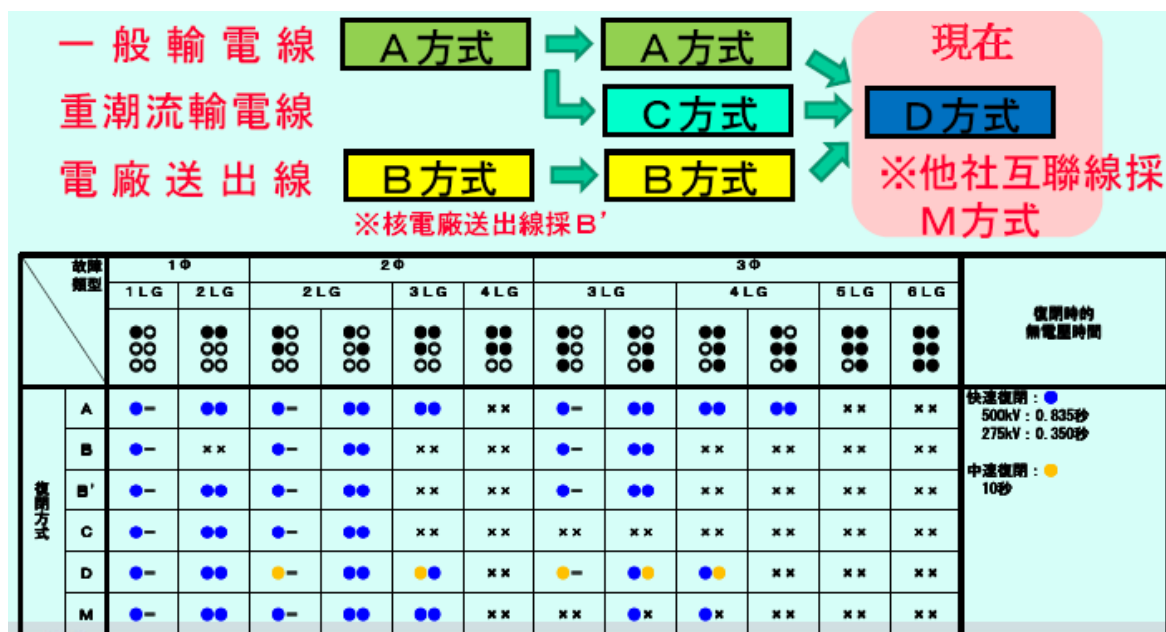


圖 25：中部電力公司復閉方式演變

由圖 25 可知中部電力對於復閉方式應用的演變過程，以往採用快速多相復閉，但是將輸電線區分為一般、重潮流及電廠送出等三類型而有不同之復閉模式，其中一般輸電線即採用 M2 模式(不同之 2 相以上健全條件)，電廠送出線即採用 M3 模式(不同之 3 相健全條件)，核電廠送出線則採用 M3 加上兩線同相故障(系統上屬單相接地故障)時 M2 之方式，重潮流輸電線則限縮復閉條件在 2 相 2 線以內故障。現今應用則不再區分線路類型均採用前述之快速復閉與中速復閉搭配方式。

### 特殊保護

特殊保護系統(SPS)是在發生嚴重大擾動情形下確保電力系統穩定的第二道防線，基本控制原理如圖 26 所示，當重載輸電線路發生嚴重事故跳脫後，系統輸電能力下降，發電機組功率角電力持續增大到超過 180° 形成失步，可能引起不易預期之發電機跳脫等連鎖反應，經由 SPS 動作高速跳脫部份機組或卸載等控制策略，可以使系統經穩定擺動後回復穩定而避免趨向失步。

因各電力系統組成不同穩定度問題也各異，所以 SPS 設備大多為客製化系統，設備本質上可算類似 SCADA，目前並無一致之技術標準，大部份電驛廠家對電力公司 SPS 之技術應用了解不多，目前有參加台灣電驛市場的大廠家，包括美系 SEL、GE Multilin 及歐系 ABB、SIEMENS、AREVA 等並無專用產品來實現特殊保護系統。這些廠商都有發展同步相量量測(PMU)產品，但是 PMUs 系統的發展目前多應用在廣域系統監視紀錄方面，至於 SPS 應用方面則尚未成熟仍有待觀察。

日本電驛廠家在 SPS(日本稱系統安定化技術)設備及技術方面比較有獨到之處，例如中部電力公司之暫態穩定度控制系統 TSC(Transient Stability Control System)，系統架構如圖 27 所示。設備分為 TSC-P(P：Parent，中央演算裝置)、TSC-C

(C : Child , 子局裝置)及 TSC-T (T : Transfer Trip , 轉送遮斷裝置)等三種組合而成。

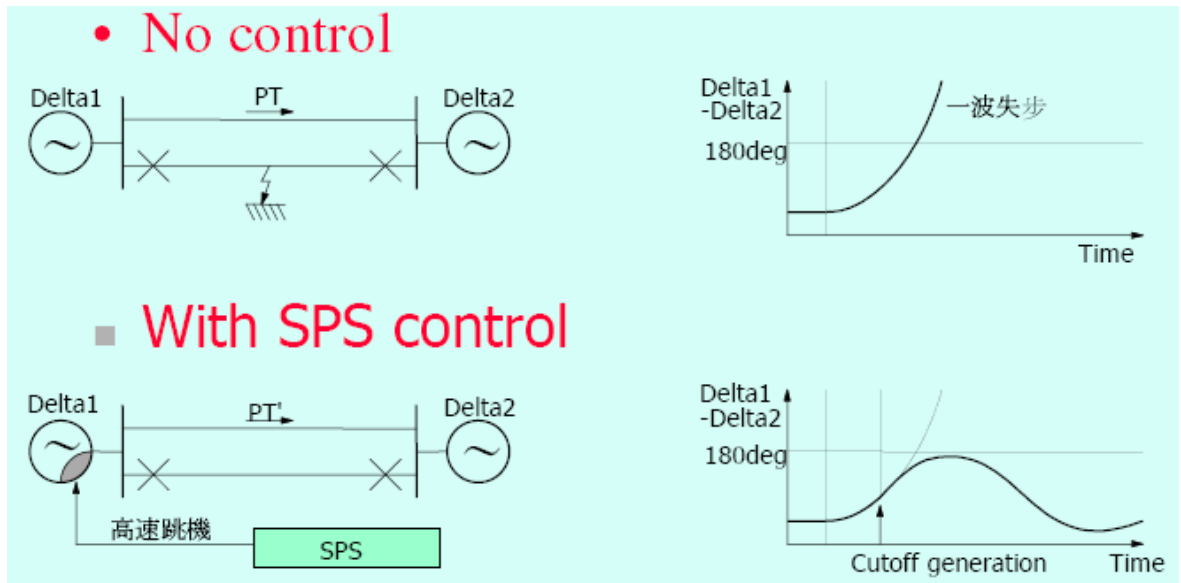


圖 26：特殊保護系統控制基本原理

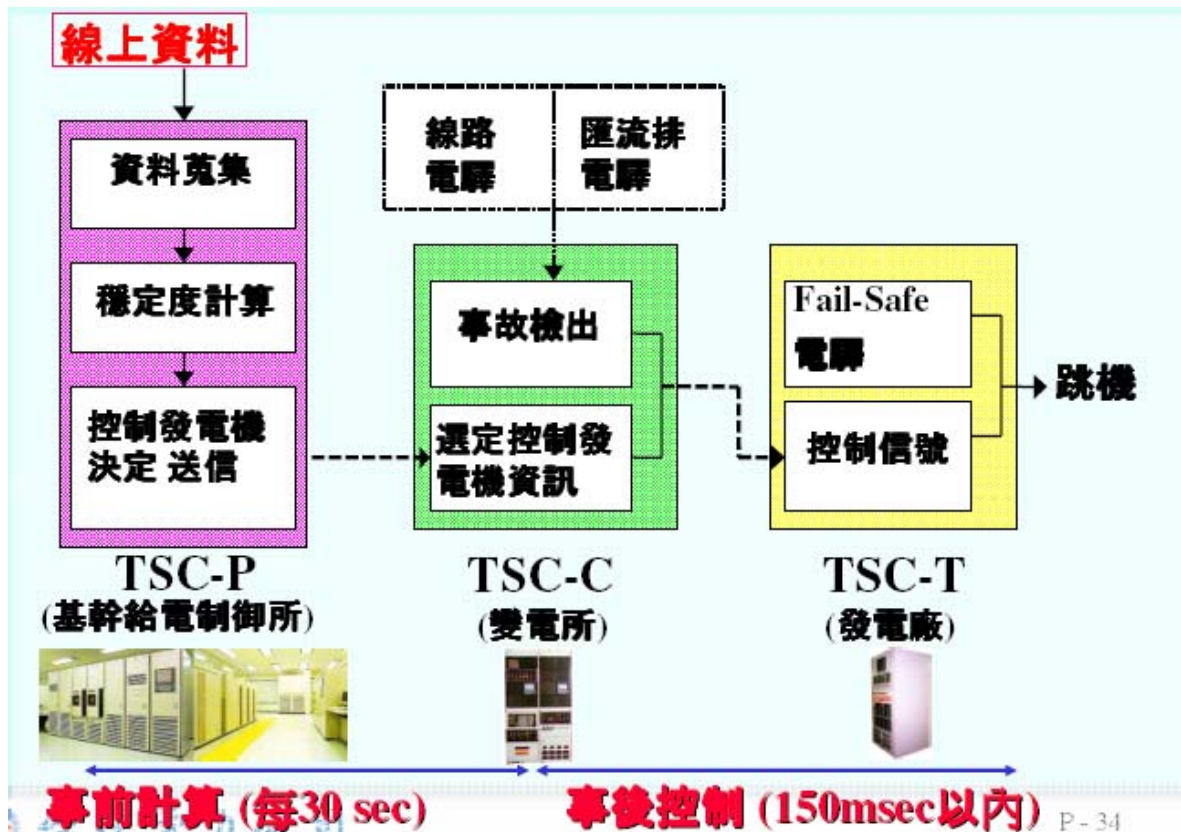


圖 27：中部電力公司 TSC 系統架構

TSC 是一個線上系統穩定度計算決策的控制系統，控制方法為跳機，速度要求是事故後 150ms 之內。系統之基本運作方式為：

1. TSC-P：由系統情報網收集線上系統運轉資料(P,Q,V, CB ON/OFF)，線上詳細穩定度計算(30 秒周期)後選定跳機控制對象，並將選定信號送至 TSC-C

2. TSC-C：故障事件檢出並有符合之跳機選定時，將跳機命令送至 TSC-T
  3. TSC-T：有故障檢出( $\Delta P$ , Fail-Safe)並且收到跳機命令後執行跳機控制
- 在系統可靠性方面，採用不同廠家(A系：TOSHIBA，B系：HITACHI)設備，分別以不同之機種、理論所構成，並互相核對計算結果，高度確保精確度與可靠度。

TSC-T(轉送遮斷裝置)跳機控制有 $\Delta P$ 電驛作為故障檢出，Fail-Safe(失誤自趨鞍全)的設計非常值得參考，在系統分析時需要思考以何種電氣量作為故障檢出?須計算多少量可充份代表即將有穩定度問題。

## 5.2 數位匯流排保護電驛應用

傳統式匯流排保護電驛主要可區分為高阻抗電驛及低阻抗電驛兩種保護方式，高阻抗電驛可以提供正確、快速、有效又低成本的匯流排保護，但是難以應用在較複雜的匯流排架構，低阻抗電驛可以靈活選擇匯流排保護區間，但是很難兼顧保護靈敏性以及在外故障使比流器飽和情況下仍能維持保護系統之穩定性。比流器飽和現象是影響差動電驛保護系統正確性的最重要因素，低阻抗匯流排差動電驛系統為了避免因比流器飽和導致誤動作，一般必須採取適當延時以防止匯流排外部故障時大量故障電流以及直流偏移成份(DC Offset)引起比流器飽和所產生的誤差電流使電驛動作跳脫，因而犧牲了保護速度性。高阻抗匯流排差動電驛原理主要應用於單匯流排(Single Bus)或一個半斷路器匯流排(Breaker and One-half Bus)之保護，於匯流排外部故障時不會因比流器發生飽和而誤動作，於匯流排內部故障時又具有高保護靈敏度及快速動作之優越性能。

匯流排保護必須要兼顧快速及正確兩大要求。匯流排保護系統最主要的問題在於系統上所使用比流器會因大故障電流、直流偏移成份及剩磁等因素而有不同程度的飽和，差動保護則是最常用的匯流排保護方式，當比流器發生不同程度的飽和現象時，會於差動保護系統上產生誤差電流，嚴重時會導致匯流排保護系統誤動作造成不必要的停電。簡而言之，匯流排保護系統必須在最嚴重的外部故障下不誤動作，且在輕微的內部故障下能有足夠的動作靈敏度，而實務上任何外部故障下匯流排電驛不誤動作是最受重視的安全性問題。

數位式匯流排電驛運用克希荷夫電流原理並大多以低阻抗保護方式為主，對於CT飽和因素是以偵測到飽和現象後自動閉鎖保護的方式來解決。比流器的飽和現象本質上是鐵心的磁通飽和所致，依據導致磁通飽和的因素來源可以區分為交流飽和(AC Saturation)、暫態飽和(Transient Saturation)及殘磁(Residual Flux)等三方面。故障發生時的大電流及暫態響應可能造成比流器飽和，二次側輸出電流失真波形如圖28。

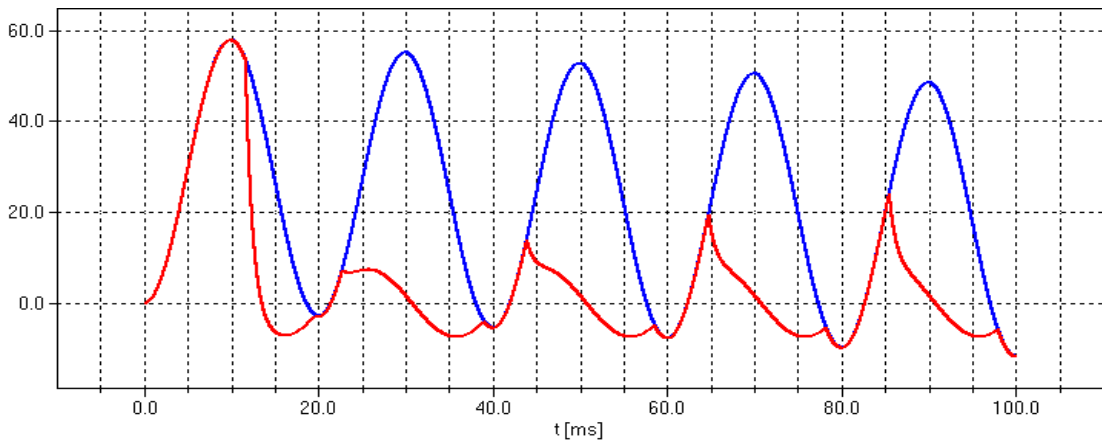


圖28：比流器飽和電流失真波形

在保護電驛的設計與應用上比流器的飽和時間是很重要的考量因素，飽和時間係指磁通飽和而使比流器二次側輸出電流開始失真的時間，觀察二次側輸出電流波形可知每一周波中都有部份時間仍維持線性輸出。數位式匯流排電驛便是利用飽和時間及飽和波形原理來偵測比流器飽和，在差動保護特性如圖29中A是故障前運轉點，事故發生時穩定電流(各電流絕對值和)增大使運轉點變為B，比流器開始飽和後差電流(各電流相量和)出現並增大使運轉點變為C，而每一周波中都有部份波形是不失真的！所以運轉點又會回到A，如此每周波形成A→B→C循環，可用來判斷出現比流器飽和，進而閉鎖匯流排差動保護，避免因比流器飽和而跳脫。

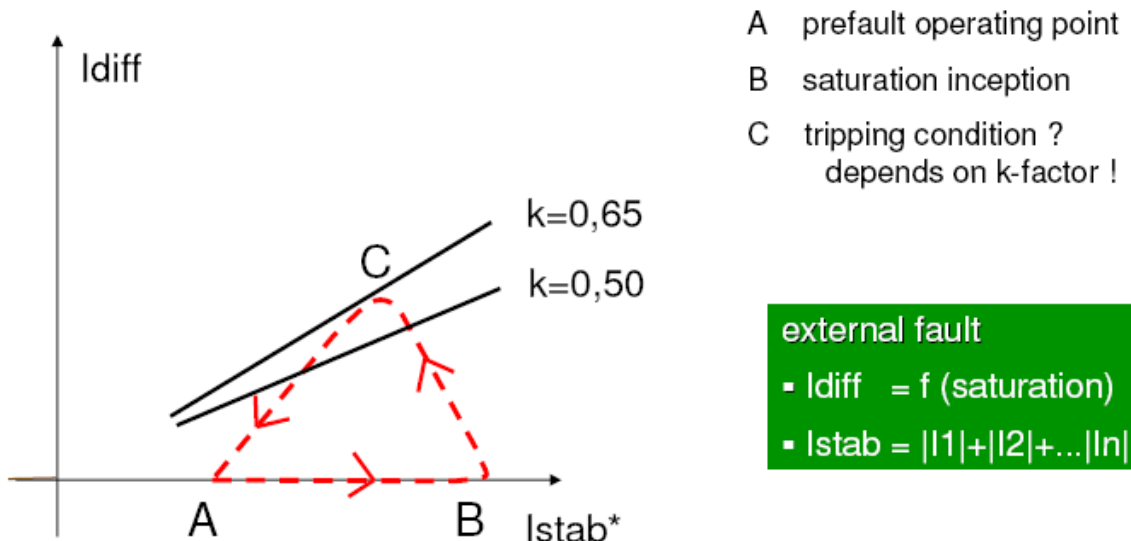


圖29：比流器飽和判斷

其它確保安全性的方法例如SIEMENS製7SS52分散式匯流排電驛具有3選3跳脫控制(3 out of 3)如圖30將差動保護區的計算分為奇數取樣、偶數取樣及全部取樣等3個獨立處理器元件分別計算，必須3個運算元件均判斷該保護區故障才會跳脫斷路器。如此設計可防止任一元件故障而導致跳脫，有效提昇保護安全性。

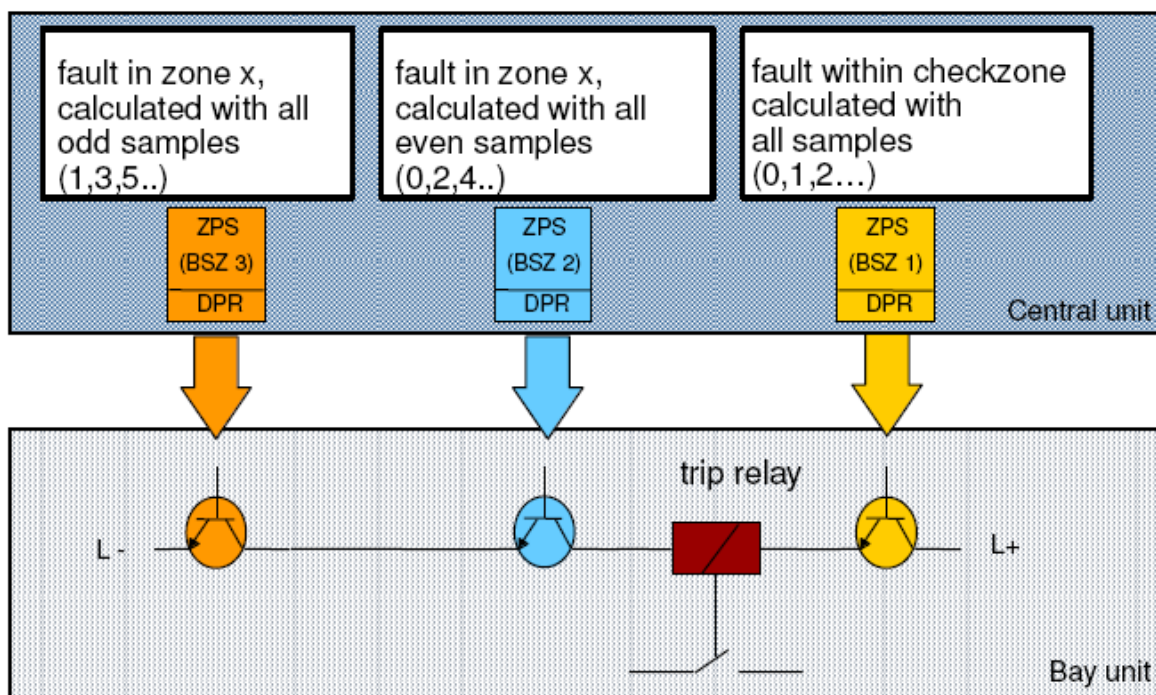


圖30：SIEMENS製7SS52分散式匯流排電驛3選3跳脫控制

當故障發生在電壓相角 $0^\circ$  或 $180^\circ$  時因為接近於完全直流偏移之故比流器最易發生飽和；當故障發生在電壓相角 $90^\circ$  或 $270^\circ$  時因為直流偏移成份電流接近為零之故比流器最不易發生飽和。在過去的經驗中，設備故障大部份為絕緣崩潰，所以第一次外部故障時匯流排保護多可維持正確不動作，但是在試加壓投入故障時，由於斷路器投入時之電壓角度為隨機，所以往往有頗大之直流偏移成份將比流器推向飽和，並因而導致匯流排差動電驛於此時動作跳脫。傳統式低阻抗匯流排差動電驛系統採取適當延時以防止匯流排外部故障時大量故障電流以及直流偏移成份(DC Offset)引起比流器飽和所產生的誤差電流而使電驛動作跳脫。

數位式低阻抗匯流排電驛雖具有比流器飽和偵測閉鎖邏輯，但是尚待累積使用經驗，而以機率分析而言，一般運轉情形下線路及其它設備發生故障的機率(包含試加壓投入故障)應遠大於匯流排發生故障的機率，所以在符合系統臨界清除時間(CCT)之條件下採取適當延時是相對安全的作法。但是當進行匯流排操作或開關設備停電工作之運轉情形下，是匯流排發生故障的高風險時期，此時儘可能快速動作是有助於維持系統穩定，減輕故障衝擊。數位電驛有多組設定群組應用，可以研究不同運轉情境之適應性保護可行性。

### 5.3 輸電保護比壓器配置及加壓保護

國外輸電線保護多使用線路側比壓器line VT，台電公司161kV變電所雙匯流排之輸電線保護則使用匯流排側比壓器bus VT，因此測距電驛之運用須注意bus VT二次回

路因施工期間或是電壓選擇開關切換時所產生之電壓擾動及電壓瞬斷而造成不必要的動作跳脫。

依台電公司使用經驗，345kV系統大多是一個半斷路器匯流排使用line VT，因此線路測距電驛運用情形良好，161kV線路測距電驛則須有過電流監視或擾動期間閉鎖等方式來避免動作。

數位式測距電驛設計有欠電壓閉鎖邏輯(一般電驛稱為Loss of Potential, LOP邏輯或稱為VTF, VT Failure)，用來偵測諸如VT Fuse燒損等VT回路異常現象，以利及時閉鎖電壓相關元件如21測距元件或67方向性元件。該邏輯之技術要點為如何區別系統故障與VT回路異常。

以TOSHIBA製GRZ100測距電驛之欠電壓閉鎖邏輯VTFS(VT Failure Supervision)如圖31，說明如下：

GRZ100電驛設計OCD元件(Current change detection，電流變化量大於原廠固定設計值0.5A時，OCD=1)用來區別電壓降是由系統故障所產生或是由VT回路異常所產生。

(a)系統故障：電壓降會伴隨電流變化 → VTF=0 → 21測距元件依保護區間及延時協調判斷是否動作。

(b)VT回路異常：有電壓降而無電流變化 → VTF=1 → 閉鎖電壓相關元件(21測距元件)。

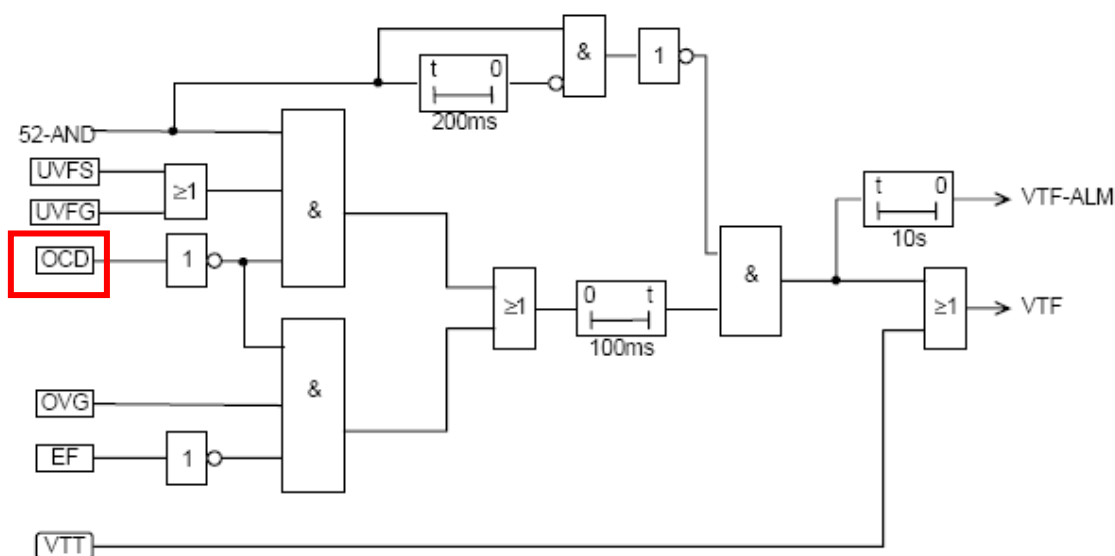


圖31：GRZ100測距電驛之VTFS邏輯

數位式測距電驛設計有加壓快速保護邏輯(一般電驛稱為Switch On To Fault或稱為Close In To Fault)，用來偵測斷路器投入加壓線路前即已存在或是設備加壓後立即引發之故障，可以靈敏地快速動作跳脫隔離故障。因為若使用line VT，在加壓前無電壓輸入供測距電驛建立極化電壓或記憶電壓，所以加壓入故障線路時電驛難以正確判斷故障方向及區間，因此測距電驛設計在此時可利用過電流或第二/第三測距區間偵測作為瞬跳保護。若使用bus VT，雖然故障前有正常電壓供測距電驛建立極化電壓或記憶電壓，但是對於第一區間以外的加壓前故障，若通信輔助保護因通信或其它等因素

未能加速跳脫，則可能須要第二或第三區間延時後才跳脫隔離故障。

據電驛廠家表示歐洲地區對此項功能的運用多是以斷路器(CB)投入命令來啟動偵測，台電公司則以斷路器狀態判斷來啟動偵測，一般測距電驛這兩種啟動功能都會提供由使用者決定啟動方式。

以SEL-311C測距電驛為例，SOTF邏輯如圖32所示，第一種方法為利用CB之52A接點狀態之判斷，在整個CB啓斷期間及CB投入後的短暫期間(例如150ms)是為SOTF啟動(SOTFE, SOTF enable)時機，此時如有過電流現象或測距區間動作允許立即瞬時跳脫，這種方法接線較為單純但是要求52A回路務必正確，如果接點使用或回路出問題，則可能會在CB投入線路送電時SOTF亦為長期啟動中，此時若發生外部故障便會造成多跳。第二種方法為將CB之投入命令(DC Close Bus)引接入電驛，如此當每次CB投入命令出現後的短暫期間是為SOTF啟動時機，這種方法須要增加CB投入命令接線，優點是SOTFE不會因52A回路失敗(接點不良或接線不良)而誤啟動。這兩種運用方法的差異及利弊得失值得納入未來的保護設計考量。

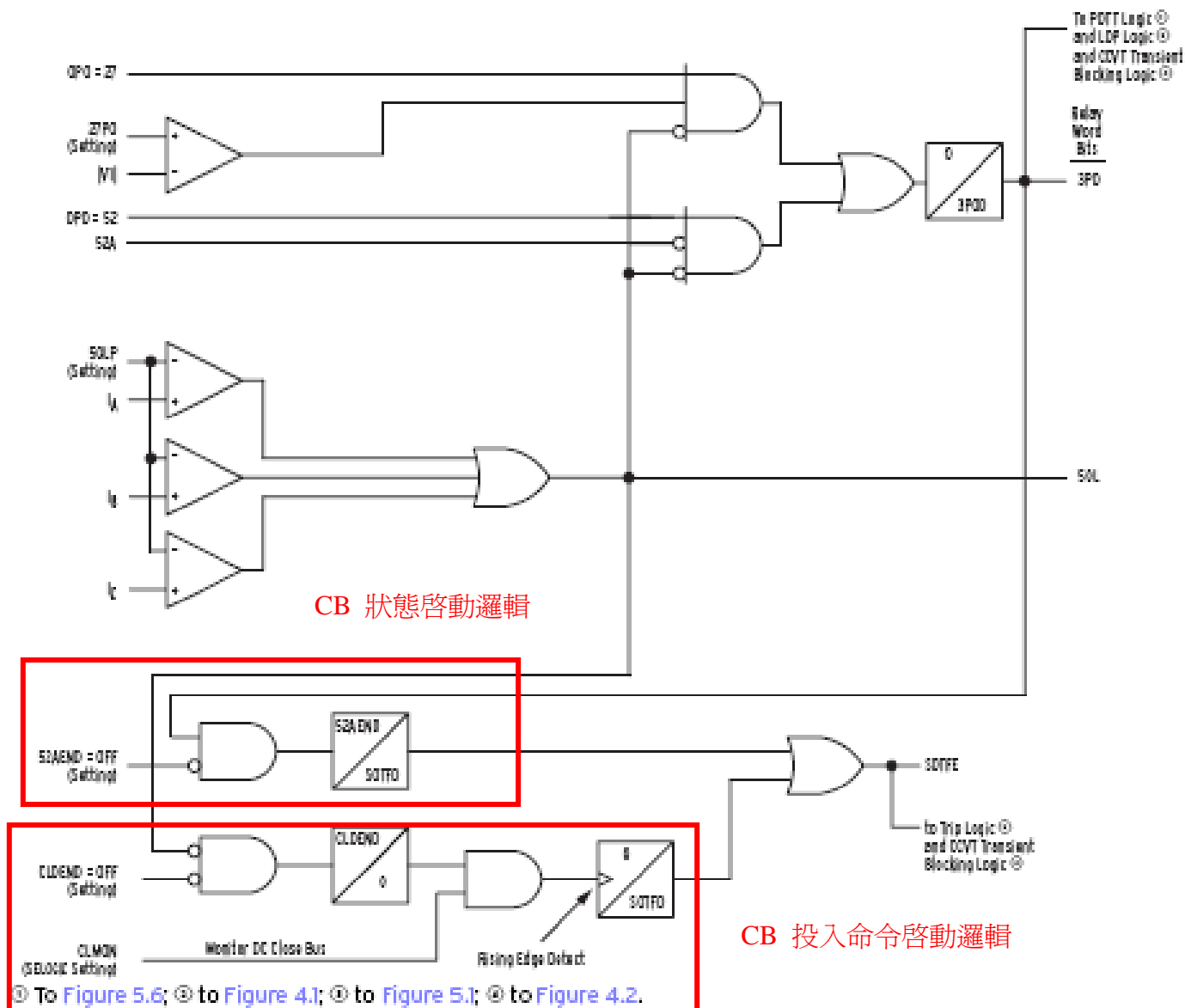


圖32：SEL-311C測距電驛之Switch-Ontp-Fault邏輯



現今保護技術在輸電線路方面而言均是以差流電驛為主保護，多區間測距電驛為後衛保護。差流電驛具有靈敏、快速、分相、不受電力擺動影響等優點，測距電驛則須有電力擺動閉鎖、欠電壓閉鎖及加壓快速保護等重要的保護運用邏輯，不若線路差流電驛之單純好用，但是因為線路差流電驛之優異功能完全建構在可靠的通信電路基礎上，所以線路差流電驛雖是線路保護最重要的主保護角色，但卻也完全無法動搖多區間測距電驛的可靠後衛保護角色，而測距電驛這些保護運用邏輯也常常是容易因回路不良而引起可疑的動作情形，所以電驛工程人員對於測距電驛各項邏輯技術的學習及掌控仍是非常重要的課題。

#### 5.4 變電所自動化 IEC61850 應用

輸電級IED電驛與自動化的連結如圖33，傳統方式使用硬線連接，IED電驛提供保護元件動作之警報接點連接到自動化設備之DI輸入，這種方式僅能提供有限的事務信息，然而電驛中還有諸如故障類別、故障電壓、故障電流、故障定位等重要資訊，可以透過SCADA通信埠傳送到調度中心，使值班人員可以即時且方便地獲得充份的事務資訊，目前最常見的通信協定有DNP3 L2及IEC 61850。

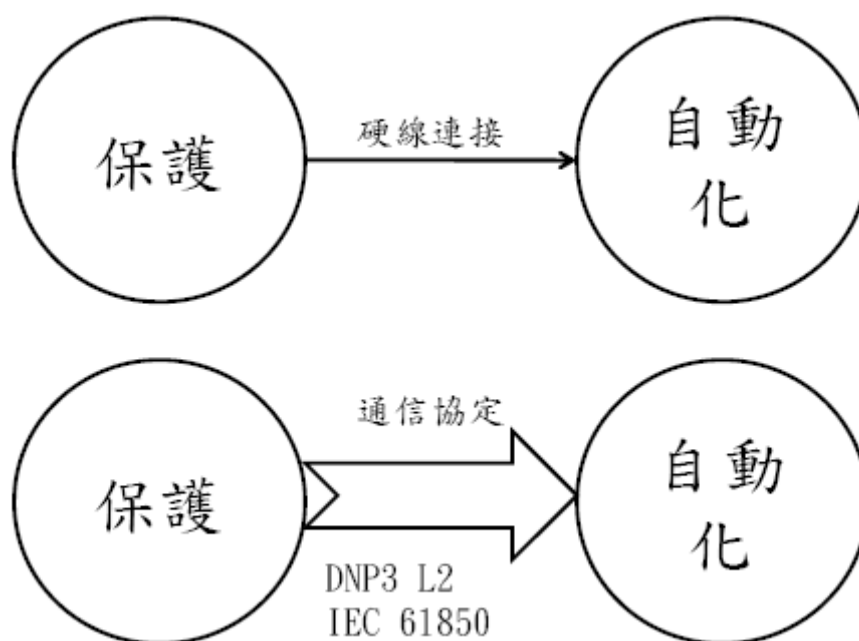


圖33：輸電級IED電驛自動化應用方式

圖34顯示IED電驛的功能應用圖，在配電級IED中有使用自動化通信，已有運轉中變電所使用DNP3 L2或IEC 61850通信協定，同時亦維持硬線連接，如果經由自動化通信收集之事故資訊達到穩定可靠時，硬線連接方式應可檢討取消，在輸電級IED中自動化通信應用領域仍待開發。

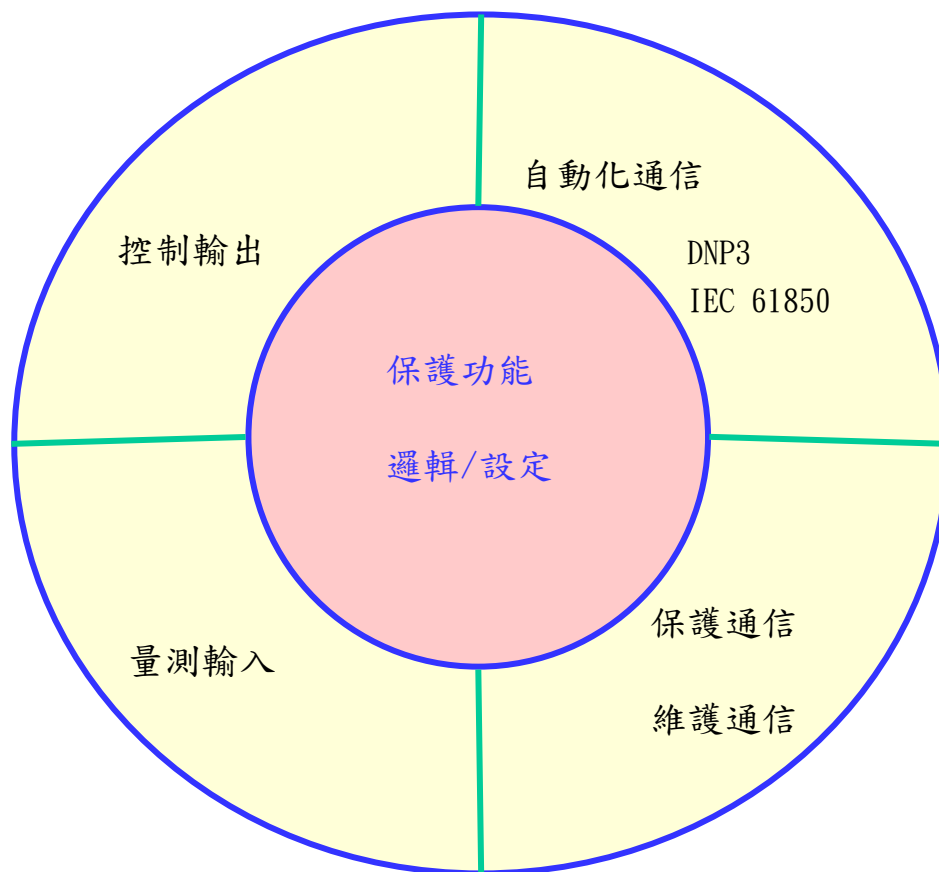


圖34：IED電驛功能應用圖

善用IED電驛的自動化通信及保護通信可以提昇電力系統監控運轉的效能，IEC 61850標準採用成熟的乙太網路通信架構(ISO/OSI七層堆疊架構)及技術做為變電所內各數位式設備的通信網路，統一應用基於XML程式語言的變電所規劃語言使得不同廠家在自由設計數位式設備的功能配置及規劃之外，得以實現不同廠家數位式設備彼此資料的互交換性(interoperability)及互操作性(interchangability)。

IEC 61850是世界上唯一具有互操作特性的變電所自動化通信標準，也將會成為電力系統中從調度監控中心到變電所、變電所內、配電自動化系統通信標準。目前，國際知名生產相關產品的各大廠商都朝符合IEC 61850的方向來設計產品，且陸續發表上市。IEC 61850可望逐漸成為電力系統自動化統一的通信標準，終極目標為實現一個世界、一種技術、一個標準(One World, One Technology, One Standard)的理想。

隨著智慧型開關設備的發展，系統上會使用更多的實體裝置(Physical Device)，可能影響整個系統之可靠度，但隨著各裝置功能及通信介面之整合，可以減少實質裝置之數量，改善整個系統之可靠度。

隨著統包變電所陸續完工，台電公司各級變電所之運轉廣泛使用 IED 及變電所

自動化系統(SAS)。但是不同得標廠家提供不同的系統，軟體、硬體及通信等各方面皆無法互相流用，因而會在軟硬體更新、功能增加、設備維護等方面遭遇困難。

世界知名電驛大廠紛紛以符合IEC 61850標準為目標來設計新一代的IED及數位式監控產品，然而不同公司產品對該標準的符合性很可能仍有所差異甚至差異性極大。IEC 61850是變電所自動化發展之時勢所趨，具有標準化、高擴充性、簡化配線、節省成本等諸多優點，建議應詳加研討該標準、建立台電變電所自動化應用該標準之需求、使運轉維護人員熟悉相關技術並密切注意各數位式設備支援該標準之普及情形，以利適時列入採購規範，應用新技術來提昇公司競爭力。

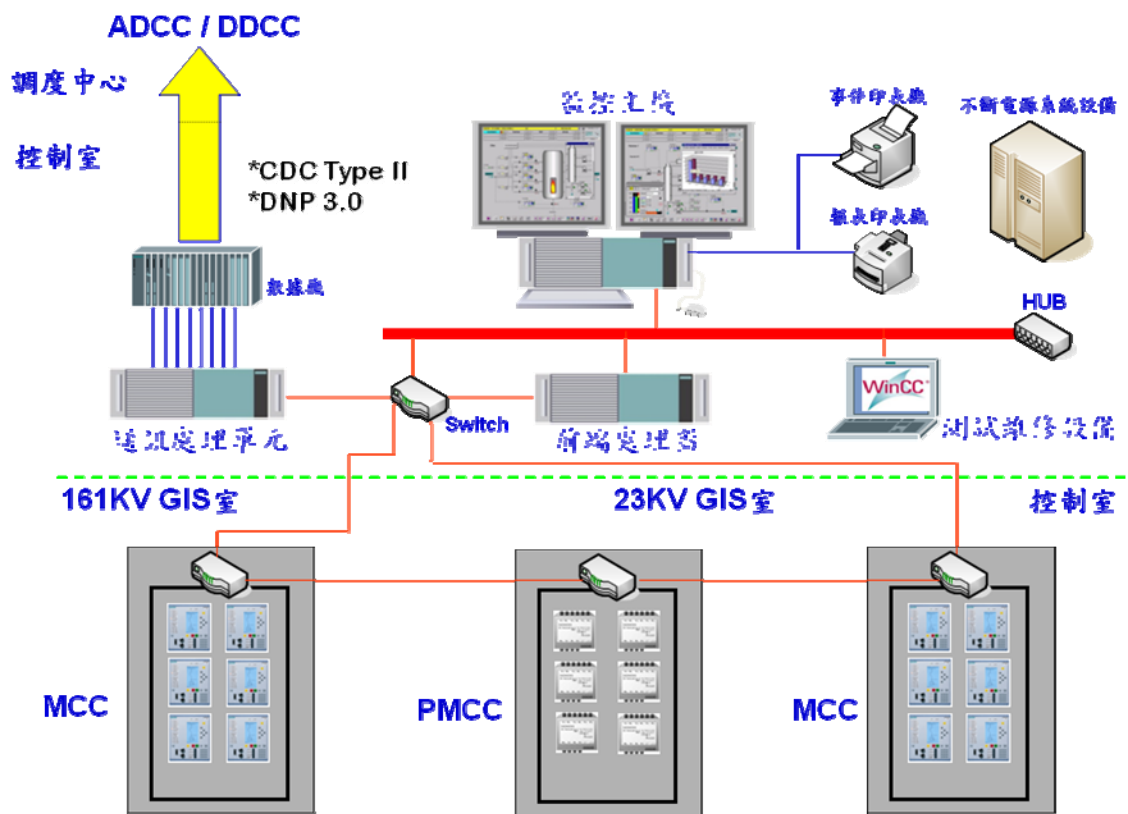


圖35：台電IEC61850自動化統包變電所架構

圖35為台電使用IEC61850之自動化統包變電所架構，配電級IED電驛同時為中壓GIS設備之控制器，高壓GIS設備以MCC IED作為控制器，輸電級數位電驛(保護IED)則不包含在自動化通信連接之中，透過IEC61850傳送輸電級數位電驛的事故資訊是未來值得研究的方向。

## 5.5 數位電驛維護

由於數位電驛在工作電源正常之運轉狀況下即不斷地進行電驛內部元件自我監視(Self-monitoring)，因此數位電驛之維護策略相較於電磁式及類比式電驛有很大之不同。透過自我監視持續檢查數位電驛之硬體及軟體是否運作正常，除了電驛內部元件自我監視之外，電驛也儘可能監視外部接線，其中三相電壓平衡監視邏輯如圖36及圖37所示，該三相電壓不平衡監視功能可以偵測外部電壓回路斷線或電驛內部電壓回路(元件)不良等異常現象並發出警報。

當數位電驛偵測到本身之特定故障情形時，依據所可能造成之影響而作不同反應，包含僅發出警報、警報且閉鎖部份保護功能及警報且閉鎖全部保護功能等三種反應以確保電驛不會因本身故障而誤動作，一般電驛自我監視功能之設計依所發現問題嚴重程度由輕至重敘述如下：

- 發出警報
- 自動閉鎖個別的保護功能，僅閉鎖受影響之保護功能
- 自動退出所有的保護功能，電驛仍可運作且相關紀錄可讀出分析
- 自動重新開機，最多允許重開機2次，第3次重開機後切換到監視模式
- 切換到監視模式，此時通常代表硬體故障

因此數位電驛可以透過電驛故障紀錄分析來尋找問題的根源。

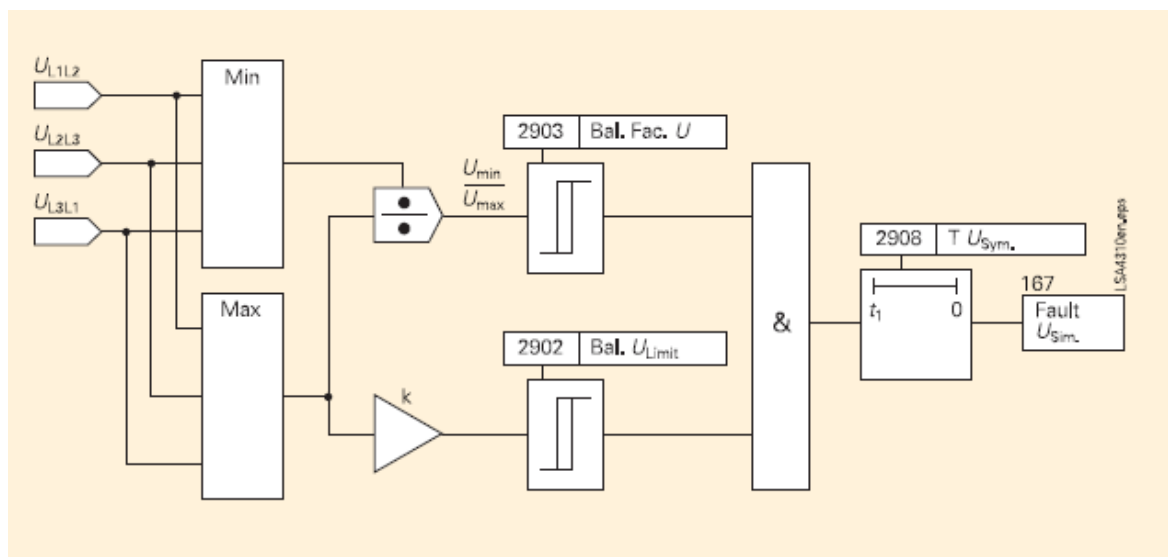


圖36：三相電壓平衡監視邏輯

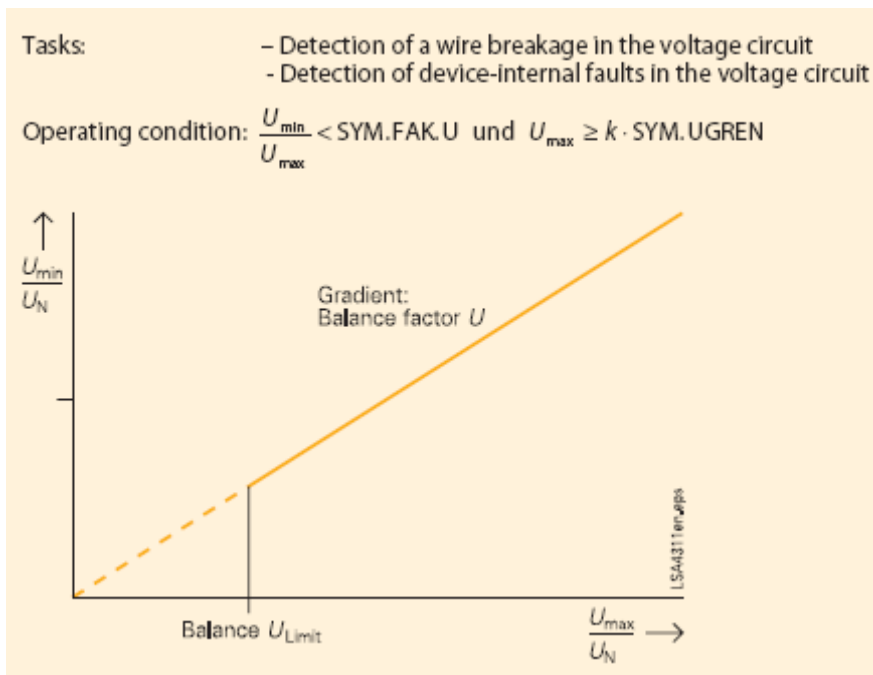


圖37：電壓回路異常監視邏輯

依據VDEW(German utility board) working group 在1995年出版的「電驛及保護技術」文件中對數位電驛之維護有下列建議：

每2年進行功能檢查(不使用測試儀器)：

- 將運轉中電驛所顯示之電氣量測量值(V,I,P,Q)與其它獨立之電表(或電驛)測量值進行比對
- 跳脫回路測試(包含自動復閉功能)
- 讀出並評估事件紀錄(event recording)
- 檢查事故紀錄(protection fault recording)及保護通信電路

每4年進行保護測試(使用測試儀器)：

- 檢查每一個類比信號輸入(V,I)測量值顯示
- 檢查使用中之輸入及輸出回路，包含運轉中之斷路器
- 讀出並評估事件紀錄及波形紀錄(disturbance recording)
- 檢查通信介面(維護存取及SCADA連接)
- 讀出設定標置值並比對正確性
- 檢查事故紀錄(protection fault recording)及保護通信電路

每8年(增加第一區間臨界值動態測試)

- 各類故障型式均須測試(輸入濾波模組硬體更換時亦須進行本項測試)

數位電驛的自我監視功能可含蓋80%~90%的整體保護設備(含CT、PT、電驛及斷路器等設備)，只要有負載電流則CT回路正常性也在監視範圍內，而保護用通信電路的可用情形也有紀錄可查。

隨著數位電驛技術發展及使用經驗累積，近來有將VDEW原先建議之完整保護功

能測試維護週期由4年延長為5至6年，甚或延至更長週期的趨勢。

台電在數位電驛維護方面分為一級(不使用測試儀器)與二級(使用測試儀器)維護，基本上與VDEW建議之架構相仿。在檢查及測試項目部份，VDEW重視數位電驛內各類紀錄的檢查評估、跳脫保護功能的測試、輸入及輸出回路的檢查、保護通信電路的檢查等方面，至於以儀器對電驛施行特性試驗則是在較長週期或輸入濾波模組硬體更換時才須要。因為數位電驛的保護及邏輯控制功能是透過軟體程式運算來實現，只要針對輸入AI、DI信號及輸出控制回路分別檢查正確性，再從各類紀錄檢查來確認電驛運轉無異常情形，則整體功能便可獲得保障。這種針對數位電驛結構特性進行分項功能確認檢查的作法，是值得學習的地方。

## 六、心得與建議

### 心得

感謝各級長官提供學習機會，亦感謝部門同仁協助分擔出國期間業務。此行學到了很多有關數位式多功能保護電驛的新知及應用技術交流，相信對日後的工作將會有很大的幫助，本人也很樂意將此行之所見所學，與所有同仁共同分享研討。

### 建議

#### 1. 引進雙端演算多段線徑混合計算之故障定位技術

故障定位採用雙端演算法相較於單端演算法可以獲致較好之準確度，特別是在接地故障時，預期可達到類似本公司345kV線路測距系統之水準，如具有多段線徑混合之計算能力，則非常適合應用於本公司161kV架空及地下電纜混合之線路，建議可適時引進或建立示範系統來評估成效，以利事故判斷處置及縮短事故巡修時間。

#### 2. 試辦輸電等級IED電驛動作資訊經通信協定傳回區域調度中心

IED電驛的設計理念是將保護與自動化利用通信及量測功能予以結合，其中即時呈現完整的電驛動作資訊對事故之判斷處置有極大幫助，例如故障電流、相別、定位等資訊可利用如DNP3等通信協定由SCADA收集顯示，不局限於PHA,GDA資訊，建議可研討試辦可行性，來排除技術問題以及觀察SCADA系統Loading，以利運轉人員能即時便捷地掌握故障資訊，此項試辦工作須要電驛、資控及變電所等部門共同合作。

#### 3. 研究數位電驛之IEC61850技術應用

IEC61850建構在乙太網路的高速通信基礎上，力求實現不同廠家IED間的互操作性。歐洲及其它地區電力公司之保護及自動化更新已陸續採用IEC61850通信協定來將硬體接線最簡化並完全利用IED來完成保護及自動化，本次出國參觀德國紐倫堡市N-ERGIE電力公司之120kV配電變電所即是一個由原使用傳統保護及自動化的變電所更新為應用IEC61850之數位保護及自動化的變電所。IEC 61850是變電所自動化發展之時勢所趨，具有標準化、高擴充性、簡化配線、節省成本等諸多優點，建議應

詳加研討該標準、建立台電變電所自動化應用該標準之需求、使運轉維護人員熟悉相關技術並密切注意各數位式設備支援該標準之普及情形，以利適時列入採購規範，應用新技術來提昇公司競爭力。台電部份變電所已使用IEC61850，建議深入研究掌握相關技術，逐步發揮其運用優勢，作為未來保護及自動化更新之參考選項。

#### 4. 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，可吸收電驛發展新知及國外對新技術之實際運用情形，而數位電驛除了核心保護功能之外，其它高附加價值資訊的運用使得電驛專業人員擔負的使命及重要性日益增加，為利人員技術學習訓練及經驗傳承，建議公司持續提供出國實習之機會，以便適時運用新技術來提昇保護及自動化效能。

## 七、參考文件

1. AREVA 公司提供講義,11.3.2009~11.7.2009
2. SIEMENS 公司提供講義,11.9.2009~11.13.2009
3. SIEMENS 7SD5xx 電驛說明書
4. 許萬寶,劉建勳及陳鴻詔, ” 超高壓輸電線路故障位置偵測系統” , 93 年電力研討會
5. Gerhard Ziegler, Numerical Distance Protection Principles and Applications
6. SEL SEL-311C 電驛說明書
7. TOSHIBA GRZ100 電驛說明書