

中華民國電驛協會會刊

中華民國八十四年五月二十日創刊
中華民國一〇〇年七月一日出版

發行者：羅隆和

高等顧問：李河樟 許萬寶 張重湖 簡文通

顧問：周南焜 唐進財 許邦福 趙基弘

法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬

編輯委員會：主任委員 李錦槍

副主任委員 黃慶林

編輯委員：白雲年 李 群 吳立成 洪世宇

洪敏捷 林安志 李金鐘 范建誼

翁永財 郭麟瑛 陳來進 陳炳基

陳順斌 許文興 張偉荃 黃英龍

黃思倫 黃惟雄 黃德華 曾炳權

潘明路 劉昆詠 謝建賢

(依照姓氏筆劃順序)

廣告組：張家熙 謝璧如

地址：台北市羅斯福路三段 244 巷

9 弄 1 號 2 樓

E-mail : relayaso@ms68.hinet.net

服務電話：(02) 2362-3993

傳真：(02) 2363-0860

印刷者：文山打字印刷有限公司

地址：台北市杭州南路二段 25 巷 13 號

本刊物為對內刊物、不對外發售

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

目錄索引

☆24 輸電線路保護規劃協調維護測試分析-----許文興

☆47 二次變電所方向性過電流電驛接線方式與電驛汰換工作-----林兆亨

☆52 知性之旅-參訪屏東科技大學教育生態校園-----李國楨

☆56 在電驛乙太網路遇上 IEC 61850
-----周南焜、彭雲忠
莊雅欽、林孟澤
王坤展

☆67 GIS 161 kV 比壓器故障分析
-----鄭 強、范振理

☆74 低壓智慧馬達控制系統(IMCCs)技術探討-----黃培華、柯侑寬
許家璋、宮鴻華
許文興

☆84	會務報導		
☆85	中華民國電驛協會獎學金辦法		
☆86	中華民國電驛協會獎學金申請表		
☆87	100 年下半年度訓練計劃		
☆88	100 年下半年度訓練課程綱要		
☆89	中華民國電驛協會保護電驛專業檢測團體認證規範		
☆91	保護電驛專業檢測團體認證申請表		
☆92	保護電驛專業檢測團體證照		
☆93	中華民國電驛協會第六屆第四次理事暨監事聯席會議紀錄		
☆96	中華民國電驛協會第六屆第三次會員代表大會會議紀錄		
☆99	第六屆顧問及各委員名單		
☆100	電機顧問公司(廠商)派員參加保護電驛認證班統計表		
☆102	中華民國電驛協會獎學金捐款明細		
☆103	中華民國電驛協會會員捐款		
☆104	中華民國電驛協會沿革		
☆105	中華民國電驛協會會員年費收費辦法		
☆106	中華民國電驛協會個人、團體入會申請書		
☆107	中華民國電驛協會永久團體會員名單		
☆108	中華民國電驛協會團體會員名單		
☆110	中華民國電驛協會永久個人會員名單		
☆111	中華民國電驛協會個人會員名單		
☆114	100 年 1 至 6 月新入會會員名單		
☆115	電驛協會會刊目錄總表		
		廣 告 索 引	
		封面	華城電機(股)公司
		封底	中華民國電驛協會
		封面裡	計量企業有限公司
		封底裡	全城電業顧問有限公司
		1	盈昇有限公司
		2	勇帥電氣技術顧問(股)公司
		3	西門子(股)公司
		4	祥正電機(股)公司
		5	攝陽企業(股)公司
		6	艾波比(股)公司
		7	儀測科技國際(股)公司
		8	昱泰機電技術顧問(股)公司
		9	飛領電機顧問/飛羚電機工程(股)公司
		10	中友機電顧問(股)公司
		11	亞力電機(股)公司
		12	春源機電技術顧問有限公司
		13	松寶五金機械有限公司
		14	聯東實業(股)公司
		15	中華民國電機技師公會全國聯合會

CT 飽和引起變壓器差動保護誤動作分析

台電綜合研究所 吳立成

壹、前言

變壓器之差動保護電驛(87TE)，如圖 1 所示，因下游 5000Hp 馬達故障造成誤動

作跳脫，經研究分析後，判定其主因源起於故障時變壓器高壓側之『比流器飽和』，以下將針對此電驛誤動作問題做詳細說明。

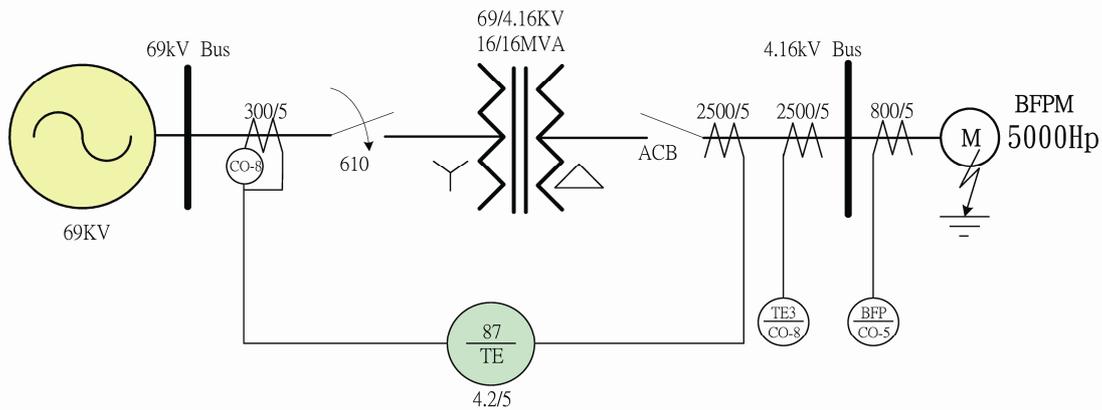


圖 1 變壓器(87TE)之差動保護單線圖

貳、變壓器差動保護概論

電力變壓器是電力系統中十分重要的供電元件，它的故障將對供電可靠性和系統的正常運行帶來嚴重的影響。同時大容量的電力變壓器也是十分貴重的元件，因此，必須根據變壓器的容量和重要程度考慮裝設性能良好，工作可靠的保護裝置。

變壓器的內部故障可以分為油箱內和油箱外故障兩種。油箱外的故障包括繞組的相間短路、接地短路，匝間短路以及鐵心的燒損，對變壓器來講，這些故障都是十分危險的，因為油箱內故障時產生的電弧，將引起絕緣物質的劇烈汽化，從而可能引起爆炸；因此，這些故障應該儘快加以切除。油箱外的故障，主要是套管和引出線上發生相間短路和接地短路。上述接地短路均係對中性點直接接地電力網的一

側而言。

變壓器的不正常運行狀態主要有：由於變壓器外部相同短路引起的過電流和外部接地短路引起的過電流和中性點過電壓；由於負荷超過額定容量引起的過負荷以及由於漏油等原因而引起的油面降低。

此外，對大容量變壓器，由於其額定工作時的磁通密度相當接近於鐵心的飽和磁通密度，因此在過電壓或低頻率等異常運行方式下，還會發生變壓器的過勵磁故障。根據上述故障類型和不正常運行狀態，對變壓器應裝設下列保護：

1. 瓦斯保護

對變壓器油箱內的各種故障以及油面的降低，應裝設瓦斯保護，它反應於油箱內部所產生的汽體或油流而動作。其中輕瓦斯保護動作於警報，重瓦斯保護動作於跳開變壓器各電源側的斷路器。

裝設瓦斯保護的變壓器容量界限是：800kVA 及以上的油浸式變壓器。同樣對帶 AVR 的油浸式變壓器的調壓裝置，也應裝設瓦斯保護。

2. 差動保護保護

對變壓器繞組、套管及引出線上的故障，應根據容量的不同，裝設差動保護。差動保護適用於：並連運轉的變壓器，容量為 6300kVA 以上時；單獨運行的變壓器，容量為 10000kVA 以上時；發電廠廠用變壓器和工業中的重要變壓器，容量為 6300kVA 以上時。

對高壓側電壓為 345kV 及以上的變壓器，可裝設雙差動保護。上述各保護動作後，均應跳開變壓器各電源側的斷路器。

3. 外部相間短路應採用的保護

對於外部相間短路引起的變壓器過電流，應採用下列保護作為後備保護：

- (1) 過電流保護，一般用於降壓變壓器，保護裝置的標置值應考慮事故狀態下可能出現的過負荷電流。
- (2) 電壓抑制型的過電流保護，一般用於升壓變壓器、系統聯絡變壓器及過電保護靈敏度不滿足要求的降壓變壓器上。
- (3) 負序電流及單相式低電壓起動的過電流保護，一般用於容量為 63MVA 及以上的升壓變壓器；
- (4) 阻抗保護，對於升壓變壓器和系統聯絡變壓器，當採用第(2)、(3)的保護不能滿足靈敏性和選擇性要求時，可採用阻抗保護。對 345kV 系統聯絡變壓器高、中壓側均應裝設阻抗保護。保護可帶兩段時限，以較短的時限用於縮小故障影響範圍；較長的時限用於斷開變壓器各側斷路器。

4. 外部接地短路採用的保護

對中性點直接接地電力系統，由外部接地短路引起過電流時，如變壓器中性點

接地運行，應裝設零序電流保護。零序電流保護可由兩段組成，每段可各帶兩個時限，並均以較短的時限動作於縮小故障影響範圍，或動作於本側斷路器，以較長的時限動作於斷開變壓器各側斷路器。

對自耦變壓器和高、中壓側中性點都直接接地的三繞組變壓器，當有選擇性要求時，應增設零序方向元件。當電力網中部分變壓器中性點接地運行，當防止發生接地短路，中性點接地的變壓器跳開後，中性點不接地的變壓器（低壓側有電源）仍帶接故障繼續運行，應根據具體情況，裝設專用的保護裝置，如零序過電壓保護，中性點裝放電間隙加零序電流保護等。

5. 過負荷保護

對 400kVA 以上的變壓器，當數台並列運行，或單獨運行並作為其他負荷的備用電源時，應根據可能過負荷的情況，裝設過負荷保護。過負荷保護接於一相電流上，並延時作用於信號。對於無經常值班人員的變電站，必要時過負荷保護可動作於自動減負荷或跳脫。

6. 過勵磁保護

高壓側電壓為 345kV 及以的變壓器，對頻率降低和電壓升高而引起的變壓器勵磁電流的升高應裝設過勵磁保護。在變壓器允許的過勵磁範圍內，保護作用於警報，當過勵磁超過允許值時，可動作於跳脫。過勵磁保護反應於實際工作磁通密度和額定工作磁通密度之比而動作。

7. 其他保護

對變壓器溫度及油箱內壓力升高和冷卻系統故障，應按現行變壓器標準的要求，裝設可作用於警報或動作於跳脫的裝置。

在 IEC 60076 標準告訴我們，為防止變壓器因系統短路瞬間破壞，其變壓器需符合表 1 之基本要求[7]。因此，變壓器需

安裝電氣型保護電驛來防治變壓器受短路故障破壞。依據 IEEE C37.91-2000 標準中所述[1]，變壓器容量在 5MVA 以下之電氣性保護可使用電力熔絲，變壓器容量在 10MVA 以上使用電驛裝置為其電氣性保護，保護方式如圖 2。

表 1 變壓器耐短路能力

變壓器電抗(%)	故障電流(額定電流之倍數)	允許時間(秒)
4	25	2
5	20	2
6	16.6	2
7	14.2	2

變壓器之差動保護，如圖 3 所示，其利用高低壓兩側安匝平衡原理設計，差動

保護實用上應注意高低壓兩側相位平衡問題、湧入電流問題、過激磁影響及零序電流等影響。一般，實用上差動電驛大多使用圖 4 之特性曲線，因此種三段式差動電驛特性曲線，具有高靈敏性、防治重載誤動作及防治 CT(Current Transformer)飽和時誤差量引起之誤動。舉例說明，如圖 5 差動保護電驛模擬試驗模型，當一內部故障(F1)發生時，其電流全流向變壓器，如圖 6 所示變壓器兩側比流器之電流波形極性相同，多流入差動電驛，此時差動保護電驛發出跳脫信號，以隔離故障；反之，當一外部故障(F2)發生時，其電流全流出變壓器，如圖 7 所示變壓器兩側比流器之電流波形極性相反，使流入差動電驛之電流小小於動作電流，此時差動保護電驛不動作。

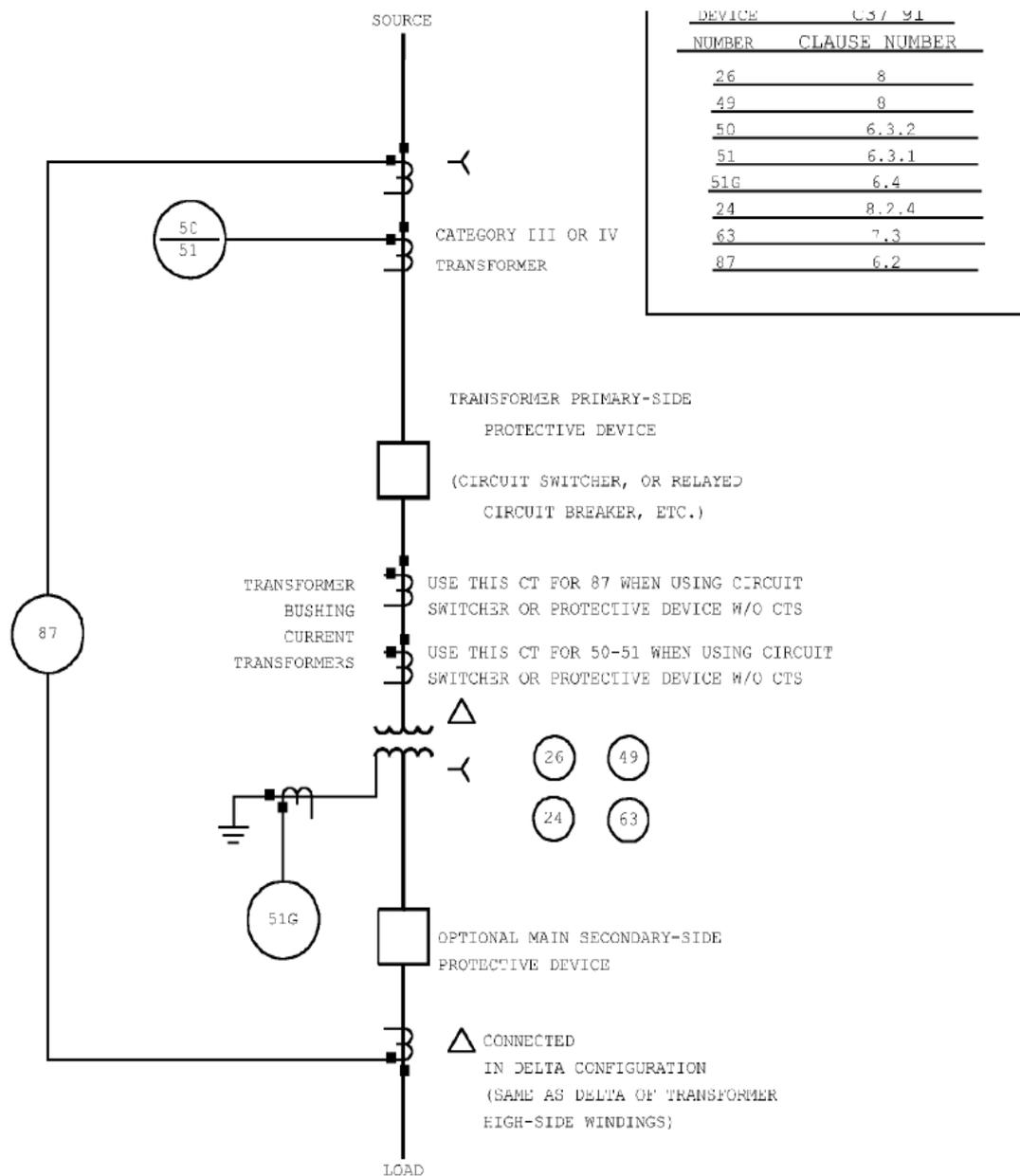


圖 2 變壓器之基本保護配置

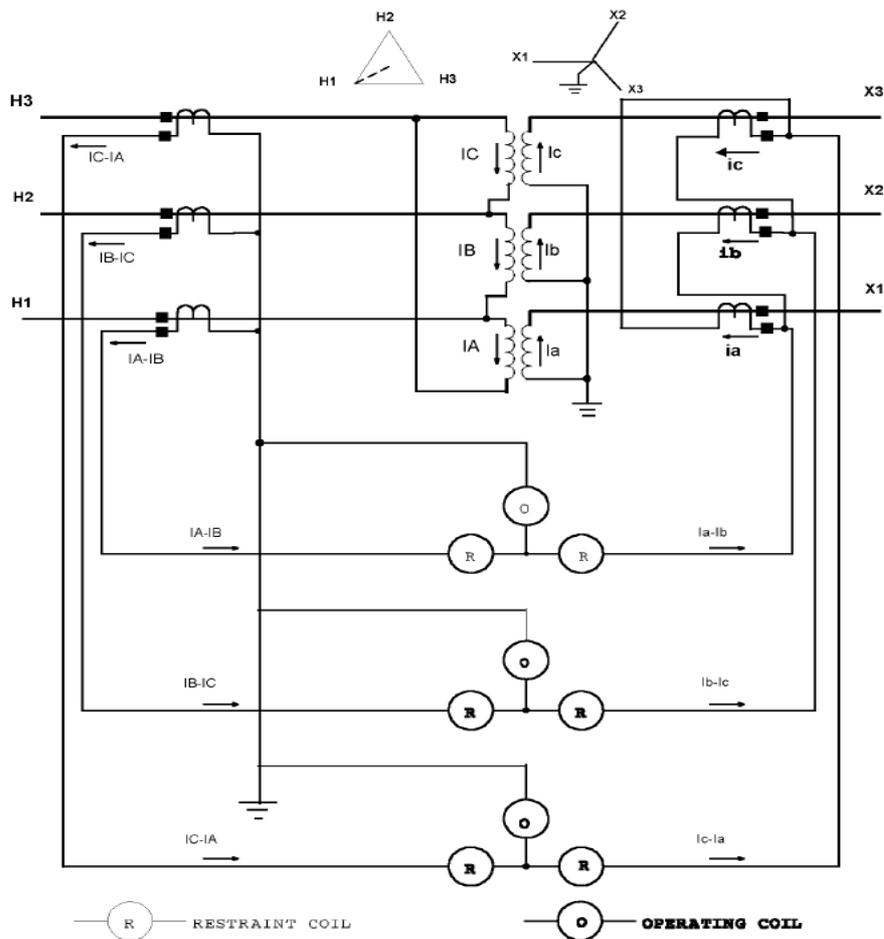


圖 3 變壓器之差動保護電驛

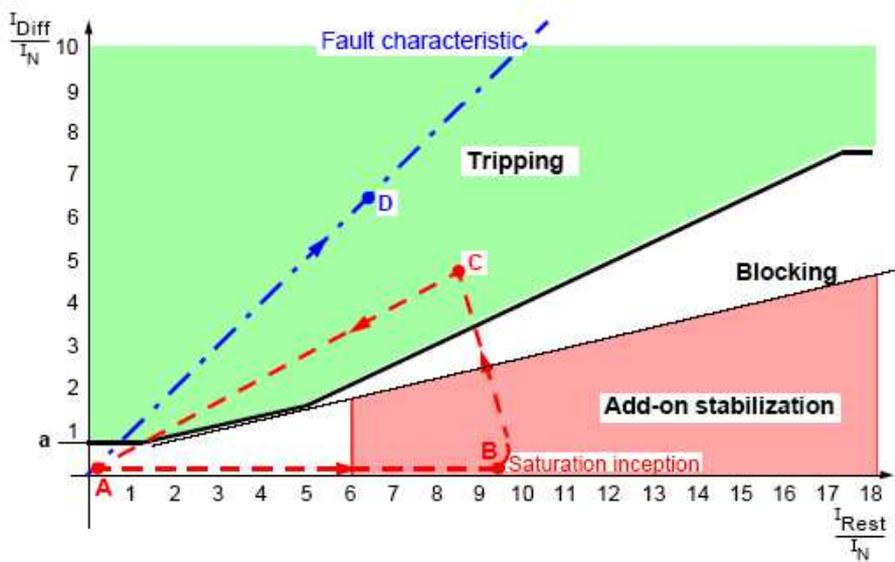


圖 4 差動保護電驛之特性曲線

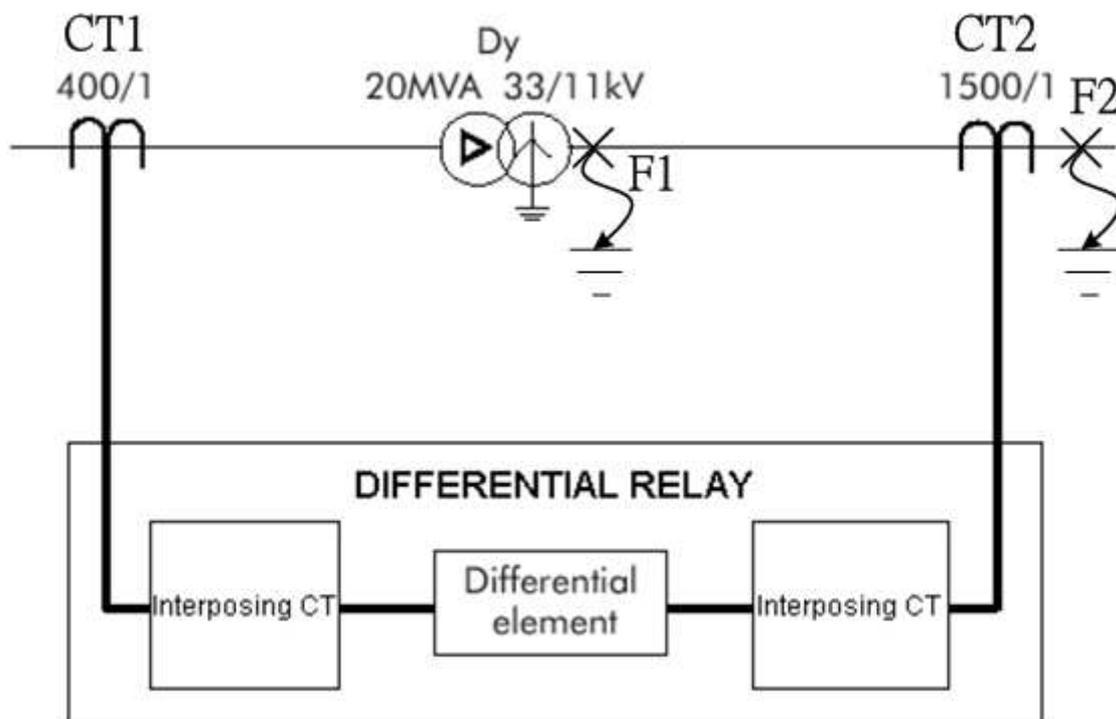


圖 5 差動保護電驛之模擬試驗

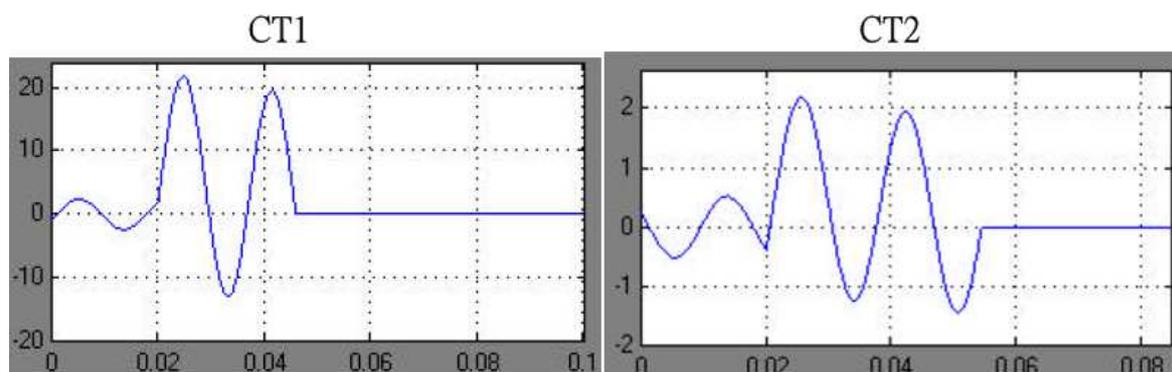


圖 6 變壓器內部故障時差動保護電驛所感受之電流波形

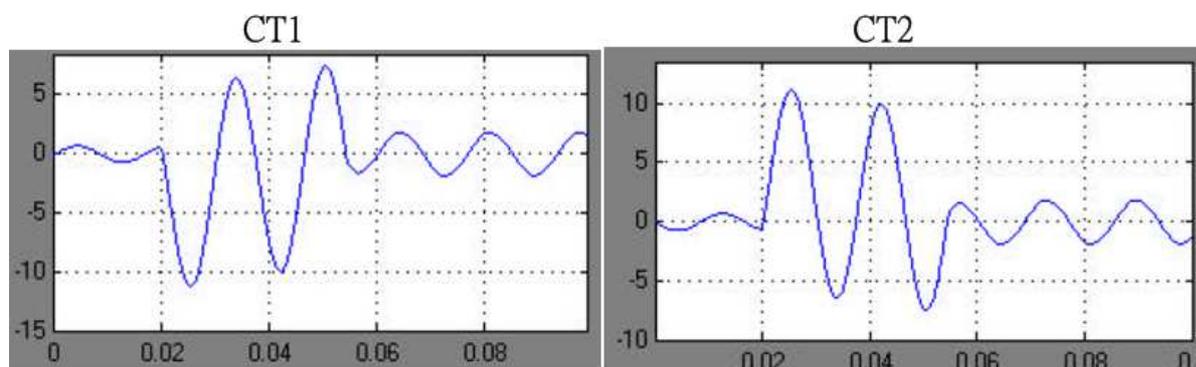


圖 7 變壓器外部故障時差動保護電驛所感受之電流波形

參、現場實測及分析

變壓器(Emergency Transformer)之差動保護電驛(87TE)，是因其下游馬達故障瞬間，引起變壓器高壓側之比流器飽和，而誤動作跳脫，我們於現場實際測量交流電阻，發現變壓器高壓側比流器負擔為 3 歐姆，而低壓側比流器負擔為 0.8 歐姆，其高、低壓側比流器之激磁特性曲線分別如圖 8 及 9 所示，我們可清楚知道高壓側 Delta 接線比流器(300/5)之飽和電壓(V_K)約 110 伏特，故當故障電流大於 1268A 時，變壓器高壓側(69kV)之比流器將飽和；低壓側 y 接線比流器(2500/5)之飽和電壓(V_K)約 500 伏特，而低壓側(4.16kV)當故障電流大於 312.5KA 時，變壓器低壓側之比流器將飽和，本案因差動保護電驛(87TE)之高壓側比流器 Delta 接線內含機電式過電流電驛(WH CO-8)，這將使比流器更易發生飽和。

利用以上資料配合本所即時暫態數位模擬器(RTDS)建立圖 1 之模型，其模擬結果可明顯確認，當馬達(BFPM 5000HP)發生短路故障時，其變壓器高壓側(69kV)之比流器已飽和，如圖 10 所示，此時將造成差電流軌跡進入差動電驛之保護區間，如圖 11 所示，引起電驛誤動作。

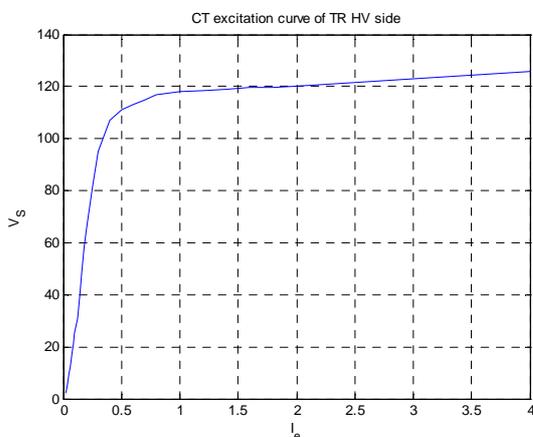


圖 8 高壓側比流器之激磁特性曲線

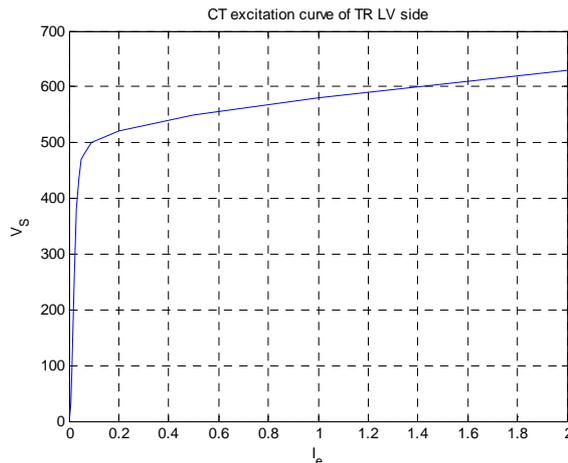


圖 9 低壓側比流器之激磁特性曲線

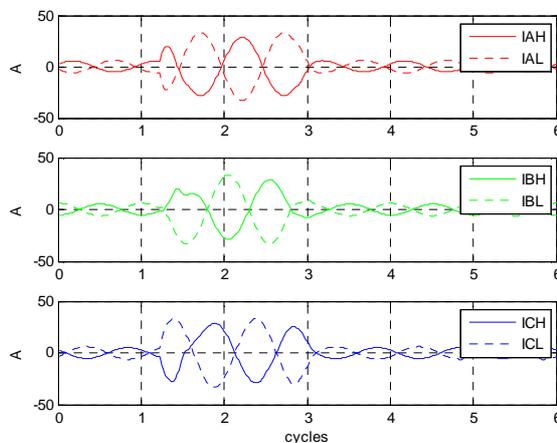


圖 10 RTDS 模擬馬達發生短路故障時變壓器差動保護電驛(87TE)之高低壓側三相電流波形(高壓側(69kV)BC 相之比流器已飽和)

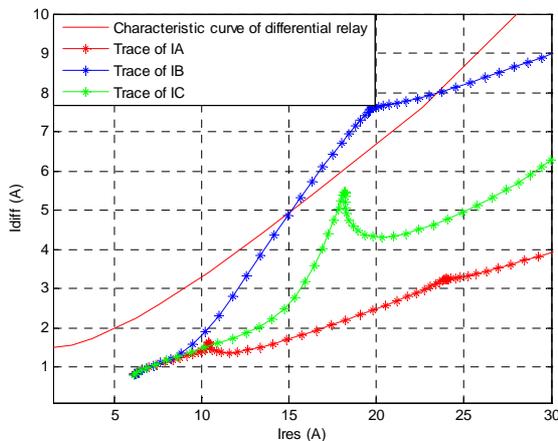


圖 11 RTDS 模擬馬達發生短路故障時變壓器差動保護電驛(87TE)之差電流波形軌跡(比流器負擔為 3 歐姆)

另外，我們亦模擬當高壓側比流器之負擔降為 1 歐姆以下時，比流器將不會飽和發生，如圖 12 所示，此時將造成差電流軌跡不會進入差動電驛之保護區間，如圖 13 所示，電驛不誤動作。

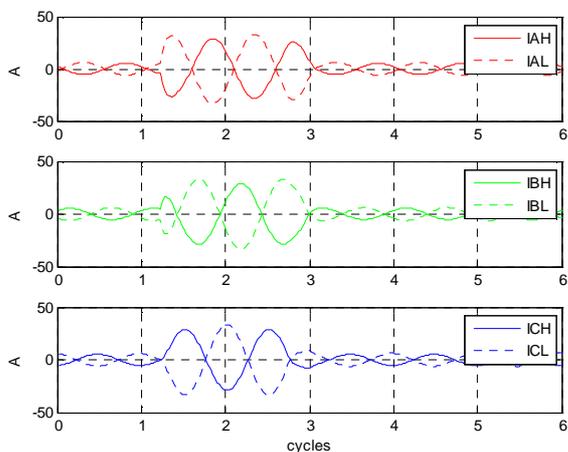


圖 12 RTDS 模擬馬達發生短路故障時變壓器差動保護電驛(87TE)之高低壓側三相電流波形(高壓側(69kV)ABC相之比流器不會飽和)

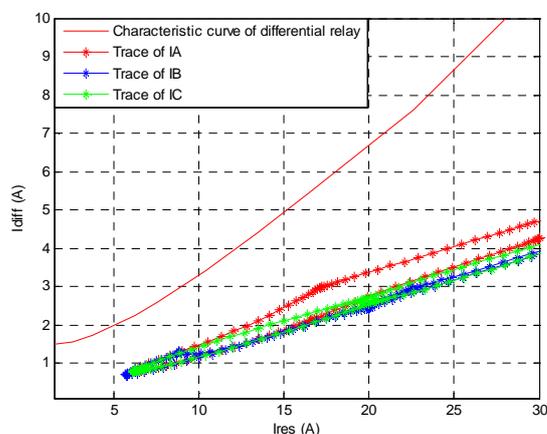


圖 13 RTDS 模擬馬達發生短路故障時變壓器差動保護電驛(87TE)之差電流波形軌跡(比流器負擔為 1 歐姆)

我們亦模擬馬達啟動電流，對此變壓器差動保護電驛(87TE)之影響，模擬之三相 5000HP 馬達啟動電流如圖 14 所示，為更清楚檢視波形，我們重劃成圖 15 所示，此時我們同時劃製差電流軌跡，明顯發現軌跡不會進入差動電驛之保護區間，如圖 16 所示，電驛不誤動作。

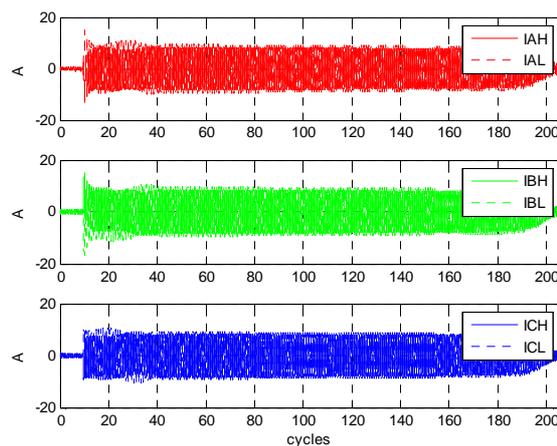


圖 14 模擬馬達啟動時變壓器差動保護電驛(87TE)之高低壓側三相電流波形

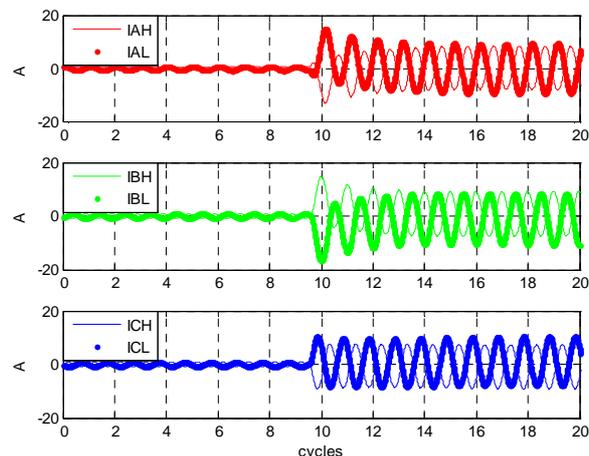


圖 15 為圖 14 波形放大圖

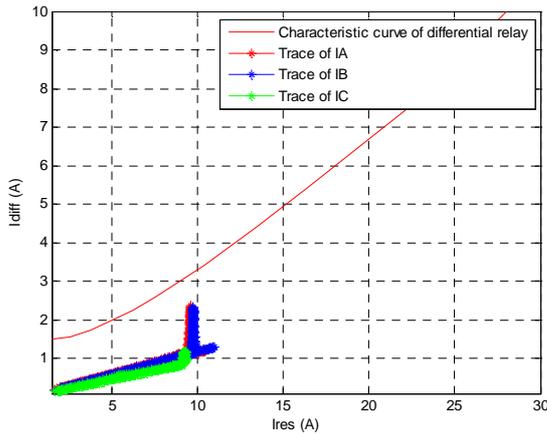


圖 16 模擬馬達啟動時變壓器差動保護電驛(87TE)之差電流波形軌跡

由上述可知，電驛誤動作之主因，為馬達(BFPM 5000HP)故障時，造成變壓器高壓側之『比流器飽和』引起。

肆、結論

變壓器(Emergency Transformer)之差動保護電驛(87TE)下游馬達故障瞬間，所產生之瞬間故障電流，使變壓器高壓側之比流器飽和，差動電驛因而誤動作。

由以上之詳細說明探討，我們從RTDS 多次模擬結果可清楚瞭解，變壓器之差動保護電驛(87TE)之誤跳脫主因，為下游馬達故障瞬間造成變壓器高壓側比流器飽和引起，其如何做到讓誤動作機率降至最低，建議如下：

1. 將高壓側比流器中之機電式過流電驛移出差動電驛之比流器，及降低比流器負擔。
2. 在滿足選擇性及靈敏度下，更改比流器匝比(CT Ratio)或電驛設定。
3. 低壓側之比流器應儘量不並聯使用，在大故障電流下，會因比流器分流而誤動作。(如附件 1)
4. 改用防飽和誤動作之數位電驛。

伍、參考文獻

- [1] IEEE Std C37.91-2000, "guide for protective relay applications to power transformers"
- [2] IEEE Std C37.108-2002, "Guide for the Protection of Network Transformers"
- [3] IEEE C37.91, "Guide for Protecting Power Transformer"
- [4] ALSTOM, "Network Protection and Automation Guide", 2002
- [5] Mozina, C.J., Largo, , "Protection of power plant transformers using digital technology ", Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE
- [6] Saied, M.M., "A study on the inrush current phenomena in transformer substations", IEEE , Volume: 2 , 30 Sept.-4 Oct. 2001 Pages:1180 - 1187 vol.2
- [7] ALSTOM, "Network Protection and Automation Guide", 2002

附件 1：

當電驛所接用之一比流器輸入，於變壓器低側是用兩只比流器並聯後提供電驛，這種比流器並接使用方式，對其負擔要求較嚴格，我們為說明其影響，使用如圖 1 之兩比流器並聯供應一可變阻抗負載做模擬實驗，我們共以三種不同負載(10、2.5 及 0 歐姆)及電流 $I_2=0$ ， I_1 最大值分別為 200A、400A 及 900A 做實驗，其結果如圖 2、3、4 及 5 所示，可明顯發現電流及負載大小，將造成比流器一次及二次不成比率變化，也會使比流器 CT2(當 $I_2=0$ 或 $I_2 \ll I_1$ 時)產生環流，此一情形將可能使電驛的差電流增加，嚴重時可能使電驛誤動作。

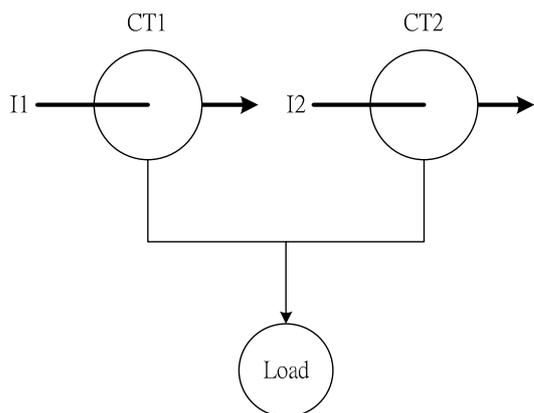


圖 1 兩比流器並聯供應一可變阻抗負載

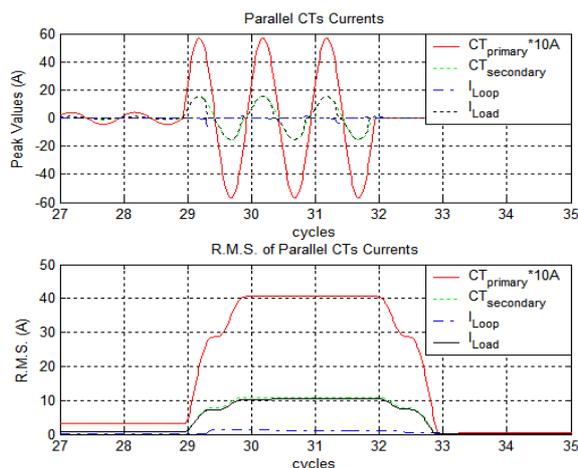


圖 4 兩並聯 CT 接有負載 2.5 歐姆($I_2=0$, $I_{1max}=400A$)

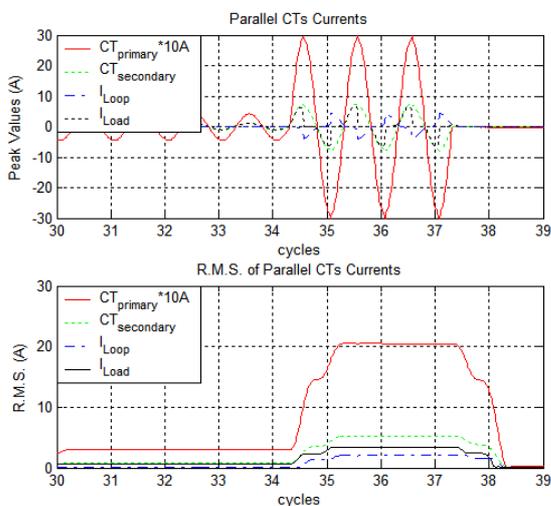


圖 2 兩並聯 CT 接有負載 10 歐姆($I_2=0$, $I_{1max}=200A$)

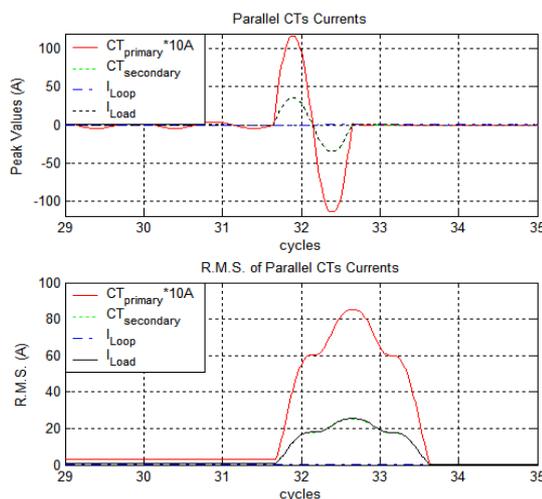


圖 5 兩並聯 CT 接有負載 0 歐姆($I_2=0$, $I_{1max}=900A$)

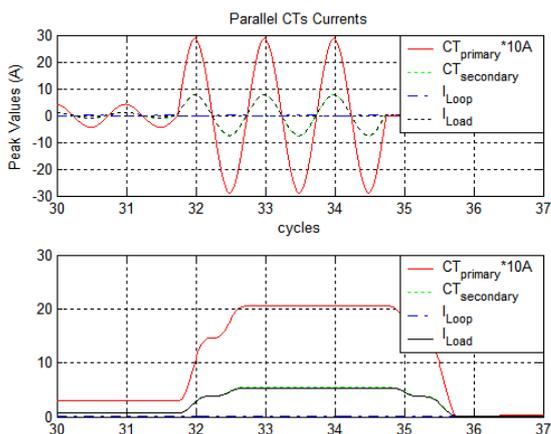


圖 3 兩並聯 CT 接有負載 2.5 歐姆($I_2=0$, $I_{1max}=200A$)

變壓器差動保護電驛技術及短路試驗探討

國立台灣海洋大學電機工程學系 黃培華
 國立台灣海洋大學電機工程學系 柯侑寬
 施耐德電機股份有限公司 宮鴻華
 台電嘉南供電區營運處電驛組 許文興

摘要

輸配電系統中，變壓器可分為降壓變壓器及升壓變壓器，是輸配電系統中所不可缺少之電力系統設備之一，電壓等級之升降依賴著變壓器來達到用電電壓之等級，就因變壓器如此重要，所以會加裝變壓器保護電驛來確保變壓器之運轉安全性，而變壓器保護電驛之設計方式為差動原理，主要是差動保護之元件，為了變壓器在運轉之安全性考量，變壓器差動保護電驛之差動保護之功能相對就會更加重要，為確保變壓器保護動作之正確性，變壓器差動保護電驛就需具有能快速判斷及偵測故障及計算差動值之能力，不正確之變壓器差動保護電驛動作將使用戶遭受到停電損失，對用戶用電來說，所期望的是確保供電正常運轉及追求供電品質穩定，當用戶端發生事故時能使損失降至最低。對變壓器差動保護來說，一旦變壓器有事故，變壓器差動保護電驛就需馬上將一次側及二次側所屬斷路器切離來保護廠內設備之安全及不讓故障事故繼續擴大影響到非故障端供電系統，某些少數用戶曾規劃使用當變壓器發生事故時只切離一次側所屬斷路器，此時需注意到二次側負載是否會由其它路徑供電而發生事故排除後之一次側負載逆向之情形發生。主變壓器設備是將所屬之電壓以升壓或降壓方式達到使用之電壓等級供電，除非是發電廠或汽電共生

廠還會有輔助變壓器外，一般用戶主變壓器都是以降壓方式將電壓降到次階電壓等級使用，因此主變壓器一旦有事故發生會衝擊到某些迴路之供電，常發生是影響到全廠區一半之用電迴路，不過因受事故影響，廠內還確保某些迴路正常供電，常見環路供電系統中，當某一用戶發生主變壓器事件時，如果變壓器差動保護電驛能迅速動作將故障隔離，對環路其它用戶而言所受之壓降事件就可以減輕，但主變壓器保護不當，將會使廠內供電受到更大波折，嚴重時甚至還影響到其它用戶端供電，環路其它用戶甚至有更大之壓降事件發生，所以針對變壓器之保護更顯的相對重要，本文以施耐德電機 Sepam T87 變壓器差動保護電驛做為技術研討之對象。

I. 前言

供電穩定及供電可靠之供電品質是有賴於電力系統穩定之運轉，常因變壓器保護設備誤動作發生，造成供電可靠度降低及無法提升電力系統穩定性，透過對變壓器差動保護電驛技術探討及接線試驗及極性試驗來確保變壓器保護設備正確運轉，是有助於提升供電穩定性及用電安全。數位式變壓器保護電驛已具有變壓器一次側及二次側接線之補償作法並利用量測之角度判別極性接線是否正確。本文針對 Sepam T87 變壓器保護電驛做技術探討及說明極性試驗與迴路試驗。

II. 主要內容

一、Sepam T87 變壓器差動保護電驛功能及特色

智慧型數位式 SepamT87(Merlin Gerin)變壓器差動保護電驛適用於三相兩繞組變壓器保護，SepamT87 具有保護、控制、量測、通訊及監視之多功能數位式保護電驛，其外觀如圖 1 所示。SepamT87 用在變壓器保護上，最主要除了差動保護外，還包含有變壓器二次中性點接地過電流保護、電壓保護、方向性過電流保護、頻率保護及相序保護等多種功能，目前使用上以差動保護功能為主，變壓器二次側中性點接地保護功能為輔，其它附屬保護功能伴隨系統條件而做使用。



圖 1 Sepam T87 保護電驛外觀圖

變壓器差動保護基本原理是流入被保護設備與流出被保護設備的電流之大小、相位補償及時間之差來判斷是否動作的一種保護裝置。在正常運轉狀態或故障發生於被保護設備之外時，電流之流入與流出之差電流為零，即 I_{S1} 與 I_{S2} 為同方向， $\Delta I = I_{OP} = 0$ ；若故障發生於被保護設備之內時，則流入與流出之差電流不為零，即 I_{S1} 與 I_{S2} 為不同方向， $\Delta I = I_{OP} \neq 0$ 。利用流入與流出之差電流來判別故障發生於被保護設備之內部故障或外部故障，如圖 2 所示。

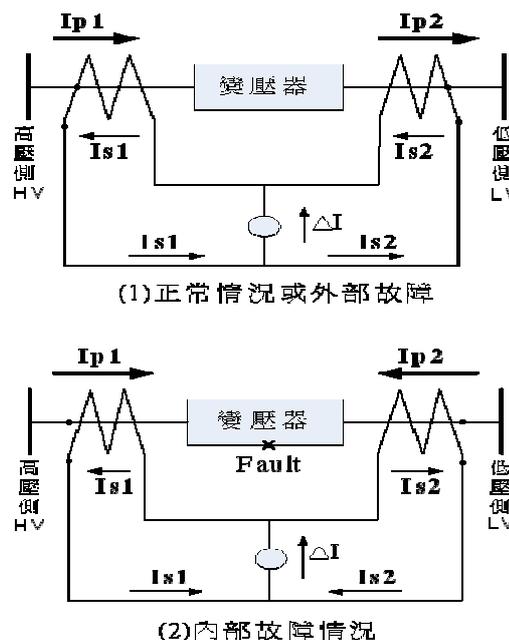


圖 2 變壓器正常與內部故障情況電流分布圖

Sepam T87 軟體提供系統簡易架構圖，使用者可以依實際變壓器一次側及二次側之情況將相關數值填入使其加深變壓器保護之印象，如圖 3 及圖 4 所示。

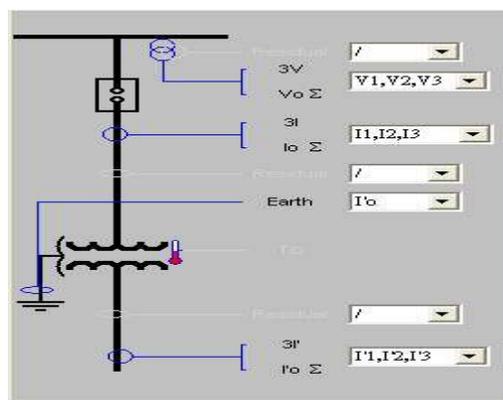


圖 3 SepamT87 軟體變壓器保護架構示意圖

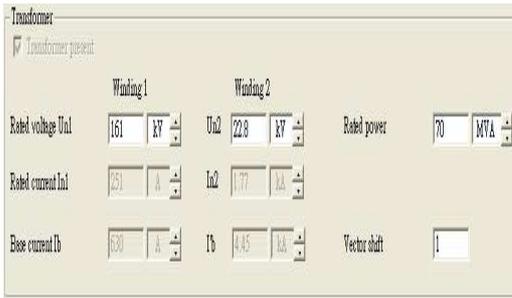


圖 4 Sepam T87 軟體變壓器電壓等級及容量圖

差動電驛 Sepam T87 可對三相兩繞組變壓器提供快速的相間及接地故障保護，同時對變壓器接線及比流器接線方式做匹配。目前數位式變壓器差動保護電驛之比流器接線都以 Y 接為主，以變壓器 Δ-Y 接 Dyn1 接法來說，當 Sepam T87 比流器接法為 Y-Y 接時，比流器接地方向為靠近變壓器側時，此時由上圖 4 所示之角度補償 (vector shift) 欄位就需依圖 5 所示對照填入 1，1 所代表以角度換算是 30 度補償，主要是補償保護電驛對比流器 Y-Y 接法因應變壓器接法為 Δ-Y 接 Dyn1 接線方式補償 30 度角，傳統式變壓器差動保護電驛接線會隨變壓器接法而跟著做補償接線，以變壓器接法為 Δ-Y 方式而言，傳統式保護電驛對比流器之接法就需要為 Y-Δ，主要原因是因傳統式保護電驛無角度補償之功能，因此只能對硬體接線部份做補償，否則對差動保護電驛來說會有差值出現進一步可能會引起差動元件動作，對使用者來說，當角度補償不恰當時，不管是傳統式保護電驛或是數位式保護電驛，對差動元件而言會判定流進節點電流會不等於流出節點電流，因此就會有差動值 Id 出現，進一步會影響到差動元件動作，所以在角度補償部份要特別注意。

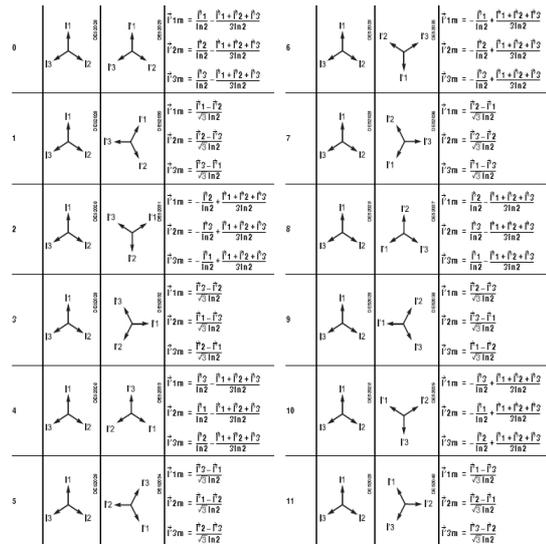


圖 5 Sepam T87 保護電驛對變壓器接線方式之補償

對 Sepam T87 來說，提供了正轉及負轉做為差動保護之判斷，如圖 6 所示，不過以變壓器保護而言，一次側及二次側之相序都需要一致才不會對保護電驛造成誤判斷，例如，T87 電驛設定使用正轉判別時，高壓側及低壓側電流相序都要皆為正轉運轉，如果 T87 電驛設定使用負轉判別時，高壓側及低壓側電流相序都要皆為負轉。

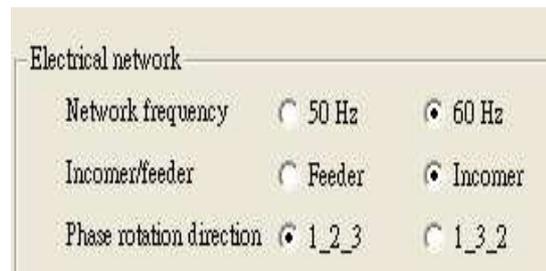


圖 6 Sepam T87 保護電驛之相序選擇

當變壓器剛啟動運轉會有突波電流 (inrush current) 發生，常造成變壓器無法順利啟動，而此現象並不是因為變壓器有故障產生，是因為變壓器鐵芯磁滯所引起物質變化而引起瞬間過電流暫態現象，多數

數位式變壓器差動保護電驛針對此現象已有因應之道，Sepam T87 變壓器差動保護電驛利用閉鎖突波電流(Inrush restraint)之暫態現象，如圖 7 所示，來達到變壓器順利啟動，此功能是因應變壓器投入之瞬間閉鎖暫態電流作法，此外，因應變壓器投入運轉及外部故障所引起之 CT 飽和現象所引起之非線性變化產生 2 次諧波問題，可由諧波抑制模式之 2 次諧波來作抑制，當變壓器運轉中如有過激磁現象，可由諧波抑制模式之 5 次諧波來作抑制，這是常見變壓器差動保護電驛所具有之抑制功能，Sepam T87 也相同具有此功能；此外 Sepam T87 也提供 CT 電流瞬間變為 0 閉鎖差動元件機制，此功能為 Restraint on sensor loss，如圖 7 所示，此功能是利用量測功能來偵測三相其中之一相電流是否為異常變為 0 而決定是否閉鎖差動元件，主要設計做法是因應比流器本身之問題而導致保護電驛感應不到電流存在，因此而設計出 Restraint on sensor loss 條件去閉鎖差動保護元件。

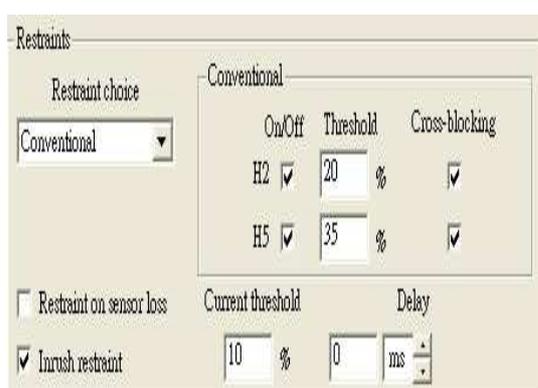


圖 7 Sepam T87 差動保護抑制功能

Sepam T87 差動保護電驛依其差動特性曲線，如圖 8 所示，劃分為跳脫區域，此差動特性曲線稱之為比率式差動曲線，當負載電流越大時所對應之差動值就越大，此為比率式差動曲線之特性。

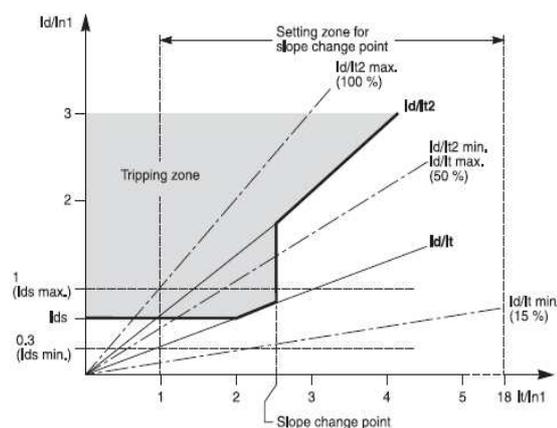


圖 8 Sepam T87 差動保護特性曲線圖

二、Sepam T87 角度補償作法

[1]. 變壓器接法高壓側領先低壓側 30 度

1. 比流器接法：高壓側及低壓側比流器接地方向同時靠近變壓器端或同時遠離變壓器端。

此模式中，Sepam T87 角度補償 vector shift 為 1，經試驗後，差動值及角度差值為如圖 9 所示。

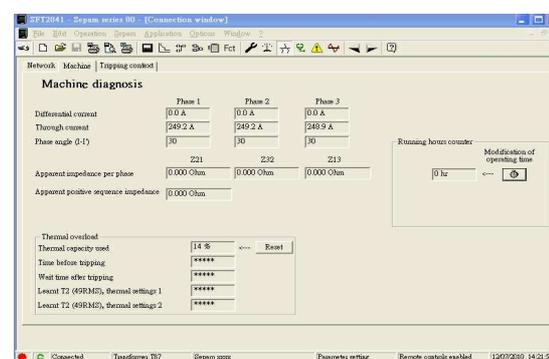


圖 1 圖 9 Sepam T vector shift 1 補償做法

2. 比流器接法：高壓側及低壓側比流器接地方向一邊靠近變壓器端及一邊遠離變壓器端。

此模式中，Sepam T87 角度補償 vector shift 為 7，經試驗後，差動值及角度差值為如圖 10 所示。

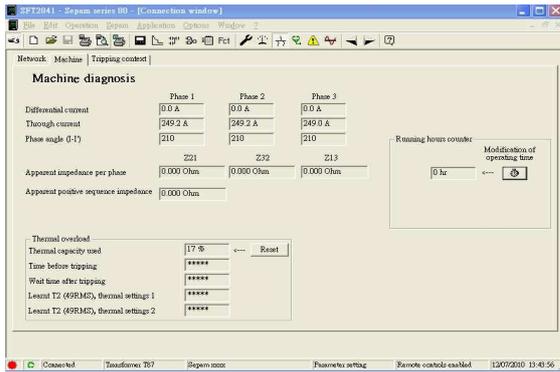


圖 10 Sepam T87 vector shift 7 補償做法

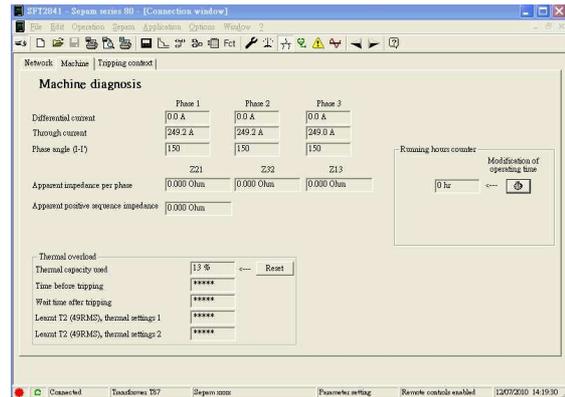


圖 12 Sepam T87 vector shift 5 補償做法

[2]. 變壓器接法高壓側落後低壓側 30 度

1. 比流器接法：高壓側及低壓側比流器接地方向同時靠近變壓器端或同時遠離變壓器端。

此模式中，Sepam T87 角度補償 vector shift 為 11，經試驗後，差動值及角度差值為如圖 11 所示。

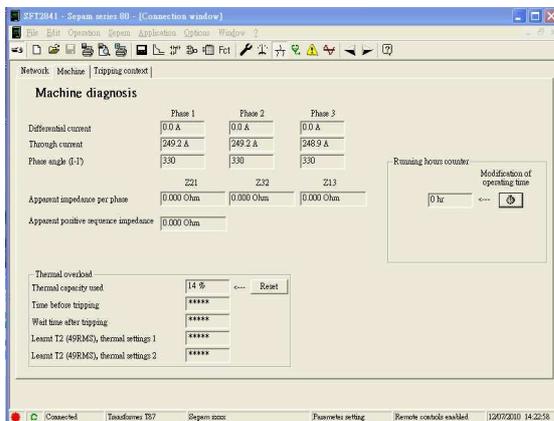


圖 11 Sepam T87 vector shift 11 補償做法

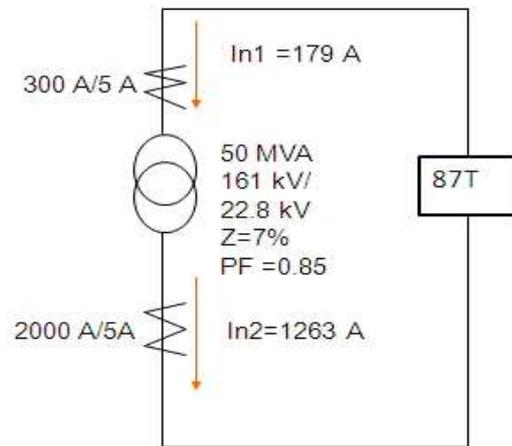
2. 比流器接法：高壓側及低壓側比流器接地方向一邊靠近變壓器端及一邊遠離變壓器端。

此模式中，Sepam T87 角度補償 vector shift 為 5，經試驗後，差動值及角度差值為如圖 12 所示。

三、Sepam T87 差動保護標置設定計算

有關於差動保護標置設定值為差動值 (I_{ds})、第一轉折點斜率 (I_d/I_t slope)、第二轉折點 ($slope\ change\ point$)、第二轉折點斜率 (I_d/I_{t2} slope)、87H (87T high)；此外因應簡易化設定，可將相關第二轉折點設定忽略是有條件式，不過為了動作之靈敏度考量建議使用第二轉折點相關設定來健全差動保護特性。

[1]. 以一範例計算變壓器差動標置設定值：



1. 額定電流計算：

(1) 主變一次側額定電流

$$I_{n1} : 50\text{ MVA} / (\sqrt{3} * 161\text{ kV})$$

$$= 179\text{ A } 179 \times 1.5 = 268\text{ A}$$

CT ratio 選用 300/5

(2) 主變二次側額定電流

$$\begin{aligned} I_{n2} &: 50 \text{ MVA} / (\sqrt{3} * 22.8 \text{ kV}) \\ &= 1263 \text{ A} \end{aligned}$$

$$1263 * 1.5 = 1894 \text{ A}$$

CT ratio 選用 2000/5

(3) 主變壓器激磁突入電流 (Inrush point) 約為一次側額定電流 10-12 倍

$$I_m = 179 \text{ A} * 12 = 2148 \text{ A}$$

2. 電驛標置計算：

$$I_{nr} / TC = 2148 / (\sqrt{2} * 300) = 5.06 < 6.7$$

(固定比較值)

(技術手冊提到 I_{nr} / TC 值要小於 6.7)

(1) I_{ds} 差動值計算：

量測誤差 =

$$100x \left[\frac{(100 + \beta)}{100} - \frac{(100 - \alpha)}{(100 + b)} \right]$$

(固定公式)

b = Tap changer peak deviation 約為 15%

α = 一次側 CT 誤差值；

β = 二次側 CT 誤差值 (5P₀=5%)

量測誤差 =

$$100x \left[\frac{(100 + \beta)}{100} - \frac{(100 - \alpha)}{(100 + b)} \right]$$

= 22.4%

而 Relay 誤差值以 2% 計算

Total error : 22.4% + 2% = 24.4% < 30% (最小值)

取 I_{ds} 為 30% (最小值為 30%)

(2) I_d / I_t slope :

量測誤差 =

$$100x \left[1 - \frac{(100 - \alpha)}{(100 + b)} \frac{100}{(100 + \beta)} \right]$$

(固定公式) = 21.3%

而 Relay 誤差值以 2% 計算

安全裕度以 5% 計算

Total error : 21.3% + 2% + 5% = 28.3%

取 I_d / I_t slope 為 29%

電驛協會會刊 32 期

(3) slope change point:

$$I_{nr} = \frac{2148}{179 \cdot \sqrt{2}} = 8.5 > 8, \text{ 當 } I_{nr} \text{ 值}$$

大於 8 時，需要設定第二

轉折點設定值，選用 conventional 模式，如圖 7 所示。

(當 $I_{nr} < 8$ ，不需要設定第二轉折點，選用 adaptive 模式)

選用 conventional restraint 模式：

slope change point

$$\leq 2 + \frac{3}{4} I_{nr}^3 \cdot \frac{I_d / I_t}{100} = 2 + \frac{3}{4} \cdot 17.347 \cdot 0.29 =$$

5.8

(4) I_d / I_{t2} slope:

$$I_d / I_{t2} \geq 100 - 3.75 \cdot I_{nr} = 68.125$$

(最小值為 75%)

取 I_d / I_{t2} slope = 75%

87H 電流計算：

主變壓器激磁突入電流 (Inrush point) 為一次側額定電流 10-12 倍

$$I_m = 179 \text{ A} * 12 = 2148 \text{ A}$$

$$I_{dmax} = I_{nr} = \frac{2148}{179 \cdot \sqrt{2}} = 8.5$$

依上述條件完成 87T 相關之設定值，如圖 13 所示。

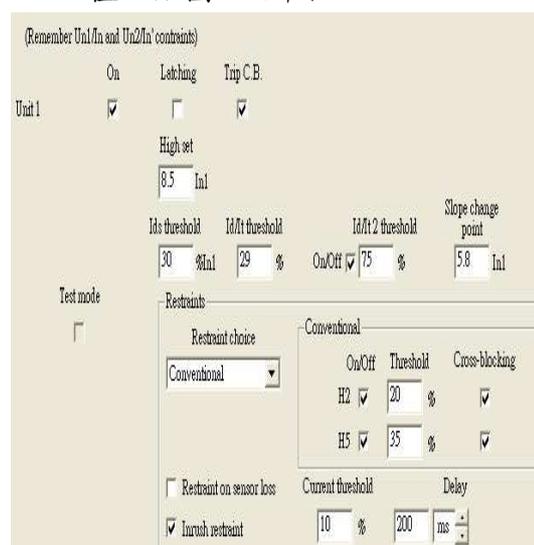


圖 13 Sepam T87 差動保護設定值

四、主變壓器比流器極性試驗

(1) 87T 短路試驗

87T 短路試驗以簡易之試驗圖表示，如圖 14 所示，主要是確認變壓器高低壓側之比流器極性是否正確並是否與保護電驛設定匹配。

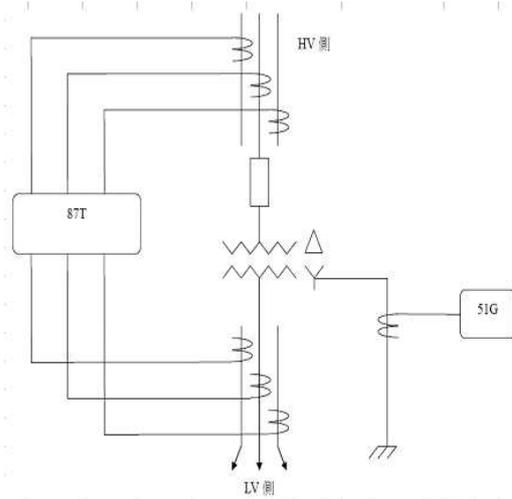


圖 14 主變壓器短路試驗架構圖

以雙匯流排單斷路器之做法說明，選擇先以 Bus2 接地開關為注入點並選擇在各主變壓器迴路低壓側短路使之成為電流迴路，下圖 15 所示。各迴路之 87T 短路試驗先以 Bus2 為量測點，也就是各迴路之 Bus2 銜接開關 DS 先行投入，Bus Tie 斷路器打開。

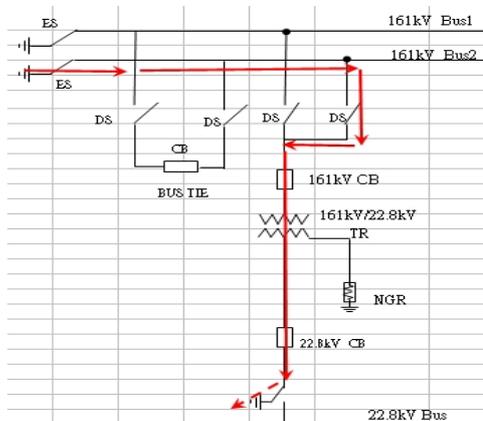


圖 15 Bus2 之主變壓器短路試驗架構圖

注入點量測之數值為 R: $4.8A \angle -177^\circ$ ，S: $4.8A \angle -297^\circ$ ，T: $4.8A \angle -59^\circ$ ，系統給定主變壓器高壓側 CT: 600/5，低壓側 CT: 3000/5，將各相關之開關依序投入，依序量測各主變器迴路之高壓側及低壓側之極性是否正確，並確認主變壓器保護電驛接線試驗是否無誤；同理，量測經 Bus1 之迴路先將 Bus TIE 斷路器投入並將 Bus1 銜接開關 DS 先行投入，依注入點量測方式高低壓之極性數值，如圖 16 所示。

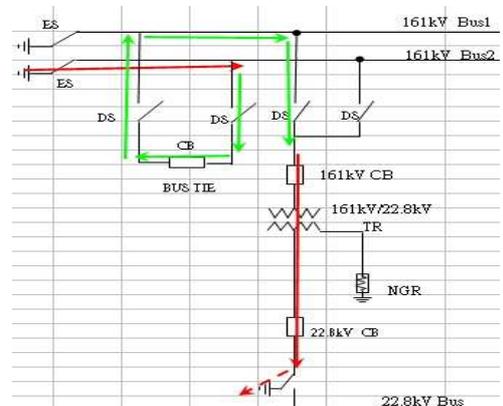


圖 16 Bus1 之主變壓器短路試驗架構圖

給定四台相同之主變壓器(F1~F4)之容量各為 161kV/22.8kV，60/75/90MVA，Z=11%，主變壓器 Dy1 結線方式，經量測後將數值結果如表 1 所示。

表 1 主變壓器保護電驛接線試驗結果比較

F1設備 名稱	161kV CT for 600/5			22.8kV CT for 3000/5		
	R相	S相	T相	R相	S相	T相
87T for Bus2	39mA $\angle -175^\circ$	40mA $\angle -296^\circ$	41mA $\angle -54^\circ$	59mA $\angle -26^\circ$	56mA $\angle -147^\circ$	57mA $\angle -266^\circ$
87T for Bus1	38mA $\angle -174^\circ$	41mA $\angle -299^\circ$	42mA $\angle -51^\circ$	59mA $\angle -26^\circ$	56mA $\angle -147^\circ$	57mA $\angle -266^\circ$

F2設備 名稱	HV CT for 600/5			MV CT for 3000/5		
	R相	S相	T相	R相	S相	T相
87T for Bus2	39mA $\angle -175^\circ$	40mA $\angle -298^\circ$	40mA $\angle -53^\circ$	60mA $\angle -25^\circ$	55mA $\angle -146^\circ$	56mA $\angle -268^\circ$
87T for Bus1	38mA $\angle -175^\circ$	40mA $\angle -297^\circ$	41mA $\angle -53^\circ$	60mA $\angle -25^\circ$	55mA $\angle -146^\circ$	56mA $\angle -268^\circ$

F3設備 名稱	HV CT for 600/5			MV CT for 3000/5		
	R相	S相	T相	R相	S相	T相
87T for Bus2	39mA $\angle -175^\circ$	39mA $\angle -297^\circ$	40mA $\angle -52^\circ$	58mA $\angle -26^\circ$	56mA $\angle -145^\circ$	56mA $\angle -266^\circ$
87T for Bus1	38mA $\angle -174^\circ$	40mA $\angle -294^\circ$	40mA $\angle -53^\circ$	58mA $\angle -26^\circ$	56mA $\angle -145^\circ$	56mA $\angle -266^\circ$

F4設備 名稱	HV CT for 600/5			MV CT for 3000/5		
	R相	S相	T相	R相	S相	T相
87T for Bus2	38mA $\angle -174^\circ$	39mA $\angle -297^\circ$	41mA $\angle -54^\circ$	60mA $\angle -25^\circ$	54mA $\angle -145^\circ$	56mA $\angle -267^\circ$
87T for Bus1	38mA $\angle -175^\circ$	40mA $\angle -296^\circ$	40mA $\angle -53^\circ$	60mA $\angle -25^\circ$	54mA $\angle -145^\circ$	56mA $\angle -267^\circ$

電力系統依循國際慣例規定變壓器之標準結線為高壓側領先低壓側 30° ，因此電力變壓器的高壓側繞組無論是屬於 Y 或 Δ 方式結線，其電壓相量關係均為高壓側領先低壓側 30° 。對實際之主變壓 for 87T CT 所量測之結果分析，正相序高壓側及低壓側之 CT 角度分別會有相差 150° 之關係，代表變壓器高低壓側之 CT 極性正確，大多數之變壓器保護電驛都是以正轉做為保護之相序方式，但也有變壓器保護電驛可使用負轉做為保護之相序方式，經實驗後發現，只要高低壓側之比流器之相序一致並搭配保護電驛之相關匹配值就可達到正確保護之功能。

(2) 51G 變壓器二次側中性點接地短路試驗

電驛協會會刊 32 期

變壓器二次側中性點接地短路試驗可以直接以接地方式做量測，如圖 17 所示。

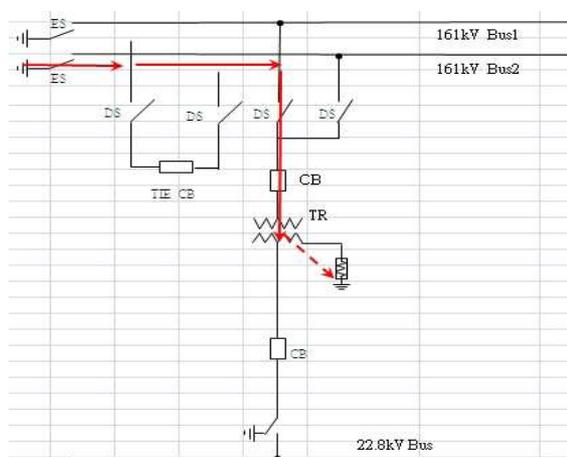


圖 17 主變壓器二次側中性點接地短路試驗圖

III. 結論

提升保護電驛正確判斷力是有助於電力系統穩定性及增加用電可靠度，穩定及可靠電力供應也是用戶提昇產值之動力來源，極性試驗攸關著保護電驛是否能正常判斷，變壓器保護有賴於差動保護電驛，對於變壓器保護之方式必須特別注意，電力系統中，保護設備之方式會因保護模式不同而有不同之保護作法，為了變壓器在運轉之安全性考量，變壓器差動保護電驛之差動保護之功能相對就會更加重要，因此變壓器之差動特性之試驗也需要重視其重要性，以確保變壓器保護之第一道防線，確保保護電驛能真正對變壓器達到保護作用。

IV. 參考文獻

- [1] 李宏任，實用保護電驛，全華科技，1999 年 5 月。
- [2] L. G. Hewitson, M. Brown, and R. Balakrishnan, *Practical Power System Protection*, Newnes (Elsevier), 變壓器差動保護電驛技術及短路試驗探討

Burlington, MA, USA, 2005.

- [3] C. Christopoulos, and A. Wright, *Electrical Power System Protection*, 2nd edition Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [4] 柯倫寬、黃培華，“變電站新型變壓器差動保護電驛之差動功能測試研究”，第 28 屆電力工程研討會，pp. C04.1-1-C04.1-5，2007。
- [5] 黃培華、柯倫寬、許文興，“特高壓用戶電力系統保護設備極性測試技術探討”，電機技師第 136 期會刊，pp. 67-77，2009 年 8 月。
- [6] 施耐德電機公司網站，
<http://www.schneider-electric.com.tw>
。
- [7] Anthony F. Sleva, *Protective Relay Principles*, CRC Press Taylor&Francis Group, 2009.
- [8] Schneider Electric, *Sepam Series 80 user manual*, Assystem France, 2009.

SEL-387 數位式變壓器差動保護

電驛工作經驗分享

高屏供電區營運處 周南焜、莊雅欽、王坤展、林孟澤

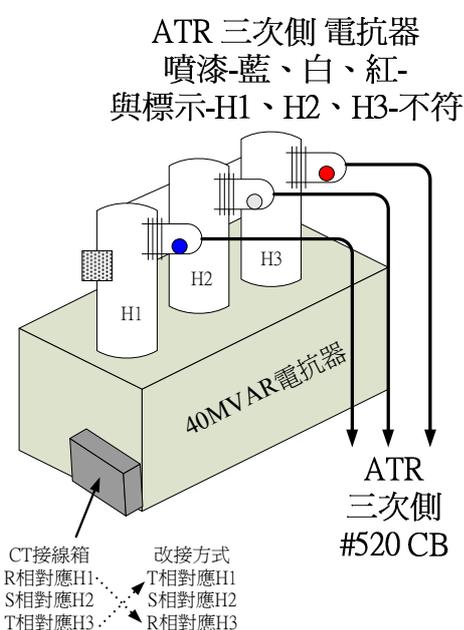
一、前言：

近期由於○○超高壓變電所(簡稱○○E/S)加入前電驛竣工試驗，接觸到 SEL 製數位式變壓器差動保護電驛(SEL-387)，包括自耦變壓器(簡稱 ATR)、主變壓器(簡稱 MTR)、配電變壓器(簡稱 DTR)。無論在標置設定、電驛特性試驗、跳脫試驗及取載試驗皆與傳統式電驛有所差異，為配合變電所加入系統的時程，必需取得該型式電驛圖審圖面、電驛標置標準檔、原廠電驛說明書及電驛測試的儀器，除了利用最短的時間了解相關資料用以驗證電驛設定，亦需要使用正確的測試方法，才能確保電驛完整的保護功能，在此將對自耦變壓器的電驛測試方法做一簡單的介紹。

二、單線圖(與實體配接線)：

電驛竣工試驗除了解電驛的標置設定及測試方法外，更需在事前對於比流器(簡稱 CT)、比壓器(簡稱 PT)、直流電源回路(DC 回路)及整個保護架構做詳細的研擬及繪圖分析，才能按部就班測試完整。另外；若是在施工單位規劃圖面有錯誤時，才能經比對後快速除錯。繪製圖面方面，參考施工處的工程圖外，亦需要至現場設備查看 CT、PT 接線，配合該現場設備的竣工接線圖依序查對，檢查 CT 接線及設備本身相別標示符號(H1、H2、H3)和 CB 各相上紅、白、藍的噴漆，是否因設備方

向轉向而有 R、T 顛倒的情形(本次 ATR 三次側電抗器有此狀況，最後請廠商更換現場 CT 接線箱 CT 的 R 相與 T 相的 CT 端子台內側接線)。如下圖一。



解決方法：將現場CT接線箱內，端子台內側對調R相及T相的CT接線，並加註文字標示。並請廠商將H1、H2、H3做修改，以符合藍、白、紅。

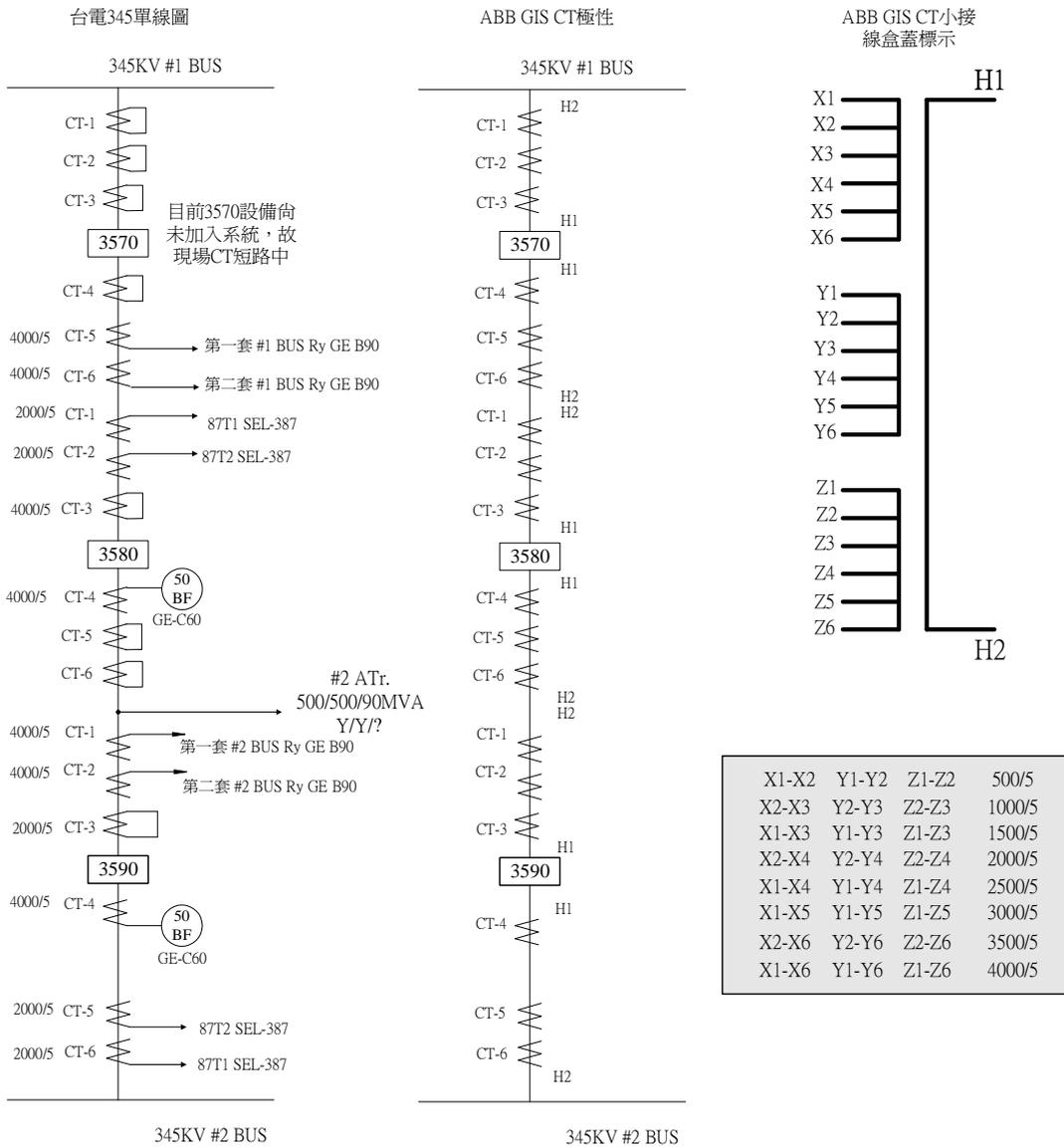
圖一

接著是 CT 所經過的路徑，○○E/S 為 345kV ABB 製 GIS，因此 CT 接線箱較其他廠牌有所不同，CT 匝比更改需在 GIS 的小接線盒上變更，若平時要檢查或變更較為不易且非常危險。小接線盒之後，再從 GIS 旁的斷路器操作控制箱，將六蕊 CT 接線比對竣工圖面及現場 BUS 所在位置，依保護電驛之極性需求正確出線(此處

特別容易出錯，因為原廠接線圖面 CT1 至 CT3 及 CT4 至 CT6 的 H1 至 H2 側是從斷路器向外算的(CT1~CT3 是 CB 向#1BUS 側算過去及 CT3~CT6 則由同一 CB 向 #2BUS 算過去)，而台電 CT1 至 CT6 的順

序則是從#1BUS 算向#2BUS，再配合各種電驛所需之保護方向，依上述三者再決定出線為何)，如下圖二。

台電345kV單線圖與ABB GIS CT極性比照圖



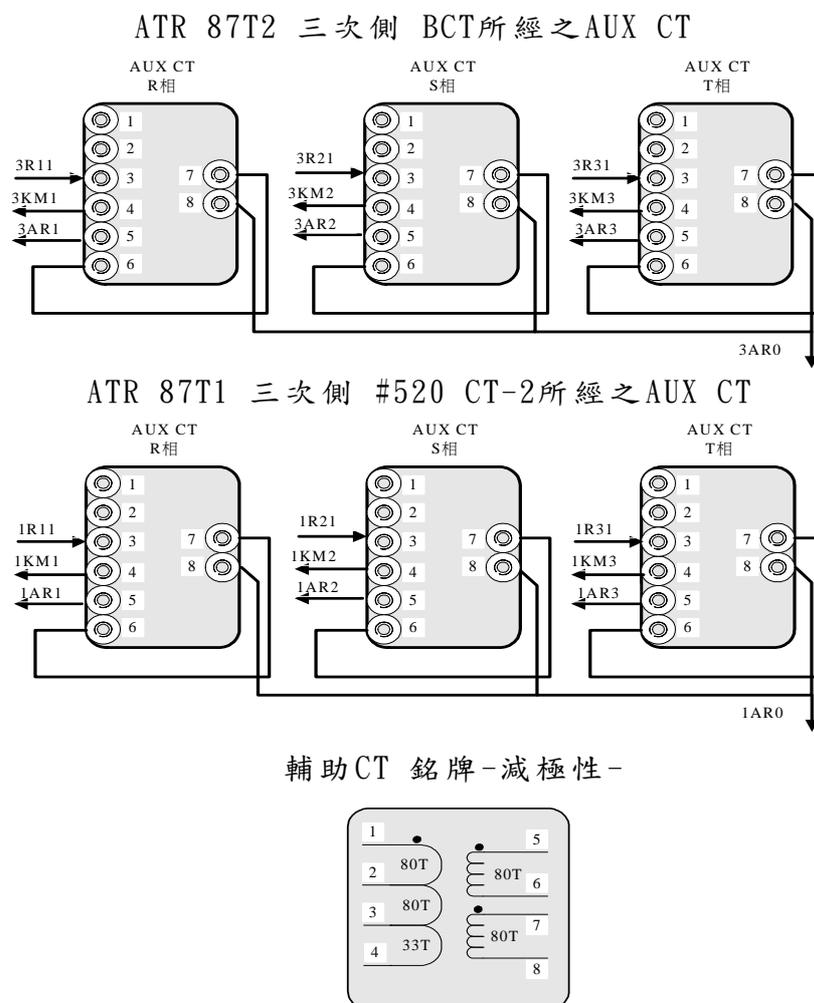
圖二

暫時不使用的 CT 將其滿匝比短路，防止 CT 開路的情形；而變壓器的中性點接地之 CT(NCT)則需要確認沒被短路(此次○○E/S 短路試驗時，發現 MTR 旁的中

性點 CT 接線箱，其路徑共經過三個接線箱，前二個接線箱皆被短接，第三個接線箱正確使用，於二相短路試驗時察覺至現場查看並修改)。CT 組別的確認，是使用

儀器(DOUBLE)至現場 CT 操作控制箱處，拆電驛側 CT 接線灌電流，另一人至電驛室查看電驛 Meter 顯示外，若有經過輔助 CT，再使用勾表量測確認(本次○○E/S 原以為損壞 7 只輔助 CT，最後發現是輔助 CT

的型式加極性及減極性問題，加極性與減極性 AUX CT 配接線方式不同，為求統一，請廠商更換為減極性型式之輔助 CT 後便解決問題)如下圖三。



圖三

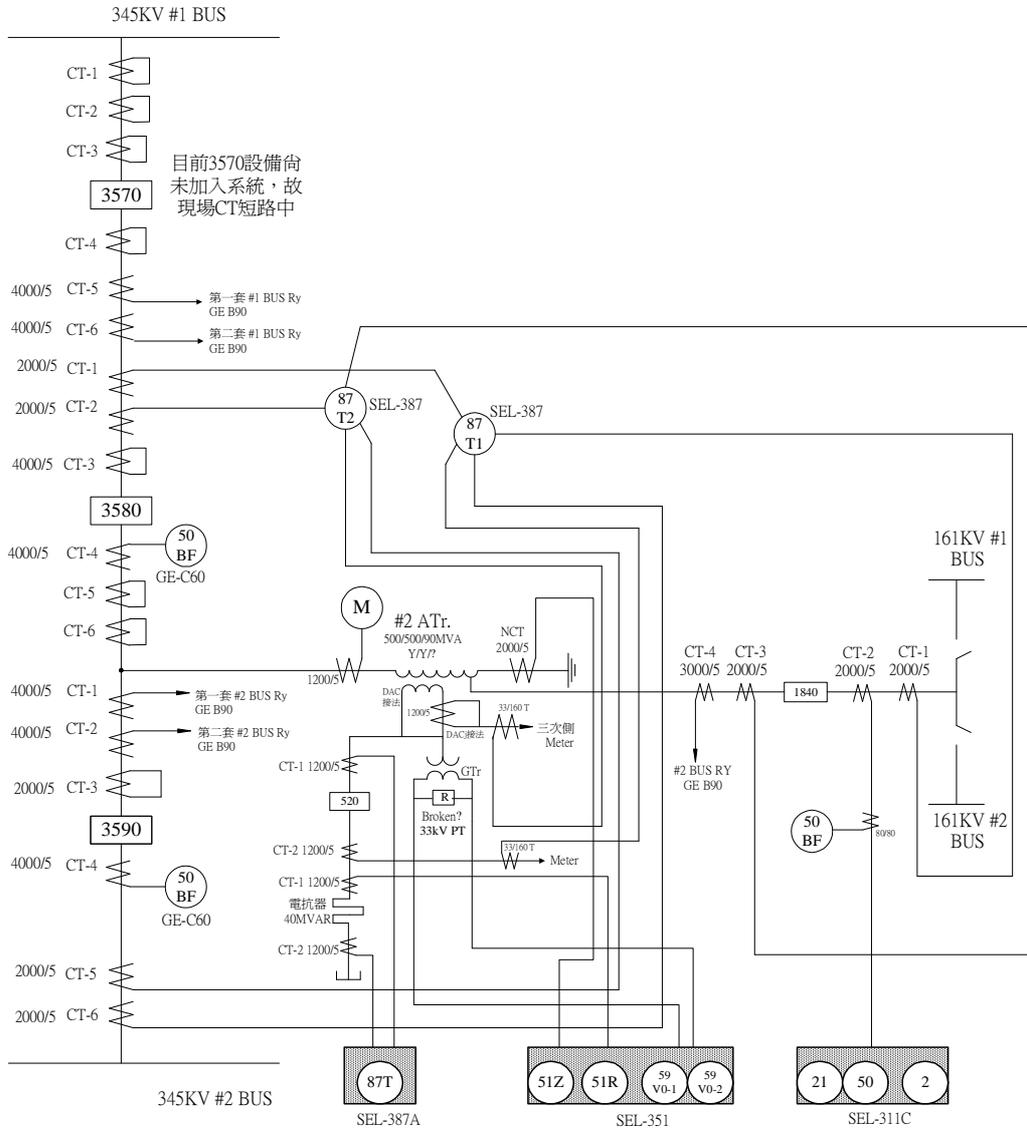
ATR 三次側匝比方面，標置設定為 $6000/5=1200$ ，而現場 CT 接線箱放置 $1200/5$ ，電驛盤後上方輔助 CT 為 $33T/160T$ (因 $N1/N2=I2/I1$) 所以約為 $5/1$ 的電流比，經計算為 $1200/5 * 160/33 = 1163$ (約為 1200) ATR 三次側的 CT 需有二組，分別給 87T1 及 87T2 使用，為 #520 的 CT-2 (Y 接給 87T1) 和 ATR 三次側 BCT (Delta 轉 Y 電驛協會會刊 32 期

接給 87T2)，所以三次側 BCT 需再經過 DAC 接線轉換，才會與 #520 CT-2 的電流大小相等角度相同 (此部份需確認接線及灌電流時正確，才不至於正式短路試驗時造成錯誤再修改)。

而 ATR 三繞組為 Y/Y/Δ 之 Delta 接線，接成 DAC 接法 (YD1, 1-6, 2-3, 4-5, 系統送負相序)。

SEL-387 數位式變壓器差動保護電驛工作經驗分享

○○E/S #2ATr. (3580, #3590, #1820 & #520)單線圖



圖四

三、電驛標置介紹：

Group1\Set1\Config.Setting

RID：此台電驛廠家、型式以及案號。

→RID：387 ATR GF2-950055

TID：輸入變電所名稱、設備名稱、CB 號碼等資料。

→TID：MILI ES #2 ATR 3580 CT1 3590 CT6 1820 CT1 520 CT2 AUX CT

E87W1、E87W2、E87W3、E87W4：將繞組一至繞組四開啟至差流元件中，並以這四個繞組做為差動保護。

→E87W1~E87W4：Y

EOC1、EOC2、EOC3、EOC4：將繞組一至繞組四的過流功能開啟。

→EOC1~EOC4：Y

Group1\Set1\General Data

W1CT、W2CT、W3CT、W4CT：選擇繞組的 CT

以什麼接法接入電驛的 CT 模組，Y=Y 接，D=Delta 接。

→W1CT~W4CT：Y

CTR1、CTR2、CTR3、CTR4：現場各比流器匝比。

→CTR1、CTR2、CTR3=400 為 2000/5，CTR4=1200=6000/5(ATR 一次側為 345kV 一個半匯流排架構，使用 CTR1 及 CTR2；二次側 161kV 為雙匯流排架構，使用 CTR3；三次側為 33kV 使用 CTR4。

MVA：為 ATR 一次側的容量。

→MVA：500。

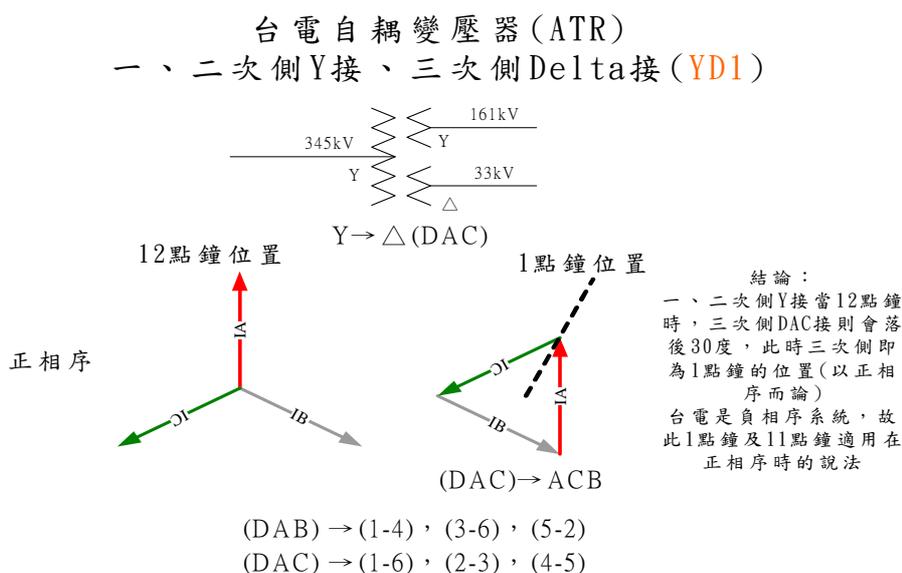
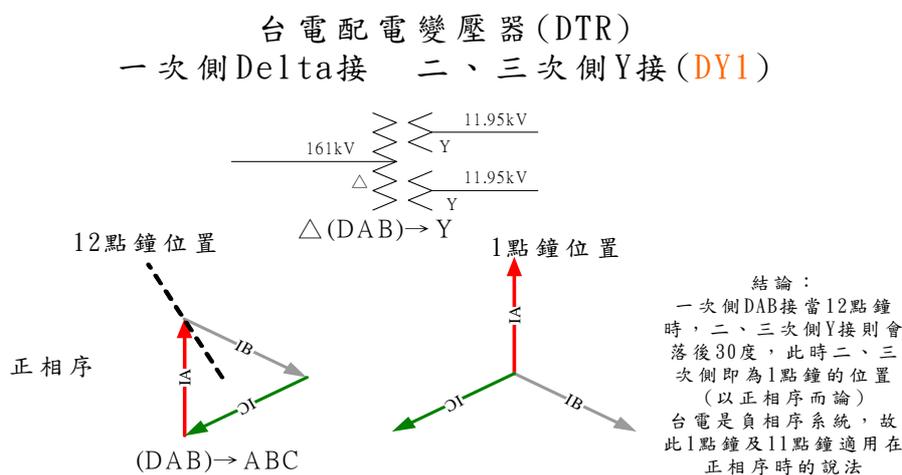
ICOM：接入電驛 CT 模組是否需要補償(大

小及角度即Δ-Y 轉換)。

W1CTC、W2CTC、W3CTC、W4CTC：目前方式是以 ATR 一次側繞組(W1CTC、W2CTC)做為基準(0°)，其他繞組(W3CTC、W4CTC)需補償的大小及角度。

→W1CTC~W3CTC：12(12 為移除零序補償則設定為” 12 ”，若有零序補償設定為” 0 ”)。

W4CTC：1(以正相序而言，高壓側領先低壓側 30°，所以將 360°看做時鐘 12 小時。1 點鐘為二次側落後一次側 30°之相量形狀)，如下圖五。



圖五

VWDG1、VWDG2、VWDG3、VWDG4：繞組一至繞組四的線電壓(相對相電壓)值。

VWDG1、VWDG2：345

VWDG3：161

VWDG4：33

Group1\Set1\Diff Elems

TAP1：繞組一的電流 TAP 值。

→TAP1=2.09

TAP2：繞組二的電流 TAP 值。

→TAP1=2.09

TAP3：繞組三的電流 TAP 值。

→TAP1=4.48

TAP4：繞組四的電流 TAP 值。

→TAP1=7.29

如下圖六。

TAP值計算公式

TAPn=	$\frac{MVA * 1000}{1.732 * kV * CTR}$	
TAP1=	$\frac{500MVA * 1000}{1.732 * 345kV * 400}$	=2.09
TAP2=	$\frac{500MVA * 1000}{1.732 * 345kV * 400}$	=2.09
TAP3=	$\frac{500MVA * 1000}{1.732 * 161kV * 400}$	=4.48
TAP4=	$\frac{500MVA * 1000}{1.732 * 33kV * 1200}$	=7.29

圖六

O87P：第一段差動成份電流始動值。

→O87P：0.3 TAP

SLP1：第一段斜率設定值。

→SLP1：30

SLP2：第二段斜率設定值。

→SLP2：60

IRS1：第一段斜率與第二段斜率轉折點。

→IRS1：3 TAP

U87P：第二段差動成份電流始動值(不受

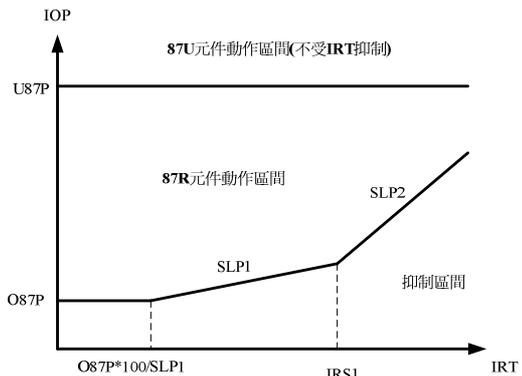
IRT 仰制成份電流影響，即 IOP=U87P 即動作 87U 元件)。

→U87P：10 TAP

PCT2：二次諧波成份電流值佔正常電流幾%時動作(達到 15%以上即閉鎖電驛)。

→PCT2：15

如下圖七。



圖七

Group1\Set1\Trip Logic

TR1：(87R+87U)*IN201。

→第一個跳脫元件規劃條件，87R 為第一段差流始動元件，87U 為第二段差流始動元件，IN201 為 87T1 USE 信號，即 87T1 USE 時任一差流元件動作即 TR1 動作。

TR4：(50P13 + 50N12 + 50P23 + 50N22 + 50P33 + 50N32 + 50P43 + 50N42) * IN203 * IN201。

→50P 為相間瞬時過流元件，50N 為接地瞬時過流元件，IN203 為 BFT(為 345KV BF 動作信號)，即 87T1 USE 時接到到 BFT 信號及任一過流元件動作即 TR4 動作。

ULTR1：!(87R+87U)。

→87R 及 87U 二者皆沒有動作的話就復歸 TR1。

ULTR4：!(50P13 + 50N12 + 50P23 + 50N22 + 50P33 + 50N32 + 50P43 + 50N42)。

→所有的相間及接地瞬時過流元件都沒有

動作的話就復歸 TR4。

四、電驛特性試驗：

使用 DOLBE 儀器特性試驗：

以配電變壓器(DTR)為例來說明，因為儀器能夠輸出的電流值有限，只能測試 161KV/23.9 kV 的電流值(161KV/11.95 kV 的電流值加不上去)，所以需暫時將 SETTING 的電壓等級改成 161/23.9/23.9 kV，而 TAP 會自動算出為 2.15/3.62/3.62(可依上述公式計算驗證)。

1、測試最小始動 O87P=0.3TAP(標置同 ATR，但 TAP 值不同)，W1CTC=12，W2CTC=1，W3CTC=1。

當 WnCTC=12 時，A 參數=1.5；WnCTC=0 時，A 參數=1；WnCTC=1 時，A 參數 = 1.732。

故：

高壓側繞組為 W1CTC=12(A 參數=1.5)，TAP=2.15

始動公式為：

$$\begin{aligned} O87P &= 0.3 * TAP * A \text{ 參數} \\ &= 0.3 * 2.15 * 1.5 = \underline{0.9675A} \end{aligned}$$

則低壓側(23.9 kV)：W2CTC=1(A 參數=1.732)，TAP=3.62

始動公式為：

$$\begin{aligned} O87P &= 0.3 * TAP * A \text{ 參數} \\ &= 0.3 * 3.62 * 1.732 = \underline{1.88101A} \end{aligned}$$

2、二次諧波抑制功能(閉鎖)PTC2=15。

高壓側(161kV)

當故障電流=If 時，

$$\begin{aligned} I_2(120\text{HZ}) &= \text{故障電流 } I_f * \text{PTC2} \% \\ &= 0.9675 * 15\% = \underline{0.145125A(120\text{HZ})} \end{aligned}$$

低壓側(23.9 kV)

當故障電流=If 時，

$$\begin{aligned} I_2(120\text{HZ}) &= \text{故障電流 } I_f * \text{PTC2} \% \\ &= 1.88101 * 15\% = \underline{0.28215A(120\text{HZ})} \end{aligned}$$

3、測試最大始動 U87P=10TAP。因為設定 10 太大，所以可以暫時更改 2~5 來測試。暫時更改設定為 U87P=5。

故：

高壓側繞組為 W1CTC=12(A 參數=1.5)，TAP=2.15

始動公式為：

$$\begin{aligned} U87P &= 5 * TAP * A \text{ 參數} \\ &= 5 * 2.15 * 1.5 = \underline{18.61955A} \end{aligned}$$

則低壓側(23.9 kV)：W2CTC=1(A 參數=1.732)，TAP=3.62

始動公式為：

$$\begin{aligned} U87P &= 5 * TAP * A \text{ 參數} \\ &= 5 * 3.62 * 1.732 = \underline{31.3501A} \end{aligned}$$

4、驗證第一段斜率特性，SLP1=30：

因始動值與第一段斜率的分界為

$$O87P * 100 / \text{SLP1} = 0.3 * 100 / 30 = 1$$

又 IRS1=3 時，所需模擬的電流，DOBLE 可能會加不上去，所以將 IRS1 暫改成 2。

CT 補償設定成 W1CTC = W2CTC = W3CTC = 0，且 CT 接線 W1CT = W2CT = W3CT = Y。(說明書建議)

所以 A 參數皆為 1。

測試方法：

需同時於高壓側和低壓側各一個繞組同時灌同相(如 R 相)電流但角度相差 180 度，然後低壓側從初始值再慢慢降至動作值的電流至電驛動作(87R-1)並紀錄動作時的電流(低壓側)。

則先選定 IRT 為 1.5 當做斜率 1 上的一點取樣點：

高壓側固定電流：

$$IAW1=1.5 * (1+30/200) * 2.15 * 1=3.70875A \angle 0^\circ$$

低壓側(23.9KV)的測試初始值為：

$$IAW2=高壓側固定電流 * 3.62/2.15 * 1/1 =6.2445A \angle 180^\circ$$

低壓側(23.9KV)動作值的電流：

$$IAW2=1.5 * (1-30/200) * 3.62 * 1 = 4.6155 \angle 180^\circ$$

5、驗證第二段斜率特性，SLP2=60：

高壓側固定電流：

則先選定 IRT 為 2.2 當做斜率 2 上的一點取樣點：

$$IAW1=(2.2 * (1+60/200) + 2 * (30-60)/200) * 2.15 * 1 = 5.504A \angle 0^\circ$$

低壓側(23.9KV)動作值的電流：

$$IAW2=(2.2 * (1-60/200) - 2 * (30-60)/200) * 3.62 * 1 = 6.6608A \angle 180^\circ$$

低壓側(23.9KV)的測試初始值為：

$$IAW2=1.1 * 6.6608A \angle 0^\circ = 7.3268A \angle 180^\circ$$

使用 ISA 儀器特性試驗：

以配電變壓器(DTR Δ-Y)來說明，測試 161KV/23.9 kV 為例：

1、W1CTC=12，W2CTC=1，W3CTC1；

$$W1CT=W2CT=W3CT=Y$$

因為 IRS1=3 太大沒辦法測試，故暫改 IRS1=1.5。

2、161/23kV DTR SEL-387。

3、2 繞組斜率驗證 161KV/23.9KV。

4、一次要接六個電流至高、低壓側的 PK-2(為四蕊的測試線 2 條)。

5、現場配電變壓器為 delta-Y 為(1-4)(2-5)

SEL-387 數位式變壓器差動保護電驛工作經驗分享

(3-6) DAB 接法(DY1)。

6、此檔可測 O87P=0.3，第一段斜率及第二段斜率驗證

7、二次諧波閉鎖測試。

電驛測試軟體差動(87)模組設定步驟：

選擇視窗如下：

1. \系統\Transformer。

註：若為 MTR(Y/Y 接)則需要在上圖的 Zero current trap 前的框框勾選，將零序電流成份消除。才可以正常試測電驛。

2. 接線方式：DAB(一次側)，Y(二次側)。

3. Vnom in kV：一次側：161，二次側 23.9。

4. CT 比率：一次側為 100(500/5)，二次側為 400(2000/5)。

5. 變壓器接頭(TAP)：此軟體在鍵入上述資料後即可自動算出，也自行計算。

6. Inom：一、二次側皆都設定為 1。

7. Pn：變壓器一次側容量(MVA 值)。

8. Predefined transformer taps 勾選此項為直接鍵入一、二次側 TAP 值。

9. Fn：設定為 60Hz。

10. \系統\Relay Characteristics。

11. 選擇二段式斜率特性。

12. PKUP 為 O87P 設定為 0.3TAP。

13. 斜率 1 設定為 30%。

14. 斜率 2 設定為 60%。

15. BASE POINT 為 IRS1 設定為 1.5TAP。

16. MAX IR 為 X 軸的最大值設定為 3TAP。

17. MAX Id 為 Y 軸的最大值設定為 3TAP。

18. IRT 公式選擇為

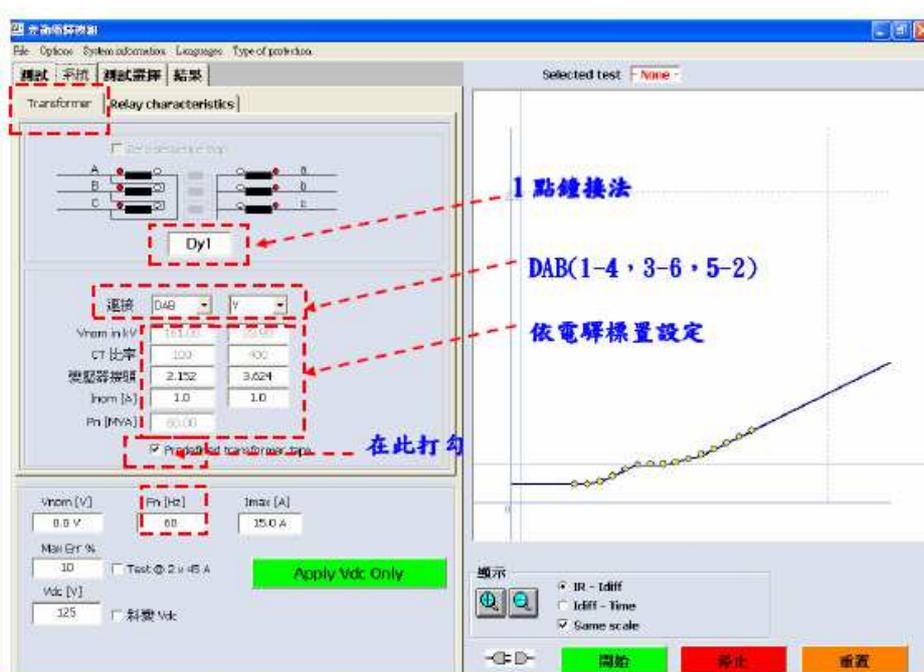
$$IR=(|I1|+|I2|)/2$$

19. \測試選擇。

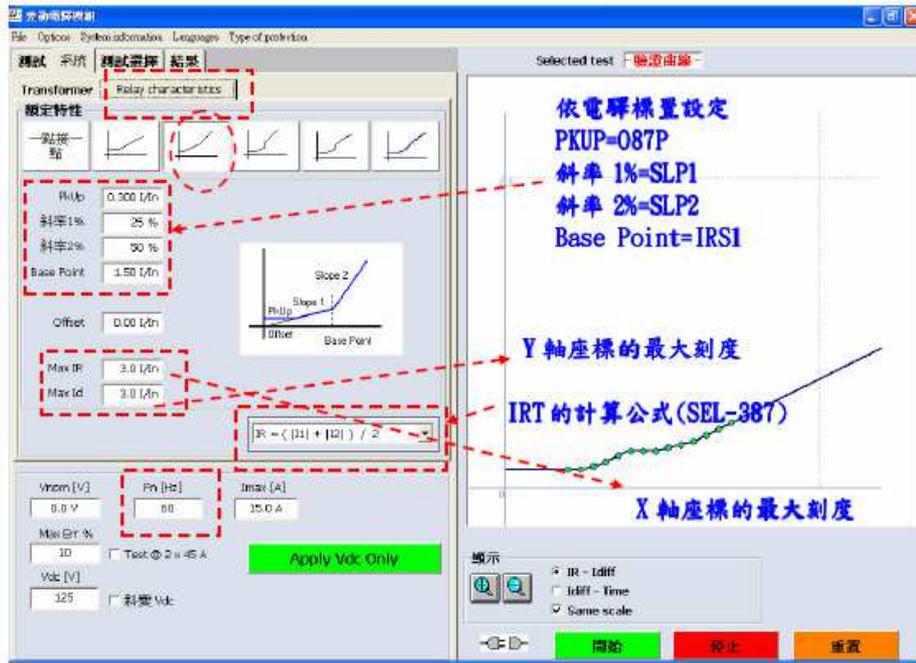
20. 選擇驗證曲線。

21. 選擇 IR 範圍：IR 啟動，初始設定點設

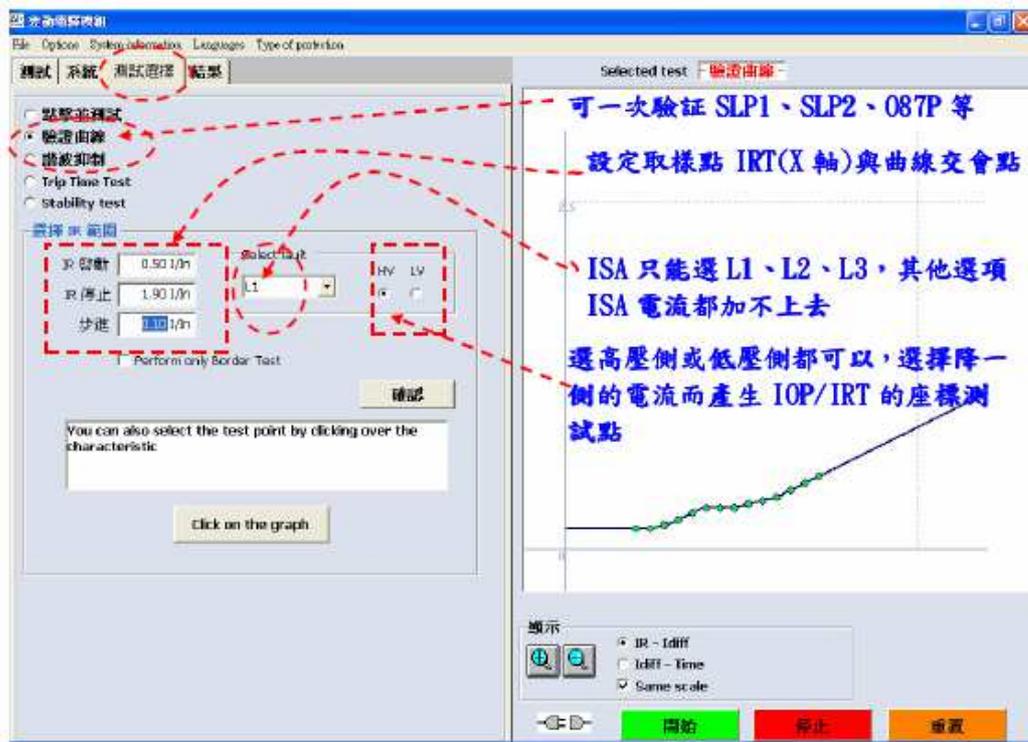
- 定為 0.5TAP，IR 停止，最末設定點設定為 1.9TAP。
22. Select fault 為模擬故障種類選擇 L1、L2、L3、L12、L23、L31 等。
 23. HV 為使高壓側的差流元件動作而模擬的電流，LV 為使低壓側的差流元件動作而模擬的電流(TAP 值不同)
 24. \諧波抑制。
 25. 勾選 2nd，二次諧波成份測試，設定為 15%，即二次諧波成份電流值(120Hz)/故障電流(60Hz)=15%即閉鎖電驛。
 26. 選擇接點型式為 C1 乾接點 NO。
 27. 設定完成後，點選”開始”。
 28. 開始模擬高、低壓側的電流符合電驛特性曲線。
 29. 測試完畢後，察看 Error 是否為誤差容許範圍 5% 以內。
 30. 儲存結果。
- 註：使用 ISA 測試的缺點，即是輸入的模擬電流值有限(15A)，所以必需要適時暫時更改電驛標置 IRS1，甚至是一、二次側的 TAP 值(關聯著 MVA、kV、CTR 值)，才能讓儀器容許正常運作，進而驗證特性曲線。



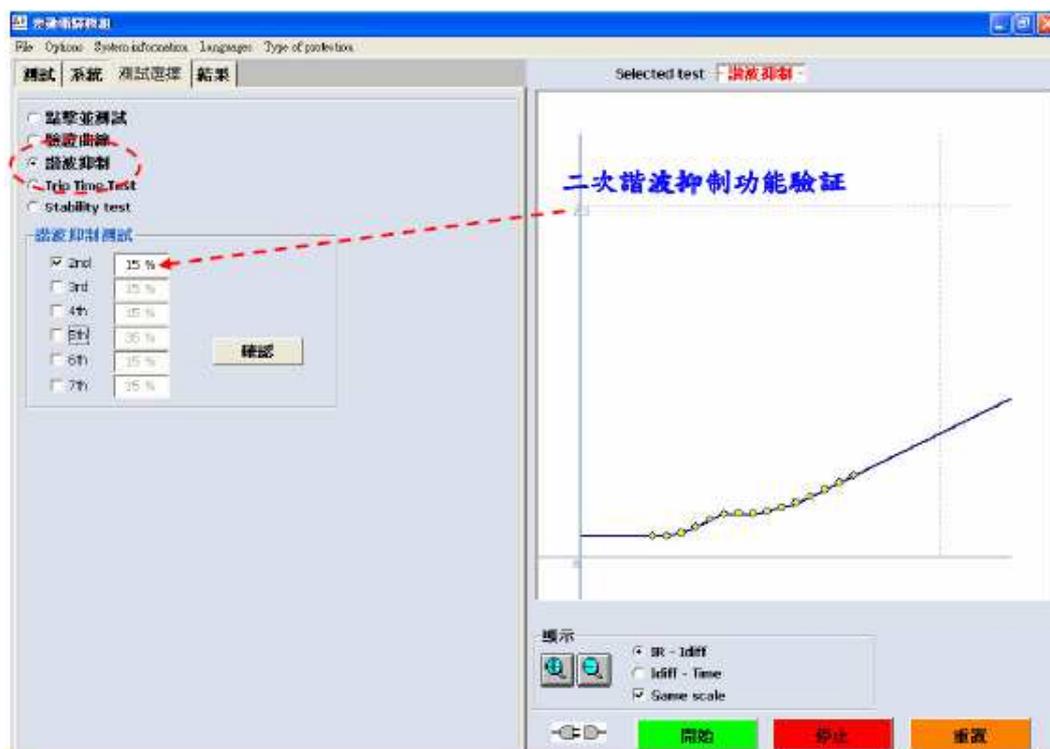
圖八



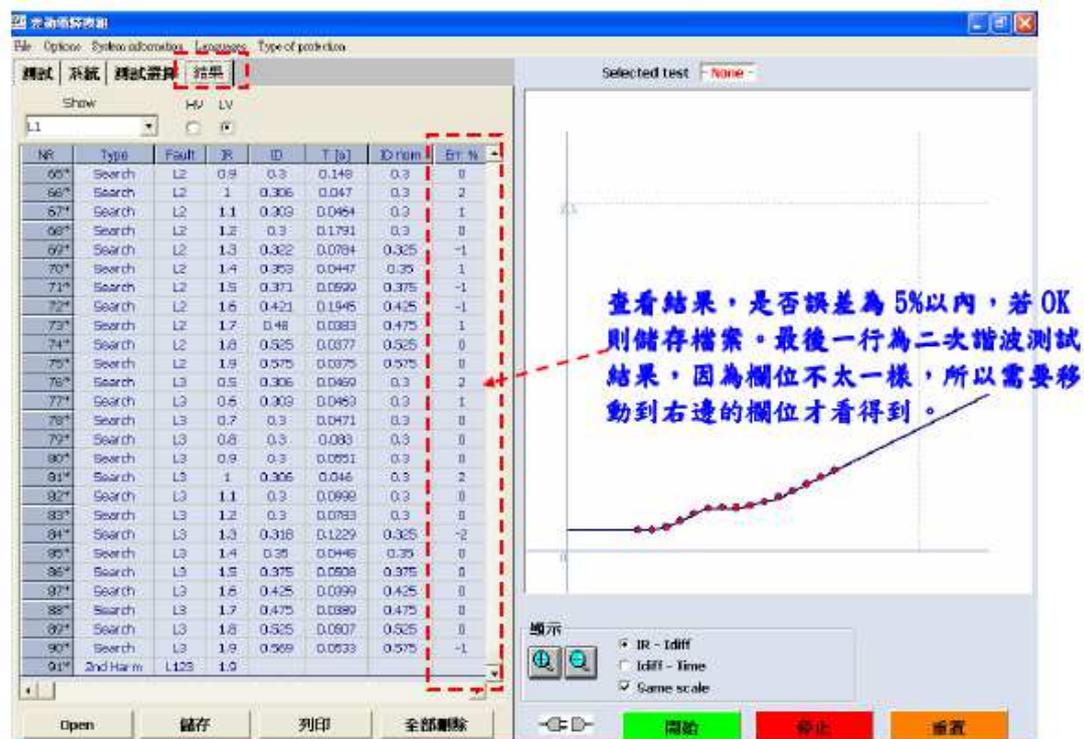
圖九



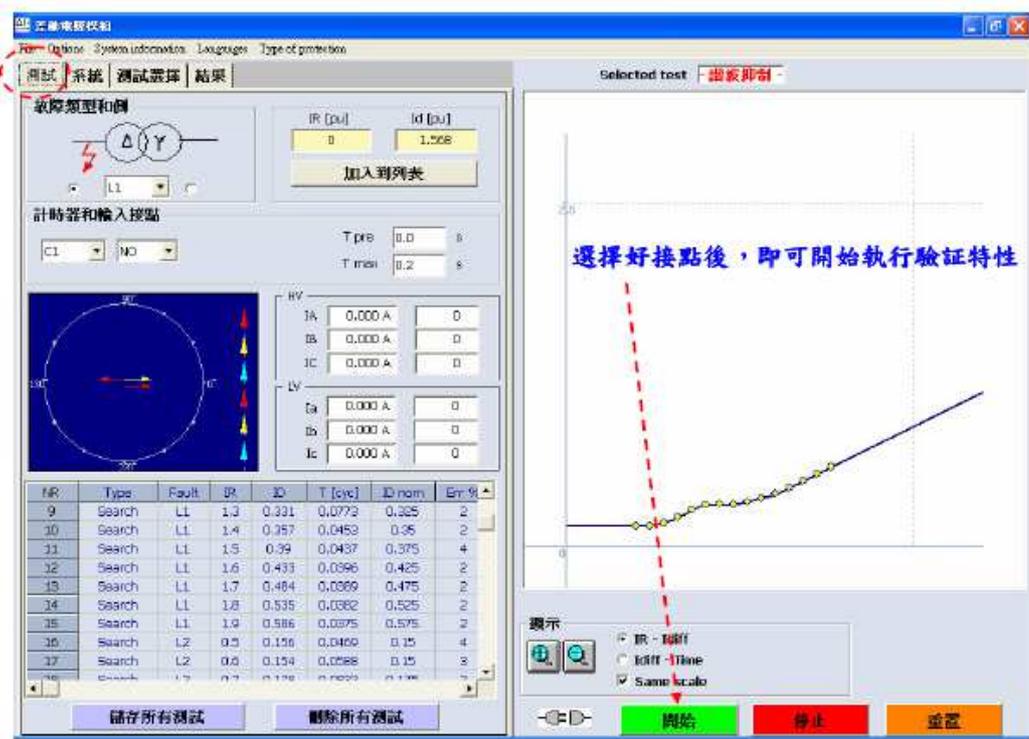
圖十



圖十一



圖十二



圖十三

五、電驛跳脫試驗：

ATR 部份：

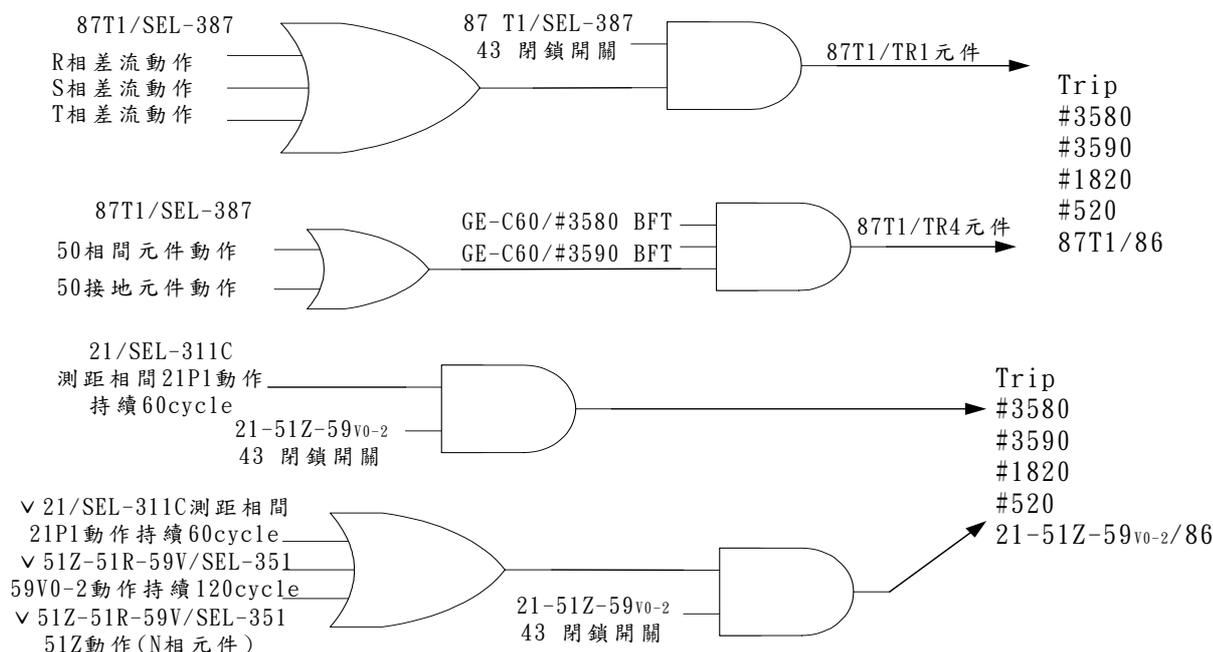
先確認一次側(345kV)為一個半 CB 架構，即#3590(BUS 側 CB)與#3580(TIE 側 CB)。二次側(161 kV)為雙 BUS 架構，即#1820 CB。三次側(33 kV)僅有電抗器#520 CB。345 kV 跳脫試驗需要注意的地方，就是 DC 有分第一套及第二套的部份，若是在測試第一套保護設備時，需要將第二套 DC OFF，確保 DC 沒有混接。相同地，做第二套保護時也是一樣。接著，測試時

需一併驗證互鎖的開關是否能正確閉鎖電驛，而輔助電驛 86 動作後是否能正確切斷

投入回路，跳脫及投入的同時也要察看 52A 的狀態點和電驛動作的 LED 顯示燈號是否正確，RTU 能否收到並顯示正確的訊息等。再來是 ATR 各輔助電驛 86 動作，將傳送 BFI(P8, P9)的信號至一、二次側#3590、#3580、#1820 的斷路器失靈保護電驛(簡稱 BF RY)，用三用電表量測驗證 P8 與 P9 對地電位是否相同(即 P8-P9 導通)。ATR 電驛跳脫邏輯如圖十四。

○○E/S #2ATr. 跳脫邏輯 #3580、#3590、#1820、#520

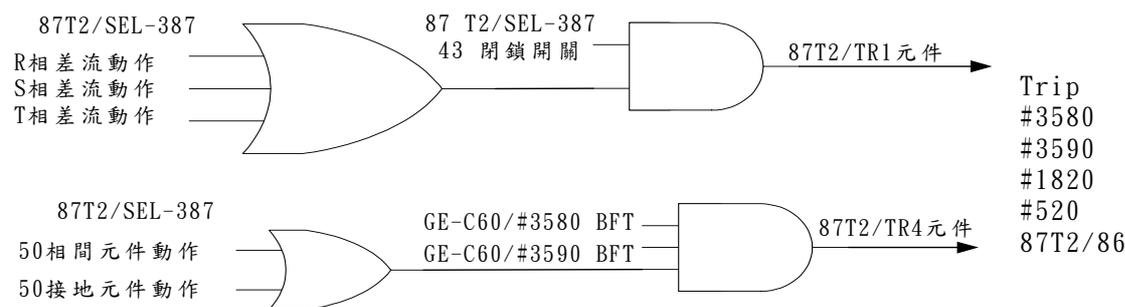
345kV第一套設備測試前，需關閉第二套DC電源



上述各86輔助電驛單獨動作，尚未復歸前，各TRIP之CB無法投入，確認C回路 Cut OFF OK
電驛LED燈號顯示及警報均正確



345kV第二套設備測試前，需關閉第一套DC電源



上述各86輔助電驛單獨動作，尚未復歸前，各TRIP之CB無法投入，確認C回路 Cut OFF OK
電驛LED燈號顯示及警報均正確

圖十四

BF RY 部份：

345kV BF RY 是使用第一套 DC 電源。

一個半 CB 架構之 BUS 側及 TIE 側 CB 跳脫對象有所不同：

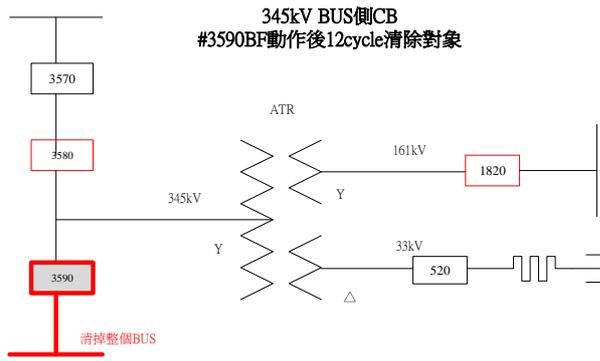
電驛協會會刊 32 期

BUS 側 CB#3590 的 BF RY 清除 CB

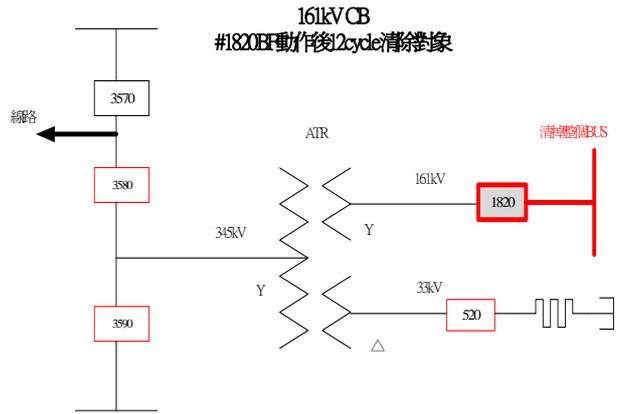
如下：

#3590 BF 動作後會將 345kV#2BUS 上 CB 全部清除，然後將 TIE 側的#3580 TRIP、ATR 二次側的#1820 之 CB TRIP。

SEL-387 數位式變壓器差動保護電驛工作經驗分享



圖十五

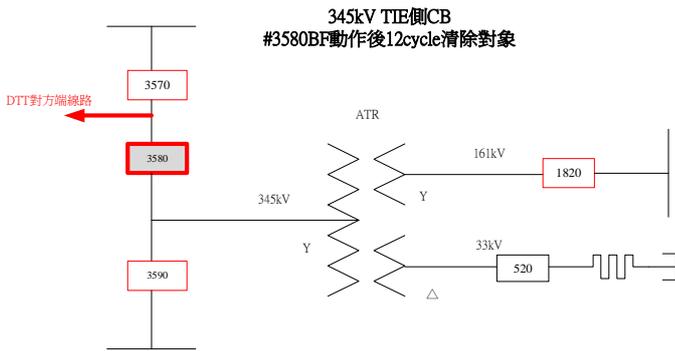


圖十七

TIE 側 CB#3580 的 BF RY 清除 CB 如下：

#3580 BF 動作後會將 BUS 側的 #3570、#3590 及遙跳(DTT)對方端線路、ATR 二次側的#1820 之 CB TRIP。

各 BF 電驛動作條件及互鎖如圖十八：



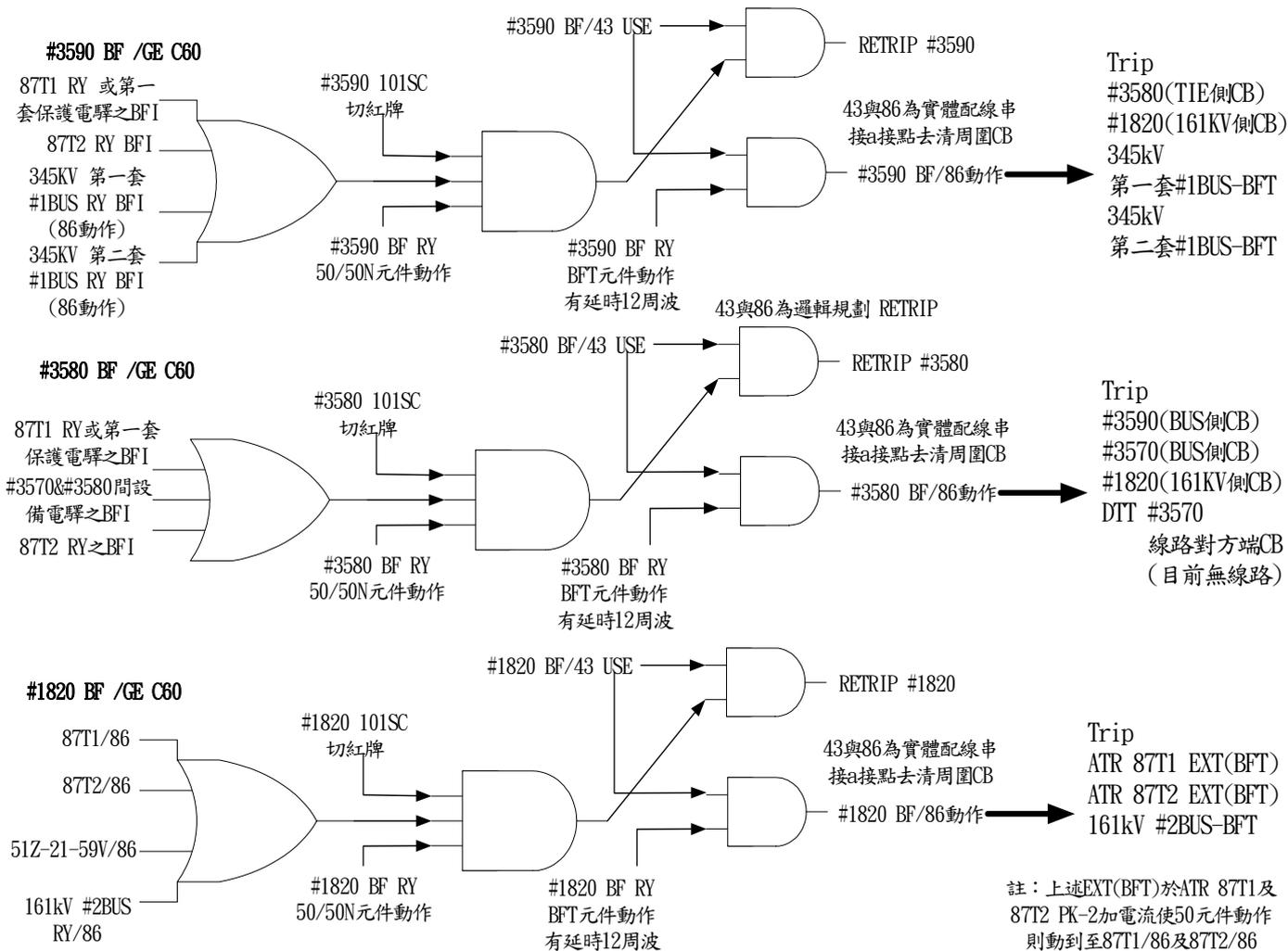
圖十六

161 側 CB#1820 的 BF RY 清除 CB 如下：

#1820 BF 動作後會將 161kV#2BUS 上 CB 全部清除，然後送出一 BFT(外部觸發)信號給 87T1 及 87T2 電驛，差流電驛 50 元件若偵測到過流，即動作 87T1/86 與 87T2/86，使 ATR 一、二、三次側跳脫。

○○E/S 345kV BF RY FOR ATR跳脫邏輯(#3580、#3590、#1820、#520)

345kV第一套設備測試前，需關閉第二套DC電源；第二套設備測試前，需關閉第一套DC電源(BF屬第一套DC電源)
43與86為邏輯規劃 RETRIP



圖十八

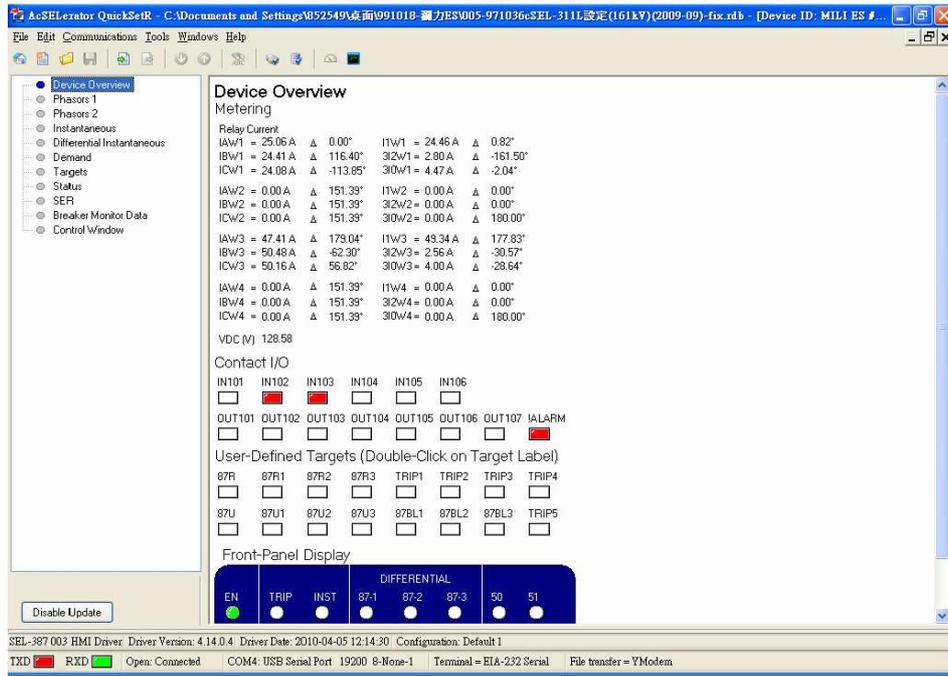
六、電驛取載試驗：

345KV LOAD=23A，161KV LOAD=50A
 (#3580 CT-1=2000/5，#3590 CT-6=2000/5，#1820 CT-1=2000/5，#520

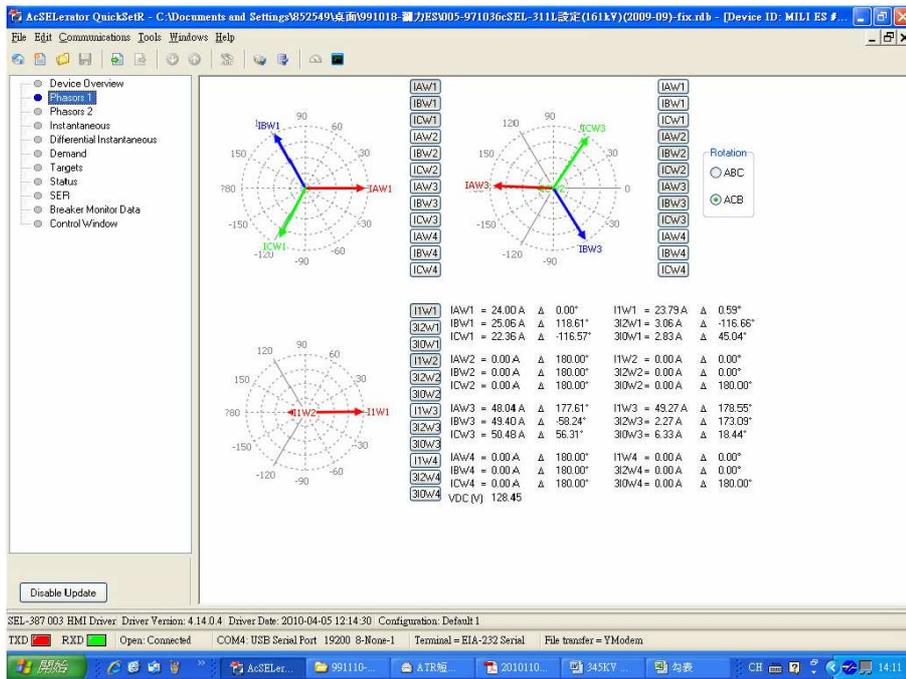
CT-2=1200/5*5/1=6000/5)

87T1 取載畫面如下圖十九：

345kV#3590 及#1820 CB 投入，因為 Y/Y 接，所以相差 180°，然後加壓車為負相序，查看電流大小及相序是否正確。

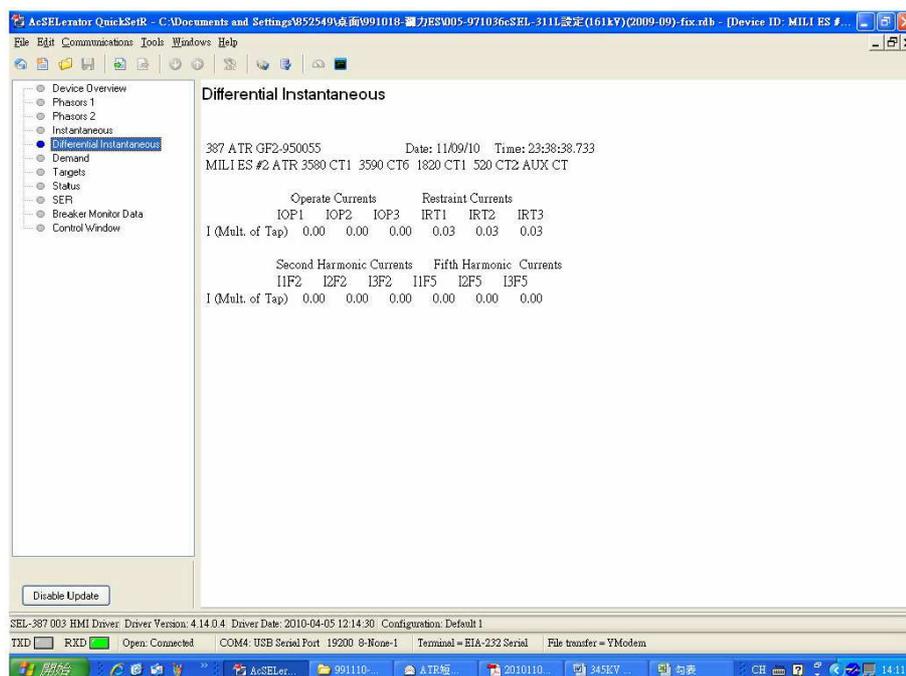


圖十九



圖二十

觀察 IOP 差流是否為零。



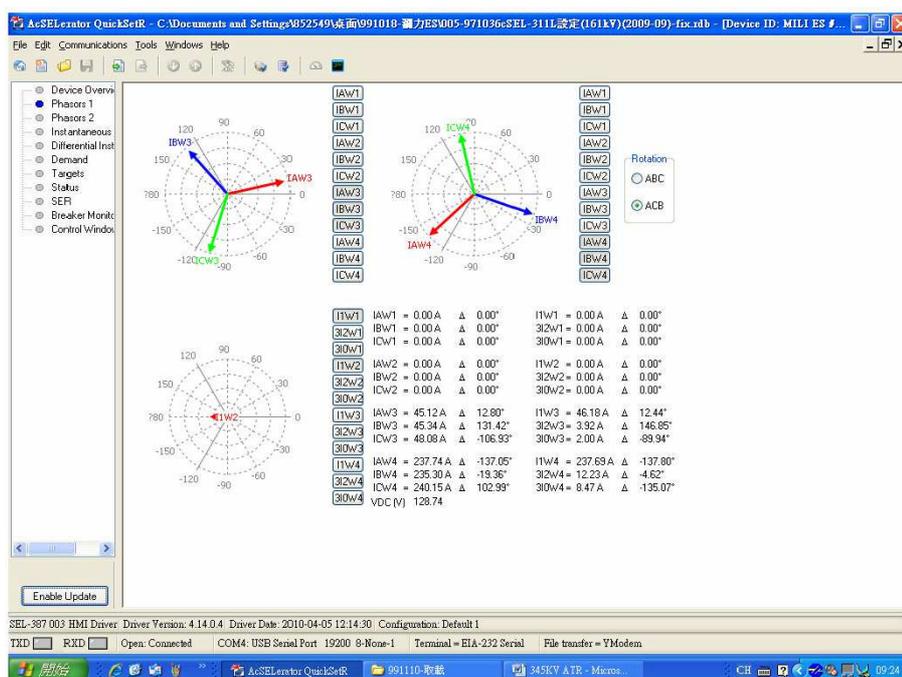
圖二十一

另一個 CASE 為：

161KV LOAD=45A，33KV LOAD=235A(#3580 CT-1=2000/5，#3590 CT-6=2000/5，#1820 CT-1=2000/5，#520 CT-2=1200/5*5/1=6000/5)

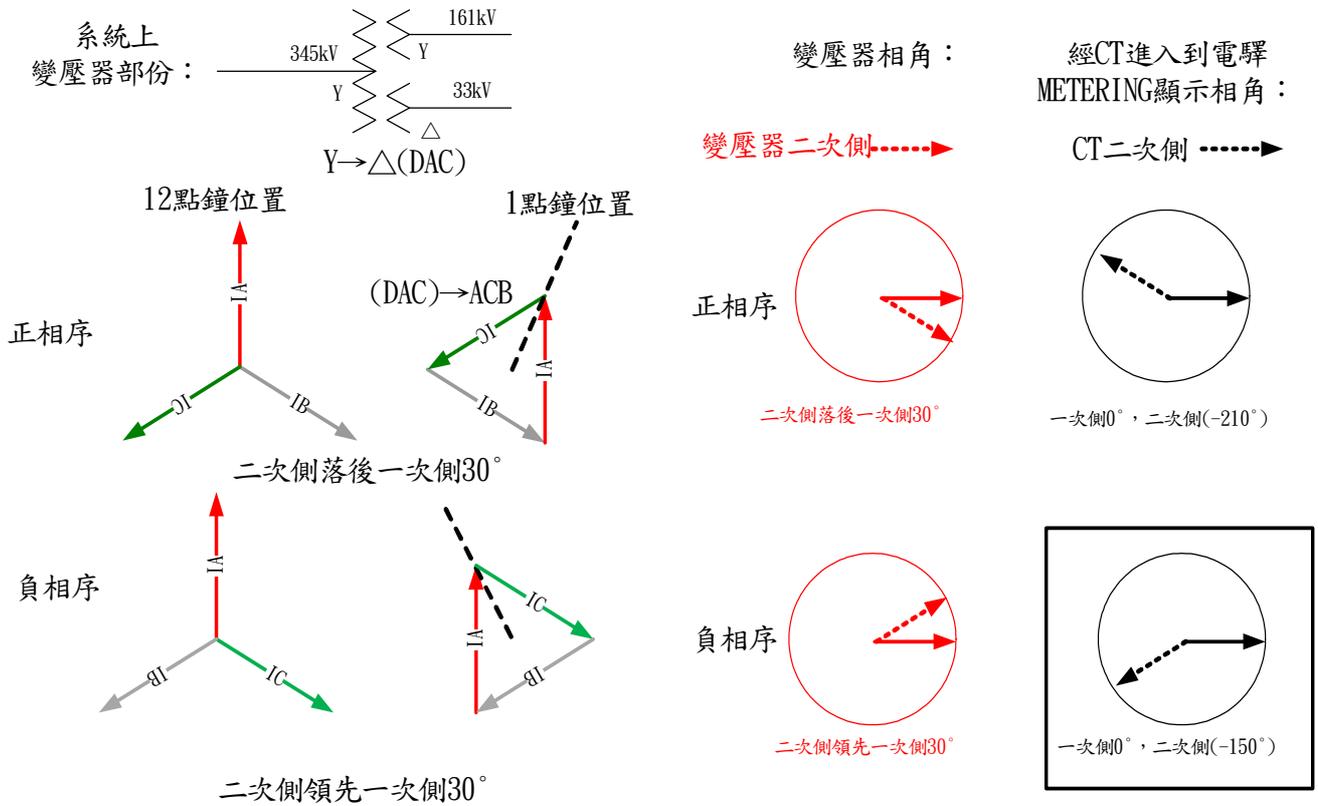
87T1 取載畫面如下：

161kV#1820 及#520 CB 投入，因為 Y/Δ 接，所以相差 150°，而 TIE 側#3580 對#1820CB 的取載與上述雷同。

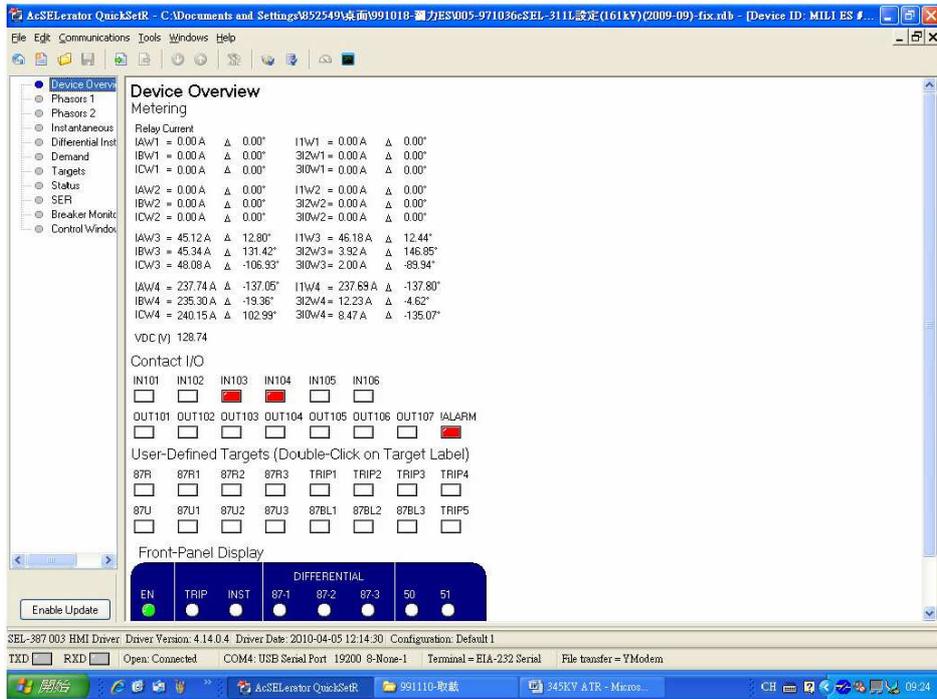


圖二十二

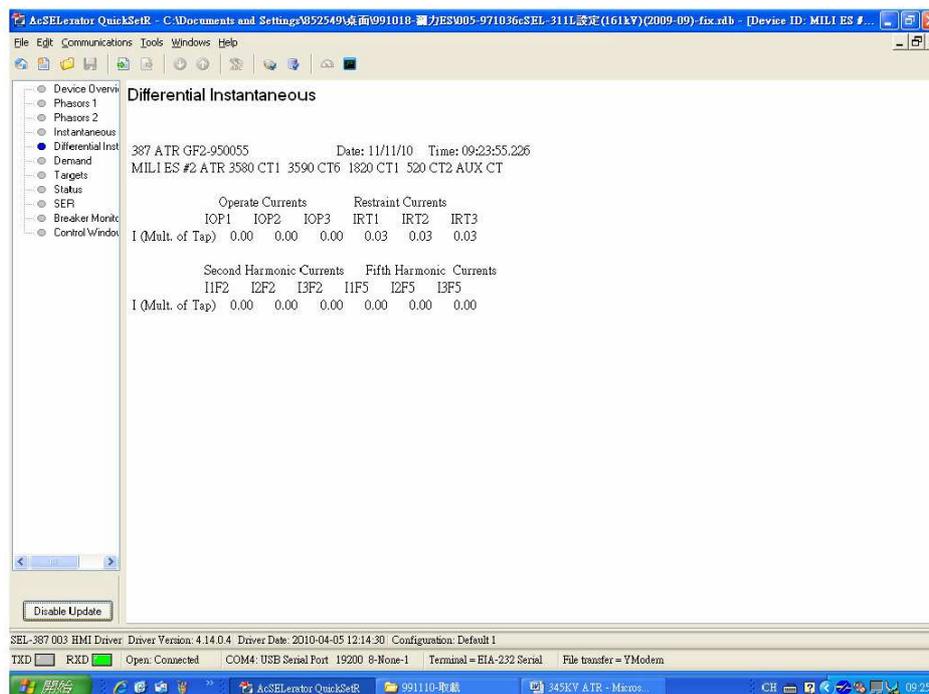
台電自耦變壓器(ATR) 一、二次側Y接、三次側Delta接(YD1)



圖二十三



圖二十四



圖二十五

345 kV 對 33 kV 同樣是 Y/Δ，所以取載畫面雷同。

另外，於短路遞昇加壓時需要確認 ATR 盤 21 電驛及 59V 電驛的電壓相序、匝比、極性等，59V 也要至現場 ATR 三次側 G.Tr.處之 33kV/115V 的 PT，執行繞零相(OPENΔ，打開一相 R 相電壓，只取 S 及 T 相的電壓值)V₀ 值之取載試驗。

七、結論：

於 99 年 11 月 10 日至 11 月 12 日於 ○○E/S 短路試驗順利完成，10 月底至 11 月 9 日之間，進行各項超高壓變電所加入系統前電驛竣工試驗，試驗程序依照標準作業程序書及查核表、標置單步驟執行測試。由於數位式電驛陸續取代傳統型電驛，而且型式及廠牌不盡相同，除經課長、經理們指導，配合電驛原廠說明書及同事間共同努力及研究、不斷測試，才能更趨完整而正確，並將電驛試驗過程和電驛設

定及檢查程序以做一標準化，近而提昇測試品質及效率。此次 ○○E/S 竣工試驗，經過高屏電驛組全員詳細測試後，最終成功驗證各種保護功能，並順利完成短路遞昇加壓時，保護電驛方面之各項試驗。

離島型電力特殊保護系統(SPS)設計

A Special Protection System(SPS) Design for Off-shore Island Power System

台灣新北市台電綜合研究所 王金墩 Chin-Tun Wang
 Taiwan Power Research Institute Taiwan Power Company
 Taipei, TAIWAN.
 u630499@taipower.com.tw

摘要

本文設計一適合離島型電力系統用之特殊保護系統，並實際應用於金門，大金門電力系統為由柴油發電機組出力為主，由塔山電廠 8 部柴油機容量共 64,600 瓩、夏興分廠 6 部柴油機容量共 20,312 瓩及 2 部 2000 瓩之風力發電機組成，輸電系統為 22.8KV、饋線系統為 11.4 KV 分由塔山、莒光、夏興及鵲山變電站連接供電，對於發生 N-2 以上極端事故時很難避免系統全黑。經由大金門電力系統暫態穩定度分析結果歸納出自動卸載邏輯及相關之臨界條件，並設計足堪運作此自動卸載邏輯之快速監控軟硬體整體系統架構，本設計及建置完成之特殊保護系統經模擬驗證能在發生系統極端事故時主動快速反應，在極短時間內(<200msec)自動緊急卸除必要之負載，彌補既有低頻電驛卸載之缺陷及時間上之限制，以降低系統全黑之機率。

關鍵詞：特殊保護系統、自動卸載邏輯、決策主機系統

Abstract

Kin-Men power system, an offshore island power system, is composed of 8 diesel generators totally providing capacity of 64.6MW in Ta-Shan power plant, 6 diesel

generators totally providing capacity of 20.312MW in Shia-Sing power plant and 2*2MW wind generators in Jin-Sha wind power station. The off-peak load is about 17MW during the winter season, and peak-load is about 43 MW in the summer. The transmission and distribution systems are connected by 4 substations which transform voltages from 22.8kV transmission lines to 11.4kV feeder lines. This islanding power system is very subject to N-2 contingency, especially in off-peak load situation, that possibly causes blackout. Several of the island-wide blackouts occurred in the past 7 years. In order to avoid the same event happening, an automatic load shedding logic (specific protection scheme, SPS) has been studied and designed in this paper. Furthermore, we propose a rapid SCADA system, which could execute this SPS logic and spontaneously detect and urgently trip appropriate loads responded to generator shutdown and power events within 200msec.

Keywords: Special Protection System(SPS)、Automatic Load Shedding Logic、Master Decision Making System

I. 前言

大金門地區目前由塔山電廠與夏興分廠二電廠供電，塔山電廠裝置容量柴油發電機組 #1~4 號機 7,900 瓩 4 部及 #5~8 號機 8,250 瓩 4 部（容量 64,600 瓩），夏興分廠裝置容量柴油發電機組共 6 部（容量 20,312 瓩），並於今年(99 年) 2 部 2000 瓩之風力發電機加入系統運轉，合計裝置容量為 88,912 瓩。輸電系統為 22.8KV、饋線系統為 11.4 KV 分由塔山、莒光、夏興及鵲山變電站連接供電。

在本計劃執行期間輸電系統之最新狀態為：塔山變電站至莒光變電站有 4 迴路，塔山變電站至鵲山變電站有 2 迴路，莒光變電站至夏興變電站有 3 迴路，夏興變電站至鵲山變電站有 2 迴路。每 1 迴路以單芯 25KV 交連 PE 電纜 2 迴線供電。系統單線圖如圖 1 所示。

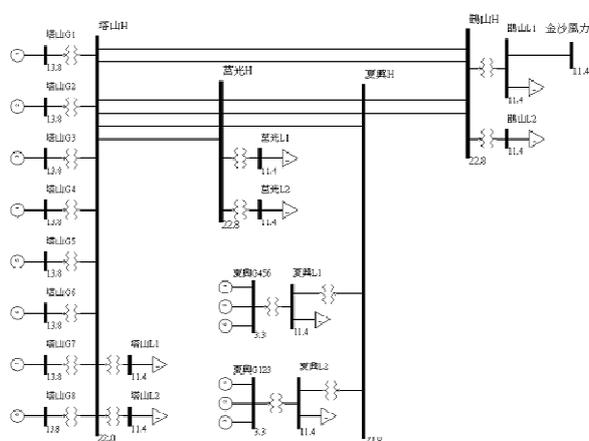


圖 1 大金門電力系統單線圖

有別於台灣本島電網架構，離島地區為獨立供電系統及經濟運轉前提下，系統為有限的 N-1 的備轉容量，對於電廠運轉調度及維護頗為困難，在極端事故發生時很難避免系統全黑；在最近的數年中系統相繼於 94/11/16、95/03/29、97/04/25 及 98/05/16 發生 4 次全黑事故，雖然大金門

系統為因應瞬間之電力供需不平衡造成之問題，已針對大部分饋線建置低頻電驛，以在發電機出力短缺，系統頻率下降時分段(目前共設 4 段, 57.3Hz, 57.0Hz, 56.5 Hz, 56Hz)分批卸除必要之負載，以力保系統之穩定，然對於既有之低頻卸載策略因先天上即有反映時間較慢、無法即時掌控機組出力狀態且卸載量無彈性等缺陷，仍無法避免此種事故之發生，因此唯有加強各發電機組與負載饋線之快速監測與快速控制(跳脫、卸載)之機制，並根據系統分析結果，即時決定是否卸載及最佳卸載量等運算邏輯，建置一套獨立之特殊保護系統(Special Protection System, SPS)，才能真正降低因極端事故發生全停之機率。

本研究以本所 96 年完成之「大金門電力系統緊急自動卸載系統建置之研究」[1]之邏輯及研究結論為基礎，設計並建立一套獨立之大金門特殊保護系統(SPS)，以非常快速之完成動作偵測、傳送、運算、傳送及卸載(全程<200msec)，期彌補既有之低頻電驛卸載在時間上之限制，在發生系統極端事故時能快速反應，在最短時間內卸除必要之負載，以降低系統全黑之機率。

II. 系統設計與建置流程

本計劃由綜合研究所電力室電力監控組承接，結合電力系統組先期之大金門電力系統暫態穩定度分析之結果，在既有電力監控技術平台下規劃與設計，秉持本所電力監控小組長期以來建立的技術與經驗，從規劃設計到測試驗證，本所掌握關鍵技術並結合國內廠商設備合力建置完成本系統，由於本系統牽涉公司內包括發電處、業務處、供電處、電信處、金門區處、塔山電廠及綜合研究所等單位之技術與設備，在建置期間由上述單位合組成立「大金門特殊保護系統 SPS 工作小組」，以討

論與確立期間各項技術與行政工作之分工與決策直至系統建置完成正式移交使用。

本系統設計採取了以即時狀態為基礎(condition-based)之快速運算邏輯與決策控制，在國內外各完整電力系統之保護領域應屬創舉，期望在系統完成後結合長期運轉資料庫之紀錄，驗證本系統之價值。以下概要列入本系統設計與建置期間之主要工作內容。

1. 大金門電力系統弱點分析與對策探討，此部分提供後續大金門特殊保護系統 SPS 邏輯設計與硬體架構之基礎與藍本。
2. 調查與建置可供 SPS 監控之發電機組及饋線開關接點(DI,DO)，並評估既有 SCADA 取樣點使用在 SPS 可行性。
3. 調查與確認饋線 CB 跳脫時間在 3 Cycles 以內(因大金門電力系統 SPS 經分析完成一次監、控須在 9~12 Cycles 以內)。
4. 建立快速之類此信號監測點，如發電機出力、饋線負載等，並測試監測點所需之 Scan Time。
5. 調查與建置上述類比及數位信號進入控制器之方式，包括 AI/DI/DO 模組之選擇、通訊媒介反應時間之測試及架設。
6. 設計緊急自動卸載系統邏輯與規劃系統架構。
7. 選擇與採購足堪運作 SPS 邏輯之系統硬體及軟體與安裝、配線及測試等。
8. 建立必要之人機介面系統、資料庫、報表與網路維護系統。
9. 建立 Off-Line 模擬運作系統，測試信號正確性、程式邏輯驗證及 Round Trip 反應速度等(Case Study)。
10. 系統 On-Line 及 Arming 測試及檢討。
11. 系統安裝整合及 On-Line 運轉。

III. 電力系統弱點分析與對策探討

大金門電力系統之出力來自於柴油發電機，且在今年(99年)冬季離峰時輕載曾經低到 15MW，而運轉主力塔山電廠 8 部發電機每部裝置容量約 8MW，再加上已建置完成之 2 部各 2MW 之風力機以冬季為高運轉效率期，如何在此狀況下兼顧風力機運轉、發電機 N-1(跳 1 部機)不卸載及連續跳機不全黑等嚴峻條件下排定安全運轉排程，實為一大挑戰。本章將提出系統遭受極端事故(N-2 以上)時，既有系統之保護措施(如低頻電驛)之對系統之保護結果與建置本計劃特殊保護系統 SPS 之保護結果作一比較。

1. 現有低頻卸載保護策略之限制

當電力系統發生發電機跳脫事故時，為避免其餘運轉中機組昇載不及、而導致頻率持續下降引發惡性連鎖，使用低頻電驛卸除一部份負載，以維持電力供需平衡、確保系統運轉安全，一直都是大家公認的標準策略。然因應不同系統總發電量、負載規模之大小，低頻電驛標置之段數及頻率設定值，常須有變通或制宜之計，在以大金門電力系統為特定之保護標的時，建立保護期望並根據系統之特性及模擬分析提出因時因地制宜之建議實為必要之作法。

但是當極端或連續事故發生時，期望的保護目的可能無法達成，或須犧牲較佳之正常保護目的。若保護電驛之低頻標置值過高則會導致卸載頻繁引起民怨，太低則發電機組之衝擊加大或引起連續事故，因此唯有經由全面地針對各種可能之運轉排程(含輕載與重載)假設各種事故如 N-1, N-1-1, N-2 及輸電線路故障等狀況，模擬分析系統之暫態反應，才能提出合理之低頻電驛段數及標置值建議值。本所根據大

金門系統要求，針對以停一部機時不卸載、停二部機(含)以上時才陸續卸載為原則，建議低頻卸載電驛標置如下[2]：

第一段 56.6Hz 第二段 56.4Hz
第三段 56.1Hz

分三段標置，可能會有過度卸載之情況發生，則可在 56.6~56.1Hz 之間，每隔 0.1Hz 即設定分批卸載。期間經過討論均採用較保守之設定，98 年之設定為：第一段 57.6Hz、第二段 57.3Hz、第三段 57.0Hz、第四段 56.0Hz。99 年之設定為：第一段 57.3Hz、第二段 57.0Hz、第三段 56.5Hz、及第四段 56.0Hz。相對於本所第一段 56.6Hz 之建議值而言，上述標置值仍相對保守，此乃發電處、金門區處基於安全考量之折衷作法。

低頻卸載策略在嚴密之系統分析及運轉排程之設計搭配下，確可達到部份期望之保護目的，然其先天的缺陷為：1.被動保護，欲保護之每一饋線均須獨立裝設及各別設定。2.無法分辨事故類別，僅在偵測到頻率標置值時下命令跳脫 CB。3.反應時間較慢約 0.5 秒~2 秒才動作。此反應時間之經過為：(1)事故發生(2)頻率下降至標置值之時間(取決於事件類別及跳機出力佔比等)(3)約 3 cycle 電驛處理延時時間(4)下命令跳脫至 CB 完成開路時間約 3~5 cycle。以下舉例說明此類低頻電驛保護上之弱點：

■ 輸電線路事故：

假設系統負載為尖載 58MW，大金門電力系統 11 路 22.8KV 輸電線路中之靠近塔山變電站 22.8KV 匯流排之塔山-莒光一、二路，如圖 2 所示於第 1.0 秒之時發生三相直接短路，假設保護電驛延遲動作，經過 45cycle 後才清除故障，並跳脫該兩回線路。系統頻率之變化情形為最高頻率接近 66.7Hz，最低頻率 56.7 Hz，而

低於 59 Hz 之時間大約 5 秒鐘。由此可知，非屬於發電機跳脫事故之短路故障被清除後，金門系統雖無暫態穩定度之問題，但頻率的變動幅度相當大，最低頻率可能小於現有低頻電驛之標置，卸載電驛會將系統之頻率擺動現象，誤以為是發電量不足而動作。

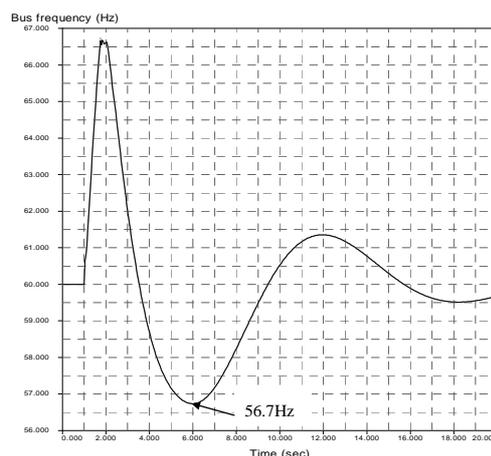


圖 2 輸電線短路故障導致系統頻率變化之情形

此非跳機事故之暫態不穩定現象發生時，以目前大金門之低頻電驛設定而言必會卸載至第二段(57.3Hz, 57.0Hz)，同理，任何引發系統頻率低下之正常或突發事件均可能引起低頻卸載動作，當系統規模更小時如澎湖望安之大用戶投入取載時，低頻電驛也會動作卸載。

■ 連續跳機事故：

初始狀態：

運轉塔山 4 部機 4.6MW*4+夏興 1 部機 2.6MW，系統總負載為 21MW，樂觀假設低頻電驛 4 段卸載(以 98 年之設定為例：第 1 段 57.6Hz、第 2 段 57.3Hz、第 3 段 57.0Hz、第 4 段 56.0Hz)各佔 22%(即 4.62MW)，且低頻電驛偵測時間及斷路器動作時間合計 6 cycle。

模擬情境 1：

塔山 4 部機從模擬開始第 1 秒起，每 2 秒陸續跳 1 部機，保留夏興機組不跳，系統之頻率暫態如圖 3。

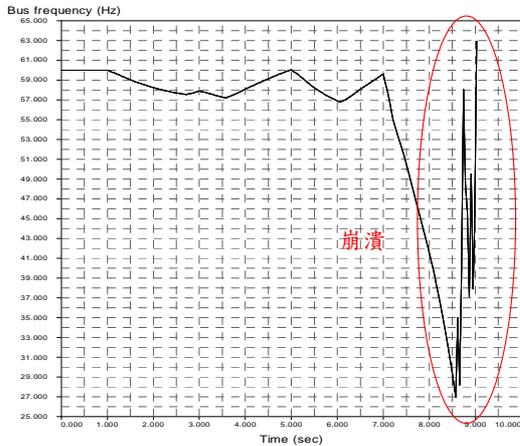


圖 3 模擬情境 1 之系統之頻率暫態

由系統之頻率暫態反應來看，低頻電驛從第 1 段逐次卸至第 4 段仍舊無法保住夏興機組及所剩負載，最後崩潰全黑。

模擬情境 2：

塔山 3 部機及夏興機組從模擬開始第 1 秒起，每 2 秒陸續跳 1 部機，保留塔山 1 部機不跳，系統之頻率暫態如圖 4。

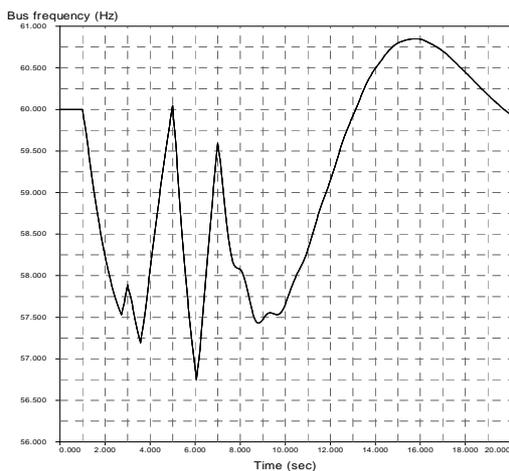


圖 4 模擬情境 2 之系統之頻率暫態

由圖 4 系統之頻率暫態反應來看，系統最低頻率為 56.75Hz，低頻電驛從第 1

段逐次卸至第 3 段(57Hz)，理論上此極端事故維持剩塔山 1 部機運轉有其可能性，然先決條件為低頻卸載量需配合跳脫之發電量，惟低頻電驛無法判斷各機組之出力，配合卸載之假設難以實現，系統要存活還是相當困難。

根據上述低頻電驛之特性及系統暫態穩定度模擬結果來看，使用低頻電驛卸載策略無法判別事故特性，會將系統頻率之擺動現象，誤以為是發電量不足而動作不必要之卸載，而且卸載量難以配合跳機出力狀況，需要經常調整輕重載之卸載量或配合運轉排程，再者，低頻電驛於事故發生之後 0.5~2 秒才動作，不適合作為極端事故時，防止系統全黑之保護設備。

2. 採取自動卸載邏輯策略之優勢

若完全拋開既有低頻卸載保護策略之思維，不以系統頻率為保護基礎，而著眼於現有柴油機組之特性與運轉能力為前提，以出力與負載之動態平衡為基礎，則前述之缺陷可獲得解決。本文提出一套自動卸載邏輯，並佐以系統暫態穩定度分析以驗證此邏輯之優勢。

在分析與設計此自動卸載邏輯之前，應先定義所要保護的目標，才能逐步完成此邏輯之判斷條件組合(Inputs)及控制輸出項目(Outputs)，以下為針對大金門電力系統保護之擬定目標：

- (1) 事故發生時系統出力與負載之動態平衡
- (2) 儘可能避免非必要之卸載
- (3) 避免可挽救之全黑事故發生

上述目標在任何事故發生時即必須被同時考量，在發展此邏輯之每個階段亦應最佳化上述標的，因此整個電網之狀態必須在此邏輯之監測中，可能引起全黑事故之順序及同時發生之事故必須很快的控制住，避免引發連鎖效應。

基於對金門系統架構與特性之了解，目前主要運轉主力為塔山電廠之 8 部柴油發電機，搭配較老舊之夏興電廠 6 部柴油發電機(1、2、3 號機一群，4、5、6 號機一群)，及 99 年加入運轉之 2 部各 2MW 之金沙風力電廠發電機。在平時各尖離峰負載電廠會根據運轉排程啟用必要之機組，在正常狀態下均會保留一定之熱機備轉容量以因應事故時機組之扛載，以現有機組而言，除了塔山電廠之 8 部柴油發電機外，夏興及金沙風力電廠假設是不具扛載能力的(目前正積極進行夏興機組之強化工作)，因此在即時運算是否卸載時亦必須考量。針對必要之即時監控資料及保護機制設計，整理說明如下：

■ 即時(Real-time)監測/控制及運算：

- (1)塔山電廠 8 部、夏興電廠 6 部柴油機及金沙電廠 2 部風力機組之發電量，及相關斷路器之 ON/OFF 狀態 -**監測**。
- (2)所有 11.4KV 配電饋線之負載量，及相關斷路器之 ON/OFF 狀態 -**監測/控制**。
- (3)所有 22.8kV 輸電線(共 11 路)兩端斷路器之 ON/OFF 狀態 -**監測**。
- (4)夏興變電站兩台 22.8/11.4 kV 配電變壓器兩端斷路器之 ON/OFF 狀態 -**監測/控制**。
- (5)鵲山變電站~金沙風力間 11.4 kV 線路兩端斷路器之 ON/OFF 狀態 -**監測/控制**。
- (6)隨時計算系統之緊急發電裕度，等於運轉柴油機之總熱機備轉容量減去單機最大備轉容量 -**運算**。

■ 任何發電機組事故跳機或緊急停機之動作邏輯：

a.非極端事故：(8 秒內無連續跳停機)

- (1)立刻卸除相當於跳脫發電量之負載量，主動於第一時間維持電力供需之平衡。

- (2)若為避免跳機時卸載頻繁影響用戶權益，可以將緊急發電裕度納入考量，設定跳機時之卸載門檻 $LDSH = \text{Min}(\text{緊急發電裕度}, \text{單機最大出力})$ ，當跳脫發電量大於卸載門檻才進行卸載。

上述兩種情況須擇一進行，在程式設計上可保留兩選項，必要時可透過輸入設定方式改變，目前 Default 設定為選項 2，因在隨時可計算出機組群扛載能力下，沒有理由頻繁卸載。

b.極端事故：(8 秒內連續跳停機)

跳第 1 部機時按 a.非極端事故之動作邏輯處理，當 8 秒內再跳第 2 部機時，若跳第 1 部機時因計算機組群扛載能力夠未能卸載時，此時必須立刻卸除(第 1 部跳脫發電量+第 2 部跳脫發電量)之等量負載，以確保安全。若跳第 1 部機時已卸載時，跳第 2 部機時只須卸除第 2 部機相當之負載量即可。同理若第 3 部機跳機亦在 8 秒內時，亦只須卸除第 3 部機相當之負載量即可。任何跳停機事故間隔超過 8 秒時，回到 a.非極端事故之動作邏輯。

為證明本文所提出之自動卸載邏輯設計之優勢，特以與前述運用現有低頻卸載保護策略相同之連續跳機事故為例：運轉塔山 4 部機 $4.6\text{MW} \times 4 +$ 夏興 1 部機 2.6MW ，系統總負載為 21MW ，塔山 4 部機相隔 2 秒陸續跳脫，最後剩下夏興機組。根據即時監控運算隔離保留對應負載，動作時間設定為 12cycle (200msec)，啟用此特殊保護系統邏輯之暫態穩定度模擬結果如圖 5。由圖可看出系統頻率介於 $56.1\text{Hz} \sim 65.5\text{Hz}$ 之間，極可能避免如圖 3 之全黑事故。

■ 塔山電廠機組全停或塔山電廠所有 22.8kV 聯外輸電線全部跳脫之動作邏輯：

- (1) 立刻跳脫夏興變電站兩台 22.8/11.4 kV 配電變壓器，將夏興機組與 22.8kV 系統切離，使得夏興 1、2、3 號機及夏興 4、5、6 號機分成兩群，各自與相鄰連接之 11.4kV 匯流排獨立運轉，只供電至相鄰之 11.4kV 匯流排。
- (2) 並且於同一時間根據即時監測之發電機出力與群內饋線負載，卸除群內之超額負載，維持各個獨立運轉群之電力供需平衡。

以上動作邏輯為當塔山主要出力無法供應電力系統時，保住當有任一台以上夏興機組運轉中及對應之饋線負載仍可供電，避免全黑事故，以上邏輯之實現須仰賴即時之監測資訊與快速之運算及跳脫/卸載($\leq 200\text{msec}$)。

■ 鵠山變電站聯外輸電線全停之動作邏輯：

- (1) 立刻自動跳脫鵠山變電站~金沙風力間之 11.4KV 電源饋線。
- (2) 同時運算金沙風力之出力是否大於所有鵠山變電站之負載，若是，則系統出力減少量=(金沙風力之出力-鵠山變電站之負載)，等同任一發電機組跳機事故，進入前述**任何發電機組事故跳機或緊急停機之動作邏輯**處理。

以上為歸納大金門電力系統緊急(快速)自動卸載邏輯之說明，更進一步地我們將接著提出完整之狀態邏輯流程設計，並根據此狀態邏輯流程設計撰寫一模擬程式來模擬各種狀況下，邏輯動作之結果與系統最終之狀態。

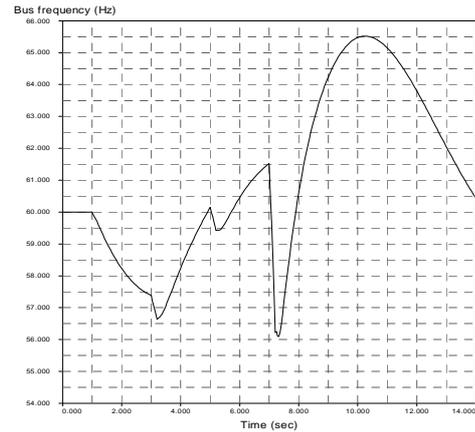


圖 5 模擬情境 1 採用自動卸載邏輯之系統頻率暫態

IV. 特殊保護邏輯設計與驗證程式開發

本節將進一步根據前述歸納之邏輯理念轉化為更完整之狀態邏輯流程圖，透過此狀態邏輯流程圖將可實現為程式碼，在確認可以以軟體來實現此自動卸載邏輯時，再進一步設計出滿足可靠度及速度要求之 SCADA 系統架構來運作此核心邏輯，一個新的以即時狀態為判斷依據，以自動卸載邏輯為決策核心之 Condition-Based 特殊保護系統將被實現。

自動卸載邏輯主要之目的在於快速監測電力系統之即時狀態，當運轉排程確立後，自動卸載邏輯必須根據即將或正在發生之事故運算出決策，例如跳某部機不卸載；或需卸載並計算出卸載量，根據饋線卸載順序表卸除於各變電站足夠之負載量，以達到供需平衡及不作不必要之卸載兩大原則，遇極端事故採取不同之控制及卸載策略以避免系統之全黑。本特殊保護系統可歸納為 3 個狀態，如圖 6。狀態之決定依據來至 SCADA 系統之 CB 即時狀態、類比量偵測與運算，在任何時間，系統屬於 Normal State N、State A 或 State B 之其中一個狀態，系統轉態之條件來自於

監測信號中發電機或 22.8kV 輸電系統 CB 之動作，系統轉態時間 < 200msec。

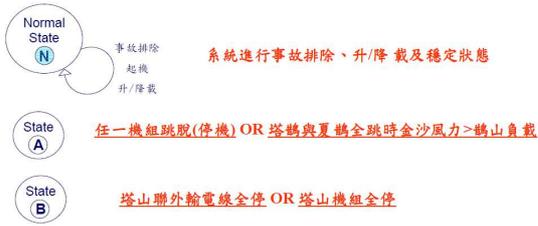


圖 6 自動卸載邏輯狀態示意圖

當有任何 CB 動作導致出力不足時，系統旋即轉態為 State A 運算出最佳處理決策，下一狀態可能為 Normal State N、State B 或本狀態 State A (連續跳機事故)。State B 之進入條件為當塔山變電站聯外輸電線全停或塔山發電機組全停之任一條件成立時，此時若有夏興機組運轉中時，旋即運算出保住夏興機組及對應負載之決策。以上狀態邏輯與流程圖設計如圖 7。

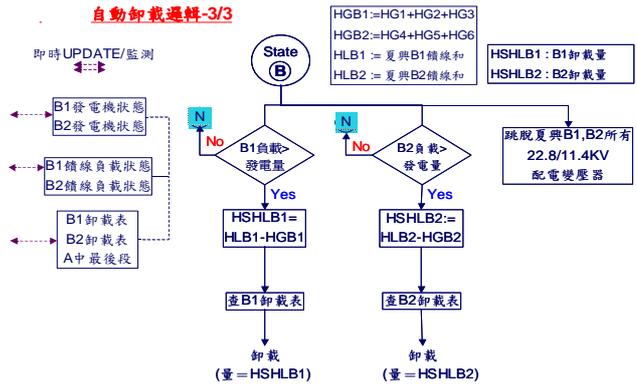
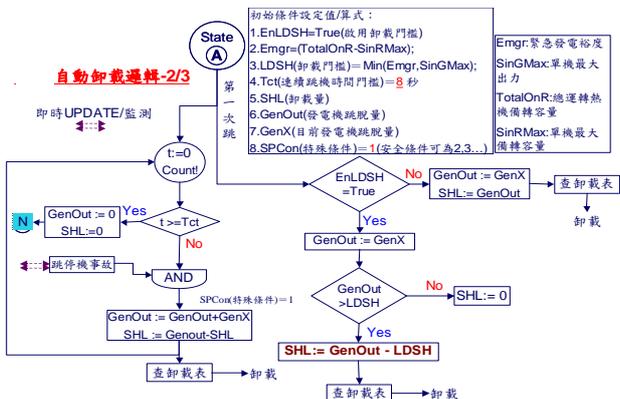
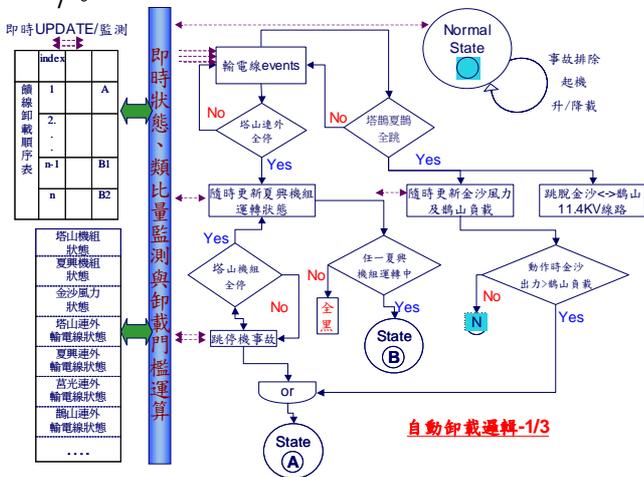


圖 7 大金門特殊保護系統自動卸載邏輯流程圖

圖 7 上圖為主判斷邏輯，從快速 SCADA 系統中監測即時狀態之變化，以決定系統將處於何種 State，在上圖左為即時狀態並含卸載順序表，卸載順序之決定由金門區處根據低頻電驛段別及用戶特性等排定，原則為低頻電驛第 1 段者排於前，依此類推，同時夏興變電站所轄 B1,B2 群負載須有負載排於後段並保留部分無低頻電驛之饋線置於最後，以因應系統進入 State B 時能避免全黑。圖 7 中圖為處理 State A，並包含系統發生極端事故 (8 秒內連續跳停機) 之邏輯。圖 7 下圖則為處理 State B 之邏輯。

所有圖 7 之特殊保護邏輯設計已足夠提供程式設計師實現為軟體程式，筆者已撰寫一圖形化程式來完成此特殊保護邏輯，開發本程式最主要目地為作為驗證與測試將來實際安裝完成之整體大金門特殊保護系統是否符合要求，以在本程式模擬操作各種情境之結果，驗證實際系統是否有相同之反應及結果。以下簡述其中一操作實例，假設之運轉組合如下：(99 年大金門塔山電廠之表定運轉組合之 1) 系統總負載為 22.6MW：
塔山 4 部機：1、2、5、6 號機各出力 4.5MW
夏興 1 部機：3 號機出力 2.6MW
金沙風機 2 部機：各限載出力 1MW

若根據暫態穩定度分析結果[3]當塔山跳 1 號機後，系統最低頻率為 57.64Hz，最高為 60.3Hz，若未安裝本特殊保護系統時，因未低於現有低頻保護電驛第 1 段 (57.3Hz)標置值，故應不卸載！

若以本特殊保護自動卸載邏輯而言，程式之初始設定畫面如圖 8 上圖，操作跳 1 號機後系統之狀態如下圖。

機組	出力	額定出力	備轉容量
塔山 1號機	4.5	7.9	3.4
塔山 2號機	4.5	7.9	3.4
塔山 3號機	0	7.9	0
塔山 4號機	0	7.9	0
塔山 5號機	4.5	8.25	3.75
塔山 6號機	4.5	8.25	3.75
塔山 7號機	0	8.25	0
塔山 8號機	0	8.25	0
金沙風力 1	1	2	0
金沙風力 2	1	2	0
夏興 1號機	0	3.168	0
夏興 2號機	0	3.168	0
夏興 3號機	2.6	3.512	0
夏興 4號機	0	3.488	0
夏興 5號機	0	3.488	0
夏興 6號機	0	3.488	0
總系統負載	22.6		

機組	出力	額定出力	備轉容量
塔山 1號機	0	7.9	0
塔山 2號機	5.904	7.9	1.996
塔山 3號機	0	7.9	0
塔山 4號機	0	7.9	0
塔山 5號機	6.048	8.25	2.202
塔山 6號機	6.048	8.25	2.202
塔山 7號機	0	8.25	0
塔山 8號機	0	8.25	0
金沙風力 1	1	2	0
金沙風力 2	1	2	0
夏興 1號機	0	3.168	0
夏興 2號機	0	3.168	0
夏興 3號機	2.6	3.512	0
夏興 4號機	0	3.488	0
夏興 5號機	0	3.488	0
夏興 6號機	0	3.488	0
總系統負載	22.6		

圖 8 塔山跳 1 號機前(上圖)及後(下圖)系統之狀態

圖 8 下圖為操作跳塔山 1 號機後本大金門特殊保護系統邏輯程式運算結果，本次卸載量 SHL=0(不卸載)，跳機後塔山 2 號機扛載(4.5MW 至 5.904MW)、塔山 5 號機扛載(4.5MW 至 6.048MW)、塔山 6 號機扛載(4.5MW 至 6.048MW)，夏興及風機因假設無扛載能力，故保持原狀，由於塔山 1 號機跳脫後經運算結果 LDSH(卸載門檻)

僅剩下 4.198MW，下次跳機大於 4.198+0.1(offset)時必須卸載，故塔山 2、5 及 6 號機目前出力均大於此值，因此紅色燈閃爍提示若不開新機組時該 3 機組任 1 跳機時即將卸載！繼續跳機及極端事故等均已於本程式中實現，限於篇幅無法一一說明。

V. 特殊保護系統架構與軟硬體功能設計

前所提出之特殊保護邏輯設計最終將會以一足堪運作此邏輯之快速 SCADA 系統軟硬體來實現，整體系統除了需實現此核心之快速監測運算及控制外(<200msec)外，尚須有運轉、維護、模擬及資料長期紀錄之功能，以成為一完整之特殊保護系統，提供足夠之系統狀態資訊、警報及資料庫等供運轉人員之維護及事故紀錄分析等之用。本計劃提出圖 9 之系統架構設計。

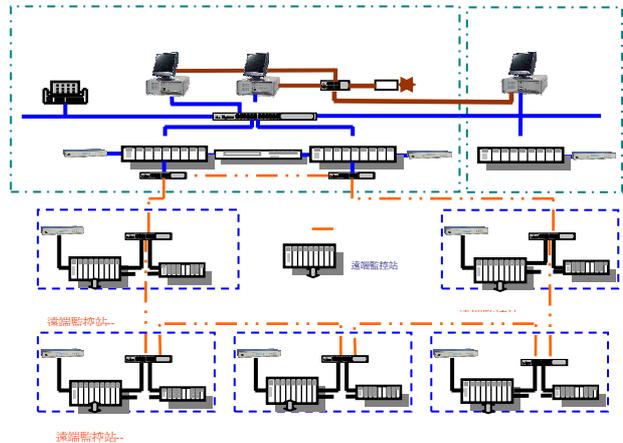


圖 9 大金門特殊保護系統(SPS)架構設計

本快速 SCADA 系統主要由下列分項系統組成，如表 1。

表 1 大金門特殊保護系統分項設備組成表

項目	名稱	單位	數量	裝置處所
1	決策主機系統	組	1	塔山電廠控制室
2	線上模擬系統	組	1	塔山電廠控制室
3	遠端監控站	組	6	分置於塔山、莒光、夏興、鵲山、金沙電廠或變電站等 5 處加 1 組備品
4	電力類比信號擷取設備	組	5	分置於塔山、莒光、夏興、鵲山、金沙電廠或變電站等 5 處
5	通訊傳輸設備	組	7	分置於塔山、莒光、夏興、鵲山、金沙電廠或變電站等 5 處共 7 組
6	設備組裝、測試及整合	式	1	設備出廠前及各裝置處所

除線上模擬系統外，其他設備皆經通訊傳輸設備及本公司之傳輸線路(既設光纖)連接至決策主機系統。決策主機系統及線上模擬系統置於同一場所，並以區域網路(LAN)相互連接。

如圖 9 之架構以地理位置分為塔山電廠含塔山變電站、莒光變電站、夏興電廠含夏興變電站、鵲山變電站、金沙電廠等 5 處，每 1 地理位置點裝設 1 組遠端監控站(含電力類比信號擷取設備)負責收集與監控當地上述必要電力類比信號、CB 及 GPS 對時信號等，各遠端監控站具快速 LAN Ethernet Port 與決策主機系統複式前端通訊處理器之快速 LAN Ethernet Port 以工業級網路交換器(即圖 9 之通訊傳輸設備)形成環狀(Ring)光纖 Ethernet 網，資料交換均透過此通訊傳輸設備傳送，平時之電力類比信號及事故之 CB 動作 DI 信號均往決策主機系統之兩台複式前端通訊處理器運算，特殊保護邏輯亦在此複式前端通訊處理器執行，因此各遠端監控站、通訊傳輸設備及兩台複式前端通訊處理器形成一邏輯 LAN，進行即時之偵測、通訊、

運算及決策動作，整個過程含完全動作 CB 跳脫必須小於 200msec。

一個完整之 SCADA 系統只含上述功能是不夠的，尚需具有即時運轉及維護資訊與歷史運轉記錄提供值班及後續分析，因此本計劃亦於決策主機系統設計圖控操作工作站、資料庫伺服器及防火牆路由器等，提供上述即時與歷史運轉資訊、警報及分析資料等功能，亦可經由防火牆路由器系統由遠端(Internet)登入監測與維護此大金門特殊保護系統；而線上模擬系統則可從資料庫伺服器存取歷史資訊作模擬及分析工作，必要時作為圖控操作工作站之備用系統。

詳細各分項系統硬體與軟體功能均已架設與測試完成，目前已積極於現場進行整合與安裝。

VI. 結論

本計劃已根據大金門電力系統之弱點分析，設計出一套特殊保護之自動卸載邏輯，佐以系統暫態穩定度模擬驗證其保護價值，並逐一規劃設計及建立一套足堪運作此邏輯之軟硬體功能設備，並整合建置成一快速之 SCADA 系統-大金門特殊保護系統(SPS)，希望經由此系統之建立能彌補低頻保護電驛系統之缺陷，確實降低及避免大金門電力系統全黑事故之發生。

VII. 誌謝

本計劃之完成，感謝「大金門特殊保護系統(SPS)建置」工作小組全體成員之貢獻及參與，才能使本計劃各項繁複之工作得以順利完成，同時，特別感謝系統規劃處林水秀課長在電力系統分析研究上之指導。另外，感謝本所長官對監控小組之支持與信賴，期望能持續技術深度與廣度之精進，朝設計更先進之監控系統方向努力。

參考文獻

- [1] 林水秀、江榮城、王金墩，“大金門電力系統緊急自動卸載系統之建置”，台灣電力公司 96 年研究專題 2101-9601，民國 96 年。
- [2] 林水秀、江榮城，“金門電力系統低頻卸載策略及最大可併聯之風力發電容量”，台灣電力公司 95 年研究專題，民國 95 年。
- [3] 林群峰、楊金石，“大金門風力機組低頻卸載及運轉模式之檢討”，台灣電力公司 98 年技術服務 TPRI-G-7.8 - 2101 - 9836，民國 98 年 10 月。

從太極拳談養生

常務監事 李國楨

一、前言

去(99)年重陽節，內政部特別舉辦一場「金齡超級偶像大賽」，評審結果卻令人跌破眼鏡，冠軍為93歲的「京劇天后」戴志蘭老阿嬤，得到亞軍的是95歲展現「烏蟲體書法」的趙慕鶴老阿公，季軍為94歲跳山地舞的鄧有才老阿公，得獎前三名合計高齡282歲。各個年齡雖高卻神采奕奕地專精演出，讓人內心深處禁不住讚嘆喝采，由衷佩服。尤其展現不服老的精神與精湛才藝。對照台灣古早流傳俚語「老罔老，還閣會哺土豆」趣談，遙相呼應尚有幾分神似。

依據聯合國世界衛生組織所研究的標準，社會中老年人口如達到7%，就成為「高齡化社會」。台灣高齡人口自1993年就超過7%，2007年更突破10%。若以目前嬰兒出生率及高齡人口增進率，推估約在2017年高齡人口數將會首度超過15歲以下兒童人口數，屆時高齡人口家庭比例增加，老人社會福利補助不足，因此追求老當益壯，自求多福是當下刻不容緩的目標。

平心而論，大多數人都會面臨高齡境遇，此為人生自然現象，無需過度憂懼與煩惱。只要擁有健全的嗜好與興趣，加上平時注重飲食方面的均衡營養，並選擇活絡筋骨養生運動來維護身心健康，另外積極選擇參與社區各項活動，從樂活學習中體驗生命的堅韌及活出精彩的人生。

二、從傳統古籍談養生運動

前段所述活絡筋骨養生運動，在黃帝內經經絡養生書內，記載傳統古典的常用經絡健身法，約略有下列三種：

其一為八段錦

最早見於南宋，將導引與中醫理論結合，亦即將運動肢體與按摩、吐納相結合，特別適用於中老年人或文弱體虛者，即其臟腑組織功能衰退者抑或慢性病者。

其二為五禽戲

是後漢三國時代名醫華陀歸納前人仿效5種鳥獸(虎、熊、鹿、猿、鳥)動作鍛鍊身體並配合氣息調理，亦即將「熊經鳥伸」運動發展編創而成，由是後人又稱之為「華陀五禽戲」。

其三為太極拳

是中國流傳最廣的健身運動，歷經世代相傳，流派眾多卻代代匯聚武術的精華，可調理臟腑，疏通經絡，益氣活血等作用。

近幾年來太極拳運動風靡全球，全都拜賜太極拳在理論上，不但與黃、老養生論述密切相關，也和易經陰陽學說形影不離，尤以「鍊精化氣，鍊氣化神，鍊神還虛」通達神靈。以氣沉丹田方式，使精氣化熱灌溢骨中，經轉化骨髓使骨堅強，氣旺血足致筋柔，演進還老返童之神奇。本文選論太極拳其目的在此，強調以心行氣，以氣運身，血路通暢達延年益壽之道，彰顯「上醫者，醫人於未病」之概念。

三、太極拳經絡養生論述

太極拳被歸納為「內家拳」與其他「外家拳」有顯著差異，茲分述如下：

外家拳	內家拳
動作快慢不均，有間斷	動作慢無間斷
動作以走直線為主	以走曲線為主
勁力大	用意不用力
呼吸不勻且急促	呼吸勻緩深長
為手或足局部動作	一動全身俱動
勁力呈現外硬時斷	勁力內柔不斷
以堅壯筋骨皮為主	兼練精氣神，終以養神為主

談到太極拳養生最重要者，莫過於以習練氣功中之小周天法、意守丹田等均為透過通暢任督二脈重要穴位，以發揮調動全身經脈血氣、內氣的作用，達到養生防病、強身的良好效果。

任督二脈居奇經八脈之首，其中任脈循行於腹部正中，以心靈為主，腑臟屬心，有總任全身陰經(含十二經脈之手三陰及足三陰等六陰經脈)之作用。其重要穴位自下唇下方之承漿往下走至臍中、丹田(氣海)匯聚於會陰等共 24 穴。

而督脈循行於背部以脊椎為主，腑臟屬腎，有督率諸陽經(含十二經脈之手三陽及足三陽等六陽經脈)之作用，對五臟六腑有統領、主導、調節作用。其穴位發源於會陰，越過尾閭，沖開夾脊(脊椎)，渡過玉枕到達泥丸巔頂，再下至上唇之齦交共 27 穴。

太極拳行氣為逆行，古人稱為河車倒運，即由督脈而上，透過尾閭、玉枕、泥丸再下至丹田，但其中承漿與齦交並不連貫，為彌補此

缺失，利用「舌抵上顎」來貫串任督兩脈，體現易經(腎)水(心)火既濟，相輔相成效果。

四、太極拳養生全真之道

前段強調太極拳是內家拳，太極內功是其本質核心，以此推論，真正太極拳應含內功之拳架，如不含內功之拳架則劃歸太極操。詳言之，只動外形，不養內氣，不生內勁，不練精氣神，即是捨本求末之柔軟體操，非太極拳養生全真之道。

話雖如此，但仍值得一提的是：太極操對於社會公眾之養生保健，也有不可忽視之功用，例如大陸公開推行 24 式簡化太極操只動外形不養內氣，卻對於心臟血管疾病、高血壓、陳年胃病、慢性支氣管等症狀，在多年醫療觀察確認具有某些程度之療效。

參酌楊式(澄甫)太極拳有關習作要點釋示如下：

1. 每於練功架便引據太極拳論：「由腳而腿而腰，總須完整一氣。」，細言之，其根在腳，發乎腿，主宰於腰，形乎手指，手必要相隨但不可自動，展現本末不相離。此處以心行氣，以氣運身，表裏合一，實太極拳精髓所在。
2. 沉肩垂肘坐腕，須氣注掌心勞宮穴，進而到達指尖，使氣血通達經脈末梢。
3. 含胸拔背(胸微陷、背微弓)是為氣通三關之鑰，三關指尾閭、玉枕、泥丸等穴，生理學對此三關統稱副交感神經，三者處同一部位可紓解正交感神經耗損作用故具有調整自律神經失調功能。
4. 氣沉丹田一是要以心與氣，相守於

丹田，如雞之孵卵，氣以直養而無害。沉氣是將氣逐漸積於丹田（約在臍下一寸三分處）。

5. 虛靈頂勁一頂頭懸有如有辮子繫樑懸空，輔以尾閭中正神貫頂，上達泥丸。練功架時將玉枕骨豎起，使神與氣不期然相遇於頂。藉周身輕靈配合雙腳虛實轉換，默識揣摩捨己從人，引進落空近距發勁，發揮「牽四兩撥千斤」槓桿原理之妙用。

五、結語

目前習太極拳者眾多，惟大多數僅學完拳架，便沾沾自喜而中輟進階，殊甚惋惜。太極拳被稱為換骨金丹，並非一蹴可成。易經曰「天行健，君子以自強不息」，勉人當模仿天體運行切勿懈怠，平時行坐處卧可意守丹田並堅守「道也者，不可須臾離也」。

太極拳名家鄭曼青曾說：「外家拳多以身殉技，內家拳是以技養生。」此因外家拳主要練拳腳撞擊外物，到老時一旦停練，功夫退步體力耗損，不利養生；而太極拳功夫長期都要求練體與養氣、養神並重，到了成熟階段，則養重於練，儲備精氣神有利於祛病延年，故有「內練一口氣，外練筋骨皮」、「學練不學(氣)功，到老一場空」的說法。

近年來暢談養生強身之術有如過江之鯽，而本文試從太極拳談養生，期許呼朋引伴共同體悟「祛病強身，延年益壽」的醫療養生理念，其中「祛病強身」即是強化免疫系統，類似健全保護電驛系統可快速清除電力系統異常狀況，迅即恢復

正常供電。是以養生之層次著重在「上工治未病，中工治已病」，尤其強調預防重於治療；另方面熟習太極拳內涵不就是在弘揚悠久中華文化的國粹嗎？

六、參考文獻

- 1、黃帝內經養生全書 經絡養生
張湖德 樊 鎰 主編
薪傳出版社 90年11月初版
- 2、鄭子太極拳自修新法
永嘉 鄭曼青、羅邦楨 著作
時中學社出版 96年4月三版
三文印書館有限公司承印
- 3、太極拳理傳真
編著 張敬義 88年7月出版
總經銷 時中學社
- 4、楊氏太極 兩岸一家
作者 翟世鏡 99年3月初版
出版者 時中學社
承印者 全國印前資訊事業有限公司
- 5、中醫養生受益一生
胡乃文談養生之道
作者 胡乃文 2007年7月出版
出版 博大國際文化有限公司

輸電線路保護規劃協調維護測試分析

台電嘉南供電區營運處電驛組 許文興

一、前言

電力為工業生產、交通運輸之原動力，供應家庭、商業及工廠之照明、空調、電梯及其他用電設施之能源，並促進國家經濟之發展，工商百業之繁榮，以及改善工作環境，提高生活水準，有很大的貢獻。

電力系統是將個別的發電廠，以輸電線聯繫，然後再用配電線分送給用戶，以調節電力的供需，增加發電、供電的效率與安全。電力系統的設計、運用及裝置，皆需考慮以最高效率與充份的安全為目的。電力為工業之母，沒有優質電力即沒有經濟，所以在規劃輸變電系統準則時，應考量輸變電系統之規劃環境變更與未來電業自由化，對未來強化輸電系統之可靠度、穩定度及安全度有極大助益。

輸電線路保護電驛整體規劃在其顯示保護能力，以增進系統供電安全與可靠度並確保供電穩定。為使保護能力充分發揮，依電壓等級之輸電線路及其相關設備之保護規劃原則裝設相關保護電驛保護，在保護方面需求保護設備動作特性的協調，事故發生時，確保快速隔離故障區域，不影響未故障區域之正常供電。

二、台電電力系統結構及流程

電力系統包括發電、輸電及配電三大系統，每一系統均有其不同之架構與目標，而彼此又相互關連。

1. 發電系統：主要是利用水力、火力、核能等能源轉換成電能，包括發電與昇壓設備。
2. 輸電系統：由發電廠所產生的電力，輸

送至遠距離的各個用電中心、變電所。其間的線路稱為輸電線路，系統包括有一、二次輸電線路、降壓、控制及保護設備。

3. 配電系統：用電中心區域(69kV、161kV、345kV)，經降壓後再用線路分配到各用戶，稱為配電，其間的線路稱為配電線路，系統包括有配電變電所，一、二次配電線路、配電變壓器及其他設備。

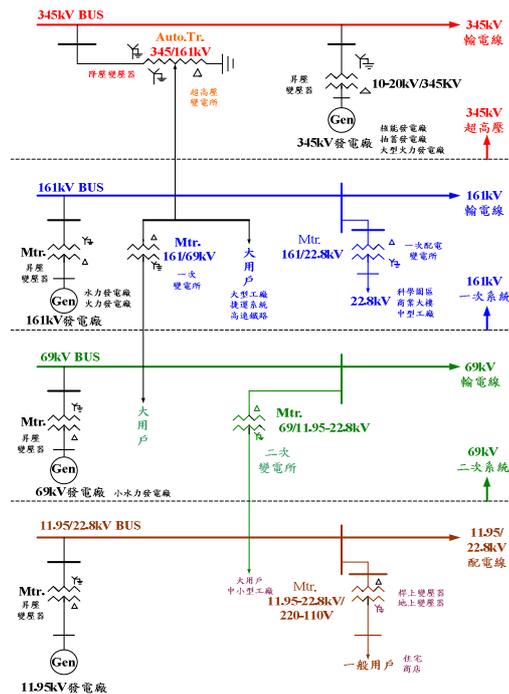


圖 1 目前台電電業結構及流程圖

三、輸電線路保護規劃

(一) 輸電線路保護規劃方式

1. 輸電線路主保護得採用方式

(1) 全線段快速跳脫保護方式：須配

合光纜或數位通信頻道，採用線路差電流方式(87L)。

(2)非全線段快速跳脫保護方式：免通信頻道，採用多區間測距方式(21/21N)。

2.輸電線路後衛保護得採用方式

(1)多區間測距方式 (21/21N)。

(2)方向性延時過電流方式(67/67N)。

(3)延時過電流方式 (51/51N)。

(二)69kV 輸電線路保護方式

1. 每回線保護設備採用一套兩具多功能線路差電流電驛。

2. 每具電驛具備全線段快速跳脫主保護功能、後衛保護功能及相關保護方式。

(1)69kV 環路供電方式:啟用差電流保護功能(87L)者為主保護電驛;啟用多區間測距功能(21/21N)或方向性過電流功能(67/67N)者為後衛保護電驛。

(2)69kV 單回線供電方式:啟用多區間測距功能(21/21N)者為主保護電驛;啟用方向性過電流功能(67/67N)者為後衛保護電驛。

(三)輸電線路保護電驛規劃

1. 保護電驛設備可分為主保護及後衛保護，電力設備至少須有一保護設備。另可依電力系統之需求、重要性或經系統穩定度分析有特別考量者，得增設多套保護設備；上述保護電驛設備均須採用數位式電驛。

2. 保護電驛用之直流電源須經由無熔絲開關後再引接至保護電驛盤；有二套直流電源者，須分別引接至所需保護電驛盤及相關設備，不可混接。

3. 保護電驛接用之比流器二次側繞組中性點於電纜引接至控制盤或電驛盤之第一點接地，不可多點接地。

4. 保護電驛接用之比壓器可依需求接用匯流排側或線路側之比壓器；比壓器二次側繞組中性點於電纜引接至控制盤或電驛盤之第一點接地，不可多點接地。

5. 輸電線路保護採多功能線路差電流電驛(利用光纜或通信頻道傳送量化比較信號)作全線段快速保護。

6. 輸電線路後衛保護得採用測距功能、方向性延時過電流功能或延時過電流功能。

(四)用戶相關之保護電驛規劃

1. 69kV 單回線或一經常一備用引供之用戶線，相關保護依下列方式辦理：

(1)每回線保護設備採用兩具多功能線路差電流電驛，分別啟用非全線段快速跳脫之主保護電驛及後衛保護電驛。

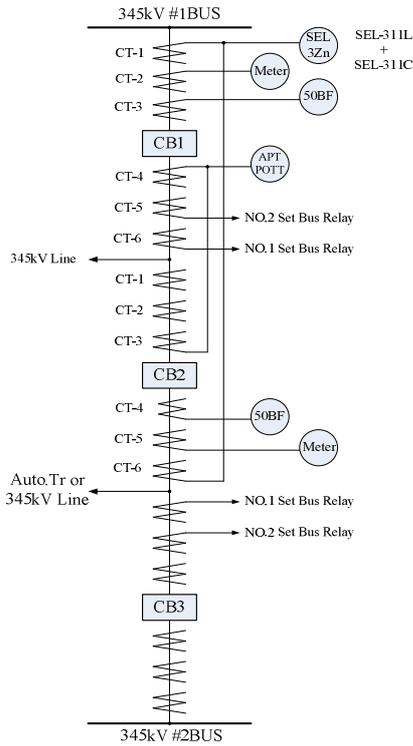
(2)用戶端之主、後衛保護電驛由用戶自行規劃。

2. 69kV 環路供電或雙回線併聯引供之用戶線，相關保護依下列方式辦理：

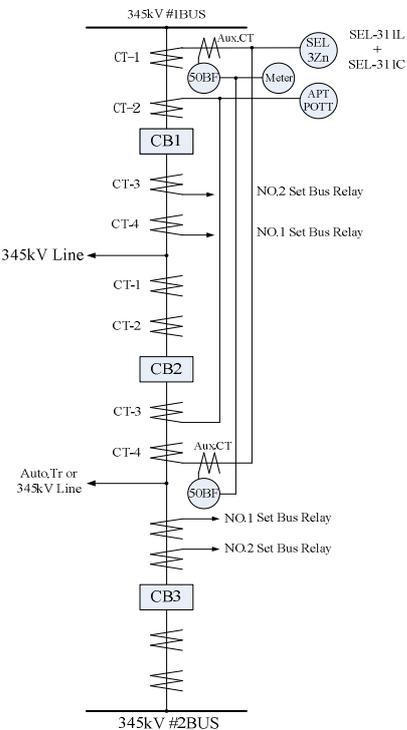
(1)每回線保護設備採用兩具多功能線路差電流電驛，每具電驛具備全線段快速跳脫主保護功能及後衛保護功能；啟用差電流保護功能(87L)者為主保護電驛，啟用多區間測距功能(21/21N)或方向性過電流功能(67/67N)者為後衛保護電驛。

(2)與台電變電所端直接引供之環路用戶，須安裝與台電相同廠牌、型式之主保護多功能線路差電流電驛，用戶端之後衛保護電驛由

用戶自行規劃。



(a)



(b)

圖 2 (a)345 kV 典型一個半匯流排六組 CT 保護方式及(b)345 kV 典型一個半匯

流排四組 CT 保護方式單線圖

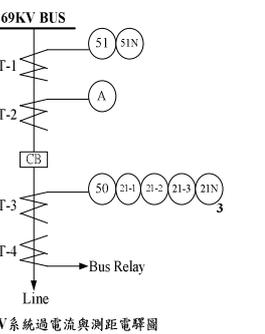
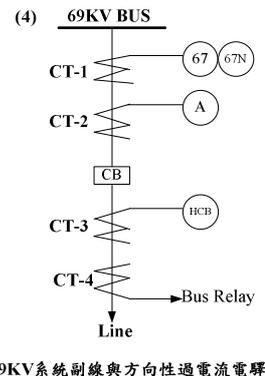
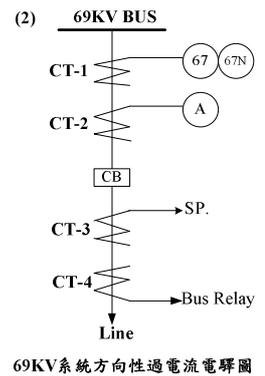
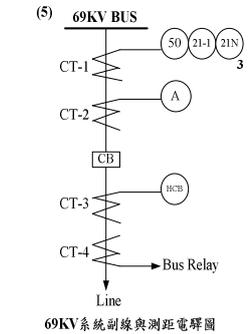
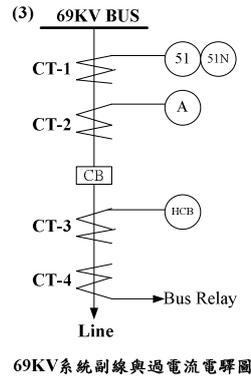
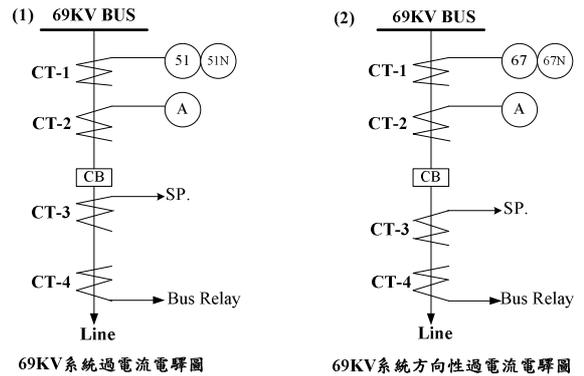


圖 3 (1) (2) (3) (4) (5) (6) 為 69 kV 系統 E/M 電驛保護方式單線圖

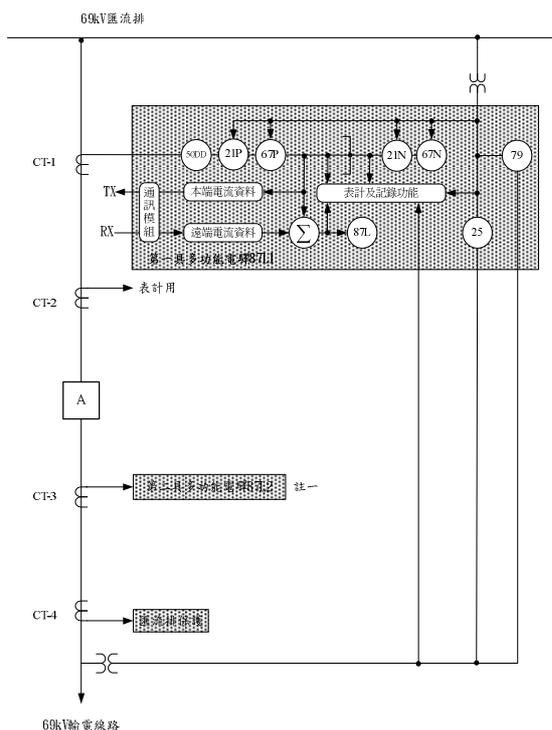


圖 4 69 kV 單斷路器輸電線路雙重多功能數位保護電驛方式單線圖

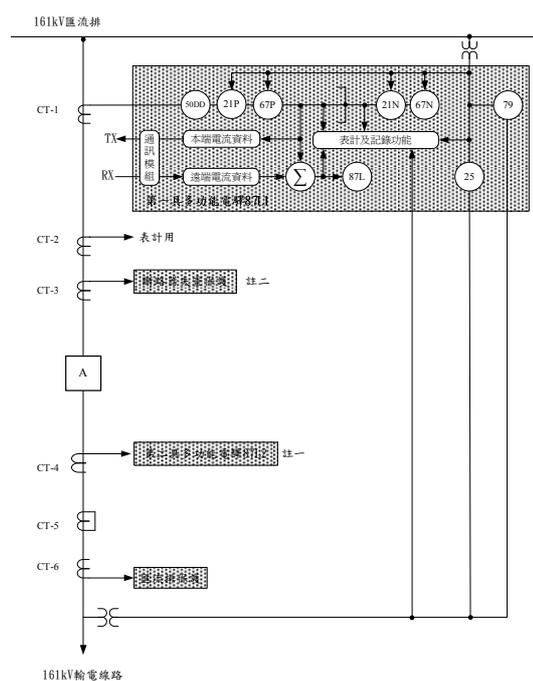


圖 6 161 kV 單斷路器(六組 CT)輸電線路雙重多功能數位保護電驛方式單線圖

四、電力系統保護電驛

(一)保護電驛系統運用

保護電驛系統之功用在於偵測故障發生，再啟動動作元件，選擇跳脫開關設備，同時發出指示與警報訊號，以完成故障隔離區域。保護電驛系統是一個團隊的組合，缺一不可，如斷路器正確的跳脫才能啟斷故障電流，而跳脫速度會影響保護系統的整體功能。

1. 檢出故障的電氣設備。
2. 取樣於 CT、PT 及其相關設備之訊息。
3. 控制回路之接點閉合而動作。
4. 快速檢出故障訊號，適時清除故障，隔離事故範圍。
5. 避免危害保護設備，縮小故障區域再度擴大及減少損失。

(二)保護電驛功能應有認識

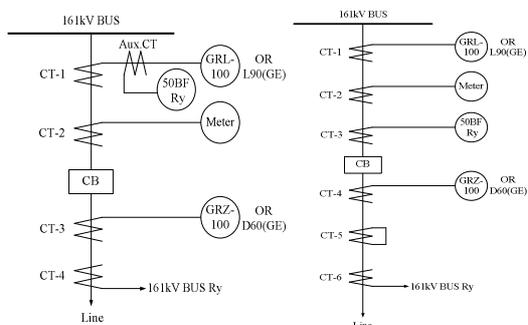


圖 5 161 kV 系統保護方式單線圖

1. 保護電驛是在事故時才會發揮功能，故電驛的裝設並不能減少事故的發生次數。
2. 保護電驛是一個團隊的組合。它包括保護電驛、比流器、比壓器、斷路器、通訊設備等。在此一組合中，每一設備的性能都將會影響到整體的功能。
3. 在現有的科技條件下，無論任何品牌的保護電驛或保護電驛系統，或多或少隱藏有不同程度的缺陷，其性能並非完美。
4. 保護電驛系統應經測試、協調及取載工作完成後，才能上線使用。

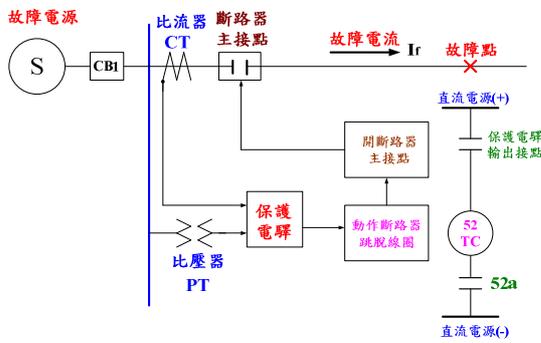


圖 7 保護電驛系統是一個團隊的組合

五、輸電線路保護方式

(一)非載波系統(non-pilot system)

過電流電驛：是指無方向性---50/50N, 51/51N。方向性過電流電驛：是指有方向性---67/67N。測距電驛---21/21N。

(二)載波系統(pilot system)

1. 訊號通道---電力線載波(power line carrier)、微波、光纖、音頻、電話線。
2. 保護方式---方向性比較，相位比較，遙控跳脫。
3. 方向性比較---電力線載波通信:閉鎖，非閉鎖方式。
4. 音頻通信(微波)：(1)DCB (2)POTT

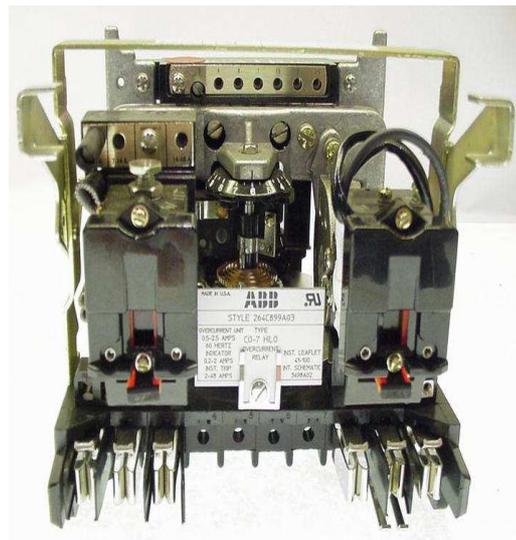
(3)PUTT。

(三)副線保護電驛系統(pilot-wire relaying system)

1. 使用傳統金屬副線---HCB-1、SPD、CFD
2. 使用通信媒介(微波、光纖)---類比式(LCB-2、DLS)
3. 數位式-數位差流電驛(RFL- 9300、SEL-311L、GRL100、L90)

(四)過電流電驛(51/51N)及方向性過電流電驛(67/67N)

1. 延時過電流電驛(51/51N):延時過流電驛常用於 69KV 無背後電源線路及饋線保護，其各廠牌電驛分類為 WH(ABB)：CO-xx，GE：IFC、IAC，三菱：CO-xxI。用途：a. 51 電驛作為 69KV 末端輸電線(無背後電源)及饋線之主保護電驛，保護相間故障及接地故障。b. 51N 電驛偵測零相電流為接地故障保護電驛，動作原理：多為感應圓盤式動作元件，部份形式電驛附有瞬時元件(IIT)作瞬時過電流之跳脫。

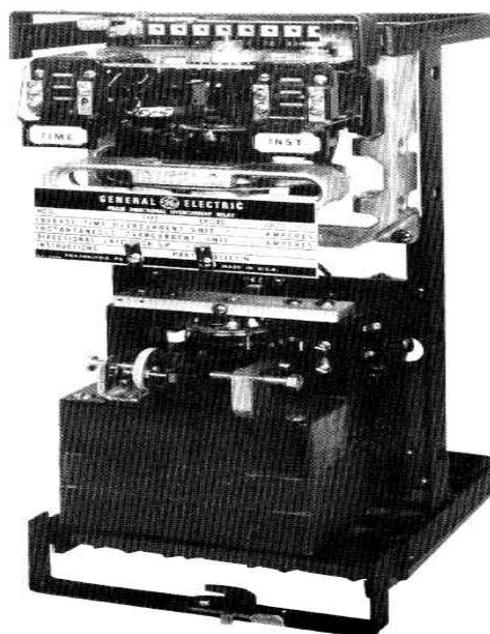


(a)



(b)

圖 8 (a)CO 型-ABB 過電流電驛及 (b)IFC-GE 型過電流電驛前視圖

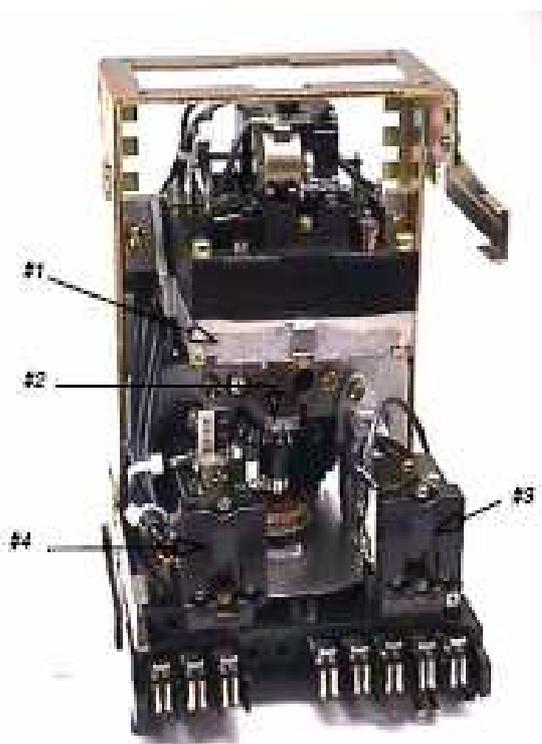


(b)

圖 9 (a) CR/CRP 型及 (b) IBC/IBCG 型方向性過電流電驛圖

2. 方向性過電流電驛(67/67N) :

方向性過電流電驛常用於 69kV 系統有背後電源之環路線路保護；其各廠牌分別為 WH(ABB) : CR-8、CRP-8 ; GE : IBC、IBCG。



(a)

(五)測距保護電驛(21/21N)

1. 測距保護電驛基本原理

測距電驛偵測判斷事故信號來源是取自於比流器與比壓器之二次側電流及電壓，當輸電線路故障時，其電壓將瞬間下降，電流將瞬間提高；若離故障點越近，則故障電流越大，故障電壓越低，如圖 10 及圖 11 所示。

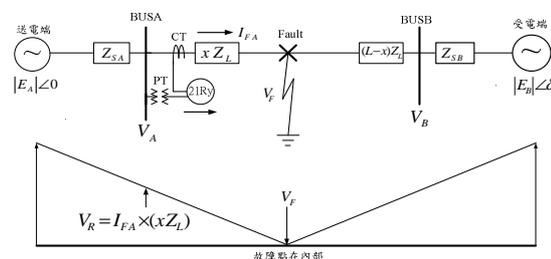


圖 10 輸電線保護區間內故障示意圖

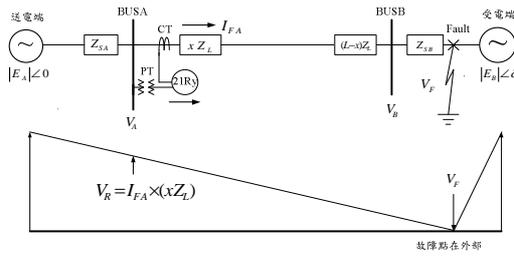


圖 11 輸電線保護區間外故障示意圖

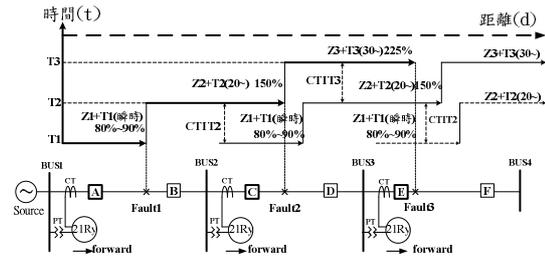


圖 13 測距電驛區間動作示意圖

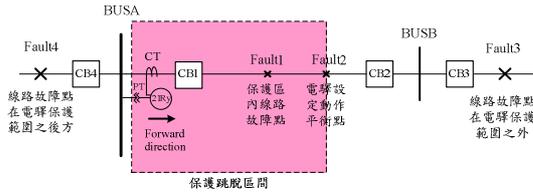


圖 12 測距電驛故障保護區間圖

表 1 測距電驛動作情況區分表

功能 原因	若本線段內發生故障時 (Fault 1)	若本線段臨界點發生故障時 (Fault 2)	若本線段外發生故障時 (Fault 3)
模擬信號	$V_{RY}/I_{RY} = Z_{Fault} < Z_{Se}$ $V_{RY} < I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY}/I_{RY} = Z_{Fault} = Z_{Se}$ $V_{RY} = I_{RY} * Z_{Set}$	$V_{RY}/I_{RY} = Z_{Fault} > Z_{Se}$ $V_{RY} > I_{RY} * Z_{Set}$
情況	內部故障	平衡點故障	外部故障
結果	保護電驛動作	保護電驛動作或保護電驛不動作	保護電驛不動作

2.測距保護電驛基本特性

測距電驛區間動作，可分為正向三個區間保護，電驛區間有三個各別的測距電驛元件來執行故障清除任務，同時是互為重疊的。第一區間保護是本線段長度之 80%~90%間且為瞬時動作；第二區間保護是本線段長度加第二線段最短之 50%，且為延時 20 週波動作；第三區間保護是本線段長度加第二線段最長再加第三線段最短之 25%，且為延時 30 週波動作；由以下區間圖顯示知，若本線段百分長度內故障，第一區間保護電驛應瞬時快速動作；若沒有動作，會延遲 20 週波動作或更長時間，此保護方式之缺點。

3.測距保護電驛-21/POTT 保護

方向比較允許越區轉移跳脫式載波電驛系統 (POTT)，利用載波系統之通信媒介為微波、音頻或光纖，一般採用頻率偏移的方式來傳送監視頻率或允許對方跳脫的跳脫頻率。當無故障時，A、B 兩端利用監視頻率互相傳送信號，以目前之通信頻道，若有異常時，會發出警報信號，去閉鎖電驛快速跳脫之功能，當內部故障時，將會由監視頻率偏移為允許對方跳脫的跳脫頻率，以允許對方快速跳脫。

方向比較允許越區轉移跳脫式載波電驛系統特點為 ZP 之設定同第二區間電驛 (Z2) 為 150%，若 ZP 動作則會同時起動音頻機組將監視頻率偏移為允許對方跳脫之頻率，同時不需要反向載波起動電驛，而需要傳送監視或跳脫頻率之通信媒介。

依正常送電動作情形，A、B 兩端之電驛均不動作，音頻機組仍持續發射監視頻率，以確認雙方之通信良好，若有異常則會發出警報，且閉鎖電驛之快速跳脫功能。

依外部故障情形時，當外部故障發生在 A 端附近，如圖 14，則 A 端的 ZP 不會動作，此時 A 端仍發射監視信號至 B 端，同時 B 端的 ZP 會動作，且 B 端將會監視信號偏移成允許 A 端電驛跳脫之信號。

依內部故障時，當內部故障發生在保護線路上在任何地點時，A、B 兩端之 ZP 均會動作，則兩端同時會將監視信號偏移

成允許對方跳脫之信號，此時A、B兩端ZP接點閉合且收到對方之允許跳脫信號後RR接點閉合，完成跳脫回路，斷路器快速動作，隔離內部故障，由此可達到100%保護線路快速跳脫保護之要求。

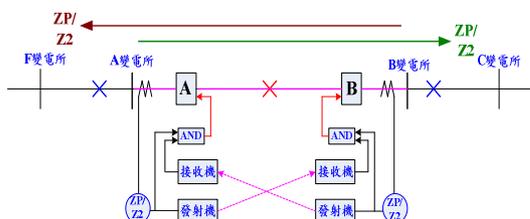
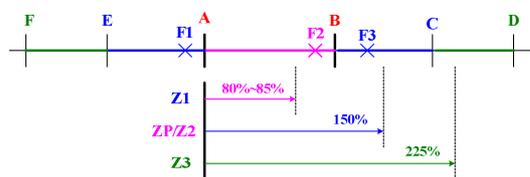


圖 14 測距保護電驛-21/POTT 保護



AB線	A(ZP/Z2)	B(ZP/Z2)	瞬時Trip	延時Trip
F1	NO	Yes	NO	B
F2	Yes	Yes	A,B	NO
F3	Yes	NO	NO	A

圖 15 允許越區間傳訊跳脫保護系統

(六)輸電線路差電流電驛(87L)

差電流電驛 SEL-311L 元件包括有保護、監控、通訊等功能，保護範圍完整是多功能智慧型電驛，其保護功能有(1)每相差電流元件(87L-A，87L-B，87L-C)，它是用來偵測每1相或3相的故障。(2)負相序差電流元件(87L-2)，它是用來偵測3個相的內部不平衡故障，為避免產生誤動作，若超過3倍額定電流值時將被抑制，而此元件對偵測高阻抗故障很靈敏，所以適合於故障電流小於負載電流或是線路充電電流值。(3)接地差電流元件(87L-G)，它是用來偵測2個相以上的內部不平衡故障，為避免產生誤動作，若超過3倍額定電流值時將被抑制。(4)兩端須安裝相同廠

牌、形式之差流電驛(87L)採數位通信方式，通信不良時87L自動閉鎖，新建、容量變更或汰換工程之線路做為主保護。

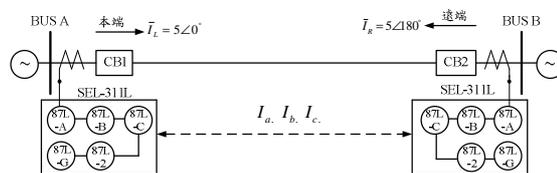


圖 16 差電流電驛元件圖



圖 17 差電流電驛保護方式圖

(5)電驛特性試驗 SEL-311L 差流元件特性

差流元件動作條件需落於 Alpha Plane 動作區內且差流電流夠大。Alpha plane 之抑制區由下列設定值決定：
 (a)87L-ANG：決定抑制區的角度範圍
 (b)87L-R：決定抑制區的外徑，內徑則由87LR之倒數決定。(c)Alpha plane 抑制區的特性是取遠端電流與本端電流之相量比，即

$$\frac{\bar{I}_R}{\bar{I}_L} = \frac{5\angle 180^\circ}{5\angle 0^\circ} = 1\angle 180^\circ$$

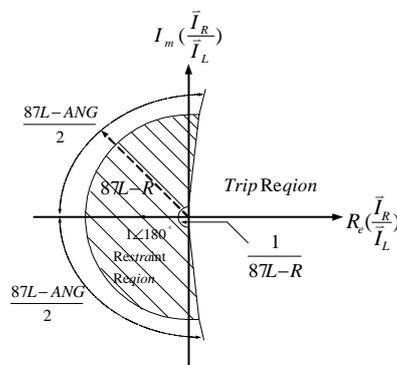


圖 18 SEL-311L 電驛 Alpha plane 圖

(5)數位式保護電驛(SEL-311L)運用主要特點

數位式差電流電驛運用在於有保護、監控、通訊等功能，是多功能智慧型電驛，其主要特色有：

- (1)安全可靠的線路差流保護-全線段快速保護，保護靈敏高，動作速度可達約 1 週波。
- (2)DTT 遙跳功能-直接傳訊遙跳(Direct Transfer Trip)，主要運用於斷路器失靈遙跳功能。
- (3)表計功能-螢幕可顯示電壓、電流、功率值。
- (4)故障指示-事故後可顯示故障類型、相別及距離，有助於進行巡視工作。
- (5)自我檢測-電驛自我檢測及異狀示警，以利及時排除電驛不良、通訊不良、變比設備不良或接線回路不對等狀況。
- (6)系統事故紀錄-事故時之電壓、電流動態變化紀錄，有利事故現象、肇因之分析。
- (7)事件順序紀錄-電驛元件動作時序紀錄，有利事故現象、肇因之分析。
- (8)資料存取-可透過本端連接或遠方存取系統進行電驛標置變更及資料存取。

六、保護電驛標置協調

(一)保護電驛主保護與後衛保護之動作關係

表 2 保護電驛主保護與後衛保護之動作關係區分表

項次	主保護電驛 (Main protection relay)	後衛保護電驛 (Back-up protection relay)
正常情況	不動作監視中	不動作監視中
故障發生	發送跳脫信號，優先動作。	待主保護電驛未動作，依協調時間適時動作。
設備功能	電力設備故障時，最靠近故障點之保護電驛應優先動作。	電力設備故障時，主保護電驛動作以外之相關保護電驛動作。
動作協調時間	設定時間	設定時間加 0.3 秒
結果	正常動作	無誤動作

(二)保護電驛協調運用

1. 保護協調

- (1)主保護電驛應優先於後衛保護電驛動作。
- (2)協調時間相差太短，則可能後衛電驛會發生誤動作。
- (3)協調時間相差太長，則又可能使設備、人員受到的損害增加。

2. 保護協調時間 (Coordination Time Interval ; CTI)

- (1)比流器的誤差
- (2)斷路器跳脫時間
- (3)安全餘裕
- (4)若是電磁轉盤式電驛，尚須考慮轉盤之慣性衝程
- (5)過電流電驛大約在 0.3~0.5 秒之間，ANSI 建議 CTI 為 0.2~0.5 秒，一般均採 0.3 秒。

$$T_{\text{Back-up}} \geq T_{\text{Main}} + 0.3 \text{ 秒}$$

後衛保護電驛動作時間 \geq 主保護電驛動作時間 + 0.3 秒。

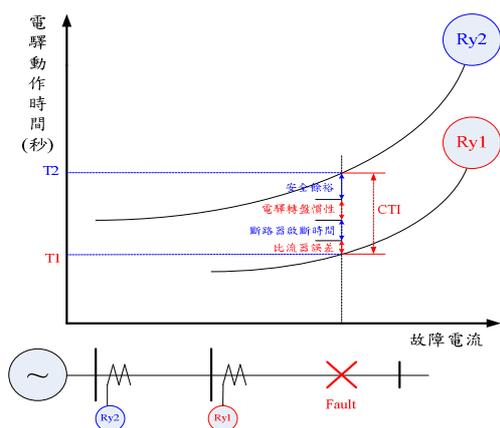


圖 19 保障電驛協調時間間隔動作曲線圖

3.放射狀保護

放射狀保護方式，其故障電流都會大於負載電流，同時不會有反向故障電流的問題，其系統供電係指一輸電線或一線路連接幾個用戶，成放射狀供電者。

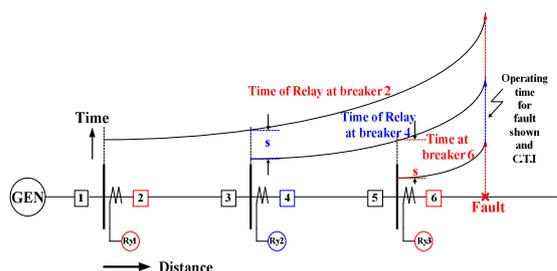


圖 20 放射狀保護過電流電驛協調時間動作曲線圖

4.環路供電保護

環路供電保護方式，事故時其故障電流都會由兩方向流入故障點，電力系統供電係指一輸電線或一線路與其他一輸電線或一線路連續連接成一環狀供電者。

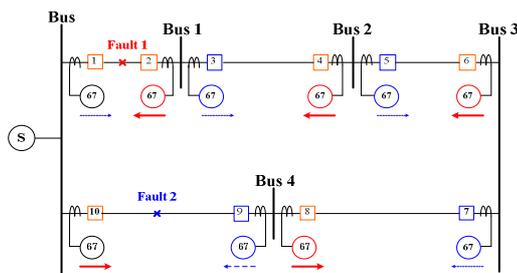


圖 21 環路供電方向性過電流電驛協調動作圖

(三)保護電驛標置協調實例運用

1.考慮比流器 (CT) 性能無飽和現象

係根據 ANSI 比流器規範「Current Transformer Accuracy Classes」C57.13 (1986)的定義，在最大外部故障電流下，比流器的變比誤差應不超過 10%。當比流器二次側最高總負擔值 (Burden)，若能滿足計算條件，則該比流器在最大外部故障電流情況下，將不致發生交流性的磁飽和 (AC Saturation)。因此為避免特高壓用戶自備線路故障時引起保護電驛用 CT 二次側電流超過其額定電流二十倍，導致 CT 飽和而使保護電驛遲延動作，請依 ANSI/IEEE C57.13 標準設計選用保護電驛用之 CT 額定。

2.主變一次側過電流電驛之標置計算

(1)主變一次側滿載電流

$$IFL1 = \frac{25MVA}{\sqrt{3} \times 69KV} = 209.19A$$

$$209.19 \times 1.5 = 313.8A$$

CT Ratio 選擇用 400/5

(2)主變二次側滿載電流

$$IFL2 = \frac{25MVA}{\sqrt{3} \times 11.95KV} = 1207.19A$$

$$1207.19A \times 1.5 = 1811.8A$$

CT Ratio 選擇用 2000/5

(3)50/51：過電流電驛(附瞬時元件)標置計算

$$51 \text{ 電驛 Tap} = \frac{\text{滿載電流}}{\text{CT Ratio}} = \frac{209.19\text{A}}{400/5}$$

$$= 2.61\text{A}$$

$$2.61 \times (1.25 \sim 1.5 \text{ 倍}) = 3.92$$

Tap 選擇用 4

(4)故障電流計算

$$Z(\text{pu}) = \frac{Z_{ps'}}{Z_{base}} = \frac{316}{47.6} = 6.64\text{pu}$$

$$Z_{ps} = 6.64 \times 7.5\% = 0.498 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{100\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 69\text{KV}} = 836.7\text{A}$$

$$I_{3\phi f} = \frac{1}{Z_{ps}} \times I_{base} = \frac{1}{0.498} \times 836.7$$

$$= 1680\text{A}$$

(5)過電流延時電驛(51 電驛)Level 計算

$$\frac{I_{3\phi f}}{\text{電驛 Tap}} / \text{CT Ratio} = \frac{1680}{400/5} = 5.257 \text{ 倍}$$

查電驛特性曲線 CO-8(ABB)
Level=2.0

(二)系統放射狀保護電驛標置設定計算

1、甲 S/S #770 Fault，CT Ratio：400/5

$$\frac{4585}{400/5} / 4 = 14.3 \text{ 倍} \quad \frac{1465}{400/5} / 0.5 = 36.6 \text{ 倍}$$

Level=2 Level=0.5

51：CO-8I=0.25 秒 51N：CO-8I=0.1 秒
(15 週波) (6 週波)

2、乙 S/S #620，CT Ratio：800/5

$$\frac{4585}{800/5} / 5 = 5.73 \text{ 倍} \quad \frac{1465}{800/5} / 0.5 = 18.3 \text{ 倍}$$

15 週波+18 週波 6 週波+18 週波
=33 週波(0.55 秒) =24 週波(0.4 秒)
67：IBC， 67N：IBCG，Level
=1.5 Level=2

3、乙 S/S #620 Fault，CT Ratio：800/5

$$\frac{5538}{800/5} / 5 = 6.9 \text{ 倍} \quad \frac{1550}{800/5} / 0.5 = 19.4 \text{ 倍}$$

Level=1.5 Level=2

67：IBC=0.45 秒 67N：IBCG=0.42 秒
(27 週波) (25 週波)

4、丙 S/S #630，CT Ratio：800/5

$$\frac{5538}{800/5} / 5 = 6.9 \text{ 倍} \quad \frac{1550}{800/5} / 1 = 9.7 \text{ 倍}$$

27 週波+18 週波 25 週波+18 週波
=45 週波(0.8 秒) =43 週波(0.72 秒)

51：CO-8，Level=3 51N：CO-8，
Level=3

5、A 曲線 51：CO-8I(ABB)，T/L=4/2.0，
CT Ratio：400/5

電流 倍數	69KV 側 電流值(A)	動作時間 (秒)
2	640	3.00
3	960	1.20
5	1600	0.60
7	2240	0.45
9	2880	0.35
10	3200	0.34
15	4800	0.25
20	6400	0.23

6、B 曲線 67：IBC(GE)，T/L=5/1.5，CT
Ratio：800/5

電流 倍數	69KV 側 電流值(A)	動作時間 (秒)
2	1600	1.20
3	2400	0.75
5	4000	0.55
7	5600	0.45
9	7200	0.43
10	8000	0.40
15	12000	0.35
20	16000	0.31

7、C 曲線 51：CO-8(ABB)，T/L=5/3，

CT Ratio：800/5

電流 倍數	69KV 側 電流值(A)	動作時間 (秒)
2	1600	6.00
3	2400	2.50
5	4000	1.20
7	5600	0.90
9	7200	0.80
10	8000	0.72
15	12000	0.60
20	16000	0.51

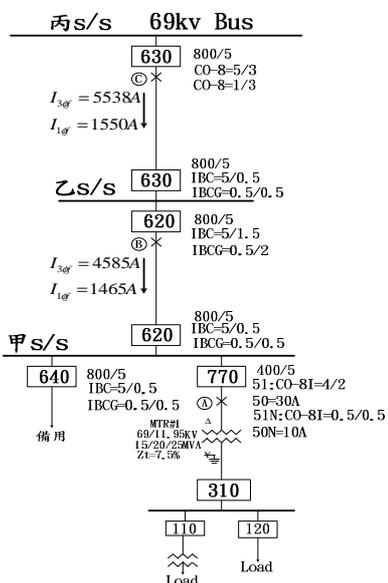


圖 22 系統放射狀保護電驛標置設定單線圖

(三)放射狀標置協調曲線

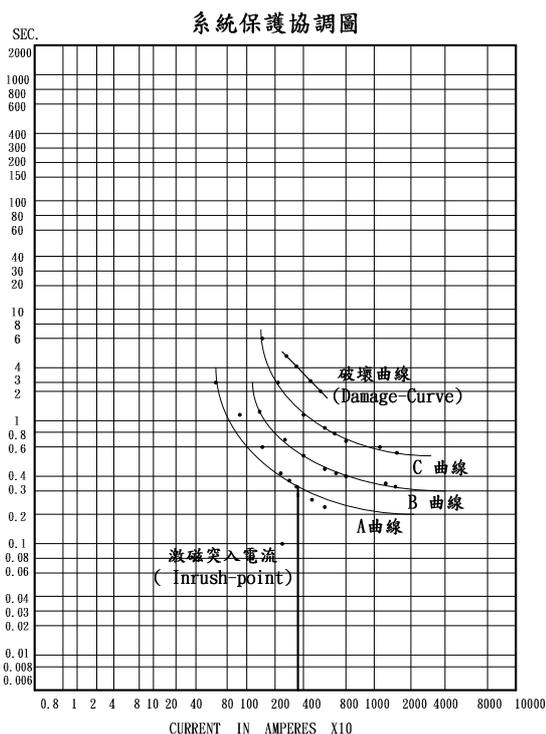


圖 23 放射狀標置協調曲線圖

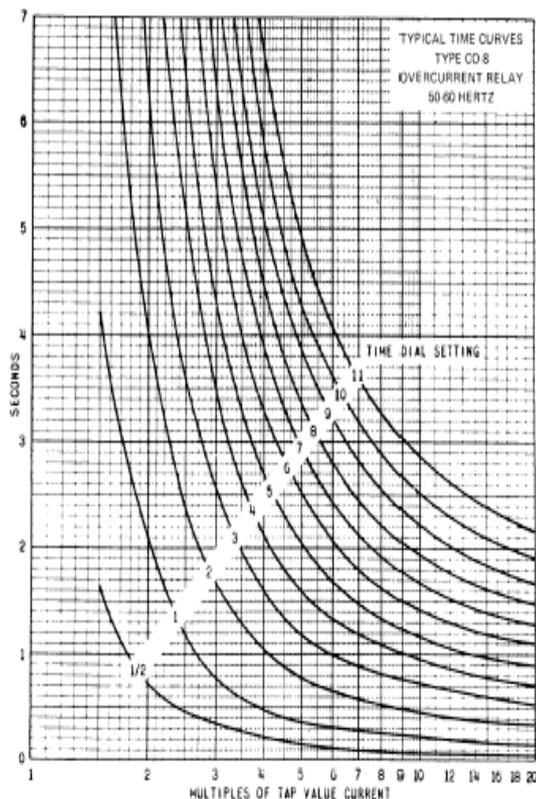


圖 24 過電流電驛(CO-8)特性曲線

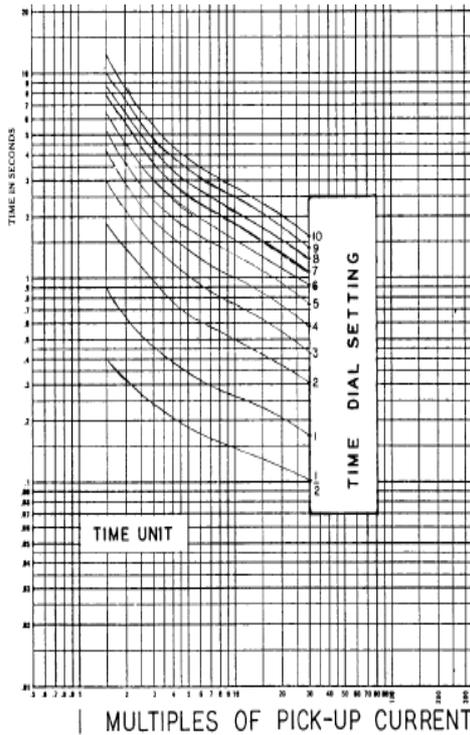


圖 25 IBC, IBCG 特性曲線圖

七、保護電驛設備維護測試

(一) 四湖 D/S 北港二路二級定檢維護

1. 四湖 D/S 北港二路單線圖

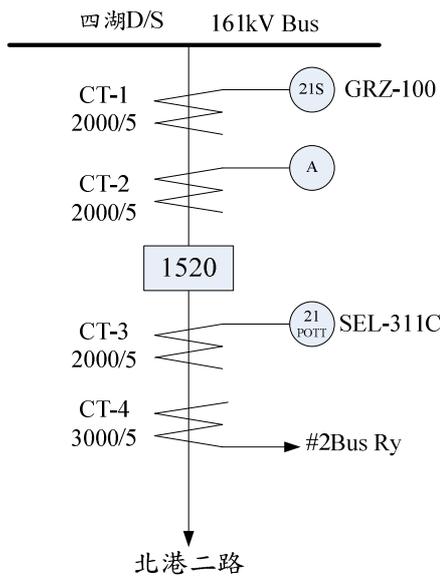


圖 26 四湖 D/S 北港二路單線圖

2. 四湖 D/S 北港二路電驛標置設定

表 3 保護電驛標置設定表

FROM 四湖 TO北港 (BREAKER 1520, LINE 2) P/S 435--2 08/10/99 PAGE4344
 IRATING=1792AMP CT RATIO=2000/5

ZONE	1'ST	2'ND	3'RD	1'ST	2'ND	3'RD	Z(PRI)	Z(SEC)	ANGE
Z1	四湖—北港	S013X0.75 4981X0.60					= 3.760	1.074(Z)	84
Z2	四湖—北港—四湖	S013F5.019X0.50 4981F4.987X0.50					= 7.523	2.149(Z)	84
ZPZ3	四湖—北港—雲林—斗六	S013F10.879F0.206X0.25					= 15.944	4.555(Z)	84
ZS	四湖—北港—雲林	S019F10.879 4987F10.812					= 15.844	4.527(X)	84
							= 15.799	4.514	

PHASE RELAY			GROUND RELAY		
SEL-311C			SEL-311C		
Z1P 1.07			RG1 2.29	XG1 0.85	Z1MG 0.86
Z2P 2.15			RG2 2.86	XG2 2.14	Z2MG 2.15
R Z4P 4.54	50GFP 0.5	50GRP 0.25	RG3 3.43	XG3 4.51	Z3MG 4.54
F Z4P 4.56			RG4 4.29	XG4 4.53	Z4MG 4.56
			Z1MAG 1.43	Z1ANG 8.85	ZOMAG 4.34
			Z2MAG 1.00	Z2ANG 11.00	Z2OMAG 1.00

電驛標置附件詳網頁

PHASE RELAY			GROUND RELAY		
GRZ100			GRZ100		
Z1S 1.07	KRS 6.41	KXS 295	Z1G 0.86		
Z2S 2.15	KRM 0	KXM 0	Z2G 2.15		
Z3S 4.6			Z3G 4.6		
	BF 2.2	OCH 4.5	ZOBL 199.900	ZOBR 199.900	

電驛標置附件詳網頁

3. 二級定檢維護試驗項目查核表

表 4 保護電驛二級定檢維護試驗項目查核表

數位式電驛二級定檢維護試驗項目查核表

發變電廠所: 四湖D/S 線路(設備)名稱及斷路器編號: 北港二路(#1520)

維護方式: 遠端存取系統、PC下載

查核結果欄請填: 1. 完成/2. 未完成/3. 免試驗/4. 無此設備/5. 其它

查核項目	查核結果	日期	查核人	查核異常處理情形
1. 電驛使用狀態檢核				
(1) 電驛狀態檢核(Status)				
(2) Active Setting Group 查對				
2. 電驛缺計功能檢核				
(1) 各電驛讀取CT電流值與相互比對				
(2) 各電驛讀取PT電壓值與相互比對				
(3) 各電驛讀取DC電壓值與相互比對				
(4) 各電驛讀取52A、52B接點狀態值與相互比對				
3. 通信狀態檢核				
(1) 檢查各頻機組間通訊狀態是否正常				
(2) 檢查通訊頻道是否有連通到遠方端電驛, 當通訊頻道斷訊時, 線路兩端之音頻機組是否可正確鳴警及記錄				
(3) 檢查 RAS遠端存取系統內相關標示設定是否正確, 連線參數是否匹配, 連線功能是否正常				
(4) 檢查各電驛GPS輸入訊號是否正常, GPS連線參數設定是否正確, 時間同步是否精確同步校驗電驛內時鐘				
4. 電驛警報及指示燈檢核: 檢查相關控制盤警訊訊號、RTU警訊號、電驛面板警訊號、電驛內部SOE紀錄等功能是否啟動且可正常復歸				
5. 電驛接線圖面核對				
(1) 電驛盤內所有電驛之圖面資料核對				
(2) 檢核圖面是否係有最新版本				

查核結果欄請填: 1. 完成/2. 未完成/3. 免試驗/4. 無此設備/5. 其它

查核項目	查核結果	日期	查核人	查核異常處理情形
6. 電驛系統跳脫試驗				
(1) 檢查電驛跳脫接點是否動作正常且正確跳脫斷路器				
(2) 檢查相關IRI、RI、DIT或相關盤間聯繫警訊是否正確				
(3) 檢查相關設備之Interlock功能是否正常				
(4) 檢查相關閉鎖閉鎖是否可正常閉鎖跳脫信號				
(5) 復閉功能測試(含A、B端之確認)				
(6) 52A、52B及相關狀態取線路量檢				
7. 電驛單體特性試驗				
(1) 檢查是否為最新標置值, 並下載到印備量				
(2) 使用電驛試驗設備測試電驛所有CT、PT輸入通道, 確認取樣數據(含電流值、電壓值及相角值)正確				
(3) 檢查電驛內已使用之輸入及輸出接點功能正確				
(4) 檢查電驛內主要保護元件之動作特性、動作時間及精確度, 試驗結果記錄備查				
8. 檢查電驛是否正確啟動濾波器及OSC是否正確輸出並列印電驛RT訊號				

備註: _____

4. 電驛特性試驗-GRZ100 測距元件

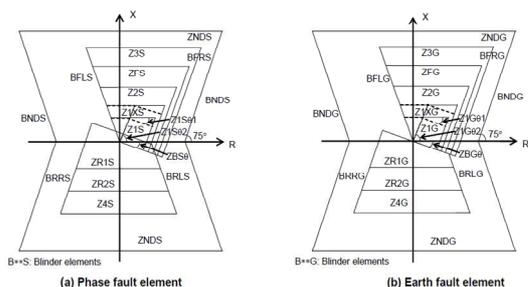
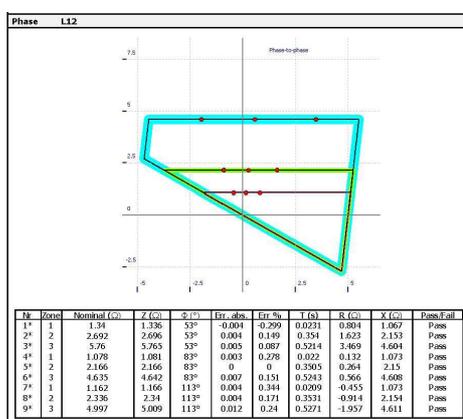


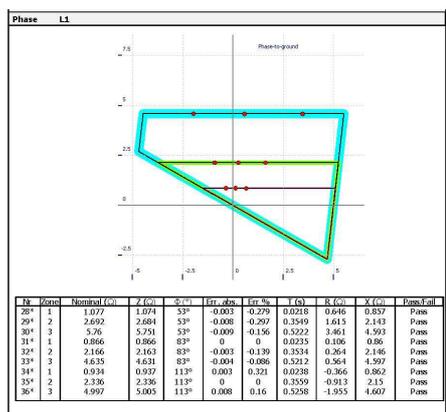
圖 27 GRZ100 測距特性元件圖

(1) 電驛特性試驗-21S/GRZ100 相間元件



(a) 測距之相間元件特性

(2) 電驛特性試驗-21S/GRZ100 接地元件



(b) 測距之接地元件特性

圖 28 GRZ100 測距特性相間與接地元件特性圖

5. 電驛特性試驗-SEL-311C 測距元件

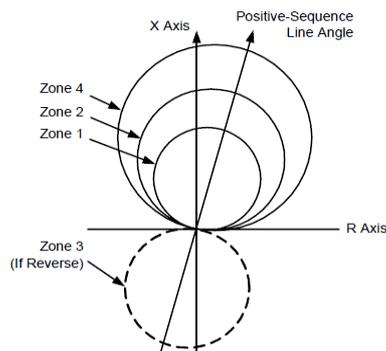


Figure 2 Phase and Ground Mho Distance Characteristics

(a) 測距之相間元件特性

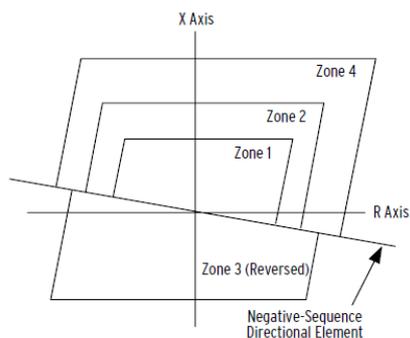
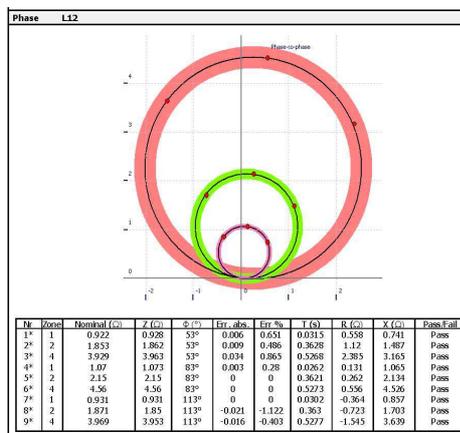


Figure 5 Quadrilateral Ground-Distance Characteristics

(b) 測距之接地元件特性

圖 29 SEL-311C 測距特性元件圖

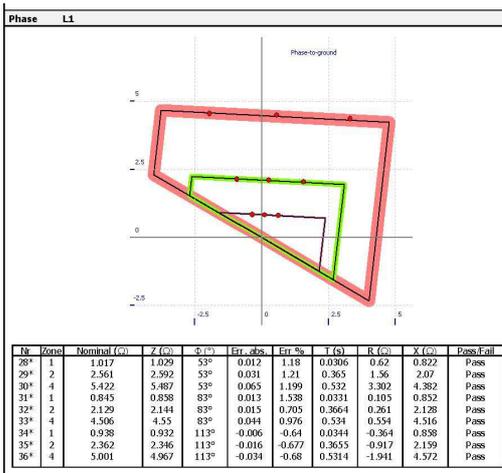
(1) 電驛特性試驗-POTT/SEL-311C 相間元件



(a) 測距之相間元件特性

(2) 電驛特性試驗-21S/GRZ100

接地元件



(b)測距之接地元件特性

圖 30 SEL-311C 測距特性相間與接地元件特性圖

6. 保護電驛跳脫試驗(含警報試驗)

(1)21S/GRZ-100

復閉切換至使用且設定為 A 端

21N1(A φ -G)→Trip#1520CB (GDA)

復閉成功 (RCA)

21Z1(B φ -C φ)→Trip#1520CB (PHA)

復閉成功 (RCA)

(2)21(POTT)/ SEL-311C

21N2(A φ -G)→Zp 動作 Trip#1520CB (85A)

21Z2(B φ -C φ)→Zp 動作 Trip #1520CB (85A)

復閉成功 (RCA)

7.保護電驛接線試驗(取載試驗)

表 5 保護電驛接線試驗(取載試驗)結果表

Load: IA=42a IB=43a IC=40a

2000/5	IA VAN	IB VBN	IC VCN	IA VBC
GRZ-100	0.11a ∠200°	0.11a ∠198°	0.11a ∠198°	0.11a ∠111°

*.21S/GRZ-100 電驛取載試驗結果情況。

2000/5	IA VAN	IB VBN	IC VCN	IA VBC
SEL-311C	0.11a ∠200°	0.11a ∠198°	0.11a ∠198°	0.11a ∠110°

*.21(POTT)/ SEL-311C 電驛取載試驗結果情況。

VAN	VBN	VCN	VAB	VBC	VCA	VIES	VLES	VINP
66.5	66.6	66.6	115.3	115.7	115.9	115.9	115.7	0.26

*.21S、21(POTT)電壓試驗情況

(1) GRZ-100 電驛連線取載

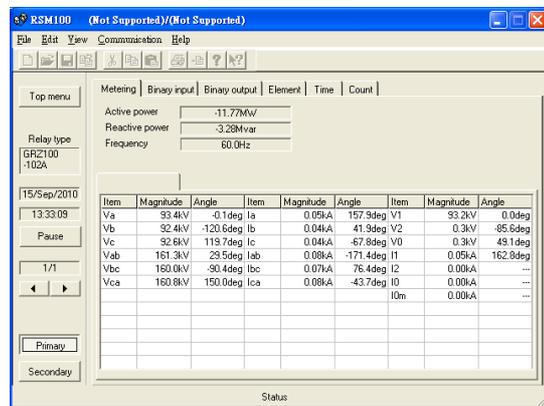
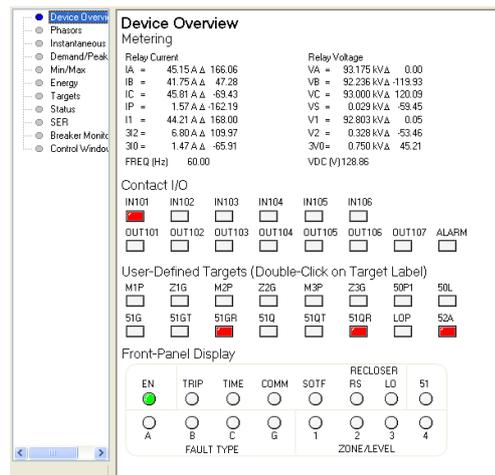
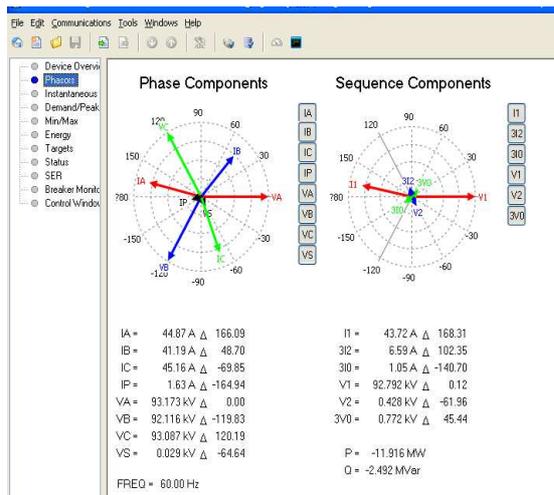


圖 31 GRZ-100 電驛連線取載紀錄圖

(2) SEL-311C 電驛連線取載



電驛狀態



(b)電驛取載紀錄結果

圖 32 SEL-311C 電驛狀態及取載紀錄結果圖

(二)秀林 S/S 嘉義一路二級定檢維護

1.秀林 S/S 嘉義一路單線圖

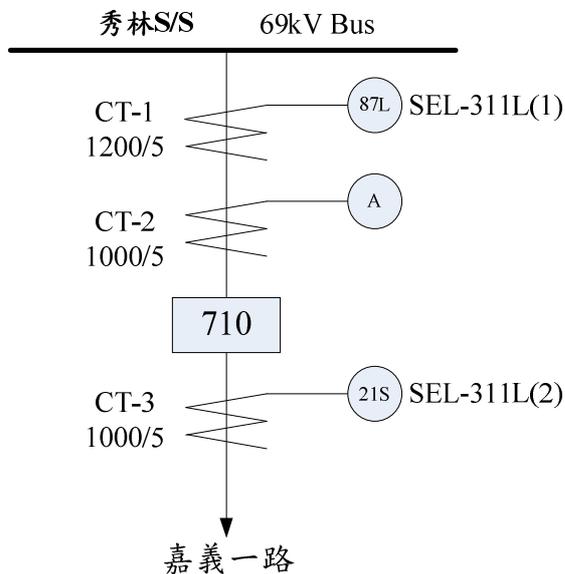


圖 33 秀林 S/S 嘉義一路單線圖

2.秀林 S/S 嘉義一路電驛標置設定

(1)差流元件標置

表 6 保護電驛差流元件標置表

*嘉義#710及秀林#710 (CT-1: 87L ; CT-3 21/21N + 67/67N)

87L-1:CTR= 1200/5 87LPP= 6A 87L2P= 1A 87LGP= 1A
 87L-2:CTR= 2000/5 嘉義#710 87L-2:CTR= 1000/5 秀林#710
 50PPI= 5A 50PP2= 5A 50PP4= 2A 50PPI= 6A 50PP2= 5A 50PP4= 2A
 50L1= 4.46A 50L2= 3.79A 50L4= 2A 50L1= 5A 50L2=5A 50L4= 2A

SEL-311L Fault Locator Setting

CTR	嘉義#710 CT-1:1200/5	嘉義#710 CT-3:2000/5	秀林#710 CT-1:1000/5	秀林#710 CT-3:1000/5
PTR	600	600	600	600
ZIMAG	0.83	1.38	0.83	0.69
ZIANG	78.34	78.34	78.34	78.34
ZOMAG	3.22	5.36	3.22	2.68
ZOANG	77.49	77.49	77.49	77.49
LL	6.018	5.018	5.018	5.018
EFOLC	Y			

嘉義#710 2000/5 SEL311L-2: ELOP= Y1
 ES1P= Y 51PC= C1 51PP= 5 51PTD=0.23 51PRS= Y 51PTC= M4P+32QF+32GF
 ES1G= Y 51GC= C1 51GP= 1 51GTD=0.25 51GRS= Y 51GTC= 32GF

秀林#710 1000/5 SEL311L-2: ELOP= Y1
 ES1P= Y 51PC= C1 51PP= 5 51PTD=0.05 51PRS= Y 51PTC= M4P+32QF+32GF
 ES1G= Y 51GC= C1 51GP= 1 51GTD=0.05 51GRS= Y 51GTC= 32GF

(2)測距元件標置

表 7 保護電驛測距元件標置表

NO	CB	CTR	MODEL	NO	CB	CTR	MODEL	RESISTANCE-OHM	REACTANCE-OHM	ITEM
1	秀林710	1000/5	SEL311L	2	嘉義710			0.41702	2.02878	1
2	嘉義880			3	後湖10			1.74244	7.85608	2
2	嘉義750			4	嘉義150			0.1527	1.2472	2
								0.3696	0.3415	
								0	28.566	3
								0	28.566	

Line Length = 50.18 km 線路容量 111 MVA
 FROM 秀林 TO 嘉義 (BREAKER 710 LINE)
 ICRATING= 929 AMP CT RATIO= 1000A/5 PT RATIO= 69kV/115V)

ZONE	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	Z(Pri)	Z(Sec)	ANGLE
Z1	秀林-嘉義			2.063 XL.7 2.021 XL.7 0.417 XL.6			= 1.444 = 1.415 = 0.250	0.481(ZP) 0.470(XP) 0.080(RP)	78.3
Z0				2.063 XL.55 2.021 XL.55 0.417 XL.55			= 1.135 = 1.112 = 0.229	0.378(ZG) 0.370(XG) 0.080(RG)	
Z2	秀林-嘉義-後湖			2.063 + 1.257 XL.5 2.021 + 1.2472 XL.5 0.417 + 0.1527 XL.5			= 2.645 = 2.645 = 0.493	0.897(ZZ) 0.882(XZ) 0.164(R)	77.5
Z0				8.047 + 0.53 XL.5 2.063 + 28.566 XL.1 2.021 + 28.566 XL.1			= 2.845 = 4.878 = 4.878	1.632(ZZ) 1.626(XZ) 0.139(R)	76.5
Z3	秀林-嘉義-Tr.			8.047 + 0 XL.1 8.047 + 28.566 XL.1			= 4.878 = 10.853	0.139(R) 3.618(O)	80.8
Z0				0.417 + 0 XL.1 8.047 + 28.566 XL.1			= 0.417 = 10.853	0.139(R) 3.618(O)	80.8

PHASE RELAY				GROUND RELAY			
SEL311L	Z1P	0.48		SEL311L	RG1	2.67	NG1 0.37 ZIMG 0.36
	Z2P	0.9			RG2	3.33	NG2 0.88 Z2MG 0.9
	Z4P	1.63			RG4	5	NG4 1.63 Z4MG 1.63
	ZLF	11.17	ZLR 11.17		ZIMAG	0.69	ZIANG 78.34 ZOMAG 2.68 ZOANG 77.49
	Z1PD	9 cycles			KOAH	0.967	KOAI -1.1 LL 5.02
	Z2PD	20 cycles			ZIGD	9	
	Z4PD	36 cycles			Z2GD	20	
					Z4GD	36	

電驛特性試驗 SEL-311L 差流相間元件表 8

SEL-311L 差流相間元件特性試驗

相別	IA	IB	IC	IA-B-C
標置	1A	1A	1A	6A
試驗值	0.52A	0.52A	0.52A	3.02A
誤差	4%	4%	4%	0.7%

標置設定：87LPP=6，87L2P=1，87LGP=1

以上試驗均在誤差值 10% 以內，試驗均在 87L 接成自送自收情況下進行，故試驗值為標置之一半。

4. 電驛特性試驗-SEL-311L 測距元件

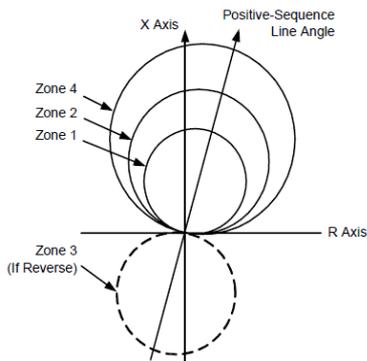


Figure 2 Phase and Ground Mho Distance Characteristics

(a)測距之相間元件特性

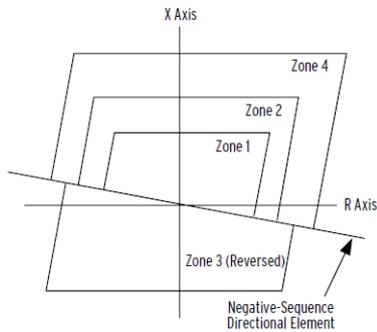
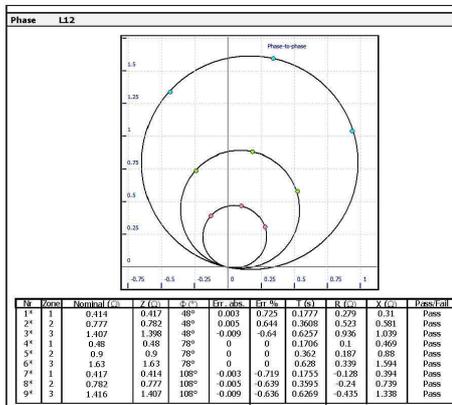


Figure 5 Quadrilateral Ground-Distance Characteristics

(b)測距之接地元件特性

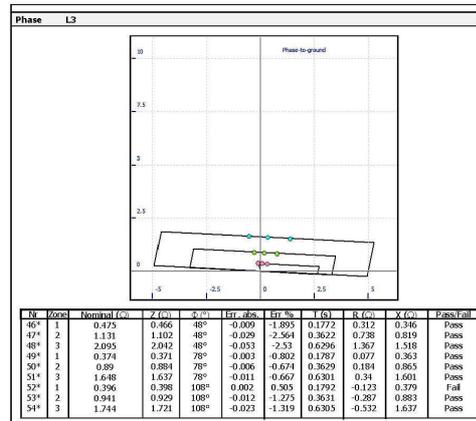
圖 34 SEL-311L 測距特性元件圖

(2)電驛特性試驗-SEL-311L 測距相間元件



(a)測距之相間元件特性

(3)電驛特性試驗- SEL-311L 測距接地元件



(b)測距之接地元件特性

圖 35 SEL-311C 測距特性相間與接地元件特性圖

5. 保護電驛跳脫試驗(含警報試驗)

(1)87L /SEL311L-1

a. When 87L LOCK

87L (B φ - N) → NO Trip CB

b. When 87L USE

87L (A φ - B φ) → Trip #710 CB & 對方端 CB(87A OK)

87L (A φ - N φ) → Trip #710 CB & 對方端 CB(87A OK)

(2)21S /SEL311L-2

a.21Z1(A φ -B φ) → Trip #710 CB (PHA OK)

b.21N1(C φ -G) → Trip #710 CB (GDA OK)

c.67Z1(A φ -C φ) → Trip #710 CB (PHA OK)

d.67N1(B φ -N) → Trip #710 CB (GDA OK)

6. 保護電驛接線試驗(取載試驗) SEL311L-1, SEL311L-2

表 9 SEL-311L 電驛接線試驗(取載試驗)結果表

Load: IA=182a IB=177a IC=181a

1200/5	IA VAN	IB VBN	IC VCN	IA VBC
87L /SEL31 1L-1	0.76a ∠171°	0.74a ∠171°	0.76a ∠172°	0.76a ∠81°

*.87L /SEL311L-1 電驛取載試驗結果情況。

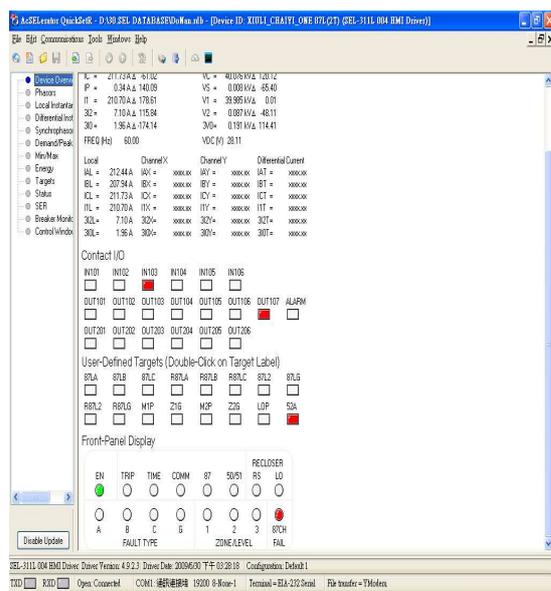
1000/5	IA VAN	IB VBN	IC VCN	IA VBC
21S /SEL3 1L-2	0.92a ∠171°	0.91a ∠172°	0.92a ∠170°	0.92a ∠81°

*.87L /SEL311L-2 電驛取載試驗結果情況。

VAN	VBN	VCN	VAB	VBC	VCA	VIES	VLES	VINP
67.3	67.4	67.2	118.5	118.2	118.4	115.9	115.7	0.26

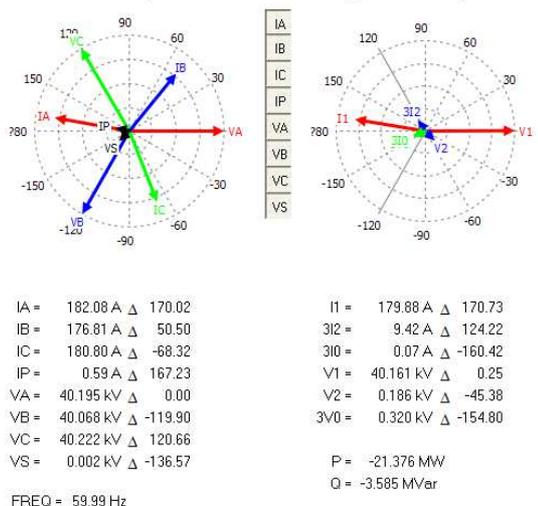
*.87L /SEL311L-1、2 電壓試驗情況

(1)87L /SEL311L-1 電驛連線取載 LOCAL 端取載



(a)電驛狀態

Phase Components Sequence Components



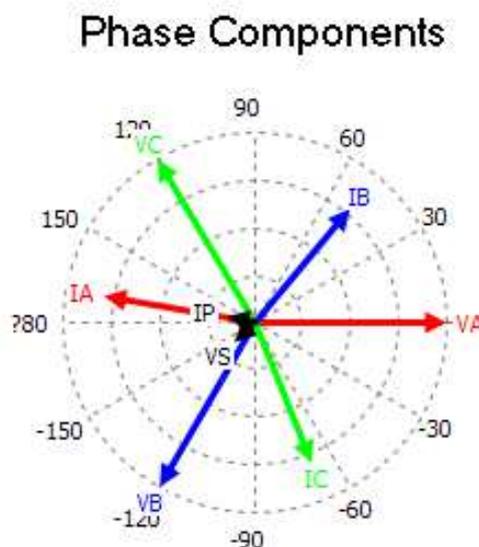
(b)電驛取載紀錄結果

圖 36 SEL-311L-1 電驛狀態及取載紀錄結果圖

(2) SEL311L-1 電驛連線取載

(a)使用 Phasor 功能取載時，兩端之 Phasor 如圖所示

LOCAL 端



REMOTE 端

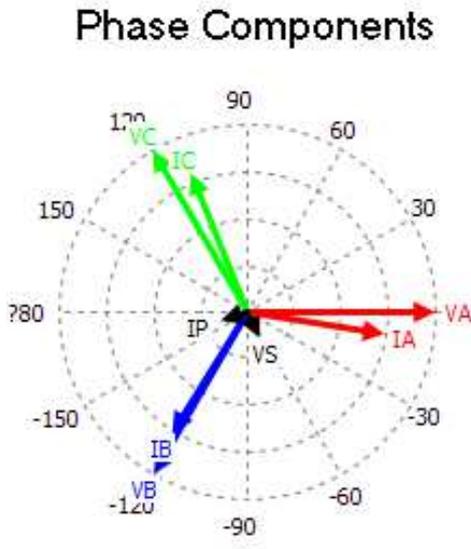


圖 37 SEL-311L-1 本地與遠端相位圖

(b)使用 Differential 功能取載時，會將 Local 端 A 相電流角度定為零度。

Local	A	B	C	3I0	3I2	I1
I MAG (A Pri)	179.092	175.321	178.275	0.444	7.928	177.554
I ANG (DEG)	-0.60	-120.30	120.70	-159.80	-36.30	0.00

Channel X	A	B	C	3I0	3I2	I1
I MAG (A Pri)	179.759	175.108	177.508	0.824	9.795	177.445
I ANG (DEG)	179.50	59.80	-58.80	71.30	153.30	-179.80

Vector Sum	A	B	C	3I0	3I2	I1
I MAG (A Pri)	0.737	0.373	1.732	0.645	2.379	0.629
I ANG (DEG)	-155.30	-175.30	57.20	103.60	-172.90	-79.90

Alpha Plane	A	B	C	ZERO-SEQ	NEG-SEQ	POS-SEQ
RADIUS	1.000	0.990	0.990	0.000	0.000	0.990
ANG (DEG)	179.80	180.00	179.50	0.00	0.00	179.70

八、系統事故案例分析

(一)99.01.19 13:02 南部科學園區用戶奇晶六廠全停電事故

1. 線路加壓保護原則

(1)電力系統任何設備隨時均應維持至少一套快速保護，不得有任何保護盲點。

- (2)新設備加入系統加壓時，應啟用 50/50N 保護，線路亦可啟用 87L 保護，不得將所有電驛閉鎖，而無任何瞬時保護。
- (3)99.01.19 13:02 道爺~奇晶六線已完成商頻耐壓試驗，準備由奇晶六 C/S 加壓至道爺 D/S 做對相試驗。

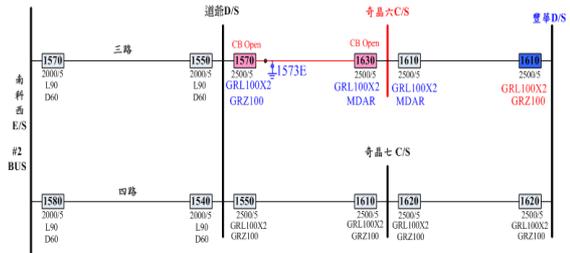


圖 38 道爺 D/S~奇晶六線單線圖

2. 奇晶六廠全停電事故發生順序

- (1)道爺 D/S 1573E 於商品試驗完後投入中，道爺 D/S #1570 啟斷中。
- (2)奇晶六 C/S #1630 及#1610 電驛閉鎖，無人告知奇晶六電驛閉鎖。
- (3) 13:19 奇晶六 C/S #1630CB 投入，此時未將 1573E 先啟斷。
- (4) 故奇晶六 C/S 電驛閉鎖，#1630CB 未啟斷。
- (5) 因奇晶六 C/S #1630CB 未啟斷，豐華 D/S#1610CB 動作跳脫啟斷，致奇晶六廠全停電。

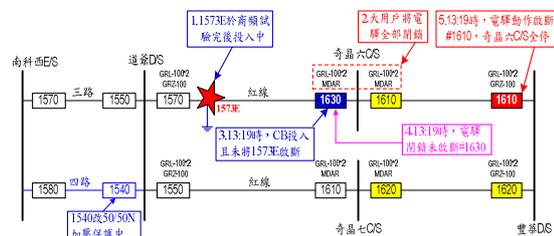


圖 39 道爺 D/S~奇晶六線動作時序圖

3. 台電變電所對用戶線路加壓保護應有作為與溝通

- (1)先確認加入系統操作順序表有否擬妥應加以確認。
- (2)因為一端是台電變電所，一端是用戶，應互相連續溝通後才可加壓。
- (3)確認加壓前兩端保護電驛置於瞬時保護，不可閉鎖。
- (4)建議用戶端應請專業機電顧問公司協助，以利工作順利進行。
- (5)未確認系統是否還有接地未打開即加壓，未依 SOP 操作順序表、致使奇晶六全停電，並電壓驟降 C 區。
- (6)對用戶不瞭解意見，應全力溝通，若無法溝通應將後果講清楚，台電有專業指導權，以利後續作業。
- (7)確保電驛可用狀態，事故時能適時保護，使損失降至最低。

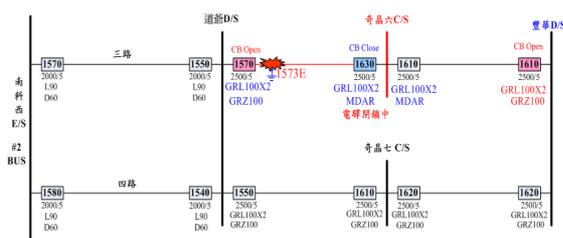


圖 40 道爺 D/S~奇晶六線奇晶六廠全停電單線圖

(二)98.11.08 09:03 山上 P/S #1552 豐德紅線事故引發南部科學園區 C 區電壓驟降。

1. 98 年 11 月 08 日豐德紅線含水量夠高申請停電檢修工作，因未顧及#2BUS 未停電，致 CB SF6 抽真空後造成絕緣破壞，引發 GIS 三相短路，#2BUS 最大故障峰值為 32kA，此時#2BUS Ry 偵測到差電流動作，致使#2BUS 停電事故。

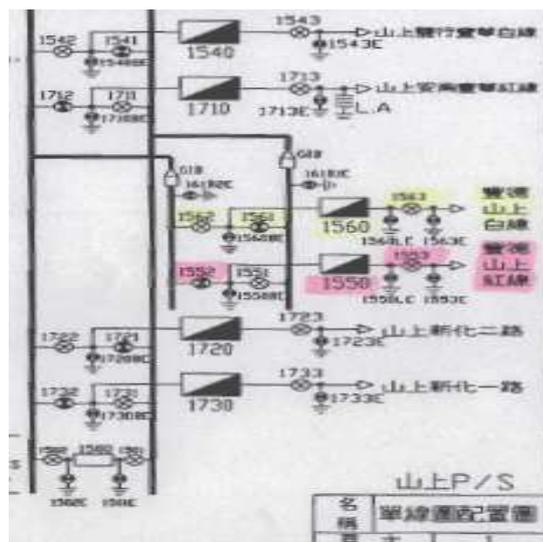


圖 41 山上 P/S #1552DS 豐德紅線事故單線圖

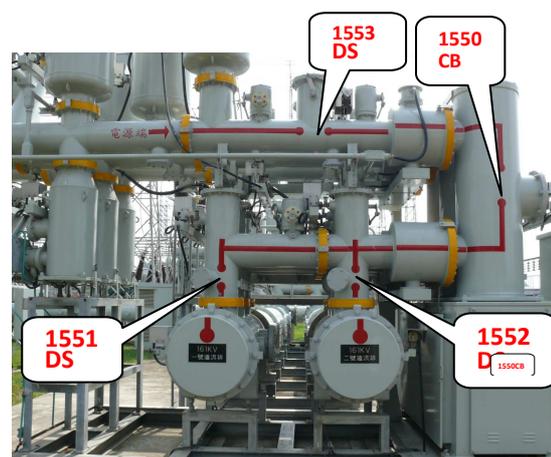


圖 42 山上 P/S #1552DS 豐德紅線事故實體圖

2. 因 CB SF6 抽真空後造成絕緣破壞，引發三相短路，致#2BUS Ry 偵測到差電流，於 8.7 周波(0.146 秒)清除故障，如圖 43、44、45、46、47、48 電驛及 OSC 紀錄動作資料所示。

2.1 山上 BUS-R 相電驛動作 LED 顯示情形



圖 43 山上 P/S BUS-R 相電驛動作 LED 顯示情形圖

2.2 山上 BUS-R 相電驛紀錄 OSC

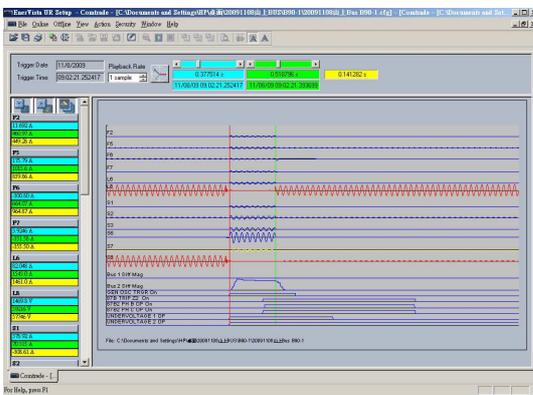


圖 44 山上 P/S BUS-R 相電驛紀錄 OSC 顯示情形圖

2.3 山上 BUS-S 相電驛動作 LED 顯示情形



圖 45 山上 P/S BUS-S 相電驛動作 LED 顯示情形圖

2.4 山上 BUS-S 相電驛紀錄 OSC

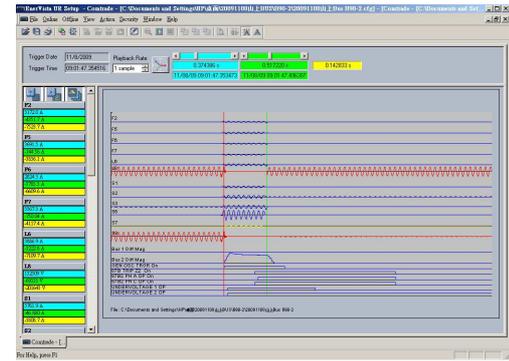


圖 46 山上 P/S BUS-S 相電驛紀錄 OSC 顯示情形圖

2.5 山上 BUS-T 相電驛動作 LED 顯示情形



圖 47 山上 P/S BUS-T 相電驛動作 LED 顯示情形圖

2.6 山上 BUS-T 相電驛紀錄 OSC

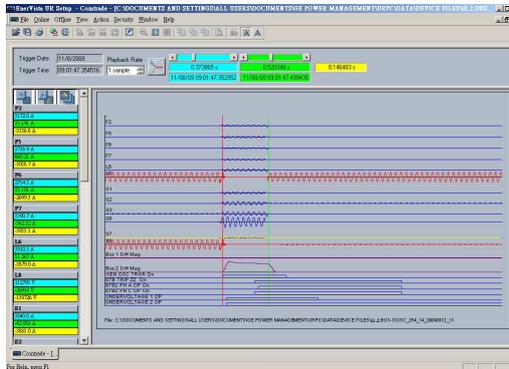


圖 48 山上 P/S BUS-T 相電驛紀錄 OSC 顯示情形圖

3. 依據供驛字第 982095 號電驛標置變更通知單，標置設定為 100ms(6 周波)動作，再加上 2.7 周波斷路器動作時間，故動作清除時間無誤，電驛動作正常。



圖 49 山上 P/S #1552DS 豐德紅線電驛標置通知單及附件

(三)98.10.1 15:31 新營 P/S 白河分歧水上線事故致 白河 S/S #650 多跳事故。

1. 98.10.1 雷雨交加，水上 S/S #632 ABS 經雷擊後放電間隙燒損，導致新營 P/S#630、白河 S/S#630 及#650 跳脫。同時曾文南化線因莫拉克颱風尚未修復完成，因此白河 S/S#630 及#650 跳脫電驛協會會刊 33 期

時，曾文電廠無法將電力輸送至系統，致使發電機跳脫後引起白河 S/全停電。

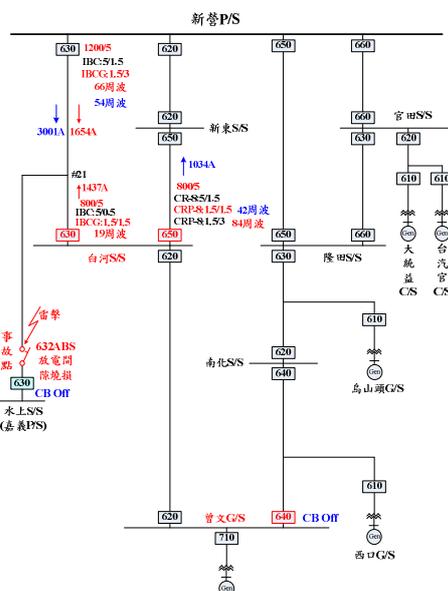


圖 50 白河 S/S #650 多跳事故單線圖

2. 電驛動作檢討

- (1)98.10.2 前往白河 S/S 調查白河#650 67N 動作原因，發現白河#650 67N 現場標置為 1.5/1.5；系統網站上 69kV 標置為 1.5/3。
- (2)經 ASPEN 模擬，白河#650 67N 若為 1.5/1.5，則白河#630 跳脫後，新營 P/S #630 67N 動作時間為 0.9 秒，而白河#650 67N 動作時間為 0.69 秒，如圖 50 所示。白河#650 67N 若為 1.5/3，則白河#630 跳脫後，新營 #630 67N 動作時間為 0.9 秒，而白河#650 67N 動作時間為 1.41 秒。

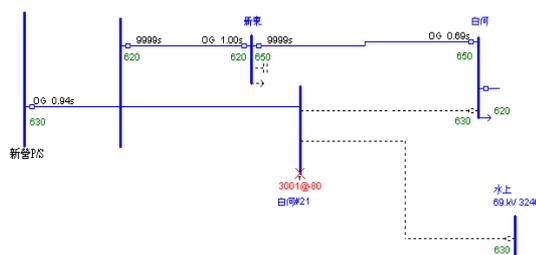


圖 51 白河#650 67N 若為 1.5/1.5 電驛動作時間

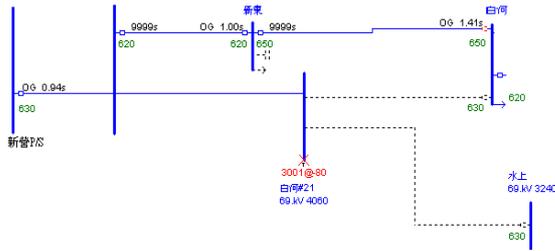


圖 52 白河#650 67N 若為 1.5/3 電驛動作時間

九、結語

捍衛電力系統安全運轉與供電品質的無名英雄『保護電驛』。保護設備之重要骨幹有斷路器、保護電驛及比流器、比壓器及通信媒介等，缺一不可。保護電驛攸關供電系統的穩定度、可靠度與安全度，對電力品質的提昇是密不可分，如何將供

電系統確保供電品質無慮，除有宏觀的遠景規劃、設計、定期校驗與嚴謹的保護協調搭配才能發揮得盡善盡美。環路供電系統是能提供用電戶穩定可靠之電源，若用電戶內部故障，能適時清除故障，或線路故障均不會影響其他用電戶之供電，所以環路供電系統是最佳之供電保護方式。定期校驗是維護系統安全運轉與供電品質提升最重要的工作。

十、參考資料

- [1] GRZ-100 保護電驛說明書。
- [2] SEL311L 保護電驛說明書。
- [3] 許文興，台電 99 年度特高壓用戶用電技術研討會，99 年 11 月 11 日。

二次變電所方向性過電流電驛接線方式 與電驛汰換工作

台電新桃供電區營運處 林兆亨

壹、前言

台電二次變電所的輸電線路是屬於 69kV 系統，目前 69kV 輸電線路的保護方式是以方向性過電流電驛(67/67N)為主，其中有些線路是以副線電驛(85)作為快速跳脫保護，在以往二次變電所的電驛維護工作是由各業務區處來維護，後來為了將電驛業務作整合，所以將二次變電所中 69kV 的電驛維護工作改由各供電區營運來負責，隨著業務的轉移到各二次變電所做維護工作時，才了解到各變電所各種不同的方向性過電流電驛(67/67N)的接線方法，卻都能有正確的保護功能。隨著電驛數位化的腳步，目前汰換的進度已進行到了 69kV 輸電線路保護電驛的汰換，由於各二次變電所當初為使方向性過電流電驛接線試驗正確，所以會去調整 PT 與 CT 的相序與極性，導致各線路的 PT 與 CT 的相序與極性可能有所不同，造成在汰換電驛盤時查核 PT 與 CT 接線的複

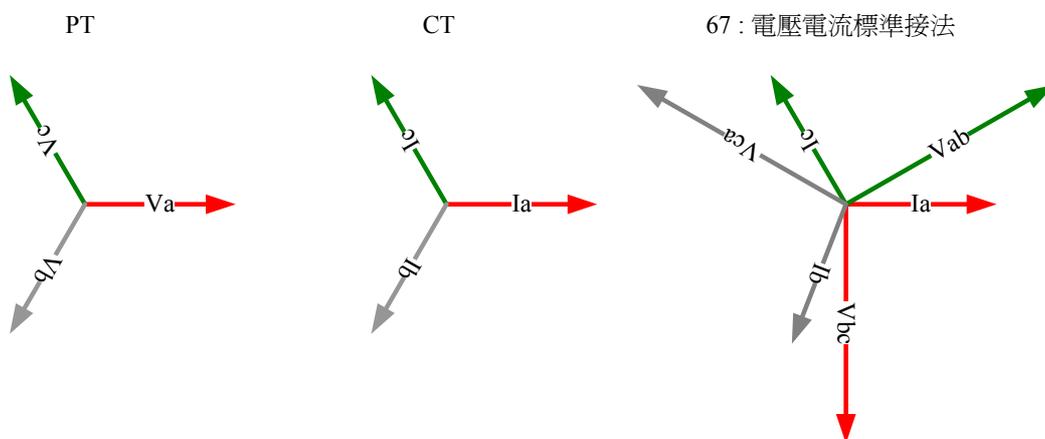
雜度，所以將之前汰換 69kV 輸電線路保護電驛盤所遇到的問題提出討論。

貳、二次變電所方向性過電流電驛的接線方式

隨著二次變電所 69KV 電驛業務的移交，到各二次變電所做電驛的接線試驗，才注意到方向性過電流電驛的各種不同的接線方式，卻能有正常的保護功能，因此將所遇到的各種接線方式做個整理，在此是假設本線路為送電端及電驛為 GE 的 IBC 電驛來做說明，可將接線方式分為下列幾個型式：

1. PT 為正相序與正極性，CT 為正相序與正極性，電驛的電壓與電流接線為標準接法(R 相： I_aV_{bc} ，S 相： I_bV_{ca} ，T 相： I_cV_{ab})，其 PT、CT 與電驛的電壓(V7-8)電流(I5-6)相量圖如下所示，符合送電端電流落後電壓 270° 。

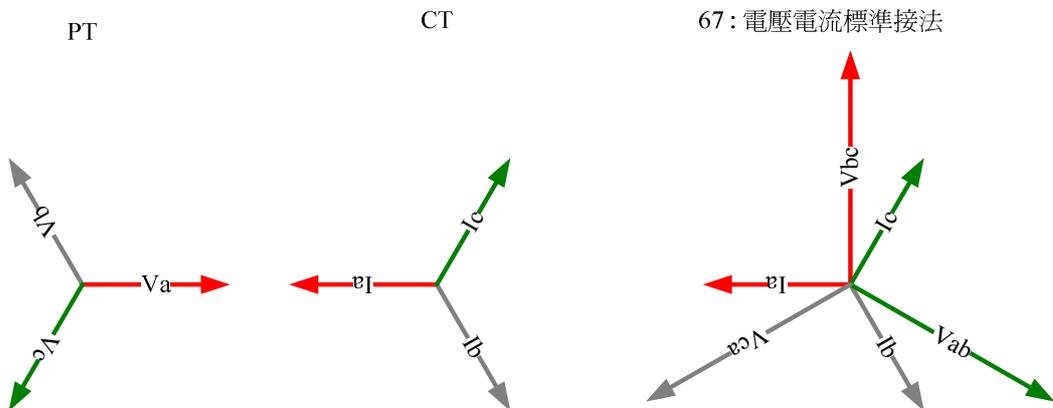
CASE 1 : 送電端 PT(正相序&正極性) CT(正相序&正極性)



2. PT 為負相序與正極性，CT 為負相序與反極性，電驛的電壓與電流接線為標準接法(R 相： $I_a V_{bc}$ ，S 相： $I_b V_{ca}$ ，T 相：

$I_c V_{ab}$)，其 PT、CT 與電驛的電壓(V_{7-8})電流(I_{5-6})相量圖如下所示，符合送電端電流落後電壓 270° 。

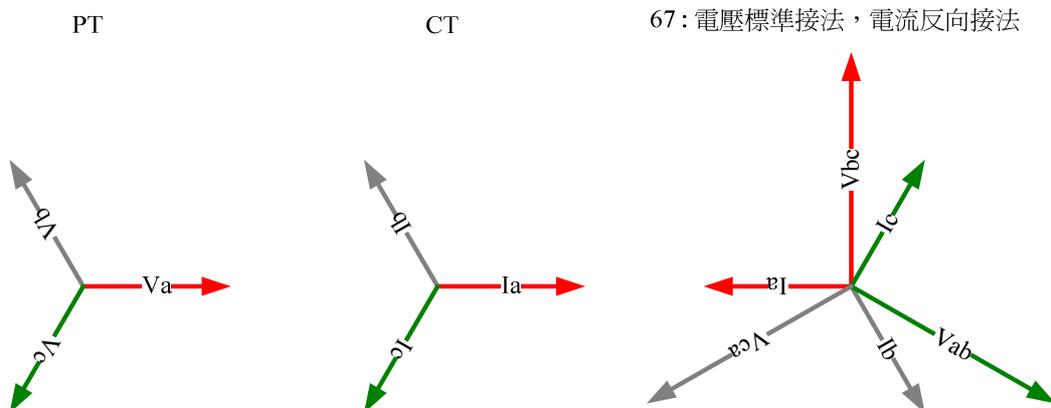
CASE 2 : 送電端 PT(負相序&正極性) CT(負相序&反極性)



3. PT 為負相序與正極性，CT 為負相序與正極性，電驛的電壓接線為標準接法，電流接線為反向接法 (R 相： $-I_a V_{bc}$ ，S 相： $-I_b V_{ca}$ ，T 相： $-I_c V_{ab}$)，

其 PT、CT 與電驛的電壓(V_{7-8})電流(I_{5-6})相量圖如下所示，符合送電端電流落後電壓 270° 。

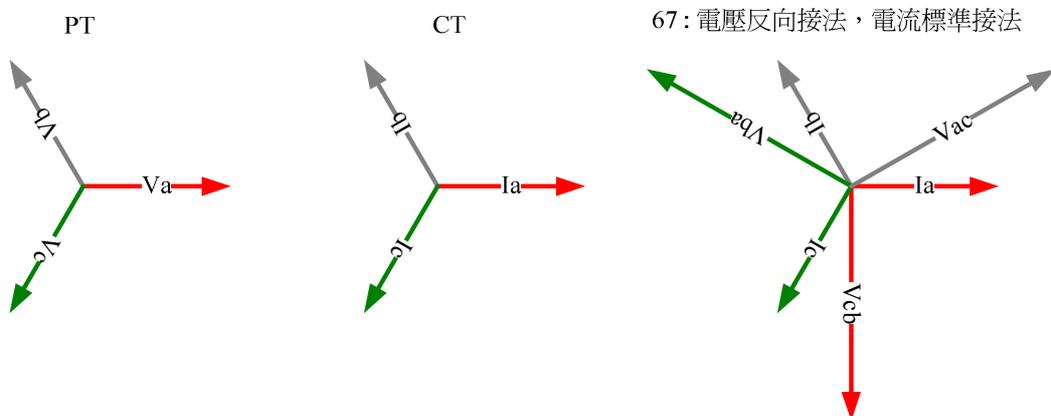
CASE 3 : 送電端 PT(負相序&正極性) CT(負相序&正極性)



4. PT 為負相序與正極性, CT 為負相序與正極性, 電驛的電壓接線為反向接法, 電流接線為標準接法 (R 相: $I_a V_{cb}$, S 相: $I_b V_{ac}$, T 相: $I_c V_{ba}$),

其 PT、CT 與電驛的電壓 (V_{7-8}) 電流 (I_{5-6}) 相量圖如下所示, 符合送電端電流落後電壓 270° 。

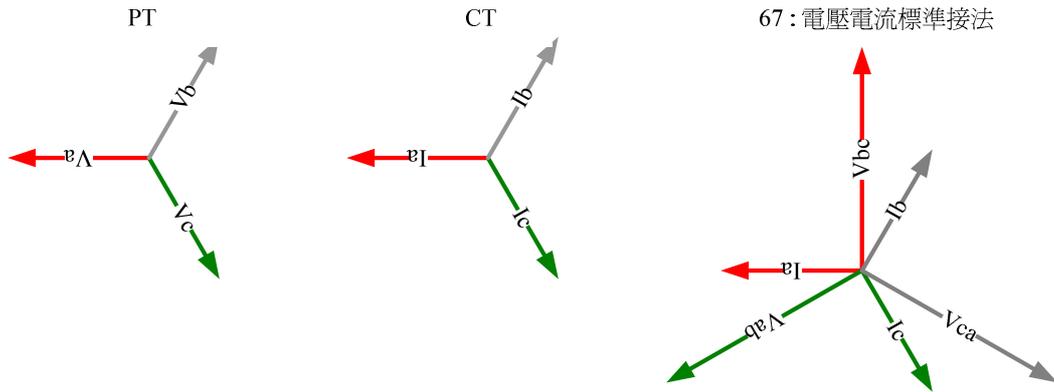
CASE 4 : 送電端 PT(負相序&正極性) CT(負相序&正極性)



5. PT 為正相序與反極性, CT 為正相序與反極性, 電驛的電壓與電流接線為標準接法 (R 相: $I_a V_{bc}$, S 相: $I_b V_{ca}$, T 相:

$I_c V_{ab}$), 其 PT、CT 與電驛的電壓 (V_{7-8}) 電流 (I_{5-6}) 相量圖如下所示, 符合送電端電流落後電壓 270° 。

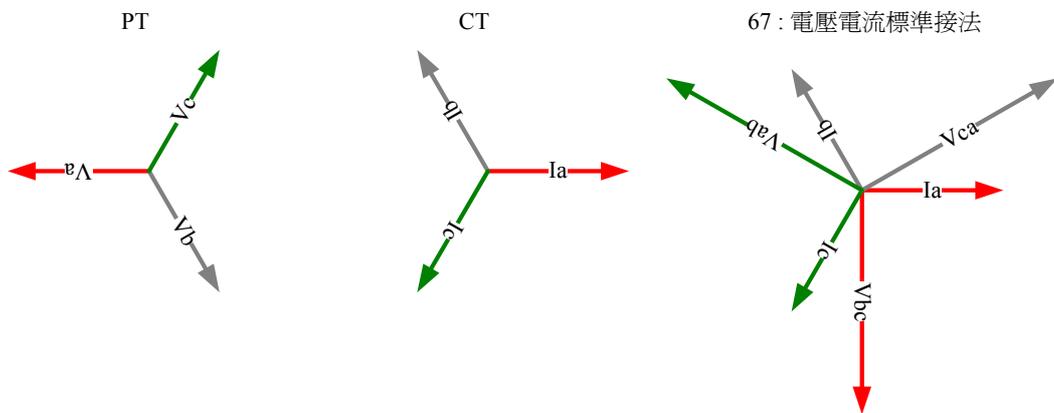
CASE 5 : 送電端 PT(正相序&反極性) CT(正相序&反極性)



6. PT 為負相序與反極性，CT 為負相序與正極性，電驛的電壓與電流接線為標準接法 (R 相： I_aV_{bc} ，S 相： I_bV_{ca} ，T 相：

I_cV_{ab})，其 PT、CT 與電驛的電壓(V_{7-8}) 電流(I_{5-6})相量圖如下所示，符合送電端電流落後電壓 270° 。

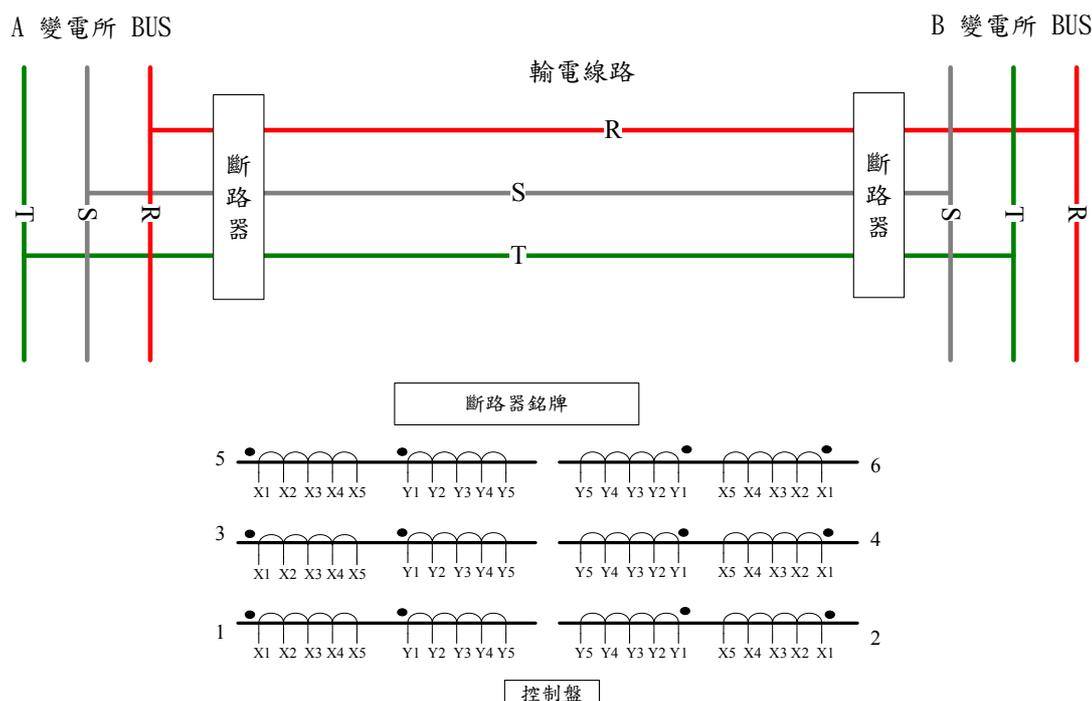
CASE 6 : 送電端 PT(負相序&反極性) CT(負相序&正極性)



參、二次變電所 69kV 線路電驛盤汰換工作

目前二次變電所 69kV 線路保護電驛將汰換為差電流數位電驛，由上面所整理的方向性過電流電驛各種接線方式可知，二次變電所內的 PT 其相序與極性可能與其他二次變電所是不同的，而且同一變電

所內各線路的 CT 其相序與極性也可能是不同的，因此造成將線路保護電驛汰換成差電流數位電驛時，線路兩端電驛電壓與電流對相的困難度，為減少電驛汰換完成後，線路送電取載時電流對相錯誤發生的機率，因此事先查對工作是必需的，在此整理一些查對工作以供參考。



用以上的輸電系統為例來做說明：

1. 首先以系統的 R、S、T 相為基準，將 CT cable 的紅白青三線分別接至系統的 R、S、T 三相，以 A 變電所來講其 CT1 為 1,3,5 X 組 CT，1X1 接青色、3X1 接白色、5X1 接紅色，1X5、3X5、5X5 COMMON 出線，以 B 變電所來講其 CT1 為 2,4,6 X 組 CT，2X1 接青色、4X1 接白色、6X1 接紅色，2X5、4X5、6X5 COMMON 出線，如此 A 與 B 兩變電所的 CT 電流就能正確對相。
2. 再以本端的 CT 電流為準找出同相之 PT 電壓，如此本端的 PT 與 CT 就能同相，也能與遠端變電所同相。
3. PT 與 CT 對相完成後，只要兩端 PT 與 CT 在進電驛之前 S、T 互換，電驛所顯示之電壓與電流就為正相序。

依以上方法去完成 PT 與 CT 的對相工作，就能減少差電流數位電驛對相錯誤發生的機率，只是此方法只能用在變電所 PT 極性為正極性的情況，如果變電所 PT 為反極性如上述 CASE 5 與 CASE 6 的情

況，則數位電驛在應用會面臨其他問題的發生。

肆、結論

因為目前所使用的數位電驛為多功能數位電驛，除了有差電流(87)保護功能外，還有其他保護功能如測距(21)、方向性過電流(67/67N)、等保護功能，69kV 線路保護電驛目前啟用的功能有差電流(87)、測距(21)、方向性過電流(67/67N)保護，因此變電所內的 PT 極性如果為反極性的話，將影響到測距(21)、方向性過電流(67/67N)保護的功能，所以所內 PT 為反極性的話，就必須將 PT 極性改為正極性，且所內有引接 PT 的設備其 PT 接線也必須更改，才能確保所內設備正常運作。

知性之旅-

參訪屏東科技大學教育生態校園

常務監事 李國楨

一、前言

今(100)年以來天候變動兩極化，酷熱與凍寒、滯旱風災均不斷地在全球各地頻仍發生，尤以氣候的無常所造成生命 safety 朝不慮夕，財產損失慘重難估，甚至惶恐世界末日的腳步很快降臨人間，引來專家學者強烈呼籲保育生態不可等閒視之，改觀環保評估居優先地位。

本協會選定 1 月 15 日(週六)召開第六屆第四次理監事聯席會議暨第三次會員代表大會，為提升更多與會代表出席的興緻，特擇定溫暖避寒的高雄地區舉辦，並安排參訪屏東科技大學生態教育之旅。

二、參訪新知生態教育之旅

翌日 1 月 16 日適逢週日，規劃甲乙兩組活動各自發展；甲組成員選澄清湖高爾夫球場進行分組友誼賽，以球會友切磋球技，君子之爭無傷大雅；乙組成員則安排知性之旅，參訪屏東科技大知性之旅-參訪屏東科技大學教育生態校園

學有關農業暨生態教育導覽之旅。

屏東科技大學校園面積遼闊佔地 285 公頃，相對於全台各大專院校區，在排名上首屈一指應是毋庸置疑，參訪步行所到之處視野遼闊，林間漫步環境清悠，尤其是芬多精瀰漫洋溢充滿虛空，參訪成員難得品味新鮮怡然自得，宏觀整體格局實不亞於國家公園，因此博得「國家公園大學」美譽，並非虛傳。

該校地域分布在亞熱帶與熱帶區間，除倚勢北大武山麓，又傍臨東港溪，佔天時、地利之要津，得天獨厚攬抱青山綠水，厚積豐富天然資源孕育熱帶農業生態，外加到處矗立饒富人文氣息的文教建館，在擁有久遠歷史的農業研究基礎上精英薈萃代有人出，對貢獻台灣農經輝煌成果，留下嶄新的史頁。

屏科大歷經多年來教育興革，擁有豐富人脈與傳統經驗，開發生態保育技能，拓展生技醫農濟世厚生，積極推廣綠能應用，孕育創意文化厚積農產競爭力，推升農產高值化等發展方針。每位

參訪者在導覽員的解說下，似乎樂觀預見屏科大正步入「明日之星」的坦途大道，內心不禁發出讚嘆和欽羨，留下無法抹滅的暗戀與祝福。

三、保育類野生動物收容中心

除硬體建設及教學環境美化外，另一向不為人所知的是設置保育類野生動物收容中心，此係行政院農業委員會資助執行計畫之一，委由屏東科技大學協助推展。

成立宗旨的目的在於提供政府查緝、沒收非法擁有、走私或遭棄養之野生動物，權宜性安置處所或收容中心，也提供其他機構伸出援手協助安置，另一方面可與國內外相關機構建立交流管道，進一步做出最有利於動物個體獲得最終妥善的處理，譬如：送回原產地、本土野放、圈養繁殖…等，有效落實物種保育工作之目標。

另項值得稱道的是建立保育類野生動物之生命教育館，其目的在推廣自然保育的信念，向社會全民宣導保育觀念，象徵一扇靈魂之窗溫馨關懷各種生命的內涵與保育的迫切性，鼓舞大家發願投入保育野生動物的志工。此由旅美華人劉沙林女士發起，經林務局及屏東科技大學附和響應並贊助經費。2009年4月「沙林生命教育館」竣工成立，電驛協會會刊 33 期

除紀念劉沙林女士外，也呼應林務局「聚沙成塔」(先聚沙再造林)之另類涵義。

參訪團員分編三組人馬，由導覽員各自帶隊參觀收容中心的野生動物，包括：紅毛猩猩、長臂猿、獼猴、懶猴、台灣黑熊、馬來熊、棕熊、老虎、花豹、石虎、棕葉貓、白鼻心、穿山甲、台灣山羌、長鬃山羊、及國內外猛禽、鸚鵡、雉科鳥類、魚類、蛇、蜥蜴、和烏龜等等，物種多樣性不下百種，但絕大部份為靈長類，每日供應食材耗費驚人，因此優先選擇本土野生動物安排野放，讓牠們盡速回歸大自然的生活。另一方面在1995年起與東南亞國家、英、法、美、澳洲、印度、巴基斯坦、香港等16地區的野生動物保育或收容機構建立交流管道，優先考量動物福祉，其次審慎評估是否擁有完善保育成效，在此兩大前提下，才會放心移送國外機構保育處置，迄今多次成功地完成國際合作慣例。

平心而論，野生動物保育工作實不應單獨由政府承擔執行，應該推廣宣導兼懲罰民眾棄養寵物的當責，期待大多數民眾挺身站出舉發違法棄養，讓國際人士認同台灣不但能創造經濟奇蹟，也能對保育野生動物寄以生命關懷。

四、屏東龍泉青島啤酒

屏東自詡有三寶—TORO、蓮霧和啤酒，茲分述如下：

一、TORO：日語稱謂黑鮪魚的魚腹部份，被公認是最肥美珍饈，一般均切成生魚片享用，魚汛期約在每年4月中旬到6月中旬，據估台灣黑鮪魚的漁獲量佔世界第一，因此屏東縣政府每年在東港盛大舉辦「黑鮪魚文化觀光季」拍賣會，廣招大量觀光客到東港嚐鮮黑鮪魚。

二、蓮霧：暹稱「黑珍珠」，散佈在屏東縣林邊往南經佳冬到枋寮的蓮霧園區，佔地約兩千多公頃，盤踞屏東平原南端與海交界之特殊地帶，經海水沖刷鹹土地長出清甜果，清脆多汁香甜獨步全球，也是全台聞名品牌的水果之一。

三、啤酒：指屏東龍泉青島啤酒，緣於參訪團安排當日午餐在龍泉酒廠餐廳消費，故列入本活動記實。

2002年台灣與大陸分別加入世界貿易組織(WTO)，依慣例雙方得自由進出口貿易，台灣方面開放大陸青島啤酒進入市場，當時三洋維士比集團率先取得青島啤酒在台灣地區銷售代理權，並授權旗下子公司-台灣青啤(股)公司

正式進口在台銷售。

2004年5月青島啤酒公司同意台灣青啤公司籌建小組邀請德國技術人員規劃龍泉觀光啤酒在屏東縣內埔鄉建廠，投入巨額資金進行投產。2005年5月釀造出台灣本土第一批無菌純生釀造啤酒，從此台灣正式宣告擁有德國先進的科技，匹配大陸青島傳統釀造技術產製青島啤酒，品質優良深獲觀光客喜愛。

龍泉酒廠推廣消費不遺餘力，如免費啤酒接待，設置大規模的販賣部銷售多元化產品，另精製多樣啤酒副產品，如青啤豬腳、啤酒養生蛋、啤酒香腸、啤酒雞、啤酒滷味等，美食當前聞香下馬、生啤清醇佳餚嚐鮮、物美價廉是共同感受。

五、後記

本次參訪每位團員獲益良多而生歡喜心，而本次活動得以順利進展，實應歸功於協會曾常務理事茂盛，活動前親手策劃內容詳實，活動當天還親臨陪伴一路到底，使參訪團所到之處感受到溫馨親切的人情味，更勝於『五星級』的服務招待，整團全天不時浮現歡笑喜悅，因此，本協會特在此萬分感謝曾常務理事茂盛之隆情至誼，讓我們感覺不到寒冬的冷意。



參訪團員一行人搭車抵達屏東科技大學



參訪成員在生命教育館前合影



參訪人員在屏科大森林步道悠閒漫步



生命教育館內保育類動物宣傳海報



聳立磐石鐫刻生態保育推廣戶外教學



屏東三寶之一：屏東龍泉青島啤酒

在電驛乙太網路遇上 IEC 61850

台電台中供電區營運處 周南焜
 台電高屏供電區營運處 彭雲忠
 台電高屏供電區營運處 莊雅欽
 台電高屏供電區營運處 林孟澤
 台電高屏供電區營運處 王坤展

壹、前言

從事系統整合相關工程已二十餘年的漢門科技黃副總裁茂榮曾經表示：「系統整合所要花費的金錢與心力，通常是單獨個別子系統建立時所需費用或人力的兩倍以上，甚至十倍之多，更有打掉重建的案例，屢見不鮮。」有此可見，在系統整合需求方面，是每個人都想吃卻又不一定吃得起的高檔餐飲。原因不外乎是個別系統建立時，都是依照自己的規格方式建立或是採用封閉系統，因此，造成往後系統的整合上有極度的困難性，然而其系統整合所帶來的便利性及資訊取得的方便性、快速性，是管理者心中的一塊頂級牛排，但其跨系統之間的技术難度及所需整合軟硬體之間的複雜性就越高，尤其是在國際性的產品或是採用高度封閉性系統上更為明顯，往往因為設計者的不同想法與國情，所設計出的系統就有天壤之別的差异，造成系統在整合上的技術難度與整合上的可行性難度變高。有鑑於此，IEC 定義 61850 通訊協定時，已全面考量到整合性的問題，就從遠端控制、遠端監視、變電所 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisitions)監控、電驛保護、校時系統...等，都有不同的定義與規範，連設備規劃、設備認證、現場設備的未來規劃...都已經

列入相關的規範與定義，連 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisitions)的軟體規劃也採用開放度高、通用性高的 XML 語言標準來作其規範。

小弟在業界從事乙太網路通訊相關行業數年，今日有幸參與台電電驛資料管理系統的乙太網路建置，對乙太網路相關訊息略知一、二，今日想藉由從乙太網路系統的觀念來切入 IEC 61850 的一小部份來作說明，作為拋磚之意，但願能激起各位業界先進有引玉之念，乃望諸位先進、前輩不吝指教。

貳、IEC 61850

制定 IEC 61850 標準的最終目標乃一個世界 (One World)、一種技術 (One Technology)、一個標準 (One Standard)，以減少在整合方面因為需要跨系統時的困難度，並可以大大提昇上資料取得的便利性，更想藉此減少現場施工上的佈線與建構成本的降低。

IEC 61850 是採用乙太網路(Ethernet)通訊為藍本的國際標準，它是由國際電工委員會第 57 技術委員會(IECTC 57)的 3 個工作組織 10,11,12(WG10/11/12)所負責制定的。

IEC IEC第57技術委員會的負責工作為：電力系統中的通訊與功能

- WG 3: 遙控的通訊協定
- WG 7: 遙控的通訊協定與ISO及ITU-T標準的相容性
- WG 9: 配電自動化採用配電線載波系統

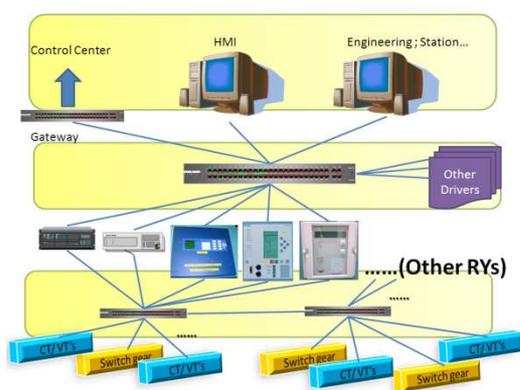
- WG 10: 變電所通訊標準：功能架構及一般需求
- WG 11: 變電所通訊標準：包含變電所層級與單元設備間的通訊
- WG 12: 變電所通訊標準：包含單元設備與現場設備間的通訊

- WG 13: 能源管理系統應用程式介面(EMS - API)
- WG 14: 配電管理的系統系統介面 (SIDM)



此標準以參考既有的許多相關標準作為藍圖，例如：IEC 870-5-101通信協定標準、IEC 870-5-103電驛保護訊息端口標準、UCA 2.0 (Utility Communication Architecture 2.0)變電所和饋線設備通信協定體系、ISO/IEC 9506製造商訊息規範MMS (Manufacturing Message Specification)。IEC60870-5-101 (由SCADA到控制中心等通訊規範)、IEC60870-5-103 (由IED到SCADA控制等通訊規範)、IEC60870-5-104 (由SCADA到控制中心，或經由乙太網路控制中心等通訊規範)。

在單一變電所的狀況下的IEC61850，其將變電所通訊本體規劃為三層式架構：變電站層、間隔層、過程層(如下圖一)。



這三層通訊規劃為極重要的規劃，主要是分隔不必要得通訊封包，並提供其設備需要極短時間的RT (Real Time) 需求，尤其在電力系統電驛的保護方面，讓設備

的通訊能維持於L2(Layer 2)的模式。為何須盡量通訊維持於L2(Layer 2)呢？原因是因為架構於TCP/IP上的IEC61850需受限於TCP/IP的通訊規範(IEEE 802.3)，凡利用IP作為通訊傳輸，若處於不同網段時需藉由L3(Layer 3)路由的方式(Routing)作交換通訊，此通訊交換延時(TT, Tag Time)將會大於6ms~20ms(時間長短依據各路由器的處理能力與架構複雜度而定)，因此可見這三層的規劃將影響IEC 61850在乙太網路上的實現。

在變電所與間隔層之間的網路通訊，則是採用MMS(Manufacturing Message Specification)抽象通訊服務端口映射文件報表規範、傳輸控制協定及網際網路(TCP/IP)架構之乙太網路(Ethernet)或光纖網路。而在間隔層與設備通訊的過程層之間的網路，則是採用單點對多點的單向傳輸乙太網路系統。至於變電所內的智慧型電子設備(IEDs, 測量、控制單元及電驛保護)均採用統一的協定(IEDs本身所能提供之通信協定)通過網路系統進行訊息交換，亦可使用IEC 61850相關通訊規範。

IEC6180提供幾個特點，1、訊息分層：建立三層式的通訊架構與資料處理模式，讓資料可以在Process Bus與Station BUS之間進行資料交換，並隔離出需RT(Real Time)的資料及封包流通管理。2、資料自我描述：傳送的封包架構上，已經包含了各項數據量資料以及設備單位資料，除了自我描述外，並且還提供自我診斷、隨插即用(Plug and Play)等能力，最大的特點是統一數據量單位，不需轉換即可使用，提高了封包資料的可讀性以及使用性，如此不但簡化了資料庫的維護複雜性，亦可以減少資料庫的維護人力與費用，並減少因資料庫數據配置錯誤而引起的停電或是設備誤操作等相關問題。3、抽象通訊服務介

面:SCSM→MMS 等不同的通訊協定可以在同一介面平台 XML 的語言上互通，藉由共同通訊協定介面(IEC61850)的規範而互通相關資料，減少了大量通訊協定之間轉換問題與相容性測試的時間問題。

4、互通性:可以讓不同廠牌的 IED (Intelligent Electronic Device) 等設備進行交換資訊，並可以進行互操控性的能力，不必擔心通訊協定的轉換與相容性問題，提高了 IED 設備上使用的靈活度，也減少轉換時的資料庫資料維護及測試時間。

5、可靠度高的通信網路:採用 TCP/IP、GOOSE 等方式提高傳送的可靠性及高速的傳輸效率，利用網路的高頻寬的特性(目前已發展至高於 1Gb/s 的通訊技術)以及設備普及的特性，提昇了通訊的傳輸效能及可靠性。

6、變電所統一規範建置:全變電所的狀態，皆有相關定義與對應資料單位，可以完全監視、控制變電所的任一設備，例如變電所的饋線設備的斷路器控制、電壓調節、電驛保護等設定變更、動作資料取得、設備操作控制等，並增加了自動化設備系統的使用靈活度。尤其在中央調度上面更是減少了各變電所的資料的通訊協定轉換或相容性特性測試時間，讓每一個變點所可以獨立成為單一獨立子系統，還省下了變電所自動化系統的巨大整合費用。

參、MMS

MMS (Manufacturing Message Specification, ISO/IEC9506-1 和 ISO/IEC 9506-2)報表文件規範是由 ISOTC184 開發與維護的網路環境下的電腦或是智慧型電子設備 (IED, Intelligent Electronic Device)之間作交換即時資料和監控資訊的一套獨立國際標準報表規範。MMS(Manufacturing Message Specification)的目的是為了規範工業領域具有通信能力

的智慧感測器 (Intelligent Sensor)、智慧電子設備 (IED, Intelligent Electronic Device)、智慧型控制設備的通信行為,即使出自不同製造商的設備之間具有彼此的互通性(Interoperation),使系統集成變得簡單、方便。

MMS 可以在包含 OSI、TCP/IP、RS485 及 RS422 等種通信站之間運作，為了統一通信用封包資料格式，讓系統通訊有一致性的需求，IEC 61850 對 MMS 應用進行了兩種規範。1、So/IEC AMM111，使用 IEEE 802.3 網路連接層、MMS 作為網路應用層協議，在 OSI 全部 7 層的模式下運作。(原 MMS 的協定規範如下)。

Application	Association Control Service Element (ACSE)- ISO 8649/8650
Presentation	Connection Oriented Presentation - ISO 8822/8823 Abstract Syntax Notation (ASN)- ISO 8824/8825
Session	Connection Oriented Session - ISO 8326/8327
Transport	Connection Oriented Transport - ISO 8072/8073
Network	Connectionless network - ISO 8348
Link	MAC - ISO 8802-3 [Ethernet] MAC - ISO 8802-4 [Token Ring]
Physical	Ethernet Token Ring

如此的方式，在通訊每一層的端口、服務、協定方式，分工非常清楚，但是在實行上卻有相當大的困難。

2、MS、OSI 的表示層和會話層直接 Over TCP/IP 協定 (RFC 1006) 之上的抽象通訊服務元件 (ACSE)。我們都知道，TCP/IP 其實對應在 OSI 上只佔用於網路層及傳輸層，原因是因為 TCI/IP 通訊協定比 OSI 早提出多年，若是採用 MMS+TCP/IP 乙太網路(MMS over TCP/IP)的方式來實行變電所與變電所所內或是調度中心之間的網路通訊協定，困難度就大大降低很多，可以利用

TCP/IP 實現簡單、高效率的優點，讓此架構方式可以容易被實現，而且目前熟悉和掌握 TCP/IP 技術的人才也比較多，在其應用領域也較為廣泛，目前業界也多朝此方向實現。（其架構如下）

Application	Association Control Service Element (ACSE) - ISO 8649/8650
Presentation	Connection Oriented Presentation - ISO 8822/8823 Abstract Syntax Notation (ASN) - ISO 8824/8825
Session	Connection Oriented Session - ISO 8326/8327
Transport	ISO transport over TCP - RFC 1006 Transmission Control Protocol (TCP) - RFC 793
Network	Internet Control Message Protocol (ICMP) - RFC 792 Internet Protocol (IP) - RFC 791 Address Resolution Protocol (ARP) - RFC 826
Link	IP datagrams over Ethernet - RFC 894 MAC - ISO 8802-3 [Ethernet]
Physical	Ethernet

MMS 標準即 ISO/IEC9506 標準，由 ISOTC184 和 IEC 共同負責管理。MMS 規範分為五部分即服務規範、通信協定、工業機器通信規範、程序控制通信規範、數位控制通信規範。MMS 的特點是通過使用 MMS 使工業系統具有互通性和獨立性。其中互通性是制定 MMS 的初衷即為設備和應用定義一套標準通信機制，使其在此通信體制下具有高度互通性。獨立性是指 MMS 提供不同且多個特定產品的專用通信系統方式，它是一個通用的、獨立於專用設備的國際標準協定，即它為用戶提供了一個獨立且完整功能的通用通信環境。MMS 提供了通過網路進行對等 (peer-to-peer) 即時通信的服務。

在國外，MMS 技術廣泛用於工業程序控制、工業機器人等領域。目前，MMS 在電力系統遠端通信協定中的應用越來越

廣泛。國際電子電機委員會第 57 技術委員會 (IECTC57) 最近推出的 IEC60870-6TASE.2 系列標準定義了 EMS 和 SCADA 等電力系統控制中心之間的通信協定，該協定採用物件導向 (O-O, Object-Oriented) 建模技術，其底層直接映射到 MMS 上，就如前面所述。IEC61850 作為 IECTC57 正在制訂中的關於變電站自動化系統電腦通信網路和系統的標準，採用分層、物件導向建模等多種新技術，其底層也直接映射到 MMS 上。

肆、UCA

UCA (Utility Communication Architecture) 是由美國電力研究院 (EPRI) 聯合 ABB、SIEMENS 等國際大製造商和一些大電力公司制定的公共設施通信協議體系，在國外此通訊協定的應用相當廣泛，例如：自來水、煤氣、電力等公眾設施。

UCA 協定體系主要由即時資料庫 (Real Time Data Base) 資訊交換部分和現場設備模型部分組成。其中，即時資料庫資訊交換部分主要是要將資料通給 EMS、SCADA 等控制中心作為之間的資訊交換的通信規範，稱為控制中心之間的通信協議 (Inter-control Center Communication Protocol, ICCP)，而後被國際電子電機委員會 (IEC) 所採用，成為 IEC60870-6 系列標準。現場設備模型部分主要提供了變電站及配電系統現場設備相關資料的通信規範。

UCA 系統提供了從底層向上一套規範的通信方案，該體系的基礎是利用 MMS 的技術，物件導向的建置技術和 ISO 的 OSI 參考模型從而達成 IEDs (智慧電子設備) 之間的互通性。UCA 協定體系的特點：(1) 提供多樣式的模組，可以符合實際運轉

需求。UCA 協定體系使用了物件導向方式模組建立技術，對於模組的建立、合理性、可用性都比較強。

- (2) 使用了 MMS 技術
- (3) 互通性強。提高設備之間的通信互通性，使系統集成變得簡單、方便是 UCA 協議體系制定的初衷。
- (4) 應用面較為廣泛。UCA 不僅適用於電力系統，也可用於煤氣、自來水等多項公共設施領域。

目前，國外的 EMS/SCADA 系統大都使用了 IEC 61850 模型建立的 UCA 通訊協定體系，而在國內電力系統控制上的應用還算不少，目前大部分都是依此為規範的通訊控制。UCA 有很好的發展前景，很多設備製造商在現場設備產品中都加入了 UCA 通訊協定能力。

伍、GOOSE

GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) 是一般物件導向系統事件的縮寫，其目標是要以資料匯流排通信取代 IED 內部協調所需之傳統硬體接線邏輯，偵測到一個事件後，IED 使用多點播送傳輸來通知有登記要接收該資料的那些設備，通信的即時性需求頗為迫切，從一個事件發生到信息傳送的允許時間不能超過 4ms。然而網路上 IEDs 的數量及事件的型式會影響事件發生後所產生的資料量，每一個 IED 會重覆傳送 GOOSE 訊息數次，每次重傳會有較常的時間間隔，而這時間間隔將依據 IEEE 802.3 的規範亂數產生時間間距，尤其在乙太網路架構 L2 Switch 上，比較可以達成通訊即時性的需求。

物件導向的特點分別為繼承性與事件觸發特性，就系統規劃及程式規劃中，物件導向可以建立管理者對物件的規劃及設

計上得一致性，並可以利用繼承的特性大量製作來自相同父系的物件元件特性，但是又同時可以作部份上的修改方式維持子係物件的獨立性。在事件觸發方面，有別於傳統的輪詢通訊方式，採用事件觸發的通訊方式，此又可分為觸發事件、告知事件及廣播事件。觸發事件則是有事件則觸發的原則，事件傳送需等對方完成回應成功後才算完成；而告知事件則是將更新的資料或需告知的資料回報後算完成，並不管對方對於資料接收是否完成；廣播事件則是如 GOOSE，需定義緊急接收設備目標，將通訊權限提昇較高的方式並一次傳送多個對象。

在傳統的通訊上，傳送速度取決於 CPU 的執行速度與網路線的頻寬，而線路頻寬將會被詢問封包通訊佔滿（因為通訊方式的設計是以最快速度而論），且會達到通訊的最高速度（包含硬體極限、線路頻寬與軟體設計上的配合），而若採用 TCP/IP (Switch 架構) 的通訊方式，則是搭配物件導向程式語言設計 (OOP, Object-Oriented Programming)，亦可以將大量頻寬省下，並可以有效的提高頻寬的使用效率，當有事件發生時(或是有資料傳送時)，物件導向程式語言設計 (OOP, Object-Oriented Programming) 才會將資料或是詢問封包進行傳送，而線路上也才會資料流動，頻寬才會被佔用。這就像古代的推銷方式，需挨家挨戶的詢問有需要產品否？而新一代推銷方式，則是採用電話訂貨方式推銷(事件發生時)，產品立即透過通路宅配到府(事件觸發透過高速頻傳送資料到達)，對設備來說是比較有效率的方式。

然而，GOOSE 訊息支援資料集的共同資料廣域交換，提供大範圍的資料交換。資料集定義在工程規劃工具中，資料

是透過 IEC 61850-8-1 乙太網路匯流排傳送到其它 IEDs，IEDs 則經由功能方塊接收資料，由功能方塊接收的信號定義在 IED 工程規劃工具中。而 GOOSE 在乙太網路上為了達到通訊的即時性，利用了省略 IP Address 與 MAC Address 的轉換(IP 層的 ARP, Address Resolution Protocol)、獨立 Port Listen 的通暢度 (TCP 層)，來加快事件的傳送速度與處理速度，如此可以省略 TCP/IP 層級之間的封包解碼及檔頭加碼的工作時間；在乙太網路硬體層方面，則是維持設備在 L2 (Layer 2) 架構下連通，但須考慮設備數量及群組規劃等問題，如此即可達到理論值的通訊時間要求。

在乙太網路上的規劃及配合，則大部分會讓設備與網路交換器之間建立 VLAN(Virtual Local Area Network, 虛擬區域網路)來區分，避免過多的詢問封包、偵測分包、廣播封包...等非資訊封包佔用的頻寬，如此可以讓 GOOSE 的機制能在 L2 (Layer 2) 架構下如預期的時間達到保護功能與機動的機制。

陸、XML

何謂 XML? XML(Extensible Markup Language, 可擴展標示語言)是一種中介標示語言，或說它是一種資料結構標示性語言也可以，主要的功能是可以利用標籤化的方式來描述資料，並將資料具有結構化的方式來儲存。尤其這功能在 HTML 上要表現，或是資料儲存、資料結構化都極為複雜，尤其 XML 的這特性，讓不同平台可以藉由它來達到資料交換的目的，尤其是跨平台、分散式或是不同性質的環境設備中，提供了一種中立、標準的交換格式。

依據上述 XML 的各項優點，讓 IEC

61850 在上層結構的資料交換、中層設備通訊、底層資料傳輸封包上，都採用此 XML 單一規格來定義。不過，為了上各廠家的設備可以交換彼此的資料、設備狀態與訊息交換，需定義各量資料的清單；換句話說，就是詳列各項交換訊息清單，讓每一個廠家可以依照清單以「填空」的方式說明自己的資料與設備狀態。

那 XML 語法就等於是 HTML 語法？其實應該說是它的進化版，因為 XML 語法提供了幾項特點：

- 1、W3C 標準，非單一廠家標準。
- 2、類似 HTML 的寫法，100% ASCII。
- 3、紀錄層級關係的資料。
- 4、可作為跨平台交換資料的標準。
- 5、IE5 以上皆支援。

如此強大的功能，豈有不用的它的理由？就連在化學領域(化學標籤語言 CML, Chemistry Markup Language)及數學領域(數學標籤語言 MathML, Mathematical Markup Language)都被廣泛應用與制訂成相關規範使用。小弟就舉例子(如下圖)說明 XML 語法的表示方法。

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<F00>
Hello XML!
</F00>
```

上圖的程式宣告文件就是一份 XML 語言的基本宣告，第一行的語言以<?開始，而已?>結束。可以視為 XML 的語言宣告，並提供兩部份特性說明，分別為用等號=分隔開來，左邊為特性名稱，特性名稱宣告有 version 和 standalone 兩個特性；右邊為對等數值，分別有「1.0」和「yes」，數值部份需對等於特性的屬性，可以是整數、小數、布林代數、字串...等。以上圖例子中，version 特性為符合 1.0 的 xml 規範 (W3C 國際組織於 1998 年 2 月通過

XML 1.0 版本)，另一 standalone 特性，是要告訴我們文件程式是否在同一個文件裡？還需要從外部到導入其他文件(例如：ASP 語法文件或是 Java 語法文件)，因為上圖中的程式文件中的語法皆在同一程式文件內完成，所以需將此項特性說明設定為「yes」。

接下來的語法標籤由<F00>為開始標籤，而</F00>為結束標籤，其內容為 Hello XML!，即為 F00 元素的內容。為什麼是<F00>與</F00>的標籤？其實這就是 XML 所提供的彈性特性，標籤可以由使用者自行定義，只需要彼此成雙成對出現即可，所以各個領域就對此加以應用。所以，你可將上圖文件寫成下圖範例：

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<GREETING>
Hello XML!
</GREETING>
```

如此皆是成立的。但是可以為中文式的標籤嗎？答案可以的！接下來將一併說明 XML 架構式的特性。

XML 提供了架構、語意以及樣式等三樣高彈性的特性，其中架構就及為人之樂道，因為其可以包含資料與資料結構，例如下圖範例中所描述，不但把「員工名冊」建立了，而且也將資料欄位與員工資料一併納入完成，這是一般程式語言比較難如此簡易而方便達到的能力。

```
<?xml version="1.0" encoding="gb2312" ?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="mytest.xsl" ?>
<員工名冊>
  <員工>
    <姓名>王小明</姓名>
    <編號>123456</編號>
    <生日>650421</生日>
    <性別>男</性別>
  </員工>
  <員工>
    <姓名>張小三</姓名>
    <編號>234567</編號>
    <生日>660522</生日>
    <性別>女</性別>
  </員工>
</員工名冊>
```

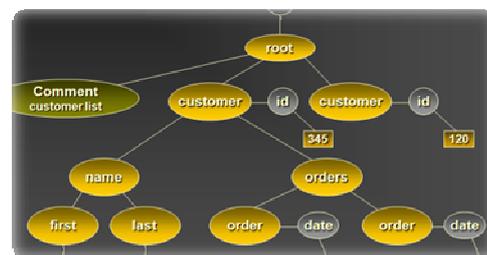
資料顯示的示意圖如下：

姓名	編號	生日	性別
王小明	123456	650421	男
張小三	234567	660522	女

XML 1.0 的規格中定義了什麼是「tag」及「attribute」，同時衍生許多相關的技術及規格。例如：

- ☆ Xlink：定義如何在 XML 中加入超鏈結。
- ☆ XPoint 及 XFragments：指向 XML 文件中某份資料的語法。
- ☆ CSS：可以同時應用在 XML 及 HTML 的樣式表語言。
- ☆ XSL：以 XSLT 為基礎的進階樣式語言。
- ☆ DOM：存取 XML 資料的函式。
- ☆ XML Namespace：定義命名空間。
- ☆ XML Schema 1,2：定義 XML 的資料格式。

如下圖的資料結構，在 XML 語法上就可以容易的被實現，而在 HTML 就不容易達成。



Xml 還有一樣特異功能，就是它可以跨平台的被實現，而且無再付費版權的問題，所以會被廣大的設計者喜愛，當然的也被 IEC 61850 的制定單位：國際電工委員會第 57 技術委員會(IECTC 57)的 3 個工

作組織 10,11,12 所選中。

柒、網路硬體架構

在 IEC 61850 上的網路架構規劃，就前述的需強制性的規劃硬體層通訊在 IOS 七層下的兩層，但是又要兼具網路斷線提供的備援及可靠性，就需引進在業界已行之有年的 STP (Spanning Tree Protocol) 通訊方式。可是，STP (Spanning Tree Protocol) 備援及復原機制的單位為秒級 (尚須 2 秒以上，需視環路系統上的通訊設備多寡而定)，而各家設備的 STP (Spanning Tree Protocol) 機制方式也有所不同，但是大部份的資訊方面應用並不像工業上的應用，需如此嚴苛的要求其可靠性及快速恢復機制，所以除了少數的幾家工業級的網路通訊設備廠家有提供類似的產品與技術外，其他的網路通訊設備幾乎無法達到毫秒級的備援恢復機制。而且各家廠商擁有的專利技術也不盡相同，所以容易造成系統規劃與整合上的困難。

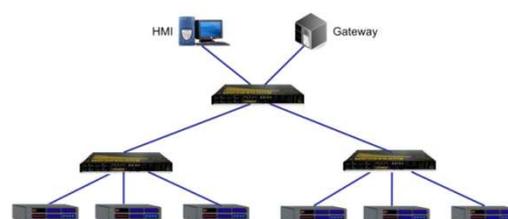
所以 IEC 61850 並無建議網路建制是否需為同一家廠商，但是在實務網路建制的經驗上，每一所變電所所使用的網路設備若為同一家廠商，建制過程與相容測試可以大大地縮短，並選擇已經認證的廠家為最佳，皆是有助於網路建制。而依照其規劃變電所的網路皆需在 L2 的層級，原因前面已經詳述過，此將不再贅述。然而這樣的規劃還欠缺可靠度的考量，再加上最底層 (CT、PT 與保護電驛之間的設備通訊層) 的封包量極為驚人，原因不外乎控制設備以及保護電驛上的所需資料，極需要即時性的結果所導致，因此需將設備相關的放在同一個交換器上，類似群組的觀念將設備分組，如此可以讓交換器的處理能力趕上封包傳送量的負荷，避免因為封包通訊上的擁塞，導致的通訊延時所造

成的假性斷線 (TCP 規範允許部份封包延時或是遺失，並建立重新發送機制)，這部份是我們再規劃上需極力避免發生的。

一般的網路規劃上會建立幾種硬體的網路架構，如下：

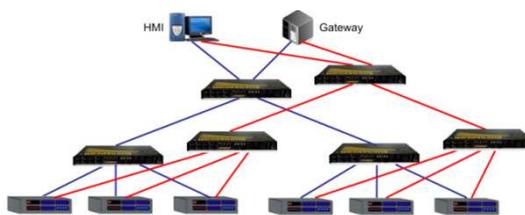
<一>星形網路

已中心往外擴散的方式，並建立各通訊站有唯一通訊路徑，如下圖所示；其優點是，通訊路由簡單且快速，維護上與通訊監控方面皆十分方便；而其缺點則是無備援機制、容易出現通訊瓶頸等缺點，架構如下圖所示。



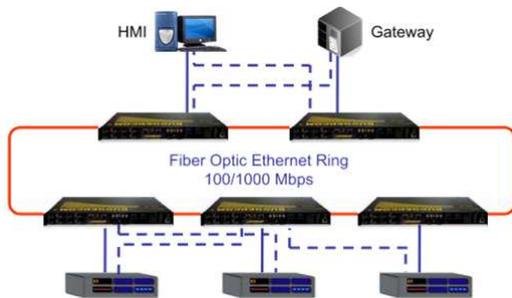
<二>雙星形網路

此架構則是直接由星形網路衍生而來，則是多建立一組同款式的星形網路通訊系統，如此將可以解決網路通訊頻寬上的瓶頸以及無備援機制的缺點，但是如此卻需要增加通訊設備的數量，投資成本勢必會增加一倍，而設備通訊埠、網路佈線皆需具備雙埠功能，通常的底層設備 (CT、PT、電驛、Meter) 並不會具備雙埠自動切換或是互通模式功能，故此方式在業界比較難被實現。



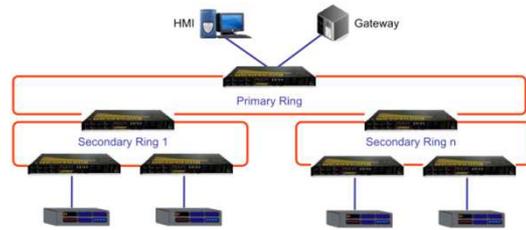
<三>環狀網路

此網路的架構顧名思義，將會以環狀的方式來建構，並用前面所述的 STP 技術 (Spanning Tree Protocol) 的通訊方式達成，此網路形式的通訊交換器設備一般會比星狀網路架構的通訊交換器設備昂貴，所以建製成本會比星形網路較貴，但是天生的環狀網路卻可以提供備援機制，其建製成本卻可以低於雙星形網路，因此為一般目前業界常用的網路建製方式，其架構如下圖所示：



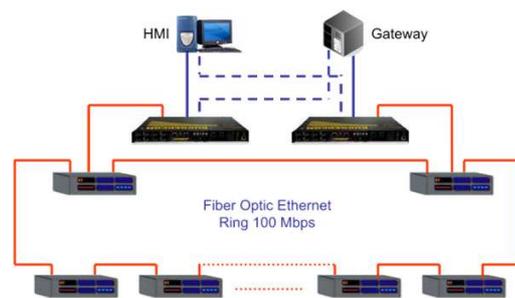
<四>多環狀網路

此網路的架構方式，則是利用環狀網路的優點，加上群組的概念來建立多重環狀網路的方式來建製，不但可以提昇同群組網路內的設備通訊頻寬，亦可以兼具網路備援機制，因此增加系統在網路上的可靠度，當然相對的網路通訊設備的投資成本將會增加，而且網路路由建製也會因此較為複雜，尤其備援機制上的恢復時間也會較長（原因則是多重環路上的恢復需一個設備一個設備詢問，並利用特定計算方式來加速恢復時間），所以此架構經常應用於相當重要的通訊場所，並且需可靠度高的地方，其架構如下圖所示。



<五>綜合網路

此網路架構則是結合了環狀網路及雙星形網路兩種網路，上層部份則是採用雙星形網路的架構方式，此架構方式可以提供作為快速通訊模式及備援快速恢復的方式(其有分為手動恢復或是自動恢復方式)，提供了後端人機作業介面(HMI, Human Machine Interface)及閘道通訊的高可靠度。而下層現場設備通訊部份，則是採用環狀網路的通訊方式，並用利用較低的建製成本來完成現場設備通訊網路建製，提供了現場設備高可靠的環狀網路及網路備援機制。此網路唯一的限制則是局限在於環狀網路天生上的缺點，就是現場通訊設備越多，網路備援機制的恢復時間則會以倍數時間的方式增加。網路架構方式如下：



捌、優先權

一般此網路問題會出現於路由封包擁塞的時候，所以對於現場變電所內的封包通訊比較不需要討論到此問題，原因有二；一、在 L2 (Layer 2) 交換器的通訊上並不會拆解到此封包框架，所以並不會作優先權的比對，故此優先權的設定值並不

會影響現場設備與後端設備通訊的快慢，但是設定太高時，反而比較會影響到後端通訊 L3 (Layer 3) 路由交換時判斷的困擾。二、現場設備的光纖網路規劃，皆會依照 IEC 61850 的通訊規範設計，將變電所內的通訊階層壓低至 OSI(Open System Interconnection)七層的下兩層 (Layer 2)，如此以提高網路通訊效率以及封包交換速率(前述 IEC61850 網路設計概說)，故會將優先權預設於 3~4 之間(優先權可以設定 0~7 之間)，以符合通訊封包為一般資料的優先權設定，如此並不會影響上層路由交換時的判定。由上述兩項原因可以得知，封包內的訊框優先權，在現場設備的網路建制上，或是網路通訊的快慢上，不無直接的關聯性以及影響。

而封包的優先權設定，會影響後端通信路由控制或是設備控制權上有所關聯，一般在設備控制權上的控管，會利用軟體的方式來達成，例如採用控制權限旗標的方式或是控制權登記表等設計方式來達成，一般使用者在操控上不會察覺有何不同，所以封包的優先權設定在 IEC 61850 協定上並沒有特別強調其設定需求，故沒有詳述各項設備的通訊優先權限的設定，所以會建議一般使用著在此設定方面採用通訊常規的優先權預設值(3~4 之間)即可。

玖、結語

制定 IEC 61850 的最終目標，是希望藉由此一規範來達成「一個世界、一種技術，一個標準」(One World、One Technology、One Standard)的整合目標，當然的也因為如此，其規範就必須包含從最低層(OSI 第一層，Open System Interconnection)的設備通訊介面、通訊封包、訊框規劃、通訊格式…等等逐一規範到 OSI(Open System Interconnection)第七

層的程式運用、軟體撰寫、通訊控制...等，並且還需考慮舊有系統的包容性、新規範的建制、汰換設備新舊通訊的相容...等各方面的考慮，其有太多的層面需要牽扯到軟硬體的技术，讓這艱鉅的任務更加極為複雜化，其中推廣的時程及成本也是一般業者願不願意配合投入的考慮因素，另外，新技術的引入以及可靠性更是不可以或缺的環節，因為這會影響設備的維護成本以及規範的使用性，是否可以普及到一定的程度以及人才的培育問題，因此在短短地幾年，IEC 61850 已過了數次的修改與更正，為的不就是這多方面的考量及全面性的嚴謹度，因此連認證的廠家機構也慢慢加入此行列，可見其前瞻性的目標是有機會達成的，業界無不引頸期盼這全球在工業上的先進技術及唯一的整合標準可以早日得被推廣使用，已達成「一個世界、一種技術，一個標準」(One World、One Technology、One Standard)的整合目標，讓全世界的技術規範可以有被統一整合的日子。

在此最後章節的地方，借用一小段文字來感謝一些幫助小弟完成此文章的長官與幾位先進長輩和同事們，尤其是高屏供電區營運處的電驛組組長吳清章經理，在人員培訓方面上不乏餘力的幫助，更讓小弟有機會參加各項先進技術的研討會。再者是供電處的多位長官，包含張家熙課長、蔡隆田課長，在技術上的指教與資料提供方面，絲毫不藏私的提供給小弟作為參考，因為有各位的幫忙，今日才有小弟完成此篇文章的機會，感謝之意不及言語，原諒小弟拙言。

技術是日新月異，唯有統一性規範才有整合的曙光，因此，希望在不久的日子可以看到 IEC 61850 的制定目標「一個世界、一種技術，一個標準」(One World、

One Technology、One Standard)的達成，解決維護上的困擾，以及許許多多拼裝車(多系統性)的消失，讓我們一起期待這一天的到來。

參考資料

1. http://www.worldlingo.com/ma/multilingual_archive.html
2. <http://www.61850.com.cn/>
3. <http://www.ucc.ie/xml/>
4. ABB, 王中平 61850 上課講義
5. 供電處, 蔡隆田 「亞太電協大會(CEPSI) 論文」研讀後心得
6. 恆逸資訊, 鄭淑芬, Xml 簡介 <http://www.msservermag.com.tw/member/article/000915.htm>
7. RUGGEDCOM 2011 技術研討講義。
8. 旗標, 張民人、風信子 MCSE 網路概論。

GIS 161 kV 比壓器故障分析

台電綜合研究所 鄭強、范振理

摘要

SF₆ 氣體絕緣開關設備已廣泛使用於輸配電系統中，近年 161 kV 輸電系統氣體絕緣匯流排比壓器發生多起故障，GIS 製造廠提出之事故調查報告指出：比壓器與斷路器極間電容發生鐵磁共振 (ferroresonance) 現象為其肇因，並由 GIS 製造廠提供新型式鐵磁共振抑制器(ZD)作為改善對策；TPRI 亦於某發電廠 161 kV 開關場及配電變電所進行比壓器共振分析及事故調查，探討分析氣體絕緣匯流排比壓器及 ZD 動態響應及共振肇因。

關鍵詞：氣體絕緣變電所、比壓器、鐵磁共振

Keywords: gas insulation substation, voltage transformer; VT., ferroresonance,

一、前言

共振係變壓器穩態運轉模式之一，當電路包含電容及鐵磁性電感，由電源提供之時變電壓或激磁電流充分大時，即可於每半個週波時間中，改變鐵磁性電感值，此即鐵磁共振之定義。激磁電路在發生鐵磁共振情況下，關鍵性參數含電路之次諧波及諧波振盪；惟進行分析時，須注意變壓器負載類型，並於將時間域轉換為頻率域分析時，須注意波形零交越響應情況，可能造成 FFT 轉換誤差，影響鐵磁共振分析之正確性。

二、比壓器共振現象

1930 年間已有文獻提出某配電系統採用串聯電容器調整系統電壓，因為系統與其配電變壓器發生鐵磁共振，共振過電壓引起設備事故。1950 年代變壓器鐵磁共振之主要研究方向，在於改善變壓器模型及探討各電壓系統變壓器之鐵磁共振響應現象。在此期間，國外探討研究變壓器鐵心飽和行為方向包括：變壓器鐵心行為、磁滯、渦流損失；非線性飽和電感之近似線性化模型；模擬三相系統開關不同步操作之鐵磁共振；電壓波形及幅值對三相配電變壓器的影響等等。

在電力系統中，鐵磁共振或稱為非線性共振(nonlinear resonance)，是一個複雜性相當高的電氣性問題，通常配電系統之第一類單相配電變壓器，或非接地之三相 Yd 結線配電變壓器，以及現代低損失之變壓器較易發生鐵磁共振；而輸電系統中所採用的大型電力變壓器，較無發生鐵磁共振之疑慮。

系統中 R-L-C 串聯電路，較易引起變壓器激磁電流及磁通量升高，因而提高其繞組之感應電壓，進而令變壓器鐵心磁路脫離線性區域，進入飽和區域中，發生所謂的鐵磁共振；R-C-L 串聯共振，常見配電系統或是比壓器之鐵磁共振情況。變壓器端之感應電壓波形畸變嚴重程度，視變壓器磁路飽和點而定，例如電力變壓器運轉點之膝部電壓設計值，約在額定電壓值的 110 %，而比壓器之膝部電壓值，可達額定值之 160%；一般而言，在發生共振情況下，變壓器之感應電壓分佈在

125~145 %範圍中。在此過電壓情況下，可導致變壓器鐵心、主絕緣、附屬器材及用電設備損壞。

比壓器一次側線圈，亦可經由串聯電容器(series capacitor)激磁，電路電流可對比壓器產生線性或非線性共振。當比壓器鐵心之非線性電感(nonlinear inductor)經由串聯電容充電，也就是飽和磁性元件(saturated magnetic element)經由電容激磁所發生的共振現象。若於線性共振條件下，比壓器飽和磁性元件在其線性區域中，其感應電壓與激磁電流呈現線性關係；反之，電路元件共振於非線性條件下，比壓器飽和磁性元件將進入過激磁之飽和區域，感應電壓與激磁電流呈現出非線性關係，造成感應電壓波形畸變，及變壓器感抗降低，隨著共振電流增大，其運轉點更深入飽和區之雙重影響下，此時非線性情況，成為一種惡性循環，伴隨而來之過電壓、過電流及其衍生之熱損耗，可造成設備絕緣劣化或擊穿毀損設備。串聯電路之電容來源為：線路相間電容、導體對地電容、斷路器極間電容(grading capacity)、母線電容(busbar capacity)，以及套管電容(bushing capacity)等。

鐵磁共振與線性共振不同，線性共振是當電路中電感與電容阻抗維持定值。在線性共振中，電壓與電流是與頻率成線性關係。在鐵磁共振的狀況下，電壓與電流是由一穩定狀態突然跳躍到(sudden jump)另一個狀態。變壓器之激磁電流、磁通量、感應電壓與電源電壓、電流及頻率相關，同時亦與下列因素有關：系統電壓、變壓器鐵心初始磁通狀態、鐵磁電路的總損失、波形的初始切入點(the point on wave of initial switching)。若鐵心激磁電感與電容形成共振回路，電容應包含相間電容及對地電容(或電容組)，電流流經變壓器繞

組後由對地電容回流至電源，形成共振線路。此類鐵磁共振可能為基波、次諧波或渾沌模式，由相關阻抗值決定。變壓器鐵磁共振特徵說明如下：

- (1) 鐵磁共振之C值介於一個特定範圍內。
- (2) 發生鐵磁共振電壓及電流頻率，可能與電源頻率不同。
- (3) 若線路阻抗參數相同，鐵磁共振的初始條件不同，共振響應可能不同。
- (4) 共振時，電壓及激磁電流皆明顯放大。

變壓器發生鐵磁共振類型，說明如下，其共振波形，如圖 1 所示：

- (1) 基波模式(fundamental mode)：電壓/電流的週期與系統週期(T)相同，且包含諧波，經頻譜分析，除基頻(f_0)外尚包含其他整數倍頻諧波($2f_0, 3f_0\dots$)，屬於非連續性頻譜。
- (2) 次諧波模式(subharmonic mode)：電壓/電流的週期為系統週期的整數倍(nT ，多為奇數)，經頻譜分析，除基頻外尚包含其他分數諧波(f_0/n)，屬於非連續性頻譜。
- (3) 類週期模式(quasi-periodic mode)：此模式未含固定週期性，經頻譜分析，頻率可表示成 nf_1+mf_2 (其中 $n、m$ 為整數， f_1/f_2 為無理數)，屬於非連續性頻譜。
- (4) 渾沌模式(chaotic mode)：在頻譜分析上屬於連續性頻譜。

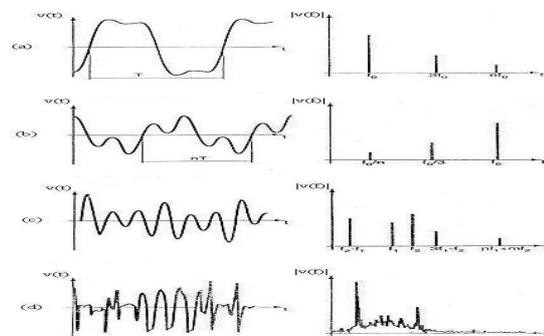


圖 1. 共振波形，(a)基頻模式，(b)次諧波模式，(c)類週期模式，(d)渾沌模式

三、比壓器鐵磁電路

變壓器在無載情況下，自一次側加入電源之激磁湧入電流，可以示波器或是暫態波形記錄器加以儲存與記錄；斷路器是用於高壓變壓器及電力設備停復電操作之重要工具，就變壓器加壓情況而言，若斷路器完成電路導通操作瞬間，電壓恰在通過零點時，係變壓器產生最大激磁湧入電流的情況；反之，若變壓器恰於電壓峰值處建立加壓條件，則激磁湧入電流不會發生過度的暫態響應情況，並且會以較短的時間穩定下來，達到正弦穩態條件。

1. 磁路原理

一個時變電動勢供應電力使電流 i_0 在線圈 1 中流動，電流產生時變之磁場線，則此時變場線通過線圈 2，於是在線圈 2 中便產生一個感應電動勢。當一個電感元件中的電流發生變化，導致另一個電感元件中產生感應電動勢，則可在同一電路中的兩個元件之間，或是兩個不同電路元件之間發生互感。在任何點上，線圈 1 所產生的磁場與 i_0 成正比，亦即若將 i_0 加倍，則磁場與感應電勢亦加倍，其次通過線圈 2 的總磁通量亦與磁場成正比。

2. 磁滯

當時變正弦電壓以特定頻率 f 作用於變壓器一次側線圈時，在鐵心上的磁場強度亦隨著正弦電壓頻率交替變換其極性，因而升高了在鐵心上的磁滯損與渦流損。在時變磁通環境下，感應電壓作用在各個薄片組成的矽鋼片上，因而產生渦電流損失。渦流損與矽鋼片厚度平方、頻率平方、磁通密度均方根值之平方成比例關係。

磁滯損與磁滯迴圈之面積成比例關

係，令 e 、 i_0 、 ϕ_m 表示感應電壓、無載電流、鐵心磁通，而感應電壓超前 $\phi_m \angle 90^\circ$ ，另磁滯現象顯示激磁電流 (i_0) 超前磁通 (ϕ_m) $\angle \beta^\circ$ ，具有非正弦波時變特徵，可將 i_0 分解為與磁通 ϕ_m 同相位之 i_m 及與感應電壓 e 同相位之 i_h ，如圖 2 所示；圖中第一象限 OABDO 之區域顯示磁路之能量損失，ABDEFIA 區域顯示磁滯迴圈所有的損失能量，此一損失能量與 i_h 有關。

在磁滯曲線上亦顯示激磁電流 i_0 與磁通 ϕ_m 之間的關係，例如激磁電流 i_0 由最大值驟然降至零時，磁通 ϕ_m 將不隨正常磁滯曲線遞減至零，而暫停留於 C 點，顯示出變壓器在停電後，鐵心中存有殘磁；若復電後，變壓器鐵心未能去磁，可於殘磁上形成另一磁滯迴圈，導致感應電壓瞬時波形中，存有直流分量，另殘磁現象亦為討論變壓器暫態激磁湧入電流響應基礎。

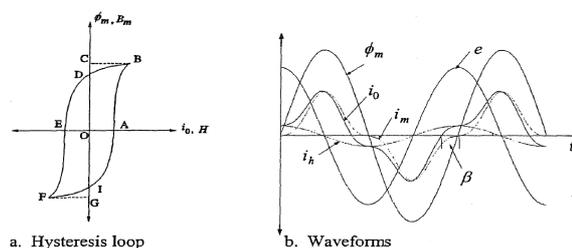


圖 2. 磁滯曲線及 $v-i-\phi$ 波形

四、電路參數及建立模型

在比壓器故障案例分析之 GIS 匯流排比壓器電路組成，包含匯流排、線路側斷路器、匯流排聯絡斷路器之極間電容與三相 Ynyn 結線之比壓器電感；斷路器主觸頭於閉合位置時，匯流排受電中，極間電容處於旁通短路狀態，此時系統電壓直接對比壓器一次側提供激磁電流；其次，斷路器於開啟狀態，系統電源、極間電容與比壓器電感形成 L-C 串聯電路，比壓器一次側激磁電流與此 L-C 串聯電路阻抗有

關；線路側或聯絡斷路器改變為啟斷狀態時，斷路器主觸頭於分離瞬間，其極間電容與比壓器電感立即形成 L-C 串聯電路，匯流排仍處於帶電狀態；#1~2 匯流排比壓器與極間電容電路，系統操作與#1~2 比壓器連接狀態，如圖 3 所示；比壓器激磁電流-磁通值，如表 1 所示，激磁曲線如圖 4 所示；依據 GIS 製造廠提供之 GIS 及比壓器技術資料，整理相關參數及建立 ATP 模型，模擬電路如圖 5 所示，電路元件含斷路器極間電容、比壓器非線性電感、二次側負擔及鐵磁共振抑制器 ZD 等，依變電所 161 kV 匯流排停復電操作模式，線路停電或啟斷連絡斷路器之模擬結果，如圖 6 所示，圖中顯示比壓器二次側電壓維持正弦波，共振頻率未改變(系統頻率等於共振頻率)，惟直流成分改變其正負週波之對稱性。

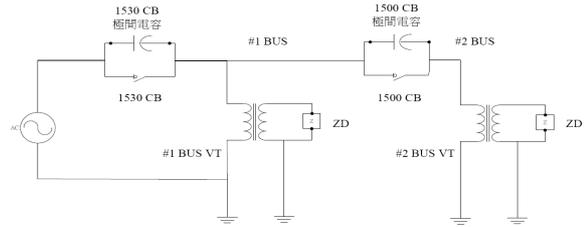


圖 3. #1~2 匯流排比壓器與斷路器極間電容之組成電路

表 1： VT 之 $i-\phi$ 數值

i	0.00087	0.00339	0.01239	0.02478	0.04542	0.06194	0.08672	0.13214	0.16462
ϕ	189.14	378.29	491.77	567.43	643.09	680.92	718.74	756.57	758.46

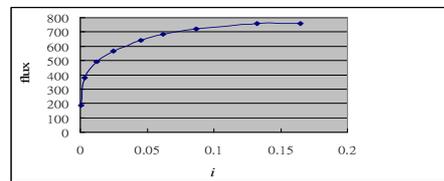


圖 4.比壓器激磁曲線

- (1) 氣體絕緣比壓器額定電壓：161/√3 kV/115-66.4 V/115-66.4 V/66.4 V、0.3 ZZ/0.3 ZZ/0.3 Z、BIL 750 kV；規格之 ZZ 符號表示額定負擔為 400VA，Z 符號表示額定負擔為 200VA。
- (2) 一次側及二次側電感為 $L_p=41157$ mH、 $L_s=0.02128$ mH。
- (3) 斷路器於啟斷狀態下，極間電容為 2600 pF，氣體絕緣開關設備對地電容值為 800 pF；66.4 V ZD(抑制器)之阻抗值為 0.12~0.42Ω，115 V ZD(抑制器)之阻抗值為 0.93 Ω。
- (4) 由廠家提供之比壓器激磁電流-磁通量對應數值(如表 1)，轉換為激磁曲線，激磁曲線顯示激磁電流在 86.72 mA 時，比壓器鐵心已逐漸進入飽和區域中。

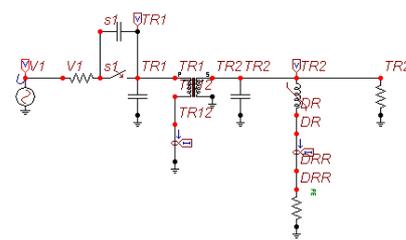
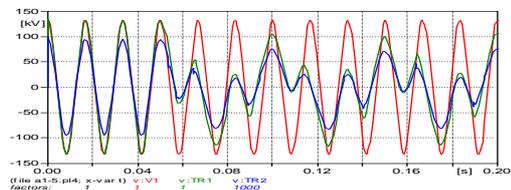
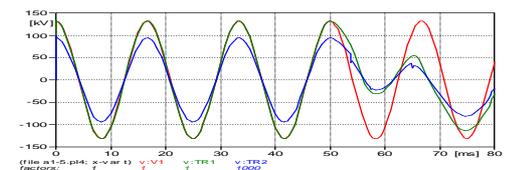


圖 5. ATP 模擬電路



(a)



(b)

圖 6. VT 一、二次側電壓響應模擬結果

五、比壓器動態響應量測與分析

2007年11月間於某發電廠161 kV開關場進行MOF VT動態響應試驗，以線路正常停電操作模式為試驗基礎，檢討分析比壓器之動態響應；其次於配電變電所161 kV匯流排停復電操作中，以比壓器二次側電路裝設新型式ZD之狀態，檢討比壓器之動態響應。

1. 比壓器二次側額定 R-L 負擔之共振響應

在比壓器二次側負擔為R-L被動元件情況下，系統電壓經斷路器斷口之極間電容與比壓器一次側繞組形成L-C串聯電路後，a、b相電壓值顯示為0.75 pu；長時間之三相電壓及c相二次側負擔電流波形，如圖7所示；展開相關記錄波形後，顯示c相電壓升高至2.21 pu，電壓波形發生畸變，因過激磁而令其鐵心磁路進入飽和區域，其二次側負擔電流波形發生嚴重畸變，顯示二次側負擔之L被動元件因過電壓、過激磁易進入飽和區域；記錄波形如圖8所示。

反之VT運轉點於線性區域，其二次側電壓與負擔電流之波形皆可維持正弦波，如圖9所示；比壓器於線性區間之頻域頻譜以基波為主，不含諧波成分，如圖10所示；本項檢測分析結果顯示：L-C串聯阻抗之電路電流，可改變VT激磁電流及感應電壓值；激磁電流升高後，可導致VT進入飽和區域，鐵心電感因而降低，串聯電路之電流再升高，令比壓器鐵心磁路，更深入飽和點。分析結果顯示此現象，屬基波共振模式。

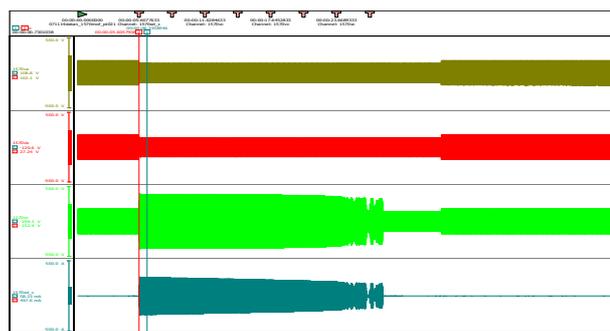


圖 7. DS 啟斷後 MOF PT 三相電壓及 c 相 ZD 電流波形

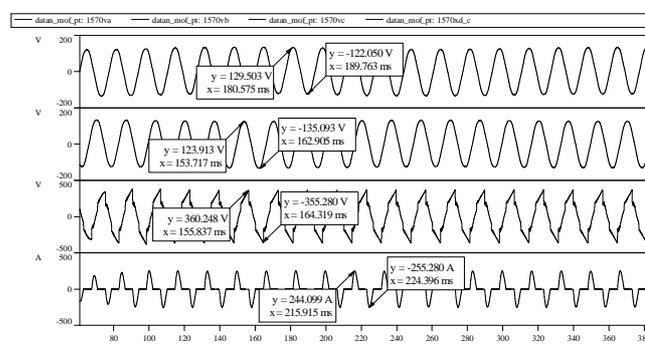


圖 8. DS 啟斷後，MOF VT 三相電壓及 c 相二次側負擔電流波形，c 相電壓及電流過激磁畸變波形

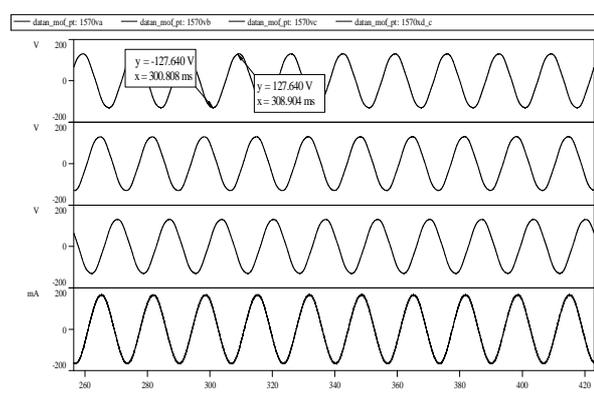


圖 9. DS 啟斷後，MOF VT 於線性區間之三相電壓及 c 相二次負擔電流波形

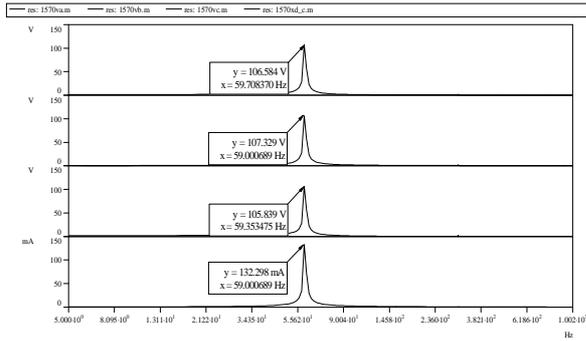


圖 10. DS 啟斷後，MOF VT 於線性區間之三相電壓及 c 相二次側負擔電流頻譜

2. 比壓器二次側負擔含 ZD 之共振響應

隔離開關啟斷前，a 相二次側峰值電壓為±93.5 V，均方根值為 66.5 V；隔離開關開啟後，VT 二次側三相電壓波形畸變持續時間分別為 ϕa 857.4 ms、 ϕb 238.4 ms、 ϕc 523.1 ms。VT 在此振盪期間，三相電壓幅值，如表 2 所示；三相電壓振盪波形及 ZD 電流波形，如圖 11~12 所示，在此振盪期間，三相 VT 二次側電壓正負週波瞬時波形不對稱，顯示波形中含有直流成分。

以 a 相波形記錄為例，隔離開關開啟後，a 相比壓器二次側瞬時電壓，超越±93.5 V 共有 14 次，其中過電壓最大值及最小值為 122.967 V 過電壓 1.315 pu，-133.908 V 過電壓 1.432 pu；電壓在此振盪期間電壓瞬時值，呈現出正負週波不對稱，波形中含有直流成分，顯示鐵心磁路運轉點偏移零點。電壓波形中的直流分量，將對時域與頻域轉換造成次諧波之影響。本文以電壓對時間的微分方程式濾除直流成分；a 相電壓原始波形及其瞬時值對時間微分後之波形，如圖 13 所示，圖中電壓幅值及相位受到 ZD 作用而驟然改變時，微分值亦可顯示對應之變化速率；進一步將微分值

轉換為頻域時，顯示頻譜以基本波、五次、七次諧波為主，a 相電壓頻譜，如圖 14 所示。分析結果顯示此一現象，亦屬基波共振模式。

表 2. DS 開啟後 VT 二次側三相電壓數值記錄

	V _{an} 161 kV	V _{bn} 161 kV	V _{cn} 161 kV
From: 0:00:45.264 To: 0:00:46.143, Duration: 879.800 ms, Samples: 8799.			
Mean :	-25.264 mV	283.332 mV	70.558 mV
RMS :	50.146 V	40.844 V	45.542 V
Maximum :	122.967 V	114.417 V	113.092 V
p.u.	1.31	1.22	1.21
At time :	00:00:45.293	00:00:45.337	00:00:45.382
Minimum :	-133.908 V	-86.775 V	-119.917 V
p.u.	1.43	0.92	1.28
At time :	00:00:45.551	00:00:45.312	00:00:45.773

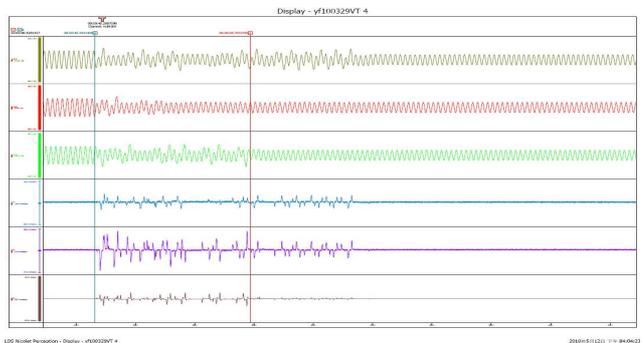


圖 11. DS 開啟前/後，三相 VT 二次側電壓、ZD 電流波形

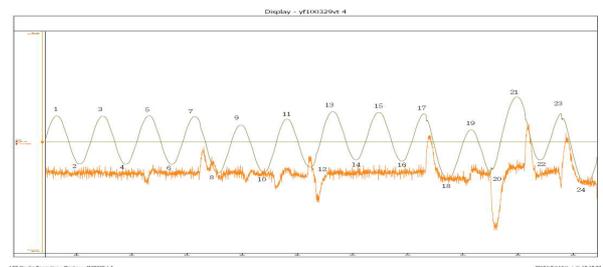


圖 12. VT a 相二次側電壓及 ZD 電流波形

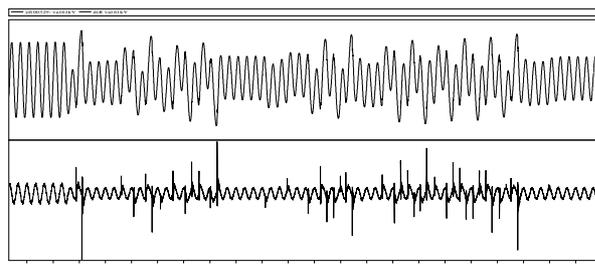


圖 13. a 相二次側電壓及其微分之波形

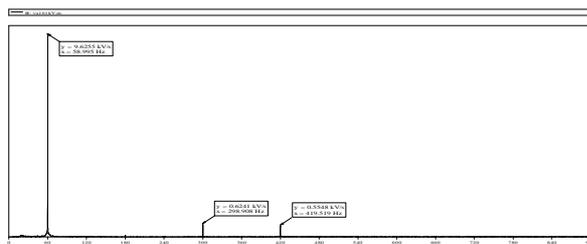


圖 14. a 相二次側電壓頻譜

六、結論

電力系統中的各型變壓器，一般應用於額定電壓及頻率之運轉情況中。在此條件下，產生額定激磁電流，建立磁通及一次繞組之感應電壓，亦即激磁電流決定繞組感應電壓值。161 kV 匯流排於停電操作時，斷路器於開啟瞬間，即形成匯流排透過連接斷路器極間電容與比壓器一次側迴路電感形成一 L-C 串聯電路。在此動態響應過程中，電路阻抗受到頻率影響較電壓為大；若電路阻抗於斷路器開啟操作動態響應中阻抗降低，系統電壓將提高串聯電路上的電流，因此可導致比壓器過激磁，而進入磁飽和區域。比壓器進入磁飽和區域後，其電感視飽和嚴重程度而亦形降低。過激磁亦同時引起繞組感應電壓升高，產生過電壓、過電流、波形發生畸變、鐵心與繞組過熱等異常現象。

依據比壓器於現場檢測分析結果，屬基波共振模式，而波形中的直流成分，係因 ZD 動態負擔所引起，改善建議事項臚列如下：

1. 斷路極間電容與匯流排對地電容之分壓

比為 0.76，於斷路器開啟動態響應中，因阻抗變動，易導致比壓器磁飽和；設備製造廠家宜依斷路器參數，慎選比壓器配件，避免串聯電路阻抗變動，改變比壓器磁路運轉點。

2. 在 ZD 元件觸發後，比壓器電壓驟升至 1.3 pu，二次電壓仍維持正弦波形，顯示比壓器磁路並未發生側鐵磁共振。
3. 現行 ZD 屬主動式負擔，於電壓相位 $\pm 90^\circ$ 觸發時，令比壓器運轉點偏移，並產生直流分量，引起電壓波形持續振盪。本次試驗 VT 二次側電壓波形變動時間達 3.885 秒，顯示 ZD 主動式負擔觸發性能仍有改進與提升的空間。
4. GIS 於設計試驗階段，須考慮 GIS 正常運轉操作程序之各種啟閉結構，確定設備各個組成元件間的匹配性。

參考文獻

- [1] TPRI G7.8-2102-9839 “德義 D/S 161kV #1、#2 匯流排比壓器暫態量測”技術服務報告。
- [2] TPRI G7.8-2102-9941 “分析宜府 D/S 161 kV GIS #1、#2 BUS VT 鐵共振試驗”技術服務報告。
- [3] IEEE Standard 1313.1-1996, “IEEE Standard for Insulation Coordination – Definition, Principle, and the Rule”, IEEE Press, July 1996.
- [4] Cadick corporation, “TECHNICAL BULLETIN - 004a Ferroresonance”, May 29, 2002.
- [5] R.N Mukerjee, Badmanathan Tangawelu, Aznan Ezraie Ariffin, Malathy Balakrishnan, “Indices for Ferroresonance Performance Assessment in Power Distribution Network,” International Conference on Power Systems Transients - IPST 2003 in New Orleans, USA.

低壓智慧馬達控制系統(IMCCs)技術探討

國立台灣海洋大學電機工程學系 黃培華

國立台灣海洋大學電機工程學系 柯侑寬

國立台灣海洋大學電機工程學系 許家瑋

施耐德電機股份有限公司 宮鴻華

台電嘉南供電區營運處電驛組 許文興

摘要

由配電低壓系統應用，從傳統及多數既有之馬達控制系統(Motor Control Centers-MCCs)盤附有馬達負載之電力需求，很多MCCs盤內部裝置多種設備，對監控系統功能，也常因為設備未具有自動傳送訊號至控制系統，以致於馬達發生運轉問題時，往往需要發費較多之人力及時間來處理及分析事故之原因，因此對馬達再啟動技術之時間上會花更多時間處理。目前低壓馬達控制系統正研發推展智慧馬達控制系統(Intelligent Motor Control Centers-IMCCs)來取代傳統MCCs盤之架構，一方面可有效控制馬達負載之電力進而研發出節能之功能，一方面可利用IMCCs SCADA 監控系統來監視IMCCs盤之運轉情況做為即時運轉資料之傳送及用電量之掌握，更可以將馬達事故之訊息即時傳送到監控系統做為資料收集並快速排除事故以加速復電縮短時間之效率。IMCCs 盤中主要以推展馬達控制器為主要方案並搭配IMCCs SCADA 來做低壓系統之電力效能做最佳化管理，以網際網路Ethernet 為資料傳輸之路徑來取代MCCs之硬線訊號處理之方式更大大節省空間及成本費用。IMCCs 盤數位式馬達控制器取代傳統式MCCs馬達啟動盤中所用的積熱電驛、比流器、輔助電驛、電流轉換器、

指示燈及盤內繁雜之控制配線等，如圖 1 所示。

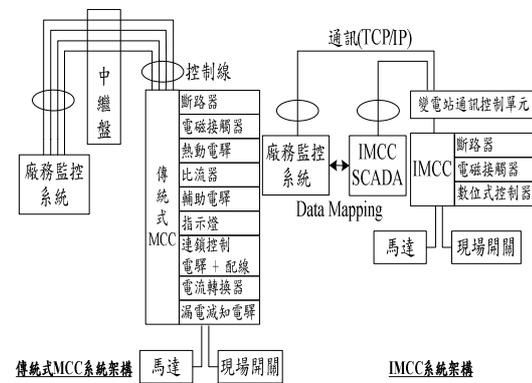


圖 1 MCCs 盤與 IMCCs 盤之比較圖

IMCCs SCADA 結合新技術引進數位式馬達控制器，將低壓電力系統之管理控制做制度化及人機介面自動化，更結合節能觀念做為用電管理之成本管控。本文以施耐德電機 Tesys T 數位式馬達控制器並搭配施耐德電機 IMCCs SCADA 系統並以學術研究軟體 MATLAB 模擬做為技術研討之對象。

I. 前言

馬達又稱為電動機，將電能轉換為機械能，為線路末端之負載用電設備，為維持負載電力穩定及低壓系統供電可靠品質是有賴於穩定之電力系統運轉，常因馬達設備保護不足或傳統單一保護設備之誤動作，造成馬達負載斷電而降低電力可靠度

運轉及無法提升低壓電力系統穩定性，透過對馬達控制器技術探討及結合低壓監控系統(IMCCs SCADA)來確保低壓馬達迴路設備正確運轉，是有助於提升低壓用電穩定性及用電安全。低壓數位式馬達控制器更兼具有先進之馬達控制技術，依馬達啟動特性而建置出適當穩定之控制方案進而改善低壓馬達啟動常跳機之窘境，更可利用變頻之技術來降低不必要之用電管控，達成節能之政策，因應操作平台及用電管理系統化，數位式馬達控制器更可透過 IMCCs SCADA 達到遠方控制馬達自動之方法，第一時間完成操作面之控制管理及達成理想化之安全機制，並利用即時上傳資料系統做全面化低壓電力系統之資料分析更是有助於人員做工作平台之自動化監控管理，提供使用之便利及彈性。本文探討多功能數位式馬達控制器 Tesys T 及 IMCCs SCADA 做低壓電力系統之技術研究並針對馬達特性及運轉模式利用學術理論以 MATLAB 軟體模擬低壓馬達系統運轉概況輔助實際系統之研究來驗證 IMCCs 之成效。

II. 主要內容

一、馬達原理及分類

三相交流馬達中以感應馬達(又稱異步馬達)及同步馬達為主，感應馬達又可分類為鼠籠式感應馬達及繞線式感應馬達主要是依轉子構造之不同，而同步馬達依轉子不同可區分為永久磁鐵及電磁鐵；感應馬達及同步馬達均以定子及轉子組成，運轉原理以定子線圈通上交流電，產生旋轉磁場，旋轉磁場吸引轉子一起作旋轉運動。

感應馬達為當把三相電源加於馬達的定子時，定子繞組線圈會產生旋轉磁場，感應電流以使轉子運動，轉子上會產生感

應電流，而轉子依電磁感應也會產生磁場，旋轉磁場與轉子有相對切割運動，感應出電動勢並產生電磁力，進而產生旋轉力矩，帶動轉子轉動，定子通上電源後所建立之旋轉磁場與轉子轉速有一轉速差(Slip)，也是因為有轉速差因素又稱為異步馬達，轉速差是決定轉子轉動與否之關鍵。

同步馬達為當把三相電源加於馬達的定子，定子繞組線圈中產生旋轉磁場，轉子也產生激磁磁場，定子的旋轉磁場會吸引著轉子的激磁磁場一起轉動，轉子的轉速會依定子旋轉磁場的轉速而相同，也稱之為同步停止轉速，當轉速非同步速度時，同步馬達將失去轉矩而停止運轉，同步馬達轉速差一直為 0，因此稱為同步馬達。

二、數位式馬達控制器特色

數位式控制器 Tesys T (施耐德電機)使用於低壓馬達盤，Tesys T 為具有保護、控制、量測、通訊及監視之多功能數位式控制器。Tesys T 最主要除了取代 MCCs 盤之單一積熱保護設備外，還包含有馬達啟動過長保護、馬達堵轉保護、電流不平衡、欠電流、接地過電流保護、過電流保護、欠相及相序保護等多種功能，主要對馬達運轉所可能發生之情況做更健全之保護來防止馬達遭受到更大之結構破壞。目前使用上以搭配電壓模組為使用，主要提供用電量及電壓相關之保護，更以兼具實功率及功因角做為保護方案。對於低壓系統壓降作法上，控制器更提供壓降管理機制，以短時間可承受之電壓壓降幅度為設計邏輯做為因應壓降事件之應對做法，簡言之，當壓降幅度超過可承受之時間就立即讓馬達停止運轉，此外，邏輯規劃上更開發出當電壓在某時間內回復正常位準時即可自動讓馬達重新啟動運轉，壓降管理

之機制更顯現出數位式控制器之優越功能進而對低壓馬達控制系統有提升運轉效能之功效。

除了保護功能外，Tesys T 之控制功能更可結合目前各種馬達機種之特性做啟動特性控制，改變以往 MCCs 使用多數硬線控制方式，以使用多數之感應馬達而言，應用範圍包含直接啟動、Y-D 降壓啟動、雙速啟動及正逆轉啟動，更可利用內部可程式應用編寫程式來達到特殊之啟動及停機管控模式。直接啟動也稱為全壓啟動，適用於小馬力數之馬達，主因是馬力數小，啟動電流對線路不致於產生大壓降情況；而常見 Y-D 降壓啟動方式，啟動時定子繞組為 Y 接，啟動完成後轉為 D 接，剛啟動 Y 接電流為 D 接電流之 1/3 倍，因此在接線上要特別注意，避免控制器所取之電流訊號有誤，Y-D 降壓啟動方式主要作法是防止啟動電流過大產生壓降而影響電壓品質。對 Tesys T 控制器而言，感應馬達之串聯電抗器或是串聯電阻器之啟動模式也都可使用，甚至同步馬達使用之變頻啟動模式都有因應之道。控制模式之建立更納入保護功能之機制，這也是 IMCCs 盤之優越化之功能項目。

量測功能也是 Tesys T 控制器所具有之功能之一，利用量測功能除了可以明確了解馬達啟動之電流變化情況外，也可在馬達運轉時了解負載變化量，可做為負載管理或是用在節能方案上之用電管理。控制器之量測功能除了線上顯示電流資料，也可利用定義馬達滿載電流(Full Load Current-FLC)之基準量換算 FLC 百分比，做為運轉之 FLC 百分比之資料核對。

Tesys T 控制器所附有之狀態監視功能可納入做為馬達預防保養機制進而提高馬達使用之安全性也可延長馬達運轉之年限。透過馬達啟動及停機之次數及運轉時

間累計計算，並將馬達啟動電流之大小值及啟動特性納入控制器狀態監視功能做管理更可確保馬達之運轉可靠性及提升運轉效能。

控制器強化之功能也應用於通訊功能之結合，數位式之設備除了強化保護、控制功能外，也發展出通訊傳輸做為與監控系統之資料往來及控制權之資料位址，目前所發展之 IMCCs SCADA 就是整合數位式控制器之資料並開放控制器之操作模式做為低壓電力系統之控管機制平台。控制器通訊模式主要以 Modbus TCP/IP 網路架構為建制平台搭配星形(STAR)或是環形(Ring)傳輸結構將資料做傳輸交換，通訊模組中也提供多種通訊格式，例如 Profibus 之通訊格式也開放做為資料傳輸之方案。通訊網路之建構更考慮到通訊穩定性，資料傳輸更可開放於 DCS (Distributed Control System)系統做資料連結，更可開放操作權限給 DCS 使用做為整廠區之電力系統之管控權。

三、數位式控制器應用於低壓系統馬達保護

(1) 馬達積熱保護

積熱保護是主要用於馬達運轉之過載保護，保護參數設定以馬達滿載電流為依據做為過載跳脫之計算準則，為防止馬達過載運轉而造成馬達設備之事故發生，因此積熱保護元件對馬達保護而言是必要的。積熱保護以反時曲線(Inverse Thermal)為主要計算跳脫時間之曲線，程式計算中以目前馬達運轉之積熱值做為積熱跳脫之運算模式，與大型馬達保護電驛之積熱保護元件觀念大致吻合。

控制器之積熱保護利用積熱量可計算出距離跳脫時間之顯示，當馬達達到快過載運轉之前制階段時，控制器本身可依積熱保護之警報位準依條件達到是否而送出

積熱警報訊號，而馬達控制器之邏輯計算方程式更可計算出距離積熱保護之跳脫時間，如圖 2 所示。

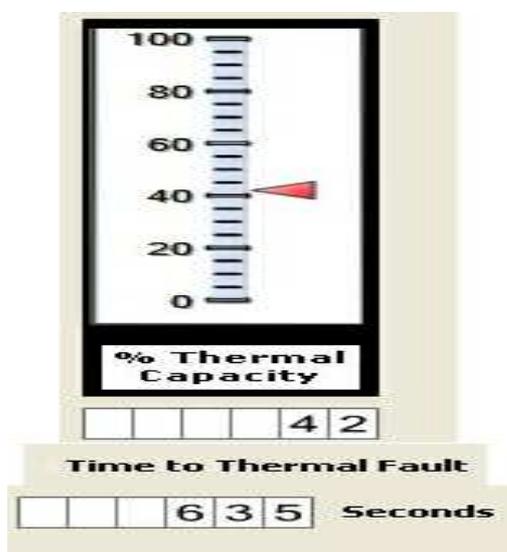


圖 2 積熱保護之跳脫時間顯示功能圖(資料來源：施耐德電機)

積熱保護跳脫時間顯示功能可讓人員在特定時間內馬上做處置防止馬達過載之條件發生進而引起馬達跳機造成生產線之影響。控制器建立之運算程式包含冷機曲線，如圖 3 所示及熱機曲線，如圖 4 所示，做為積熱保護之運算基準。冷機曲線及熱機曲線中可發現，以過載條件下所對應之時間會有所不同。以冷機及熱機曲線加入積熱保護是對馬達提供更可靠及更吻合馬達實體特性之過載條件保護。

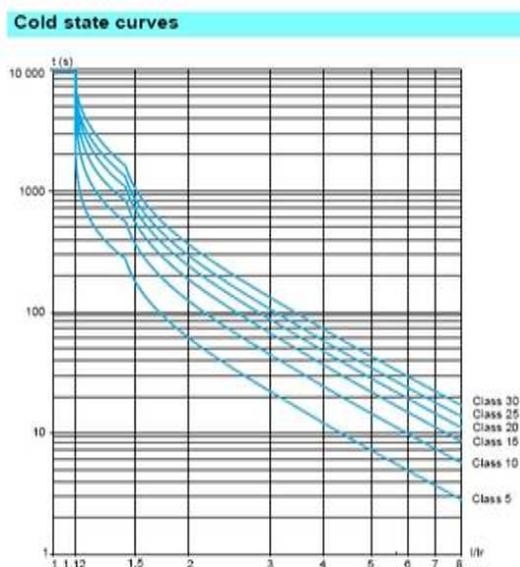


圖 3 積熱保護之冷機曲線圖

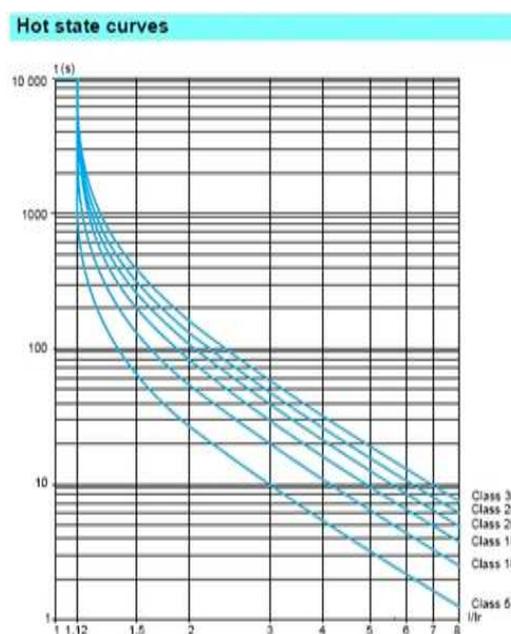


圖 4 積熱保護之熱機曲線圖

此外，當馬達過載而發生跳脫時，控制器積熱保護更提供禁止再啟動之功能連鎖，主要讓馬達鐵心線圈溫度降低到某一準位後才准許馬達再次啟動運轉，如圖 5 所示。

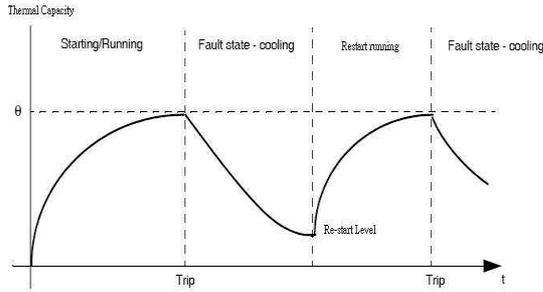


圖 5 積熱保護之禁止再啟動功能圖

控制器因具有可程式計算之能力，因此當馬達過載跳脫後，控制器之程式運算可依馬達跳脫之積熱值並依積熱保護之重置門檻數值做取樣依程式條件式計算出距離可再次啟動之時間顯示，此功能更可幫助人員做為恢復馬達運轉之時間數值參考並可確保馬達再次啟動之安全性。

(2) 電流不平衡及欠相保護

馬達運轉時也會有發生三相電流不平衡狀況，以感應電動機而言，三相交流馬達定子有三組繞組，三相交流電互差 120 度，因此繞組亦相隔 120 度，當電流流經繞組時，將在定子產生同步旋轉磁場，定子旋轉磁場切割轉子會在轉子上產生感應電流，轉子感應電流亦形成旋轉磁場，二磁場相互作用將產生轉矩，轉矩變化時電流也跟著變化，因此電流不平衡保護也提供做為轉矩改變之保護方案，而因應馬達啟動時會有發生三相電流不平衡之暫態現象，Tesys T 控制器在運算邏輯中將電流不平衡保護建置在馬達啟動階段(Start state)及運轉階段(Run state)，也就是馬達啟動時電流不平衡保護時間(T1)與馬達啟動特性完成後時電流回到水平之電流不平衡保護時間(T2)做不同之運算條件，如圖 6 所示。

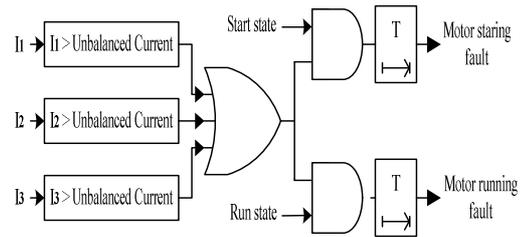


圖 6 電流不平衡保護運算邏輯圖

常見之電流不平衡保護是以馬達迴路之三相動力線做為電流不平衡保護之對相，當三相其中一相發生問題時，包含接序不良時，就會產生電流不平衡現象，此問題也是會對電流欠相保護產生相關性，因此為區別電流不平衡保護及欠相保護之元件，會以電流不平衡率做為不平衡保護及欠相保護之區分，以欠相保護而言，電流不平衡率之門檻就會大於不平衡保護。

(3) 啟動過久保護

馬達保護之啟動過久功能是因應馬達啟動時之特定時間做為馬達啟動之保護作法，正常情況下，馬達啟動後電流會在特定時間內回到水平位準，當電流從一啟動後之瞬間高峰值到回到水平位準為馬達啟動之特性，各馬達組成元件不同會有不同之啟動特性，同步電動機與感應電動機之啟動特性就明顯不同，當在特定時間內馬達啟動電流從峰值未回到正常水平位準時，啟動過久之保護功能就會認定馬達在啟動程序上有問題，就會立即停止馬達運轉來保護馬達，因此，啟動過久保護必需要配合馬達本身啟動特性做時間標置及水平電流位準之適當設定讓馬達在啟動後運轉時能有保護功能做為針對馬達啟動時之保護方案。

(4) 堵轉保護

控制器設計堵轉保護模式應用於馬達運轉階段使用，並非於一開始啟動階段，

當轉矩變化時電流也跟著變化，過轉矩(excessive torque)時易會發生堵轉情況，最常見情形為馬達運轉轉速不流暢並隨絆著異常聲音，控制器設計計算模式以 FLC 倍數比並搭配時間判斷做為堵轉保護之判別條件。

(5) 過電流保護

過轉矩時易發生電流過高情況，對馬達保護嚴謹者，可考慮加以過電流做為保護，一般常使用過電流之情況以保護馬達迴路之三相動力線為主，配合接地過電流保護達到對馬達迴路之線路保護。

(6) 快速閉鎖保護

快速閉鎖保護是應用於馬達啟動瞬間啟動電流過大瞬間閉鎖保護功能，主要是防止啟動電流過大導致保護元件跳脫，啟動電流過大引起原因是來自於激磁電流(Inrush current)，因此擔心啟動時激磁電流過大而傷害到馬達，可以考慮使用快速閉鎖保護，快速閉鎖保護可在啟動時間內對保護功能進行閉鎖。

(7) 壓降管理策略

控制器提供壓降策略以因應壓降發生時所應對之方法，使馬達在使用上得到更大之效能。低壓系統常因設備事故問題或因高壓系統事故影響而造成壓降情況，Tesy T 控制器在設計上考慮到壓降情況，因此以壓降管理策略做為因應之方案，主要以兩種模式使用，一為壓降發生時讓馬達停機，另一模式為壓降發生時讓馬達停機並且當電壓在短暫時間內恢復正常時就自動讓馬達重新啟動運轉。

馬達是否可承受住大幅壓降而繼續運轉需要加以思考，在電壓不穩定之情況下讓馬達停機運轉是要保護馬達，當有壓降情況時，必要以考慮壓降之振幅及壓降之時間做為決策考慮是否馬達要停機運轉。而當使用壓降之自動重新啟動之功能時，

必需要考慮到馬達積熱量，當積熱量過高時，或是接近滿載電流時，是不建議使用壓降之自動重新運轉之功能，主要是考量到馬達因壓降停機後積熱量在很短時間內積熱量值未下降到再次啟動之安全範圍值，怕對馬達內部元件造成影響，如果是輕載運轉時，是可以考慮使用壓降之自動重新啟動之功能。

(8) 功率因數保護

功率因數考慮到馬達運轉後之電流及電壓之振幅及角度變化，在馬達空載運轉時，馬達功率因數會很低，利用功率因數保護功能來監測馬達使用容量可做為馬達調速之數值參考。以同步馬達而言，因具有可維持功因為 1 運轉(電阻性)，也可因情況調整場電流，當欠激磁時(電感性)，功率因數就會發生落後(吸收虛功 Q)。當過激磁時(電容性)，功率因數就會發生領先(提供虛功 Q)。因此，透過調整場電流可進一步改善功率因數，因此透過控制器之功率因數保護更可達到調整後之使用是否符合運轉之目標值。此外，因應低壓負載變動大及負載多數為非線性負載，因此為維持良好功率因數都是使用電容器，加上目前變頻器已廣範使用，因此功率因數保護可做為警報用途來監測馬達低壓母線及馬達負載之變化。

四、數位式控制器應用於低壓馬達操作應用

低壓馬達之接序，如圖 7 所示，以 IMCCs 之架構而言，因盤內設備已簡化許多，因此 IMCCs 盤內之設備主要為斷路器、數位式控制器及接觸器，數位式控制器並已內建感測元件用於感測電流大小，利用數位式控制器之接點去控制接觸器做為控制馬達迴路導通，IMCCs 盤並可以利用現場操作按鈕進一步透過數位式控制器

達到控制馬達運轉或停機，以數位式控制器而言，在邏輯編寫上以訊號導入做為控制接觸器導通之模式來控制馬達迴路啟動。

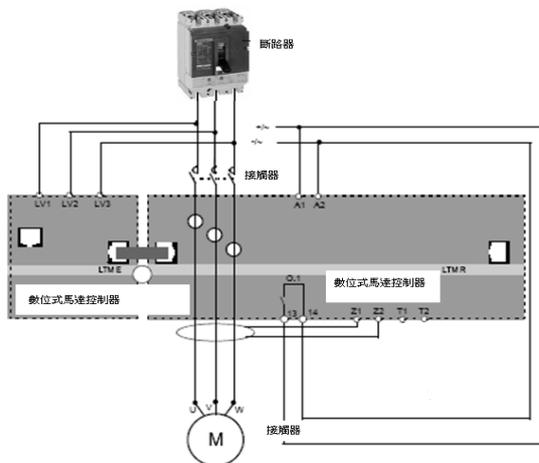


圖 7 IMCCs 低壓馬達設備簡易排序接法圖

數位式控制器可應用於直接啟動模式之馬達、正逆轉模式之馬達、Y-D 降壓啟動模式之馬達及雙速模式之馬達，另外更有客製化之控制程式編輯功能以因應特別模式之馬達。數位式控制器已把除了客製化功能外，上述之馬達模式都已將程式標準化內建於控制器中，主要是讓使用者更方便操作平台，而客製化之程式更可依現場馬達之控制方式或特性進行編輯進而達到控制馬達功能。以正逆轉模式之馬達而言，數位式控制器建製兩種方案，一為手動切換從開始運轉之正轉啟動經手動切換轉為逆轉運轉，另一方案由控制器直接做正逆轉切換運轉，只要給定正逆轉之切換時間，控制器就可自動切換，操作效率更大大提升也可改善人員不當之操作程序。

五、IMCCs SCADA

IMCCs 盤利用數位式控制器除了更健全馬達保護功能外，在控制馬達啟動或是停機流程上更是提升效能，透過 IMCCs SCADA 建置，數位式控制器之資料即時

上傳至控制中心，更可將資料開放給廠務系統，是一套資料全開放式之低壓電力監控系統，如圖 8 所示。

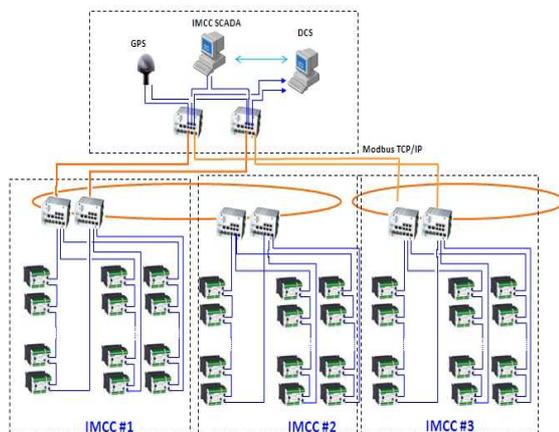


圖 8 IMCCs SCADA 系統架構圖(資料來源：施耐德電機)

控制權之操作也改善現場操作之不便性並提升運轉時間上之效能掌握，對於馬達設備預防保養也可以利用數位式控制器內建之功能透過 IMCCs SCADA 做預防保養之編製流程，利用次數計算及預警之機制告知人員進行保養之時間點，大幅提升設備安全使用率及節省人員現場巡檢之人力。利用 IMCCs SCADA 更可即時掌握馬達事故之資訊，保護功能動作之項目，如圖 9 所示及事故前、事故後之趨勢圖更可進一步幫助事故分析。



圖 9 IMCCs 數位式控制器保護動作圖

IMCCs SCADA 對於用電管理部份也有資料匯整之能力，各 IMCCs 盤之用電量都可經由數位式控制器取得，人機介面也相當成熟，如圖 10 所示，都可經由 IMCCs SCADA 做各區域之用電量即時資料顯示並以預警機程式做為防止用電過載發生，如圖 11 所示。

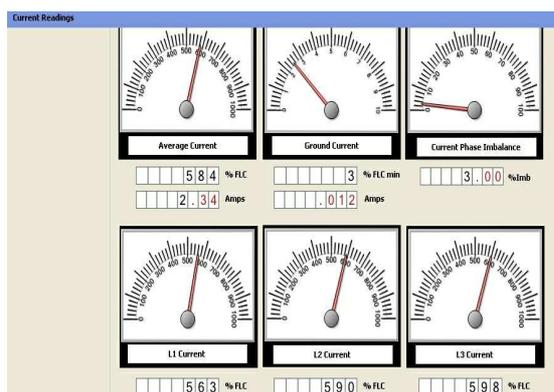


圖 10 IMCCs 盤之控制器量測功能圖

設備名稱	% FLC		Amps		% Imb		Average Current (Amps)		Ground Current (Amps)		L1 Current (Amps)		L2 Current (Amps)		L3 Current (Amps)			
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min		
Panel-1	82.0	10.0	1.0	3.0	84.0	80.0	84.0	80.0	84.0	80.0	84.0	80.0	84.0	80.0	84.0	80.0	3,980.0	22.0
Panel-2	84.0	5.0	2.0	4.0	70.0	80.0	70.0	80.0	70.0	80.0	70.0	80.0	70.0	80.0	70.0	80.0	2,080.0	23.0
Panel-3	86.0	9.0	3.0	5.0	30.0	85.0	30.0	85.0	30.0	85.0	30.0	85.0	30.0	85.0	30.0	85.0	1,870.0	24.0

圖 11 IMCCs SCADA 用電管理圖

IMCCs 盤結合 IMCCs SCADA 系統更可發揮遠端操控平台之功能，利用兩段式之控制指令確保操作程序之嚴謹性及安全性，如圖 12 所示。



圖 12 IMCCs SCADA 遠方兩段式控制圖

六、低壓馬達模型建置

馬達啟動特性會依馬達種類不同而有所不同之啟動特性曲線，目前三相交流馬達已感應電動機及同步電動機為主，感應電動機及同步電動機都具有以定子及轉子所組成，兩者之啟動電流也會不同。利用 MATLAB 軟體來建置馬達模型並啟動馬達運轉，由圖 13 所示，馬達啟動電流會有瞬間高峯值並依啟動時間增加而趨於平穩，這是馬達啟動之特性，啟動電流峰值會依轉矩及馬達種類而有所不同，啟動到運轉之時間也會不一樣。

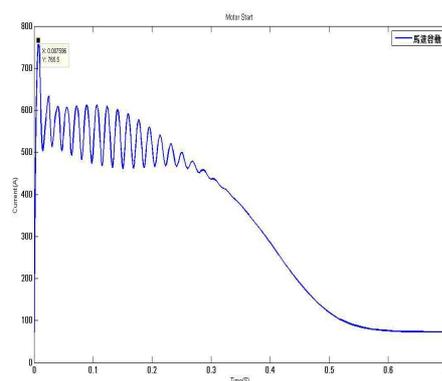


圖 13 馬達啟動特性模擬圖

透過單機馬達模型建置，如圖 14 所示，改變轉矩其電流就會有變動，當馬達啟動後到正常運轉時(0~4 秒)，於 4~6 秒時

發生馬達轉矩變化，如圖 15 所示，其電流就會有明顯變化，如圖 16 所示，利用保護元件來做為因應變動劇烈之電流趨式保護馬達之作法，如電流不平衡或是過電流保護等元件，因此建立多重保護模式對馬達本身是有幫助。

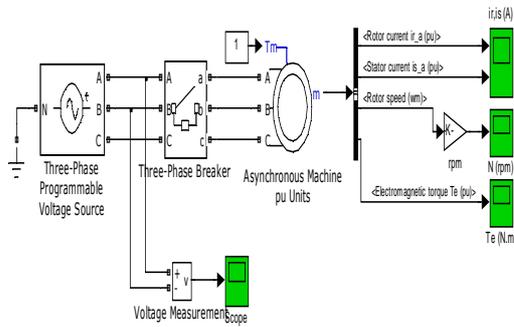


圖 14 單機馬達架構圖

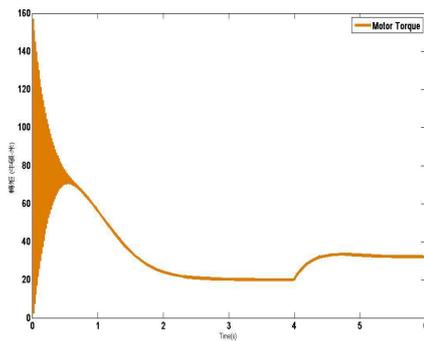


圖 15 馬達啟動後轉矩改變圖

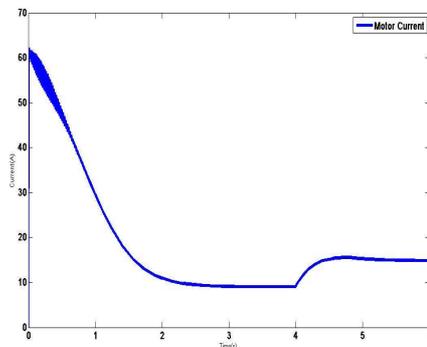


圖 16 馬達因轉矩改變產生電流變化圖

有效掌握馬達啟動特性就能對馬達保護功能之設定參數更具精準並確保馬達保護功能健全性。建置之 IMCCs SCADA 之優點是可將馬達運轉即時情況納入系統及人員掌握，確保用電安全及提升製成效能。

III. 結論

因工商業的蓬勃快速發展，為贏得追求利潤，使用自動化之設備是無法避免，IMCCs 之成熟技術，先進國家都有很多運轉實績，尤其是在化學工業、鋼鐵工業、造紙業及塑膠業等製造業，馬達是生產動力之重要設備，因此對於設備之掌控、維護保養、事故資料之分析、保護之健全化、安全性考量都面面俱到，透過 IMCCs SCADA 更可將配電低壓系統做整合使其配電低壓系統之電力應用更自動化，進而可提昇產能達到節能之目標。本篇之探討在學術研究 IMCCs 技術之成效可供國內企業界推廣使用之參考。

IV. 參考文獻

- [1] 李宏任，實用保護電驛，全華科技，1999 年 5 月。
- [2] 梁明祥，工業配電，文笙書局，1989 年 10 月。
- [3] 邱天基、陳國堂，電機機械，全華圖書，2010 年 10 月。
- [4] B. David and W. Greg, Intelligent Motor Control Centers (IMCCs) The Present and Future, Salt Lake City, Utah, IEEE/PCA 42nd Cement Industry Technical Conference, 2000.
- [5] David D. Blair, Daniel R. Doan, and Tim K. Kim, Networked Intelligent Motor-Control Systems, IEEE Industry Applications Magazine, 2001.

- [6] H. W. Beaty and J. L. Kirtley, *Electric Motor Handbook*, McGraw-Hill, 1998.
- [7] 施耐德電機公司網站，
<http://www.schneider-electric.com.tw>。
- [8] Schneider Electric, *Tesys T Motor Management Controller user manual*, 2009.
- [9] Schneider Electric, *IMCCs SCADA Solution*, Taiwan, 2010.