

韓國電業變革與電力技術應用之經驗

台電系統規劃處 張忠良 林求忠

一、前言

台灣電力公司與韓國電力公司之技術合作緣於1980年10月，當時雙方協議以簽訂「中韓電力技術暨能源合作委員會」合約方式執行，其目的在進行兩家公司技術及能源議題之經驗交流。委員會由雙方高階主管組成，每年輪流於台北及首爾兩地召開會議，由雙方相關部門派員出席。

中韓合作會議自1981年9月韓電組代表團至台北舉行第1屆會議以來，迄今年係為第26屆會議。期間因1992年8月中韓斷交，雙方曾中止交流兩年(1993-1994)，1995年雙方恢復互訪。

本(26)屆會議於民國97年4月21日至26日在韓國首爾舉行，本文即就訪韓期間獲得之寶貴資訊，針對韓國電業之變革、韓電系統架構與電網規劃、先進保護控制技術之應用、韓國電力市場交易制度、及韓電在智慧型電網之發展等項，摘要敘述。

二、韓國電業之變革

韓國電力股份有限公司(Korea Electric Company, Ltd. 簡稱KECO)成立於1961年7月1日，負責全國發電、輸電、配電等業務，直接集中進行各種電源開發計畫方案，並積極擴充電力設備，以因應超越經濟成長的電力需求。

1960年代後半期電力供需緊迫，KECO僅能做到恰好滿足需求的狀況。因此，政府就著手促使民間資本參與發電事業。

1968年Kyung-In能源公司開始從事發電業務，另外韓國水資源公社也建設水力發電用的多目標水庫。

1970年代，韓國電力公司為了長期電源開發與推展核能發電，投入資金累計達2兆韓幣之多，且多為貸款，加上能源危機發生，燃料費高漲，致使財務結構惡化。為求改善財務結構，韓電乃於1976年建議改由政府收購經營，韓國政府遂於同年12月30日制定韓電法(KEPCO Act)，且於1977年6月3日修改此法。並於1977年起至1981年間依據韓電法實施國營化，使得韓國電力股份有限公司幾乎成為全由政府出資之公司，乃於1982年1月1日改名為韓國電力公司(Korea Electric Power Corporation，簡稱KEPCO)，繼續提供韓國國民電力供給的服務。

2001年4月，韓國電業進行重組，韓電發電部門分割為六個發電子公司後，韓電即結束為期40年的電業經營獨佔局面。目前Kyung-In能源公司與韓國水資源公社仍持續經營發電業務，並將所有發電量售予KEPCO。由於引進競爭，近年來民間發電的數額逐漸增加，發電市場中主要交易成員的管理與財務狀況有著明顯的改善，使得韓國電力市場很快地成為一個世界級的電力市場，其規模為擁有74個會員，每年交易金額高達200億美元，與65,514MW容量之發電設備。

三、韓電系統架構與電網規劃

韓電自1961年成立時，裝置容量僅有367MW，尖峰負載亦只有305MW。1975年韓

電第一條 345kV 輸電線建造完成，2002 年 765kV 正式運轉，電壓等級簡化至 765kV、

345kV、154kV、22.9kV、220V，圖 1 所示為韓電 345kV 以上輸電系統。

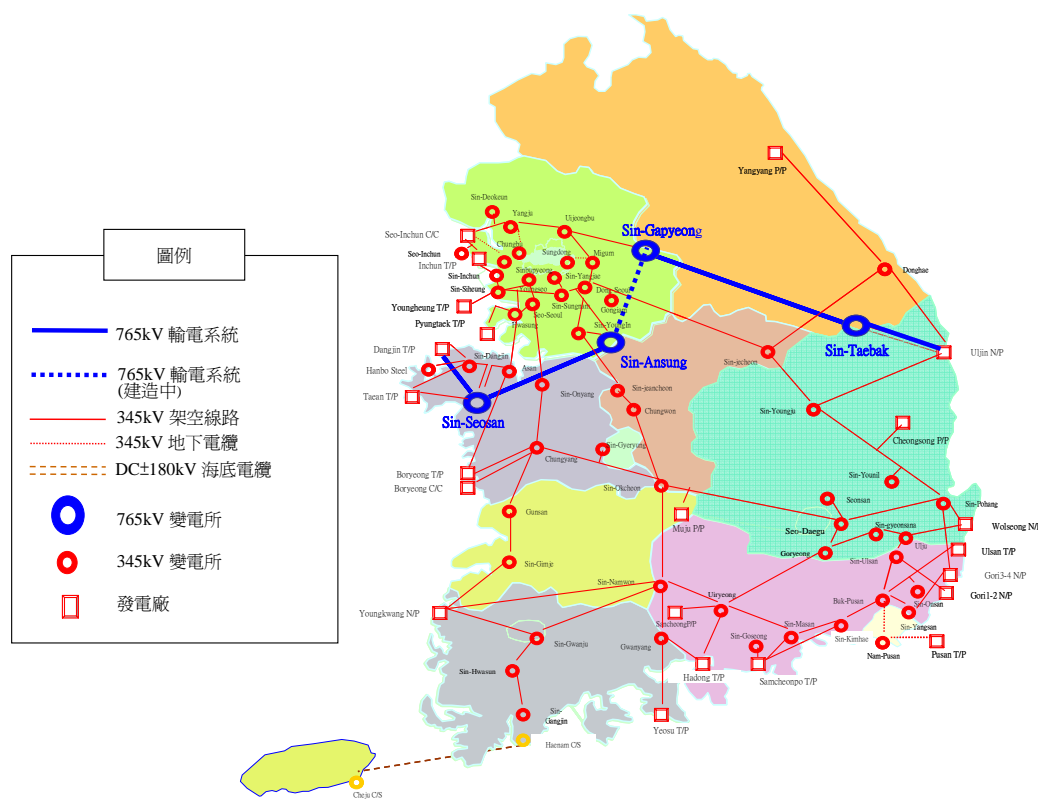


圖 1 韓電 345kV 以上輸電系統(至 2007 年 12 月)

表 1 所示為韓電系統自成立以來之重大變化，2007 年韓電之裝置容量已達 68,268MW，尖峰負載為 62,285MW，電氣化普及率 99.9%，自 1960 年起至 2007

年間均大幅增加：裝置容量 186 倍、尖峰負載 204 倍、電氣化普及率 8 倍；輸配電損失則自 1960 年之 29.4%降低至 2007 年之 4.0%。

表 1 韓電系統重大變化(1960-2007)

年度	1960	1981	2001	2007	2007/1960
裝置容量 (MW)	367	9,835	49,632	68,268	186
尖峰負載 (MW)	305	6,144	43,125	62,285	204
電氣化普及率 (%)	12	99.3	99.9	99.9	8
輸配電損失 (%)	29.4	6.7	4.7	4.0	0.14

1961 年韓電變壓器容量為 1209MVA 及變電所 291 所，成長至 2007 年變壓器容量 228,249MVA 及變電所 669 所，表 2 為韓電各級變壓器容量及變電所數。2007 年之輸電線路長度為 765kV(755 回線公

里)，345kV(8284 回線公里)，154kV(19917 回線公里)，66kV(338 回線公里)，180kV 直流輸電線路(232 回線公里)，總長度為 29526 回線公里，如表 3 所示。

表 2 韓電各級變壓器容量 (MVA) 及變電所數

項目 \ 年度	1961	1971	1981	1991	2001	2007
765kV	-	-	-	-	1,111	23,114
345kV	-	-	7,333	24,172	63,577	95,279
154kV	373	2,540	10,967	29,767	78,118	109,268
66kV	519	1,266	2,209	2,235	1,225	454
22kV	317	603	755	589	248	134
總和	1,209	4,409	21,264	56,763	144,279	228,249
變電所所數	291	430	363	321	549	669

表 3 韓電各級輸電線長度

單位: 回線公里

項目 \ 年度	1961	1971	1981	1991	2001	2007
765kV	-	-	-	-	662	755
345kV	-	-	2,097	4,941	7,345	8,284
154kV	606	1,600	6,381	11,189	17,576	19,917
66kV	1,778	2,947	4,483	3,721	1,541	338
22kV	2,854	2,636	98	-	-	-
180kV(DC)	-	-	-	-	232	232
總和	5,238	7,183	13,059	19,851	27,355	29,526

韓電系統規劃準則，對於穩定度之分析規範為 345kV 或 345kV 以下之故障形式為三相事故或單相接地事故，故障清除時間為 100 ms (6 周波)，765kV 為三相事

故或單相接地事故或簡單開路時，故障清除時間為 83 ms (5 周波)。韓電對於事故後之可靠度規範及因應對策，如表 4 所示

表 4 韓電可靠度規範及因應對策

項目	事故	過載	故障程度		事故後採取行動
			卸載	切機	
電廠併聯	765kV 單回線 或 345kV 以下雙單回線	△	×	○	允許調整機組出力
	345kV 單回線	×	×	×	禁止調整機組出力
	154kV 單回線	△	×	×	允許調整機組出力
幹線系統	765kV 單回線 或 345kV 雙回線(1 回路)	△	×	×	允許調整機組出力
	低於 345kV 單回線		×	×	允許調整機組出力， 允許負載由其他電源轉供
	154kV 雙回線(1 回路)		△ Φ	○	允許負載由其他電源轉供
放射系統	低於 345kV 單回線	△	×	×	允許調整機組出力， 允許負載由其他電源轉供
	345kV 雙回線(1 路)		△ Φ	○	允許負載由其他電源轉供
主變壓器	345kV 1 台	×	×	×	允許調整機組出力
	154kV 1 台	△	△ Φ	-	允許負載由其他電源轉供

註： ×：禁止 ○：允許 △：短暫允許 Φ：永遠禁止

系統頻率正常情況為 $60.0 \pm 0.2\text{Hz}$ ，異常情況為 $57.5\text{Hz} \sim 62.0\text{Hz}$ 。系統電壓之目標 765kV 系統為 765kV，345kV 系統為 353kV(336~360kV)，154kV 系統在重載時為 $160 \pm 4\text{kV}$ (156 ~ 164kV)，負載變動時為 $157 \pm 4\text{kV}$ (153 ~ 161kV)，輕載時為 $156 \pm 4\text{kV}$ (152 ~ 160kV)。電壓維護範圍為 765kV 等級： $765\text{kV} \pm 5\%$ (726 ~ 800kV)；345kV 等級： $345\text{kV} \pm 5\%$ (328 ~ 362kV)；154kV 等級： $154\text{kV} \pm 10\%$ (139 ~ 169kV)。

發電廠併聯至系統之準則為低於 1,000MW 之發電量應併聯至 345kV 或 154kV 輸電線路；高於 1,000MW 之發電量應併聯至 345kV 以上輸電線路；高於 3,000MW 之發電量應併聯至 765kV 輸電線路。用戶併聯至系統之準則為用戶之負載介於 100kW~10MW 時應連接至 22.9kV 配電線，介於 10MW~400MW 應連接至 154kV 輸電線，高於 400MW 時應連接至 345kV 輸電線。

四、先進保護控制技術之應用

近年來韓電與台電同樣積極應用先進之保護控制技術，以期建構更為安全可靠之電力系統。其中特殊保護系統(Special Protection System, SPS) 是用以偵測系統異常事故情況，事先採取隔離故障設備以外之改善動作，來維持系統安全可靠運轉。SPS 主要由三大部份組成：

- (一)系統資料輸入：主要電力設備狀態及物理量大小的量測及傳送。
- (二)決策體系：根據偵測系統輸入資料，判斷符合預設之事故條例及徵兆狀況，即啟動預定之相關矯正行動措施。
- (三)控制策略執行：利用通訊及控制系統達成下列之矯正動作：發電機跳脫、卸載、發電機跳脫及卸載、低頻或低壓卸載、無效電力補償(電抗器/電容器跳脫或投入)、變壓器分接頭閉鎖或調整、失步電驛控制方式、系統分裂解聯等。

韓電 SPS 之應用如表 5 所示，目前正常運轉中共 29 組，備用 7 組，尚未發生任何誤操作情況。

表 5 韓電特殊保護系統應用

控制策略	運轉數量	備用數量	總數量	可控制容量
發電機跳脫	9		9	8,650 MW
卸載	16	5	21	5,026 MW
變壓器分接頭閉鎖	1		1	500 MVA
系統隔離	1	1	2	-
併聯電抗器控制	2	1	3	1,040 MVar
總和	29	7	36	14,176 MW 1,040 MVar

多相自動復閉(Mutliphase Auto. Reclosing)技術，在共架雙回線某些相發生瞬時故障期間，可以提供不斷電或兩回線不會同時跳脫之機會，維持最大可能之送電能力，提高電力系統穩定度及可靠度。目前大型火、水力電廠因路權取得困難，興建不易，均規劃僅以一路兩回線引出，如按傳統保護方式，常因雷擊等因素造成單相或兩相瞬時故障而使三相同時跳脫，影響電源供應之可靠與穩定。

韓電對於多相自動復閉技術之應用，目前有下列三路 765kV 輸電線：(1)Shinansung 變電所~Shinseosan 變電所間 Shinseosan 變電所 2 回輸電線；(2)Shinseosan 變電所~Dangjin 電廠間 Dangjin 電廠 2 回輸電線；(3)Shntaebak 變電所~Shingapyung 變電所間 Shntaebak 變電所 2 回輸電線。目前尚未有多相復閉之案例，只有單相復閉運轉經驗，如表 6 所示。

表 6 韓電輸電線單相復閉運轉經驗

時間	輸電線	故障相
2005-03-10	Shintaebak #1 Shintaebak #2	B B
2006-07-16	Shintaebak #1	B
2007-01-26	Shinseosan #1	B
2007-07-29	Shintaebak #1	B
2007-08-01	Shintaebak #2	A

靜態型同步無效電力補償器(Static Synchronous Compensator 簡稱 STATCOM)屬於電力電子電壓源轉換器，能夠主動吸收及提供無效電力，用於協助控制電力系統電壓之穩定，若聯到電源亦可提供實功給電力網。一般而言，STATCOM 裝設在功率因數或電壓調整較弱之地區，其他用途包括穩定風機輸出電壓，最大之用途在提昇電壓穩定度。

靜態無效電力補償器(Static Var Compensator 簡稱 SVC)，也可提昇電壓穩定度，但 STATCOM 穩定電壓之特性較

SVC 為佳。系統電壓劇烈下降時，STATCOM 最大無效電力輸出不會受到電壓大小之影響。當電壓低到極限值時，STATCOM 具有定電流(Constant Current)之特性。但是 SVC 的無效電力輸出與電壓之平方成正比，當電壓下降時，SVC 提供之無效電力急遽下降，因此穩定電壓之性能較差。韓電目前已在 Yangju 變電所 345kV 匯流排裝設 SVC，將來亦規劃再裝設 SVC 及 STATCOM，裝置地點、時間、容量、及形式，如表 7 所示。

表 7 韓電 STATCOM 及 SVC 裝置計畫

地點	時間	容量	形式
Yangju 變電所 345kV 匯流排	2007-06	±100MVAR	SVC
Dong-Seoul 變電所 345kV 匯流排	2008-12	±200MVAR	SVC
Migum 變電所 345kV 匯流排	2008-12	±100MVAR	STATCOM
Sin-Paju 變電所 345kV 匯流排	2012-06	±200MVAR	SVC

五、韓國電力交易所

韓國引進發電業自由競爭機制，在電力市場之發展亦跟隨著世界潮流，值得我們注意與瞭解。韓國電力交易所(Korea Power Exchange, 簡稱 KPX)成立於 2001 年，是一個非營利性的獨立機構，已成功的營運韓國電力市場及電力系統。KPX 現有人力約 300 人，大部分人員都由韓電轉任，來自於政府機構者僅 30 人。KPX 扮演著韓國電力產業的樞紐，任務包括：(1) 整合韓國輸電網路；(2) 確保電網安全及可靠運轉；(3) 運作競爭的電力市場；(4) 規劃長期發電及輸電擴充計畫，確保可靠的電力供應；(5) 提供會員及顧客即時資訊，以協助其企業決策。KPX 主要工作細分如下：

(一) 電力市場運作 (Operating the Power Market)

電力市場運作包括市場管理(Market administration)、提供容量(Offer Submission)、負載預測(Load Forecasting)、發電排程(Generation Scheduling)、抄表計量(Metering)及帳務結算(Settlement)等一系列的過程。KPX 負責

蒐集提供發電機組資料、透過供需平衡設定市場價格、每小時調度規劃及市場價格訂定。如此複雜及範圍廣泛的電力交易過程需藉助 IT 之市場操作系統(Market Operation System)。KPX 也提供市場監控(Market Monitoring)、資訊公開以及爭議解決等服務，以確保競爭市場之公平與透明。

(二) 電力系統運轉 (Operating the Power System)

KPX 擔任約 600 部機組之運轉調度及系統監控業務，發電排程主要是透過不同的發電組合(包括核能、火力及水力發電)，以最低的發電成本，並確保消費者獲得穩定之電力供應。電力系統運轉包括負載移撥調度，與維持系統穩定度、可靠度、及電力品質(頻率、電壓)等項目於規範水準之上。

(三) 電力資訊科技(Power IT)系統建置

為了支持電力系統與發電市場的可靠運轉，KPX 所使用的電力資訊科技系統有能源管理系統(Energy Management System, EMS)、市場運作系統(Market Operation System, MOS)，以及以成本計價之電力交易市場(Cost-Based Pool, CBP)。

能源管理系統(EMS)係在執行監督管
控各發電廠，並獲取電廠運轉相關資料、
維持即時性的供需平衡、控制電廠發電與
系統的穩定、監控輔助服務的能力，以及
模擬系統的調度與訓練。

KPX 利用市場運作系統(MOS)，以迅
速且正確的方法，完成包括競價及抄表結
算。市場參與者與利害相關者皆可透過網
際網路，在任何時間、地點獲取所需之資
訊。

(四)電力供需規劃(Power Planning)

配合政府政策，KPX 建立「長期電力
供需基本規劃」(The Basic Plan for
Long-Term Electricity Supply & Demand，簡
稱 BPE)，主要內容包括：需求預測、發
電設施興建、需求面管理，以及輸電及配
電設施之興建。為了因應企業變動及不確
定因素，造成實際的電力需求超出負載預
測範圍，電力供需規劃需有相當數量之備
用容量，以確保電力的穩定供應。

韓國「長期電力供需基礎規劃」(BPE)

之編製，在確保未來電力供應之穩定，並
做為相關政策之基本方向及電業開放之參
考依據。該報告進程序，先由商業產業
能源部(Minister of Commerce, Industry
and Energy；簡稱 MOCIE)指示編製方
向，再由各電力公司與 KPX 提供相關資
訊，並由學校、專業機構、電力公司及其
它相關機構組成 6 個子委員會(包括需求
預測、需求面管理、輸電系統、發電容量、
再生能源及一般政策等)進行審查後召開
公聽會廣納各方意見，最後再由電力政策
審查會(Electricity Policy Review Board)
進行最後核定，再交由 MOCIE 發行。

同時，KPX 利用相關機構對未來之展
望做為基礎，進行長期與短期之電力負載
需求預測，電力需求區分為兩個住宅部
門、四個商業部門及十個工業部門，資料
涵蓋經濟成長與產業結構之未來成長趨
勢。其中電力需求(GWh)及最高負載(MW)
預測結果，分別如表 8、及表 9 所示。

表 8 韓國未來電力需求(單位:GWh)

Classification		2006	2010	2015	2020
Before DSM		353,581	420,656	465,801	492,653
After DSM	Residential	68,794	80,573 (4.0%)	86,190 (1.4%)	89,241 (0.7%)
	Commercial	107,702	130,190 (4.9%)	146,837 (2.4%)	157,808 (1.5%)
	Industrial	176,590	205,859 (3.9%)	223,416 (1.7%)	231,506 (0.7%)
	Total	353,086	416,623 (4.6%)	456,443 (1.8%)	478,555 (1.0%)

* Figures in parenthesis denote the annual average growth rate.

表 9 韓國最高負載預測(單位:MW)

Classification	2006	2010	2015	2020
Before DSM	-	6,878	7,729	8,342
Amount of DSM	-	417	782	1,161
After DSM	5,899 (actual)	6,461 (3.4%)	6,947 (1.5%)	7,181 (0.7%)

* The amount of DSM is based on the annual demand side management targets (aggregate total) versus the 2005 performance (excluding direct load).

六、韓電在智慧型電網之發展

智慧型電網在韓國由政府部門之國家電力資訊技術產業中心(National Power IT Business Center)，負責推動與規劃相關技術與業務，主要目的在整合其國內之資訊與相關技術產業，進一步扶植其國內有關智慧型電網相關產業，促進其產業升級與技術生根，進軍國際智慧型電網市場。

配合智慧型電網之發展，韓電在總管理處配電部門亦組成先進配電網路小組(Advanced Distribution Network Team)，統籌韓電新型配電系統與配電系統智慧型電網之發展策略，圖 2 為韓電配電系統智慧型電網概念架構圖。

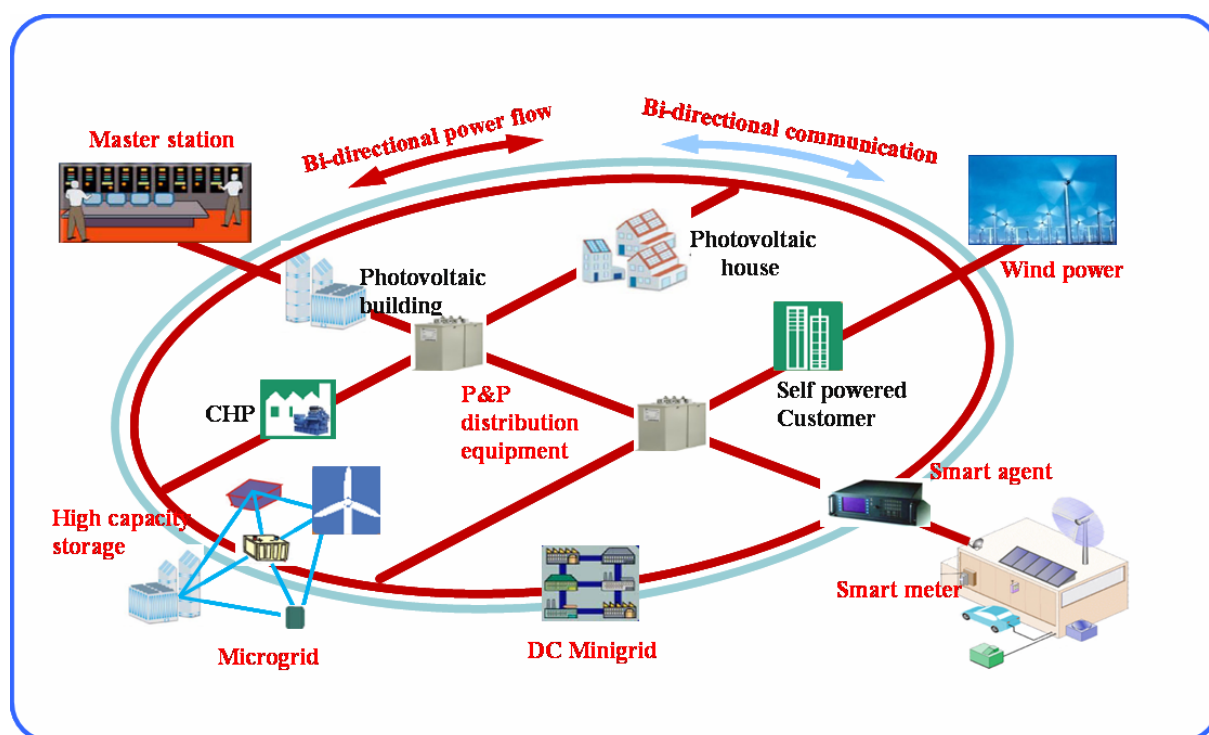


圖 2 韓電配電系統智慧型電網概念架構圖

韓電於 2006 年開始由韓國電力研究院 (KEPRI) 所屬之配電研究所，進行配電系統智慧型電網之相關計畫與規劃，與其國內相關產業共同進行智慧型電網相關技術之研究與開發，在 2008~2012 年期間規劃進行下列兩項配電系統智慧型電網研究母計畫。

(一) 智慧型配電系統

(Smart Distribution System)

(1) 最適智慧型網路架構

(K-Grid architecture and optimal network topology)

◎ 建構標準開放之資料通訊架構 (IEC61850)

◎ 智慧型電網網路架構之最佳化

◎ 資訊技術產業整合電力增值服務

(2) 直流配電技術

(DC distribution technology)

◎ 直流配電系統及多功模式電力網路的整合

◎ 交直流網路的整合

◎ 高儲能系統及用戶能源管理系統的應用

(3) 智慧型配電系統

(Smart distribution system)

◎ 智慧型配電能源管理系統的開發

◎ 以 IEC61850 為通訊協定之智慧型配電設備開發

◎ 電力電子之配電設備開發

(二) 電力資訊與技術測試平台

(Power IT test bed)

(1) 建構電力資訊與技術測試平台

(Construction of power IT test bed)

◎ 電力資訊與技術測試平台之建構與管理

◎ 智慧型電網元件一致性評估

◎ 透過國際性的合作開發相關技術

(2) 智慧型電網相關元件現場測試標準 (Field test criterion for smart grid components)

◎ 以智慧型電網相關元件為基礎之認證標準

◎ 以計畫為基礎之認證標準

◎ 開發相關認證標準之評估工具

(3) 智慧型電網軟硬體之整合測試 (Interoperability test)

針對所有計畫的產品進行軟硬體的整合通訊測試

◎ 新電力增值服務的測試標準與程序

◎ 開發智慧型電網軟硬體的整合通訊測試的評估工具

在「智慧型配電系統」計畫下，主要在建構最適智慧型網路架構、直流配電技術，進而完成智慧型配電網路系統；在「電力資訊與技術測試平台」計畫下，主要在建構電力資訊與技術測試平台、建立電力資訊與技術測試平台，進而完成智慧型電網軟硬體的整合測試。

韓國之作法主要為透過政府機構之主導，結合產業發展智慧型電網相關技術與元件，如此不但可縮短研發之時程，為本身電業客製需求提供技術合作研發空間，以彌補研究人力不足現象，更進一步提升相關產業之技術水準，促進內需與提升國際競爭力。

七、結語

此次赴韓電訪問行程雖短，收獲卻相當豐富，為兩國電業之持續交流奠定良好基石。綜觀而言，韓電與台電在電網規劃、先進保護控制技術之應用、及智慧型電網之發展等方面，均能跟隨世界潮流、與時俱進。惟在電業自由化方面，韓國已於

2001年成立電力交易所，負責營運韓國電力市場及電力系統。我國雖早於1995年即開放民間設立發電廠，至2007年已完成四階段之開放許可，但迄未成立獨立運轉機構(ISO)及電力交易所。

韓電對未來許下一個宏大的願景，即成為「與顧客同步成長的世界性電力公司」，此願景包含三個核心價值-尊重顧

客、追求變化、重視經濟效益。同樣地，台電審酌環境變遷及公司經營條件，亦擘畫了宏偉、具挑戰性的願景：「成為具有卓越聲望的世界級電力事業集團」。回想訪韓期間所見所聞，希望台電全體一條心，在「誠信、關懷、創新、服務」經營理念下，善盡職責，注重紀律與效率，激發創意與活力，攜手早日實現願景。

談自適應電壓補償器成功改善馬達啟動電壓閃爍之實例分析

台電系統規劃處 謝豐吉

壹、前言

科技的進步和電力電子設備的普及使大眾生活更便利及工業製造生產更有效率，但從電力系統的角度來看，隨著電力電子如電腦、高科技產業生產機具等諸類設備，倚重電力品質之敏感度相對提升。因此電力公司必須重視鋼鐵廠或大用戶廠家生產線上的大型馬達啟動，將會影響鄰近區域電力品質不良，甚至引發一般用戶的不滿與紛爭。

本文所要推薦的案例是 2007 年 IEEE Industry Applications Magazine July/August Vol. 13, No. 4 的文章” The Use of Distribution Bus VAR to Improve Transmission Power Quality: Forgoing Flicker” 這篇文章。文中描述從 1973 年起 30 年間，用戶對電力品質要求的演進過程，也是現今的電力事業公司除努力供應

用戶充足的電力外，還需兼顧電力品質才能完全滿足用戶的滿意度。

本案例為美國北卡羅來納州中部的電力公司 Piedmont Electric Membership Corporation (PEMC)，供電約有 30,000 用戶，主要客戶為住家型負載，少部份為中小企業客戶，總負載約 125MW，系統引接如圖 1 所示。自 1973 年開始，加入一個大型抽油公司(Plantation Pipeline)是轄區內最大用戶，廠內裝設兩台 2,000HP 之大型馬達採全壓啟動模式，是本文電壓閃爍問題之來源。自抽油公司成立以來，負載量變動不大，但在接下來的 30 年間，經由相同輸電線饋供的用戶已經轉型成精緻農業相關的商業型態，農製品步入自動化生產，不再是單純的農業用電型態，另住宅用戶有許多蘇活(SOHO)族需倚賴電腦營生，無形中對電力品質倚賴性日漸提升。

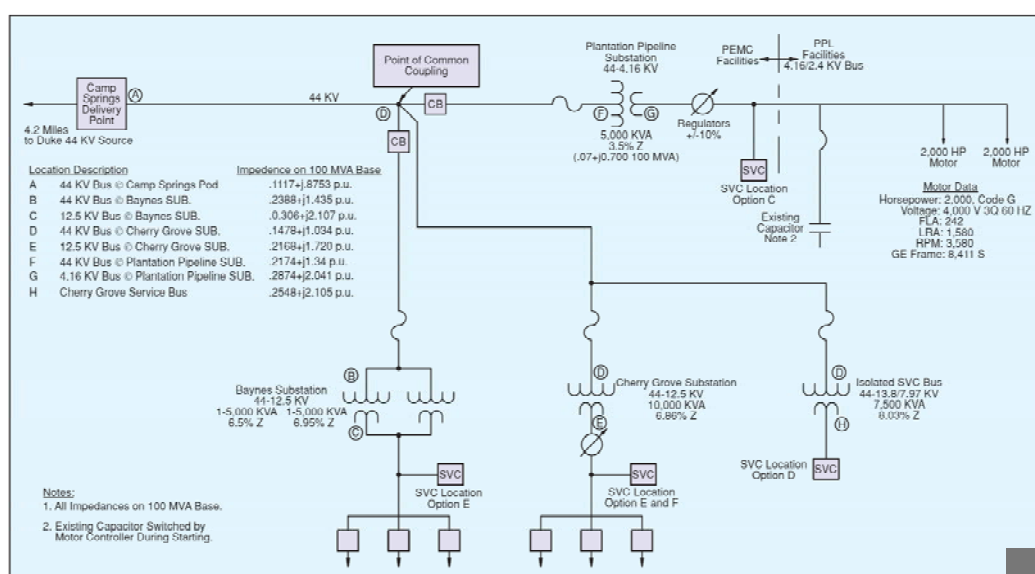


圖 1 Piedmont Electric Membership Corporation(PEMC)系統引接圖

貳、電腦普及催化優質電力時代來臨

抽油站運轉初期，僅有少數由 Cherry Grove 或 Baynes 變電所饋供的住家用戶或商業用戶抱怨。當時抽油站的馬達採全壓啟動運轉，而且沒有另外裝設改善電壓驟降設備。早期這些用戶純屬住家型或農業型，對電力品質並不敏感，當時用戶對電力品質最敏感的裝置就是彩色電視機。因為馬達啟動頻率並不高，而且沒有固定時間操作，所以用戶對於這些操作所造成電壓驟降的現象並無立即性之需求。

1990 年代許多居民逐漸密集遷入到這個地區，新來的及舊有的居民均因個人電腦的普及而對電力品質及可靠度的期望逐年增長。這些電腦設備包括不斷增加的先進農業商務中小企業，以及散佈在遼闊的農村住戶，利用電腦作為數位通訊及處理小型商店業務。

抽油站兩台 2,000HP 馬達均採用全壓啟動，由於抽油站設備機具龐大，相對地使操作人員不易接近，因此所有裝備操作程序被要求簡化，而全壓啟動正是符合標準作業程序，卻衍生系統電壓驟降問題。

如圖 1 所示抽油站的馬達負載是經由 44kV/12.5kV 變壓器供電，抽油站內的負載對電壓變動並不靈敏。在未改善前正常運轉狀況下全壓啟動時，4.16kV 匯流排會產生 19%電壓降，此對抽油站來說是可接受的程度。然而抽油站馬達啟動唯一的弱點是當系統達到尖峰負載時，相關的送電端 44KV 系統正處於降壓運轉。當 PEMC 實施 0.9PU 降壓運轉時，4.16KV 匯流排在馬達全壓啟動，其壓降低到 0.75PU，迫使抽油站不得不裝設輔助設備。抽油站裝設電

壓調整器(Voltage regulator)後，4.16kV 匯流排電壓穩定維持在可接受的範圍，但這樣的改善對配電端用戶的電壓閃爍問題並沒有正面實質的幫助。因此許多先進用戶自行裝設不斷電系統(UPS systems)，不僅提供備用電源並且可記錄每一筆電源波動的變化。這些用戶提出電壓變動的文件紀錄時，電力公司只得配合進行改善措施。

參、案情分析與改善對策

抽油公司裝設快速切換型並聯電容器(由馬達輔助接觸子控制)於 4.16KV 匯流排。運轉後發現快速切換型並聯電容器之缺點如下：

- 一、電容器無法與馬達最大無效電力產生時同步投入，實際上電容器補償器利用馬達輔助接觸子控制，時程上稍遲於馬達投入，故無法發揮同步壓降補償；若提前輔助接觸子投入，將使整個系統產生前期性的電壓上升。
- 二、最大無效電力需求發生在馬達加壓啟動的瞬間，會造成 4.16kV 匯流排立即性壓降，使得並聯電容器的無效電力補償效果大打折扣(正比於 V^2)。又當馬達轉速達到穩定時，無效電力補償需求大量減少，但已投入的電容器造成可觀的電壓上升。
- 三、馬達啟動到達穩定速度時，電容器無效電力補償到達最大值；若電容器立即被切離，又將造成同一輸電線下所有配電用戶大約 12%幅度的電壓急劇下降。

這些電壓起伏變化狀況，在未加裝快速切換型並聯電容器之前，發生頻率密集

終將引發用戶蓄積的不滿與反彈。

馬達啟動過程中的電壓驟降是導因於可觀的無效電力，即從電源端流經系統阻抗(電阻與電抗)元件所構成的功因會造成實際電壓下降，其壓降值係由流經系統電阻成份的實功壓降及電抗成份的虛功壓降兩者所合成。但電流流經電抗性(落後功因)系統阻抗會造成電壓下降，而流經電容性(領先功因)系統阻抗會造成電壓上升。應用這些觀點，減緩系統電壓降有如下方法：

- 一、降低負載電流大小。
- 二、改善系統功率因數。
- 三、降低系統電阻值。
- 四、降低系統電抗值。

肆、裝設串聯電容器之改善方案

在許多馬達啟動產生電壓閃爍的案例中，電壓閃爍主要因素是系統阻抗。如果系統的等效串聯電抗可與外加串聯電容值等值中和，則馬達啟動時產生的電流將只有等效電阻成分之壓降。考量在 44KV 匯流排上裝設串聯電容器用於馬達負載，裝設於第一個配電用戶分歧點之前可達最佳效果。如本案例中應裝設於” the Cherry Grove Substation” 之前。經過設計之串聯電容器將可使其產生正比於馬達啟動電流的即時電壓升，毋需應用主動控制系統量測即時電容量，就可達到補償之目的。但觀察實務措施—裝設串聯電容器仍需考慮下列實質問題：

- 一、實務上，潛在的共振問題將迫使串聯電抗完全補償受到限制。
- 二、串聯電容器需考量可耐受故障電流流經電容本體所產生的升壓幅度。
- 三、鄰近區域有故障發生時，串聯電容

器須具有旁通設計，避免大量故障電流流經電容器。

另外依據運轉經驗，串聯電容器的應用通常有下列三項中的單項到多項：

- 一、馬達啟動時的次同步共振問題。
- 二、輕載變壓器的鐵磁共振問題。
- 三、運轉中的馬達追逐現象(hunting)。

馬達啟動期間的次同步共振現象發生在馬達繞組及串聯容器之間，造成的影響包括有馬達無法運轉於設定的速度(為避開共振點)、馬達過度發熱及馬達過度振動。變電所變壓器負載側裝設有串聯電容器者，輕載時發生鐵磁共振的情形極為嚴重。本例中，兩個 44kV/12.5kV 變壓器組及一個 44kV/4.16kV 變壓器組均位於串聯電容器的下游，當有運轉需求時，有可能將這些變壓器的二次側在無載的情形下加壓，如此將可能導致變壓器產生鐵磁共振，這種情形發生的風險是無法被接受的。

同步馬達及串聯電容器的組合，常常會發生追逐現象。當馬達驅動一些變動特性的負載及幫浦搭配串聯電容器即可能建立追逐現象之條件。即使抽油站的幫浦不具變動特性，但仍有因長程輸油管的壓力變動而造成追逐現象的可能性。

誠如上述，這些狀況都有改善的對策，但這些改善方案在安裝前及運轉狀態下均需持續監控，因此需要昂貴的投資。上述任一種負面問題發生的後果都很嚴重，而且可能造成用戶及電力事業均不滿意之結果，因此串聯電容器不被列入有效改善方案之對策。

伍、修改馬達啟動方式之改善方案

本例中 2,000Hp 感應馬達裝設全壓啟

動設備，若可降低馬達啟動時的衝擊電流 (inrush current)，則可減緩電壓閃爍現象，這可經由下列各種技術實現：

- 一、降壓啟動。
- 二、部份繞組啟動。
- 三、軟啟動。
- 四、變頻驅動。

上述每一種馬達啟動技術在啟動過程中都具有減緩壓降的潛力，然而，任一種修改也同時顯著地衝擊馬達的運轉特性。有些技術減低了馬達的啟動轉矩，影響了其抽蓄效能。所有的馬達及(或)控制方式修改將使用戶需要額外投資可觀的金錢。相對於全壓啟動，上述技術將使用戶降低可靠度及額外的維護支出。可靠度及維護需求對於位處相對偏遠的抽油站來說特別重要，因此，本方案將不被考慮。

接下來考慮裝設自適應電壓補償器 (AVC, Adaptive Var Compensator)，探討裝設於輸電端與配電端之成本取捨，及裝設於不同地點及數量之效果檢討。

陸、裝設自適應電壓補償器於匯流排之改善方案

選擇在最靠近電抗性負載的匯流排施予無效電力補償是應用上基本的準則。4.16kV 匯流排在馬達啟動期間電壓驟降大約為 19%。在 44kV 輸電系統 PCC 點電壓驟降約 9%。經由模擬計算顯示，自適應電壓補償器可發揮良性地補償電壓驟降的電抗性成份，意即可以允許馬達匯流排電壓穩定在 1.0 pu 運作。當馬達在無補償的狀況下啟動，啟動期間控制馬達匯流排電壓在 1.0 pu，將需要大大地增加馬達轉矩及增加由 44kV 輸電系統吸收的功率量(kW)。

補償器應用於馬達匯流排的唯一缺點

是裝設的補償器額定電壓為 4.16/2.4kV。這款限制補償器不能廣泛應用於其它電壓等級之匯流排，事實上電力公司在其它處所並無這類電壓等級匯流排需要補償，但 12.5kV 以上或 44kV 補償器應用在系統其它處所則可能性較高。然而由於馬達轉軸慣性或提供幫浦的馬達啟動轉矩增加效應是未知的，當幫浦加速越快可能產生管路壓力系統反面作用。著眼於這些考量，無效電力補償在 4.16kV 馬達匯流排的需求將比一些其它的改善方案較少。

柒、裝設自適應電壓補償器於 44kV 輸電系統之改善方案

安裝的目的是要在 44kV 輸電系統上減低責任分界點饋供 12.5kV 配電匯流排用戶的電壓閃爍問題。最佳的安裝地點在圖 1 中的 D 點。只需安裝一個自適應電壓補償器，在馬達啟動期間產生電壓驟降的區域，將獲得無效電力之補償。

然而輸電等級自適應電壓補償器的價格高於相似的配電等級之自適應電壓補償器。其替代方案為經由一個專用的 44kV—12.5/7.2kV 變壓器安裝配電等級自適應電壓補償器轉變為 44kV 輸電系統，變壓器容量約需 7.5-10MVA 之容量規格，添設變壓器將使成本提高。第一個替代方案為低電壓等級靜態無效電力補償器，設備運轉電壓為 480 到 600V 並且需要由配電電壓等級的變電設備引接，此種情況將需要一套非制式變壓器(unusual transformer)，如果沒有進一步的補償設備需求，未來使用的機率將非常低；第二個替代方案為 480V 電壓等級設備經由 44kV—480V 變壓設備或串接的 44kV—12.5kV—480V 變壓設備連接到 44kV 輸電系統，此種情況使用串接變壓

器，將產生更高的投資成本，且若補償設備在未來不被續用時，成本將無法回收。

捌、裝設自適應電壓補償器於每一個

12.5kV 配電匯流排之改善方案

本例基本問題在於兩個 12.5kV Bus 用戶經歷之電壓驟降，所以需要在其上安裝補償器。自適應電壓補償器設備將用來因應其所在匯流排的電壓變動，在這個模式之下，自適應電壓補償器可配合系統應用於此進行運轉，如果系統狀況產生改變，自適應電壓補償器於 12.5kV 其它 Bus 也將有很高的機率可被再利用。個別的 12.5kV 配電匯排也可裝設類似之補償器來進行 44kV 輸電系統之電壓補償。

然而，此種設計存在如下潛在的缺點：

- 一、每一組所需的安裝成本將使整個專案成本較高於只安裝一個設備。
- 二、在每一個 12.5kV 配電匯流排安裝補償器，需考慮彼此間之協調問題，任一個(或全部)補償器在控制系統的反應時間將必須和諧調整，因此反應時間需緩和以避免每一個補償器組(bank)間的相互回饋影響。但事實上 12.5kV 匯流排一旦發生電壓驟降狀況時，相關用戶卻需要立即性的壓降補償，因此緩和控制系统反應時間根本無補於事。

玖、僅擇一 12.5kV 配電匯流排裝設自適應電壓補償器之改善方案

考慮在其中一個 12.5kV Bus 安裝一個較大之補償設備，其目的在於改善用戶對電壓變動的接受度，且採折衷之方式進行改善而不擬施予完全補償之可行性，補償後檢討其它配電匯流排電壓之變動，嘗試

調整補償無效電力幅度，使其它配電匯流排之電壓變動在可接受範圍之內。計算顯示一個大約 8.4Mvar 的補償設備安裝在”the Cherry Grove”變電所的 12.5kV 的匯流排(圖 1 所示 E 點)，將可使該匯流排提升大約 2.1%的電壓，同時在 44kV 匯流排上的責任分界點減少電壓降約 2.6%，因 Baynes 變電所 12.5kV 匯流排(圖 1 所示 C 點)在責任分界點感受到相同於 44kV 輸電線的電壓下降，這個方案將使 Baynes 變電所 12.5kV 匯流排電壓提升 2.6%。這被視為一個可接受的折衷辦法。

這些折衷辦法的優點列出如下：

- 一、補償器安裝的基礎及土建成本大約僅安裝於兩處的一半。
- 二、就配電等級而言，安裝每 kVar 的價格降低。
- 三、額定為 12.5/7.2kV 的補償器設備如停用時，尚可移轉到其它配電系統使用。

因此，最後採此折衷之可行方案。

拾、改善後運轉效能

經上述繁複探討分析後，PEMC 同意安裝一組 8.4Mvar 額定 12.5/7.2kV 補償器在”the Cherry Grove”變電所配電匯流排。同時”the Cherry Grove”變電所在 44kV 輸電系統扮演分歧點引接到農園管線(Plantation Pipeline)的角色，使得此變電所扼有額外微調安裝自適應電壓補償器的樞紐，修改控制系统使其不僅監控”the Cherry Grove”變電所 12.5kV 匯流排電壓，同時監控饋供農園(Plantation)的 44kV 輸電線電流，開創應用控制演算法來即時反應馬達啟動電流。

補償器具有每相約 485kVar 的分段容

量，提供大約 3.2% 的運轉電壓解析度。此設備的反應時間約 11~19ms，具備適合之反應時間及且彈性之分段幅度。本設備反應時間落在隨機分佈 11~19ms 之間，經檢討可即時反應改善現存配電匯流排電壓變動問題。

2004 年秋天補償器安裝竣工加入系統運轉，發揮壓降補償可靠度良好，僅出現一次控制線路板故障造成事故停用。實測反應時間約在 1~2 週波，馬達啟動期間所有配電匯流排的電壓變動被抑制在低於 3% 範圍內，迄今效能猶存且遠超出預期，時至今日再也沒有用戶抱怨有關壓降問題。

拾壹、結論

由於電腦科技發展推出數位家庭，促使電力用戶對電力品質的要求一步一腳印地向前邁進，經由本文案例可瞭解其演進的過程。對於本文之探討，可獲致以下結論：

- 一、快速切換型並聯電容器無法有效改善電壓驟降問題。
- 二、配電匯流排裝設無效電力補償設備方式可回饋輸電系統電壓穩定，此新觀點可作為未來規劃參考依據。
- 三、無效電力補償設備的反應時間因設備的不同而有極大的差異，用戶感受補償設備安裝的成敗，取決於系統反應時間是不能忽視的關鍵點。
- 四、補償器的成本因設備不同而異。但整體系統性的宏觀調控，彼此協同運作效益，仍取決於補償系統的性能、效率與負載需求間的良好匹

配。

- 五、本文改善電力品質方案，啟示若能從用戶端來著手，將更為經濟有效。

拾貳、參考文獻

- [1] Edward S. Thomas, "The Use of Distribution Bus VAR to Improve Transmission Power Quality: Forgoing Flicker", IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 13, No. 4, pp. 34-41, July|August 2007.
- [2] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality, 2nd ed.", McGraw-Hill, 2003.

電力系統故障波形 (AMT-3000 型 OSC) 判讀與分析

學校：南臺科技大學電機工程學系

姓名：林明鐘

關鍵字：

CT：電流比流器。PT：電壓比壓器。
Ry：保護電驛。NCT：變壓器中性點 CT
OSC：故障波形記錄器。CB：斷路器。
TC：臨界清除時間。

摘要：

「機電事故檢討會」，針對事故原因、損壞情形、復舊狀況和責任歸屬作一明確的判決；常有火爆與爭執的場面發生。有賴「故障波形記錄器」將系統事故時的電壓、電流及斷路器跳脫波形做有效且正確判讀。電力系統故障類型：分為電壓破壞、電流破壞、MVA 破壞、電壓破壞+電流破壞等四種。進而衍生電壓驟降及持續時間衍生相關國際協會所訂規定：係採用半導體設備及材料國際協會 SEMI (semiconductor equipment and materials nternational)。故障電流及電壓驟降計算方法。

1. 前言：

本處新營調度中心調度課，每月皆固定排訂乙日為「機電事故檢討會」，針對上月份發生於本處轄區之 69kV 電壓級以上的機電設備事故，蒐集整理並發函所屬相關單位召開「機電事故檢討會」，並對事故原因、損壞情形、復舊狀況和責任歸屬做一明確的判決；其中所關聯「用戶停電戶數

本篇所論及故障波形記錄器是以 (AMT-3000 型式) 為準；然而，能正確且有效的解讀記錄紙 (AMT-3000 型式) 之電壓及電流波形。有助於每月份「機電事故檢討會」會中爭議之事件相對減少，對如何杜絕類似事故再次發生的建議或方法將大幅增加了，也是本篇旨意所在。

大綱

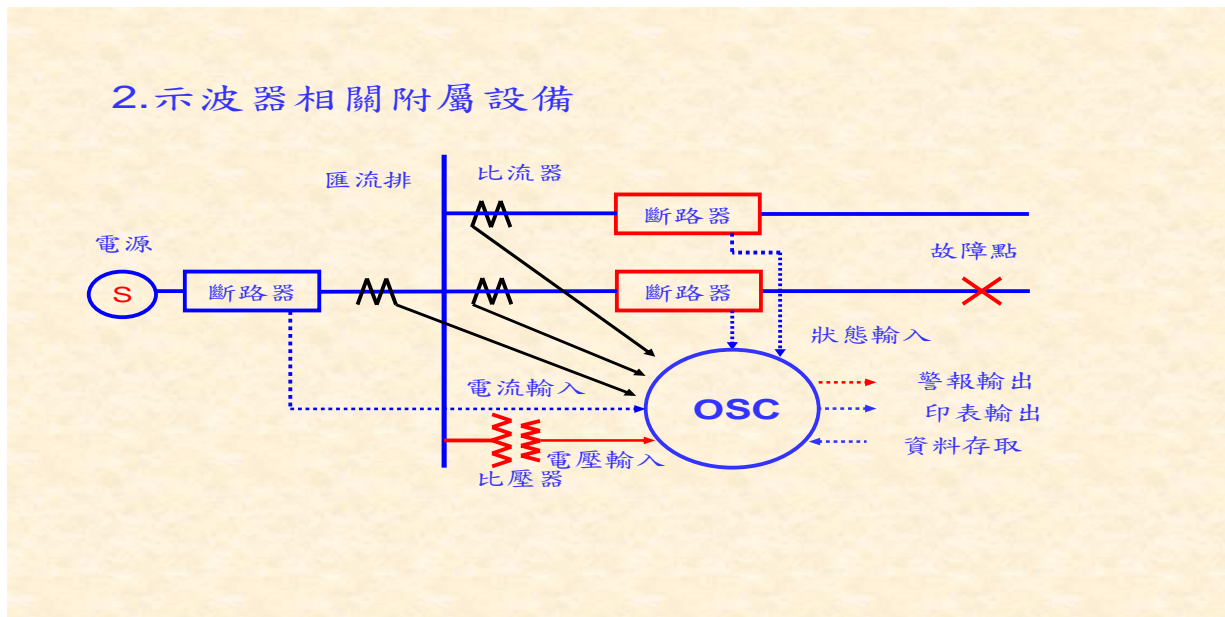
1. 前言
2. 故障波形記錄器相關附屬設備、系統運作及記錄始動條件敘述。
3. 電力系統故障類型與電壓驟降、持續時間衍生相關國際協會所定規定。
4. 故障波形記錄器判讀要點。
5. 結論。
6. 參考資料。

時間及停電時間」和「用戶停電次數」等項目，事關各單位年度考績，茲因檢討會中常有火爆與爭執的場面發生，導致該會主席窮於應付，若非經驗豐富技術一流將無法勝任其職。然，最具公正客觀及說服力之佐證不外是「故障波形記錄器」記錄紙內之紀錄波形，但如何的判讀，才是真功夫。

電力系統相關設備由簡而繁之後。電

力系統設備常遭不可抗拒的天災與設備老化或維護不良等因素，造成設備故障是無法避免。然而當事故發生時相關保護設備必需迅速將故障設備點，藉由保護電驛功能之正常運作偵測並指令相關斷路器跳脫以便有效隔離故障點，阻止短路故障電流繼續漫延拖垮其餘正常部份電力系統之運轉，進而使損失降至最低與縮短停電範圍及時間。

當電力系統發生故障後，保護設備動作時也必需同時迅速觸發故障波形紀錄器記錄動作當時之故障電壓與電流波形及大小值，藉以分析研判事故地點、相別及原因，供給維修人員參考使用進而縮短因系統異狀造成電力品質不佳的時間，這是身為電機工程維修人不得不對其「故障指示波形紀錄器波形分析」有所了解。



2-1. 故障暫態波形紀錄器系統設備連接〔1〕：

輸入信號：AC 回路有聯接監控設備用之CT外加其一組電驛用 PT。

輸出信號：DC 回路則將監視結果在異狀時送出警報訊號並列印和儲存資料。

電驛部份：故障波形紀錄器與系統相關電驛標置，構成一安全穩定保護電驛網。故障波形紀錄器(OSC)是放在變電所內一種特殊且重要的設備，其作用是對運轉中的電力系統異常時，宛如”自動偵測照相機”，將系統事故時的電壓、電流波形及斷路器跳脫情形紀錄下來，以供判讀之用。

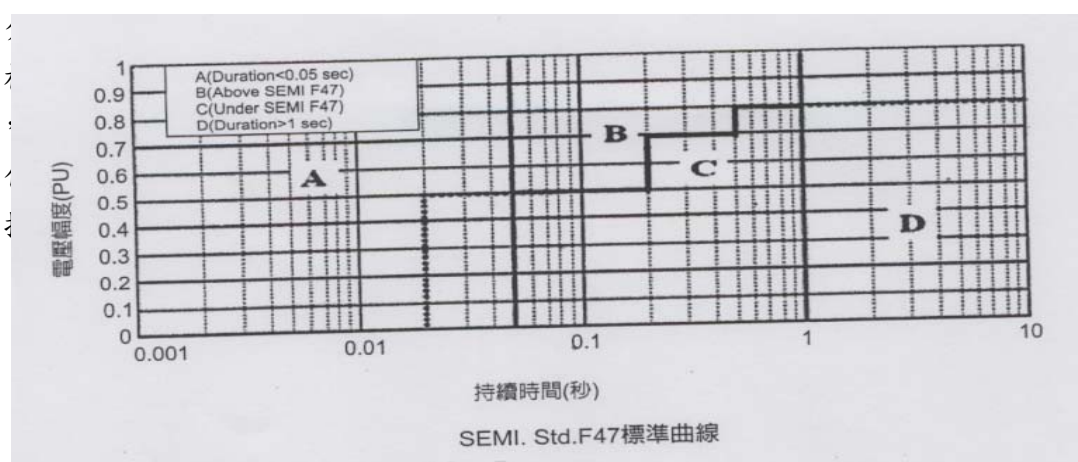
2-2. 故障波形紀錄器紀錄始動條件：各主變壓器中性點的NCT偵測到電力系統零相電流後即開始起動，並記錄電壓波形與電流波形及斷路器啟斷時間等。然，每一變電所視斷路器之多寡，決定故障波形紀錄器使用數量之多寡。

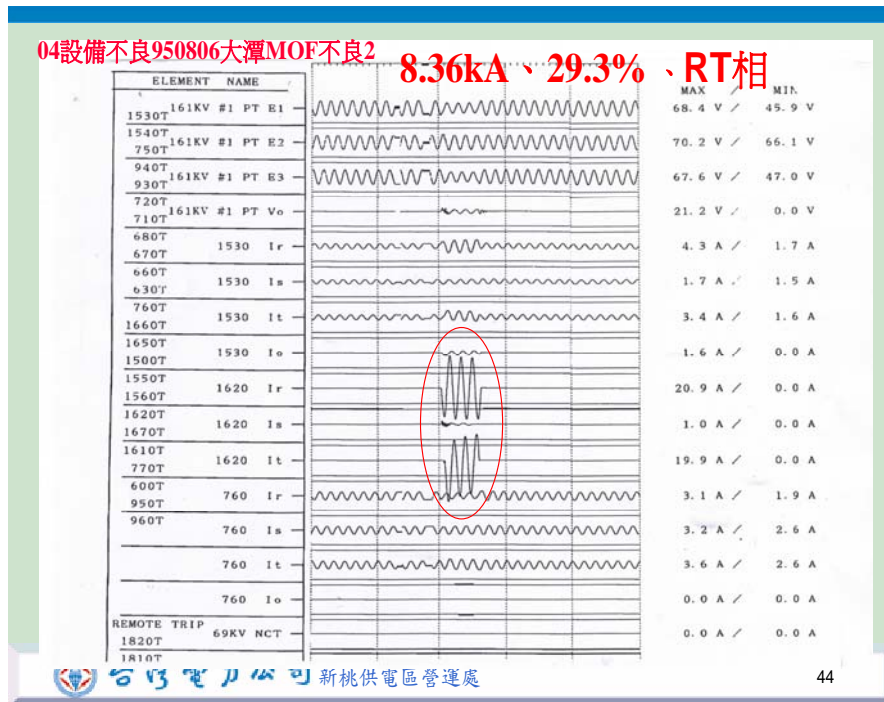
3. 電力系統故障類型：

3-1. 電壓破壞：鹽霧害、線下植物、鳥獸害、蟻害，通常造成電力設備絕緣能力降低致無法承受正常之系統電壓而造成閃絡但沒有大電流的破壞，通常為單相對地閃絡、相間閃絡、二相閃絡接地。

- 3-2. 電流破壞：急速鹽霧害、風害，通常造成電力設備絕緣能力瞬間驟減致正常之系統電壓下造成閃絡且引發大電流的破壞，通常為單相對地短路、相間短路、二相短路接地。
- 3-3. MVA 破壞：斷路器、變壓器或高壓電力設備內部故障，大電流電弧產生巨大故障電力，通常會使設備炸毀。
- 3-4. 電壓破壞+電流破壞：外物碰觸、鳥獸害，可能先造成電力設備絕緣間距不足致無法承受正常之系統電壓而造成閃絡但沒有大電流的破壞，若沒有即時的清除故障，將續引發大電流的破壞；雷害則因線路或設備遭受雷擊，可能因雷擊之高壓或大電流造成設備故障。
- 3-5 電壓驟降及持續時間衍生相關國際協會所定規定〔2〕：
電力系統發生故障勢必造成電壓驟降。針對高科技產業對電力品質需求，電力公司有關電壓驟降的統計與

用半導體設備及材料國際協會 SEMI (semiconductor equipment and materials international) 所發展的數種設備介面與相容標準並綜合 CBEMA 曲線將電壓驟降忍受度曲線加以延伸從 0.001 秒至 10 秒，涵蓋 SEMI F47-0200 標準曲線如附虛線所示。標準曲線可歸類四區：A 區代表電壓驟降持續時間小於 0.05 秒是屬暫態範疇，B 區代表電壓驟降事件在 SEMI F47 曲線之下，D 區代表電壓驟降持續時間大於 1 秒等不同屬區來區別電壓驟降事件之嚴重性。依 SEMI F47-0200 標準曲線，如事故持續時間低於 0.05 秒其電壓驟降程度均為 A 級，即謂暫態範疇是業界製程機台應是可以容忍之程度，其餘將肇成原料設備的損失。SEMI F47-0200 標準曲線，縱軸電壓額度(PU)係為正常時之電壓值減去系統故障時所肇成電壓驟降值減正常時之電壓值再除以正常時之電壓值所得值稱之。





舉例如上(AMT-3000 型式):大潭變電所 MOF 設備不良 (日期 950806)故障暫態波形紀錄器紀錄紙 PTE1 所示電壓值最大為 MAX 68.4 最小為(電壓驟降)45.9,其電壓額度(PU)是(68.4-45.9)/68.4=0.32。

橫軸持續時間 (秒)係為故障波形紀錄器紀錄紙所示故障時間以周波稱之。

舉例如上(AMT-3000 型式):大潭變電所 MOF 設備不良 (日期 950806)故障波形紀錄器紀錄紙 1620 IR 或 IT 所示波形 3.5HZ,其持續時間 (秒)為 3.5 周波 (1秒=60HZ 故 1周波=16.6ms)=0.059 秒。由 SEMI F47-0200 標準曲線得知大潭變電所 MOF 設備不良 (日期 950806)事故屬於 C 區。

所為「故障時間」闡述如下:由於系統故障發生時需藉由斷路器啟斷以隔離故障,且為滿足故障故障點之「臨界清除時間」(fault clearing time)之必要條件後再加上跳脫延遲時間(tripping delay)再加上遮斷時間(interrupting time)之總合而稱之。

3-6: 臨界清除時間 (critical clearing

time)之核算係跟系統該線段線路常數係數與變電所或發電廠間的電壓、負載及頻率演算而得之,但確為評估系統是否穩定的一項重要依據之一〔3〕。

$$\text{公式: } t_c = \sqrt{\frac{2H(\delta_c - \delta_0)}{\pi f_0 P_M}}$$

P_M :變電所或發電廠功率。 H :常數或標么慣量長數=額定轉速下之動能/MVA 發電機之額定容量。 δ_c :臨界清除角 δ_0 :初始電力角。 f_0 :初始頻率。

3-7: 斷路器故障清除時間 (fault clearing time)係由跳脫延遲時間 (tripping delay) 加上遮斷時間 (interrupting time) 再加上啟斷相之遮斷時間延遲約 0.3 周波之合計。

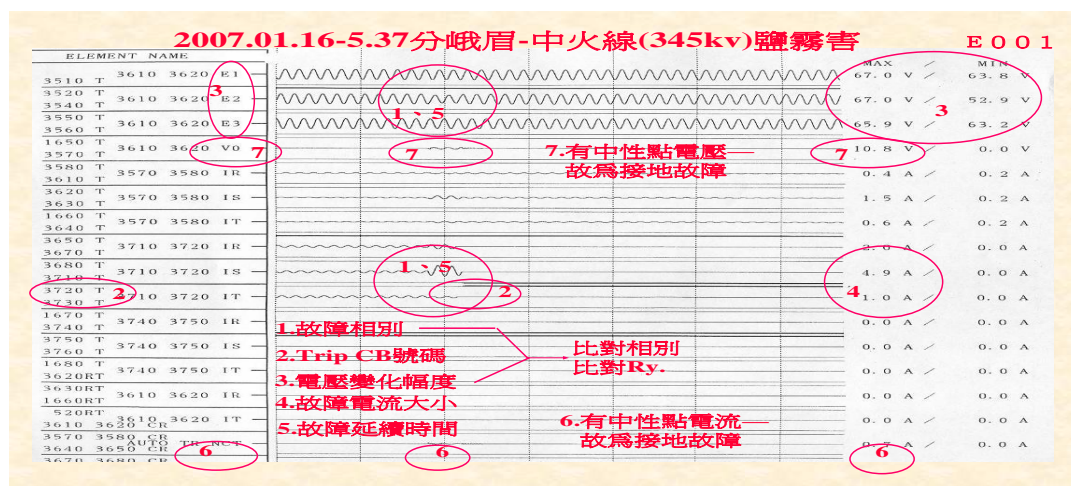
綜而言之,任何故障發生時相關斷路器的「斷路器故障清除時間」,務必小於「臨界清除時間(Tc)值」(critical clearing time),否則此故障電流將發散流竄於系統並造成無關斷路器亂

跳現象產生，肇成系統事故之擴充，因而在新設備加入系統時之審核及核算相關保護電驛之設定慎為嚴謹之原因就在於此。

4. 故障波形紀錄器判讀要點：

下圖紀錄紙(AMT-3000 型式)內數字

代表涵義：1. 故障相別。2. Trip CB 號碼。3. 電壓變化幅度。4. 故障電流大小=4.9A x (CT 比)。5. 故障延續時間。6. 有中性點電流—故為接地故障。7. 有中性點電壓—故為接地故障。



5. 結論：

電力系統在正常的繁複的發電系統，如水力、火力、核能等不同設備的發電機組，與輸電系統中各不同電壓等級所使用之導體—如架空線、地下纜等。因季節的變化使氣候隨之改變導致有颱風形成造成不可抗拒的天災或設備長年累月暴露在飽受空氣污染的大氣中，使其設備劣化而發生事故。

當這種不能預期系統設備因故障導致故障電流的流竄及驟降電壓的變化，將藉由安置於各設備上的 CT、PT 監測擷取後送至相關設備保護電驛指令所屬保護範圍斷路器動作跳脫斷路器設備；有效且即時將系統故障點隔離；並將當時經由 CT、PT 所測之資料的故障時系統電壓及電流值經由暫態波形紀錄器記錄下來，供專業人員解讀、分析。

然，工程維修人員在經由故障波形紀

錄器事故記錄紙(AMT-3000 型式)之電壓及電流波形快速有效判斷事故地點、故障相別、及初步事故原因，進而加速事故搶修及縮短停電時間，使系統快速恢復正常供電，提昇供電系統穩定與電力品質及安全。並能對設備上的缺失提供廠家改善使其產品技術有所改進至臻完美，同時提供維修人員對其維修時注意的重要。

能正確且有效的解讀故障波形紀錄器事故記錄紙(AMT-3000 型式)之電壓及電流波形之後。每月份「機電事故檢討會」會中爭議之事件相對減少，然而對如何杜絕類似事故再次發生的建議或方法增多了，換言之也就是對系統上各設備潛伏缺點藉由事故檢討會，找出毛病所在並針對毛病或缺點，經討論之結論做成紀錄並發函所屬單位對其類似設備，加強維護點檢減少事故之發生有其莫大助益。也是本篇藉以顯示故障波形紀錄器(AMT-3000 型式)判讀之重要性，不至會中爭吵不斷。

6. 參考資料：

〔1〕.97 年度(訓練所)變電運轉研習班
暫態波形紀錄器波型範例分析。

作者：李錦駁。

〔2〕.2008 年九月號電機月刊第十八卷
第九期，數位式電驛應用於電力品質改
善之實務。

作者：謝建賢。

〔3〕.電力系統分析(第二版),東華書局。

譯者：陳在相 吳瑞南 張宏展。

簡介巴西應用 DFR 及電驛 COMTRADE 檔案評估系統保護成果

台電供電處 李國楨

壹、引言

電力系統運轉絕大多數時候處於正常狀態，此時保護電驛難得幽靜清閒，讓人幾乎忘了它們的存在；然而當電力設備突發無預警故障時，保護電驛必須即時快速跳脫隔離事故區間，並儘速恢復正常供電狀態。但如電驛跳脫失序或失控時，可能造成區域性大停電或電力設備燒損，引來撻伐聲討要求急需改善與防範對策。本段論述揭露出保護電驛成果評估是在科技昌明的今天，全球電力公司鮮少不列入為營運技術的一項重要指標。

在巴西國內一些公用配電電力公司除擁有發電資產及一次輸電資產及二次輸電資產，供電系統為 138kV 及其以下電壓之發、變電業務。為了使大都會區供電達到最佳效益，電力公司在這些輸電系統已習以為常增加為雙回線供電，有時甚至超過三回輸電線路。然而在這些線路保護方式，其適當的選擇卻是十分重要的，例如電驛跳脫嚴格界定在內部事故區間，其企求嚴謹縮減停電範圍，避免其他線路或匯流排管端供電安然無恙。事實上，這些匯流排設備通常供應高密度負載中心，諸如住宅區、商業區或甚至工業區，如穩定供電需求在事故時遭遇失敗，電力服務品質將會呈現負面性影響，並反映到觀察指標諸如 SAIDI(每年每戶平均停電時間)及 SAIFI(每年每戶平均停電次數)，如觀察指標呈現不符水平基準時，巴西國內管理機構(Regulatory Authority)將對公用電力公司強制實施罰款略示薄懲，使得電力事

業公司強化於其供電專業技術與運轉部門靈活應變策略。

在保護電驛方面已逐步邁向現代化，這些公用事業電力公司都大力投資於新穎科技且功能優越的數位式保護電驛，但過渡期間仍存在一些傳統式(大多數為機電式)的電驛依然延續服役中，尚不能被設計應用處理複雜網路拓撲邏輯之實務工程資訊分析。在如此保護系統之背景下，自然渴望高度擁有一套自動分析系統，擁有能力評估保護設備是否違逆預期安全保護之可靠性，包括細微的電驛功能異常之偏頗，與顯露出模態不明但在未來有可能升高危害之傾向。

在評估保護成果議題下，結合一些相關機構協力合作共同開發，這些機構包括電力研究中心(Electric Power Research Center；CEPEL)及 LIGHT S. E. S. A 電力公司及一家民營公司負責供應分佈在里約熱內盧(Rio de Janeiro)都會區 72%的電力消費，也包括里約熱內盧大都市在內。時至今日，這項供電可靠性之評估，關係到大約上千萬居民散佈於 10,970 平方公里區域內，LIGHT S. E. S. A 在附近擁有總電能分布每年約 24,500GWM，提供 3.8 百萬用戶服務。LIGHT S. E. S. A 電力公司肩負承擔約 2,200 公里的架空及地下電纜 138kV 輸配電系統、96 站變電所及 5 站水力發電廠(機組容量 780MW)並擁用 4,000 位員工。在輸變電系統應用多樣類型功能之保護電驛，諸如測距式、差流式、方向

性過流式及電驛相關通訊保護體系等。供電保護成果評估系統建立後，獲得大眾之正面評價，因此引來巴西集團 RME(Rio Minas Energia Participações)之青睞，自 2006 年 8 月間起陸續加入投資挹注，正式成為 LIGHT S. E. S. A 電力公司之股東。

貳、建立事故系統資料庫

LIGHT S. E. S. A 電力公司自行發展一套自動化系統作為輸送大部分數位事故記錄到總管理部門，這些檔案均按照等級制度地組成，類似一樹狀型目錄，如所有變電所位址均位居第一層內。所有數位事故記錄(DFR)或擁有事故記錄功能之電驛均位居第二層內。在此種配置下 COMTRADE Configuration File 的第一行內容都被省略掉，因此第二層 DFR 所產製的檔案被認定就是樹狀型目錄所隸屬之變電所。此自動系統雖不引用 COMNAMES，或以其名字當作確認檔案內容之其他協定。但如某些檔案仍需以人工方式來擷取時，則此自動事故分析系統應超連結到此項作業。為防範擷取檔案被遺忘(或誤置)的情形，必須另行建立一套完備的方法來檢驗出。

配置檔案中之 COMTRADE 規範訂定：這些配置檔案被特殊設定可被監視但卻罕見使用。值得一提的是：線路阻抗參數均不包括在 COMTRADE 檔案內，這些數值可在 COMTRADE 資料檔案內取得，但它卻是一項取決於製造廠家的網上資料)。針對事故分析系統而言，無論是在檔案內或是在某一資料庫內的資料，必須事前被明確地整理為實用資料。當資料殘缺不全時，只能提報非常膚淺的分析，但如被監視設備的事故論述是顯著且有實用參考價值時，且能密切關聯到拓撲邏輯的數據，譬如設備連

接、設備位置場所等確實可信度相當高時，事件檔案就能被編入在資料庫中製成精巧的檔案，方便擷取研究事故案例，此類數據通常指非電子類或在無格式化格式的設備才會有實用參考價值。

參、事故分析之要件

在 LIGHT S. E. S. A 電力公司之輸電系統中，經常能蒐集到輸電線路之相電流及接地電流以及三個單相匯流排電壓之訊息，在如此情形下隨時皆能測得類比與數位 DFR 資料的可行性。至於被數位電驛所保護之輸電線路及地下電纜，在正常情況下會暫存相關資料在數位電驛的動態隨機記憶體內，例如差流(F. 87)通常被應用於 138kV 地下電纜，而相關紀錄被界限只有電流值而無電壓值。此項限制因素會影響到數位事故記錄(DFR)數據之分析，因有時欠缺電壓資料可能會阻礙到運算的推展，例如方向性過流或故障方位判定等要素。無論如何分析必須是正確的，同時配合其他實用的數據以發揮綜合效用。

通常數位事故記錄(DFR)設備跟隨電驛在事故發生時各自獨立地觸發它們的記錄，其原理可選用電壓偏移或過電流或其他外接信號啟動。在設定方面通常僅界限內部事故時，電驛元件被引動跳脫同時觸發內部事故記錄。這意味著並非所有系統事故時，數位電驛會自動記錄事故資料。為了應付這類問題，某些電驛記錄啟動方式都被調整以新設定來觸發，即使外部事故或當特殊保護系統啟動時，只要任一事故擾動照樣會被記錄下來提供參考。

在實際保護系統中另值得一提的是：裝設在各變電所的眾多電驛，彼此間缺乏同步校時，在此情況下會造成同一件

事故會產生許多不同版本的推論。例如：重複的事故在同一分鐘內再次發生時，如果事故並非一般普通案件，關聯記錄涉及輸電線路兩端電驛事故紀錄資料，但因數位事故記錄(DFR)時間記錄可能相隔數分鐘之時差，勢必造成事故有許多不同版本推論的困擾。

肆、保護系統分析必要條件

茲列舉兩種保護系統適於說明此概念：1. 測距電驛搭載波通信建立方向性閉鎖越區跳脫體系之基礎，並聯結到架空輸電線路運用；2. 差流功能聯結到地下輸電電纜運用。方向性過流電驛以往一向均被作為架空線路與地下電纜兩者之後衛保護，但在大多數案例中，測距電驛以往也被設計為架空線路之後衛保護。因此考量事故符合保護電驛動作要件下，運用邏輯電路執行保護系統評估。

這些實用性資料主要在數位電驛內部，其項目變動取決於故障電流應用技術、電驛標置理念及電力系統其他相關資訊等。總結推論內容應包括：這些配置的每一項設備名稱、個別有效的數位資訊輸出。當記錄被解讀時，每一項配置應該有其個別的電氣通路，且其量化數值必須被界定在有效的信號範圍內。例如：當

解讀「測距電驛搭載波通信建立方向性閉鎖越區跳脫保護體系之基礎」作為架空線路保護時，其使用靜態電驛或機電式電驛(諸如 RAZOA™ 及 KDAR™ 之類)來執行保護，分析所使用載波訊道在事故紀錄內應載明符合跳脫、閉鎖接收及閉鎖發射等狀態，因為這些信號被連接到 DFR 是唯一可供評估的保留記錄。當處理數位式電驛諸如 Micom P442™(AREVEA 廠製)與 Siprotec 7SA611(西門子廠製)，其內部會自動記錄事故，合成一龐大的內部資料組可被指定到數位電路，例如指示某一區間動作使分析內容更豐富且更容易了解事故發生狀況。

另一個問題是對電驛動作原因的真實性，雖然有很多電驛動作模式在爭論中被議論，其實電驛製造商對其電驛內部運作細節通常都是相當熟悉，所以在此特別強調任何內容都可模仿簡易的、類似的性能，例如測距類、差動類與過電流類等，然後再比對這些被模擬電驛與實際同類別電驛之輸出。假設比對結果發生一些顯著的差異時，如這些精簡的模式仍無法精確到足以證實某一事件的電驛特性異常時，最後僅能建議使用者將該問題電驛改為預警告知，觀察後續動作再進行可靠性評估。

伍、簡介自動化數位事故紀錄分析

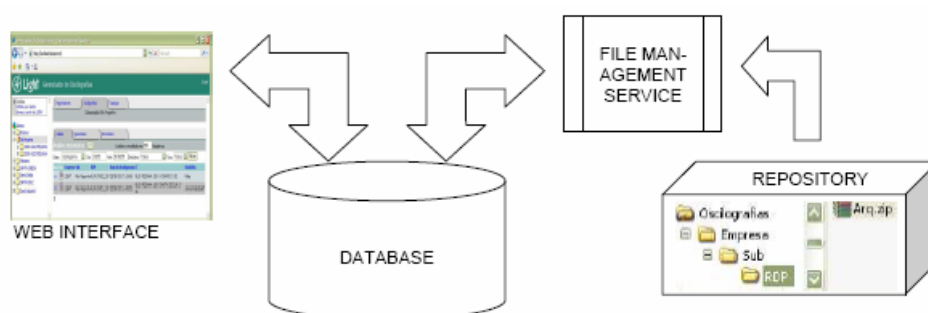


圖 1 事故記錄管理系統示意圖

事故記錄管理系統被建置於 Windows™ 平台上且由以下諸多要件所組成，詳如圖 1 所示由右方向左方簡介：

- 檔案貯藏所：此處為目錄位址告示所有事故記錄儲存位址，在這樣框架下每筆事故資料僅只一可貯藏之處所，其採等級劃分結構使解說更容易，設計由第三部分軟體負責擷取遠端變電所檔案資料，此類檔案均儲存於 COMTRADE 格式或壓縮成 Pkzip 格式檔案。
- 檔案管理服務：當貯藏所內某一新檔案到達時，本站業務負責偵檢，為了滿足資料庫儲存要件須招集若干分析運算。本項管理服務平台週而復始地進行下列運作：登錄新檔案進入資料庫→檢疫分析(濾掉成份不足以分析之殘缺檔案)→事故分析→保護性能評估→其他次要的作業(記錄管理、自動建立備分等)。
- 資料庫：凡被系統使用過的所有數據均儲存於此處貯藏所，但記錄檔案除外。資料庫儲存拓撲邏輯與電力設備配置數據(諸如 DFR 類、電驛類、匯流排類、輸電線路類與變電所類)。在微軟 SQL 伺服器™及配置軟體下，執行登錄管道連接電力系統宏規，應用保護分析相關準則完成分析結果。
- 網路界面：一套 HTML 動態的網頁(開發在 C#.Net 內)協助瀏覽貯藏所內容，並具有如篩選日期、公司、變電所及匯流排等功能，及顯示圖解的能力。
網路界面可執行使用者與系統資料庫數據互動之螢幕，這些界面提供下列事項：
- 進入並諮詢拓撲邏輯方面及電力系統結構數據(如 DFR 設備、電驛設備、匯流排設備、輸電線路設備及變電所等)。
- 進入並諮詢登錄管道如何進入電力系統宏規。

- 諮詢事故案例之分析結論。
- 進入並諮詢軟體配置。

陸、保護電驛事故資料分析

當某一檔案已通過檢驗階段，緊接著檔案管理服務推動事故分析運算作業，其運用信號分析處理技術進行事件分類，並登錄於數位示波圖內，此類事件結論均被綜合地儲存於數據庫內。所有事故分析主要的目標都是：

如何判定已發生的事故(假設是真的)，則事故類型為何類及事故位置在何處。

事故分析分開若干階段來執行，大致情形總結如下：

- 信號處理：運用在資料庫的資訊，對跨越電力系統狀態演變(如事故發生前、事故發生時、事故清除後)之各段期間，在事故發生期間確定某些信號確實監視相同的輸電線路，再篩選前述各段期間所蒐集的事故信號。凡符合這段期間波形信號均須被測試並刪除雜訊部份。假如證實事故期間信號完全符合演算特性時，此數值可被劃歸為正常期間(經正式評鑑)。另外尚有非正常期間(信號雖沒瑕疵但不足完整)、有缺陷的、零值(沒有故障電流出現)、虛弱的(無法歸類在哪一期間)。
- 事件診斷：建立以事故演變期間出現的順序為基礎，很多檢驗方法被運用來確認被登錄事件之排序，最後結果可能如下：無瑕疵、個別的復閉有瑕疵、線路開路(加壓或斷線)之瑕疵。

某一典型事件出現事故前片段、事故片段、事故後片段完整過程。事故前片段系統是健全的，如出現一些微細的異狀，即顯露系統已偏離常態。事故後段期間取

決於線路跳脫或是線路連續供電來斷定系統變化狀態。另外電驛延緩觸發或觸發在復閉動作期間或線路切換成功等情事，應不會出現在事故前段期間。如事故波形長度被認定是允宜時，則事故清除後無疑的可被確定恢復正常狀態。

電流型電驛在波形圖中沒有電壓可供參考時，如監視匯流排電壓超過一套記錄器，且有輸電線路掛接在該匯流排時送電時，則匯流排電壓可取自引接該匯流排之其他記錄器，搜尋相同日期資料。如各相電壓根本都得不到，則事故分析僅唯一地限自電流成份。

柒、保護電驛成果分析

應用下列兩種分析方法鑑定評估保護成果：

- 連貫性分析法：利用檢驗數位電路在跳脫瞬間狀態變化、對照預期模式。
- 相對的分析法：利用相對比較事故分析方式，以簡單的保護性能，如方向性測定及差電流等，進行電驛元件的事故狀態模擬。

保護系統的邏輯反應被解析如下：只要訊息從超過一端注入並確認保護系統的動作以及通信頻道正常。在如此的案例通路界面應裝置兩個或更多個時間同步的數位示波圖。

當執行有根據的事故記錄分析時，其數據來源必須經過深思熟慮。檔案製作由電驛直接地複製此設備的內部狀態，切勿信任外

部接點或接線，通常地在此類案例記錄上有更多信號可資利用的。在另一方面，對老舊設備而言，此 DFR 設備都是必要且相當重要，即使當擁有實用性的數位電驛，因為 DFR 貢獻一項就整個變電所提供各回輸電線路在事故中發揮系統性的故障波形記錄。

捌、連貫性的分析

開發預期模態是一項十分複雜的任務，因此推出一套專門系統 CLIPS 軟體作為援助系統分析的工具。CLIPS 具有某一特殊語言能編碼規則，確立規則裨益進行資料連貫性分析之評鑑。此外 CLIPS 軟體設計更友善靈活，即使編碼規則也能被儲存入數據庫內，替代原始資料改寫成編碼。WEB 網頁界面能夠到欄表存取數據並含這些規則，此用意在於連結事故

整修計畫。為了開發連貫性分析專欄規則，其相關專業知識引援自 LIGHT. S. E. S. A 電力公司保護專家群之集思廣益。

如案例：考量一 138kV 地下輸電線路由差流電驛(ANSI 87)保護。

表 1 說明兩個測試例子：一處只有跳脫信號是可利用的，同時另一處 87 功能信號，轉換跳脫發射與接收訊號，與 87 功能閉鎖(由於通信不良或人工手切)。

表 1：等級體系的評估標準

保護設定	評估設定	診斷	測驗模式		
一端差流保護 設定	僅差流電驛有跳脫信號 電驛說明：BPD- LTS123_87, SMT- LTS123_87, ...	87 電驛未輸出 任何一跳脫	跳脫	=	0
		87 電驛輸出 任何一跳脫	跳脫	=	1
	差動電驛俱備 傳訊跳脫- 發射至遠端(TT 近 端) 轉換跳脫- 接收(TT 遠 端), 87(F87) 87 功能閉鎖 (Block87)以及跳脫 電驛說明：PER- LTS136_87, BNP- LST136_GVD- LTS160_87...	因 87 功能致 電驛 87 跳脫	F87	=	1
			跳脫	=	1
			TT 近端	=	0
			TT 遠端	=	0
			閉鎖 87	=	0
	因接到傳訊跳脫 致電驛 87 跳脫	F87	=	0	
		跳脫	=	1	
		TT 近端	=	0	
		TT 遠端	=	1	
		閉鎖 87	=	0	
	意外的 電驛跳脫	F87	=	0	
		跳脫	=	0	
		TT 近端	=	0	
		TT 遠端	=	1	
		閉鎖 87	=	0	
	...				

所有規則被組成如下機能：

- 保護組：為主要部份可以延伸到一些評估群組，保護群組被限定在此工作：一端差流保護組(ANSI 87)，一端測距保護組(ANSI 21)，一端過電流保護組(ANSI 51)，兩端差流保護組(ANSI 87)，兩端測距保護組(ANSI 21)。
- 評估組：係次要部分，評估包括多數電驛在某一已知狀態資訊，立即評估其實用的數位信號及其邏輯亦是一致的。在表 1 內它能被看出有兩套供差流保護，最前第一組只有跳脫信號可用的，相當於機電式電驛類 HCB(西屋製)，而第二套有更多信號可用的且相當於電驛類型 MiCOM P541(AREVA 製)或電驛 7SA511(西門子製)。其他的評估群組存在於測距保

護，包括一端測距保護以及兩端測距保護。

- 診斷：針對每一模式實施合理的推斷。
- 測試模式：每一數位信號狀態。

比較故障分析結果對照電驛元件模擬簡單的保護功能，例如方向性測定及差流，用作檢驗模擬故障中保護電驛動作之合理性，仍然採擇簡單的、有效的測試方式。當然更複雜的模擬能被引用，如能採用更適切的模式，則更能強化論證結果。在此項成果內，下列諸多功能被模擬配用傳統的方法：

- 差流功能(ANSI 87)：係應用一種動作/抑制特性的方式來執行保護。
- 電流方向性功能(ANSI 67)：係應用對稱性成份方法的塑造模型。

玖、結語

由 CEPEL 電力公司及 LIGHT S. E. S. A 電力公司共同開發一套自動的事故分析系統，強烈示意故障波形記錄示波器有能力協助評估保護電驛之成果。擷取電驛儲存故障波形作有效益之處理，再重建故障波形模擬事故重現，亦即強加這些故障波形於待檢測電驛並觀察其後續響應，各類電驛在不同的技術領域內應會遵循其基本動作理論軌道運行。此系統業經在 LIGHT S. E. S. A 電力公司運作數年，迄今獲致有限的經驗也啟發某種程度的喜悅成果，確如預期的令人滿意。

本文靈活應用數位故障記錄器(DFR)所產出數據自動分析系統，有能力進行保護系統運作良窳狀態之評估，並對照預期模式準確定位可能異常現象，也可揣測異狀在未來可能更惡壞之傾向。評估保護成果通常聚焦在電驛類及其通信波道整體系統運作狀態，因此分析方法容許取決自不同領域之技術，導致評估軟體需摻雜著些許功能改變。

評估保護系統的主要目標是協助指導電驛工程師在工作內容之正確性，從許多故障檔案中檢視有關電驛偵檢出短路事故與反應合理性，例如檢驗通訊保護體系協助相關電驛或通信頻道出現異常現象等。此基本理念並非最新穎，但仍引人興緻高昂主要是此類案件論述雖是靈活理性的，但仍足供設法解決來自不同技術層次的電驛，包括機電式到數位式電驛都有，其中大部分數位式電驛可擷取大量可利用之資訊，除大量內部組件反應外尚有擾動紀錄且涵蓋特殊檔案(如事件報告及事故論述報告)在內。至於靜態電驛及機電式電驛類不會輸出數位檔案，所以它們的內部元件在許多時候對事故分析幾乎不具有實用參考價值。

基於前述分析事故檔案需求，保護成果分析系統順理成章逐漸發展成為首要之務，也關係到故障記錄之類比波形的詮釋。在事故記錄管理系統之下，系統功能

自會被提升，有能力儲存、分類、並製作事故相關檔案備份。本系統執行自動事故分析、保護性能評估，及儲存此結果(如事故類型、量化數值、時間資料、電驛性能報告等)在某一相關的數據庫，預備供應在需要時立即被選用參考等作業方式。另外開發一套網頁協助使用者，在諸多檔案中快速選擇出適切題材的資料，是一項相當重要的設計。儘管電驛工作團隊在已經現代化的電力公司擁有高度的專業技術，然而由於人員編制趨向於精實考量，導致人工管理成千上萬之數位事故記錄(DFR)及數位式電驛的儲存資料，實際上想要快速運作確實有其困難。

7. 參考文獻

- [1] X. Luo, and M. Kezunovic, "Fault Analysis Based on Integration of Digital Relay and DFR Data" (Power Engineering Society -PES - Meeting, June 2005, San Francisco, CA).
- [2] M. A. P. Rodrigues, M. A. M. Rodrigues, A. L. L. Miranda, S. S. Diniz, M. V. F. Figueiredo, "A system for automated oscillogram analysis at LIGHT" (VII Seminario Tecnico de Protecao e Controle -STPC (June/2003), Rio de Janeiro, Brazil), in Portuguese.
- [3] IEEE Std C37.111-1999, "IEEE standard common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems," Mar. 1999.
- [4] IEEE Standard PC37.232 - Recommended Practice for naming time sequence data files COMNAMES - Draft 4 (2004)
- [5] C Language Integrated Production System(CLIPS) - www.ghg.net/clips/CLIPS.html (NASA)

談保護電驛相關問題分析與實例

台電 綜合研究所 吳立成

壹、前言

保護電驛是篩檢電力系統異常運轉的利器，其保護效益能否發揮得淋漓盡致，攸關電力系統運轉之安危。詳言之，當系統正常運轉時，保護電驛保持可靠不動作；系統發生故障時，保護電驛能察覺事故並予以快速隔離，肩負起維持健全系統安全運轉之使命。

本文將以案例方式，扼要介紹保護電驛在系統運轉中常見之問題，希望透過本文之實例解析，對電驛人員在電驛工程方面有所助益。

一、比流器(Current Transformer)輸出至電驛之連接線絕緣不良問題：

電力系統正常或故障，其電流大多為基頻 60Hz 之正弦波形，在此一前提下保護電驛之故障偵測，通常以計算基頻(60Hz)為其主要任務，因此，當波形非純正弦波時，影響保護電驛之動作性能將造成偏頗，甚至異常動作。本案例如圖 1 所示為差動電驛保護之單線圖，如圖 2 及 3 所示，係因比流器輸出至電驛連接線之 A 相絕緣不良，造成差動電驛誤動作；經更新導線改善後，其正常波形如圖 4。

貳、保護電驛相關比流器問題

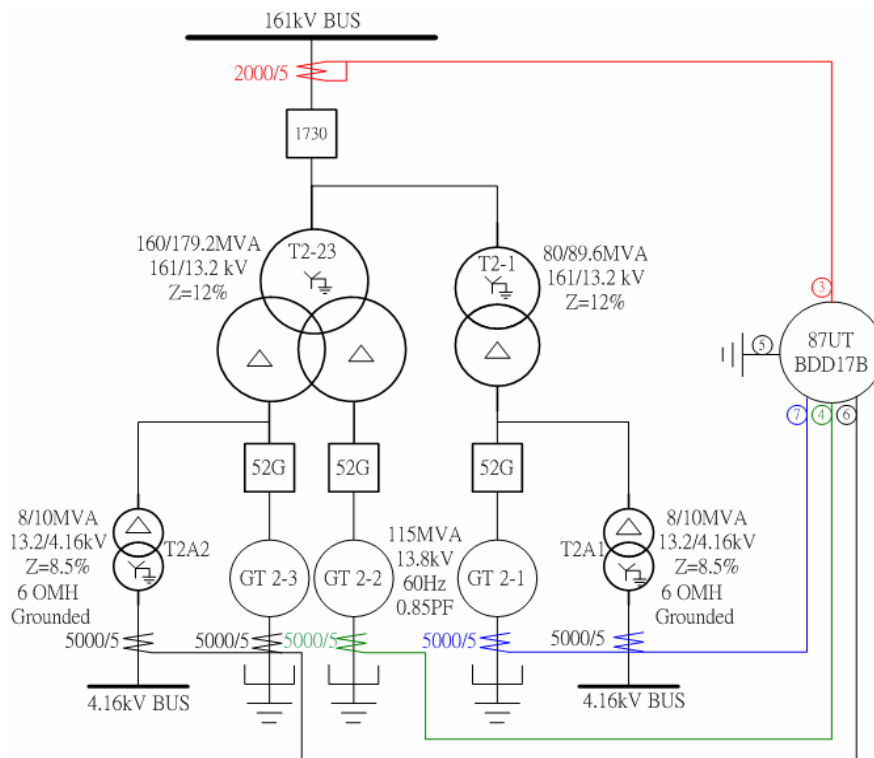


圖 1 差動保護電驛 (87UT, BDD17B) 系統單線圖

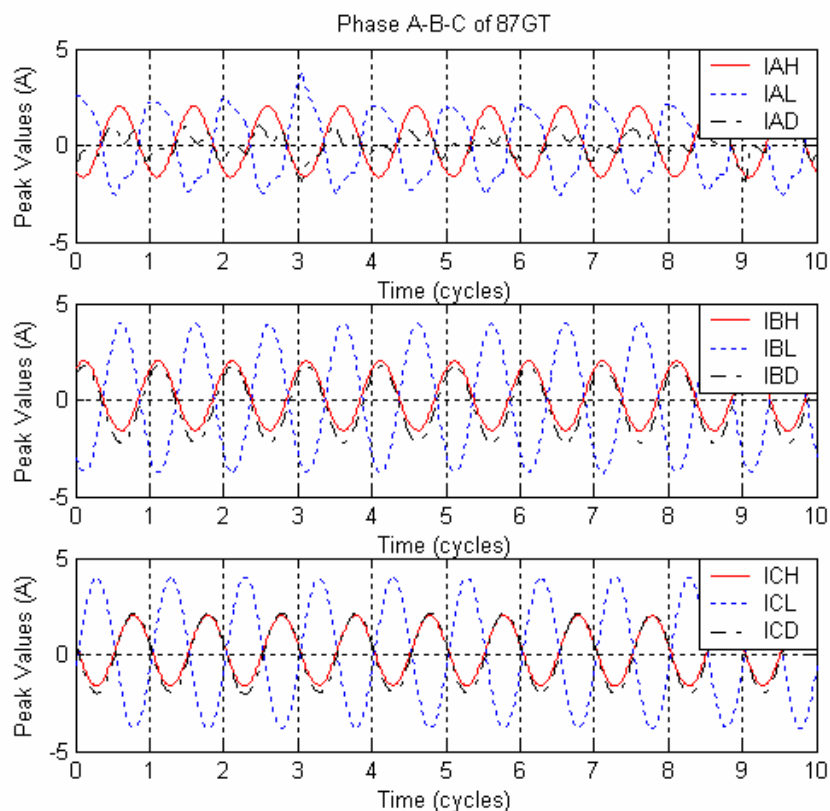


圖 2 差動保護電驛之三相高、低壓側電流及差電流

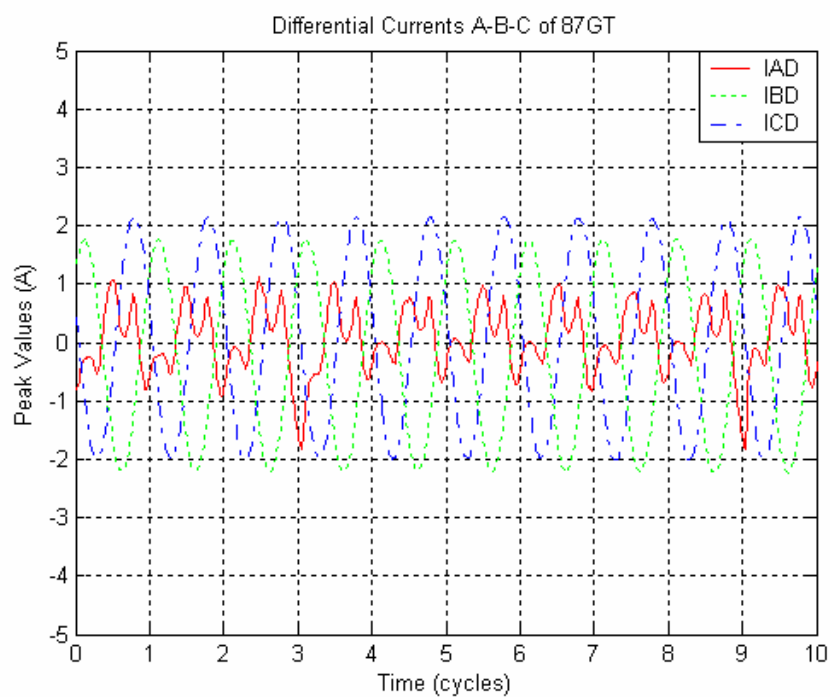


圖 3 差動保護電驛之三相差電流

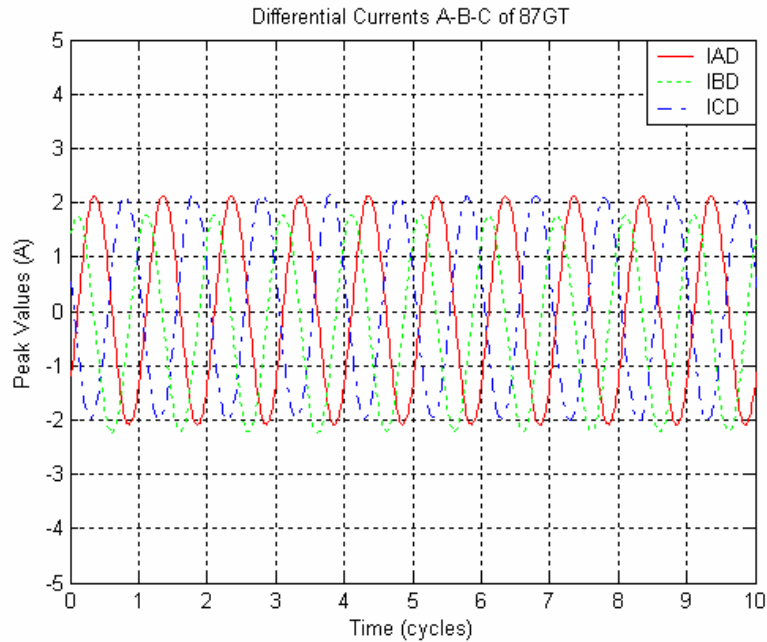


圖 4 改善後差動保護電驛之三相差電流

二、保護電驛用 CT 內部層間發生短路問題：

本案例是因 CT 於發電系統正常運轉時之電流大小異常，為查明其原因，本文使用標準 CT 與被試 CT 用比對法分析，如圖 5 之瞬間值波形及圖 6 之有效值波形所示，當 CT 無載下，電流從 5A 變化至 1A，標準 CT 與被試 CT 之輸出波形，大小一致，但用微量之相位誤

差，仍無法觀察出被試 CT 之問題，因此，我們用滿載試驗，電流從 5A 變化至 1A，顯示圖 7 之瞬間值波形及圖 8 有效值波形，標準 CT 與被試 CT 輸出大小已明顯有一半之差異，標準 CT 電流 5A 輸出時，被試 CT 之電流輸出才 2.3A，因此明顯說明被試 CT 內部有層間短路傾向。

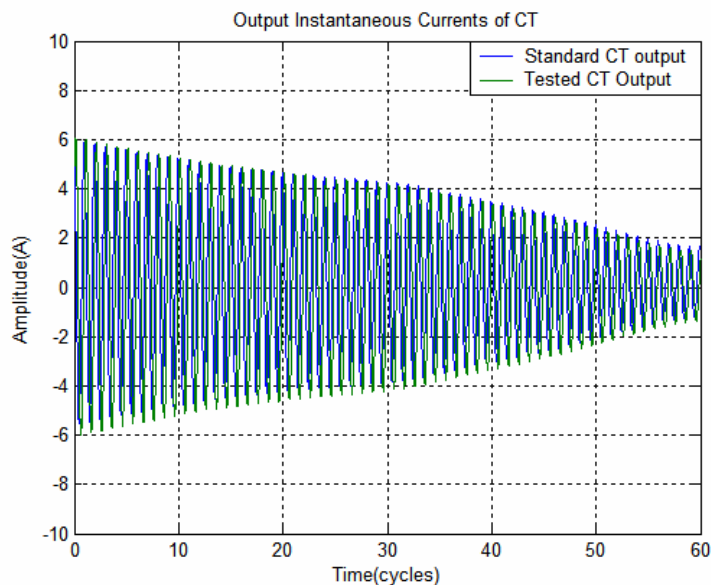


圖 5 標準 CT 與被試 CT 之無載瞬間值波形比對

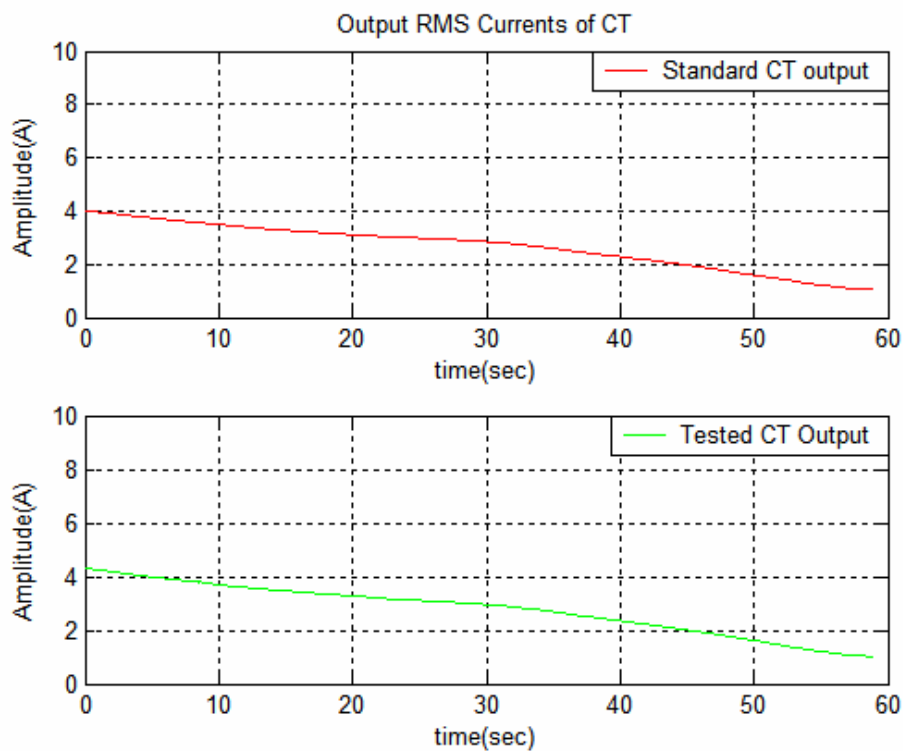


圖 6 標準 CT 與被試 CT 之無載有效值波形比對

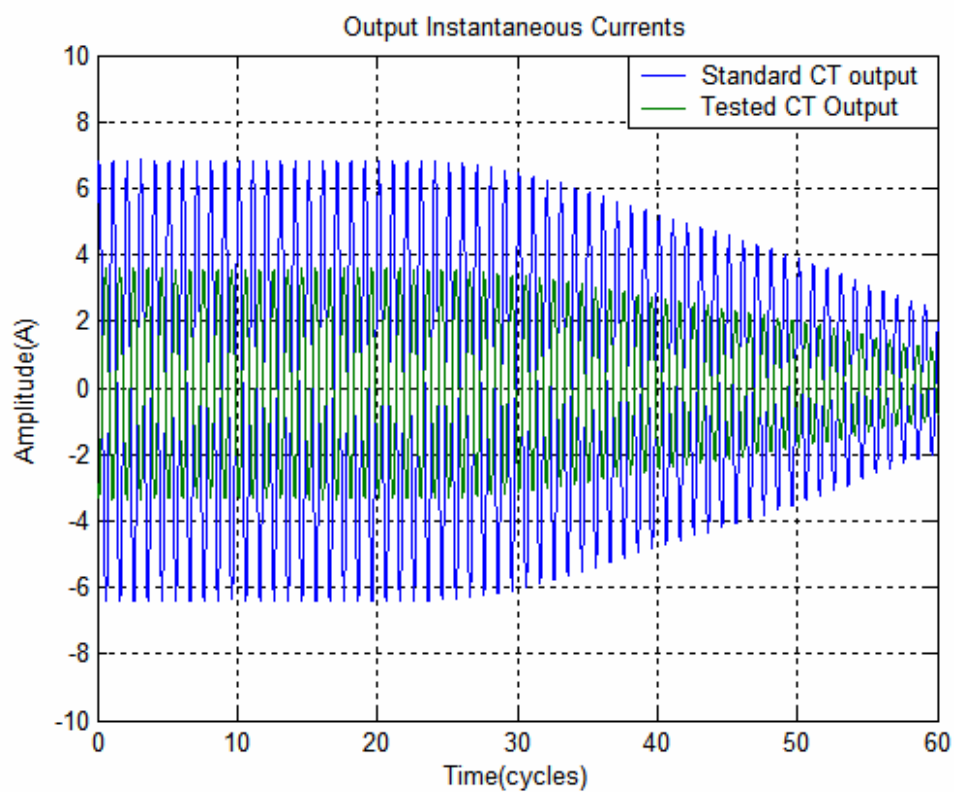


圖 7 標準 CT 與被試 CT 之滿載瞬間值波形比對

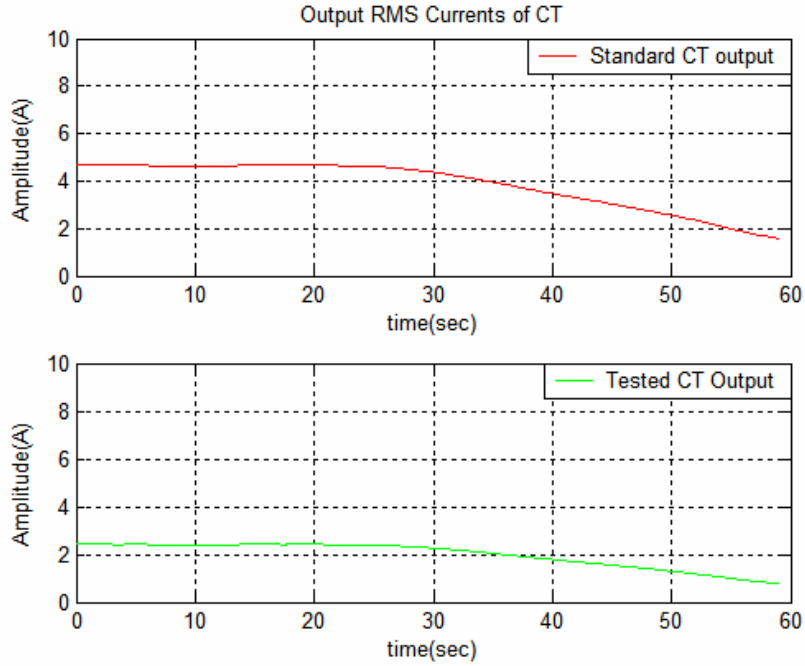


圖 8 標準 CT 與被試 CT 之滿載有效值波形比對

三、馬達啓動電流問題：

馬達過電流保護電驛，常會因其馬達啟動之高啟動暫態電流，使瞬時過電流保護動作，如圖 9 為馬達 2500 馬力之三相啟動暫態電流波形，因其啟動瞬

間電流(A 相及 B 相)超過電驛瞬時(IIT)設定(29 安培)，如圖 10 所示，而使電驛誤動作跳脫，故需提高電驛瞬時標置值，以防止誤動作發生。

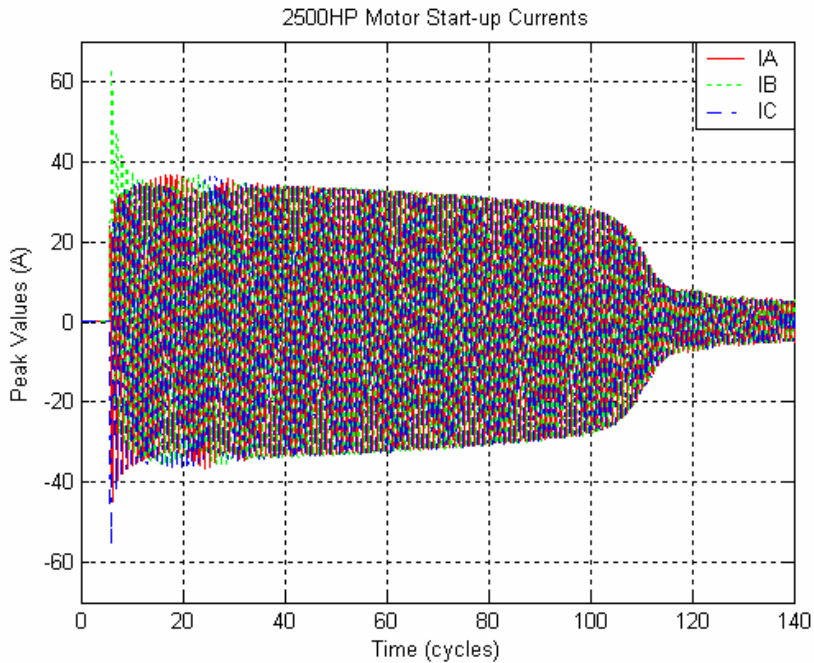


圖 9 馬達 2500 馬力之三相啟動暫態電流

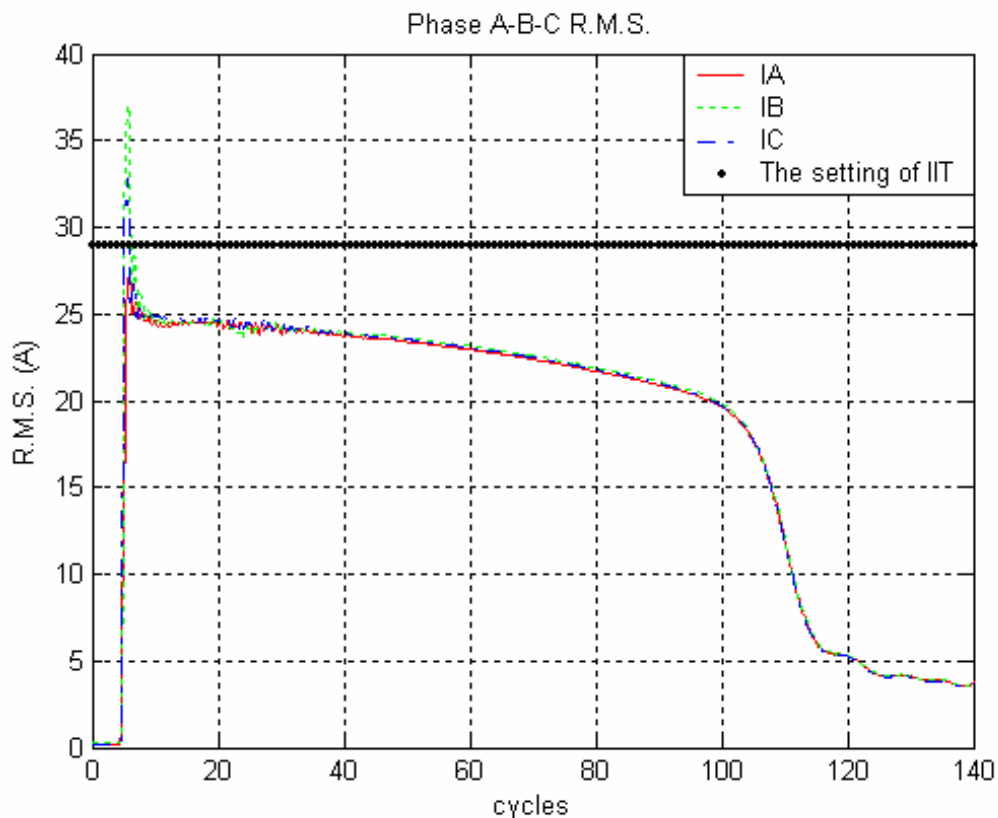


圖 10 馬達三相啟動暫態電流之 DFT 轉換與電驛瞬時(IIT)設定

四、空載加壓變壓器造成中性線過電流電驛動作：

在電力系統 Y 接變壓器之中性點，常使用過電流電驛做後備保護；然而，變壓器在空載加壓所產生之湧浪電流(Inrush Current)會造成三相不平衡，此失衡之湧浪電流，常使變壓器中性點保護電驛，將此電流誤判為故障電流，因此而異常動作跳脫。

圖 11 之單線圖為電廠供應發電機冷卻用水泵的系統圖，因現場操作隔離開關(S1211)啟斷時，導致斷路器(S10120)連鎖跳脫，致使供

應五號水泵變壓器(TR-SW2)失電，此時投入 Tie CB，因斷路器(TR-SW2：ACB1)未啟開，導致變壓器 TR-SW2 空加壓產生湧浪電流，其湧浪電流在 TR-SW1 及 TR-SW2 中性點波形之電腦模擬和實測分別如圖 12 所示，如圖示我們再將其波形經有效值處理後，其 TR-SW1 及 TR-SW2 中性點波形分別如圖 13 及圖 14 所示，因其中性點湧浪電流電流大於電驛(50Z)瞬時電流標置 4 安培，故使變壓器 TR-SW1 及 TR-SW2 之中性點過電流電驛動作跳脫(50/51Z)。

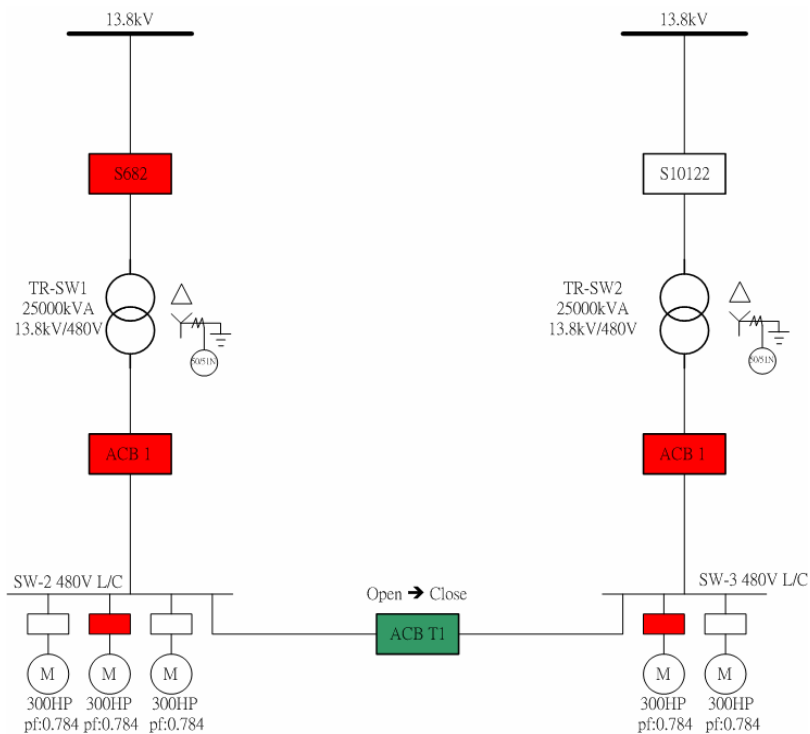


圖 11 電廠冷卻水泵系統單線圖 (CB : S10122 Opened)

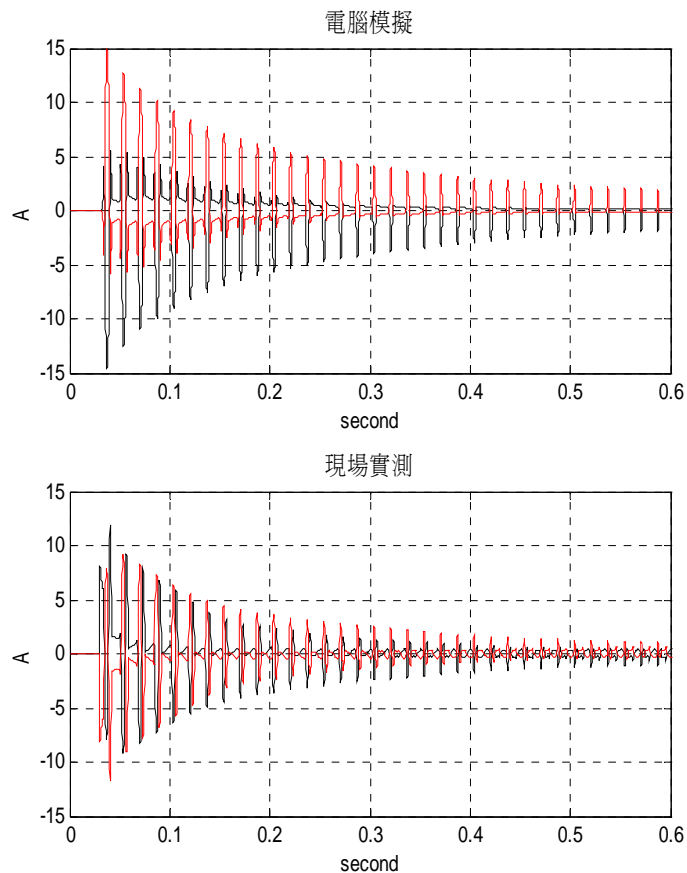


圖 12 TR-SW1 及 TR-SW2 中性點模擬與現場實測之波形

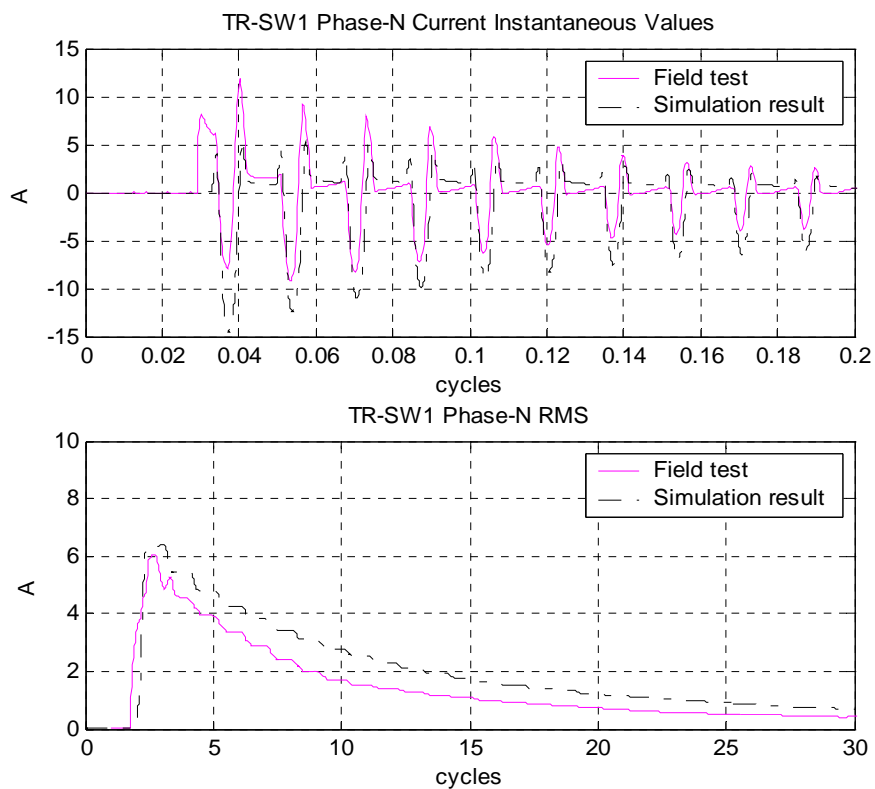


圖 13 TR-SW1 中性點模擬與現場實測之波形

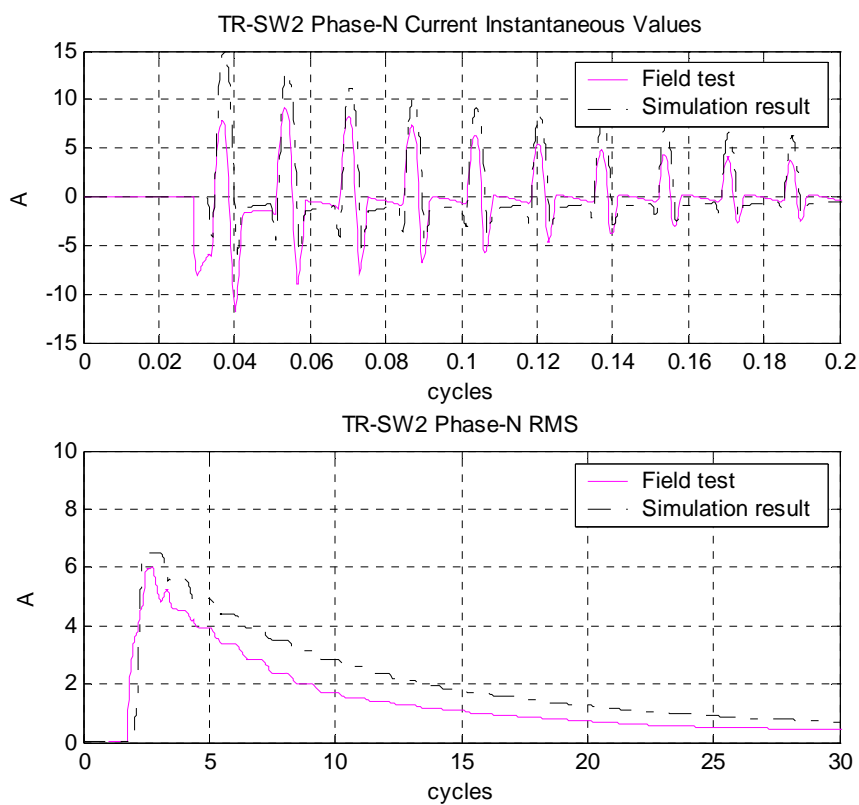
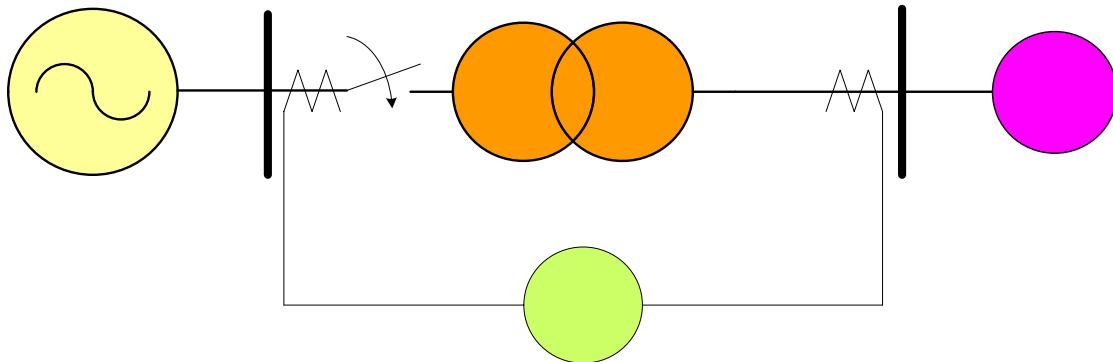


圖 14 TR-SW2 中性點模擬與現場實測之波形

五、空載加壓變壓器造成差動電驛動作：

圖 15 為一般差動保護之基本架構，其基本原理是利用變壓器兩側電流符合比率差動(Ratio Differential)法則，當兩側電流不平衡產生之差電流值達電驛始動時，觸發差動電驛跳脫信號隔離故障。由差動原理推知：當變壓器空載投入系統時，流經變壓器高壓側之激磁繞組所產生之湧浪電流，僅差動電驛一次側有感應電流，而差動電驛二次側因 CB 尚未投入，所以沒有感應電流，因此差動元件僅存湧浪電流。如圖 15 所示變壓器在加壓瞬間，其 A、B 相湧浪電流大於電驛設定進入差動電驛之

動作區(如圖 16)，但 A 相湧浪電流之二次諧波皆大於電驛設定值(如圖 17)，故觸發 A 相抑制功能發出制止跳脫信號；而 B 相湧浪電流之二次諧波小於電驛設定值(如圖 18)，無法觸發 B 相抑制功能，一直延遲至 24.5 週波，差動元件啟動跳脫訊號。一般而言，電驛之二次諧波抑制大都設定在 15%，但本案例差動電驛二次諧波抑制設定在 20%，才會造成異常動作。近年來因變壓器製造技術更新，部份變壓器於空載加壓時二次諧波可能小於 15%，為避免不必之誤動作，可選用更新演算法之差動電驛來保護變壓器，以降低誤動作機率。



圖

15 變壓器空載加壓與差動保護之單線圖

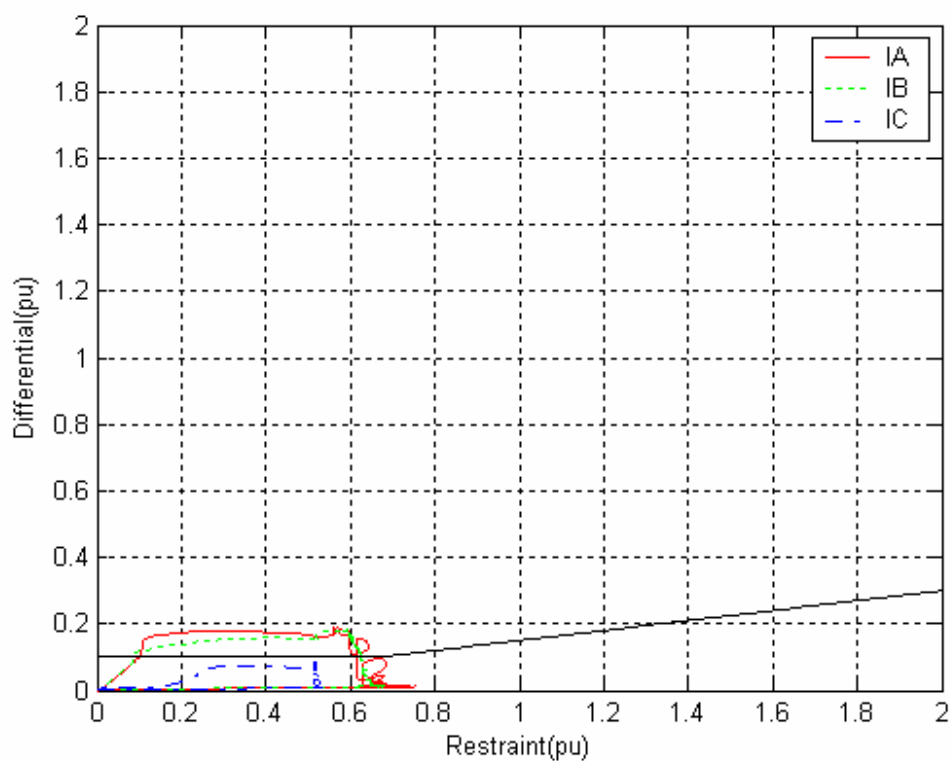


圖 16 變壓器空載加壓時湧浪電流在差動電驛曲線之軌跡

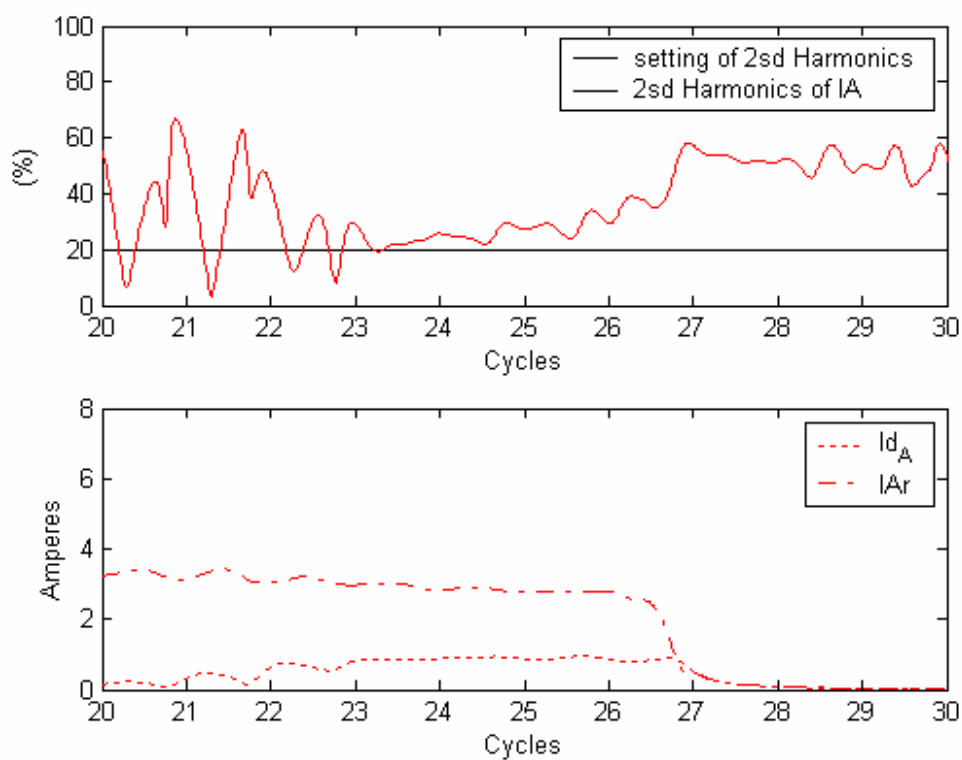


圖 17 A 相湧浪電流之二次諧波與差動電驛二次諧波設定

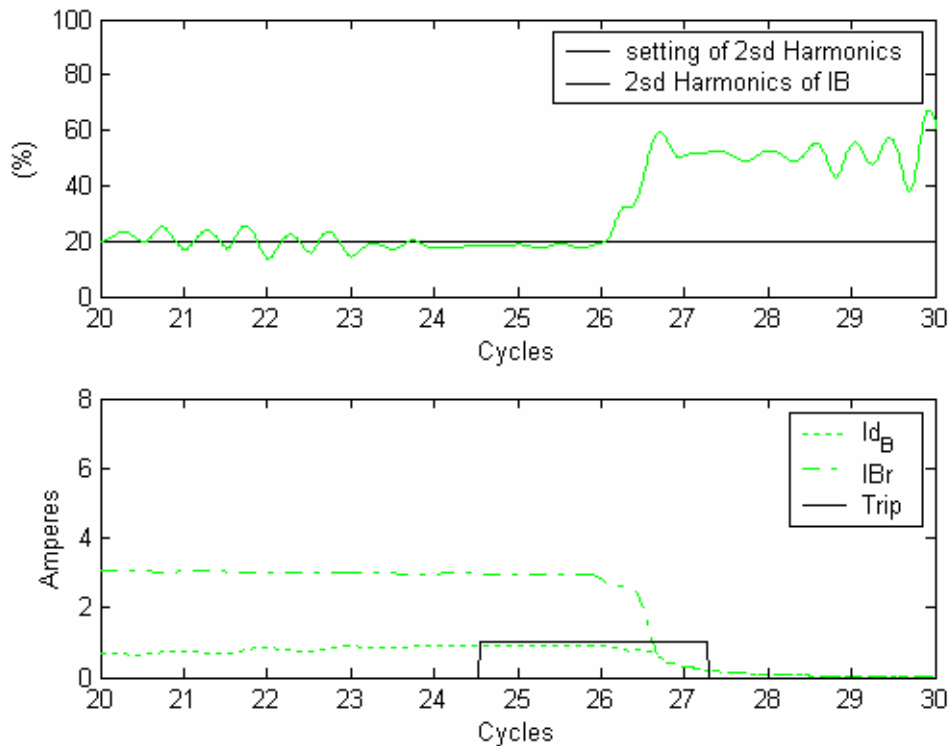


圖 18 B 相湧浪電流之二次諧波與差動電驛二次諧波設定

六、發電機失磁保護：

發電機失磁故障是指發電機的勵磁 (Excitation) 突然全部或部份消失，其肇因可能為：轉子繞組故障、勵磁機件故障、磁場斷路器意外跳脫、勵磁系統之整流半導體元件故障、勵磁繞組長期過熱，勵磁繞組絕緣老化或損壞引起短路、勵磁系統之交流電源中斷或人為誤操作等因素。當發電機完全失去勵磁時，勵磁電流將逐漸衰減至零；由於發電機感應電動勢 E_G 隨著勵磁電流的減小而成比例減小；造成電磁轉矩也減少到小於原動機之轉矩，使轉子從穩態運轉逐漸加速。失磁期間發電機功率角 δ 增大，當 δ 超過靜態穩定極限角時，發電機與系統失去同步。發電機失磁後將從系統吸收無效功率，變成感應發電機之模式運轉。在發電機超過同步轉速後，轉子迴路中將感應出頻率為

$f_G - f_s$ (f_G 為發電機轉子頻率； f_s 為系統頻率) 之電流，此電流產生非同步制動轉矩，當非同步轉矩與原動機轉矩達到新的平衡時，即進入穩定之非同步運轉。

發電機失磁後，於非同步運轉時，將產生下列影響：

- (一) 系統要供給發電機無效功率，以建立發電機磁場，其無效功率多寡，由發電機參數及轉差率決定。
- (二) 因發電機從系統吸收了大量無效功率，為防止發電機定子繞組過電流，勢必要限制發電機有效功率，吸收的無效功率愈大，則所能發出的有效功率愈少。
- (三) 因發電機從系統吸收了大量無效功率，此將造成系統電壓下降，如系統之無效功率不足，將使鄰近電壓低於容許值，而破壞

負載與電源間之穩定狀態，更嚴重者將造成電壓崩潰，使系統瓦解。

(四) 發電機於失磁後，因轉速超過同步轉速，於轉子及勵磁迴路中將產生一頻率為 $f_G - f_S$ (f_G 為發電機轉子頻率； f_S 為系統頻率) 之電流，而使發電機轉子及勵磁迴路過熱。

綜上所述發電機保護，尤其是大型機組，必須裝設失磁保護電驛，才能維護系統及發電機運轉安全。

如圖 19 及 20 所示，當系統因事故

發生穩態擺盪時，使用非同步阻抗圓之發電機失磁保護電驛，比應用靜穩態邊界圓設定之發電機失磁保護電驛，更能避免非期望性動作。然而，非同步阻抗圓之設計並非就是最佳選擇，有些發電機於輕微失磁情況下，使用非同步阻抗圓設計之電驛可能不動作；此時，靜穩態邊界圓設定之發電機失磁保護電驛，卻相當可靠地發揮發電機失磁保護。故當機組容量較大或鄰近負載中心，一般都會考慮採用靜穩態邊界圓設定，但要有足夠時間延遲防止電驛在系統穩態允許下提前跳脫；而其他大多用非同步阻抗圓設計之發電機失磁保護電驛，即可滿足發電機保護要求。

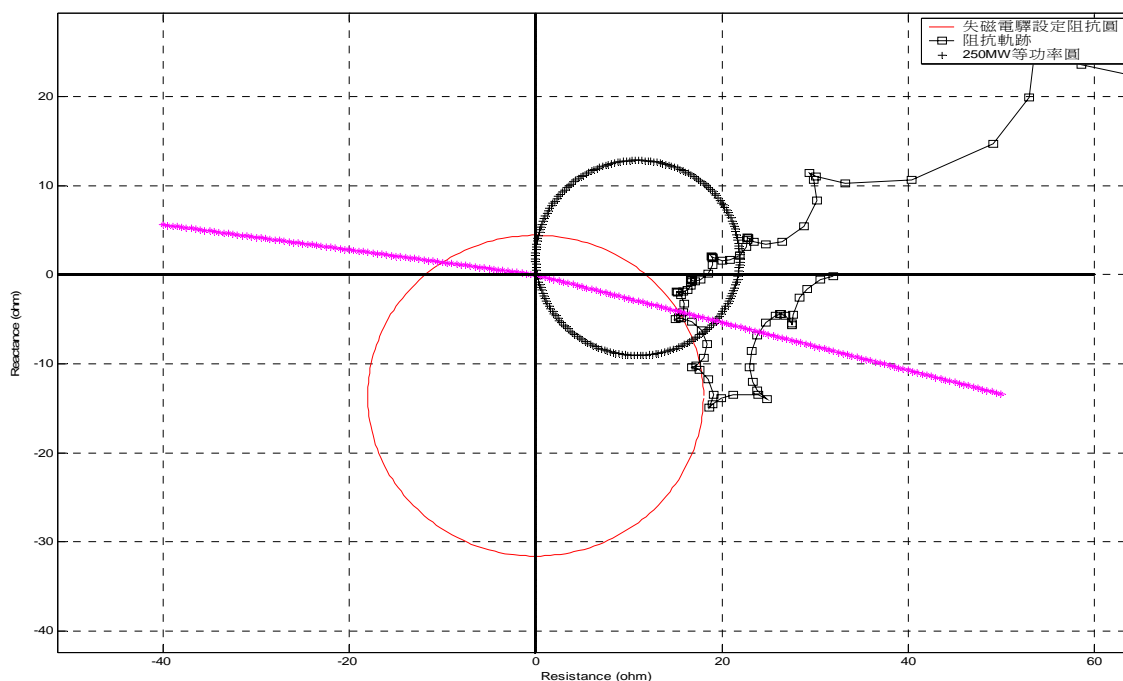


圖 19 發電機與系統發生電力搖擺時失磁電驛之阻抗軌跡 (靜穩態邊界圓設定)

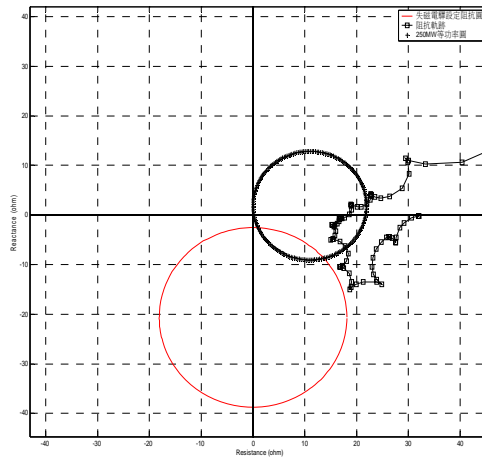


圖 20 發電機與系統發生電力搖擺時失磁電驛之阻抗軌跡(非同步阻抗圓設定)

七、線路測距保護：

目前，因數位電驛普遍化，其保護方式已由傳統機電式電驛的 Mho 特性圓，擴展成多邊形之各種樣式，以更能發揮電驛的安全性及可靠性，然而安全性及可靠性二者卻是互相對立的；因此，但其樣式之選用需經繁雜的動態模擬，來選定合適的多邊形形狀。如當一線路

保護近距離，發生三相短路故障時，其電驛之故障電壓及電流，如圖 21 所示，此時如果選用對接地過渡電阻較靈敏之四邊形保護，將使電驛發生誤動作，如圖 22 所示，本案例如果選用傳統 Mho 特性圓來保護，就能避免電驛不必要動作，如圖 23 所示。

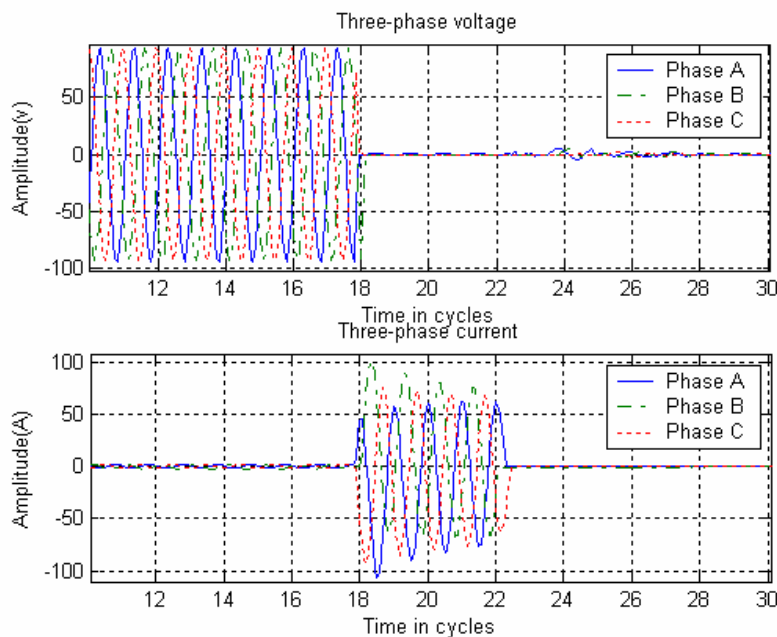


圖 21 三相短路接地故障時之故障電壓及電流

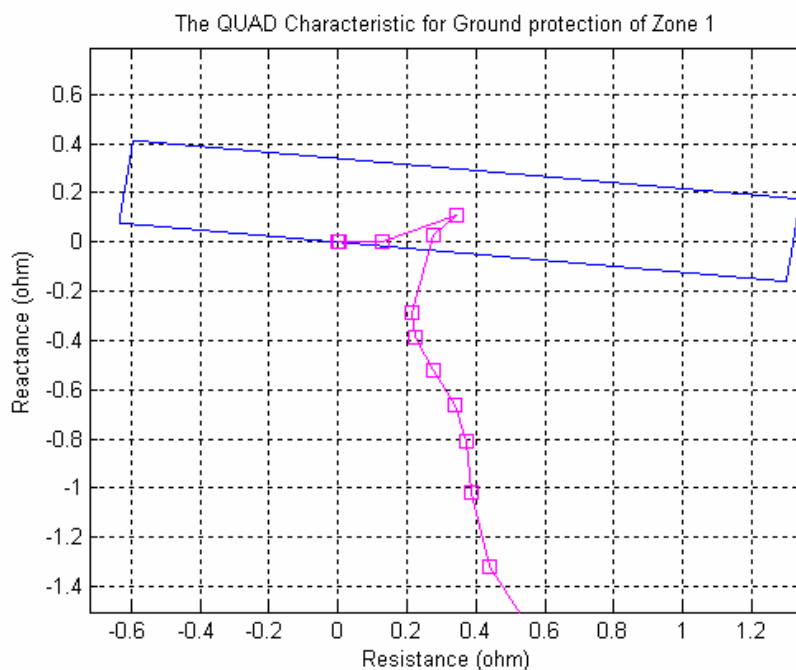


圖 22 電驛四邊形之線路 Zone 1 接地故障保護

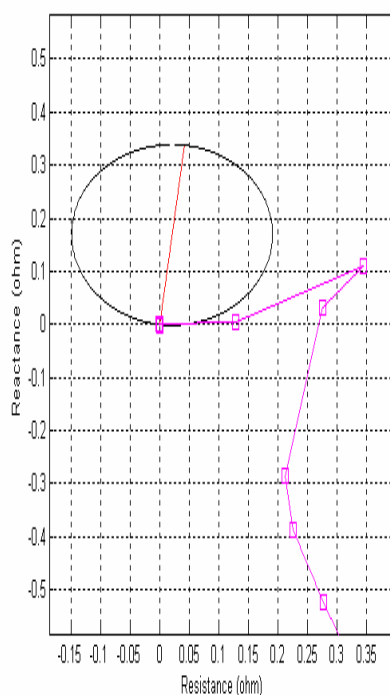


圖 23 電驛 Mho 形之線路 Zone 1 接地故障保護

八、中壓 4.16kV 匯流排轉換造成 DC

BUS Tie 斷路器動作跳脫：

本案之測試，主要量測由於圖 24 上游中壓 4.16kV 匯流排轉換，

造成圖 24 中直流匯流排上之充電機 A、充電機 B 及電池組，產生暫態突入電流，使

直流匯流排之 Tie 斷路器動作跳脫，其中壓 4.16kV 匯流排轉換之 Case 如表 1 所示。

由於上游中壓 4.16kV 匯流排轉換，造成圖 24 中直流匯流排上之充電機 A、充電機 B 及電池組，產生暫態突入電流，此電流之大小，由以上 Case 1 ~ 6 實測分析，呈現其暫態突入電流最嚴重在 Case 1 之條件，其充電機 A 迴路將產生最大值-2900A 之暫態突入電流、充電機 B 迴路將產生最大值-200A 之暫態突

入電流，而電池組為補足其部份故提供最大值約 1490A 之暫態突入電流，這時 DC BUS Tie 所流經之暫態突入電流最大值約-1500A，這些暫態突入電流將可能造成直流斷路器跳脫(需由現場斷路器之保護曲線判定)或破壞設備電氣絕緣，對此暫態問題應全廠做實測分析，防治因中壓 4.16kV 匯流排轉換時，使直流斷路器跳脫，危害機組運轉安全。

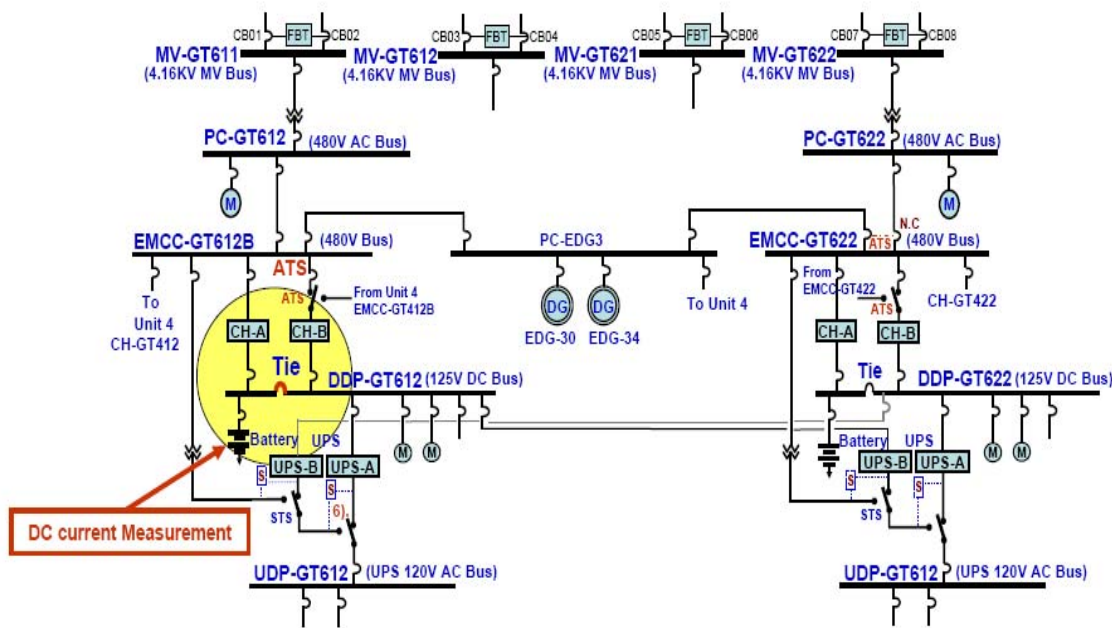


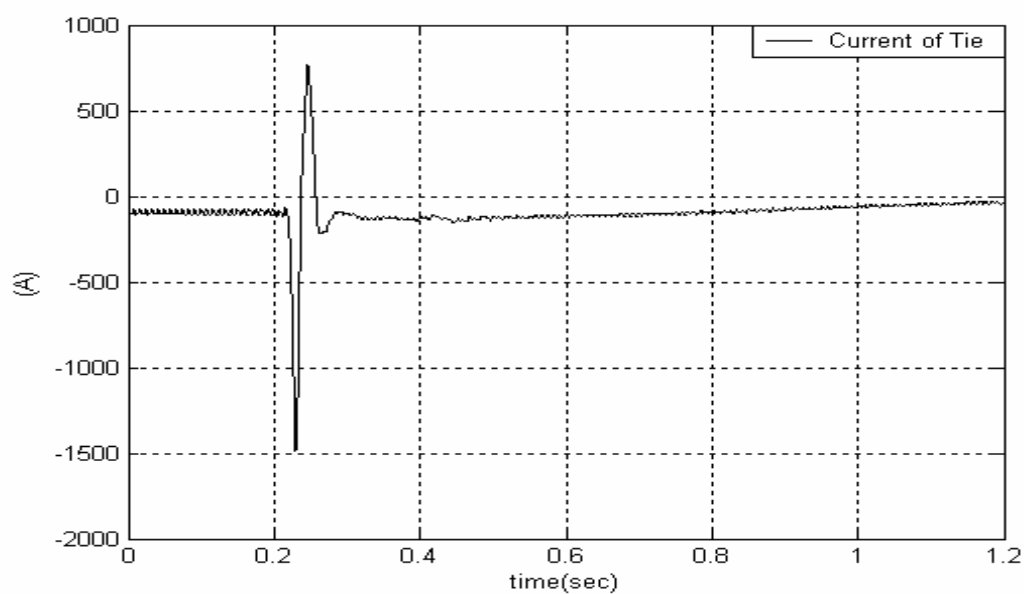
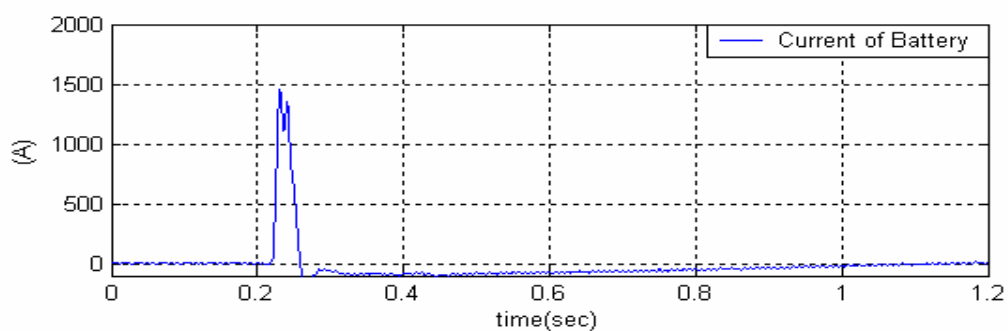
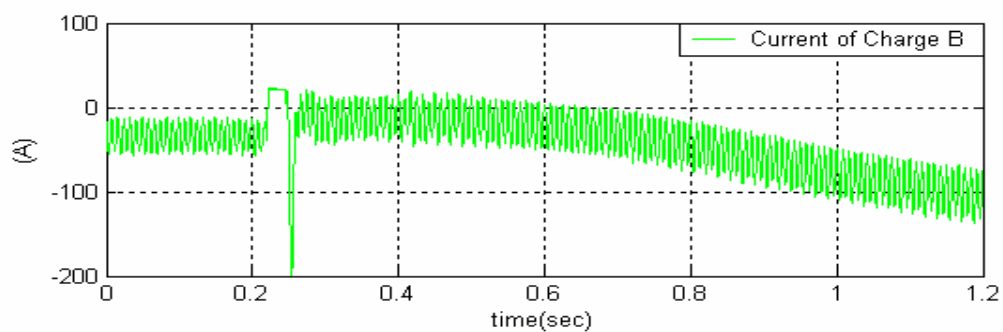
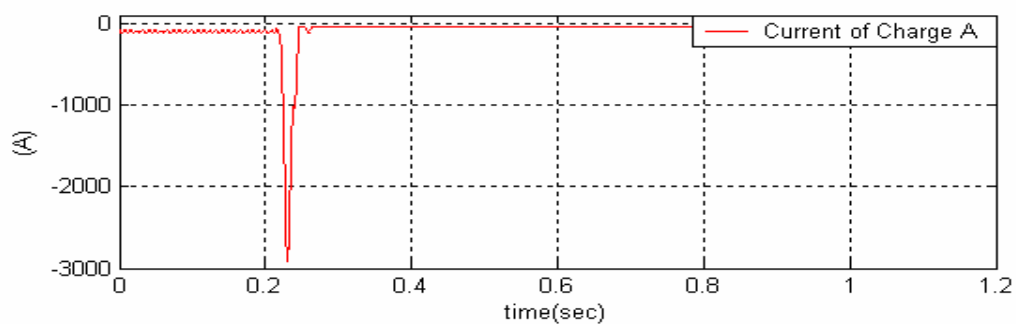
圖 24 DC BUS 暫態電流量測

表 1 中壓 4.16kV 匯流排轉換之各種 Case

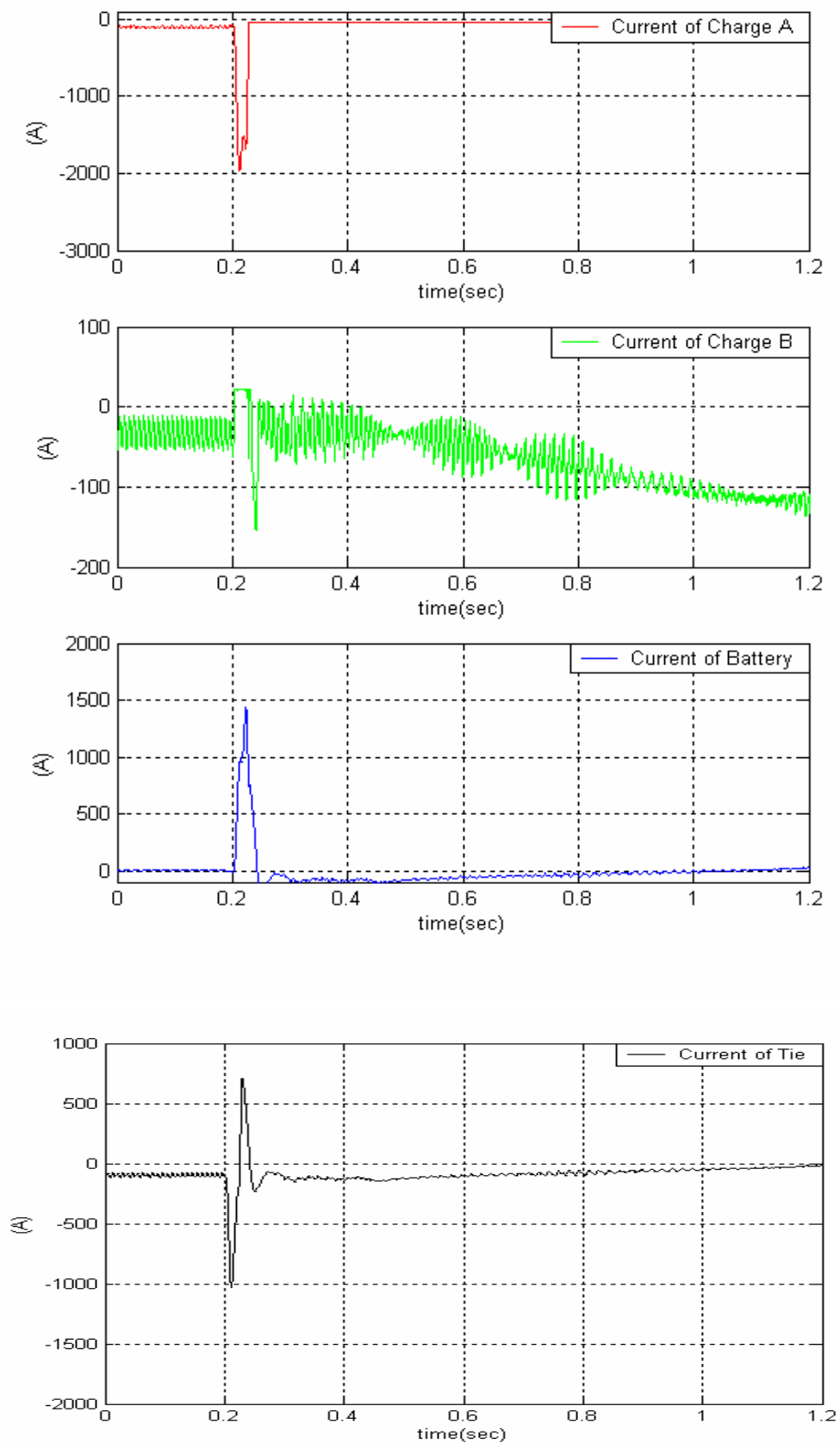
Item	The status of C.B.							
	CB01	CB02	CB03	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08
Normal	X		X			X		X
Case 1:61 Trip (FBT)	X	V	X	V		X		X
Case 2:62 Trip (FBT)	V	X	V	X	V	X	V	X
Case 3:61 Trip (FBT)	X	V	X	V	X	V	X	V
Case 4:62 Trip (FBT)	V	X	V	X	V	X	V	X
Case 5:61 Trip (27UV)	X	V	X	V	X	V	X	V
Case 6:62 Trip (27UV)	V	X	V	X	V	X	V	X

NOTE: The "X" is before transfer, The "V" is after transfer

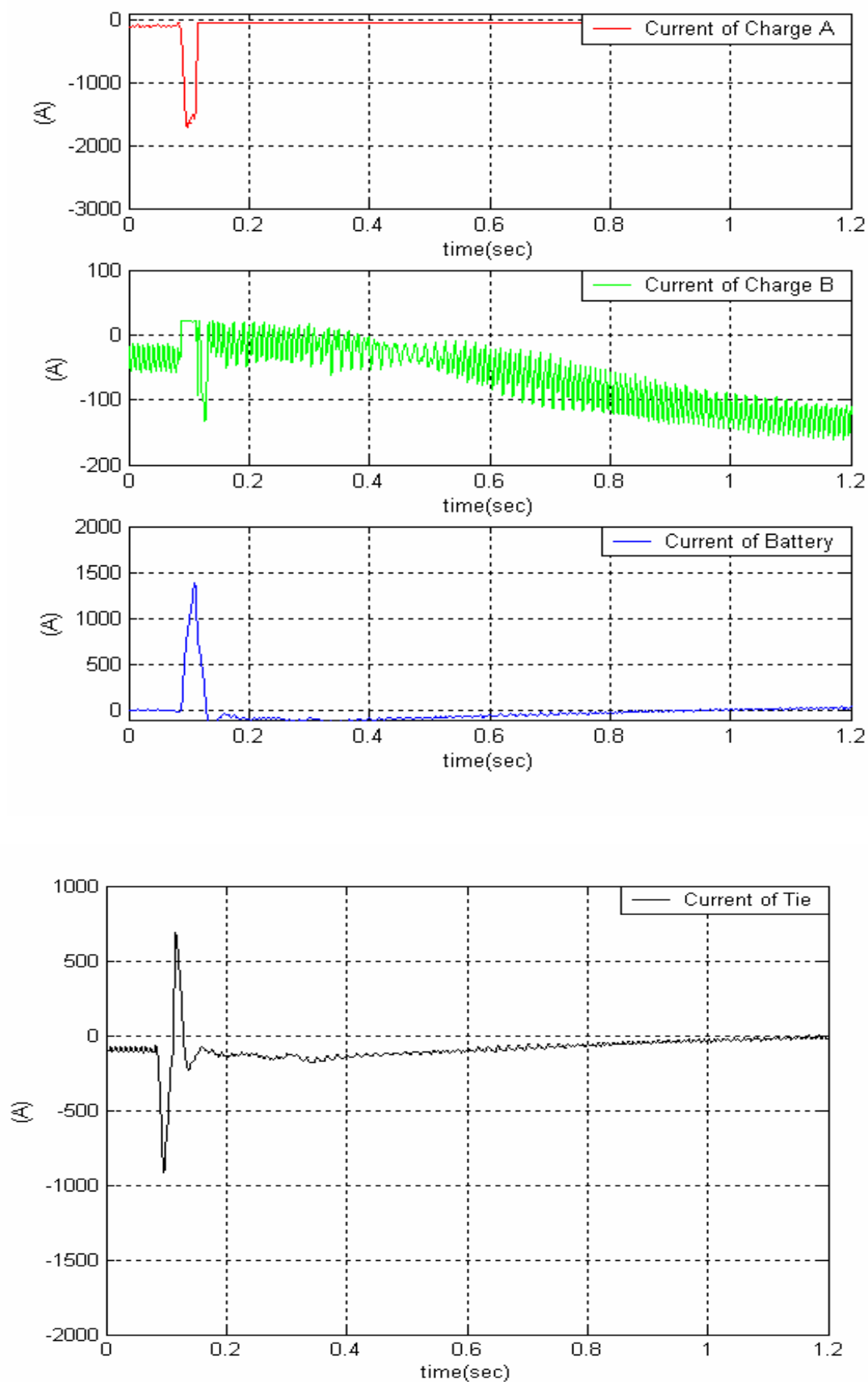
Case 1: Test Results



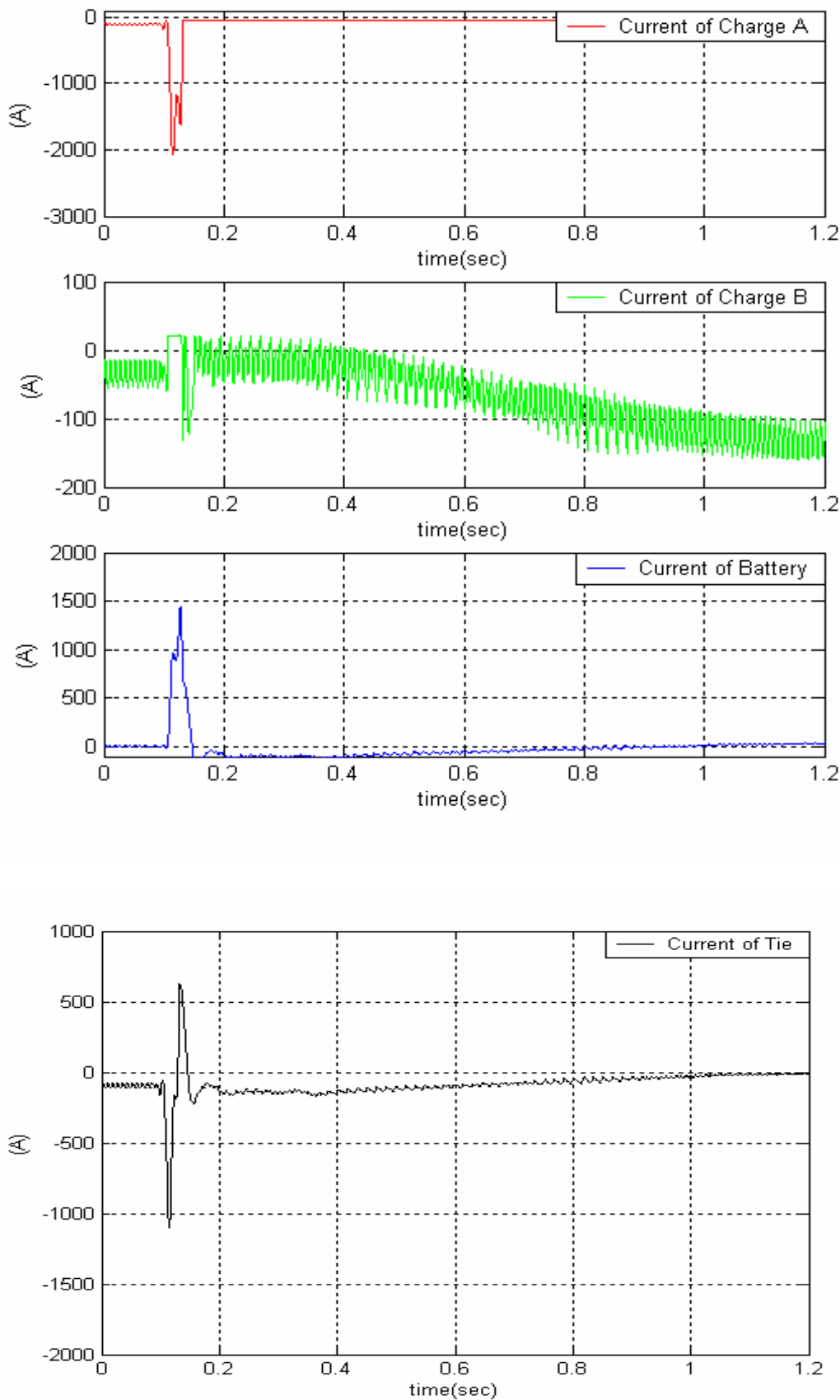
Case 2: Test Results



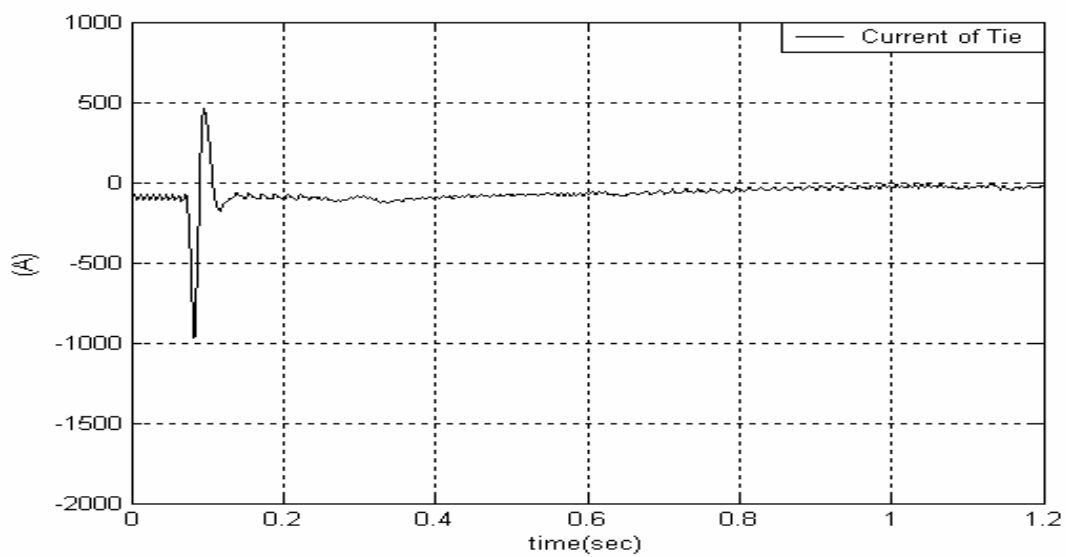
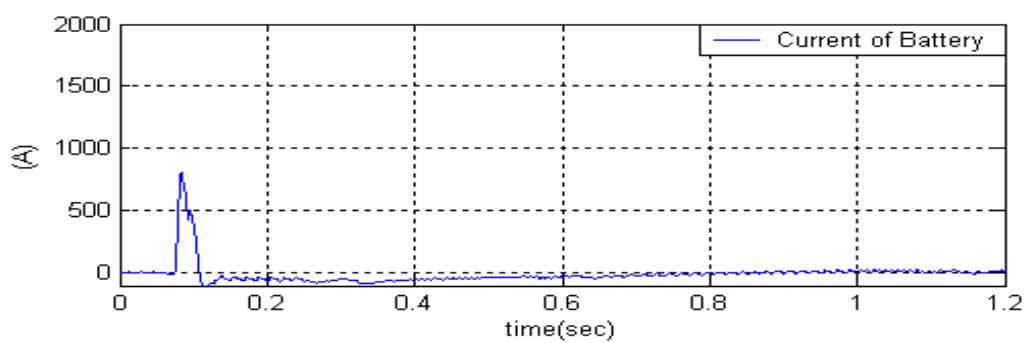
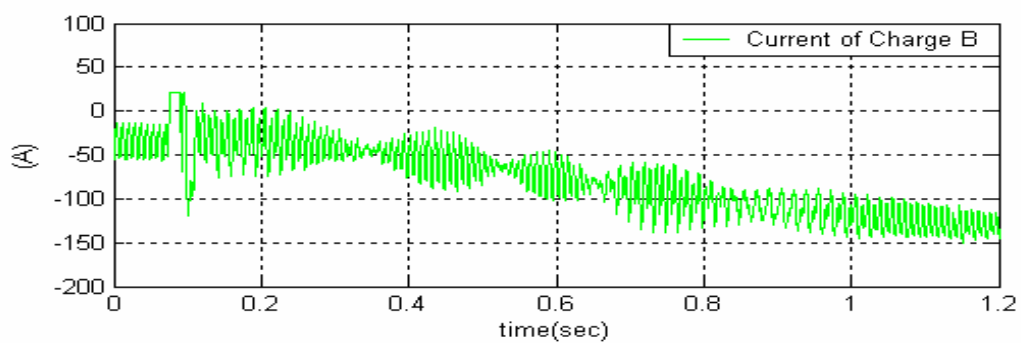
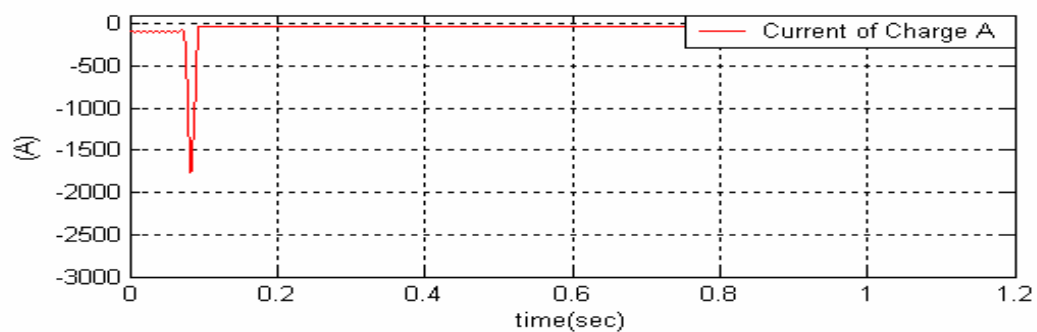
Case 3: Test Results



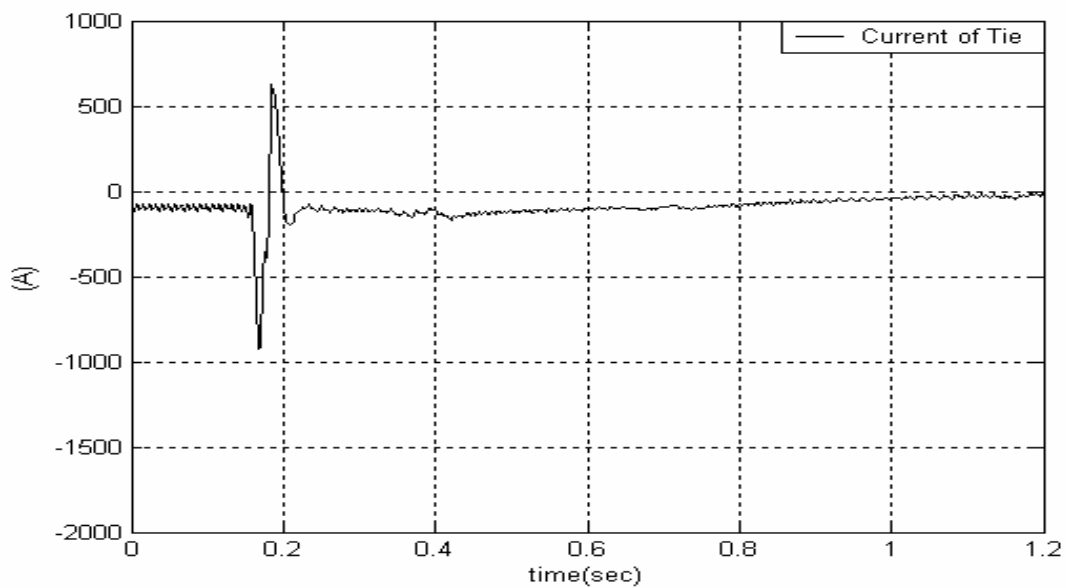
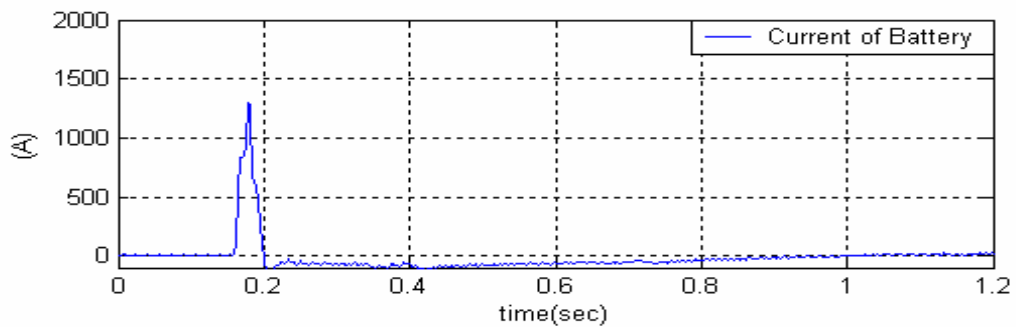
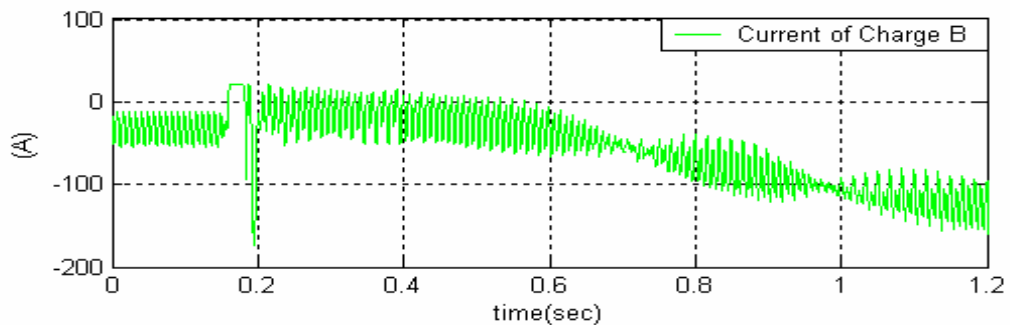
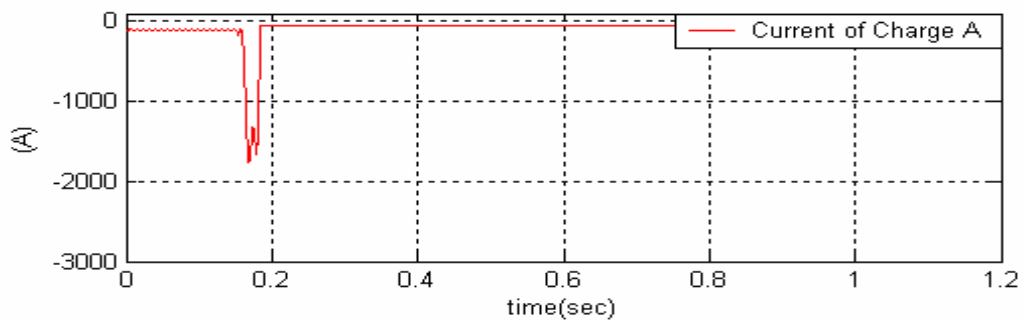
Case 4: Test Results



Case 5: Test Results



Case 6: Test Results



九、BUS 保護電驛因電磁干擾誤動作：

眾所皆知”光”是 EMI 的一種，但在 IEC 及 IEEE 標準中，並無對相關標準來針對電驛做試驗；因此，往往被電驛人員所忽略。

某廠家之 BUS 保護電驛內部元件設計錯誤，當有光線在圖 25 電路板中之二極體元件(VD3 或 VD4)上明暗變化時，造成干擾二極體元件之空乏

區，使微量偏壓訊號經 OPA 被放大，而發生電驛誤動作；本文使用手電筒、雷射筆及照相機對 BUS 保護電驛之電路板做光線明暗試驗，其試驗結果如圖 26、27 及 28 所示(粉紅色代表電驛受干擾經 OPA 被放大之訊號、藍色代表電驛之標置值、金色代表電驛之跳脫訊號)，都會造成 BUS 保護電驛異常動作跳脫。

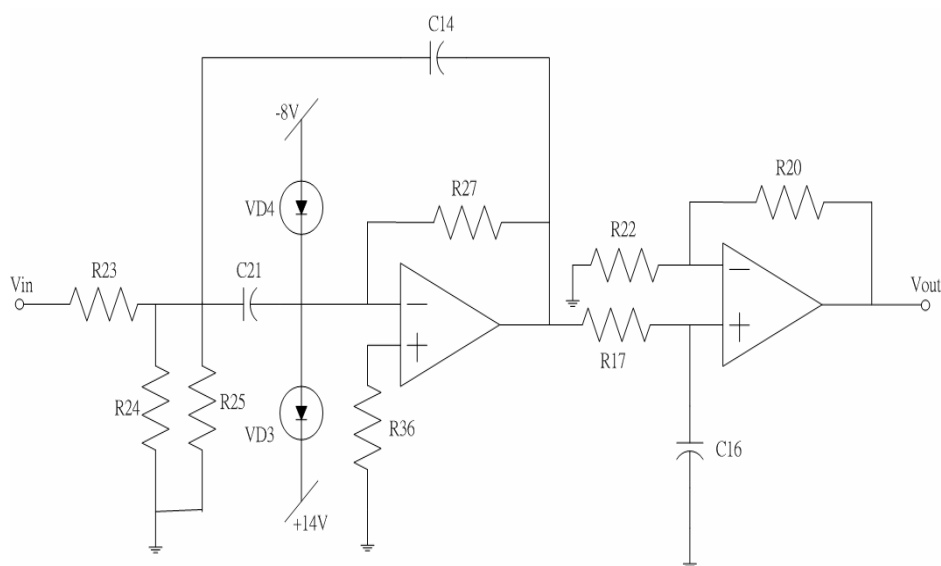


圖 25 保護電驛之內部放大電路

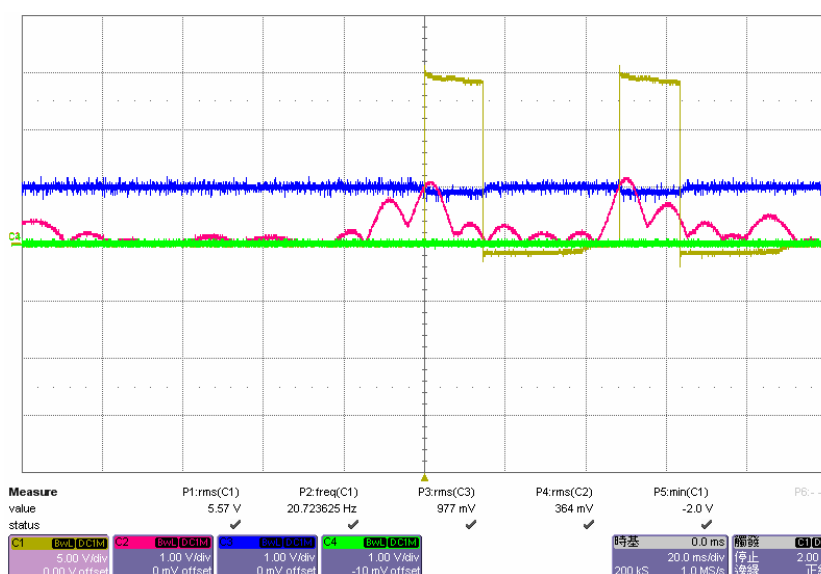


圖 26 對 BUS 保護電驛之電路板做光線明暗試驗(手電筒)

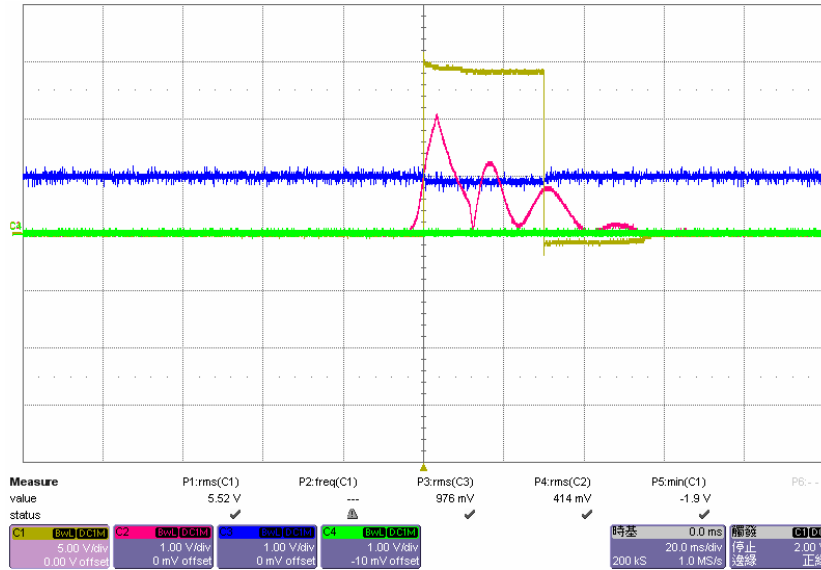


圖 27 對 BUS 保護電驛之電路板做光線明暗試驗(雷射筆)

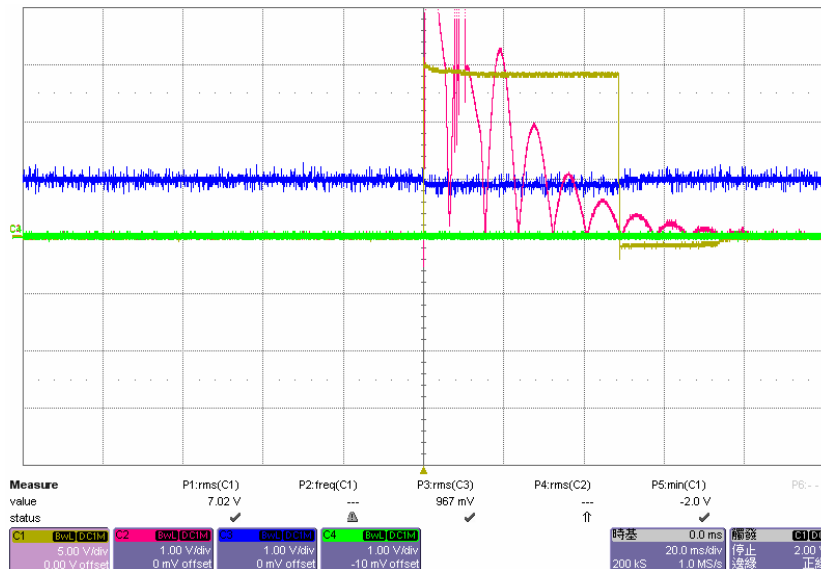


圖 28 對 BUS 保護電驛之電路板做光線明暗試驗(照相機)

十、直流電源 DC 因諧波干擾造成保護電驛異常動作：

本案例是某保護電驛，在系統正常穩定運轉下電驛不明原因動作跳脫，經量測及研究分析後，判定其主因源起於”保護電驛工作電源(125Vdc)受現場不斷電系統(UPS)干擾”。

如圖 29 所示直流工作電源系統，因其不斷電系統(69BRU10)之 INVERTER 故障，

使保護電驛工作電源(125Vdc)受 INVERTER SCR 之切換干擾，如圖 30 所示直流電源之正極對地 (VDC+) 與直流電源負極對地 (VDC-)，產生嚴重之切換頻率約 1.5kHz 之干擾，肇致電驛動作跳脫；經更新不斷電 (UPS)系統後，其保護電驛直流電源(125Vdc)正極對地 (VDC+) 與直流電源負極對地 (VDC-)，如圖 31 所示已恢復正常之直流工作電源。

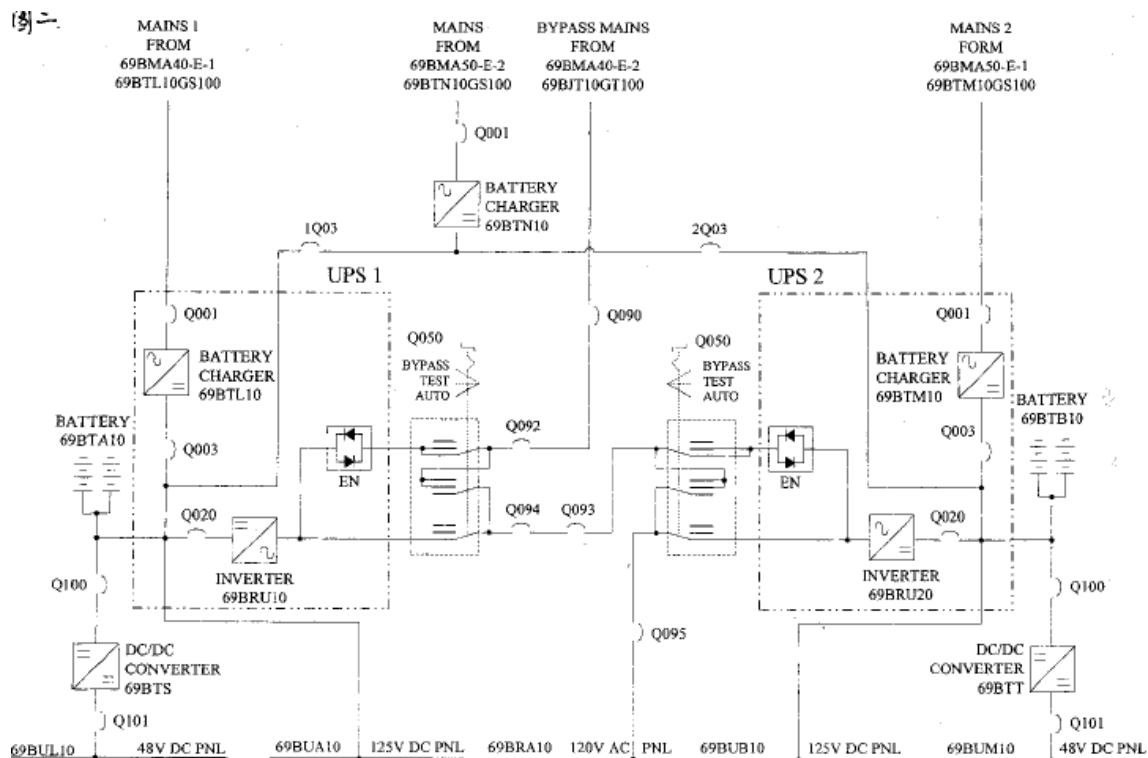


圖 29 現場 UPS 架構

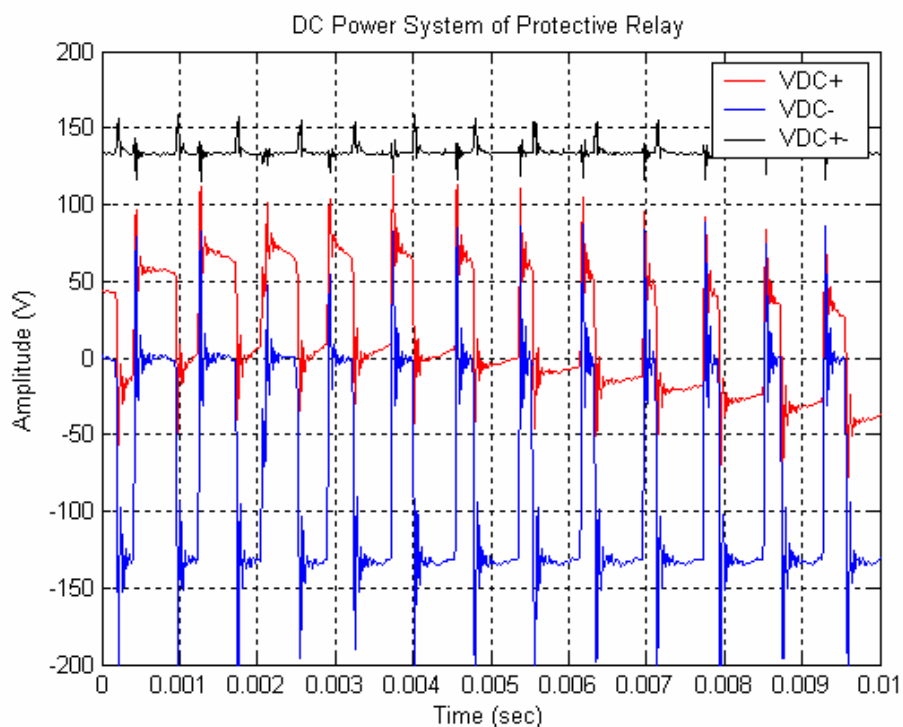


圖 30 保護電驛直流電源(125Vdc)受現場不斷電系統(UPS)干擾

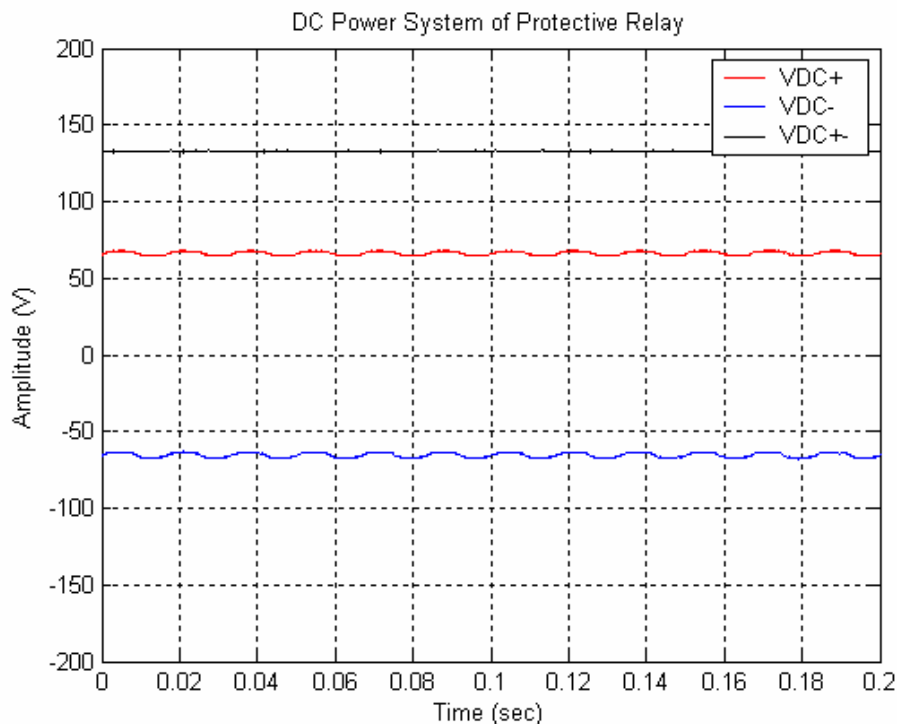


圖 31 恢復正常之保護電驛直流電源(125Vdc)

叁、結論

現今之電力系統為充裕供給工、商業運用電腦科技營運方式及家居生活電氣化所需，電力事業公司就須不斷地擴充發、變電、輸配電設備規模以滿足用戶需求。然而當龐大電力系統規模與日俱增後，其面臨之系統潛在問題也跟隨著日趨複雜，因此，各種外來干擾問題也隨之俱增。為了維護保護電驛之高度可靠性，必須定期做性能測試，以確保電驛性能正常。但相對的電驛周遭設備可能會干擾電驛跳脫，反而成為次要問題。本文列舉已發生電驛在電力系統中曾出現之問題，提出概略分析說明及淺見，祈望能對電驛工作人員有所助益是所至盼。