

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
中華民國一〇三年一月一日出版

發行者：李群
 高等顧問：李河樟 許萬寶 張重湖 簡文通
 羅隆和
 顧問：周南焜 許邦福 趙基弘 陳勇蒼
 法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬
 編輯委員會：主任委員 黃慶林
 副主任委員 李錦槍
 編輯委員：白雲年 吳立成 洪世宇 洪敏捷
 林安志 李金鐘 范建誼 郭麟瑛
 陳來進 陳炳基 陳順斌 許文興
 許宸源 張偉荃 黃英龍 黃惟雄
 黃德華 潘明路 謝建賢
 （依照姓氏筆劃順序）
 廣告組：周瑞年 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 數位式多功能保護電驛於 IEC 61850
標準下之實例探討 -----黃彥閔
- ☆31 澎湖轄區電力系統後衛保護電驛標
置協調之研究 -----邵揚迪、許文興
- ☆41 數位式低頻電驛應用於台電電力系
統頻率卸載 -----林文彬
- ☆53 降低超高壓變電所 69kV BUS 之短
路啟斷容量電驛標置研討 ----葉宥杰
- ☆61 解析並聯電抗器暫態現象
-----鄭強、范振理、蕭弘清
- ☆68 談破繭脫困「失落年代」的新思維
-----李國楨

☆71	會務報導	<h2 style="margin: 0;">廣告索引</h2>	
☆72	103 年度電驛協會教育訓練計劃		
☆73	中華民國電驛協會保護電驛專業檢測團體認證規範		
☆75	保護電驛專業檢測團體技術員工作證		
☆76	保護電驛專業檢測團體認證申請表		
☆77	保護電驛專業檢測團體證照		
☆78	中華民國電驛協會第七屆第三次理事暨監事聯席會議紀錄		
☆81	102 年度「五電盃高爾夫球聯誼賽」活動通知		
☆82	國立臺北科技大學電機工程系暨中華民國電驛協會合作備忘錄		
☆84	第七屆顧問及各委員名單		
☆85	中華民國電驛協會五電盃捐款		
☆86	中華民國電驛協會沿革		
☆87	中華民國電驛協會個人、團體入會申請書		
☆88	中華民國電驛協會永久團體會員名單		
☆89	中華民國電驛協會團體會員名單		
☆91	中華民國電驛協會永久個人會員名單		
☆92	中華民國電驛協會個人會員名單		
☆96	102 年 7 至 12 月新入會會員名單		
☆97	電驛協會會刊目錄總表		
		封面	祥正電機(股)公司
		封底	中華民國電驛協會
		封面裡	飛領電機顧問/飛羚電機工程(股)公司
		封底裡	全城電業顧問有限公司
		1	盈昇有限公司
		2	健格科技(股)公司
		3	計量企業有限公司
		4	勇帥電氣技術顧問(股)公司
		5	日幸科技有限公司
		6	亞力電機(股)公司
		7	儀測科技國際(股)公司
		8	育貿(股)公司
		9	西門子(股)公司
		10	艾波比(股)公司
		11	中友機電顧問(股)公司
		12	攝陽企業(股)公司
		13	維立電機(股)公司
		14	春源機電技術顧問有限公司
		15	中華民國電機技師公會全國聯合會

數位式多功能保護電驛於 IEC 61850 標準下之實例探討

台電供電處 黃彥閔

壹、前言

保護電驛進入數位化世代後，可整合多種保護功能於一身並提供控制與通訊等介面，而非如傳統 E/M(Electro-Magnetic)型電驛一般，僅具有單項保護功能，因此不論是在整體盤面規劃、電驛測試或與其它智慧型設備溝通，都能變得更加簡易且兼具效率，也正因上述之優點，數位式多功能保護電驛於推動變電所自動化中，扮演舉足輕重之重要角色。

在變電所自動化之過程中，數位式多功能保護電驛皆須依照 IEC61850 標準，故現今新型之數位式多功能保護電驛多朝向此規範設計，然為確保數位式多功能保護電驛在 IEC61850 的標準下，不同的 IED(Intelligent Electronic Device)間資料具有互通性，以及當事故發生時，電驛能正確動作以避免停電範圍擴大，最好的方法就是於變電所內同時並存傳統架構與 IEC61850 架構之系統與設備保護，經由時間的驗證來評估其可行性。

本文藉由探討 GE 與 SEL 型電驛於 IEC61850 之應用實例，試分析其效能與可靠度，並比較與傳統式架構不同之處，作為未來推動變電所自動化之經驗參考。

貳、IEC61850 簡介

追求變電所自動化的過程中，因受限於標準及規範尚未統一，因此各 IED 廠家均自行定義其資料模型或通信協定，故不同廠牌 IED 間的資訊無法互通，造成日後整合困難；鑒於上述困境，2001 年歐洲 IEC 及美國 EPRI 技術委員會決議訂定 IEC61850 作為變電所自動化的統一標準，共分為十大類及十四個標準(如表 1 所示)。

表 1 IEC61850 標準

IEC 61850-1	大綱與介紹
IEC 61850-2	語彙、術語及專有名詞
IEC 61850-3	基本需求
IEC 61850-4	系統與計劃管理
IEC 61850-5	功能及設備之通訊需求
IEC 61850-6	變電所規劃與描述語言
IEC 61850-7-1	變電所及饋線設備之基礎通訊架構之介紹
IEC 61850-7-2	變電所及饋線設備之基礎通訊架構之抽象通訊服務介面
IEC 61850-7-3	變電所及饋線設備之基本通訊架構
IEC 61850-7-4	變電所及饋線設備之基本通訊架構之相容的邏輯節點類別與資料類別之定義及其邏輯定址
IEC 61850-8-1	特定通訊服務對應至 MMS 及 ISO/IEC 8802-3
IEC 61850-9-1	特定通訊服務對應之取樣值於串列單向多站點對點連接
IEC 61850-9-2	特定通訊服務對應之取樣值於乙太網路之通訊
IEC 61850-10	符合性測試

依據上述標準，IEC61850 不單是只有定義變電所自動化之架構，更涵蓋了此架構底下的諸多細部規範，如:IED 內部資料的名稱與屬性、不同 IED 間資料的傳遞介面與方式、現場 CT、PT 取樣值之規範與傳輸、以及各種智慧型設備的規格測試等，以期在此標準下能加速變電所自動化

之流程，而目前世界各大主要電力設備商，如:GE、SEL、Siemens、Alstom、ABB、Toshiba 等，均宣布將依循 IEC61850 標準生產相容性產品，並透過 KEMA 及 ABB SVC(System Verification Center)達到認證機制；以下將介紹數位式多功能保護電驛與 IEC61850 較為相關之標準。

一、資料傳遞模型

IEC61850 的資料模型從大範圍至小規範皆有一套標準須遵循，首先需定義 IED 的位置，接著依據 IED 內部之功能如:保護、控制、測量等定義 Logical Device，然而單一個 Logical Device 可能就包括斷路器、CT、PT 等變電設備，因此尚需制定 Logical Node 來區分，最終則是由資料的屬性來確切表達狀態，作為不同 IED 間資料互通之基礎，圖 1 所示之資料模型，即代表 Feeder12 電驛對於斷路器位置狀態之控制。

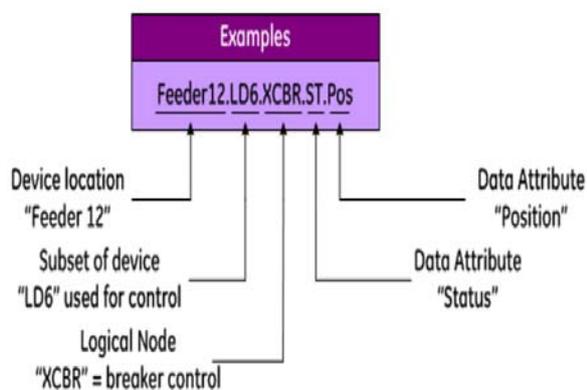


圖 1 Feeder12 電驛對於斷路器位置之控制

二、資料傳遞方式

在 IEC61850 資料傳遞方式的標準下(如圖 2 所示)，常使用 MMS(Manufacturing Message Specification)、GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 及 SV(Sampled Values)三種資料傳遞方式。

Services and Mappings

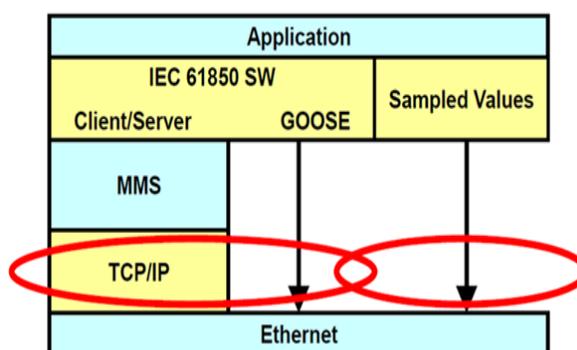


圖 2 IEC61850 資料傳遞方式

- MMS (Manufacturing Message Specification): 因 Client 端(如:SCADA)與 Server 端(如:電驛)彼此間的訊息格式往往十分複雜而無法即時處理，故此類型的訊息常以 MMS 作為溝通；如圖 3 所示，Client 端以 MMS 方式下達一個 read 訊息給 Server 端，而 Server 端收到此訊息後，將儲存於電驛內部的數值回傳給 Client 端。

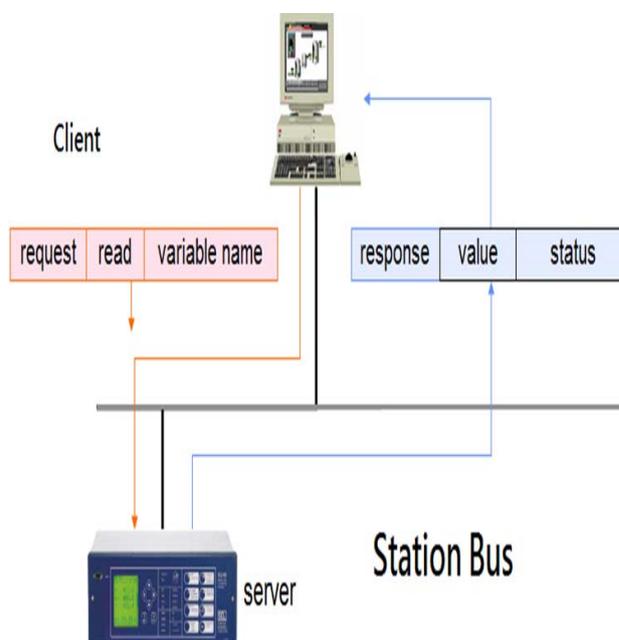


圖 3 Client 透過 MMS 讀取資料

- GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event): 因不同 IED 間的資

料互通必須是快速且正確，尤其是當故障發生時，IED 才能以可靠的資料因應，故此類型的訊息常以 GOOSE 作為溝通，而 GOOSE 的特點包括：訊息採一對多廣播而非點對點傳輸(如:MMS)、傳輸型態以 Ethernet 為基礎下高速傳輸(Station Bus 達 100Mbit/s)、當有事件發生時，GOOSE 的訊息更新頻率會更加快速；如圖 4 所示，當 Feeder1 發生故障時，Feeder1 Relay 會透過 GOOSE 將斷路器失靈保護始動訊息 BFI 送至 Bus Relay，若超過預定時間而故障電流仍然存在時，Bus Relay 則送出跳脫訊號將匯流排斷路器啟斷。

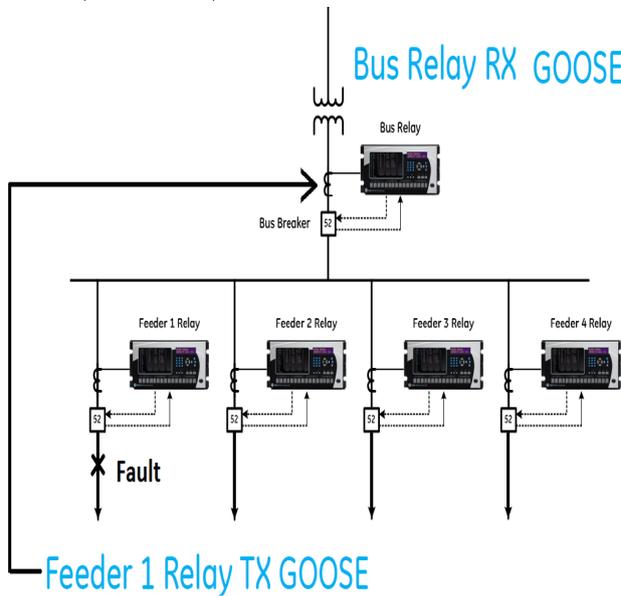


圖 4 Relay 透過 GOOSE 傳送資料

- SV (Sampled Values)：因各個 IED 常需要 CT 及 PT 等電氣訊號作為控制或保護之用(如圖 5 所示)，因此 IEC61850 則針對取樣時的頻率與時間誤差訂定標準：
 1. 頻率：保護：4.8kHz (每週波 80 個點)。量測：15.36kHz (每週波 256 個點)。
 2. 時間誤差：小於 1 微秒。

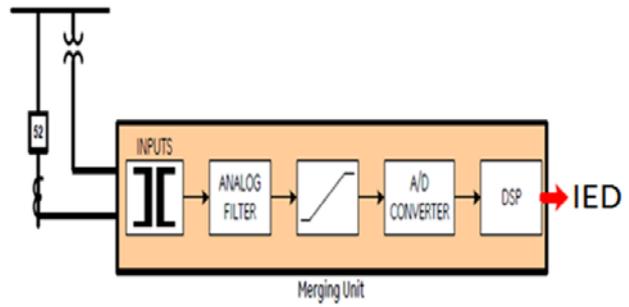


圖 5 Sampled Values 動作流程

然而現階段欲達到此標準實屬不易，受限於頻寬限制，一個 100Mbit/s 為基礎之 Process Bus 無法接超過 6 個量測設備(一個量測設備為 16Mbit/s)，因此對於需要多組 CT 訊號的匯流排保護電驛則無法應用；此外，如圖 6 所示，因取樣時間誤差標準須小於 1 微秒，若訊息傳遞時經過太多 Switch 則無法達到規範，故尚須使用 GPS 作為時間同步之用。

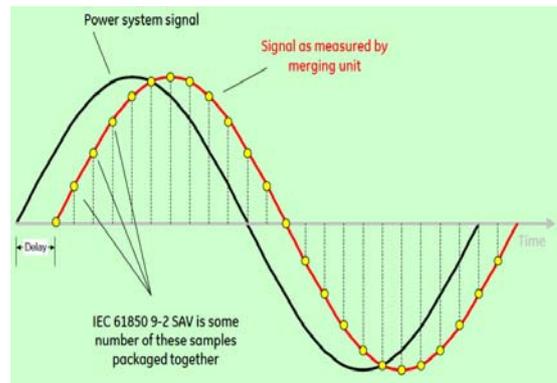


圖 6 取樣值與實際值之誤差

參、實例探討

為確保數位式多功能保護電驛在 IEC61850 的標準下，不同的 IED 間資料具有互通性，以及當事故發生時，電驛能正確動作以避免停電範圍擴大，最好的方法就是於變電所內，同時並存傳統接線架構與 IEC61850 架構之系統與設備保護，經由時間的驗證來評估其可行性，以下將分別介紹目前 SEL 與 GE 電驛於 IEC61850 的應用實例。

一、SEL電驛應用實例

La Venta II Wind Farm位於墨西哥瓦哈卡州南方(如圖7所示)，由於腹地廣闊且風速超過每秒9公尺，遠大於風機平常運轉時所需風速(約每秒2至4公尺)，故預計於2017年前將擴增至3GW(如圖8所示)；而美國SEL公司則在此背景下，與其它的電驛廠家GE、SIEMENS等一同嘗試建置以IEC61850為架構下之智慧型變電所(34.5kV/230kV)，經實際參與，以驗其效。



圖7 La Venta II Wind Farm位置圖



圖8 La Venta II Wind Farm建造圖

La Venta II Wind Farm變電所內230kV線路、變壓器及匯流排係使用SEL、GE及SIEMENS等電驛作為保護(如圖9所示)，不同的電驛間可以透過光纖所構成的環狀乙太網路，以GOOSE模式傳送及接收訊息，或是經由傳統接線式架構溝通；至於Client端的SCADA雖是採用DNP協定，亦可透過SEL-3332電驛將DNP與環狀乙太網路互相轉換資料，然SCADA的訊息格式較為複雜且不需即時性，因此係使用MMS的方式交

換訊息而非使用GOOSE。

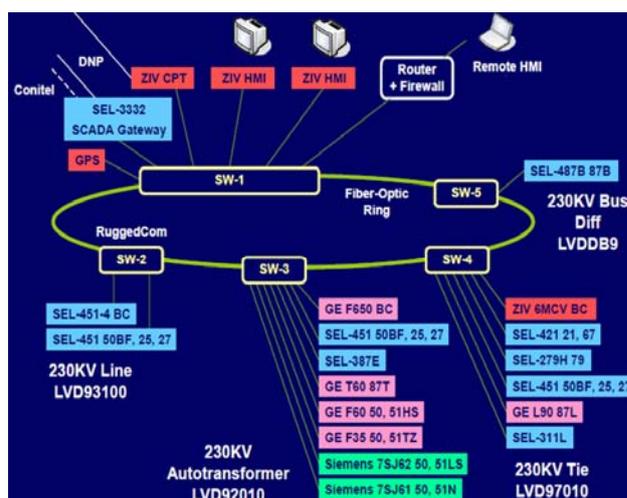


圖9 La Venta II Wind Farm保護架構圖

為確保SEL型電驛與它牌電驛間資料具有互通性且事故發生時能夠正確動作，今實際測試一故障於La Venta II Wind Farm變電所230kV線路(如圖10所示)，而此線路採用SEL-311L電驛作為測距保護與SEL-451電驛作為斷路器失靈保護，透過波形紀錄比較可發現，IEC61850架構下電驛皆動作正確，且測距保護跳脫訊號21Trip較傳統接線式快12.5ms(如圖11所示)，而斷路器失靈保護跳脫訊號BFT亦比傳統接線式快8ms(如圖12所示)。

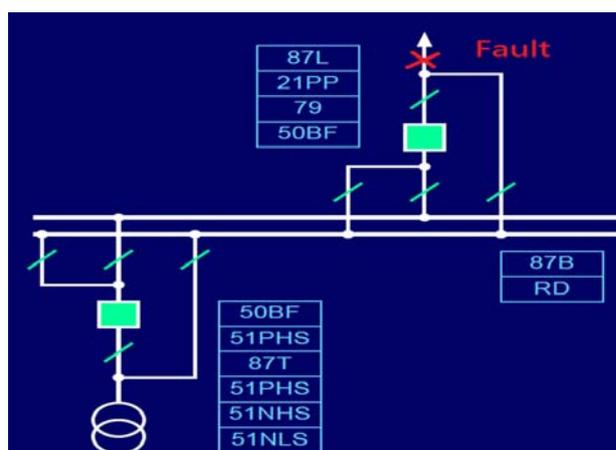


圖10 La Venta II Wind Farm故障示意圖

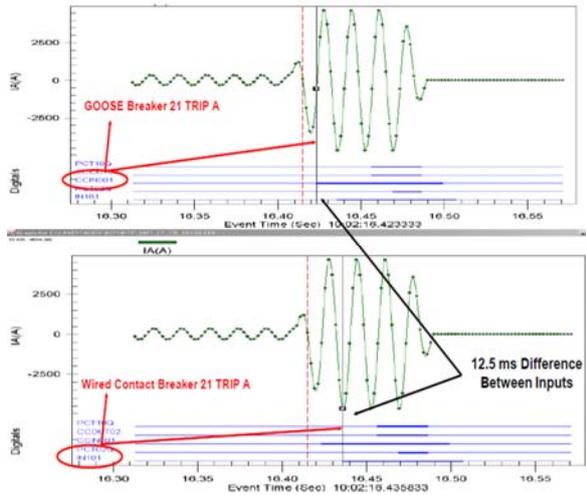


圖 11 SEL-311L故障波形紀錄比較圖

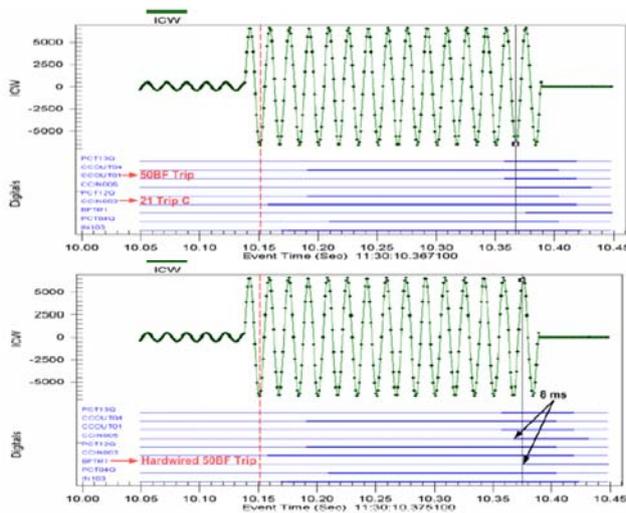


圖 12 SEL-451故障波形紀錄比較圖

纜接至Brick，經Brick取樣、濾波以及數位訊號處理後，透過Hard Fiber Outdoor Cable傳送至Hard Fiber Cross Connect Panel，而Hard Fiber Cross Connect Panel的功能如同端子板一般，分別依據電驛的需求，將相關訊號經由Indoor Fiber Cable直接送至電驛本體，由於此系統係使用光纖乙太網路點對點連接，因此不但沒有頻寬、時間同步或是資通安全等問題，且大幅減少建置一變電所需要之銅線使用量，而Hard Fiber Process Bus System已於2009年應用至西班牙的Benavente變電所(如圖14所示)。

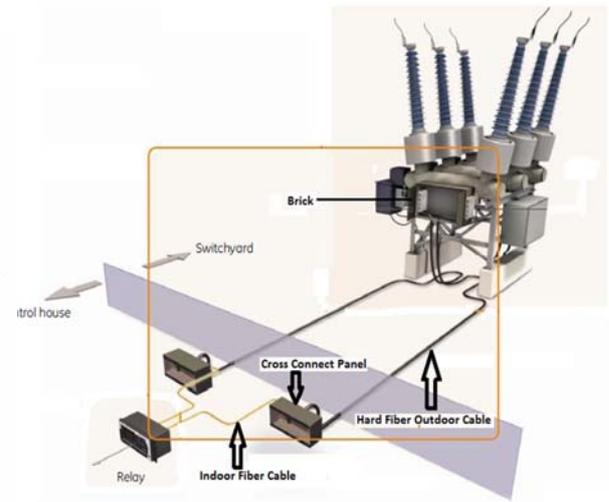


圖 13 GE Hard Fiber Process Bus System

由此例可知，當SEL型電驛達到IEC61850等相關規範時，可作為發展變電所自動化之用，且同時兼具速度與正確性，但此實例僅顯示SEL型電驛可與它牌電驛間透過GOOSE模式達到資料互通，但電驛本身所需的CT及PT等電氣參數仍需依賴傳統接線，而非透過IEC61850架構下的Process Bus取得，因此La Venta II Wind Farm變電所尚未達到IEC61850之全部規範。

二、GE電驛應用實例

基於IEC61850規範取樣時頻寬與時間同步等問題，GE自行研發Hard Fiber Process Bus System(如圖13所示)，在此系統中，開關場之CT及PT等電氣信號先透過銅



圖 14 GE Hard Fiber Process Bus System 裝設於Benavente變電所

Benavente 變電所內 132kV 線路 Vilecha 係使用 GE-D60 電驛作為線路保護、而 T2 變壓器保護(45kV/132kV)則為 GE-T60 電驛，兩者電驛所需之電壓、電流訊息則是同時使用 Hard Fiber Process Bus System 與傳統接線式接至電驛本體(如圖 15 所示)。

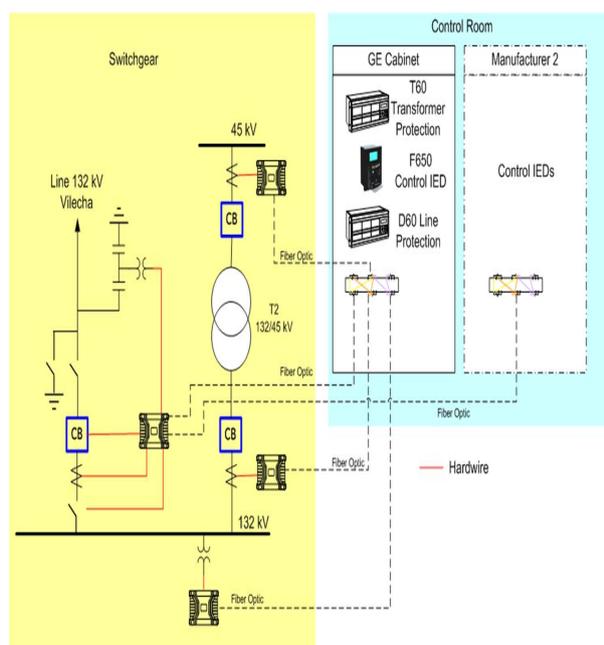


圖 15 Benavente 變電所保護架構

為確保 GE 建置之 Hard Fiber Process Bus System 與電驛間能正確運作，今實際發生 C 相接地故障於 Benavente 變電所 132kV 線路，透過 GE-D60 波形紀錄比較顯示，Hard Fiber Process Bus System 之故障電流波形(如圖 16 所示)與傳統接線式(如圖 17 所示)相似，且電驛皆正常動作。

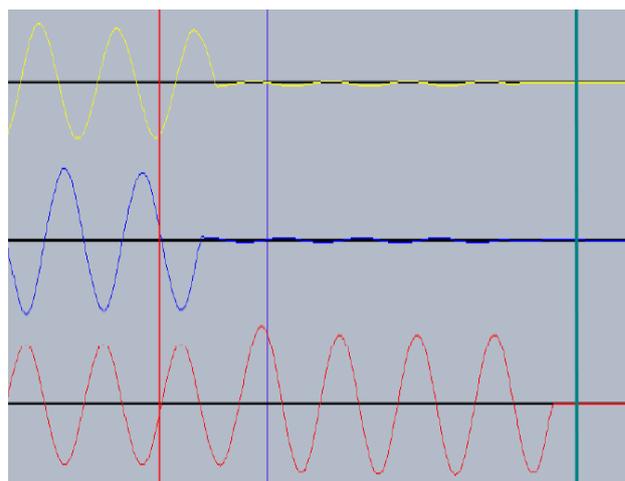


圖 16 故障波形紀錄(Process Bus System)

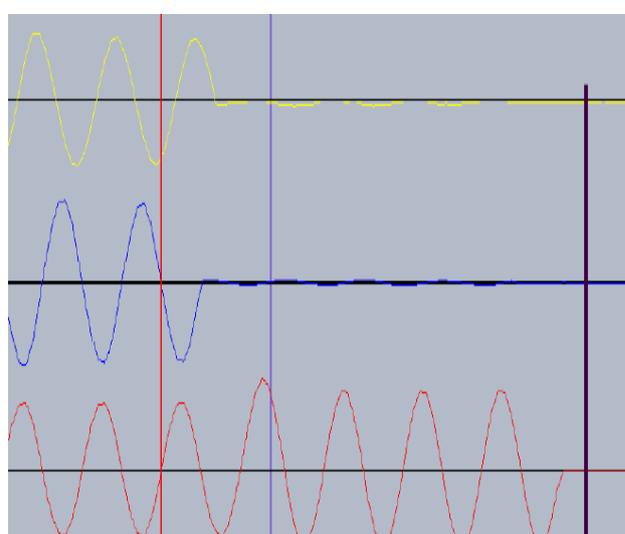


圖 17 故障波形紀錄(傳統接線式)

由此例可知，GE Hard Fiber Process Bus System 可克服 CT 及 PT 訊號取樣時頻寬限制與時間不同步等問題，且經試驗後結果與傳統接線式架構相似，但此系統僅支援 GE 型電驛，它牌電驛無法透過此系統獲得電壓與電流等訊息，因此容易造成日後整合及擴充困難；此外，Hard Fiber Process Bus System 實際應用至變電所尚不滿五年，安全性與可靠度還需時間驗證。

肆、結語

現今 IEC61850 架構下之系統保護，各廠家的數位式保護電驛只要依據其標準設計，多可透過 Station Bus 達到資料共享；然各電驛所需之電壓與電流訊號，因受限於

Process Bus中的頻寬以及時間同步等問題，增加了施行的困難度，雖然GE公司已研發了Hard Fiber Process Bus System，但現階段仍無法應用至它牌電驛，與IEC61850統一標準的宗旨相違背，所幸通訊網路之技術與可靠度均能與時俱進，目前已有廠商研究適用於IEC61850 Process Bus的高速乙太網路，若能成功整合實為推動變電所自動化之一大福音，故電驛人員有機會應多涉獵此方面之最新知識，以確切掌握IEC61850之核心技術。

伍、參考資料

- [1] B. Kasztenny et al., "IEC 61850—A Practical Application Primer for Protection Engineers," Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources, Mar. 1, 2006, pp. 18-50.
- [2] V. Flores et al., "Case Study: Design and Implementation of IEC 61850 From Multiple Vendors at CFE La Venta II," Protective Relay Engineers, 60th Annual Conference, Mar. 1, 2007, pp. 307-320. cited by applicant.
- [3] A. Hamze, M. Adamiak, M. Goraj, J. Cardenas 132k, "R&D Multivendor Project IEC61850 Process Bus at Iberdrola's Benavente V Substation," GCC Power 2009 Conference and Exhibition, Riyadh, November 2009
- [4] J. Cardenas, I. Ojanguren, I. Garces, "IEC61850 9-2 Process Bus: Operational Experience in a Real Environment," 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, June 2011
- [5] GE HardFiber Process Bus System manual
- [6] 陳順斌，新型數位式保護電驛於智慧型電網之應用技術，公務出國實習報告，2011年8月。

澎湖轄區電力系統後衛保護電驛標置協調之研究

台電嘉南供電區營運處 邵揚迪、許文興

摘要

本文以電力系統澎湖轄區 69kV 環路系統保護做個案探討與分析。目的在於研究探討轄區輸電線路主保護電驛未發揮功能時，其後衛保護電驛能發揮最佳運轉模式，避免事故引發電驛動作延遲過久，造成發電機組無法承受系統故障之衝擊而跳機之情形。也唯有適時清除故障，且正確快速隔離故障電流才能挽救系統衝擊，以提升供電品質之保護電驛標置協調。

關鍵字：澎湖轄區電力系統、保護電驛標置協調、方向性延時過流電驛、ASPEN OneLiner 模擬軟體。

壹、前言

澎湖地區為一獨立運轉無外接電源之電力系統，尖山發電廠為澎湖本島唯一之電廠。電力網未與本島相聯結，故電網供電能力相對脆弱。倘若尖山發電機組因外部故障而發生陸續跳機現象，最後必造成澎湖轄區全黑停電。因此，任何因應措施及保護電驛標置協調設定，是以確保發電機組之穩定運轉為第一考量 [1]，對方向性過電流保護電驛是系統發生故障最重要之保護裝置，也是澎湖轄區 69kV 輸電線路採平行環狀供電系統最適切的後衛保護。

良好的規劃設計及嚴謹的維護測試是能減少電力系統發生故障的可能性，但不能完全避免故障的發生。保護電驛如同電力系統中無言的哨兵，當電力系統中任何發、供電設備發生異常狀況時，保護電驛的任務為快速且正確地將事故點檢出並隔離，避免事故擴大並使停電範圍縮到最小

[2]。為達成此任務保護電驛與電驛標置間必需精確配合，方能發揮保護電驛最大功用。

貳、澎湖電力系統

澎湖地理位置是屬於離島型島嶼與台灣本島相距 60 餘公里，島上主要電力來源是由尖山發電廠供應所需用電。尖山發電廠採用柴油發電機發電，共裝置 12 部柴油機組輪流發電，提供 69kV 之電力供應湖西變電所及經兩回 69kV 輸電線路供應馬公變電所。其中湖西變電所及馬公變電所共設置七台 69kV 主變壓器及 34 回線 11.4kV 配電饋線，另有少部份來至風力發電。因此從系統規劃架構上，尖山發電廠是唯一供電發電廠，對澎湖本島的供電更凸顯重要及無可替代的重責大任。如圖 1 所示。

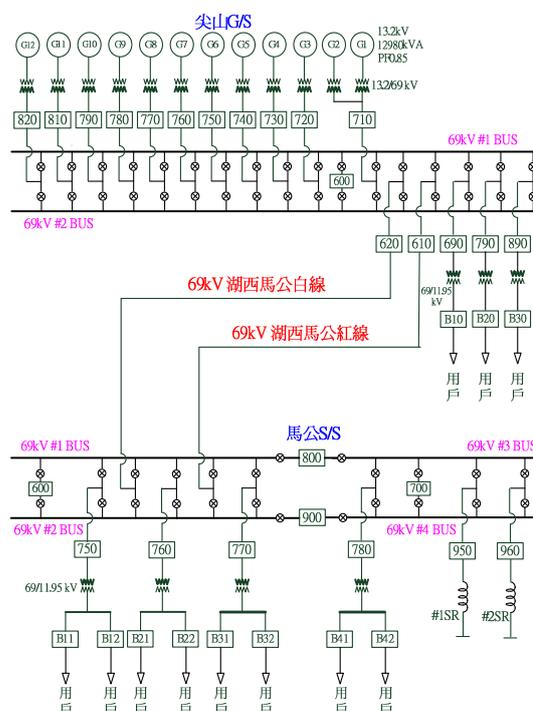


圖 1 澎湖電力系統單線圖

參、保護電驛系統

一、保護電驛功能組成

保護電驛偵測故障發生時電力潮流的異常電壓與電流的資料，先判斷故障是否確實存在，然後再動作適當的元件，去跳脫有關的斷路開關設備，同時發出指示訊號及警報，完成隔離故障區域的重要使命。事實上保護電驛系統是一個團隊組合，其組成包括保護電驛、比流器、比壓器及斷路器等，其功能組成缺一項均無法達成保護的任務〔3〕，如圖 2 所示。

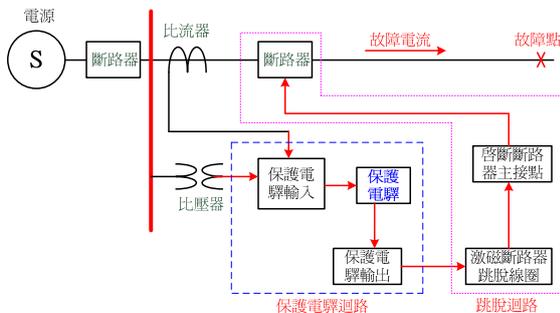


圖 2 保護電驛系統功能組合圖

二、保護電驛標置協調設定

電驛標置需針對它所保護的設備選擇適當的標置始動值。保護協調需考量在最大系統保護與最大連續供電之條件下取得平衡點，針對所保護設備的所在位置，檢討故障發生時電驛動作的優先順序，由此決定適當的電驛標置〔4〕。適當的標置及良好的保護協調，攸關電力系統的穩定度及可靠度對供電品質的提升是密不可分。

三、電驛相關名詞解釋〔4〕

1. 始動(pick up): 電驛剛剛開始動作。
2. 始動值(pick up value): 電驛始動所需之

最小(電流、電壓、頻率…)值。

3. 標置(Setting): 選擇適當的電驛始動值。
4. 分接頭(Tap): 於電驛之中，可調整電驛始動值大小之裝置。
5. 時間調整裝置(Time Dial, Time Lever): 於電驛之中，能調整或控制其動作時間長短之裝置。
6. 協調時距(Coordination Time Interval, CTI): 上層與下層保護電驛之動作時間協調間距。
7. 主保護電驛: 事故發生時，最靠近故障點之保護電驛應優先動作。
8. 後衛保護電驛: 事故發生時，如主保護電驛失靈未動作，則主保護電驛以外的相關保護電驛動作。

肆、方向性過電流電驛說明

一、方向性過電流電驛應用

69kV 輸電線路之保護方式有很多種，依供電特性採用輻射狀方式保護、平行雙回線方式保護、環狀方式保護均各有其優缺點。為使非故障線路不斷電，不影響用電戶供電品質，因此在環狀方式下採用差電流電驛為主保護，採用測距電驛或方向性過電流電驛為後衛保護，確保穩定可靠供電。

方向性過流電驛實際為一過電流電驛加上一個方向性元件組合而成。在保護方向發生故障，偵測標定方向流動之電流，當電流超過該電驛的標置值時，電驛動作將故障隔離，在非保護方向發生故障時，電驛不會動作。而方向性過流電驛含有兩個基本線圈元件，一為電壓線圈，一為電流線圈，一般以電壓線圈作為極化元件，比較電流的相位關係，來判斷事故的方向

[5]。當系統正常時電力潮流方向由 A 端流向 B 端，則 A 端方向性元件電壓電流角度應為 $0^\circ \pm PF$ (功率因數角)，而 B 端應為 $180^\circ \pm PF$ ，如圖 3 所示。

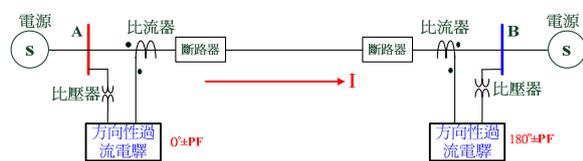


圖 3 方向性元件動作特性圖

若系統故障發生於內部 F 時，如圖 4 所示，其故障電流流向故障點，則 A 端及 B 端電驛經由電壓及電流夾角變化量判斷得知為內部故障電驛動作區，方向性元件即閉合，且故障電流達設定值時，電驛動作輸出信號跳脫斷路器將故障點隔離，內部故障電驛動作特性如圖 5 所示。

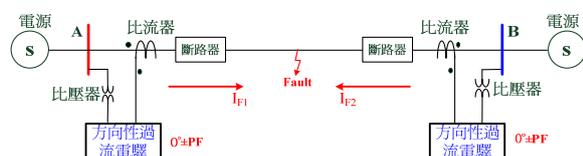


圖 4 事故發生於內部故障圖

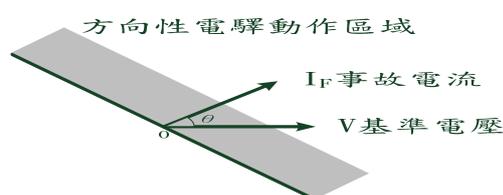


圖 5 內部故障電驛動作特性圖

若系統故障發生於外部 F 時，如圖 6 所示，其故障電流流向故障點，則 A 端電驛經由電壓及電流夾角變化量判斷得知為外部故障非電驛動作區，方向性元件未閉

合，過流元件無法作用，電驛未輸出跳脫信號，而 B 端電驛則符合動作特性，經由保護協調動作優先順序隔離故障點，外部故障電驛動作特性，如圖 7 所示。

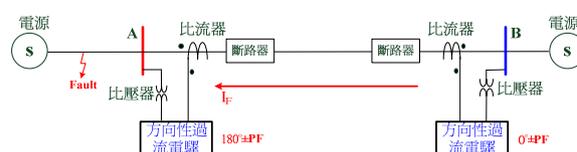


圖 6 事故發生於外部故障圖

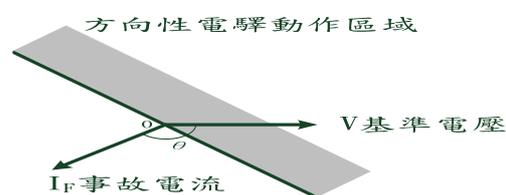


圖 7 外部故障電驛動作特性圖

二、方向性過電流電驛保護協調

1. 方向性過電流電驛標置原則 [6]

- (1) 依據 ANSI/IEEE Std 242-1986 文獻，線路保護在標置協調時間間距為 0.2 秒 ~0.5 秒。
- (2) 若為環路供電系統，則暫改為輻射型方式計算相關之標置協調。
- (3) 若為雙或三回線供電，需考慮 N-1 情況之相關協調。
- (4) 環路上下游為 IFC/IBC 電驛，須以 SEL-SI(C1) 曲線作協調。
- (5) 環路上下游為 CO-8/CR-8 電驛，須以 SEL-I(U2) 曲線作協調。
- (6) 環路上下游若包括 IFC/IBC 及 CO-8/CR-8 電驛混用，協調曲線以遠端故障(故障電流較小)情況下不交叉為原則。

- (7) 一次變電所出口線路之對方二次變電所端，若 CT 匝比為 1200/5，其 67N 方向性接地過電流電驛 Tap 值設定為 1.5A，若因相關環路上協調站數過多，降低 Tap 值為 1A。
- (8) 若相關環路上有背後電源時，不考慮所有背後電源情況下，依 69kV 電驛標置原則，進行相關標置協調，再以背後電源開啟情況下，模擬驗證原標置設定是否適用。

2. 方向性過電流電驛保護協調運用

輸電線路兩端均有電源或是環狀供電系統時，任何一點發生故障，故障電流分別由兩電源端流至故障點，如圖 8 所示。對 F 點故障而言，Ry1 和 Ry2 最靠近故障點，因此視為主保護電驛優先跳脫，其次跳脫順序為 Ry4、Ry6 視為後衛保護，Ry3 及 Ry5 因在非保護方向電驛不會動作。後衛保護 Ry4 跳脫時間為 Ry2 動作時間延遲一段 CTI，接著協調 Ry6 跳脫時為 Ry4 動作時間延遲一段 CTI。

$$\text{即 } TRy2 + CTI = TRy4$$

$$TRy4 + CTI = TRy6$$

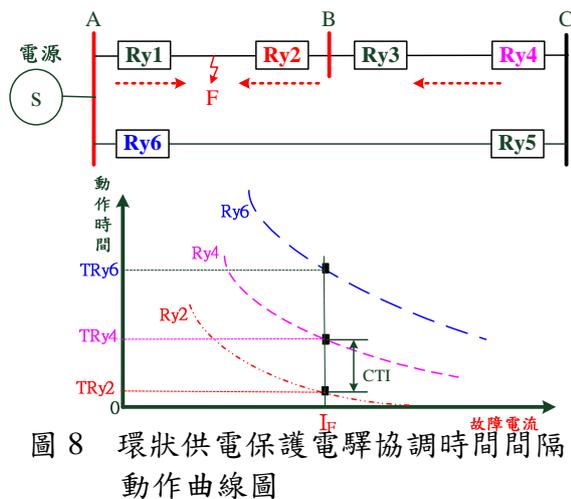
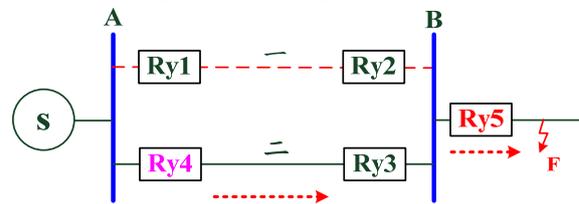


圖 8 環狀供電保護電驛協調時間間隔動作曲線圖

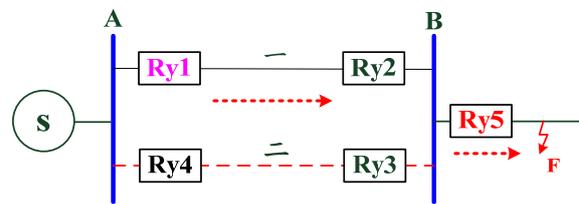
輸電線路如為雙或三回線供電，保護協調運算需模擬無相關設備停用時發生單一輸變電設備事故(N-1)情況，使系統在最嚴苛的條件下運轉時，保護電驛不得發生越區跳脫情形 [2]，如圖 9(a)所示。當 F 點故障時，Ry1 及 Ry4 電驛動作時間需與 Ry5 做保護協調計算，首先模擬線路一啟斷在 N-1 情況下，求得線路之最大故障電流全由線路二流至故障點 F，即可計算 Ry5 電驛動作時間，而 Ry4 動作時間即為 Ry5 延遲一段 CTI。

$$\text{即 } TRy5 + CTI = TRy4 \text{ 或}$$

$$TRy5 + CTI = TRy1, \text{ 如圖 9(b)所示。}$$



(a) 一路 N-1 情況下供電保護協調單線圖



(b) 二路 N-1 情況下供電保護協調單線圖

圖 9 一、二路電源端供電保護協調單線圖

輸電線路下游為雙回線供電時，與上游近電源端電驛協調，需注意上游電驛動作時間與下游電驛協調之選擇，如圖 10 所示，若線路一故障 Ry3 動作時間較線路二故障 Ry4 動作時間快，則協調計算時需選擇動作時間慢者 Ry4 與上游 Ry1 做保護協調計算，若選擇與時間快者做協調計算，將可能發生越區跳脫情形。

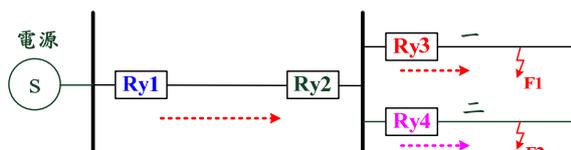


圖 10 下游負載端雙回線供電保護協調圖

伍、轄區 69kV 輸電線路後衛保護標置協調模擬與分析

一、 ASPEN 模型建立

本文採用 ASPEN OneLiner 建構澎湖供電系統，利用發電機、變壓器、輸電線路、斷路器、保護電驛等元件組成，做為模擬系統保護電驛標置協調之基礎，如圖 11 所示。

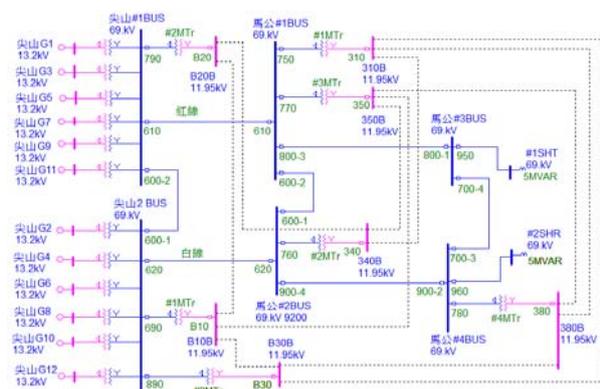


圖 11 澎湖供電系統標置協調分析模型圖

二、系統模擬分析

將利用 ASPEN 軟體模擬故障類型 with end opened 將反向端之斷路器啟斷，使最大故障電流流過保護電驛，以驗證各電驛動作時間、協調間距。模擬項目有環路各保護電驛單相接地故障(1LG)及三相短路接地故障(3LG)，來分別檢視方向性過電流電驛接地(67N)及相間(67)保護電驛的動作時間。

(一)CASE1：系統回路規劃應用當馬公 #800 與 #900 併用運轉，馬公 #600 與 #700 不同時併用時。

僅馬公#600 併用運轉情況下，模擬湖西馬公紅線 N-1 事故情況，最遠末端處馬公#800-3 故障，則最大故障電流將從湖西 #620 馬公白線流向故障點。模擬結果，如表 1、圖 12、圖 13 所示。顯示電驛動作順序依序為馬公#800-3、馬公#600-1、湖西 #620，單相接地故障電流約 3,400A，三相短路接地故障電流約 2,900A，各協調時距約 0.3 秒，符合 69kV 電驛標置準則。

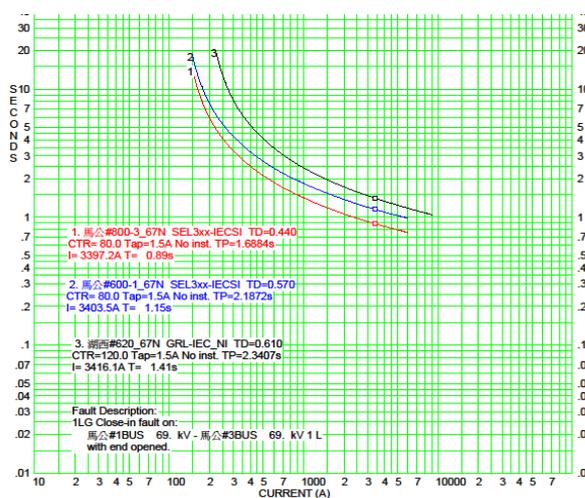


圖 12 CASE1 馬公#600 併用單相接地故障保護協調圖

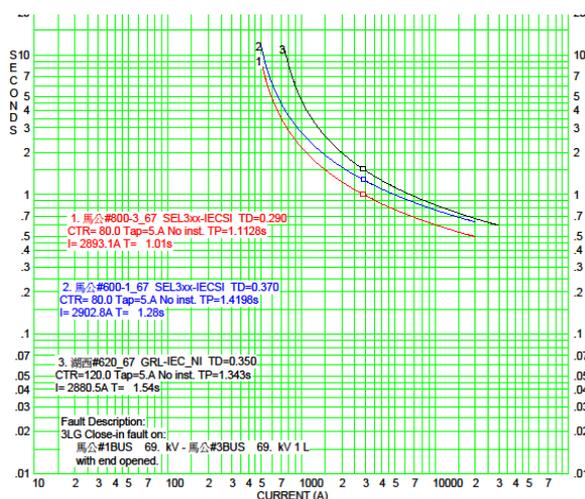


圖 13 CASE1 馬公#600 併用三相短路接地故障保護協調圖

表 1 馬公#600 併用時馬公#800-3 故障
相關電驛動作時間表

運轉狀態 故障類型	馬公#600 併用			
	1LG		3LG	
動作時間 設備代號	RT	CTI	RT	CTI
馬公#800-3	0.89"	0.26"	1.01"	0.27"
馬公#600-1	1.15"	0.26"	1.28"	0.26"
湖西#620	1.41"	--	1.54"	--

註 1：電驛動作時間(Relay Trip,RT)

註 2：協調時距(Coordination Time Interval,CTI)

(二)CASE1.1：系統回路規劃應用當馬公#800 與#900 併用運轉，馬公#600 與#700 同時併用時。

馬公#700 併用運轉情況下，模擬最遠末端處馬公#620 故障，則最大故障電流將從湖西#610 馬公紅線流向故障點。模擬結果，如表 2、圖 14、圖 15 所示。顯示電驛動作順序為馬公#620、馬公#900-2、馬公#700-4、馬公#800-3、湖西#610。由於馬公#600 投入時，湖西#610 標置值受到馬公#600-2 協調牽制，造成馬公#700 投入時，馬公#800-3 與湖西#610 單相接地故障協調時距為 0.51 秒，三相短路接地故障協調時距為 0.53 秒，未符合 69kV 電驛標置準則。

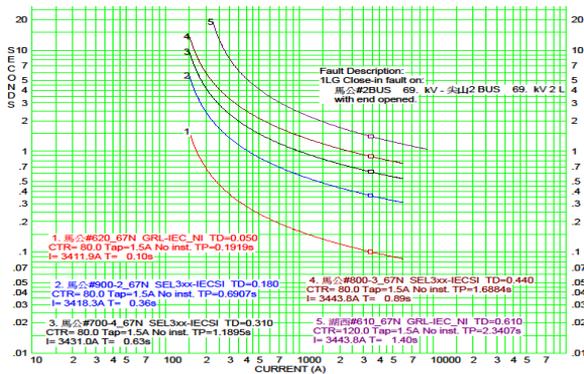


圖 14 CASE1.1 馬公#700 併用單相接地
故障保護協調圖

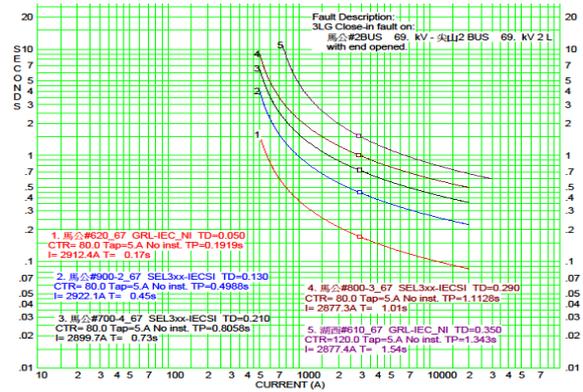


圖 15 CASE1.1 馬公#700 併用三相短路
接地故障保護協調圖

表 2 馬公#700 併用時馬公#620 故障
相關電驛動作時間表

運轉狀態 故障類型	馬公#700 併用			
	1LG		3LG	
動作時間 設備代號	RT	CTI	RT	CTI
馬公#620	0.10"	0.26"	0.17"	0.28"
馬公#900-2	0.36"	0.27"	0.45"	0.28"
馬公#700-4	0.63"	0.26"	0.73"	0.28"
馬公#800-3	0.89"	0.51"	1.01"	0.53"
湖西#610	1.40"	--	1.54"	--

馬公#600 或馬公#700 併用運轉情況下，模擬尖山發電廠 69kV 匯流排出口端線路故障，模擬結果，如表 3 所示。顯示湖西#610 與湖西#620 之單相接地故障與三相短路接地故障電驛動作時間超過 55 週期，依文獻〔7〕說明 69kV 輸電線或匯流排發生短路故障時須於臨界清除時間(約 55 週波)內清除故障，否則發電機將產生功率角度不穩定。

表 3 CASE1.1 電驛標置時模擬出口端
故障表

運轉狀態 故障類型	馬公#600 或馬公#700 併用	
	1LG	3LG
動作時間 設備代號	RT	
湖西#610	1.35"(81 週波)	1.28"(76.8 週波)
湖西#620	1.35"(81 週波)	1.28"(76.8 週波)

(三)CASE2：系統回路規劃應用當馬公#700、#800與馬公#900併用而馬公#600啟斷時。

僅馬公#600啟斷運轉情況下，轄區電力系統形成全環狀供電，當事故發生在任一區段時不會發生69kV系統非故障線路斷電。模擬最遠末端處馬公#620故障，模擬結果，如表4、圖16、圖17所示。顯示各電驛動作協調時距符合69kV電驛標置準則。

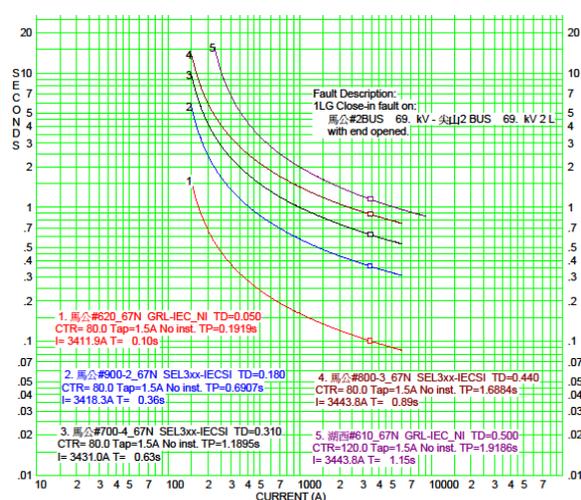


圖 16 CASE2 馬公#600 啟斷單相接地故障保護協調圖

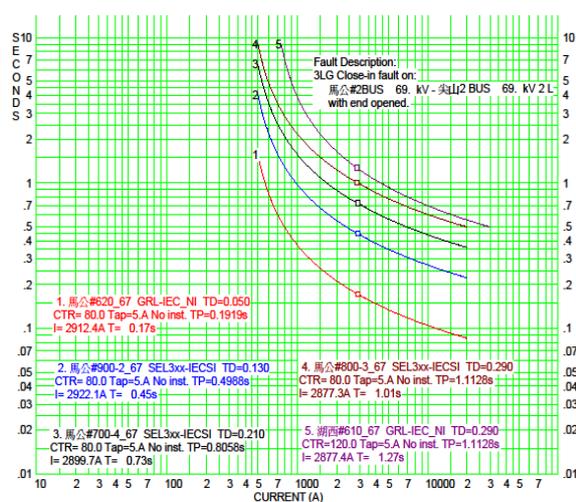


圖 17 CASE2 馬公#600 啟斷三相短路接地故障保護協調圖

表4 馬公#600啟斷時馬公#620故障相關電驛動作時間表

運轉狀態 故障類型	馬公#600 啟斷			
	1LG		3LG	
動作時間 設備代號	RT	CTI	RT	CTI
馬公#620	0.10"	0.26"	0.17"	0.28"
馬公#900-2	0.36"	0.27"	0.45"	0.28"
馬公#700-4	0.63"	0.26"	0.73"	0.28"
馬公#800-3	0.89"	0.26"	1.01"	0.26"
湖西#610	1.15"	--	1.27"	--

(四)CASE2.1：系統回路規劃應用當馬公#700、#800與馬公#900併用而馬公#600啟斷時，尖山出口端故障時。

僅馬公#600啟斷運轉情況下，模擬尖山發電廠69kV匯流排出口端線路故障，模擬結果，如表5所示。顯示湖西#610與湖西#620之單相接地故障與三相短路接地故障電驛動作時間超過55週波，此乃由於環路區間過多，導致出口端電驛動作協調時間拉長，因此當事故發生時發電機將產生功率角度不穩定。

表 5 CASE2.1 模擬尖山出口端故障表

運轉狀態 故障類型	馬公#600 啟斷	
	1LG	3LG
動作時間 設備代號	RT	RT
湖西#610	1.05" (63週波)	1.12" (67.2週波)
湖西#620	1.05" (63週波)	1.12" (67.2週波)

(五)CASE3：系統回路規劃應用當馬公#600、#700與馬公#900併用而馬公#800啟斷時。

僅馬公#800啟斷運轉情況下，模擬湖西馬公白線N-1事故時，最遠末端處馬公#950故障，則最大故障電流將從湖西#610馬公紅線流向故障點。模擬結果，如表6、圖18、圖19所示。顯示電驛動作順序為馬公#950、#700-3、#900-4、#600-2、湖西#610，各協調時距約0.3秒，符合69kV電驛標置準則。

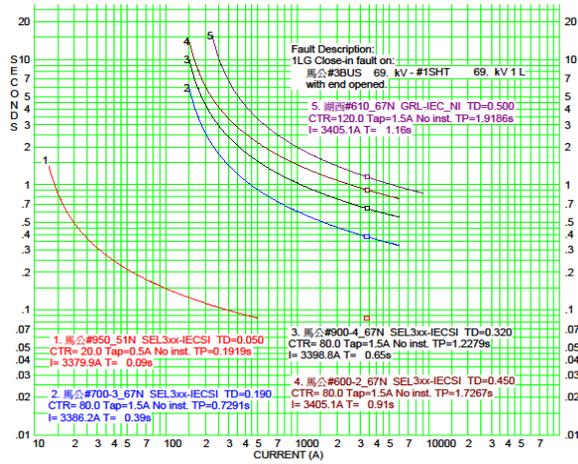


圖 18 CASE3 馬公#800 啟斷，湖西馬公白線 N-1 事故單相接地故障保護協調圖

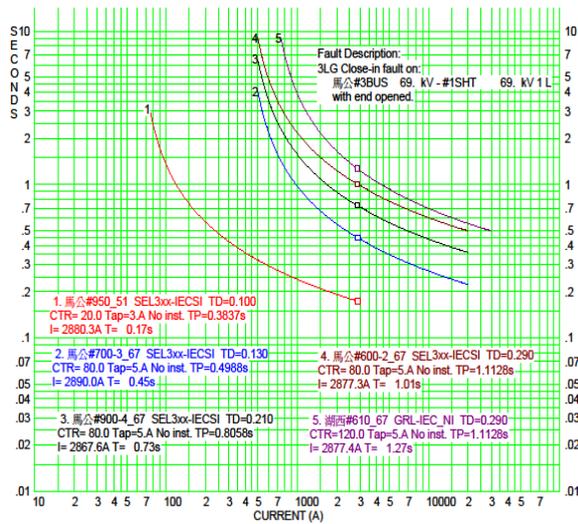


圖 19 CASE3 馬公#800 啟斷，湖西馬公白線 N-1 事故三相短路接地故障保護協調圖

表 6 馬公#800 啟斷時湖西馬公紅線停電 N-1 時馬公#950 故障相關電驛動作時間表

運轉狀態	馬公#800 啟斷			
	1LG		3LG	
故障類型	RT	CTI	RT	CTI
動作時間				
設備代號				
馬公#950	0.09"	0.30"	0.17"	0.28"
馬公#700-3	0.39"	0.26"	0.45"	0.28"
馬公#900-4	0.65"	0.26"	0.73"	0.28"
馬公#600-2	0.91"	0.25"	1.01"	0.26"
湖西#610	1.16"	--	1.27"	--

(六)CASE3.1：系統回路規劃應用當馬公#600、#700 與馬公#900 併用而馬公#800 啟斷時，模擬湖西馬公紅線 N-1 事故時。

僅馬公#800 啟斷運轉情況下，模擬湖西馬公紅線 N-1 事故時，最遠末端處馬公#950 故障，則最大故障電流將從湖西#620 馬公白線流向故障點。模擬結果，如表 7、圖 20、圖 21 所示。顯示電驛動作順序依序為馬公#950、#700-3、#900-4、湖西#620，各協調時距約 0.3 秒，符合 69kV 電驛標置準則。

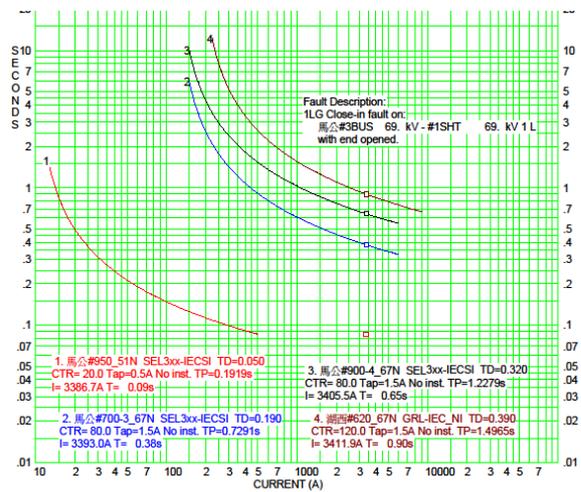


圖 20 CASE3.1 馬公#800 啟斷，湖西馬公紅線 N-1 事故單相接地故障保護協調圖

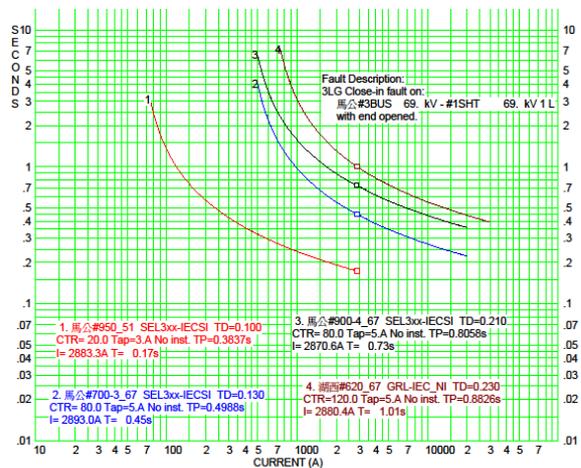


圖 21 CASE3.1 馬公#800 啟斷，湖西馬公紅線 N-1 事故三相短路接地故障保護協調圖

表 7 馬公#800 啟斷時湖西馬公紅線 N-1 時馬公#950 故障相關電驛動作時間表

運轉狀態	馬公#800 啟斷			
	1LG		3LG	
故障類型				
動作時間	RT	CTI	RT	CTI
設備代號				
馬公#950	0.09"	0.29"	0.17"	0.28"
馬公#700-3	0.38"	0.27"	0.45"	0.28"
馬公#900-4	0.65"	0.25"	0.73"	0.28"
湖西#610	0.90"	--	1.01"	--

馬公#800 啟斷運轉情況下，模擬尖山發電廠 69kV 匯流排出口端線路故障，模擬結果，如表 8 所示。顯示湖西#610 之單相接地故障與三相短路接地故障電驛動作時間超過 55 週波，而湖西#620 之單相接地故障電驛動作時間 49.2 週波與三相短路接地故障電驛動作時間 53.4 週波，得知湖西#620 在系統變更協調下，已能在臨界清除時間 55 週波內清除故障。

表 8 CASE3.1 模擬尖山出口端故障表

運轉狀態	馬公#800 啟斷	
	1LG	3LG
故障類型		
動作時間	RT	RT
設備代號		
湖西#610	1.05" (63 週波)	1.12" (67.2 週波)
湖西#620	0.82" (49.2 週波)	0.89" (53.4 週波)

(七)CASE4：系統回路規劃應用當馬公#600、馬公#800 與馬公#900 併用而馬公#700 啟斷時。

僅馬公#700 啟斷運轉情況下，湖西馬公紅線與湖西馬公白線經由馬公#600 形成環路供電。模擬湖西馬公紅線 N-1 事故時，最遠末端處馬公#950 故障，則最大故障電流將從湖西#620 馬公白線流向故障點，模擬結果，如表 9、圖 22、圖 23 所示。

顯示各電驛動作協調時距符合 69kV 電驛標置準則。

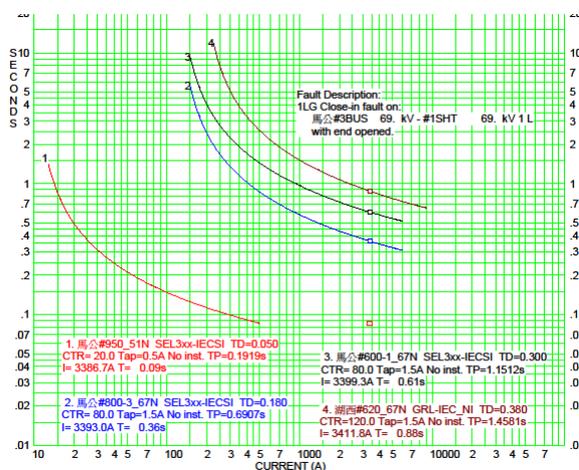


圖 22 CASE4 馬公#700 啟斷單相接地故障保護協調圖

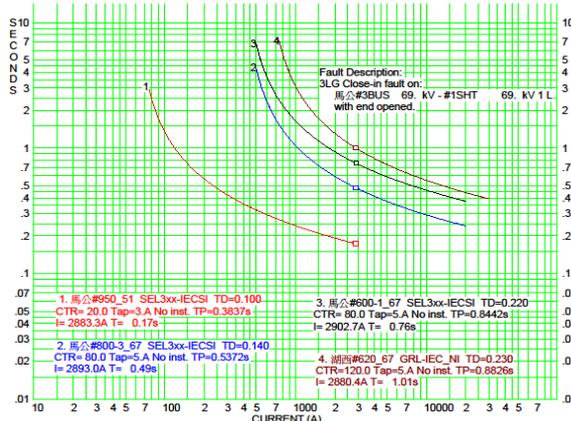


圖 23 CASE4 馬公#700 啟斷三相短路接地故障保護協調圖

表 9 馬公#700 啟斷下馬公#950 故障相關電驛動作時間表

運轉狀態	馬公#700 啟斷			
	1LG		3LG	
故障類型				
動作時間	RT	CTI	RT	CTI
設備代號				
馬公#950	0.09"	0.27"	0.17"	0.32"
馬公#800-3	0.36"	0.25"	0.49"	0.27"
馬公#600-1	0.61"	0.27"	0.76"	0.25"
湖西#620	0.88"	--	1.01	--

(八)CASE4.1：系統回路規劃應用當馬公#600、馬公#800 與馬公#900 併用而馬公#700 啟斷，尖山出口端故障時。

僅馬公#700 啟斷運轉情況下，模擬尖山發電廠 69kV 匯流排出口端線路故障，模擬結果，如表 10，顯示湖西#610 與湖西#620 之單相接地故障與三相短路接地故障電驛動作時間均在 55 週波內清除故障。

表 10 CASE4.1 模擬尖山出口端故障表

運轉狀態	馬公#700 啟斷	
	ILG	3LG
動作時間		
設備代號	RT	RT
湖西#610	0.78" (46.8 週波)	0.89" (53.4 週波)
湖西#620	0.78" (46.8 週波)	0.89" (53.4 週波)

陸、結論

本文主要探討在澎湖系統尖山電廠發電機組所能承受系統外部故障最慢故障清除時間下，以 ASPEN OneLiner 模擬軟體，協調 69kV 輸電線路後衛保護方向性過電流電驛故障清除時間。文中應用 69kV 電驛標置準則及發電機運轉特性，提出四種運轉模式之電驛標置進行探討分析，模擬計算出最適用 69kV 輸電線路之電驛標置。綜合上述四種運轉方案，由模擬結果整理成表 11 所示。本文模擬計算之 Case4 符合 69kV 電驛標置準則及發電機運轉特性，建議以此運轉方案運轉。模擬結果，可提供台電公司於電力系統運轉操作之參

考，以確保系統安全與供電穩定，減少不必要之停電損失。保護電驛是一門藝術，電驛標置與協調之優劣攸關電力系統運轉供電品質與供電可靠度，因此為提升電驛動作的準確度與可靠度，在保護協調上應依發電站與輸電線之實務特性，做妥善最佳之規劃運用，以符合實際需要。

柒、參考文獻

- [1]林水秀，「澎湖地區饋線故障造成系統壓降對電廠的影響及防制措施」，台電綜合研究所，2006。
- [2]電力系統運轉操作章則彙編」，台灣電力公司，2012。
- [3]李宏任，實用保護電驛，台北：全華科技圖書股份有限公司，2002。
- [4]彭雲將，「電驛標置與協調」，保護電驛專輯，1992.06。
- [5]陳順斌，「電力系統方向性過流與測距電驛之最佳保護協調」，國立臺灣科技大學，2000。
- [6]「69kV 電驛標置準則」，台灣電力公司，版次 6，2010。
- [7]張慶南，「澎湖電力系統運轉特性之研究」，碩士論文，國立臺灣科技大學電機工程系研究所，2005。

表 11 四種模擬計算運轉方案結果比較表

運轉模式	系統特性	故障類別	越區跳脫	協調時距 (0.25~0.5秒)	出口端故障清除時間 (55週波)	電驛標置 可行性	
Case1 & 1.1	馬公#600併用 馬公#700啟斷	三相	無	符合	未符合	否	
		單相	無	符合	未符合	否	
	馬公#600啟斷 馬公#700併用	三相	無	未符合	未符合	否	
		單相	無	未符合	未符合	否	
Case2 & 2.1	馬公#600啟斷	三相	無	符合	未符合	否	
		單相	無	符合	未符合	否	
Case3 & 3.1	馬公#800啟斷	湖西馬公 白線N-1	三相	無	符合	未符合	否
			單相	無	符合	未符合	否
		湖西馬公 紅線N-1	三相	無	符合	符合	否
			單相	無	符合	符合	否
Case4 & 4.1	馬公#700啟斷	三相	無	符合	符合	可	
		單相	無	符合	符合	可	

數位式低頻電驛應用於台電電力系統頻率卸載

台電嘉南供電區營運處 林文彬

摘要

本文旨在討論數位式低頻電驛應用於台電電力系統頻率卸載。文中敘述台電公司低頻卸載的規劃原則，詳細說明每一種低頻電驛的連線及測試方式，並以簡單的邏輯圖說明低頻電驛的動作原理。文中更詳細敘述將傳統式電驛汰換為數位式電驛要注意的重點，最後以一個事故案例當成低頻電驛的卸載實例來驗證數位低頻電驛的可靠性。

壹、前言

台電系統為一狹長的特殊系統，大部份的電源集中在中、南部，北部電源約僅佔全系統電源的三成五，但負載量卻為全系統的四成三左右；於是尖峰時大量電力從中、南部發電廠經由一次輸電線路往北部負載送，形成了長期「南電北送」的供電方式(如表一)。然此運轉方式除容易造成較多線路損失外，遇各種偶發事故時更容易導致系統不穩定，使得系統安全、穩定運轉方面的議題日顯重要與急迫。

台灣電力系統基準頻率為 60Hz，當電力系統負載變動或機組跳脫時，造成供電與負載需求不平衡，因而產生頻率偏移，需依賴頻率控制方式即時修正頻率至 60Hz。若系統頻率持續偏低甚多或長時間無法恢復至安全值時，表示發電機出力已用罄，恐怕會造成電力系統崩潰全停電及發電機葉片損傷，此時需利用負載端設置之低頻電驛執行卸除用戶負載，迅速將頻率提高恢復至安全值，若仍不足以防止頻率繼續下降，則保護發電機之低頻率電驛將動作，使發電機跳脫解聯以保護發電機。

台電公司的電力系統常須裝置一些保護設備，且要達到時效性、準確性、穩定性功能，新式智慧型保護電驛之運用正好滿足上述之要件。智慧型保護電驛具備多功能、維護週期長、存取數據靈活等特性，再加上電驛具有記錄事故發生時電力系統變化狀態的功能，有助於分析事故發生原因及作為日後改善的依據，提升保護系統的可靠度，如此方能發揮其最大功效，確保供電安全、系統穩定。

表一 101年度夏季尖峰系統北、中、南區域發電情況與負載配比

地區	北	中	南	合計
發電情況(MW)	12013	10432	11893	34338
尖峰負載(MW)	14092	9874	10372	34338
融通電力	-2079	558	1521	*
負載比率(%)	41.04	28.76	30.21	100

貳、電力系統低頻卸載規劃原則

一、電力系統低頻卸載規劃原則，以下五點為考量

- (一)以地區電力供需平衡為考慮重點。
- (二)系統頻率均能於低頻卸載動作完成後回復至59.5Hz以上60Hz以下。
- (三)抽蓄機組於深夜抽水時段優先卸載抽蓄機組，以減少對一般用戶之停電機率，其低頻設定高於一般用戶。
- (四)為提升卸載效果，低頻卸載優先以跳脫整組配電級變壓器負載為原則，包括一次變電所、配電變電所、二次變電所及特高壓用戶變電所。惟饋線已裝設具有低頻卸載功

能之智慧型電子裝置(IED)時，得以饋線為卸載對象。

(五)已裝設具有低頻卸載功能之智慧型電子裝置(IED)設備為優先規劃。

二、低頻卸載對象之優先次序：原則上先考慮卸除郊區、一般住宅區、商業區、工業區負載及無躉售之汽電共生用戶負載，之後為政府開發工業區負、高科技園區、加工出口區等負載，對於其它重要負載如：醫院、消防局、國防安全用電、各級重要行政機關等會造成國計民生之重大影響者，則避免列為低頻卸載之對象，若低頻卸載量仍然不足，原則上排定於第十三段(58.3Hz)，以避免重要負載因停電而引發爭議。

三、卸載頻率設置範圍：低頻卸載按不同頻規劃各區段之卸載量，共分為十三段，第一段至第四段頻率卸抽蓄機組負載，第五段至第十三段頻率卸一般用戶負載(詳如表二)。

頻率卸載是指電力系統運轉頻率因故低於最低連續安全運轉頻率(59.5Hz)時，為考量供電品質及系統安全，須自系統中卸除適量負載，拉升系統運轉頻率；若任由系統運轉頻率長期低於最低連續安全運轉頻率，可能對發電機組及其它機電設備造成損害，甚至導致系統崩潰，其低頻電驛動作流程圖如圖一所示。

低頻卸載透過低頻電驛來實現，不同於一般的保護電驛是以『被保護之設備發生故障』作為動作初始條件，頻率電驛是以『系統運轉頻率』為基礎，一旦系統運轉頻率

低於頻率電驛預設的始動值則將負載切離系統，確保系統安全。

表二 低頻卸載分段一覽表

段數	頻率 (Hz)	動作時間	段數	頻率 (Hz)	動作時間
1	59.5	P/P* 瞬時	6	59	瞬時
2	59.35	P/P* 瞬時	7	58.8	瞬時
3	59.24	P/P* 瞬時	8	58.7	瞬時
4	59.25	P/P 3 sec	9	58.6	瞬時
4A	59.5	P/P 15 sec	10	58.5	瞬時
4B	59.5	P/P 30 sec	11	59.5	50 sec
4C	59.5	45 sec	12	58.4	瞬時
4D	59.5	60 sec	13	58.3	瞬時
5	59.2	瞬時			

參、數位式頻率電驛動作邏輯原理介紹

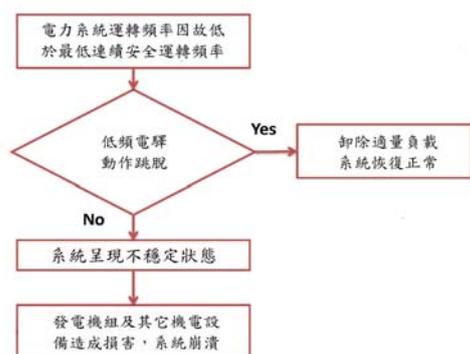
由前述所知，由於系統負載隨時在變化，因此系統頻率也就無法永遠保持 60Hz 基準值。圖二所示為頻率電驛的基本邏輯圖。

假定 NFREQ 設定為正常的系統頻率 60Hz，當 E81=1 時表示頻率元件啟用。

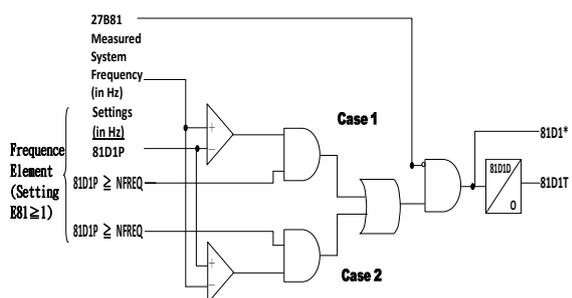
Case1：81D1P 設定為 61Hz，此時量測系統頻率若為 62Hz，經過比較器後走上面的路徑（過頻元件動作），此時若欠壓條件（27B81）未成立，則訊號經過一定時間後即輸出頻率電驛跳脫動作訊號(81D1T)。

Case2：81D1P 設定為 59Hz，此時量測系統頻率若為 58Hz，經過比較器後走下面的路徑（低頻元件動作），此時若欠壓條件（27B81）未成立，則訊號經過一定時間後即輸出頻率電驛跳脫動作訊號(81D1T)。

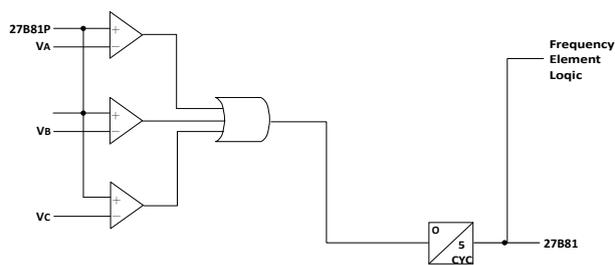
頻率電壓元件由相同的欠壓元件（27B81）控制如圖三所示。如果任一電壓（VA、VB、VC）低於欠壓動作值 27B81P，則頻率電壓元件動作。這種目的是為了防止故障狀態下的錯誤的頻率元件誤動作。



圖一 低頻電驛動作流程圖



圖二 頻率電驛的基本邏輯圖



圖三 頻率元件的低電壓閉鎖



圖四 台電公司頻率電驛的種類

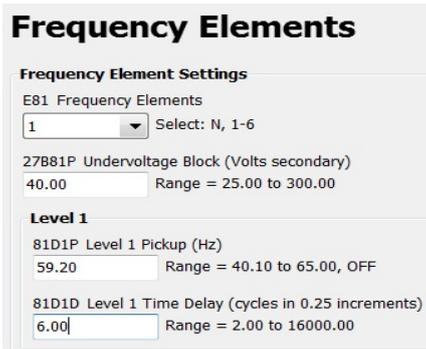
肆、台電公司低頻電驛的種類及測試方式

目前台電公司採用之低頻電驛都已汰換成多功能型式之保護電驛，其中電驛的種類大致上有下列幾種如圖四所示。

前幾年台電公司所用之低頻電驛大都為ABB Type 81如圖五所示。低頻電驛定檢時，總是只能在配電盤上做，雖然測試項目只有幾樣，測試時間也不長，但是如果那有那麼一點的出錯，就會導致區域性的停電。工作中常會提心吊膽，深怕拆錯線或是忘記閉鎖某些開關，甚至是閉鎖了某些開關又會忘記復原。導致事故發生時，電驛應該要動作而又沒有動作。以下介紹目前台電已經使用在電力系統上之低頻電驛測試方式。



圖五 ABB Type 81



圖六 SEL 電驛的低頻功能設定

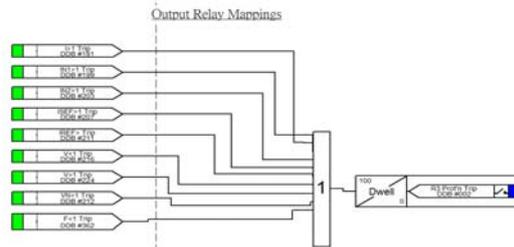
(1)SEL351：SEL公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，在同一個群組內可設定六個不同的頻率動作值，經由適當的控制輸出點可執行卸載、復載的動作，提昇電力系統的穩定性及安全性。

- a. 首先使用SEL公司提供之QuickSet在電驛內"E81"的功能選項選擇"1"，將標置單的設定值27B81P、81D1P、81D1D等依序輸入電驛內如圖六所示。
- b. 因為SEL351電驛的PT電壓只偵測一相電壓即可，但缺少一相電壓又會達到欠壓條件造成電驛無法動作，且相序對電驛無太大影響，故測試時可使用短接線將電驛之三相PT電壓短接後接到doble，運用doble產生交流輸出電壓，再藉由操作MiniControl輸出低於設定之頻率電壓值，即可完成測試。

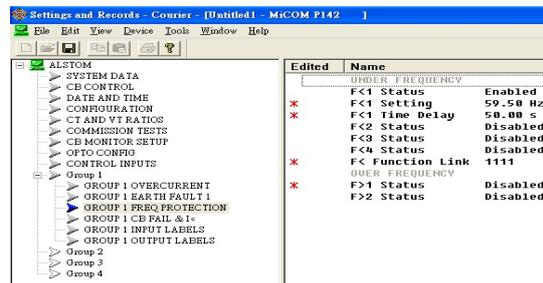
(2)ALSTOM- P142：Alstom 公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，在同

一個群組內可設定四個不同的頻率動作值，使用時可將其內建之低頻功能開啟，再重新規劃其邏輯迴路如圖七所示，方可控制輸出點執行卸載、復載的動作。

- a. 首先使用Alstom公司提供之Micom S1在電驛內"F<1 Status"的功能選項選擇"Enabled"，將標置單的設定值F<1 Setting、f<1 Time Delay等依序輸入電驛內如圖八所示。
- b. 詳如(1)b項次所述。



圖七 邏輯迴路規劃



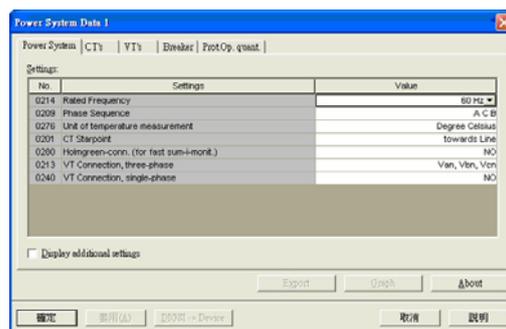
圖八 Alstom 電驛的低頻功能設定

(3) SIEMENS-7SJ62：SIEMENS 公司出產之電驛，詳如(2)所述。

- a. 首先使用SIEMENS公司提供之DIGSI連線軟體在電驛General選單內"81 Over/Under Frequency Protection"的功能選項選擇 "ON"，再於"81-1 Over/Under Frequency Protection" 選項選擇 "ON-underfrequency stage"，最後於"Minimum required voltage for operation" 選項填入 Cutoff voltage；於 81 O/U選單內將標置單的設定值81-1 Pickup、81-1 Time

Delay等依序輸入電驛內如圖九、十所示。

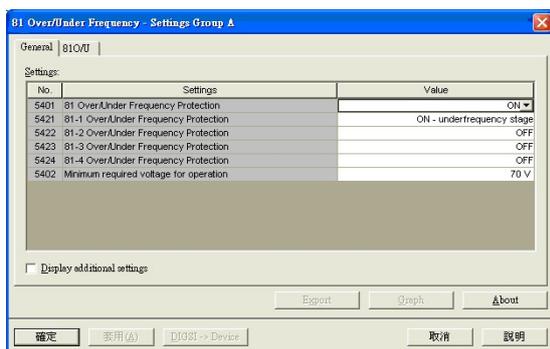
- b. 在Power System Data 1選單內"Rated Frequency"選擇"60 Hz"，再於"Phase Sequency"選項選擇目前系統的相序如圖十一所示，舉例說明如果電力系統為負相序則選擇"ACB"相序。
- c. 7SJ62電驛的PT電壓須由測試儀器（比如說可使用ISA輸出三相電壓源）提供三相電壓如圖十二所示，且測試時須按照前述所設定之電壓相序來輸入到電驛內，如果相序設錯的話則電驛將不會動作。所以完成測試後，加入系統前最好再次確認電力系統的相序是否與電驛設定相符，如此方能把風險降到最低。



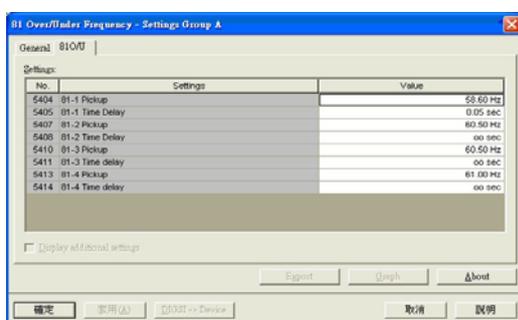
圖十一 相序的設定

V1 [V]	V2 [V]	V3 [V]	Input C. 1 [S]	V1 Phase []	V2 Phase []	V3 Phase []	Frequency
115	115	115	超時	0	120	240	58.65
115	115	115	超時	0	120	240	58.64
115	115	115	超時	0	120	240	58.63
115	115	115	超時	0	120	240	58.62
115	115	115	超時	0	120	240	58.61
115	115	115	0.1505	0	120	240	58.6
115	115	115	0.0824	0	120	240	58.59
115	115	115	0.0859	0	120	240	58.58
115	115	115	0.0889	0	120	240	58.57
115	115	115	0.0812	0	120	240	58.56

圖十二 測試儀器的設定



圖九 SIEMENS 電驛的低頻功能啟用



圖十 SIEMENS 電驛的低頻功能設定

(4)GE-F650：F650是奇異公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，在同一個群組內可設定三個不同的頻率動作值，經由適當的控制輸出點可執行卸載、復載的動作，提昇電力系統的穩定性及安全性。

- a. 首先使用GE公司提供之EnerVista 650連線軟體進入電驛點選"Setpoint → Control Elements → Underfrequency"，在選單內的Underfrequency 1的Function選項選擇"ENABLED"，再於"Minimum Voltage"選項填入Cutoff voltage；將標置單之Pickup Level、Trip Delay等依序輸入電驛內圖十三所示。
- b. F650電驛的PT電壓只偵測R相電壓即可，故測試時可直接運用doble產生交流輸出電壓，再藉由操作MiniControl輸出低於設定之頻率電壓值，即可完成測試。

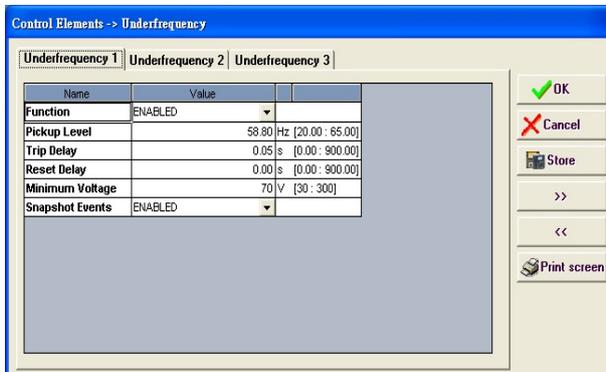
- c. 現場測試時，如果該具F650之頻率卸載規劃為跳脫Main CB時，須留意盤後是否有裝設一只栓鎖電驛如圖十四所示，其功能為使用或閉鎖低頻功能，測試時須手動將栓鎖電驛壓下，否則電驛永遠不會動作。
- d. F650電驛現場裝置於控制室電驛盤上，裝設的空間實在太過狹隘，現場測試時須注意不要誤觸送電中之線路電驛，且單一電驛皆無裝設測試TS-KEY，測試時要一一拆線，更增添誤觸之風險如圖十五。

圖十六所示。

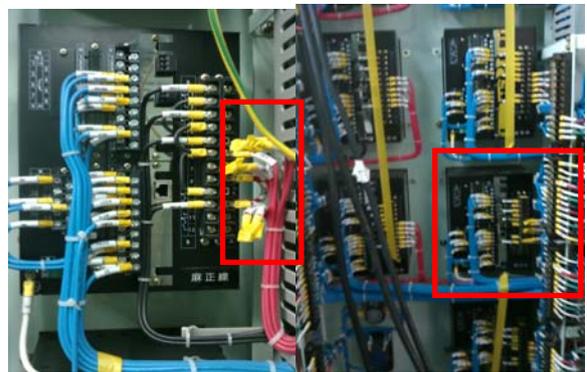
- b. 詳如(4)b項次所述。



圖十四 控制低頻電驛是否啟用之栓鎖電驛



圖十三 F650 電驛的低頻功能設定



圖十五 無裝設 TS-KEY 測試需拆線，且空間狹窄易誤觸其他送電中之電驛

(5)GE-SR-760: SR760是奇異公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，共有四個群組可設定使用，在同一個群組內可設定二個不同的頻率動作值，經由 Output Relays(Trip)輸出點控制卸載、復載的動作，提昇電力系統的穩定性及安全性。

- a. 首先使用GE公司提供之EnerVista 750/760連線軟體進入電驛後點選"Protection → frequency → Underfrequency1"，在選單內的 Underfrequency 1 Function選項選擇 "Trip"，再於"Underfrequency 1 Minimum Operating Voltage"選項填入 Cutoff Voltage；將標置單之 Pickup、Delay等依序輸入電驛內如



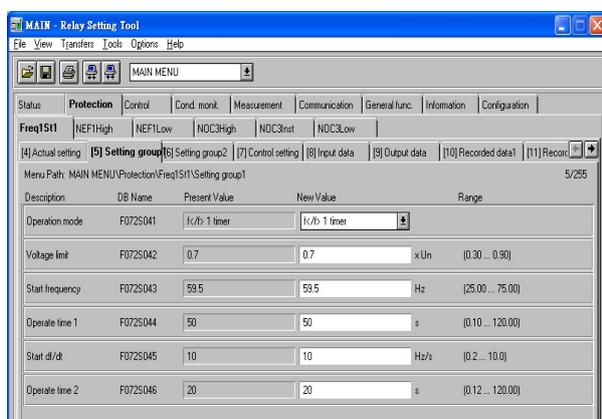
圖十六 SR-760 電驛的低頻功能設定

- (6)ABB-REF541: REF541是艾波比公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，共有二個群組可設定使用，一個群組內僅能設定一個頻率動作值，經由特定的輸出點控制卸載、復載的動作，提

昇電力系統的穩定性及安全性。

a. 首先使用ABB公司提供之CAP Tools連線軟體進入電驛後點選"Protection → Freq1St1 → [5]Setting group"，在選單內的Operation mode選項選擇" $f < / f > 1$ timer"，再於"Voltage limit"選項填入Cutoff Voltage；將標置單之Start frequency、operate time 1等依序輸入電驛內如圖十七所示。

b. 詳如(4)b項次所述。



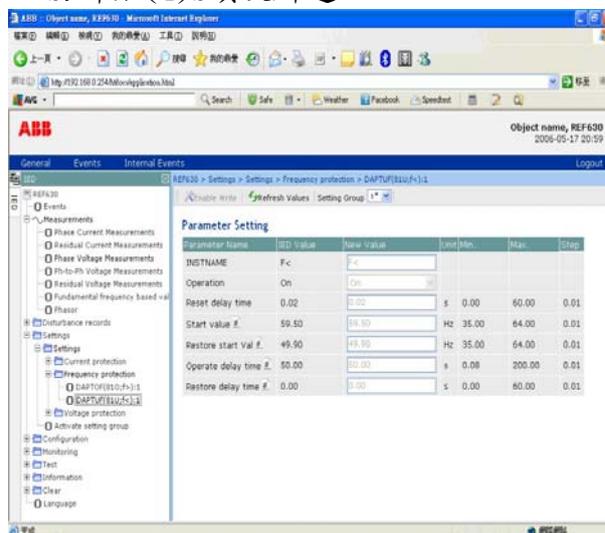
圖十七 ABB-REF541 電驛的低頻功能設定

(7)ABB-630：630是艾波比公司出產之電驛，低頻功能附掛於IED電驛上，共有三個群組可設定使用，在同一個群組內僅能設定一個頻率動作值，經由適當的輸出點控制卸載、復載的動作，提昇電力系統的穩定性及安全性。

a. ABB-630電驛提供WEB網頁的方式與電腦連線，故可使用I.E直接與電驛連線，預設連線網址為192.168.0.254。進入電驛後點選"Settings → frequency protection → DAPTUF(81U;f<):1"，在選單內的Operation 選項選擇"ON"，再於"Voltage limit" 選項填入Cutoff Voltage；將標置單之 Start

value、Operate delay time等依序輸入電驛內如圖十八所示。

b. 詳如(4)b項次所述。



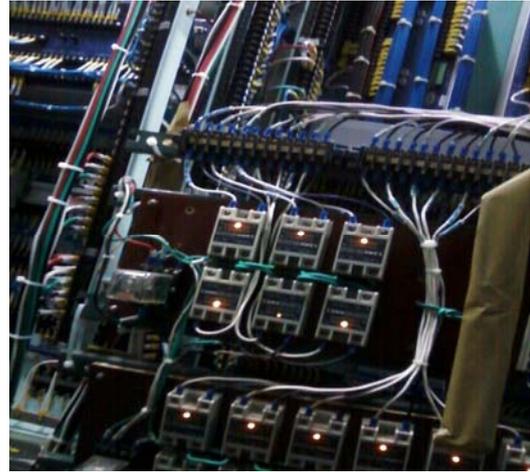
圖十八 ABB-630 電驛的低頻功能設定

伍、數位式低頻電驛汰換規劃說明

傳統電磁式低頻電驛受限於單一功能且維護不易，將傳統式電驛汰換成智慧型數位式電驛，可降低低頻卸載時負載清除時間及記錄事件外，更拉長了保護電驛維護週期，並能結合乙太網路，有效的在遠端監控或更改數位電驛的設定值，提升了整個保護系統的效率及利用率。傳統電磁式與數位式電驛比較如表三所示。本次汰換的保護電驛即為低頻電驛（Frequency Relay），簡稱：81 Relay。

表三 傳統電磁式與數位式電驛比較

特點	傳統電驛	數位電驛
保護協調	好	更好且更為彈性
動作速度	快	更快
動作方式	電磁機構、接點組合	電腦運算
維護週期	短	長
遠方存取	無	透過乙太網路
故障資料紀錄	無	事故波形、動作記錄
表計功能	無	電驛面板即可獲得電流、電壓及功率等資訊
自我偵測	無	電驛故障時可送出告警



圖十九 現場傳統式低頻電驛可能需遷移的其他設備

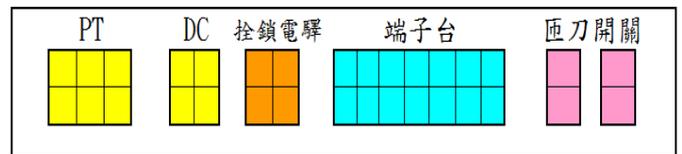
一、低頻電驛汰換前盤面資料蒐集與查對
至變電所電驛室確認每一盤面之電驛設備、位置、斷路器號碼、電纜長度位置、標示...等資料，將收集到之資料分類整理成易查對的相關格式。

- (一)電壓等級 69kV 或者是 11、22kV。
- (二)卸載對象為線路或者是主斷路器。
- (三)卸載時跳脫相關斷路器號碼。
- (四)欲汰換盤面之空間是否足夠，是否有其
他設備比如路燈盤（若有的話要先考慮是否需要遷移）如圖十九所示。
- (五)所屬盤面編號。
- (六)盤面尺寸。

除了上述資料，需再注意故障指示器數量是否足夠使用，電纜線及網路線長度丈量估算。

二、數位式低頻電驛汰換準備及盤面規劃

大部分的二次變電所內控制室都是比較狹窄，受限於空間上的因素，控制室電驛盤上幾乎都裝置了很多設備，盤後滿滿的設備及纜線幾乎已成為慣例，勘查完各所變電所後發現，若要將數位式電驛直接取代傳統式電驛盤面空間顯然不足，思考後決定自行設計一塊控制制輔助盤如圖二十所示。



圖二十 控制輔助盤元件配置

- (一)3P MCB小型斷路器：當成PT電壓的輸入開關，加入系統後如果要定檢的時候可將電壓開關關閉，再開始測試。這樣子可隔離現場的PT電壓以避免定檢時誤將非正常的測試電壓頻率引進系統內。
- (二)2P MCB小型斷路器：當成直流電壓的輸入開關提供電源給低頻電驛。
- (三)拴鎖電驛(5a4b)：透過其動作線圈，其中a 接點可以當成輸出跳脫斷路器及頻率電驛動作訊息；其中b接點可以用來阻斷投入回路。透過復原線圈，

可以復原控鎖電驛的狀態。

(四) 閘刀開關：作為閉鎖低頻電驛之用，其中閘刀開關的上緣接到斷路器的跳脫線圈接點，閘刀開關的下緣接到控鎖電驛輸出跳脫訊息的接點，此規劃目的為，當閘刀開關切下來時，因為接到現場的跳脫回路可被上緣的塑膠蓋給阻隔住，可避免誤動作。其中閘刀開關的數量視頻率電驛需要卸載哪些斷路器而定，如果該具頻率電驛需卸載三回饋線，則此輔助盤需裝置三個閘刀開關。控制輔助盤完成後如圖二十一所示。

(五) 輔助控制盤完成後，針對數位式低頻電驛的配線就會變的很簡單。在各個變電所勘查後得知，現場的低頻電驛 PT 電壓取的都沒有統一，有些取 11kV 有些則取 22kV。低頻電驛的功能為卸除負載，考慮到其主要目的為卸除負載，取的電壓應該要越靠近系統電壓愈好，也就是說電驛偵測到電力系統頻率降低到電驛設定值時，可立即跳脫斷路器完成低頻卸載。故本次低頻電驛汰換時，統一將電驛之 PT 電壓取為 69kV 側。

(六) 無論是進行試驗或者汰換工程，都需事先擬定標準作業程序，以防人為疏忽造成設備誤動作，本次 81 Relay 汰換工程查檢表以具為單位，依照以下步驟編寫而成。

1. KY、TBM 召開並確認工作內容及汰換盤面。
2. 聯絡 ADCC/DDCC 值班主任，確認汰換盤面是否停電中，並以鉤表確認該線路 CT 迴路上電流為零。
3. 確認閉鎖全所之低頻電驛跳脫開關。
4. 舊電驛拆除且新電驛安裝。

5. 確認數位式低頻電驛引接之 PT 位置是否正確為 69kV 之 PT。

6. 確認數位式低頻電驛引接之 DC 位置、極性是否正確。

7. 確認電驛標置通知單是否正確(包含電驛型式、標置設定、段數)。

8. 確認數位式低頻電驛之標置設定、特性試驗及跳脫試驗(含閉合迴路)是否正確無誤。

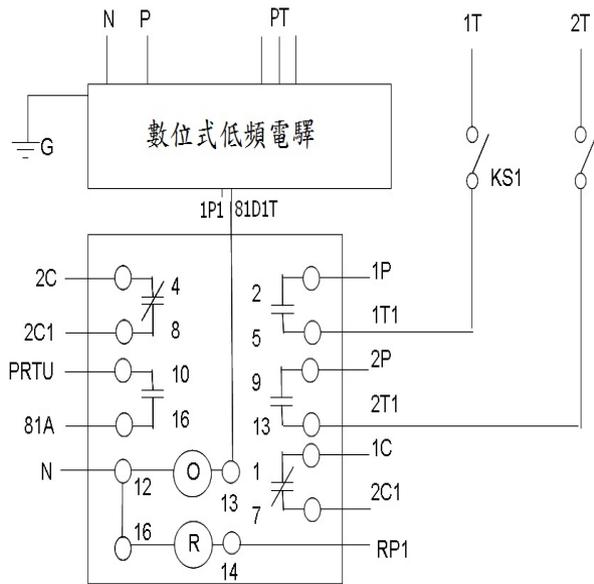
9. 會同 ADCC/DDCC 值班主任完成警報測試且於電驛正常之下無其他動作警報信號。

10 判斷電驛試驗數據均正常後，再確認現場電驛指示牌、電驛 PT 電源及跳脫回路之閘刀開關均恢復正常使用狀態，並回報轄區調度中心。

整組低頻率電驛之模組實際上就包含了一具低頻電驛及輔助控制盤，如此的搭配可因應近幾年各區二次變電所逐漸汰換饋線線路保護電驛時，電驛盤面一旦改裝，仍可將模組化的整組低頻率電驛拆下來，且還可以再次利用，組裝到別的地方，其實際上之配線可簡化如圖二十二所示，汰換前後之電驛盤面如圖二十三所示。



圖二十一 低頻電驛輔助控制盤



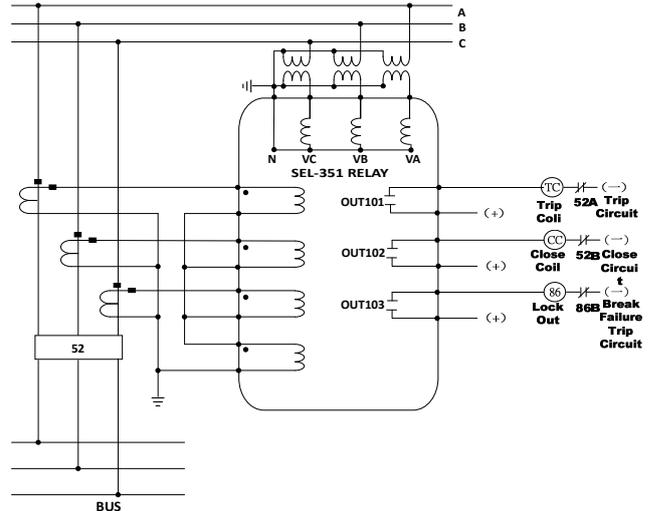
圖二十二 實際配線圖



圖二十三 汰換前、後81 Relay盤面圖

陸、系統架構與量測數據

圖二十四所示為數位式電驛應用於台電公司 11kV 饋線輸電線路保護之單線圖，其中饋線斷路器的 CT 引接至數位式過流電驛內，三相電壓 PT 則引接 69kV 側之電壓；本次汰換之數位式低頻電驛為 SEL 公司出產之 SEL351 電驛，將該電驛應用於此輸電線路之可靠性。為了驗證此數位式低頻電驛的精確性及可靠性，本文採用三種試驗方式，分別為 1. 電驛跳脫試驗 2. 電驛取載試驗 3. 電驛特性試驗，分別敘述如下。



圖二十四 11kV 饋線輸電線路保護之單線圖

1. 電驛跳脫試驗：由跳脫試驗可驗證，當使用測試儀器輸入低於系統電壓之頻率（如圖二十五）時，可模擬此輸電線路發生低頻卸載，該數位式電驛皆可精確的跳脫斷路器，迅速將頻率提高恢復至安全值。

◎When 81 低頻電驛使用

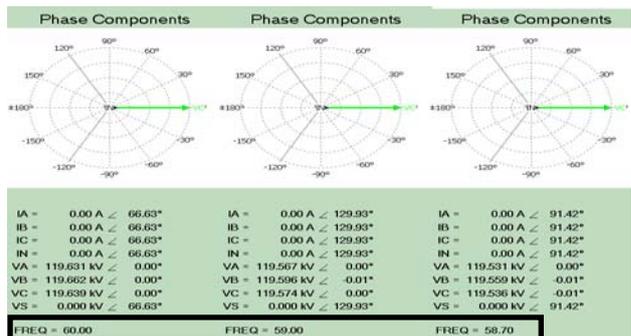
模擬系統頻率降至設定值之下

→ Trip #FEEDER CB (81A test OK)

◎When 81 低頻電驛閉鎖

模擬系統頻率降至設定值之下

→ NO Trip CB



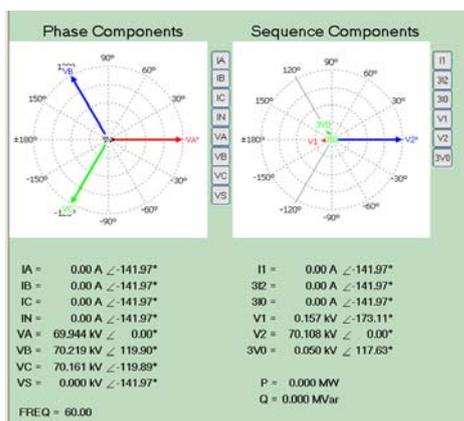
圖二十五 使用測試儀器輸入低於系統電壓之頻率

2. 電驛取載試驗：由電錶量得的結果如表四所示與數位式電驛記錄的結果如圖二十六所示，相比較可得知兩者的數據幾乎是非常的近似。換句話說，以此數位

式電驛作為輸電線路保護而言是非常的適切，甚至具有即時量測的功能。

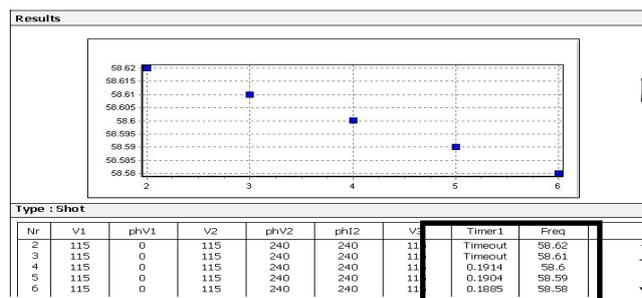
表四 電表實測結果

PT 電壓			DC 電壓			Trip CKT	
AN	BN	CN	P-N	P-E	N-E	P-E	T-E
66.4	66.7	66.7	129.3V	63.3V	-64.3V	63.4V	65V



圖二十六 數位式電驛即時量測所得之結果

3. 電驛特性試驗：透過 ISA 試驗儀器，模擬當系統電壓頻率降低後所得的結果。由結果可得知當系統電壓之頻率降至設定值之下時，電驛能準確動作以卸除負載，如此即可驗證此數位式低頻電驛之準確性。

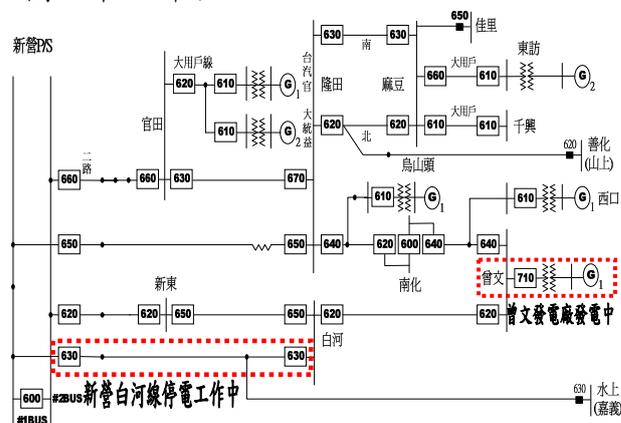


圖二十七 低頻電驛特性試驗

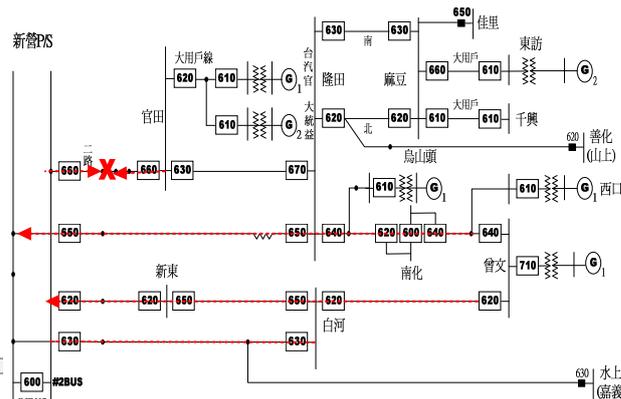
柒.低頻電驛卸載實例

2013年6月25日下午約13點10分，台電公司新營轄區原本正常供電的系統，發生新營官田二路遭遇連續雷擊，導致礙子閃烙造成新營官田二路、新營新東線、新營隆田線發生斷路器跳脫事故。當時新

營轄區供電系統狀態為新營白河線停電工作中；曾文水力發電廠發電中，且曾文 620 斷路器投入併入供電系統。新營官田二路、新營新東線、新營隆田線正常供電中，如圖二十八所示。



圖二十八 事故發生前的系統狀態



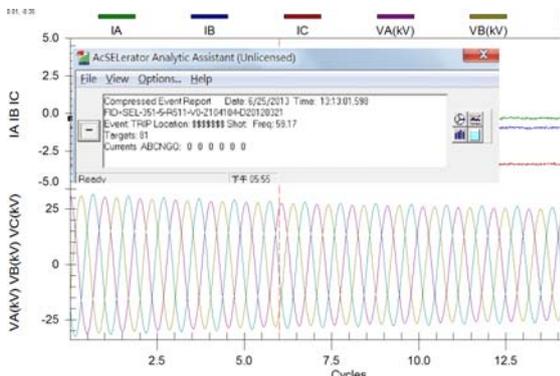
圖二十九 事故發生後的系統狀態，其中箭頭代表故障電流流向

新營官田二路雷擊事故發生時，因曾文發電廠發電中，故障電流經由曾文~白河線、白河~新東線、新東~新營線及曾文~南化線、南化~隆田線、隆田~新營線提供給故障點，導致新東變電所#620之方向性接地電驛及隆田變電所 #650 之方向性接地電驛動作啟斷斷路器，如圖二十九所示。致使原本正常供電的系統一下子電源端都送不出電能，整個環路供電頓時成為一個孤島，僅能靠曾文發電廠及一些小電廠來供給負載。因環路成孤島運轉，僅曾文 G/S 及小型水力發電，已顯供電不足，致該環路上低頻電驛卸載動作。

台電公司為因應可能發生之供電不足情況，特制定一套低頻卸載系統以待電源不足時能夠即時卸除適量負載，防止系統崩潰或者造成發電機損毀。當新營官田二路雷擊事故發生後環路成孤島運轉供電不足，環路上各變電所的低頻電驛依據規劃設定陸續動作卸除負載，其電驛設置表、卸除負載量總計 37.12MW 及其各所低頻電驛動作時間如圖三十所示。事故發生後為了確定低頻電驛是否動作正常及合理，立即赴現場勘驗，勘驗後下載該低頻電驛之記錄後得知電驛動作確實合理。圖三十一所示為下載麻豆變電所低頻電驛記錄資訊，根據低頻電驛設置表麻豆千興線設定為 59.2Hz，發生低頻卸載時系統頻率已降至 59.17Hz，故確實合理。

單位	廠所	設備名稱	標置	卸除負載 (KW)	動作時間
新營區處	麻豆 S/S	610 千興線	5(59.2Hz)	5500	13:14:01:942
新營區處	麻豆 S/S	麻正、麻丙 麻忠線	8(58.7Hz)	5944	13:14:02:126
新營區處	新東 S/S	#1Main	6(59.0Hz)	5802	13:14:02:074
新營區處	隆田 S/S	#1Main	7(58.8Hz)	10746	13:14:02:109
新營區處	官田 S/S	#3MCB	9(58.6Hz)	9130	13:14:02:602
共計卸除負載(MW)				37.122	

圖三十 電驛設置表、卸除負載量及動作時間



圖三十一 麻豆變電所低頻電驛下載記錄

捌、結論與未來趨勢

近幾年來社會上整個的用電結構、用電特性不斷地在改變，傳統上的電力設備，如保護電驛、監控系統、電力電子元件等幾乎無法滿足時效性、穩定性等需求，因此漸漸地走向搭配微處理器來改良傳統式的電力設備，利用微處理器的電子特性，加在微處理上的人工思考而成的微電腦，來因應現今對於電力設備的功能需求。

以前人們常說電驛是電力系統中無言的哨兵，但自從數位式電驛啟用後，電驛漸漸有發聲的機會。不管是輸電網路，或是配電網路要使其達到較可靠的保護協調，除了斷路器會不會誤動作外，各類型的保護電驛就扮了很重要的角色。

智慧型保護電驛具備多功能、維護週期長、存取數據靈活等特性，再加上此電驛具有記錄事故發生時電力系統變化狀態的功能，有助於分析事故發生原因及作為日後改善的依據，提升保護系統的可靠度，如此方能發揮其最大功效，確保供電安全、系統穩定。

參考文獻

- [1] 李宏任，「實用保護電驛修訂版」二版，全華科技圖書股份有限公司，民國八十九年。
- [2] SEL-351 說明書。
- [3] 電力系統運轉操作章則彙編。
- [4] 台灣電力股份有限公司低頻卸載作業要點。
- [5] 台灣電力公司 101 年度低頻卸載規劃報告。
- [6] 台灣電力公司業務處低頻卸載規劃原則與優先次序。

降低超高壓變電所 69kV BUS 之短路啟斷容量 電驛標置研討

台電台中供電區營運處 葉宥杰

摘要

本文提出超高壓 E/S 69kV BUS 三相短路時 CB 啟斷容量經計算其啟斷容量可能大於 40kA(乘上乘數因數), 因此以南投 E/S 為例 69kV BUS 三相短路時將造成出口端 CB 毀損或設備損壞。為使降低南投 E/S 69kV BUS 三相短路故障電流經計算後, 南投 E/S 69kV 系統可啟斷南投 E/S 600TIE 來降低南投 E/S 69kV BUS 三相短路電流。本報告依啟斷南投 E/S 600TIE 之供電方式來對電驛標置協調做一分析探討。另一方面也提出解決 BUS 三相短路故障電流過大時系統上可行的操作方式。

關鍵詞：標置協調、啟斷容量。

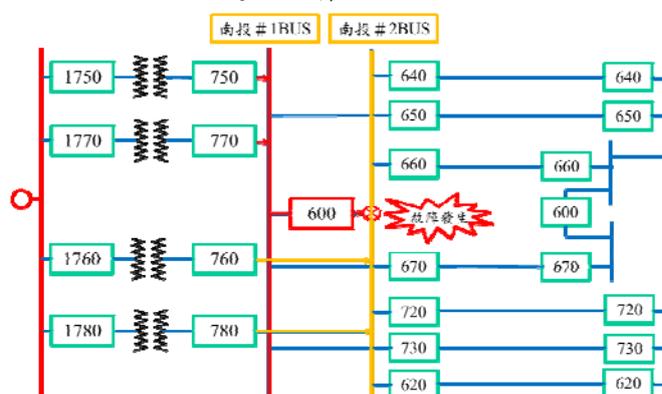
壹、前言

南投 E/S 69kV BUS 三相短路時 CB 啟斷容量經本處運轉組計算其啟斷容量大於 40kA(乘上乘數因數), 因此南投 E/S 69kV BUS 三相短路時將造成 CB 毀損或設備損壞。為使降低南投 E/S 69kV BUS 三相短路故障電流經計算後, 南投 E/S 69kV 系統可啟斷南投 E/S 600TIE 來降低南投 E/S 69kV BUS 三相短路電流。本報告依啟斷南投 E/S 600TIE 之供電方式來對電驛標置協調做一分析探討。

貳、南投 E/S 69kV 600TIE 啟斷前後 BUS 故障電流分佈狀況

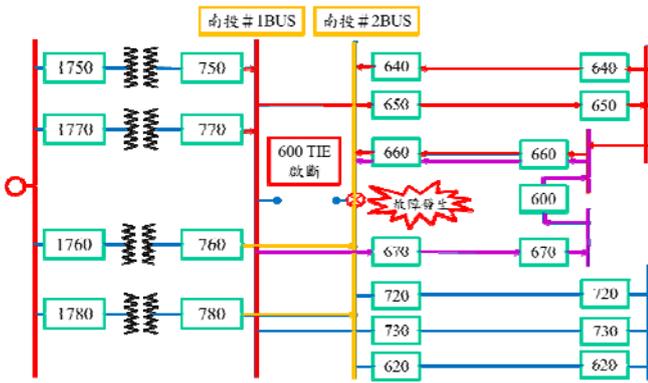
首先解釋為何啟斷 E/S 600TIE 後可降低 BUS 上的故障電流以及 600TIE 啟斷前後, 其故障電流在系統上之分佈狀態。先來介紹南投 E/S 600TIE 未啟斷時系統故障電流分佈狀況, 如圖一所示, 假設在南投 E/S

69kV 2 號 BUS 發生故障, 故障電流會從南投 1 號 BUS 經由 600TIE 流至 2 號 BUS 最後至故障點, 南投 2 號 BUS 也會提供故障電流至故障點。由此模擬可知兩點 1. 除南投 E/S 69kV BUS 上有故障電流外, 其餘二次系統環路並無故障電流。2. 此時全部的故障電流都會流經 2 號 BUS, 所以 BUS 上的故障電流會很大, 甚至高於 CB 的啟斷容量。為解決此一問題所以提出了啟斷南投 E/S 600TIE 這一方案。



圖一：南投 E/S 600TIE 投入 BUS 故障電流分佈狀況

再來說明南投 E/S 600TIE 啟斷下系統故障電流分佈狀況, 同樣假設在南投 2 號 BUS 發生故障, 南投 2 號 BUS 同樣也會提供故障電流至故障點, 但是南投 1 號 BUS 因已啟斷南投 E/S 600TIE, 所以其故障電流便會從二次系統經由其他環路流至故障點。由圖二模擬所示可知, 故障電流有可能從南投 650、南投 670 經由二次系統環路提供故障電流至故障點, 因故障電流已分散至二次系統環路所以可解決 2 號 BUS 上之故障電流過高的情形。

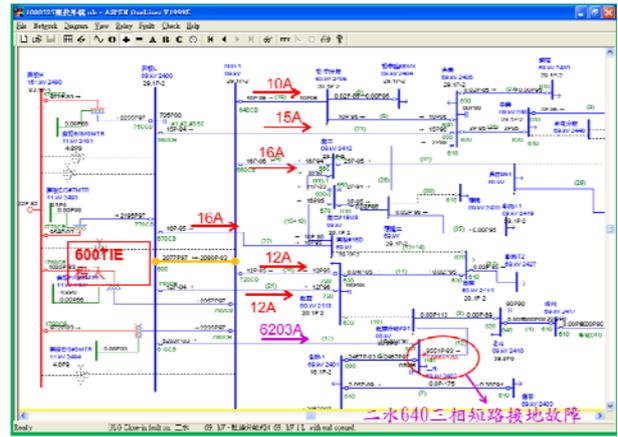


圖二：南投 E/S 600TIE 啟斷 BUS 故障電流分佈狀況

由以上模擬可知在南投 E/S 600TIE 啟斷下，由南投 E/S 所外二次變電所線路來連結南投 E/S 69kV #1、#2BUS 此種供電方式，此時如發生線路故障，南投 E/S 二次系統各環路皆會有大小不等之故障電流，因此在標置協調複雜度及考慮的層面相對提高很多。

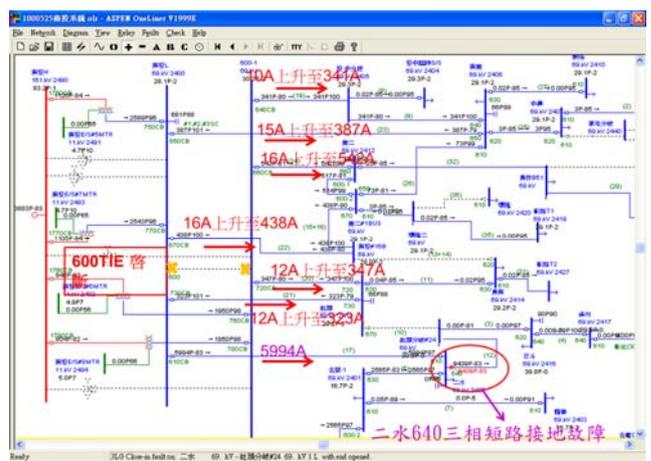
參、南投 E/S 600TIE 啟斷由所外二次變電所連接南投 E/S 69kV #1、#2BUS

以實際系統來分析標置協調，原南投 E/S 600TIE 投入時電驛標置協調方式，因南投 E/S 二次系統各環路在其中一條 69kV 線路發生線路事故時，其故障電流會由南投 E/S #1BUS 經 600TIE 再經 #2BUS 流向線路故障點或由南投 E/S #2BUS 經 600TIE 再經 #1BUS 流向線路故障點，故障電流僅會在故障環路之故障線路流動，其他環路線路並不會因故障線路而有故障電流(故障電流極小)。如圖三所示模擬二水 640 三相短路接地故障，除南投二水名間環路有大故障電流外，其餘環路故障電流皆很小，不影響標置計算。



圖三：600TIE 投入 二水 640 三相短路接地故障各環路電流

現將南投 E/S 600TIE 啟斷方式供電，由南投 E/S 所外二次變電所線路連結南投 E/S 69kV #1、#2BUS，如發生線路故障，其各環路故障電流大小會以線路阻抗大小、故障地點位置來決定，與南投 E/S 600TIE 投入方式不同的地方，當 69kV 線路發生故障時，南投 E/S 二次系統各環路皆會有大小不等之故障電流，因此在電驛標置協調上已不只考慮 N-1 線路協調，尚需同時考慮南投 E/S 整體二次系統協調，在標置協調複雜度及考慮的層面相對提高很多。如圖四所示同樣模擬二水 640 三相短路接地故障，除南投二水名間環路有大故障電流外，其餘環路故障電流皆明顯上升，必須同時考慮各環路標置協調。



圖四：600TIE 啟斷 二水 640 三相短路接地故障各環路電流

目前僅台北供及新桃供有 600TIE

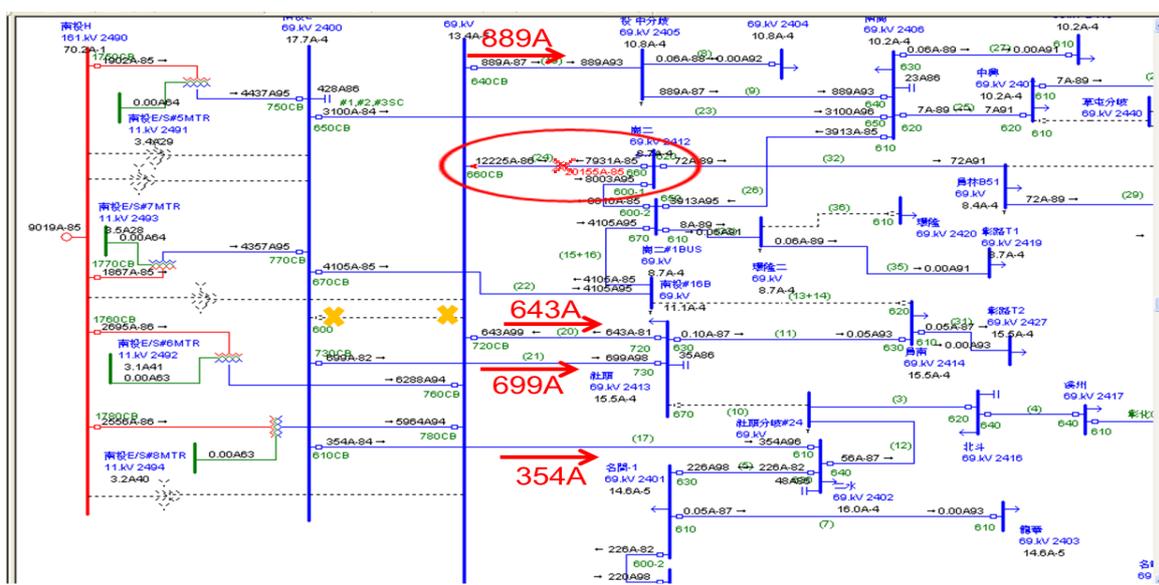
啟斷後 69kV #1、#2BUS 獨立運轉供電方式實際案例，未有將 600TIE 啟斷後 69kV #1、#2BUS 由所外二次變電所連結供電方式，為探討其原因，本文利用此次南投 E/S 600TIE 啟斷供電方案，以電驛標置協調層面來做考量及探討，並以供電處制訂之標置原則一步一步探討其可行性。

(一)原#1、#2、#3MTR 中性點電抗器接地，其接地並聯阻抗為 10Ω (參考線路常數、單三相故障電流及接地方式檢討編訂機制文)，若將 600TIE 啟斷，為避免接地阻抗過大，需將#4MTR 中性點電抗器接地，#4MTR 中性點接地後接地故障電流皆不相同，需重新檢討南投

E/S 全系統電驛標置。

(二)模擬相同地點線路事故，選擇不同 N-1 線路時，其流經各環路線路故障電流皆不相同。

1、當線路發生事故時，若將 600TIE 啟斷，除故障線路環路會有故障電流外，其他環路也會有小故障電流產生。如南投 E/S 660 崗二紅線發生 50% 三相短路接地故障時，除南投 E/S #2BUS 提供故障電流外，南投 E/S #1BUS 也會經由所外二次變電所並依線路常數大小提供大小不等之故障電流經南投 E/S #2BUS 流向故障點，如圖五所示。



圖五：南投 E/S 660 崗二紅線發生 50% 三相短路接地故障

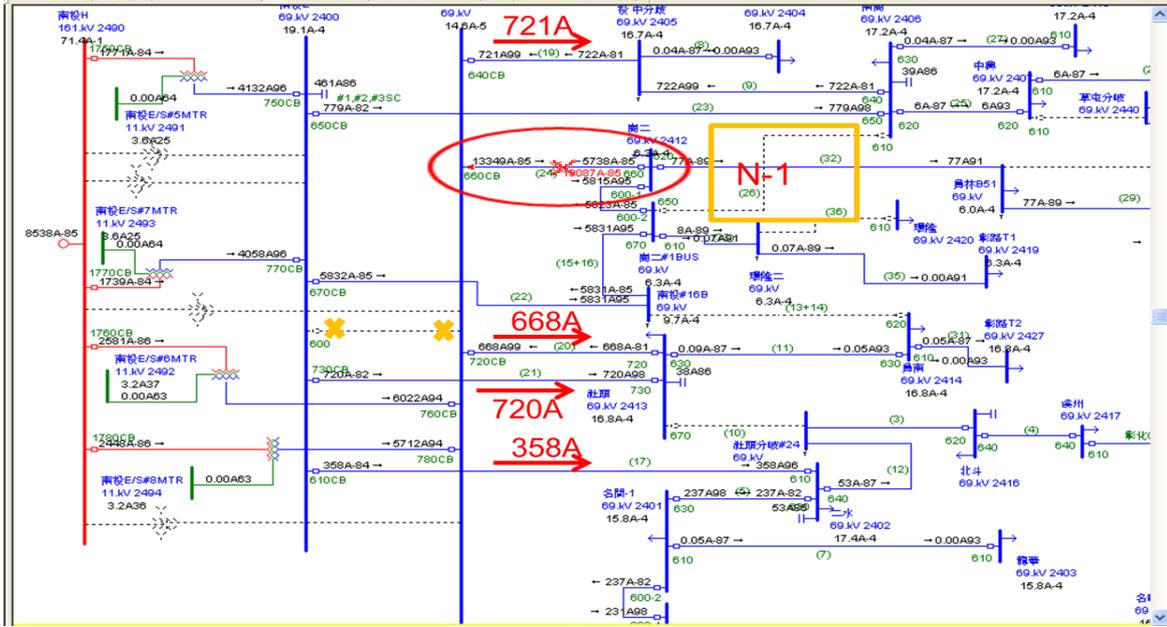
2、模擬線路 N-1 檢討，將南崗崗二線啟斷，同樣為南投 E/S 660 崗二紅線發生 50% 三相短路接地故障，各環路故障電流又重新分配，如下圖六所示。

3、再模擬其他線路 N-1，將南投崗二員南線 (670) 啟斷，同樣為南投 E/S 660 崗二紅線發生 50% 三相短路接地故障，各環路故障電流又有不同分配，如圖七所示。依目前電驛標置協調只計算至 N-1 線路，依上述模擬不同情況 N-1 線路後故障

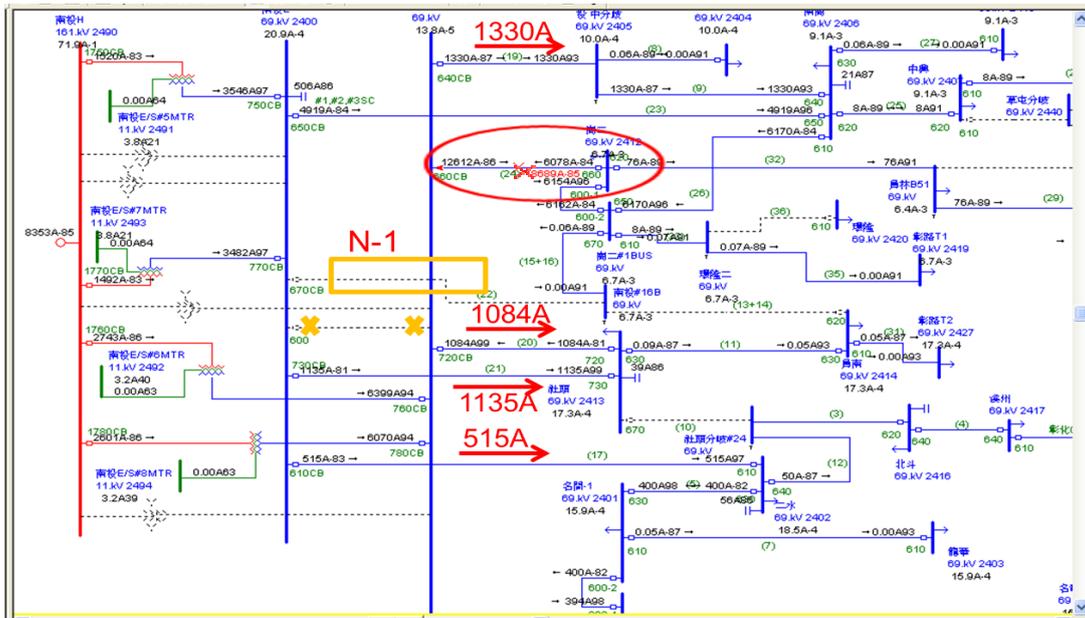
電流分配，南投 E/S 各環路將產生不同之故障電流，此時電驛標置協調除計算至 N-1 線路外，還必須核對各環路是否因線路故障而使電驛有誤動作情形發生，標置協調複雜度提高，故障電流可能因 N-1 線路不同而有不同之故障電流大小或流動方向，以表列方式更可以清楚瞭解 600TIE 啟斷時在相同故障點(南投 E/S 660 崗二紅線發生 50% 三相短路接地故障)，不同線路 N-1 其故障電流分佈情形，如表一。

表一：同一故障點，不同線路N-1 各環路故障電流分佈情形

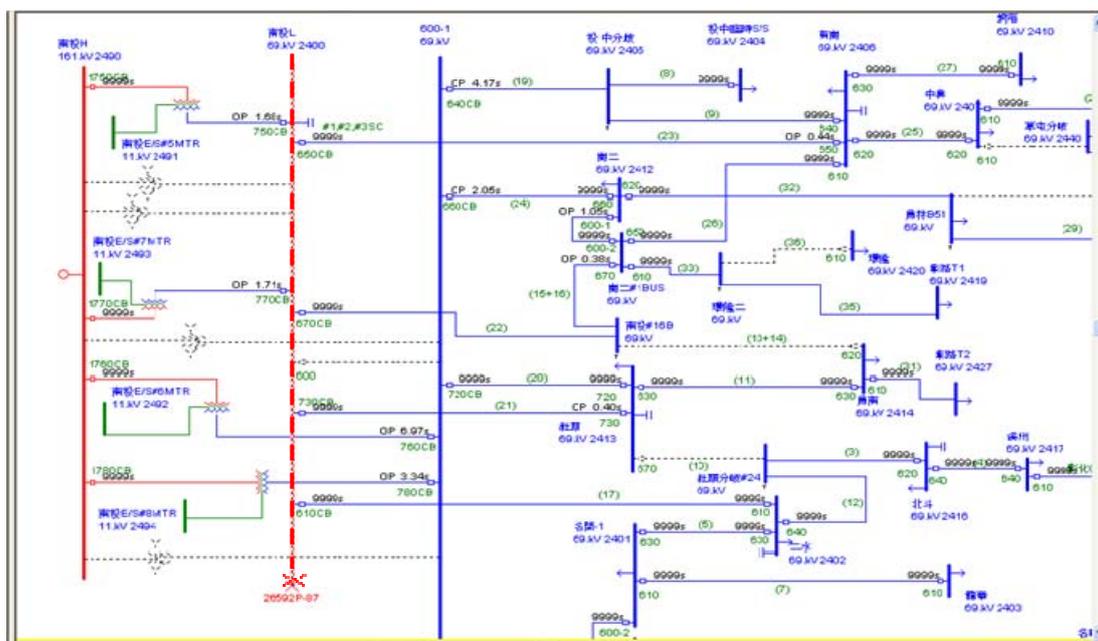
各環路CB名稱	N-1 線路CB名稱		
	Normal	南崗(610)-崗二(650)線	南投(670)-崗二線
南投(640)-投中	889A	721A	1330A
南投(720)-社頭	643A	668A	1084A
南投(730)-社頭	699A	720A	1135A
南投(610)-二水	354A	358A	515A



圖六：模擬線路N-1 南崗崗二線啟斷



圖七模擬線路N-1 南投崗二員南線啟斷



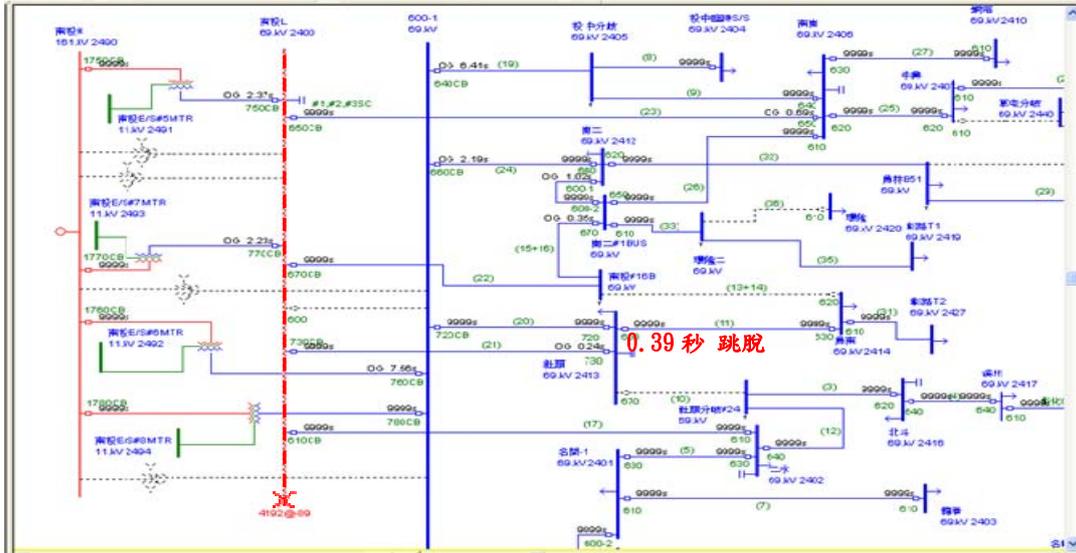
圖八：南投 E/S #1BUS 三相短路接地故障

(三) 當南投 E/S 發生 69kV BUS 故障時，可能使南投 E/S 出口線路二次變電所端線路電驛動作跳脫，因二次變電所端線路電驛目前大部份皆設定為瞬跳。

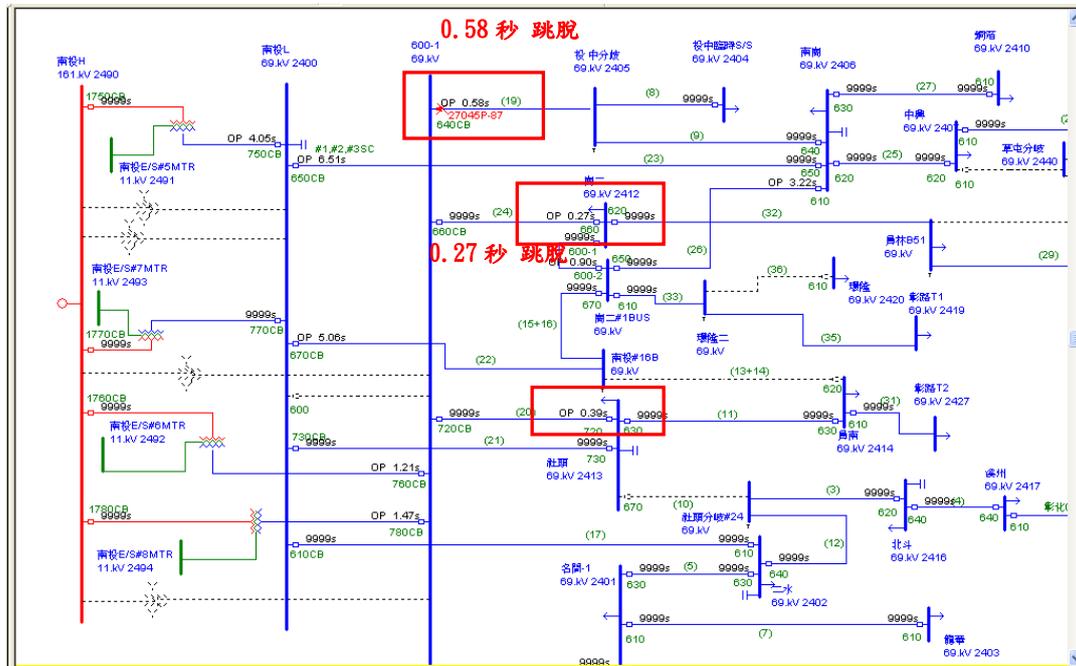
- 1、模擬南投 E/S #1BUS 發生三相短路接地故障，依上述說明方式，南投 E/S #2BUS 會經由二次變電所線路連結提供故障電流至南投 E/S #1BUS，各環路中二次變電所端以崗二 S/S 670 67 電驛動作時間最快為 0.38 秒，其他仍有南崗 S/S 650、社頭 S/S 73067 電驛分別 0.44、0.4 秒動作，依南投 E/S #1BUS 故障電流及南投 E/S #1BUS 電驛 (IFC95, 4/1.5) 動作曲線，可得到南投 E/S #1BUS 電驛約 0.13 秒動作，此時上述 3 所二次變電所端線路 67 電驛動作時間與南投 E/S #1BUS 電驛動作時間尚有時間區隔，如圖八所示。
- 2、模擬南投 E/S 發生 #1BUS 單相接地故障時如圖九，各環路中二次變電所端以社頭 S/S 730 67N 電驛動作最快為 0.24 秒，依南投 E/S #1BUS 故障電流及南投 E/S #1BUS 電驛

(IFC95, 4/1.5) 動作曲線，可得到南投 E/S #1BUS 電驛約 0.22 秒動作，約與社頭 S/S 730 67N 電驛動作時間相同，此時可能因南投 E/S #1BUS 單相接地故障而產生社頭 S/S 730 67N 多跳問題。若延長社頭 S/S 730 67N 電驛動作時間，並與當南投 E/S #1BUS 單相接地故障 #1BUS 電驛動作時間有一時間區隔 (約 0.3 秒)，則會有南投社頭紅線線路發生單相接地故障 (或高阻抗接地故障) 時而使電驛動作時間太長之風險。

由上所述因線路事故次數遠大於 BUS 故障事故次數，且當南投 E/S #1BUS 發生故障時，因南投 E/S #1BUS 已跳脫無法供電，相對南投 E/S #1BUS 上之出口端二次變電也無法供電，因此 #1BUS 上出口端二次變電所線路電驛動作並不影響其他線路送電，為使南投 E/S 出口線路於事故發生時能迅速隔離事故點，在此仍建議將二次變電所端線路電驛設定為瞬跳不宜延長社頭 S/S 730 67N 電驛或其他出口線路二次變電所端線路



圖九：南投 E/S #1BUS 單相短路接地故障



圖十：南投 E/S 出口線路遠端啟斷三相短路接地故障

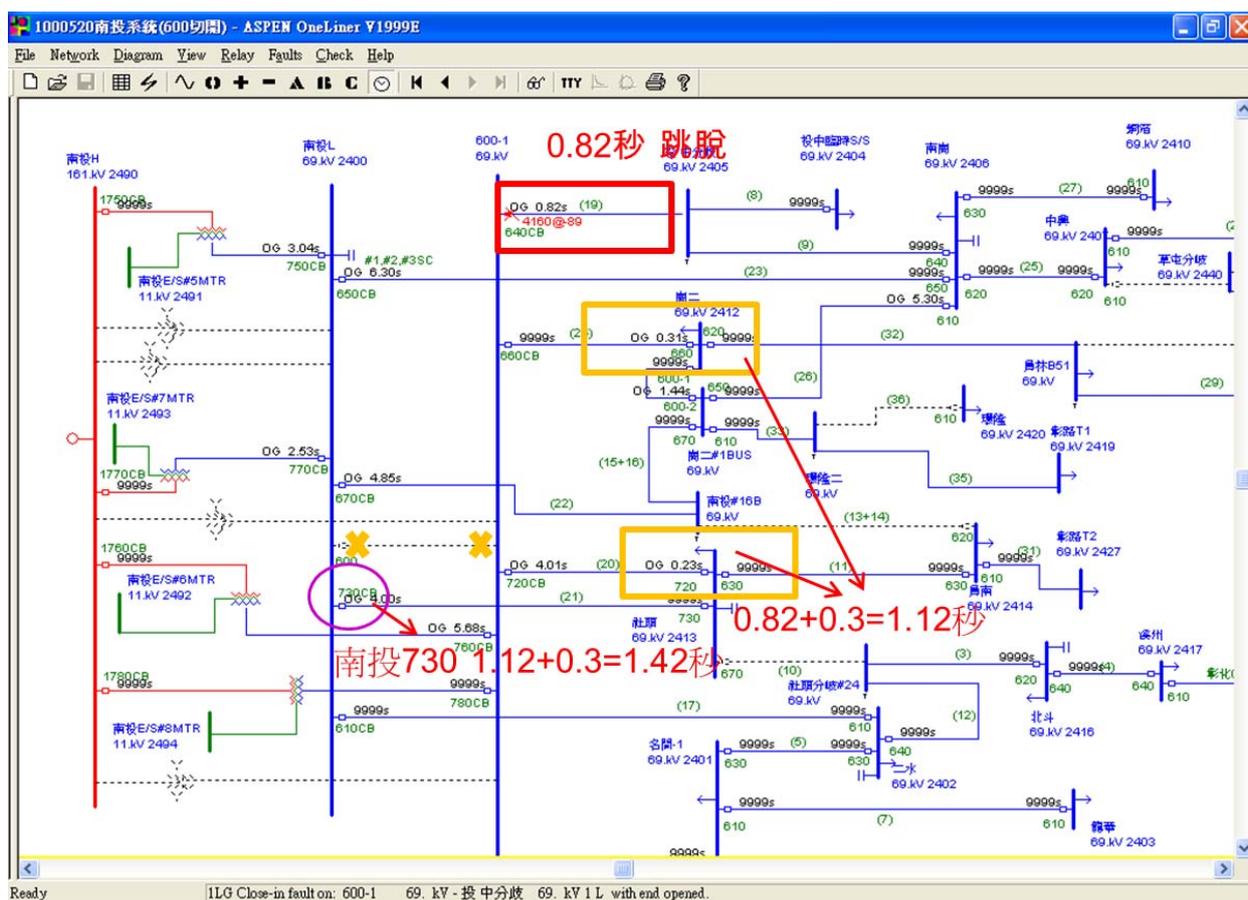
另模擬南投 E/S 600TIE 啟斷，並模擬南投 E/S 640 遠端啟斷單相短路接地故障如圖十一，依第二、三項說明方式，也是造成電驛多跳事故。

為避免電驛多跳事故，若將南投 E/S 出口線路二次變電所端(如崗二 S/S 660 及社頭 S/S 720)67 或 67N 電驛由瞬跳改為延時南投 E/S 出口線路電驛動作時間(如上圖十一社頭 S/S 720 67N 電驛動作時間

延時約 $0.82+0.3=1.12$ 秒動作)，雖可暫時解決上述電驛多跳問題，但因南投 E/S 出口線路二次變電所端為各個環路電驛標置計算之起點(如社頭 S/S 720 67N 電驛動作時間設為 $0.82+0.3=1.12$ 秒動作為計算南投 E/S 730 67N 電驛動作時間之起點)，起點時間一增加，南投 E/S 出口端電驛動作時間也相對增加(如南投 E/S 730 67N 電驛動作時間也必須增加為 $1.12+0.3=1.42$ 秒以上)，同上南投 E/S 出口端電驛動作時間

一增加，其他環路線路二次變電所端又需再增加(如南投 E/S 730 67N 電驛動作時間已增加為 1.12+0.3=1.42 秒以上則南崗 S/S 650 67N 電驛動作時間也必須增加為 1.42+0.3=1.72 秒以上)，如此將變成無窮盡的循環，無法解決（一般正常 600TIE 投入時，南投 750、770 延時 600TIE 時間，600TIE 延時南投 730 時間）。目前二次系

統是以 67/67N 電驛做為主保護，若南投 E/S 600TIE 啟斷並由所外二次變電所連結南投 E/S #1、#2BUS，依本項之說明，電驛標置將無法協調，以電驛標置協調層面來看，這也是目前台北供及新桃供 600TIE 啟斷後 69kV #1、#2BUS 獨立運轉供電方式的原因。

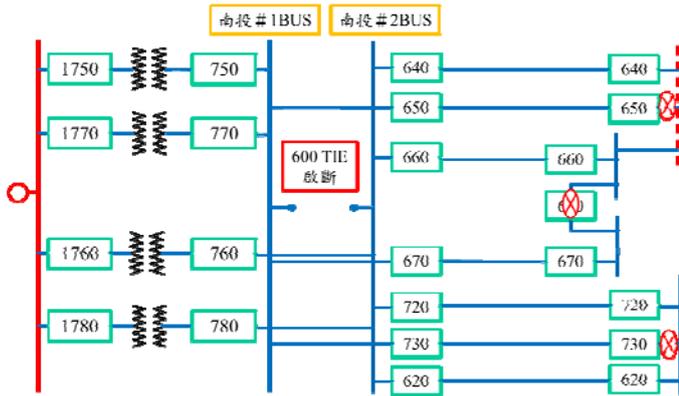


圖十一：南投 E/S 640 遠端啟斷單相短路接地故障

肆、降低 69kV BUS 之短路故障電流解決方案

南投 E/S 600TIE 啟斷並由所外二次變電所連結南投 E/S #1BUS、#2BUS 此種供電方式，依目前二次系統環路，電驛標置將無法協調。因此若要降低 BUS 上之故障電流且標置能夠協調之供電方式，則必須改變目前之二次系統供電環路，方式有兩種

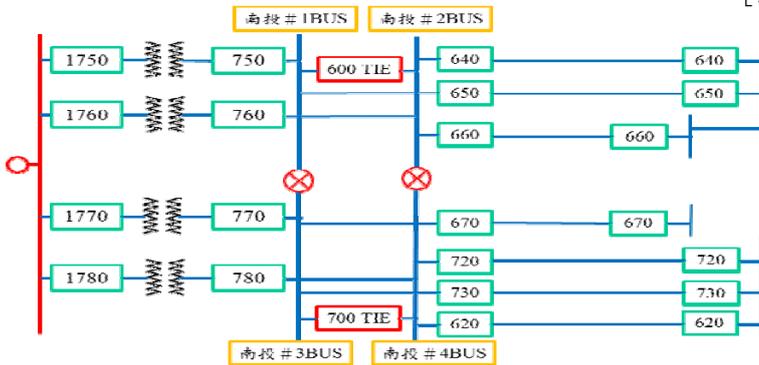
- 一、600TIE 啟斷後 69kV #1BUS、#2BUS 獨立運轉供電方式
600TIE 啟斷後 69kV #1、#2BUS 獨立運轉供電方式，即是將連結南投 E/S #1、#2BUS 之所外二次變電所環路同時啟斷如圖十二所示，如此南投 E/S 69kV #1、#2BUS 各自獨立，標置互不影響。



圖十二：69kV #1、#2BUS 獨立運轉供電方式

二、69kV BUS 新增設#3BUS、#4BUS

南投 69kV BUS 新增設#3BUS、#4BUS 之供電方式如圖十三，即是將南投 1 號、2 號主變掛於南投 E/S #1BUS、#2BUS 而南投 3 號、4 號主變掛於南投 E/S #3BUS、#4BUS。兩組 BUS 分開送電各自有獨立之二次系統環路，因每組 BUS 上之主變數變少因此 BUS 上之故障電流也隨之變小，另一方面標置也可協調。



圖十三：新增設#3BUS、#4BUS 供電方式

伍、結論

由於系統中新電源及輸電設備加入，系統故障電流有逐漸增大之趨勢，需設法改善抑制，但在實務上常常相當困難。因此需要檢討系統故障電流，隨時檢視斷路器是否有足夠能力啟斷故障電流，以便能迅速隔離故障並清除事故，避免造成設備損壞以及更大的停電。本文以標置協調方面來探討實務上抑制系統故障電流之各種方式是否可行，更期望藉由本文之討論在系統故障電流過大需設法改善抑制時，在標置協調及電驛保護方面能夠更完美、更迅速以達到系統最好之穩定性。

參考文獻

- [1] 線路常數、單三相故障電流及接地方式檢討編訂機制文
- [2] 供電處 69kV 電驛標置原則

解析並聯電抗器暫態現象

台電綜合研究所 鄭強、范振理

台灣科技大學電機工程系 蕭弘清

摘要

台電系統採用並聯電抗器，補償線路電容性充電電流，穩定系統電壓。並聯電抗器啟斷時，易產生截流與重燃弧現象，形成截流過電壓與重燃弧過電壓；若啟斷時，斷路器發生多次重燃弧引起電壓級升，以及再弧之高頻電流，易對斷路器及接觸子結構，產生嚴重之影響。並聯電抗器之斷路器維護項目與點檢週期亦於本文提出建議。

關鍵詞：並聯電抗器(shunt reactor)、截流過電壓(chopping surge)、暫態恢復電壓(transient recovery voltage; TRV)、再襲(restrike)、重燃弧過電壓(reignition surge)。

壹、前言

台灣地區輸配電系統網路，在配合都市發展之建設藍圖中，輸配電線路地下化，已成為系統規劃之主要標的。各都會區之地下輸配電系統日益完善，亦使得系統於離峰運轉時段，因線路提供之電容性電流、虛功率潮流，而導致局部區域變電所匯流排電壓升高，因而藉助並聯電抗器以穩定系統離峰電壓。過去並聯電抗器主要裝置於超高壓變電所自耦變壓器 33kV 側，而其操作斷路器包含 OCB、GCB 及 GIS 三種型式，而操作並聯電抗器之各型斷路器，亦曾於操作期間，發生斷路器內部短路接地故障。

95 年 161 kV 輸電系統開始採用 80 MVar 容量之並聯電抗器，因此深入探討並聯電抗器之啟閉暫態特性，並針對斷路器運轉維護注意事項提出建議，防範事故再發，有其必要性。

貳、斷路器啟閉暫態特性

高壓斷路器主要功能係用以啟斷故障電流及負載電流，啟斷電流包括下列幾種類型：短路故障電流(含接地故障，短距離故障、相間短路故障等)、電感性電流及電容性電流等。斷路器亦須可靠地投入、啟斷負載電流，以確保電力系統的安全。本章內容在詳細說明斷路器的啟斷電感性負載之過程與可能遇到之暫態過電壓現象，如暫態恢復電壓、電抗器投入時之突入電流、截斷電流所引起之高頻過電壓與發生再弧(reignition)時之暫態過電壓現象。

斷路器於啟斷電路電流時，操作機構將可動觸頭由閉合狀態驅動至分離狀態，接觸子分離過程之電壓、電流變化趨勢，如圖 1 所示，討論如下：

- (1) $t_1 \sim t_2$ ：動靜觸頭分離，在觸頭間隙上發生電弧時期之高電流時期，此時段電流波形完整無大變化。
- (2) $t_2 \sim t_3$ ：電流過零點之零交越時期，動靜觸頭分離到較長距離，而電流又趨近零點，接觸子極間電弧電壓(arcing voltage)受其上升率之不穩定狀態。
- (3) t_3 後：恢復電壓時期，此時接觸子極間電弧熄滅而恢復絕緣。斷路器啟斷後，電源側接觸子上的電壓持續受到系統電壓影響，而負載側接觸子受到高頻振盪電壓影響，因而電壓合成於接觸子極間，稱為恢復電壓(recovery voltage)；恢復電壓之高頻暫態現象，稱為暫態恢復電壓(transient recovery voltage; TRV)。

斷路器能否完成啟斷責務，視接觸子極間絕緣恢復速率與暫態恢復電壓上升率(rise rate of recovery voltage; RRRV)可否維持平衡關係而定。斷路器首先啟斷相之恢復電壓上升斜率，受到延遲啟斷相影響而有所變化。斷路器首先啟斷相截流後，於 t_2 至 $\pi/2$ 角度內，觀察到電弧再起之現象，稱為再弧；若截流後，相角大於 $\pi/2$ 之再起

弧現象，稱為再襲(restrike)。

斷路器於啟斷電流過程中，接觸子極間電弧待電流通過零點時，斷路器極間可立即恢復其絕緣，因而電弧電流可於零交越瞬間熄滅。實際上由於斷路器消弧介質與消弧能力差異，使得電弧電阻不穩定，斷路器接觸子開啟瞬間，即可於三相接觸子極間發展出電弧電流，而首先啟斷相極間燃弧時間相對較延遲啟斷相為短，因而較延遲啟斷相易發生再弧，因而延遲至次一個零點時消弧。若斷路器擁有極佳的消弧性能，在電流抵達零交越點前，即完成消弧責務，因而產生截斷電流(current chopping)現象。電感性電流之電流截斷性質，將使暫態恢復電壓振幅加劇，亦為斷路器首先啟斷相發生再弧的因素之一。

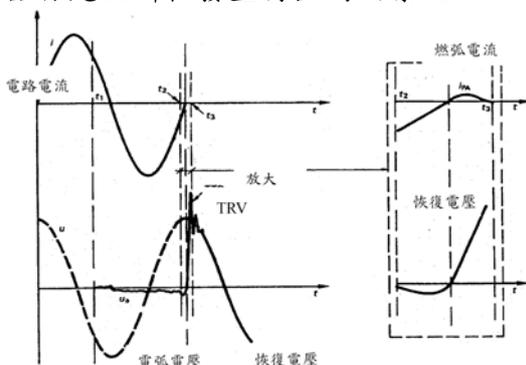


圖 1 斷路器啟斷操作電流-電壓波形

參、並聯電抗器之啟閉暫態特性分析

本公司應用之三相並聯電抗器繞組以 Y 接線為主，中性點可以(1)非接地，(2)直接接地，(3)電抗接地等三種連接方式，並聯電抗器用斷路器之啟閉特性與並聯電抗器電抗、系統參數及斷路器類型等因素互相關。以下將分析並推導在不同的接地條件下之啟斷現象斷路器啟斷並聯電抗器電感性電流之暫態現象，包含截流過電壓、暫態恢復電壓與再襲過電壓等研討議題。

1. 截流過電壓

極間電弧不穩定係引起截流之主要因素，其表現形式為疊加在負載電流上之衰減負極性電流振盪。電流振盪幅值增減迅速，因而引起新的電流零交越點，其相位亦較原電流零交越點提前，斷路器通常在此電流之零交越點啟斷電流。截流幅值之影響因素如下：

- (1) 斷路器啟斷單元之截流常數。
- (2) 等效並聯電容值。
- (3) 串聯斷口數目。
- (4) 啟斷後接觸子極間氣隙之介質絕緣恢復速度，與再弧發生機率有關。
- (5) 斷路器極間對恢復電壓之絕緣性能，影響多次再襲及其電壓步昇。

電流截流瞬間，由於儲存於負載端的電感及電容之能量無法釋放，會在電感和電容間發生共振，振盪頻率約於 1 kHz ~ 5 kHz 間。振盪之第一個峰值電壓與系統電壓的極性一致，第一次峰值時的暫態電壓振幅最高，並且導致截流過電壓之振盪，此暫態過電壓通常被稱為抑制峰值過電壓 (v_{ma})；並聯電抗器等效電路，如圖 2 所示。

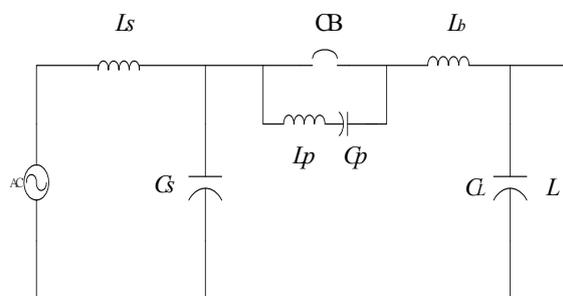


圖 2 並聯電抗器等效電路圖

中性點直接接地之電抗器，最大截流過電壓即為抑制峰值過電壓。依據能量守衡原理，可計算出峰值過電壓的大小。當出現電流被截斷時，儲存於電抗器的磁場能量與電容之電場能量，將轉變為 C_L 的電場能量，此時電容電壓達到最大值。電感及電容之 t 儲能值、阻抗值、自然共振頻率等參數表示如下：

$$\frac{1}{2} i_{ch}^2 L \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} C_L v_0^2 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} i_{ch}^2 L + \frac{1}{2} v_0^2 C_L = \frac{1}{2} v_{ma}^2 C_L \quad (3)$$

式中

$$v_{ma} = \sqrt{(i_{ch} Z_c^2) + v_0^2} \quad (4)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C_L}} \quad (5)$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}} \quad (6)$$

自然頻率主要取決於並聯電抗器之繞組電感，與其相間、對地的雜散電容(套管電容、繞組串聯電容、和繞組對地或外殼電容)。自然頻率振盪約在 1~5kHz 範圍中。

截流過電壓的係數 K_a 的計算如下：

$$k_a = \frac{v_{am}}{v_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{i_{ch}}{v_0}\right)^2 \frac{L}{C_L}} \quad (7)$$

式中 v_0 為並聯電抗器電流截斷瞬間，電抗器相對地之商頻電壓。

v_{ma} ：對地抑制峰值過電壓。

L ：電抗器電感。

C_L ：負載側電容，第一清除極而言 $C_L = C_G + 2C_\phi$

C_G ：一相電抗器和連線的對地電容。

C_ϕ ：電抗器繞組間電容。

並聯電抗器之等效並聯電容 C_L 與截斷電流 i_{ch} 呈現比例關係。發生截斷電流之暫態過電壓最大值 v_{ma} 決定於下列因素：斷路器啟斷小電感電流時，截斷電流 i_{ch} 幅值約在數十安培範圍中，相對較啟斷故障電流之截流比為大。截流過電壓與截斷時電抗器內部的能量損耗有關，損耗愈大，過電壓愈低。

當電抗器之電感值及負載端雜散電容值確定的條件下，且 v_0 易為常數情況下，截流過電壓的大小就正比於截斷電流的大小，表示如下：

$$v_{ma} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{i_{ch}}{C_L}\right)^2 L} \quad (8)$$

斷路器在啟斷電流時的消弧性能分析比較如下：空氣斷路器的截斷電流最大，可達數十安培，油斷路器次之，而六氟化硫斷路器與真空斷路器截斷電流小，一般在 20 A 以下。

並聯電抗器等效電路之特性阻抗 Z_c 高者，截流過電壓亦較高。於電抗器側附加對地電容 C_0 及串聯 50~200Ω 之 R_0 ，以降低特性阻抗值，防止增大電容而提升截斷電流振幅，此電路亦稱為 R-C 保護裝置。

2. 暫態恢復電壓

斷路器閉合操作時，暫態湧流將於系統中流動；電容性及電感性電流啟斷操作時，於系統頻率電流截斷時，恢復電壓或暫態恢復電壓(transient recovery voltage;

TRV)將橫跨於斷路器電源側及負載側接觸子兩端。系統結構及負載類型，將決定暫態恢復電壓之峰值、振盪頻率及電流、電壓之振盪波形。

3. 再弧與再襲過電壓

斷路器啟斷電流後，恢復電壓或暫態恢復電壓係橫跨於斷路器兩側，電壓波形係由電源側電壓與緩慢衰減之負載側振盪電壓重疊而成。具有較高截流能力之斷路器，在抑制電壓峰值出現瞬間或之前，即可能出現再襲。

當恢復電壓抵達峰值處，若斷路器未發生再弧，則斷路器啟斷成功。若首先啟斷相燃弧時間極短，接觸子極間距離短，對恢復電壓上升率之絕緣耐受能力有所不足，易引起再弧現象。

斷路器啟斷並聯電抗器電流發生再弧之暫態電壓波形，如圖 3 所示；圖中波形顯示：斷路器啟斷電感性電流時，電感與電容之儲能相互發生振盪，並且形成暫態過電壓。

當斷路器於截流後發生再弧，進而產生第一並聯共振暫態過電壓、其次第二並聯共振，最後發生的是主迴路共振。在第二並聯共振或其他共振方式產生之電流零點出現新的啟斷時，將再次出現負載側共振。

由於接觸子極間距離增大和振盪能量增加，新的再襲可能產生較第一並聯振盪更高的過電壓，此過程可能重複幾次，而產生“電壓級升”；多次再襲電壓極生波形，如圖 4 所示。

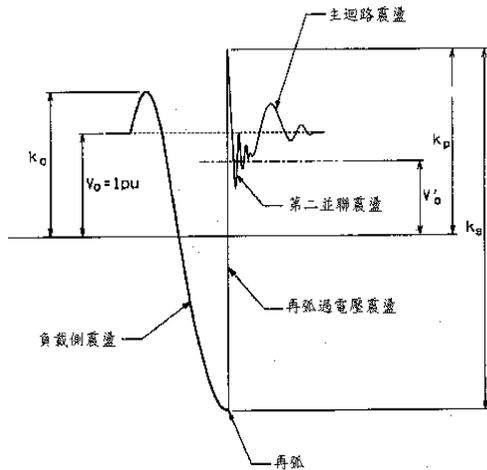


圖 3 斷路器再弧之暫態電壓

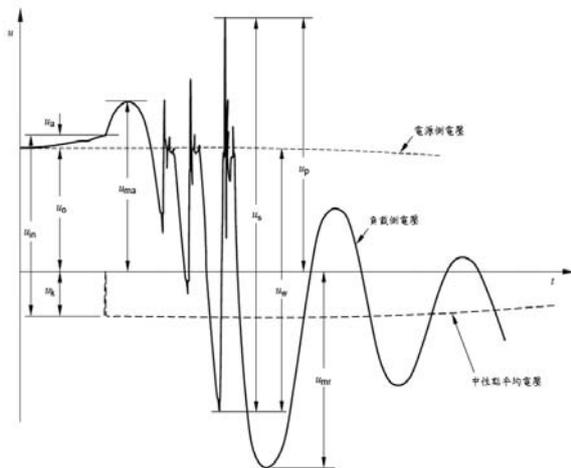


圖 4 多次再襲之之電壓級升波形

4. 並聯電抗器加壓之暫態過程

斷路器閉合操作，係先將閉合彈簧機構壓縮儲能後，瞬間釋放機械能量驅使斷路器可動觸頭產生直線運動，至與固定觸頭完成機械接觸為止。在可動觸頭與固定觸頭在完成機械性接觸前，因場強變化導致觸頭間絕緣崩潰，發生預擊穿(pre-arcing)電弧電流，因而完成電氣電路之連接，電氣能量在 LC 電路元件作用下，產生具有高頻振盪特徵的暫態過電壓(transient overvoltage)。

投入並聯電抗器之暫態現象與出現類似再燃弧之情況，然而對於中性點直接接地電抗器，斷路器兩端的擊穿電壓不超過相對地峰值電壓，即 1.0 p.u.，接通瞬間之

暫態峰值電壓通常是 1.5 p.u.或更小。

中性點不接地之電抗器，第二閉合相的暫態峰值最大，假設 β 值為 0.5 時，其值為 1.73 p.u.，因此並聯電抗器投入時，在觸頭兩端率先發生預擊穿之暫態電壓，以及在三相觸頭完成閉合操作接通電源後，接踵而來的是激磁湧入電流，及其後提供穩態虛功率之滯後電流。

肆、並聯電抗器啟斷暫態模擬分析

基於前述章節之理論分析基礎，應用 ATP 軟體建立 161kV 並聯電抗器組之模型，模擬 GCB 斷路器啟斷並聯電抗器組之暫態現象，作為探討防制對策之基礎，並據以建立維護準則。

1.斷路器啟斷並聯電抗器之模型

參考 IEC-62271-110 2006 與 IEEE C37.015 所推薦之電感小電流啟斷之單相等效電路如圖 5 所示；分析中性點直接接地並聯電抗器之等效電路如圖 6 所示；藉等效電路模擬分析斷路器啟斷電感性電流之暫態過電壓，及其接踵而來的再弧過電壓等現象。

油浸式電抗器之等效電容值取與其繞組設計、組成結構、繞組間及對地之雜散電容、套管電容、斷路器對地雜散電容等組成。油浸紙質電容之高壓套管電容值，約在 500 pF~800 pF 之間。繞組層間、相間、對地之雜散電容值，約在 1200 pF~3500 pF 範圍間。

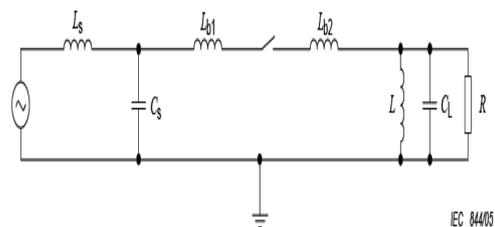


圖 5 電感電流啟斷之單相等效電路

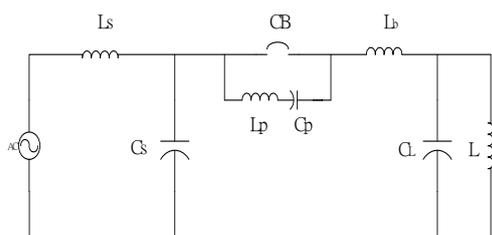


圖 6 電抗器啟斷單線圖

電路元件符號：

L_s ：電源側電感

C_s ：電源側電容

CB：斷路器

L_p 、 C_p ：第一並聯電路之電感與電容

L_b ：連接線之串聯電容

C_L ：負載側之電容值

L ：並聯電抗器之電感

依據並聯電抗器中性點直接接地之等效電路，應用 ATP 模擬軟體建立斷路器啟閉並聯電抗器之單相等效模型及暫態分析模型，如圖 7~8 所示；藉模擬模型分析比較截斷電流之暫態過電壓，以及再弧之暫態過電壓特性。若並聯電抗器屬非接地中性點結構，則需應用三相電路分析首先啟斷相、延遲啟斷相之啟閉特性。

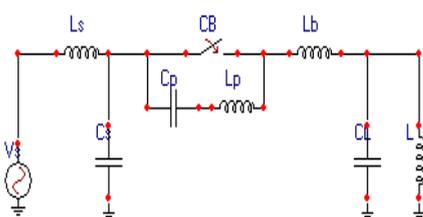


圖 7 斷路器啟斷並聯電抗器 ATP 模型

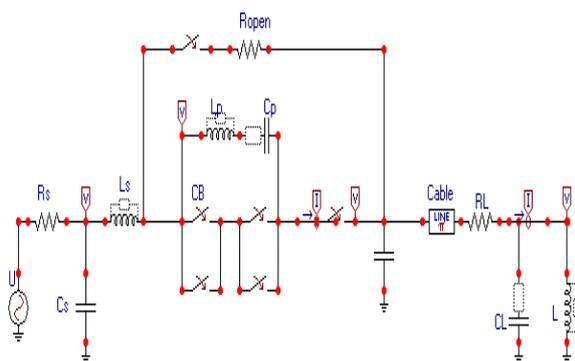
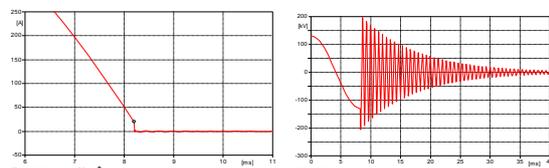


圖 8 斷路器啟斷暫態分析 ATP 模型

2. 截斷電流模擬結果

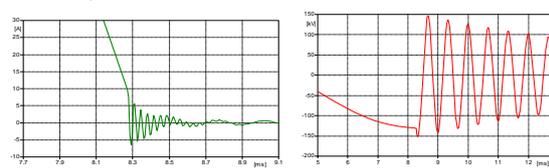
(1) 系統電壓峰值為 131.4 kv、並聯電抗器電流為 287 A，截斷電流 20 a 條件下，模擬結果顯示第一電壓振盪峰值為 206.6 kv、振盪頻率 1.51 kHz，如圖 9 所示。



(a)截斷電流 20 a (b)截流之振盪電壓波形

圖 9. 截斷電流為 20 a 之暫態波形

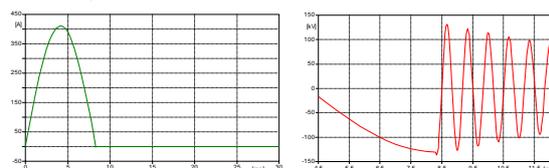
(2) 系統電壓峰值為 131.4 kv、並聯電抗器電流為 287 A，截斷電流 10 a 條件下，模擬結果顯示第一電壓振盪峰值為 152.4 kv、振盪頻率 1.51 kHz，如圖 10 所示。



(a)截斷電流 10 a (b)截流之振盪電壓波形

圖 10. 截斷電流為 10 a 之暫態波形

(3) 系統電壓峰值為 131.4 kv、並聯電抗器電流為 287 A，截斷電流 5 a 條件下，模擬結果顯示第一電壓振盪峰值為 136.4 kv、振盪頻率 1.51 kHz，如圖 11 所示。



(a)截斷電流 5 a (b)截流之振盪電壓波形

圖 11 截斷電流為 5 a 之暫態波形

(4) 系統電壓峰值為 131.4 kv、並聯電抗器電流為 287 A，截斷電流 1.7 a 條件下，模擬結果顯示第一電壓振盪峰值為 131.9 kv、振盪頻率 1.51 kHz，如圖 12 所示。

此截流狀態係依本公司 D 廠 161 kv、80 MVA 並聯電抗器之啟閉暫態量測波形進行解析，其啟斷截斷電流值為 1.7 a。

斷路器啟斷並聯電抗器三相運轉電流波形，如圖 13 所示；波形記錄顯示：b

相電流由負半週，率先通過零點，為首先啟斷相，且 b 相電流於通過零點前，由-1.7 a 直接降至零，即為電流截斷現象；截流後，即時觀察到再弧線相，因而 b 相電流延續半週波，至下一個零點消弧。此時於 a, c 相電流波形易觀察到突波訊號，為共模干擾信號。

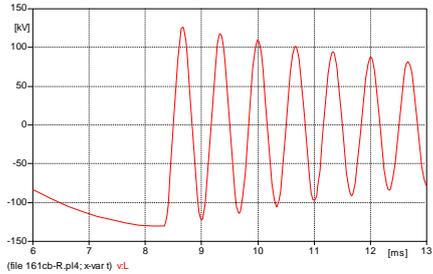


圖 12 截斷電流 1.7 a 之暫態電壓振盪波形

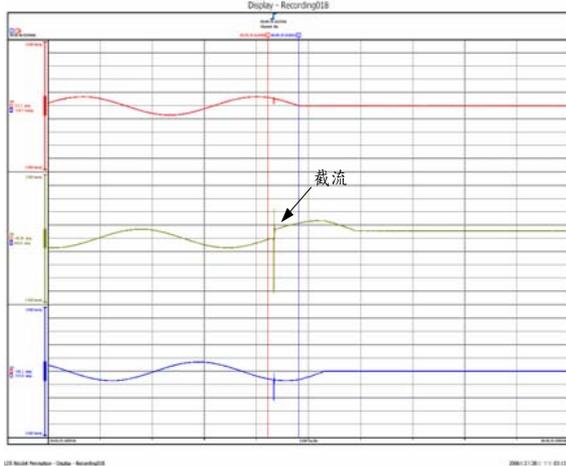


圖 13 截斷電流 1.7 及再弧之暫態電流波形

3. 再弧模擬結果

- (1) 一次再弧之暫態模擬結果: 模擬斷路器發生一次再弧時在電抗器端之暫態過電壓及電流於次一零點啟斷之波形，如圖 14 所示。斷路器負載側即電抗器端之暫態電壓為 135.68 kv；斷路器接觸子極間之恢復電壓波形，如圖 15 所示；斷路氣即間之暫態恢復電壓(TRV) 波形，如圖 16 所示。

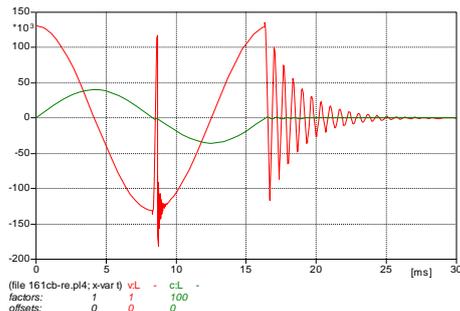


圖 14 斷路器發生再弧之電抗器電流與電壓波形

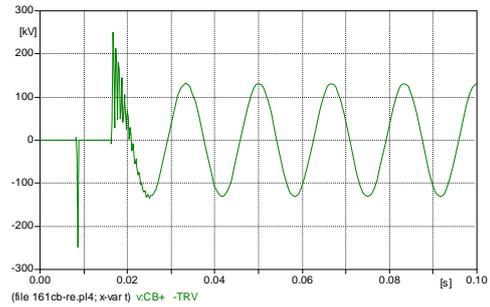


圖 15 斷路器啟斷電流之恢復電壓波形

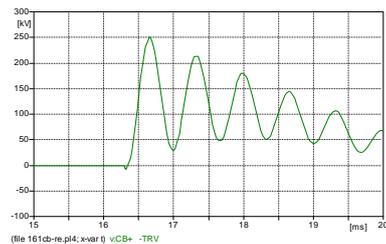


圖 16 斷路器啟斷電流之暫態恢復電壓波形

- (2) 斷路器啟斷電路後，二次再弧時之暫態過電壓級升波形，如圖 17(a)所示；圖 17(b)為模擬斷路器二次再弧時之暫態過電壓波形之放大；斷路器發生二次再弧時，其暫態電壓步昇至 180.65 kv。而斷路器發生再弧時，主要產生三種不同形式的共振。首先產生的共振為第一並聯共振，乃由於斷路器內部電容 C_p 放電經過斷路器而造成負載端電壓振盪，其主振盪頻率為 454 kHz。

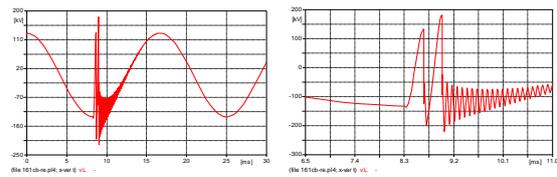


圖 17 斷路器發生二次再弧時之電抗器端電壓級升波形

伍、並聯電抗器啟閉暫態現象之相關議題

GIS 在設計上，依功能性可將其劃分為匯流排、斷路器、隔離開關、接地開關、變比器等組成元件，間隔器(spacer)可將 GIS 檔位區分為數個氣室，充填於氣室中的 SF6 絕緣氣體，與其他相鄰氣室氣室並未相通，因而有助於提高 GIS 區域性維護

點檢的便利性與效能。氣室間隔器一般多裝置於氣封外殼接續處，如同三明治般的多層結構，於氣封外殼接續處形成絕緣電路，氣封外殼絕緣區段範圍亦可依據廠家設計理念增減，例如在氣封外殼與絕緣間隔器接續處以短路銅片連接後，即可增加氣封外殼絕緣區段範圍。

1. 氣封外殼暫態電壓

氣封外殼暫態電壓(transient enclosure voltage)是高頻電流作用在氣封開關設備金屬外殼上，因電磁感應作用而產生出的暫態電壓。在氣封外殼與大地回路上流動的高頻電流，與供電運轉中，在氣封外殼上流動的低頻電流發生原因並不相同，低頻循環電流主要係因電磁場感應而產生的循環電流，是引起氣封外殼局部過熱的主要因素。氣封外殼上的暫態過電壓可源自雷擊、接地故障、隔離開關以及主斷路器進行啟閉操作瞬間，因預擊穿、再點弧或是暫態恢復電壓等現象所產生的暫態電壓，高頻暫態過電壓可在相導體對地雜散電容與大地迴路間，引起小於3~20 nsec上升率之高頻電流流動，通常此暫態高頻電流約持續20~30 msec時間。

2. 金屬台架間火花放電

若於暫態電壓上升率非常陡峭的情況下，且電位差大於空氣中的火花放電電壓時，在連接間隔器兩端相互絕緣的氣封外殼介面間，可能會發生發生火花放電，在極端的情況下，火花放電能量與伴隨而來的溫昇作用，可能導致間隔器故障。引起火花放電現象的暫態過電壓，對工作安全亦有影響，因此需要應用作業前的工具箱會議，以自護、互護與監護的工安方法，預防工作中具有潛在危險因子的感電因素。

陸、結論

並聯電抗器啟斷時可產生暫態恢復電壓，接觸子極間之交流電弧能否熄滅，與斷路器內部之介質強度恢復過程有關，亦與消弧瞬間所產生的恢復電壓上升率有關。當斷路器電極兩端之恢復電壓強度抵達極間介質崩潰強度時，即可產生再弧現

象。若斷路器存有設計或組裝瑕疵，因而產生多次再襲，亦將加速斷路器接觸子磨耗及損壞。此外由於電弧電阻的隨機性，及斷路器消弧介質與消弧能力的不同，因而產生截斷電流現象，亦可能引起上升斜率更為陡峭的暫態恢復電壓，進而導致多重再弧現象。

關於並聯電抗器用斷路器建議：每操作500次即需針對操作機構與斷路器接觸子進行點檢，更換相關耗材，避免斷路器接觸子熔損，可確保斷路器運轉性能。

參考文獻

- [1] "High-voltage alternating current circuit-breakers- inductive load switching," IEC 1233, 1994.
- [2] "IEEE application guide for shunt reactor switching," C37.015-1993.
- [3] "IEEE Application guide for capacitance current switching for AC high-voltage circuit breakers," IEEE C37.012-2005.
- [4] "IEEE Standard Rating structure for AC high-voltage circuit breakers," IEEE Std. C37.04-1999.
- [5] H. Kawada, K. Goto, M. Hanamura, S. Yanabu, S. Nishiwaki, T. Ueda, Y. Murayama, "Switching surge of shunt reactor caused by SF₆ circuit breaker operation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4. October 1987. pp. 1124~1130.
- [6] 張宏展，郭正謙，范振理，鄭強等"並聯電抗器之 GCB 啟斷特性與診斷研究" 台灣電力公司，報告編號:TPC-5468-91-4101-02。
- [7] E.Zaima, S. Okabe, S. Nishiwaki, M.Ishikawa, T. Nakamoto, Y. Murayama, Y. kawaguchi, "Reignition surge at reactor current interruption in cable-system." IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2. April 1990. pp. 947~954.
- [8] "161 kV 80 MVAR 電抗器首次全壓加壓突波量測及首次並聯突波量測"，鄭強、范振理 TPRI-G7.8-2102-9835 技術服務報告 2009。

談破繭脫困「失落年代」的新思維

本協會常務監事 李國楨

一、前言

近日觀讀日本國際趨勢大師大前研二(Ohmae Kenichi)和日本休閒服飾零售店 UNIQLO(優衣庫)創設者柳正井(Yanai Tadashi)兩位大師合撰「放膽去闖」給你走到哪都能生存的大能力。兩位大師談及日本國民身處險境卻不以為意，自 1989 年日本泡沫經濟到達巔峰時，其經濟一直停滯不前，如今儼然已經超越「失落二十年」，目

前雖有安倍晉三政府全力提振財經政策—即貨幣寬鬆、日幣貶值、大規模財政刺激之「三支箭」處方劑，卻因沉痾舊疾，體質虛弱導致邊際成效遞減，及至近來呈現疲露困乏膠著停頓狀態，未來演變何去何從，一時尚難中肯置評，只能靜觀其變，拭目以待。

兩位大師一直以來焦慮：在世界瞬息萬變的驚濤駭浪中，日本宛如一艘配備羅盤與船舵失靈的迷航船隻，不知何去何從，國家發展遠景不明，此其一；全球化競爭趨勢不斷加速進行人才、資源、資金、資訊等，瞬間跨越國界流入新興國家，這些新興國家有如雨後春筍般冒出，不多時紛紛躍升為全球經濟重要角色，反觀日本經濟發展一蹶不振，情何以堪，此其二；檢視日本自 1990 年泡沫經濟崩盤，所有財政問題接踵而來，執政首相若無良策以對，即以請辭方式卸責，造成近 20 年來更換 15 位首相紀錄，既訂政策尚未落實即政隨人亡，不斷遵循「各人一把號，各吹各的調」，導致政府功能長期虛耗空轉，國力持續衰頹，民心士氣低落轉趨冷漠，此其三；人口老化消費緊縮，政策搖擺不定，企業廠商外移，引發失業率飆高，導致年輕人偏好安於現狀，只求溫飽度日，不圖恢弘「日本第一」之雄心霸業，無意發揚「捨我其誰」之當責重擔。長此以往，社會青年將喪失「赤手空拳」、「困獸猶鬥」的謀生力，此其四。

回顧我們國內目前總體經濟疲乏低迷，政壇紛擾立法滯怠，財政負債瀕臨上

限，薪資倒退物價通膨，庶民生活艱辛困頓，民調低落怨聲載道，上述衰頹疲弱、危機四起現象，莫不令人產生「憂、悲、憤、鬱」的心結。

憂的是：財政舉債瀕臨懸崖，如何健全財政減赤方案卻是一籌莫展，憂慮有朝一日「破產」，屆時人心惶惶不可終日，不知伊於胡底。

悲的是：經濟疲弱仍未突破險境，再創經濟榮景似乎遙不可及，展望前景悲從中來，庶民迷惘徬徨無助，有如漫漫長夜期盼曙光。

憤的是：朝野政黨放棄理性對話，各自盤算如何贏得選舉及執政，謀權心態表露無遺，閉門協商私自妥協，忘將「民之所欲，長在我心」政治理念束之高閣，讓選民失望義憤填膺。

鬱的是：大多數薪資族群不調反退，物價飽受外因不斷調漲，生活水平有如江河日下，卻無可奈何照單全收，怎不令人傷心鬱結，仰天長嘆無語問蒼天。

綜而言之國內情景：政治爭鬥暗濤洶湧、經濟低迷持續悲觀、庶民清苦度日如年、國債警鐘何時敲響等許多「近憂」加上「遠慮」，引發國人對國家、社會之向心力、凝聚力逐年流失，整體國家優質謀生力每況愈下，無形中日復一日往下沉淪，逐漸敗露日本「失落年代」的景象徵兆，能不自我警惕尋求新思維來破繭脫困嗎？

二、勝兵先勝而後求戰

孫子兵法有云：「善戰者，先立於不敗之地。」又說：「勝兵先勝，而後求戰；敗兵先戰，而後求勝。」意即：戰前先要有充分的準備，擁有可勝之基礎然後應戰，故能百戰不殆。反之，事前準備不充足，只抱著僥倖心理，期盼一時獲勝，其結果大多功敗垂成。因此在面對「失落年代」來臨前夕，心中應先建立一個適合自我個性發展的目標。

鴻海公司董事長郭台銘語錄：「為錢做事，容易累；為理想做事，能夠耐風寒；

為興趣做事；則永不倦怠。」據其多年觀察到很多雕刻家，一件作品需要花一、兩年才能完成，此期間耐受孤寂沉思、尋求靈感、突破既有框架，想像創造出「石破天驚」的獨特品味，這些都必須經歷過「有志者，事竟成。」的磨練，將工作與志趣結合可超越自我，成就自我。

除志趣外，追求目標可「由小而大」，依個人奮鬥進階調整，擁有理想可鞭策自我努力前進，終必有所成長。中庸有云：「凡事豫則立，不豫則廢。」已備就緒者善視機行事，當機緣曇花一現，即得勢順成；而未備妥者只能驚呼大嘆「失之交臂」。事實上不具實力的戰果，是經不起長久的考驗，即使短暫享有，終將再度失守。惟有腳踏實地，平時強化學習能力，開拓群體合作，充實學識、經驗，穩固處世立業基礎，一步一腳印走到理想的願景，水到自然渠成。

三、21 世紀全球化競爭沒有主客場區分

柳正井大師認為「全球化就是最大商機」，若太過於拘泥於國內市場將錯失機會，因此其創設「優衣庫」毅然決然走出日本進軍大陸拓展。然經 2002 年開幕初始一波三折，直到 2005 年才反敗為勝，摸索出成功之道乃在於「堅持高品質」策略，與其他「同質性」市場區隔，其後不斷在大陸擴展旗艦店，彰顯大陸市場驚人的成長速度與壓倒性的規模，其成功案例獲得全球性大企業驚豔，並肯定凡是「錯失中國市場就斷送商務生機」的商業發展模式，頗有立竿見影成效。在搶佔大陸龐大市場成功後，緊接著揮軍轉攻韓國、新加坡、台灣等國家成功達陣。目前正積極規畫進軍馬來西亞、菲律賓、泰國、印尼、越南等國展店，亦即不想錯失亞洲驚人的經濟成長力。上述規畫皆顯現「優衣庫」心中無國界，處處皆主場。」同時也驗證全球化商務確實沒有所謂的主、客場域之區分。

台灣四面環海，自然形成島國地理文化，也造成缺少與異國接壤文化交流融合之機會，在國際商務上失去先天的互通商優勢，加上地小人稠高度仰賴經貿外

銷，因此經濟成長必須積極拓展海外市場行銷版圖。反觀歐盟諸國雖各自形成文化，但卻因利害與共，休戚相關，自然聯想到互通商利益需求，共同實施區域經貿自由通商，把消費市場區域擴大，然後各國彼此分享最大利益。

目前國內針對兩岸服貿協議產生嚴重的紛歧爭議，基於「開放、平等、互惠」談判原則，應是雙方談判各有斬獲之結局。然而國內有學者或團體堅持表態支持弱勢產業未來的生存空間，其立意良善，無可厚非。但卻造成「開放」與「保護」兩難的困擾，阻礙服貿協議良性溝通。本來政府的功能就是透過合理的政策，考量「兩利相權取其重，兩害相權取其輕。」經研析我方可得到高於世貿組織(WTO)待遇的行業，包括金融業和電子商務等，而服務業未來將成為國內主流且至關重大行業，至於受衝擊的弱勢產業，政府必須提出因應配套措施，譬如短期施以救濟期求減少衝擊；中期協助研發提升品質，區隔「同質性」產品市場競爭，並協助尋找新市場；長期輔導轉型經營其它利基型產業。

2015 年東協 10(新、馬、泰、越、緬、菲、印尼、東、寮、汶)+6(日、韓、印度、紐、澳、大陸)區域全面經濟夥伴關係(RCEP)成立後，屆時台灣如被排除在外，針對上述區域經貿交流形同被邊陲化，競爭態勢更加弱化，故亟須通過兩岸服貿協議，並透過大陸市場貿易平台，拉引東協或拓展周邊國家經貿交流實務，化解被邊陲化之危機。

在全球化競爭的時代，我們如選擇退出競爭，則整體利益必會受到影響，必須覺悟一個小經濟體，不可能自外於全球化競爭而獨立生存。競爭會雖面對劇烈衝擊，但也只有適應才能生存；一味堅拒只有加速被淘汰，「優勝劣敗，適者生存。」是永恆不變的生存法則。

四、全力以赴，永不放棄

一位禪師偕其弟子，急於日落前趕著下山，途經樹林間不經意遠見一隻狐狸正在追逐一隻野兔，師徒兩人仍匆忙趕路，下山後弟子心中急切提問：「狐追兔結局如何？」，禪師淡定表示：「追不上。」弟子

訝異追問：「狐狸動作快捷靈敏，何以追不上？」禪師開示：「狐狸只是追逐一頓晚餐，而兔子卻是全力逃命。」此段寓言開示：如抱持「無可無不可」之無所謂心態，則其願景難能激發；反之，如抱持「化不可能為可能」之孤注一擲，則其成功機率反昇高。」

當前全球化競爭時代潮流充滿變數，全力以赴猶難切入未來潮流之脈動，更何況抱持「得過且過」消極之心態呢？企業追求的是「永續經營」，而個人追求的是「無可取代」的地位，不懈的奮戰只能取得一時之競爭優勢，卻無法永遠保持樂觀。故而若不肯再進取下一波競爭優勢，恐不待時日可能被淘汰出局，達爾文揭開「物競天擇，優勝劣敗。」現實生存競逐法則，歷經千古卻未曾有所改變其本質。

個人尋求轉機，應抱持沒有什麼「不可能」的決心，亦即用「不可能」的決心來尋求未來「絕處逢生」之機緣，配上搏命的「背水一戰」來開創「不可能」的奇蹟。

若行事抱持「拼命」精神，其所展現績效皆是可觀的，年青只有一次，生命不能重來，何不在當下，為自我願景注入全力以赴之決心、永不放棄之精神來完美成就自我之機會呢？

五、結語

從日本「失落二十年代」慘痛代價，強烈回映到自我觀照，展望國內整體景況離「失落年代」，可說是近在咫尺，僅一步之遙，如不能「戰戰兢兢，如臨深淵，如履薄冰。」群策群力，奮發向上，化解危機轉入佳境。如今在面臨關鍵轉折點，若不及時力挽狂瀾，一旦沉淪浩劫，則永難翻身。

據報載 2013 年 11 月 22 日前副總統蕭萬長率領台灣企業領袖訪問團抵達美國華府，表達要加入跨太平洋經濟夥伴協議 (TPP) 的決心。顯示國內政府關切推動貿易自由化的期待，此項是高規格貿易協定，必須朝更自由化的開放，所帶來的衝擊將更趨嚴酷。

耐人尋味的是：國內正值「開放」與

「保護」兩難的溝通，但與其守株待兔，不如順應時勢潮流，開創更多機會留供日後發展，所謂「風月乾坤千萬戶，處處叩門有人應」，微妙機會深藏「叩應」間，掌控未來之造化。

成功者一定有「成功的方法」，其胸懷「天下即使沒有完美的辦法」，但總是「可尋求更好的辦法」。反觀失敗者一定有「失敗的理由」，可能選擇逃避畏縮，或戀棧於昨日的輝煌成果，這些想法都是不切實際，歷史未必會再重演。惟有前瞻未來，把握現在並記取歷史教訓，才能迎向一切的競爭與挑戰。從省思檢討中悟出辦法，抱持堅忍奮戰，克服困境。其重大關鍵在於：洞察「危機」內部中所隱含「危險」警訊，不會恆久存在，伺機有效化解，轉危為安。此即佛家所謂「化煩惱為菩提」，只有肯在逆境中前進才能累積實質的進步，成為轉敗為勝的贏家。

害怕風險才是最大風險，因害怕而只一味追求安定、守成，放棄突破瓶頸的機會，終將一事無成，故論語有云：「飽食終日，無所用心，難矣哉。」

人生應超脫生死，善用有限的生命去發揮應有的功能，深度激發潛能，「肯定自我」和「實現自我」，以不虛此生為最終奮鬥目標。人生感到最得意的是克服一連串挫折而贏得最後成功的內心微笑。

註：TPP 係由美國主導目前已加入有美國、加拿大、墨西哥、秘魯、智利、澳洲、紐西蘭、日本、新加坡、越南、馬來西亞、汶萊等 12 個國家所組成之跨太平洋經濟夥伴自由貿易區。

六、參考資料

1. 放膽去闖-大前研一和柳正井
給你走到哪都能生存的大能力
作者/大前研一柳正井 譯者陳光茶
出版社/天下遠見
2. 企業決勝大未來
作者/盧萬 筆者/盧蘇偉
世紀領袖教育出版社