

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
中華民國一〇一年七月一日出版

發行者：羅隆和

高等顧問：李河樟 許萬寶 張重湖 簡文通

顧問：周南焜 唐進財 許邦福 趙基弘

法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬

編輯委員會：主任委員 李錦槍

副主任委員 黃慶林

編輯委員：白雲年 李 群 吳立成 洪世宇

洪敏捷 林安志 李金鐘 范建誼

翁永財 郭麟瑛 陳來進 陳炳基

陳順斌 許文興 張偉荃 黃英龍

黃思倫 黃惟雄 黃德華 曾炳權

潘明路 劉昆詠 謝建賢

（依照姓氏筆劃順序）

廣告組：張家熙 謝璧如

地址：台北市羅斯福路三段 244 巷
9 弄 1 號 2 樓

E-mail : relayaso@ms68.hinet.net

服務電話：(02) 2362-3993

傳真：(02) 2363-0860

印刷者：文山打字印刷有限公司

地址：台北市杭州南路二段 25 巷 13 號

本刊物為對內刊物、不對外發售

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

目 錄 索 引

☆24 地下線路加壓與停電暫態分析

-----鄭強、王瑋民、范振理

☆33 綠色能源汽電共生電力系統併聯技術最佳化探討-----許文興

☆52 以特徵系統辨識法分解傳統電磁型過電流電驛特性----吳峯日、周至如
關人讚、韓佳佑
陸 茵

☆64 淺談輸電線路保護電驛簡訊系統
-----彭雲忠、王坤展

☆72 談古論今話《易經》
-----李國楨

地下線路加壓與停電暫態分析

台電公司 鄭強
崑山科技大學 王瑋民
台電公司 范振理

摘要

近年來地下輸電線路於停復電操作後，發生數起 XLPE 電力電纜預模冷縮型直路接續匣或終端匣擊穿損壞故障。本研究計畫擬依據地下線路之停、復電操作模式，分析其對電纜冷縮型直路接續匣絕緣性能之影響，同時提出改善對策。

關鍵字：電纜系統、暫態、接續匣、交連聚乙烯、突入電流

Keywords：cable system, transient, joint, XLPE, inrush current.

一、簡介

1960年代60 kV以上之輸電級地下線路，開始採用擠壓成型固體絕緣電纜。固體絕緣電纜之沿放技術以及接續匣、終端匣製作工藝與技術，相對較與低壓充油電纜或是管型高壓充油電纜之施工技術簡易；固體絕緣電纜對空氣濕度存有更高的容許裕度；其次，固體絕緣電纜無紙質充油電纜之給油附屬設備，有效減化維護作業項目及降低裝置成本。1960年交連聚乙烯(crosslinked polyethylene; XLPE)之發展，提升電纜系統運轉溫度至90°C，因而改善了電纜系統的載流量(ampacity)，奠定XLPE電纜之應用基礎。1990年代擠製模鑄接續匣(extrusion-molded joint; EMJ)成功發展後，即將交連聚乙烯電纜應用範疇，快速推升至500 kV輸電系統中。

2006年台灣地區地下電纜輸電系統開始採用One Picc接續匣，電纜系統採用此類型式之附屬配件，具有大幅簡化傳統的於現場二次施作綁紮工法，可提高接續匣施作效率及降低現場施工成本等諸多優點，已逐漸取代預模鑄型接續匣作為電纜

系統之附屬器材。One Picc接續匣亦已成為國產化附屬配件生產主要型式，其

電纜與接續匣電氣耐壓規格如表1所示；惟電纜系統改採此類附屬配件後，於線路停電後，復電加壓時，發生多起接續匣介質崩潰絕緣擊穿接地事故，亟待釐清故障肇因與系統操作之關連性；本文討論電纜系統停復電操作暫態現象，解析系統操作與電纜接續匣擊穿故障關聯性。

表1 電纜及接續匣電氣規格

	交流 耐壓值	直流 耐壓值	衝擊 電壓值
電 纜	280(kV) ¹	395(kV) ¹	750(kV)
接續匣	230(kV) ²	395(kV) ¹	750(kV)
備 註	耐壓時間 1:15 min. 2:6 hr		

二、電力系統之暫態現象

電力系統暫態期間僅發生於斷路器啟閉操作期間，或是雷擊、設備發生短路、接地故障期間；相較於系統穩態運轉時間，暫態響應期間顯得極為短暫，但是在其電路上可產生相當大的電壓與電流。暫態現象對電路影響範圍小者，可能導致設備發生故障，電路影響範圍大者，可能導致系統故障，因而不可忽視其應力對系統的影響性與重要性。其次電力系統於擾動期間，除穩定度的問題外，發電機組之激磁系統、調速機速度控制系統、SVC系統以及HVDC換流系統等於擾動中的動態響應，亦含有暫態控制面臨的議題。

暫態(transient)指電力系統中持續時間短暫之擾動現象，可將其視為系統從一個穩態，過渡到另一個穩態時，電壓與電流之振幅、頻率及波形所發生的改變；電

力系統之暫態響應，會於電路回復到另一個穩態時消失。一般以電力系統擾動現象，依其持續時間作為分類的基礎，例如擾動持續時間小於1/2週波者，稱為暫態；事實上暫態常見於雷擊突波、開關突波、短路故障等，暫態現象亦包含系統正常的線路、變壓器加壓，轉供、卸載等操作，短路故障時斷路器清除故障電流的操作，以及發電機組慣常或緊急並聯與解聯的操作等；其擾動持續時間分佈於數微秒(μs)至數十毫秒(ms)範圍中。因此衝擊(impulsive)及振盪(oscillatory)兩種現象可作為暫態分類之基礎。

IEEE Std. 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". 對電力系統干擾現象的分類，包括暫態、短時間的電壓變動、長時間的電壓變動、三相電壓不平衡、波形畸變、電壓波動、電源頻率變動等七類；該標準並將暫態、電壓變動、波形畸變等比較多樣化的干擾現象將之細分為：(1)暫態含脈衝型與振盪型，脈衝型依其波形上升時間再分類為奈秒級、微秒級、毫秒級，振盪型將其分類為高頻、中頻與低頻；(2)短時間的電壓變動分類為瞬時、片刻與暫時；(3)長時間的電壓變動包含持續性電力中斷、欠電壓與過電壓，其持續時間大於1分鐘；(4)三相電壓不平衡典型值在0.5~2%之間；(5)波形畸變包含直流成分、諧波、間諧波、電壓凹陷、雜訊等(6)電壓波動之典型頻譜 $<25\text{ Hz}$ ；(7)電源頻率變動電形持續時間 $<10\text{ sec}$ ；干擾現象與分類如表4-1所示；在高壓斷路器啟閉操作產生之奈秒等級暫態現象，稱之為非常快速暫態過電壓(very fast transient overvoltage; VFTO)；微秒等級之脈衝型暫態，稱之為快速暫態過電壓(fast transient overvoltage; FTO)；電力變壓器、並聯電抗器、電力電纜及電容器組之啟閉操作，在斷路器觸頭之間的主振盪以高頻為主，離開觸頭在其電路上，則表現出中頻振盪特徵。

三、地下電纜啟閉暫態特性

開關操作是屬電力系統中最常見的暫態現象，系統暫態現象含有高頻振盪，在

一般情況下，暫態之振盪頻率約為數kHz，在特殊暫態響應中，其振盪頻率可達數MHz；相量及複數計算，並不適用於振盪頻率快速變動之暫態情況，而需要改以微分方程式描繪系統現象及求解。以集總參數模型表示系統元件，有助於以克希荷夫電壓、電流定律分析其暫態現象。例如電力變壓器運轉於系統頻率條件下，變壓器高低壓側電壓，可依一、二次側繞組線圈之匝比關係決定；變壓器之暫態響應，可以雷擊突波為例說明之，變壓器於雷擊感應電壓作用下，其高低壓側間的電壓比關係，將由高低壓側繞組及繞組間的雜散電容決定；因而變壓器在穩態及暫態響應時期，其電路模型有所不同。集總參數之電感、電容與電阻，可分別描繪與其對應之磁場、電場與損失現象；而行進波分析技術可以進一步完整描繪系統暫態響應。

在電網中，開關設備職司網路互聯、各種電力設備、輸電線路、負載與短路接地故障之停送電的操作行為。開關設備於閉合操作狀態下，將產生暫態電流，並於系統中流動；反之，開關設備於啟斷操作狀態下，含系統頻率之電流將被遮斷，電流被截斷瞬間，暫態恢復電壓(TRV)將作用於開關設備兩接觸子之間；而電容性電流啟斷時，儲存於斷路器負載側之電荷能量，易導致開關設備介質發生重燃弧(reignition)以及再襲(restrike)；若斷路器接觸子間重複發生再襲，過電壓將對開關及設備產生負面衝擊之影響。斷路器操作電容性設備，所引起之暫態現象，電壓峰值會達到2~3倍的正常值，其暫態湧入電流分佈在16標么以下，其幅值大小視系統阻抗而定；而地下線路加壓、背對背加壓模式下，湧入電流與湧出電流幅值，約在線路額定值1.5~3.5倍以下。

1. 電容性電路啟閉暫態

電容性負載包含無載輸電線路、電力電纜、並聯電容器組等；斷路器使用於電容性電路之性能包含：操作單一線路、地下電纜或電容器組之啟閉責務，電纜、電容器組之背對背啟閉操作模式

之耐受性等，以及於系統最高運轉電壓情況下，清除故障完成啟斷責務；其性能亦要求於100 kV以下之系統，三相斷路器啟閉操作電容性電流之暫態過電壓，不得大於2.5 pu，100 kV以上的系統切換電容性電路之暫態電壓，不得大於2.0 pu。斷路器開啟操作電容性負載時，首先啟斷相極間恢復電壓上升速率，與電容性負載之殘餘電荷、延遲啟斷相之時間、並與60 Hz系統頻率有關的電壓瞬時值等因素有關，亦為極間絕緣崩潰發生重燃弧或再襲的主要因素；中性點接地之電容器，其首先啟斷相的恢復電壓，近似2標么之系統峰值電壓，中性點非接地之電容器組，操作時，首先啟斷相之恢復電壓小於3標么。

電力電纜具電容之特性，依IEEE規範建議：若電源側等效系統電感大於電纜側電感10倍以上(即電纜線路較短)，一般將電纜可等效為集總電容；若未大於電纜側電感10倍以上(即電纜線路較長)，則以突波阻抗元件表示之。本文模擬則利用ATP之LCC模組直接建立線路模型。

電纜視為集總電容元件C，加上系統等效電源電感，則電纜線路啟、閉時將產生暫態電流、電壓現象，描述如下：

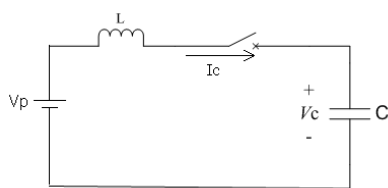


圖1 LC電路啟閉等效電路

(1) 電容電路加壓暫態響應

圖1為一簡單LC電路，為簡化公式推導，忽略阻尼效應，取交流峰值(V_p)為直流電源，則開關投入瞬間，可推導得電容器上暫態電壓、電流如公式(1)及(2)；

$$V_c(t) = V_c(0) + [V_p - V_c(0)](1 - \cos \omega_0 t), \quad (1)$$

$$I_c(t) = \frac{V_p - V_c(0)}{Z_0} \sin \omega_0 t \quad (2)$$

其中

$V_c(0)$ 為電容初始電壓

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，震盪頻率

$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ，突波阻抗

若電容初始電壓為零時，加壓暫態峰值電壓分佈於0~2 V_p 範圍中；若電容初始電壓為1 pu，忽略系統電阻，則理論最大暫態電壓為3倍峰值電壓。

以中部地區某線路參數為例，取單相峰值電壓131,456 V_p直流電源，電源等效電感1.19 mH，電容1.18.uF(4.9 km)，分別模擬電容初始電壓為0及- V_p ，如圖2模擬電路，模擬結果如圖3a~3b。

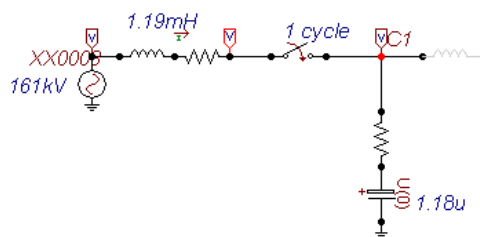


圖2 ATP模擬電路

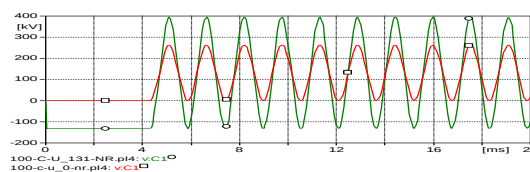


圖3a 投入電容暫態電壓模擬
(直流電源、無阻尼)

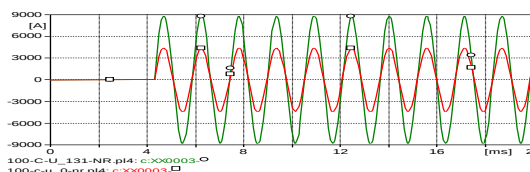


圖3b 投入電容暫態電流模擬
(直流電源、無阻尼)

(2) 電容電路啟斷暫態響應

a. 恢復電壓(Recovery Voltage)

一般斷路器設計於電流通過零點，此時電源與電容電壓恰位於交流電壓峰值，而電弧熄滅而截斷電流時，電容器C完將捕獲此一峰值電

壓，並以直流電壓型態殘存於電容中；因而斷路器截流後，電容器之直流跨壓UC(殘餘電壓)，稍低於系統峰值電壓；此時斷路器接觸子間之跨壓UB，受到電容器殘餘直流電壓，及系統交流正弦時變電壓瞬時值作用，而影響其恢復電壓幅值。若斷路器接觸子於開啟瞬間，電流於1/2週波通過零點，在此情況下，恢復電壓將依1-cosine波形逐漸遞昇，理論上在截流1/2週波後，恢復電壓可達2倍系統電壓之振幅；1-cosine波形，如圖4所示；高速斷路器在接觸子間距相對小的情況下，亦需耐受此振幅相對高的恢復電壓；而恢復電壓存在與時間變動的性質，可能導致接觸子氣隙絕緣崩潰；若斷路器於截流1/4周波內，氣隙間電壓發生崩潰，稱之為重燃弧(re-ignition)；斷路器於截流1/4周波後，氣隙絕緣崩潰，即稱為斷路器發生再襲(restrike)，並可觀察到啟斷後，再次出現電路電流。

當斷路器啟斷電容性電流時，斷路器之匯流排側持續由系統受電，而其線路側之電壓，將由交流電轉換為直流電壓；經1/2週波後，斷路器接觸子間最大跨壓可達 $2V_p$ ，須注意斷路器是否發生重燃弧(re-ignition)及再襲(restrike)現象。斷路器啟斷電容性電流之波形，如圖4所示；若電容電路停電後，並無接地洩放路徑，殘餘於電容元件上的電壓，可能造成絕緣材質極化，影響原絕緣耐壓規格。

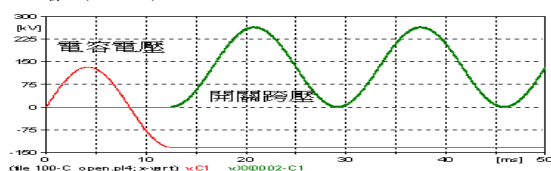


圖4 斷路器啟斷電容電流之波形

b. 啟斷後之再襲

前述斷路器於啟斷後，週期性的兩倍峰值電壓作用於接觸子間，若斷路器產生一次再襲時，線路側之電容電壓極性反轉，並疊加為3倍峰值電壓；若斷路器發生第二次再襲，觸頭間跨壓將疊加5

倍之峰值電壓；斷路器發生重燃弧、再襲時，亦不可導致已中斷之系統頻率電流再次流動，或於負載端觀察到以自然振盪頻率之電流之電流，此類脈充電流稱為非持續性放電電流(non-sustained disruptive discharge; NSDD)；圖5為斷路器再襲現象之模擬結果。

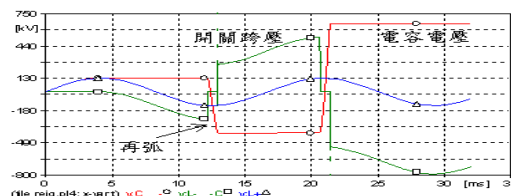


圖5 斷路器發生多次再點弧之電壓波形

2. 電纜系統加壓暫態分析

電纜系統可以單線圖描述其系統架構，如單導體單回路系統、單導體雙回路系統、複導體單回路系統、複導體雙回路系統、或三導體單回路系統等。當描述並聯回路電纜系統切離及投入之暫態行為對電纜系統之影響，則常以電容器之背對背(back to back)切換模式來描述電纜系統啟閉性質；雙回路地下線路單線圖，如圖6所示；圖中符號說明如下：CB 斷路器、 L_s 電源電感、 L_b 匯流排電感、 $L_1 \sim L_2$ 線路1~2電感、 $C_1 \sim C_2$ 線路1~2電容、 $Z_1 \sim Z_2$ 線路1~2之突波阻抗。

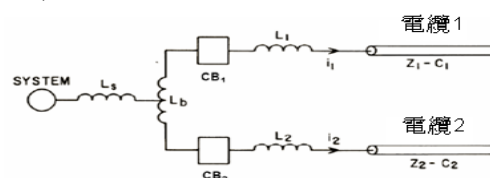


圖6 雙回路地下線路單線圖

(1) 電纜1加壓(電纜2為啟斷)狀態

雙回線於停電狀態，電纜1之斷路器投入驗路加壓時，突入電流及振盪頻率，可依下式計算：

$$i_1 = U_m \sqrt{\frac{C_1}{L_s}} \sin \omega_0 t \quad (3)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_s + L_1)C_1}} \quad (4)$$

若 $L_s \gg L_1$ ，則

$$i_{1,peak} = U_m \sqrt{\frac{C_1}{L_s}} \quad (5)$$

(2) 電纜2加壓(電纜1加壓中)狀態

電纜1加壓運轉中，當電纜2斷路器投入線路加壓時，即屬電容器之背對背加壓模式，電纜2加壓之突入電流為：

$$i_{i\text{ peak}} = U_m \sqrt{\frac{C_{eq}}{L_{eq}}} \quad (6)$$

式中

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (7)$$

$$L_{eq} = L_1 + L_2 \quad (8)$$

(3) 電纜等效突波阻抗

假設 $L_s < 10L_1$ 、 $L_s < 10L_2$ ，其等效電路如圖7所示：

a. 電纜1加壓時，突波電流為：

$$i_i(t) = \frac{U_m - U_t}{Z_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{Z_1}{L} t\right) \right] \quad (9)$$

式中

U_m 為電源電壓峰值

U_t 為電纜初始電壓值

b. 電纜2加壓，背對背模式之突波電流為：

$$i(t) = \frac{U_m - U_t}{Z_1 + Z_2} \left[1 - \exp\left(-\frac{Z_1 + Z_2}{L} t\right) \right] \quad (10)$$

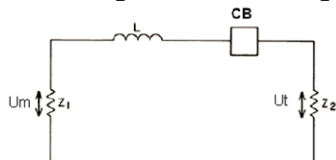


圖7 電纜突波阻抗等效電路

三、地下電纜啟閉暫態模擬

中部地區某地下線路分為一、二路兩共架回線，每回線採 2000 mm² XLPE 電纜複導體，線路共設置 n 處人孔，全長約 5 公里。電纜排列方式如圖 8a，輸電線路參數設定採用 ATP 內建 LCC/Cable 模組，如圖 8b；ATP 模擬電路參數如：

電源阻抗為 0.000905+j0.011108 pu；電纜 C₁ 為已加壓線路(一路)，C₂ 為待加壓線路(二路)；加壓側為 A 端；SC 容量為 9,000 kVar (0.92 μF/相)；模擬電壓取單相 131 kV_p。

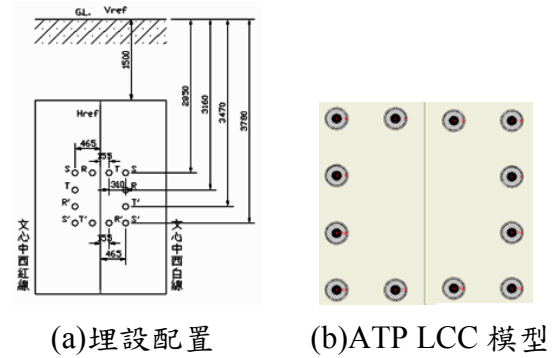


圖 8 地下線路排列方式及 ATP 模型

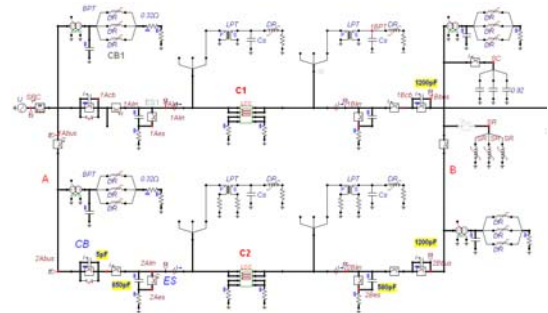


圖 9 ATP 模擬電路

1. 線路加壓暫態模擬

C₂ A 端電源側 CB 於第 0.008 秒投入，a 相電壓零點附近投入；B 端負載側 CB 及 DS 為啟斷狀態，主要觀察加壓瞬間 C₂ 線路上暫態電壓及湧入電流，另觀察電源側、C₁ 及 SC 之暫態湧出電流；模擬結果如圖 10a~d，數據整理如下：

- (1) C₂ A 端之線路側暫態電壓：135 kV_p (1.03 pu)，圖 10a。
- (2) C₂ 線路末端暫態電壓：175 kV_p (1.34 pu)，圖 10b。
- (3) C₂ 電纜加壓之湧入電流峰值：-2.8 kA(C 相)，頻率 3 kHz，圖 10c。
- (4) 電源湧出電流峰值：5 kA(C 相)，頻率 3 kHz，圖 10d。
- (5) C₁ 線路湧出電流峰值：4 kA(C 相)，頻率 3 kHz，圖 10e。
- (6) SC 湧出電流峰值：1.8 kA(C 相)，頻率 4 kHz，圖 10f。
- (7) C₂ CB 電流(含對地電容)：-5.6 kA(C 相)，頻率 3 kHz。

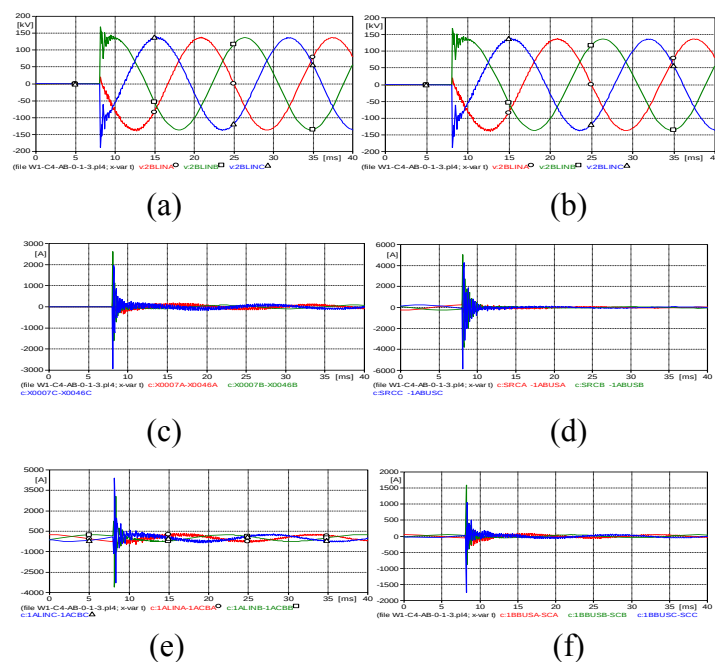


圖10 地下電纜加壓暫態模擬波形

2. 線路停電暫態模擬

接續上節線路加壓模擬後，進行線路停電模擬； C_2 B端負載側CB第0.05秒啟斷；A端電源側CB第0.1秒啟斷、電源側DS第0.15秒啟斷、ES第0.2秒投入，觀察 C_2 線路電源側電壓、ES接地電流。模擬結果如圖11a~11c，數據整理如下：

- (1) C_2 CB啟斷時，B端及A端線路側幾乎無暫態電壓產生，電壓波形如圖11a。
- (2) A端CB啟斷後，若ES未投入， C_2 線

路側A相電壓經由PT二次側接地，一次側電壓呈現阻尼衰減，約1秒後電位趨近於0；B、C相則維持啟斷瞬間之AC峰值相電壓極性，如圖11b；CB啟斷後，ES未投入時，a相電壓波形變化，由於PT提供接地路徑，電壓衰減至零點時間分別約為0.12秒。

- (3) 將ES投入， C_2 線路側三相電壓立即降至0電位。ES投入後之接地（放電）電流峰值約5.7 kA(c相)，頻率約4 kHz，圖11c。

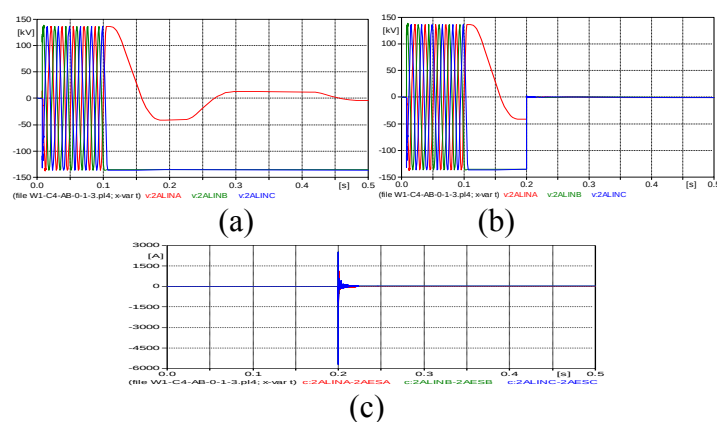


圖11 地下電纜停電模擬波形

- (a) C_2 A端線路側電壓(CB於0.1秒啟斷，ES未投入)，(b) C_2 A端線路側電壓(ES

於0.2秒投入)，(c) ES投入後之接地電流

3. 外部短路故障湧出電流模擬

本節利用161 kV地下系統圖，模擬線路外部事故，故障點設於A D/S~B D/S線路上，距A D/S約500米處發生a相短路接地，短路電阻設為1 ohm。為觀察電纜湧出電流，電源設定於第8 ms啟斷，故障發生時間設定為第12 ms，此時a相達峰值，如圖12虛線圓圈。圖13為故障電流模擬結果。

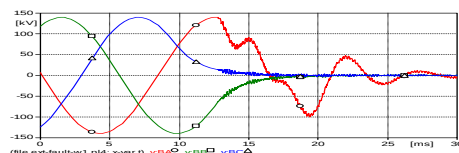


圖12 A D/S電壓模擬

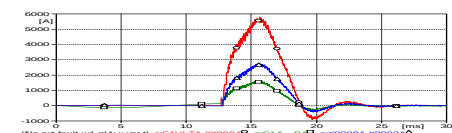


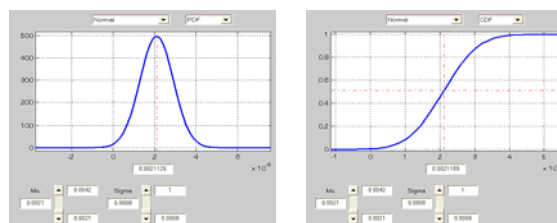
圖13 故障電流模擬

○總電流、△B D/S湧出電流、
□ A D/S湧出電流

4. 統計開關暫態過電壓分佈

利用ATP內建統計開關(Statistical Switch)，可將CB三相接點閉合時間設為高斯機率分佈模式，統計開關暫態過電壓分佈情況，如圖14；需先指定第一投入相(Master)，另兩相則稱為「追隨相」(Slave)。開關另可設定投入次數，並依規畫之三相接點依機率分佈之閉合時間組合條件，模擬機率分佈結果說明如下：

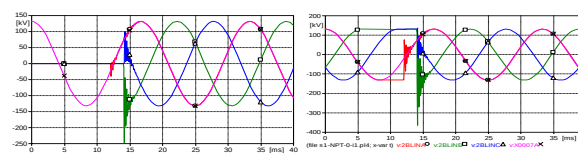
- (1) 電纜加壓，在無初始電壓條件時，各投入條件之三相暫態電壓最大為1.9 pu，均未超出理論最大值(2 pu)，如圖15a所示。
- (2) 考慮初始電壓為一標么情況下，若投入瞬間電壓與初始電壓反極性時，暫態電壓最大為2.8 pu，如圖15b所示。
- (3) a相「有/無」LPT，對加壓時三相暫態電壓並無明顯影響。
- (4) a相於零點投入(包括正、負斜率點)時，b相上暫態過電壓有50%機率超過1.61 pu，但小於1.9 pu。



分佈機率

累積機率

圖14 CB接點閉合時間高斯分佈機率



(a)

(b)

圖15 地下電纜加壓暫態模擬電壓波形

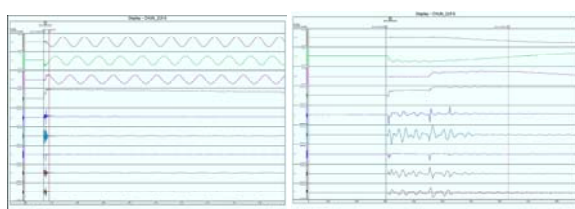
四、地下電纜啟閉暫態量測分析

地下線路加壓實測波形，如圖16所示；三相突入電流波形，如圖17所示；圖中a-b-c三相電壓幅值為：-92.564 kV、-153.025 kV、142.119 kV；湧入電流幅值為：4.589 kA、-4.912 kA、-5.857 kA；振盪頻率為2.5~2.7 kHz。背對背操作模式之加壓線路突入電流，及運轉中線路湧出電流波形記錄，如圖18所示。

23 kV地下饋線停電之電壓波形記錄，如圖19所示；斷路器啟斷截斷電流後，斷路器之饋線側三相電壓轉換為直流電壓，幅值近似停電操作前之系統相電壓峰值，如 V_{an} 16.74 kV、--- V_{bn} -18.57 kV、--- V_{cn} 13.30 kV；此一交流電壓轉換為直流電壓之現象，與模擬分析結果相符。

另地下線路若含三相VT，停電時，解析線路停電操作之三相電壓、電流波形記錄：當斷路器接觸子開啟時，a相電流率先通過零點並截流，其次b、c相線路充電電流依序通過零點時電流截斷，斷路器完成啟斷責務；此時斷路器之電源側仍然維持時變正弦電壓，斷路器之線路側轉換為直

流電壓，約等於系統相峰值電壓；三相電壓及電流波形記錄，如圖20所示；斷路器開啟前，a相電壓峰值為：134.6 kV、-134.6 kV；b相電壓峰值為：133.5 kV、-133.6 kV；c相電壓峰值為：132.8 kV、-132.8 kV；斷路器完成啟斷責務後，線路三相殘餘電壓受到比壓器磁滯影響，電壓維持在峰值電壓之直流位準，並持續約8 ms時間，再逐漸由線圈電阻轉換為接地放電電阻型式，在95.220 ms時間內依指數方式將殘餘電壓衰減至零。



(a)加壓波形

(b)波形放大

圖 16 地下線路加壓之三相電壓、正副導電流波形

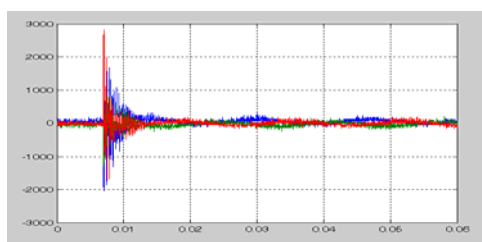


圖 17 地下線路加壓之三相突入電流波形

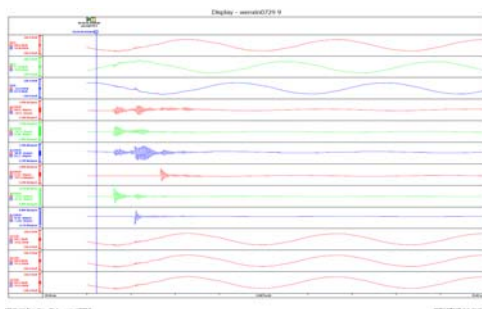


圖18 地下電纜加壓突入電流及湧出電流波形

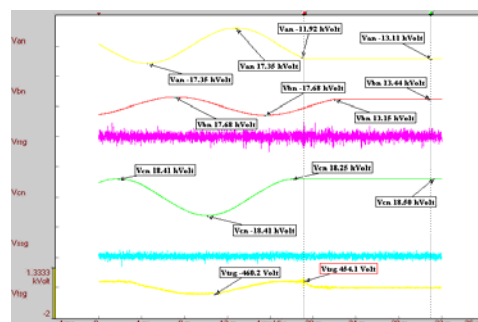


圖19 23 kV地下電纜停電之三相電壓波形

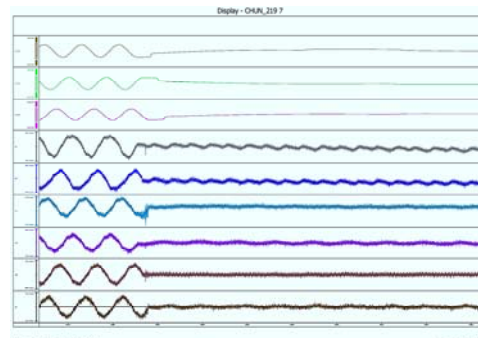


圖20 地下電纜停電波形

五、結論

屏蔽型地下電纜可等效為Y中性點接地的電容性電路；線路加壓時，若初始電壓為零，此一暫態電壓最大值約為2.0標么，典型的暫態電壓值在1.8標么範圍中。若電纜之初始電壓為1標么，且線路於極性相反之電壓峰值加壓，忽略系統電阻，則理論電容上最大暫態電壓為3倍峰值電壓，此一暫態電壓幅值小於電纜系統750 kV之BIL值，因此並非電纜加壓故障之主因。

系統線路於加壓操作時，與匯流排上運轉中的地下線路，即構成背對背電容器的操作模式，亦即加壓線路將於斷路器投入瞬間產生突入電流(inrush current)，而運轉中的線路將提供湧出電流(outrush current)；於線路或設備發生短路故障時，接近故障點之大型電容器、地下線路亦可產生湧出電流。突入電流可藉電纜導體之電感予以抑制，而湧出電流可藉由並聯電抗器予以抑制。突入電流與湧出電流

幅值、振盪頻率及持續1/4週波之暫態時間，遠小於故障電流，亦非來自機械應力的影響。

無載或是輕載之地下線路，負載電流超前電壓 90° ，斷路器於完成啟斷責務時，其線路側即刻將交流電壓峰值，改變為直流電壓，且即刻令介質充滿電荷。而電纜本質電容與電阻之自然放電時間常數，可達數十分鐘至數十小時，因而在電纜介質上的直流殘餘電壓，對固體介質產生極化及累積空間電荷，影響電纜系統既有耐壓性能；為保障電纜及附屬配件性能，除須具備承受交流電壓與直流電壓既有之絕緣性質外，亦須具備線路停電後，類同直流加壓之抗極化及電壓極性反轉之耐受性能。而斷路器啟閉同步性，攸關首先啟斷相極間恢復電壓上升倍率；若斷路器採購合約中，未具體載明斷路器啟閉之同步性時間規範，建議可依IEEE Std. C37.04-1999標準，要求竣工、維護試驗時以 (1)閉合操作之三相接觸子間的同時性，不得大於1/4週波；(2)啟斷時，三相接觸子分離之同時性，不得大於1/6週波之性能，作為斷路器之同步性規範。

一般以R、C並聯或/及串聯等效電路表示絕緣物質電氣特性，並以電容性電流(I_C)、洩漏電流(I_L)、導電性電流(I_G)、吸收電流(I_A)及總電流(I_T)之時間-電流曲線說明其絕緣性質；介質電容可於加壓瞬間充滿電荷，亦可於接地瞬間釋放電荷；惟儲存在R、C串聯元件中的吸收電流，需以較長接地放電時間去極化；建議在相關對策研議成熟前，電纜系統停電後，接地時間以30分鐘以上為宜。

參考文獻

[1] R. Bartnikas, Power and Communication Cables – Theory and Applications, John Wiley & Sons, IEEE Press, 1999.

[2] Ostad I. Gilbertson, Electrical Cables for Power and Signal Transmission, John Wiley & Sons, 2000.

[3] Willam A. Thue, Electrical Power Cable Engineering, Marcel Dekker, 1999.

[4] IEEE Std 404-2000, IEEE Standard for Extruded and Laminated Dielectric Shielded Cable Joints Rated 2500V to 500 000V.

[5] “The development of 500kV CV cable” Trans. IEEE of Japan, Vol. 116-B, No. 3, March, 1996

[6] Frank J. Wester, “Condition Based Maintenance of MV Power Cable Systems on The Basis of Advanced PD Diagnostics,” *IEE CIRED Conference Publication* No. 482, June, 2001.

[7] IEEE Std C37.012-2..5, IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers.

[8] IEEE Std 400-2001, IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems.

[9] IEEE Std C37.06-2009, IEEE Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis-Preferred Ratings and Related Required Capabilities for Voltages Above 1000 V.

[10] TPRI-G7.8 2102-0033 技術報告，2011年3月。

綠色能源汽電共生電力系統併聯技術 最佳化探討

台電嘉南供電區營運處電驛組 許文興

一、前言

1.1 汽電共生基本概念

1. 汽電共生系統(cogeneration system 簡稱 CGS)，係利用燃料或處理廢棄物時，同時產生二種能量如有效熱能與電能之系統。因汽電共生系統能提高熱能、生產總熱效率，以促進能源有效利用，是為高效率之設備，其利用率可達80%以上，同時對環境可以減少污染，促進能源多元化，並能以台電之尖離峰負載管理來配合負載狀況運轉，是為最可推廣之能源。

2. 由於汽電共生系統具有能源節約、減少環境污染之優點，正被各國所重視且積極推廣。有鑑於國內自產能源缺乏，大部分能源均仰賴國外進口，因此確保能源穩定供應、促進合理能源價格、提高能源使用效益、防治能源污染環境及促進節約能源之技術發展，是政府既定之能源重大政策。由於汽電共生系統推廣辦法中為避免能源之浪費而違背本辦法之政策，對合格汽電共生系統的有效熱能產出比率及總熱效率有一定規範，其主要規範如下。

(1) 有效熱能產出比率不低於百分之二十。

有效熱能產出比率 = 有效熱能產出 / (有效熱能產出 + 有效電能產出) > 20%。

(2) 總熱效率不低於百分之五十二。

總熱效率 = (有效熱能產出 + 有效電能產出) / 燃料熱值 > 52%。

其中有效熱能產出比率不低於百分之二十規定，使得合格汽電共生系統電熱比不得超過 3.0，以明確區別一般發電系統，另外，總熱效率不低於百分之五十二規定，更確定合格汽電共生系統將是一種高能源有效使用的發電系統。如合格汽電共生系統不符合上述規定者，由主管機關通知限期改善，逾期不遵行者，得註銷其登記。

1.2 汽電共生系統型式分類

依據循環中產生電力或利用熱能的先後不同，可區分為兩大類，一為先發電式循環汽電共生系統(Topping Cycle)；另一為後發電式循環汽電共生系統(Bottoming Cycle)。

1. 先發電式循環汽電共生系統(Topping Cycle)

藉燃料燃燒後產生之熱流體，帶動原動機產生電力，從原動機排出之廢氣熱流再應用於製程、空調、冷暖房及其他用途，如圖 1 所示。一般而言，先發電式循環汽電共生系統較適合於需要低溫製程之產業，如食品、化工、造紙等。

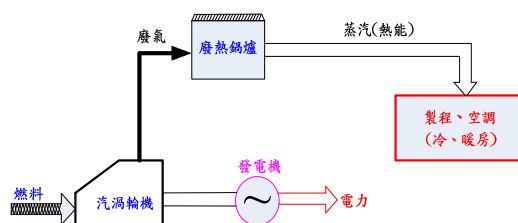


圖 1 先發電式循環汽電共生系統圖

2 後發電式循環汽電共生系統 (Bottoming Cycle)

係利用製程中之廢熱，由廢熱回收鍋爐產生蒸汽，再經汽輪發電機發電，如圖 2 所示。一般而言，後發電式循環汽電共生系統較適合於需要高溫熱源之產業，如水泥、煉鋼、冶金等。

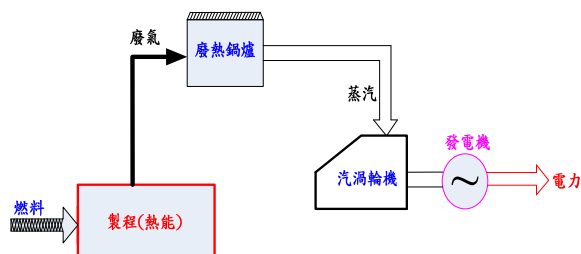


圖 2 後發電式循環汽電共生系統圖

1.3 電力系統組成結構

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

- 1.發電系統：主要是利用水力、火力、核能等能源轉換成電能，包括發電與昇壓設備。
- 2.輸電系統：由發電廠所產生的電力，輸送至遠距離的各個用電中心、變電所。其間的線路稱為輸電線路，系統包括有一、二次輸電線路、降壓、控制及保護設備。
- 3.配電系統：用電中心區域(69kV、161kV、345kV)，經降壓後再用線路分配到各用戶，稱為配電，其間的線路稱為配電線路，系統包括有配電變電所，一、二次配電線路、配電變壓器及其他設備。

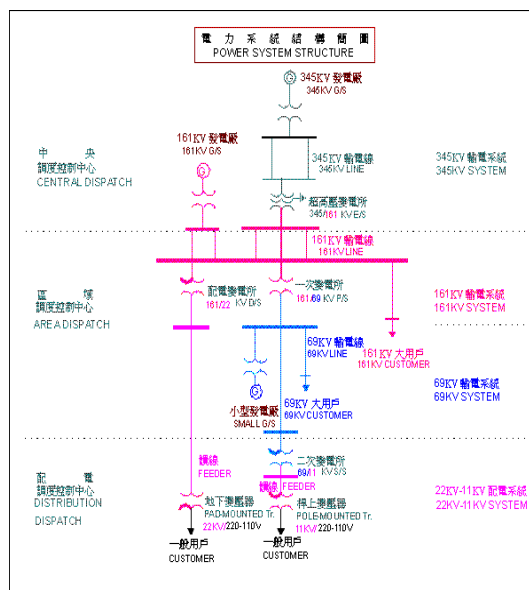


圖 3 電力系統結構圖

二、汽電共生系統用戶與台電系統之併聯技術

為汽電共生系統用戶與台電系統併聯時，共同維持電力系統之品質、供電之可靠性及公共安全。國內相關一般工廠之汽電共生系統發電量有限，不足供應本身用電，尚須向台電購買電力，若汽電共生系統用戶在購售電辦法足以激勵其電能產出增加，致有過剩電力躉售台電，或汽電共生系統用戶定期停電檢修、故障時需由台電供應電力，以維持工廠生產，因此汽電共生系統用戶均需與台電系統併聯，確保電力供需順暢，增進用電安全。

為維持整體系統供電可靠與電力品質，汽電共生系統用戶與台電系統間須能相互運轉並能取得相互間控制、偵測與保護協調，如系統網路互聯、保護電驛協調、遙控遙測、通訊線路、安全防護、頻率與電壓調整、經濟調度、負載管理、卸載程序及緊急電力轉供等。

2.1 依發電機組設備容量與台電引接之電壓等級

汽電共生系統與台電系統要能相互協調併聯運轉，最主要考量是發電機組設備

容量大小，但最主要是不能影響電力系統安全性，供電品質及系統穩定性，依其發電機組設備總容量決定引接之電壓系統而定，如表 1 所示。

表 1 併聯於台電系統之汽電共生設備電源引接方式

項次	發電機組設備容量	電壓等級	引接方式
1	10,000kW以下	11.4kV系統	配電系統
2	20,000kW以下	22.8kV系統	配電系統
3	95,000kW以下	69kV系統	特高壓輸電系統
4	1,000,000kW以下	161kV系統	一次輸電系統
5	1,000,000kW或購電契約容量達450,000kW	345kV系統	超高壓輸電系統

備註：汽電共生系統在維修或故障時，得向台電申請備用電力。
備用電力提供原則按台電營業規則第六條之一規定辦理。

2.2 汽電共生系統用戶申請併入台電系統

汽電共生機組欲申請併入台電系統，成為合格汽電共生用戶，需經過該地區供電能力檢討，並經由供電會議決議該系統供電方式，其規劃興建之前應向台電提出申請，並以不違反台電輸電系統規劃準則，經台電審查同意後始可併入台電系統，以維護系統安全，如圖 4 所示。

1. 用電計畫書：須包含併入系統時程、相關發電、購售電力及機組模型參數等資訊。
2. 系統衝擊檢討報告：須包含電力潮流、故障電流(總裝置容量 10,000KW 以上)及系統穩定度(總裝置容量 95,000KW 以上)等項目。

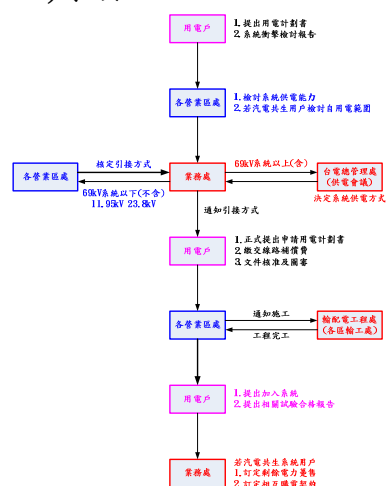


圖 4 汽電共生用戶欲併入台電系統申請用電流程圖

2.3 汽電共生系統用戶引接之考慮事項

汽電共生系統自備發電機組所輸出之電力與台電系統併聯運轉，雖有不同考慮方式，但最主要著重於最新電力技術引進與最新管理之技術，以共同維持整體系統供電之品質、可靠、經濟及系統安全。

2.3.1 汽電共生系統併聯一般考慮事項

1. 汽電共生發電廠之發電機、保護設備、變壓器、斷路器及相關設備等，由汽電共生用戶配合台電系統之需求自行規劃、設計、安裝、維護及試驗後會同台電加入系統。

2. 汽電共生發電廠之保護設備相關部份之設計圖面與計算、遙測監視設備、負載管理設備、負載限制裝置等資料應於設備採購前並同圖面先送台電審查。

3. 汽電共生用戶單機裝置容量 300,000KW(含)以上者，應於發電機端裝設遙測監視設備，將(P、Q、V)信號傳送至台電中央調度中心；69KV 以上、單機裝置容量 100,000KW(含)以上至 300,000KW 者，應於發電機端裝設遙測監視設備，將(P、Q、V)信號傳送至台電區域調度中心或變電所，並接受台電之安全調度及無效電力調度。遙測監視設備信號應依照台電之通訊協定，且該設備由汽電共生用戶安裝與維護。

4. 汽電共生系統使用同步發電機者應設置自動同步併聯設備，如於責任分界點與台電系統自動併聯時，其方式須與台電系統配合。

5. 當汽電共生系統之發電機組跳脫時，需能在 1 秒內自動限制其自台

電系統受電之負載在契約容量以下。

6. 連接台電系統之電源線故障或停用時，用戶系統應即與台電系統解聯，並在用戶系統之線路側設置線路無電壓之確認裝置。

7. 有下列情況之一時，台電得以電話或書面通知用戶系統與台電系統解聯：

(1) 台電與該汽電共生用戶相關之設備維修時。

(2) 相關之台電設備工作停電時。

(3) 汽電共生發電廠保護設備不周全時。

(4) 影響其他供電安全需要時。

8. 調度與通訊

(1) 汽電共生發電廠應裝設防情電話，配合民防單位執行防情燈火管制。

(2) 69KV 以上汽電共生用戶系統。

A. 69KV、161KV 系統應於控制室裝設專用電話(附話中插接功能)至台電區域調度中心。

B. 345KV 汽電共生系統及單機裝置容量 300,000KW 以上者，應於控制室裝設專線電話及專用電話(附話中插接功能)至台電中央調度中心。

C. 應依台電編訂之「電力系統運轉操作章則彙編」運轉操作。

(3) 配電用戶系統。

A. 汽電共生發電廠應具有完善之通訊設備附話中插接功能，每日 24 小時與台電有關調度員保持連繫。

B. 應依台電編訂之「配電系統汽電共生用戶發電機調度規則」運轉操作。

9. 汽電共生發電廠出口端之斷路器

台電端之斷路器間應裝設連動跳脫裝置，當台電端之斷路器跳脫或工作停電切開時，汽電共生發電廠出口端之斷路器應同時受遙控切開，有關設備由汽電共生用戶負責施工維護，其連接線路應租用電信單位專線，並另外設一備用回路，兩者應分行不同路徑，以確保連接安全可靠。本項裝置有關資料應事先送台電審查。(本項適用於配電系統引接者)

10. 汽電共生發電廠之電壓變動超過限制值或標置值，或台電設備故障時，引接於台電配電系統汽電共生發電廠出口端之斷路器應於 10 週波內自動跳脫並隔離高壓配電系統。(本項適用於配電系統引接者)

11. 引接於台電配電系統者，得由台電發變電所以高壓配電線或由一般配電線引接，其限制如下：

(1) 11.4KV 配電線，最大逆送電力不得超過 5,000KW。

(2) 22.8KV 配電線，最大逆送電力不得超過 10,000KW。

12. 汽電共生系統之諧波污染限制，應依照「電力系統諧波管制暫行標準」辦理。

13. 建議汽電共生系統自行選擇裝設 PQ 記錄儀以輔助用戶系統之運轉。

2.3.2 汽電共生系統併聯運轉安全考慮事項

1. 汽電共生系統併聯時，以不影響系統及其用戶之供電品質，故須裝設自動電力限制裝置。

2. 合格汽電共生用戶應依汽電共生併聯技術要點共同遵守有效運轉。

3. 汽電共生系統併聯時，以不危害公共安全及雙方供電設備之運轉。

- 4.合格汽電共生用戶為定期維護或緊急事故搶修時，須開啟斷路器及掛接地設備，防止人員及設備安全，應設置保安通訊電話，確保雙方聯絡暢通。
- 5.合格汽電共生用戶，訂定購售電辦法，若無躉售台電時，應裝設逆向電力保護電驛併延遲協調時間後切離分界點之斷路器，確保系統穩定與供電安全。
- 6.合格汽電共生用戶要能具有單獨運轉之負載限制及負載管理，確保系統事故時能保留重要負載繼續維持供電。
- 7.合格汽電共生用戶若鄰近設備事故時，需立即偵測快速脫離系統，若不是鄰近設備事故時，則不得隨意跳離系統。
- 8.系統發生事故或擺動時，會產生頻率電壓變動，合格汽電共生用戶應裝設頻率電壓變動自動控制設備。
- 9.汽電共生發電機組設備在系統擺動或失步時，有跳機之慮時，需裝設失步保護電驛設備。
- 10.發電機組設備容量大小不一，考慮得接於低壓配電線路、高壓配電線路或特高壓輸電線路，其容量與阻抗大小會影響系統短路容量，若短路容量增加，需安裝電抗器限制，因事故產生之故障電流不得影響斷路器之啟斷容量。
- 11.系統事故後是否考慮自動復閉，須加裝同步檢定電驛及無電壓確認裝置。
- 12.為維護無效電力供需平衡，需安裝電容器或自動電壓調整裝置，以確保聯結點之功率因數達 85% 以上。

2.3.3 汽電共生系統併聯運轉監測與控制方式

汽電共生系統與台電系統併聯，因兩者之功能與特性不同，在整體規劃設計協調運轉上達到雙方互利互惠之目標。在保護協調上具備應有功能外，並與整體監測

與控制系統要互相配合，以達到最有利之運轉，同時配合台電現有階層電力調度控制系統，可區分二種架構。

1. 集中監測與控制

汽電共生大型系統(1000MW 以上)聯接於台電中央調度控制中心轄區內各超高壓變電所時，則受台電中央調度控制中心控制操作。若汽電共生中型系統(95~1000MW)聯接於台電區域調度控制中心轄區內各一次變電所時，則受該區域調度控制中心控制操作，即可為集中監測與控制，如圖 5 所示。中央及每一區域調度控制中心將監管一個或數個汽電共生系統用戶，來集中監測控制資訊處理及對台電超高壓變電所或一次輸變電系統與合格汽電共生系統用戶等整體功能做成最好運轉決策，以期雙方能達到供電可靠、品質優良及發電成本最低廉之政策。

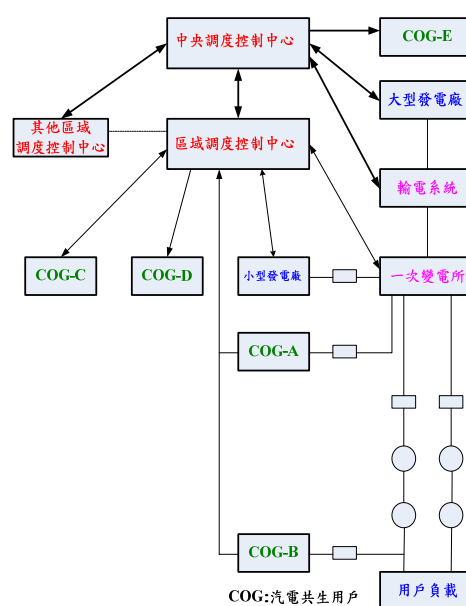


圖 5 集中監測與控制系統圖

2. 分散監測與控制

若汽電共生小型系統(20MW 以下)聯接於台電配電調度控制中心所轄區內二次變電所時，則須受該配電調度中心控制操作。因汽電共生小型系統係分散接於配電

調度控制中心，且須受上層區域調度控制中心監督，故稱分散監測與控制，如圖 6 所示。每一區域調度控制中心將監管二至四個配電調度中心，並負該轄區內電力調度之責，至各二次變電所及其聯結之合格汽電共生系統用戶等整體功能監測操作，則由該轄區配電調度中心負責，以期雙方能達到供電可靠運轉之政策。

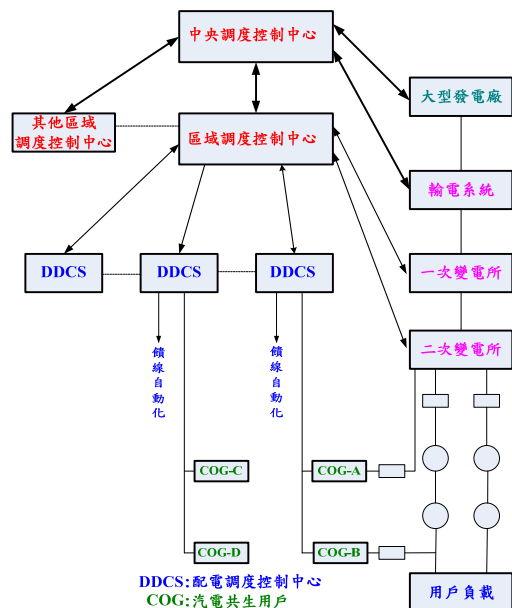


圖 6 分散監測與控制系統圖

2.4 汽電共生系統用戶併聯台電系統之技術準則

汽電共生系統併聯於台電系統，均訂定併聯技術準則，以利雙方共同遵守，若有其他情況能發揮最佳保護功能，以確保併聯系統能安全運轉與保護，同時對工作人員之安全能獲得保障。

1. 故障電流

(1) 69kV 以上汽電共生系統

A. 由汽電共生系統發電機組提供台電系統之故障電流不得影響台電及其他用戶斷路器之啟斷容量，否則須裝置限流設備或負擔因此而改善之費用。

B. 汽電共生系統與台電系統連接之主變壓器高壓側中性點接地方式應與

台電系統配合。

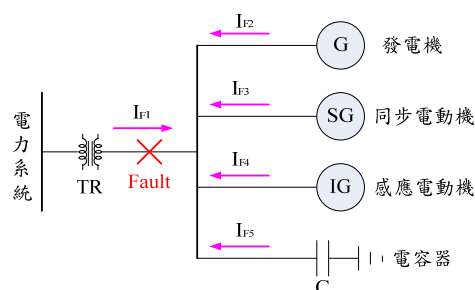
(2) 配電用戶系統

A. 汽電共生發電廠與台電配電系統併聯，其發電機組加入後之系統三相短路電流應小於 10kA，否則須裝置限流設備限制之。

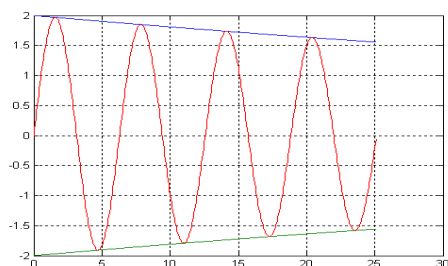
B. 汽電共生系統發電機組之零序電流應與台電配電系統隔離。

(3) 電力系統故障種類與短路故障電流來源

電力系統發生短路故障時以三相短路故障電流最大，其他之兩相短路故障、兩相短路接地故障及單相接地故障電流都不比三相短路故障電流大，因此在計算短路故障電流時都以三相短路故障來考慮就可以了。且電力系統發生短路故障以單相接地故障佔比在 85% 以上，同時單相接地故障電流不會超過三相短路電流，因此以三相對稱短路電流來檢討既可。電力系統設備因短路故障是無法避免，當故障發生將產生短路故障電流，保護設備偵測到故障訊息必將安全地動作，將故障的設備快速隔離，阻止故障電流繼續流通，使損失減至最低，停電的範圍不在擴大，如圖 7 所示。



(a) 故障電流來源分佈



(b)總和故障電流

圖 7 電力系統故障與短路故障電流圖

2. 功率因數

汽電共生系統與台電系統責任分界點之功率因數：

(1) 於尖峰時段(8:00~21:00)汽電共生系統發電供應台電系統時，無效電力與有效電力輸出比值不得低於三分之一($Q/P > =1/3$)，或功率因數至少 0.95 落後為原則。

(2) 於離峰時段(21:00~次日 8:00)、例假日、國定假日及春節等期間，汽電共生系統發電供應台電系統時，以不逆送無效電力至台電系統為原則。

(3) 汽電共生系統如使用感應發電機，應設置電容器等相關功率因數改善控制設備，於發電供應台電系統時，其責任分界點之功率因數應維持在尖峰不吸收、離峰及假日不供給台電系統無效電力為原則。

(4) 功率因數改善：係指有效電力對視在功率之比率。

$$Pf = \frac{KW}{KVA} = \frac{KVACOS\theta}{KVA} = COS\theta$$

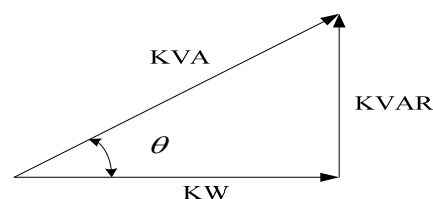
$$Q_C = Q_L - Q = P_L \tan \theta_l - (P_L - P_C) \tan \theta$$

$$Q_C = |V_C|^2 B_C = |V_C|^2 \times 2\pi f C$$

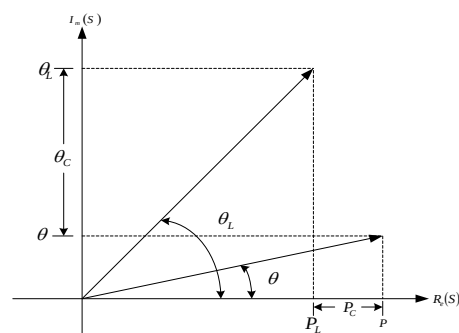
A. 單相電路: $C = \frac{Q_C}{2\pi f |V_C|^2}$

B. 三相電路則每相之電容值:

$$C_A = \frac{Q_{ct}/3}{2\pi f |V_C|^2}$$



(a)功率因數圖



(b)功率因數改善圖

圖 8 功率因數改善圖

3. 電壓變動

(1) 汽電共生系統其平時之電壓變動應維持在 $\pm 2.5\%$ 以內。

(2) 汽電共生系統之發電機組為感應發電機型，併聯時電壓驟降不得超過 5%。

(3) 電壓閃爍維持在 2% 以下。

4. 暫態穩定度

(1) 汽電共生系統接於 345kV 系統者，其電源線三相故障之臨界清除時間在 4.5 週波以上。

(2) 汽電共生系統接於 161kV 系統者，其電源線三相故障之臨界清除時間在 12 週波以上，若 8~12 週波須採用兩套全線段快速主保護電驛。

(3) 345kV 及 161kV 汽電共生系統不得使台電系統之暫態穩定度降低至上述第 1 項或第 2 項規定值之下。

5. 諧波

(1) 汽電共生系統之諧波污染限制，應依照「電力系統諧波管制暫行標準」辦

理。

(2)汽電共生系統發電機產生之諧波應有管制，避免增加系統之諧波量，影響相關線路設備或保護電驛誤動作。

(3)總諧波失真度(Total Harmonic Distortion,THD)

$$THD = \left(\sqrt{\sum_{h=1}^N H_h^2} / H_1 \right) \times 100\%$$

H=電壓或電流。若為電壓則稱為電壓總諧波失真度，若為電流或則稱電流總諧波失真度。

h=諧波級數

6.保護設備：用戶系統之責任分界點至少應有下列保護電驛。

表 2 用戶責任分界點應有下列保護電驛

項目	保護電驛	電驛代號	備註
1	方向性過電流電驛	67	方向性過電流保護
2	過電流電驛（附瞬時過電流元件）	50/51	過電流保護：69KV以上（含）使用Normal Inverse，配電使用Extremely Inverse。
3	接地過電流電驛（附瞬時過電流元件）	50N/51N	接地過電流保護：69KV以上（含）使用Normal Inverse，配電使用Extremely Inverse。
4	接地過電壓電驛	59Vo	接地保護 附延時元件者：0.1-5秒
5	過電壓電驛	59	附延時元件者：0.1-5秒
6	低電壓電驛	27	附延時元件者：0.1-5秒
7	高低頻率電驛	81H/81L	附延時元件者：0.1-5秒
8	逆送電力電驛	32	附延時元件者：0.5-10秒 具反時特性 用戶系統： (1)有逆送電力者免設置 (2)無逆送電力者則請設置

備註：未盡事宜則參考 ANSI、IEEE、IEC 等標準辦理。

三、汽電共生系統併聯台電系統之相關問題與對策

依據汽電共生併聯技術要點，合格汽電共生系統併聯於台電系統，除購售電契約容量規定、發電機組大小設計、變壓器容量、斷路器規格及保護設備、保護電驛裝設等，確保於線路停電工作或故障時，工作人員及設備不會遭受威脅及損失，確保用電安全。

3.1 逆送電力之安全問題

1.合格汽電共生系統併聯於台電系統，不管有逆送電力或無逆送電力，當台電系統之線路停電工作或故

障，汽電共生發電系統應予解聯，不得有逆送電力輸出至已停電之線路系統上。最主要是該停電之線路有人在工作或無人工作但仍接至其他用戶，如有逆送電力至已停電之線路上，就形成單獨運轉供電，有可能使工作人員遭受感電事故或產生異常電壓燒毀用戶用電設備，造成不必要困擾與損失。

2.當台電系統之線路停電工作或故障，汽電共生系統併聯於線路上，自用感應發電機繼續送電至線路上，因會成為自激磁產生異常電壓，會損壞用戶用電設備，因過電壓只能限制過壓時間，未能控制過壓大小，且自激磁產生之異常電壓上升很快，易造成危害。

3.合格汽電共生系統與台電系統解聯時，為供應負載，發電機組輸出電力會增大，速率會上升，頻率接著上升，即電壓與頻率會產生異常。發電機負載輕，起動時或負載有變動時，速率會加速，頻率會上升，若控制機構控制不良，會影響台電系統電壓與頻率。

4.若台電端斷路器跳脫系統解聯，但汽電共生系統出口側斷路器未跳脫，此時自用發電機組出力小於負載，則電壓與頻率會下降；反之出力大於負載則電壓與頻率會上升，若出力等於負載則電壓與頻率於工作範圍，電壓與頻率變動很小，此時之電壓與頻率電驛無法適時偵測跳脫出口端斷路器，自用發電機組會繼續逆送電力至台電系統線路上。

5.合格汽電共生系統用戶簽訂無電力躉售，於設計圖審文件即裝設逆送電力電驛，避免台電系統之線路停電工作或

故障時，不會有逆送電力輸出，以防止機組單獨供電運轉。

3.2 如何防止汽電共生發電機組單機運轉繼續送電至台電系統

依據汽電共生併聯技術要點，連接於台電系統之線路故障或停電時，汽電共生系統併聯用戶應適時解聯，即出口端之斷路器應依保護協調設定值適時啟斷，確保運轉安全。

1. 責任分界點應裝設之保護電驛有方向性過電流電驛、過電流電驛(附瞬時過電流元件)、接地過電流電驛(附瞬時過電流元件)、接地過電壓電驛、過電壓電驛、低電壓電驛、高低頻率電驛、逆送電力電驛等。
2. 汽電共生系統出口端之斷路器與台電端之斷路器裝設連動跳脫裝置或遙控跳脫裝置。
3. 合格汽電共生發電機有逆送電力時，須裝設轉換遮斷器 (Transfer Interruption Device)。
4. 汽電共生發電機控制設備裝設電壓電驛或利用電壓相位急變，諧波電壓急增、頻率急變等方式偵測並予解聯。
5. 汽電共生發電機組逆送電力經常不超過台電端線路之負載，以避免解聯後電壓異常。

3.3 汽電共生系統對能源使用規劃之整體效益

1. 合格汽電共生系統用戶簽訂有購電與躉售電力合約，在系統離峰時刻向台電購電，在系統尖峰時刻向台電躉售電力，系統尖峰發電量不足時，汽電共生系統用戶在用電地點適時提供電力，對台電供電能力有很大幫助，即能提高系統能源使用效率，對全國能源或經濟有很大的整體效益。
2. 從供電的線路損失而言，電源離用電中

心點愈進愈好，可減少輸變電投資，亦可減少線路損失。

3. 對汽電共生系統用戶本身而言，發電除本身自用外，剩餘電力可躉售台電，且其電源與台電線路併聯，若本身發電設備故障，可利用備用電力向台電購電，若台電線路設備故障，亦可解聯自動限制負載，改由自用發電設備繼續供電主要用電設施，因此對汽電共生系統用戶之供電是非常可靠的。
4. 汽電共生系統用戶大部份分散於各地區，對於區域發電平衡及自給自足，可說是一舉數得，尤其目前發電量還是吃緊之情況下，有改善空間，對國家整體經濟效益發展上獲益良多。

四、汽電共生系統併聯後之供電品質

汽電共生系統自備發電機組所輸出之電力與台電系統併聯運轉時，必須考慮各種可能發生的問題，且汽電共生系統之對象為很多種類的一般用戶，因用戶特性不同，其運轉的型態也各有異，為確保用電穩定與供電安全，有必要考慮連接到電力系統後對電力品質的影響。

4.1 電壓與頻率

1. 電壓

因電力設備輸電線路遭受雷擊或發電機跳脫等事故，將會產生電壓異常或瞬時電壓降低，此情況影響瞬時電壓降低之設備，產生電壓異常原因如下：

- (1) 併聯於線路之負載小於發電機輸出容量時，電壓會上升現象。
- (2) 當系統事故或停電時，自用發電機組解聯，電壓會下降現象。
- (3) 在重載情況下，自用發電機組跳機，電壓會下降現象。
- (4) 未有足夠容量以供應激磁電流時，會產生電壓異常。
- (5) 自用發電機組併聯啟動不良或失敗

時，會產生電壓異常。

(6)有逆送電力之自用發電機組併聯時，電壓會升高現象。

(7)自用感應發電機組附有原動機如兩者不同步，會有 5 至 6 倍突入電流，發生電壓驟降現象。因此感應發電機組應裝置限流電抗器，同步發電機組應裝置同步檢測設備。

2. 頻率

為維持電力系統一定的頻率，即供給電力要等於需求電力。在運轉上台電有決對自主權來控制發電機之出力，使系統維持一定的頻率，故合格汽電共生系統用戶應配合台電調度。

(1)台電系統有緊急狀況時。

(2)台電系統相關設備需要停電維護、試驗時。

(3)檢查汽電共生系統用戶設備時。

(4)汽電共生系統用戶維護設備不良或無維護設備紀錄。

(5)汽電共生系統用戶保護設備不符合要求。

(6)有影響其他供電安全時。

4.2 功率因數

1.依據汽電共生併聯技術要點規定，責任分界點之功率因數依其規定，避免影響供電品質。

2.依汽電共生系統用戶運轉狀況，大部份在白天尖峰時段躉售電力，晚上離峰時段向台電購電，因此規定在尖峰時段功率因數要在 0.95 落後，即不只輸出有效電力，同時亦要輸出無效電力，不能完全由台電供應無效電力。在離峰時段，因台電供應量減少，不需要汽電共生系統之無效電力，以減少線路損失。

4.3 諧波管制

1.汽電共生系統發電機產生之諧波要有限制，避免增加系統諧波量，因而損壞

相關線路設備或導致保護電驛誤動作。台電對汽電共生系統用戶之諧波有一定之限制量，自用發電機組欲減少諧波進入台電系統，在發電機與台電系統線路之間所裝設之升壓變壓器要有一三角形接線，確保不超出諧波管制量。

4.4 短路容量

1.電力系統線路或設備故障時，發電機及電動機會提供故障電流，因機組設備不一樣，提供故障電流不同，電力系統之短路容量不一，依系統阻抗而定，而斷路器額定規定是依裝設點的短路容量來決定。

2.合格汽電共生系統之發電機欲併聯於台電系統，就要考慮其輸出的故障電流大小會不會影響台電系統斷路器的啟斷電流能力，若增加之短路容量超出台電系統斷路器的額定啟斷容量，則汽電共生系統用戶應加裝限流電抗器設備以減少短路容量。

五、汽電共生系統併聯之保護設備與協調

為使汽電共生系統或設備萬一發生事故時，能正確快速隔離故障，縮小事故範圍，維持系統穩定度及運轉品質，對保護電驛標置設定與協調及做好測試工作，能在最短時間內準確跳脫隔離，確保系統正常運轉，提高系統穩定度。

5.1 汽電共生系統保護協調

1.依汽電共生發電機組設備總容量規定，可接到台電輸電線路，在責任分界點對保護電驛之選擇尤應兼顧到保護電驛之信賴度、安全性、可靠度、快速性、簡單性及靈敏度；因此，在不同的被保護電力設備，規劃不同之適當保護電驛。

2.為使系統或設備萬一發生事故時，能正確快速隔離故障，縮小事故範圍，維持系統穩定度及運轉品質，對保護電驛

5.2 汽電共生系統保護設備應有功能

1. 負責其發電機側能偵測並清除台電輸電線短路或接地故障，並能自動解聯。
2. 台電輸電線停電，應能偵測出電壓與頻率之變動，並能自動隔離其發電機。
3. 若台電供電正常，沒有其他設備故障或異常，應能防止發電機再併聯。
4. 汽電共生系統自備發電機故障，發電機機組應在一秒內自動切離併聯系統，並由自動負載控制器控制負載在契約容量以下。
5. 汽電共生系統用戶與台電系統連接之電源線故障或停電時，用戶應儘速解聯，用戶端應設置線路無電壓之確認裝置。
6. 非鄰近電力系統異常事故時，則以不跳機為原則。
7. 若欲快速復電操作而採用自動復閉電驛時，應考慮所聯結之線路有無電壓及同步情形。

5.3 汽電共生系統責任分界點保護電驛

合格汽電共生系統用戶，經台電審查通過後，其汽電共生系統之責任分界點應按併聯技術要點裝設保護電驛，各相關保護電驛功能應用說明如下。

1.50/51：過電流保護電驛(附瞬時過電流元件)

合格汽電共生用戶內發生短路故障時，台電系統將提供大量短路電流。此時應快速切離兩者間之連接輸電線，為避免事故擴大，故需於責任分界點裝設 50/51 保護電驛適時跳脫斷路器，以確保用戶及其他相關設備之安全。

2.50N/51N：接地過電流保護電驛(附瞬時過電流元件)

合格汽電共生用戶內發生接地故障時，台電系統將提供接地故障電流。此時應快速切離兩者間之連接輸電線，為避免

事故擴大，故需於責任分界點裝設 50N/51N 保護電驛適時跳脫斷路器，以確保用戶及其他相關設備之安全。

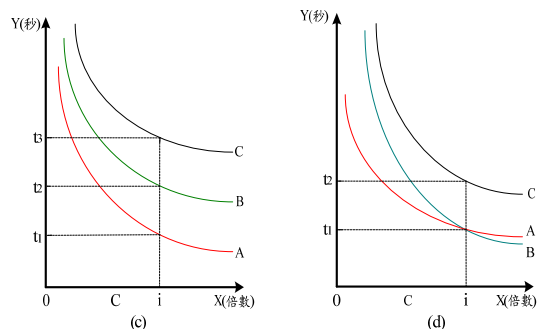
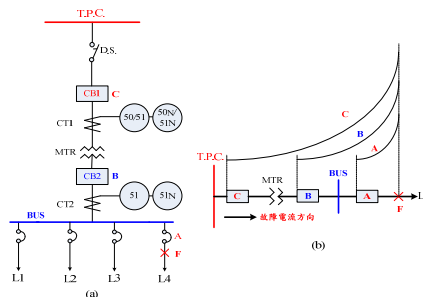


圖 11 (a)典型變壓器保護單線圖

(b、c) A、B、C 特性曲線於電流 i 時不相交 (d) A、B 特性曲線於電流 i 時相交圖

3.67：相間方向性過電流電驛

該電驛係由方向性電驛及過電流電驛兩者之組成體，其方向性元件動作視故障電流方向而定。如故障電流之方向與預定之保護方向一致時，則動作並閉合其接點；反之方向性元件不動作，其接點開啟。而其過電流元件則決定其故障是否發生在保護區段內，如果確定發生在保護區段內，待方向性元件動作後，並閉合其方向性接點，再經適當時間延遲後動作，跳脫相關斷路器而隔離故障。

當併聯運轉時，在台電系統發生相間短路故障時，汽電共生發電機將會提供故障電流至台電系統之故障地區，如此會增加台電系統之故障電流及短路容量，此一現象乃是併聯所導致之結果，為防止此現

象發生，裝設 67 保護電驛來偵測是否逆電流流入，若有逆電流流入，同時動作跳脫斷路器，阻斷短路電流繼續流入台電系統，以確保供電安全。

4.59：過電壓電驛

當輕載及無效電力充裕或負載突然跳脫時，會產生電壓偏高現象。在正常運轉中，不應該有電壓過高現象發生，惟上述因素或發電機之自動電壓調整器過慢反應時，將會有發電機電壓上升之危險。電壓太高將危及電力設備之絕緣而損害設備，因此為避免電壓太高繼續上升之危險，應裝設 59 保護電驛來偵測電壓偏高現象，以確保電力設備之安全。

5.27：低電壓電驛

當電力系統或設備持續超載運轉、無效電力不足或保護一相斷線而失去一相電壓時，均會引起系統電壓降低現象。因此為避免電壓驟降現象，應裝設 27 保護電驛來偵測系統電壓驟降之故障，以確保電力設備之安全。

6.59Vo：接地過電壓電驛

當系統正常時，三相電壓保持平衡，沒有零相電壓，此電驛不會動作。當有一相接地時，Y 型接法比壓器的一次側一相被短路，即有兩相電壓存在，此時在三次線圈引起不平衡電壓，在開口處存有 $\sqrt{3}$ 倍的電壓存在，會使 59Vo 保護電驛動作，跳脫相關斷路器，以確保電力設備之安全。

7.32：逆送電力電驛

若與台電系統有電力銷售契約者，免裝設逆送電力電驛；若與台電系統無電力銷售契約者，於分界點處裝設逆送電力電驛，以備於正常運轉期間，若有發生電力逆送台電系統時，由 32 電驛可及時跳脫動作，啟開斷路器。

8.81H/L：高低頻電驛

為維持穩定系統於額定頻率運轉，其系統之發電量與負載均隨時穩定平衡，為保持平衡而有變動時，其系統頻率即將引起變化。當台電系統內大機組事故跳脫而電源不足時，發電機轉子減速，系統頻率會下降；反之，則系統頻率升高。

5.3.1 主變壓器之保護電驛

1. 汽電共生系統應參照 ANSI、IEEE 或 IEC 等標準辦理主變壓器之保護電驛事宜，並依技術要點送台電審查。

2. 主變壓器 10MVA 以上者，應裝設差動電驛(87T)，接於 161KV 以上者請裝設高速差動電驛。

3. 69KV 以上主變壓器二次側之中性點接地時，該中性點應裝設接地過電流電驛(51NT)，其動作要跳脫兩端一、二次側之斷路器。

4. 87T 保護原理：

變壓器一次側(高壓側)比流器與二次側(低壓側)比流器，因事故異常產生不平衡電流時，此差電流會流過保護電驛之動作線圈，達動作線圈之電流時使 87T 保護電驛動作，適時跳脫變壓器一、二次側之斷路器，如圖 12 所示。

5. 變壓器故障其電流分佈情形：

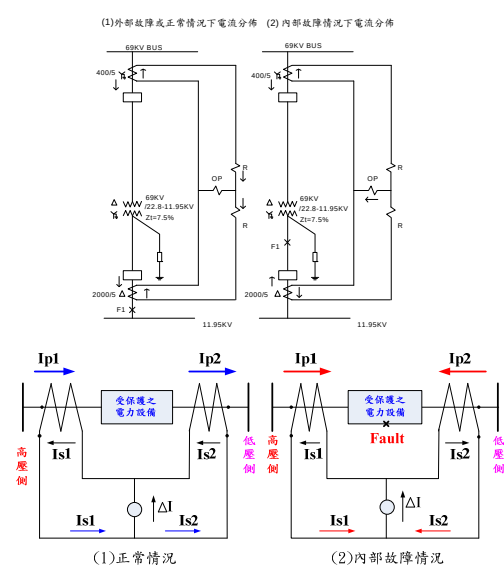


圖 12 變壓器故障其電流分佈情形圖

5.3.2 匯流排之保護電驛

1. 匯流排(345KV、161KV 或 69KV-GIS 者)應裝設高速匯流排電驛(87B)，其中 345KV GIS 應裝設兩套 87B。

2. 87B：匯流排保護電驛

(1) 保護原理：

依據克希荷夫電流定律，在任一節點上，流入節點與流出節點之總電流相量和為零。因此，在系統正常情況下或外部故障時，流入過電流電驛之電流為零，此時，保護電驛不會動作；若內部發生異常事故時，其所流入故障點之電流，為所有流入電流之總和，保護電驛因大故障電流通過，快速動作，適時跳脫相關斷路器，隔離事故，避免故障擴大，如圖 13 所示。

(2) 匯流排故障時電流分佈情況

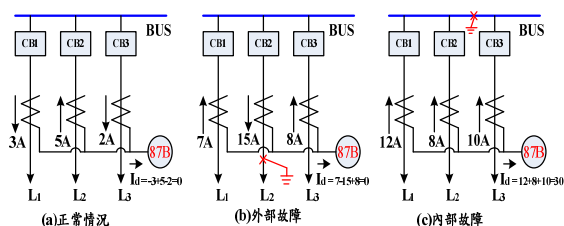


圖 13 匯流排故障時電流分佈情況圖

5.3.3 GPT 設備

1. 裝設此設備之目的在於系統在非接地系統時防止單線接地的運轉，該作用為靠 59V0 之動作經一定的延時動作有關斷路器將事故點隔離。

5.3.4 引接於 69KV 以上之汽電共生系統另其規定

1. 引接於 69KV 以上之汽電共生系統，因供電技術需要(或系統需要者)，台電得以個案檢討決定其供電引接方式及保護電驛方式。

2. 須採用二套全線段快速主保護電驛及後衛保護電驛系統者：

(1) 345KV 線路。

(2) 161KV 環路供電用戶或 161KV 線

路之三相故障臨界清除時間較短而影響電力系統穩定度者。

3. 環路系統或重要線路應裝設主保護電驛(快速)及後衛保護電驛，以配合台電系統之保護電驛協調及安全運轉。

5.3.5 汽電共生系統引接用戶之線路

1. 161KV 以上汽電共生用戶線路之全線段快速主保護電驛設備及所需設置保護用之通訊線路、介面設備等，由汽電共生用戶配合台電系統需求自行購置、維護；因應用戶加入，台電變電所側所需增加之保護設備採由台電購置，汽電共生用戶付費方式辦理。

5.3.6 汽電共生系統其他

1. 未盡事宜則參考 ANSI、IEEE 或 IEC 等標準辦理。

2. 保護電驛用 PT 請接自匯流排。

3. 汽電共生系統之保護電驛設備之運用應與台電協調。

4. 保護設備若有高頻電驛，其跳脫設定值不得低於 61Hz，若有低頻電驛，其跳脫設定值不得高於 58 Hz，並須送台電認可。

5.3.7 汽電共生系統之保護方式

汽電共生系統用戶發電機組設備總容量是按申請電壓等級引接，大致可分為 10,000kW 以下接於 11.4kV 系統、20,000kW 以下接於 22.8kV 系統、95,000kW 以下接於 69kV 系統、95,000kW 以上 1,000,000kW 以下接於 161kV 系統及向台電購電契約容量達 450,000 或 1,000,000kW 以上接於 345kV 系統。

1. 20000kW 以下無逆送電力之保護，如圖 14 所示。

2. 20000kW 以下有逆送電力在 1000kW 以下或以上之保護，如圖 15 所示。

3. 20000kW 以上接於 69kV 系統之保護，如圖 16 所示。

4.95000kW 以上逆送電力接於 161kV 系統之保護，如圖 17 所示。

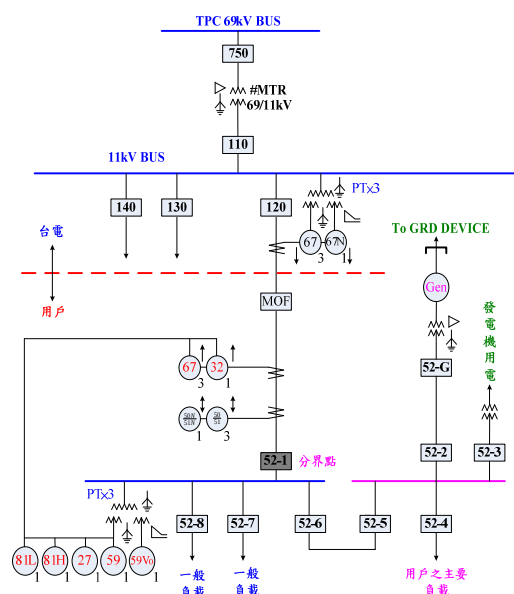


圖 14 20000kW 以下無逆送電力之保護圖

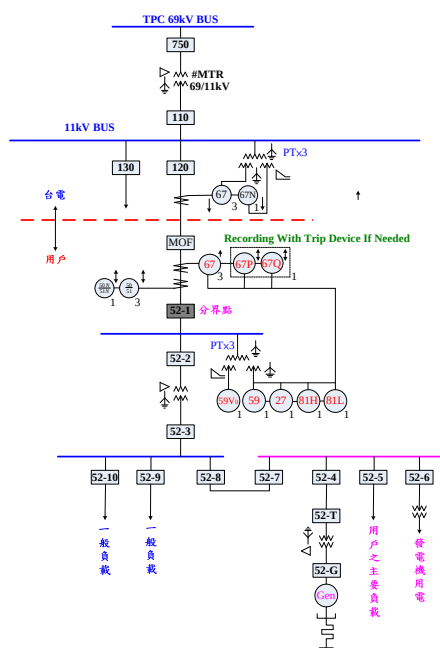


圖 15 20000kW 以下有逆送電力在 1000kW 以下或以上之保護圖

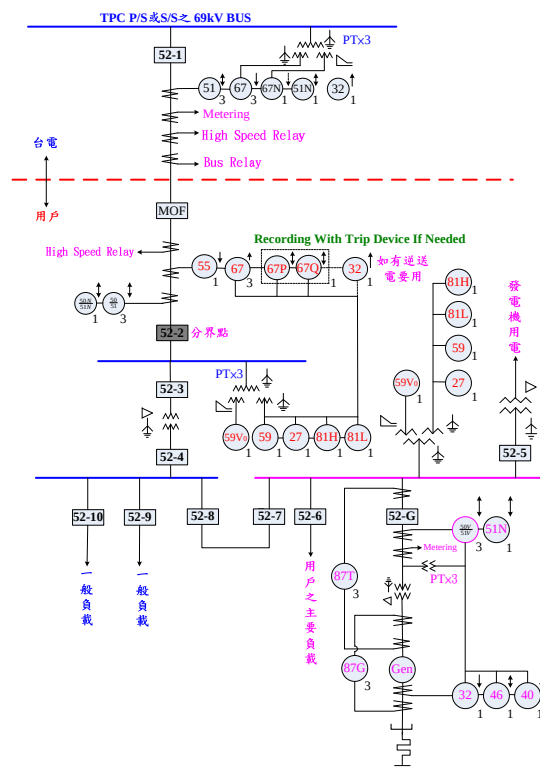


圖 16 20000kW 以上接於 69kV 系統之保護圖

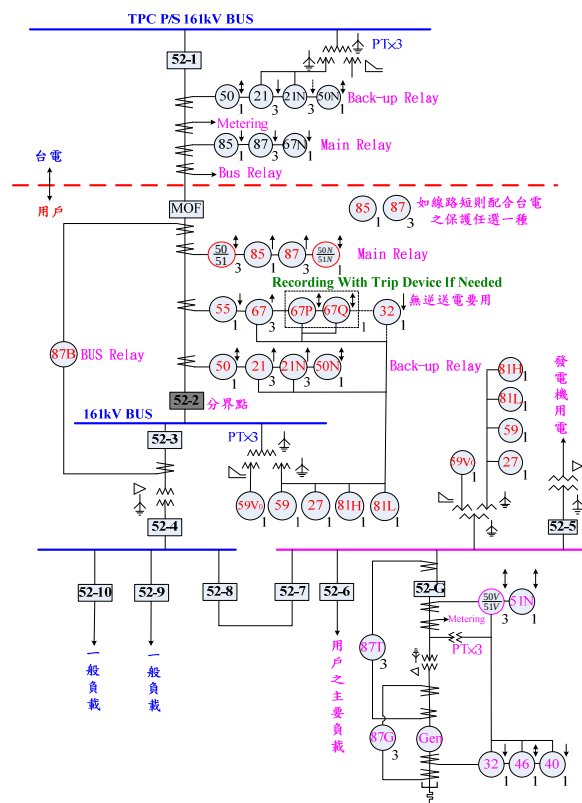


圖 17 95000kW 以上逆送電力接於 161kV 系統之保護圖

5.4 汽電共生系統發電機組保護電驛

汽電共生系統應請發電機之製造廠家

(或顧問公司)參照 ANSI、IEEE 或 IEC 等標準視其系統運轉之安全需要辦理，並提供有關發電機之保護設備設計資料，依汽電共生系統設置準則送台電審查。

5.4.1 發電機組保護電驛

1.87G：發電機繞組相間短路故障保護

(1)主保護電驛：汽電共生系統設置發電機組，發電機組要有主保護電驛之差動保護電驛及後衛保護電驛。變壓器兩端比流器特性必須完全一致且比流器比值要相同，否則會導致差動電驛差電流過大而致使差動電驛誤動作，應使用電流抑制線圈的差動電驛動作特性曲線，其抑制電流越大則動作值要越大，若進入與進出電流不相同，則會有差電流流經動作線圈使差動電驛動作，如圖 18 所示。

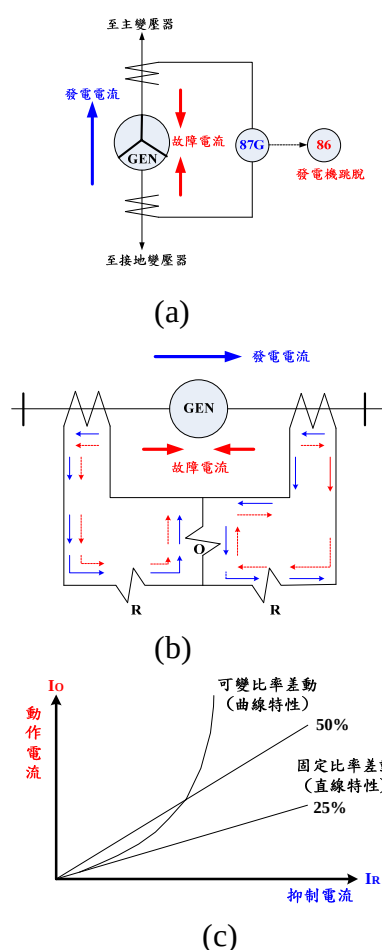


圖 18 發電機差動保護原理圖

2.50/51、51V：發電機過電流保護

(1)過電流保護電驛：使用瞬時過電流保護電驛，加以延時特性或為極反時型延時特性，其電流設定為 115%的額定輸出動作，若要提高設定值，其時間要縮短。時間設定為 226%的負載電流 7 秒為限。

(2)電壓型過電流保護電驛：可分為電壓抑制型過電流保護電驛及電壓控制型過電流保護電驛。

A.電壓抑制型過電流保護電驛：其電壓設定值在 100%。

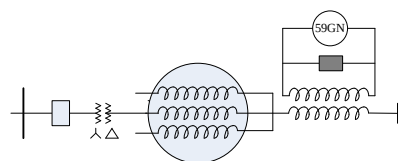
B.電壓控制型過電流保護電驛：其電壓設定值在 65~63%，標置時應考慮零電壓時，電流電驛仍應動作。

3.64、59GN：發電機接地保護

(1)高阻抗接地方式：經配電變壓器接地之高阻抗，將一次側限制接地故障電流在 3~25 安培以下，使用 87 差動保護電驛完全沒有保護作用，須使用零序延時過電壓電驛 64 或 59GN 保護，最靈敏的始動值設定為 5 伏特，僅能保護 95~98%的定子接地故障，餘 2~5%須由其他電驛來保護，如三次諧波之 27 電驛，如圖 19(a)所示。

(2)低阻抗接地方式：低阻抗接地方式限制接地故障電流在滿載電流的 1.5~2 倍。使用 87 差動保護電驛可提供一部分接地故障保護但不完全，乃需要在發電機的中性點安裝更靈敏的接地過電流電驛 51GN 來保護，如圖 19(b)所示。

(3)直接接地方式：因故障電流的過大易損壞發電機的線圈，所以不常採用此種方式，均類似以低阻抗接地方式來保護，如圖 19(c)所示。



(a)高阻抗接地方式

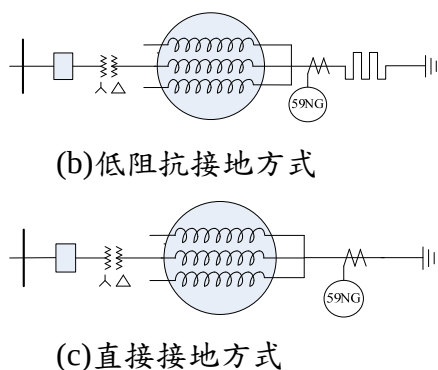


圖 19 發電機接地保護方式圖

4.32：發電機逆電力電驛

(1)防止發電機失去原動力而變成馬達之作用，即發電機之功率倒流，則使汽渦輪機會過熱，造成汽渦輪機可能失火或爆炸。

(2)建議為發電機後衛保護應設計較妥，以利保護發電機運轉。

5.46：平衡電流電驛

(1)用來保護三相系統中有一相斷線或電流過度不平衡，在此情況下 I_2 不平衡電流會變得很大，同時會超過 $I_2^2 t = k$ 之設計限度。

(2)不同發電機其 $I_2^2 t = k$ 值各不相同數據，如表 3 所示，一般發電機的容量在 100MVA 以下時可繼續運轉之負相序電流值約在 8~10% 的額定電流值，還不致於損壞發電機組設備。

表 3 發電機不平衡運轉的安全容許常數表

冷卻方式	發電機組類型	不平衡運轉的安全容許常數
間接冷卻 Indirectlycooled	水輪發電機 Hydraulic Generator	40
	引擎發電機 Engine-Driven Generator	40
	同步調相機 Synchronous Condenser	30
	透平發電機 Turbine Generator	30
直接冷卻 directlycooled	調頻機 Frequency Changer	30
	所有容量在800MVA以內的機組	10
	所有容量在800MVA以上的機組	5

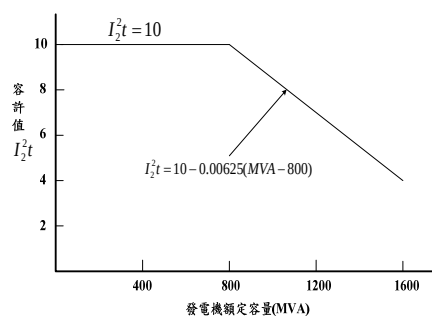
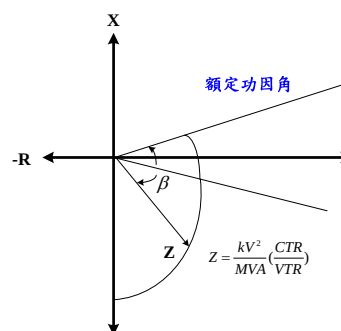


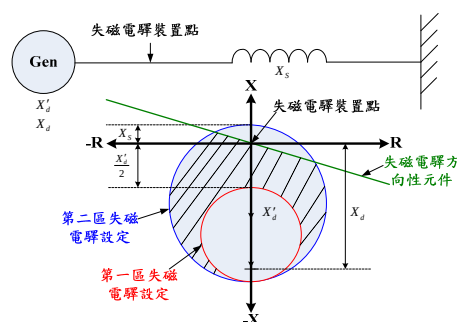
圖 20 發電機不平衡電流限制圖

6.40：失磁保護電驛

(1)在發電機併聯運轉中，若磁場激磁電流因激磁開關跳脫而失磁時，發電機轉子即無磁力線，靜子線圈即無誘導電壓出來，此時發電機將變成電動機狀態，將使無效功率電流倒灌進來，對發電機及原動機均有影響。



(a)容量曲線變換為阻抗值



(b)發電機失磁保護裝置點

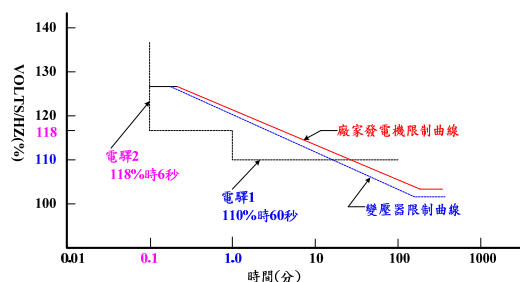
圖 21 發電機失磁保護電驛圖

7.59/81(24)：過激磁保護

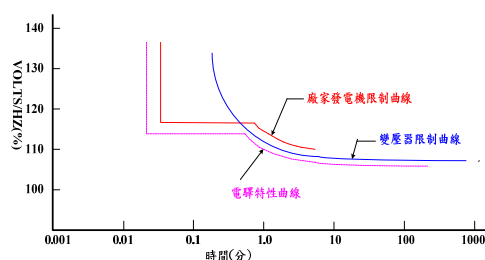
(1)發電機可在 $\pm 5\%$ 之額定電壓變化仍可額定的 KVA、頻率及功率因數。一但激磁異常，產生激磁過高或過低等現象時，發電機此時應緊急停機以策安

全。一般激磁過高時用 Volt/Hz 電壓保護，其標置設定不超過 1.05Pu，以機組 Volt/Hz 與時間的特性，利用發電機組雙重保護，如圖 22(a)所示。

(2)在激磁系統中裝設 Volt/Hz 最高自動限制設備，可防止激磁過高等現象，其標置設定如圖 22(b)所示，保持一定的餘度。



(a)雙重保護



(b)反時性保護

圖 22 發電機過激磁保護圖

8. 81H/L：發電機高低頻電驛保護

為維持穩定系統於額定頻率運轉，其系統之發電量與負載均隨時穩定平衡，為保持平衡而有變動時，其系統頻率即將引起變化。當台電系統內大機組事故跳脫而電源不足時，發電機轉子減速，系統頻率會下降；反之，則系統頻率升高，故發電機發電量異常，將造成頻率運轉限制，如圖 5.4.1-6 所示。

- (1)因事故大量負載跳脫後，系統頻率升高，此時因頻率升高至設定值，跳脫選用之發電機機組，以達到平衡發電量與負載量。
- (2)系統嚴重故障電源不足時，引起頻率下降造成低頻過載或激磁增加，發電

機轉子減速，系統頻率會下降，此時因頻率下降至設定值，跳脫選用之發電機機組，以達到平衡發電量與負載量。

(3)若造成低頻過載或激磁增加時，發電機定子溫度上昇，為保護發電機採用極度反延時性過流電驛 51(CO-11)保護。

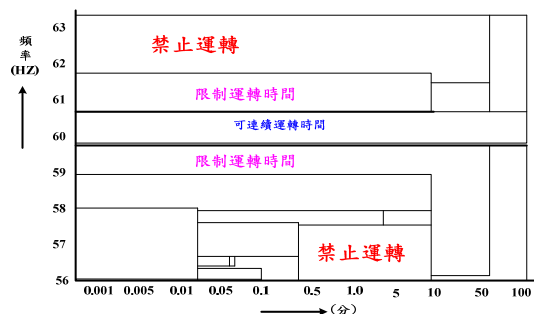


圖 23 發電量異常頻率運轉限制圖

5.4.2 發電機組保護方式

一般水力及容量較小或工業用戶自備機組，多採用直接連接方式，每一發電機經其專屬斷路器接至母線，供電至電力系統，其發電機組保護連結方式，如圖 24 所示。

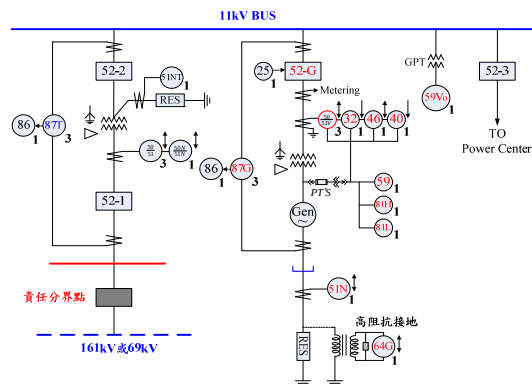


圖 24 發電機組保護方式

六、結語

汽電共生系統是目前各國所鼓勵節省能源的最有效方法之一，唯有依據各產業生產條件狀況，在不浪費多餘的廢熱下作最佳的規劃設計，才能達到又經濟又有效益之能源應用。同時在保護協調、負載管理方面，依據廠內特性做妥善規劃，以符

合需要；因為在電力系統上存有無法預知的弱點，如何增強弱點保護，提升負載管理及供電品質，是我們目前正在推行綠色能源與節能減碳最主要之目標。回顧整體規劃設計是一種艱巨挑戰與任務執行綜合歸納如下：

6.1 合格汽電共生用戶經申請用電計劃通過審查，併聯於台電系統線路上，最主要是要維持系統不輕易停電、供應優質電力及運轉更正常化，不能影響台電或用戶設備，確保工作人員的安全。

6.2 合格汽電共生用戶併聯於系統上，最主要考量是適當的引接方式、電力品質、保護設備、保護協調、運轉調度、監測控制及負載管理等問題。

6.3 合格汽電共生用戶併聯於系統後，故障停機是所難免，當故障發生時，出口端之斷路器應於 10 週波內自動跳脫解聯並隔離故障區域，若無法解聯，將會繼續逆送電力至線路上，對鄰近用戶用電設備及工作人員會有影響。

6.4 由 6.3 項說明，為預防汽電共生機組繼續逆送電力至線路上，恐有燒毀用戶用電設備及工作人員安全，其逆送電力不宜大於所接系統線路之負載。

6.5 合格汽電共生用戶之設置，有紓緩減少能源使用，對提高能源使用效率有正面的幫助，更有助於用戶提高電力可靠度與台電減少線路損失。

6.6 合格汽電共生用戶與台電間要相戶合作，使更多之合格汽電共生用戶設置，更經濟且更切合實際需要，共同為節省能源與提高能源發展使用效率而努力。

七、參考資料

- 〔1〕 李宏任，實用保護電驛，全華科技，1999 年 5 月。
- 〔2〕 台灣電力公司業務處網頁汽電共生併聯技術要點。

〔3〕 台灣電力公司電力系統運轉操作章則彙編電力調度處網頁。

〔4〕 台灣電力公司供電處網頁保護電驛標置設定。

〔5〕 台灣電力公司嘉南供網頁二次系統 69kV 保護電驛標置設定。

〔6〕 台灣電力公司網頁配電系統汽電共生用戶發電機調度規則。

〔7〕 梁志堅，電機技師會刊 109 期，汽電共生發電設備，2005 年 2 月。

〔8〕 許文興，中華民國電驛協會會刊第 13 期，汽電共生系統責任分界點之電驛標置協調，90 年 6 月。

〔9〕 梁明祥，工業配電，文笙書局，1989 年 10 月。

以特徵系統辨識法分解傳統電磁型過電流電驛特性

臺北科技大學電機工程系 吳峯曰
 臺北科技大學電機工程系 周至如
 聖約翰科技大學電機工程系 關人讚
 臺北科技大學電機工程系 韓佳佑
 聖約翰科技大學電通工程系 陸茵

摘要

本研究提出以特徵系統辨識法為基礎，採狀態空間模型(state space model)來擬合電磁型過電流保護電驛特性曲線，具相當高的準確度，是一種強健的辨識方法。以適應反時型(moderately inverse) IAC51 電磁型過電流保護電驛四條特性曲線為例，進行擬合，達成單一簡易動作特性曲線公式擬合四條電磁型過電流保護電驛特性曲線。所完成的動作特性曲線公式，在每曲線數百點實際動作時間的測試中，每曲線的最大絕對值誤差均可維持在毫秒(milliseconds, ms)等級內，甚至可擬合到更小的誤差絕對值。最後與 ANFIS (A Combined Adaptive Network and Fuzzy Inference System)方法進行比較，並驗證本演算法的優越性。

一、前言

在台灣，電磁型過電流保護電驛(以下簡稱過電流保護電驛(OC Relay))廣泛被使用在放射狀及環狀 69kV 二次輸電系統及配電系統。主因為 69kV 輸電系統及配電系統輸電線較少聯結大容量的發電機，故在輸電線匯流排間之故障電流差距變化不大。而過電流保護電驛由於經濟可靠且具有良好協調性，故很適合作為 69KV 二次系統及配電系統輸電線之保護裝置。雖然較老舊的過電流保護電驛已被新型數位電

驛所替代，但相當數量性能可靠的過電流保護電驛仍在服役中。

過電流保護電驛其動作原理係藉由外加一交流電流於電磁鐵的感應線圈，於感應轉盤上產生不同相位差的旋渦電流，在感應轉盤上形成感應旋轉力矩使移動接點閉合，經由調整移動接點與固定接點間閉合路徑長短達到上、下游的保護協調功能。由於是機械裝置，故亦會產生慣性及磨擦效應，因此，無法如同數位電驛般以單一公式精確表達特性曲線。通常廠商會在使用說明書中提供一個不同 TDS 的特性曲線家族[1]，它們大都為片段非線性連續平滑曲線。

為了電力系統保護協調的方便性，擬合過電流保護電驛特性曲線成了過去研究學者感興趣的議題之一[2-4]。在數位電驛誕生後，為了與過電流保護電驛取得良好協調性，找到更佳的過電流保護電驛特性曲線表示法，更顯得它的重要性[5-9]。

在始動電流倍數(M)值較小部份的過電流保護電驛，例如 M 為 1.5~3.5 間，此段電驛的操作時間成非線性且急遽變化，增加擬合的困難性，易造成此段擬合誤差較大，故有些文獻[9,10]未見擬合結果。於特性曲線擬合的文獻中，在[5,11,12]中建議可有 3 周波的誤差值，在[10]裏使用 2 周波的誤差值，本文以更精確的要求，採用小於 1 周波的誤差值。

二、過電流保護電驛特性曲線表示方式

由於過電流保護電驛之動作特性曲線係由磁路設計決定，故無法以單一動作特性曲線公式表示。而各廠家則在其過電流保護電驛使用說明書中提供以始動電流倍數為橫座標、動作時間為縱座標之動作特性曲線數據。過電流保護電驛特性曲線有多種表示方式，說明如下：

1. 為目前廣為採用的特性曲線資料庫，直接儲存始動電流倍數及其對應動作時間之數據對[5,6]，會佔據較大的儲存空間。對非儲存的中間值言，使用內差法，即能得到所需的數值，且無公式使用之優點。
2. 以實體過電流保護電驛作公式推導，在[13]中表示為(1)式，另外令 $K=0$ [7,8]及再令 $B=0$ [14]，即分別為 IEEE 與 IEC 標準反時型數位電驛特性曲線表示式

$$t = x \left(\frac{A}{M^p - 1} + B \right) + K \quad (1)$$

其中，

- t ：電驛動作時間(operating time)
- x ：延時標置值(time dial setting)
- i ：比流器二次側故障電流
- I ：電流分接頭值(current tap setting)
- M ：始動電流倍數(multiples of tap value setting)， $M = i/I$

A, B, p, K ：常數

以 CO-8 廠商過電流保護電驛特性曲線[15]為例在模擬公式(1)中， A 、 B 、 p 及 K 採[13]中的建議值，另外在[16]中再取其延時標置值修正值，加上廠商曲線等繪製如圖(1)。對比相同的延時標置值可清楚看出廠商曲線與擬合公式(1)特性曲線差異極大，因此，模擬公式由於誤差太大，無法直接替代廠商特性曲線使用。模擬公式經修正延時標置值後與原廠曲線延時標置值為 0.5、2、5 及 10 的平均絕對值誤差分

別為 28.67、32.33、90.85 及 168.78 毫秒(ms)，已較為近似，但其精確度仍不足以代表原廠商所提供的特性曲線。

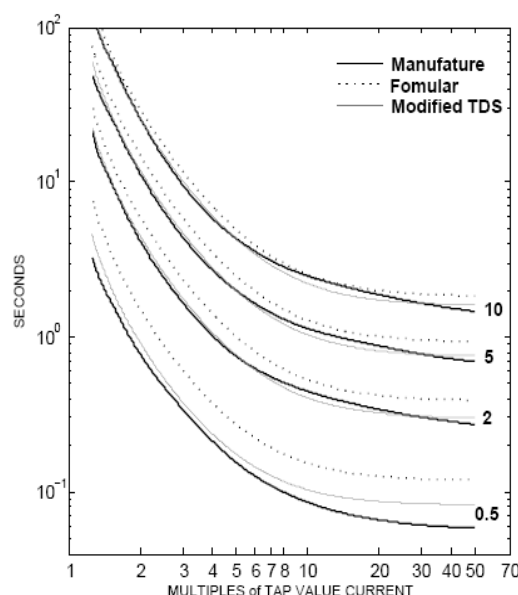


圖 1 CO-8 曲線表示法

3. 為在[5]中整合多種指數型與多項式型建議公式，如(2)~(5)式，作為過電流保護電驛特性曲線擬合，應用各種數值方法解出其最佳係數解，在[9,10,17,18]中的擬合結果，仍有相當大的改善空間。

$$t = C + \frac{Kx}{M^p - 1} \quad (2)$$

$$t = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots \quad (3)$$

$$t = b_0 + \frac{b_1}{\log M} + \frac{b_2}{(\log M)^2} + \frac{b_3}{(\log M)^3} + \dots \quad (4)$$

$$t = c_0 + \frac{c_1}{\log M} + \frac{c_2}{(\log M)^2} + \frac{c_3}{(\log M)^3} + \dots \quad (5)$$

$$t = d_0 + d_1x + d_2 \frac{x}{(M-1)^2} + d_3 \frac{x^2}{(M-1)} + d_4 \frac{x^2}{(M-1)^2} + d_5 \frac{x}{(M-1)^3} + d_6 \frac{x^2}{(M-1)^4} \quad (6)$$

其中，

C, a_n, b_n, c_n, d_n ：常數

4. 以人工智慧類神經網路(artificial neural

network) 或模糊技術 (fuzzy model) [9,17,19,20]擬合特性曲線最佳解，掀起另一種新興方法在此領域的研究，其中以 M. Geethanjali 在[20]中採用的 ANFIS(A combined adaptive network and fuzzy inference system)方法，已經取得相當不錯的成果。本文以特徵系統辨識法擬合過電流保護電驛特性曲線，其結果與[20]所得結果相互比較，以驗證本法的強健性。

三、特徵系統辨識法簡介

本研究提出以特徵系統辨識法 [21,22]為基礎之方法，採狀態空間模型(state space model)來擬合過電流保護電驛特性曲線，此即為特徵系統辨識法(ERA, Eigensystem Realization Algorithm)。利用特徵系統辨識法所辨識出來模態座標(modal coordinates)下的狀態空間方程式[23,24]，可將過電流保護電驛特性曲線波形分解成不同系統矩陣特徵值或模式(mode)所對應的波形成分[25-27]。此系統矩陣之特徵值亦代表系統之自然頻率，因此由特徵值之實部與虛部，便能清楚的分辨各波形成分之動態特性，如此可以很容易的將過電流保護電驛特性曲線波型之平滑波形成分與振盪波形成分分解出來[28]。

特徵系統辨識法的步驟[21-28]:

步驟(一): 波型響應序列量測 Y_k , $k=0,1,2, \dots$ 。

步驟(二): 以 Y_k , $k=0,1,2, \dots$ 建構漢可矩陣(Hankel Matrix) $H(0)$ 及 $H(1)$ ，如(7)及(8)所示

$$H(0) = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & \cdots & Y_m \\ Y_2 & Y_3 & \cdots & Y_{1+m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_r & Y_{1+r} & \cdots & Y_{r+m-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$H(1) = \begin{bmatrix} Y_2 & Y_3 & \cdots & Y_{1+m} \\ Y_3 & Y_4 & \cdots & Y_{2+m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{1+r} & Y_{2+r} & \cdots & Y_{r+m} \end{bmatrix} \quad (8)$$

步驟(三): 對矩陣 $H(0)$ 進行奇異值分解成 R_j 、 Σ_j 及 S_j 矩陣，如(9)所示

$$H(0) = R \Sigma S^T \\ = \begin{bmatrix} R_j & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_j & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_j^T \\ S_0^T \end{bmatrix} = R_j \Sigma_j S_j^T \quad (9)$$

步驟(四): 計算狀態空間系統矩陣 A 、 B 及 C 之估測矩陣 $\hat{A}$ 、 $\hat{B}$ 及 $\hat{C}$ ，如(11)、(12) 及 (13)所示

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \quad k=0,1,2, \dots \\ y(k) &= Cx(k) + Du(k) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\hat{A} = (\Sigma_j)^{\frac{1}{2}} R_j^T H(1) S_j (\Sigma_j)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$\hat{B} = (\Sigma_j)^{\frac{1}{2}} S_j^T E_1 \quad (12)$$

$$\hat{C} = E_1^T R_j (\Sigma_j)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

其中

$$\Sigma_j^{\frac{1}{2}} = (\Sigma_j)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Sigma_j^{\frac{1}{2}} = (\Sigma_j^{\frac{1}{2}})^{-1}$$

$$E_1^T = [1 \ 0 \ \cdots \ 0] \quad (14)$$

步驟(五): 將系統矩陣 A 、 B 及 C 轉換至模態座標(Modal Coordination)下之 Λ 、 B_m 及 C_m ，如(17)、(18)及(19)所示

$$\begin{aligned} x_m(k+1) &= \Lambda x_m(k) + B_m u(k) \\ y(k) &= C_m x_m(k) + Du(k) \end{aligned} \quad (15)$$

$$x_m(k) = \Psi^{-1} x(k) \quad (16)$$

$$\Lambda = \Psi^{-1} \hat{A} \Psi = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & \lambda_j \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$B_m = \Psi^{-1} \hat{B} \quad (18)$$

$$C_m = \hat{C} \Psi \quad (19)$$

其中

λ_i : $\hat{A}$ 矩陣的特徵值, $i=1,2,\dots,j$

Ψ : $\hat{A}$ 矩陣的特徵向量矩陣

步驟(六): 將波形以數學式表示, 亦即將特性曲線波形分解成 j 個波形模式(mode)成分, 如(20)所示

$$\begin{aligned} y(k) &= C_m \Lambda^{k-1} B_m = \sum_{i=1}^j c_i \lambda_i^{k-1} b_i \\ &= \sum_{i=1}^j y_i \quad k=1,2, \dots \end{aligned} \quad (20)$$

其中

c_i, b_i : 分別為 C_m 及 B_m 的行(row)矩陣與列(column)矩陣

$$\begin{aligned} y_1 &= c_1 \lambda_1^{k-1} b_1, y_2 \quad k=1,2,\dots \\ &= c_2 \lambda_2^{k-1} b_2, \dots y_j = c_j \lambda_j^{k-1} b_j \end{aligned}$$

y_i : 在模態座標下轉換出 $y(k)$ 的波形模式成分

步驟(七): 計算每一個振盪波形模式成分之振盪頻率 f_i (oscillation frequency), 如(21)所示

$$f_i = \frac{\theta_i}{2\pi \cdot \Delta M} \quad (21)$$

其中

θ_i : $\hat{A}$ 矩陣的正共軛特徵值角度

ΔM : 取樣間距

步驟(八): 移除過大衰減常數或震盪高頻的波形模式成分, 再求新的波形數學表示式, 如(22)所示

$$\begin{aligned} y_{mc}(k) &= C_{mc} \Lambda_{mc}^{k-1} B_{mc} \\ &= \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k-1} b_i \quad k=1,2, \dots \end{aligned} \quad (22)$$

其中

$C_{mc}, \Lambda_{mc}, B_{mc}$: 從 C_m, Λ 及 B_m 中移除過大衰減常數或震盪高頻的波形模式成分, 所得的矩陣

步驟(九): 將步驟(八)轉為時域後的標準表示法如(23)式

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{i=1}^{n_0} C_i e^{-\alpha_i t} \\ &+ \sum_{i=1}^{n_1} K_i A_i^{-f_i t} \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) \end{aligned} \quad (23)$$

四、案例研究

本文選擇 GE 公司 IAC51 適應反時型 (moderately inverse) 過電流保護電驛[29], 取延時標置(TDS: time dial settings)為 1、4、7 及 10 等四條特性曲線為擬合測試對象。以 MATLAB 為工具, 為兼顧於精確度與合理性, 擬合的限制條件設定為每曲線所有取樣電驛動作時間與模擬結果的最大絕對值誤差均設定為毫秒(milliseconds)級數。

IAC51 過電流保護電驛取樣範圍為始動電流倍數(M)由 1.5~50.0, 取樣間距為 0.1 始動電流倍數, 總共攫取 486 點電驛動作時間。所擬合出數學參數如表(1), 可以(24)式統一表示, 此公式分別以五條平滑波形及四條振盪波形所組成。

$$\begin{aligned} t &= \sum_{i=1}^5 C_i e^{-\alpha_i M} \\ &+ 2 \sum_{i=1}^4 K_i A_i^{-f_i M} \cos(2\pi f_i M + \varphi_i) \end{aligned} \quad (24)$$

表(1) IAC51 過電流保護電驛特徵系統辨識法擬合
結果的數學參數

TDS	1	4	7	10
n	4	9	12	13
C ₁	1.4366E+01	2.4998E+02	4.8961E+02	7.8131E+02
α_1	2.4360E+00	3.5434E+00	3.5327E+00	3.5256E+00
C ₂	7.8064E-01	6.9335E+00	1.3169E+01	1.9885E+01
α_2	6.0186E-01	9.9045E-01	9.4691E-01	9.6649E-01
C ₃	2.4918E-01	1.2885E+00	1.2897E+00	3.8264E+00
α_3	4.2476E-03	2.5973E-01	5.5281E-03	2.7201E-01
C ₄	2.1515E-01	6.3312E-01	1.5510E+00	1.8409E+00
α_4	1.3128E-01	3.1866E-03	1.0105E-01	4.7992E-03
C ₅	0	5.1604E-01	0	1.59990E+00
α_5	0	6.2169E-02	0	7.32650E-02
K ₁	0	4.2741E-04	6.6637E-01	3.81380E-03
f ₁	0	1.0527E-01	2.0729E-02	1.23730E-01
A _{r1}	0	1.3975E+00	7.2533E+04	2.00670E+00
φ_1	0	-2.9139E+00	1.3644E-01	3.53100E-01
K ₂	0	7.6041E+00	1.0262E-03	2.74090E-03
f ₂	0	4.4042E+00	1.0406E-01	2.28460E-01
A _{r2}	0	2.4190E+00	1.6108E+00	1.50780E+00
φ_2	0	-1.4278E+00	-3.1084E+00	-2.11940E+00
K ₃	0	0	2.0464E-04	9.32630E-04
f ₃	0	0	1.7089E-01	3.29270E-01
A _{r3}	0	0	1.1336E+00	1.16470E+00
φ_3	0	0	-6.1319E+00	2.89030E+00
K ₄	0	0	1.0486E+01	3.14750E+01
f ₄	0	0	4.4590E+00	4.50250E+00
A _{r4}	0	0	2.2505E+00	2.40440E+00
φ_4	0	0	-2.0225E+00	-2.51240E+00

此種電磁式過電流電驛採用擬合的數百取樣點中的 17 個典型值及演算法結果如表(2)，另外 16 個動作時間取樣點在表(3)。最後將四種 TDS 的完整擬合結果顯示在表(4)。IAC51 電磁式過電流電驛特性曲線經特徵系統辨識法擬合結果綜合分析如下：

1.在表(1)與(24)式中顯示，電磁式過電流電驛動作特性曲線公式參數組具有偶數對特性，可降低參數數量，其中部分 TDS 特性曲線有多條組成波形的參數皆為零。在表(1)中，以 26 個參數組組成一個簡易動作公式，可對這種電磁式過電流電驛擬合一條特性曲線，其中超過四分之一的參數為零。

2.此電磁式過電流電驛的 17 個典型動作時間取樣點、演算法結果、絕對值誤差及平均絕對值誤差結果，如表(2)所式，其中平均絕對值誤差為 0.40~1.30ms。

3.完整的擬合結果在表(4)中，此電磁式過電流電驛在最大絕對值誤差為 3.63~9.17ms，其 M 發生在 1.8~2.2 處，都出現在較小的 M 處。最大百分比絕對值誤差為 0.14~0.48，M 發生在 1.8~12.1 處，都發生在 M 的前三分之一部份。平均絕對值誤差為 0.28~0.92ms 及平均百分比絕對值誤差為 0.03~0.18。

表(2) IAC51 過電流保護電驛 17 個實際操作點、演算法結果及絕對值誤差(ms)

TDS	1			4			7			10		
M	top	ERA	Err	top	ERA	Err	top	ERA	Err	top	ERA	Err
1.5	1115.0	1112.6	2.34	4738.9	4738.9	0.02	9067.1	9067.1	0.01	14322.0	14322.0	0.16
2	753.7	756.8	3.11	3009.2	3011.1	1.87	5700.4	5702.3	1.89	8960.3	8964.3	3.99
3	530.5	529.2	1.31	2009.6	2008.3	1.30	3772.1	3770.0	2.05	5900.0	5896.7	3.25
4	442.2	443.4	1.15	1616.0	1616.3	0.32	3013.9	3014.0	0.10	4698.1	4697.7	0.49
6	362.4	361.8	0.61	1266.8	1266.2	0.59	2342.1	2340.9	1.22	3632.3	3631.1	1.21
8	323.3	322.4	0.82	1094.7	1094.4	0.34	2010.9	2010.4	0.48	3107.9	3106.7	1.18
10	298.2	298.6	0.47	985.7	986.2	0.48	1801.4	1802.0	0.66	2776.2	2778.1	1.92
13	275.0	275.2	0.22	881.8	881.9	0.12	1601.5	1601.3	0.29	2457.8	2455.8	2.04
16	259.3	259.3	0.04	812.5	812.8	0.34	1468.8	1469.2	0.42	2249.4	2250.6	1.25
19	247.4	247.6	0.20	763.2	763.1	0.04	1373.9	1373.6	0.28	2099.8	2099.0	0.84
22	239.5	238.9	0.66	726.4	726.2	0.18	1302.1	1302.0	0.12	1985.9	1984.6	1.29
26	230.6	230.1	0.49	686.3	686.7	0.46	1224.8	1226.1	1.36	1864.8	1865.8	1.06
30	223.7	223.4	0.21	655.8	655.8	0.08	1166.7	1166.5	0.18	1772.3	1773.0	0.66
34	217.4	218.1	0.66	630.5	630.8	0.29	1118.8	1119.1	0.24	1695.6	1696.3	0.67
39	211.6	212.4	0.88	604.8	604.7	0.11	1070.0	1069.4	0.66	1619.2	1619.0	0.15
44	207.1	207.5	0.41	583.8	583.9	0.08	1029.2	1029.4	0.20	1554.7	1553.9	0.88
49	202.9	203.0	0.09	566.3	566.1	0.26	994.7	994.3	0.38	1500.4	1499.8	0.64
AV			0.80			0.40			0.62			1.27

TDS: time dial setting; M: multiples of tap value current; top: actual operating time in milliseconds;
 ERA: fitted value by Eigensystem Realization Algorithm; Err: absolute value of difference between
 top and ERA value; AV: average of absolute values of errors in milliseconds

表(3) IAC51 過電流保護電驛另外 16 個實際操作點(ms)

M	TDS =1	TDS =4	TDS =7	TDS =10
2.5	609.9	2362.9	4452.9	6980.0
3.5	478.3	1776.8	3323.5	5188.4
4.5	414.6	1496.8	2783.7	4333.1
6.5	350.6	1214.3	2241.3	3473.1
8.5	316.2	1062.9	1949.9	3011.3
10.5	293.6	965.5	1761.9	2714.4
13.5	271.8	868.2	1575.6	2419.2
16.5	257.1	803.5	1451.4	2222.1
19.5	245.8	756.0	1360.0	2077.8
22.5	238.4	721.3	1292.4	1970.6
26.5	229.6	682.2	1217.1	1852.5
30.5	222.9	652.5	1159.9	1761.8
34.5	216.7	627.7	1113.5	1687.1
39.5	211.0	602.6	1065.6	1612.2
44.5	206.7	581.9	1025.5	1548.8
49.5	202.4	564.7	991.3	1495.2

表(4) IAC51 過電流保護電驛完整擬合結果

TDS	Max Err/M	Max Err%/M	AV	AV%
1	4.06/1.8	0.48/1.8	0.50	0.18
4	3.63/2.2	0.16/3.9	0.28	0.03
7	5.12/2.2	0.14/3.9	0.50	0.03
10	9.17/2.2	0.19/12.1	0.92	0.04

TDS: time dial setting; Max_Err/M: maximum absolute value of errors in millisecond in multiples of tap value current; Max_Err%/M, maximum absolute value of percentage errors in multiples of tap value current; AV: average of absolute value of errors in milliseconds; AV%: average of absolute value of percentage errors.

五、案例研究結果分析

本文提出特徵系統辨識法對傳統 IAC51 過電流保護電驛特性曲線進行擬合測試，以 486 點不同電驛動作時間分別擬合延時標置(TDS)為 1、4、7 及 10 等四條特性曲線。綜合得到下面分析：

1. 過電流保護電驛的 16 個典型實際動作時間的平均絕對值誤差毫秒(ms)數為 0.43~1.34。
2. 以 26 個參數組組成一個簡易動作公式，可擬合過電流保護電驛一條特性曲線。
3. 所選取的階數 $n(n=n_0+n_1)$ ，就是 n_0 條平滑波形及 n_1 條振盪波形分別，如標準式(20)的第 1、2 項，可自動擬合為過電流保護電驛的最佳特性曲線。本法擬合結果與數百點取樣操作時間點之最大絕對值誤差皆在毫秒等級，已甚為精確，如需更精確的結果，選擇更高階數(n)，即可取得更精確的擬合特性曲線。
4. 在同一反時型過電流保護電驛條件下，當 TDS 值越大，所需的階數亦需要愈大，才能達成相同目標。
5. 過電流保護電驛特性曲線的公式參數組具有偶數對特性，可降低參數數量。
6. 過電流保護電驛操作時間在較小始動電流倍數值為非線性且急遽變化部份，取得絕佳的擬合效果。
7. 提供目前廣泛使用的數位電驛一個絕佳策略可有效與傳統電磁式過電流電驛取得

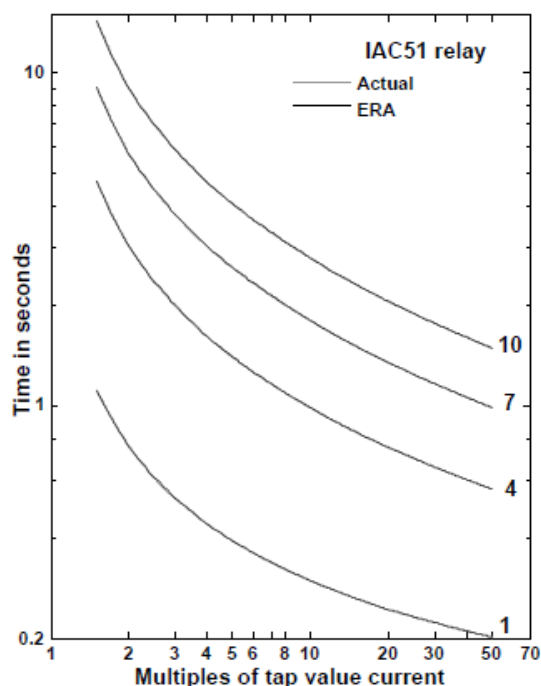
良好保護協調性，藉由下列例子說明。

(1) 首例為 CO-8 電磁式過電流電驛，以 TDS=5 為初始電驛(primary relay)，設定的協調時間點在 $(t, M)=(1.098s, 18)$ ，保護協調時間(coordination time interval)以 0.3 秒計，若數位電驛為後衛電驛(backup relay)，設定在 $(t, M)=(1.398s, 18)$ ，數位電驛即可快速輕易地以 TDS=6 及 TDS=7 的電磁式過電流電驛動作特性曲線公式為設定基準，完成以 TDS=6.49 為設定的保護協調任務。

(2) 次例，設定數位電驛以特徵系統辨識法完成的動作特性曲線公式，並加上或減去保護協調時間 0.3s 為保護動作特性曲線，作為此電磁式過電流電驛的後衛電驛或初始電驛，即可達成以數位電驛作為適應性電驛(adaptive relay)[10]的目標。

(3) 亦可檢查保護協調曲線組的曲線交叉問題。

最後，將 IAC51 電磁式過電流電驛數百動作特性曲線取樣點與特徵系統辨識法完成的動作特性曲線公式組繪製如圖(2)。由圖中可清楚看出原特性曲線取樣點與特徵系統辨識法擬合曲線緊緊的密合在一起，可驗證特徵系統辨識法的強健辨識特性及高準確度。



圖(2) IAC51過電流保護電驛真實特性曲線與擬合曲線

六、特徵系統辨識法與 ANFIS 比較

2008年由M. Geethanjali等學者在[20]中提出以mf7-gbell、mf7-gauss、mf7-tri、mf5-gbell、mf5-gauss及mf5-tri等六種Adaptive Network and Fuzzy Inference System(ANFIS)演算法對RSA20電磁式過電流電驛在TDS=4、8、14及20等共四條特性曲線進行模擬。本文提出的特徵系統辨識法亦對RSA20電磁式過電流電驛進行擬合，取樣間距為1.5始動電流倍數，共攫取各18點電驛動作時間[20]在表(5)中，所擬合出的數學參數如表(6)中，可以(25)式統一表示，擬合結果與六種ANFIS演算法對每條TDS特性曲線模擬結果中選出最優者進行比較，如表(7)。

$$t = \sum_{i=1}^3 C_i e^{-\alpha_i M} + 2 \sum_{i=1}^3 K_i A_{r_i}^{-f_i M} \cos(2\pi f_i M + \varphi_i) + \sum_{i=4}^5 K_i A_{r_i}^{-f_i M} \cos(2\pi f_i M + \varphi_i) \quad (25)$$

首先，由表(7)中得知特徵系統辨識法和ANFIS演算法對RSA20電磁式過電流電驛擬合結果在最大絕對值誤差分別為0.00~1.95ms和2.00~16.00ms、最大百分比絕對值誤差分別為0.00~0.05和0.12~0.49、平均絕對值誤差分別為0.00~0.47ms和1.00~6.40ms及平均百分比絕對值誤差上分別為0.00~0.01和0.12~0.16。

最後結論，特徵系統辨識法和ANFIS演算法對RSA20電磁式過電流電驛擬合結果，特徵系統辨識法相對於ANFIS演算法有較佳的擬合效果，再一次驗證特徵系統辨識法的強健性及高準確度。

七、結論

本文提出以特徵系統辨識法擬合傳統過電流保護電驛特性曲線，此法既可將特性曲線波形之平滑成分與不同振盪頻率成分分解出來，但卻不需要轉換到頻域處理，僅需直接從時域之資料處理即可，因此實際上是一種時域的辨識方法。

使用數學函數計算所得之解析性波形和數百點實際過電流保護電驛之動作時間特性曲線資料作測試，在最大絕對值誤差、最大百分比絕對值誤差、平均絕對值誤差及平均百分比絕對值誤差上，皆得到良好的結果。過電流保護電驛操作時間在較小始動電流倍數(M)值為非線性且急遽變化部份，取得絕佳的擬合。顯示本演算法應用於片段非線性連續平滑曲線參數之辨識問題，具有極優越的能力。

一個簡易動作特性曲線方程式可精確替代一條過電流保護電驛特性曲線，對仍在使用過電流保護電驛的二次輸電系統、配電系統或設備，在良好的保護協調解決上，提供了一個絕佳的策略給予數位電驛

表(5) RSA20 過電流保護電驛 18 個實際操作點
(ms)

M	TDS =4	TDS =8	TDS =14	TDS =20
4	4238	5690	8840	11975
5.5	2235	3255	5439	7516
7	1648	2412	4012	5797
8.5	1373	2070	3522	5070
10	1240	1960	3283	4702
11.5	1155	1890	3146	4525
13	1112	1825	3076	4411
14.5	1075	1778	3025	4333
16	1061	1754	2993	4264
17.5	1045	1735	2954	4194
19	1028	1714	2911	4126
20.5	1017	1691	2874	4083
22	1010	1659	2846	4043
23.5	1008	1636	2799	4003
25	1006	1626	2771	3965
26.5	1004	1611	2747	3935
28	1002	1603	2734	3915
29.5	1000	1594	2697	3893

表(6) RSA20 過電流保護電驛特徵系統辨識法擬
合結果的數學參數

TDS	4	8	14	20
n	9	9	9	9
C ₁	1.0149E+03	1.2540E+03	3.4006E+03	9.6908E+02
α_1	5.3820E-04	4.4566E-02	7.9356E-03	-2.2315E-02
C ₂	1.1564E+06	1.0484E+03	8.2255E+04	4.3919E+03
α_2	1.3994E+00	-6.0820E-03	6.0647E-01	2.6156E-02
C ₃	3.9567E+03	1.1732E+05	0	1.2626E+05
α_3	2.6566E-01	7.5857E-01	0	6.4189E-01
K ₁	1.6072E+02	2.2878E+01	4.3468E-02	2.3485E+01
f ₁	9.9886E-02	1.1125E-01	7.6302E-02	1.3638E-01
A _{r1}	9.3383E+00	2.0813E+00	8.2658E-02	2.1296E+00
φ_1	1.5763E+00	-1.2903E+00	-1.7650E+00	-1.1800E+00
K ₂	3.3796E+02	2.9971E+03	7.0414E+00	2.0171E+01
f ₂	1.5912E-01	2.1253E-01	1.9477E-01	2.1506E-01
A _{r2}	8.6502E+00	2.3056E+01	1.2465E+00	2.0494E+00
φ_2	5.1550E-02	-3.3203E+00	-2.3637E+00	1.6681E+00
K ₃	6.7174E+01	2.4586E-01	6.9052E+02	0
f ₃	2.7481E-01	2.3504E-01	1.9751E-01	0
A _{r3}	2.5775E+00	7.3567E-01	7.3745E+00	0
φ_3	-4.5398E+00	2.2392E-01	1.5921E-01	0
K ₄	0	0	9.9951E-02	9.8634E-10
f ₄	0	0	3.3333E-01	3.3333E-01
A _{r4}	0	0	6.7025E-01	1.3812E-01
φ_4	0	0	-3.1416E+00	3.1416E+00
K ₅	0	0	0	5.6109E+00
f ₅	0	0	0	3.3333E-01
A _{r5}	0	0	0	1.3134E+00
φ_5	0	0	0	-4.4409E-16

表(7) RSA20 過電流保護電驛在 ANFIS 及特徵系統辨識法的擬合結果

	top	ANFIS	Err1	Err1%	ERA	Err	Err%
M	TDS=4						
4	4238	4238	0	0.00	4238.0	0.00	0.00
10	1240	1238	2	0.16	1240.0	0.00	0.00
16	1061	1059	2	0.19	1061.0	0.00	0.00
22	1010	1011	1	0.10	1010.0	0.00	0.00
28	1002	1002	0	0.00	1002.0	0.00	0.00
AV			1 ^{*2}	0.15		0.00	0.00
M	TDS=8						
4	5690	5690	0	0.00	5690.0	0.00	0.00
10	1960	1958	2	0.10	1960.0	0.00	0.00
16	1754	1752	2	0.11	1754.0	0.00	0.00
22	1659	1664	5	0.30	1659.0	0.00	0.00
28	1603	1603	0	0.00	1603.0	0.00	0.00
AV			1.8 ^{*2}	0.15		0.00	0.00
M	TDS=14						
4	8840	8840	0	0.00	8840.0	0.00	0.00
10	3283	3267	16	0.49	3283.0	0.00	0.00
16	2993	2988	5	0.17	2993.0	0.00	0.00
22	2846	2839	7	0.25	2846.0	0.00	0.00
28	2734	2730	4	0.15	2734.3	0.26	0.01
AV			6.4 ^{*2}	0.16		0.01	0.00
M	TDS=20						
4	11975	11975	0	0.00	11975.0	0.00	0.00
10	4702	4697	5	0.11	4702.0	0.00	0.00
16	4264	4259	5	0.12	4264.0	0.00	0.00
22	4043	4041	2	0.05	4043.0	0.03	0.00
28	3915	3915	0	0.00	3913.1	1.95	0.05
AV			2.4 ^{*2}	0.12		0.47	0.01

M, multiples of tap value current; top, actual operating time in milliseconds; ANFIS, value by Adaptive Network and Fuzzy Inference System; Err1, absolute error value between actual operating time and ANFIS; Err1%, absolute error value between actual operating time and ANFIS in %; ERA, value by Eigensystem Realization Algorithm; Err, absolute error value between actual operating time and ERA; Err%, absolute error value between actual operating time and ERA in %; AV, mean average absolute error value or mean average absolute error value in %; ^{*2}, mean average absolute error value by five points.

採用，必有相當的助益。對於類似的設備，如復閉電驛及電力熔絲類等，也提供了一個解決保護協調的方案。

除此之外，特徵系統辨識法與 ANFIS 方法相比，結果比較確為較優。

八、參考文獻

- [1]. Jarm-Long Chung, Ying Lu, Wen-Shiow Kao, and Chih-Ju Chou,

“Study of Solving the Coordination Curve Intersection of Inverse-Time Overcurrent Relays in Subtransmission Systems,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, pp.1780-1788, October 2008. (SCI)

- [2]. G.E. Radke, “A method for calculating time-overcurrent relay settings by digital computer,” IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 82(Special Supplement), pp. 189–205, 1963.

- [3]. Sachdev M. S., Singh J. and Fleming R. J., "Mathematical Models Representing Time-Current Characteristics of Overcurrent Relays for Computer Application", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.-131, January 1978.
- [4]. E. O. Schweitzer and A. Aliaga, "Digital programmable time-parameter relay offers versatility and accuracy," IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-89, no. 1, pp. 152-157, Jan./Feb. 1980.
- [5]. IEEE Committee Report, "Computer representation of overcurrent relay characteristics," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No. 3, pp.1659-1667, July 1989.
- [6]. Sherman Chan, and Richard Maurer, "Modeling Overcurrent Relay Characteristics," IEEE Computer Applications in Power, Vol.5, Is.1, pp.41-45, 1992.
- [7]. IEEE Std C37.112-1996, IEEE Standard Inverse-Time
- [8]. IEEE PSRC Committee, "IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.14, No.3, pp. 868-872, July 1999.
- [9]. Hossein Kazemi Karegar, Hossein Askarian Abyaneh, and Majid Al-Dabbagh, "A flexible approach for overcurrent relay characteristics simulation," Electric Power Systems Research, pp.233-239, 2003.
- [10]. Arturo Conde Enríquez, Ernesto Va'zquez-Martínez and Héctor J. Altuve-Ferrer, "Time overcurrent adaptive relay," Electrical Power and Energy Systems, pp.841-847, 2003.
- [11]. Radke GE., "A method for calculating time-overcurrent relay settings by digital computer." IEEE Trans Power Apparatus Syst 1963;82(Special Supplement):189-205.
- [12]. Sachdev MS, Singh J, Fleming RJ. "Mathematical models representing time-current characteristics of overcurrent relays for computer application," IEEE Paper A78 131-5; January 1978.
- [13]. J. C. Tan, P. G. McLaren, R. P. Jayasinghe, and P. L. Wilson, "Software Model for Inverse Time Overcurrent Relays Incorporating IEC and IEEE Standard Curves," Proceedings of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2002, pp. 37-41.
- [14]. IEC Publication 255-3 (1989-05), Single Input Energizing Quality Measuring Relays with Dependent or Independent.
- [15]. T.H. Tan, G.H. Tzeng, Industry Power Distribution, 4th ed., Gau Lih Book Co., Taiwan, ISBN: 978-957-58-4133 -1, pp.223-229, 2011.
- [16]. BE1-1051 Manual, Basler Electric Co.
- [17]. H. A. Abyaneh, H. K. Karegar, M. Al-Dabbagh, "Interpolation of measured data based on neural network to model overcurrent relays in power systems," Control Conference, 2004. 5th Asian, Vol.3, 2004, pp.1393-1397.
- [18]. H. A. Darwish, M. A. Rahman, A. I. Taalab, H. Shaaban, "Digital model of overcurrent relay characteristics," Industry Applications Conference, Vol.2, 1995, pp.1187-1192.
- [19]. Matin Meshkin, Karim Faez, Hossein Askarian Abyaneh, and Hossein Kazemi Kargar, "Modelling of Overcurrent Relay Characteristics Based on Neural Network," 20th International Power System Conference, 2006.
- [20]. M. Geethanjali, S. Mary Raja Slochanal, "A combined adaptive network and fuzzy inference system (ANFIS) approach for overcurrent relay system," NEUROCOMPUTING 71, pp.895-903, 2008.
- [21]. S. Kung, "A new identification and modal reduction algorithm via the singular value decomposition," Proc. 12th Asilomar Conf. on Circuits, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, pp.705-714, 1978.

- [22].J. N. Juang, Applied System Identification, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1994.
- [23].X. D. Sun, T. Clarke, and M. A. Maiza, "A toolbox for minimal state space model realization," IEE Proceedings D, Control Theory Application, Vol.143, No.2, pp.152-158, 1996.
- [24].Jen-Kuan, and Mu-Kuen Chen, "Discrete State Space Fitting Algorithm for Digitally Recorded Impulse Parameter Evaluation," IEEE International Symposium on Electrical Insulation (ISEI) 2006 Conference in Toronto Canada, pp.265-268.
- [25].J. Juang and R. S. Pappa, "An eigensystem realization algorithm for modal parameter identification and model reduction," J. Guidance Control, Vol.8, pp.620-627, 1985.
- [26].J. N. Juang, J. E. Cooper, and J. R. Wright, "An eigensystem realization algorithm using data correlations (ERA/DC) for modal parameter identification," Control-Theory & Advanced Technology, Vol.4, No.1, pp.5-14, 1988.
- [27].A. King, U. Desai, and R. Skelton, "A generalized approach to q-markov covariance equivalent realizations of discrete systems," Automatica, Vol.24, pp.507-515, 1988.
- [28].Jen-Tsan Kuan, and Mu-Kuen Chen, "Parameter Evaluation for Lightning Impulse with Oscillation and Overshoot Using the Eigensystem Realization Algorithm," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.13, No.6, pp.1303-1316, December 2006.
- [29].Instructions GEK-100581, Ground Directional Overcurrent Relays General Electric Co. Ontario, Canada, May 2003

淺談輸電線路保護電驛簡訊系統

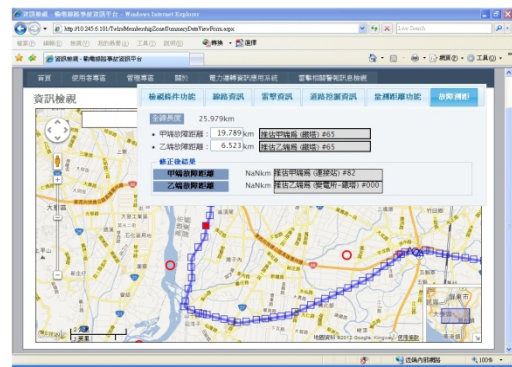
台電高屏供電區營運處 彭雲忠、王坤展

壹、前言

目前全台電力系統輸電線路，從 345kV、161kV、69kV 的保護電驛，已在台灣電力公司供電處電驛同仁的努力下，逐一將傳統電磁式保護電驛(EM Relay)汰換成數位式保護電驛（或稱智慧型多功能數位保護電驛），其中使用的電驛廠牌不乏都是一些國際級大廠的電驛，例如：SEL、奇異(GE)、東芝(TOSHIBA)、APT…等廠家，不但提昇了整個電力系統的供電穩定度與安全性，並且還可以提供在事故發生時的資料分析與系統上的即時保護，使得事故範圍可以快速的被隔離，縮小影響電力系統的範圍，還可以讓現場維護人員快速的找到事故地點，得以研判事故原因，進而縮短系統復電所需時間，實為功不可沒的幕後功臣。尤其在保護電驛資料網路系統建立完成後，其電驛相關資料的取得就更為快速，不但可以異地備份數位電驛相關設定檔、事故後電驛資料取得、數位電驛狀態監視、數位電驛標置的維護與修改等，皆可以透過整個交互連通的電驛乙太網路介面來完成，亦可達到相當好的即時性。

目前既有的線路故障距離偵測系統，有輸電系統自行維護的線路偵測系統、變電系統維護的線路故障系統以及最近非常火熱的落雷系統結合 Google map 的定位系統。然而兩套系統皆有不錯的優點與特性，而系統所需的資料來

源，不乏由已知的系統參數來建立相關資料庫，另一方面則需要當時線路負載潮流分布來進行推斷，為了讓系統與現況的結合與測距系統的準確性更高，一般會由運轉系統的資料取得或線路保護電驛取得系統負載潮流即時資料，而當故障產生時的阻抗特性與故障類型，若要第一時間獲得比較準確性的資料，則需要由既有的輸電線路數位保護電驛來取得。目前礙於數位保護電驛的運算能力，仍無法提供即時的負載潮流等相關資料，畢竟其主要的功能還是著重於供電上的設備保護與故障偵測，就因為如此，兩套系統都有提供相關的數位電驛資料輸入的方式，須待事故發生後，由維護人員將相關資料彙整給兩套系統的管理人員，才有辦法取得相關測距系統提供的運算結果。



雖然，數位保護電驛可以提供一定準確性的事故資料，然而數位電驛卻無法有餘力提供立即性的資料給予兩套測距系統，有鑑於此，我們利用一套附屬性設計，來幫助我們將數位電驛資料在故障時可以立即且自動地取出，不但不

用瓜分數位電驛的運算能力或是犧牲保護上的周延性，還可以幫助我們取得相關的數位電驛故障資料，讓事故的分析可以更快速，供電系統中央操控人員可以更快的反應後續處理，縮短系統上的不確定性時間。

貳、目前的系統概況

依照目前市場上的電力系統保護數位電驛，大多是國際有名的大廠，不乏是奇異(GE)、史懷哲工程實驗室(Schweitzer Engineering Laboratories, SEL)、東芝(Toshiba)、艾波比(ABB)、西門子(Siemens)…等，因為近期在 IEC 61850 的大力推廣下，已逐漸有數位電驛設備提供乙太網路接頭的連接介面(RJ-45)，而在早一些時期的電驛設備，僅提供 RS-232 序列埠的通訊介面，且通訊方式一般為明碼通訊(指封包內容採用未加密與編碼方式傳送)，惟因通訊格式(指設備與人機介面軟體的交談方式)由各家廠商自己訂定，所以導致很多自家撰寫的軟體，未被考慮到其軟體的擴充性、相容性與穩定性，更有廠家委託工作室撰寫的程式，常常出現硬體設備一更新，軟體需重新安裝不同版本的現況，並無法向下相容的窘境，不但造成通訊格式各自為政，連軟體的相容性與穩定度都極為不可靠，所以常常出現廠家建議「連線裝置電腦需專用」的現象。由此可見，其各家設備的整合困難度以及通訊格式解析難度極為高，身為整合出身的小弟我，是多麼興奮 IEEE 61850 的出現與推廣。



接下來我們來談談，在台灣目前常見的幾家國際大廠，所提供的輸電線保護電驛通訊介面：

一、奇異(GE)

目前台灣在 161kV 輸電線路保護電驛方面，此一廠牌為常見的保護電驛廠牌之一，最為常見的輸電線路保護數位電驛為 L90 線路差流保護電驛與 D60 線路測距保護電驛兩種，而這兩種數位電驛不但提供了 RS-232 的序列通訊介面，還提供 RJ-45 的乙太網路通訊介面，實為難能可貴，尤其人機介面軟體的人性化更值得推薦，不但提供軟體版本向下相容的特性，還利用資料庫方式建立電驛參數表，更利用人性化網頁(Web Service)與多國語言的軟體介面，讓使用者可以無痛使用、輕鬆學習，果然有國際大廠的風範。



回歸正題，既然其通訊界面有 RJ-45 的乙太網路介面，在建立數位電驛乙太網路資料存取系統時，這是我們最不費力可以建置與讀取的設備，但是在資料讀取上，我們就必須多費點功夫將網頁上

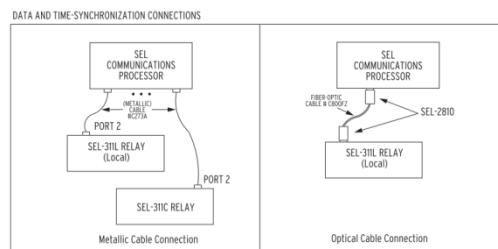
的資料進行解析，為什麼？其實原理很簡單，因為其原因在於網頁資料傳輸的過程是透過 TCP/IP 的方式來將資料切割與組裝，而在資料尚未組裝完成時，所截取到的資料格式是破碎的，所以必須利用模擬通訊盒的方式先詢問設備並請求設備將資料傳送過來並組裝完成後，才有辦法做下一步的資料分析，所以網頁型的資料是最人性化，卻是設備資料解析最頭痛的地方。

二、史懷哲工程實驗室(Schweitzer Engineering Laboratories, SEL)

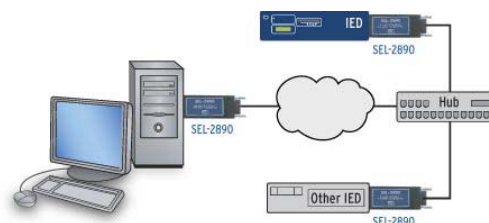


這家國際大廠，可以說對台灣的輸電線路保護電驛貢獻良多，因為從 345kV、161kV、69kV 到 23/11kV 的饋線保護，皆可以看到該公司的產品，以輸電線路(161kV)的保護電驛來說，其常見的有 SEL-311L 線路差流保護電驛及 SEL-311C 線路測距保護電驛兩種，其兩種設備皆可提供多個 RS-232(EIA-232)的序列通訊介面，其中第二個埠(Port 2)還提供了 GPS

Bits Commutations 接收介面，還可以由 COM Port 提供+5Vdc 的電源，以利於通訊轉換設備(例如：SEL-2890)的安裝，極為方便。



就其通訊格式來說，因為是採用 RS-232 的明碼通訊，而且還提供了數種通訊模式，包含 FTP、Telnet、Y-mode 等方式，讓我們在通訊封包的擷取上有了比較多樣性的選擇，但是，因為該設備在通訊的開始前，已經設立了安全性的機制，所以連線前需要通過安全性的認證，故如此我們的模擬通訊盒需進行模擬人機介面輸入的方式來進行安全認證，而且當通訊資料擷取完成後，還須做離線登出的動作，這兩點，對封包解析的硬體來說，還是有困難度的，因為由 RS-232 介面換成乙太網路介面 RJ-45，其通訊模式還保有 RS-232 的通訊獨佔性，簡單的說就是，在通訊期間，一次只允許一個通訊設備連線，這有可能會造成另一個使用者誤判設備斷線或是第一個使用者被強制登出而通訊失敗的現象，如此模擬通訊盒就需要有重新建立連線的能力，並且要能夠判斷分別出這是設備斷線或是通訊失敗的狀況。另外一個問題就是，該模擬通訊盒的通訊模式須與目前既有的系統(數位電驛乙太網路資料存取系統)通訊方式一樣，或是可以即時更改數位電驛的通訊方式，以避免干擾目前既有系統的通訊方式。



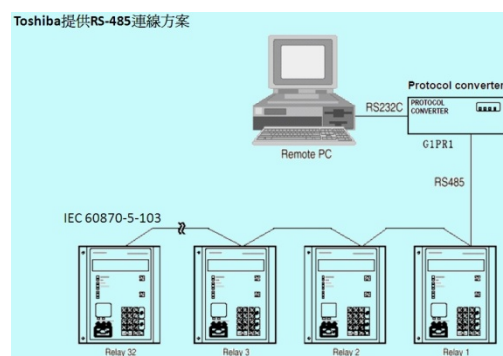
三、東芝(Toshiba)



日本大廠東芝公司(Toshiba)在台灣 161kV 輸電線路數位保護電驛可是佔有一席之地，其應用於 161kV 輸電線路的保護電驛有 GRL100 系列的線路差流保護電驛及 GRZ100 系列的線路測距保護電驛，而這兩種數位電驛設備所提供的通訊界面有後端 RS-485 與前端 RS-232，其中 RS-485 的介面僅提供貴公司自己的通訊模組與 Local SCADA 使用，一般的使用者與模擬通訊盒並無法取得相關資料，為剩下該保護電驛設備前端通訊 RS-232 的介面，其通訊方式雖採用明碼方式(指封包內容採用未加密與編碼方式傳送)來傳遞資料，但是其人机介面軟體與設備的溝通方式卻是用 ASCII 碼來溝通，這倒是讓人頭痛與難解，怎麼說呢？這就像你跟美國人講英文，但是卻使用不知名的語法來說，這樣子的講話方式，不管是美國人、中國人或是日本人，聽你說的話應該也是一頭霧水。這樣子就沒解了嗎？

另一個解套方式，就是利用破解密碼的方式與精神來處理：利用統計學的方式與歸納法來大量收集通訊中的相關資料，並與通訊軟體(人机介面軟體)所呈現的畫面資料作核對，舉例來說，既然對方說的語言是由英文單字加上不知名的語法，那我們就把相關他所說的話做紀錄，並大量比對已知的世界語言文法，照出可對應的語法，那我們就可以知道對方的說話內容了！不過，這需要長時間的軟體作業，需先將通訊內容全

部監錄，並對通訊軟體(人机介面軟體)所呈現的畫面資料，最好是同一台機器做實驗，再建立資料庫來做測試，如此建立的模擬通訊盒，將可完全取代通訊軟體(人机介面軟體)的自動與該設備溝通來取資料。



四、其他

其他廠牌的保護電驛，在目前台灣 161kV 的輸電線路保護電驛極為少數，需透過個案處理與了解，並收集相關資料才能知道其設備的通訊架構為何？通訊格式與通訊方式為何？如此再針對不同設備的資料取得並做解析！

參、系統原理、架構與應用

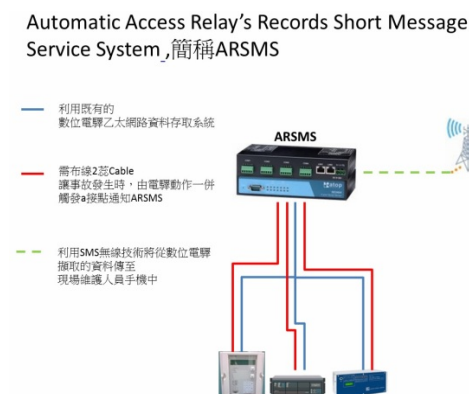
既然我們都知道台灣 161kV 輸電線路保護電驛這三個國際大廠的設備通訊方式，接下來系統要考慮的，倒是資料取得的時機，總不能依照老舊的通訊方法用輪詢方式來處理，這樣不但會將已經不是太大的頻寬給塞爆，而且做起事來還真是沒效率，那我們就須建立事故發生時，再來讀取該設備的相關資料就可以，不但可以剩下極大的網路頻寬，而且可以有效率地將資料取回、解析並傳送，那我們要用什麼方式來傳送已經解析完成的資料？因為數位電驛乙太網路資料存取系統已經有中央調度台值班人員使用，為了可以及時提供相關資訊

給現場維護人員，最好的方式就是利用簡訊系統(Short Message Service, SMS system)。

一、系統架構：

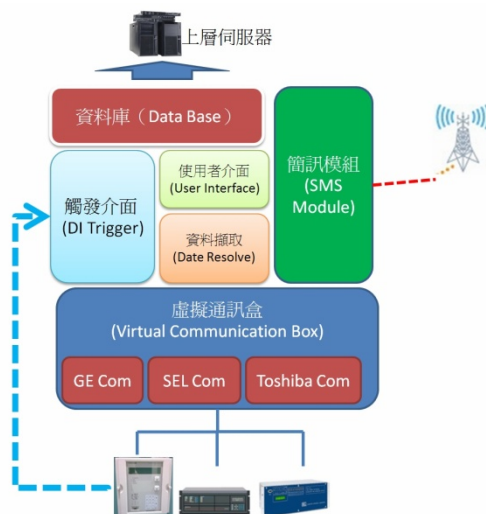


由上的系統架構來說明，首先，在每一個變電所建立一套數位電驛事故自動回報系統(Automatic access Relays records Short Message service System, 簡稱 ARSMS)，就數位電驛事故自動回報系統現場架構示意圖如下：



圖中，紅線為兩蕊電纜，拉至數位電驛盤面，經過測試 KEY 再到電驛的動作接點(乾接點/a 接點)，當數位電驛偵測到線路發生故障的時候，啟動電驛跳脫邏輯並動作內部接點來進行跳脫現場 CB，以隔離線路事故點，並同時觸發警報與此 ARSMS 的 DI 接點，如此，ARSMS 會依據當時所定義的電驛 IP 位置與電驛型式來進行連線(圖中藍色的路徑)，並因為電驛型式的不同採用不同的通訊格式與方式，當 ARSMS 將資料收集並解

析完成後，再開啟 SIM 卡的 SMS 功能資料發射出去，發射完成後會進行 SIM 卡連線的關閉，也因此，可以避免由外部入侵「數位電驛乙太網路資料存取系統」的可能性。



由上圖的軟體架構圖可以看出，使用者在設備的初始狀態下就需定義幾樣東西：

1. 場所：例如○○變電所。
2. DI 觸發對應的電驛設備 IP、線路名稱、電驛型態。
3. 簡訊通訊錄。
4. 設備資料需求電話。
5. ARSMS 實體環境參數、網路位置設定、名稱。
6. 對應上端伺服器位置。

如此，ARSMS 系統才有足夠的資料來進行各項工作。

二、上層伺服器(母系統)：

在軟體架構圖中，有一個「資料庫」的方塊，其中包涵了：

- a. 使用者的通訊錄，可以由使用者在本機下直接定義，亦可從上層主機上的通訊錄作定義。
- b. DI 的定義，紀錄各個 DI 觸發後的相關資料，包涵設備名稱、保護

電驛型式、電驛 IP、電驛資料擷取方式。

c. 歷史簡訊的查詢。

d. 系統 Log 的儲存與調閱。

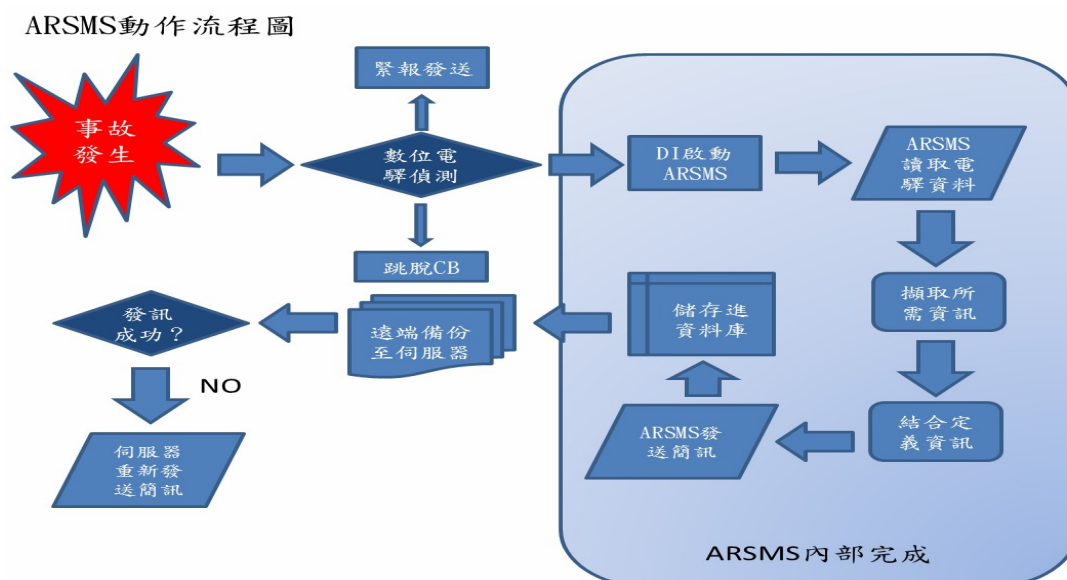
資料庫所對應的上層伺服器，其主要功能在於對子系統的資料庫備份或是支援性工作，例如：對於上層伺服器，可以在通訊錄的變更後立即用派送方式變更（立即更新所轄管的子系統）、簡訊失敗後的重送（子系統簡訊傳送失敗後，由母系統負責重新發送）、歷史資料的備份與調閱（所有發送過的資料與系統資料擷取結果）、子系統的監視（確認系統的執行）、系統設定檔的備份與還原，以及子

系統本身的 Log 檔備份與簡式通知（當子系統發生錯誤時，母系統可以提供簡易的通知，例如警報或是 e-mail）。

有此可以得知，母系統（上層伺服器）所扮演的角色，都是屬於幕後工作、系統管理的工作或是比較不緊急的狀態處理。

三、系統觸發流程：

系統的啟動源頭在於保護電驛，由 DI 點的觸發來啟動後續一連串的動作，包含讀取、收集、解析、發送與紀錄等，流程如下圖：



其實在數位電驛事故自動回報系統（Automatic access Relays records Short Message service System, 簡稱 ARSMS）內部就已經完成 99% 的工作，除了後端的備援與備份工作外，系統所依賴跨區性的網路機會並不高，如此的設計，可以避免跨區網路的斷線或是出現孤島狀況而讓系統無法作業的狀況，不但大大的提高系統的獨立性與可靠性。另外系統內的資料庫採用分散、獨立（單

機）兩種並存的方式，可以調閱歷史資料，亦可遠端異地備份，達到資料備援的目的，並且有讓資料永久保存或循環複寫，任君選擇。

當數位電驛偵測到輸電線路故障時，同一時間須動作如此多的設備，又要同時記錄事故相關資料、衛星校時等，現今又加上 ARSMS 的觸發點，是否會造成數位電驛的工作負擔？其實不會的，因為 DI 觸發的邏輯與警報點的觸發邏輯是

一樣的，些許會比跳脫邏輯(電驛主要的保護功能邏輯)慢一些時間(可能是幾毫秒不等, ms)，但是其觸發的工作並未新增加其他的邏輯判斷，故不會造成數位電驛額外工作，而且數位電驛內部的觸發控制器是獨立作業的，一次多點觸發是它特有的功能，因此並不會增加數位電驛的邏輯運算上的負擔。

四、工作電源

在變電所，設備的電源就變成極為關鍵選項，因為，當輸電線路的故障發生時候，極有可能造成變電所全停電，而系統卻須可以繼續進行相關性的操作(俗稱孤島效應)，而此套數位電驛事故自動回報系統(Automatic access Relays records Short Message service System, 簡稱 ARSMS)可以選擇不同直流電壓等級的電源選項，亦可利用變電所的失壓警報做簡訊通知，或是利用自身的電源監視系統作為觸發，可以成為電力系統通訊網路另一個警報系統，不但可以避免因為工作電壓流失，而電力系統通訊網路失能，造成控制中心監視系統全盲而不知，這對電力系統的監控死角無疑提供相當大的幫助，就像是歌唱團體五月天「第二人生」一樣，為電力監視系統提供了第二個保障路徑。

五、時間校時

時間校時，對事故資料的同步與研判極為重要，尤其在同一區域發生類似又相近的事故時，數位電驛動作的時間就極為重要，不但有利於各項事故的研判，並可以藉由各個事故的相關資料進行收集、分析並同步化，借而找到系統上比較可能性的弱點，並進行改善作業。而本系統 ARSMS(數位電驛事故自動回報系統)提供了兩個校時方式，分別為 SNTP (RFC 2030-Simple Network Time

Protocol)與 IRIG-B 兩種，SNTP 提供了 3~5ms 的準確性，而 IRIG-B 提供了 10~20ms 的準確性，以上的時間準確性，皆礙於各項校時規格所限制。兩種通訊各有各的特性與優缺點，可以供使用者選用。至於未來若升級 IEC 61850 的話，當然就可以透過 IEC 61850 的通訊格式進行時間上的校對。在設計上，ARSMS 會依據 DI 觸發時間來判斷所擷取到的資料是否為有效資料，避免擷取到舊資料而誤發簡訊的錯誤狀態，所以時間上的校時，就有它一定的重要性。

肆、未來性與結語

關於未來 IEC-61850 這希望之星，若能再往後日子推廣成功，此套數位電驛事故自動回報系統(Automatic access Relays records Short Message service System, 簡稱 ARSMS)一樣可以透過軟體升級的方式來做銜接，因為該系統的主要通訊界面就是網路與簡訊，簡訊介面就單純的是發送端，故無通訊格式或硬體介面問題，而網路介面則用來讀取數位電驛的相關資料，其主要通訊格式是經由系統的模擬通訊盒(Virtual Communication Box)來進行數位電驛的溝通，所以系統若要升級 IEC-61850 能力，就可以透過升級模擬通訊盒(Virtual Communication Box)的方式來加入 IEC-61850 的通訊功能，以達到其擴充性。

雖然數位保護電驛可以提供一定準確性的事故資料，其中輸電線路參數的輸入、是否為混用型輸電線路、負載潮流以及誤差參數，都是影響數位電驛對於故障距離的判斷，這些都需仰賴系統維護人員的更新與資料庫維護，而各系

統對於數位電驛的故障測距資料之依重，絕對是數位電驛開發人員始料未及的。

目前台電雖然已建置了數位電驛乙太網路資料存取系統，可以提供中央控制人員對於數位電驛故障的資料存取，但是因為系統安全上的考量，並無法隨時隨地提供相關網路存取熱點，所以讓資料的取得變得極為不方便，所以這套系統不但可以兼顧到保護電驛乙太網路資料存取系統安全性以及系統維護人員的資料獲得便利性。

參考資料

1. 漢門科技股份有限公司, 魏巍, 網路自動化講義
2. GE, L90、D60 說明書(190man-m2、D60manu-h2)
3. SEL, 311L 、 311C 說明書 (SEL_311L-1-7_IM_20111031 、 SEL_311C-1_IM_20120111)
4. Toshiba, GRL100、GRZ100 說明書 (GRL100B-6F2S0835 、 GRZ100B-6F2S0833)

談古論今話《易經》

本會現任常務監事 李國楨

一、前言

《易經》自遠古以來被世人公認為「群經之首」、「經中之王」，雖歷經六千多年滄桑，迄今仍屹立不搖。此因《易經》闡釋宇宙人生變化的法則，其精深廣博包羅萬象是中華文化道統之根源，尤以易理本體誠如老子道德經曰：「有物混成，先天地生，寂兮寥兮，獨立而不改，周行而不殆，可以為天下母。吾不知其名，強字之曰道。」其大意謂：有一物體初始雛形混沌狀態，比天地先誕生，之後其內部氣之輕清者上浮為天，氣之濁重者下凝為地，內在潛移默化而外觀仍獨立不變，循環演化而不停，可說是造化天地之母體，不知演化如何定名，勉強用「道」字稱述，是以「道」法自然。

上古伏羲氏作易，順乎人之天性與萬物生生不息，明瞭兩者之關聯密不可分之理，始創「天、地、人」三才之道，奠定中國哲學思想之根本，直至三千多年後發展出來的儒、道、法、墨、農等諸子百家都繼承「天人合一」道統，所有著作經典莫不淵源於此道統，因此《易經》又被尊稱為「群經之始」，可視為中華文化之總源頭。

二、《易經》之由來與演進

班固漢書藝文志云：「易歷三聖，世歷三古。」三古係指上古、中古、近古；但三聖指伏羲氏、文王及周公、孔子四聖，難免令人疑惑不解。此因伏羲氏易卦創始

「天、地、人」三才之道，並以三畫卦象來示意歸納成三，此後便自然而然形成「事不過三，無三不成禮」之慣性思維。故在不失禮制下，將文王周公父子兩人合而為一，使易歷三聖傳說一直流傳至今。

上古伏羲氏仰觀象於天，俯觀法於地，觀鳥獸與地理事宜，進取象於人，遠取象於宇宙萬象萬物，創作八卦，取天、地、雷、風、水(月)、火(日)、山、澤等八種與人類關係密切之大自然現象，其主要目的是揭露大自然之特性，類比萬物生生不息之實情。

伏羲氏歿後至神農時代，文化不斷增進，為造福群生推廣應用，乃仿中國西北山巒相連，取名為「連山易」，象徵群山綿延不絕，以艮山為首卦，重人道，盡人事。

神農氏歿後，至黃帝時代，制器尚象，易之大用更擴及國家興建大業，將易卦符號與文字解說刻劃於龜甲而收藏，取名為「歸藏易」，以坤卦為首，重於地道。

三千五百年後流傳至周文王，其被紂王囚禁於羑里仍潛心演易創作，將八卦兩兩重疊，成為六十四卦。此後易六畫而成卦，上兩畫示意立天之道曰陰與陽，下兩畫示意立地之道曰柔與剛，中間兩畫示意立人之道曰仁與義。周公繼承父志寫作卦辭、爻辭啟發吉凶悔吝教誨，作為立身處世與進德修業之戒鑑，後世稱謂《周易》。

太史公司馬遷在史記記載：孔子晚年喜讀《周易》，乃至「韋編三絕」，令人不禁肅然起敬。因孔子刪詩書，定禮樂，作春秋，唯讀對《周易》不敢增減一字，足

見其對周易備至尊崇禮遇。子曰：「加我數年，五十以讀易，可以無大過矣。」《論語述而》領悟到學易可以寡過，果真「七十而從心所欲不逾矩」修己以敬止於至善境界矣。

孔子離殷、周之際已逾五百年，經文古奧難懂，故孔子及其門生乃贊著十翼，取其輔翼《周易》經文注解，揭露《周易》宇宙人生哲理。此十翼為：「文言、彖傳上下、象傳上下、繫辭傳上下、說卦傳、序卦傳、雜卦傳」後世統稱《易傳》。後人藉助《易傳》詮釋，《周易》始由卜筮書籍，才逐漸轉化為探討宇宙人生哲理的典籍。

當初伏羲氏天地人三才之道，上爻表無形之能的天道，在天成象；下爻表有形之質的地道，在地成形；中爻兼備無形之能與有形之質而為人道，在人成事。道家窮變化崇尚天道，主張「無為而無所不為」，其思想源自「歸藏易」；儒家重人倫崇尚人道，主張「有所為、有所不為」，其思想源自《周易》；墨家倡實利崇尚地道，務實「順天應人成大業」，其思想源自「連山易」，是以儒、道、墨三家學說，可說是皆本乎易理。

三、《易經》之三大要義

南宋蔡元定云：「天下事出於一闔一闢，天下萬理出於一動一靜，天下萬數出於一奇一偶，天下萬象出於一方(陰)一圓(陽)、盡起於乾(陽)坤(陰)二畫。」研究易經首先要明瞭天道尚變、地道不變、人道有所變、有所不變之三大特質，分述如下：

1. 不易：宇宙萬事萬物隨時隨地都在變化，唯有道之本體，永恆不變，無名可言，互古今而不變，歷萬劫而常新。《中庸》云：「道也者，不可須臾離也，可離非道也」例如：古今中外商業往來講

究「誠信」，不因時空變遷而異，即是不易之要義。

2. 簡易：繫辭上傳云：「易簡而天下之理得矣，天下之理得，而成位乎其中矣。」相對於陰陽之永不止息變動，取「中」以保持動態平衡，時上時下，時剛時柔，隨其所處之時空而調適。《中庸》云：「致中和，天地位焉，萬物育焉。」揭露「中道」之大用。譬如：突破錯綜複雜窘境，取「中道」尋求最大公約數，馭繁入簡，此為簡易之要義。
3. 變易：繫辭上傳曰：「易有太極，是生兩儀，兩儀生四象，四象生八卦，八卦生吉凶，吉凶生大業。」故剛柔相摩，八卦相盪，重疊成六十四卦，每卦六爻得三百八十四爻，此乃「易窮則變，變則通，通則久。」是為變易之要義。

四、易經之基本認識

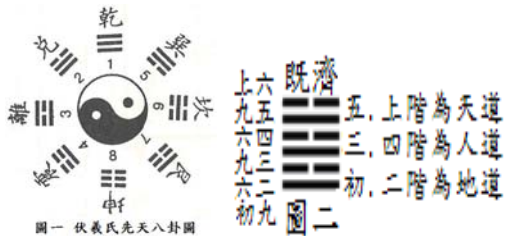
所謂太極者，「太」可分解為「大」與小「小」組合，故太極含意為「極大與極小之組合體」。《中庸》云：「故君子語大，天下莫能載焉；語小，天下莫能破焉。」呂氏春秋亦云：「其大無外，其小無內。」一言以蔽之，太極如同宇宙虛空，無所不包、無所不容。

觀照太極圖，易無體宛如太極無窮盡，太極動而生陰、陽兩儀。繼而老陰生真陽(少陽)，老陽生真陰(少陰)是為四象。四象再化生陰陽成八卦，至此天、地、人三畫卦全部完成。

三畫卦圖象表徵乾(天)、坤(地)、艮(山)、兌(澤)、震(雷)、巽(風)、坎(水)、離(火)等八大自然現象。由於上古時期尚未創始文字，伏羲氏遂取「--」兩斷線表陰為偶數、以「一」一連線表陽為奇數，通稱為爻，「爻」亦稱「交」，代

表有陰、陽兩氣變化交錯之真義。卦者「懸掛」也，八卦即是將八個不同之三爻畫像懸掛，代表八種自然現象。

如圖一伏羲八卦以乾、坤兩卦為主體，坤體得乾於初爻以成震；得乾於中爻以成坎；得乾於上爻以成艮。同樣乾體得坤於初爻以成巽；得坤於中爻以成離；得坤於上爻以成兌。是故說乾坤得六子（震、坎、艮、巽、離、兌）再依說卦傳曰：「天地定位，山澤通氣，雷風相薄，水火不相射，八卦相錯。」排列出先天八卦如圖示。



如圖設乾代號為 1，依序類推則八卦相疊推演六十四卦，排序代號如下：11…18、21…28、31…38、41…48、51…58、61…68、71…78、81…88。圖二為代號 63 上坎（水）下離（火）既濟卦，「既濟」為卦名。上卦稱謂外卦表示外在環境，下卦稱謂內卦表示內在本質，六十四卦皆按六爻成形，代表六個階段之動態。「易氣由下而生」，是以每一卦六爻排序由下而上，依序稱謂「初、二、三、四、五、上」六階段。每階逢陽爻則用「九」；逢陰爻則用「六」（詳圖二）。此乃陽為奇數表擴張，故陽從奇數七外擴至最大「九」而陰為偶數表內縮，故陰從最大偶數八內縮至「六」，遂有「七上八下」之典故。六階序名後用「九」或「六」之稱謂規則如下：

1. 初（上）階：陽爻稱初（上）九；陰爻則稱初（上）六。

2. 二（三、四、五）階：陽爻稱九二（三、四、五）；陰爻則稱六二（三、四、五）。

五、易經四大功能

繫辭上傳曰：「易學有辭、象、變、占四道。」以言者尚其辭，依卦爻所繫文辭來闡明吉凶理則，是為「理」。以動者言尚其變，觀察奇偶陰陽的數量變化，以定進退行止，是為「數」。一卦一爻，各有所取象，以制器者尚其象，仿效卦爻之形象製作器物以為用，是為「象」。以卜筮者尚其占，運用占卜來問事決疑，是為「占」。

自兩漢以來迄今已兩千餘年，《易經》一直分成兩派，一派重視卜筮，號稱象數派，追求形而下者之器用；另一派則重視哲學思想，號稱義理派。孔子贊著十翼詮釋易理，追求形而上者之道體，開創儒家解易之人文主義傳統，實有不可抹滅之貢獻。

惟象數派對傳統科技與民間文化有深遠影響力。誠如四庫全書云：「易道廣大，無所不包，旁及天文、地理、樂律、兵法、韻學、算術，以逮方外之爐火，皆可援易以為說。」乃至中醫學、氣功養生學、算命卜卦皆屬象數範疇，佔盡後世發展之優勢。

占卜論及吉凶、悔吝、无咎五者。繫辭上傳曰：「吉凶者，言乎其得失也。悔吝者，言乎其小疵也。无咎者，善補過也。」簡言之，吉為「有所得」；凶為「有所失」；「吝」從口，即是「找藉口」或「口頭承認過錯而無實際行動。」導致墜入凶境；「悔」從心示意「心中憂虞」積極改過向善，漸入吉順。「无咎」是「悔」、「吝」之後，確實付諸行動補過，自然是沒有過失。

《周易》恆卦九三爻辭謂：「不恆其

德，或承之羞。」意謂：人如不恆守德性，或將招來羞辱，占之何益？是以子曰：「不占而已矣。」《論語·子路》孔子此種研易心得，教人心地純潔，行事不違正道，成為歷代儒學效法之典範。荀子推崇此種易經觀而認同「善為易者不占。」《荀子·大略》，故繫辭下傳云：「易為君子謀，不為小人謀。」

六、後語

《易經》雖經六千多年歷史軌跡，流傳至今或許是沉重包袱，然若能溫故而知新，並賦予科技文化新意，何嘗不能活化為資產。實務上古聖先賢之易道哲理靈活運用於今日，比比皆是不勝枚舉，如細心玩味便可窺出。

台灣「經濟奇蹟」曾享譽全球，吸引許多未開發國家想用複製方式速求成果，孰料功敗垂成。成敗關鍵在於文化主體底蘊之深度與廣度，台灣擁有數千年中華文化資產可供藉鑑，其中攝取易道思維模式。太極生陰、陽兩儀呈現反S型弧線而非對半方式劃分，揭露道理為「內方」，而行徑卻是「外圓」，故思維邏輯活用「窮則變，變則通，通則久。」才是致勝關鍵。其他未開發國家文化深度、廣度不及此處，故畫虎不成反類犬實不足為奇。

兩岸主體政體制度在南轅北轍下，分離數十年不相往來。但近年來卻能快速互動發展，融洽如一家，實受惠於「同中存異，異中求同」與「平等、互惠、尊重」相互包容原則。此乃出於「陰中有陽、陽中有陰」、「一陰一陽之謂道」的太極哲理一調適陰陽對立轉化的中道思維，追求永恆及適時適變之致中和狀態，即是「彼此雖不太滿意，但是還能接受」之中道觀，

此種「以柔濟剛」維持恆久和諧相處之道，正是《易經》之終極追求。

歐陸大哲學家和數學家萊布尼茨(Leibniz, 1646-1716)在1703年研讀伏羲六十四卦方圓圖之後，發現以0代「陰」，以1代「陽」則六十四卦之值剛好對應從0~63，此二進制正是今日電腦之理論基礎，資訊科技已發展至雲端網路，從國內更推展到浩瀚無際之國際網路，可說是將「中學為體，西學為用」發揮到淋漓盡致之地步。

綜上所述，易道思維已普及經濟、政治、資訊科技等各行各業。子曰：「人能弘道，非道弘人。」《論語衛靈公》古聖先哲以弘揚易道自許，今人當思追隨其後，以弘揚中華文化為己任，不但要肩負「承先啟後、繼往開來」重任，更追求賦予新意超越傳統，甚至創新文化主體人文主義，貢獻國家和社會，共謀提升文創卓越競爭力。

七、參考資料

1. 易經之道 李易儒講解
社藍燈文化事業股份有限公司
中華民國八十八年七月再版
2. 21世紀的易經管理法
作者 曾仕強
方智出版社
中華民國八十五年四月 五版
3. 《周易》與中國現代化
作者 朱高正
豪信彩色照相製版有限公司
中華民國八十五年三月十五再版
朱高正易學著作精選