

# 數位式差動保護電驛之模擬與測試

崑山科技大學電機工程系 蘇偉府

崑山科技大學電機工程系 林慧鉞

恆揚電機技術顧問(股)公司 廖志中

## 摘要

由於科技之發展進步神速，使得配電系統之保護電驛在設計及應用方面，受其影響而持續不斷改變；以往的電磁機械式設計，伴隨著半導體，積體電路及微處理機的技術發展而演變，再加上光纖通訊與數位式保護電驛相結合，使得保護電驛在配電系統及配電設備於異常狀態時，所能提供之信賴性、安全性、選擇性、速動性及經濟性等應用性能可大幅提高，其能將故障檢出隔離，藉以減輕配電設備損壞程度及維持配電系統穩定度與可靠度。差動式保護電驛屬快速動作型保護電驛，故在配電系統保護協調應用上可做為主保護，並不需與下游之保護電驛做協調；而且差動式保護電驛與過電流電驛保護相似，均可應用於配電系統各種不同配電設備之保護。但配電設備內部故障如由過電流電驛保護，則可能因故障隔離清除時間較長，致使輕者因電磁及機械力量使得結構產生變化，重者導致電力設備產生電弧、起火，進而造成開關器具燒損或套管炸毀，而危害到鄰近設備甚至人員。尤其電壓等級愈高之設備，更需較高級的保護設備。如若延遲清除故障，將對電力系統造成更嚴重之損害，其修護亦將較為困難，所以使用差動式保護電驛快速隔離電力設備之內部故障乃為保護配電系統及設備最有效

之方法。本文藉由電磁暫態模擬程式結合電力系統模擬器，來研究配電系統發生事故過程中之暫態行為對差動式保護電驛之影響，進而改善保護電驛標置，防治保護電驛於故障過程中之誤動作，並以實體模型為基礎，實現保護電驛暫態性能試驗之數位化。

關鍵字：差動式保護電驛，電磁暫態模擬程式

## 前言

台灣目前產業發展趨勢已由傳統產業快速提昇至高科技產業，各個地區也紛紛成立科技園區，如：新竹科學園區、中部科學園區、南部科學園區...等等。高科技產業之電力用戶對於電容量的需求、電力品質、供電安全及穩定之電壓與頻率都是相當的嚴謹，更重要的是要有供電連續性。台灣電力公司雖僅短暫地供電中斷，但對高科技產業之電力用戶仍將造成嚴重的損失。目前台灣電力公司為滿足高科技園區高供電可靠之要求，將事故較多的架空線路改為環路式地下化供電型態，大大的改善供電系統的可靠度及品質，而大型高科技產業用電戶受電電壓等級也提高到161kV 地下環路受電，由於受電電壓等級的提高，受電設備的保護要求更形重要，而本文所探討之差動式保護電驛在161kV

受電戶的電力系統保護架構中其保護協調規劃為主保護，也就是快速保護電驛裝置。

國內科學園區差動式保護電驛之使用，近年來有發生運轉中誤動作，造成停電而損失慘重，探究其原因皆在於施工過程中對差動電驛接線方式經驗不足，而導致發生接線錯誤，以致日後送電後造成電驛誤動作，使得工業界造成嚴重的停電損失。有鑑於此，本文中亦提出對差動式保護電驛，使用 EMTP 軟體模擬並結合電驛試驗器 F6150 將模擬結果做現場之實際試驗方法。期望能有效減少日後差動式保護電驛所產生的誤動作，減少工業界的停電損失，對台灣的工業界有所幫助。

## 差動式保護電驛基本原理

差動式電流保護乃藉由偵測被保護之設備其流入與流出電流的差異值，藉此判定被保護設備是否有故障發生，基本原理如圖 1 所示，其中沿著二次側交互連結的導體被稱為副線(Pilot Wires)。

如圖 1 所示，而當被保護設備內部發生故障時，則流入被保護設備的電流將會大於流出被保護設備的電流，此時可清楚地瞭解流入被保護設備的電流將等於流出被保護設備的電流再加上故障電流之和而當流入差動式保護電驛的差動電流值大於其動作設定值，則差動式保護電驛經過延時線圈判斷後，即會動作而使得斷路器跳脫，藉以隔離故障電源。

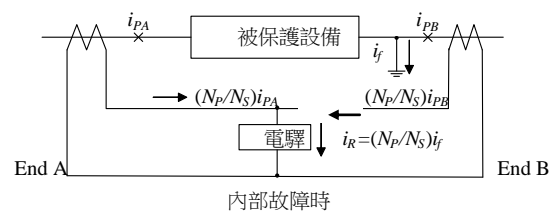


圖 1 內部故障

如故障發生在被保護設備的外部時，此時兩具比流器的一次側電流值相等，如圖 2 所示，因此流入電驛的差動電流值為零，差動式保護電驛將不會動作。若此時電驛動作，送出跳脫訊號，將斷路器跳脫，則是為誤動作情形。

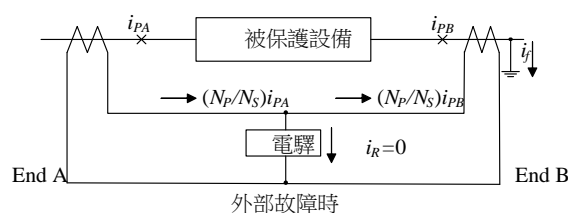


圖 2 外部故障

在正常情況下，如圖 3 中之瞬間流入被保護設備之電流等於流出電流，電驛中動作線圈差流電流值等於零，因此電驛是屬於正常狀態。

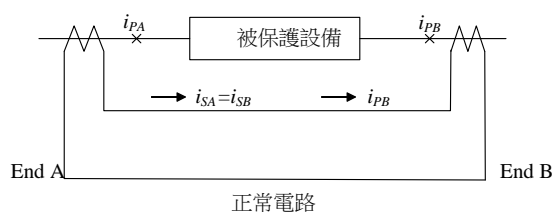


圖 3 正常電路

當電力系統發生故障時，其電壓及電流會瞬間產生變化；而保護電驛之任務，乃用來偵測電力系統故障狀況，故絕大多數的保護電驛其輸入量均為電壓及電流。實際運用時，保護電驛需藉由（比壓

器,VT)及(比流器,CT)[1-2]將高電壓及大電流轉換為保護電驛可接受的範圍值。差動式保護電驛偵測電流狀況以判別電力系統設備是否發生故障,故本文僅說明比流器的有關特性及其在差動式保護電驛運用時應注意事項。

比流器之等效電路通常表示如圖 4(a)所示,此圖所對應的繞線方向及電壓和電流極性則如圖 4(b)所示。通常比流器二次側所連接的負擔(Burden)其阻抗值甚低,且其二次側電壓及 VA 值亦都很低;因此,比流器的等效電路圖可以再簡化成如圖 5 所示。此電路可描述比流器在穩態或暫態情況下,其一次側電流  $i_p$  與任何負擔下的運轉行為。

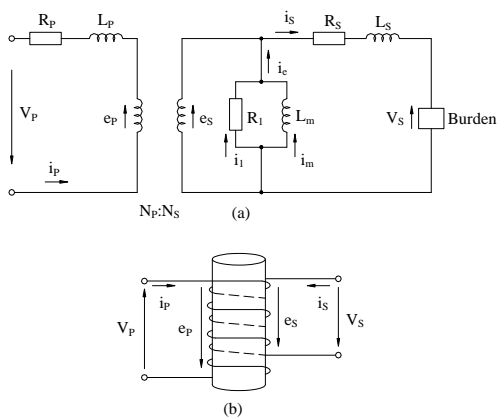


圖 4 比流器等效電路圖

由於使用於比流器鐵心的磁性材料,其激磁特性為非線性,所以比流器的激磁阻抗並非常數,磁化電感  $L_m$  及耗損電阻  $R_1$  會隨著鐵心內的磁通而改變;然而,鐵心磁通乃為提供比流器二次側的電動勢,雖然激磁特性為非線性,但在特定狀況下仍可由其他方法求出特殊比流器的行為模式,通常求出的值並不需有很高的精確度,故可將其簡化處理,藉由每週期的平均值,而獲得  $R_1$  及  $L_m$  之值,並假設其

為常數。

比流器穩態狀況之等效模式比流器二次側所連接的負擔,其阻抗值如未超過其二次側的額定 VA 值,且一次側電流的弦波值低於額定電流時,由二次側繞組所感應的電動勢並不會大到引起鐵心發生飽和現象。通常設計良好的比流器運轉在此狀況下其激磁磁動勢和一次側繞組的安匝數( $i_p N_p$ )相比是非常低的,即使激磁電流  $i_c$  並非為弦波。

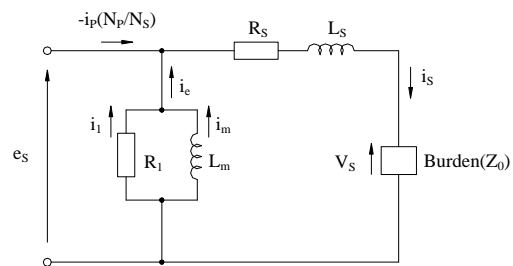


圖 5 以二次側為基準的比流器近似等效電路圖

在兩繞組變壓器[3],任何瞬間其一次側及二次側繞組的安匝數之和( $i_p N_p + i_s N_s$ )必須等於激磁鐵心的安匝數( $i_c N_s$ )。故一次側電流波形如為純正弦波,則二次側電流必含有與激磁電流相同大小的諧波成份。然而,二次側電流波形的扭曲程度將較激磁電流波形小很多,此乃因為二次側電流含有比激磁電流大很多的基本波成份。所以在實際運用時,二次側電流的諧波成份均可忽略不計,而假定二次側電流波形僅具正弦波成份。

因比流器之激磁成分為非線性,故其量測誤差很難以簡單的形式來加以表示。然而,實用上我們可以激磁電流和二次側電流的基本波成份大小與相角來表示;如假設鐵心的磁滯迴線近似為橢圓形,此即表示在等效電路中的  $R_1$  及  $L_m$  為一常數,

可得其穩態相量圖，如圖 6 所示。

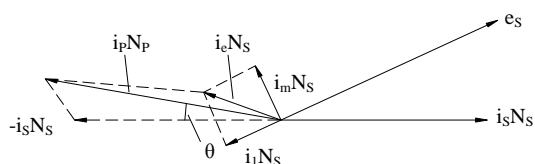


圖 6 比流器之穩態近似相量圖

由等效電路圖 5 及相量圖 6 可得知，在鐵心的激磁特性近似為線性變化時，則在固定負擔阻抗下，激磁電流  $i_c$  和二次側電流  $i_s$  成正比關係。在此狀況下，可藉由調整適當的二次側繞組數，而使得電流量測誤差減小至最低。即當  $|i_p| N_p > |i_s| N_s$ ，則此時減少二次側的繞組數，可獲得更精確的量測結果。事實上，量測誤差會隨著二次側電流及負擔阻抗而變，二次側繞組數須調整到電流量測誤差的變化範圍均可合乎標準的指定精確等級；例如以 Class I 的精確度而言，其二次側繞組數必須使其電流量測誤差皆保持在  $\pm 1\%$  以內。

調整二次側繞組的方法稱為匝數補償。例如，匝數比為 500:5 且一次側為單一繞組之比流器，每調整二次側繞組數一匝，則電流誤差會變化 1%。此匝數補償對比流器的相角誤差並沒有影響。

異常狀況之等效模式比流器須依其與量測設備或保護設備之連接，而有不同效能之選擇；在保護設備中使用之比流器須能承受較大的故障電流值，此故障電流會因故障型式而異，這些故障電流可能很大，且其波形可能為非正弦波，更可能含有諧波和暫態成份(直流成份)。

在短程電力線路和其他設備的並聯導納可予忽略時，電力網路可簡化成包含正弦波電源  $V_m \sin \omega t$ 、電阻  $R$  及電感  $L$  之串聯組合；在此電力網路於斷路器投入時，其流過斷路器的瞬時電流  $i_p$  可以下式表

示之：

$$i_p = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left[ \sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-t/\tau} \sin(\alpha - \theta) \right] \dots (3.1)$$

式中，時間常數  $\tau = L/R$ ， $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$ ， $\alpha$  則為斷路器之投入角。

當電力系統發生短路或接地故障時，流過其斷路器之電流將比額定電流更大，此時比流器轉換電流的波形和特性必須詳加考慮，可依負擔之性質分述如下：

(一) 比流器的負擔為純電阻時

為簡化此種狀況，首先將其洩漏電感予以忽略，並設比流器二次側的繞組均勻環繞在鐵心，其中鐵心具有極高之導磁係數，此時激磁電流亦可忽略。在此種狀況下，比流器的轉換比可近似為下式：

$$i_s = - \frac{N_p}{N_s} i_p \dots \dots \dots (3.2)$$

且二次側電動勢  $e_s = i_s R_s$ ，其中  $R_s$  為二次側電路的電阻；而鐵心之磁通量可表示為

$$\Phi = - \frac{1}{N_s} \int e_s dt = - \frac{R_s}{N_s} \int i_s dt \dots \dots \dots (3.3)$$

將式(3.1)代入上式，可得

$$\Phi = \frac{I_{pk} N_p R_s}{\omega N_s^2} [\cos(\omega t + \alpha) + \omega \tau e^{-t/\tau} \sin \alpha] + k (3.4)$$

式中  $k$  為積分常數，當  $\alpha = \pi/2$  時，上式變為

$$\Phi = \frac{I_{pk} N_p R_s}{\omega N_s^2} [\sin \omega t + \omega \tau e^{-t/\tau}] + k \quad (3.5)$$

式(3.5)中顯示出鐵心磁通含有三個成份，分別為穩態變化的正弦波形、指數衰減成份及常數部份之加總；圖 7 說明投入角  $\alpha$  和電路常數所對應之最大磁通變化，在圖 7 中可得知其最大磁通變化範圍介於穩態峰值的 2 倍至  $(1 + \omega \tau)$  倍。

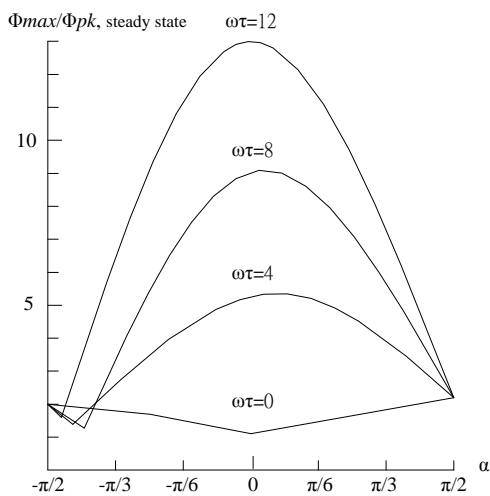


圖 7 故障投入角與電路常數之最大磁通變化關係

在正常狀況下，大部分比流器所連接之負擔為電阻性，即使在很大暫態電流流過鐵心而無飽和現象時，其磁通最大值並不大；例如，當故障電流的穩態成份達至額定值的 20 倍時，如  $\omega \tau$  值也是 20，則在正常狀況下峯值磁通密度必不會超過  $1/(20 \times 21)$  的飽和磁通密度；在非飽和的狀況下，鐵心的飽和磁通密度約僅有 0.003T。

(二) 比流器負擔為電感性時

為簡化此狀況，假設鐵心之導磁係數為無窮大且二次側電路之阻抗為

純電感。則流過比流器二次側電感  $L_s$  之電動勢可表示為下式：

$$e_s = L_s \frac{di_s}{dt} = -L_s \frac{N_p}{N_s} \cdot \frac{di_p}{dt} \dots\dots\dots (3.6)$$

而其鐵心磁通量亦可表示為：

$$\Phi = -\frac{1}{N_s} \int e_s dt = \frac{L_s N_p}{N_s^2} i_p + k \dots\dots\dots (3.7)$$

由式(3.7)可得知在相同之 VA 負擔下，電感性負擔較電阻性負擔所需之磁通變化小；在正常情況下，其最大磁通密度值應不會超過穩態成份峯值的兩倍。而當比流器二次側的負擔包含電感和電阻成份時，其磁通變化須由式(3.5)及式(3.7)式之磁通比例和求得，然而其最大磁通密度與穩態成份磁通密度峯值之比將不會超過在相同 VA 負擔下二次側為純電阻時之比值。

(三) 比流器二次側為電容性負擔時

為簡化此狀況，亦假設鐵心之導磁係數為無窮大且二次側電路之阻抗為純電容。則流過比流器二次側電容  $C_s$  之電動勢可表示為下式：

$$e_s = \frac{1}{L_s} \int i_s dt = -\frac{N_p}{N_s C_s} \int i_p dt \dots\dots\dots (3.8)$$

而其鐵心磁通量亦可表示為：

$$\Phi = -\frac{1}{N_s} \int e_s dt = \frac{L_s N_p}{N_s^2 C_s} \int (\int i_p dt) dt \quad (3.9)$$

式中  $i_p$  的第一次積分，如積分常數為  $k_1$ ，則經第二次積分後，其積分常數為  $k_1 t + k_2$ ，第一項  $k_1 t$  表示其磁通變化與時間有關，如時間稍長，則

比流器可能發生飽和，故比流器二次側連接電容性負擔時，必須小心考慮，以避免發生飽和。

## 差動式保護電驛之應用分析

電力變壓器均採用差動電流保護[4-5]，此種保護方式主要是針對電力變壓器之相間及接地故障作主保護。理論上，最簡單的保護方式為使用過電流電驛，可將變壓器兩側比流器的二次側電路並聯再連接至過電流電驛，以作為差動電流保護；但由於電力變壓器高、低壓側之電壓等級並不相同，繞組接線方式也可能有所不同，所以一般都無法採用過電流電驛作為差動電流保護。

電力變壓器使用電流差動方式作為保護時，因其高、低壓側之電壓不同，繞組接線方式亦不盡相同，另其高、低壓側額定電流比值及比流器比值也不完全匹配；況且電力變壓器尚有負載分接頭之切換，可隨負載變化而自動調整，但比流器值卻無法自動調整，造成電力變壓器有載分接頭切換時，差動式保護電驛可能產生誤動作。比流器在一、二次側轉換過程中，因其本身有激磁電流，且其大小影響比流器之飽和程度，激磁電流越大，則飽和程度會越明顯，所以對於發生外部故障所產生之大電流，將因電力變壓器兩側比流器特性差異，而使其達到差動式保護電驛之始動值，引起誤動作。

為防止這種現象之發生，可使用比率差動方式(Percentage differential type)；比率差動式保護電驛[6]，主要由動作線圈及制動線圈所組成，其動作原理類似於前述之電流平衡式過電流電驛，主要區別在於前者僅利用其差電流，而後者係利用差

電流之動作電流與抑制電流之一定的比率，如圖 8 所示。

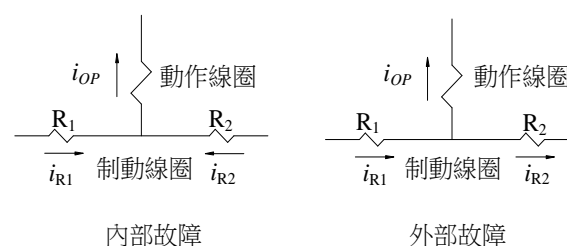


圖 8 比率差動式保護電驛動作原理

流經動作線圈的電流使得保護電驛動作，流經制動線圈的電流則抑制保護電驛動作；抑制量之大小隨保護電驛的設計而定[7]。常見之比率差動式保護曲線計有固定比率型(Fixed percentage)及變動比率型(Variable percentage)兩類，圖 9 為典型之比率差動式保護電驛之特性曲線。

固定比率特性的範圍在 10%~50% 之間，有些保護電驛提供比率分接頭，例如 10%，40% 及 50% 等等，但有些則無；固定比率特性之定義，以 50% 特性為例，假設發生外部故障時流經該被保護設備之經過電流(through current)為 10A，則最少需要  $10(50\%)=5A$  之差動電流流經動作線圈，保護電驛才會動作。

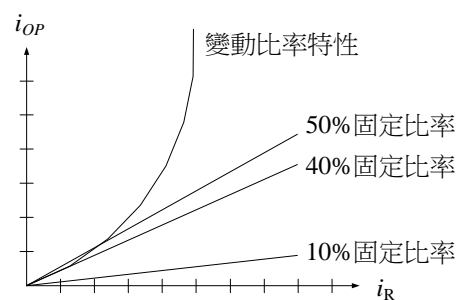


圖 9 典型的比率差動式保護電驛特性曲線

變動比率特性之差動式保護電驛沒有比率分接頭，其特性為隨經過電流值而自動調整。在低經過電流時其所需動作電流



本文將模擬發生內部故障與外部故障之波形，藉此驗證所建立之差動電驛是判斷式是否正確。本文利用 $\Delta$ -Y變壓器一次側，作內部模擬接地故障為例。假設變壓器供電時發生接地故障，由 TACS (Transient Analysis of Control System) 元件擷取故障電流經由計算，以決定斷路器是否跳脫。差動電驛之動作時間設定為 50 毫秒，若依據上例之變壓器內部接地故障的模擬結果可知，發生的故障電流有效值為 1014.8 安培，經由程式計算後已達到差動電驛跳脫標準，差動電驛模型送出控制信號至斷路器執行隔離動作，斷路器於 0.05 秒處進行開關跳脫的動作，如圖 12 所示。一次側 R 相至故障點的電流波形圖，因此可證明本文所建立的差動電驛電路模型其測試結果為正確。

當發生內部故障時，兩側的電流相反流入電流不等於流出電流，此時差動電流不等於零，保護電驛在軟體模擬中設置經過延時 50ms 判斷是否為故障電流，如果為故障電流保護電驛必須立即動作，送出跳脫(Trip)訊號，將兩側的開關跳脫，隔離故障區。圖 13、14 與圖 15 所示分別為發生內部故障電流經一、二次側比流器之電流波形與模擬保護電驛線圈電流，經過延時判斷之後，確定是發生內部故障而送出跳脫訊號波形。

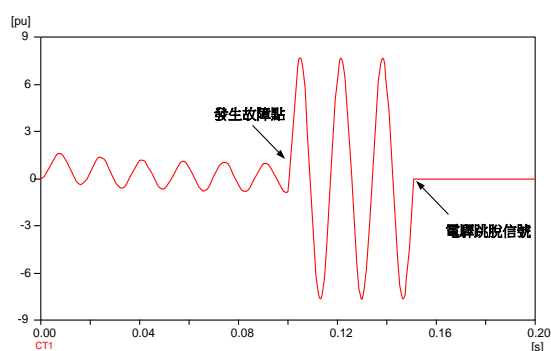


圖 13 發生內部故障時一次側電流波形

(單相)

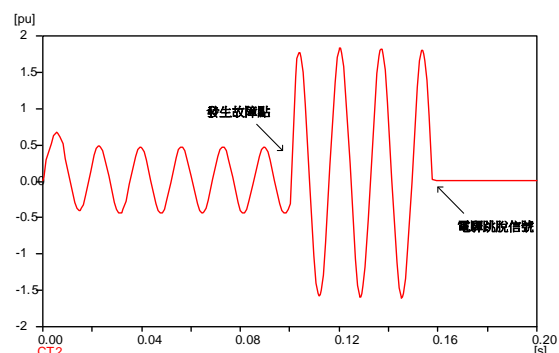


圖 14 發生內部故障時二次側電流波形  
(單相)

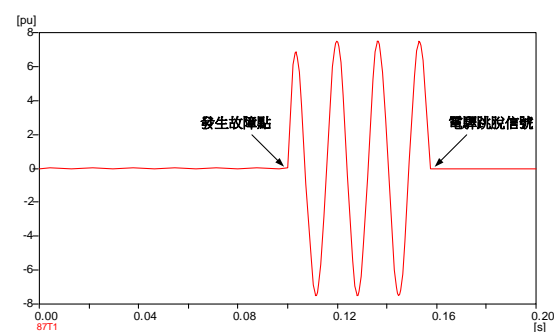


圖 15 發生內部故障時電驛線圈電流波形(單相)

由圖 16 所示得知模擬保護電驛所設置的跳脫訊號確實於發生故障後 50ms 送出了跳脫的信號，將斷路器開關跳脫以隔離故障區。

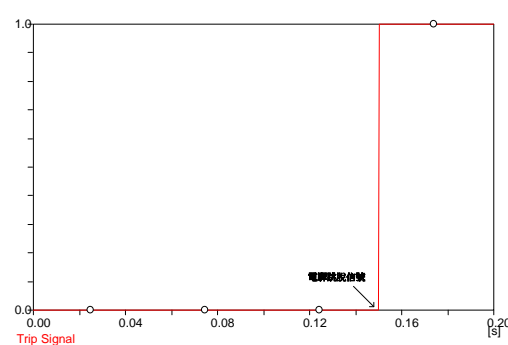


圖 16 保護電驛跳脫訊號



當發生變壓器外部故障時，如圖 17、18 與圖 19 所示，因一次側及二次側之比流器的感應電流應相同，故流經制動線圈之電流將產生相反的力矩以抵抗動作線圈所產生的力矩，保護電驛並不會因此動作。若此時比流器因故障電流之飽和現象，造成動作線圈啟動送出跳脫信號，使得開關因此跳脫，而導致停電，則稱電驛誤動作情況。

COMTRADE(Common Format for Transient Data Exchange) 格式 [9] 是由 IEEE Std. C37.111-1999 所制定暫態數據交換共同格式，數位式保護電驛擁有數位故障紀錄器(Digital Fault Recorder, DFR) 之功能，電力系統發生故障後可將故障紀錄器之紀錄波形由保護電驛下載至個人電腦進行分析，透過 COMTRADE 格式轉換後將可做故障波形重現及分析。

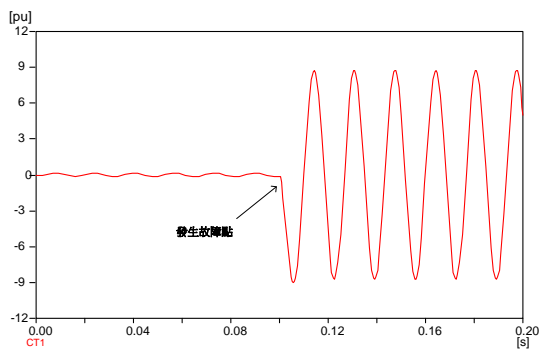


圖 18 發生外部故障時一次側電流波形 (單相)

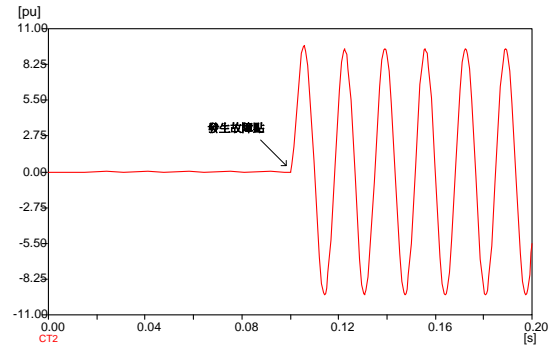


圖 18 發生外部故障時二次側電流波形 (單相)

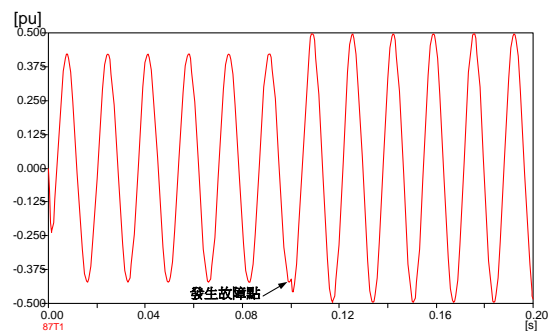


圖 19 發生外部故障時電驛線圈電流波形(單相)

ATPDraw 模擬軟體所產生的結果檔為 .PL4 檔案格式，可由 ATPDraw 所提供 PlotXY 軟體瀏覽模擬之結果波形，如圖 20、21 與 22 所示透過 COMTRADE 格式轉換後將可以產生 .CFG, .DAT, .DBG, .LIS 及 .PST 等格式的檔案，此資料皆為屬於 ASCII 格式，其中 .CFG 的檔案可以輸入至 Doble 公司之 TransWin 軟體，便可將模擬的資料做實際上保護電驛之測試。

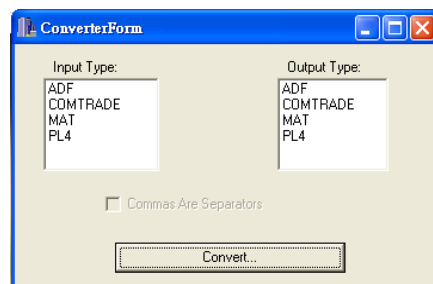


圖 20 COMTRADE 轉換程式

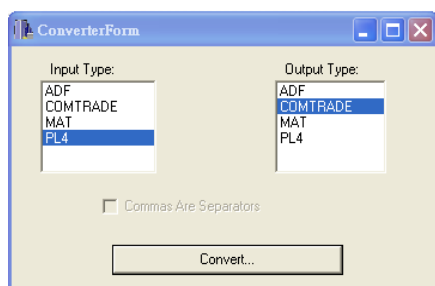


圖 21 PL4 轉檔 COMTRADE 格式(1)



圖 22 PL4 轉檔 COMTRADE 格式(2)

## 肆、Playback 模擬器之應用

以下介紹 Playback 模擬器之功能，本文所採用之故障波形重現裝置為 Doble 公司所製造生產之 F6150 模擬器，其實際之成品如圖 23 所示，其乃利用電力電子及數位信號處理器之技術，所完成之可重現類比波形，並放大功率之保護電驛測試用裝置，重量大約 20 公斤，故其攜帶性相當佳，依據電驛裝置地點之不同，只要具備筆記型電腦及此 Playback 模擬裝置，即可前往待測地點做檢驗測試之工作。



圖 23 Doble F6150 電驛試驗器

F6150 提供可控制之電壓及電流之輸出，其示意圖如圖 24 所示，其中三相為電壓/電流輸出，而另三相為單純之電流輸出，每相之額定輸出為 150VA，而每一相又可再細分為 2 個 75VA 之輸出，依據測試需求之不同，可由電腦設定其輸出之模式，藉由輸出之串、並連接方式，則可提供更高功率之信號輸出。此外，F6150 亦提供了相關邏輯信號之輸入與輸出，以做為電驛測試之用，同時藉由外加全球衛星定位系統之同步信號，可進一步用於高等之 End-to-End 電驛測試。接下來說明 F6150 於電腦側之控制面板圖，其實際操作圖如圖所示，其可由人工手動做此 Playback 模擬器之相關設定，藉以輸出所需之電壓及電流信號，完成電驛測試之工作。

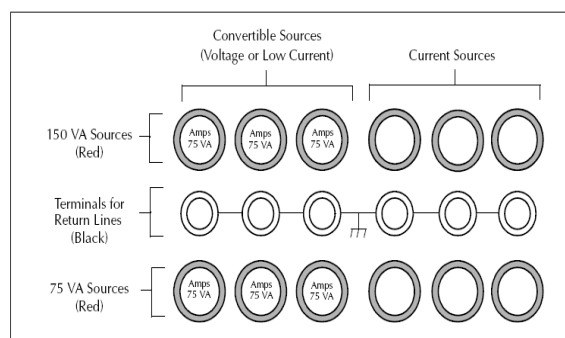


圖 24 控制之電壓及電流之輸出

此外，Doble 還提供一名為 ProTest 之保護電驛測試軟體[10]，為了做電驛之暫態測試，其欲重現之暫態故障電壓及電流原始資料，必須為 IEEE 所訂定之 COMTRADE 資料格式，此 ProTest 軟體可用於此 COMTRADE 型檔案之波形編輯及觀測，藉以輸出使用者所需之測試波形，圖為用該軟體所展示之故障電壓、電流測試波形圖，由此套輔以軟、硬體之 Playback 模擬器，只要取得模擬所獲得或由實際記錄之故障資料，便可將信號重現，入至實際保護電驛中做測試之工作。

圖 25 為保護電驛暫態測試架構，在此採用之故障波形重建裝置為 Doble 公司所製造生產之 F6150 電驛試驗模擬器，其乃利用電力電子及數位信號處理器之技術，完成重建故障之類比波形。F6150 電力系統模擬器提供 ProTest® 軟體藉以控制輸出之電壓及電流，如圖 26 與圖 27 所示；其中可於軟體設置巨集指令，依據不同之電驛特性編輯輸出指令，以控制電壓/電流輸出。

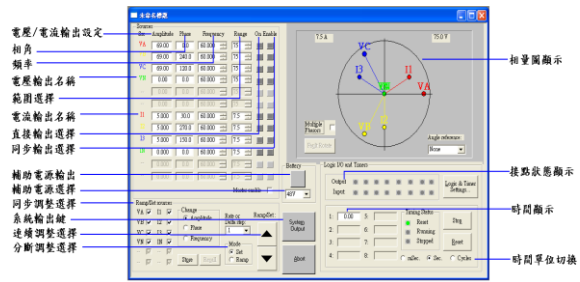


圖 26 ProTest®軟體控制面板

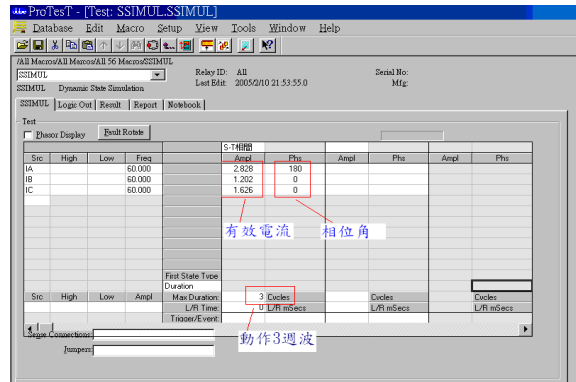


圖 27 ProTest®軟體巨集指令

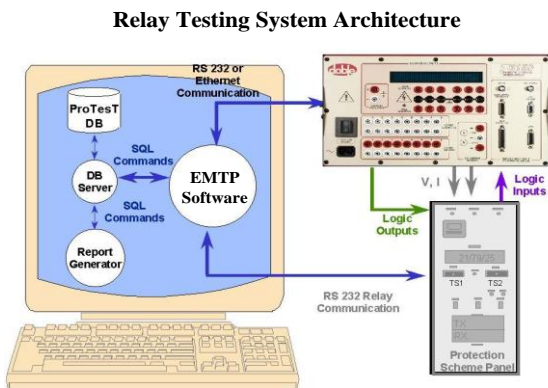


圖 25 保護電驛暫態測試架構圖

現場實際保護電驛測試如圖 28 與圖 29，將 ATP-EMTP 所模擬之故障透過格式轉換之後，由 ProTest®/TransWin 載入故障資料測試波形，透過 F6150 電力系統模擬器將故障資料輸出至受測保護電驛，由受測保護電驛的結果將顯示產生跳脫訊號，由此可驗證模擬結果如圖 30 所示。經由現場實際保護電驛暫態試驗，可對各種不同電力系統故障情況先進行模擬，進而測試保護電驛之性能，以避免誤動作的情形發生，如此將可提高保護電驛之可靠度。

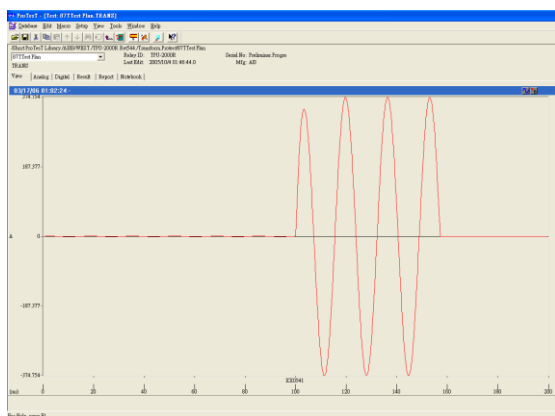


圖 28 電驛線圈波形載入 ProTest

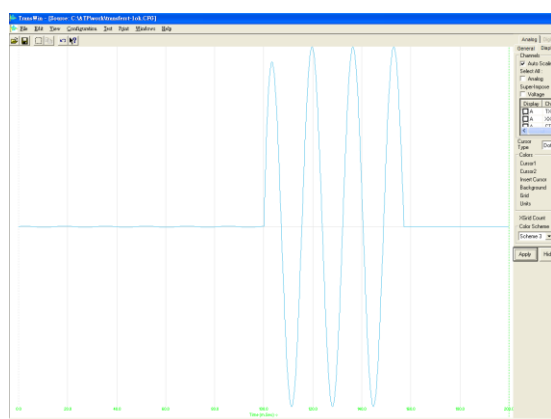


圖 29 電驛線圈波形載入 TransWin



圖 30 保護電驛之現場測試輸入波形及跳脫訊號

## 伍、結論

本文從差動式保護電驛曾發生過的誤動作事件中，重建電力系統發生事故時之

相關故障資料及波形，以作為事故原因分析及改善對策檢討之用，並可作為保護電驛之性能驗收及設定規範之參考，提供日後業界有關人士參考。藉由電磁暫態模擬程式結合電力系統故障模擬器，來研究電力系統發生事故過程之暫態行為對差動式保護電驛的影響，進而改善保護電驛之標置設定，防治保護電驛在故障過程之誤動作，並可重建及複製電力系統發生事故時之相關故障資料及波形，以作為事故原因分析及改善對策檢討之用，亦或作為保護電驛之性能驗收及設定規範之參考等，希望在此能對台灣工業界目前使用差動保護之應用有所貢獻，提供穩定性高的電力品質，進而少業界之停電損失。

## 參考文獻

- [1] 曹志豪，“比流器飽和特性對差動保護之影響”，逢甲大學電機工程研究所碩士論文。
- [2] IEEE Std. C37.110-1996, IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes
- [3] IEEE C57.109-1985, IEEE Guide for Transformer Through-Fault-Current Duration(ANSI)
- [4] 李宏任編著，“實用保護電驛”，全華科技圖書股份有限公司，91年10月。
- [5] Anderson, “Power System Protection,” IEEE Press, McGraw-Hill, 1999.
- [6] Stanley H. Horowitz and Arun G. Phadke. “Power System Relaying,” Second Edition, John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [7] IEEE Std. 242-1986, IEEE Recom-

- mended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System (ANSI)
- [8] László Prikler and Hans Kristian Høidalen, "ATPDraw Users' Manual," August 2002.
- [9] IEEE Std. C37.111-1999, "IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power System".
- [10] Doble Engineering Company, "Pro-Test<sup>®</sup> User Guide," Doble Engineering Company Press, 1998.