

超高壓雙回三端線路 以阻抗為基礎保護技術之研討

台電電力調度處電驛技術課主管擴建 李國楨

摘要：研發一套以數位式阻抗為基礎之保護體系應用於三端輸電線路，目前已完成利用一數位信號處理基板並通過測試在雙回三端線路，而線路各端均設有一電源之物理模型。因此，推薦只要一套組合電驛裝置在雙回三端線路之各端來取代以往兩套（即每回線各一套）電驛保護線路。每套新研發電驛被供給三相電壓及六個電流信號（即兩回線路之三相電流）。物理模型即時響應測出各種事故，這些事故顯出：高故障電阻在 T 點、電流饋入、遠處末端饋入、故障位置、電源阻抗及遠方末端事故等各種狀況，都毫無疑問順適地導引新研發電驛動作，同樣地 100% 線路故障仍受有效保護。

1、緒 論

在探討超高壓（EHV；Extra High Voltage 相當於國內 345KV 系統）線路輸送電力的效用，三端線路設計通常較優越於兩端線路，蓋可提供合理的經濟技術及環境效益。但此類的線路保護卻經常是高難度適應，比起簡樸的饋線使用傳統的組件或非傳統的組件保護技術更有過之而無不及。在雙回線路應用經驗，當事故發生在鄰近回路上，卻在健全線路發生其保護電驛不穩定之可能性。許多研究人員曾經討論過三端單回線路之保護，其

中某些技術已經被擴展應用於保護三端雙回線路視如單一回路般，而某些分析則認為此類線路可視如同兩分離回路。

許多保護技術已經被研發成功，可將輸電線路設計為組合件 (unit) 及非組合件 (nonunit) 保護，通常此類組合件系統需要昂貴的且精密的通訊波道介於線路兩側，因此保護電驛可信賴性必須依附通訊鏈及其設備之可靠度。至於非組合件系統，諸如分段測距保護是相當普及且可信賴地應用在單回三端線路保護；但當應用在雙回三端線路時，某些問題就浮上檯面，如源自

於高故障阻抗、電源阻抗、故障位置及失步運轉；此外，電驛標置由於動作條件受到線路故障電流分佈支配之影響，可能已超出預估範疇。

一套非組合件保護技術已研發完成提供三端雙回線路保護，因此聯想推廣應用根據比較各端每具電驛，其所對應任意相角之量測阻抗值。在三端均需要一套新研發電驛來取代兩套舊式阻抗類型保護設計，每一電驛需輸入三相電壓及取自雙回線路之六相（每回線各三相）電流信號。有關高故障電阻在 T 點一些問題，如饋入及饋出效應、電源阻抗、失步情形、遠端外部事故均列入研究範圍並提出建議性技術革新。如線路保護 100% 範圍被涵蓋且精確辨識內部及外部事故兩者之能力如圖示。建議性革新技術已經被研發完成，應用數位信號處理基板裝嵌在個人電腦上，相關技術概要、設計完成圖及實驗性結果均將披露於本文。

2、電驛演算法則

完整的保護概況如圖一所示，此設備裝置在微交流發電機(micro

alternator)端接收六個（模擬兩回線路三相電流）電流數據及三相電壓信號，該電流及電壓信號之基本波成份均被應用全波傅立葉(Fourier)演算估計出，設計六個阻抗元件被用來涵蓋所有故障類型，它們之中在任何一種故障類型因受到不同配對之電壓、電流輸入信號，由此數據量測故障點之阻抗。它們其中三個為相間元件及另外三個為接地元件。若以單回三端線路之案例而言，僅需三相電壓及三相電流饋入電驛內部即可。

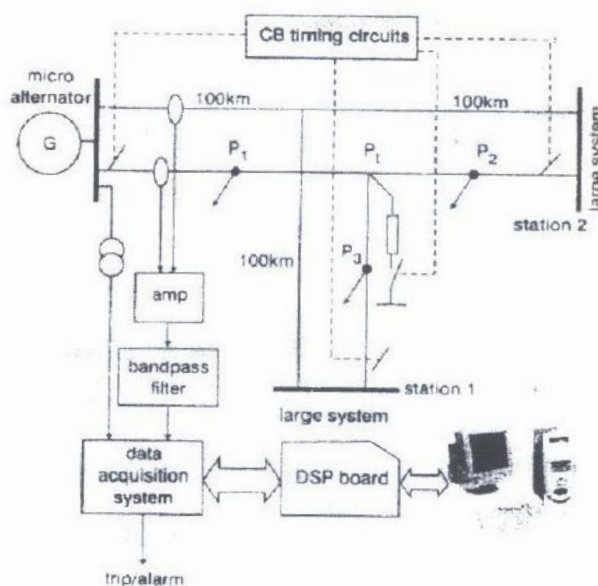


Fig. 1 Overall schematic diagram of experimental set-up

設線路一與線路二電驛端觀測到阻抗值在發生相間故障時，可列

出下列已知等式：

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= (V_a - V_b) / (I_a - I_b) \\ Z_{bc} &= (V_b - V_c) / (I_b - I_c) \\ Z_{ca} &= (V_c - V_a) / (I_c - I_a) \end{aligned} \right\} (1)$$

此處 V_a 、 V_b 、 V_c & I_a 、 I_b 、 I_c 均為個別的基本相電壓、相電流；同樣地從接地保護電驛觀測到之阻抗也能被描述如下：

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= V_a / (I_a + mI_{01} + m'I_{02}) \\ Z_b &= V_b / (I_b + mI_{01} + m'I_{02}) \\ Z_c &= V_c / (I_c + mI_{01} + m'I_{02}) \end{aligned} \right\} (2)$$

上式中 $m = (Z_0 - Z_1) / Z_1$ ， $m' = Z_{om} / Z_1$ ；該處 I_{01} 、 I_{02} 皆個別為線路一、線路二之零相序電流； Z_{om} 係線路故障部分之零相序交互阻抗而 Z_1 則表輸電線路之正相序阻抗。

3、雙回並聯三端線路

在比較線路一與線路二之相間事故與接地事故，自電驛端量測到阻抗值可描繪出故障歸屬為內部事故或外部事故。若某一事故發生在雙回並聯線其中之一，由線路一觀測到正相序阻抗值將不同於線路二所得觀測值，然而對一外部事故而言，觀測阻抗值在兩線路量測元件約略幾乎相等的且差異極限在某一值域內，此乃線路呈現非對稱之緣故。前述比較結果可由數學方面解

說如下：

針對外部事故：

$$Z_{1fline1(a, b, c)} \equiv Z_{2fline2(a, b, c)}$$

針對內部事故：

$$Z_{1fline1(a, b, c)} \neq Z_{2fline2(a, b, c)}$$

此處 a, b, c 均表三相相別， $Z_{1fline1}$ 及 $Z_{2fline2}$ 表線路一、線路二個別地量測阻抗，對任一對應相角而言均成立。

此項事實已經被認為實際可行的、合理的且可信賴的，並使人聯想到一差動信號 (DIFF) 可發揮辨識事故為內部或外部區間。此外，差動信號亦能容易地、正確地認同線路處在故障或非故障狀態：

$$\begin{aligned} \text{DIFF}(k) &= \text{DIFF}(k-1) + Z_{2fline2} \\ &\quad - Z_{1fline1} \end{aligned} \quad (3)$$

此處 k 為在事故後新近的取樣值。

在此最簡易公式裡，電驛針對事故將動作，當其差動值之幅度超越某一正的或負的門檻值，此值幅度當以故障線路為參考的，若 DIFF 為正值則意指事故點位於線路一；反之，若 DIFF 為負值則示意事故點位於線路二。

4、實驗性的模組裝配

一套雙回三端線路實際地被模

擬於實驗室，此模式包括一極弱電源 0.3MVA 和兩個大系統，每一大系統具有 0.6GVA (即 600MVA)。此全部的體系有電驛安置如圖一所示，實際的線路被模擬為不同長度；200Km 介於發電機站與第二變電站之間，而 100Km 介於第一站和 T 點 (即分歧點)，此輸電線路模型個別地由四和二 P1 區段構成 (指分歧點將發電站與第二變電站間雙迴路可分四區段及該點至第一變電站有兩 P1 區段，於內部事故時具分流作用)，且所給某一頻率響應相當接近實際輸電線路響應高達 600HZ (10 次諧波值)。此項試驗被引導在雙回並聯三端線路，其中一回線路被設定安置故障模擬器；四套三相斷路器被供給在該故障線路上，其中三套斷路器被連接至三端線路之末端，第四套斷路器則提供所要模擬事故位置之控制開關。同時應用一套 ROM 為根基的邏輯回路來操控斷路器接點呈現閉合或開啟狀態，亦即各斷路器接點和短路故障控制均為程式化。

4.1 比流器及比壓器

在三端線路之每一末端側安置一套組合型電驛，三相線

對中性點電壓被接引入電驛經由比壓器具有一 250/6.3V 匝比；另電流信號源自接用 15/5A 比流器，輸出信號在被轉換為數位型之前均被放大。由六個濾波器合組陣列同時地過濾這些電流信號，然後再饋入數據蒐集系統。

4.2 數位信號處理器 (DSP; Digital Signal Processor) 基板

即時數位電驛體系之發展係根據一 DSP 基板由頻譜信號處理有限公司 Spectrum Signal Processing Inc. 所提供，此基板包含一 TMS320C30 32 位元浮動點 (floating-point)，DSP 晶片具有 60ns 單週波 (single-cycle) 指令執行時間。

4.3 數據蒐集系統

取樣頻率應用技術於此為 720Hz，一套相稱的軟體及硬體裝配供完成數據蒐集由 Calgray 大學之電力系統研究實驗室所設計和組裝。

此 DSP 有兩套 200kHz. 16 位元類比的 I/O 波道在基板上，而保護技術使用三相電壓和六個電流信號，為增加輸入

數量從二個到九個，一些外部硬體被應用上，此類比的輸入範圍至 DSP 為 $\pm 3V$ ，並具備 16 位元類比/數位 (A/D) 轉換器之全部規模 (full-scale) 運作。

4.4 應用 PC 軟體操控 DSP

此介面庫藏容許任何人編寫高階語言程式操控此基板，庫藏諸多例行程序均可被此電腦語言下載到 TMC320C30 基板，來啟動執行所有的電腦語言 (或停止執行於預備運作時) 以及傳遞數據程式運作往來於 TMC320C30 基板及 PC 兩者之間。DSP 基板被裝置於一 PC 上需有通信的開發軟體及一套偵錯應用程式，當此步驟被完成時，輸入-輸出數據將被傳遞到 PC 內。

5. 電驛性能

實驗室試驗性的建構如圖一所示：已應用數位阻抗為基礎之保護技術來完成一組合的電驛，裝設在雙回線路之每一端。各種的擾動因素：諸如內部事故、外部事故、遠處末端事故 (far-end fault) 及負載

突變等均被應用上。

本項技術之運作起先在穩態且無事故情況下，一直到如圖示 'O' 點被監測到，各種不同的內部事故類型沿著輸電線路從發電站到線路末端，假設在 50、100、150 公里不同位置，以及外部事故亦被應用與研究。所需注意的是：DIFF 信號幅度繪製在圖-2~15 座標之右側縱軸上。

5.1 事故位置之效應

假想距發電站在圖-2 P1 點 (50km) 及圖-3 P3 (150km)，發生一 B 相接地事故狀況，並有一 10Ω 事故電阻，阻抗 Z_{1f} 、 Z_{2f} 兩者數據之變動在故障前幾乎等值故而差動信號 (DIFF) 幾乎為零；一旦視窗有事故前及事故後數據，則此兩者阻抗截然不同，若 'DIFF' 信號出現正值時即指示故障在線路一。

5.2 高故障電阻之效應

自線路的對方端提供分流經由故障電阻增加了量測阻抗之視在值 (apparent value)，分析檢驗距發電站線路一之 P1 點 100 公里處，發生一 B 相接

地事故，故障電阻為 150Ω 。
圖-4 說明阻抗變化量及差動信號，該事實如圖示仍可觀察到 DIFF 信號既迅速地又可信賴地證實此類事故之嚴峻。

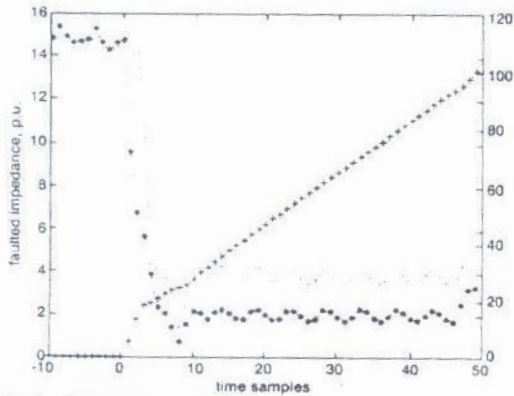


Fig. 2 Relay performance for B-G fault at P_1
* Z_{1f} · Z_{2f} + DIFF (right-hand axis)

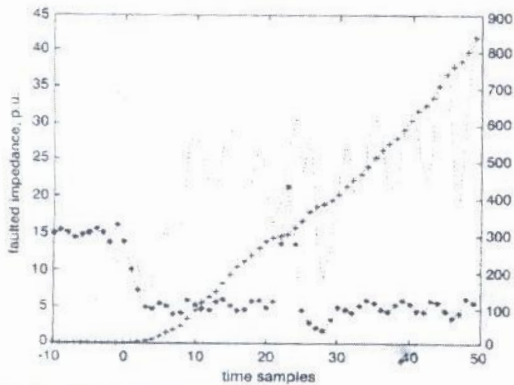


Fig. 3 Relay performance for B-G fault at P_2
* Z_{1f} · Z_{2f} + DIFF (right-hand axis)

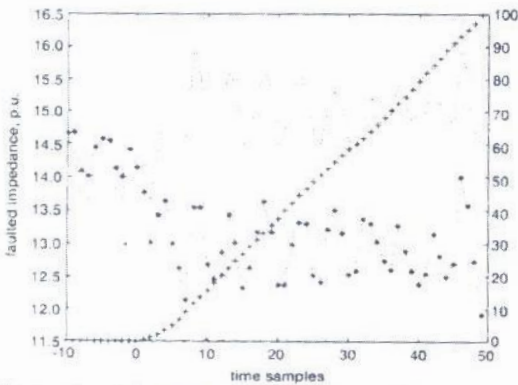


Fig. 4 Relay performance for B-G fault and high impedance
* Z_{1f} · Z_{2f} + DIFF (right-hand axis)

5.3 故障類型之效應

對一個內部兩相接地事故，從發電站觀測到有一 10Ω 電阻分佈於 B、C 相間，被加諸於 P_1 與 P_3 處。此結果被描繪於圖-5 及圖-6 並展現出電驛的性能。圖-7 及圖-8 顯示出從發電站觀測在 P_2 與 P_3 發生 B、C 相間事故，兩阻抗 Z_{1f} 、 Z_{2f} 的變化是清楚地明白的，其結果是差動信號先天上具足供給既準確的且可靠的估算各種不同類型事故之判決。

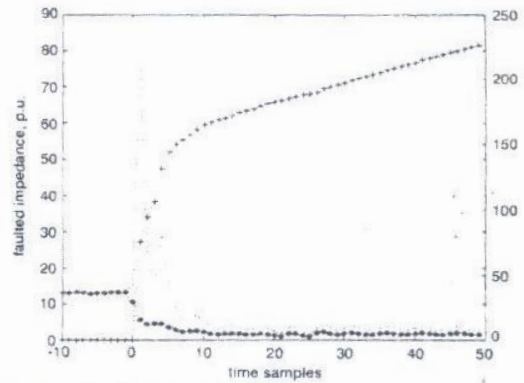


Fig. 5 Relay performance for B-C-G fault at P_1
* Z_{1f} · Z_{2f} + DIFF (right-hand axis)

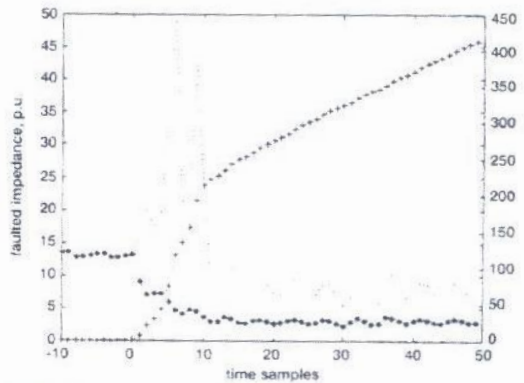


Fig. 6 Relay performance for B-C-G fault at P_3
* Z_{1f} · Z_{2f} + DIFF (right-hand axis)

5.4 外部事故及負載突發驟變

對一個外部事故位於電路網匯流排背後，如圖九所示 Z_{1f} 與 Z_{2f} 兩阻抗量測之結果。此兩量測阻抗值幾乎相等，結果 DIFF 信號變化為零，證實外部事故已然發生，在類似此種案例，此項量測科技已具足提供辨別內部及外部事故兩者之功能。

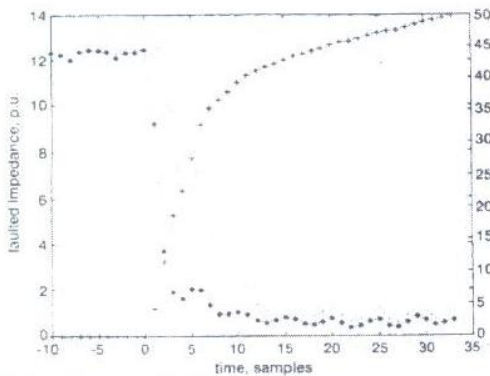


Fig. 7 Relay performance for B-C fault at P_2
--- Z_{1f} ---+ Z_{2f} ---+ DIFF (right-hand axis)

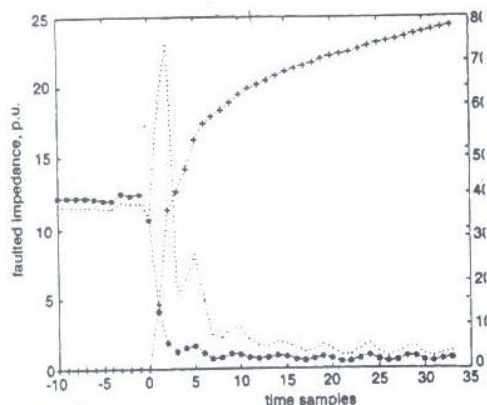


Fig. 8 Relay performance for B-C fault at P_3
--- Z_{1f} ---+ Z_{2f} ---+ DIFF (right-hand axis)

5.5 負載突發驟變

鑑識一外部事故或負載突然變化兩者過程是相當簡易的

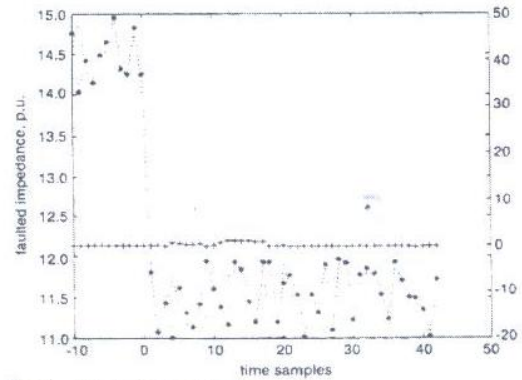


Fig. 9 Relay performance for external fault
--- Z_{1f} ---+ Z_{2f} ---+ DIFF (right-hand axis)

，本文所推薦的技術足以容易地應付此過程；即雙回線路電驛所附設之前置內定值（100% 阻抗）與該雙回線其中之一量測阻抗值 Z_{1f} 或 Z_{2f} 互相比較，如兩量測阻抗值 Z_{1f} 或 Z_{2f} 之一在前置內設值之外時，此電驛跳脫隸屬第二區間內，否則，應被紀錄為負載突變同時閉鎖電驛動作被採納。

5.6 電源容量之效應

電源容量的改變在許多科技方面會引發一些非常嚴重的問題，電源容量改變之可能性，可在實驗室藉改變直流電動機之磁場電流及電樞以驅動微小的交流機(micro alternator)被獲取，因此獲得微交流發電機(microalternator)有效功率。圖-10 研討某一三相接地於 P_1 點含 5Ω 故障電阻案例，從許

多案例被研究其結果顯示出：由於電源容量某種改變被推薦的技術不具任何關鍵性的效應。

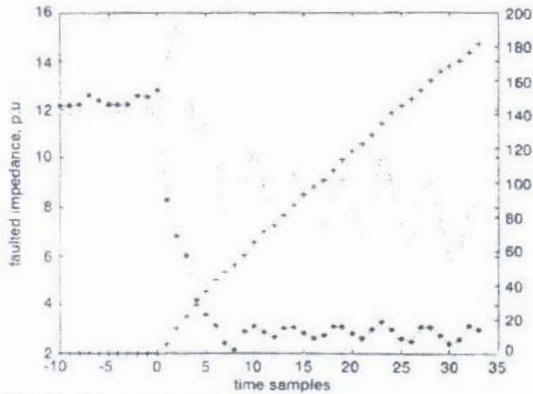


Fig. 10 Relay performance for A-G fault at P_1 (station 2)
* Z_{1f} , Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

5.7 電驛性能在變電站一及變電站二

本相試驗同時包括電驛性能在變電站一及變電站二，圖-11 即圖-12 說明試驗在變電站二針對於 Pt 點 A 相接地故障，本研究包括 10Ω 和 50Ω 兩種不同故障電阻，結果顯示變電站二新推薦的技術相當穩定。變電站一測試結果在 Pt 點 A

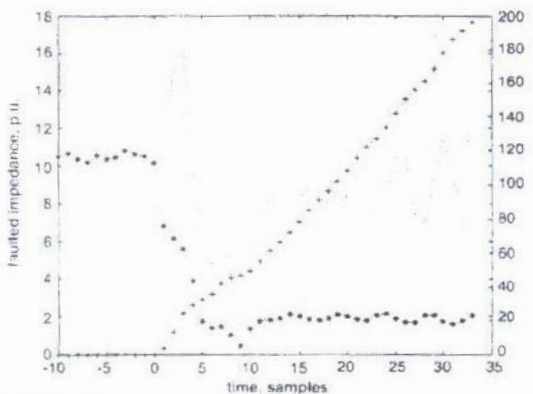


Fig. 11 Relay performance for A-G fault at P_1 (station 2)
* Z_{1f} , Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

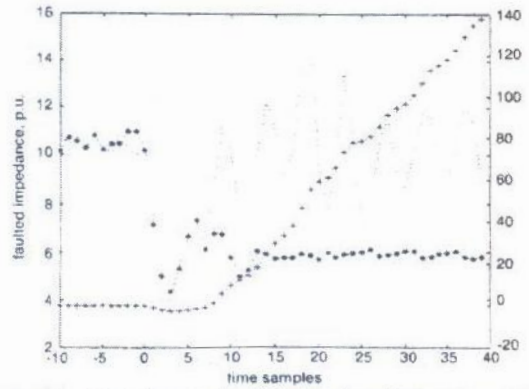


Fig. 12 Relay performance for A-G fault at P_1 and fault resistance 50Ω (station 2)
* Z_{1f} , Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

相接地故障，包括 10Ω 和 50Ω 兩種不同故障電阻均個別說明於圖-13 及圖-14。此 DIFF 信號在兩者案例皆為正值，指示出事故皆發生在線路一。

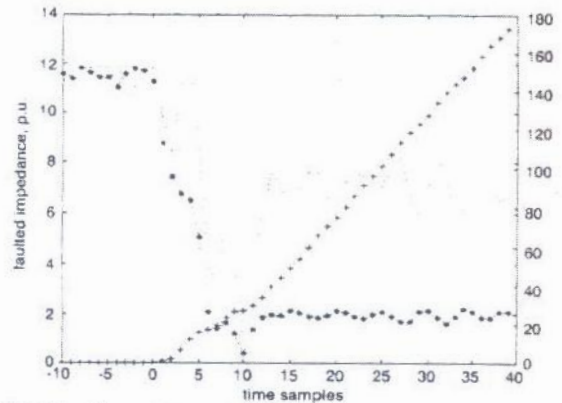


Fig. 13 Relay performance for A-G fault at P_1 (station 1)
* Z_{1f} , Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

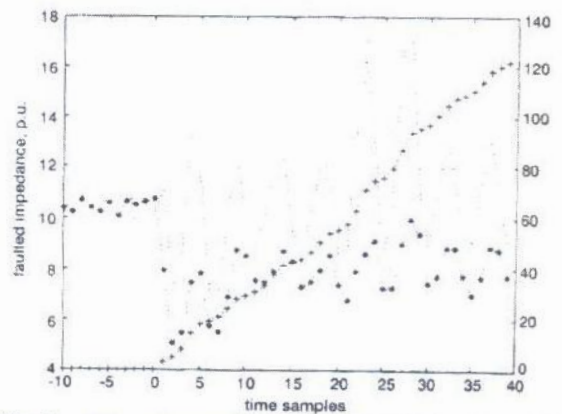


Fig. 14 Relay performance for A-G fault at P_1 and fault resistance 50Ω (station 1)
* Z_{1f} , Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

5.8 遠處末端 (Far-End) 事故

圖-15 說明電驛性能在電機端匯流排針對某一遠處末端事故靠近變電站二，起初在發電站之電驛觀測到兩等值阻抗，但在變電站二之電驛將很快速認定此事故並初始啟動跳脫信號予其斷路器，以每週波記錄某一確信的時延之後，斷路器被跳脫。在此案例在發電站之電驛位置所觀測到 Z_{1f} 與 Z_{2f} 兩量測阻抗值，將顯著區別對待，對 DIFF 信號產生一正值即證實線路一事故。

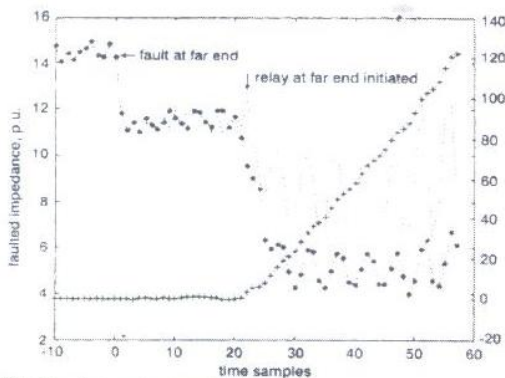


Fig. 15 Relay performance for far-end fault
+ Z_{1f} , + Z_{2f} , + DIFF (right-hand axis)

5.8 Far-end faults

Fig. 15 shows the relay performance at the machine bus for a far-end fault near station 2. In the beginning, the relay at

上述結果顯示所推薦技術提供優質功能去鑑識內部及外部事故，也分辨負載變化，對所有線路提供良好保護。

(稿費全部捐助協會大專院校獎助學金)

6. 結語

針對雙回三端線路已完成一革新的數位阻抗基礎電驛技術且經實驗室內一電力系統的物理模型作線上測試，即時數位技術外在環境之開發係建立在數位信號處理基板磁石上，而數位信號處理基板則被安置於個人電腦上並附設相當的開發軟體及偵錯應用程式。一套組合的電驛被推薦在雙回線路之每一端以取代兩套電驛，每一新穎電驛被供給三個電壓及六個電流信號，利用阻抗差動信號提供優質涵蓋範圍及可靠鑑別各種事故，本項技術對於實際上所遭遇大多數問題，諸如高故障電阻、電流饋入、事故位置、不同電源容量及遠處末端事故等等，這一類難題具有某一高程度可信賴性和穩定性，同時對外部及內部各種事故和負載突變情況仍有效果，上述可被詮釋為線路保護可適用 100% 範圍。至於所有事故類型在第一區間含遠處末端事故之跳脫時間本情況記錄為 5 毫秒。

參考文獻

impedance Investigation of based protection technique for EHV 3-terminal double circuit lines M. M. Eissa and O. P. Malik