

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

高性能輸電線保護電驛系統的設計(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-030-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

計畫主持人：江昭皚

共同主持人：王永鐘

計畫參與人員：林明河(博士生)、李柏威(碩士生)、陳冠宏(大專生)

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 13 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

(高性能輸電線保護電驛系統的設計(1/2) & (2/2))

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫
計畫編號：NSC 91-2213-E-002-113- 與 NSC 92-2213-E-002- 030-
執行期間：91 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：江昭皚 助理教授 國立台灣大學 生物產業機電工程學系
共同主持人：王永鐘 助理教授 國立台北科技大學 電機工程系
計畫參與人員：第一年 — 林明河(博士生)、楊昇穎(碩士生)、李柏威(碩士生)、張輕祥(碩士生)、劉柏劭(大專生) 國立台灣大學 生物產業機電工程學系；第二年 — 林明河(博士生)、李柏威(碩士生)、陳冠宏 (大專生) 國立台灣大學生物產業機電工程學系

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☐ 精簡報告 ☒ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：
☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
☒ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：

中 華 民 國 九 十 三 年 九 月 十 二 日

高性能輸電線保護電驛系統的設計(1/2)

計畫編號: NSC 91-2213-E-002-113-

計畫主持人: 江昭暄 助理教授 國立台灣大學 生物產業機電工程學系

計畫共同主持人: 王永鐘 助理教授 國立台北科技大學 電機工程系

計畫執行期間: 91.8~92.7

計畫參與人員: 林明河(博士生)、楊昇穎(碩士生)、李柏威(碩士生)、張輕祥(碩士生)、劉柏劭(大專生) 國立台灣大學 生物產業機電工程學系

摘要— 本計畫提出以同步相量量測為基礎之輸電線適應保護技術,其保護功能包括故障偵測、故障方向鑑別、故障型態判別及故障定位等。本技術藉由線路雙端同步量測、線路之分佈式模型及模態轉換理論,推導出線路故障偵測及定位指標,其中故障偵測指標乃由兩個複數相量所構成,由此二相量之相角差,可完成內、外部故障區域之判別。而利用模態故障偵測指標則可完成故障型態判別之工作。本文所提電驛技術可應用於換位與無換位型線路之保護。本技術並結合線路參數線上估測法以確保其性能,達成適應性保護之目的。經由 EMTP 大量之模擬測試,顯示於各種不同之系統及故障狀態下,本保護電驛技術均具有快速之電驛響應性能及高準確度之故障定位結果。模擬測試結果亦證明本電驛技術不受 CT 飽和及 CCVT 暫態之影響。針對可靠度、安全性及靈敏度而言,本技術均可有優越之響應性能。

Abstract— This project presents an adaptive fault protection scheme for transmission lines using synchronized phasor measurements. The protective functions include fault detection, direction discrimination, classification and location. Both fault detection and fault location indices are derived by using two-terminal synchronized measurements incorporated with distributed line model and modal transformation theory. The fault detection index is composed of two complex phasors. The angle difference between the two phasors determines whether the fault is internal or external to the protected zone. The fault types can be classified by the modal fault detection index. The relaying scheme can be applied to protect transposed and untransposed lines. The proposed scheme also combines on-line parameter estimation to assure protection scheme performance and to achieve adaptive protection. Extensive EMTP simulation studies show that the proposed scheme provides a fast relay response and high accuracy in fault location under various system and fault conditions. The studies verify that the response of the proposed relaying scheme is unaffected by CT saturation and CCVT transients under internal and external faults. The proposed method responds very well with regard to dependability, security and sensitivity.

關鍵詞— 數位保護,全球衛星定位系統,同步相量量測器,輸電線保護,保護電驛。

I. 簡介

輸電線保護電驛系統性能之良窳是控制電力系統穩定度及電力品質的至要關鍵。保護電驛的動作時間超過臨界清除時間或是動作不正確時,不僅無法保護輸電線,甚至會引起系統崩潰。由於輸電線故障大多為單線接地故障,因此亟需對線路故障型態加以快速判定,以便監控系統採取單極復閉措施,進而提升電力系統穩定度。因此,設計保護電驛系統時必須兼顧故障偵測、故障定位、故障型態及故障區域判定、與快速響應性能等之需求。前人對此方面的研究大多著

重於故障偵測、定位、型態及區域判定等個別保護技術的研發上[1]-[8],兼容並蓄者並不多見。本計畫的研究重點就是要整合上述各項保護技術於一體,形成功能優異的完整保護電驛系統。

以往學界大多只著重在各類保護電驛演算法的研發方面,測距電驛由於原理簡單,因此廣泛應用於線路之保護,但其性能易受故障電阻、遠端饋入電流之影響,為了信賴性之考量,其有保護區間之限制,故無法達到全線段之線路保護。因此有人提出適應性保護之概念,以改善其響應性能 [1]-[3]。而差流電驛雖然可完成全線段線路保護之工作,但應用至長程線路時由於線路充電電流之影響或高阻抗故障時因故障電流不明顯等因素,導致電驛設定上之困難,因此文獻 [4]提出電壓與電流之混合型指標來做線路保護以改善其靈敏度。為了達成高速保護之目的,因此發展出以行進波為基礎之電驛技術[1,5],但偵測行進波之硬體設備不易實現且價格昂貴,此外,如何判斷行進波是由內部故障所產生或干擾所造成、亦或是外部故障所引起,皆是待克服的問題,因此本型電驛並不普及。

由於通訊科技、數位信號處理及微處理器硬體技術之大幅進步,無論是處理速度或價格,均是日趨便宜,造成數位式電驛之發展[1-2]。目前學界及業界均提出應用同步量測技術於輸電線保護之構想[3,6-12]。利用雙端資料所設計之保護電驛,比單端法為基礎之電驛有較佳性能,其不易受各種系統或故障狀態之影響,採用以雙端同步資料為基礎之電驛,可達全線段之快速線路保護,雙端技術亦可提供高強健性與高準確度之故障定位結果。目前之通訊技術,已可完成高速且大量之資料傳輸,而資料錯誤率亦相當低[1,2],將 PMU 放置於輸電線匯流排兩端,由此可測得同步電壓及電流基頻相量,而後透過通訊波道,可完成相量遠端互傳之工作,對於資料之傳輸格式,目前 IEEE standard 1344-1995 已做了相關之細節規定[13]。

吾人近年來利用 GPS-PMU 量測架構為基礎已經依序地成功發展出適用於各類型輸電線路的故障偵測、故障定位、線路參數線上評估演算法等多項保護技術[9-12]。藉由這些研究成果,本計畫擬以雙端同步量測為基礎,研擬出一套適用於換位及未換位型輸電線路的新型故障型態與故障區域判別演算法。完成輸電線故障型態判定,達成電驛單極跳脫功能,提高電力系統供電可靠度和品質、以提升電力系統穩定度。

II. 保護電驛操作原理及功能說明

A. 輸電線之故障偵測/定位指標

對於三相換位型輸電線路，其線路間具有互耦合效應，但可用對角化方式做解耦合動作，將其變成三條獨立輸電線路，分別對獨立單條輸電線路做故障偵測及定位之功能，吾人已針對單路輸電線發展一以同步相量量測為基礎之故障偵測/定位指標[9]-[10]，其利用 Clarke 轉換將線路做解耦合，假設線路總長為 L ，最後可解得模態故障定位指標為：

$$D_m = \frac{\ln(N_m / M_m)}{2\Gamma_m L} \quad m = 0, \alpha, \beta \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} N_m &= \frac{1}{2} [V_{Rm} - Z_{Cm} I_{Rm}] \\ &\quad - \frac{1}{2} \exp[\Gamma_m L] [V_{Sm} - Z_{Cm} I_{Sm}] \\ &= A_m - C_m \end{aligned} \quad m = 0, \alpha, \beta \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} M_m &= \frac{1}{2} \exp[-\Gamma_m L] [V_{Sm} + Z_{Cm} I_{Sm}] \\ &\quad - \frac{1}{2} [V_{Rm} + Z_{Cm} I_{Rm}] \\ &= E_m - B_m \end{aligned} \quad m = 0, \alpha, \beta \quad (2-2)$$

其中 Γ_m : 模態傳播常數, Z_{Cm} : 模態特性阻抗, 而 V_{Rm} 、 V_{Sm} 、 I_{Rm} 及 I_{Sm} 代表線路兩端之同步 m -模電壓及電流相量。

以下進一步分析故障偵測之原理，藉由採用移動性視窗 DFT，來做基頻相量估算，其遞迴運算公式可表示為：

$$\hat{x}_r = \left[\hat{x}_{r-1} + \frac{2}{N} (x_n - x_{n-N}) \right] e^{j2\pi/N} \quad (3)$$

其中 $\hat{x}$: 相量, r : 代表移動性視窗指標, x : 離散取樣資料點, N : 每週期取樣點數。

(1) 未故障前

此時 $x_n = x_{n-N}$ ，所以相量之變化情形為每移動一個視窗，相量旋轉 $2\pi/N$ 度，但其大小值並未改變，也因此線路兩端之相量 V_R 、 V_S 、 I_R 及 I_S 於故障前均維持定值，而其相角則做同步旋轉之變化，由上述證明，可知相量 V_R 、 V_S 、 I_R 及 I_S 滿足輸電線路方程式關係，同時(2-2)式中 E 等於 B ，也因此 $|M|$ (M 之絕對值大小) 於未故障前，其數值為零，同理可推得 $|N|$ 也是等於零。

(2) 內部或外部故障發生時

當發生故障時，若移動性包含到故障資料，則可知 $x_n \neq x_{n-N}$ ，由(3)式得 $\hat{x}_r \neq \hat{x}_{r-1}$ ，也因此不論是發生內部或外部故障，指標 $|M|$ 及 $|N|$ 將快速偏離零值，對於內部故障而言，這些指標將爬升至一穩定值，但對外部故障而言，指標值將會隨著時間衰減，由此二指標可輕易地監控輸電線是否發生故障，其故障偵測靈敏度相當優越，當高阻抗接地故障時，依舊可達到快速偵測。

考量實際 CT、CCVT 量測及數值計算誤差，指標值 $|M|$ 及 $|N|$ 不會剛好等於零，因此必須設定一臨界值 (Th)，以避免誤動作之發生。由於兩指標具有相同之特性，因此本文僅採用 $|M|$ 來做故障偵測。本文之線路

模型考量充電電容效應，因此適合於長程線路之保護，不需額外做任何補償動作。對於無換位型輸電線，可根據特徵值/特徵向量理論，找到適當之解耦合矩陣，所以依舊可推導出三個模態故障偵測及定位指標。

B. 故障方向鑑別器

參考(2)式，得知故障偵測指標乃由兩個複數相量所構成，例如： $M_m = E_m - B_m = |E_m| \angle \theta_{Em} - |B_m| \angle \theta_{Bm}$ ，藉由兩者之角度差，可完成內、外部故障判別之工作，理論說明如下：

(1) 無故障時

此時電流之流向如圖 1-(a) 所示，可得 $|E_m| = |B_m|$ 及 $\angle \theta_{Em} = \angle \theta_{Bm}$ ，所以 $|M_m| = 0$ 。

(2) 發生內部故障時

如圖 1-(b) 所示，電流 I_R 反向，指標值 $|M_m|$ 將以極大之斜率爬升，可得 $|E_m| \neq |B_m|$ 且 $\angle \theta_{Em} \neq \angle \theta_{Bm}$ ，所以 $|M_m| \neq 0$ 。

(3) 發生外部故障時

本情形可再分成兩個案例，說明如下：

(A) Case 1

由圖 1-(c) 可知，電流 I_S 及 I_R 之流向均未改變，於穩態時可得 $|E_m| = |B_m|$ 及 $\angle \theta_{Em} = \angle \theta_{Bm}$ ，因此 $|M_m| = 0$ ，其結果與未故障時之狀態相同。

(B) Case 2

參見圖 1-(d) 可知，電流 I_S 及 I_R 之流向均反向，將此條件套入輸電線方程式，依舊可獲得 $|E_m| = |B_m|$ 及 $\angle \theta_{Em} = \angle \theta_{Bm}$ ，所以 $|M_m| = 0$ 。

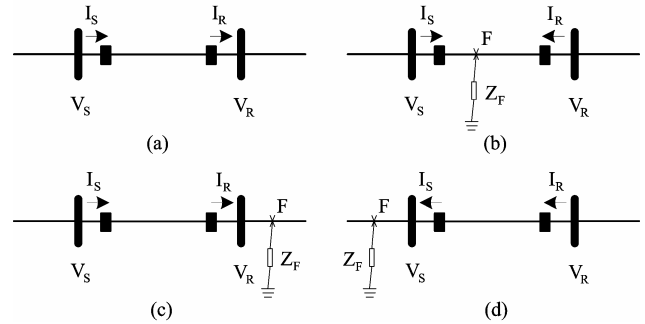


圖 1 輸電線之各種運作及故障狀態

對於內部故障而言，相角差 $\angle \theta_{Em} - \angle \theta_{Bm}$ 至穩態時將維持定值，然而當此二角度量有一者旋轉橫跨複數平面實軸時，例如：由 2^{nd} 到 3^{rd} 象限或由 4^{th} 到 1^{st} 象限，依據主幅角 (principal argument) 之定義，兩者之角度差將自動補償 -2π ，也因此 $\angle \theta_{Em} - \angle \theta_{Bm}$ 不再為定值，例如：主幅角定義在 $[-\pi, \pi]$ ，而第 i 個視窗時 $\angle \theta_{Em}(i) - \angle \theta_{Bm}(i) = \angle \theta_{m\Delta}$ ，其中 $\angle \theta_{m\Delta} \in (0, \pi)$ ，再移動一個視窗後，若相量 E_m 旋轉了 $\angle \theta_{mT}$ ，且落入第三象限，亦即 $\angle \theta_{Em}(i+1) \in (-\pi, -\pi/2)$ ，則 E_m 之相角將修正為 $\angle \theta_{Em}(i+1) = \angle \theta_{Em}(i) + \angle \theta_{mT} - 2\pi$ ，但此時 B_m 依舊在第一或二象限，亦即 B_m 之相角為 $\angle \theta_{Bm}(i+1) = \angle \theta_{Bm}(i) + \angle \theta_{mT}$ ，則 $\angle \theta_{Em}(i+1) - \angle \theta_{Bm}(i+1) = \angle \theta_{Em}(i) - \angle \theta_{Bm}(i) - 2\pi$

$= \angle\theta_{m\Delta} - 2\pi \neq \angle\theta_{m\Delta}$ ，也因此 $\text{abs}[\angle\theta_{Em} - \angle\theta_{Bm}]$ 並非一定值，呈現線性且週期性之變化。

總括來說，於實際應用時不能直接計算 $\angle\theta_{Em} - \angle\theta_{Bm}$ 之數值，因為穩態時並非維持定值，為了克服此問題，本文採用 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 來計算相量之相角差，於穩態時 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 將維持定值，不會隨著移動性視窗做變化。

由 $\arg(E_m/B_m) = \arg(|E_m| \angle\theta_{Em} / |B_m| \angle\theta_{Bm}) = \angle\theta_{Em} - \angle\theta_{Bm}$ ，對於內、外部故障之判別，可用下列準則來做鑑別：

$$\text{內部故障: } \text{abs}[\arg(E_m/B_m)] \neq 0 \quad m = 0, \alpha, \beta \quad (4.1)$$

$$\text{外部故障: } \text{abs}[\arg(E_m/B_m)] = 0 \quad (4.2)$$

其中 $\text{abs}(\cdot)$ 代表取絕對值，而 $\arg(\cdot)$ 表示取相位角。

上述準則可適用於換位及無換位型輸電線，當發生故障時，此鑑別準則之響應相當快且靈敏，對於內部故障而言， $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之數值將快速爬升至某一值，而對於外部故障， $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之數值將快速衰減至零，為了高信賴性之考量，本文設定一臨界值，並輔以計數器，來做故障區域之判別工作，當連續 5 筆 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之數值大於臨界設定值時，即可判定線路發生內部故障。

關於臨界值之選取，經由大量之 EMTP/ATP 模擬後[14]，各模態之設定值分別為：

$$\text{零模: } \text{TS_zero} = 0.7 \text{ (rad)}$$

$$\text{Alpha 及 Beta 模: } \text{TS_alpha} = \text{TS_beta} = 0.2 \text{ (rad)}$$

這些設定值可確保於外部故障時，電驛不致發生誤動作，同時內部故障時可有高速之響應。值得注意的是，於三相平衡之系統下，未故障前零模信號 $E_0 = B_0 = 0$ ，因此 $\arg(E_0/B_0)$ 是一隨機不確定值，故未故障前 $\arg(E_0/B_0)$ 之數值是沒有意義的。

C. 故障型態判別器

換位及無換位型線路之故障型態判別方法有些許不同，分述如下：

(1) 用於換位型輸電線路之演算法

對於換位型線路而言，並非每一個偵測指標均可偵測出故障，依據故障型態之不同，有些會不能使用，如表 1 粗線所包圍之部分，但此部分之訊息，並無法完成故障分類及故障相選擇之工作，Mansour 及 Swift 等人[5]提出一巧妙之轉換技巧，其藉由 Karrenbauer 轉換做 3 種不同之變換，以產生 3 組不同資料集，而後由此判段故障型態及故障相選擇，當然此法依舊可由 Wedepohl 或 Clarke 轉換矩陣來完成。本文利用 Clarke 轉換，並搭配所提之故障偵測指標 $|M_m|$ ，來分別獲取 3 組資料集，本文將其命名為 phase-‘a’ basis、phase-‘b’ basis 及 phase-‘c’ basis，其轉換後之結果如表 1 所示。

觀察表 1 後，可寫出圖 2 之故障分類及故障相選擇演算法，進一步可用圖 3 之邏輯信號方塊圖加以實現，例如：若所有零模邏輯信號 ($|M_0^a|$ 、 $|M_0^b|$ 及 $|M_0^c|$) 為 1，而邏輯信號 $|M_\beta^a|$ 為零，則只有輸出信號“AG”為 1，而其它輸出信號則為零，此時可判定 A 相接地故障之發生。於表 1 中，由於本文所提之故障偵測指標相當

表 1 不同轉換基準下之可用模態真值表

Fault types		LG			LLS			LLG			3LS/3LG	
Basis	Fault detection index	AG	BG	CG	ABS	BCS	CAS	ABG	BCG	CAG	ABCS	ABCG
Phase a	$ M_0^a $	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
	$ M_\alpha^a $	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	$ M_\beta^a $	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Phase b	$ M_0^b $	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
	$ M_\alpha^b $	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	$ M_\beta^b $	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Phase c	$ M_0^c $	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
	$ M_\alpha^c $	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	$ M_\beta^c $	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Letters 'A', 'B' and 'C' represent phase-A, phase-B, and phase-C, respectively. Letters 'G' and 'S' represent 'ground fault' and 'short fault', respectively. '0' represents that the index value is less than the threshold and fails to detect faults. '1' represents that the index is greater than the threshold and rises with a large slope.

```

if  $|M_0^a|$ ,  $|M_0^b|$  and  $|M_0^c| > \text{Threshold}$ 
  if  $|M_\beta^a| < \text{Threshold}$  then a-phase to ground fault;
  else if  $|M_\beta^b| < \text{Threshold}$  then b-phase to ground fault;
  else if  $|M_\beta^c| < \text{Threshold}$  then c-phase to ground fault;
  else double phase to ground fault;
end
else if  $|M_\alpha^a| < \text{Threshold}$  then b-c phase short fault;
else if  $|M_\alpha^b| < \text{Threshold}$  then c-a phase short fault;
else if  $|M_\alpha^c| < \text{Threshold}$  then a-b phase short fault;
else
  three-phase ground or short fault;
end

```

圖 2 故障分類及故障相選擇演算法

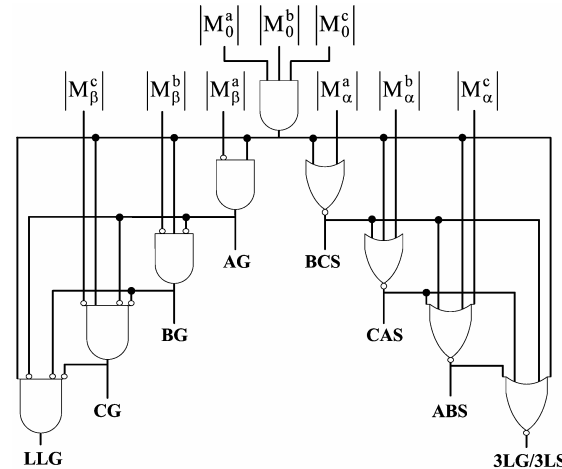


圖 3 故障分類及故障相選擇演算法之邏輯方塊圖

靈敏，因此狀態‘0’與‘1’間存在明顯之變化，故本技術可達成可靠且快速之故障型態判別，由圖 3 可知，本技術可判定單相接地故障之發生，以發出斷路器單極跳脫之命令，而當其它種故障發生時，則送出斷路器 3 相跳脫之命令。

(2) 用於無換位型輸電線路之演算法

對於無換位之輸電線，依據特徵值/特徵向量理論，可推得三個模態之故障偵測指標，但此時這三個指標將不再具有表 1 之特性，亦即其可偵測故障之模態是隨機的，其有可能三個模態均可使用，故此時便無法利用上小節之轉換技巧，完成故障型態判別及故障相選擇之功能。

然而，若將 Clarke 轉換用於無換位型線路，因為無法完全解耦合，所以無故障時，偵測指標將不等於零，而是有一未知偏移值存在；但發生故障時，此時偵測指標之行為，則與表 1 相同，亦即可用模態將快速爬升偏離此偏移值，而不可用模態則於偏移值附近做小幅暫態變化，其中關鍵點為，可用模態之產生乃由轉換矩陣所主導。

對於無換位型線路而言，採用 Clarke 轉換導致未知偏移值之存在，因此不易設定臨界值做故障偵測之工作，故本文先採用特徵值/特徵向量理論，先對輸電線做故障偵測之工作，當偵測到故障後，將前一取樣時間點之資料做 Clarke 轉換，求得偏移值之大小，並以此數值為基準，重新定義下列修正指標：

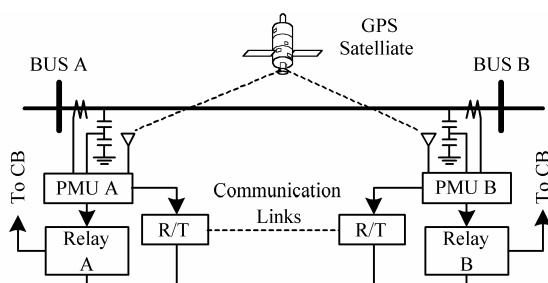
$$|\overline{M}_m| = \frac{|M_m|}{|M_m|_{\text{pre-fault}}} \quad (5)$$

其中 $|M_m|$ 為由 Clarke 轉換後所得之模態偵測指標值，而 $|M_m|_{\text{pre-fault}}$ 為偵測出故障時，由 Clarke 轉換所得前一個取樣時間點之模態偵測指標值。

所以於故障偵測後，對於可用模態而言，修正指標 $|\overline{M}_m|$ 將快速爬升而遠離 1，而不可用模態之數值，則於 1 附近做抖動變化，因此藉由設定一個臨界值，當其響應超過臨界值設定時，則可判定為可用模態，依此類推，則可轉換出同表 1 之可用模態真值表，進而完成故障型態判別及故障相選擇之工作。

III. 保護系統架構及演算法

圖 4 及圖 5 分別為本計畫所提之 PMU 為基礎之輸電線保護系統架構及演算法運算流程圖。將 PMU 放置於輸電線匯流排兩端，由此可測得同步電壓及電流基頻相量。而後透過通訊波道，可完成相量遠端互傳之工作，由於本系統在於完成線路保護之工作，因此需要透過具高速傳輸之通訊波道，由於數位通訊科技之進步，因此可透過諸如光纖或微波等方式來做資料高速通訊，以目前之技術，可達成幾毫秒之資料傳輸時間延遲。演算法之運作流程描述如下：



CB: Circuit Breaker, R: Receiver, T: Transmitter

圖 4 PMU 為基礎之輸電線保護系統架構

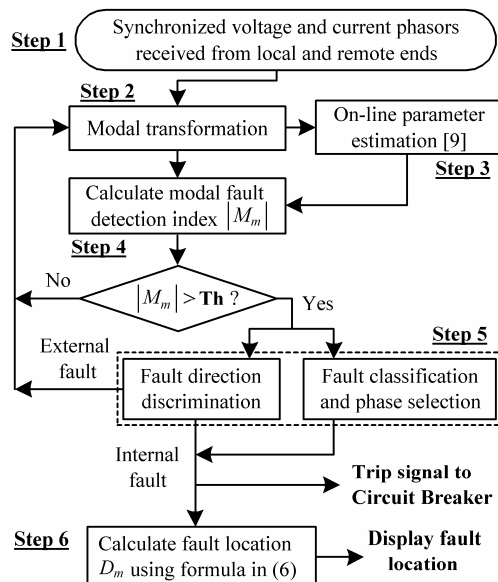


圖 5 演算法運算流程圖

Step 1: 線路兩端之電驛，分別接收本地端及遠端之同步電壓及電流相量。

Step 2: 對於換位型線路而言，利用 Clarke 轉換將電壓及電流相量做模態轉換。對於無換位型線路而言，則可利用特徵值/特徵向量理論，做模態解耦合轉換之工作。此時之矩陣轉換基準稱為 A-相(phase-‘a’ basis)。

Step 3: 計算出模態故障偵測指標 $|M_m|$ 。當有任何 $|M_m|$ 之數值大於臨界設定值 Th 時，則可判定為線路發生故障。值得注意的是，此時只能確定線路發生故障而已，並無法確定故障是否發生於保護區間內。

Step 4: 此時執行故障方向鑑別及故障型態、故障相判別之工作。

4.1 先利用步驟 3 中偵測出故障之模態信號，來鑑別故障之方向(內、外部故障之判別)，為了高信賴性之考量，當連續 5 筆 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之模態信號值大於臨界設定值時，則可判定為發生內部故障，否則為外部故障。而當確定為內部故障時，則發出斷路器跳脫信號。結合故障分類演算法，若發生單相接地故障時，則發出單極跳脫信號，否則送出斷路器三相跳脫之命令。

4.2 為了做故障分類之工作，本技術需用 Clarke 轉換，分別再求出矩陣轉換基準為 B-相及 C-相(phase-‘b’ and ‘c’ basis)之模態故障偵測指標，搭配步驟 2 中基準為 A-相之模態偵測指標，運用圖 2 之演算法及圖 3 之邏輯方塊圖，由此便可完成故障型態判別及故障相選擇。當線路無換位時，只要做稍微修正，本技術依舊可完成故障分類之工作。

Step 5: 最後，當確定為線路內部故障後，本技術可再計算出故障之位置，並顯示於螢幕，供操作維護人員參考。

IV. 模擬結果

本計畫採用 EMTP/ATP 做故障模擬，進而評估上述所提演算法之性能，圖 6 為模擬系統之單線圖，其

為 345 kV 換位型輸電線， E_S 與 E_R 之相相差設定為 20 度，其它相關之模擬參數同文獻[10]，為了考量較實際之電驛響應行為，模擬時並加入了 CT 及 CCVT 之模型，同時電壓及電流信號還會經由二階低通之 Butterworth 類比濾波器加以消除高頻信號，其截止頻率設定為 360 Hz，模擬時之信號取樣頻率為 1920 Hz，而故障投入角設定為相對於 BUS A 之 A 相電壓波形零度，T1 為欲保護之線路，而 T2 及 T3 則用於測試外部故障時，電驛之響應性能，本文採用 DFT 來估算電壓及電流之基頻穩態相量。

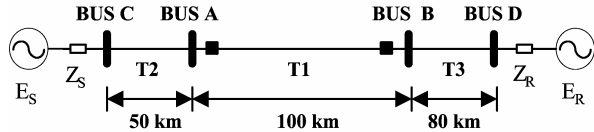


圖 6 測試保護演算法之模擬系統單線圖

以下結果說明時將會用到幾個參數，先定義如下：
 T_f ：故障投入時間， T_d ：故障偵測時間， T_i ：電驛跳脫決策時間。

A. 內部故障性能測試

圖 7 為本文線路保護技術於 A 相接地故障時之響應情形，其故障電阻為 1 歐姆，而故障位置設於 0.1 p.u. 處，圖 7-(a) 為以 phase-‘a’ basis 為基準之模態故障偵測指標響應圖，由此圖可知，於故障發生 2.604 ms 後，zero-mode 及 alpha-mode 之數值均大於臨界設定值 ($Th = 1000$)，因此偵測到故障之發生，所以可利用這兩個模態之信號，進一步做故障方向判別之工作，圖 7-(b) 為 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之響應曲線圖，其 zero-mode 信號快速且持續 5 筆資料大於臨界設定值 TS_zero ，因此於故障後 5.208 ms，本電驛技術即可發出跳脫命令，而圖 7-(c) 及 (d) 分別為 phase-‘b’ basis 及 phase-‘c’ basis 時之模態指標響應曲線，利用圖 7-(a)、(c) 及 (d)，並搭配圖 3 之故障分類邏輯，本技術可進一步判定其為 A 相接地故障，並發出 A 相斷路器跳脫之命令。

本文之故障定位誤差評估公式為：

$$\text{error}(\%) = \left| \frac{\text{actual location (p.u.)} - \text{calculated location (p.u.)}}{\text{actual location (p.u.)}} \right| * 100 \quad (6)$$

故障定位之結果，乃取故障後 2~3 週之數值做平均所得，對於上述內部故障而言，其 zero-mode 及 alpha-mode 之故障定位誤差，分別為 0.397% 及 0.250%。

B. 外部故障性能測試

圖 8 為線路 T3 發生 C-A 相短路故障時之電驛響應情形，本範例之故障位置設定於離 BUS B 右方 16km 處，由此圖 8-(a) 可知，故障後 alpha-mode 及 beta-mode 之故障偵測指標值大於臨界設定值，所以電驛偵測到線路發生故障，而圖 8-(b) 為 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之響應曲線，其數值並未大於臨界設定值，因此判定其為外部故障，進而發出抑制斷路器跳脫信號。

C. CT 飽和及 CCVT 暫態之影響

本節舉模擬測試範例，來說明 CT 飽和及 CCVT 暫態，對本文所提電驛技術之影響探討。模擬一個三

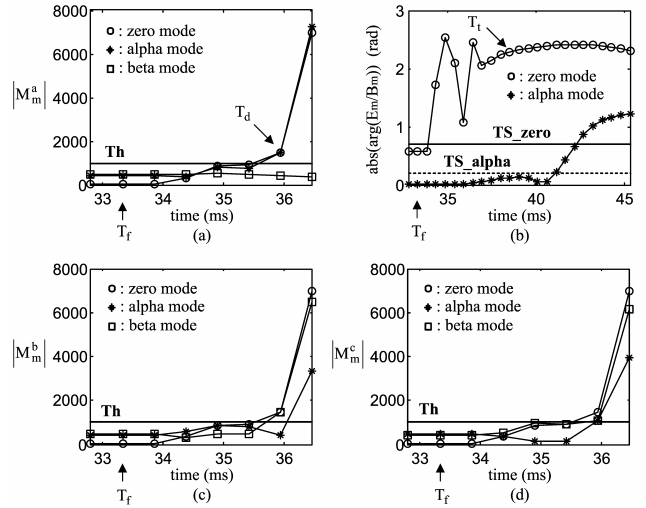


圖 7 內部 A 相接地故障時之電驛響應結果

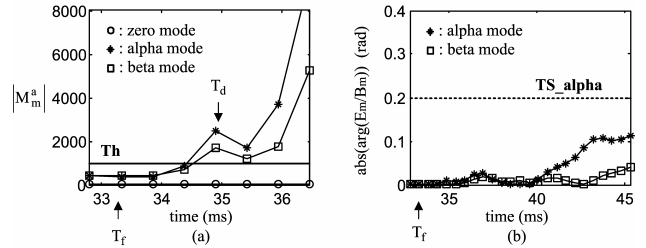


圖 8 線路外部發生 C-A 相短路故障時之電驛響應結果

相接地故障，故障位置設定於 0.95 p.u. 處，圖 9 為此案例下之電驛響應結果，由圖 9-(a) 及 (b)，可發現 CT 飽和使得電流波形嚴重失真，而 CCVT 之暫態亦會影響二次側之電壓波形，而由圖 9-(c)，可知於 CT 飽和前，beta-mode 之指標即已快速偵測到發生故障，圖 9-(d) 為 $\text{abs}[\arg(E_m/B_m)]$ 之響應曲線，因其數值大於臨界設定值，所以本電驛技術將發出斷路器跳脫命令，由圖 9-(c)、(e) 及 (f)，可確認其為三相故障，綜合上述結果，可知本技術幾乎不受 CT 飽和及 CCVT 暫態之影響，依然能夠維持高速且正確之電驛響應。

D. 無換位型線路之響應性能

為了測試本文保護電驛技術，於無換位型線路下之響應性能，將圖 6 中之 T1 更改為無換位型線路，並執行了不同故障型態、不同故障位置及不同故障電阻等狀態之模擬，本文挑選一 A 相接地故障為範例，來說明所提電驛之完整響應過程，此故障之位置設於 0.1 p.u. 處，而故障電阻為 1 歐姆。圖 10-(a) 及 (b) 為此故障下，故障偵測器及故障方向鑑別器之響應曲線圖，本技術快速偵測此故障，並於故障發生 5.208 ms 後，判定其為內部故障，圖 10-(c)~(e) 為修正後模態故障偵測指標，於不同轉換基準下之響應結果，所以於判定發生內部故障後，此時亦可判別其為 A 相接地故障，圖 10-(f) 說明模態故障定位指標之響應結果，mode 1、mode 2 及 mode 3 之故障定位誤差分別為 0.13%、0.44% 及 0.92%，其數值均低於 1%。經大量模擬結果證明本技術於無換位型線路下，依舊有優越之響應性能。

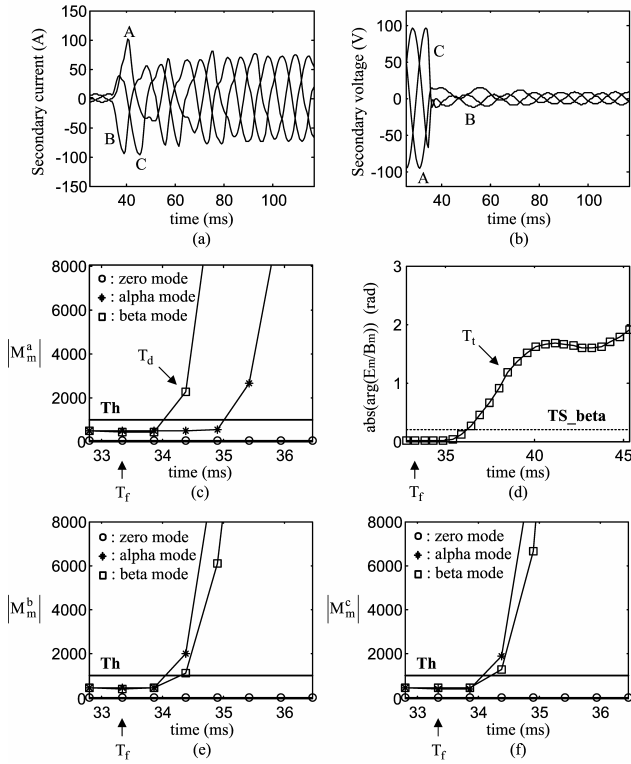


圖 9 線路內部發生三相短路接地故障，而CT飽和時之電驛響應結果

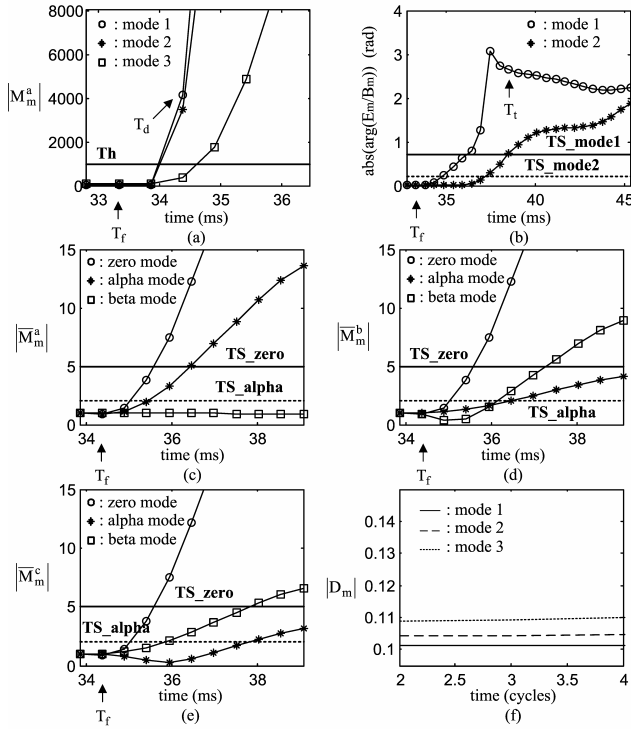


圖 10 無換位型線路之電驛響應結果

E. 整體保護演算法之性能統計

對於換位型輸電線路，相對於各種不同系統及故障狀態下，本文總共做了 462 個內部故障測試，模擬結果顯示本技術均可正確且快速地偵測故障，其性能統計結果如表 2 所示，由表可知平均故障偵測時間為

1.624 ms，而平均電驛跳脫決策時間為 5.063 ms。本文取故障後三週波之平均數值，來做故障定位性能統計，由此表可知整體之平均故障定位誤差小於 1%。

本文亦做了 110 個外部故障測試，分別針對 T2 及 T3 線段各做了 55 個故障模擬測試，包含不同故障型態、不同故障位置及不同故障電阻等情形，對於所有測試案例，本文之保護電驛演算法均有正確之響應。綜合上述結果，可知本文之線路保護技術具備高可靠性及安全性等需求。

表 2 整體保護技術之性能統計表

Evaluated items Fault types	Fault detection time (ms)	Tripping decision time (ms)	Fault location error (%)	
			Alpha mode	Beta mode
Single phase to ground fault	2.150	4.892	0.406	0.362
Double phase to ground fault	1.261	4.091	1.015	1.065
Double phase short fault	2.043	5.920	1.005	0.867
Three phase fault	1.042	5.351	0.961	0.477
Average	1.624	5.063	0.847	0.693

V. 結論

本計畫提出以 PMU 為基礎之新型保護演算法，其同時兼具電驛及故障定位之功能，本技術只用一個指標 M_m 即可完成故障偵測、內外部故障鑑別及故障相選擇等功能，其性能相當強健，幾乎不受各種系統及故障狀態之影響，平均電驛跳脫決策時間低於半週波，而經由高阻抗故障及大量之內外部故障測試驗證，證明本保護技術具備優越之靈敏度、可靠性及安全性等設計要求，而平均故障定位誤差小於 1%。本套技術可適用於換位型及無換位型輸電線路。由於數位信號處理器及通訊科技技術之進步，因此本文所提之輸電線保護技術是相當可行且有效的。

VI. 計畫第一年成果自評

吾人先前兩年已先後完成超高壓輸電線保護系統故障偵測及故障定位指標演算法的研發。此種故障偵測及故障定位指標適用於換位及未換位型單、雙迴路輸電線路且準確度極高，故可提高電力系統安全性和維修人員的方便性。為進一步提升電力系統穩定度，亟需輸電線之保護電驛具備提供單極(線)跳脫的能力，亦即需要輸電線保護電驛系統可對故障型態與區域作出正確判別，才能完成。此外，保護電驛演算法亦應兼具不受 CT 飽和及 CCVT 暫態影響之強健性。鑑此，本計畫第一年擬提出以同步相量量測為基礎之超高壓輸電線保護系統的故障型態判別及故障區域判別演算法，並研究探討此等電驛技術之可靠度、安全性及靈敏度。本計畫研究成果豐碩，自評如下：

本研究之執行成果符合計畫目標。

本研究之相關成果已整理成學術論文發表於 IEEE
Transactions on Power Delivery 期刊[15, 16]。

VII. 參考文獻

- [1] A. G. Phadke and J. S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [2] Power Engineering Education Committee and the Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, "Advancements in Microprocessor Based Protection and Communication", *IEEE Tutorial Course*, 1997.
- [3] Working Group H-7 of the Relaying Channels Subcommittee of the IEEE Power System Relaying Committee, "Synchronized Sampling and Phasor Measurements for Relaying and Control", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 9, No. 1, January 1994, pp. 442-452.
- [4] R. K. Aggarwal and A. T. Johns, "A Differential Line Protection Scheme for Power Systems Based On Composite Voltage and Current Measurements", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 4, No. 3, July 1989, pp. 1595-1601.
- [5] M. M. Mansour and G. W. Swift, "A Multi-Microprocessor Based Travelling Wave Relay - Theory and Realization", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 1, No. 1, January 1986, pp. 272-279.
- [6] Z. Q. Bo, G. Weller, T. Lomas, and M. A. Redfern, "Positional Protection of Transmission Systems Using Global Positioning System", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4, October 2000, pp. 1163-1168.
- [7] M. Kezunović and B. Peruničić, "Automated Transmission Line Fault Analysis Using Synchronized Sampling at Two Ends", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 11, No.1, February 1996, pp. 441-447.
- [8] H. Y. Li, E. P. Southern, P.A. Crossley, S. Potts, S. D. A. Pickering, B. R. J. Caunce and G. C. Weller, "A New Type of Differential Feeder Protection Relay Using the Global Positioning System for Data Synchronization", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 12, No.3, July 1997, pp. 1090-1097.
- [9] J.-A. Jiang, J.-Z. Yang, Y.-H. Lin, C.-W. Liu, and J.-C. Ma, "An Adaptive PMU Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines, Part I: Theory and Algorithms", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 15, No. 2, April 2000, pp. 486-493.
- [10] J.-A. Jiang, Y.-H. Lin, J.-Z. Yang, T.-M. Too, and C.-W. Liu, "An Adaptive PMU Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines, Part II: PMU Implementation and Performance Evaluation", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4, October 2000, pp. 1136-1146.
- [11] C.-S. Chen, C.-W. Liu, and J.-A. Jiang, "A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed/Untransposed Parallel Transmission Lines", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17, No. 2, April 2002, pp. 395-404.
- [12] J.-A. Jiang, C.-W. Liu, and C.-S. Chen, "A Novel Adaptive PMU Based Transmission Line Relay — Design and EMTP Simulation Results", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 17, No. 4, pp. 930-937, October 2002.
- [13] IEEE Standard for Synchrophasors: IEEE Std. 1344-1995, copyright 1996 by IEEE, 345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394.
- [14] H. W. Dommel, "EMTP Theory Book", 2nd. Edition, *Microtran Power System Analysis Corporation*, Vancouver, British Columbia, May 1992.
- [15] Joe-Air Jiang, Ching-Shan Chen, and Chih-Wen Liu, "A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 18, NO. 1, January 2003, pp. 34-42.
- [16] Joe-Air Jiang, Ching-Shan Chen, and Chih-Wen Liu, "Closure to Discussion of A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 18, NO. 2, April 2003, pp. 653-655.

高性能輸電線保護電驛系統的設計(2/2)

計畫編號: NSC 92-2213-E-002-030-

計畫主持人: 江昭暄 助理教授 國立台灣大學 生物產業機電工程學系

計畫共同主持人: 王永鐘 助理教授 國立台北科技大學 電機工程系

計畫執行期間: 92.8 ~ 93.7

計畫參與人員: 林明河(博士生)、李柏威(碩士生)、陳冠宏(大專生)

國立台灣大學生物產業機電工程學系

摘要—本研究計畫擬以雙端同步量測為基礎，提出一種高性能的輸電線保護電驛系統設計。此保護電驛系統可內建於防止電力系統崩潰之防衛系統內。研究方向將以實務為考量，以便亦能此保護電驛系統將整合於電力公司既設之電能管理/監控系統。研究內容包括研發保護電驛演算法及設計人機界面兩部分。本報告為第二年計畫之執行成果，茲敘述如下：本研究使用套裝軟體 MATLAB 開發輸電線保護電驛系統的人機界面。文中提出適合雙端保護演算法的人機界面架構規劃。本文所發展之監控人機界面可提供即時監控、線上動態模擬、及歷史資料檢視等功能。此項人機界面的各項功能，包含有顯示系統操作狀態、同步相量量測資料、故障偵測指標、故障定位指標、故障型態判別、電驛跳脫設定值等資料之蒐集、分析處理、故障告警、資料報表等多項功能。將之整合為雙端型保護電驛系統專屬的人機界面，以提升保護性能。

關鍵詞—保護電驛系統，相量量測，電力系統，監控系統，人機界面，MATLAB。

Abstract—This project, based on two-terminal synchronous measurements technique, is devoted to the design of a high performance protective relaying system for transmission lines. The protective relaying system can be built into the defense system against power system collapse. The research has an orientation towards practical considerations and can also be integrated in the existing EMS/SCADA systems of power companies. The research task includes the development of protective relaying algorithms and the design of the graphical user interface. This report is the implementation results of the second stage of the project and is described as below. This work develops a graphical user interface (GUI) of protective relaying system for transmission lines by using MATLAB package. The architecture of GUI system that is suitable for two-terminal based protective algorithms is proposed. The developed GUI system can provide real-time monitoring, on-line dynamic simulation, and historical data inspection functions. The operation state of the power system, the synchronous measured data, the calculated fault detection/location indices, the settings for tripping the relay, etc. can be displayed in the windows of the designed GUI system. In addition, the proposed GUI system can be integrated with the two-terminal based protective relaying system to enhance the relaying performance.

Keywords: Protective relaying system, phasor measurement, power system, monitoring system, Graphical user interface (GUI), MATLAB.

I. 前言

輸電線保護電驛系統性能之良窳是控制電力系統穩定度及電力品質的至要關鍵。保護電驛的動作時間超過臨界清除時間或是動作不正確時，不僅無法保護

輸電線，甚至會引起系統崩潰。由於輸電線故障大多為單線接地故障，因此亟需對線路故障型態加以快速判定，以便監控系統採取單極復閉措施，進而提升電力系統穩定度。因此，設計保護電驛系統時必須兼顧故障偵測、故障定位、故障型態及故障區域判定、與快速響應性能等之需求。前人對此方面的研究大多著重於故障偵測、定位、型態及區域判定等個別保護技術的研發上，兼容並蓄者並不多見。本計畫的研究重點就是要整合上述各項保護技術於一體，形成功能優異的完整保護電驛系統。

將各類量測資訊及故障診斷，顯示於電力系統線上工作環境中是相當重要的環節。線路故障偵測位置的即時判別將有助於系統電力供應的恢復，故障型態的判定則可避免不必要的切換動作，甚至可提供保護系統決策，進行單極復閉，進而提升系統穩定度，保障供電品質。因此，此種監控工作極具緊迫性，耗費人力資源，而且其精確度將受限於可用的資訊的多寡而訂定。良好的人機界面是輸電線保護電驛系統成功與否的關鍵。現今量測與進階分析的進行仍舊分成兩大步驟：第一步是對測試儀器進行資料擷取(Data Acquisition)；第二步才能使用各種套裝或訂製的軟體程式進行資料的分析[1-4]。

將各類量測資訊及故障診斷顯示於功能強大及使用方便的人機界面亦是保護電驛系統提升整體電力系統防衛能力必備的工具。人機界面的功能之一就是可透過其輸出設備，讓使用者容易且正確地了解整個電力系統及監控系統之運轉情形。傳統上，此項工作都是由操作人員基於由電能管理系統(Energy Management System, EMSs)所提供的資訊及各項警報訊號來加以操作處理[1]。調度員透過單線圖上對應的設備圖示，或監控表格內之設備文字符號，除了能執行方便、安全地控制輸出操作外，亦能對設備做掛牌(Place Tag)及卸牌(Remove Tag)控制[3]。因此，電力系統故障診斷、監控等相關問題的研究，國內外已有許多學者正視了這個問題，並進行相關之研究[5-10]。在這些研究中，大部份是以規則庫為基礎所建立的專家系統為主，且大多應用於配電系統與變電所層面針對故障診斷、諧波潮流等的監控居多。將專家系統觀念及人機界面設計整合應用於輸電線保護電驛系統，實為開發輸電線完整保護系統架構的新趨勢。本文的目標即是應用 Matlab/GUI[4]建立一套良好的輸電線保護電驛系統人機界面，使操作人員可容易且安全地操控整個電力系統和監控系統，且由監控介面的動

態模擬及歷史資料檢視操作中，獲得輸電線保護電驛各項量測資訊及故障診斷判讀的知識。

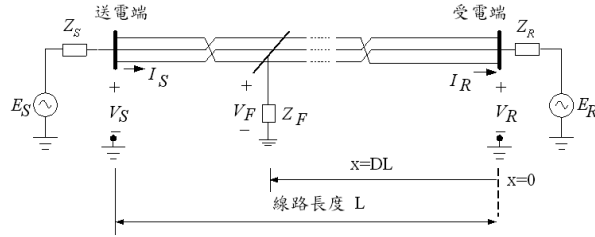
本報告為第二年計畫之執行成果，共分為五節，其內容綱要如下所述。第二節說明相量量測為基礎之輸電線保護技術；第三節介紹輸電線保護電驛系統人機界面的設計；第四節則描述人機界面的操作與測試，以驗證本文所研發人機界面之效能；最後則於第五節作一結論。

II. 以相量量測為基礎之輸電線保護電驛操作原理及功能說明

A. 輸電線保護技術

本文輸電線保護電驛系統的各项故障偵測採用江等人[11-12]發展之利用雙端同步量測及分佈式輸電線模型為基礎的故障偵測技術，以下說明三相輸電線故障偵測與定位指標公式：

三相輸電線路含有换位型與未换位型兩種線路型態，如圖一所示之三相换位型輸電線，由於線路間具有互耦合效應，但可利用對角化方式解耦合，將其轉換成三條獨立輸電線路。三相未换位型輸電線路則可根據特徵值、特徵向量理論，找到適當的解耦合矩陣。當三相輸電線路可解耦合成三條獨立輸電線路，經推導後，可獲得 M、N、D 指標，如下[11-14]：



圖一、三相换位型輸電線示意圖

$$D_m = \frac{\ln(N_m / M_m)}{2\Gamma_m L} \quad (1)$$

其中，

$$N_m = \frac{1}{2} [V_{Rm} - Z_{Cm} I_{Rm}] - \frac{1}{2} e^{\Gamma_m L} [V_{Sm} - Z_{Cm} I_{Sm}]$$

$$M_m = \frac{1}{2} e^{-\Gamma_m L} [V_{Sm} + Z_{Cm} I_{Sm}] - \frac{1}{2} [V_{Rm} + Z_{Cm} I_{Rm}]$$

單迴路輸電線時，取 $m = 0, \alpha, \beta$ ；雙迴路輸電線時，則取 $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 。L = 線路總長度， Γ_m = 模態傳播常數， Z_{Cm} = 特性阻抗， V_{Sm} 、 V_{Rm} 、 I_{Sm} 、 I_{Rm} 分別為送電端與受電端之同步 m-模電壓、電流相量，且未故障前 M 及 N 的大小為零。

考量實際 CT、CCVT 量測及數值計算誤差，指標值 |M| 及 |N| 不會剛好等於零，因此必須設定一臨界值 (Th)，以避免誤動作之發生。由於兩指標具有相同之特性，因此本文僅採用 |M| 來做故障偵測。本文之線路模型考量充電電容效應，因此適合於長程線路之保護，不需額外做任何補償動作。對於無换位型輸電線，可根據特徵值/特徵向量理論，找到適當之解耦合矩陣，所以依舊可推導出三個模態故障偵測及定位指標。

B. 線路參數估測

輸電線線路參數估測原理，乃是將同步相量量測器置於輸電線匯流排兩端量測線上電壓及電流訊號，並將量測訊號進行離散傅立葉轉換以獲得同步基頻電壓及電流相量，最後代入輸電線方程式，藉由模態轉換矩陣將方程式解耦合，即可獲得各模態的線路參數值[11]。三相平衡且分佈式線路模型的線路參數計算公式如下：

$$\gamma_m = \frac{1}{L} \cosh^{-1} \left(\frac{V_{Sm} I_{Sm} + V_{Rm} I_{Rm}}{V_{Sm} I_{Rm} + V_{Rm} I_{Sm}} \right) \quad m = 0, 1, 2 \quad (2)$$

$$Z_{Cm} = \left[\frac{V_{Sm}^2 - V_{Rm}^2}{I_{Sm}^2 - I_{Rm}^2} \right]^{1/2} \quad m = 0, 1, 2 \quad (3)$$

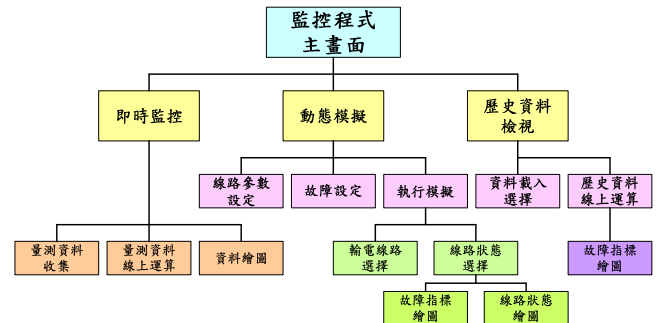
利用以上兩個計算式求得傳播常數 γ_m 及特性阻抗 Z_{Cm} 後，即可求得序阻抗及導納參數。另外，以上的計算式可適用於三相單迴路、雙迴路、换位型、無换位型的線路參數估測[13]。

III. 輸電線保護電驛系統人機界面的設計

本文應用套裝軟體 MATLAB 來開發輸電線保護電驛監控系統人機界面之視窗畫面。MATLAB 程式具備規劃容易，設計方法及設計步驟簡單，繪圖容易，程式維護容易，適合做運算等特色，且 Matlab 提供方便的圖形與使用者界面(GUI)設計的工具盒，它可以利用 GUIDE 直接進行功能按鍵編排、物件特性設定、圖形位置排列對齊、操作區設計等，對於人機界面設計的功能規劃、整合上相當便利。此外，MATLAB/Simulink 之電力系統工具箱提供電力系統模擬元件，可結合 GUI 建立輸電線系統線上模擬的參數設定，對於本文之輸電線路保護監控系統的開發，提供了相當好的工具。

A. 監控系統人機介面架構規劃

本文對於監控系統人機界面的架構規劃如圖二所示，此人機界面的架構為階層式，其最上層為監控程式主畫面，須有帳號及密碼登入，主畫面下規劃有即

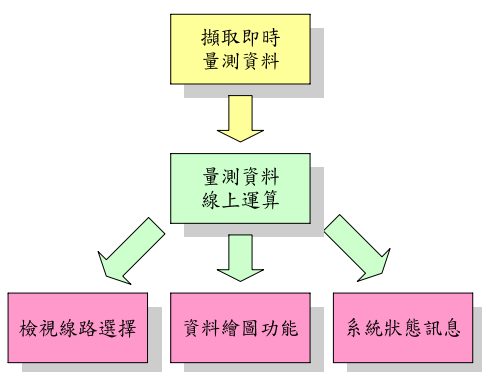


圖二、監控系統階層架構示意圖

時監控、動態模擬、歷史資料檢視等功能按鍵。當進入這些功能鍵時，可連結至該功能之獨立視窗，且每個功能視窗下含有各自的獨立子功能視窗，如各式繪圖功能、資料運算功能等。

B. 即時監控設計

擷取即時量測資料進行分析是監控系統的首要工作，其目的是提供操作人員評估整個輸電線系統運作狀態的依據。即時監控的設計是將即時量測資料，透過各種以相量量測為基礎之輸電線保護演算法的運算，以獲得各種故障偵測指標、及線路參數估測結果，並將各種線路資料、指標以繪圖方式呈現，且可對各種故障發出警告。本文設計之即時監控功能如圖三所示，此即時監控系統可即時地擷取同步相量量測器的量測資料，並在線上進行量測資料的各式演算法運算，最後將演算結果同步地顯示於功能視窗上，如透過檢視線路選擇可指定欲觀測線路，資料繪圖功能可將線路上的各項參數(如電壓、電流、故障指標、線路參數估測等)以圖形方式顯示，藉由系統狀態訊息顯示可獲知系統是否正常、或是系統的故障線路及故障型態。



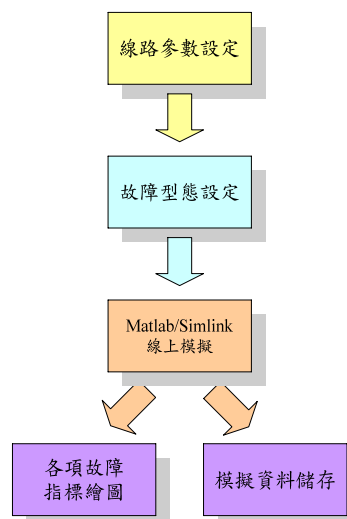
圖三、即時監控功能方塊圖

C. 動態模擬設計

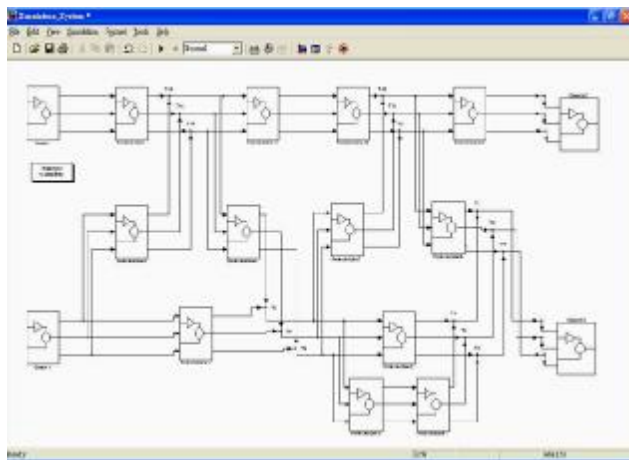
輸電線系統的各種故障模擬演練，可提升操作人員於系統發生實際故障的判讀及排除能力，本文之人機界面監控系統亦備有動態模擬功能，其功能方塊如圖四所示。在動態模擬功能視窗上設有線路故障設定、故障型態設定選單，可供使用者進行設定選擇。此動態模擬之輸電線模擬系統以 MATLAB/Simulink 之電力系統工具箱建立，建立的 Simulink 模型如圖五所示，此模擬系統共建立 12 條線路，其中 10 條單迴路、2 條雙迴路，四個三相 345 kV 電源。模擬系統的線路參數，可經由線路參數設定功能來決定各項參數值，而系統的故障型態，則可由故障型態設定來選擇。此參數設定功能以 M-file 編輯程式方式，直接呼叫如圖六、七所示之 MATLAB/Simulink 建立的輸電線模擬系統的參數設定方塊進行設定。

D. 歷史資料檢視設計

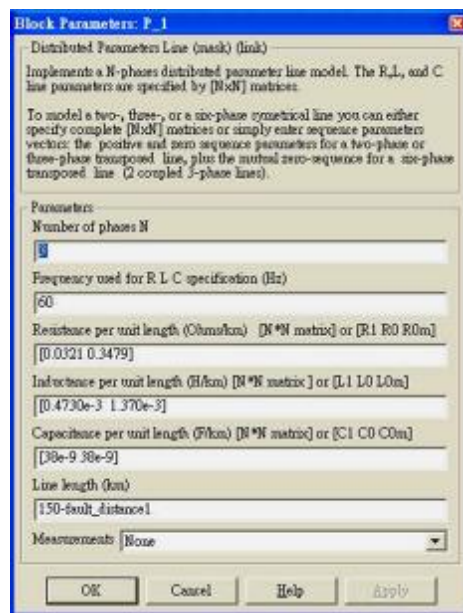
歷史資料檢視設計之目的，為提供監控系統操作人員重新檢閱過去的資料，從中獲得更多的輸電線保護技術知識。歷史資料檢視功能方塊如圖八所示，使用者可在歷史資料檢視功能視窗上，選擇載入任何一筆歷史量測資料或線路故障資料，立即進行保護電驛演算法的運算，並由各線路狀態及故障指標的繪圖選單，選擇欲觀測線路的故障指標進行歷史資料檢視。另外，歷史資料的來源亦可從即時監控及動態模擬結果中獲得。由於，目前尚無即時監控歷史資料，所有歷



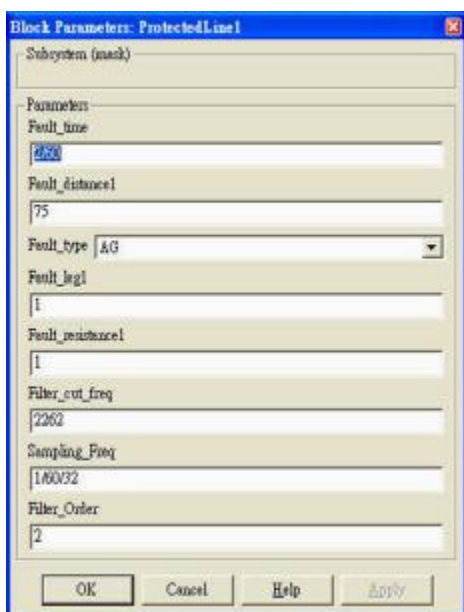
圖四、動態模擬操作功能方塊圖



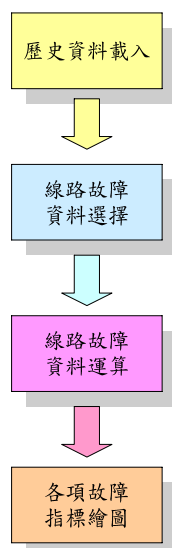
圖五、輸電線模擬系統 Simulink 模型



圖六、MATLAB/Simulink 建立的輸電線模擬系統線路參數設定方塊
史資料暫由 MATLAB/Simulink 所建立的輸電線模擬系統模擬產生，本文共收集了 1152 筆的模擬資料。



圖七、Matlab/Simulink 建立的輸電線模擬系統故障設定方塊



圖八、歷史資料檢視功能方塊圖

IV. 人機界面的操作與測試

本文開發之高性能輸電線保護監控系統人機介面的登入視窗及主視窗，如圖九所示，須經由帳號登入及密碼確認後方可進入主視窗。主視窗上有即時監控、動態模擬、及歷史資料檢視功能鍵，直接選取按下功能鍵即能連結至所屬的獨立功能視窗，並可在各獨立功能視窗上進行各項操作，如下所敘。

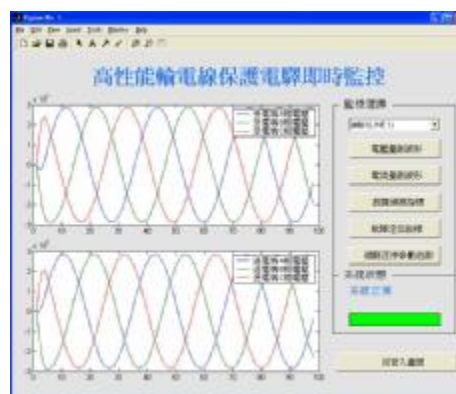
A. 即時監控操作

在監控系統之主視窗按下即時監控功能鍵後，即會出現即時監控視窗，此視窗設有監控選擇區，此區含有監控線路選擇、即時電壓電流量測資料繪圖、故障偵測指標繪圖、及故障定位指標繪圖，可在此選項選定或切換欲監控之線路及繪圖項目。此視窗尚有系統狀態警示區，當系統發生故障時，警示區會發出警示燈，並以文字方式列出故障線路及故障型態。如圖

十所示，為系統正常時，進行觀測線路 1 即時電壓量測資料的畫面，此時系統狀態警示區以文字及綠色警示燈號顯示系統正常。圖十一所示為系統正常時，檢視線路 1 即時線路參數估測資料的畫面，本文線路參數估測運算包含零序、正序、及負序的參數值，因零序及負序的線路參數估測值誤差較大，正序線路參數估測誤差相當小，所以在視窗上只有顯示正序的線路參數值。圖十二為系統發生故障時，進行觀測線路一故障偵測指標的畫面，此時系統狀態警示區以文字方式顯示線路一 A 相故障，且警示燈發出紅色燈號警示。



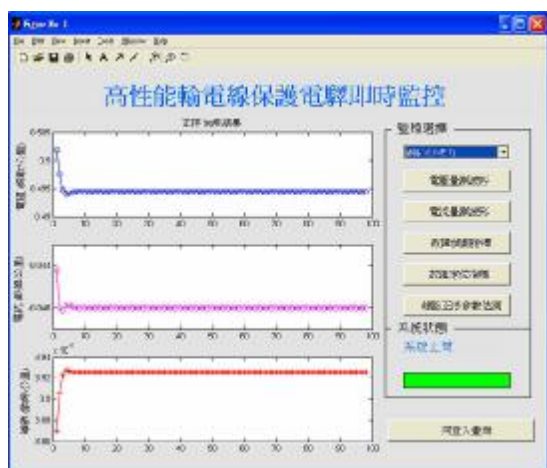
圖九、登入視窗(上)、監控系統主視窗(下)



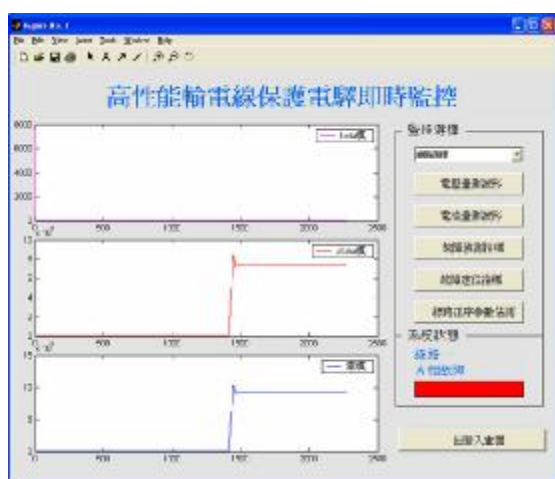
圖十、即時監控視窗系統正常—電壓量測資料繪圖

B. 動態模擬操作

當按下監控系統主視窗的動態模擬窗後，即可開啟動態模擬視窗進行以 MATLAB/Simulink 建立之輸電線模擬系統的線上模擬功能，動態模擬視窗上設有參數設定、繪圖、資料儲存等功能，如圖十三所示。當進行動態模擬時，可先在參數設定選單上，設定各項模擬參數，如故障線路、故障型態、故障時間、故障點等，若沒有進行參數設定，則模擬系統會視初設值為所設定之參數，此模擬系統的故障線路參數初設值



圖十一、即時監控視窗系統正常一線路參數估測繪圖



圖十二、即時監控視窗系統異常一故障偵測指標繪圖

為線路一發生 A 相接地故障、故障時間 0.75 秒、線路長度 100 km、故障點 0.4 p.u. 完成參數設定後，按下執行模擬功能鍵，即可進行 MATLAB/Simulink 輸電線模擬系統的模擬工作，待模擬完畢後，可按下資料儲存功能鍵儲存模擬結果，或按下繪圖功能鍵，則可開啟繪圖視窗進行模擬資料繪圖工作，如圖十四所示。在動態模擬繪圖視窗的各項指標選單中，選擇故障定位指標，進行指標繪圖。圖十五為線路一的線路參數估測結果，在此參數估測結果繪圖中，可明顯觀察到線路一故障前、後的線路參數變化。

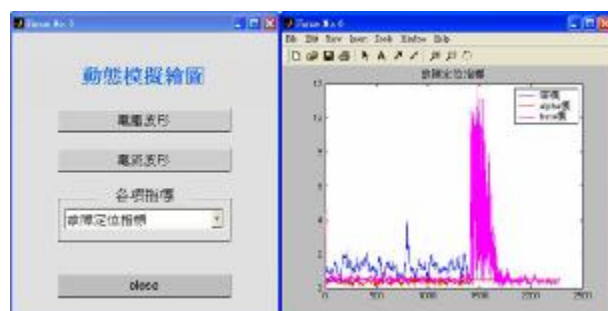
C. 歷史資料檢視操作

當要檢視歷史資料時，只要在監控主畫面按下歷史資料檢視功能鍵，即可連結開啟歷史資料檢視主視窗，在此視窗中，可載入儲存於資料檔中的歷史資料，且系統訊息窗會列出此筆歷史資料為哪一個線路、何種故障的文字訊息，如圖(十六)所示，選擇載入歷史資料一，系統訊息窗顯示此筆資料為線路二發生 A 相接地故障，確定欲檢視的歷史資料後，按下視窗上的載入鍵，即會開啟歷史資料繪圖視窗，在此視窗可以選擇觀測線路及狀態項目。如圖(十七)所示，在歷史

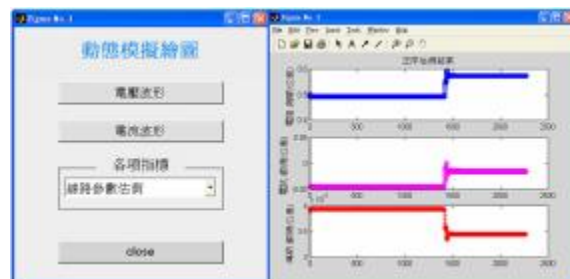
資料繪圖視窗中，選擇觀測線路二的故障偵測指標，則視窗上的繪圖區即會呈現此指標的繪圖結果。



圖十三、動態模擬主視窗



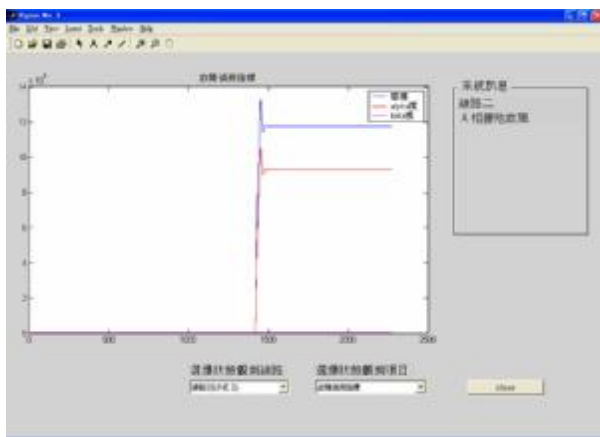
圖十四、動態模擬繪圖視窗一故障定位指標



圖十五、動態模擬繪圖視窗一線路參數估測



圖十六、歷史資料檢視主視窗



圖十七、歷史資料檢視觀測視窗—故障偵測指標

V. 結論

本研究以 MATLAB 軟體成功地開發出一套高性能輸電線保護電驛監控系統，此系統除了提供電驛保護系統的即時監控，還提供線上模擬及歷史資料檢視的功能，可使監控系統操作人員對於輸電線保護電驛系統的各項故障判讀、診斷更加瞭解。另外本文中即時監控的資料，尚無實際的即時量測資料，暫由模擬產生，在此一併說明。

VI. 計畫成果自評

吾人先前兩年已先後完成超高壓輸電線保護系統故障偵測及故障定位指標演算法的研發。此種故障偵測及故障定位指標適用於换位及未换位型單、雙迴路輸電線路且準確度極高，故可提高電力系統安全度和維修人員的方便性。為進一步提升電力系統穩定度，亟需輸電線之保護電驛具備提供單極(線)跳脫的能力，亦即需要輸電線保護電驛系統可對故障型態與區域作出正確判別，才能完成。此外，保護電驛演算法亦應兼具不受 CT 飽和及 CCVT 暫態影響之強健性。鑑此，本計畫第一年提出以同步相量量測為基礎之超高壓輸電線保護系統的故障型態判別及故障區域判別演算法，並研究探討此等電驛技術之可靠性、安全性及靈敏度。本報告為第二年計畫之執行成果，本研究使用套裝軟體 MATLAB 開發輸電線保護電驛系統的人機界面。文中提出適合雙端保護演算法的人機界面架構規劃。本文所發展之監控人機界面可提供即時監控、線上動態模擬、及歷史資料檢視等功能。本計畫研究成果豐碩，自評如下：

本研究之執行成果符合計畫目標。

本研究之相關成果已整理成期刊論文兩篇發表於 IEEE Transactions on Power Delivery 期刊[15, 16]與一篇研討會論文發表於中華民國第二十四屆電力工程研討會[17]。

VII. 參考文獻

[1] H. Miao, M. Sforza, and C.-C. Liu, "A New Logic-Based Alarm Analyzer for On-Line Operational Environment", *IEEE*

Transactions on Power System, Vol. 11, No. 3, August 1996, pp. 1600-1606.

[2] Y. Sekine, Y. Akimoto, and M. Kunugi, "Fault Diagnosis of Power System", *Proc. of the IEEE*, Vol. 80, No. 5, May 1992, pp.673-683.

[3] 鄭石洋，『國產化 R2-RTU 之硬體架構簡介』，台電公司輸變電工程處，頁 1-10。

[4] 鈺思科技公司，『視覺化(Visualization)及演算法發展』網站簡介，網站網址：www.terasoft.com.tw。

[5] Y.Y. Hsu, F.C. Lu, Y. Chien, J.P. Liu, J.T. Lin, H.S. Yu, and R.T. Kuo, "An expert system for locating distribution system faults," *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 6, No. 1, pp. 366-372, Jan. 1991.

[6] H.T. Yang, W.Y. Chang, and C.L. Huang, "On-Line Fault diagnosis of Power Substation Using Connectionist Expert System," *IEEE Trans on PWRD*, Vol. 10, No. 1, pp323-331, Feb. 1995.

[7] J.P. Bernard, and D. Durocher, "An expert system for fault diagnosis integrated in existing SCADA systems," *IEEE Trans on PWRD*, Vol. 9, No. 1, pp548-554, Feb. 1994.

[8] C.C. Liu, et al, "Development of a Practical Advanced Alarm Processor" *EPRI Report*, June 1997.

[9] Wen-Hui Chen, Chih-Wen Liu, and Men-Shen Tsai, "On-Line Fault Diagnosis of Distribution Substations Using Hybrid Cause-Effect Network and Fuzzy Rule-Based Method," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 15, No.2, pp710-717, April 2000.

[10] Wen-Hui Chen, Chih-Wen Liu, and Men-Shen Tsai, "An On-Line Fault Estimation in Distribution Substations Using Improved Cause-Effect Networks," *Journal of Chinese Institute of Electrical Engineering*, Vol 8, No3, pp267-277, Aug. 2001.

[11] Joe-Air Jiang, Jun-Zhe Yang, Ying-Hong Lin, Chih-Wen Liu, and Jih-Chen Ma, "An Adaptive PMU Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines, Part I: Theory and Algorithms", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, No.2, April 2000, pp. 486-493.

[12] Joe-Air Jiang, Ying-Hong Lin, Jun-Zhe Yang, Tong-Ming Too, and Chih-Wen Liu, "An Adaptive PMU Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines, Part II: PMU Implementation and Performance Evaluation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, No.4, Oct. 2000, pp.1136-1146.

[13] Ching-Shan Chen, Chih-Wen Liu, and Joe-Air Jiang, "A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed /Untransposed Parallel Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 17, NO. 2, APRIL 2002, pp. 395-404.

[14] Joe-Air Jiang, Chih-Wen Liu, and Ching-Shan Chen, "A Novel Adaptive PMU Based Transmission Line Relay — Design and EMTF Simulation Results", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 17, NO. 4, October 2002, pp. 930-937.

[15] Joe-Air Jiang, Ching-Shan Chen, and Chih-Wen Liu, "A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 18, NO. 1, January 2003, pp. 34-42.

[16] Joe-Air Jiang, Ching-Shan Chen, and Chih-Wen Liu, "Closure to Discussion of A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 18, NO. 2, April 2003, pp. 653-655.

[17] 林明河，曾傳蘆，王永鐘，陳冠宏，及江昭曜，『輸電線保護電驛系統之圖形化人機界面設計』，中華民國第二十四屆電力工程研討會，92 年十二月 12-13 日，頁次：670-674。