



同步量測技術於輸電線保護電驛與故障定位之研究

文／劉志文（電機工程學系暨研究所教授）

前言

近年來由於通訊科技及同步量測技術之快速發展，促使電力工程師得以針對電力系統之監視、控制與保護，發展出更高等且有效之方法。同步量測技術結合數位式電驛，將可提供更佳之輸電線保護電驛性能與故障定位準確度，因此本文特對本實驗室在同步量測技術於輸電線保護電驛與故障定位之研究，做一概述與相關分析，同時探討未來電力系統保護之發展趨勢。

簡介

自 1980 年代以來，數位式電驛即開始蓬勃發展，隨著時代之進步，使得高速、高頻寬之資料通訊傳輸與數位信號處理技術，越來越容易實現，其成本亦逐漸降低。因為數位化之結果，其帶來許多優點，例如：功能可程式化、資料易修改、記錄容易、變通性高、可自我軟硬體診斷及系統整合容易，所以數位式電驛及記錄器日益普及，並已廣泛應用於電力系統。

傳統之電力系統同步量測，需先估測傳輸時間之延遲，再利用時間補償法來完成，此方法較不準確，當系統很大時，則此法將非常複雜。自 1993 年後，由於全球衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）之發展成功，使得同步量測變得相當容易，目前已發展出許多應用，例如：電力系統狀態估測、穩定度控制、系統特殊保護技術、適應性電驛、輸電線保護電驛、輸電線故障定位.....等。目

前 ABB 更致力於同步量測技術之發展，同步量測應用於電力系統監視、控制與保護，將是指日可待，以此方式可達全系統廣域同步量測，其更是未來學界與產業界之研究重點。同時 IEEE 已對同步量測之技術與資料傳輸格式，訂定了共同標準。

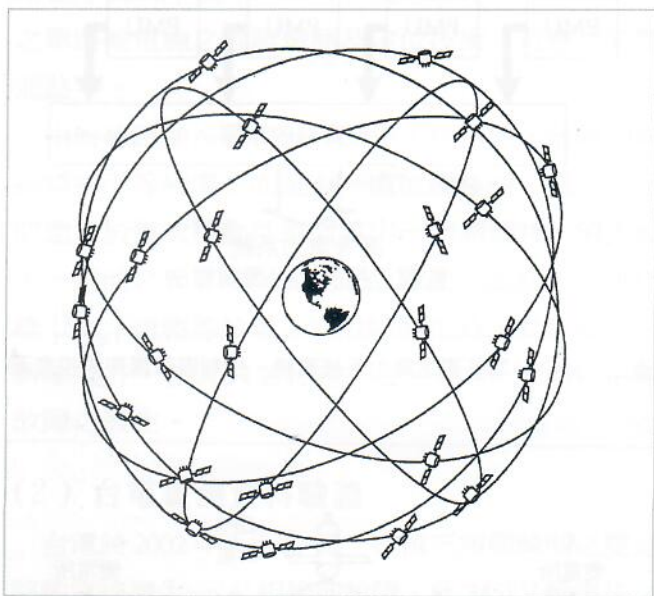
針對此趨勢，本實驗室特就同步量測於輸電線保護電驛與故障定位等研究課題，做一介紹與探討。本文將先簡介 GPS 之原理與架構，而後進一步說明如何運用 GPS 所提供之信號，來達到電力系統同步取樣與量測，接著敘述同步量測技術於輸電線保護電驛與故障定位之應用，並說明未來電力系統保護之相關趨勢與架構。

全球衛星定位系統

由於全球衛星定位系統之成功發展，使得高準確度之時間同步問題得以輕易實現。GPS 系統乃由美國所發展而成，其包含在天空中的 24 顆衛星及地面上的監控站，它可提供全球的使用者，24 小時不中斷、不受天候影響的三度空間定位、定時、導航資訊，其衛星之佈局如圖一所示，衛星群分佈在約 10,898 英哩高空之六個軌道面上，來廣播定位、導航及相關訊息。

GPS 應用於電力系統時，主要是採用其提供之 1PPS（1 Pulse Per Second）及時間標記（Time Marker），做為同步量測的時間參考基準，由於全球各地均可接收到 GPS 衛星所提供之信號，各地之時間同步誤差小於 1 微秒，不受各地相對距離之影

響，亦無須傳統之時間補償，此時間誤差，相對於 60Hz 之電力系統而言，其角度誤差為 0.0216 度，使用者只要具備 GPS 接收機，即可輕易取得此二信號，此二信號使得電力工程師可以發展出許多創新性的技術，改善傳統方法之性能。



圖一 24 顆衛星於 6 個軌道之佈局視意圖

同步量測技術

目前，全球衛星定位系統已被廣泛使用在量測、定位、導航與傳時之應用上，要取得準確的同步時間訊號已不再困難。

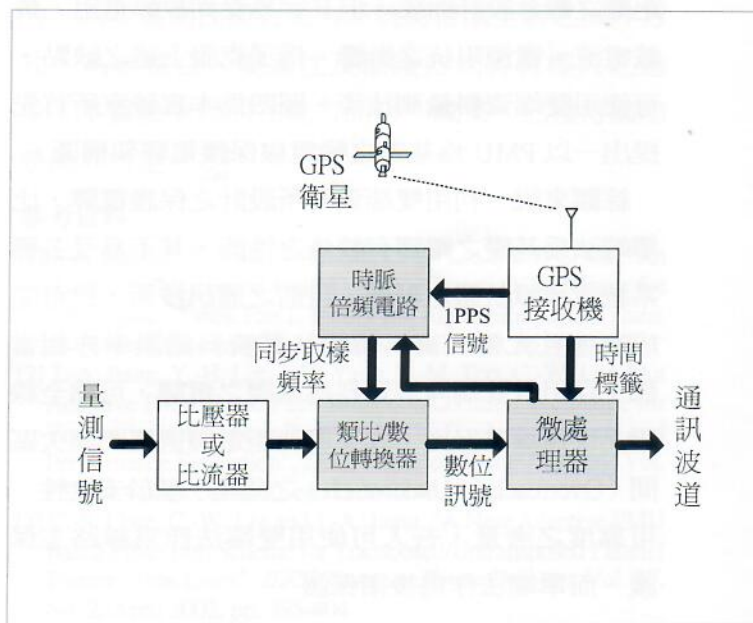
(1) 同步取樣

由於 GPS 系統只提供 1PPS 之信號，若欲將其應用於電力系統中，則須將此信號經由除頻技術，完成倍頻之目的，達到數 kHz 或更高之數量級，以此作為類比／數位轉換器之基準，完成信號同步取樣。傳統上此倍頻電路乃由鎖相迴路（Phase Locked Loop, PLL）來完成。當實際應用時之演算法所需信號，僅為多端點之同步時域離散數位信號時，則此同步取樣技術便可滿足要求，例如：故障定位演算法，採用時域之線路微分方程式為基礎時，並以雙端同步資料來計算故障點位置。

(2) 同步相量量測

同步相量量測器（Phasor Measurement Unit, PMU）是一種以 GPS 為基礎，達到整個電力系統時間同步化之量測儀器，將多個 PMU 分散放置於各地，用於量測匯流排之電壓、電流相量及頻率，運用此種直接量測法，則匯流排之相量資訊可即時地（real-time）透過通訊方式，傳送至電力系統的中央控制中心，如此中央控制中心便不再需要費時地求解電力潮流或狀態評估，而是即時的、全面的了解整個電力系統之狀態，使得電力系統的安全性及可靠度提昇，因此相關之技術由然而生。

圖二是本實驗室所研發之 PMU 架構方塊圖，電力系統上的電壓與電流經過比壓器和比流器後，依據倍頻電路所產生的同步取樣脈衝，由類比／數位轉換器做取樣、保持而形成離散數位信號，而後進入微處理機所構成的計算單元。



圖二 同步相量量測器之架構圖

然後，相量加上時間標記後，經通訊設備送至中央控制中心，或是在現場顯示出來。同步相量之資料傳輸格式，目前 IEEE 已制定了相關之共通標準（IEEE std. 1344-1995），其包含了時間標籤、相量、斷路器狀態、錯誤檢查碼等相關規定。



有了 PMU 所產生之瞬時相量，我們便可以掌握到整個電力系統的動態行為，進而依據這些 PMU 所量測的結果，吾人便可發展出許多演算法來加以監控整個系統，將數位電驛與 PMU 結合，將提供電力系統一個即時、快速且富彈性的量測與保護，其示意圖如圖三所示。本文接下來將以輸電線保護電驛與故障定位為主題，探討與介紹如何善用同步量測技術，來提升其性能。

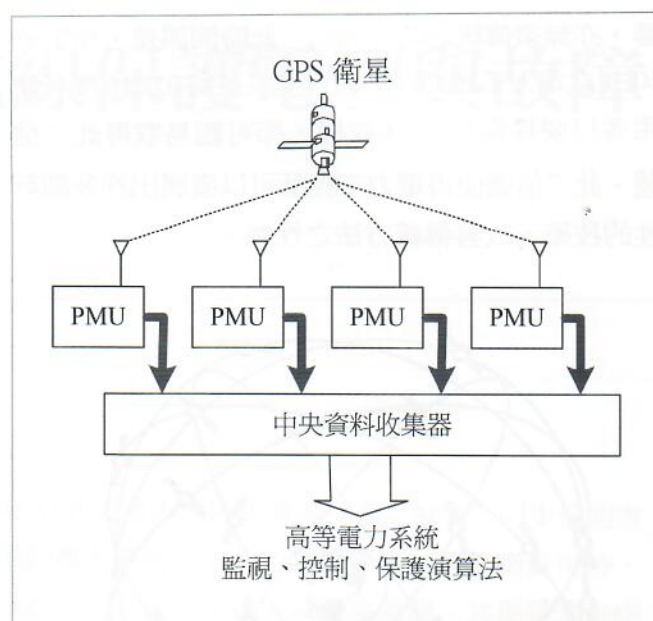
於輸電線保護電驛之應用

保護電驛的主要功用為偵測系統、元件與設備，是否處於正常工作狀態，當有故障發生時，則發出跳脫信號，促使斷路器跳脫以隔離故障。測距電驛 (distance relay) 由於其方法簡單，並不須作遠端資料通訊，因此廣泛地用於輸電線路之保護，其利用單端量測所得之阻抗大約正比於電驛至故障點距離之觀念設計而成，但其容易受到故障電阻、負載電流、電源阻抗之影響。為了克服上述之缺點，可使用雙端資料量測技術，圖四為本實驗室所首先提出一以 PMU 為基礎之輸電線保護電驛架構圖。

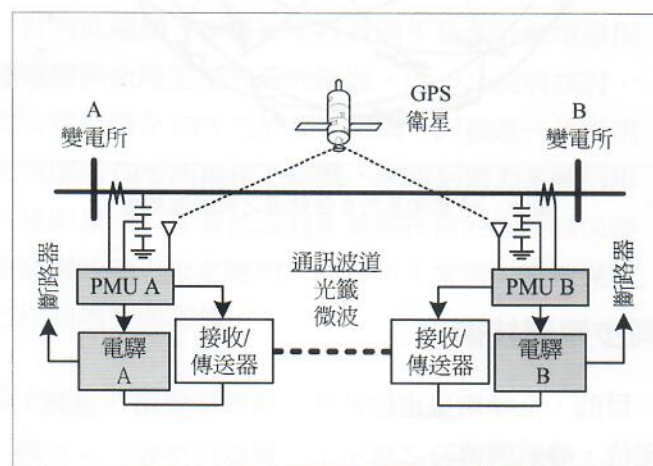
綜觀來說，利用雙端資料所設計之保護電驛，比單端法為基礎之電驛有較佳之性能，其不易受各種系統或故障狀態之影響，目前之通訊技術，已可完成高速且大量之資料傳輸，其資料錯誤率亦相當低，採用以雙端同步資料為基礎之電驛，可達全線段之快速線路保護，其克服測距電驛過區間與欠區間 (Overreach / Underreach) 之問題，基於安全性、可靠度之考量，吾人可使用雙端法作為線路主保護，而單端法作為後衛保護。

於輸電線故障定位之應用

基於經濟和電力品質觀點，發展一高準確度之輸電線故障定位器是相當重要的，因為一但輸電線發生故障，引發的經濟損失將難以估計，更會造成人們生活上的諸多不便。例如：台電系統於 88 年間所發生之 729 事件，乃因 345kV 輸電鐵塔倒塌，導致一連串的保護電驛跳脫，造成台灣五十年來最大規



圖三 以 PMU 為基礎之電力系統監視、控制與保護架構示意圖



圖四 以 PMU 為基礎之輸電線保護架構圖

模的斷電，全台約 80% 的用戶斷電，導致工商業高達上百億元以上的損失。由於系統及故障狀態隨時在改變且不易掌控，因此所研發、設計之故障定位器須具備優越之強健性，即不能輕易受故障型態、位置、故障電阻、負載潮流、線路電容及電源組抗.....等因素之影響，否則將產生極大之誤差。

輸電線故障偵測與定位之台電實測結果

(1) 基本原理

本實驗室已發展出應用於單路換位型輸電線之故

障偵測及定位技術，吾人利用 Clarke 轉換來將線路解耦合，進而推出故障偵測及定位指標。

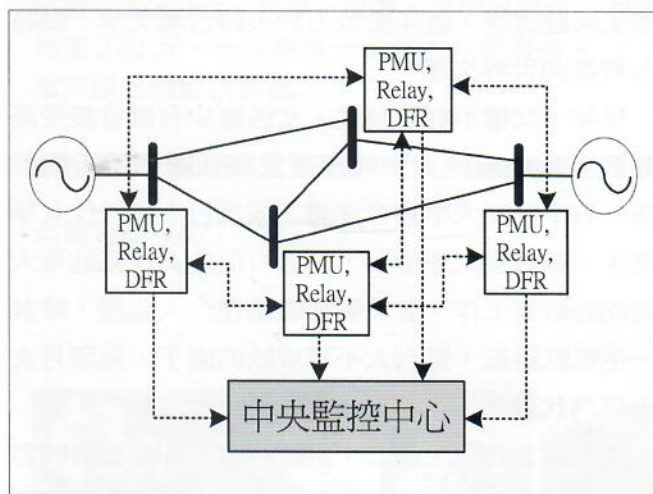
上述方式可輕易地應用於雙迴路輸電線之故障偵測及定位，因為雙迴線間具有零序互耦合成分，因此會影響零模故障偵測與定位之結果，吾人若只使用正序及負序成分，則可有優越之性能，所以上述之單路輸電線之故障偵測及定位技術，可應用於雙迴路中。

由於線路並沒有換位，因此未故障前，故障偵測指標將不等於零，而是有一直流偏移值，為克服此問題，於每次移動性視窗算出一偵測值時，須再減去一週前之計算值，如此未故障前，此修正偵測指標 $|\bar{M}_m|$ 值將等於零，當故障發生時，其以極大之斜率爬升，吾人只要設定一臨界值 Th ，即可偵測故障之發生。

(2) 台電實測資料驗證

台電於 2002 年 4 月 19 日，在核三與龍崎間之雙迴路輸電線發生一 'A' 相接地故障，此 345kV 輸電線之長度為 127.213km。

經由上述之故障偵測及定位演算法計算，故障定位結果為 9.2km，經由台電人員實際查線結果，故障發生於離龍崎端約 9km 處，本技術之定位誤差為 0.2%。經由此次實測資料之驗證，證明了所提技術之可行性與準確性。



圖五 整合型電力系統監視、控制與保護之架構圖

未來趨勢

圖五展示一全方位、整合型電力系統監視、控制與保護架構圖，各地之 PMU 可記錄各匯流排之相量，並傳至中央監控中心，做系統監視與控制，輸電線路兩端亦可透過 PMU 量測，經通訊做資料傳輸交換，完成故障定位與保護電驛之功能，其相關之觀念已於前兩節做過說明，藉由同步量測，各數位電驛可做設定值更新，完成適應性電驛之要求，或自行設計新型適應性電驛技術，數位故障記錄器 (Digital Fault Recorder, DFR) 可做故障資料記錄，而各斷路器之狀態，均可傳輸至中央監控中心，做相關事故分析與故障區間之判定。

總而言之，透過數位化設備、通訊傳輸、同步量測技術，電力系統之監視、控制與保護將完全緊密結合，於各小區域，各設備擔任其局部功能，於中央系統端，藉由資料之收集，達全系統監控之目的，同步量測技術對電力系統將帶來全新之操作方式，系統整合、變通性及維護方式將有極大之進步。本實驗室目前在此方面研究成果，已獲得國際學術界肯定。[美六]

參考資料

- [1] 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.
- [2] J.-A. Jiang, Y.-H. Lin, J.-Z. Yang, T.-M. Too, 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.
- [3] 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.
- [4] 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, October 2002.
- [5] C.-W. Liu, "Phasor Measurement Applications in Taiwan", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, October 2002. (Invited Speech)
- [6] C.-S. Chen, C.-W. Liu, and J.-A. Jiang, "Three-Terminal Transmission Line Protection Using Synchronized Voltage and Current Phasor Measurements", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, October 2002, pp. 1727-1732. (Student Paper Award)