

淺談超高壓輸電線路監測新科技

---同步相量量測組件(PMU)

台電調度處驛技課主管擴建 李國楨

壹、前言

輸配電線路故障定位技術概念，萌芽於1950年代末期，一直到晚近10年得助於電腦速算科技精進才蔚為風潮，許多電力研究機構大量投注人力於研究探索，並紛紛提出各種論證報告，這些文獻報告難免都事前做了某些假設及忽略一些不易求證之數據，因此，各家論證難脫各有利弊之嫌，相對地在應用場合上出現了缺失尷尬現象，難以自圓其說，例如：故障位置指示超越全線路長度，顯然不合理，常令使用者啼笑皆非甚至嗤之以鼻不予置信。不過即使如此，這些研究文獻仍然奠定後來研究人員改善之基礎，茲簡略說明如下：

一、單端演算法 (one-line algorithm)

僅考量輸電線路單端之電壓、電流數據供演算法之輸入參數，經模擬運算尋求故障位置，本法優點為毋須資料通訊傳輸交換，但假設性資料頗多，諸如故障電阻為零或電阻性、不計入輸電線路容抗值等，只適於短程輸電線路。

二、兩端演算法 (two-line algorithm)

同時擷取輸電線路兩端之電壓、電流數據，若取用資訊不同步時，需大量費時計算非線性方程式，但衡情而言其精確度顯然較單端演算法為佳，此乃減少做出某些假定情況。

三、行進波演算法 (traveling-wave

algorithm)

當輸電線路發生故障時，從故障點瞬間產生石光火花之電壓、電流故障行進波，以近似光速往輸電線兩端傳播，在同一時間起點下，線路兩端分別偵測到達時間，然後反推算出故障位置。自理論觀點而言，本法應是最快速的，但因行進波傳播速度跡近光速，相對地線路兩端之電壓、電流感測器之動態反應靈敏度必須極度精微且響應計時可靠度需相當高，肇致設備價格相當昂貴不言可喻，再考量輸電線路數目龐大則所耗不貲，令人只好裹足不前，望而興嘆。此外，如何研判行進波究竟是內部故障引起或干擾滋生，抑或外部故障引起的，都有待深入探討的課題。

近年來國內電力面臨88年729、921兩次大停電事故，對未來電力發展願景更增加巔波困頓，其中存在兩項問題頗值得深思：其一是經濟因素：輸電線路均受期盼運轉在接近最大載流容量，其次是運轉技術：如何增加電網穩定度和更佳的網路監測技術。全球電力公司無不絞盡腦汁力此之圖，同步相量量測組件PMU技術因此應世而誕生，PMU技術具備強大功能，目前可說是普獲國內、外電力事業界青睞中之佼佼者，但國內因起步較晚，相信不久的將來會急起直追，迎頭趕上這方面的技術理論和設備應用。

貳、同步相量量測組件應用原理

超高壓輸電線路同步相量量測組件(Phasor Measurement Unit; PMU)之應用原理係基於全球地理位置透過全球衛星同步定時、定位,使得時間同步難題迎刃化解。通常超高壓輸電線路長達數十至數百公里,架設於崇山峻嶺、人煙罕至之高山鐵塔上,肩負輸送巨量電力載流以平衡各區域發電量與供電量之差額,對電力系統而言猶如人體之大動脈血管,大量輸送血管中養分至全身各部位、一旦喪失功能只能力保小部分區域電力孤立平衡,或採取緊急限電配合緊急跳機措施,企求苟延殘喘局部區域電力存活,如延誤緊急應變搶救時機,極有可能一發不可收拾。

然而如偶發無預警電塔倒塌危急事故,群山峰巒層疊環抱、叢林密佈古木參天、高山氣候多變幻莫測、嵐霧雲煙籠罩瀟灑,超高壓電尤須保持適度安全距離等因素,試想空中鳥瞰觀測實質上收效不大,如動員大批人力登山搜尋亦大費周章且無法保證短期間內可查獲故障所在,這些方法均缺乏實質效率,無濟於事,因此研發 PMU 之構思觸動研發腦際,建立同步相量資訊模式立足於 GPS 定時系統之參考基準,提供即時性、快速性及全面性的輸電線路故障位置測定。

參、全球衛星定位系統(Global Position System; GPS)概述

美國國防部在 1973 年聯合其海軍 TRANSIT 和空軍 612B 兩組計畫成功地研發出 GPS 系統,利用 24 座人造衛星散佈在地球 6 個軌道上同時運轉,每座衛星高度約 20,000 公里,構築成一全天候、全方位、全球性衛星導航、定時、定位、量測

等多種用途;對電力系統而言,可提供監測、保護、分析及控制等新科技支援,尤其是同步定時技術已易如反掌,24 座衛星分布概況如圖 1 所示。

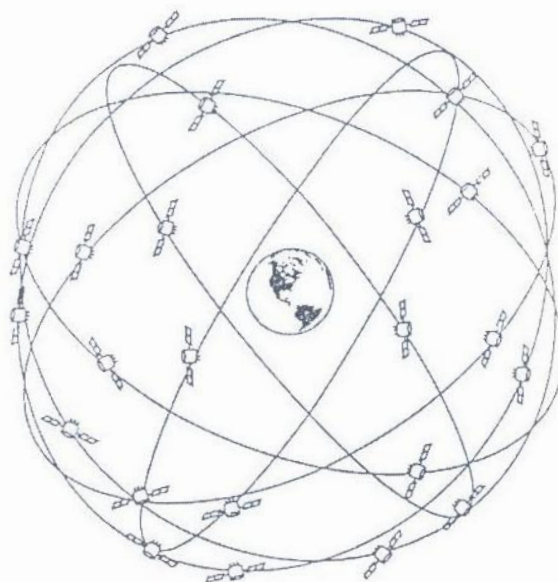


圖 1·24 顆衛星所構成之 GPS 系統

GPS 系統正式運轉於 1993 年 12 月,惟美方基於國家安全需要,歸劃為普級定位服務(Standard Positioning Service; SPS)和精準級定位服務(Precise Positioning Service; PPS),一般民間僅限用普級定位服務 SPS,其水平方位誤差大略 100 公尺,高度誤差約 136 公尺,時間誤差大概 340ns;至於精準級定位服務 PPS 則保留給美軍和特別授權機構使用。

肆、同步相量量測組件架構

前已介紹同步相量量測組件係藉由全球衛星定時系統技術支援,來完成整個量測體系時間同步化取量之設計,只要佈置 PMU 在所需廠(所),量取該處匯流排電壓、輸電線路載流相量,蒐集這些量測數據再即時地數位通訊傳輸至電力系統中央控制室,如此,電力系統中央控制室無須費心、費時地求解電力潮流和狀態評估,

卻可全盤的了解即時的、快速的、源源不斷的獲取整體電力系統之動態資訊，大大方便電力運轉人員研判電力系統是否處在安全運轉狀態之模式。

PMU 架構如圖 2 所示，電力系統之一次側電壓、電流經比壓器、比流器轉換為小信號電壓、電流後，再憑藉全球同步時脈產生器 (Global Synchronism Clock Generator; GSCG) 所發出同步取樣脈衝，依同步時序取樣、量化、編碼過程，將類比信號再轉換為數位信號且保持為數位型態，輸入微處理器演算處理，通常取一固定長度離散取樣點，再採用離散傅立葉轉換 (Discrete Fourier Transform) 來計算相量，然後

再加入時間標記後回輸至中央控制室或線路變電站顯示器。如取樣頻率愈高，所計算出相量愈精確，但耗時亦長；反之，取樣點少耗時短，但相對

的計算相量亦較差。值得一提的是：國內某著名學府研究團隊已成功製作全球同步時脈產生器有效解決傳統鎖相迴路 (Phase Lock Loop; PLL) 所面臨較長的穩定時間 (settling time)、高頻率跳動 (frequency jitter)、穩態誤差偏高等棘手難題。

另一方面將延伸型離散傅立葉轉換 (Extended Discrete Fourier Transform) 應用在穩態基頻相量計算，以解決事故時直流偏移 (DC offset) 及諧波等問題，設計出輸電線路適應型保護電驛架構，並應用電磁暫態程式 (Electromagnetic Transient Program; EMTP) 數千個故障模型驗證性能完美，對於各式各樣故障類型、故障前負載、等效電源組抗、故障電阻、故障位置指示均響應良好，不惟可靠度高達 98.36% 且安全性亦高達 99.9%，平均響應時間 6 毫秒之譜，故障定位精準度高達 99.9%。目前 PMU 運用同步時序取樣核心技術，通常以架設接收機來接

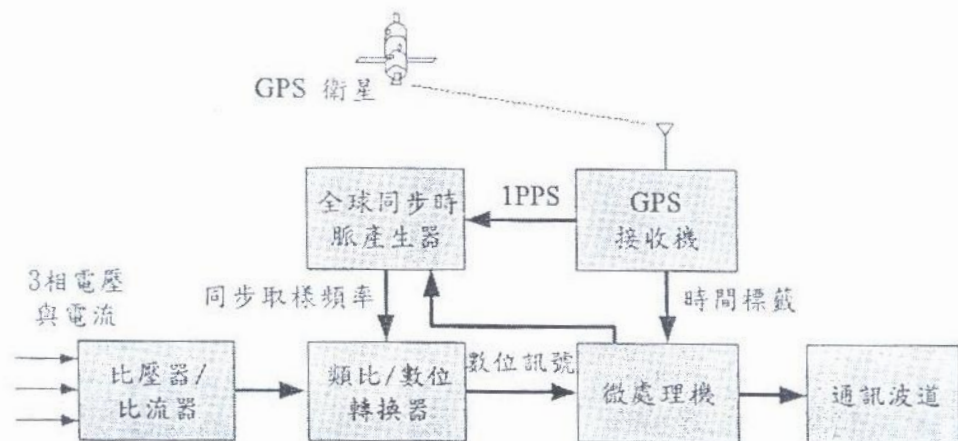


圖 2 · 同步相量量測單元架構圖

收 GPS 之 1PPS 脈衝 (1 Pulse Per Second) 及時間標籤 (time maker)，1PPS 脈衝可運用倍頻放大到所需同步取樣頻率，此種設計使成本經費更趨低廉，且時間精準度也大致符合所求，經實地試驗於台電公司常德一次配電變電所與中正一次配電變電所間之

161KV 輸電線路量測，最大同步時序誤差保留在 1 微秒內（按：1 秒 60 週波，1 週波有 360° ，故 1 秒有 $360^\circ \times 60 = 21600^\circ$ ），即每毫秒誤差不超過 21.6° 理應可接受。

伍、應用 PMU 技術支援電力系統同步監測將成為先進型電網保護趨勢

近代電源管理系統（Energy Management System；EMS）至為重要因素之一項為：電力系統即時性量測狀態評估，目前正風靡於全球各電力公司熱門研發中。此項電力系統狀態被定義為『從動態性電力網路蒐集同步取得所有匯流排之正相序（positive-sequence）電壓』，而同步相量量測正好提供一完整地新機會，再度擴展整體狀態評估過程。運用這項技術性狀態評估，電力公司可以進行即時性的偶發事故，做高階的網路靜態和動態分析。同步相量量測組件另一項用途為強化電力保護系統的效能，此涵蓋電力設備和電力系統兩者之保護，有如防衛應變體系（remedial action schemes）特殊用途。

例如：傳統的線路保護倚賴在線路兩端之測距電驛，來測定是否故障存在，對於危急的線路故障偵測而言，量測是同步性的透過一些技巧提供差動保護方式。目前差動保護方式被舉世公認為最可靠的保護，在未來 PMU 會被應用於差動式的保護體系，同時亦具備潛能預估有效減縮電力系統災難性事故的損害層面；例如：透過 PMU 技術

檢視某斷路器和切換開關的狀態，主要輸電幹線即時電力潮流，臨界點匯流排的電壓，主要機組的電力輸出等等，如果這些參數落入「危險的模型」運作時，均可被事前規劃之程式化因應策略靈活審慎調節控制。

相量量測技術應用於保護方面，已知在適應的（adaptive）失步電驛研究報告（刊載於 IEEE Trans. on Power Delivery, vol 12, no1, January 1997, 61-67），該文已說明電網網絡關鍵性因素，如應用即時性之相量角度（phasor angles）量測，同時配合暫態穩定分析概念，極有可能設計出改善失步電驛效能。

在前述這樣系統裡，相量量測數據取自不同區域蒐集比較，此設計關聯到量測組件事前預設值是否過度，跳脫指令是否被安置於指定變電所專用，部分重要輸電幹線是否重載時，遇危急狀況是否勢必引發整個電力系統崩潰等各種考量。

陸、結語

PMU 新創設科技產品不但解決了電力公司傳統上沉年舊疾，令人頭痛的問題，同時也提供電力系統工程整個範圍潛在利益，此包括：

1. 電力系統狀態的明確評估得自於資訊源源不斷頻仍更新，中央控制室能觀察到系統動態現象進而指令改善消除危機潛伏之運轉方式。
2. 系統受擾動後之分析是相當重要的，由於系統狀態明確的快速變動，

可透過 GPS 同步定時搭配相量量測資訊，事後查證擾動期間系統狀態起伏變化經過情形。

3. 高階的保護基礎立足於同步相量量測的理念，在科技日進千里很快就會實現，擁有這項技術，可以防範整個系統對災難性事故發生前、後都能很快掌控全局，作出妥慎因應規劃。
4. 高階的控制運用遠方回輸 (remote feedback) 已轉化為可能，未來將全面提升控制方面之優質。

目前輸電線路保護電驛皆採區段測距保護設計方式，只偏求各自快速清除內部故障隔離健全系統，故對於電力系統全面穩定度助益不大。假設將全系統輸電線路劃分近電源端為上游，負載端為下游，兩者之間為中游，整個輸電系統長達數百公里；如果中游輸電線鐵塔突發坍塌，該線路保護電驛雖快速動作隔離健全系統，符合預期要求，但上、下游電力輸送卻因此電力輸送中斷而陷入電力供需失衡，引發全部地區電力穩定度動搖，如擺盪呈收斂性則逐漸回復穩態，只是虛驚一場；如擺盪呈發散性則剎那全黑，如同墮入迷霧中茫然

若失，不知所措，經濟生產力停頓損失慘重。由此俱足證明電驛保護功能設計仍受制於先天上條件侷限，只能作最佳化應用考量，無法兼顧全面電力系統穩定度之要求。PMU 加上 GPS 可監測各輸電線路即時負載潮流，然後藉通信傳輸數據至中央控制室及發出跳脫指令之地方控制室資訊收集器和特設主體電腦，將系統平常穩態運轉條件程式輸入，針對超載部分可能引起非穩態因素，在關鍵性線路故障時，故障線路之保護電驛動作信號傳達，主體電腦依據事先設計程式作出預期反應，發出指令跳脫中、下游超載部分及利用高頻電驛跳脫不必要機組，使系統呈收斂性擺盪回復穩態，構築所謂的『特殊保護系統』 (special protection system)，由此觀之，PMU 功能運用將與日俱增，未來有朝一日必定成為電力事業機構營運不可或缺的重要技術指標。

參考文獻

PMUs---A new approach to power network monitoring System Protection Scheme ABB 2001.06.

