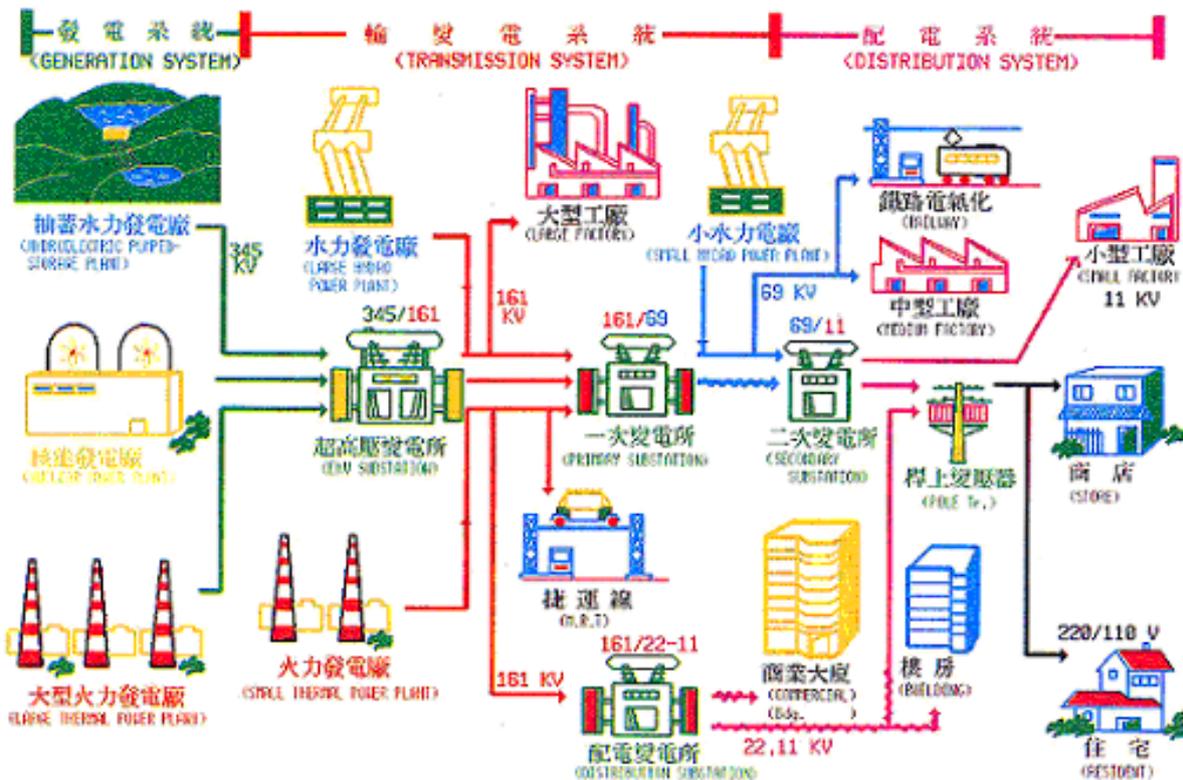


# 淺談特殊保護系統(Special Protection System ; SPS)

台電供電處 李國楨

## 壹、導論



圖一 國內電子系統流程圖（摘錄台電電力系統圖）

當前國內工商業發展趨勢醉心於市場全球化，資金及技術走向密集化，在重視永續經營前提下不斷擴大產業規模，相對地更以利潤壓縮手腕來擴充市場版圖，形成大者恆大更慘烈的血染紅海競爭。在強化投資環境態勢下，充裕電力是企業永續競爭發展最優先的必要條件，也保障產業規模未來擴充無後顧之憂。除企業外為潔淨大都會區空氣污染，降低車陣壅塞及噪音，全球都不遺餘力推動大眾捷運系統、

鐵路(高鐵)電氣化，甚者更推展居家遠距數位教學或看診，澈底改變往昔現場教學或現場處置方式，展現出距離長遠沒有空間障礙，發揮猶如臨場解決之實際效果。其他如研發更多樣化智慧型優質家電以提高居家生活舒適享受，這些生活方式無形中使電力需求年年水漲船高，加上國人對節能措施尚未養成持之以恆的習性，總是以不斷開發新電源來肆應電力負載激增之思考模式，造成 CO<sub>2</sub> 無法壓抑降下。

就理論上而言，電源設施毗鄰負載重心區域就近供電是最理想方案，既不會造成大量變電設備閒置，亦可減少線路長途輸電之熱耗損，且短程線路發生事故機率按比率原則也會大幅地降低。另外發電廠本身存在有空氣、水質、噪音或輻射性的環境污染或影響生態保育因素，導致被環保人士拒絕於千里之外，造成電源開發與系統負載重心形成兩極化的畸形發展。換句話說，實務上電源開發朝向偏僻濱海地帶發展，而負載重心則匯集在科學園區之聚落產業或櫛比鱗次之商業精華區域，兩者之間長年日積月累彼此快速自我擴展結果，造成發電與負載量偏差過度傾斜，必須倚賴超高壓輸電幹線長期肩負兩者之間電力供需橋樑。

如圖一所示：一旦遇到輸電幹線中途突發極端故障，諸如：受震塔架傾斜、土石流衝毀塔基滑落、飛機失事撞擊線路等無法立即復電情事，導致電力系統喪失傳輸大量電力功能，極有可能驟間引發致命性電網系統供需失衡，系統重心失步擺盪無法回穩造成崩潰，因此可以推論：上述供電方式先天上已背離電力系統區域供需平衡的可靠性與安全性，亦即電力調度與負載管理順適性偏低。當電驛人員碰上前述電源-負載非理想分佈難題，理論上一般區間保護電驛並無法監測全系統電力傳送瞬息變動，因此只有額外設置特殊保護系統(Special Protection System；SPS)，藉由關鍵點監測及蒐集發電與負載末端即時實功率，於上述緊急狀況下隨即跳脫部份機組與卸除部份負載，以紓解健全輸電線路過量負荷，維持安全輸送量即可自保殘餘部份電力系統回復穩定，事後再視實況演進逐步復電。

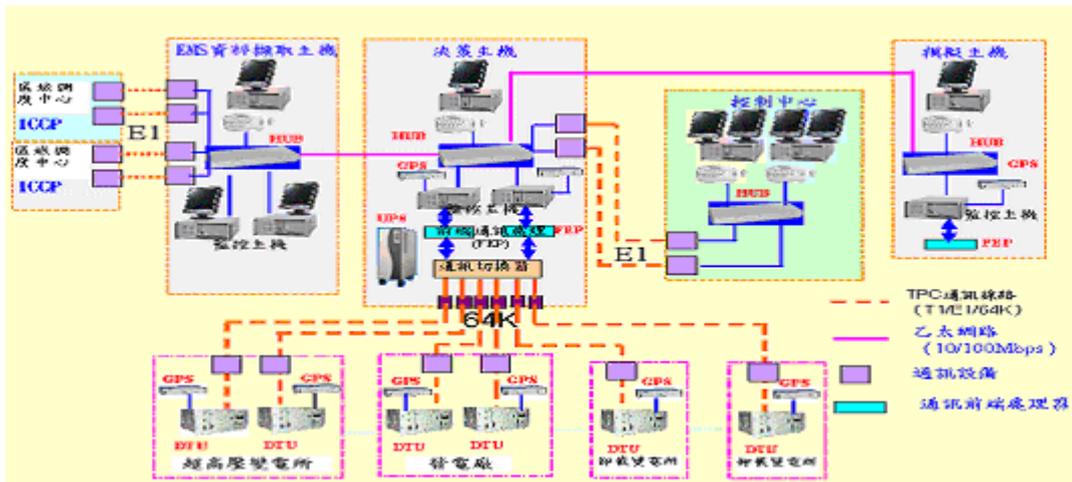
## 貳、SPS 系統基本架構及週邊系統之設計

SPS 系統基本設計係針對電力結構弱點而緊急防制無限上綱，主要著眼於所保護電力系統之發電與負載結構當下供需是否穩定，尤其是針對輸電線路承載能力在系統 N-1 或 N-2 線路事故時，是否仍有餘裕容量肩負重擔？如確認能安然渡過危機則毋需建置 SPS 系統；如無法確認保證則有必要考量部署 SPS 系統來進行緊急防護措施，因此 SPS 系統於平時係處於備戰狀態，一旦啟動則一方面緊急跳機，另一方面緊急卸載等重大應變，迅速紓解健全輸電幹線負載荷重量，化解系統狀態從劇烈震盪趨緩至安穩。

本文所引論之 SPS 系統如圖二所示，其基本架構包括：

1. 決策主機、
2. 控制中心、
3. 模擬系統、
4. 中央調度控制中心之電能管理系統 (Energy Management System；EMS) 資料擷取系統
5. 超高壓輸電幹線監控末端站
6. 發電廠機組監控末端站
7. 輸配電變電所卸載監控末端站。

上列架構除模擬系統與 EMS 資料擷取系統由區域網路(Local Area Network；LAN)連接至決策主機，也就是決策主機、EMS 資料擷取系統及模擬系統安裝於同一處所，其餘超高壓監控末端站、發電廠監控末端站、輸配電變電所監控末端站散佈各地。這些末端監控資訊設備分散於各地，故均須經通信傳輸設備連接到決策主機。另中央調度控制中心平時從電廠與變電所輸入即時運轉資訊，經轉供區域調度控制中心，然後輸出至 EMS 資料擷取系統之集線器(HUB)，增添獲取即時運轉資訊的另一管道，完善地建構所謂複式的(Redundant)運轉資訊管道。



圖二 SPS 系統架構圖

各架構的基本設施及功能說明如下：

1. 決策主機：

連接至控制中心、EMS 資料擷取系統、超高壓輸電幹線監控末端站、輸配電變電所卸載監控末端站、發電廠機組監控末端站、線上模擬系統等設備。平時除蒐集監錄 EMS 資料擷取系統所收集之電力系統資訊，概括超高壓輸電幹線監控站上游電力輸送中游段、中游電力輸送下游段之即時實功率量測值外，尚涵蓋各重要輸電幹線突發事故類別及故障相別。當極端事故發生後故障無法排除致輸電線路無法立即復電時，可能導致其他鄰近輸電線路餘裕容量無法負荷時，電力系統穩定度立即面臨險峻擺盪之考驗，如劇烈擺盪呈現發散性擴大情況惡化到超越 SPS 系統設計臨界條件，必須緊急進入查詢表(Lookup Table)同時執行指定對象之跳機及卸載行動。此時決策主機先進入執行警戒(Arm)狀態，即 SPS 系統依據前述複式的資訊管道蒐集資訊，

必要時進一步依據查詢表來啟動指定的跳機及卸載前置作業，選擇末端變電所依序排定的負載量和發電廠機組數，以一次作業方式從系統跳脫；但如當時故障線路之保護電驛或系統復電正常迅速回復穩態時，則 SPS 將自動進入取消警戒(Disarm)恢復原狀。平時如因故擬禁制啟用狀態，則可切換至閉鎖(Block)選項，以上警戒、取消警戒、閉鎖指示狀態均會傳送至現場監控末端站顯示器，以便事後查證。控制中心遠端遙控或決策主機操作工作站以人為方式有優先權限執行現場監控末端站卸載、電廠機組跳脫之閉鎖指令，本站接受此種安排設計。

2. 控制中心：

設置於中央調度控制中心室內，經由通信傳輸設備(如 Channel Service Unit；CSU 與 Data Service Unit；DSU)譬如 T1 或 E1 或 64K 傳輸線路與決策主機連線。本站可監視決策主機及各末端站運轉狀

況，以及查閱各事件發生順序(SOE)時間紀錄儲存與資料內容查詢，還有前述之優先閉鎖決策主機之功能。

### 3. EMS 資料擷取系統：

以內部電腦資訊交流協定(Internal Computer Communication Protocol；ICCP)方式，將中央調度控制中心蒐集之系統負載總功率、全系統發電廠主要機組運轉狀態(含發電或停機)即時資訊，以及超高壓輸電幹線之運轉狀態(受電或停電)等全部資訊傳輸至區域調度控制中心之監控系統資料庫。本站與決策主機裝置於同一場所，並以區域網路連通作業。

### 4. 輸電幹線監控末端站：

將蒐集輸電幹線之實功率、斷路器開啟/閉合狀態、線路事故類別及相別(例如：相間短路事故或單相接地事故)等資訊經由 T1(或 E1) CSU 設備或 64k DSU 通信傳輸設備傳送至決策主機。

### 5. 變電所卸載監控末端站：

將蒐集變電所之負載實功率經由 T1(或 E1) CSU 設備或 64k DSU 通信傳輸設備傳送至決策主機，並接受決策主機閉鎖指令，立即停止卸載功能；如接受決策主機警戒指令時，則啟動卸載預備作業，如又收到取消警戒指令時，則停止前述之啟動功能。如收到警戒指令之後而無閉鎖指令時，又再收到決策主機之卸載指令，則必須澈底執行卸載任務。

### 6. 發電廠機組跳脫監控末端站：

蒐集發電廠各機組輸出實功率

及其斷路器開啟/閉合狀態，同樣地經 T1(或 E1) CSU 設備或 64k DSU 通信傳輸設備傳送至決策主機，並接受決策主機之跳脫指令，執行跳機任務。如收到決策主機之閉鎖指令時，立即禁制跳機功能。如收到決策主機之警戒指令時，進入啟動跳機預備狀態；如再收到取消警戒指令時，則停止前述機組跳脫功能。當收到警戒指令之後而無閉鎖指令時，若再收到決策主機之機組跳脫指令後，則跳機之任務必須被全程執行完畢。

### 7. 線上模擬系統：

本系統與決策主機設置於同一處所，兩者間以區域網路連線，具有隨時凍結(freeze)及匯集決策主機所蒐集之實際電力訊息類比量與設備開關狀態，亦可另改採人為方式編輯數據輸入前述訊息類比量與設備開關狀態。上述兩者任何一種方式均可用來測試 SPS 系統功能，且可重新設定查詢表(Lookup Table)等系統資料，俟線上模擬系統於測試 SPS 緊急防衛保護系統功能確保無虞後，再作最後決定是否將設定數據移植到 SPS 保護系統正式運作。

### 8. 通訊傳輸設備

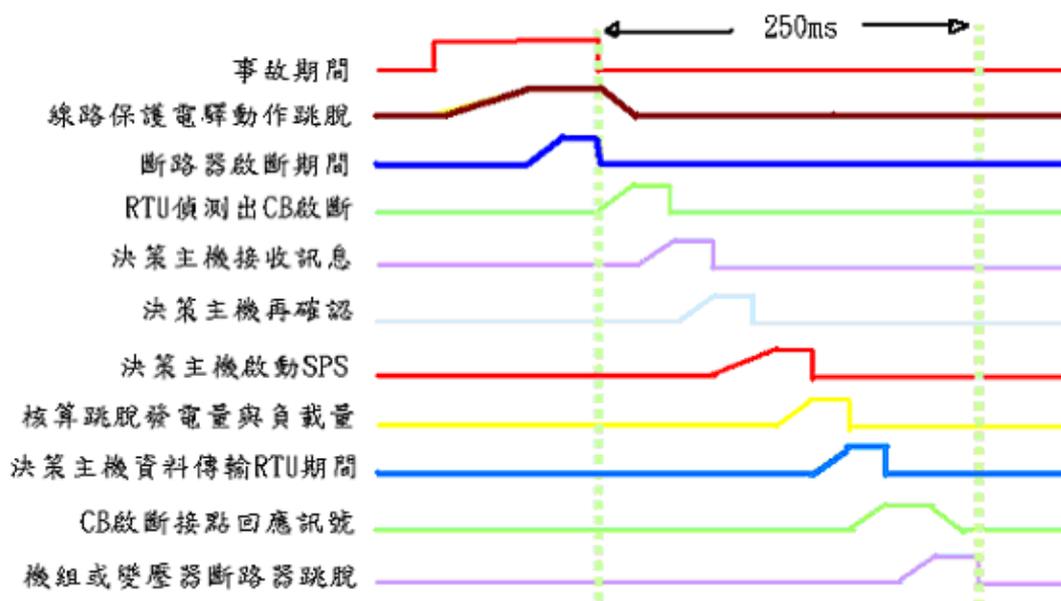
可配合既設 CSU 或 DSU 通訊傳輸設備連接至決策主機，設備面板最好配置 LED 通訊運作狀態顯示俾利於檢視，其顯示內容應概括同步訊號、資訊發送及接收狀態、設備運轉正常或異常狀態等與通訊傳輸相關之需求。

### 9. SPS 系統動作時效性

SPS 系統經分散式的監控數據

末端設備(DTU)並搭配全球衛星定位系統(GPS)與監控主機實施時間同步校準，各 DTU 將平常所監錄資訊匯入決策主機，如極端事故影響電力系統無法快速回復穩定狀態，即符合 Lookup Table 所訂定跳機/卸載臨界條件時，從事故清除後開始計時，相關過程包括重大事故跳脫訊息經 CSU 或 DSU 通信傳輸至決

策主機，再由決策主機進一步發出變電所卸載指令及發電廠跳機指令，最後完成卸載與跳機任務，全部執行時間限制於 15 週波(相當於 250ms)完成，這些須涵蓋通信傳輸時間延遲至多 1 週波 (約 16.67ms)、斷路器啟斷時間至多 3 週波 (相當於 50ms)，全部演進過程需耗時間如圖三所示。



圖三 SPS 系統運作時間序列過程

## 參、SPS 系統運作概況之簡介

在應用上決策中心相當於 SPS 系統整體運作之核心處理制高點，採複式 (Redundant) 主機運轉，即一方面蒐集自中央調度監控中心運轉資料庫傳送至區域調度監控中心，再經由區域調度監控中心轉供 EMS 資料擷取系統，此隸屬於調度運轉監控資訊之專用管道；另一方面逕自連接 SPS 系統所監控超高壓輸電幹線末端站、所監控卸載末端站、所監控機組跳脫

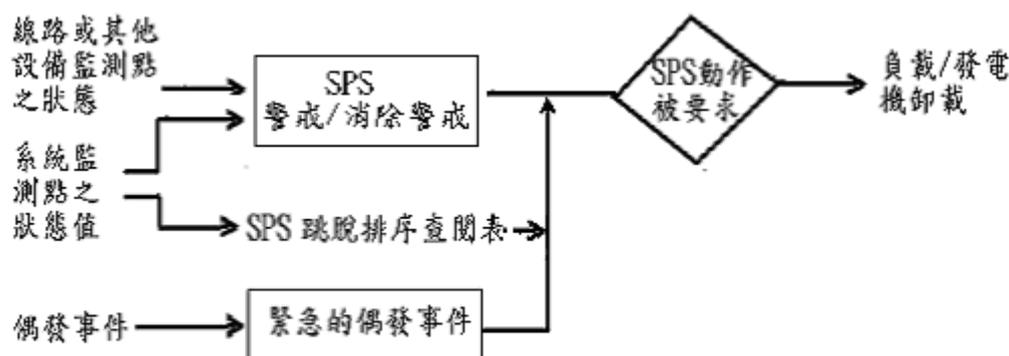
末端站等之電力系統資訊，監控範圍概括機組即時發電量、輸電幹線即時輸送量、配電變壓器即時負載量等各末端站之實功率。另外尚包括運轉設備之即時運轉狀態，譬如：重要幹線突發故障之類別判定、相關斷路器為開啟/關閉狀態…等不一而足，並刻意針對此類事故偶發後進一步分析電力系統穩定狀況為轉趨收斂抑或發散？由決策主機系統軟體進入分析研判後續發展狀況是否面臨劇烈震盪，強迫緊急跳脫部份機組及卸除部份負載以斷尾求

生方式，期望紓解鄰近健全輸電線路過載瓶頸。為加強決策主機系統反應快速進行，針對超高壓輸電幹線事故之研判，僅要求複式主機其中任一監控輸電幹線末端站之狀態確認，是否已進入 Lookup Table 之臨界要件？不特定必須收到兩套複式輸電線路監控末端站之狀態雙重確認。但機組跳脫及變電所卸載之正式啟用/閉鎖則可分別由控制中心或決策主機操作工作站來操控。如確定閉鎖時，決策主機必須將閉鎖指令同時傳送到現場監控末端站，以落實發電廠閉鎖跳機及變電所閉鎖卸載之決定性效能。

除此之外決策主機硬體尚包括操作工作站、監控主機、GPS 全球衛星定位系統、前端通信處理器(FEP)、還須裝置電源不斷電設備(Ubreaken Porew System；UPS)，以增加 SPS 系統運作電源保障更

加週延、對跳機/卸載作業及網路設備運作更為完備。

決策主機為資料處理中心，輸入資訊需先經通信切換器作前端通訊處理(FEP)，並配合全球衛星定位系統 GPS 校時核對分批引入訊息，其後端再進入監控主機。其中訊息後端部份如圖四所示：涵概蒐集相關高壓變電所及發電廠輸送之實功率、故障類別及其斷路器啟閉狀態等訊息。如受監測線路突發 N-1 或 N-2 事故跳脫時無法復電，隨即進入查詢表檢驗是否符合緊急跳機與卸載時機，如確認執行則依查詢表指定對象跳機與卸載，使全系統發電量與供電量瞬間均減量供應，卻可換來重大事故後，其他健全輸電幹線不超逾過度負荷，再次穩住系統電力供需平衡。



圖四 SPS 系統監測末端設備狀態訊息後端之反應流程

本緊急處理階段須在極短暫期間內完成，通常嚴格強制於 250ms(即 15 周波)內必須要完成全部過程，否則貽誤第一時間內有效緊急防衛保護先機，造成電力系統崩潰突顯徒勞無功。

監控主機經區域網路蒐集 EMS 資料擷取系統資訊、及連接經前端通信處理

CSU 或 DSU 通信傳輸各末端監控站之平時匯集資訊，包括各監控末端之發/變電監測站之線路狀態、發電機狀態及其輸出電量、負載狀態、電力潮流之方向自上(或中)游至中(或下)游電力輸送量，甚至蒐集輸電幹線之突發事故類別訊息同時選取相應的 Lookup Table 錦囊對策，適時

主動執行預定末端變電所卸載與末端發電廠跳機等輸出控制。

監控主機雖採複式設計，但通常僅由兩套監控主機之一負責控制輸出，僅當該負責控制輸出之監控主機故障時，另一套監控主機逕自補位執行控制輸出，保障 SPS 系統不出現中斷之空窗期。

為考量 SPS 系統因未來電力系統擴建發展而增設大量監控末端站，勢必相對地增加監控主機系統大量資訊處理時間，因此為降低監控主機系統負擔，特增設前端通信處理器與通信傳輸設備銜接先施行前置作業，使 CSU 或 DSU 通信傳輸設備之資訊源流經前端通信處理器篩選過濾再輸入監控主機系統。例如正常長期穩定狀態資訊沒有暫態成份可視為無異狀時，無需輸入監控主機系統；相反地電力系統瞬間出現大量暫態成份且永久故障一時無法復原時，則監控主機系統理應進入 Lookup Table 發出緊急警戒指令，亦需經前端通信處理器適度處理，再經由 CSU 或 DSU 通信傳輸設備傳送到末端監控變電所及末端監控發電廠。值得一提的是：如 SPS 系統架構圖二所示：超高壓變電所及發電廠均備有兩套 CSU 或 DSU 通信傳輸設備，係考慮超高壓線路輸送實功率與事故類別後斷路器跳脫後再復閉狀態變化，及發電機輸出實功率量測與其斷路器啟斷/閉合狀態，相關通信資訊傳輸繁複且緊迫，杜絕通信瞬間斷訊所造成之失誤。然而卸載配電變電所(含一次及二次輸配電系統)僅配置一套 CSU 或 DSU 通信傳輸設備，係假設該套通信傳輸設備故障斷訊時，無法接受遙跳指令執行卸載時，Lookup Table 會持續指令遙跳候補卸載，非達成目標值絕不罷休，故不會潛藏電力系統二度危機。一般而言，只要通信

傳輸設備故障不會造成立即性危機，則在經濟利益上與實用可靠兩者兼顧下，採用一套通信傳輸配備應可接受。但為了使維護人員能夠一目了然通信工作狀態是否正常，所以在通信傳輸設備面板上有必要設置 LED 指示燈號，以上所談通信傳輸設備包括前端通信處理器在內。

為正確記錄相關事件發生時間，整體 SPS 保護系統運作在時間軸上必須要求同步推進，因此決策主機須裝設 GPS 全球衛星定位系統，針對監控主機、操作工作站、前端通信處理器等一系列相關設備進行時間同步校驗，如基於重大且必要理由時，可採複式架構設計。還有增設電源不斷電供給設備，防範電源無預警中斷時失去運作能量，設計上交流輸出單相電壓 110V 其容量 6KVA(含)以上，如過載或停電、儲存電力過低或故障時均會出現警報。至於直流電源之備用蓄電池至少應維持 1 小時以上之作業時間，如考慮平時保養精省人力問題，則無妨選用密封型。

SPS 系統建置控制中心係提供中央調度中心人員實現制高點的掌控運作，其掌控範疇概括 1. 決策主機、2. EMS 資料擷取系統、3. 超高壓輸電幹線監控末端站、4. 卸載變電所監控末端站、5. 發電廠機組跳脫監控末端站等設備運轉概況。當 SPS 系統監測到電力系統突發極端狀況，緊急進入警戒狀態時，控制中心之操作工作站跟隨發出警報與明顯訊息，告知調度人員提高警覺注意應變，此時 SPS 系統所蒐集資訊是否符合 Lookup Table 臨界條件，決策主機將主動依照擬訂程序，進一步同時執行末端變電所卸載及末端發電廠跳機，至於卸載與跳機功能效果是否發揮，仍取決於中央調度中心人員事前發出閉鎖或啟用指令而定。

EMS 資料擷取系統設置兩套監控主機，可規劃為主/從關係分別各扮演“線上”與“備援”兩種角色，如擔任“線上監控主機角色時，從事實際負責資料處理及運算；如擔任“備援”監控主機角色時，平時僅負責監測，迨至監測出“線上監控主機異常時，則逕行取代原“線上監控主機功能，持續執行實際資料處理及運算。

現場監控末端變電站及發電站，其中監控超高壓末端變電站及監控發電廠末端發電站採複式 GPS、DTU 及通信傳輸設備同時運行，其餘監控卸載末端變電站則僅採一套 GPS、DTU 及通信傳輸設備單機運轉。這些設備概括中央處理單元、開關狀態邏輯偵測功能、類比量測值轉換為數位處理(DSP)，再經通信設備傳輸，加上 GPS 同步校時正確記錄相關事件動作時間，及配合變電所及發電廠 DC 電源(如 125V 或其他電壓值)裝置電源轉換器以符實際設備之需求。平常各監控末端站將量測信號同時傳送到決策主機，再由決策主機輸出控制指令，經由其中任何一套設備系統完成接收過程，如此 SPS 系統設計之整體運作功能就被發揮出來。如任何一套設備系統運轉故障，系統自動發訊傳回控制中心 LED 工作狀態指示板，讓運轉人員立即獲悉異況得以儘速通知維護人員進場修復，爭取在第一時間內維修。

為修正 SPS 系統之運轉參數及測試驗證其保護功能之目的，特另設置一套模擬系統，可隨時凍結及蒐集電力實功率、斷路器開啟/閉合狀態，亦可進行事故模擬演練如製造 Lookup Table 對應模式，檢驗所產生之結果是否與 Table 一致。也可以人為方式輸入或修改電力量測值及開關狀態，進行使用者想要的事故模擬。除

此之外，離線(off line)模仿測試，也提供運轉人員操作訓練及教育解說各種事故暫態模擬。

決策模擬主機軟、硬體功能與決策主機相同，只是單一架構設計，必要時可擔當決策主機之備援。離線分析工作站提供類似與控制中心操作工作站相同之系統圖及各項操作功能和視窗作業系統。模擬功能有多種模式可選項，如(1)以每一固定時間為單位，將 SPS 系統所蒐集的數據(含開關狀態)凍結(Freeze)存入資料庫，提供日後查詢與檢測。(2)由使用者直接指令 SPS 系統所蒐集的數據(含開關狀態)凍結存入資料庫，提供日後查詢與檢測。(3)將蒐集的數據(含開關狀態)，重新載入系統供進行研試解析。(4)可研究自線上儲存歷史個案數據，作模擬分析比對測試。(5)假設輸入極端事故的數據(含開關狀態)，檢驗決策主機所產生的 Lookup Table 及控制輸出是否正確。

## 肆、結語

理論上特殊保護系統的設計有多樣類型，其設計重點不外乎：跳脫部份機組發電實功率與卸除部份負載實功率約略趨近，如再考量無效功率問題將使問題轉趨繁複，然而無效功率卻是決定電壓幅值要素，所幸系統平時建置大量靜態電容器，如遇迫切需求時應可彌補善後。上述發電/卸載兩者減量應符合紓解健全輸電幹線安全承載能力，助益系統儘速恢復穩定狀態。

實質上 SPS 保護系統只是被迫臨危受命去爭取「完成部份發電量與系統負載量達到大致供電平衡狀態的可行性」之存活機率，因此 SPS 系統並非是治癒重大急症的有效萬靈丹。通常在應用經驗法則

上並不能明確保證成功機率的多寡，僅是緊急應變措施所採用治標之一種方法，治本之道仍在於 1.分散開發電源講求合理配置區域性負載 2.增加輸電幹線數量保留餘裕輸電容量，足以承受 N-1、N-2 線路事故無法立即復電時，健全線路仍可安穩輸送電力需求量。SPS 系統之應用軟體並非一成不變，必須兼顧配合每年電力系統結構之變動概況，諸如：新年度負載分佈變動率、新年度發電配置佔比及發電成本考量、新年度輸電線路變更或擴建及如何調整 SPS 系統跳機/卸載優先順序查詢表內容，俾利發揮更適度彈性效能等問題。儘管 SPS 系統運用相關要素如此繁複且造價昂貴，但仍為國外電力事業集團所樂於採用的緊急防護重要措施之一，其主因為目前尚未有更絕佳的科技工程，足以取代 SPS 系統更高度的實用性，以及擁有 SPS 系統之後，平常心已注入一股「有備無患」之安全感與堅信科技理論評估之可行

性策略，因此對 SPS 系統深刻了解不失為現代電力保護工程之必備知識。

本文所談 SPS 系統係簡易單純之模型，電力潮流可等效視為相當於單一電源端單向流入負載端，選擇言理淺說讓人有一清晰脈絡可尋。但國外有些電力系統之電源自四面八方匯入負載集結端，此時 SPS 系統運作後除考量前述部份跳機與部份卸載功能外，儘可能切割原電力系統為若干個孤島來自行維持獨立運轉；換句話說，每個孤島之發電量與負載量至少維持可運轉狀態，雖非理想模式但儘求減少停電範圍，由此觀來 SPS 系統保護並無通用之典型，只能順應系統特質而制宜，盼讀者明察思辨，方不失本文之旨意。

## 五、參考資料

「超高壓變電所裝置特殊保護系統」採購規範 台灣電力公司 93/05/17 版