

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
電力系統穩定度與控制-總計畫()：電力系統穩定度與控制
Power System Stability and Control
計畫編號：NSC 89-2218-E-002-043

執行期限：89年8月至90年7月

主持人：劉志文 國立台灣大學電機工程學系

一.中英文摘要：本計畫擬整合國內目前從事電力系統穩定度與控制研究之五所大專院校之研究工作者所提之六件子計畫。其總體目標在於研究電力系統穩定與控制方面之最新技術。而總計畫功能在行政、採購、資源協調上支應各子計畫。其子計畫一研究電壓穩定度之監控及防止措施，子計畫二船舶電力系統動態穩定度，子計畫三研究汽電共生廠電力系統暫態穩定度分析與卸載策略，子計畫之四研究彈性交流電系統之暫態穩定度控制，子計畫之五研究超高壓輸電線之適應保護，子計畫六研究電力防衛系統之防止大規模停電事件。

Abstract: Six subprojects related to power system stability and control are integrated together in this project. The main target of this project is to study the most advanced technology for power system stability and control. The function of this project is to support each subproject in administration, purchase, coordination of research resource, etc. In subproject 1 voltage stability monitoring and control is studied. Dynamic stability of ship power system is analyzed in subproject 2. Subproject 3 investigates the cogen system transient stability and load shedding scheme Subproject 4 is devoted to power system transient stability control via FACTS. The purpose of subproject 5 is to design an adaptive relay for EHV transmission lines. Subproject 6 is devoted to power defense system.

關鍵詞：電力系統穩定度與控制、負載模型、分析方法、卸載策略、控制器設計。

二、緣由與目的：

電力能源已佔台灣能源消費結構約 45%，且從台灣經濟成長率與用電成長率約成正比之關係，可知電力工業實為台灣邁向科技島之重要基礎建設。電力之特性為安全、方便與乾淨，但無法大量儲存，電力之使用必須經由輸配電網路將發電廠產生的電力分送給各用戶。由此發電廠、輸配電網路與用戶構成一龐大且複雜之電力系統。為達到穩定電力供應一直是各國政府、電力公司、研究機構以及製造商最關切之課題。尤其是台灣電力系統為一獨立之電力系統，與其他電力系統並不互聯，因此對電力系統之穩定性要求，遠高於互聯電力系統。

去年（民國八十八年）七月二十九日與九月二十一日，台電系統經歷兩次五十年來最大規模停電事件（729事件及 921 事件），雖然停電原因不同，但均造成數百萬用戶長期停電與限電，經濟損失保守估計在百億元以上，對國家及社會之衝擊力更是難以衡量。因此，在上述時空背景下，有效整合國內各大專院校從事電力系統穩定度及控制之人力及資源，提出本整合型計劃。

目前台灣之電力系統可以大略分為三區-北區、中區及南區。台電公司八十八年負載與發電量各區配比如下：

北區	發電	6709MW(24.9%)
	負載	11020MW(45.69%)
中區	發電	10000MW(37.1%)
	負載	6494MW(26.09%)
南區	發電	10241MW(38%)
	負載	6805MW(28.21%)

根據上述資料，不難發現北區嚴重缺電，中區及南區卻電力過剩，此種區域電力供應不平衡現象將導致大量有效電力及無效電力必須從中南部經由現有之兩迴路四回線之345kV輸電線送到北區。此種經由輸電能力有限之線路長距離輸送大量有效及無效電力之情形，極容易造成各種系統穩定度問題。例如，暫態穩定度、動態穩定度(小信號穩定度)及電壓穩定度等問題。實際上，在729事件中當龍崎326號超高壓鐵塔倒塌時，正有大量電力(340萬千瓦)南電北送，導致一路發生事故，另一路因超載而跳線，進而造成中北部電力系統與南部之電力系統解聯，而形成兩個電力島之情形，造成全台846萬用戶停電事故。另外在民國八十四年夏季，因為龍潭超高壓變電所遭遇雷擊所造成之北區大停電事故。此二事件均為電力系統遭受一重大干擾後，導致系統暫態不穩定。

又如台電系統在民國七十三年、七十九年、八十年及八十一年均曾因345kV輸電線融通電力過大，產生低頻振盪現象，此為系統因阻尼不足所引發之動態不穩定。

此外，台電系統雖至目前未遭遇電壓不穩定情形，但峨嵋等北部變電所之電壓有過低現象，使得台電系統一直有電壓不穩定(電壓崩潰)之隱憂。綜合上述，我們可推論電力系統穩定度與控制研究實為台灣電力系統最重要且迫切之研究課題。

為了預防及改善前述之暫態，動態及電壓不穩定現象所造成之全台大規模停電事件，台電公司、各大學及研究機構都有相當人力、物力投入電力系統穩定度分析、監測、保護及控制等技術研發。

「電力系統穩定度」之整合型計畫，自民國八十三年起由主持人許源浴教授卓越領導下，奠定國內電力系統穩定度研究良好基礎及風範，並有相當輝煌的成果。本整合型計畫基於電力系統穩定度與控制之若干重要課題深入的分析與研究，因此邀集國內對電力系統穩定度與控制學者，針對前期計畫中若干尚待研究之課題，如考慮暫態穩定度分析及緊急卸載策略，電壓崩潰之監測與防範，動態穩定度分析，彈性交流輸電控制，輸電線適應保護及電力防衛系統等進行整合研究。經由研究人員及計畫研究之整合，可達到電腦軟、硬體資源共享之目標，避免資源浪費。並且透過子計畫課題互補性，獲得最完整之電力系統穩定度與控制之研究成果。

計畫項目	主持人	服務單位系所	職稱	計畫名稱
總計畫	劉志文	國立臺灣大學電機工程學系	副教授	電力系統穩定度與控制
	劉志放	台電公司電力綜合研究所	副所長	
子計畫一	李清吟	國立臺北科技大學電機工程學系	教授	電壓崩潰之預警與防止措施
子計畫二	黃培華	國立海洋大學電機工程學系	副教授	船舶電力系統動態穩定度
子計畫三	陳鴻誠	勤益技術學院電機工程系	副教授	汽電共生廠電力系統暫態穩定度分析與即時卸載策略研究
子計畫四	王孟輝	勤益技術學院電機工程系	副教授	彈性交流輸電系統中開控相移器之研究
子計畫五	江昭皓	國立台灣大學生物產業電機學系	助理教授	以同步相量量測單元為基礎之輸電線適應型保護電驛之研製
子計畫六	劉志文	國立臺灣大學電機工程學系	副教授	防止電力系統崩潰之防衛系統研究

三.研究方法

本整合型計劃包括總計劃及七個子計劃，各子計劃之研究方法及詳細內容，請參見各子計劃之子計劃書。各子計劃之摘要請參閱附件。

在總計劃部份，主要目的是在行政，採購，資源協調上級台電系統資料蒐集，模擬支援各子計劃。目前在總計劃中擬採購 Windows 版之 PSS/E 電力系統模擬程式，經由電腦網路，可同時供應 4 位使用者，以進行各項穩定度之相關研究。

Windows 版之 PSS/E 軟體程式，包括多項功能，如 power flow、unbalanced fault analysis、dynamic simulation(transient stability、linear system analysis(small-signal stability)、optimal power flow(voltage stability)..等等。總計劃執行單位(台大電機研究所)感謝國科會過去大力支持，在第一年採購了 Windows PSS/E 軟體程式（含 power flow，unbalanced fault analysis，transient stability 等模組），在第二年計劃內擬採購另二套模組 linear system analysis 及 optimal power flow 以方便子計劃之研究人員使用。

四. 各子計劃成果摘要

子計劃一：本研究以物件導向程式設計為基礎，發展一套視窗化電壓崩潰監控軟體，具有彈性化、模組化、程式碼重用性等優點，並且因應電力系統結構特性，以稀疏矩陣規劃技巧，增進軟體執行效率、降低記憶體使用空間，為大型電力系統分析所應具備的條件。本研究將系統運轉點與臨界負載點直接顯示於視窗畫面，根據 P-V 曲線與奇異值分析法相互驗

證，確認電壓穩定度指標、脆弱匯流排指標、有效電力餘裕度。另外根據 Q-V 曲線計算無效電力餘裕度，以建立一套完整的預警機制與防止措施，使電力調度者能透過電腦螢幕予以即時監控。

子計劃二：船舶電力系統為船舶的重要組成部分，具有獨立運轉的特性，與台電系統唯一獨立之電力系統相似，對穩定度要求遠高於並聯電力系統。本計劃將考慮船舶電力系統設備、網路、負載及運轉特性，建立船舶電力系統的動態數學模型，探討船舶電力系統的動態特性，並進一步針對船舶電力系統的動態特性，研擬穩定度改善策略，設計控制器，以提昇整體系統在各種運轉情況下的穩定度。

子計劃三：本研究計劃針對汽電共生系統來研究設計一套以暫態能量為基礎之適應控制卸載策略。針對系統各種負載情況及可能發生之故障事例，探討暫態過程中，促使機組產生不穩定狀況時之暫態能量轉換關係，用以直評估暫態穩定度。此外，為了可在受擾動機組之暫態緊急狀態中執行快速暫態控制，防止機組失去同步穩定，以能量為基礎之靈敏度法，提供了維持電力系統暫態穩定度時必須調整之負載量的估測，及暫態穩定度限制下，最大負載供給容量的計算。當系統發生故障時，隨時根據當時之故障情況立即決定其適應之卸載策略，使系統能維持穩定的運轉，以改善一般傳統卸載方式所產生之卸載過量、不足或動作時間太慢之缺失。

子計劃四：本研究主要在設計電力系統開控相移器之控制系統，由於開控相移器分析模型為高維非線性動態系統，且實際電力系統具參數不確定之特性。因此，本研究設計了一個自我組織之神經網路發展開控相移器控制系統，由於神經網路控制器具自我學習和強健之特性，模擬結果證實符合實際電力系統需求，並獲致令人滿意的控制效果。

輸電線保護電驛之性能良窳是控制電力系統穩定度及電力品質的主要關鍵。

子計劃五：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。而電驛故障判定及響應速度愈快，則故障對系統的衝擊愈小，對於故障清除後之系統穩定度控制亦較容易。因此，為了提昇電力系統控制穩定度及加強對故障之防衛能力，亟需研發高性能的輸電線保護電驛。

本計畫所提出之適應性保護電驛技術，乃是一種以雙端量測同步相量參數為基礎的輸電線故障偵測數位電驛。此電驛所發展的演算法能夠非常正確地辨別故障位置於保護區之內部或外部。此演算法乃是將量測所得之同步電壓與電流相量經 Clarke 轉換，進而推導出故障偵測指標。為了克服參數不確定性、消除直流偏移與濾除雜訊等問題，本計畫中亦將提出線路參數評估和應用文獻[1] 中所提新的離散傅立葉轉換（命名為 SDFT）兩個演算法，並將其內建加入所設計之保護電驛中。此二演算法主要是擔任消除系統雜訊與量測誤差之功能，以便能夠非常正確地擷取用於計算故障鑑別指標所需之基頻成份。本計畫將會利用 EMT-P 之 ATP 版本所產生的資料，來驗證了此二演算法的效能。其中更特地於 EMT-P 所產生之資料中引入高斯分佈型雜訊，來模擬實際量測情形下之誤差。線路參數評估及 SDFT 兩演算法均必須具備循環計算功能，以便能符合線上量測正確線路參數及系統同步相量參數的要求，進而使所設計的數位式保護電驛能具備「適應性」功能。

本計畫所欲研發的數位式保護電驛亦含有故障

定位功能。故障定位器的主要任務是其必須能夠不受各種線路變動因素的影響而能精確地找出故障點。本計劃將會利用EMTP之ATTP版本來模擬台電系統之345kV輸電線，以便驗證故障型態、電源阻抗、故障阻抗、系統頻率漂移與線路負載變動等因素對本計畫所提故障定位技術之影響，進而評估所設計之故障定位器的精確度。

基於通盤考量可靠性、安全性與響應效能，在計畫中將會利用統計與最佳化觀念精巧地選擇故障偵測指標的臨界值設定。保護電驛技術其安全性與可靠度是衡量本計畫成功與否所要分別加以驗證的兩項重要指標。因此，在計畫中會針對各種故障型態、故障位置、故障電阻、故障投入角與電源阻抗來評估本保護電驛技術之性能。此外，本計畫亦會針對上述項目就所提出之適應型保護電驛技術的時間響應，加以數值模擬驗證。

子計劃六：本研究提出一基於相量量測單元(PMUs)之電力防衛系統來防止電力系統因一連串的保護電驛跳脫事故而造成電力系統崩潰。

在一個中央電腦控制中心，我們使用 PMUs 監控電力系統中主要的發電機組以及超高壓輸電線，並且提供預測電力系統不穩定及保護策略之演算法來避免保護電驛的連續跳脫事故而造成的電力系統不穩定。當故障發生時，我們將所有一同搖擺發電機構成同一群，進而簡化成單機無限匯流排系統。其中改善系統之行為包含負載卸載以及發電機跳機，這個策略是以保護電驛設定限定等面積法則(Relay Setting Limited Equal Area Criteria)來決定其控制行為。

本防衛是以台電系統來做為測試對象，模擬狀況為台電系統在主要的超高壓輸電線有嚴重的事故，並且引起一連串的電驛跳脫時，而導致類似1999年七月二十九日台灣北部及中部大停電情形。

五. 計畫成果自評

本研究自評如下：

1. 本研究之執行成果符合計畫目標。
2. 本研究之部分成果已發表於IEEE PES會議及國際期刊。

六. 參考文獻

- [1] Jun-Zhe Yang; Chih-Wen Liu, "A precise calculation of power system frequency and phasor", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 15 Issue: 2, April 2000 Page(s):494 -499