

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-總計畫 (III)
Power System Stability (III)

計畫編號：NSC 89-2213-E-002-091

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

主持人：許源浴 國立台灣大學電機學院電機研究所 教授

計畫參與人員：陳立明 劉廣榮 國立台灣大學電機工程學研究所

中文摘要

本計畫整合國內目前從事電力系統穩定度研究之四所大專院校之研究工作者所提之四項子計畫。其主要目的是針對穩定度研究之總體目標，依據各子計畫主持人之研究專長及興趣，在電力系統穩定度研究之三大課題（暫態穩定度、小信號動態穩定度及電壓穩定度）中分別規畫數個研究子計畫。其中子計畫一應用以晶格映射觀念為基礎自動調整 Fuzzy 控制器的方法於電力系統暫態穩定度之改善。子計畫二和子計畫三屬於動態穩定度改善策略之研究，其中子計畫二設計強健控制器，以改善動態穩定度，子計畫三利用串聯補償技術研究穩定度之改善策略。子計畫四則探討電力傳輸限制下之電壓穩定度研究與改善。

由於前述三個研究課題，對台灣之電力系統而言，均極為重要。因為無論是暫態不穩定現象、低頻振盪現象(小信號不穩定)或是電壓崩潰現象，都會造成大規模的停電事故，嚴重危害供電安全。因此對於此三項穩定度之研究課題，必須深入探討造成系統不穩定之原因，並研究穩定度之改善策略，以避免大規模停電。而各子計畫之間也有密切關聯。因此本整合型計畫之主要目的在於把原先分散各校之研究經驗、研究心得及研究資料加以整合，透過電腦網路，使這些心得經驗及資料，能

很便利的互相交流。同時透過電腦軟、硬體之共用，也可使得有限的電腦資源，得到最充份的利用。同時經由對電力系統穩定度分析之整體架構之分工、協調，可由模型建立、分析方法到改善策略，予以完整的研究，避免研究課題重覆，而獲致最完整的研究成果。

Abstract

Four sub-projects related to power system stability are combined together in this project. The main purpose is to form a research team comprising four people at four different institutions who work on power system stability. Three main topics of power system stability, i.e. transient stability analysis, small signal dynamic stability and voltage stability, will be considered in the four sub-projects. Subproject 1 presents a method of automatically fine-tuning the output function parameters of fuzzy logic controller based on the cell mapping concept for the transient stability enhancement of power systems. Two different approaches are proposed in subprojects 2 and 3 to enhance power system stability. In subproject 2, a robust controller is designed to improve dynamic stability. A thyristor controlled series capacitor is used in subproject 3 to improve

system stability in Taiwan power system. Subproject 4 uses PSS/E analysis package to generate P-V curves for the voltage stability analysis. Using these P-V curves, it is easy to determine the real power transmission limit from the central area to the northern area in Taiwan power system. It can ALSO provide helpful information for operators and planners in the utilities.

Since the four subprojects are related to one another very closely, it is beneficial to combine these subprojects together to form a strong research team. With the aid of inter-campus computer communication network, the research workers at different locations are able to share the software, hardware, and power system data which are essential for stability studies. They can also share their experience and knowledge with other people in the team.

一、計畫緣由及目的

民國八十八年七月二十九日台灣電力系統發生了五十年來規模最大的停電及系統解聯事件，早在八年之前，台電公司系統規劃處與調度處已察覺連接中部及北部既有之第一、二路超高壓輸電線將會有過載之可能，而開始著手規劃第三輸電線路。若按照預定計畫第三回路輸電線應於四年前完工，同時也避免此次全台大停電的發生。而由於第三回路輸電線工程的延遲，台灣電力系統的供電能力在夏天的尖峰用電時段將更為吃緊，第一超高壓輸電回路將有可能接近甚至超過它的熱極限。除此之外，大量有效電力及無效電力必須從中南部經由現有之一、二路輸電線送到北部。此種經由輸電能力有限之線路長距離輸送大量有效電力及無效電力

之情形，極容易由於無效電力不足而造成電壓太低甚至電壓崩潰之情形。以台電長期系統而言，峨眉等北部變電所之電壓有過低之現象。因此有關電壓穩定度之研究，無論是在國外之電力公司或是國內台電公司，均受到高度重視。

台灣為一海島國家，其電力系統為一獨立之電力系統，與其它電力系統並不互聯，因此對電力系統之可靠性與安全性之要求，遠高於互聯電力系統。目前台灣之超高壓輸電系統，為一成南北走向之長條形架構，就電力系統穩定度而言，此種長條形之電力系統，屬於一種極端脆弱之架構，因為北部不足之電力，完全仰賴中部與北部間兩回路四回線之 345kV 輸電線將中、南部多餘之電力送至北部來供應。在此種情況下，只要任一回線發生事故，其餘三回線極容易因超載而跳線，進而造成北部電力系統與中、南部之電力系統解聯，而形成兩個電力島(island)之情形，此時將造成北部數百萬用戶之大停電事故。故就台電系統之調度運轉而言，如何在各種負載狀況下，均能確保電力系統之穩定運轉，一直是台電公司所最關切的課題。

長條形電力系統的另一個致命傷是容易產生低頻振盪現象，對電力系統之小信號穩定度造成極大之衝擊。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出現低頻振盪，嚴重危害系統安全。低頻振盪現象對台電系統之運轉安全性，為一潛在之危險因子，必須持續密切觀察，量測各個振盪模式之阻尼。

電力系統穩定度之研究，可分成三大研究課題：暫態穩定度、小信號穩定度及電壓穩定度。而這三個研究課題，對台灣之電力系統而言，均極為重要。因為無論是暫態不穩定現象、低頻振盪現象(小信號

不穩定)或是電壓崩潰現象,都會造成大規模的停電事故,嚴重危害供電安全。因此對於此三項穩定度之研究課題,必須深入探討造成系統不穩定之原因,並研究穩定度之改善策略,以避免大規模停電事故之發生,進而提昇整體供電可靠度。

在學術界方面,目前各大專院校從事電力系統穩定度研究之學者甚多,包括海洋大學、台灣大學、台灣科技大學、大同工學院、清華大學、逢甲大學、成功大學、中山大學、中原大學、台北科技大學等等。有鑑於從事這方面研究之學者人數甚多,而且研究題目均具有極高之關聯性,為了避免研究內容重疊,並且基於提高研究成果相互支援與資源共用的觀點,特別將台灣大學、成功大學、台北科技大學、勤益技術學院等四所大專院校之四項子計畫予以整合,建立跨校性之大型合作研究計畫。

就研究經驗之交流而言,電力系統穩定度之研究,可大致分為三大方向:數學模型之建立、穩定度分析方法及穩定度改善策略及控制器設計。此三大類之研究彼此之間存在有密切之關係。數學模型為穩定度分析及改善策略與控制器設計之基礎。穩定度分析結果如果發現電力系統之穩定度不佳,則必須設計輔助之控制器以改善穩定度。輔助控制器設計完成之後,必須重新進行穩定度分析,以確認輔助控制器對穩定度之改善效果。因此,對電力系統穩定度之研究而言,這三大領域之研究,可說息息相關。

第三年期之電力系統穩定度總計畫著重於穩定度分析方法與穩定度改善策略及控制器設計,包括暫態穩定度分析、動態(小信號)穩定度分析、電壓穩定度分析、發電機之控制(激磁機、汽輪機等)、

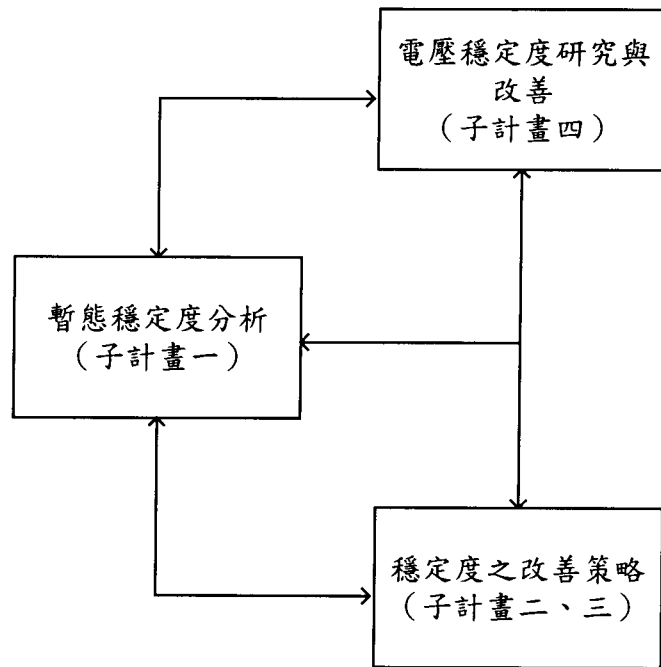
電力系統穩定器及各項串、並聯補償器等。在此同一領域內,不同學者之研究經驗及研究方法,可互相討論,交換心得,達到交流之目標。

在本整合型計畫中,計有四個子計畫。子計畫一應用以晶格映射觀念為基礎自動調整 Fuzzy 控制器的方法於改善電力系統暫態穩定度,子計畫二設計強健控制器以改善電力系統之動態穩定度。子計畫三利用串聯補償技術研究穩定度之改善策略。子計畫四則是探討電力傳輸限制下之電壓穩定度研究與改善。

子計畫一以晶格映射觀念為基礎自動調整 Fuzzy 控制器的方法於改善電力系統暫態穩定度。子計畫二及子計畫三屬於穩定度改善策略之研究。其中子計畫二研究強健控制器之設計,子計畫三研究設計開關串聯電容器的阻尼控制器以改善台電系統區域間低頻振盪的阻尼。子計畫二及子計畫三均用到補償設備以改善電力系統動態穩定度,可彼此交換控制器之設計經驗。而子計畫一中所採用的自動調整控制器參數之概念也可做為子計畫二及子計畫三在設計控制器時之參考。

子計畫四利用 P-V 曲線來分析台電系統電壓穩定度。藉此得到系統最脆弱的匯流排,並可確定台電中送北電力之最大傳輸極限。計畫中並探討並聯與串聯電容的補償,以達到改善系統電力傳輸能力的目的。子計畫三及子計畫四雖屬分動態度與電壓穩定度之範疇,但此二計畫皆以台電系統為研究對象,並且都有探討串聯補償設備對系統之影響可彼此交換補償器設計心得。

經由各子計畫之整合,透過電腦網路,可將原來分散在各校之電腦硬體、軟體及研究資料等資源,有效予以整合,達成最佳之使用效益。



各子計畫之分工合作架構圖

各子計畫一覽表

計畫項目	主持人	服務單位系所	職稱	計畫名稱
總計畫	許源浴	台灣大學電機系	教授	電力系統穩定度 (III)
子計畫一	陳鴻誠	勤益技術學院電機系	副教授	晶格映射法用於電力系統暫態穩定度分析及控制 (III)
子計畫二	王醴	成功大學電機系	教授	強健控制器在改善電力系統動態穩定度之應用 (III)
子計畫三	許源浴	台灣大學電機系	教授	應用開控串聯電容器改善台電系統動態穩定度 (III)
子計畫四	李清吟	台北科技大學電機系	教授	電力傳輸限制下之電壓穩定度研究與改善

二、子計畫內容摘要

子計畫一：以晶格映射法為基礎之電力系統暫態穩定度分析與控制(III)

計畫編號：NSC89-2213-E-167-010

中文摘要：

本計畫提出以晶格映射觀念為基礎自動調整 Fuzzy 控制器的方法。此方法先採計算方式 (computational approach) 分析系統在相位空間上總體動態行為，再利用以晶格狀態為基礎之最佳控制演算法決定 Fuzzy 控制器輸出函數參數值。輸出函數參數的修正藉由梯度估測法 (gradient estimation algorithm) 的應用完成。最後應用本方法於電力系統暫態穩定度改善，以評估其可行性。

子計畫二：強健控制器在改善電力系統動態穩定度之研究 (III)

計畫編號：NSC 89-2213-E-006-103

中文摘要：

本計劃之主要目的係研究應用 H_{∞} 最佳化控制理論之方法，以改善多機電力系統之動態穩定度，並使該多機系統具有強健的特性。本計劃利用 H_{∞} 控制理論的方法來設計激磁控制器，並利用降階的方法降低原系統階數，配合系統不確定化之分析，使設計出來的控制器其階數較低且更具強健特性。採用加上轉矩干擾並且改變系統之工作點，測試多機系統之強健穩定特性。由模擬結果可知，所設計之控制器確實能有效地使系統穩定，其系統強健特性由模擬結果也獲證實。

子計畫三：應用開控串聯電容器改善台電系統動態穩定度 (III)

計畫編號：NSC 89-2213-E-002-094

中文摘要：

本年度計畫的主要目的是設計開控串聯電容器的阻尼控制器以改善台電系統區域間低頻振盪的阻尼。先前的研究[1-3]曾經指出，台電系統連接北部中部間的超高壓輸電線，其第一路與第二路之線徑結構不同，導致兩路之電力潮流分佈不均衡，第二路之送電能力常因受限於第一路過載考量而遠低於其熱容量。為了提升北部與中部間之超高壓輸電線之送電能力，選擇在第二路之適當地點加裝串聯電容器。

由上年度的計畫發現開控串聯電容器的阻尼控制器能有效改善低頻振盪現象之阻尼效果，在本年度計畫中，我們將部份串聯電容器以開控串聯電容器取代之，利用根軌跡法及相位邊際等技巧設計開控串聯電容器阻尼控制器以改善台電系統潛藏已久的區域間低頻振盪問題。並且探討不同的控制器輸入訊號及電力系統穩定器對低頻振盪的阻尼效果。

子計畫四：電力傳輸限制下之電壓穩定度研究與改善

計畫編號：NSC 89-2213-E-027-024

中文摘要：

本論文利用 PSS/E 電力系統分析工具，發展出一套描繪 P-V 曲線的方法，可用來分析台電系統電壓穩定度。使用 P-V 曲線可容易確認系統是否真正到達鞍點分歧處(Saddle-node bifurcation)，藉此得到系統最脆弱的匯流排，並可確定台電中送北電力之最大傳輸極限。它可用來診斷電力網路結構之強弱，並提供規劃工程師與運轉值班人員作設計與調度之參考。除此之外，本論文亦利用 OPF 分析工具針對台電系統斷線及跳機事故案例，探討其對系統電壓穩定度之衝擊程度。最後，利用並聯與串聯電容的補償，規劃最佳的補償場

址，以達到改善系統電力傳輸能力的目的。

二、參考文獻

- [1] P. M. Anderson and A. A. Fouad, Power System Control and Stability, IEEE Press, New York, 1994.
- [2] P. M. Anderson, B. L. Agrawal and J. E. Van Ness, Subsynchronous Resonance in Power Systems, IEEE Press, New York, 1983.
- [3] Y. N. Yu, Electric Power System Dynamics, Academic Press, New York, 1983.
- [4] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, New York, 1994.
- [5] Power Technology, Inc., Power System Simulator (PSS/E-24) Program Application Guide, 1996.
- [6] K. R. Padiyar, Power System Dynamics-Stability and Control, John Wiley & Sons Ltd., 1996.
- [7] J. Machowski, J.W. Bialek, and J. R. Bumby, Power System Dynamics and Stability, John Wiley & Sons Ltd., 1997.