

出國報告（出國類別：開會）

參加「國際電機電子工程師學會 2008 年會」  
及  
參訪「德州大學與美國電力研究院」

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：

姓名	服務單位	職稱	姓名代號	出國計畫
李清雲	系統規劃處	副處長	063697	97 年度出國計畫第 034 號

派赴國家：美國

出國期間：97 年 7 月 18 日至 97 年 8 月 3 日

報告日期：97 年 9 月

## 出國報告審核表

出國報告名稱：參加「國際電機電子工程師學會年會」及參訪「德州大學與美國電力研究院」			
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位	
李清雲	副處長	系統規劃處	
出國期間：97年7月18日至97年8月3日		報告繳交日期：97年9月30日	
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式:		
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2.退回補正,原因: _____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見:		

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位主管：	主管處主管：	總經理： 副總經理：
------	-------	--------	---------------

出國報告審核表  
行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「國際電機電子工程師學會年會」及參訪「德州大學與美國電力研究院」

頁數 84 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李清雲	台灣電力公司	系統規劃處	副處長	23666892
-----	--------	-------	-----	----------

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：開會

出國期間：97 年 7 月 18 日至 8 月 3 日

出國地區：美國

報告日期：97 年 9 月

分類號/目錄：

關鍵詞：國際電機電子工程師學會(IEEE)、美國電力研究院(ERRI)、靜態型無效電力補償器(SVC)、高壓直流(HVDC)、電力電子(PE)、特殊保護系統(SPS)、大停電(Blackout)、微電網(Microgrid)

內容摘要：(二百至三百字)

一、本報告以參加國際電機電子工程師學會(IEEE)2008 年電力及能源聯合會(POWER & ENERGY SOCIETY, 簡稱 PES)於匹茲堡舉辦年會討論有關發電、輸電、配電等相關議題為主，以德州大學阿靈頓分校(UTA)及美國電力研究院(EPRI)討論議題為輔。主要內容為風力發電、無效電力補償技術、大型風場模擬、智慧型微電網及提高大電力系統可靠度等議題。尤其無效電力設備之規劃、設計、施工及運轉之流程與 IEEE 設備規範的標準，可作為本公司未來採用 STATCOM 及 SVC 之參考；也依據國外規劃使用 SVC 的經驗論文，再檢視台電東部系統規劃使用 161kV

SVC 的適宜性。風機模型與大型風場的檢討係為 WESTERN ELECTRICITY COORDINATING COUNCIL(WSCC)系統研討之模擬經驗，值得台電學習。

- 二、智慧型微電網的概念已逐漸成形，未來將是智慧型電網的基本操作單元，應加注重並著手研究適時採用。ERCOT 在風機運轉的經驗與系統規劃的邏輯，EPRI 在減少大系統相互干擾以提高系統可靠度、增加輸電線輸電能力及 3 極 HVDC 的發展，都將是台電學習發展的標竿。

參加「國際電機電子工程師學會年會」及參訪「德州大學與美國電力研究院」

## 目錄

壹、感想與建議 .....	1
貳、出國緣由 .....	6
參、出國行程 .....	8
肆、參加 IEEE 年會報告 .....	9
一、IEEE 年會內容摘要 .....	9
(一)主管會議(SUPER SESSION) .....	9
(二)會員大會(PLENARY SESSION) .....	11
(三)技術會議(TECHNICAL SESSION) .....	11
(四)委員會會議(COMMITTEE MEETING) .....	13
(五)講授課程(TUTORIAL) .....	14
(六)壁報會議(POSTER SESSION) .....	17
(七)論文討論(PAPER FORUMS) .....	18
(八)技術參訪(TECHNICAL TOURS) .....	18
二、參與 IEEE 年會講授課程心得 .....	19
(一)靜態型無效電力補償器(STATIC VAR COMPENSATOR) .....	19
(二)風機模型與控制(WIND GENERATOR MODELING AND CONTROLS) .....	36
伍、參訪德州大學阿靈頓分校 (UTA) 紀要 .....	51
一、智慧型微電網(SMART MICROGRID)之展望 .....	51
(一)概述 .....	51
(二)智慧型微電網之特徵 .....	52

(三)智慧型微電網之優點.....	54
(四)微電網的規劃與運轉.....	54
(五)結論與建議.....	58
二、風力發電在 ERCOT 之經驗-----	59
(一)德克薩斯州電力可靠度委員會(ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL OF TEXAS(ERCOT)簡介.....	59
(二)2008.2.26 風力事件之衝擊與對策.....	60
(三)ERCOT 對 CREZ 增加風力發電輔助服務(WIND ANCILLARY SERVICES STUDY)之研究.....	73
(四)配合 CREZ 風力發展輸電線之最佳規劃.....	74
陸、參訪美國電力研究院(EPRI)紀要.....	78
一、前言-----	78
二、本公司委託 EPRI 有關台電長期幹線系統規劃之研究-----	78
三、提升可靠度大聯網系統減震計畫與研究(SEGMENTATION WITH GRID SHOCK ABSORBERS FOR RELIABILITY OF LARGE TRANSMISSION INTERCONNECTIONS)-----	79
(一)前言.....	79
(二)DC LINK 之應用.....	81
(三)電壓源換流器(VSC)之應用.....	82
(四)改善電力傳輸能力.....	83
(五)未來 HVDC 之發展.....	84

## 壹、感想與建議

- 一、IEEE 年會為每年舉行之定期會議，全世界產官學界均會派人參加，在開會期間所發表的專題講座、課程或論文，有的是電力公司、工業界或廠家的經驗累積成果非常實用，有的是學校專業機構、研究單位或顧問公司研究後的創新技術，值得本公司各相關單位派員參加學習。
- 二、本次會員大會邀請美國核能管制委員會(U.S.NUCLEAR REGULATOR COMMISSION)主席 DR. DALE E. KLEIN、DOMINION NUCLEAR 公司總經理 MR. DAVID A. CHRISTIAN 及西屋電器公司主席 MR. STEVEN TRITCH 主講「核能再生(THE NUCLEAR RENAISSANCE)」，並回答與會人員所提之問題。由於氣候變遷將影響到人類的生存，CO<sub>2</sub> 減量及發展潔淨能源已成為趨勢，核能使用在未來能源的發展上是正面，因此美國目前已有 12 個地點 31 部核能機組向美國核能管制委員會申請(或重新再申請)執照，中國大陸也有 4 部核能機組正在興建中，連一向反對核能發電之德國亦重新思考核能發電之必要性，故「核能的再生」是必然的趨勢。
- 三、輸配電架空線規劃設計以往係以確定性設計(DETERMINISTIC DESIGN)方式作為輸配電系統規劃設計準則，成本較高無法滿足短期電力成長需求，且近年社會大眾對環保、景觀意識普遍提高，輸變電設備成為鄰避設施，興建相對困難。為了能在合理可靠度下節省成本、減少工程投資，以可靠度之觀念來規劃、設計輸變電系統即所謂「輸配電系統可靠度規劃(PROBABILISTIC T&D SYSTEM RELIABILITY PLANNING)」已成趨勢。可靠度規劃推動的目的是在於投資效益，換言之在容許線路依據其需要的可靠度層級去規劃設計，其設計基準必須考慮公共安全、各地區氣候條件，絕對要避免事故的不斷擴大及大停電持續擴展。其優點在於特定的

可靠度需求下，可以得到最低的線路興建成本，或者是在相同的負載層級下，可比傳統採用確定性設計方式更便宜、更容易推動，有利輸變電工程之興建。

四、依據 IEEE 講授課程報告有關 SVC 或 STATCOM 計畫從規劃到運轉共分 5 階段，第 1 階段(PLANNING 1)為可行性研究階段，主要明確瞭解電力系統的特性及可能問題(如暫態穩定度、小訊號穩定度、穩態電壓、電壓穩定度、輸電線路熱容量等)及釐清輸電系統限制條件。第 2 階段(PLANNING 2)為設備型式需要性研究，主要決定解決方案如採用何種補償設備(並聯或串聯、快速或慢速反應設備)、評估經濟效益及系統可靠度(設備裝置位置與容量、最經濟的改善方式、損失評估、設備可靠度、設備間產生相互影響)、檢討工具與設備模型等。第 3 階段(PERFORMANCE)為設備規範研究，定義詳細技術功能規範(含確認 SVC 裝設容量與電等級、SVC 操作損失的估算、諧波抑制的需求)，此部分一般需藉由廠商、顧問與電力公司間相互合作，而訂定出較符合規範需求。規範可參考 IEEE STD 1031-2000，「IEEE GUIDE FOR THE FUNCTIONAL SPECIFICATION OF TRANSMISSION STATIC VAR COMPENSATORS」。第 4 階段(DESIGN)為產品製造與裝設，主要驗證規範所描述的性能能符合電力公司所要求功能、製造商需完整詳細設計 SVC 設備(包括控制架構與保護設備、絕緣協調、電力電子種類、耐壓、切換損失、濾波器、高低電壓之其他設備)等。第 5 階段(OPERATIONAL)為運轉與維護，主要確認網路電力潮流條件在所控制限制範圍內、確認裝置的設備可有效增加網路穩態與動態性能、建立完整操作步驟及量測方法以瞭解系統在故障測試或真實故障發生時之動態性能、確保沒有與系統其他設備產生任何相互作用(INTERACTIONS)、評估設備的可靠度即可用度及建立運轉損失評估步驟。七輸計畫中擬裝設之 STATCOM 及 SVC，第 1 及第 2 階段皆已完



成，接下來第 3 階段需請施工單位或委請顧問公司進行規範研究與撰寫，並請運轉單位著手國外電力公司相關設備運轉資料之蒐集及相關操作程序之擬定與準備。

五、美國愛達荷電力公司(IDAHO POWER COMPANY)針對無效電力補償之檢討研究，認為利用配電系統進行分散式無效電力補償，因可節省變壓器故較為經濟。但依據該論文再檢討台電東部系統，於配電系統分散補償不及 161kV 系統集中裝設 SVC 補償有效益，探討其原因係因台電東部系統採用 SVC 補償之目地在於考慮東西 345kV 輸電線路兩回線事故停用，大量電力需由大鵬 E/S 以 161kV 輸電送至東部地區，導致 161kV 系統消耗大量無效電力，故需於 161kV 系統補償無效電力。不像愛達荷電力公司其無效電力源自配電系統，故於配電系統補償即可解決電壓問題。

六、當風機大量併入系統後，對系統的影響越來越大，尤其是對電壓的影響。為防止風機因系統電壓低下即先行解聯，導致系統產生更嚴重的電壓問題，美國聯邦能源管制委員會(FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION)已要求風機要有忍受低電壓 (LOW VOLTAGE RIDE-THOUGH，簡稱 LVRT)能力，在 FERC661 及 661A 已要求風機在電壓低至 0.2PU 時 0.625 秒內及當系統發生三相短路故障電壓降至 0PU 時 9 週波內不能脫離系統，WECC 更有高壓及低壓限制。目前國內之風機皆無 LVRT 之功能，為避免未來大型離岸風場對系統產生過大影響，建議引接至 69kV 以上之風機應具有 LVRT 功能。

七、成功的電力系統管理關鍵在完全掌握不同的電源供應外，風力發電是否可靠是佔很大的一部分。風力發電是不可能被調度，但通常可以預測的，因此能夠成功且可靠整合在電力系統管理機制中。風預報準確對一

個風力發電佔重大比例的電網來說，是一個很重要工具，AWEA(美國風能協會)也同意其觀點。ERCOT 風力預報系統正積極發展中，並計畫加速它的實施。故台電若要持續發展風力發電，應從現在開始進行風場特性與風力預報之研究，以避免以後大型離岸風場併入系統後電源調度困難。

八、當電源備轉容量不足或系統遇有供電瓶頸時，需量反應(DEMAND RESPONSE)的使用是確保電網可靠的經濟有效工具，但要規劃適當足夠的需量反應數量，始足以應付任何偶發事件。當突然失去傳統機組時避免用戶非自願的停、限電，ERCOT 已實施需量反應，回買自願終止用電之用電量，以適當反應負載變化、增進電網可靠性。例如，ERCOT 在 2008 年 2 月 26 日風力發電不如預期、負載突增且在偶發事件下與 3 月 16 日一部核能發電廠瞬間跳脫，均被迫主動實施需量反應，自願中斷負載，前者電網頻率從 60 赫茲到 59.85 赫茲，後者從 60 下降到 59.7，後著因需量反應不足頻率下降過低，被 NERC 登錄在擾動控制標準事件(DISTURBANCE CONTROL STANDARD EVENT) 中。這些事件說明全部發電設備發生預想不到的發電短缺時，實施需量反應以求取供需平衡，將有助於電網穩定、可靠運轉。

九、ERCOT 為配合德州西北部風力擴展輸電線擴建過程與決策模式為：首先依據風力開發狀況與開發時程先後分為四個情境，各情境均研擬多種可能技術擴充方案，經檢討後選定較佳方案，再由近而遠之情境，挑選其中有相關聯或可連結之方案為最佳方案。本公司長期輸變電架構之擬定亦仿照此模式，首先依全系統負載輕重分為不同水準，並結合不同電源開發方案組合不同情境，依各情境分別研定各種可能之技術擴展方案(可包含擴充 345kV 輸電線、新建 500kV 或 765kV 輸電線及新建 HVDC

線路等)，各情境選擇其中較佳方案，再從其中由近而遠選定工程有關聯可連續者為最佳方案。

十、3 極 HVDC 為 EPRI 研究發展中之項目，未來若可實際應用於電力系統，可將利用既有輸電線(或路權)更新使用，其送電能力在相同電壓下可達 1.732 倍，隨著直流輸送電壓提高可再增加。台電南北幹線系統未來若需要升級改採 HVDC，利用南北超高壓幹線第一路改採用 3 極 HVDC 將是最佳的選擇。

## 貳、出國緣由

一、國際電機電子工程師學會 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 簡稱為 IEEE) 建立於 1963 年 1 月 1 日的專業技術組織, 擁有來自 175 個國家的 36 萬會員。總部設立於美國紐約市, 全球 150 多個國家擁有分會, 並且還有 35 個專業學會及 2 個聯合會。每年會發布多種雜誌、學報、書籍, 舉辦至少 300 次的專業會議。國際電機電子工程師學會(IEEE)之電力&能源聯合會(PES)2008 年會於 7 月 20 日至 7 月 24 日共 5 天在美國匹茲堡盛大舉行。該會議年會集結世界各國電力菁英專家於一堂, 發表最近一年之研究論文與電力系統規劃、施工與運轉之經驗及成果, 供與會者相互討論與學習觀摩, 各論文議題均具有前瞻性、技術性, 為世界各地電力事業關注之課題。有關技術議題包含有分散電源、核能發電、智慧型電網、風力發電及 2020 年之電力系統願景等類別。另有付費課程等, 邀請有經驗之資深工程師、大學教授及廠家代表等, 以各種主題作深入講授, 亦有新設備之使用經驗發表, 參加此次會議, 可以吸收新知、學習別人優質經驗, 以提升台電系統規劃、運轉能力。

二、德州大學阿靈頓分校(UTA)設有電能研究中心(ELECTRICAL SOURCE RESEARCH CENTER 簡稱 ESRC), 著重於電力系統模擬分析及風力機組併入系統之衝擊檢討之研究, 曾在 IEEE 發表甚多論文, 也曾經為德州電力公司作過風力機組併入德州電力系統之研究, 享譽全美。另美國電力研究院(EPRI)為國際著名電力研究機構, 著重在電力系統等有關電廠、電網及配電系統等規劃研究、運轉維護等技術之研發與創新, 本公司為該組織會員, 目前本公司正委託 EPRI 進行「台電長期系統最佳規

劃」及「離岸風力併入台電系統之系統衝擊檢討」之研究，藉由參與 IEEE 年會機會順道訪問 UTA 及 EPRI 兩機構，不但可獲得電力界最新發展，同時了解 EPRI 參與本公司研究案之進展，並與其討論電力系統之規劃與分析相關問題，助益於台電系統之規劃運轉及提升供電穩定性，吸取維持供電電壓穩定與確保設備安全之先進技術，對台電系統之規劃運轉及提升供電穩定性將有助益。

## 參、出國行程

本出國計畫自 97 年 7 月 18 日至 97 年 8 月 3 日，首先前往美國匹茲堡參加國際電機電子工程師學會(IEEE) PES 2008 年年會，結束後轉往達拉斯參訪德州大學阿靈頓分校後赴舊金山參訪美國電力研究所(EPRI)，至 8 月 3 日返國，總共出國期間合計為 17 天，詳細行程說明如表一。

表一：參加 IEEE PES 年會及參訪 UTA 與 EPRI 行程表

日期	天數	起訖地點	工作內容
7 月 18 日~7 月 19 日	2	臺北~舊金山~匹茲堡	往程
7 月 20 日~7 月 24 日	5	匹茲堡	參加 IEEE 年會
7 月 25 日	1	匹茲堡~達拉斯	行程
7 月 26 日~7 月 29 日	4	達拉斯	假日及參訪 UTA
7 月 30 日	1	達拉斯~舊金山	行程
7 月 31 日~8 月 1 日	2	舊金山	參訪 EPRI
8 月 2 日~8 月 3 日	2	舊金山~臺北	返程

## 肆、參加 IEEE 年會報告

### 一、IEEE 年會內容摘要

本次 IEEE PES 年會以全球論壇形式顯現，主題為「21 世紀電能的傳輸與轉換」，主要內容包含如下：

#### (一)主管會議(SUPER SESSION)

5個主管會議(SUPER SESSIONS)，以各種不同的視角探索下列議題：

##### 1.風力發電(WIND POWER)

主要敘述過去兩年美國致力於大量風力發電併入電網之可行性研究，及預期2030年風力發電佔系統20%電能的願景規劃。另外報告歐洲風力綜合研究及愛爾蘭大量風力發電併入該國獨立島電力系統的研究經驗，並討論風機的動態模型。

##### 2.分散型電源(DISTRIBUTED GENERATION)

主要討論內容有燃料電池 (FUEL CELLS) 之運用與未來發展、分散型電源網路安全之管理及分散能源之提升等項目。燃料電池 (FC) 技術經歷過去十年發展，世界上安裝FCs數量已大規模迅速增加。政府的政策、輿論和FCs技術的發展有助於FCs的運用，預計FCs技術在21世紀將繼續發展，並且FCs 將被更廣泛地使用。不過，在FCs作為可靠的能源之前，許多障礙尚需克服。政府的政策和目標、研究與發展、應用地位和發電應用過程中的FCs的前景，被工業界和政府研究實驗室的代表在這個小組裡提出討論。

### 3.核能發電(NUCLEAR POWER)

由於環境的變化，21世紀的電力需求將寄望核能更新的發展。這需求已經推展使工業界過去20年中產生重大改變，去重新規定核能發電廠部署的技術和方法。這個會議介紹IEEE/PES核能工程委員會過去40年中對核能電廠之建造與維修及建立之IEEE標準。美國反應爐執照申請之改變、核能發電部署的更新也被提出。此外，沸水反應爐最新的更新設計和CANDU技術也被討論。

### 4.智慧型電網(SMART GRID)：

主要討論智慧型電網之新興技術。由於環境條件和電力品質需要提高，系統管理者需擬定一些智慧型電網控制之新計畫，以支援能源效率、增加再生能源容量和改進可靠性。而在能源產生資產(例如風力、太陽)等大量併入系統，智慧型電網規劃變得更有吸引力。

智慧型電網係以先進技術的使用，來改進電氣的實用系統與提升效率和使用、電力品質、可靠性及電力工業技術等。目前正進行很多研究與發展行動，為將來的智慧型電網發展勾劃出一片遠景。在本會議上，工業界提出一些關鍵技術支援智慧型電網，並介紹一些新技術，及執行廣泛的區域監測器、保護、控制等實例。

### 5.2020年系統願景(VISION 2020)：

2020系統願景有11篇論文的作者提供他們技術領域上的寶貴意見包括：數位通訊、電機安全、動態的網路安全、交流和直流傳輸系統等技術領域之高見。



## (二)會員大會(PLENARY SESSION)

本次會員大會由 IEEE 電能聯合會(POWER & ENERGY SOCIETY)總經理 MS. WANDA K. REDER 主持，邀請美國核能管制委員會 (U.S. NUCLEAR REGULATOR COMMISSION) 主席 DR. DALE E. KLEIN、DOMINION NUCLEAR 公司總經理 MR. DAVID A. CHARISTIAN 及西屋電器公司主席 MR. STEVEN TRITCH 主講「核能再生(THE NUCLEAR RENAISSANCE)」，並回答與會人員所提之問題。由於氣候變遷將影響到人類的生存，CO2 減量及發展潔淨能源已成為趨勢，核能使用在未來能源的發展上是正面，因此美國目前已有 12 個地點 31 部核能機組向美國核能管制委員會申請執照，中國大陸也有 4 部核能機正在興建中，連一向反對核能發電之德國亦重新思考核能發電之必要性，故「核能的再生」是必然的趨勢。

## (三)技術會議(TECHNICAL SESSION)

技術會議分為技術討論小組(TECHNICAL PANEL)和論文討論會議(PAPER SESSION)，從 7.21~7.24 每天分上午及下午舉行。6 類追蹤報導(TRACKS)於會議報告：

### 1.系統事故後之因應與解析(UNDERSTAND AND RESPONDING TO SYSTEM WIDE EVENTS)

主要討論假若電力系統因為人為、因素設備事故及特殊原因造成系統連鎖事故(CASCADING)而發生大停電時(BLACKOUTS)，以電驛保護方法和緊急控制設備如特殊保護設備，來避免電力系統干擾。並分別由澳洲、中國及蘇俄等國家發表經驗。

### 2.能源之應用(UTILIZATION OF ENERGY RESOURCES)

主要內容為美國至 2030 年風力發電佔 20%之可能性與架構、歐洲發展風力的經驗與展望、拉丁美洲發展水力發電之發展與機組選擇、分散型電源之應用實例及風機模型與模擬等。

### 3.新的技術(NEW TECHNOLOGIES)

著重於燃料電池之發展、分布電源貯存設備、住家熱電混合技術 (COMBINED HEAT AND POWER TECHNOLOGY)、雙饋式發電機、永磁電機(PERMANENT MAGNET MACHINES)、智慧型系統之故障分析與管理、微電網(MICROGRID)、輸電系統(FACT、STATCOMs、HVDC)之發展與應用等

### 4.電力系統之可靠度、品質和安全度(POWER RELIABILITY, QUALITY AND SAFETY)

分布電源之管理、突波保護設備、雜散電壓(STRAY VOLTAGE)分析技術、電力市場系統安全效益、電力系統可靠度危險度與通信架構、輸電系統可靠度的分析方法、電力品質監視與量測、輸電系統的暫態現象及故障電流限制器之進展等。

### 5.量測與控制技術之改善(IMPROVED MEASUREMENT AND CONTROL TECHNIQUES)

內容有風力發電場之控制與運用、馬達的改善技術、電力系統狀態評估的最佳運用、電價與負載預測和模型的最新趨勢、高壓設備診斷策略 (含量測技術和現場經驗)、控制與量測控制中心之應用、電力系統電力電子控制架構、分布型電壓控制、配電自動化及其通信和與資訊之新技術等。

### 6.新電力市場架構(NEW MARKET STRUCTURES)

電力市場無效電力之量測與計費、長期電力市場的動態模型、能源與輔助服務市場之結合、輸電線路權之財務補償、電力市場容量與契約電力市場的隱藏危機與不確定因素等。

#### (四)委員會會議(COMMITTEE MEETING)

開會期間每天都有委員會會議，IEEE 的委員會計有行政委員會 (ADMINISTRATIVE COMMITTEE)、電機機械委員會 (ELECTRIC MACHINERY COMMITTEE)、整合技術協調委員會 (EMERGING TECHNOLOGIES COORDINATING COMMITTEE)、能量發展和發電委員會、(ENERGY DEVELOPMENT AND POWER GENERATION COMMITTEE)、智慧電網協調委員會 (INTELLIGENT GRID COORDINATING COMMITTEE)、海底系統協調委員會 (MARINE SYSTEM COORDINATING COMMITTEE)、核能發電工程委員會 (NUCLEAR POWER ENGINEERING COMMITTEE)、策略發展協調委員會 (POLICY DEVELOPMENT COORDINATING COMMITTEE)、電力工程教育委員會 (POWER ENGINEERING EDUCATION COMMITTEE)、電力系統分析計算及經濟委員會 (POWER SYSTEM ANALYSIS, COMPUTING AND ECONOMICS COMMITTEE)、電力系統通信委員會 (POWER SYSTEM COMMUNICATIONS COMMITTEE)、電力系統動態執行委員會 (POWER SYSTEM DYNAMIC PERFORMANCE COMMITTEE)、電力系統儀器與量測委員會 (POWER SYSTEM INSTRUMENTATION AND MEASUREMENTS COMMITTEE)、電力系統操作委員會 (POWER SYSTEM OPERATION COMMITTEE)、電力系統規劃與運用委員會 (POWER SYSTEM PLANNING AND IMPLEMENTATION COMMITTEE)、變電所委員會 (SUBSTATION COMMITTEE)、輸電與配電委員會 (TRANSMISSION AND

DISTRIBUTION COMMITTEE)及風力發電協調委員會(WIND POWER COORDINATING)等。

(五)講授課程(TUTORIAL)

IEEE PES 2008 年會中共舉行 8 場講授課程，每天 1~2 場為整天課程，聘請大學知名教授、有經驗之電力公司、顧問公司及製造廠共組成授課小組講課，概述如下：

1.靜態型無效電力補償器(STATIC VAR COMPENSATOR，簡稱 SVC)  
(7.20，8:00 A.M.~5:00P.M.)

主要講授 SVC 之設計與操作，並介紹及證明 SVC 之功用及運用實例，本課程係針對電力工程師、設計工程師傳授 SVC 之規劃、設計、施工、運轉及維護應檢討項目及注意事項，並提供相關設備之 IEEE 標準供參考。因本次出國參與此項課程，詳細內容將敘述於後。

2.電力電子輔助電力系統之解析(UNDERSTANDING POWER ELECTRICS IN CONTEMPORARY POWER SYSTEM)(7.21，11:00A.M.~4:00 P.M.)

講授內容分為兩大主題：

(1)電力電子輔助電力系統的角色，再生能源與能源貯存設備之整合、可靠電力傳輸與末端使用效率之應用等；如風機、太陽能及能源貯存之可靠傳輸(含 HVDC、FACTS)、變速設備、及有關電力品質等相關議題。

(2)敘述電力電子轉換器設備需求與介面，如固態設備、閘流體網路與轉換器、開關轉換器之不同應用等。

### 3.風機模型與控制(WIND GENERATOR MODELING AND CONTROLS)

(7.22, 8:00 A.M. ~ 5:30 P.M.)

提供歐、美風機併入系統之經驗及大電力系統中風力發電對電力潮流、動態穩定度及故障電流之衝擊等資訊；並詳細討論有關風機模型、大型風場模擬含電力潮流、故障電流及穩定度等。對於特殊問題如 LVRT、無效電力與功率因素之控制及頻率反應等效應也被討論。因本次出國參與此項課程，內容詳述於後。

### 4.電力電子(POWER ELECTRONICS) (7.22, 8:00A.M.~6:00P.M.)

講授大綱包含四項：

#### (1)電力電子概述

此節包含回控制系統、整流器和變流器、相位控制、開關模型系統、SCR 特性與電力電子之應用等。

#### (2)變頻馬達趨動

敘述變頻馬達的發展及在低、中壓之使用經驗等。

#### (3)功率因數及諧波

討論電力電子使用在電力系統同時也注入系統諧波電流、降低功因及產生諧波共振問題之改善對策與方法。

#### (4)固態馬達啟動

固態馬達啟動係連繫的控制感應馬達之啟動電流，能夠減少高注入電流(INRUSH CURRENT)及舒緩電機因啟動電流引起之壓力問題。

### 5.輸配電系統可靠度規劃(PROBABILISTIC T&D SYSTEM RELIABILITY

PLANNING)(7.23, 8.00A.M.~5.00P.M.)

過去輸配電架空線設計以確定性設計(DETERMINISTIC DESIGN)方式作為輸配電系統規劃設計準則，成本較高無法達到短期電力成長需求及發揮可靠度節約建造成本。近年來為了能在合理可靠度下節省成本，已朝向「輸配電系統可靠度規劃」之趨勢。本課程講師大多來自大學教授與工業界，提供基於可靠度技術與應用下之廣範專家技術，這些技術基於過去 40 年輸配電線之可靠度觀念與模型 RBD 觀念發展而成；另外，本課程也提供有用的數學模型及最近電力公司在這方面的發展與實際運用情況。可靠度規劃推動的目的是在於投資效益，換言之在容許線路依據其需要的可靠度層級去設計，其設計基準必須考慮公共安全、各地區氣候條件，絕對要避免事故的不斷擴大及大停電因跟著持續擴展。其優點在於特定的可靠度需求下，可以得到最低的線路興建成本，或者是在相同的負載層級下，可比傳統採用確定性設計方式更便宜。

6.雷擊保護技術及配電系統設備與敏感電子設配之應用(LIGHTNING PROTECTION TECHNOLOGIES AND APPLICATION FOR POWER DISTRIBUTION SYSTEM FACILITIES AND SENSITIVE ELECTRIC EQUIPMENT)(7.23,8:00A.M.~5:00.P.M.)

主要是從實際的運轉了解保護原則，並講授各種不同保護技術與運用，彙總 IEEE 突波保護設備委員會最近之標準(STANDARDS)、資訊(INFORMATION)、方法(METHODOLOGIES)及技術(TECHNIQUES)等。

7.電力斷路器之設計與應用(DESIGN & APPLICATION OF POWER

## CIRCUIT BREAKERS)(7.24,8:00A.M.~5.00P.M.)

這些年來電力斷路器工業標準在設計、測試和應用都有重大的改變，這種變化基於技術的進步與使用環境複雜化的結果。本課程首先介紹標準的歷史、不同額定容量的使用革新和與過去的重大改變。這些將有助於工程師們瞭解新斷路器的規範和如何去取代舊有斷路器。通常，斷路器啟斷技術將會影響暫態回復電壓(TRV)而需加以重視，如終端設備事故、短路事故及相位不同步等之開關問題。IEEE 標準中 TRV 峰波電壓的改變也被檢討與報告。各講授者也提出斷路器設計、使用和應用的實際經驗。

## 8.配電自動化(DISTRIBUTION AUTOMATION) (7.24,8:00A.M.~5.00P.M.)

配電自動化可以追溯至 1970 年代，主要動機是利用電腦和通信技術來改善配電系統之運轉；1980 年代始有少數的計畫被提出；1990 年代很多電力公司提出了大區域範圍的配電自動化，但是基於成本投資效益，很多電力公司無法大力支持。惟現在由於新的技術、設備、感測器、更精密和功能強大的通信設備、更進步電腦設備、電力電子設備及控制與保護技術的發展，以擴大配電自動化的推廣。

## (六)壁報會議(POSTER SESSION)

7.21 晚上 5:00P.M.~7:00P.M.除舉行 IEEE FELLOWS 歡迎會外，也介紹 DIVISION II 主管候選人，另外從全世界各大學學生論文選出學生論文 75 篇及電機機械委員會提供 16 篇論文配合展出。

### (七)論文討論(PAPER FORUMS)

從 7.21~7.24 四天連續安排論文報告與討論，每天按主題安排讓作者簡報並與參加者面對面溝通討論，以交換彼此心得與經驗，本次年會共發表論文 1760 篇。

### (八)技術參訪(TECHNICAL TOURS)

7.21~7.24 每天安排不同技術參訪活動，參加者必需自行報名繳費。本年會安排之技術之旅，計如下：

1. 7.21 1:00 P.M.~5.00P.M.及 7.23 1:00 P.M.~5.00P.M，參訪 EATON CORPORATION 之電力品質實驗室。
2. 7.22 8:00 A.M.~12.00A.M.及 7.23 8:00 A.M.~12.00A.M.，參訪 DUQUESNE LIGHT COMPANY 之電力配電變電所。
3. 7.22 7:30 A.M.~1.00P.M.及 7.23 7:30 A.M.~1.00P.M.，參訪 PENNSYLVANIA TRANSFORMER TECHNOLOGY INC. AND TOUCHSTONE RESEARCH LABORATORY 之電力變壓器和絕緣材料實驗室。
4. 7.22 12:30 P.M.~5.00P.M.及 7.23 12:30 P.M.~5.00P.M.，參訪 PENNSYLVANIA TRANSFORMER TECHNOLOGY INC. AND TOUCHSTONE RESEARCH LABORATORY 之電力變壓器和絕緣材料實驗室。
5. 7.22 12:30 P.M.~5.00P.M.及 7.23 12:30 P.M.~5.00P.M.，參訪 WESTINGHOUSE NUCLEAR &HYDROGEN 之電廠與燃料電池。
6. 7.22 1:00P.M.~5:00P.M.，參訪 COMPUNETICS AND COMPUNETIX 之電力電子設備。



## 二、參與 IEEE 年會講授課程心得

### (一)靜態型無效電力補償器(STATIC VAR COMPENSATOR)

#### 1.前言

長久以來，利用適當的靜態並聯補償器以增加系統穩定度裕度與改善系統電壓，一直是電力研究的主要課題。並聯補償的基本概念是改變傳輸線路的特性，使得整個系統更加穩定，方法是藉由控制安裝在想要控制電壓的匯流排上之並聯電抗器或電容器，藉其與電力系統無效電力的交換(提供無效電力或吸收無效電力)，來達到電壓提升或抑制的控制。例如，並聯電抗器常用於輕載時消除系統過電壓的問題，並聯電容器則用於重載時提升電壓到安全範圍內。

實際應用係調節電壓，避免其隨負載變動而起伏，或是在跳線事故後給予電壓補償量，以台電為例即需維持電壓在台電系統規範值 0.95~1.03 P.U.之內。不過單一的並聯電抗器或電容器控制，在實際的電力系統中很難控制電壓在合理理想的範圍，因為電力系統的負載情況與運轉操作條件並非固定不變，故針對此目標發展而來的並聯補償器有閘控電抗器組(TCRs)、閘開關電容器組(TSCs)、並聯電抗器(SR)、旋轉式同步調相器(SC)、靜態無效電力補償器(SVC)與靜態同步無效電力補償器(STATCOM)等補償裝置。

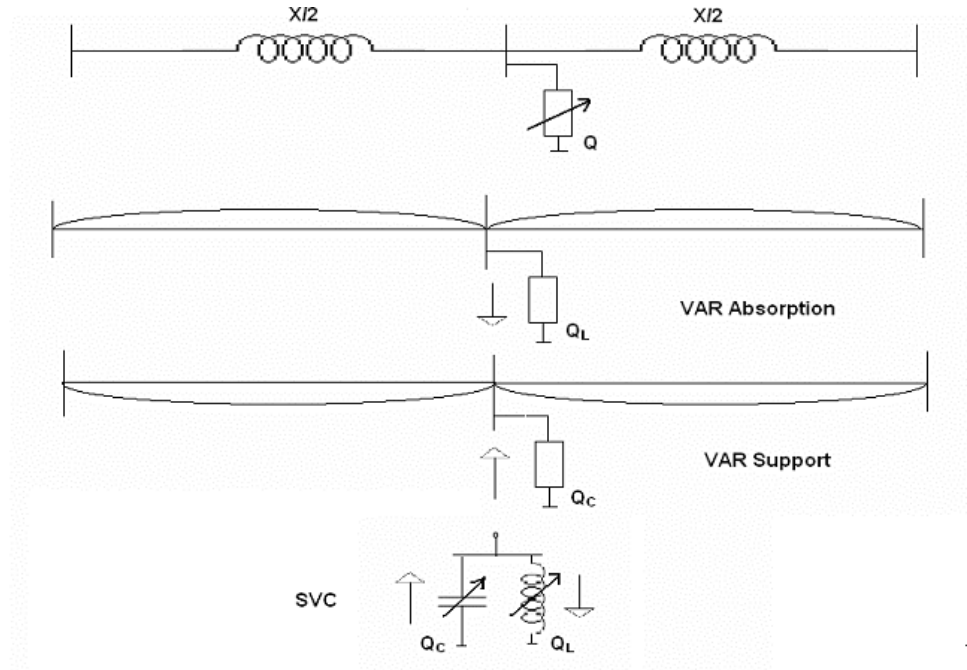
#### (1)靜態無效電力補償器於系統之應用

靜態無效電力補償器的應用層面，主要在增加系統傳輸電力的能力和改善傳輸特性及系統穩定度等。主用途有下列幾項：

- A. 安裝在傳輸線路中間作電壓的控制。
- B. 負載端之電壓控制。
- C. 增加系統暫態穩定度，以改善暫態時系統穩定度。
- D. 提供系統阻尼，來抑制系統振盪現象。

(2) 傳輸線路中間作電壓的控制

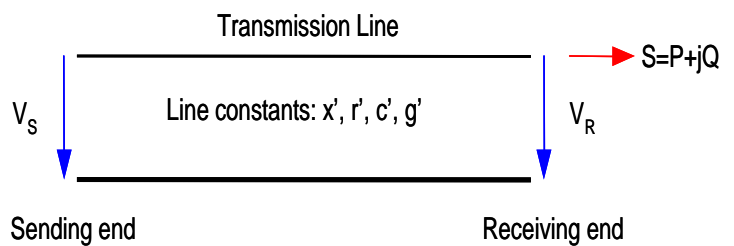
下圖為靜態無效電力補償器(SVC)應用於輸電線路中做補償之應用。當系統輕載時，SVC 將做電感性補償，以維持補償



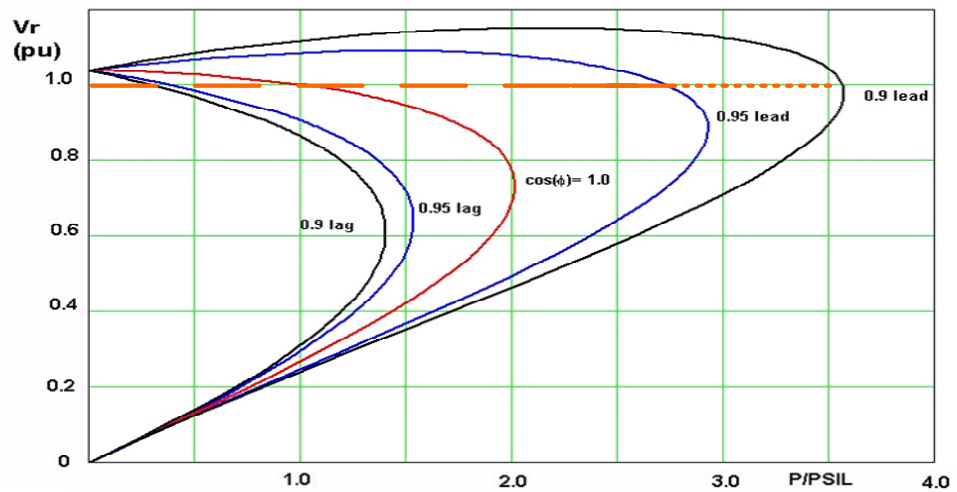
點電壓在控制電壓附近，如 1.0 PU。同樣地，當系統重載時，SVC 亦將做電容性補償，並維持在控制電壓範圍內。

(3) 負載端之電壓控制

右圖為靜態無效電力補償器(SVC) 應用於



負載端控制電壓。受電端(負載端)之電壓控制如 1.0 PU，可藉由 SVC 設備來適當補償，若負載端電壓過高則 SVC 做電感性補償；反之，若負載端電壓過低則 SVC 做電容性補償。亦即，若適當於負載端進行電壓補償，進而控制負載端功率因數  $\cos\theta = P/S$  為 LAGGING 或 LEADING，則間接可提昇輸電線輸電能力，如右上圖所示。



#### (4) 增加暫態穩定裕度

當系統發生重大或突然的事故情況時，採用 SVC 設備亦可以有效地提昇系

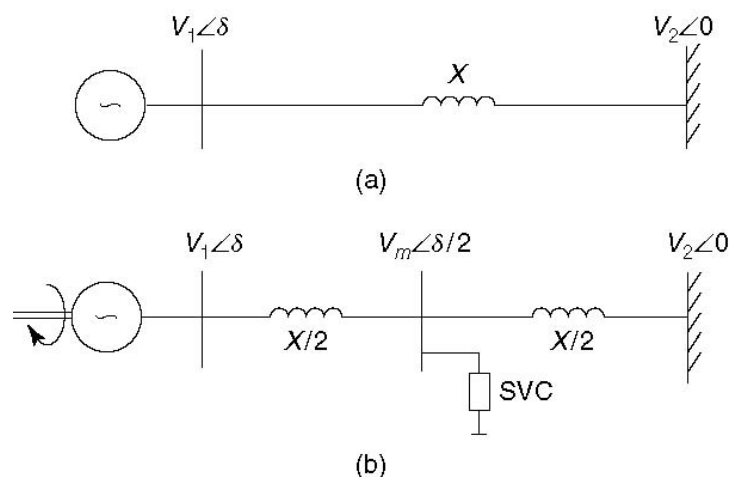
統暫態穩定度，右圖為一

單機對無限匯

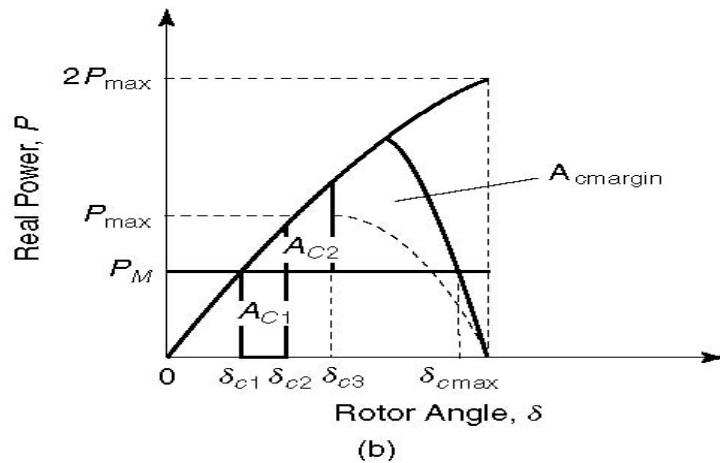
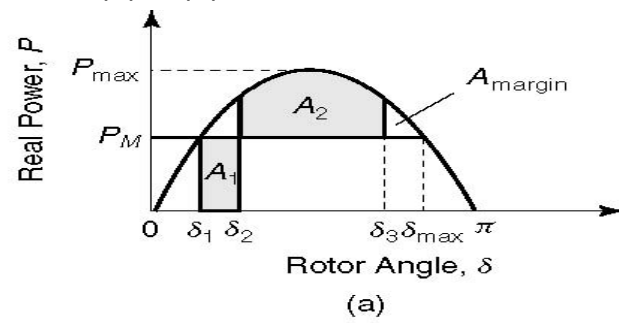
流排(SINGLE MACHINE

INFINITE BUS,

SMIB) 示意圖，圖(A)為無 SVC 設備補償，圖(B)為有 SVC 設備補償。



下圖(A)及(B)為SMIB系統有/無SVC設備補償時之穩定度示意



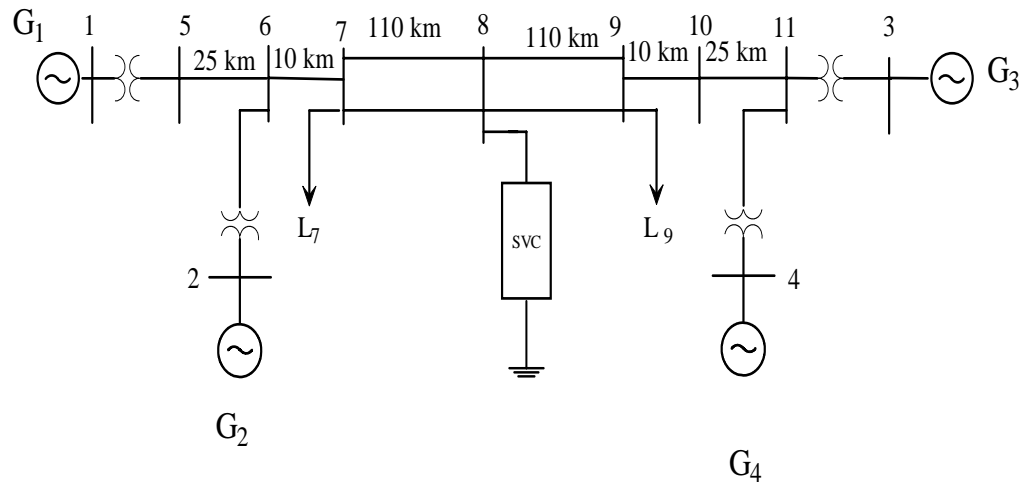
圖。依等面積法可知，當圖(A)之  $A_1$  (加速面積) =  $A_2$  (減速面積) 及圖 (B)  $A_{C1} = A_{C2}$  時，其圖(A)之 MARGIN 裕度小於圖 (B) 之 MARGIN。因此當系統有 SVC 設備

補償時，對提昇系統暫態穩定度將有助益，亦即可增加系統故障臨界清除時間(CCT)。

#### (5) 提供系統阻尼以抑制系統振盪現象

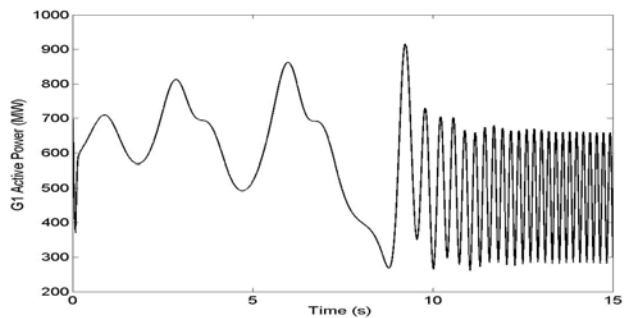
所謂小訊號穩定度係指電力系統在正常運轉條件下遭遇擾動 (DISTURBANCE)，所造成發電機相對於整個電力系統或區域間機組間的振盪行為而稱之。當發電機或系統的阻尼不足時，則系統將存在 0.2 至 2Hz 之間的低頻振盪，而使系統存有動態穩定度問題。因此 SVC 可提供了電力振盪阻尼控制 (POWER OSCILLATION DAMPING CONTROL) 方式，可藉由區域 (線路電流、有效電力、頻率或匯流排角度) 或遠端 (轉子速度、線路兩端角度/頻率差或遠端線路電流監測) 等輔助訊號的回受，提供系統正阻尼，加速改善低頻振盪現象。

下圖係為一簡單 2 個區域系統作為範例，每個區域包括 2 部發電機，並藉由一長距離輸電網路(WEAK TIE LINE)連接之示意。

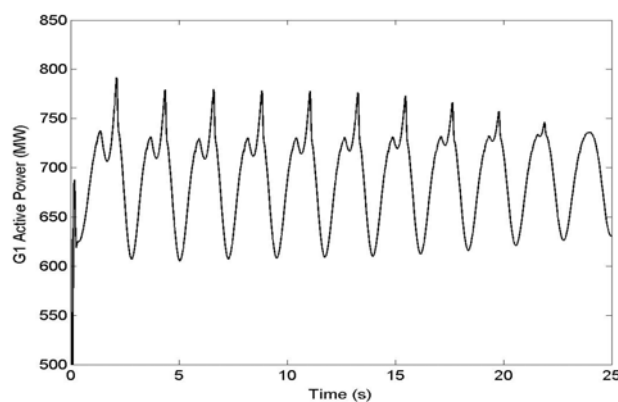


經分析結果顯示，倘系統無裝置SVC且發生三相短路事故

情況下，機組G1將產生失同步現象，如右圖所示。反之，若於匯流排8裝置SVC，



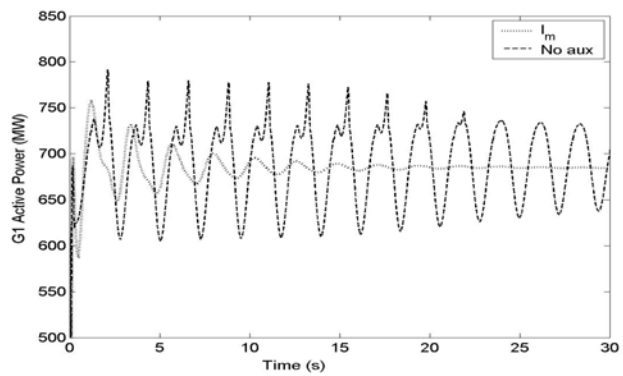
且同樣發生三相短路事故情況時，機組G1將不會失同步，如



左圖所示。由圖可知，當SVC僅作電壓控制調整時，其所提供之系統阻尼有限，故機組仍呈現振盪情況，而逐漸衰減。若

增加輔助控制訊號，如Bus8-Bus9之電流訊號，則同樣三相短路事故情況下，其機組振盪情況

將改善許多，  
如右圖三相短  
路事故下，有  
無輔助訊號(IM)  
控制響應圖。

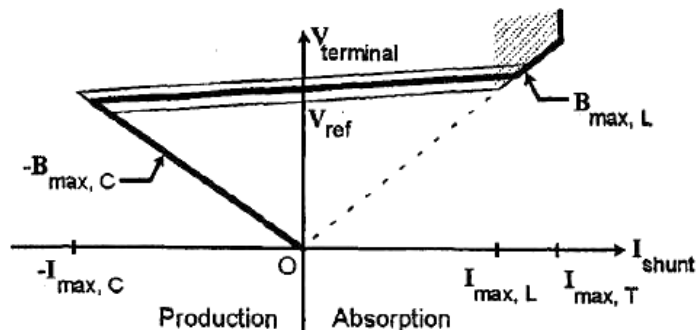


## 2. 靜態無效電力補

### 償器 ( SVC )

#### (1) 基本特性

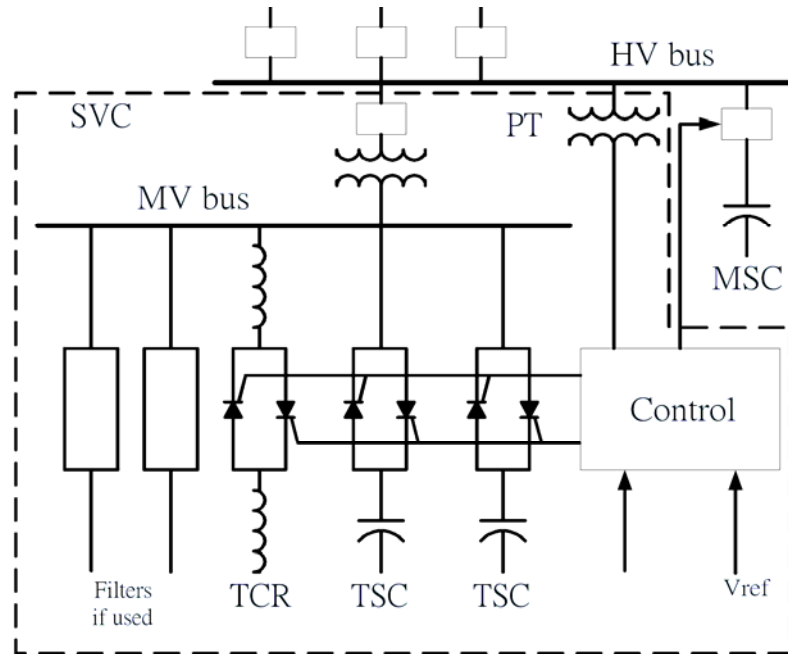
靜態無效電力補償器(SVC)自1970年起就被應用到輸電線路上，作為降低暫態過電壓、防止電壓崩潰、抑制系統共振以及強化系統穩定度等用途，而 SVC 可選擇加裝在不同的位置來達成不同的用途，根據研究指出，若以電壓穩定度為目的，建議裝置在輸電線路中間或接近電壓下降最多之負載端的匯流排；若以增加系統阻尼為目的，則建議裝置在發電機匯流排上。基本上 SVC 是一個並聯的無效電力產生器，其無效電力輸出是依據控制匯流排電壓的變動，在線性控制範圍內作調整，以提供或吸收無效電力；如下圖所示，當電壓



上升時為電感性的無效電力補償，用來吸收部份無效電力；

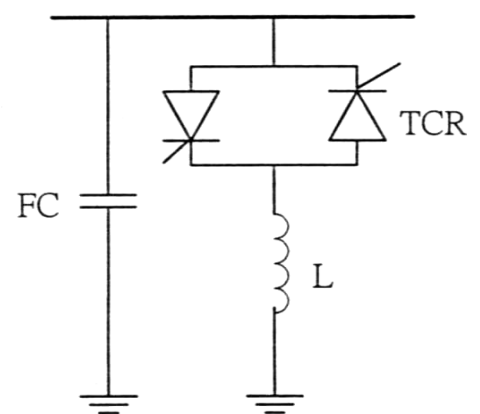
反之，電壓下降時則為電容性的補償，提供部份無效電力，使被控制的匯流排電壓維持在設定的範圍之內。

SVC有許多種的組合型式，如下圖為其完整架構圖，基本上



可由固定電容器組( FC )、閘控電抗器組( TCRs )、閘極切換電容器組( TSCs )、閘極切換電抗器組( TSRs )、並聯電抗器組( SR )、降壓變壓器( STEP-DOWN TRANSFORMER )、諧波濾波器(HARMONIC FILTER)、機械式切換電容器組( MSCs )、機械式切換電抗器組( MSRs)等裝置任意組合而成。

右圖為SVC結構，主要是由閘控電抗器( TCR )和固定電容器( FC )所組合而成的；閘控電抗器藉由改變閘流體的點火角度，控制流過的電流再與並聯端的固定電容器合成，俾決定SVC具有電感性或電容性之特

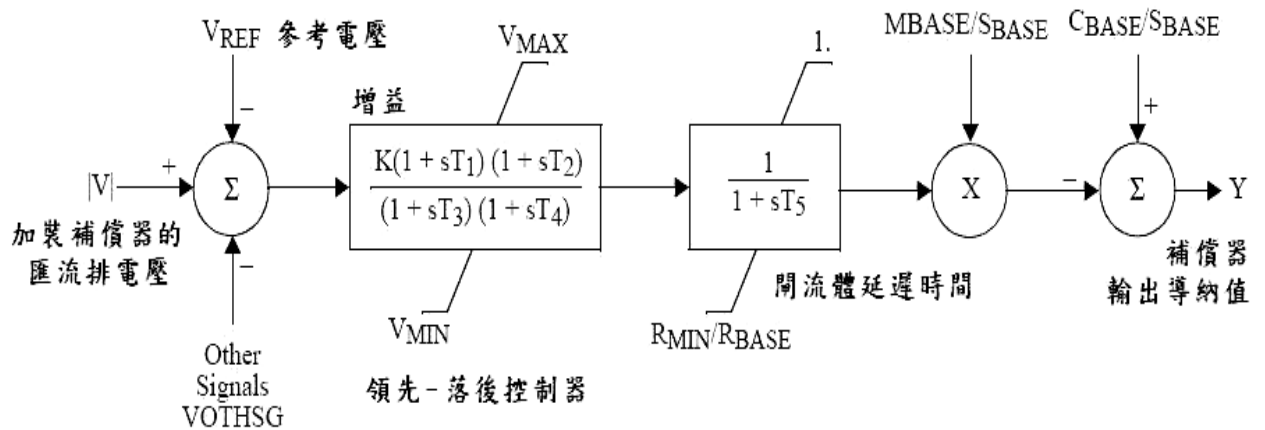


性，以吸收或提供無效電力。

## (2) 控制架構

由於SVC的控制方塊圖眾多，一般PSS/E程式中常採用的SVC控制方塊圖，如下圖所示。其輸入訊號為參考電壓

( $V_{REF}$ )、匯流排電壓 ( $|V|$ ) 和一個通常是增加阻尼的



輔助調變輸出訊號 ( $VOTHSG$ )；輸出訊號則是導納值 ( $Y$ )，藉此決定 SVC 是工作於電容性還是電感性操作模式。

靜態無效電力補償器的控制流程，是將輸入訊號經由穩態增益值 ( $K$ ) 和領先-落後 (LEAD-LAG) 控制器後，再經過一個延遲時間常數 ( $T_5$ )，最後產生補償器輸出導納值來達到補償能力。

## 3. 靜態無效電力補償器規劃流程

### (1) 需求說明

當系統需採用SVC來解決系統問題時，需明確定義SVC所需解決的系統目標及控制方式如下表所示。



目的	項目
電壓控制	1. 匯流排電壓電壓控制 2. 電網不同區域間匯流排控制 3. 敏感性負載端電壓控制
穩定度改善	提供系統阻尼控制

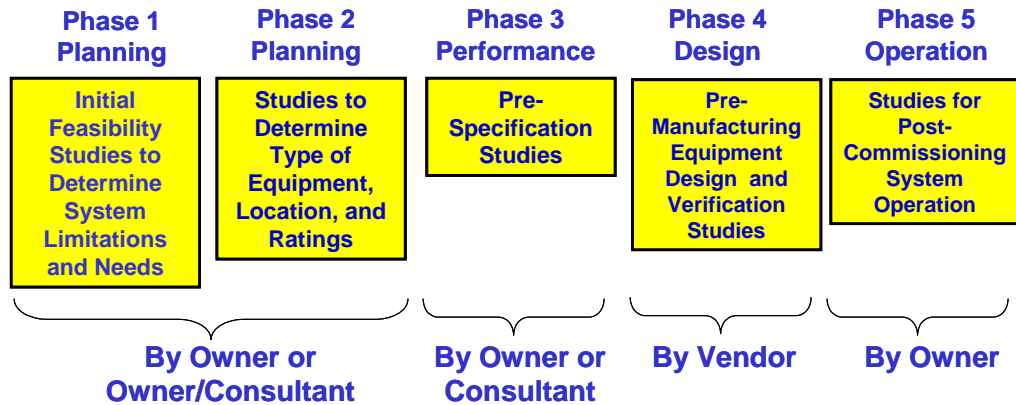
此外尚須考量相關系統所需規範需求及所欲裝置SVC位置之空間等問題，隨SVC應用於穩態電壓補償或動態電壓補償的不同目標，將決定設備容量大小與設備實體空間大小。

## (2) 規劃流程

通常系統裝置SVC或STATCOM設備計畫所需評估的項目，共分為5階段：

- 第一階段：初始的系統可行性研究，以獲得系統相關瓶頸與系統需求性。
- 第二階段：因應系統問題，決定採用何種補償設備(如SVC、STATCOM等)，並決定裝置位置和裝置容量。
- 第三階段：設備規範的訂定。
- 第四階段：製造廠商對補償設備的設計與驗證研究。
- 第五階段：設備實際應用系統之系統操作及後續檢討。

規劃設計施工運轉流程如下圖：



A. 第一階段(PLANNING 1): 為可行性研究階段, 主要考量如下:

- 明確瞭解電力系統的特性
- 瞭解系統所欲改善的問題
  - .暫態穩定度問題
  - .小訊號穩定度問題
  - .穩態電壓不符合準則問題
  - .電壓崩潰問題
  - .輸電線路熱容量問題
- 釐清輸電系統限制條件, 那些問題可被獨立檢討, 那些問題需相互分析檢討
- 決定採用何種補償設備(並聯或串聯、快速或慢速反應設備)

B. 第二階段(PLANNING 2): 設備型式需要性研究, 主要考量如下:

- 評估經濟效益及系統可靠度
  - .設備裝置位置與容量

- .最經濟的改善方式
- .損失評估
- .設備的可靠度
- .是否會與其他設備產生相互影響
- .檢討工具與設備模型
- .電力潮流程式
- .穩定度程式
- .系統模型(電力潮流、穩定度及控制模型)

C.第三階段(PERFORMANCE)：設備規範研究，主要考量如下：

-定義詳細技術功能規範

此部分主要準備SVC詳細規範需求，以滿足系統需求。一般需藉由廠商、顧問與業主間相互合作，而訂定出較符合規範需求。一般所需訂定項目如下：

- .確認SVC的裝置容量及電壓等級
- .SVC操作損失的估算
- .諧波抑制的需求

-IEEE STD 1031-2000，「IEEE GUIDE FOR THE FUNCTIONAL SPECIFICATION OF TRANSMISSION STATIC VAR COMPENSATORS」提供相關SVC規範說明。

D.第四階段(DESIGN)：產品製造與裝設，主要考量如下：

-主要驗證規範所描述的性能能符合業主所要求功能。

-製造商需完整詳細設計SVC設備，包括：

- .控制架構與保護設備
- .絕緣協調
- .電力電子種類、耐壓、切換損失
- .濾波器
- .高、低電壓之其他設備

E.第五階段(OPERATIONAL)：運轉與維護，主要考量如下

- 確認網路電力潮流條件在所控制限制範圍內。
- 確認裝置的設備可有效增加網路穩態與動態性能。
- 建立完整操作步驟及量測方法，以瞭解系統在故障測試或真實故障發生時之動態性能。
- 確保沒有與系統其他設備產生任何相互作用 (INTERACTIONS)。
- 評估設備的可靠度即可用度。
- 建立運轉損失評估步驟。

### (3)其他功能規範標準

有關電力系統相關設備之規範需求，IEEE與IEC內已提供相關標準規範說明，除有關SVC之IEEE 1031-2000 規範外，另尚有相關電容器、電感器、變電所設計、接地設計、諧波及相關電力電子元件之規範，如下表所示，可供未來設計參考。

## IEEE 相關規範

1. IEEE STD 18-2002, IEEE STANDARD FOR SHUNT POWER CAPACITORS (ANSI).
2. IEEE STD 80-2000, IEEE GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING (ANSI).
3. IEEE 100-2000, THE AUTHORITATIVE DICTIONARY OF IEEE STANDARDS TERMS (ANSI).
4. IEEE STD 519-1992, IEEE RECOMMENDED PRACTICES AND REQUIREMENTS FOR HARMONIC CONTROL IN ELECTRIC POWER SYSTEMS (ANSI).
5. IEEE STD 693-2005, IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR SEISMIC DESIGN OF SUBSTATIONS (ANSI).
6. IEEE STD 1031-2000, IEEE GUIDE FOR THE FUNCTIONAL SPECIFICATION OF TRANSMISSION STATIC VAR COMPENSATORS (ANSI).
7. IEEE STD C37.20.3-2001, IEEE STANDARD FOR METAL-ENCLOSED INTERRUPTER SWITCHGEAR (ANSI)
8. IEEE STD C57.21-1990, IEEE STANDARD REQUIREMENTS, TERMINOLOGY AND TEST CODE FOR SHUNT REACTORS RATED OVER 500 KVA (ANSI).
9. IEEE STD 857-1996 IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR TEST PROCEDURES FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT-CURRENT THYRISTOR VALVES.
10. IEC 60700-1 THYRISTOR VALVES FOR HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION - PART 1: ELECTRICAL TESTING.
11. IEC 61954 POWER ELECTRONICS FOR ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEMS - TESTING OF THYRISTOR VALVES FOR STATIC VAR COMPENSATORS.

## 5. IEEE 論文應用於台電東部系統無效電力補償之檢討

東部地區由於地形狹長，輸電線距離長且負載分佈不均勻，電力潮流常隨系統運轉情況不同而改變流向，電壓也因此而容易變動，造成東部系統具有兩個極端性之電壓偏低與偏高問題。以 96 年東部地區尖載約 525MW 為例，其中負載主要集中在花蓮地區約 345MW(佔 65%)，台東地區負載約為 180MW(佔 35%)。東部地區水力機組之總淨尖峰能力雖約佔東部負載 30%，但因水源關係可靠淨尖峰能力僅能考慮花蓮地區 69KV 水力機組供應約 80MW 約佔東部地區負載之 15.2%。顯示東部地區電力供應不足，需藉由東西超高壓線(明潭、大觀~鳳林 345KV 二回線)提供大部分電力(96 年尖峰時約提供 362.4MW 負載)，少部分則由大鵬~楓港~大武~台東 161KV 二回線輸送供應(96 年尖峰約提供 82.8MW)。

當東部系統在尖峰負載時若發生大觀二廠~鳳林及明潭~鳳林 345KV 兩回線事故停用，東部地區負載則必須由大鵬 E/S 利用大鵬~楓港~大武~台東 161KV 輸電路長距離輸送至該地區供使用，因輸電線距離長潮流重將導致東部地區系統電壓無法維持而有崩潰之虞。解決此問題的方法就是必需再興建新線路或新建新電源，以供應東部地區電力需求，降低無效電力需要量，否則須沿線路各變電所裝設無效電力補償設備，提供電壓支撐，以維持電壓穩定。

依據本次參加 IEEE 年會發表之論文「DYNAMIC, DISTRIBUTION VARS IN TRANSMISSION SYSTEM PLANNING」中提到輸電系統規劃的新概念：輸電線路上的電壓補償可完全由配電側的補償裝置來

供應。它是可實行的並具有經濟上的理由，是值得作為電力系統規劃上的另一選擇。

在此論文的參考文獻[2-7]中，已經研究證明出配電端的無效補償能夠幫忙解決底下幾個問題：

- (1) 電壓崩潰
- (2) 風力廠的電壓控制
- (3) 減緩馬達啟動的電壓驟降
- (4) 有效、無效功率的改善
- (5) 增加電網的傳輸容量

目前已發展出可以直接耦合在配電端，而不需要經由升壓變壓器的補償裝置，其中 SVC 可直接裝到 36KV 而 STATCOM 則可直接裝到 20KV。此論文的目的是，引起輸電系統規劃者注意到配電部分在提供輸電線電壓補償的方面是可行性的。這樣創新的概念可以帶來底下幾個優點：

- (1) 減少電壓不穩定。
- (2) 增加傳輸線的傳輸容量。
- (3) 使用低壓無效電力補償器費用較低的。

目前台電於第七輸變電計畫中，已規劃民國 100 年於鳳林 161kV 裝置 $\pm 100\text{MVAR}$  乙組，民國 101 年於台東 161kV 裝置 $\pm 200\text{MVAR}$  乙組，以補償南電東送 161kV 線路之無效電力損失。因此，我們考慮將此總裝置容量 $\pm 300\text{MVAR}$  分散至東部地區各個 D/S 作為比較，模擬 CASE 一共有 $\pm 25\text{MVAR}$  12 組的補償裝

置分別裝至勝安、壽豐、玉里、豐濱、東成、池上、鹿野、知本、馬蘭、豐里、太麻、大武的 23.9KV 配電側。下表為 99 年尖峰負載無任何事故下之比較表：

N-0	161KV BUS 電壓 (P.U.)		
BUS 名稱	未加裝補償器	加裝在 E/S、P/S	加裝在 D/S
鳳林 (3001)	1.0130	0.9800	0.9812
台東 (3971)	1.0725	0.9800	0.9761
花蓮 (3951)	1.0125	0.9698	0.9663
勝安 (7011)	1.0124	0.9696	0.9661
壽豐 (7031)	1.0163	0.9742	0.9713
玉里 (7019)	1.0512	0.9915	0.9791
豐濱 (7017)	1.0576	0.9978	0.9854
東成 (7005)	1.0623	0.9888	0.9716
池上 (7013)	1.0637	0.9900	0.9741
鹿野 (7023)	1.0709	0.9840	0.9745
知本 (7001)	1.0692	0.9850	0.9769
馬蘭 (7029)	1.0728	0.9800	0.9745
豐里 (7021)	1.0729	0.9801	0.9748
太麻 (7025)	1.0645	0.9905	0.9802
大武 (7003)	1.0490	0.9978	0.9866

由表中可得知，同樣的總裝置容量集中裝置在 E/S、P/S 和分散裝置在 D/S 上，都能夠有不錯的補償效果，符合論文的研究結果。惟發生 N-2 事故時(大觀二廠~鳳林及明潭~鳳林 345kV 兩回線事故停用)，東部地區負載必須由大鵬 E/S 利用大鵬~楓港~大武~台東 161kV 輸電路長距離輸送至該地區供使用，導致東部地



區系統電壓無法維持而有崩潰之虞。模擬結果顯示，加裝在配電端的補償裝置並無法提供足夠的無效電力來支撐東部電壓，均低於 0.9P.U.不符合規劃準則，比較原七輸計劃的裝置方式，仍可維持電壓於 0.95P.U.之上(最低電壓於大武 D/S 0.9537P.U.)。

## (二)風機模型與控制(WIND GENERATOR MODELING AND CONTROLS)

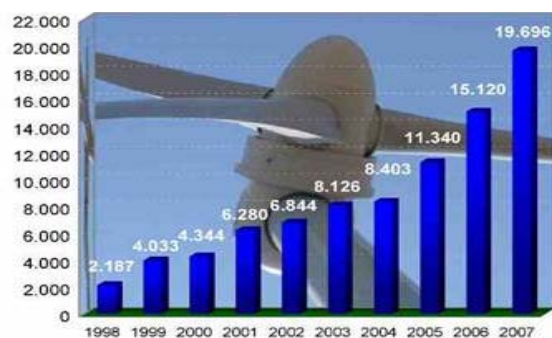
### 1.前言

台灣地區自產能源貧乏，絕大部份的能源消費（98%以上）均須仰賴進口，積極開發本土新能源，即再生能源，乃成為攸關國家發展的重要課題。加上「京都議定書」生效後，使得開發自產且綠色能源的重要性更形彰顯。再生能源種類繁多，而風力發電之發展技術已達成熟階段，其發電成本已下探到可與傳統燃油發電成本相抗衡，因此，風力發電已成為世界各國爭相發展之標的。

由於風力發電屬一種不穩定電源，其電氣特性恐與傳統水、火力發電不同，其匯入電網之電力品質亦與傳統水、火力機組之要求殊異，且風力發電機已有朝量大容量化發展之趨勢。因此，本報告係參考 IEEE 講授課程內容就風力發電的發展、風機之特性及功能、風場之等效模擬及 PSS/E 風機模型，並對風力發電之發展所衍生之相關問題，如 LOW VOLTAGE RIDE-THROUGH(LVRT)的規定等為重要課題進行說明。

### 2.世界風力發電發展情形

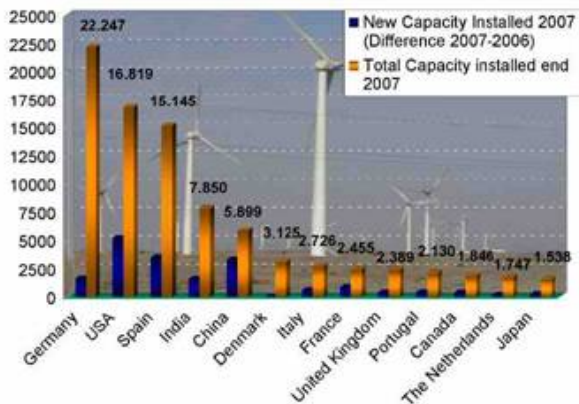
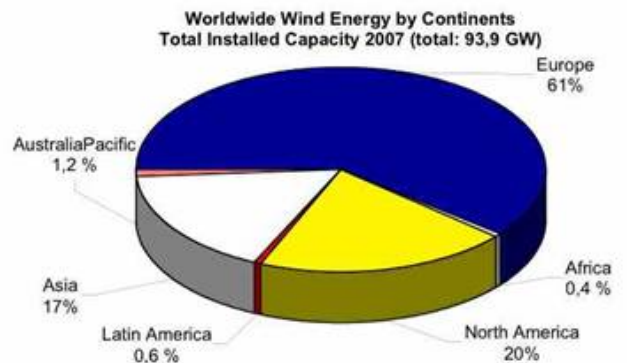
依據世界風能協會（WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION, WWEA）之統計資料，迄 2007 年底，全球風力發電裝置容量已達 93,849MW。其中於 2005 年安裝 11,340MW、2006 年安裝 15,120MW、2007 年安裝 19,696MW。迄 2007 年世界風力發電總裝置容量累計如右圖。



WWEA 同時預估於 2008 年底風力發電機安裝容量將達 115GW，於 2010 年全球風力發電機運轉容量將達 170GMW，至 2007 年世界風力發電各年增加之裝置容量如左圖。

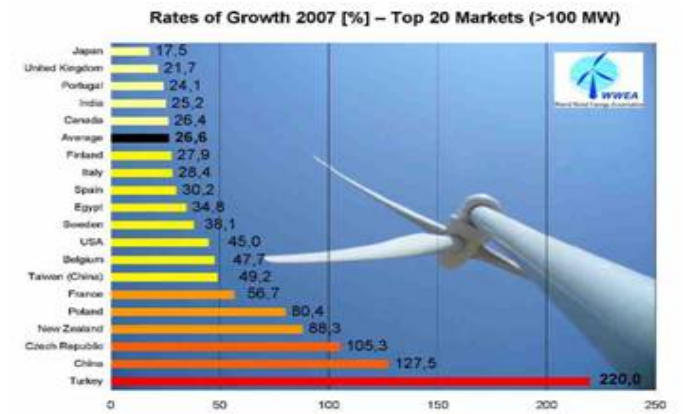


2007 年底歐洲裝置容量約佔全球之 61%，如右圖。以德國裝置容量為 22,247MW、西班牙裝置容量為 15,145MW，分佔全球之第 1、3 名。美洲裝置



容量佔全球之 20%，以美國裝置容量為 16,819MW，佔全球之第 2 名。亞洲裝置容量佔全球之 17%，以印度及中國裝置容量分別為 7,850MW、5,8990MW，分佔全球之第 4、5 名如左圖。

2007 年以美國的風力發電裝置容量增加最多，土耳其之風力發電成長率最高，詳如右圖



及下表所示。

表迄 2007 年全球裝置容量前 10 名之國家

RANKING TOTAL 2007	COUNTRY	TOTAL CAPACITY INSTALLED END 2007	ADDITIONAL CAPACITY 2007 (DIFFERENCE 2007-2006)	RATE OF GROWTH 2007	RANKIN G TOTAL 2006	TOTAL CAPACITY INSTALLED END 2006	TOTAL CAPACITY INSTALLED END 2005
		[MW]	[MW]	[%]		[MW]	[MW]
1	GERMANY	22.247,4	1625,4	7,9	1	20.622,0	18.427,5
2	USA	16.818,8	5215,8	45,0	3	11.603,0	9.149,0
3	SPAIN	15.145,1	3515,1	30,2	2	11.630,0	10.027,9
4	INDIA	7.850,0	1580,0	25,2	4	6.270,0	4.430,0
5	CHINA	5.899,0	3300,0	127,0	6	2.599,0	1.266,0
6	DENMARK	3.125,0	-11,0	-0,4	5	3.136,0	3.128,0
7	ITALY	2.726,1	602,7	28,4	7	2.123,4	1.718,3
8	FRANCE	2.455,0	888,0	56,7	10	1.567,0	757,2
9	UNITED KINGDOM	2.389,0	426,2	21,7	8	1.962,9	1.353,0
10	PORTUGAL	2.130,0	414,0	24,1	9	1.716,0	1.022,0

### 3.風力發電機之特性及各部功能簡介

#### (1)風機之特性

##### A.裝置容量小

目前風力發電最大原型機約為 5MW，相較於動輒 1,000MW 級之傳統水、火力或核能機組之裝置容量，風力發電單機容量仍小許多。

##### B.不確定性高

傳統石化、核能燃料或水力之發電機組之能量來源為固定

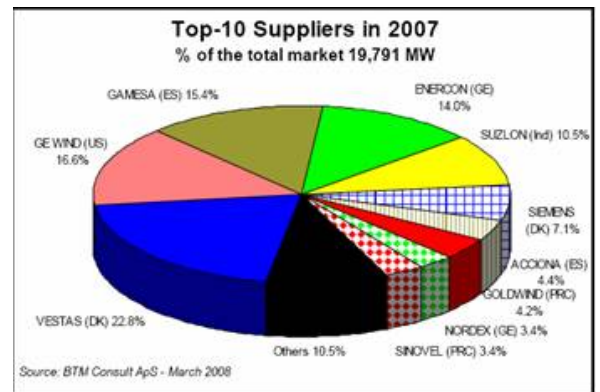
出力、具可控制性及可預測性，風力發電機組之能量來源為「風」，其風速與週期不確定性高。

### C. 電氣特性不同

傳統機組為同步發電機，具勵磁設備，可控制功率因數及電壓，風力發電機多為感應發電機（如 VESTAS、NODEX、NEG~MICON、GAMESA），無勵磁設備，起動時需消耗無效電力。若為同步發電機（ENERCON、三菱、ZEPHYROS）則需配合增加換流設備。

### (2) 風力發電機各部功能簡介

風力發電在國外已商業運轉相當長的時間，目前主要的風機廠家為 VESTAS、GE 及 GAMESA 市占率分別為 22.8%、16.6%及 15.4%，如圖右所示。



風力發電系統包括風力發電機、輸變電系統及監控系統所組成，而風力發電機主要由下列組件構成，部件名稱及功能說明如下：

A. 葉片轉子：受氣動作用，繞軸旋轉，將風能變為機械能。

B. 增速裝置：傳統的設計主要是利用增速齒輪箱提昇葉輪的低轉速，以達到發電機所需的轉速；惟為減少經由增速齒輪箱所影響的發電效率，目前已有新型的變轉速無

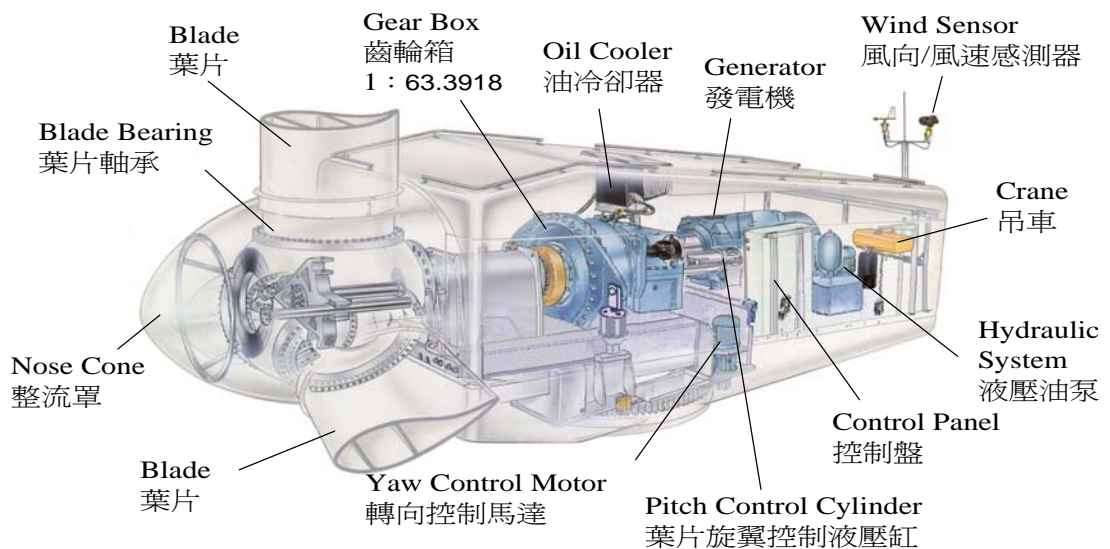
齒輪箱之風力機發電機組。

C.發電機：將機械能（由風力帶動）轉成電能。發電機轉子利用其繞線控制電流產生強弱磁場，合併風速、葉片角度、煞車及轉子勵磁電流等控制因素，提高風力機效率與穩定轉動。採用感應式或同步式發電機，三相 60 赫，電壓約 690V，H 級繞組絕緣等級。

D.控制系統：包括阻止風力機超轉速的調速控制，自動迎風轉向的方向控制(YAW SYSTEM)，以及確保風力機安全運轉之安全控制等。

E.塔架：用來支撐風力機，並使風力機的迴轉中心有一定的高度。

F.機艙 (NACELLE)：保護風力機的傳動發電機構與部份機電控制系統。包含底座、平台及機艙罩，其內部構造如下圖所示。



#### 4.大型風場系統檢討

本章節主要討論風力發電之發展所衍生之相關問題，如 LOW

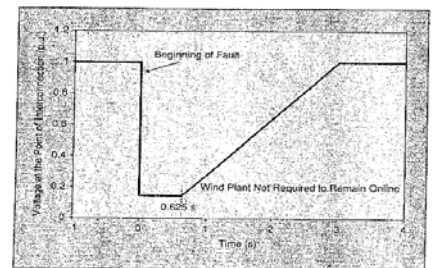


VOLTAGE RIDE-THROUGH(VRT)的規定，風場模擬如何等效及 PSS/E 風機模型簡介。

### (1)VOLTAGE RIDE-THROUGH 規定簡介

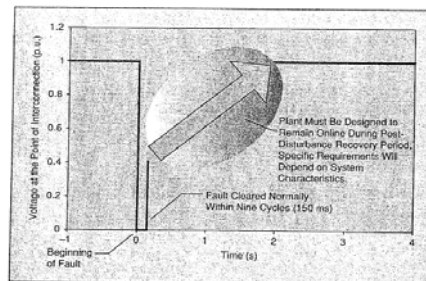
舊型的風力發電機大都為感應發電機，會從系統吸收無效電力而導致電壓偏低之情形，FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION(FERC)之 FERC 661 及 FERC 661A 要求風機需有維持系統電壓的能力並將功率因素控制在 $\pm 0.95$ 範圍。

FERC 規定風力發電機組在系統故障時須有一定的電壓降忍受能力，以避免系統發生故障時，風力發電機又跳脫可能影響

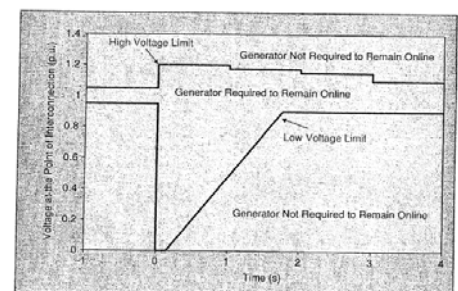


系統之穩定度，FERC 661 之規定如右上圖所示，其僅針對

風機設備制定短時間渡過低電壓 (LOW VOLTAGE RIDE-THROUGH)能力之規範，而 FERC 661A 則更加嚴格要求在系統發生三相接地故障電壓降

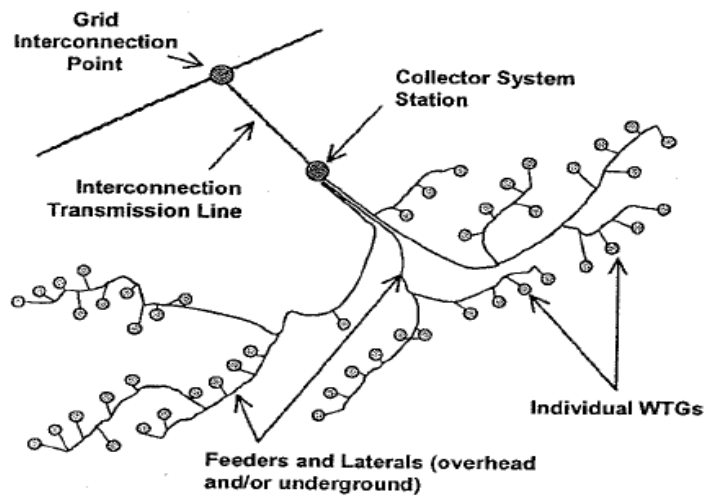


為 0 時須維持 9 週波，如左上圖所示。WESTERN ELECTRICITY COORDINATING COUNCIL(WECC)更規定高電壓忍受能力的規定，如右圖所示。



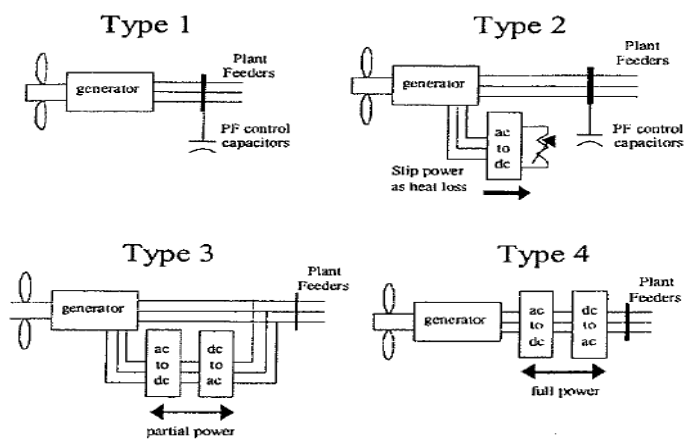
### (2)風場等效簡介

一個風場的設置是由許多獨立的風力發電機組所組成，目前風機的單機容量大都在 1MW 至 4MW 間，風機發電發出之端電壓約 600V，經風機本身之變壓器升壓至約 12~34.5KV，再由各饋線匯集(COLLECTOR SYSTEM)至變電站，經變壓器升壓再引接至電力系統中，如下圖所示，無



效電力補償部份，一般各別風機本身裝設有裝置電容器補償，另變電站可設置 STATCOM 或 STATIC VAR SYSTEM(SVS)補償，無效電力的補償則主要考量併接點系統的情形，電壓的調整、電力損失等因素。

風力發電機可分為四種基本的類型，如下圖所示：





TYPE1：鼠籠式感應發電機，定轉速，構造最簡單。

TYPE2：WOUND-ROTOR 感應發電機，有轉子電阻可調整。

TYPE3：雙饋式應發電機，可變速，轉子側有 CONVERTER。

TYPE4：直接傳動同步發電機，可變速，FULL-POWER CONVERTER。

TYPE1 和 TYPE2 風機會由系統吸收無電力，需加裝補償設

備；TYPE3 和

TYPE4 風機可控

制吸收或提供無

效電力。風場之無

效電力補償需考

量，電壓控制、功

率因素控制、無效

電力控制及補償

設備(SC、SVC、

DVAR

、

STATCOM 等)。

另感應發電機、雙

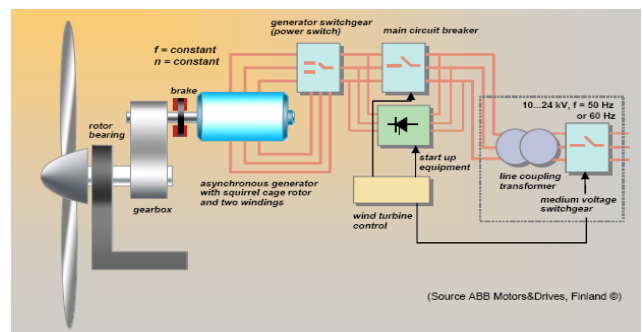
饋式應發電機及

同步發電機之結

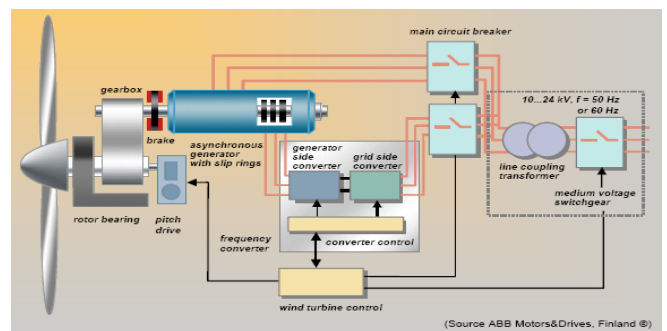
構示意圖個如下

圖(A)、(B)、(C)所

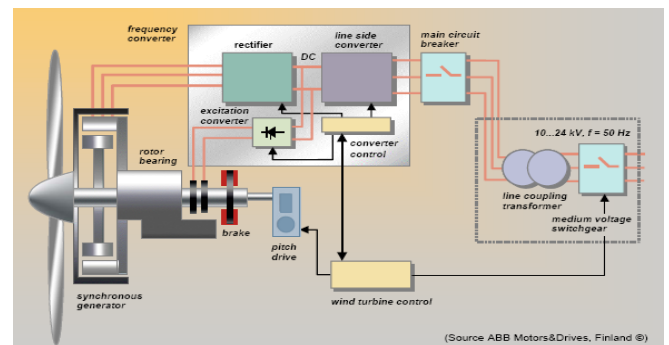
示。



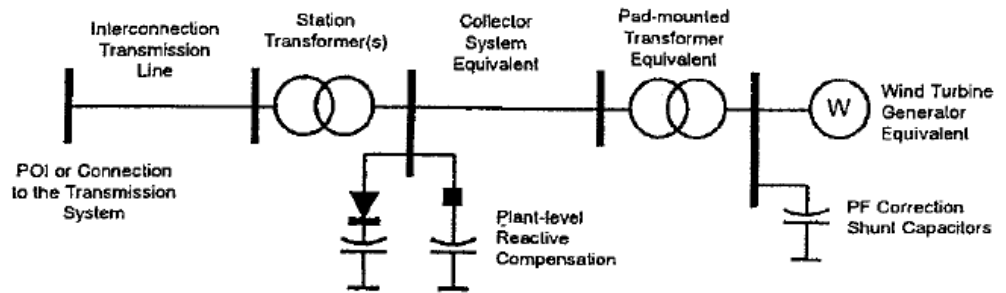
(a)



(b)



(c)



風場之單機等效表示如上圖所示，包括三個部份：風機及電容等效表示整個風場的有效及無效功率，風機本身升壓變壓器等效及各收集饋線(COLLECTOR SYSTEM)的等效。

風機等效須考量整個風場的發電量及無效電力補償量。饋線的等效，需考量線損及電壓降等問題。典型變壓器的正序阻抗值約 7~%，X/R 比值約 40~50。

風場的無效電力補償一般會在升壓變電站裝設補償設備如 STATCOM 或 SVS，其無效電力補償有三種控制方式：閉迴路電壓控制、功率因素控制及無效電力控制。

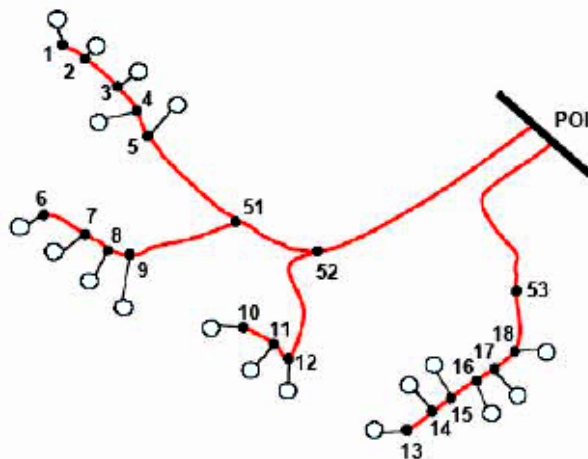
收集饋線的等效，收集饋線設計時需考量成本、線路損率失及電壓，典型設計平均損失低於 2%，即使在風機滿載輸出線損也維持在 3~5%。

國際再生能源實驗室(NREL)以下列公式作等效計算：

$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^I Z_i n_i^2}{N^2},$$

$$B_{eq} = \sum_{i=1}^I B_i,$$

其中，I 是收集系統的饋線數，N 是風機總數，以下圖例子作計算可得下表結果：



From	To	R	X	B	n	$Rn^2$	$Xn^2$
1	2	0.0035	0.0263	0.0000	1	0.0035	0.0263
2	3	0.0018	0.0254	0.0013	2	0.0071	0.1015
3	4	0.0080	0.0226	0.0008	3	0.0722	0.2030
4	5	0.0023	0.0193	0.0005	4	0.0364	0.3080
5	51	0.0074	0.0248	0.0000	5	0.1861	0.6200
6	7	0.0031	0.0171	0.0014	1	0.0031	0.0171
7	8	0.0061	0.0143	0.0015	2	0.0244	0.0572
8	9	0.0069	0.0107	0.0004	3	0.0617	0.0965
9	51	0.0070	0.0033	0.0004	4	0.1113	0.0525
10	11	0.0078	0.0371	0.0003	1	0.0078	0.0371
11	12	0.0001	0.0005	0.0004	2	0.0005	0.0021
12	52	0.0083	0.0259	0.0004	3	0.0747	0.2330
13	14	0.0049	0.0349	0.0004	1	0.0049	0.0349
14	15	0.0041	0.0483	0.0008	2	0.0163	0.1931
15	16	0.0059	0.0116	0.0002	3	0.0528	0.1040
16	17	0.0079	0.0002	0.0003	4	0.1262	0.0029
17	18	0.0089	0.0146	0.0007	5	0.2224	0.3656
18	53	0.0018	0.0342	0.0008	6	0.0664	1.2302
51	52	0.0074	0.0034	0.0011	9	0.5957	0.2778
52	POI	0.0049	0.0456	0.0002	12	0.7102	6.5633
53	POI	0.0003	0.0338	0.0012	6	0.0125	1.2177
				<b>0.0132</b>			
					<b>2.3962</b>	<b>11.7438</b>	
					<b>0.0074</b>	<b>0.0362</b>	

$\text{Sum} = B_{EQ}$        $R_{EQ}$        $X_{EQ}$

風機及風機升壓變壓器等效，可由下式計算：

$$Z_{Teq} = Z_T,$$

$$MVA_{Teq} = N \times MVA_T$$

其中， $Z_T$  及  $MVA_T$  表示單部風機之數值， $N$  是風機總數，

ZTEQ 及 MVATEQ 表示等效後之數值。

風機之發電量等效需視檢討的目的而定，除考量整個風場滿載發電之情形外，亦可視各風場不同季節之風況，其風場之發電量亦有不同，舉例如下表所示。

<b>Season</b>	<b>Time Frame</b>	<b>Seasonal Capacity Factor Range</b>
<b>Summer</b>	<b>On-peak load</b>	<b>5-20%</b>
	<b>Off-peak load</b>	<b>30-60%</b>
<b>Spring/ Fall</b>	<b>On-peak load</b>	<b>20-40%</b>
	<b>Off-peak load</b>	<b>60-80%</b>

無效電力等效部份，如風機 TYPE1 和 TYPE2 為感應發電機，在風機出力為 50%~100%之間時，沒有補償之功因約 0.85~0.9，需加裝補償設備至滿足系統要求；TYPE3 和 TYPE4 風機可控制吸收或提供無效電力，並參與併接點電壓的控制，如當功因超出 $\pm 0.95$  時風機即自動調整無效電力補償。

### (3) PSS/E 風機模型簡介

風機模擬的模型可分為兩類，規劃模型及工程設計模型。規劃模型採正序模擬，例如：GE 的 PSLF/PSDS 及 PTI 的 PSS/E 程式，為一簡化近似且可接受的模擬方式。工程設計模型採三相模擬，例如：PSCAD、EMTP 及 MATLAB/SIMULINK 程式，為較詳細之模擬。

PSS/E 29 及 30 版提供四種風力機組型式，可經由 IPLAN 程式將風機所需之各項資料讀入系統內進行模擬，其中有

關模擬風場所需建立之風機數量、引接之匯流排資料、採用之風機型式、風場之風速及風機之頻率、電壓保護等參數皆可由使用者自行設定。

以 GE 1.5 之風機為例，其包括下列 8 大模型，風機之控制系統方塊圖，如下圖所示。其中

DFIGP：雙繞組感應發電機模型(DOUBLY-FED INDUCTION GENERATOR MODEL)

CGECN：轉子控制模型(ACTIVE ROTOR CONTROL MODEL)  
TGPTCH：葉片旋角控制模型(PITCH ANGLE CONTROL MODEL)

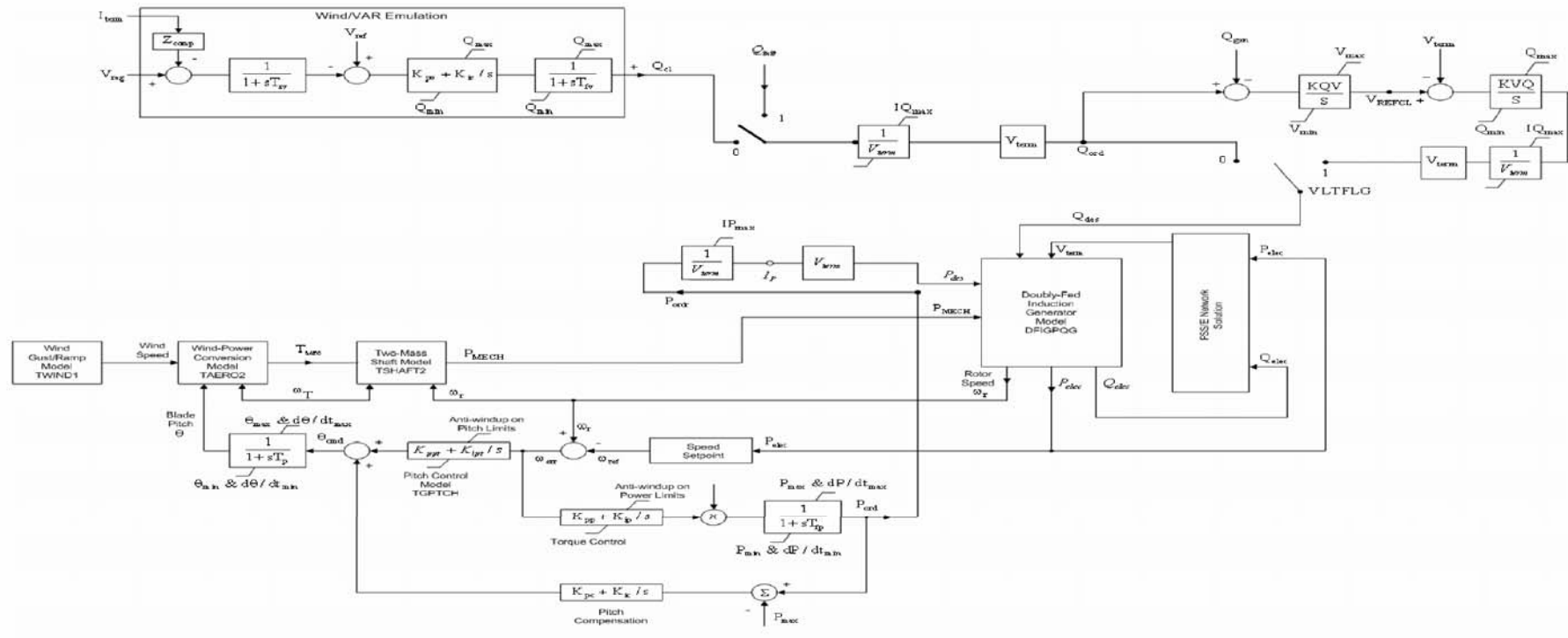
TWIND：風速模型(WIND GUSTS AND RAMPS)

TSHAFT：雙軸模型(2-MASS SHAFT MODEL TO REPRESENT THE EFFECTS OF THE ROTOR/HUB CONNECTED VIA A 'FLEXIBLE' SHAFT TO THE GENERATOR)

GEAERO：空氣動力能量轉換(AERODYNAMIC MODEL WHICH CALCULATES THE AERODYNAMIC TORQUE APPLIED TO THE ROTOR TAKING INTO ACCOUNT WIND SPEED)

FRQTRP：頻率上下限之電驛設定(UNDER/OVER FREQUENCY GENERATOR TRIPPING RELAY)

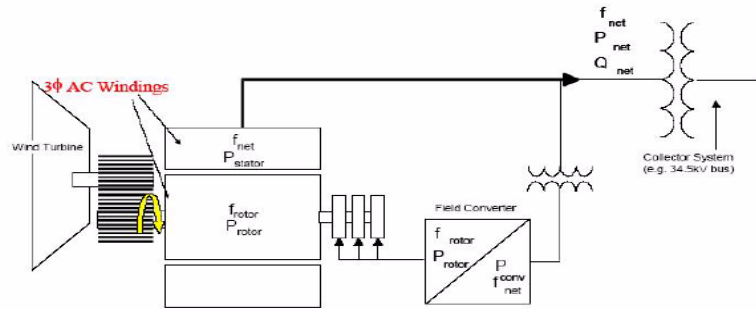
VTGTRP：電壓上下限之電驛設定(UNDER/OVER VOLTAGE GENERATOR TRIPPING RELAY)



GE Wind Turbine Controls

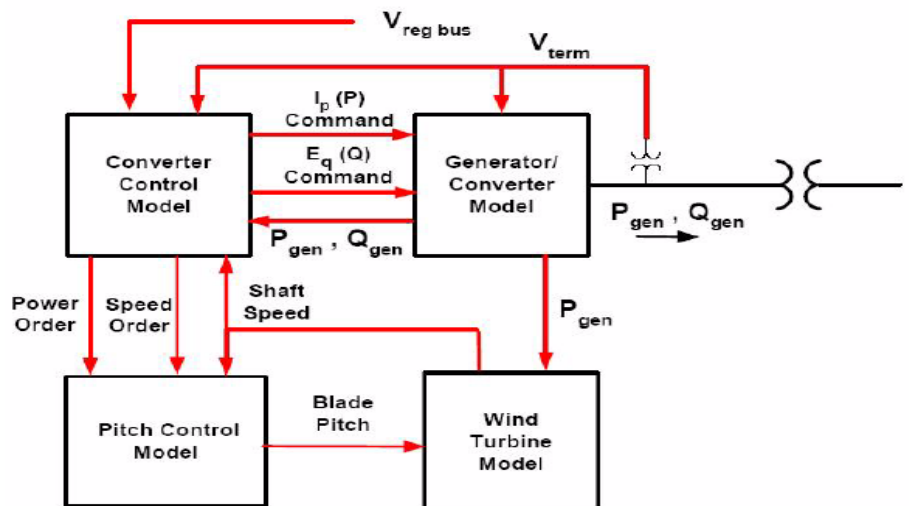
GE 1.5 控制方塊圖

PSS/E 31 版則提供 TYPE3 雙饋式應發電機 (DFIG) GENERIC WT3 WIND MODEL 作系統模擬使用，可應用在各不同廠家之雙饋式應發電機，為一較簡化之模型，不用像之前不同型式之風機皆有不同之模型如下圖所示。



雙饋式應發電機示意圖

GENERIC WT3 WIND MODEL 由 WT3G : GENERATOR/CONVERTER MODULE, WT3E : ELECTRICAL CONTROL MODULE, WT3T : MECHANICAL CONTROL(WIND TURBINE) MODULE, WT3P : PITCH CONTROL MODULE 四部份組成，如下圖所示。各模組之方塊圖及所需參數可進一步參考 PSS/E 31 版使用手冊，本報告不加詳述，但其仍需有各廠家提供風機之參數始可進行系統模擬。



## 5. 結論及建議

在目前油價高漲的時代下，風力發電之價格更具競爭力，因此可預見未來幾年風力發電仍為熱門產業，世界各國均大力發展風力發電，惟在大量風力發電加入電力系統後亦將衍生相關問題，就本報告之研討及目前台灣風力發電之情形提出下列結論及建議：

- (1) 目前國內之風機皆無 LOW VOLTAGE RIDE-THROUGH 之功能，然未來機組若連接於 69kV 以上系統，應要求需具有 LOW VOLTAGE RIDE-THROUGH 之功能，以減少對系統衝擊。
- (2) PSS/E 之風機模型仍在發展階段，31 版所提供之風機模型仍需有各廠家提供之風機參數始可進行系統模擬，但取得廠家之風機之參數並不容易，建議可採國外的作法在風廠建置前即要求廠家提供風機模型以進行系統模擬，或直接委由廠家及第三者進行系統模擬提出系統衝擊報告。
- (3) 風力發電為近幾年大量發展之新興能源，未來如設置大型風場，對風場之系統檢討方式及風場可能影響區域之電力品質，如穩態電壓變動過大、電壓閃爍及諧波污染等，仍需參酌或引進國外之評估方式及因應改善對策，作更深入探討。



## 伍、參訪德州大學阿靈頓分校（UTA）紀要

前往德州大學阿靈頓分校首先拜訪該校能源研究中心主任李偉仁教授，討論有關電網規劃相關議題，尤其針對智慧型微電網之展望作較深入討論；並赴ERCOT了解2008年2月26日風力機組無風無法如預測發電對系統之衝擊與因應對策及配合風力發展之電力系統規劃等，茲就主要心得敘述如下：

### 一、智慧型微電網(SMART MICROGRID)之展望

#### (一)概述

現在的電力系統基本上架構在於一個大而集中的發電系統，較難於隨負載變化而適時、適當調整。另外，配合數位時代的來臨，需要有更可靠的電力供應。微電網(MICROGRID)係指電網中可以自行獨立控制的小部分電網，包含自己的電力來源、能源儲存裝置及負載。相對於完整系統電網路，微電網可以達到改善區域可靠性和提高效率，還有提供不間斷電源供應的功能。這些特點使微電網為基礎的電力系統，特別適合應用需要高度可靠的電力供應。微電網應用可以避免傳統電力系統配置單點故障，提升電網的可靠性及自然災害期間與之後緊急情況下運轉可用性。

在分散式發電市場正發展當中，微電網提供了分散式電源與用電客戶一個絕好的機會。微電網是為小規模的能源供應和傳輸系統的運作而設計，完全獨立於大型電網或其它平行的微電網，微電網系統內甚至可設計成利用熱能自行發電自己使用。電力透過微電網傳輸至個別用戶使用，以滿足多元化的用電需求包含基載、電熱的聯產和尖載的調整等。因此，有微電網下列效益值得去發展：

## 1.成本效益(COST BENEFIT)

現在建置微電網有一個相對大電力系統較低的初始成本；與公用電力事業相較，更有效率服務用戶，用戶不需再準備後備發電機和 UPS 系統，因而提供較低廉電價。另外，在微電網產生的熱能可以免費提供給通信中心、衛生保健設施、健身俱樂部、金融機構和其他高科技企業等客戶暖氣或冷卻使用。

## 2.新收入來源(NEW REVENUE SOURCE)

微電網產生的過剩電力可以躉售到大電網，可以為建設者於工程完成後不久即創造一個持續的收入。

## 3.增值(ADDED VALUE)

微電網有可能幫助客戶建立一個創新的聲譽和附加值，若為多個發電機組有較優頻率和電壓調節，系統設計也容許故障電流被孤立，與由大電網提供電力相較，更能為客戶提供更高的電力品質和可靠性。

## 4.無後顧之憂的運作(WORRY-FREE OPERATION)

微電網推廣將造成一個虛擬的公用事業，將藉由分散型電源提供用戶無憂、自主及減輕責任的用電環境。

### (二)智慧型微電網之特徵

微電網受重視的關鍵特徵為電力電子的應用及控制技術，及允許微電網以一個半獨立(SEMIAUTONOMOUS)的電力系統輸送電力。微電網

電力電子關鍵的特徵如下：

### 1.新發電技術與低的環境衝擊相互密合的技術

- 它是能夠支援各種不同複雜電網的能源技術。
- 它將使當地完全整合分散電源例如燃料電池、光電、風力、熱和電混合系統或者其他新電源傳統集中式發電模式。

### 2.建築和通訊標準

- 現有系統建築架構和設備，均需具有互控性(INTEROPERABILITY)和自我治療(SELF-HEALING)的能力，避免系統事故擴大，達到穩定供電目的。

### 3.先進技術和操作的概念

- 併聯新技術、先進變電所和設備、智慧型電力設備(IED)及進步的系統操作概念(如獨立運轉，微電網等)

### 4.監控和負載管理

- 結合通信、分析和控制技術之故障的檢測、預測和電力品質的監控。
- 工業、商業和民生用電之需求管理與監控。

### 5.模型與模擬

- 系統偶發或大干擾事件後系統之操作規劃包括與不同數據庫、系統重組、復電與電網運行最優化的整合等。

### (三)智慧型微電網之優點

新的發電技術、先進電力傳輸建築架構之發展必需配合21世紀的電力需求，為保障將來國家經濟生存能力和國家安全的關鍵。促成微電網的發展主因係利用他們可組成未來智慧型電網的一部分。故智慧型微電網的優點：

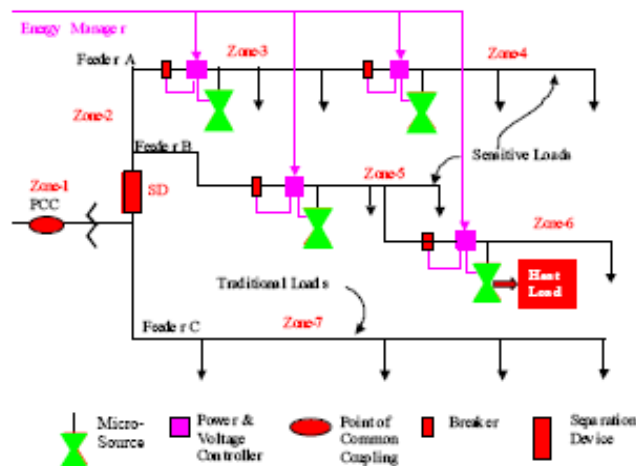
- 1.減少對大電網的衝擊。
- 2.充份使用再生能源。
- 3.減少進口的燃使用幫助在調節燃料市場的競爭。
- 4.充份利用綠色的能源，減少CO<sub>2</sub>氣體排放。
- 5.滿足資訊時代的電力品質要求。
- 6.幫助鄉村的電氣化：很多發展和第三世界國家需要鄉村的電氣化。
- 7.延遲傳輸線的建造或擴展。
- 8.繼續推廣電力管理充份使用當地資源。
- 9.創造新工作。

### (四)微電網的規劃與運轉

#### 1.微電網的架構與規劃

微電網系統係結合地區性分散型電源如風力(WIND POWER)、太陽光電(PHOTOVOLTAIC)、柴油或氣渦輪發電機(DIESEL OR GAS TURBINE)、燃料電池(FUEL CELL)、微渦輪發電機(MICOTURBINE)、

電能貯存裝置(ENERGY STORAGE)及熱電聯產設備等，以智慧型控制技術來供應當地負載。微電網的架構(MICROGRID STRUCTURE)是基於集中負載和微電源(MICROSOURCES)的操作像一個由電力和熱提供的單一系統。微電網主要操作係藉由電力電子提供靈活的控制操作，以確保系統操作控制。對大電力系統而言，微電網尤如單點控制系統，每個微電源可以簡單開或關以滿足當地用戶負載需求，包括增加的當地用電可靠性和安全度。微電網的主要架構包括電源與微電網間所有操作時間電壓控制、電力潮流、負載分配等的界面、控制和保護。無論是獨立操作或是與大系統操作，微電網都必需很平穩的過渡。



左圖為微電網的基本架構實例說明，電力系統有三個饋線A、B、C放射性引接和一集中負載。電源是微渦輪發電機(MICROTURBINES) 或

者燃料電池透過電力電子聯接於系統。責任分界點(PCC)在變壓器的一次側，區隔大電網與微電網，微電網必需依IEEE P1547標準滿足界面要求。饋線A及B的電源可以遠離共同饋線的匯流排，以減少線路損失、支援電壓或使用它的餘熱。饋線上採用多部電源配置，比在共同點採集中電源較容易控制電力潮流和饋線沿線的電壓。

上圖有2饋線A、B裝有微電源設備，另一饋線則沒有任何電源來說

明。在大電網的干擾期間若打開SD饋線A、B能夠獨立運轉設備使饋線A、B上的敏感負載使干擾減到最小。當然如果沒有足夠的當地發電機滿足敏感負載的需求，獨立運轉就沒有意義。

微電網最主要三個關鍵作用為：

(1)微電源(MICROSOURCE)控制器：

電力和電壓控制器結合微電源提供干擾和負載改變的快速反映，利用電力電子設備不需依賴通信系統。微電網基本操作主要係利用微電源之控制器來調整饋線之電力潮流、隨著負載改變每個微電源介面點之電壓，尤其當微電網獨立運轉時確保每個微電源能迅速負擔負載。另外，這些控制器要有由獨立運轉自動、平順的連接到大電網的能力。當系統發生事故時，控制器監測電壓電流的反應時間為以毫秒(MILLISECONDS)計，但不需要透過通訊系統，這樣的安排使微電源併入微電網時，僅需要作開或關，不需要去改變電網系統或機組保護。

(2)電能管理：

透過電力的調度和電壓的確定來提供運轉控制，這個時間的反應概以分計。這些功能可以藉由人工智慧 (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)以手動或通訊系統來控制。電力與電壓的調度取決於微電網的操作需要，其準則如下：

- 確保微電網內熱和電負載必要需求。
- 確保微電網操作滿足大電力網提供者的合約。
- 最少的CO<sub>2</sub>排放量和/或系統損失。

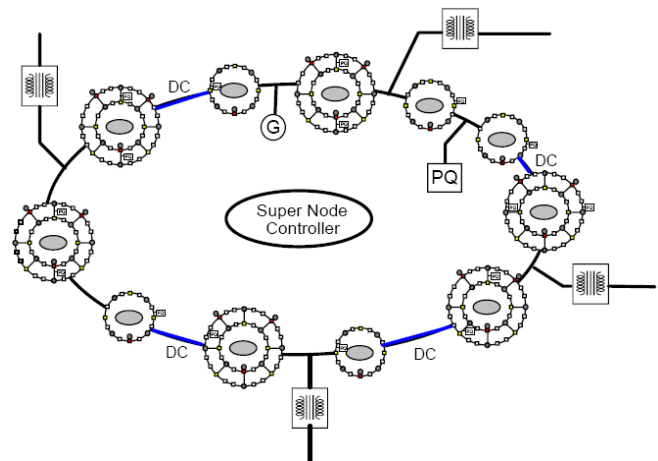
-最大的微電網操作效率。

### (3)保護：

微電源的保護係依據電力電子要求提供唯一解決功能。保護協調者必須對系統和微電網的故障作出迅速回應，尤其當大電網故障時，要能從大電網中迅速隔離微電網的部份關鍵性負載和保護這些負載，這些功能具有低成本不斷電設備供電相同的功能。另外，當微電網內部發生事故時，保護設備會隔離小部份系統來消除故障，像電壓驟降補償等系統狀況，有時會使用在一些關鍵負載上，與干擾系統隔離。

## 2.微電網與大電網之連接

因為微電網主要利用低電壓、餘熱的再利用及電力電子的靈活性，它實際使用容量可以限制在幾 MVA，(IEEE1547 草案標準 P 最大容量約 10 MVA)。但複雜大負載的電網而言，可能依據大樓或工業地點被區分成許多可



控制單位 每個控制單位可以被一個或數個微電網連接到配電系統供電如右上圖，甚至可以直接以直流連接供電。

微電網必需連接到大電網，但不需要有可靠度或保護系統方面的承諾，所有連接點都是一致的標準，故微電網仍是大電網中最好的客戶。微電網對於大電網最大的好處在於可以減少當系統停電

或負載發生大幅度變化時之系統擁塞及對於系統的威脅，甚至微電網能夠被設計為視同定阻抗負載、可調整負載或是可調度負載。另外，微電網能夠提供當地優質電力及輔助服務(ANCILLARY SERVICES)，如電壓控制等。

#### (五)結論與建議

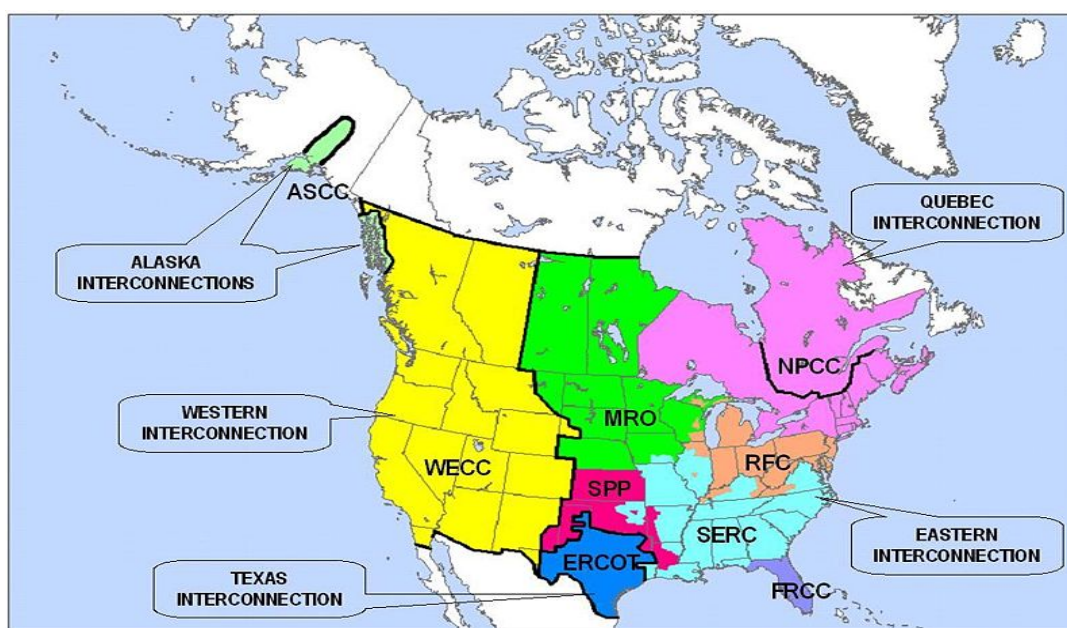
- 1.當今的老化電力傳輸系統，將不能滿足資訊時代的電力需要。
- 2.微電網將是智慧型電網組成的一部分。
- 3.微電網的可能的挑戰需要被為收集，並獲得充份的機會全力處理。
- 4.電力系有關電力電子介面、公共通信和監控系統做全面、先進及有深度的研究與發展是需要。
- 5.使用當地自然分散型電源有效地減少使對環境的衝擊。



## 二、風力發電在 ERCOT 之經驗

### (一)德克薩斯州電力可靠性委員會(ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL OF TEXAS(ERCOT)簡介

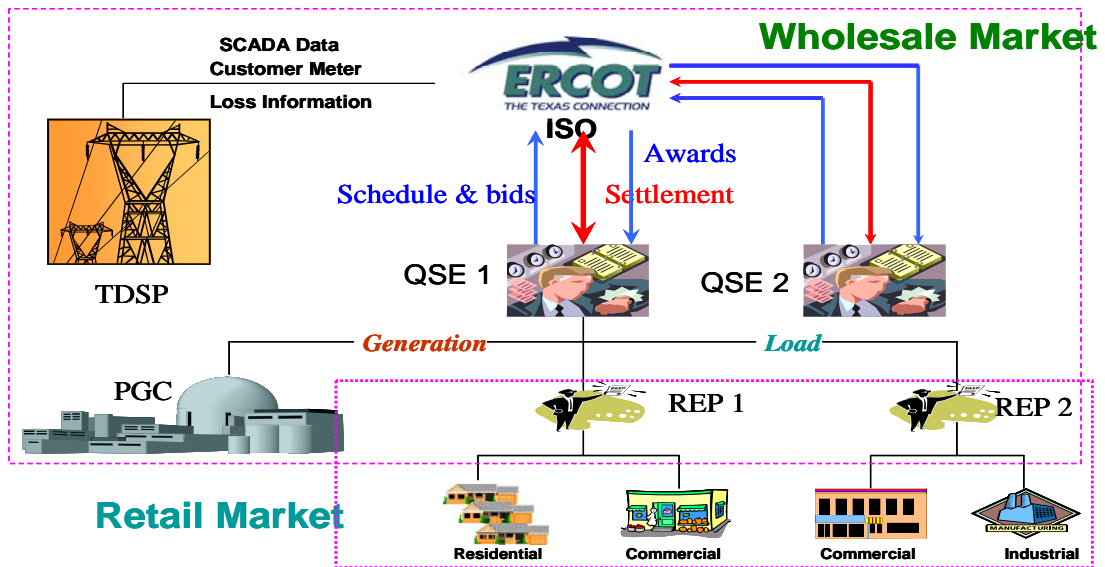
德克薩斯州電力可靠性委員會(ERCOT)成立於1970年，為全德州互聯電網調度運轉者。ERCOT最早成立於1941，在第二次世界大戰期間由幾電力公司聯合提供他們過剩發電量給海灣海岸工業區負載使用，以支援美國戰爭開始，逐漸擴展到現在規模。ERCOT在北美電力可靠性公司(NERC)組織下，為9個地區電力可靠性委員會之一如下圖。NERC和其他地區電力可靠性委員會是繼1965的東北大停



電後陸續之後成立。目前ERCOT的辦公室位於德州奧斯汀，幾乎掌管全德州高電壓輸送網和能源市場，全德州85%的負載均為ERCOT管理。目前，ERCOT服務監督地區發電量超過65,000MW和37,000英里輸電線，它是德州電力的管理者而不是電網的合作公用事業公司。德州的互聯電網是北美3個小交流電網之一(其他2個為魁北克互聯電網及阿拉斯加互聯電網。北美兩大互聯電網是東部的互聯網和

西部的互聯電網)。德州境內電網之頻率為60HZ，與外部電網係以兩高壓直流與東部系統連接、以一個高壓直流及一可變頻率變壓器(VFTs)與非NERC系統之墨西哥電網連接。

ERCOT掌管德州電力之規劃、調度與運轉，其與相關電力機構之關係如下圖：



7月28日藉由德州大學阿靈頓分校李教授的安排拜訪ERCOT，與相關人員商談德州電力系統之規劃與運轉等事情，並瞭解ERCOT近年來規劃、運轉實況，以吸收其運轉經驗。ERCOT風力發電之發展在美國更是首屈一指，藉由此次訪問ERCOT的機會，也了解2008.2.26風力事件系統之衝擊與對策，茲摘述如後：

## (二)2008.2.26 風力事件之衝擊與對策

### 1.前言

2008.2.26 ERCOT實行緊急電力銷減計畫(EMERGENCY ELECTRIC CURTAILMENT PLAN 簡稱EECP)的第2級。主要因素係ERCOT在內部運轉規劃中沒有足夠發電量可供調度，導致當晚上負載增加時

發電能力不足、頻率下降。探討其原因係可用電源計畫容量和透過所謂「市場分析介面MARKET ANALYST INTERFACE(MAI)」預測負載有落差所致。此機制因為可用容量的評估僅依據QSEs(QUALIFIED SCHEDULING ENTITY)提供的電廠資料，不能夠精確提供可用容量即將不足時任何措施。ERCOT現在系統倚賴QSE提交電源計畫計算可用容量以分析未來幾小時備用電力。但電源計畫反映出發電能力比實際上可得到更多，主要原因係在於不精準的風力發電能力預估。除了MAI之外，ERCOT進行提前一小時的研究，以確定每小時配合負載的足夠需要量，研究的結果用來確定非備轉容量機組的部署。但研究仍無法解決問題，因為在電源計畫表上約有1,000MW是可用但實際上卻無法可靠利用的，尤其是在風力發電上。

## 2.事件發生經過與大事紀

2008.2.26.2.26 ERCOT 發生負載增加因電源調度不足導致頻率下降之過成概述如下：

17：41:ERCOT 主動發布北~西潮流正接近區域輸送容量限制

CSC(COMMERCIALLY SIGNIFICANT CONSTRAINT)之極限  
550MW 。

17：44:QSEA通知ERCOT，因為發電機組電刷問題，將有150MW發電機組必需停機離線，且必需於20：00以取得替代此發電機之電力。

- 18 : 24 :ERCOT 發行警告通知市場：備用容量反應調整量 (ADJUSTED RESPONSIVE RESERVED 簡稱ARR) 將低於 3000MW。
- 18 : 28 :ERCOT 由於向上調整平衡能源服務 (UP BALANCING ENERGY SERVICE 簡稱UBES) 及輔助服務 (ANCILLARY SERVICE) 已耗盡，故19:15必需在西部和南方地區配置非備轉備容量機組服務。
- 18 : 29:ERCOT通知QSE B由於頻率下降 ERCOT需要機組B、C、D及E，總容量185MW於18:30到22:00上線。
- 18 : 33:ERCOT呼叫QSE C和D，請求另外發電機之支援，但是沒有一個可以提供。另外，由於頻率低至59.907赫茲和由於發電和負載不平衡，ERCOT配置備用容量反應量(RRS) 約328MW。
- 18 : 36: ERCOT 發布一調度語音指令 VDI( VERBAL DISPATCH INSTRUCTION.)給 QSE E，於 18 : 45~19 : 00 需配置 150MW 之發電量。
- 18 : 41:ERCO宣佈實行EECP第2級，透過熱線通知全部QSEs 和 TSPs (TRANSMISSION SERVICE PROVIDER)，TSPs被要求如果可能儘量降低電壓以減少負載。
- 18 : 42:ERCOT發布一VDI到QSE F，從19:00~20:15配置機組F、G、H、I、J、K、L、M、N總共發電量為500MW (最後確定496MW)，被OOMC(OUT-OF MERIT CAPACITY)延至22：

00)。

18 : 42:由於實施EECP第2級，根據EECP ERCOT需在北方配置非備轉容量機組服務。

18 : 43:ERCOT於19:15解除北部到西部之CSC潮流限制，預防因發電機的可能限制，以減輕EECP的實施。

18 : 45: QSE G在15個地點降低配電電壓以減少負載。QSE G估計可以減輕16MW負載。

18 : 49:ERCOT指示全部QSEs 透過熱線部署可利用的LAARs (LOADS ACTING AS A RESOURCE)。

18 : 56:ERCOT通知SPP宣佈EEA 2和需要緊急電力。備用容量反應配置結束(頻率在60.07赫茲)。

19 : 37 由於EECP第2級ERCOT於20:15在休斯頓地區繼續配置非備轉容量機組。

19 : 55:ERCOT發布一VDI說明機組O調整發電量到695MW和機組P調整發電量到670MW。這些說明被NERC要求需在90分鐘發布以恢復備用容量反應量，始在20:15獲得ARR。

20 : 00呼叫QSE H詢問有關提供EEAL DC連接緊急支援L00MW進ERCOT的時刻表，但由於是無效的路徑，NERC透過OATI系統通報但仍被SPP否決。

20 : 0L :ERCOT通知QSE H，不需要協助並取消向NERC報備。

20 : 0L :ERCOT要求南方DC連接點緊急支援。QSE H 通知

ERCOT 稱 CFE 只有 30MW 可透過 EAGLE PASS 支援。

20:15到21:00 EAGLE PASS DC連接點支援30MW。

20 : 08 :ERCOT把EECP從第2級移動到EECP第1級。QSE通知 LAAR 的配置取消且TSPs也被通知取消透過減少配電電壓來降低負載之措施。

20 : 13: QSE I 報告他們自願卸除負載A、B、C約110MW之負載量供應，以支援EECP第2級的實施。

20 : 15:EAGLE PASS DC 連接點提供30MW進入ERCOT系統，以反應ERCOT要求緊急協助的需求。

20 : 15:QSE F終止VDI 500MW之UBES，OOMC從21:00~22:00終止機組F~N之發電。

20 : 50:機組O和P完成重新調度減少100MW，每一部機回復到APP。

21 : 00:EAGLE PASS DC 連接點結束協助。

21 : 21:ERCOT 通知 OOMC 之 QSE J 在 23:00 及 24:00 機組 Q、R、S、T 總共需發電量 301MW，以控制北到西 CSC 之擁塞。此時風力發電 75MW。

21 : 30:ERCOT宣布一個OOMC-VDI說明機組U、V、X、Y和Z總共406MW發電量必需維持，以控制N-W CSC擁塞。

21 : 40:ERCOT結束EECP第1級。此時ARR為3560MW。

22：00:ERCOT結束全部非備轉容量機組的配置。

22：44:ERCOT 取消ARR低於3000MW的警告。

### 3.事件分析與因應對策

2008年2月26日德州電網引起頻率下降事件，導致ERCOT採取緊急電力削減計畫。本事件主要因為因無法掌握氣象預測使風力發電量下降，加以傳統發電機發生事故必需解聯且負載急速增加，而造成系統發電能力不足所致。在40分鐘內風力發電比原先預期減少80MW，非風力發電比預期減少350MW，反觀負載卻迅速增加比預估多1,185MW，才會造成發電能力不足頻率下降，ERCOT必須採取緊急電力削減計畫。更甚，這類型的干擾通常與傳統的電廠有關。本事件實際上顯示成功的電力系統管理之關鍵在掌握於完全不同的電源供應外，風力發電是否可靠是佔很大的一部分。AWEA(美國風能協會)已經從ERCOT所提出的報告加以分析檢討，同意其觀點。

複雜的電力系統應包括電廠、燃料提供、電力傳送基礎設施和各級電壓之用電設備等。維持電力系統的可靠性需要健全的操作程序及處理緊急偶發意外事故，包括多次同時事件。隨著此次事故報告建立，ERCOT已有適當程序處理類似事件，特別是地區燃料和電力選擇多樣化及改善電網的操作等。為了避免類似事件，ERCOT確定短期計畫將加強風力預報以取得最佳的風力資訊。風機工業商也非常支援這個結論，因為它能夠繼續的使電源的多樣化成為可能並維持電網的穩定性和可靠性。最近ERCOT委託GE電氣公司研究報告，隨著風能預報的使用，德州的風力發電應可

達3倍至少15,000MW，且不會對系統可靠性造成負的結果。

#### 4.結論與建議

GE電氣公司對於ERCOT2008年2月26日事件的研究報告結論與建議如下

- (1)本事件雖然頻率下降，但沒有用戶無意願失去電力，因應上算是成功。本事件是包括來自傳統的發電機發電量突然下降和風力機組發電量過於緩慢下降所致。在風方面的變化方面，2月26日冷峰通道期間是一個改變風機出力的貢獻因子，應可以藉由風力預報整合在電力系統管理中解決。
- (2)風力發電是不可能被調度，但通常可以預測的，因此能夠成功且可靠整合在電力系統管理機制中。風預報準確預告ERCOT在2月26日風力發電將減少。對一個風力發電佔重大比例的電網來說風力預報是一個很重要工具。ERCOT風力預報系統的正在發展，他們計畫加速它的實施。
- (3)不像其他電廠在1/60秒內能夠離線，風機出力下降係逐漸地，有時超越過1小時，能夠給系統調度員更多的時間對改變作出反應。石油和核發電廠能夠瞬間跳機離線，2月26日事件中一台150MW非風機因事故於下午5：44即跳脫離線；相較下風機在3小時間隔期間內發電量穩定逐漸地減少大約8MW/分鐘，較易因應。
- (4)非正常時需量反應(DEMAND RESPONSE)的使用是確保電網可靠的經濟有效工具。當突然失去傳統機組時避免用戶非自願的



停、限電，ERCOT是已實施需量反應，回買自願終止用電之用電量，以適當反應負載變化、增進電網可靠性。例如，在2008年，當一部核發電廠瞬間跳脫離線系統失去1172MW電力時，ERCOT被迫主動實施需量反應，自願中斷負載625MW，但電網率從60 下降到59.7，比2月26日記錄的從60赫茲到59.85赫茲更壞。3月16日事件被NERC登錄在騷動控制標準事件（DISTURBANCE CONTROL STANDARD EVENT），而2月26日事件沒有。這次事件說明全部發電設備發生預想不到的發電短缺時，實施需量反應以求取供需平衡，將有助於電網穩定、可靠運轉。

## 5.名詞解釋

VDI – VERBAL DISPATCH INSTRUCTION. 調度語音指令

OOMC – OUT-OF MERIT CAPACITY. A GENERATOR THAT DID NOT

PLAN TO BE ON-LINE IS PAID TO START AND RUN AT MINIMUM. 輔助服

務容量，未排程因系統需要配合之容量

TSP – TRANSMISSION SERVICE PROVIDER

CSC – COMMERCIALY SIGNIFICANT CONSTRAINT 區域輸送容量限制

VIEW DATA FOR COMMERCIALY SIGNIFICANT CONSTRAINTS (CSC)

LIMITS, FLOWS, MARS AND MVAs BY CSC IN 15-MINUTE AVERAGE

INTERVALS. DATA IS PROVIDED FOR A COMPLETE YEAR; THE

CURRENT YEAR'S REPORT IS UPDATED MONTHLY.

EEA – ENERGY EMERGENCY ALERT. IT IS THE SAME

AS“EECP”(ENERGY EMERGENCY CURTAILMENT PLAN)

LAARs – LOADS ACTING AS A RESOURCE (LAARs). THERE ARE THREE LAARs TYPES AS FOLLOWING TABLE. 可配合 LOAD SHEDDING 之負載。

LAAR TYPE	DESCRIPTION
UFR	LOADS ON UNDER FREQUENCY RELAY
CLD	LOADS THAT DEMONSTRATE THEY CAN INTERRUPT WITHIN 10 MINUTES
ILD	LOADS THAT DEMONSTRATE THEY CAN INTERRUPT WITHIN 30 MINUTES

ERCOT 之 N-W 之 CSC 為何限制為 550MW？每一年依據電力系統條件檢討各個區域之 CSC 區域輸送容量限制。

6. 緊急電力銷減計畫 (EMERGENCY ELECTRIC CURTAILMENT PLAN,EECP)

(1) GENERAL PROCEDURES DURING EECP OPERATIONS

ERCOT CONTROL AREA AUTHORITY WILL RE-EMPHASIZE THE FOLLOWING OPERATIONAL PRACTICES DURING EECP OPERATIONS TO MINIMIZE NON-PERFORMANCE ISSUES THAT MAY RESULT FROM THE PRESSURES OF THE EMERGENCY SITUATION.

OPERATOR	EECP ACTION
ERCOT	SUSPENDS ANCILLARY SERVICE OBLIGATIONS THAT IT DEEMS TO BE CONTRARY TO RELIABILITY NEEDS.

OPERATOR	EECP ACTION
ERCOT	NOTIFY EACH QSE AND TO VIA HOTLINE OF DECLARED EECP STEP.
QSEs AND TOs	NOTIFY EACH REPRESENTED MARKET PARTICIPANT OF DECLARED EECP STEP.
ERCOT, QSE & TDSP	CONTINUE TO RESPECT CONFIDENTIAL MARKET SENSITIVE DATA.
QSEs	UPDATE RESOURCE PLANS TO LIMIT OR REMOVE CAPACITY WHEN UNEXPECTED START-UP DELAYS OCCUR OR WHEN RAMP LIMITATIONS ARE ENCOUNTERED.
QSEs	REPORT WHEN ONLINE OR AVAILABLE CAPACITY IS AT RISK DUE TO ADVERSE CIRCUMSTANCES.
QSEs AND TDSPs AND ALL OTHER ENTITIES	MUST NOT SUSPEND EFFORTS TOWARD EXPEDITIOUS COMPLIANCE WITH THE APPLICABLE EECP STEPS DECLARED BY THE ERCOT NOR INITIATE ANY REVERSALS OF REQUIRED ACTIONS WITHOUT ERCOT AUTHORIZATION.
ERCOT	DEFINE PROCEDURES FOR DETERMINING THE PROPER REDISTRIBUTION OF RESERVES DURING EECP OPERATIONS.

(2)EECP STEPS

STEP 1 – MAINTAIN ERCOT PHYSICAL RESPONSIVE CAPABILITY  
(PRC) ON UNITS PLUS RRS MW PROVIDED FROM LAAR  
EQUAL TO 2300 MW

OPERATOR	ACTION
ERCOT	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="550 474 1380 562">○ UTILIZE AVAILABLE DC TIE CAPABILITY THAT IS NOT ALREADY BEING USED BY THE MARKET.</li><li data-bbox="550 577 1380 665">○ NOTIFY THE SOUTHWEST POWER POOL SECURITY COORDINATOR.</li><li data-bbox="550 680 1380 824">○ ISSUE OOM DISPATCH INSTRUCTIONS TO UNCOMMITTED UNITS AVAILABLE WITHIN THE EXPECTED TIMEFRAME OF THE EMERGENCY.</li><li data-bbox="550 840 1380 983">○ USE AVAILABLE BTB IMPORT CAPACITY THAT IS NOT ALREADY BEING USED AND INQUIRE ABOUT AVAILABILITY OF BLOCK LOAD TRANSFERS.</li></ul>
QSE	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="550 1008 1396 1151">○ NOTIFY ERCOT OF ANY RESOURCES UNCOMMITTED BUT AVAILABLE IN THE TIMEFRAME OF THE EMERGENCY.</li></ul>

STEP 2 – MAINTAIN ERCOT PHYSICAL RESPONSIVE CAPABILITY  
(PRC) ON UNITS PLUS RRS MW PROVIDED FROM LAAR  
EQUAL TO 1750 MW

OPERATOR	ACTION
	IN ADDITION TO MEASURES ASSOCIATED WITH STEP 1
ERCOT	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="671 533 1369 719">○ INSTRUCT TDSPs TO REDUCE CUSTOMER LOADS BY USING DISTRIBUTION VOLTAGE REDUCTION MEASURES, IF DEEMED BENEFICIAL BY THE TDSP.</li> <li data-bbox="671 741 1382 987">○ INSTRUCT QSEs TO DEPLOY ALL RESPONSIVE RESERVE, WHICH IS SUPPLIED FROM LOAD ACTING AS A RESOURCE (LAARs) (CONTROLLED BY HIGH-SET UNDER-FREQUENCY RELAYS)</li> <li data-bbox="671 1010 1406 1514">○ WITH APPROVAL OF THE AFFECTED NON-ERCOT CONTROL AREA, MAY INSTRUCT TDSPs TO IMPLEMENT BLOCK LOAD TRANSFER, WHICH TRANSFER LOAD FROM THE ERCOT CONTROL AREA TO NON-ERCOT CONTROL AREAS. UNLESS SUCH A MEDIA APPEAL IS ALREADY IN EFFECT, ERCOT STAFF SHALL ISSUE AN APPEAL THROUGH THE PUBLIC NEWS MEDIA FOR VOLUNTARY ENERGY CONSERVATION.</li> <li data-bbox="671 1536 1406 1727">○ UNLESS SUCH A MEDIA APPEAL IS ALREADY IN EFFECT, ERCOT STAFF SHALL ISSUE AN APPEAL THROUGH THE PUBLIC NEWS MEDIA FOR VOLUNTARY ENERGY CONSERVATION.</li> </ul>

**STEP 3 - MAINTAIN SYSTEM FREQUENCY AT 60 HZ**

OPERATOR	ACTION
	IN ADDITION TO MEASURES UNDER STEPS 1 AND 2.
ERCOT	DEPLOY ALL AVAILABLE EILS RESOURCES AS A SINGLE BLOCK VIA A SINGLE VERBAL DISPATCH INSTRUCTION TO ALL QSEs PROVIDING EILS.

**STEP 4 - MAINTAIN SYSTEM FREQUENCY AT 59.8 HZ OR GREATER**

OPERATOR	ACTION
	IN ADDITION TO MEASURES UNDER STEPS 1, 2, AND 3.
ERCOT	DIRECT ALL TDSPs AND THEIR AGENTS TO SHED FIRM LOAD, IN ONE HUNDRED (100) MEGAWATT (MW) BLOCKS, DISTRIBUTED AS AGREED AND DOCUMENTED IN THE ERCOT OPERATION PROCEDURES IN ORDER TO MAINTAIN A STEADY STATE SYSTEM FREQUENCY OF 59.8 HERTZ (Hz). ERCOT MAY TAKE THIS ACTION PRIOR TO THE EXPIRATION OF THE TEN (10) MINUTE EILS RESOURCE DEPLOYMENT PERIOD IF ERCOT, IN ITS SOLE DISCRETION, BELIEVES THAT SHEDDING FIRM LOAD IS NECESSARY TO MAINTAIN THE STABILITY OF THE ERCOT SYSTEM. IF, DUE TO ERCOT SYSTEM CONDITIONS, EILS RESOURCES ARE NOT DEPLOYED PRIOR TO THIS ACTION, ERCOT SHALL DEPLOY EILS RESOURCES AS SOON AS POSSIBLE FOLLOWING THIS ACTION.
	IN ADDITION TO MEASURES UNDER STEPS 1 AND 2.
TDSPs	KEEP IN MIND THE NEED TO PROTECT THE SAFETY AND HEALTH OF THE COMMUNITY AND THE ESSENTIAL HUMAN NEEDS OF THE CITIZENS. WHENEVER POSSIBLE, TDSPs SHALL NOT MANUALLY DROP LOAD CONNECTED TO UNDER-FREQUENCY RELAYS DURING THE IMPLEMENTATION OF THE EMERGENCY ELECTRIC CURTAILMENT PLAN.

### (三)ERCOT 對 CREZ 增加風力發電輔助服務(WIND ANCILLARY SERVICES STUDY)之研究

由ERCOT、GE電氣諮詢集團和可靠性和運轉小組委員會(RELIABILITY AND OPERATION SUBCOMMITTEE 簡稱ROS)等人員合作進行ERCOT系統對風機輔助服務之研究。他們基於ERCOT 2008負載水準和火力機組安裝之系統情況，及使用實際2006的負載模式和氣候模式進行在CREZ地區安裝5000MW、10,000MW、10,000MW與不同地理區的分配及15,000MW等4方案的風機模擬分析，並配合可靠度研究增加或修正風機輔助服務的需求。其結論為：

- 1.必須以最新型的工具預報風機發電量，避免因可靠度問題在風力預測抑制其發電量或因經濟問題過度發電，另外必需加速其改善工程之進行。
- 2.提出ERCOT如調整增加風機容量之確定規則維持效益的方法。要求每年平均線性增加最多為20-23%，直到15,000MW，但需隨著季節和時間而變化。
- 3.由於風機的增加，淨負載每天隨風力發電的擺動增加顯著。
- 4.當風力發電>5000MW，系統發電調整能力偶然仍將不足，故必需擬定因應對策如風力減產計畫或增加未來機組運轉的靈活性。
- 5.由於風可預測，極端風力發電的增加或減少(高達20%在30分鐘內)是不經常發生，但是要增加備用容量反應及非備轉容量。

(四)配合 CREZ 風力發展輸電線之最佳規劃

1.前言

德州地區主要大型風場位於德州西北部分布於 PANHANDLE、MCCAMEY、CENTRAL 及 CENTRAL WEST 等地區如下圖。

ERCORT 就其風力發展擬定 4 個發展情境(SCENARIO)如下表，進行配合風力發展的輸電系統規劃。換言之配合風力發展 12GW、18GW、25GW 及 24GW 等不同發展計畫，擬定輸電系統擴展最佳規劃。



Capacity of New CREZ Wind by Scenario (MW)				
Wind Zone	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4
Panhandle A	1,422	3,191	4,960	6,660
Panhandle B	1,067	2,393	3,720	0
McCamey	829	1,859	2,890	3,190
Central	1,358	3,047	4,735	5,615
Central West	474	1,063	1,651	2,051
<b>Total*</b>	<b>12,053</b>	<b>18,456</b>	<b>24,859</b>	<b>24,419</b>

\* Assumes 6,903 MW of existing wind capacity



## 2.研究方法

- (1)擬定重要技術核心方案檢討它的執行效率。
- (2)改變、發展最佳的技術方案，針對不同風力發展情境再作檢討分析。
- (3)從不同風力發展情境中選擇最佳技術執行方案。

## 3.核心技術方案之擬定

- (1)增加德州西部地區之345kV輸電線。
- (2)整合德州西部地區345kV輸電線。
- (3)為了減少345kV線路路徑提升最高電壓為345kV或765kV。
- (4)減少風力系統與低阻抗骨幹線路或環路的連接。
- (5)從電廠到負載中心或兩負載中心間採HVDC輸電系統或以HVDC輸電系統整合345kV輸電系統。

## 4.進行步驟

- (1)從四個不同風力發展情境中，經以核心技術方案模擬分析選擇最佳最佳技術方案。
- (2)從第2個風力發展情境開始，提供每一風力發展情境首先必需興建的擴展路徑。
- (3)從風力風電量較小的風力發展情境最佳執行技術方案開始，發展次一風力發展情境最佳執行技術方案之擴展路徑，甚至考慮這些技術方案未來擴展的需求。

依據上述進行步驟，第一個風力發展情境階段中蒐集系統資訊，確定從西部到東部地區的輸電網路系統並整合東部地區輸電電網，經檢討後建議擴充到第二個風力發展情境適合計畫方案。有關這個階段之分析檢討ERCOT已完成，輸電縣的擁有者已同意風機連接至系統的彈性，並允許配合輸電限路徑的分析稍微改變是應該的。

在第二個風力發展情境階段中蒐集系統資訊，確定從西部到東部地區的輸電網路系統。為了整合德州東部系統，能持續且接近最佳技術執行方案已被認定，在最後完成整合西部輸電系統完成前，未來的工作及末端的小改變可能是需要的。

在第三、四個風力發展情境階段中蒐集確定西部系統資訊，基於電力潮流及穩定度，從西部到東部的輸電線及整合東部電網系統之持續執行方案已被認定。基於額外系統需求的考量，從西部到東部輸電線之擴展計畫之容量和路徑位置是可以改變，且東部電網系統的升級是必需。

## 5. 結論與建議

(1)ERCOT配合德州西北部風力擴展，並將西北部風力產生之電力輸往德州東部地區如休士頓(HOUSTON)或南部之聖安東尼奧(SAIN ANTANIO)等地區使用，故特擬定多種技術方案進行系統擴充，如擴充345kV輸電線、新建500kV或765kV輸電線及新建HVDC等線路，經以不同風力發展計畫檢討結果仍以擴充345kV輸電線最為經濟，已提報德州公共事業委員會討論，預計應可獲得通過。

(2)從ERCOT擴展輸電線的模擬方法與方案的選擇方式，值得本公司作為中長期幹線系統規劃參考與借鏡。類如在研究長期系統發展方案中，可將全系統負載依輕重分為不同水準，並結合不同電源開發方案，擬定各階段的負載、電源發展方案，再針對不同負載、電源發展方案擬定不同輸電系統擴展計畫，依負載大小發展方案檢討每一負載、電源發展方案各輸電系統擴展計畫的執行情形與效率選擇最佳方案，並依檢討結果從負載最輕到最重依序分析輸電系統擴展計畫，檢討相關元件擴充的必要性，連結而成最佳的輸變電括擴展計畫，加以實行。

## 陸、參訪美國電力研究院(EPRI)紀要

### 一、前言

美國電力研究院(EPRI)從事於電力技術、運轉與環境之研究與開發，為一個非營利的組織，它集合了全世界最優秀的工程師、研究人員和來自學術界的專家，一齊在發電、電力傳輸、電力系統運轉、配電供電及能源效率等領域，迎接挑戰並研發新的技術和設備，以提升電力供應可靠度與穩定度，發揮電能最大效益，達到節能減碳之目標。此次參訪 EPRI 先後和電力系統規劃、運轉部門主管及相關人員 MR. RICH LORDAN、PEI ZHANG、ABDEI-ATY EDRIS、LIANG MIN 及 KAI SUN 等人討論有關電力系統規劃、運轉等相關問題，獲得不少新知與資訊，也討論有關本公司委託 EPRI 正進行長期幹線架構之研究案，提供台電系統之特性，以避免研究方向偏離現實。

EPRI 2008 年電網方面之研究主要集中於用電端之電能效率技術 (HYPER EFFICIENT END-USE TECHNOLOGIES)、壓縮空氣電能貯存設備 (COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE)、探測器現場部署、智慧型電網及電網可靠度與提升電力潮流技術等項目，未來 3 年研究主題集中於用戶端效益、需量反應、輸電系統和配電系統再生能源之整合、智慧型電網應用於配電系統的架構、加強 NERC 有關操作與規劃之協定、輸電線(含變電所)與配電線監測器之研發與設計、增加電力潮流之評估與現場實證等技術等。

### 二、本公司委託 EPRI 有關台電長期幹線系統規劃之研究

本次訪問 EPRI 除與 POWER DELIVERY & UTILIZATION SECTOR 之 SUBSTATION OPERATION & PLANNING 主管 RICH LORDAN 討論有電力

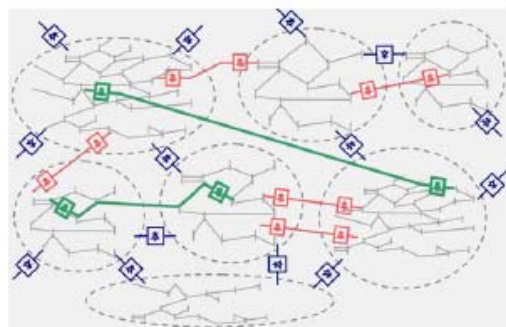
系統未來發展與規劃外，接下來與該團隊之 DR.PEI ZHANG、LIANG MIN 及 KAI SUN 等人討論台電委託之「台電長期系統規劃的可行性研究」。本委託研究案係基於未來系統負載超過 57GW 以上及可能的電源配置，就電力潮流、故障電流檢討，檢討台電既有已規劃系統使用 FACTS 與否可以容納之最大負載及評估規劃長期 345kV 幹線之擴展方案。

初步檢討結果既有已規劃系統中若不使用 FACTS 作為 POWER FLOWER CONTROLL，北部 345kV 輸電線及核二電廠引出線在 N-0 及 N-1 時將會引起輸電嚴重超載，必需使用 FACT 之 TCSC 以控制線路潮流，惟此方式儘能解決線路 N-0 及 N-1 之偶發事件過載問題，但仍無法達到規劃準則核能電源線必需符合 N-2 之規定，因此建議 EPRI 研究團隊配合系統考慮部份匯流排分段運轉並適度調整引接方式，依據台電輸電系統規劃準則檢討系統，擬定最佳擴展方案。

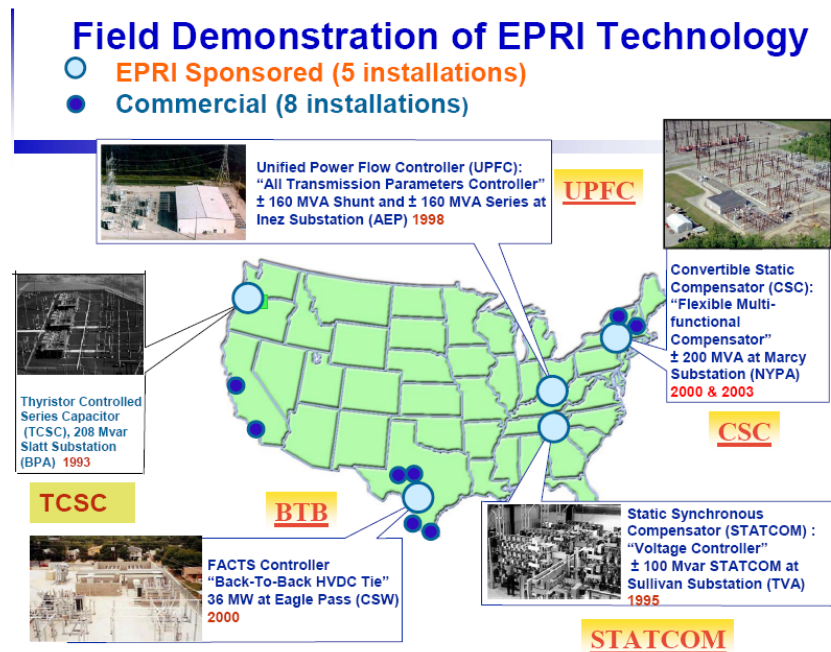
### 三、提升可靠度大聯網系統減震計畫與研究(SEGMENTATION WITH GRID SHOCK ABSORBERS FOR RELIABILITY OF LARGE TRANSMISSION INTERCONNECTIONS)

#### (一)前言

為提高大電力系統之可靠度，EPRI 正研究利用 DC 技術來提升電力傳送能力與可靠度如右圖。利用此次參訪 EPRI 機會，與 EPRI 專家 ABDEI-ATY EDRIS 討論相關技術，敘述如後。



雖然交流(AC)輸電在以前和目前電力系統中是主流，但直流(DC)輸電技術仍被應用在長距離電力輸送的電網及背對背的變流站中或無效電力補償中如下圖。



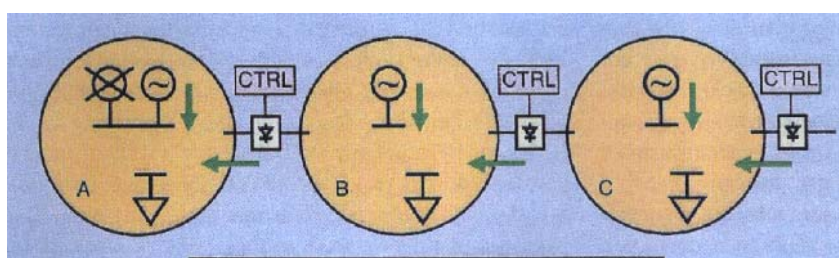
交流系統技巧在確保系統安全性及處理輸電線需求成長等能力上尚有質疑，直流連接(DC INTERCONNECT 簡稱 DCI)也被發展用來作為 AC 和 DC 系統間符合未來系統需求與成本效益的方法。利用 DC 連接非同步系統或弱系統與主系統，以減少電力系統相互干擾，已逐漸被提出。EPRI 甚至發展出「電網減震裝置(GRID SHOCK ABSORBER)」的觀念來強化系統。基於輸電系統的控制之目的，EPRI 也發展電壓源換流器(VOLTAGE SOURCE CONVERTER 簡稱 VSC)。在美國東部系統 EPRI 已研究利用 DCI 作為減震器(GRID SHOCK ABSORBERS)，以提高投資與運轉效率，初步研究結果從電力潮流動態的模擬看來，可以提升可靠度及增加電力輸送能力。

## (二)DC LINK 之應用

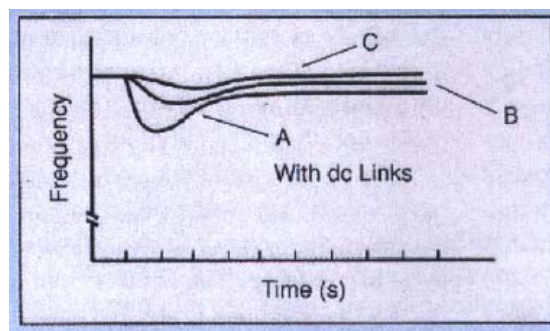
利用 AC DC 之優點以提升運轉可靠度及電力輸送能力，看起來雖然像一種賭注，但在確定大系統分割有其優點存在時，它是可行的。首先必需作系統分析、真實的去評估效益和潛在利益。EPRI 在美國東部電力系統裝置 VSC 之 DC LINK，以改善可靠度增加輸電能力，經以 2011 年之負載、發電量系統檢討，確可達到改善可靠度增加輸電能力之目的。

無論是美國東部聯網(EI)、西部互聯系統(WI)或是歐洲大區域聯網系統，本質上具有三相主要挑戰需要克服分別為電力市場操作更複雜(MORE COMPLEX MARKET OPERATION)、隨著負載增加電力系統需要擴充與輸送能力必需增加(INCREASING TRANSMISSION CAPACITY WITH DEMAND GROWING)及需解決系統聯網後增加系統發生連鎖性事故停電機率(INCREASING VULNERABILITY TO INTER-REGION CASCADING OUTAGES)。為解決此問題，將系統分割以 DC LINK 連接如下圖(A、B、C 系統代表

三個鄰近系統，以 DC LINK 連接)，可



以達到減少連鎖事故停電、增加互聯系統間電力傳輸能力、改善穩定度及電力潮流控制等，以提高系統供電可靠度。右圖表是當 A

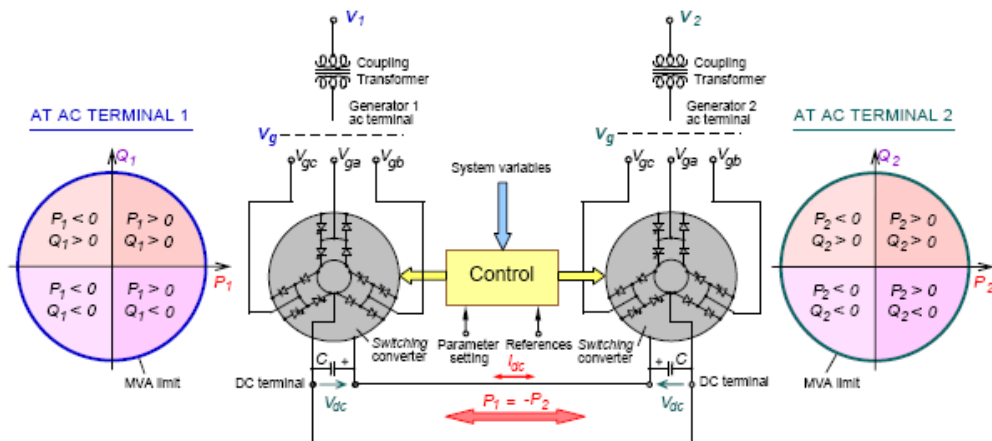




系統失去一部機時，A、B、C 系統變化的情形。DC LINK 電力潮流控制能力，直接影響到每分割系統頻率變化，故 DC LINK 的設計要像典型的渦輪發電機的調速機，當 A 系統一部發電機失去時，頻率下降將會很大，此時透 DC LINK 快速提供潮流供應，將可必避免 A 系統低頻卸載。

### (三)電壓源換流器(VSC)之應用

電壓源的換流器(VOLTAGE SOURCE CONVERTER)是利用閘流體控制的電力半導體開關的新技術。兩換流器可以整合成背對背來提供無效電力，進行兩鄰近互聯系統間電壓調整和潮流控制。下圖顯示一個以電壓換流器度(VSC)為基礎之 DC LINKS：背對背 DC



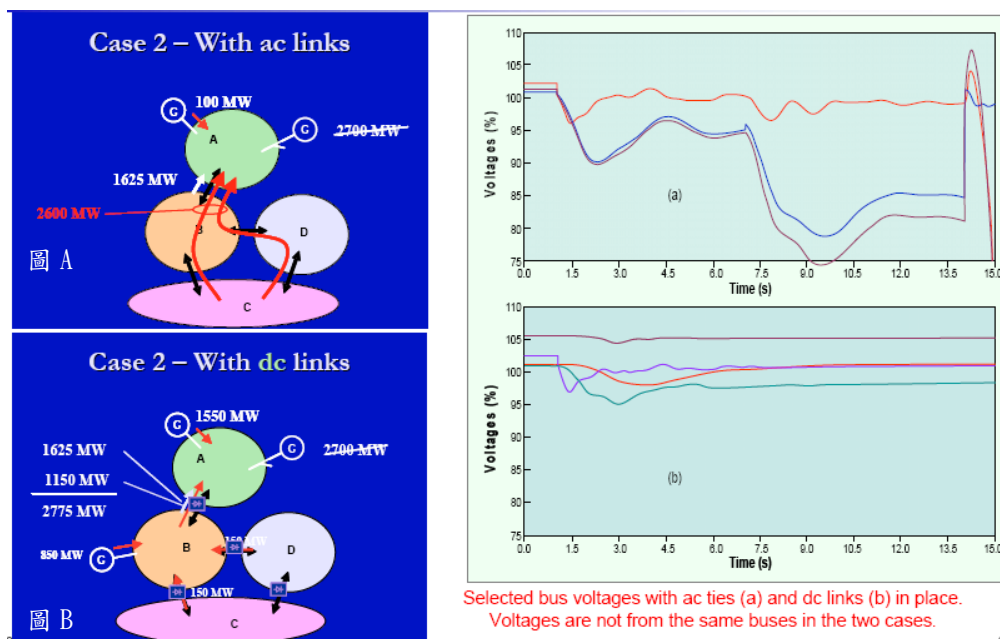
TIE，連接兩 AC 系統。該 DC TIE 可以如上圖兩末端圖示，提供電力、無效電力之 4 個象限的操作模式。傳統變換器無法使用於 AC 係統無足夠無效電力進行換向時，VSC 變換器可以不受影響進行鄰近系統間的潮流與電壓控制。

以 2011 年美東系統模擬，為避免連鎖行干擾及大停電，將系統分為





A、B、C 三大部份如右上圖。各系統間分別以傳統 AC TIE 連接



26

及 BTB 換流器連接如上圖 A、B，假若模擬 A 系統有大型機組跳脫，電壓變化情形如上圖 A 及 B，明顯可見採用 BTB 變換器之系統可以防止干擾，預防電壓變化擴大；其它如頻率的變化、電力潮流與電力角度的控制都有非常好的效果。

#### (四)改善電力傳輸能力

使用 DC LINK 可以增加電力傳輸其原因為

- (1)發電機跳脫後可以快速利用 DC LINK 提供不足電力，可以充份使用系統備轉容量。
- (2)利用 DC LINK 可以解除穩定度極限，增加電力傳送能力。
- (3)DC LINK 可以控制鄰近 AC 系統之電力潮流，避免偶發事故下線路過載，因而增加電力傳輸。
- (4)若利用既有的 AC 路權變更為 HVDC，可以輸送兩倍以上的電

力，在路權困難取得情況，是可考慮的選項。

#### (五)未來 HVDC 之發展

HVDC 之運用起源於 1950 年代之蘇聯 (RUSSIA) 和瑞典 (SWEDEN)，早期計畫主要係基於提高輸電能力與電壓。根據 IEEE WORKING GROUP HVDC 和 FACT 小組針對 HVDC 規劃與建造中之計畫的統計，HVDC 計畫已從 1770 年代中的 15 件、1780 年代中的 37 件、1790 年代中的 25 件、迄 2000 年 1 月份 25 件，預計至 2020 年約有 50 件。目前已規畫完成的計畫已有雙極 (BI-POLE)、電壓 $\pm 800\text{KV}$ 、輸電額定容量高達 6400MW。

傳統的雙極技術不再是惟一的選擇，利用 VSC 開發 1000MW 以上換流器及背對背 HVDCV 系統已規劃使用。另外，電流調變之直流輸電及 3 極 HVDC 之技術也逐漸成熟，不久之後將應可實際應用於電力系統中。利用現在 AC 系統三相輸電線路權，直接改為 3 極直流輸電，以提升輸電容量，將會是一新的輸電線擴展趨勢，且為路權困難取得的現今，應是最經濟可行的作法，尤其適用於土地資源有限人口稠的台灣地區。

總之，HVDC 技術持續發展和發現新的應用，在社會大眾反對擴展輸電線路路權之環境中，將既有老舊交流三相輸電線路改建為 3 極 HVDC 輸電系統，以滿足負載成長及輸電能力需增加之需求，是可行和必然的事。