

出國報告（出國類別：開會）

參加電力傳輸諮詢會議及  
參訪紐約電力管理局 Marcy 超高壓變電所

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：張忠良 處長

林水秀 課長

派赴國家：美國

出國期間：100 年 9 月 7 日 至 17 日

報告日期：100 年 10 月 26 日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加電力傳輸諮詢會議及參訪紐約電力管理局 Marcy 超高壓

變電所

頁數 43 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：

|     |        |       |    |          |
|-----|--------|-------|----|----------|
| 張忠良 | 台灣電力公司 | 系統規劃處 | 處長 | 23666890 |
| 林水秀 | 台灣電力公司 | 系統規劃處 | 課長 | 23667743 |

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：100 年 9 月 7 日至 17 日 出國地區：美國

報告日期：100 年 10 月 26 日

分類號/目

關鍵詞：可轉換式靜態型無效電力補償器、電網偶發事故嚴重性快速篩選方法、  
負載模型、電網分裂預警與決策支援系統

內容摘要：

- 一、可轉換式靜態型無效電力補償器使用先進電力電子技術，融合 4 種彈性交流輸電系統設備於一體，可以應用在各種不同運轉模式，彈性改變輸電線路之參數特性，增加輸電系統之傳輸能力。
- 二、檢視各種負載模型之研究發展歷程及目前所遭遇之難題，在未有更為精確模型之情形下，大多數電力公司使用靜態模型進行電力系統分析工作。
- 三、電力系統發生連鎖事故造成非計劃性分裂之嚴重，動輒影響數百至數千萬人之用電。發展電網分裂預警與決策支援系統，可以即時預知電力系統運轉情況之改變並快速反應，動態強化電網之性能與強健性，預防連鎖事故造成大區域停電。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目 錄

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 目 錄.....                     | 1  |
| 壹、感想與建議.....                 | 1  |
| 貳、出國緣由與行程.....               | 4  |
| 參、參訪 Marcy 超高壓變電所紀要.....     | 5  |
| 肆、參加電力傳輸諮詢會議紀要.....          | 14 |
| 一、電網偶發事故嚴重性快速篩選方法.....       | 17 |
| 二、負載模型之研究發展與應用.....          | 22 |
| 三、電網分裂預警與決策支援系統.....         | 27 |
| 附 錄.....                     | 34 |
| 一、Marcy 超高壓變電所參訪行程及與會人員..... | 35 |
| 二、台電系統概況及 STATCOM 計畫簡介.....  | 37 |

# 壹、感想與建議

## 一、彈性交流輸電系統之應用

本次利用赴美出席電力傳輸諮詢會議之便，應邀順道訪問紐約電力管理局 Marcy 超高壓變電所，實地參觀討論可轉換式靜態型無效電力補償器(Convertible Static Compensator, CSC)及靜態型同步無效電力補償器(Static Synchronous Compensator, STATCOM)之功能及運轉實績，瞭解 CSC 設備可以應用在各種不同運轉模式，因而稱之為可轉換式(Convertible)補償器。Marcy 超高壓變電所設置之 CSC 實現 4 種彈性交流輸電系統(Flexible Alternating Current Transmission System, FACTS)設備融合為一體之應用，使用先進電力電子技術，彈性改變輸電線路之參數特性，達到增加輸電系統傳輸能力之目的。

擘畫優質之長期電力系統，持續提高供電可靠度，以滿足用戶電力需求，是本處擔負輸變電系統規劃之要務。尤其彈性交流輸電系統(FACTS)之應用，更是本處編擬輸變電計畫之重點項目。本公司第七輸變電計畫為有效鞏固電網之安全與可靠，首度規劃擴大應用多項先進技術，包括 STATCOM 之裝設計畫，為邁向智慧電網之具體實踐。未來將視本公司電網發展之趨勢與需求，適時引進適用之 FACTS 設備，為台電系統之穩定運轉與安全可靠奠定厚實基礎。

## 二、負載模型之研究發展與應用

電力系統分析工作，包括電力潮流檢討、故障電流計算及穩定度模擬，均須有代表各項電力設備之模型參數。模型參數愈準確，所得結果愈具可信性。其中發電機、輸電線及變壓器之模型參數已可達到相當高準確度，但負載模型卻不可能達到相同之精確程度，原因是用戶為數眾多、負載種類繁雜且其特性殊異。

本次出席電力傳輸諮詢會議，除了參加負載模型之正式研討會外，亦利用機會當面與 Midwest ISO、New English ISO 及 EPRI 專家討論各種負載模型之應用，瞭解實務上電力系統分析工作，大部分公司還是使用靜態模型，亦是本公司使用之負載模型。研究機構則希望找到比較精確之模型，惟思考負載隨時變動之本質，何時有突破實難以預期。檢視 1993 年以來負載模型之研發與應用，可以得到以下結論：

- (一)在未有更為精確負載模型之情形下，大多數電力公司使用靜態模型進行電力系統分析工作。
- (二)需詳細研討之案例，可以使用 PSSE 程式 CLOD 負載模型或參考美西電網協調委員會(WECC)會員公司設定 20%馬達模型。
- (三)新的複合負載模型仍持續研發中，尚未達到實用之階段。
- (四)採用動態或複合負載模型，必須先現場量測與驗證，才能確認適用。

### 三、電網分裂預警與決策支援系統

電力系統發生連鎖事故造成非計劃性分裂之嚴重，動輒影響數百至數千萬人之用電。當電力系統瀕臨崩潰之際，有計劃地將互聯系統分裂成數個自給自足之孤島系統，並將事故限縮於一個孤島系統之內，可以防止連鎖事故之擴散。為此，EPRI 發展電網分裂預警與決策支援系統，冀望即時預知電力系統運轉情況之改變並快速反應，動態強化電網之性能與強健性，以預防連鎖事故造成大區域停電。

再者，當連鎖事故引發電網分裂，運轉人員幾乎沒有時間分析其肇因，並選擇適當之因應控制策略。因此，一套能夠指明「電網在何處、何時分裂」及「最佳控制策略」之預警與決策支援軟體工具，就顯得迫切需要。建構電網分裂控制策略之程序，通常包括下列三個階段：離線分析階段、線上監視階段及即時控制階段。

為檢視本公司電網在極端事故情況下，是否有非計劃性分裂導致崩潰之風險，及改採計劃性分裂之可能性，以避免事故擴散造成大停電，本處將與 EPRI 合作進行電網分裂離線分析階段之研究，包括：

- (一) 鑑識、確認電網可能之分裂界線(Boundary)或地點。
- (二) 設計及模擬預防、控制電網分裂及減緩其衝擊之可行策略。
- (三) 除了已安裝之相量量測設備(PMU)外，檢討有無增設之必要性。

## 貳、出國緣由與行程

本處代表本公司參加美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)之電網規劃組(P40)正式會員，出席 EPRI 於今(100)年 9 月在美國麻薩諸塞州召開之「電力傳輸諮詢會議(Power Delivery & Utilization Program Advisory Council Meeting)」，可以充分獲取電網規劃、運轉及智慧電網、新能源整合之最新發展與技術應用。

同時於電力傳輸諮詢會議之前，應邀參訪紐約電力管理局(New York Power Authority, NYPA) Marcy 超高壓變電所，討論可轉換式靜態型無效電力補償器(CSC)之功能及運轉實績，俾利本公司規劃靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)與新一代補償器之借鏡。

參加電力傳輸諮詢會議及參訪紐約電力管理局 Marcy 超高壓變電所之行程，如下表所示。

| 日期                        | 訪問機構名稱       | 活動內容                     |
|---------------------------|--------------|--------------------------|
| 100.9.7<br> <br>100.9.8   | 台北-紐約-Utica  | 往 程                      |
| 100.9.9                   | Marcy 超高壓變電所 | 討論可轉換式靜態型無效電力補償器之功能及運轉實績 |
| 100.9.10<br> <br>100.9.14 | 電力傳輸諮詢會議     | 參加電力傳輸諮詢會議               |
| 100.9.15<br> <br>100.9.17 | 波士頓-紐約-台北    | 返 程                      |

## 參、參訪 Marcy 超高壓變電所紀要

Marcy 超高壓變電所為紐約電力管理局規模相當大之 765/345kV 變電所，佔地面積約 85 英畝，圖 1(a)、(b)所示為不同角度之俯視圖。變電所內之重要設備有主變壓器 12 台、電容器 2 組、電抗器 1 組，以及 1 套可轉換式靜態型無效電力補償器，後者屬於彈性交流輸電系統 (FACTS) 之設備。



(a)



圖 1 Marcy 變電所 (b)

Marcy 超高壓變電所聯外 765kV 及 345kV 輸電線路計有 5 回線：東至 New Scotland、南至 Coopers Corners、西至 Oswego Complex 及 Clay 之 345kV 輸電線、北至 Massena 之 765kV 輸電線(暫以 345kV 運轉)。整個紐約州超高壓輸電線路之單線圖如圖 2 所示，Marcy 超高壓變電所正位於輸電網之樞紐，西、北方之電源即經由 Marcy 變電所輸送至東、南方之負載中心。

紐約電力管理局為解決紐約電網西北至東南輸電通道之瓶頸及增加傳輸容量，早於 1999 年就開始建置靜態型同步無效電力補償器 (STATCOM)，並於 2003 年增設為可轉換式靜態型無效電力補償器 (CSC)，本次出國參訪 Marcy 變電所即為瞭解其功能及運轉實績，俾利本公司未來規劃 STATCOM 之借鏡。

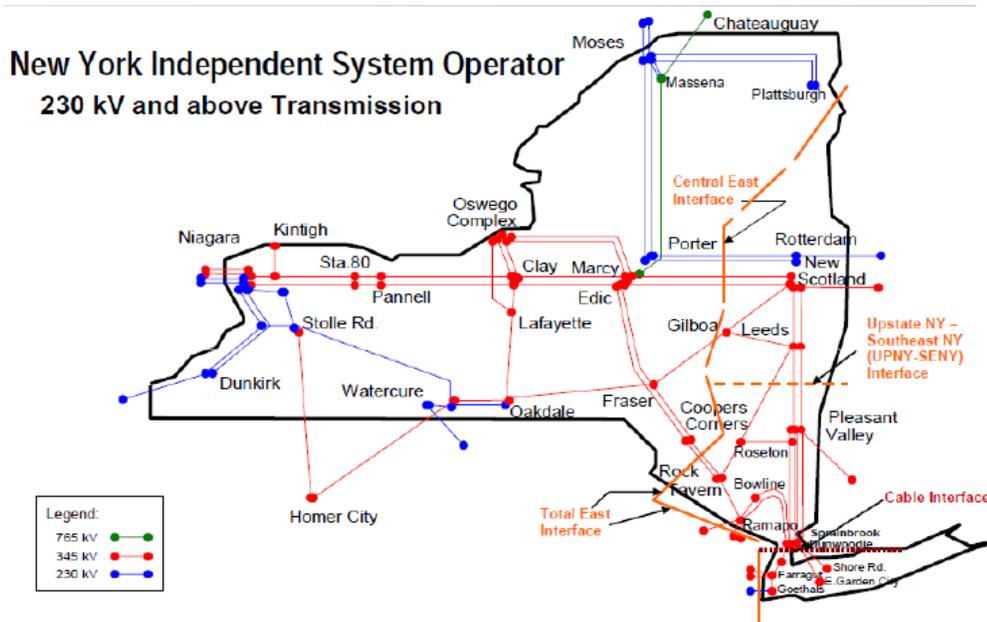


圖 2 紐約州超高壓輸電線路單線圖

紐約電力管理局控制中心—克拉克能源中心(Clark Energy Center)亦設於 Marcy 超高壓變電所基地之內，此次參訪即由克拉克能源中心總經理 Edward Rider 先生主持接待，參與人員尚有 NYPA 總部運轉規劃經理 Jennifer Dering 小姐及 EPRI 閔亮博士等人，參訪行程及與會人員詳如附錄一。首先 NYPA 控制中心總經理致詞歡迎並簡介 NYPA 輸電系統概況，接著我方簡報本公司電力公司特點及七輪 STATCOM 裝置計畫(簡報資料如附錄二)，後由 NYPA 工程師介紹 NYPA 可轉換式靜態型無效電力補償器(CSC)之應用並討論其功能及運轉實績。中午休息時間 NYPA 負責輸電部門之資深副總經理 Steven DeCarlo 先生亦前來致意、共進午餐，下午則安排參觀變電所及 CSC 實體設備。

NYPA 在 Marcy 超高壓變電所裝設可轉換式靜態型無效電力補償器，係屬於彈性交流輸電系統(FACTS)之設備，使用先進電力電子技術，具有彈性改變輸電線路參數之能力，以增加輸電系統之傳輸容量。NYPA 於 1990 年代中期發現 Marcy 變電所東至 New Scotland 變電所之輸電線路(中部至東部輸電通道)，因為電壓問題致使輸電容量受到限制，無法應付東部日益增加之負載需求。因此，NYPA 與 EPRI、製造商西門子公司合作在 Marcy 變電所設置全世界第一套 CSC 設備，並於 Oakdale 及 Edic 345kV 變電所裝設傳統式電容器，達到增加中部至東部及中部至南部輸電系統傳輸容量之目的。

NYPA 在 Marcy 變電所設置之 CSC 設備，已有引領電力系統走向智慧電網之先知，可以運轉在各種不同模式，因而稱之為可轉換式 (Convertible)，基本上包括下列 4 種組態：

- **STATCOM**：靜態型同步無效電力補償器(Static Synchronous Compensator)，用於控制匯流排之電壓。
- **SSSC**：靜態型同步串聯補償器(Static Synchronous Series Compensator)，用於控制輸電線路之電力潮流。
- **UPFC**：通用型電力潮流控制器(Universal Power Flow Controller)，為 SSSC 與 STATCOM 之組合，用於控制輸電線路之電力潮流與匯流排之電壓。
- **IPFC**：兩回輸電線電力潮流控制器(Interline Power Flow Controller)，為 2 組 SSSC 之組合，用於同時控制兩回輸電線路之電力潮流。

NYPA 整套 CSC 裝置計畫分成兩個階段，第一階段於 1999 年 4 月開始先行裝設 STATCOM 設備，2000 年 9 月 Oakdale 變電所電容器完工，2001 年 4 月 Marcy 變電所 STATCOM 投入運轉。第二階段則是增設 SSSC、UPFC 及 IPFC 設備，2002 年 6 月 Edic 變電所電容器完工，2003 年 10 月 Marcy 變電所 SSSC、UPFC 及 IPFC 加入運轉。整個 CSC 裝置工程前後歷時 4 年半，總費用 5300 萬美元。

圖 3 為可轉換式靜態型無效電力補償器之單線圖，其實體設備及變流器大樓如圖 4 所示。

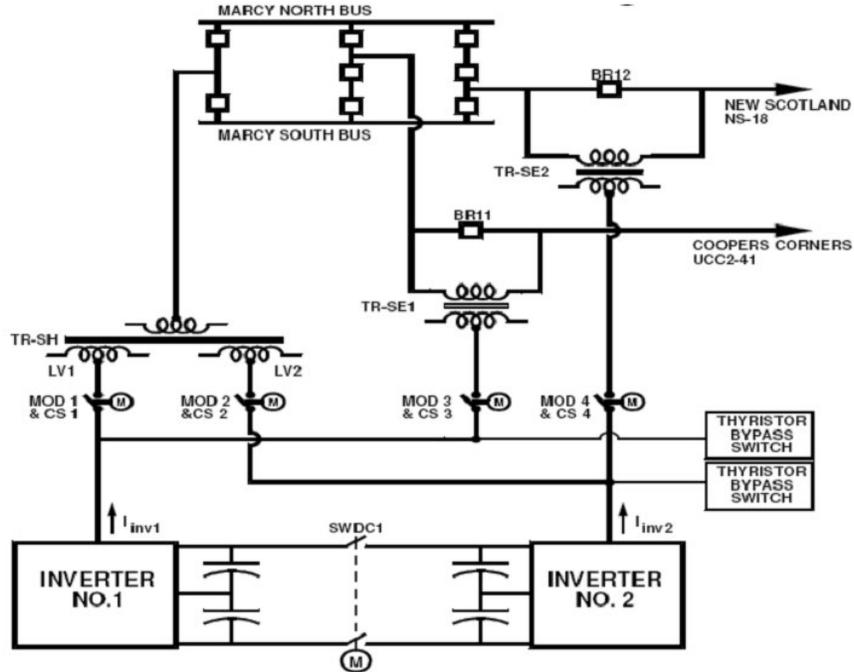


圖 3 可轉換式靜態型無效電力補償器單線圖



圖 4 可轉換式靜態型無效電力補償器實體設備及變流器大樓

從圖 3 之單線圖可知，整套 CSC 裝置利用各開關設備(BR11、BR12、CS1、CS2、CS3、CS4、SWDC1)之投入、切開，將#1、#2 變流器連接至串、並聯變壓器不同之二次側，即可組合成多達 11 種之運轉模式，如表 1 所示。表中畫面顯示 CSC 目前之運轉狀態為第 3 種模式，#1、#2 變流器分別連接至並聯變壓器 TR-SH 之 LV1 及 LV2 側，且切開 SWDC1 開關，即形成兩組 STATCOM(單組容量各 100MVAR) 掛接至 Marcy 變電所 345kV 匯流排之運轉模式，用於提供無效電力補償以動態調整電壓。同理，第 11 種模式為#1、#2 變流器分別連接至串聯變壓器 TR-SE1 及 SE2，同時控制 2 回聯外輸電線之電力潮流。

表 1 可轉換式靜態型無效電力補償器 11 種運轉模式

| Circuit Configuration = [#3] 2 STATCOM: SH(LV1)+SH(LV2) |                             |                     |            |        |                       |
|---|-----------------------------|---------------------|------------|--------|-----------------------|
| Config  | Type                        | Inverter Connection |            |        | Allowable Transitions |
|   |                             | Inv #1 to:          | Inv #2 to: | SWDC1  |                       |
| 0   | OFF                         | Not Used            | Not Used   | Open   | ALL                   |
| 1   | STATCOM100-1                | TR-SH(LV1)          | Not Used   | Open   | 0, 3, 7               |
| 2   | STATCOM100-2                | Not Used            | TR-SH(LV2) | Open   | 0, 3, 8               |
| 3   | STATCOM200                  | TR-SH(LV1)          | TR-SH(LV2) | Open   | 0, 1, 2               |
| 4   | SSSC100-UCC                 | TR-SF1              | Not Used   | Open   | 0, 6, 8               |
| 5   | SSSC100-UNS                 | Not Used            | TR-SE2     | Open   | 0, 6, 7               |
| 6   | SSSC100-UCC<br>SSSC100-IJNS | TR-SE1              | TR-SE2     | Open   | 0, 4, 5               |
| 7   | STATCOM100-1<br>SSSC100-UNS | TR-SH(LV1)          | TR-SE2     | Open   | 0, 1, 5               |
| 8   | SSSC100-UCC<br>STATCOM100-2 | TR-SE1              | TR-SH(LV2) | Open   | 0, 2, 4               |
| 9   | UPFC100/100-UNS             | TR-SH(LV1)          | TR-SE2     | Closed | 0                     |
| 10  | UPFC100/100-UCC             | TR-SE1              | TR-SH(LV2) | Closed | 0                     |
| 11  | IPFC100-UCC/100-UNS         | TR-SE1              | TR-SE2     | Closed | 0                     |

當 CSC 置於 STATCOM 之運轉模式，其控制可以為：(1) Voltage Control-設定電壓參考值以自動控制 345kV 匯流排之電壓；(2) Var Control-設定無效電力吸收或輸出值；(3) Voltage Control with Var Reserve-設定電壓參考值自動控制電壓，但保留無效電力容量以備緊急之需。圖 5 即為兩組 STATCOM 處於 Voltage Control with Var Reserve 運作之畫面，目前之運轉點顯示為紅點，電壓參考值設定於 1.033pu(356.5kV)，Droop 值 0.03(綠色線之斜率)，電網正常時無效電力限制於 $\pm 0.2\text{pu}$ ( $\pm 20\text{MVAR}$ ，紅色線)，每組 STATCOM 均至少保留  $\pm 80\text{MVAR}$  無效電力容量，以應付電網發生事故時緊急之用。

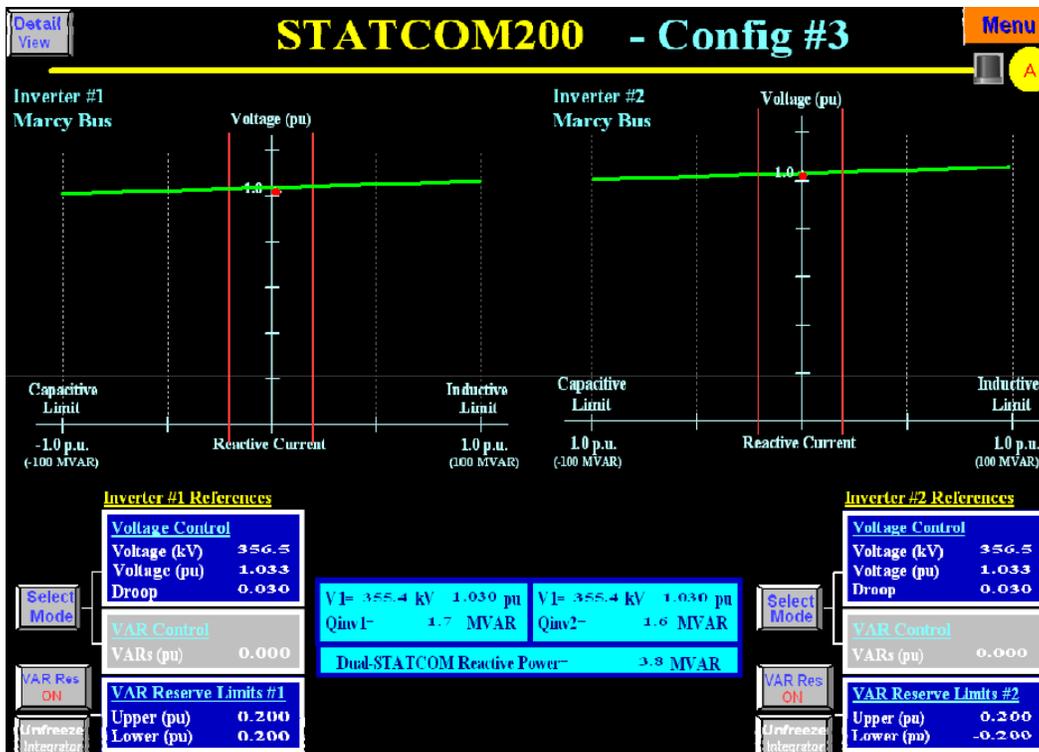


圖 5 STATCOM 處於 Voltage Control with Var Reserve 運作之畫面

Marcy 變電所兩組 STATCOM 之主要功能有：(1)系統正常時自動調整 345kV 匯流排電壓；(2)系統偶發事故時提供±200MVAR 無效電力快速控制電壓，減少引起嚴重連鎖事故之發生率；(3)增加紐約州中部至東部輸電通道之傳輸量 60MW；(4)增加紐約州中部至南部輸電通道之傳輸量 110MW。

當 CSC 置於 UPFC 或 IPFC 之運轉模式，中部至東部輸電通道之傳輸量可再增加 45MW，總計增加傳輸量達 105MW，中部至南部輸電通道之傳輸量可再增加 80MW，總計增加傳輸量達 190MW。圖 6 即為 CSC 置於 UPFC 運作之畫面，#1 變流器串聯於 Coopers Corners 輸電線控制其電力潮流，#2 變流器當作 STATCOM 用於控制電壓。

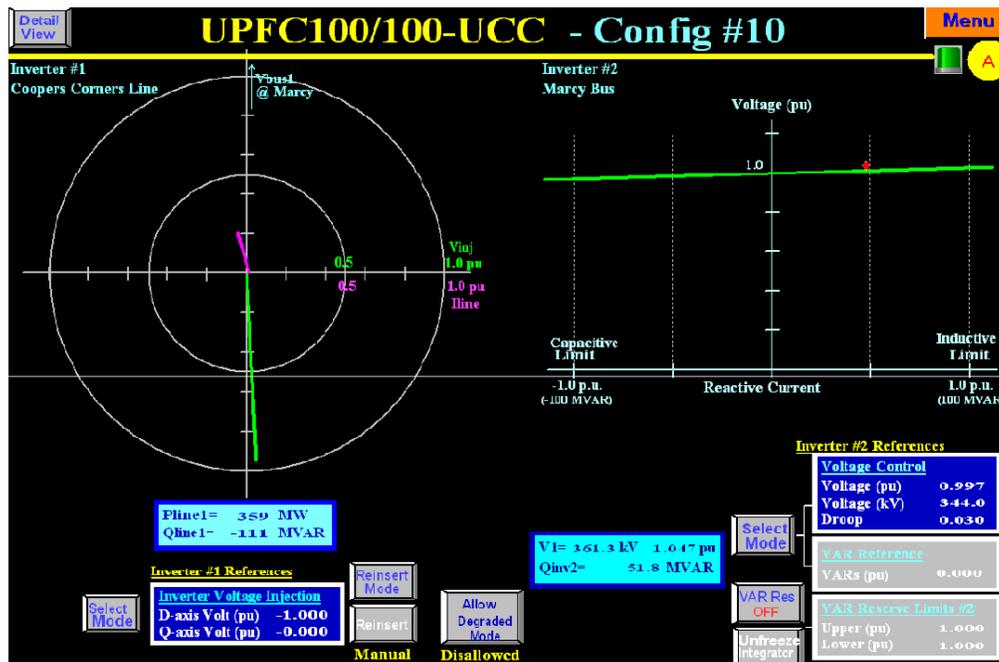


圖 6 CSC 置於 UPFC 運作之畫面

CSC 在不同運轉狀態之切換，如表 1 之可容許轉換模式(Allowable transitions)所示，從關機狀態重新啟動 CSC 之一般程序如下：

- 控制中心調度人員依據電網狀況，決定 CSC 適當之運轉模式及控制參數。
- 執行 CSC 診斷程式，確定 CSC 設備正常。
- 345kV 以下低壓開關放置於適當位置。
- 345kV 斷路器放置於正確位置。
- 先將 CSC 控制參數設定於預設值，即 STATCOM 電壓參考值設定於目前匯流排電壓，SSSC 電壓注入值設定為 0。
- 調度人員逐步調整控制參數至適當數值，例如電壓參考值調整至 1.0pu。

NYP A 目前 CSC 之運轉策略，首重提升中部至東部輸電通道之傳輸容量，通常兩組 STATCOM 置於 Voltage Control with Var Reserve 運作狀態，電網正常時兩組 STATCOM 無效電力運轉範圍限制於±40 MVAR，保留±160 MVAR 無效電力以應付電網偶發事故時緊急之用。

綜括而言，NYP A 於 2003 年完成 CSC 裝設計畫，實現 4 種 FACTS 設備融合為一體之應用，使用先進電力電子技術，彈性改變輸電線路之參數特性，達到增加輸電系統傳輸能力之目的，有其可以借鏡之處。

## 肆、參加電力傳輸諮詢會議紀要

2011 年美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)「電力傳輸諮詢會議(Power Delivery & Utilization Program Advisory Council Meeting)」於 9 月 12~14 日在美國麻薩諸塞州波士頓市召開，本處代表本公司參加電網規劃組出席，以獲取電網規劃、運轉及智慧電網、新能源整合之最新發展與技術應用。

會議期間各項分組研討會大多以研究計畫為單元，在同一時間分別於不同場地舉行，與會者可以就公司會員身份參加相關分組研討會，各個場次研討會的討論主題如下：

- 電力品質(Power Quality)
- 電力輸送(Electric Transportation)
- 輸電線與變電所(Transmission and Substations)
- 電網運轉、規劃及再生能源整合(Grid Operations, Planning & Renewable Integration)
- 能源儲存(Energy Storage)
- 智慧電網(IntelliGrid)
- 能源效率及需量反應(Energy Efficiency & Demand Response)
- 分散式再生能源整合(Integration of Distributed Renewables)
- 配電系統(Distribution Systems)

電網運轉、規劃及再生能源整合分組研討會與會人員，大多是公司參加 P39(Grid Operations)、P40(Grid Planning)及新成立 P173(Bulk Variable Generation Integration)研究計畫者，本處即代表本公司參加 P40 電網規劃組為正式會員。2011~2012 年 P40 電網規劃組主要分項研究計畫如表 2 所示，P39 電網運轉組分項研究計畫列於表 3。

表 2 2011~2012 年電網規劃組主要分項研究計畫

|         |   |
|---------|---|
| P40.009 | 增加輸電容量所用技術方案之效益評估<br>Economic Assessment of Technology Options for Increasing Transmission Capacity |
| P40.016 | 輸電系統模型發展、確認及管理<br>Transmission System Model Development, Validation, and Management                 |
| P40.017 | 電網分析方法及軟體工具<br>Transmission Network Analysis Methods & Tools  |
| P40.018 | 保護系統決策支援工具<br>Protection System Decision Support  |
| P40.019 | 具備策略及彈性之輸電系統規劃<br>Strategic & Flexible Transmission Planning  |
| P40.020 | 頻率響應適足度<br>Frequency Response Adequacy  |
| P40.S1  | 智慧電網運轉可靠度評估<br>Advancing Bulk System Reliability Assessment of Smart Grid Operations                |
| P40.S2  | 電廠機組參數推導軟體工具<br>Users Group for the Power Plant Parameter Derivation Tool                           |
| P40.S3  | 用於電網規劃檢討之複合負載模型<br>Comprehensive Load Modeling for System Planning Studies                          |

表 3 2011~2012 年電網運轉組主要分項研究計畫

|         |  |
|---------|--|
| P39.011 | 電網情勢預警－廣泛利用設備資訊<br>Situational Awareness Using Comprehensive Information   |
| P39.012 | 線上無效電力管理與電壓控制<br>Online Reactive Power Management and Voltage Control  |
| P39.013 | 智慧型電網分裂與復電決策支援工具<br>Decision Support Tools Enabling Intelligent System Separation and Restoration                          |
| P39.014 | 控制中心使用先進資料處理與電腦技術以防制連鎖停電<br>Advanced Data Processing & Computing Technologies at Control Centers against Cascading Outages |
| P39.008 | 設備額定動態調整應用於1日前電力市場<br>Integrating Dynamic Rating into Day Ahead Markets  |

綜觀電網規劃及運轉組討論之技術發展與應用，下列研究主題受到相當重視，且與本處業務關聯性較大，因此特別分節摘要介紹於後。

(一)電網偶發事故嚴重性快速篩選方法：快速掃瞄數千個可能發生故障地點，並識別出最嚴重之偶發事故。

(二)負載模型之研究發展與應用：檢視各種負載模型之研究發展歷程及目前所遭遇之難題，有助於瞭解電力系統檢討分析工作之實務作法。

(三)電網分裂預警與決策支援系統：協助控制中心掌握電網狀況，並於電網事故時提供預警與決策支援，使調度運轉人員能於適當時間啟動預設之最佳控制策略。

## 一、電網偶發事故嚴重性快速篩選方法 (Fast Fault Screening, FFS)

電力系統分析為電網規劃、運轉之必要工作，其中暫態穩定度檢討是一重要項目。傳統上，暫態穩定度係使用電腦軟體執行時域模擬 (Time domain simulation)，地毯式針對所有可能偶發事故進行模擬，是一項耗時沒效率之作法。資深人員具有經驗者輔以工程判斷，可以較省時篩選嚴重性較高之偶發事故優先進行模擬，惟新進及輪調人員難免漏失嚴重性之偶發事故，造成對系統暫態穩定度產生偏頗判斷。

電網規劃、運轉人員無不冀望可以先行快速篩選出最嚴重偶發事故之方法，再優先據以進行時域模擬分析，進而評估系統暫態穩定度是否符合準則。基此，紐約州能源研發管理局(NYSERDA)、美國電力研究院(EPRI)、及紐約獨立電力調度機構(NYISO)聯合進行「電網偶發事故嚴重性快速篩選方法」研究計畫，期能快速掃瞄數千個可能發生故障地點，並識別最嚴重之偶發事故，再據以進行時域模擬分析。

電網偶發事故嚴重性快速篩選方法之核心，係針對可能之偶發事故進行排序指標(Ranking Index, RI)之計算，有別於時域模擬計算臨界清除時間(Critical Clearing Time, CCT)。電力系統可以忍受的最長之短路故障時間，且於事故清除後發電機仍能繼續維持同步運轉，此最長故障時間即是臨界清除時間(CCT)。如果清除故障的時間小於 CCT，各

發電機雖然受到衝擊，仍可維持同步運轉，電力系統可以繼續穩定運轉。倘若清除故障的時間大於 CCT，必然會有發電機失去同步跳機，進而引發系統停電。長期以來，臨界清除時間已被公認為暫態穩定度之衡量指標，因此排序指標(RI)須與臨界清除時間(CCT)進行比較，才能驗證其有效及可用性。

電網偶發事故嚴重性快速篩選方法，由 NYISO 提供電網規劃案例(至少含 52,500 匯流排、68,400 支路及設備動態模型資料)，進行不同匯流排故障點以及多種傳輸容量方案之離線分析測試，顯示快速篩選方法與時域模擬結果有良好關聯性，同時符合 NYISO 與紐約州各電力公司已有之經驗。圖 7 為快速篩選方法選出最嚴重匯流排故障之排序指標(RI)與臨界清除時間(CCT)之關聯，RI 值愈大者，CCT 值愈小，代表匯流排事故之嚴重性愈高。

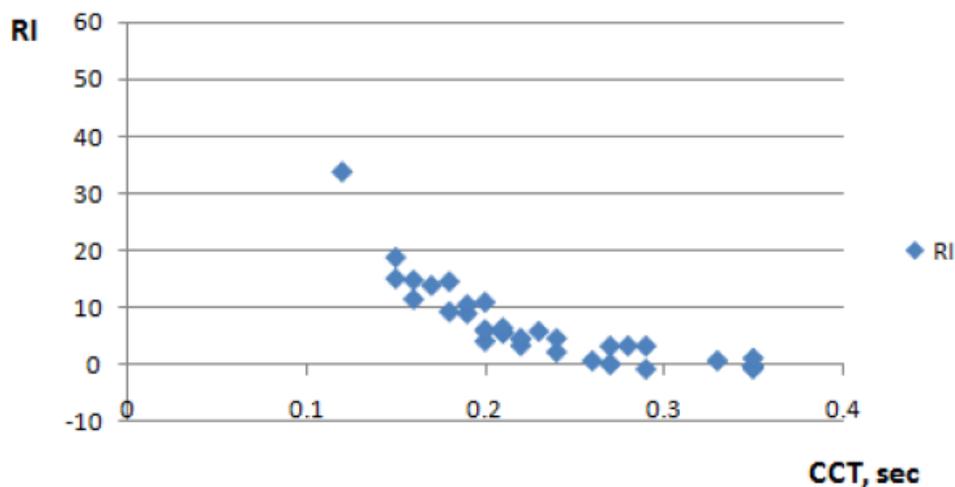


圖 7 離線分析嚴重事故之排序指標 RI 與臨界清除時間 CCT 之關聯圖

表 4 為快速篩選方法應用於匯流排故障嚴重性之排序結果，顯示排序指標 RI 與臨界清除時間 CCT 之先後順序相當一致。最嚴重匯流排故障之排序指標 RI=33.5666 可以快速計算得之，相對於臨界清除時間 CCT=0.12sec 必須重覆多次進行時域模擬且須比對圖 8 所示角度曲線才能得到，可知快速篩選方法計算排序指標有其可用之處。

表 4 匯流排故障嚴重性排序指標 RI 與臨界清除時間 CCT 之比較

| Bus Number | RI      | Rank RI | CCT  | Rank CCT |
|------------|---------|---------|------|----------|
|            | 33.5666 | 1       | 0.12 | 1        |
|            | 15.0019 | 2       | 0.14 | 2        |
|            | 14.747  | 3       | 0.15 | 3        |
|            | 14.4956 | 4       | 0.17 | 6        |
|            | 13.75   | 5       | 0.16 | 5        |
|            | 11.4086 | 6       | 0.15 | 4        |
|            | 11.1935 | 7       | 0.2  | 9        |
|            | 9.3169  | 8       | 0.17 | 7        |
|            | 8.9723  | 9       | 0.19 | 8        |
|            | 6.7579  | 10      | 0.2  | 10       |
|            | 5.9803  | 11      | 0.2  | 11       |
|            | 4.6677  | 12      | 0.24 | 14       |
|            | 4.6471  | 13      | 0.22 | 12       |
|            | 4.5335  | 14      | 0.22 | 13       |
|            | 3.3661  | 15      | 0.28 | 17       |
|            | 3.3114  | 16      | 0.27 | 15       |
|            | 3.3048  | 17      | 0.29 | 18       |
|            | 1.2483  | 18      | 0.3  | 20       |
|            | 0.1304  | 19      | 0.27 | 16       |
|            | -0.7012 | 20      | 0.29 | 19       |

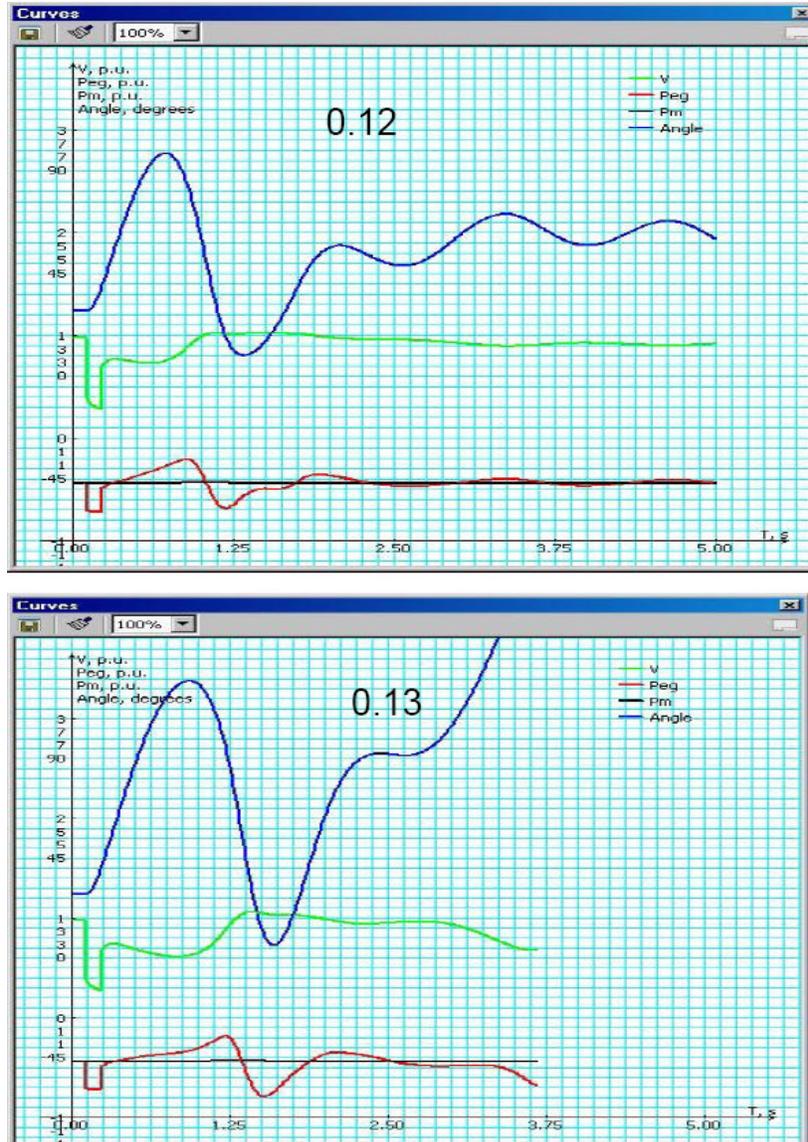


圖 8 進行時域模擬比對角度曲線才能得到臨界清除時間

同樣使用電網偶發事故嚴重性快速篩選方法，由 NYISO 提供能源管理系統(EMS)即時電網案例，進行不同匯流排故障點以及多種傳輸容量方案之線上分析測試，一樣顯示快速篩選方法與時域模擬結果有良好關聯性，如圖 9 所示。

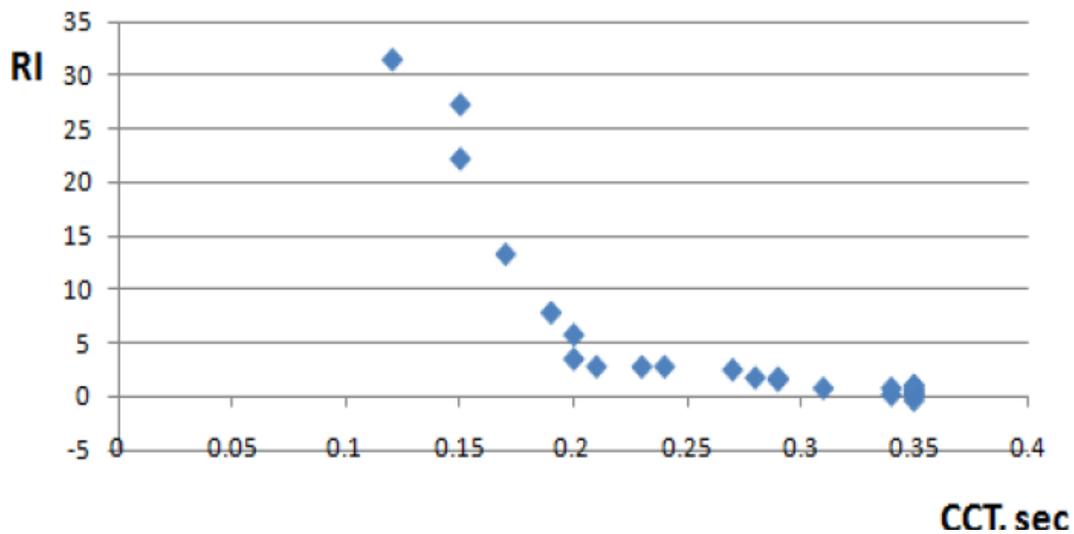


圖 9 線上分析嚴重事故之排序指標 RI 與臨界清除時間 CCT 之關聯圖

「電網偶發事故嚴重性快速篩選方法」研究計畫，由 NYISO 提供電網規劃案例及能源管理系統電網運轉案例，針對不同匯流排故障點與多種傳輸容量方案，執行暫態穩定度之離線及線上分析測試，結果顯示快速篩選方法計算出排序指標(RI)與時域模擬得到之臨界清除時間(CCT)有良好關聯性。未來研究方向將考慮輸電線因故障而跳線之狀況，並進行無效電力及電壓穩定度之檢討比較測試，俾構成一套包括暫態及電壓穩定度之電網偶發事故嚴重性快速篩選方法。

## 二、負載模型之研究發展與應用

電力系統分析工作，包括電力潮流檢討、故障電流計算及穩定度模擬，均須有代表各項電力設備之模型參數。模型參數愈準確，所得到分析結果愈具可信性。對於模型參數之建立，發電機、輸電線及變壓器之模型參數已可達到相當高準確度，但負載模型卻不可能達到相同精確程度，原因是用戶為數眾多、負載種類繁雜且其特性殊異。因此，長久以來負載模型相關之研究發展持續不斷，但其進展顯與投入之人力物力不成正比，結果也是差強人意。

大多數電力公司目前參考 IEEE 負載模型工作小組於 1993 年發表之「Load Representation for Dynamic Performance Analysis」文獻，負載模型使用靜態模型，進行電力系統穩定度模擬分析。靜態模型即所謂 ZIP 模型(Z:Constant Impedance、I:Constant Current、P:Constant Power)，其中有效電力部分為定電流(Constant Current)模型、無效電力部分為定阻抗(Constant Impedance)模型，亦是本公司使用於暫態穩定度模擬分析之模型。

本次趁參加電力傳輸諮詢會議之機會，當面與 Midwest ISO、New English ISO 及 EPRI 專家討論各種負載模型，瞭解實務上電力系統檢討分析工作，大部分還是使用靜態(ZIP)模型。研究方面則希望找到比較精確之模型，惟思考負載隨時變動之本質，何時有突破實難以預期。

本次電力傳輸諮詢會議亦安排負載模型之議題，美國南方電力公司 (Southern Company) 與 EPRI 分別以「邁向何方(Where do we go from here?)」及「未來可能之路(Possible Path Forward)」提出討論。南方電力公司使用之負載模型以 PSSE 程式 CLOD 模型為主，如圖 10 所示。總負載之 50% 設為小型馬達，其餘 50% 負載之有效電力部分為定電流模型、無效電力部分為定阻抗模型。

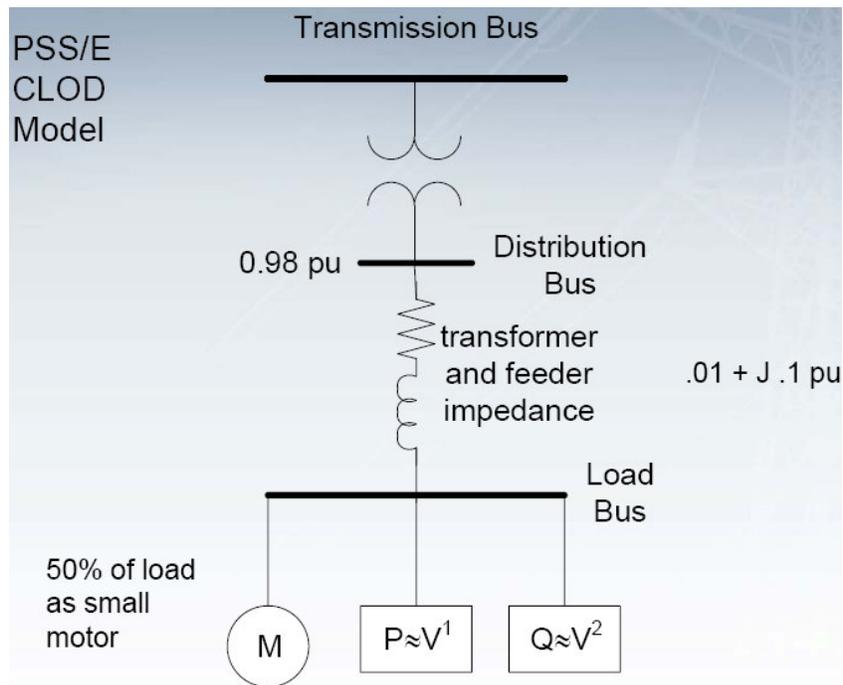


圖 10 PSSE 程式 CLOD 負載模型

當 PSSE 程式模擬電網故障導致電壓低下時，CLOD 模型之馬達會失速不動，故障清除後電壓上昇，CLOD 馬達會加速恢復運轉，惟

在真實世界馬達仍然卡住不動，同時 CLOD 模型無法展現自然卸載(電壓降低時馬達自動跳脫)之現象。因此，穩定度模擬時使用含有馬達之負載模型，一定會比靜態(ZIP)負載模型來得準確之說法，不無疑問。

考慮電壓降低時馬達自然卸載與失速不動之現象納入，可將 CLOD 負載模型修改成如圖 11 所示者。但是，各型馬達佔總負載之百分比，以及電壓降低時有多少馬達會自動跳脫，此兩項難題仍待解決，這也就是大多數電力公司還是使用靜態模型之原因。

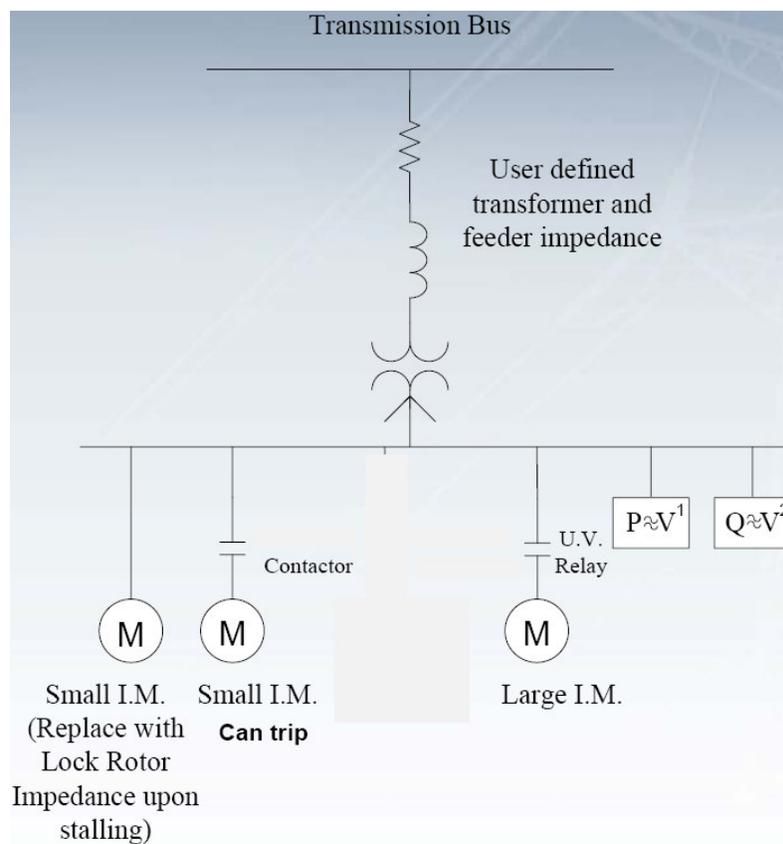


圖 11 考慮馬達自然卸載與失速不動之負載模型

最近幾年 EPRI 對於負載模型之研究發展，包括：

- **負載元件特性(Characterization of Components)**：實驗室測試、發展元件模型。
- **新型負載特性(Understanding New Load Behavior)**：電力電子負載(變頻器、交流空壓機、省電燈泡、發光二極體等)實驗室/現場測試、發展元件模型。
- **負載組成分析(Load Composition)**：負載種類調查、變電所或用戶負載現場量測。
- **負載模型集成(Load Model Aggregation)**：聚集用戶端元件特性由下而上建立模型，EPRI 提出之模型如圖 12 所示。
- **負載模型驗證(Load Model Validation)**：經由事故紀錄與電腦模擬比對，進行模型參數之驗證及校正。

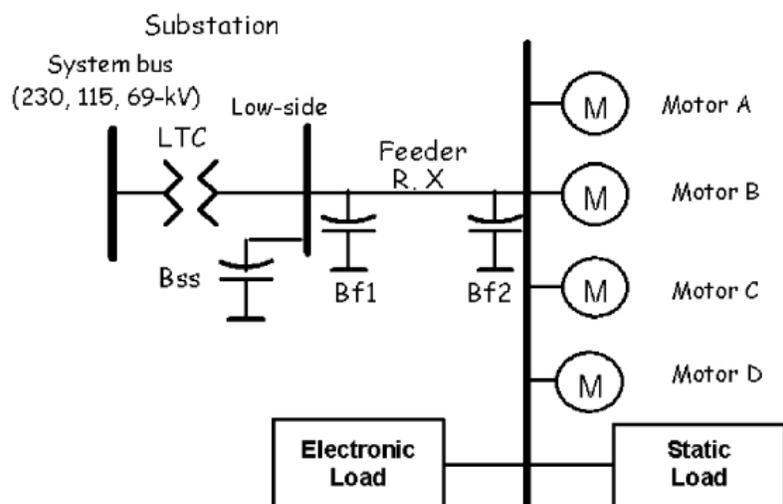


圖 12 由下而上聚集用戶端元件特性建立之負載模型

自從 IEEE 負載模型工作小組於 1993 年發表負載模型之調查研究以來，電力研究機構及業界試圖發展更為精確之負載模型。除了美國南方電力公司與 EPRI 分別提出不同之負載模型外，美國西部電網協調委員會(Western Electricity Coordinating Council, WECC)於 2010 年 7 月出版之「WECC Data Preparation Manual」，規定負載大於 5MW 之匯流排均須考慮 20%之動態感應馬達模型，其餘 80%負載之有效電力部分為定電流模型、無效電力部分為定阻抗模型。

WECC 發展負載模型原是為檢討 1996 年 8 月停電事故與 2000 年 8 月 WECC 系統連往加拿大 Alberta 系統之聯絡線跳脫事故，過程中發現若要重現電網振盪及電壓不穩定現象，須加入感應馬達負載模型。經反覆調整感應馬達參數及其佔總負載之比例，得到與事故資料紀錄相近之模擬結果，因此訂下動態感應馬達佔總負載 20%之模型。

檢視負載模型之研究發展歷程，可以得到以下結論：

- (一)在未有更為精確負載模型之情形下，大多數電力公司使用靜態模型進行系統分析工作。
- (二)需詳細研討之案例，可以使用 PSSE 程式 CLOD 負載模型或參考 WECC 設定 20%馬達模型。
- (三)新的複合負載模型仍持續研發中，尚未達到實用之階段。
- (四)採用動態或複合負載模型，須先現場量測與驗證，才能確認適用。

### 三、電網分裂預警與決策支援系統

電力系統運轉時，無可避免地會遭遇天然災害及設備故障造成之各項衝擊，導致如輸電線跳線以及發電機跳機等之重大事故，致使電力系統處於異常狀態。雖然發生大區域停電或是全黑之機率不高，萬一發生即動輒影響數百至數千萬人之用電，造成財物損失將難以估計，因此研究減少發生大停電機率之解決方案及軟體支援工具仍然是重點項目。

電力系統發生大停電事故，通常有著類似之過程，一連串連鎖事故總是肇因於單一事件或者多重事件。肇始事件發生後，觸發保護設備動作或其他設備失靈，形成連續的線路及發電機跳脫事故。這些連鎖事故使得健全線路超載，匯流排電壓降低，因此輸電系統更加脆弱。最後，電力供需不平衡情況嚴重惡化，可能致使不同控制區之發電機互相振盪而失去同步，進而引發電網演變成非計畫性之分裂，解體成數個無法繼續運轉之孤島系統，終於失控導致大停電。

當連鎖事故引發電網分裂，調度運轉人員幾乎沒有時間分析其肇因，並選擇適當之因應控制策略。因此，一套能夠指明「電網在何處、何時分裂」及「最佳控制策略」之預警與決策支援軟體工具，就顯得迫切需要。應付電網分裂之控制策略，必須能夠適應於各種不同的運

轉狀況，並可在調度運轉人員監視下啟動閉環路控制。建構電網分裂控制策略之程序，通常包括下列三個階段及各項步驟：

#### (一)離線分析階段(Offline Analysis stage)

- 檢討相量量測設備(PMU)之安裝地點，每個電力控制區或可能之電力孤島至少須有一套 PMU。
- 鑑識、確認電網可能之分裂界線(Boundary)或地點。
- 設計及模擬預防、控制電網分裂及減緩其衝擊之可行策略。

#### (二)線上監視階段(Online Monitoring stage)

- 監視各個電力控制區之振盪情形。
- 預測電網最危險之分裂界線或地點。

#### (三)即時控制階段(Real-Time Control stage)

- 針對最危險之分裂界線，評估電網穩定度之裕度及風險。
- 當電網趨近分裂之風險升高時，調度運轉人員可以啟動最適當之控制策略，預防及減緩電網分裂之衝擊。
- 調度運轉人員啟動控制策略之後，電腦即依照離線分析階段已設計完成之控制動作表單自動執行。

一套完整的電網分裂預警與最佳控制策略決策支援系統之架構，如

圖 13 所示。

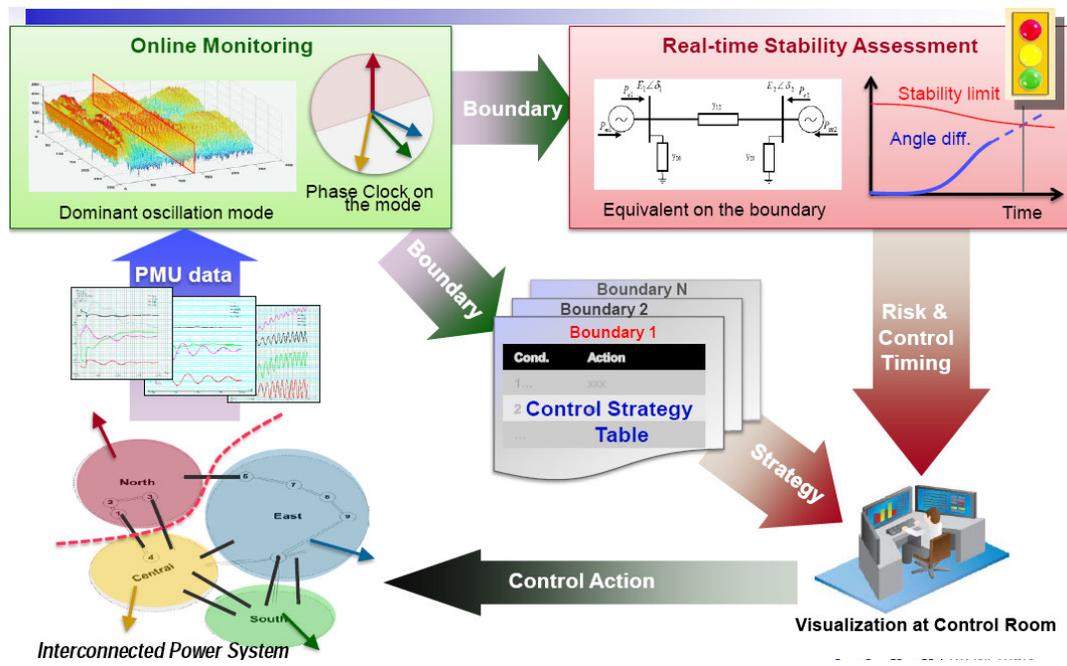


圖 13 電網分裂預警與決策支援系統

通常大型互聯電網依超高壓輸電線架構，可區分為數個電力控制區，在歐、美國家可能分屬於不同電力公司，在台灣可以北部、中部、南部及東部地區來劃分。安裝在每個控制區之相量量測設備(PMU)，將電網之電力潮流、電壓及其相位、發電機角度等即時資訊，送至線上預警系統監視各個控制區之振盪情形，並預測電網最危險之分裂界線。同時間決策支援系統進行電網穩定度評估，當電網趨近分裂之風險升高時，調度運轉人員可以在控制中心，依據圖視化之風險指標，於適當時間啟動預設之最佳控制策略，自動執行離線分析階段已設計完成之控制動作，以預防及減緩電網分裂所造成之衝擊。

圖 14 為美國西部 WECC 電網案例檢討及模擬情形，WECC 系統有 4 個控制區，各發電機群之角度落在不同之範圍，電網發生嚴重事故時，可能之分裂界線有 Boundary 1-234(藍色線)及 Boundary 14-23(紅色線)。當加州與奧瑞岡州間 6 回聯絡輸電線陸續跳脫時，Boundary 1-234 及 Boundary 14-23 兩邊發電機群之角度差持續變大，相對應之風險指標也持續飆高，最終於 200 秒後急遽升高至 100%，不同控制區之發電機群失去同步，聯網系統隨即進入不穩定而失控，導致大區域停電恐無法避免。在跳線事故之過程中，Boundary 1-234 兩邊發電機群角度之相位差接近於  $180^\circ$  互相振盪，因此為最危險之分裂界線。

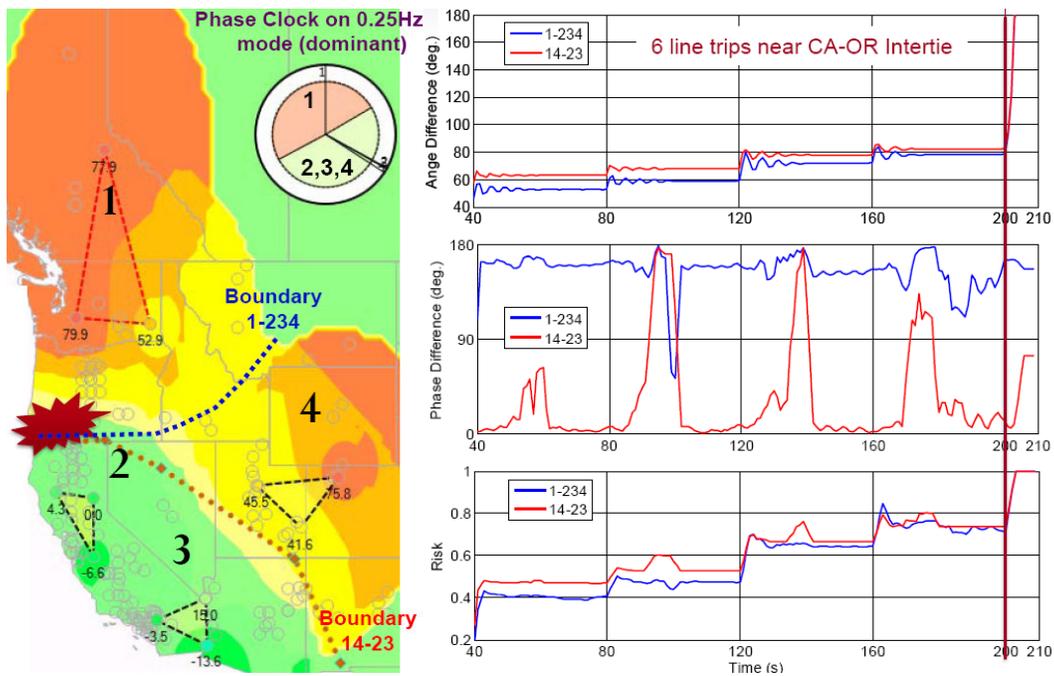


圖 14 美國西部 WECC 電網案例檢討及模擬

電網發生連鎖事故時，為避免其演變成非計畫性之分裂，解體成數個無法繼續運轉之孤島系統，防制之控制策略主要有：(1)計畫性分裂成數個可以繼續獨立運轉之孤島系統，(2)卸除部份負載或跳脫部份發電機。針對前述美國西部 WECC 電網陸續跳脫 6 回聯絡線路之案例，當風險指標持續升高超過 80% 時，即刻採行計畫性分裂之控制策略，在最危險之 Boundary 1-234 分裂成兩個可以獨立運轉之孤島系統，如圖 15 所示。雖然兩個孤島系統之頻率相差 0.1Hz，兩邊發電機群之角度差變得更大，但已無電氣上之互聯，不至於進入不穩定而失控，大區域停電已可避免。稍後再調整兩個孤島系統發電機之出力，將頻率控制在相同之 60Hz，即可進行聯網操作恢復成原來互聯系統之運轉。

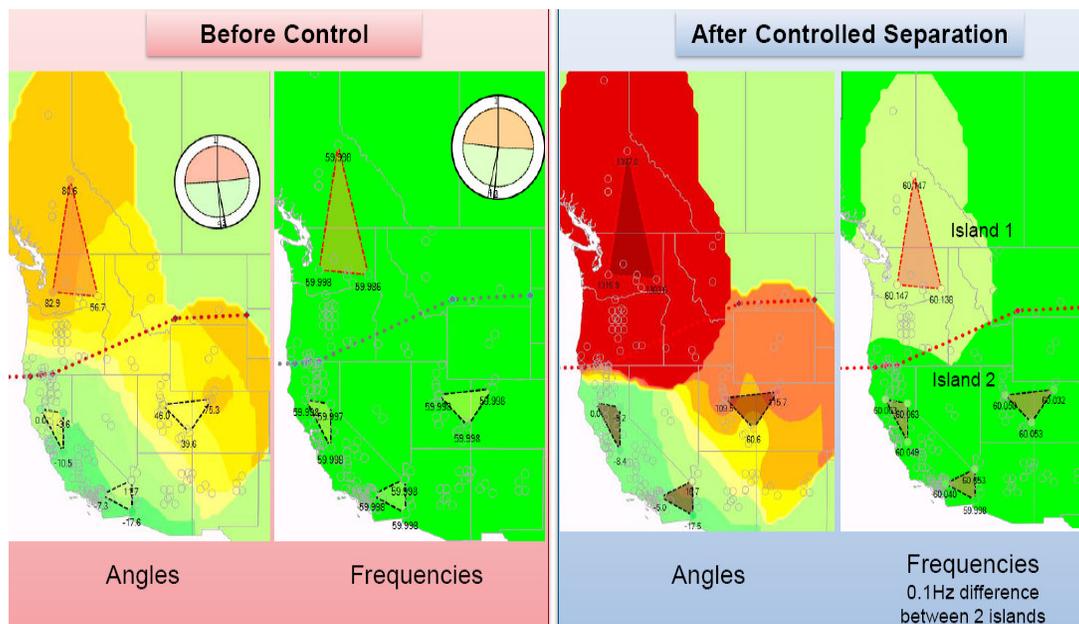


圖 15 電網聯絡線事故時計畫性分裂成可以獨立運轉之孤島系統

同樣針對前述美國西部 WECC 電網陸續跳脫 6 回聯絡線路之案例，當風險指標持續升高超過 80% 時，不採行計畫性分裂之控制策略，改採卸除 Boundary 1-234 南邊控制區 234 內 5% 負載，則 Boundary 1-234 及 Boundary 14-23 兩邊發電機群之角度差立刻從  $80^\circ$  降低至  $40^\circ \sim 50^\circ$ ，相對應之風險指標也由 80% 降低至 30%，如圖 16 所示。聯網系統瞬即回復到相當穩定之狀態，已無失控分裂之虞，也沒有引發大區域停電之風險。從圖 16 可知，電網趨近分裂之風險指標與不同控制區發電機群之角度差走勢相同，兩者具有非常高之正相關性，可用於瞭解、判斷電網運轉之狀況。

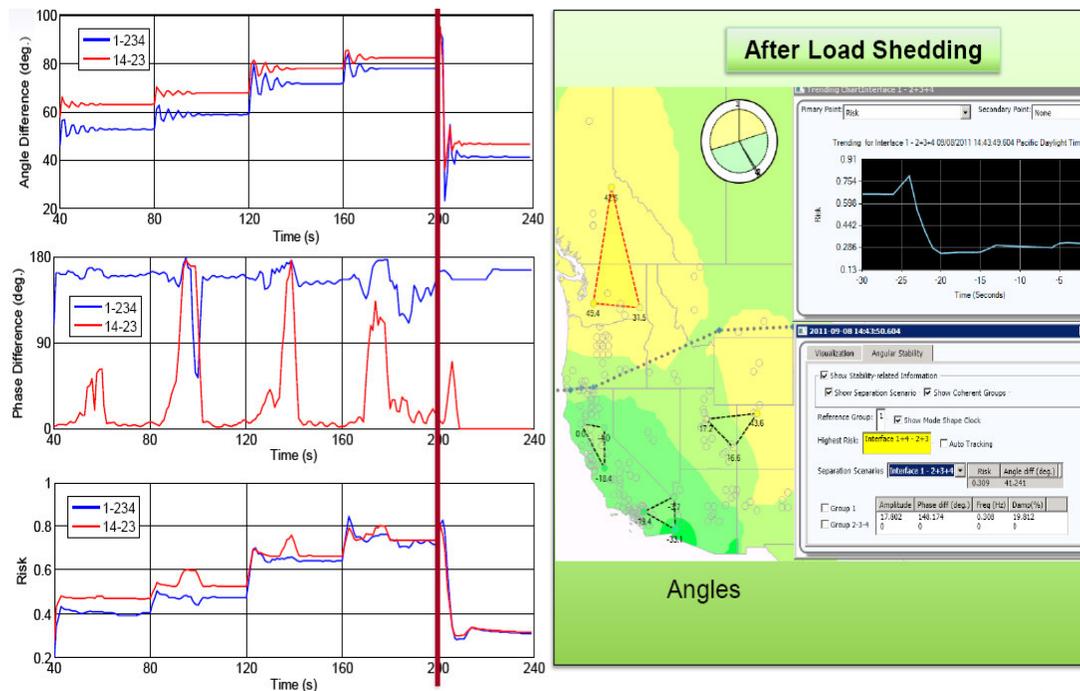


圖 16 電網聯絡線事故時計畫性卸除負載以確保穩定運轉

總之，電網分裂預警與決策支援系統，能夠協助控制中心掌握電網狀況，並於電網事故時提供預警與決策支援，使調度運轉人員能於適當時間啟動預設之最佳控制策略，其功能可以解決下列有關電網分裂之三大難題：

- 何處會發生(Where to happen?)：預測電網最危險之分裂界線或地點。
- 何時會發生(When to happen?)：預先警示不同控制區之發電機互相振盪嚴重程度。
- 應做何事(What to do?)：提供預防、控制電網分裂及減緩其衝擊之可行策略。

## 附 錄

### 一、Marcy 超高壓變電所參訪行程及與會人員

(Agenda and Meeting Attendees of Taiwan Power Company Visit)

### 二、台電系統概況及 STATCOM 計畫簡介

(Overview of Taipower System and Introduction of its STATCOM Project)

# 一、Marcy 超高壓變電所參訪行程及與會人員



## Taiwan Power Company Visit

September 9, 2011

Clark Energy Center

### AGENDA

|  |              |                    |
|--|--------------|--------------------|
| Welcome & Introductions<br>Safety & Security Orientation<br>NYPA – Transmission Overview | E. Rider     | 10:30 – 10:40 a.m. |
| Overview of Taipower System &<br>Introduction of STATCOM Project Plan                    | Taipower     | 10:40 – 11:00 a.m. |
| NYPA's CSC Application and Q&A   | B. Blanchard | 11:00 – noon       |
| Lunch  |              | noon – 1:30 p.m.   |
| Marcy Substation Tour  | P. Toia      | 1:30 – 2:30 p.m.   |

# Taiwan Power Company Visit

September 9, 2011

## MEETING ATTENDEES

### *Taiwan Power Company*

- Dr. Chung-Liang Chang                      Director of System Planning
- Mr. Shui-Hsiu Lin                              Senior Engineer of System Planning

### *EPRI (Electric Power Research Institute)*

- Mr. Liang Min,                                      Project Manager
- Mr. Adam Wigington                              Project Engineer Scientist

### *NYPA - WPO (New York Power Authority - White Plains Office)*

- Ms. Jennifer Dering                              Manager, Operations Planning
- Mr. Mark Graham                                 Senior System Planning Engineer I

### *NYPA - CEC (New York Power Authority – Clark Energy Center)*

- Mr. Edward Rider                                 General Manager, CEC
- Mr. Brent Blanchard                              Electrical Engineer
- Mr. Philip Toia                                      Test Supervisor

## **Additional Lunch Attendee**

- Mr. Steven DeCarlo                                Senior Vice President, Transmission

## Overview of Taipower System and Introduction of its STATCOM Project

Taiwan Power Company

Sept. 9, 2011



### Contents

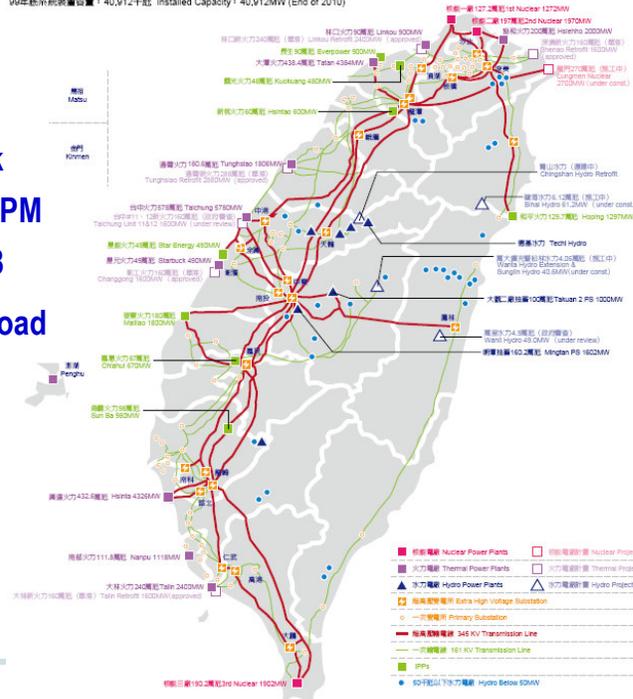
- **Taipower System**
  - **Highlight**
  - **Performance**
- **STATCOM Project**
  - **Capacity**
  - **Purpose**
  - **Configuration**
  - **Feature**



# Taiwan Power System

- Instantaneous Peak Load 33,961 MW at PM 13:40:58 on Aug. 18
- Hourly Avg. Peak Load 33,695 MW at PM 13:00~14:00

電力系統圖 Taiwan Power System  
99年底系統裝置容量：40,912千瓩。 Installed Capacity: 40,912MW (End of 2010)



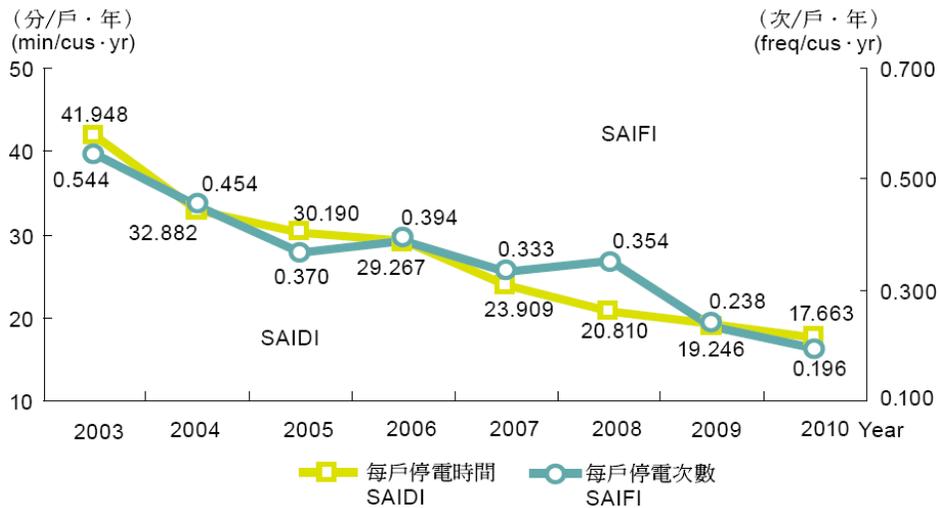
## Production, Sales and Load

| Description                     | 2009    | 2010    | Change(%) |
|---------------------------------|---------|---------|-----------|
| Installed Capacity (MW)         | 40,247  | 40,912  | 1.7       |
| Energy Production (Million KWH) | 193,605 | 207,385 | 7.1       |
| Sales (Million KWH)             | 179,239 | 193,313 | 7.9       |
| Peak Load (MW)                  | 31,011  | 33,023  | 6.5       |
| Customers (Thousand)            | 12,415  | 12,583  | 1.4       |

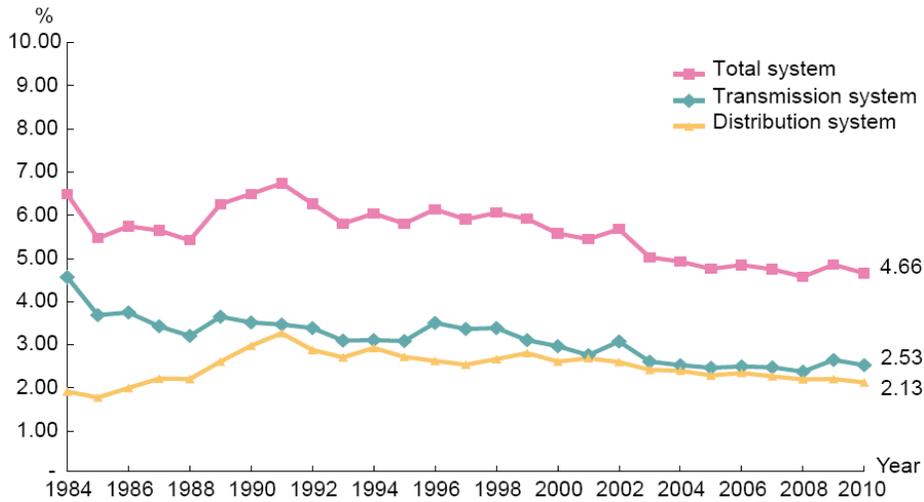
## Installed Capacity - 2010

| Item             |                          | MW                          | (%)    |       |
|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------|-------|
| P.S. Hydro       |                          | 2,602                       | 6.4    |       |
| Thermal          | Taipower                 | 23,010                      | 56.2   |       |
|                  | IPP                      | 7,707                       | 18.8   |       |
|                  | Subtotal                 | 30,717                      | 75.0   |       |
| Nuclear          |                          | 5,144                       | 12.6   |       |
| Renewable Energy | Conv. Hydro              | Taipower                    | 1,688  | 4.1   |
|                  |                          | IPP                         | 39     | 0.1   |
|                  |                          | Hydro Entrusted to Taipower | 250    | 0.6   |
|                  | Wind Power               | Taipower                    | 249    | 0.6   |
|                  |                          | IPP                         | 222    | 0.5   |
|                  | Solar Energy             | Taipower                    | 1      | 0.0   |
|                  | Subtotal                 |                             | 2,449  | 6.0   |
|                  | Total Installed Capacity |                             | 40,912 | 100.0 |

## SAIDI and SAIFI



# Line Loss



# Capacity and Site of STATCOM

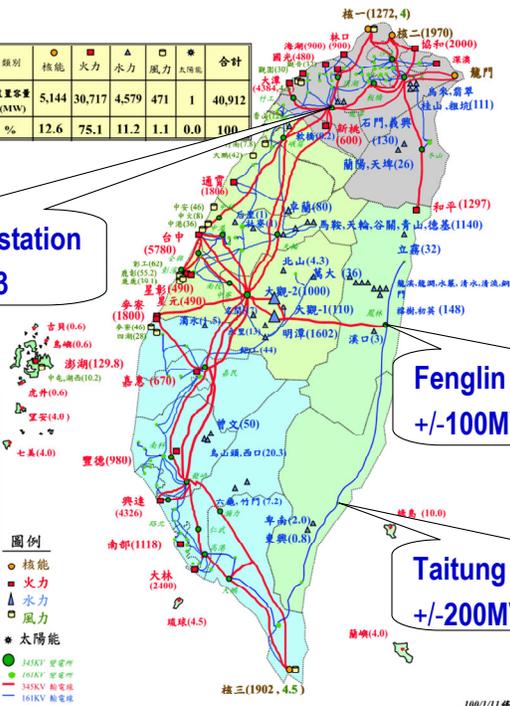
| 類別        | 核能    | 火力     | 水力    | 風力  | 太陽能 | 合計     |
|-----------|-------|--------|-------|-----|-----|--------|
| 裝置容量 (MW) | 5,144 | 30,717 | 4,579 | 471 | 1   | 40,912 |
| %         | 12.6  | 75.1   | 11.2  | 1.1 | 0.0 | 100    |

Lungtan 345kV Substation  
+/-150MVAR in 2013

Fenglin 345kV Sub.  
+/-100MVAR in 2012

Taitung 161kV Sub.  
+/-200MVAR in 2013

| Area     | Supply (%) | Demand (%) |
|----------|------------|------------|
| Northern | 34.8       | 44.5       |
| Central  | 32.2       | 27.0       |
| Southern | 33.0       | 28.5       |



---

## **STATCOM at Lungtan Substation**

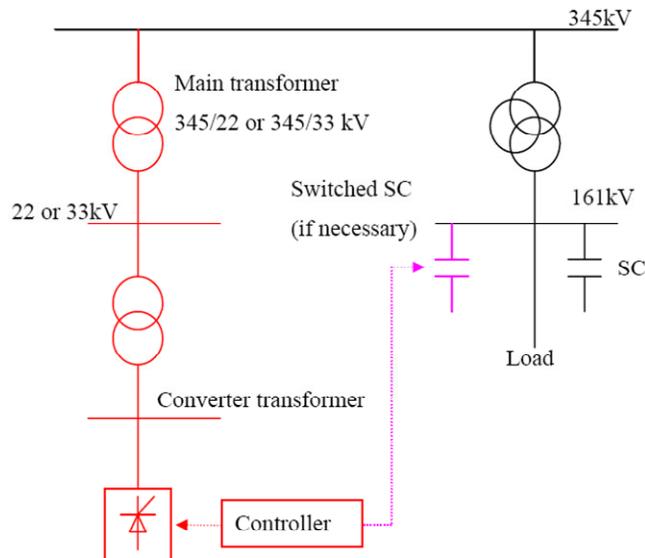
- ❑ To avoid voltage collapse in northern area when extreme contingencies occur.
- ❑ To dynamically control voltage profiles during disturbances.
- ❑ To enhance transient stability when 345kV trunk lines heavy loaded.
- ❑ Connect to 345kV North Bus to achieve better effects.

---

## **STATCOM in Eastern Area**

- ❑ To solve voltage problems in eastern area when the following contingencies occur :
  - To avoid voltage collapse when 345kV East-West lines tripped.
  - To suppress voltage rise when 161kV southern lines tripped during light-load periods.
- ❑ Connect to 161kV bus at Fenglin and Taitung substations.

## Example Configuration of STATCOM



## Response and Re-start Time of STATCOM

- **Response Time : 80-100ms**
  - In which the 345kV AC voltage responds to a change in the AC voltage reference.
- **Re-start Time : 100ms**
  - In which the STATCOM reactive power output is limited to a low level just after an AC system fault occurs, then resumed to a previous level after the AC system voltage is recovered.

---

## Issues of Standards

- ❑ Individual equipments (circuit breakers, transformers, control and protection devices) of STATCOM have their own standards.
- ❑ The insulation level of equipments must be coordinated with the insulation level of the AC system bus.
- ❑ How about STATCOM as a combined set?  
Any special considerations?