

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

赴美國參加美國奇異公司
電力系統工程班

服務機關：台電系統規劃處

出國人職 稱：電機工程師

姓 名：梁 國 堂

派赴國家：美國

出國期間：102.11.02~102.12.09

報告日期：103.01.21

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班

頁數50 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

梁國堂/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程師/2366-6908

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他

出國期間：102年11月2日~102年12月9日 出國地區：美國

報告日期：103年1月21日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、需量反應(DR)、雙饋可變速感應

發電機(DFIG)、低電壓過渡(LVRT)、先進讀表裝置基礎

(AMI)、飛輪(Flywheel)儲能設備

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司電力系統工程班課程分成四大部分：一、電力系統工程課程，二、電力系統規劃與高等的應用，三、電力市場、能源經濟及策略規劃，四、新興的發電技術。

本次參與第四部份新興的發電技術課程，主要介紹需量反應與動態價格、先進讀表裝置基礎、燃料彈性及替代能源應用、儲能設

備、電動車、分散式能源系統整合及再生能源系統等。

期間並配合實地參觀風力機組製造廠、電池製造廠、飛輪儲能設備電廠及奇異公司全球研究發展中心，達成理論與實務相輔相成之目的。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

報告內容

一、出國緣由與目的.....	1
二、出返國行程.....	2
三、心得與建議.....	3
四、電力系統第四期課程摘要	5
4-1 電力自由化市場概述.....	5
4-2 需量反應(DEMAND RESPONSE)概述	6
4-2-1 需量反應技術及架構.....	8
4-2-2 動態價格(Dynamic Pricing)	12
4-3 先進讀表基礎建設(AMI)	17
4-3-1 先進讀表在智慧型電網的運用.....	17
4-3-2 世界其它國家先進讀表建置情況.....	19
4-4 分散式能源系統整合(DISTRIBUTED ENERGY RESOURCE SYSTEM INTEGRATION)	23
4-5 再生能源系統基礎.....	25
4-5-1 風力發電系統簡介.....	25
4-5-2 風力機組加入電網之影響.....	31
4-5-3 太陽能發電系統簡介.....	36
五、實習期間參訪活動.....	40
5-1 BEACON POWER 飛輪儲能廠	40
5-2 其他參觀行程.....	42

圖 目 錄

圖 4-1 需量反應的推動與發展.....	8
圖 4-2 能源效率提高.....	9
圖 4-3 尖峰負載抑制.....	9
圖 4-4 負載轉移.....	10
圖 4-5 用戶端智慧型電網架構.....	11
圖 4-6 DRMS 負責項目方塊圖.....	11
圖 4-7 需量反應之零售與批發市場動態價格.....	13
圖 4-8 TOU 示意圖.....	14
圖 4-9 CPP 示意圖.....	15
圖 4-10 CPR 示意圖.....	16
圖 4-11 RTP 示意圖.....	16
圖 4-12 AMI 運轉架構.....	19
圖 4-13 美國 NERC 管制區域.....	20
圖 4-14 NERC 管制區域裝設 AMI 之佔比.....	21
圖 4-15 全美裝設 AMI 之佔比成長.....	21
圖 4-16 世界各國裝設 AMI 現況.....	22
圖 4-17 傳統電網與未來電網.....	23
圖 4-18 風能轉電能示意圖.....	25
圖 4-19 風機基本功率及風速對應圖.....	26
圖 4-20 風機概觀.....	27
圖 4-21 風機機艙(NACELLE)示意圖.....	27
圖 4-22 風機偏離控制系統.....	28
圖 4-23 鼠籠式感應發電機.....	29
圖 4-24 可變轉子電阻式感應式發電機.....	29
圖 4-25 雙饋式可變速感應發電機.....	30
圖 4-26 直接傳動可變速同步發電機.....	30
圖 4-27 風場規模與應具備之能力.....	31
圖 4-28 GE 風機 LVRT 示意圖.....	32
圖 4-29 風機預留 10% 出力.....	33
圖 4-30 風機減少 50% 出力.....	33
圖 4-31 風力機組 VS 同步機組 INTER AREA MODE 共振頻率比較.....	34
圖 4-32 同步發電機組 LOCAL MODE 共振頻率.....	35
圖 4-33 風力機組 LOCAL MODE 共振頻率.....	35
圖 4-34 太陽能光電系統.....	37
圖 4-35 太陽能電池.....	37
圖 4-36 拋物面集熱裝置.....	38

圖 4-37 集熱式太陽能發電系統.....	38
圖 5-1 飛輪儲能設備發展.....	41
圖 5-2 BEACON POWER 飛輪儲能廠廠外合影.....	41

一、出國緣由與目的

台灣為一個獨立供電之狹長形島嶼，本島 95% 以上能源仰賴國外進口，加上用電負載主要集中在北、中台灣，而新電廠的設置有限，無法接近負載中心，在負載持續成長的情況下，將使得電網規劃日趨嚴峻。配合長期負載成長需求、大型發電及既有電廠機組更新之電源開發計畫，本處仍須及早規劃系統線路，以滿足供電需求。同時亦須配合辦理各電廠開發計畫案電源線引接系衝檢討及長期輸電系統之規劃工作。在政府亦持續推動再生能源政策下，計畫 2030 年須達成風力總裝置容量達 4,200MW；太陽能總裝置容量達 3,100MW 之目標。當再生能源裝置容量逐漸增大時，對系統規劃及調度運轉面等都將遭遇前所未有之挑戰。

此訓練課程除可提供派訓人員建構更完善之電力系統理論及實務經驗外，訓練期間亦可參訪電機設備製造工廠，以及與國外各知名電力公司派訓人員交流規劃理念，俾強化既有規劃能力及技術，吸取國外之經驗及技術，乃是此次出國目的。

二、出返國行程

(一) 去程：

- 102.11.2 台北 TAIPEI(19:30) →甘迺迪 JFK (22:10)
- 102.11.3 甘迺迪 JFK (10:00) →紐華克 NEWARK (11:30)
- 102.11.3 紐華克 NEWARK (16：29)→奧爾巴尼
Albany(17：35) →斯堪那特提 SCHENECTADY(租屋處)

(二) 受訓：

- 102.11.4 ~ 102.12.9 美國奇異公司電力系統工程班第
四期。

(三) 返程：

- 102.12.10 斯堪那特提 Schenectady(GE 公司) →奧爾巴
尼 Albany(09：16) → 紐華克 Newark (10：28)
- 102.12.10 紐華克 Newark(12:00)→甘迺迪 JFK(13：30)
- 102.12.11 甘迺迪 JFK (00:20) → 102.12.12 台北
Taipei(06:00)

三、心得與建議

(一) 此次受訓共有 5 位學員參加全期 4 個月之課程（日本 2 位、韓國 2 位、台灣 1 位），另有約 14 人參加 1~2 個月之短期課程，大多為具電機背景之各國電力公司員工，職務則涵蓋規劃、運轉、發電、輸電及環保等領域，學習期間除互相瞭解各公司電力系統架構、規模及發展方向，亦藉由分組作業的競合，實際接觸各項不同領域工作，對於縱向及橫向溝通及整合有初步之概念，面對問題的處理，有更多的面向思考。

(二) 本次由於預算不足，僅參與奇異公司電力系統工程班(PSEC)第四期課程，內容較屬於智慧型電網及再生能源的部分；但 PSEC 第三期課程是有關電力市場、能源經濟之內容，對於目前公司發展之方向亦是相當重要。因此建議公司在預算許可之情況下，同仁若無法參加全部課程(一~四期)，至少應同時參與第三、四期課程，如此可對電力系統及市場之未來發展方面有一個完整概念。

(三) 受訓學員身處他鄉異國，同仁結伴受訓，無論是學習效果及互相照顧等方面都可互相幫忙，除了學習效果倍增外，對於美國物價高漲之生活花費(麥當勞一餐約 240 元台幣)、房屋及車子租賃等費用，亦可互相分擔，減輕出國個人經費負擔。

(四) 美國班機容易誤點，由於美國境內幅員廣大，搭機往返各城市是基本且迅速的方式，但也因為各地運輸量大，常因氣候或例行檢查等因素造成班機延誤起飛。建議轉機時間至少 3 個小時以上，以確保行程不致延誤。

(五) 有智慧型手機之同仁，建議辦理美國當地易付卡 (T-Mobile)，台灣國內即可上網訂購。因為抵達目的地後需處理許多生活上之瑣事，且 GE 課程中幾乎每星期都有一天是參訪行程，若沒有美國之手機預付卡，迷路或有急事時無法與 GE 負責人連絡，甚為不便。

四、電力系統第四期課程摘要

4-1 電力自由化市場概述

定義所謂電力自由化市場，分為三要素，一為市場架構重組，由傳統垂直整合壟斷之單一公司分割為不同事業體，如發電公司、輸電公司及配電公司等。二為解除一些管制措施如只能向單一公司買電等。三為民營化，將發電、輸電及配電各公司之所有權移轉，擁有法人代表不再是政府。

以電力市場架構轉變來說，從單一垂直整合電力的公司轉變為多個垂直整合電力寡占的不同公司，在轉變為發電部分單獨分離為單一公司，其餘部分仍是整合為一之電力寡占的不同公司，電力市場中若有多個垂直整合電力寡占的不同公司，可使每個公司降低其容量裕度。在此階段的改變是很緩慢，考慮可靠度仍是遠大於成本的節省，優點是穩定，有較低風險的電力工業環境。

而從發電部分單獨分離為單一公司，其餘部分仍是整合一起之電力寡占的不同公司再轉變為批發市場的競爭如分為發電公司，輸電公司、配電公司等，不過零售市場仍未開放，一般民眾不能選擇電力供應者。直到最後階段全部市場皆自由化含零售市場，此時消費者可以選擇跟哪家電力公司買電。最後階段全部市場皆自由化之

特點為各電力公司會特別注意運轉成本，效率提升，多樣化的發電機組搭配，因市場競爭將使某些電力供應者自然淘汰，商業交易將變的相當鉅大而活躍。

4-2 需量反應(Demand Response)概述

在 1970 年代以前，美國工業及經濟不斷蓬勃發展，電力需求激增，而電力這種能量又是很難儲存的，在電力系統中隨時都要滿足供需平衡，為了滿足用電需求，電力公司惟有不斷興建新的發電廠及設備，以達到電力供需平衡。

但在 1970 年代中期，爆發能源危機、環境問題及核能議題，導致人們開始意識到能源並非無窮盡，因此開始從需求端去管理，推動相關法令等，需求端管理(Demand Side Management)相關策略如下：

- 能源審計(Energy Audits)
- 電力資訊公開讓使用者瞭解(Information to Customers)
- 商業資助、家電之節能經費補貼(Financial Assistance, Loans, Appliance Rebates)
- 可中斷負載(Interruptible Load)及直接負載控制(Direct Load Control)等。

1980 年代中期，電力公司對於負載成長所做之規劃不再只是尋求電源端之解決方式，而是同時考量電源端及負載需求端，在同時考量下所做出最小成本之系統規劃(Least Cost Planning)。

傳統的需量反應包含上述所提之需求端管理策略，由於是屬於政策頒布相關法令下，電力公司所必須提供的服務，對於終端用戶來說誘因有限。1990 年代以後，由於電力市場的開放及科技的進步，市場上價格的競爭以及先進的電表基礎建設(AMI)等科技逐漸發展，用電管理慢慢的由傳統需求端管理過渡到所謂的需量反應，也就是現今講求以動態價格為基礎的方式，例如制定臨界尖峰價格(Critical Peak Pricing)、臨界尖峰折扣(Critical Peak Rebate)、尖峰時間折扣(Peak Time Rebate)以及即時時間價格(Real Time Pricing)等。而未來智慧型電網(Smart Grid)及 AMI 推展的更為成熟，電力資源運用將更為有效及節約，美國需量反應的推動與進展由簡到繁如圖 4-1 所示。

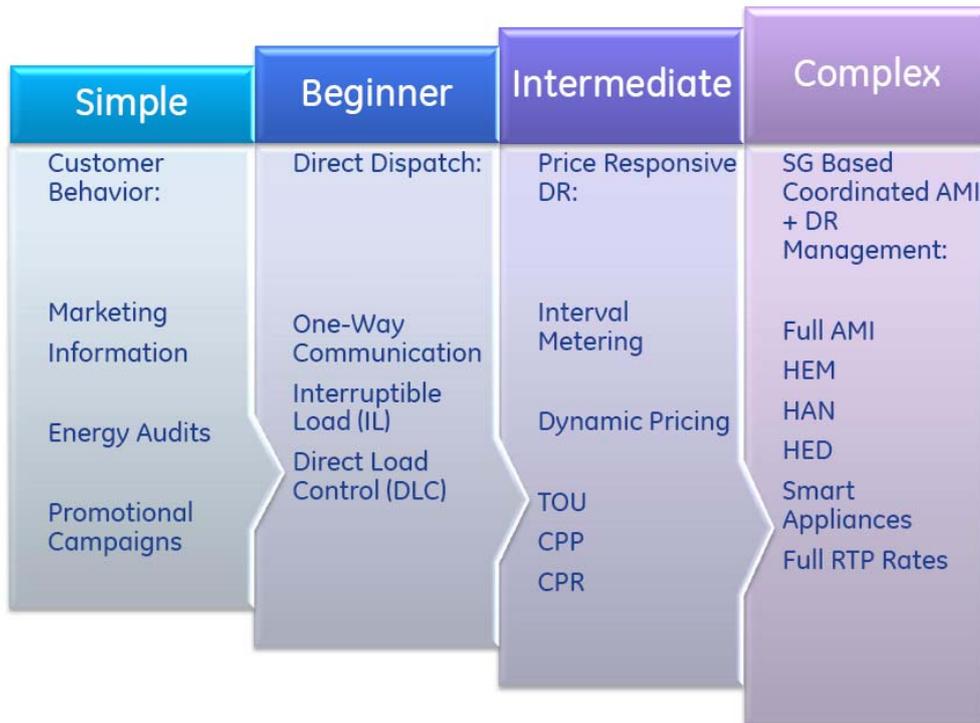


圖 4-1 需量反應的推動與發展

資料來源：GE 上課講義

4-2-1 需量反應技術及架構

需量反應定義：需求端設備在電力使用情況改變，從這些設備平常的電力使用習慣到不同時間電價所須配合調整的各種反應；或在電力批發市場價格過高時，提供獎勵金給用戶以減少這些時段之用電量；或當系統可靠度出現問題時，需求端須配合改變用電情況。

能源使用效率提高、尖峰負載抑制及負載轉移皆為負載管理，以圖 4-2~4-4 來說明，起初希望可在用電習慣不改變之情況下減少負載量，於是相辦法讓設備之效率提高(圖 4-2)。而輸電設備都有其容量極限，因此希望在尖峰負載期間可限制用電量(圖 4-3)。最後，

利用最直接的負載轉移方式，改變用戶端用電習慣，將平常尖峰用電之需求移轉至離峰時段，一方面抑制尖峰負載，另一方面又可提高離峰負載，這種方式(圖 4-4)的優點是可以減少輸電設備投資，且系統電壓及頻率變動較小。

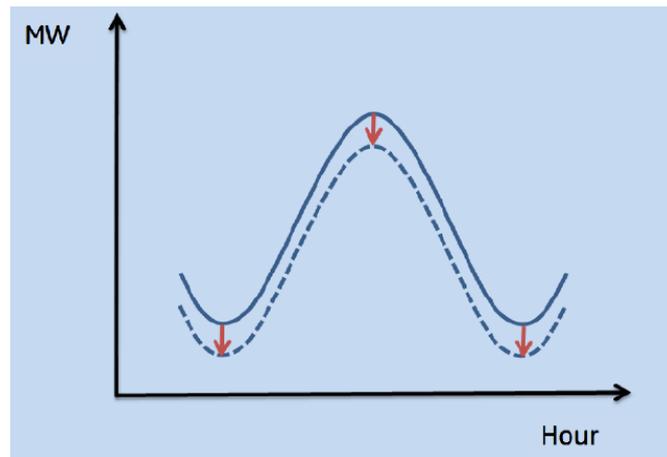


圖 4-2 能源效率提高

資料來源：GE 上課講義

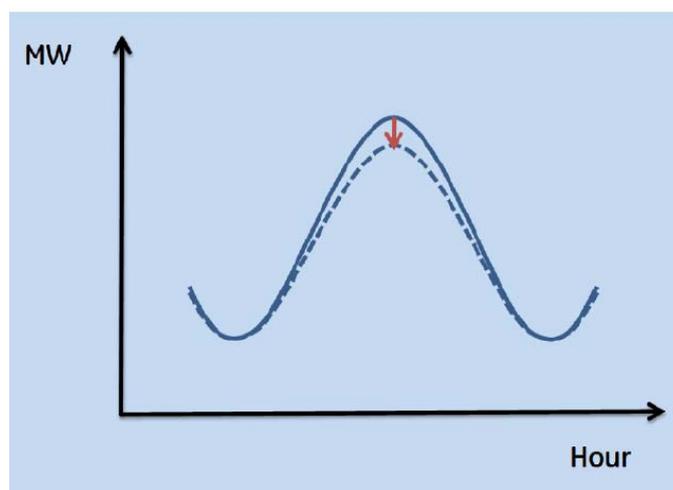


圖 4-3 尖峰負載抑制

資料來源：GE 上課講義

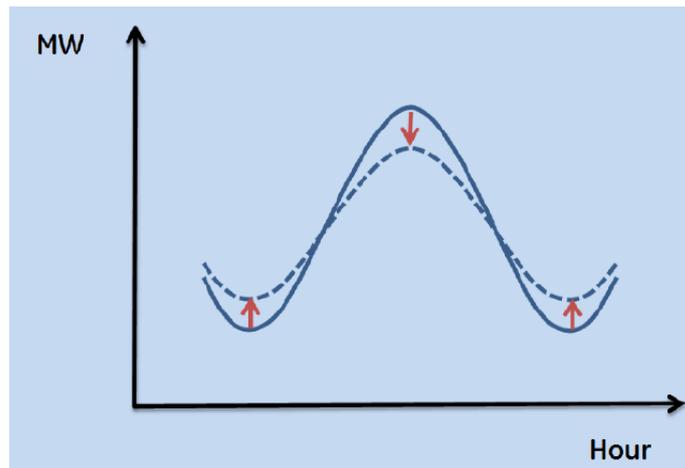


圖 4-4 負載轉移

資料來源：GE 上課講義

需量反應僅僅是未來電力系統進步的一環，未來電力系統將更有效率的運用所有資源，圖 4-5 顯示出顧客端之智慧型電網(Smart Grid)的架構，由圖中可看出每個顧客端都可能用電及發電，例如電動車充放電、屋頂室的太陽能板等，而顧客端經由區域網絡(HAN)可瞭解並設定這些設備的電力情況。而在顧客端的上游，設置需量反應管理系統(DRMS)，藉由廣域網絡(WAN)，可收集到所有顧客端之電力資訊。最後電力系統操作者藉由 DRMS 監控並操作整個電力系統網絡，落實需量反應的實際運作。特別注意的是，這裡的 HAN 及 WAN 的溝通都是雙向式的，即電力系統操作者除了得到系統資訊外，亦可做出相對應的反應或指令給 DRMS，而顧客端接收到 DRMS 資訊時，亦可相對應的做出是否要使用電器或輸送電力至系統等動作。

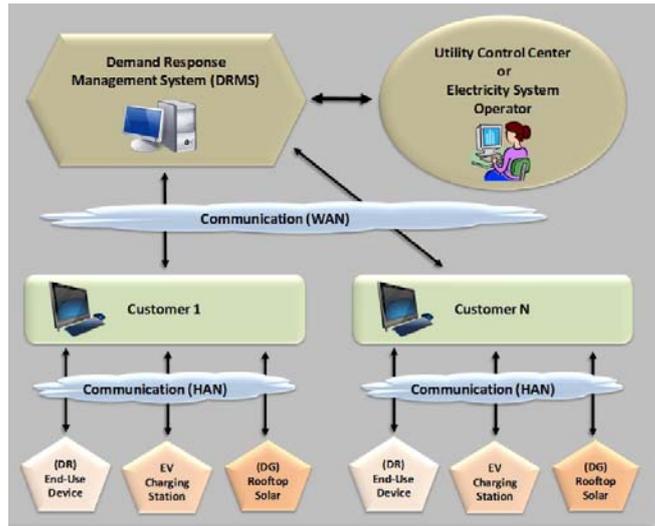


圖 4-5 用戶端智慧型電網架構

資料來源：GE 上課講義

- DRMS：處理需量反應的核心，是一種軟體平台，在推動需量反應的各項措施時，可讓電力系統操作者管理需量反應的各種情況，並提供相關解決方案，DRMS 主要負責項目方塊圖如圖 4-6 所示。

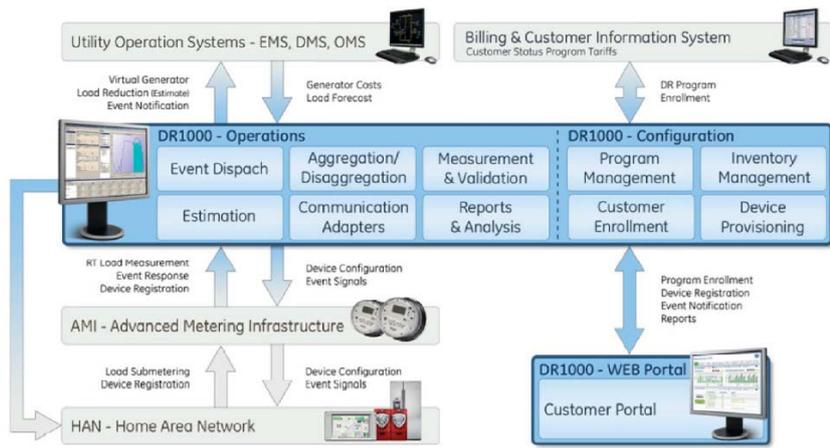


圖 4-6 DRMS 負責項目方塊圖

資料來源：GE 上課講義

- HAN：位於顧客端的一種資料與溝通網路通信系統，屬於區域型網路，連結家用設備、智慧型電表等，並將設備使用情況傳送給使用者及 DRMS。通訊協定使用 WiFi、ZigBee 及 HomePlug 等。
- WAN：廣域網是互聯地理位置遙遠的一種通信系統，用來連結許多不同區域網路之使用者用電資訊，並傳送 DRMS 相關指令給各區域網路。

4-2-2 動態價格(Dynamic Pricing)

動態價格的制定，是為了要達成需量反應的目的，如圖 4-7 所示，對零售市場(Retailer Market)來說，動態價格是一種隨著時間變化之電價，例如 TOU、CPP、CPR、RTP 等；對批發市場(Wholesale Market)來說，動態價格實際上是市場出清價或現貨價，或者在節點市場更準確地說，是區域邊際定價(Locational Marginal Pricing)，而區域邊際定價隨著時間及區域不同，所訂定之價格也不同，與當時之電力供需條件及系統壅塞或損失有關。而對於批發市場，還有容量價格與輔助服務的價格。

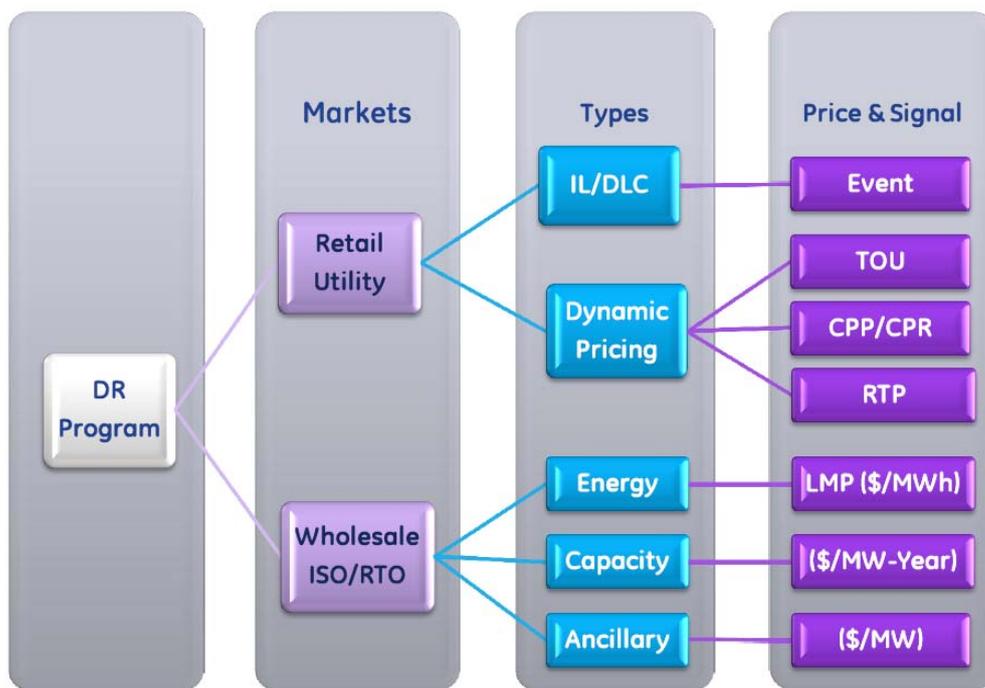


圖 4-7 需量反應之零售與批發市場動態價格

資料來源：GE 上課講義

- TOU(Time of Use Pricing)：將一天 24 小時分為兩個時間區段(即 on Peak 與 off Peak)，並將此兩個時間區段各別訂出價格，尖峰電價大於離峰，如圖 4-8 所示。價格通常是每季或每年調整一次，用這種方式的優點是只要單向間隔來讀電表值即可，不需要其他的溝通或控制，也不需要用戶的負載曲線。而且執行複雜度低、風險低，但無法反映出每小時的電價變化。較適用於一般住宅、商辦及小工廠等用戶。

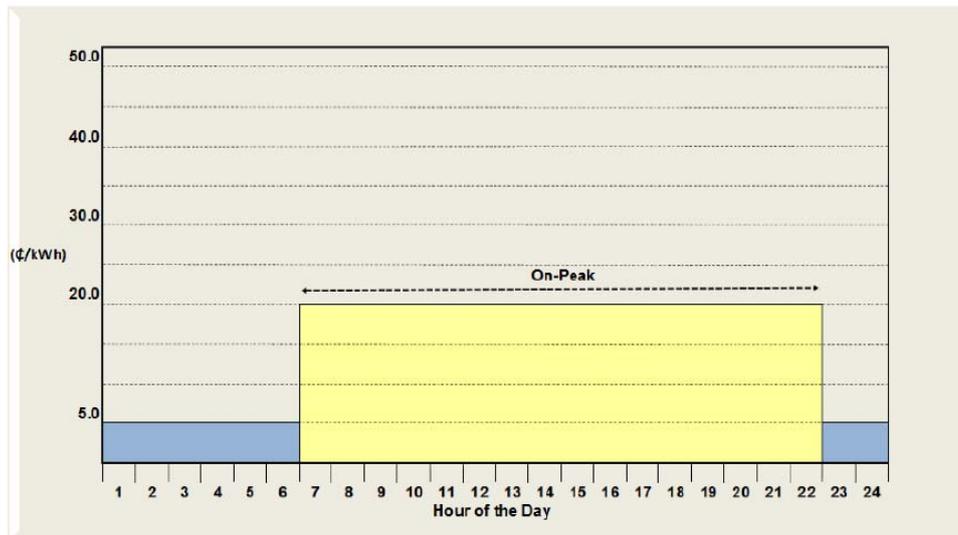


圖 4-8 TOU 示意圖

資料來源：GE 上課講義

- CPP(Critical Peak Pricing)：這種電價方式是從 TOU 演變而來，每天會有三種電價，即 off peak、on peak 及 critical peak，如圖 4-9 所示。此種電價方式需要使用智慧型電表，不需要用戶的負載曲線。而且執行複雜度較 TOU 高一點、風險及報酬居中，比 TOU 較能反映出每小時的電價變化。亦適用於一般住宅、商辦及小工廠等用戶。

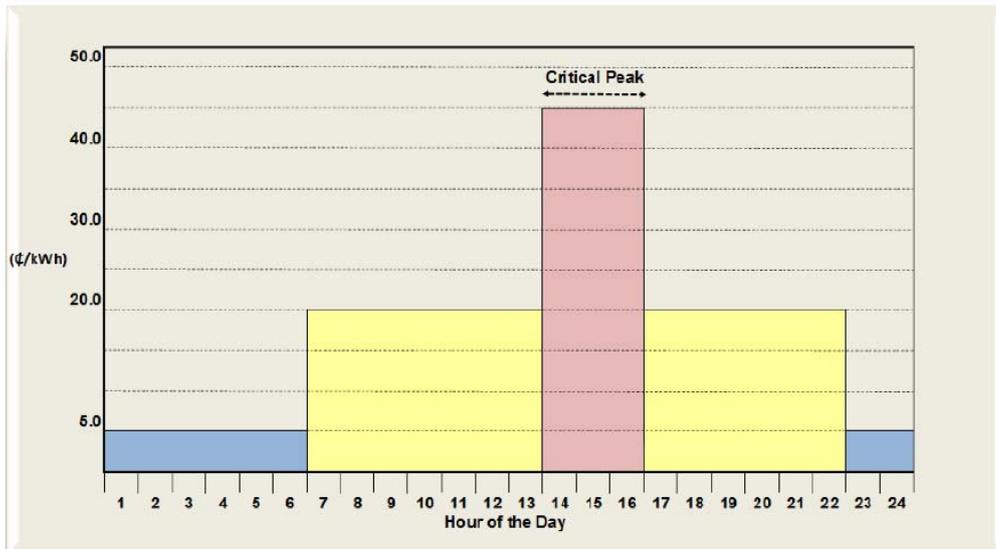


圖 4-9 CPP 示意圖

資料來源：GE 上課講義

- CPR(Critical Peak Rebate)：這種電價方式很有趣，它與 CPP 的差別在於 critical peak 這個區間，若用戶在這個區間內之用電量低於已先建立的負載基準，則用戶將得到費用回饋，如圖 4-10 所示。此種電價方式需要使用智慧型電表，需要用戶的負載曲線當基準，而且執行複雜度較高，亦適用於一般住宅、商辦及小工廠等用戶。

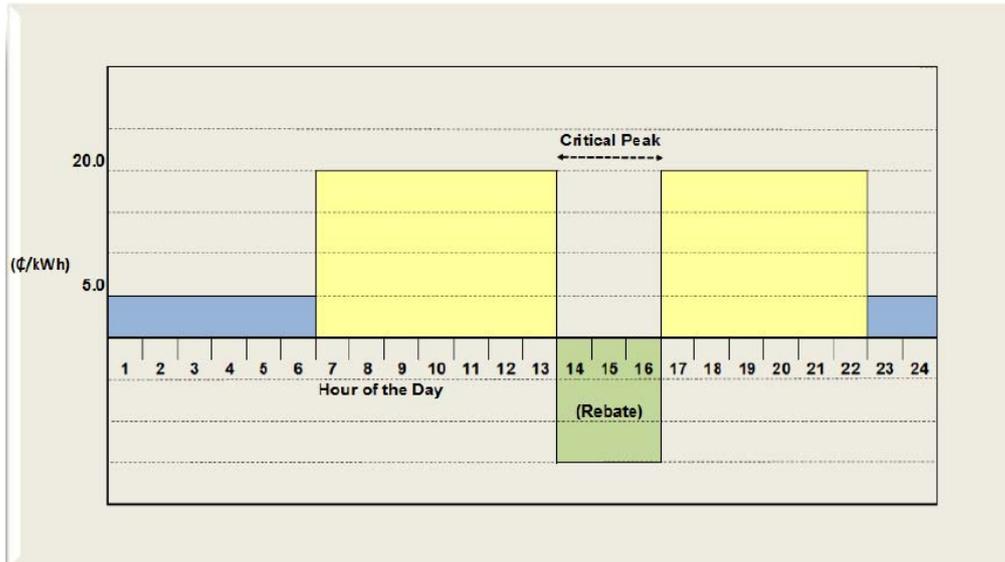


圖 4-10 CPR 示意圖

資料來源：GE 上課講義

- RTP(Real Time Pricing)：即時電價(圖 4-11)，用這種計價方式最能反應出每小時的電價變化，需要智慧型電表，不需要用戶的負載曲線。而且執行複雜度及風險皆高。亦適用於一般住宅、商辦及小工廠等用戶。

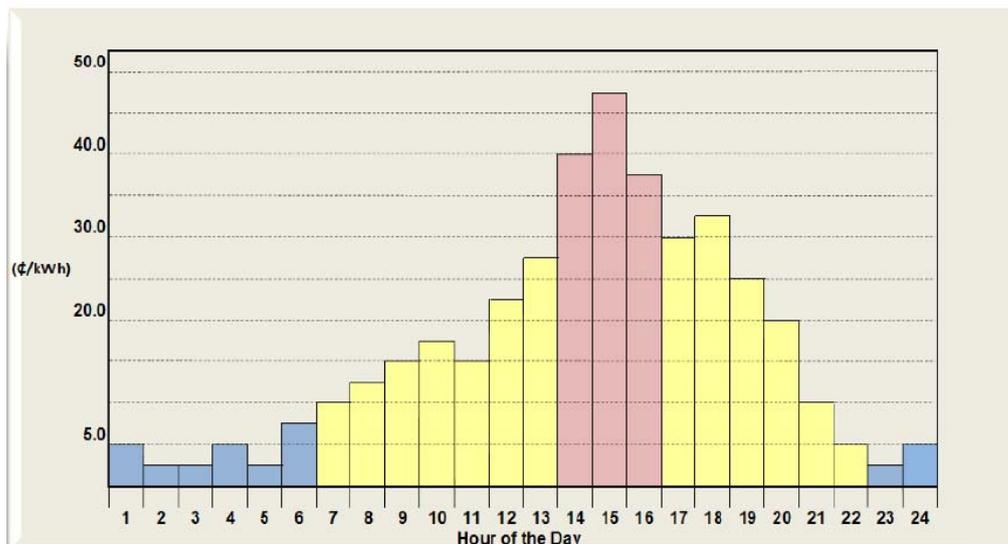


圖 4-11 RTP 示意圖

資料來源：GE 上課講義

4-3 先進讀表基礎建設(AMI)

從 1882 年愛迪生創立電力公司開始，就致力於電表的開發，一直到 1894 年才有第一個商用瓦時表。電表的基本目的應具有準確、安全、服務劃分及計算電價的用途，但現今世界各國逐步邁向智慧型電網的趨勢，因科技的進步，電表也不斷的改良，除了需有電表的基本目的外，還需具備雙向溝通的功能，包含自動抄表、即時價格顯示、故障偵測及回報、電力品質監測等，讓電力公司及用戶端皆可掌握即時用電情況。以下分別介紹先進讀表在智慧型電網裡的運用及目前世界建置之情況。

4-3-1 先進讀表在智慧型電網的運用

智慧電網的定義有很多種，其主要特色如下：

- 及早更正系統問題的自我治癒能力。
- 用戶及市場間之良好溝通。
- 資源分配的最佳化。
- 可預防緊急事故的發生。
- 將系統數據整合並轉換為可運用的訊息。
- 因為先進讀表的發展，使得智慧型電網得以實現。AMI 在智慧型電網中的運轉架構主要分為四大類，即資料的分析

與操作、配電監測、裝置設備管理及安全管理。以圖 4-12 說明，電表資訊管理系統(Meter Data Management System, MDMS)是 AMI 的大腦，可提供用戶詳細用電資訊分析及電力資訊連結能力，促成電力公司與用戶端的緊密結合。配電管理系統(Distribution Management System, DMS)扮演一個決策輔助的角色，可監測並讓系統操作者調度整個配電系統，增進配電系統的可靠度、電力品質。使用者資訊系統(Customer Information System, CIS)可監控各種異常用電的情況，進而與遠端控制功能結合，即時關閉用電量突然升高而超出負載的電器，以避免發生火災；另外亦可透過歷史記錄，研判用電量是否正常，以防止竊電情形發生。停電管理系統(Outage Management System, OMS)可透過結合 CIS 及地理資訊，藉由保護裝置的啟動(例如 CB 開啟)預測事故的位置，加快系統修復速度。

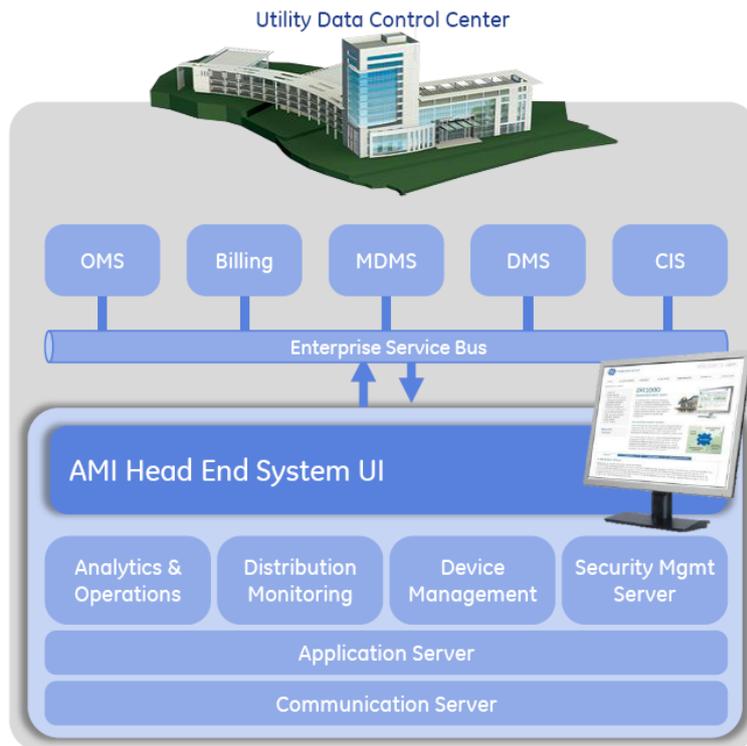
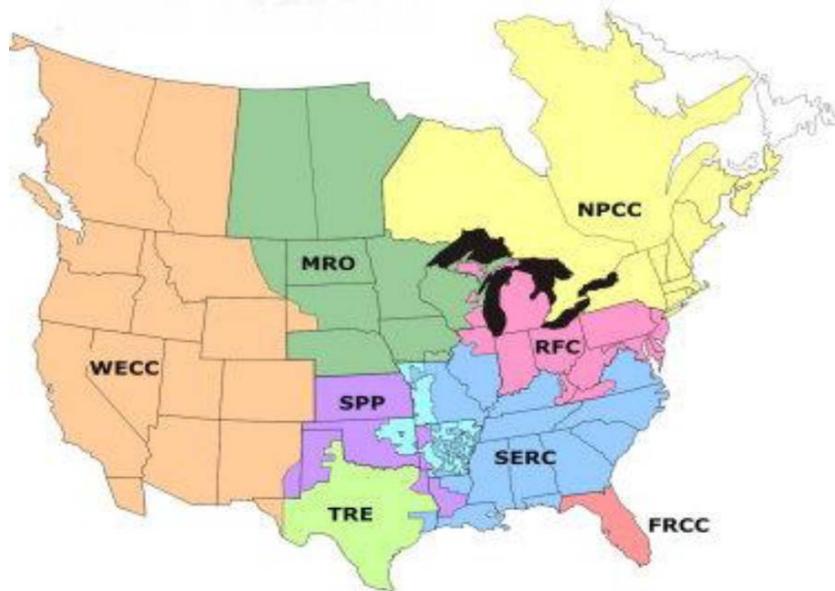


圖 4-12 AMI 運轉架構

資料來源：GE 上課講義

4-3-2 世界其它國家先進讀表建置情況

美國由於幅員遼闊，早期電力網皆是小形獨立系統，後來當各別電力網路逐漸成長，跨越了地形屏障並逐漸連結在一起，互聯系統需互相努力維持全系統之穩定，但彼此因為運轉方式的不同，常因干擾而發生大規模停電。因此經過一些轉變，美國 NERC 這個非營利組織逐漸形成，並負責監督 8 個可靠度地區，如圖 4-13 所示。



FRCC - Florida Reliability Coordinating Council **SERC** - SERC Reliability Corporation
MRO - Midwest Reliability Organization **SPP** - Southwest Power Pool
NPCC - Northeast Power Coordinating Council **TRE** - Texas Reliability Entity
RFC - ReliabilityFirst Corporation **WECC** - Western Electricity Coordinating Council

圖 4-13 美國 NERC 管制區域

資料來源：2012 NERC Surveys

目前美國裝設 AMI 之情況如圖 4-14 所示，可明顯看出 WECC、TRE 及 FRCC 等地區在 2012 年的 AMI 佔比成長極為快速，WECC 佔比已達 42%。而圖 4-15 顯示出全美裝設 AMI 之佔比成長，從 2010 年的 8.7% 至 2012 年的 22.9%，兩年內佔比約成長 14%。

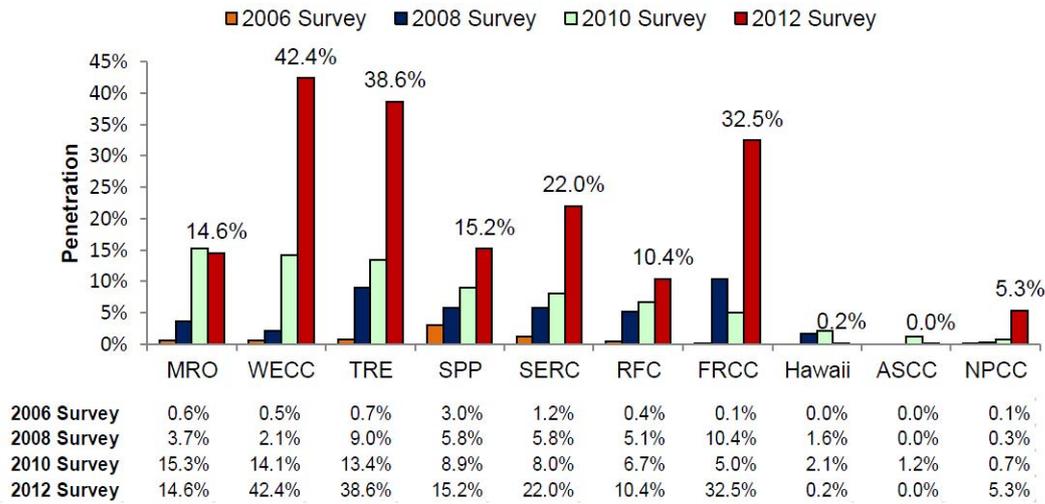


圖 4-14 NERC 管制區域裝設 AMI 之佔比

資料來源：2012 FERC Surveys

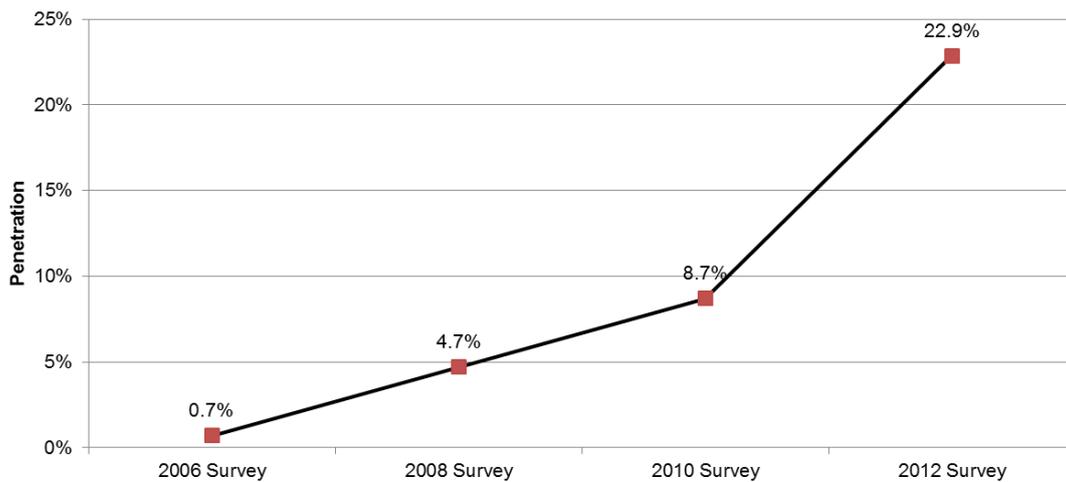


圖 4-15 全美裝設 AMI 之佔比成長

資料來源：2012 FERC Surveys

而目前全世界各國建置之情況及分佈如圖 4-16：主要仍以美國、歐洲為主，而 AMI 與 AMR 的主要差別在於 AMR 僅為單向自動讀表作業，而 AMI 除自動讀表外，另有前述 4-3-1 節之功能。



圖 4-16 世界各國裝設 AMI 現況

資料來源：Smart Metering Projects Map - Created and updated regularly under the auspices of the SRSM smart metering project being run by the Energy Retail Association in the UK

4-4 分散式能源系統整合(Distributed Energy Resource System Integration)

需量反應管理、AMI 及分散式能源，就是未來智慧型電網極重要的部分。傳統電網與未來電網的差別可以用圖 4-17 來說明，傳統電網的組成及管理簡單，僅為滿足用電戶的需求，電力從發電廠產生，經過變電壓、輸電線傳送到用戶端。傳統電網的特色是電價市場受到監管、集中式的大型發電廠、具有較多的溫室氣體排放、電價波動少及被動的滿足負載需求。而未來電網則因整合了 AMI 及分散式能源，使得電網彈性較大，發電種類的多樣性，不僅滿足用電戶需求，亦促進電網之安全與可靠。未來電網的特色與傳統電網正好相反，即電價市場競爭(自由化)、分散式的發電設備、不排放溫室氣體的能源、電價波動較大及主動的負載管理等。

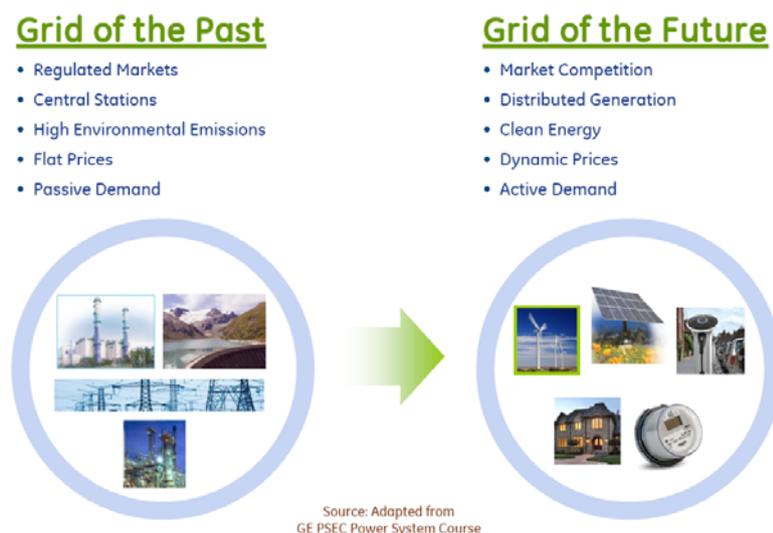


圖 4-17 傳統電網與未來電網

資料來源：GE 上課講義

分散式能源(DER)是指分散在各地的小型(通常指建置在配電系統)發電設備，可結合用戶端之負載管理系統及當地之儲能設備，藉以改善電力系統運轉的品質與可靠。DER的主要特色如下：

- 分佈在各地且靠近用戶端。
- 小型的發電設備，容量裝設與操作，以及財務風險較小。
- 依據各地區需有不同，具有靈活可擴充之建置彈性。
- 通常此類發電設備多屬再生能源發電。

由於氣候變遷及科技的進步，未來的電網將會有越來越多的分散式能源，而分散式能源在電網中所扮演的角色如下：

- 在系統發生事故期間可轉為孤島運轉。
- 增進電網可靠、穩定與改善電網品質。
- 提供系統尖載部分電力、備援電力及偏遠地區之電力。
- 減少電價波動的衝擊。
- 緩和系統電力壅塞。

DER有許多不同的形式，除常見的再生能源如水力、風力及太陽能發電設備外，還有生質能、燃料電池、汽電共生廠、往復式引擎及工業汽輪機等。

4-5 再生能源系統基礎

我們身處在一個資源有限的地球，當人類文明越發達，地球資源消耗越快。而電力工業是各國維持經濟發展之基礎建設，小至民生用電，大至國家建設，電力與人類生活息息相關，因此，如何在科技進步與環境保護間取得一個平衡，讓人類得以永續生存，是當今所必須正視的問題。其中很重要的解決方法，就是利用大自然生生不息的資源，如風力、太陽能及其它再生能源等，以下說明詳細說明風力及太陽能之基礎與發展概況。

4-5-1 風力發電系統簡介

風力發電乃是取自於自然的能量，藉由風力帶動風車扇葉(動能)，再透過齒輪模組將轉速提高(機械能)，最後帶動發電機的轉子，使轉子線圈切割磁場而發電，即為風力發電原理，如圖 4-18 所示。

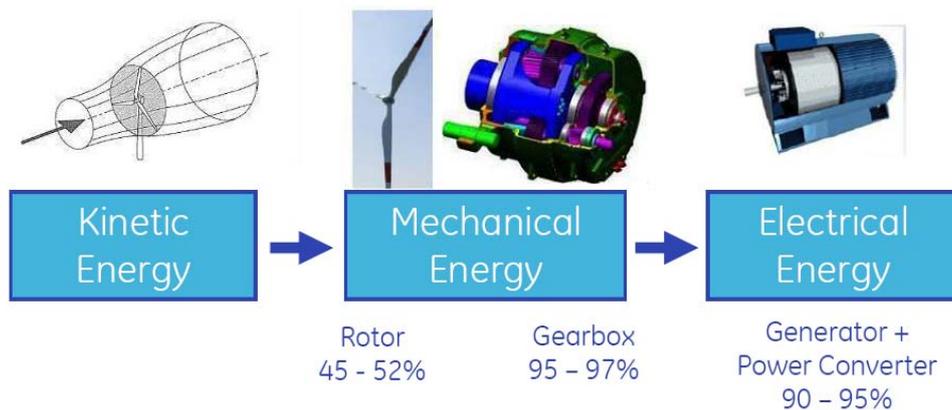


圖 4-18 風能轉電能示意圖

資料來源：GE 上課講義

風力功率對風速如圖 4-19 所示，其中切入風速為當達到此風速時，風機開始輸出功率。當達到額定風速時，風機開始輸出定值功率。當達到切離風速時，風機因設備安全考量，停止運轉。因此風機運轉區間位於 Region 2~3 之間。

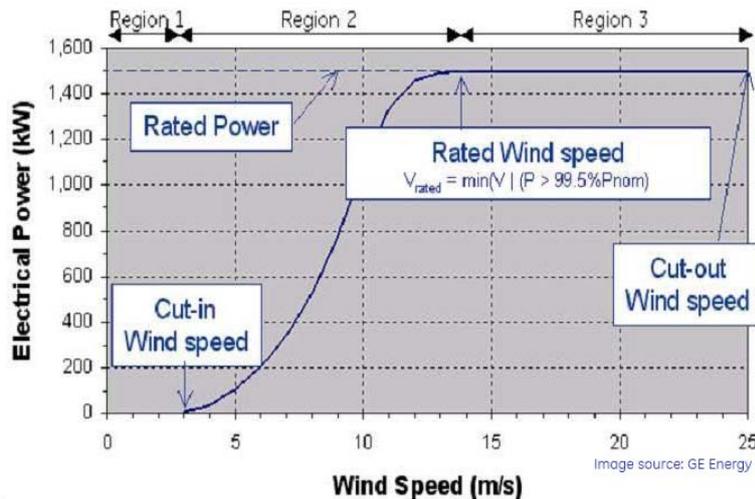


圖 4-19 風機基本功率及風速對應圖

資料來源：GE 上課講義

風機概觀及機艙構成元件略述如下如圖 4-20、4-21：

- 機艙 Nacelle：保護包覆發電機及機電控制系統
- 葉片 Blade：受氣動作用，將風能轉為機械能
- 葉輪輪轂 Hub：連接及固定葉片之裝置
- 主軸 Main Shaft：連接輪轂及齒輪箱，主要將葉片的轉矩傳遞至傳動機構及發電機。
- 齒輪箱 Gearbox：利用加速齒輪提升轉速帶動發電機
- 發電機 Generator：將機械能轉為動能

- 塔架 Tower：支持風機之機艙及迴轉系統
- 旋角 Pitching：調整葉片迎風角度以調整氣動力輸出
- 轉向系統 Yawing：轉動機艙以調整至垂直風向發電
- 煞車系統 Brake：以控制停機或減速

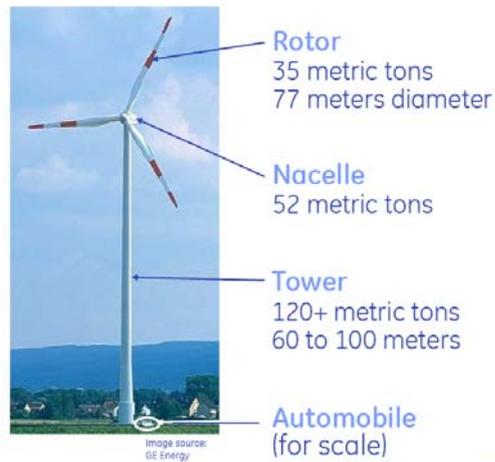


圖 4-20 風機概觀

資料來源：GE 上課講義

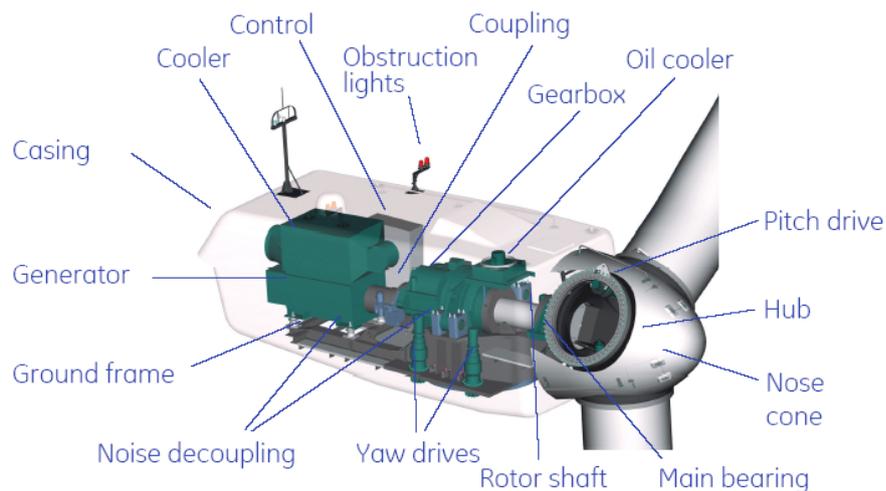


圖 4-21 風機機艙(Nacelle)示意圖

資料來源：GE 上課講義

風機轉向控制，轉向系統 Yawing 如圖 4-22 所示，使用十分鐘風向指標，控制調整風機轉向迎風面，垂直風向發電。

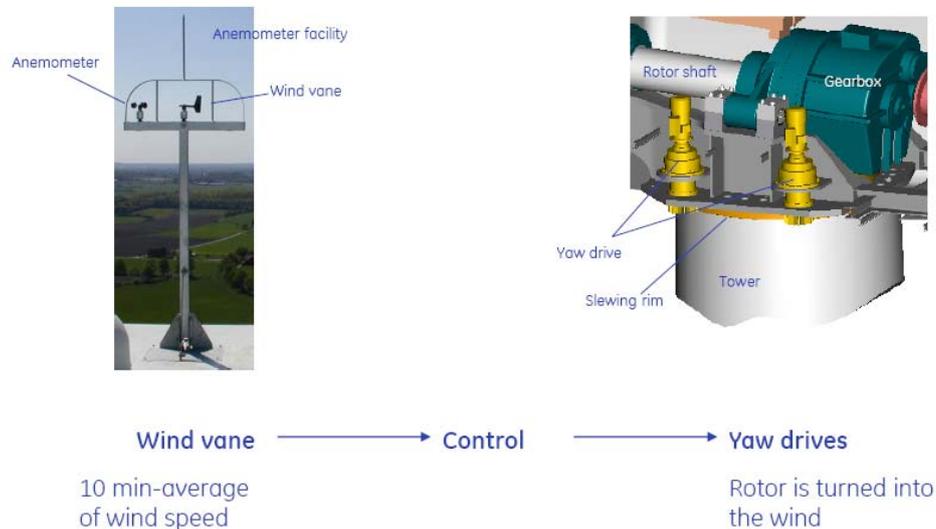


圖 4-22 風機偏離控制系統

資料來源：GE 上課講義

風力發電機種類約可分為四大類：

- **Type1 鼠籠式感應發電機 (Squirrel-cage induction generator)**: 此類機型由傳動軸經由齒輪箱帶動鼠籠式感應發電機之轉子，發電機定子線圈則連接到電網，構造為簡單，相對的價格較低廉，然因為轉子速度不能改變，風速的變動直接轉換為驅動轉子之扭矩起伏變化，造成電壓不穩及有閃爍的問題，使得電力品質受到影響，且須由併聯電網吸收無效電流，因此需配合設置補償虛功率的電容器因應，如圖 4-23 所示。

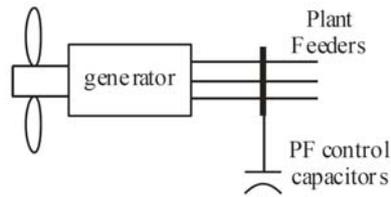


圖 4-23 鼠籠式感應發電機

資料來源：GE 上課講義

- Type2 可變轉子電阻式感應式發電機 (Wound rotor induction generator with variable rotor resistance)：此機型係由 Tpye1 演化而來，利用可調式轉子電阻控制調整轉速，如圖 4-24 所示。

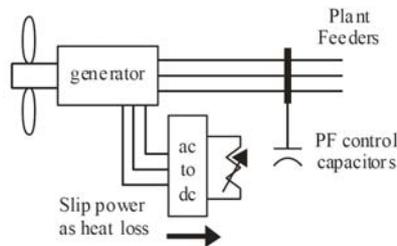


圖 4-24 可變轉子電阻式感應式發電機

資料來源：GE 上課講義

- Type3 雙饋式可變速感應發電機 (doubly-fed induction generators, DFIG)：轉子線圈經由電力電子換流設備接到電網，而定子線圈直接連接到電網。因透過換流設備將系統電壓及頻率狀態迴授，可藉由改變電壓控制無效電力，改變頻率控制有效電力，並可達高速反應控制，不需額外設備即可提供或吸收虛功，該型機組採標準化且體積較小

設計，且換流設備之半導體零件價格降幅極大，故已成為主流型式(如圖 4-25)。

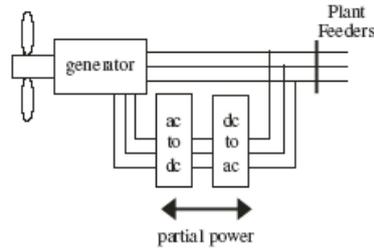


圖 4-25 雙饋式可變速感應發電機

資料來源：GE 上課講義

- Type4 直接傳動可變速同步發電機(Full converter interface)：發電機與電網間直接利用換流設備拼接，也允許變速操作，風機實虛功出力受限於換流設備的控制，因此不受電網端之影響，可視為變形的 SVC-STATCOM，對於虛功及電壓控制範圍最大，然比起雙饋式可變速感應發電機來說發電機定子設計較複雜、換流設備較大且需承受發電機額定功率，故價格較高(如圖 4-26)。

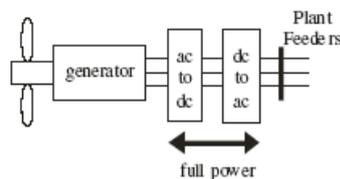


圖 4-26 直接傳動可變速同步發電機

資料來源：GE 上課講義

4-5-2 風力機組加入電網之影響

小型風力機組對電網之影響較小，僅需檢討保護協調的部分，而當風場佔比逐漸增加後，對系統之影響將逐漸提高，除須具備保護協調功能外，尚須具備有電壓控制、低電壓過渡(Ride-Through)能力(中型風場)及主動式實功控制(大型風場)等功能，以共同維持電網之安全與穩定(如圖 4-27)。

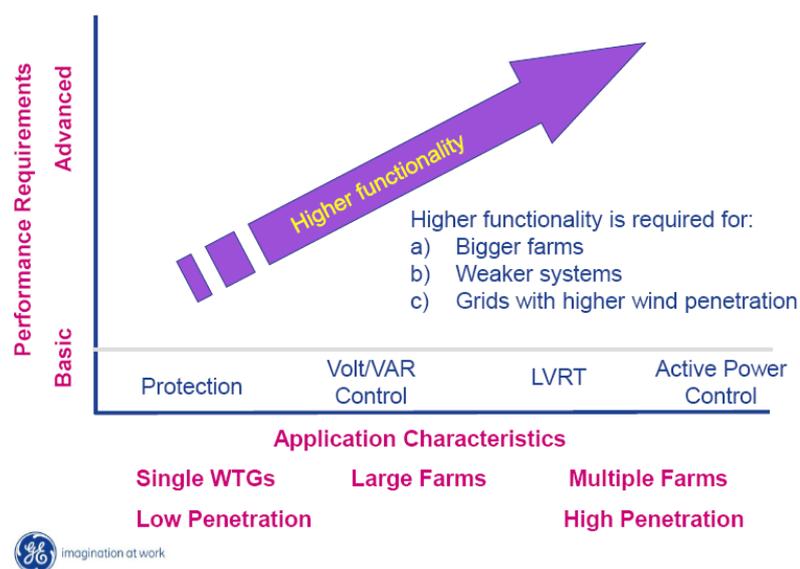


圖 4-27 風場規模與應具備之能力

資料來源：GE 上課講義

其中 LVRT(Low Voltage Ride-Through)，係指當系統發生擾動導致電壓下降時，風機本身有能力渡過此短暫時間而不跳脫，並提供系統恢復穩定運轉之能力，部分風機則有零電壓過渡 ZVRT(Zero Voltage Ride-Through)之能力要求，就 GE 公司風機設計標準而言，其 ZVRT 需達 200ms，如圖 4-28 所示。

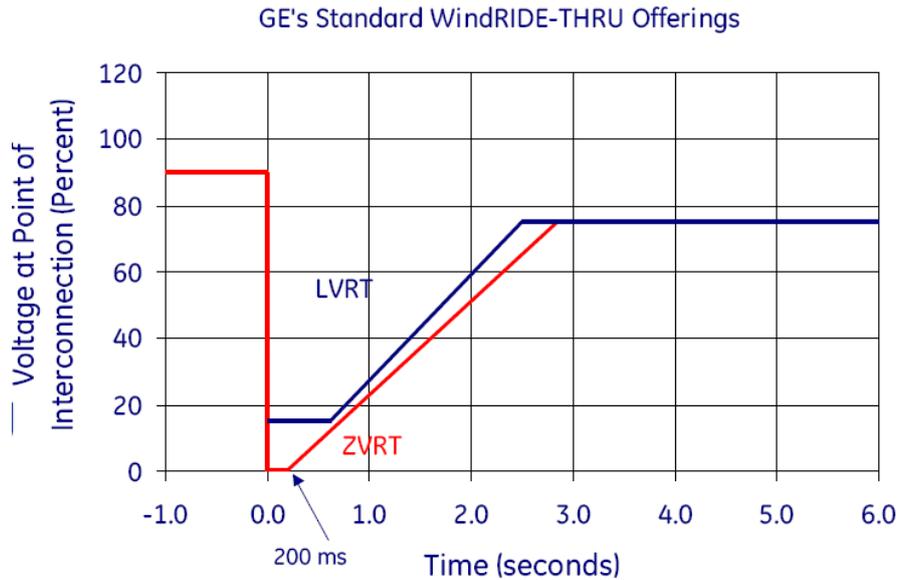


圖 4-28 GE 風機 LVRT 示意圖

資料來源：GE 上課講義

LVRT(Low Voltage Ride-Through)優點為：

- 改善系統穩定度
- 減少可能連續性跳脫事故、系統崩潰機率。
- 改善系統可用電力與增加可靠度
- 防止網路某些線路過載
- 可以符合系統備轉能力需求

Active Power Control，指風機須預留一定的輸出能力，不以額定容量出力，藉以對系統頻率下降或驟升時快速增加或減少出力，使得系統回歸正常頻率，一般而言預留 10%出力供提升頻率，而以降低 50%出力作為因應頻率過高之方法，如圖 4-29、4-30 所示。

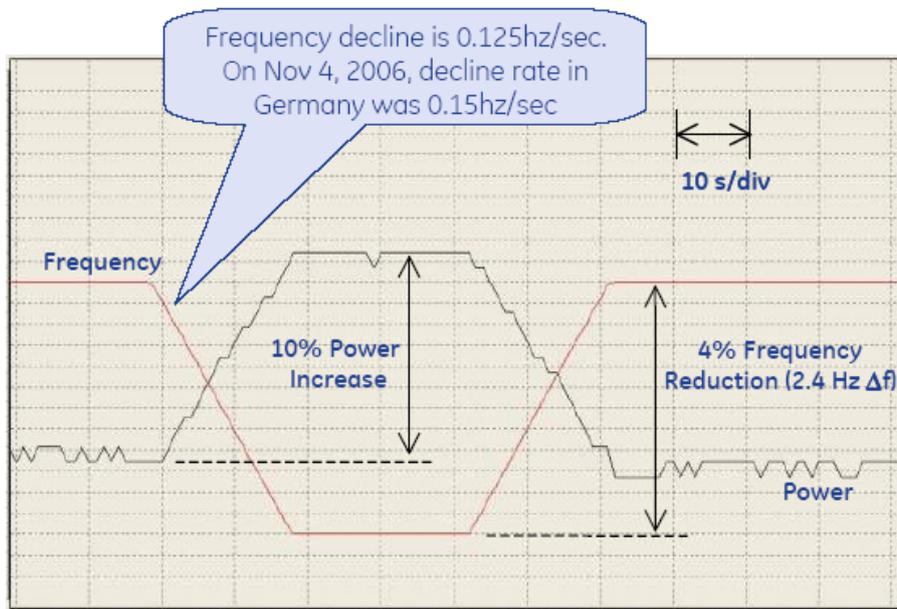


圖 4-29 風機預留 10% 出力

資料來源：GE 上課講義

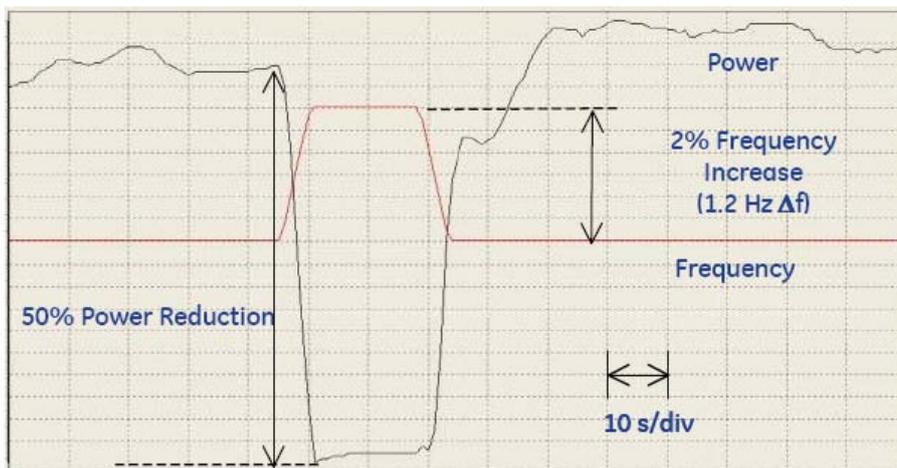


圖 4-30 風機減少 50% 出力

資料來源：GE 上課講義

就當前主流雙饋式風力機組 (DFIG) 而言，因採用電力電子換流設備元件，控制電壓及頻率，其反應極快，故對於系統小訊號穩定度而言，較傳統的同步電機穩定許多，模擬結果如圖 4-31~4-33 所示，可看出無論是 local mode 或是 inter area mode，皆是採用雙饋式風力機組較傳統同步發電機穩定，由圖 4-33 可發現風力機組甚至不參與 west area mode 共振，故採用風機不須增加電力系統穩定設備(stabilizer)。

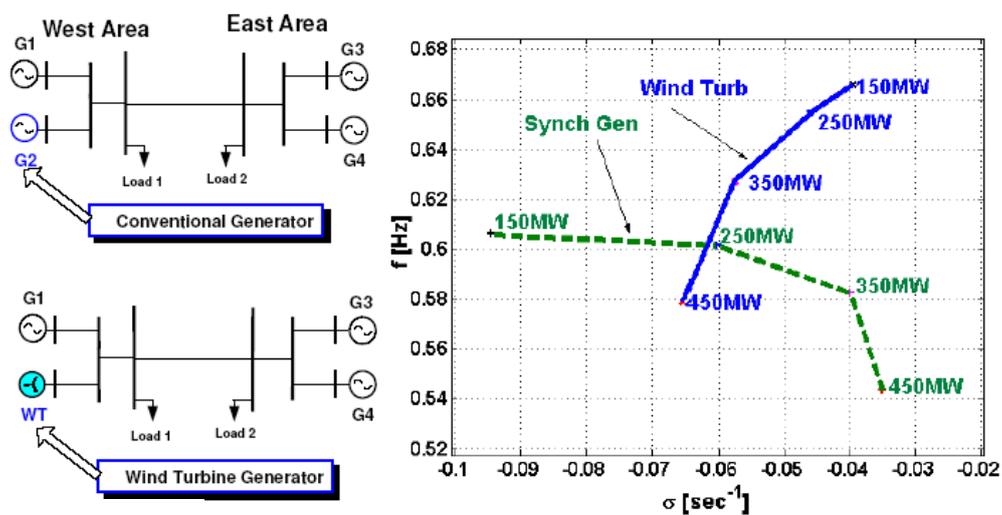


圖 4-31 風力機組 VS 同步機組 INTER AREA MODE 共振頻率比較

資料來源：GE 上課講義

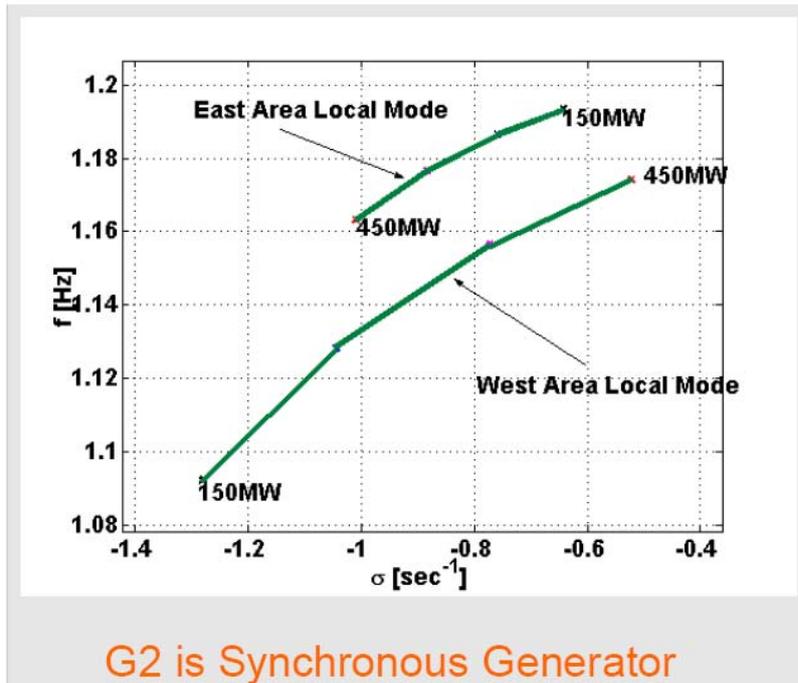


圖 4-32 同步發電機組 LOCAL MODE 共振頻率

資料來源：GE 上課講義

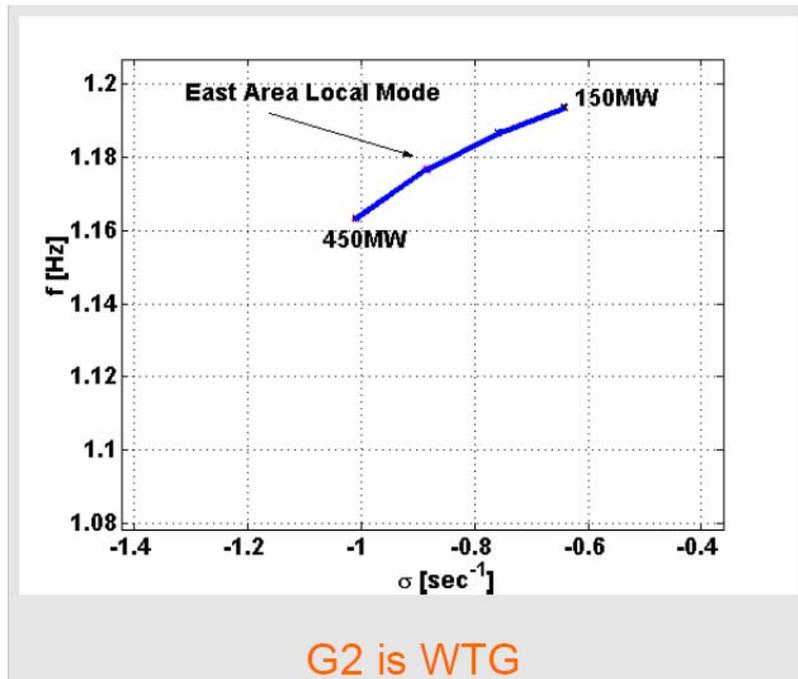


圖 4-33 風力機組 LOCAL MODE 共振頻率

資料來源：GE 上課講義

4-5-3 太陽能發電系統簡介

太陽能發電分為兩大類，若吸收太陽光能產生電力則稱為太陽能光電系統(Photovoltaic Energy System)；若吸收太陽熱能以推動發電機稱為集熱式太陽能發電系統(Concentrating Solar Power, CSP)。太陽能光電系統是指太陽能板暴露在陽光下便會產生直流電的發電裝置，由幾乎全部以半導體物料（例如矽）製成的薄身固體太陽能電池組成，由於沒有旋轉電機的部分，故可以長時間操作而不會導致任何損耗(如圖 4-34、4-35)。集熱式太陽能發電系統是指利用反射鏡或透鏡，利用光學原理將大面積的陽光彙聚到一個相對細小的集光區中，令太陽熱能集中，在發電機上的集光區受太陽光照射而溫度上升，由光熱轉換原理令太陽能換化為熱能，熱能通過原動機（通常是蒸汽渦輪機）做功驅動發電機，從而產生的電力(如圖 4-36、4-37)。

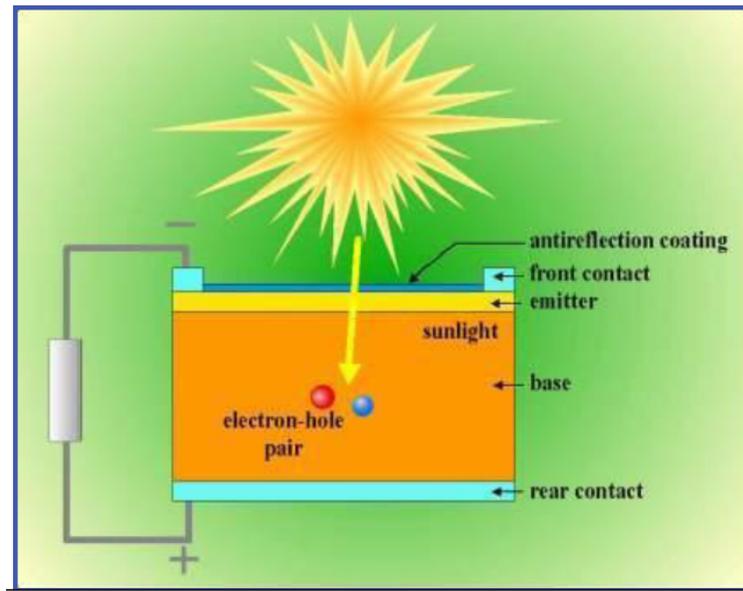


圖 4-34 太陽能光電系統

資料來源：GE 上課講義

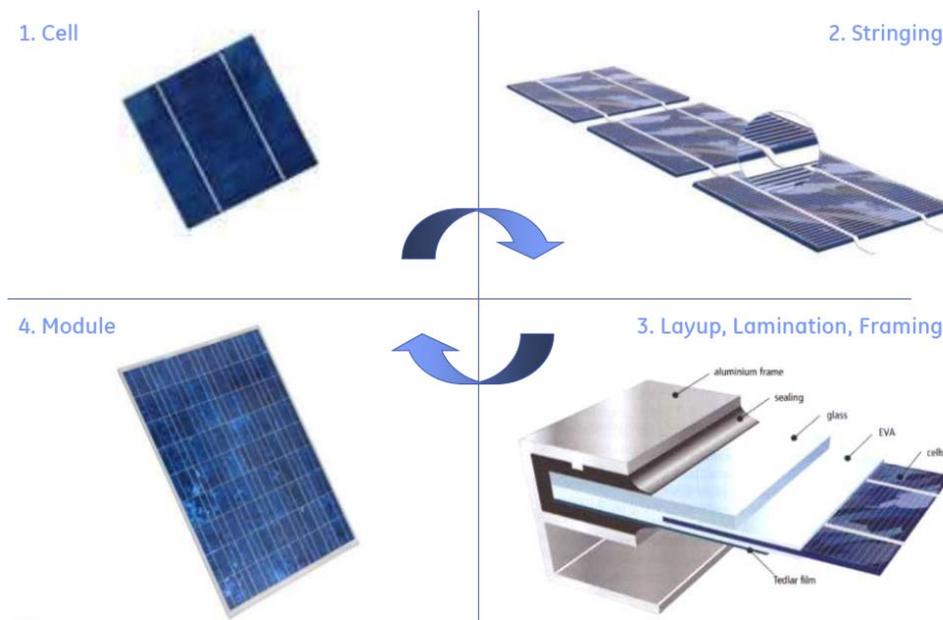


圖 4-35 太陽能電池

資料來源：GE 上課講義

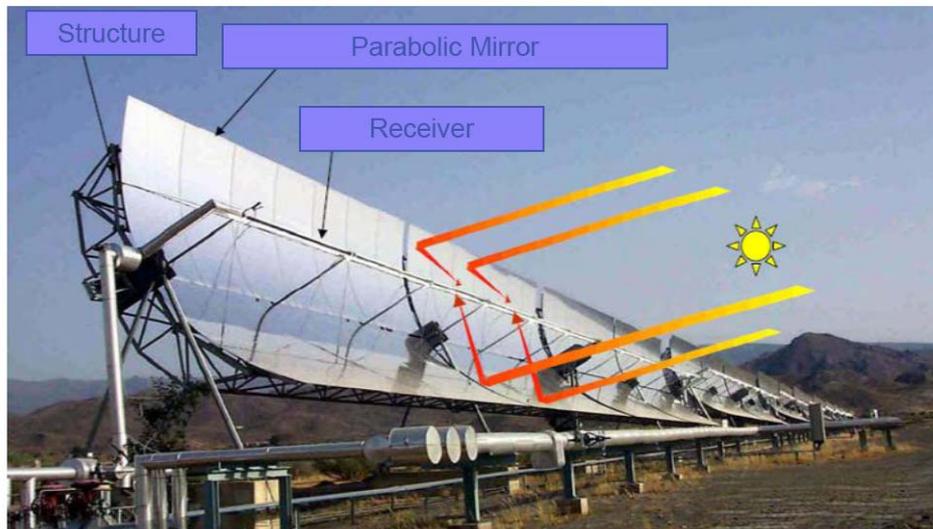
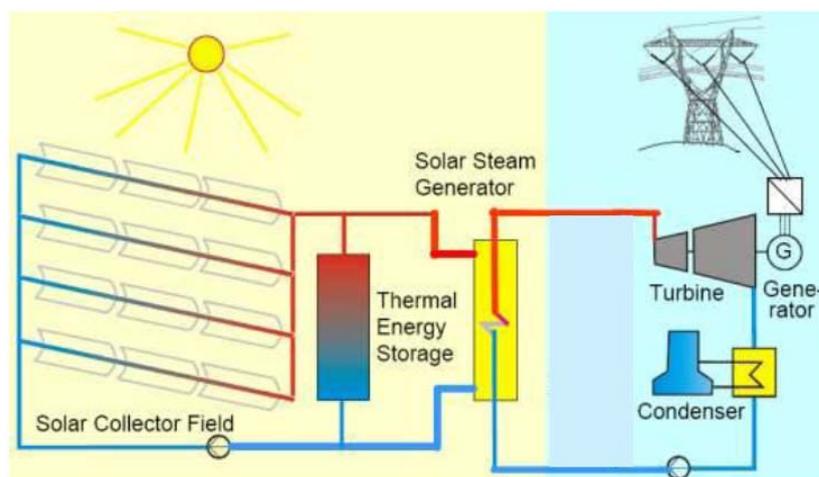


圖 4-36 拋物面集熱裝置

資料來源：GE 上課講義

CSP is a utility scale technology



Solar Collector Field can be:

- Parabolic Trough
- Linear Fresnel
- Power Tower
- Dish Engine

圖 4-37 集熱式太陽能發電系統

資料來源：GE 上課講義

太陽能電池是一種可以將能量轉換的光電元件，基本構造是運用 P 型與 N 型半導體接合而成的，半導體最基本的材料是「矽」，它是不導電的，但如果在半導體中摻入不同的雜質，就可以做成 P 型與 N 型半導體。當太陽光照射時，光能推動 P 型半導體的電洞與 N 型半導體的自由電子，這些電子和電洞均會受到內建電位的影響，分別被 N 型及 P 型半導體吸引，而聚集在兩端。此時外部如果用電極連接起來，即可形成一個迴路，這就是太陽能光電發電的原理。

由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加交直流轉換設備，換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。

五、實習期間參訪活動

5-1 Beacon Power 飛輪儲能廠

飛輪儲能之工作原理：飛輪儲能設備中有一個馬達發電機 (Motor generator)，充電時該電機以電動機形式運轉，在外電源的驅動下，電機帶動飛輪高速旋轉，從而增大其動能(機械能)，此過程為電能轉換為動能並儲存；放電時，電機則以發電機形式運轉，在飛輪(當原動機)的帶動下對外輸出電能，完成機械能(動能)轉換為電能的動作。飛輪儲能具有高循環效率(約 90%)、低製造成本、反應速度快、實虛功輸出能力等優點，對於系統頻率調控、無效電力支撐、再生能源發電輸出之平穩等輔助服務，具有卓越的表現。

該廠位於紐約州之 Stephentown，有 15 年的飛輪儲能設備之製造經驗，相關演進與發展如圖 5-1 所示，從第一代的裝置容量僅 1kW 到發展到目前的 100kW，已有長足的進步，目前該廠併接有 20MW 裝置容量之飛輪設備運轉中，主要用於調整系統頻率。圖 5-2 為本人與其它參訪同學合影。

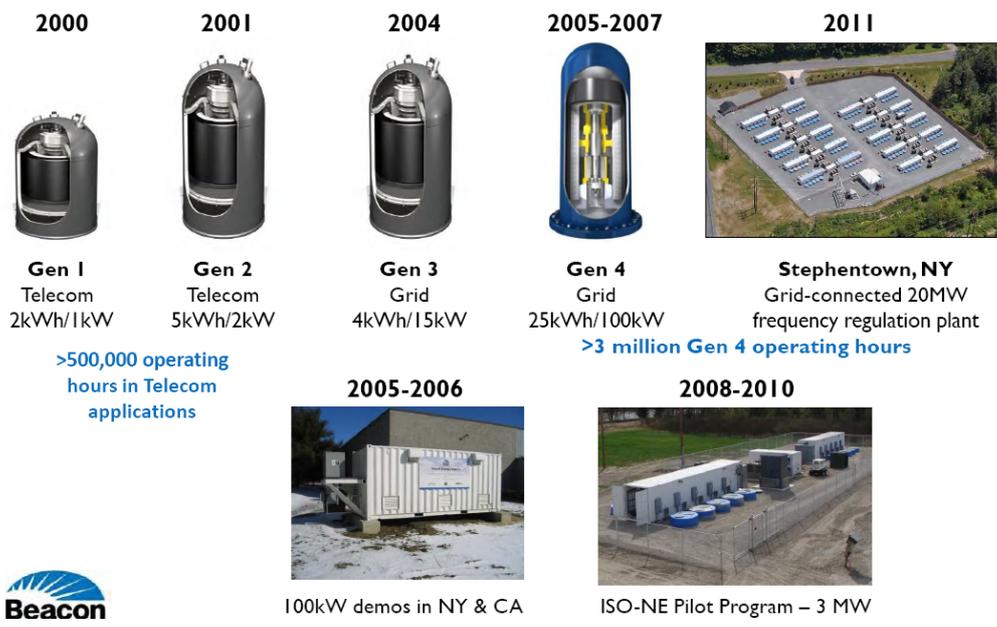


圖 5-1 飛輪儲能設備發展

資料來源：<http://www.beaconpower.com/>



圖 5-2 BEACON POWER 飛輪儲能廠廠外合影

5-2 其他參觀行程

- GE Durathon 電池製造工廠：Schenectady , New York

- GE 風機製造廠：Schenectady , New York

- GE 全球研發中心(Global Research Center

Headquarters)：Niskayuna, New York

奇異公司(General Electric Company)自 1878 年由愛迪生(Thomas A. Edison)創立以來，已超過百年歷史，為世界級企業集團，無論在運輸、家電、航太科技、電力、能源、醫療、照明、石油及天然氣萃取、水分離技術等領域，都有相當令人印象深刻的成就，而歷經時代的變遷與企業轉型的雙重考驗，GE 憑其不斷創新研發精神，發展成為當今世界上少數成功的跨國企業(全球一百多個國家設有分公司，超過三十萬名員工)。