

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：白 一 凡

出國地區：美國

出國期間：99.7.28~99.12.13




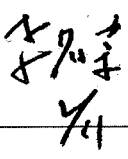
報告日期：100.2.8

出國報告審核表

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
白一凡	系統規劃專員	系統規劃處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：99年7月28日至99年12月13日		報告繳交日期：100年2月8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.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.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 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <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"/> 9.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"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、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。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人		主管處 主管		總經理 副總經理	
-----	---	-----	---	-----------	--	-------------	---

QP-08-00 F06

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 71 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：

白一凡/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程師/2366-6897

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他

出國期間：99年7月28日~99年12月13日 出國地區：美國

報告日期：100年2月8日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、失載率(LOLP)、雙饋可變速感應發電機(DFIG)、低電壓過渡(LVRT)

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司電力系統工程班(PSEC)課程內容涵蓋範圍極為廣泛，可分為四大主題：一、電力系統規劃與應用(I)；二、電力系統規劃與應用(II)；三、能源經濟、電力市場及系統規劃策略；四、新興發電技術及分析。由微而廣可由電路學基本原理、突波分析、電力電子元件、小信號分析、暫態穩定度分析、電力系統特性分析、同步電機控制模型乃至於系統運轉與機組排程、保護協調、進而擬定年度計劃及經濟投資領域和導入ISO概念、燃料市場機制介紹。

另面對嚴峻的能源及環境污染問題，風能及太陽能等再生能源的發展已形成一股全球趨勢，奇異公司順勢於課程中加入風力發電、太陽能發電及其他再生能源技術發展簡介及各型風力發電機組特性對有效電力與無效電力控制、暫態穩定度、阻尼模擬特性之基本介紹與太陽能發電之基本概念，未來課程將對此部分更加著墨及深入，對於整體系統衝擊分析提供更多概念。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.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、電力系統工程班課程摘要	6
4-1 電力系統及系統元件特性簡介.....	6
4-1-1 發電機容量曲線特性	8
4-1-2 輸電線路特性	9
4-1-3 負載特性	10
4-1-4 斷路器	11
4-2 電力電子元件於輸電系統之應用.....	12
4-2-1 彈性交流輸電系統(FACTS)	13
4-2-2 高壓直流輸電系統(HVDC).....	19
4-3 系統規劃策略及工程經濟評估.....	23
4-3-1 財務數學工具	25
4-3-2 折舊與資本回收	26
4-4 電力市場自由化.....	31
4-4-1 電力市場自由化之衝擊	31
4-4-2 全球自由化電力市場	36

4-4-3 電力市場架構	41
4-5 再生能源簡介	44
4-5-1 水力能 HYDRO	44
4-5-2 生質能 BIOMASS	45
4-5-3 地熱能 GEOTHERMAL	46
4-5-4 海洋能 OCEAN	46
4-6 風力發電概要	48
4-6-1 風機概述	48
4-6-2 風機種類介紹	51
4-6-3 風能評估	53
4-6-4 風機系統分析介紹	54
4-7 太陽能發電概要	59
4-7-1 被動式利用(光熱轉換)	59
4-7-2 光電轉換	60
五、實習期間參訪活動	65
5-1 Fenner Windpower Project	65
5-2 NYISO 紐約獨立調度中心	66
5-3 其他參觀行程	68
六、參考文獻(攜回資料)	69

圖目錄

圖 4.1.1 電力系統示意圖	6
圖 4.1.2 發電機容量曲線特性	8
圖 4.1.3 輸電線路電壓與 SIL 關係圖	10
圖 4.2.1 電力電子元件於電力事業之應用	12
圖 4.2.2 SVC 電路圖	14
圖 4.2.3 STATCOM 基本電路圖	16
圖 4.2.4 TCSC 基本電路圖	16
圖 4.2.5 SSSC 基本電路圖	18
圖 4.2.6 UPFC 基本電路圖	18
圖 4.2.7 高壓直流輸電系統示意圖	20
圖 4.2.8 電廠相關元件組成示意圖	22
圖 4.3.1 各類可靠度指標彙整表	29
圖 4.4.1 自由化市場對不同開發程度國家的影響	31
圖 4.4.2 世界電力市場自由化程度	33
圖 4.4.3 澳洲國家電力市場	37
圖 4.4.4 南韓電網圖	38
圖 4.4.5 南非電網	39
圖 4.4.6 愛爾蘭電網	40

圖 4.4.7 英國電網	41
圖 4.5.1 地熱發電示意圖	46
圖 4.6.1 日夜風向示意圖	48
圖 4.6.3 風機機艙示意圖	49
圖 4.6.2 風機容量與塔高發展歷程	51
圖 4.6.4 四種基本型式之風力發電機	53
圖 4.6.5 風場系統衝擊考量的演進狀況	55
圖 4.6.6 GE 公司風機 LVRT、ZVRT 設計	55
圖 4.6.7 增設風力機組 vs 同步機組後阻尼比較	57
圖 4.7.1 太陽電池實際上裝設情形	61
圖 4.7.2 不同世代太陽電池比較	64
圖 5.1 參訪 Fenner 風場	65
圖 5.2 NYISO 組織架構	67

一、出國緣由與目的

由於臺灣地狹人稠，且受限於外在環保議題(如電磁波)及抗爭因素，使得電源線及輸電線路之興建造成極大之阻力，電源開發與系統負載無法達成區域平衡，因而部分輸電網路產生瓶頸，且系統故障電流日趨擴大，而需採用新穎技術或 FACTS 補償設備來改善，導致本公司輸電系統規劃工作難度更高、更複雜。再加上配合國家發展再生能源政策及建構智慧型電網之方向，公司持續朝向大容量之再生能源開發(如離岸風力)，預期將對未來系統電網存在若干的潛在衝擊影響。然配合長期負載成長需求，多項大型發電及既有電廠機組更新之電源開發計畫仍須及早規劃，以滿足供電能力，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。

另為滿足未來負載成長需求，在各項大型發電計畫未完成前，仍須及早對電網進行因應規劃，以提供穩定可靠的電網系統，以穩固電源與負載端之聯繫。遂此，規劃者應吸取國外專家之電網規劃策略及採納新輸電技術俾利克服困境。

此訓練課程除可提供本處派訓人員學習更完整之電力系統理論及實務經驗外，訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流規劃理念，吸取國外之經驗及技術，俾強化既有規劃能力及技術，乃是此次出國目的。

二、出返國行程

(一) 去程：

- 99.7.28 台北 Taipei → 99.7.28 紐華克 Newark
- 99.7.29 紐華克 Newark → 99.7.29 奧爾巴尼 Albany → 斯堪那特提 Schenectady (GE 公司)

(二) 受訓：

- 99.7.30 ~ 99.12.10 美國奇異公司電力系統工程班

(三) 返程：

- 99.12.11 斯堪那特提 Schenectady (GE 公司) → 奧爾巴尼 Albany → 紐華克 Newark
- 99.12.11 紐華克 Newark → 99.12.13 台北 Taipei

三、心得與建議

(一) 此次受訓共有 14 位學員參加全期四個半月之課程，分別來自日本 10 位(北海道、九州、四國、中部、中國、沖繩、關西、東京電力及 J-Power、東芝等公司)、韓國 2 位(韓電)及台灣 2 位，另有約 10 人參加一個月之短期課程，除少數學員係機械及財務背景，其餘大多為具電機背景之各國電力公司員工，職務則涵蓋規劃、運轉維護、發電、輸電、配電及工程領域，學習期間除互相瞭解各公司電力系統架構、規模、發展方向以及政府對於再生能源與溫室氣體減排之相關政策目標，亦藉由分組作業的競合，瞭解各公司間作業流程及作業準則，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，有更多面向的思考，補強專業領域之不足。

(二) 適時出國受訓吸收新知，可減少職業倦怠感，並激發員工學習意願；學習適應不同文化之生活環境，可增廣見聞，擴展視野。GE 公司 PSEC 訓練課程涵蓋範圍極廣，可幫助系統規劃人員跳出規劃理論之範疇，補強對運轉調度、供電維護、發電機組與燃料特性、財務會計規劃乃至於自由市場經濟、全球再生能源發展趨勢等各面向觀念之不足，以提昇作

業品質及績效。尤其公司可派略有實際工作經驗之年輕同仁接受本訓練，將可貫通理論及實際規劃作業，對往後日趨變化之工作環境將大有助益。

(三) 本次受訓學員本公司共派遣二人，除課業學習可互相討論及切磋諮詢，互補專業領域之重點，對於課程學習效果加倍。另於日常生活起居亦可相互幫忙和諮商，減低獨自在異鄉生活之壓力，無形中達到更佳的學習效果，建議預算及人力許可的情況下，每年可編列二~三人參加本課程訓練之機會。

(四) 由於台灣能源 95% 以上仰賴國外進口，為配合國家能源政策，開發自產能源，降低對進口能源之依賴，並減少溫室氣體排放量，再生能源與替代能源的研究與應用，已是刻不容緩。目前台灣正積極於國內風能資源豐富地區，規劃興建風力發電廠，由於風力發電仍屬一種不穩定電源，其電氣特性與傳統水、火力發電不同，且風力發電機無論從單機容量或風場規模已朝向大容量化發展，如何進行大型風場系統衝擊分析，從簡單的設備保護及電壓、無效電力的控制，到有效電力的控制（調頻、備轉容量…等），乃至利用軟體模擬風機特性之模型參數，進行暫態穩定度、系統阻尼之分析，已成為一項重大之挑戰，值得更深入研討。

(五) 由於受訓地點偏遠且無公共交通工具，故需自行租車通勤。

目前公司綜合補助費並不足以支付租車費用，而其餘日常生活開銷，亦因兩地物價及匯率之差異致入不敷出。故建議往後送訓之年輕同仁，出發前宜先行了解該地物價，預為規劃受訓期間之財務支出，以免受訓期間因財務困擾影響學習成效。例如可考慮與同仁合租公寓，租車時選擇不同公司、取車地點、期間以及保險選擇導致價錢變化極大，出發前宜多做比較。

(六) 面對東西方不同文化的差異，除透過事先了解以適應在美生活，更可以學習其優點。例如美國的小費文化，一般服務業皆有收取小費，因該行業工作者之所得主要倚靠小費，故任何消費有受到人員服務的，都要支付小費。例如一般美國人的個性較為直接，在公共場合若遇到不平的事情，都會直接大聲表達，讓我們學習自己爭取自己的權益。而多數美國人非常注重家庭生活，上班族通常都準時下班回家，與家人共享天倫，我們可學習妥善利用時間、提高工作效率，更重要的是把家人放在生活的重心。

四、電力系統工程班課程摘要

電力系統由電源、電網和負載三部份組成，電廠所產生的電力經由錯綜複雜的電力傳輸系統連接各級變電所和各型態用戶，最終提供用戶所需電力。系統電壓之標準由國際電工協會(International Electrotechnical Commission 簡稱 IEC)統一制訂，220kV 以上者稱為超高壓(Extra High Voltage)，因電力傳輸正比於電壓平方，且傳輸損失較低，目前各國皆有提升電壓等級之趨勢，但仍取決於運轉方針、電源與負載之分佈而決定電壓等級。本次奇異公司電力系統工程班課程摘要如下：

4-1 電力系統及系統元件特性簡介

現代的電力系統由發電機將各種能源轉化產生電能後，經昇壓變壓器將電壓提高由輸電線路將電力傳送至負載中心，以變電所之變壓器降壓至合適之電壓層級，再供應給系統中各個用戶，如圖 4.1.1 所示。

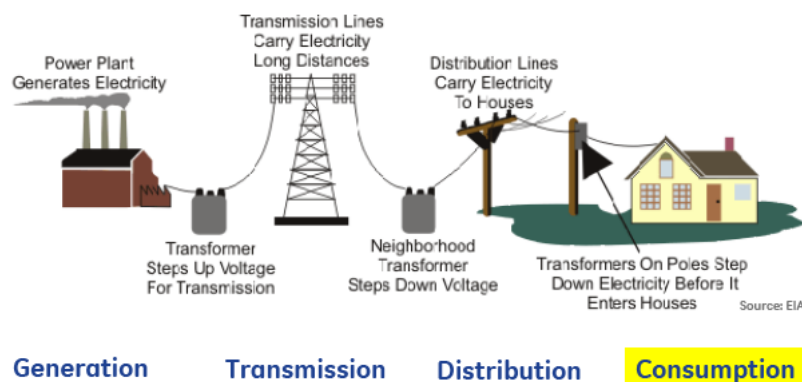


圖 4.1.1 電力系統示意圖

基本上，電力系統可概分為以下三大部份：

1. 發電系統：發電廠的主要功能為將各式能源如：化石能源(煤、油、天然氣)、水力、核能、風力、太陽能、地熱及潮汐等轉換為電能。
2. 輸電系統：輸電方式原則上可概分為交流系統及直流系統，現今因系統容量大且輸送距離遠使得交流系統成為主流，其中以3相60赫茲及50赫茲系統最為普遍。基於經濟性考量，交流系統輸電電壓隨系統容量不同而各有選擇。
3. 配電系統：一般而言，電能經由輸電線送至用戶時，須利用較高輸送電壓傳輸以減少輸電損失，而一般用戶並不直接受電，須經由變電設備，取用適當的電壓配送，以資利用。

基於電力系統中負載隨時都在變動之特性，為達到系統之供(發電)需(負載、損失)平衡，電力系統內須於適當地點設置控制設備，以求得系統之穩定運轉。傳統上，電力系統內的主要控制元件為發電機及其附屬設備(原動機、勵磁機等)、並聯式無效電力補償設備、附載分接頭變壓器等。

4-1-1 發電機容量曲線特性

於電壓穩定度和長時間(Long Term)穩定度研討中，同步機之無效功率限制極為重要。在特定電壓和功因(通常為 0.85 或 0.9)，同步機之額定輸出為在 MVA 極大值連續運轉而不致過熱。連續無效功率輸出能力如圖 4.1.2 所示受到下列三個因素限制：

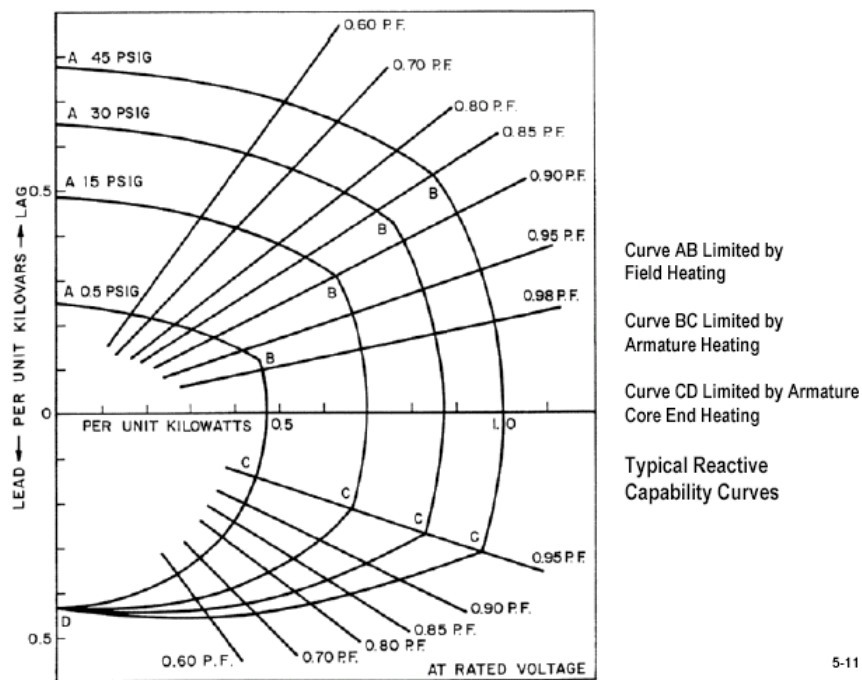


圖 4.1.2 發電機容量曲線特性

1. 電樞電流限制：電樞電流之損失 RI^2 產生熱，將限制電樞電流之最大值，以避免電樞發生過熱，如圖之 BC 段曲線。
2. 磁場電流限制：對一特定之場電流，有效和無效功率關係為一圓，其圓心為 $-Et^2/X_s$ 及半徑徑為 $(X_{ad}/X_s)Et i_{fd}$ ，如圖之 AB 段曲線。

3. 末端區域之熱限制：當同步機欠機運轉時，場電流甚小，造成電樞端漏磁通之增加，其所產生之熱將限制其出力。

4-1-2 輸電線路特性

當輸電線路之充電電流產生之無效電力與負載電流消耗之線路損失相等時，表示此時可視為線路末端負載大小為輸電線路之特性阻抗 $Z_c = \sqrt{L/C}$ 歐姆，輸電線路上潮流為一個 $SIL = V_0^2 / Z_c$ ，即輸電線路不從系統吸收無效電力，亦不提供系統無效電力，全線上之電壓和電流同相且維持定值，不同 SIL 值對應之電壓趨勢如圖 4.1.3。

輸電線路傳送電力之能力與線路長度與電壓等級有關，及受到下述三種因素影響：

1. 線路熱容量極限：線路總長度 0~80km。
2. 電壓降極限：線路總長度 80~320km。
3. 小信號穩定度極限：線路總長度 320~960km。

當輸電線路長度超過 480km 時，其載流能力低於 SIL，藉由補償輸電線路，可增加輸電線路傳送電力之載流能力。

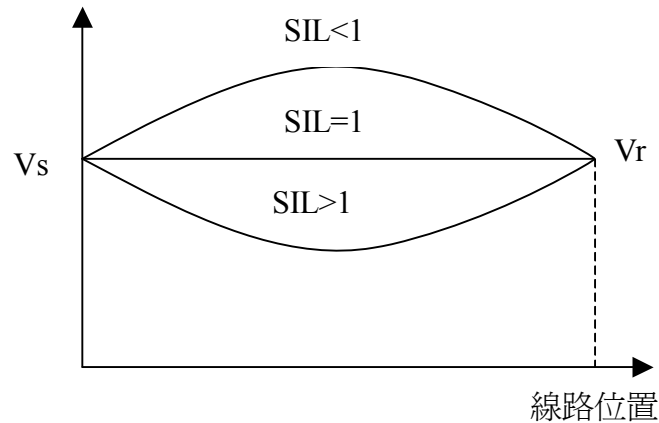


圖 4.1.3 輸電線路電壓與 SIL 關係圖

4-1-3 負載特性

電力系統中消耗電力的元件種類及數量繁多，其負載模型及特性對穩定度之模擬影響甚大，通常分成靜態模型及動態模型兩大類，一般而言，進行系統模擬時負載皆採用靜態模型。

靜態模型或傳統式負載模型 ZIP，若負載僅考慮與電壓大小相關時，其關係式如下：

$$P = P_0 (a_1 + a_2 V + a_3 V^2)$$

$$Q = Q_0 (a_4 + a_5 V + a_6 V^2)$$

a_1 、 a_4 ：定電力負載比例

a_2 、 a_5 ：定電流負載比例

a_3 、 a_6 ：定阻抗負載比例

若考慮為頻率相關性之負載特性，將上述指數模型或多項式模型乘上一個因數 $(1 + K_f \Delta f)$ ，其關係式改寫如下：

$$P = P_0 (a_1 + a_2 V + a_3 V^2) (1 + K_{pf} \Delta f)$$

$$Q = Q_0 (a_4 + a_5 V + a_6 V^2) (1 + K_{qf} \Delta f)$$

一般而言，電動機消耗電力系統中全部電能之 60%~70%，所以系統動態特性主要受到電動機之動態特性所影響，故常將負載之動態模型以感應電動機模型來表示。

4-1-4 斷路器

電力系統發生故障時，必需藉由斷路器打開以隔離故障電流，使系統受到最小衝擊，避免大量故障電流損害設備，並保護運轉人員之安全，故斷路器遮斷容量之大小關係其啟斷故障之能力。

在台電輸電系統中，345kV 系統斷路器遮斷容量一般採用 63kA，161kV 系統則採用 50kA，69kA 採用 40kA。

4-2 電力電子元件於輸電系統之應用

電力電子(Power Electronics)主要是研究改善電能使用效率的電子工程技術，藉由整合功率半導體元件、微電子、與自動控制等技術於電源轉換、電能儲存、與電力傳輸以符合各種不同形式電源需求的應用。

電力電子元件具有快速反應、輸出能隨時變動與輸出能很平滑的變動等特性。目前電力電子技術的應用，已從傳統的「用電」觀點，例如設計高功率密度的電源供應器，進一步朝向「發電」與「輸配電」的方向發展，其在電力系統方面的應用如圖 4.2.1 所示。

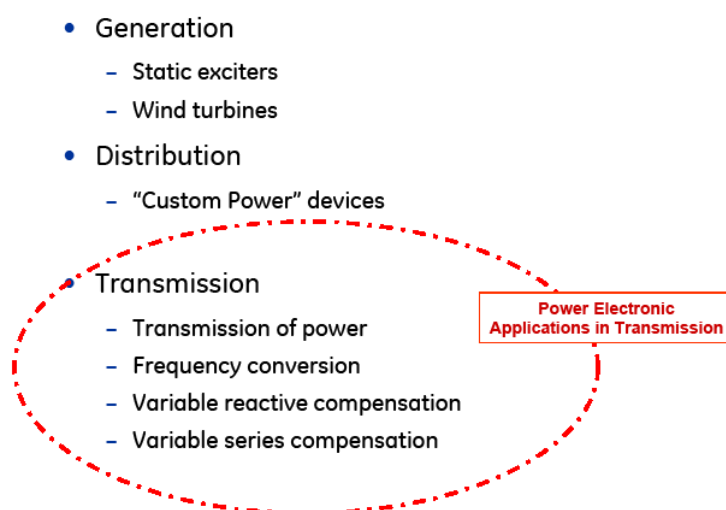


圖 4.2.1 電力電子元件於電力事業之應用

4-2-1 彈性交流輸電系統(FACTS)

彈性交流輸電系統(Flexible AC Transmission System, FACTS)定義為“交流輸電系統中加入電力電子元件和控制器，以強化系統控制能力和增加輸電能力”。

經由輸電線傳送的交流電力是由輸電線阻抗及輸電線兩端的電壓及相角所決定。傳統的電網結構中，利用固定式或機械切換式串、併聯無效電力補償設備、電壓調整變壓器及相角移位變壓器等設備來達到輸電線阻抗最佳化，減少電壓變動及控制電力潮流。唯此類控制方式僅能控制穩態系統，動態控制只能由發電廠本身的控制系統來施行。上述設備除發電廠附屬設備具備即時及快速的反應特性外，其它設備大都為機械式元件，無法滿足系統瞬間需求。整個系統往往須預留相當的裕度，以應付突發的事故及系統不確定需求。

近年來，由於能源、環保、路權及成本等因素，導致許多發輸變電新興工程延宕，迫使電力業者須改變傳統運轉理念，而走向提昇既有設備利用率及加強控制電網能力的策略。由於高功率半導體、通訊系統及儲能設備的快速發展，電力業者已能利用上述先進的元件，而使電網控制更加靈活。

4-2-1-1 靜態無效電力補償器(SVC)

靜態無效電力補償器(Static Var Compensator, SVC)的基本元件為並聯電抗器與並聯電容器。電抗器的電感量可藉改變閘流體導電相位，控制通過電流決定。而電容器可採用固定式或由閘流體做開關控制。此補償器的主要特性為反應快速，可靠度高、低運轉成本和高靈敏度。

常見之靜態無效電力補償器種類如下：

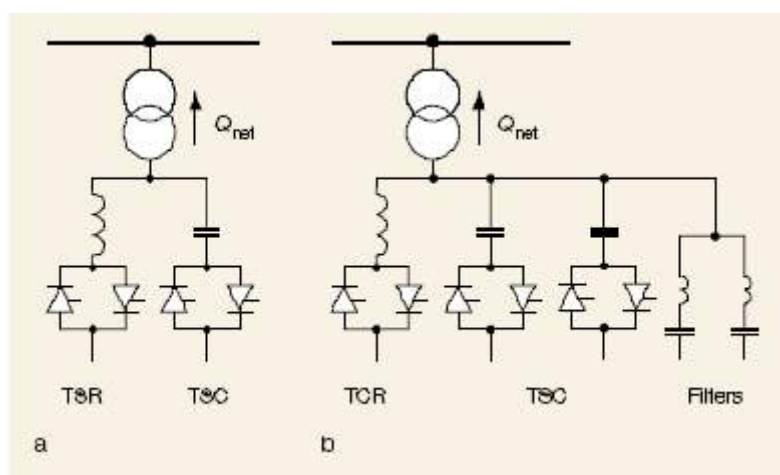


圖 4.2.2 SVC 電路圖

■ 閘控電抗器(Thyristor-controlled reactor, TCR)

由雙向閘流體串聯一固定電抗器，藉由閘流體觸發角度改變相位以調整電抗器上電流大小及控制吸收系統之無效電力。

■ 閘開關電容器(Thyristor-switched capacitor, TSC)

藉由閘流體切換控制電容器投入或切離，控制電容器的無效電力。

■ 閘開關電抗器(Thyristor-switched reactor，TSR)

是藉由閘流體切換控制電抗器投入或切離，以便控制電感器的無效電力供給，與 TCR 比較，無諧波電流產生。

4-2-1-2 靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)

靜態型同步無效電力補償器(Synchronous Static Compensator，STATCOM)主要是以電力電子技術發展的閘開關電晶體 GTO 控制原理設計之靜態同步調相機，是屬於自激式無效電力補償裝置；不須以任何電容器或電感器產生或吸收無效電力，而是利用 GTO 控制換流器，將直流電壓轉換為交流成分，並利用系統電壓與轉換後之電壓比較，以達吸收或提供無效電力的補償效果，但其缺點是價格較為昂貴。

STATCOM 有下列功能：

- 提高功率傳輸能力
- 提高系統暫態穩定度
- 增強系統組尼
- 改善電力品質

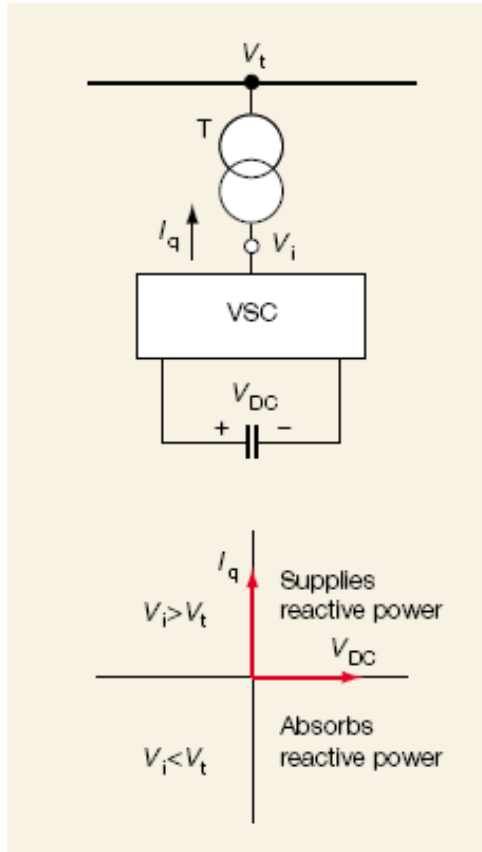


圖 4.2.3 STATCOM 基本電路圖

4-2-1-3 閘控串聯電容器

閘控串聯電容器(Thyristor-Controlled Series Capacitor, TCSC)是由串聯電容器和閘控電抗器 TCR 並聯而成，經由 TCR 控制以提供線路可變且平滑之電容性阻抗，來改變系統線路阻抗，達到無效電力補償之目的。

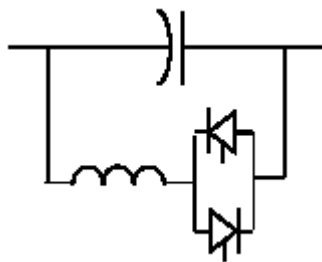


圖 4.2.4 TCSC 基本電路圖

TCSC 有三種工作模式：

1. 全通模式(Bypass mode)

控制閘流體觸發使 TCR 完全導通，此時 TCSC 成為電感性補償。

2. 全斷模式(Blocking mode)

當閘流體不觸發，TCR 不導通，此時 TCSC 成為電容性補償。

3. 連續控制模式(Capacitive boost mode)

藉控制閘流體觸發角度來改變線路阻抗，進而控制電力輸送。

4-2-1-4 靜態同步串聯補償器(SSSC)

靜態同步串聯補償器(Synchronous Static Series Compensator，SSSC)是由串聯變壓器、電壓源變流器及儲存式直流電壓源組成，由於轉換器可調整其輸出電壓進而控制串聯變壓器一次輸出電壓領先或落後系統電流，SSSC 便成為一可變的串聯電容或電感，由於其操作與系統電流無關，故 SSSC 可以在輕載或重載下操作。

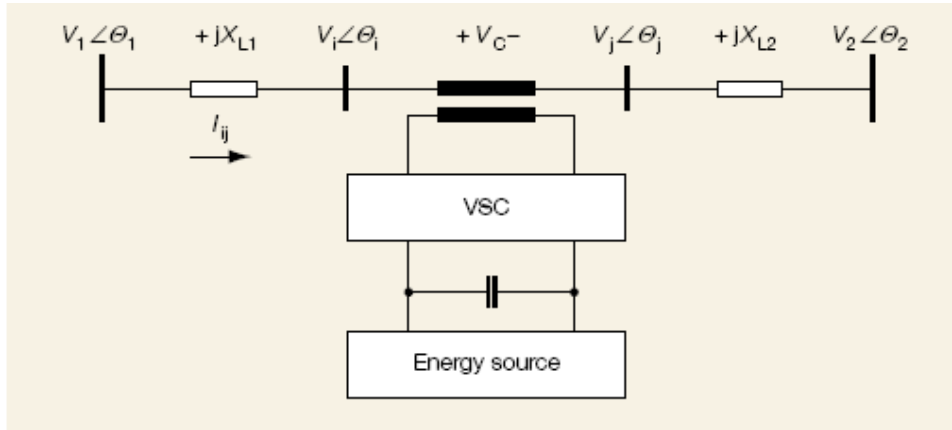


圖 4.2.5 SSSC 基本電路圖

4-2-1-5 強化電力潮流控制器(UPFC)

強化電力潮流控制器(Universal Power Flow Controller, UPFC)是由兩組 VSC 裝置經一共用 DC Link 組合而成，具有無效電力併聯補償、串聯補償與相角調整或多重控制之功能。可控制線路之電壓、阻抗和相角，具有改善系統特性、控制潮流、穩定系統電壓、減少設備維護與便利調度之優點。

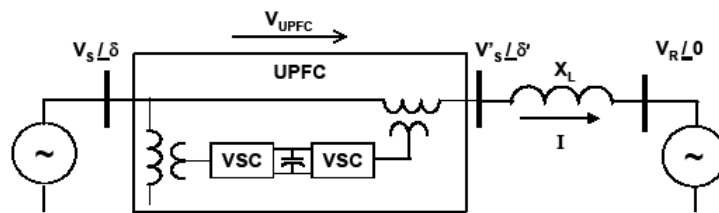


圖 4.2.6 UPFC 基本電路圖

應用 FACT 設備，能控制同一輸電路徑下某一並聯線路之輸送電力，且整個系統之阻尼及電壓穩定度仍可維持在可接受水準。由 FACTS 之功能觀點可獲知，由於高電壓高電流電力電子設備之可控性、通訊網路和計算機系統之發展，改善了傳統交流輸電系統機電設

備缺乏控制能力之運轉特性。因此，FACTS 所具有之特點包括取代傳統電路阻抗恒定使輸電網路阻抗和相角具有調節性、電力潮流為可控制狀態和快速控制功率流向和大小。

以系統整體而言，使用 FACTS 有以下優點：

- 電力潮流可彈性控制，提高系統穩定度。
- 送電能力可提升到接近線路熱容量極限。
- 依系統需要提供快速靈活補償，以改善供電品質。
- 前置工程作業時間短，可因應輸電線路工程之遲延。

4-2-2 高壓直流輸電系統(HVDC)

高壓直流輸電系統(High Voltage DC Transmission System)技術，可用於連接不同頻率或弱化地區之電力系統，或作為長距離輸電系統，並可改善電力系統特性。隨著電力電子元件技術之更新，高壓直流輸電設備已邁向高容量、易導通、操作簡單及控制精密之新里程碑。應用此改良技術，傳統交流輸電系統所具有故障電流過大或系統穩定度不佳問題將可有效改善。相關技術已廣泛應用於國外電力系統中。

4-2-2-1 組成設備介紹

高壓直流輸電系統將交流系統或發電機端電源經(AC/DC)換流站整流為直流電力後，將此電力傳送至接收端之(DC/AC)換流站，換流站再將電力轉換為交流電力後供接收端系統使用，如圖 4.2.7 所示。

HVDC Simplified System Schematic

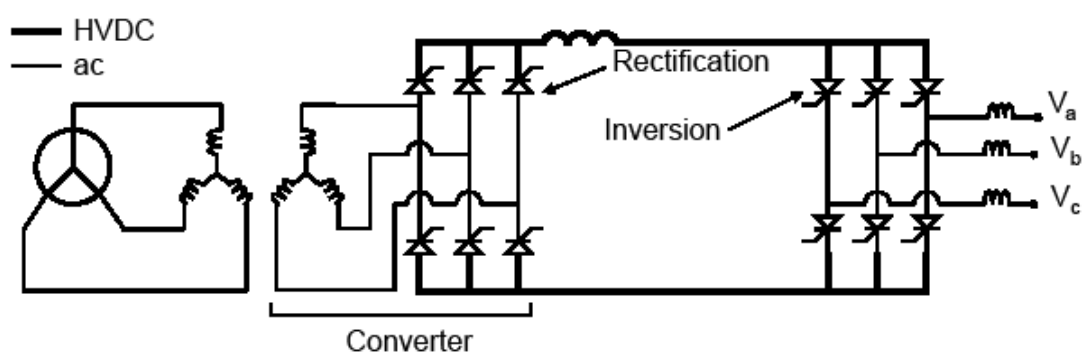


圖 4.2.7 高壓直流輸電系統示意圖

■ 線路部份

由直流輸電線路及接地裝置所組成，輸電線路一般可分為架空、電纜或混合線路三種。

■ 換流站部分

由換流變壓器、換流閥組(Converter Valve)、平滑電抗器、交直流濾波器、無效電力補償裝置、冷卻設備、開關設備、保護控制設備及避雷器等裝置所組成。

■ 交流開關場之無效功率補償設備

傳統高壓直流輸電系統換流器運轉時需消耗無效功率，除交流濾波器可提供一部分外，其餘需裝設補償裝置提供所需無效電力。此裝置亦可供應部份交流系統，調節電壓提高系統電壓穩定所需之無效電力。一般常見無效電力補償設備有並聯電抗/電容器、Synchronous Condenser、SVC 及 STACON 等。

4-2-2-2 高壓直流輸電系統與交流輸電系統比較

高壓直流輸電系統傳輸電力僅有歐姆損失，不似交流輸電系統須傳輸額外無效電力而產生有效及無效電力損失，相較下將更有效率。

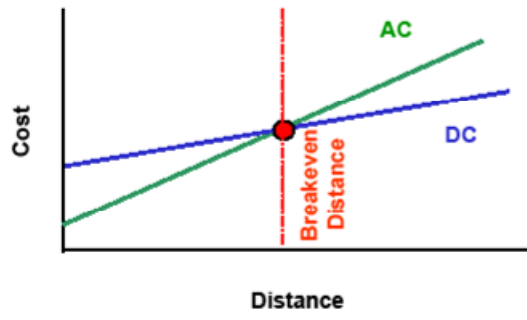
高壓直流輸電系統與交流輸電系統比較，有下列優點：

- 可實現不同頻率交流系統間之非同步連結，提高兩側交流系統互為備用及事故時緊急支援之能力，從而提升系統穩定性及供電效益。

- 適合高電壓、遠距離大容量輸電

由於直流設備較為昂貴，一般而言當架空線路超過 500~900km 或電纜線路超過 40km 時之經濟規模時，採用 HVDC 輸電比採用交流輸電更經濟，如圖 4.2.8 所示。

- 線路功率損耗及對環境危害均較低
- 電力潮流調節快速且能雙向傳送，適合大區域電力系統間的互聯。



Breakeven distance \approx 500-900 km(架空)

Breakeven distance \approx 40 km (電纜)

圖 4.2.8 電廠相關元件組成示意圖

4-3 系統規劃策略及工程經濟評估

所謂策略性規劃與運轉係指規劃過程考量系統安全與資金投資、財務計劃兩者間的關係並將限制因素與目標做一合理規劃，其考量期程已達數年或數十年之中、長期目標。其分析面向可分為：

1. 電力系統運轉與控制：

以經濟因素為前提，考量互連系統於頻率控制、有效功率及能量交易中，維持系統成本在合理的目標，且符合系統的備轉容量標準以因應負載變化的需求。

2. 公用事業經濟學 (Utility Economics)：

對於公用事業資金投資計畫，需由基本的盈利率、歲入多寡及潛在的投資償付能力，以瞭解各種分析財務的方法，以各類分析工具，將這些方法應用於開發方案選擇決策過程，輔助於公司營運績效。

3. 策略性的輸電與發電規劃 (Strategic Transmission and Generation Planning)：

利用備轉容量、失載機率及網路最佳化規劃的方法作為系統可靠度的分析指標。並擬定符合規劃準則之長期電源開發及輸電網路計畫。

就計算投資成本、報酬率、回收期長短、股益...等指標，可利用

現金流量法(Cash Flow Approach)來分析，比較替代方案收支情形，依據公司發展經營目標考量情況不同，選用回收期限法(Payback Period Method)、現值法(Present Worth Method)、年值法(Annual Worth Method)、未來值法(Future Worth Method)、投資報酬率法(Rate-of-Return Method)、益本比法(Benefit/Cost Ratio) ...等經濟準則，擇一或多項訂定決策，而經濟分析方式則可採用 A.推論分析法(Inferred Analysis-設定報酬率並計算收益需求)或 B. 真實分析法(Actual Analysis 預估收益並計算報酬率)，一般而言公用事業較喜歡採用推論分析法，而無管制工業較喜歡採用真實分析法，上述兩種方法均可被簡化成採用收益方程式($R = O\&M + D + TP + T_i + I + E$)來分析，其中 R 表示收益，O&M 表示維修費用，D 表示賬面折舊，TP 表示資產稅， T_i 表示收入稅，I 表示借貸利率，E 表示運作收入。

典型之資產負債表如下表：

Assets	Liabilities
Plant at original cost	Equity
Less depreciation reserve	- Common stock
Net plant	- Paid in capital
Construction work in progress	- Retained earnings
Total plant	Total common equity
Current assets	- Preferred stock
- Cash	Total equity
- Accounts receivable	Long term debt
- Materials & supplies	Total capitalization
- Other investments	Current liabilities
Deferred debits	- Short term debt
Total assets	- Accounts payable
	- Customer deposits
	Deferred credits
	Total liabilities

4-3-1 財務數學工具

如何將資金以利率 i 計算而在時間上移動，將可得到現值 (Present Worth)、未來值 (Future Worth)、等值年金 (Levelized Annuity)，相關計算方式如下：

1. 複利 (Compound)：

年利率為 i 時，現值 P 元等值於未來第 n 年金額 $F = P(1+i)^n$
 $= P(F/P, i, n)$ 。

2. 折現 (Discount)：

年利率為 i 時，未來第 n 年金額 F 元等值於現值 P
 $= F/(1+i)^n = F(P/F, i, n)$ 。

3. 複利年金 (Compounding an Annuity)：

等間內之期末均有相等付款 A 元，則未來第 n 年總金額
 $F = A[(1+i)^n - 1]/i = A(F/A, i, n)$ 。

4. 年金複利 (Annuity to be Compounded)：

未來第 n 年總金額 F ，等值前 n 年每年之付款年金 $A = F$
 $i/[(1+i)^n - 1] = F(A/F, i, n)$ 。

5. 年金之現值 (Present worth of Annuity)：

每年之付款年金 A (共 n 年)，等值於目前之現值

$$P = A \frac{[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n} = A (P/A)_{i,n}。$$

6. 現值等效年金(Annuity Equivalent to Present Value)：

$$\text{現值等效於未來年金 } A = P \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} = P(A/P)_{i,n}。$$

7. 均勻變化量(Uniform Gradient)：

n 期對一已知固定資金 A 之每年增加或減少 G，其等效現值

$$P'' = \frac{1}{i} \left[\frac{G}{i} \left\{ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right\} - A \right]。$$

8. 幾何數列(Geometric Series) $A_k = A_{k-1}(1+j)$ ：

其中 A_1 表第一年資金流動之大小，其後續每年增加 $(1+j)$ 倍，

則其現值 $P = A_1 \frac{1 - [(1+j)/(1+i)]^n}{i - j}$ ，其 n 年後資金

$F = P(1+i)^n$ ，亦可求等效未來年金 A。

4-3-2 折舊與資本回收

折舊 (Depreciation) 是保留投資者資金之價值的方法，即 Depreciation = return of investment，原投資者資金已被折舊保留金所預留回本。折舊計算方式如下：

1. 帳面折舊(Book Depreciation) — 每年折舊相等金額，淨設備價值逐年遞減至零，提列折舊保留金逐年遞增至原投資金額。
2. 再投資帳面折舊(Book Depreciation with Reinvestment) — 每年將折舊保留金再投資，使淨設備價值每年均維持與原投資金額相等。當該設備退休時，將分別從原成本帳目及折舊保留金中

移除該設備項目，當該設備已完全被折舊但尚未退休，保留其在帳面上價格，但不再提列折舊保留金。

3. 帳面折舊含殘值(Book Depreciation With Salvage)： 殘值為剩

餘價值扣減移除設備成本，有可能產生負值。

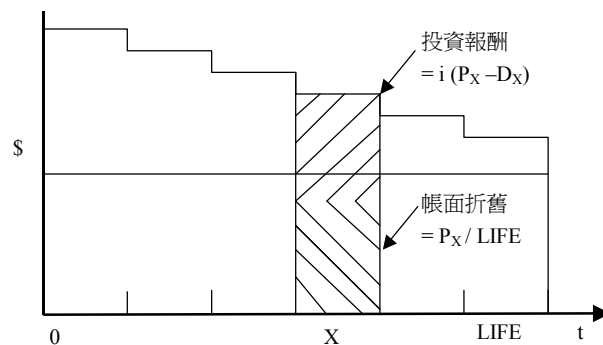
4. 會計觀點之資本回收之現值(X 型)

$$P.W. = \sum_{ALL X} [i(P_X - D_X) + (P_X / LIFE)] (P/F i, X)$$

其中 X = 典型期間

P_X = 期間 X 內之殘值

D_X = 折舊保留金(期間 X 之開始)

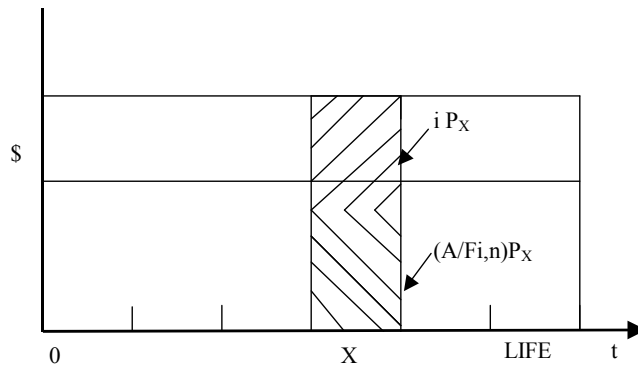


5. 工程經濟觀點資本回收之現值(Y 型)

$$P.W. = \sum_{ALL X} [i + (A/F i, n)] P_X (P/F i, X)$$

其中 X = 典型期間

P_X = 期間 X 內之殘值



而就規劃實務而言，一般常利用備轉容量率((系統淨尖峰能力-尖峰負載)/尖峰負載*100%)來評估系統電源可靠度，此計算方式雖容易、快速，然未考量機組潛在的故障問題，因此為兼顧機組可能發生故障之情況，進而衍生出失載率 L.O.L.P. (Loss of Load Probability)演算法以強化評估系統可靠度。

計算失載機率方法係由選擇方案中不同的備轉容量與失載機率，求取適當之備轉餘裕及可降低限電機率，一般而言系統負載逐年遞增導致備用容量逐年減少，故 LOLP 亦逐年增加，若超過規劃準則數據，規劃單位即需採行電源開發及網路規劃。常用步驟如下：

1. 利用負載管理方式，降低用電需求，以節省資金支出。
2. 擴建或增加輸電線路，增加輸電容量，以強化系統運轉安全。
3. 增建發電機組，考量施工時程及尖中輕負載比例，決定機組

形式(燃煤或燃氣之複循環機組及氣渦輪機組)。

於規劃系統的過程中可瞭解備用容量、設備餘裕較多，有利於系統運轉之安全可靠，但挹注較多的資金投資不利於公司營運；反

之，可能面對較大的運轉風險，在此發電業趨向自由競爭環境下需利用完備的工具以輔助計劃人員，並培養規劃技術與財務分析兼具之人才，以迎接未來民營化或自由化的挑戰。

目前各類可靠度指標彙整如下表所示：

名稱	系統平均 停電次數指數	系統平均 停電時間指數	用戶平均 停電次數指數	用戶平均 停電時間指數	平均供電 正常性指數	平均負載 停供次數指數	平均負載 停供時間指數
英文簡稱	SAIFI	SAIDI	CAIFI	CAIDI	ASAI	ALIFI	ALIDI
說明	一年中一個用戶的平均停電次數	每一個用戶在一年中平均的停電時間	全年中每一停電用戶的平均停電次數	全年中每一停電用戶的平均停電時間	全年可供電用戶時間總數與全年用戶總常用時間的比值	供接負載每年每kVA之停供負載數平均KVA	供接負載每年每kVA之平均停供時間
定義	$\frac{\text{總停電次(戶)數}}{\text{總供電戶數}}$	$\frac{\text{總用戶停電時間}}{\text{總供電戶數}}$	$\frac{\text{總停電次(戶)數}}{\text{受影響總戶數}}$	$\frac{\text{總用戶停電時間}}{\text{總停電戶數}}$	$\frac{\text{可供電用戶時間}}{\text{用戶常用時間}}$	$\frac{\text{總停供負載數}}{\text{總接供負載數}}$	$\frac{\text{總停供負載時間}}{\text{總接供負載數}}$
公式	$\frac{\sum_{i=1}^m C_i}{C}$	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} C_{ij} T_{ij}}{C}$	$\frac{\sum_{i=1}^m C_i}{C_r}$	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} C_{ij} T_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_i}$	$\frac{8760 C - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} C_{ij} T_{ij}}{8760 C}$	$\frac{\sum_{i=1}^m L_i}{L}$	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} C_{ij} T_{ij}}{L}$
英文全名	System Average Interruption Frequency Index	System Average Interruption Duration Index	Customer Average Interruption Frequency Index	Customer Average Interruption Duration Index	Average Service Availability Index	Average Load Interruption Frequency Index	Average Load Interruption Duration Index

圖 4.3.1 各類可靠度指標彙整表

依目前台電公司，為公營且負有供電義務之事業體，常因法律規章之無彈性及民眾對電力設施排斥，無法以最適經費建構符合規劃需求之電力系統，亦無法真實反映電價成本，造成整體經營績效之低落，而電力事業目前最有挑戰的課題之一就是電業自由化，將一切回歸市場經濟機制，供電風險或高電價機率由全民承擔，或可改變民眾、政府正視電力建設重要，為上述困境提供解決之道，各國自由化之程度因國情不同程度有其差異，惟可借鏡各國在電業自由化歷程中發電、輸電、配電、售電乃至於資訊管理等電業技術與經驗，汲取成

功參考案例，面對二十一世紀，除了研發新的設備外，公用事業電力公司勢必須多方面發展轉型，以迎接未來的挑戰。

4-4 電力市場自由化

電力自由化市場分為三要素，一為市場架構重組：分割不同事業體如發電公司、輸電公司及配電公司等。二為解除管制措施：如只能向單一公司買電等。三為民營化：移轉所有權，不再是政府擁有。

自由化市場將對已開發國家之影響：提升電力市場整體效率，導致電價下降。而對開發中國家之主要影響：吸引外國投資者，但可能導致電價合理上升，如圖 4.4.1。

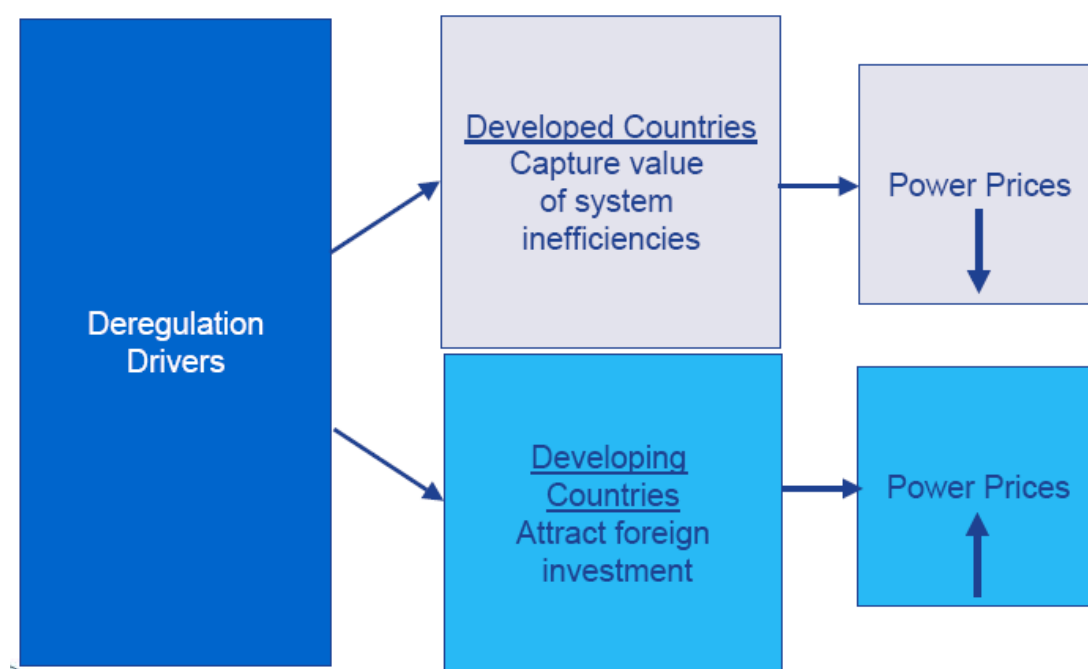


圖 4.4.1 自由化市場對不同開發程度國家的影響

4-4-1 電力市場自由化之衝擊

各階段自由化對電力市場架構的衝擊：

1. 從單一垂直整合電力公司(壟斷市場)，轉變為多個垂直整合電力的不同公司。此階段之優點為穩定，工業環境之電力供應風險較低。
2. 由多個垂直整合電力且寡占的不同公司，轉將發電部分單獨分離成獨立之公司，其餘部分仍維持整合，可使每個公司降低備轉容量(Reserve Margin)。在此階段的改變是很緩慢，且可靠度仍遠重要於降低成本。
3. 開放躉售批發市場的競爭，如分為發電公司，輸電公司、配電公司等，但零售市場仍未開放，一般民眾仍無法選擇電力供應者。
4. 最後階段全部市場(含零售市場)皆自由化，此時消費者可以選擇跟哪家電力公司買電。此階段電業會特別注意運轉成本，效率提升，增加需求特別是彈性化與快速化，某些電業將遭自然淘汰，多樣化的發電機組搭配，商業交易變的相當鉅大而活躍。

對於世界電力市場自由化程度如圖 4.4.2。其數字越大表示其自由化程度越高。

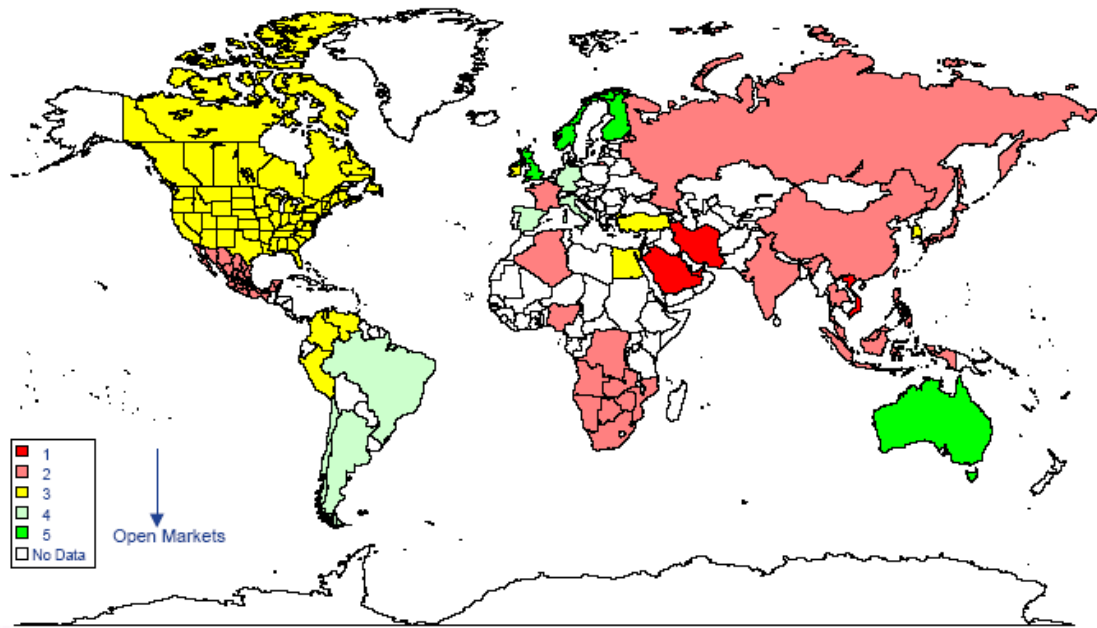


圖 4.4.2 世界電力市場自由化程度

反觀台灣，電業法自 1965 年開始實施後，經濟部於 1991 年即著手規劃「電業自由化政策」，十餘年來，雖多次提出「電業法修正草案」，然而通過電業法修正之條文，卻僅止於非自由化之部分，自由化之腳步停滯不前，然自由化乃是將市場競爭機制導入電力市場中，以期電力市場運作更有效率，如何發展套適合台灣運作模式的電力自由化市場，實為一重要且急迫之課題。

就美國電業發展史為例，美國自 1935 年至 2007 年公布之重要法案如下：

1. 1935 年公用事業控股公司法案：設立國家管制系統，對垂直整合自然壟斷的事業(電力事業)界定服務市場，其營業區內必

須服務所有既有及未來的用戶，部分商業運作(費率)需受到管制。

2. 1978 年公用事業管制政策法：強制要求每一民間投資公用事業以預先決定的成本向合格電業買電，取得其營業區域新發電業者資格。
3. 1992 年能源政策法：授予非公用發電業者在批發市場賣電的權利。
4. 1996 年 FERC (美國聯邦能源管制委員會/Federal Energy Regulatory Commission)Order No. 888：強制性要求輸電網路公平開放給批發電力的所有買賣雙方。建立獨立系統運轉機構準則。
5. 1996 FERC Order No. 889：強制性要求使用網際網路佈告欄，開放進出即時資訊系統，聯繫買賣雙方的可供傳輸容量分析供需是否足夠。
6. 1999 年 FERC Order No. 2000：建立區域輸電組織為較佳的網路運轉機構，其組織可為非營利性質之獨立系統運轉機構、營利性質之輸電公司，或者為以上之組合體。
7. 2002 年 FERC 對標準市場(SMD)設計公布提議規則，公開徵詢各界意見。

8. 2005 年 FERC 預定標準市場設計(SMD)進入實際推動階段。
9. 2007 年 FERC Order No. 890：公平的輸電服務，避免不當的岐視與偏好。

目前美國大約有 16 個區域已經建立或正在發展某種形成的獨立輸電系統運轉機構 (ITSO, Independent Transmission System Operator)，它包括非營利性質之獨立系統運轉機構(ISOs, Independent System Operators)、營利性質之輸電公司(Transco, Transmission Company)，及其它相關的模型，目前已有 5 個 ITSO(約佔美國 1/3 發電量)已經開始運作，略述如下：

1. 加州獨立系統運轉機構(CALISO, California ISO)：

開放非岐視性的輸電進出，管理區域輸電費率法規，運轉輔助服務市場，並管理交易費用，回收輸電擁有者的輸電營收額。另加州電力交易所(CalPX, California Power Exchange)為分開但相關之組織，其運轉為一電能市場。

2. 德州電力可靠度協會 ISO(ERCOT-ISO)：

負責維護德州 10 個分開的控制地區之電力系統的安全，運作輸電市場，電能排程，協調輸電規劃。

3. 新英格蘭 ISO(ISO New England, ISO-NE)：

控制新英格蘭電力聯網 (New England Power Pool, NEPOOL)，管理輸電系統，法規費率，及電力交易所。

4. 紐約 ISO (New York ISO, NYISO)：

NYISO 在 1999 年 11 月運轉，供應紐約州網路及點對點的輸電服務。

5. 賓紐馬跨州聯網 (PJM Interconnection, LLC (PJM))：

在賓州、紐澤西州、馬里蘭州運轉，PJM 為北美最大的集中調度電力系統，提供非歧視的進出，管理一個區域的輸電費率及壅塞管理，並運作電力交易所。

4-4-2 全球自由化電力市場

澳洲電業，1998 年 3 月成立「國家電力市場 (National Electricity Market)」，主要是將澳洲東部與南部各州的輸電網路合而為一如圖 4.4.3，成為一個跨州的輸電系統，參與的各州包括：維多利亞、新南威爾斯、南澳、昆士蘭與首都特區等。

國家電力市場管理公司 (National Electricity Market Management Corporation, NEMMCO) 開始營運，為財團法人，掌理電力市場的交易、調度、輸電價格的管理、網路規劃原則的訂定等。因此，NEMMCO 為稱「國家電力市場」的管理者 (Market Manager)。其市場特點：

1. 只有能量市場，並沒有容量市場。

2. 發電拍賣經由總量管理來競標。
3. 市場經由公正第三者清楚資源分配。
4. 即時交易價格為每 MWH 為美金 10000 元。



圖 4.4.3 澳洲國家電力市場

南韓電業如圖 4.4.4，韓國電力公司(KEPCO)的發電部門分割成為六家財務獨立的子公司之後，除「水力及核能發電公司」以外，其餘五家公司予以民營化。此六家發電公司（GenCo's）的購售電競價必須經由韓國電力交易所（KPX）執行，而電業的發照、換照、以及電業經營之監督則由韓國電力委員會執行。此委員會及電力交易中心分別於 2001 及 2002 年成立。其電業特點：

1. 韓電電力交易所協調以電力潮流、未來規劃及運轉成本等來做核心點，取的平衡點。
2. 有能量市場及容量市場。

3. 有做為系統裕度來做備轉機組的透明的市場。
4. 發電拍賣經由總量管理來競標。
5. 市場經由公正第三者清楚資源分配。

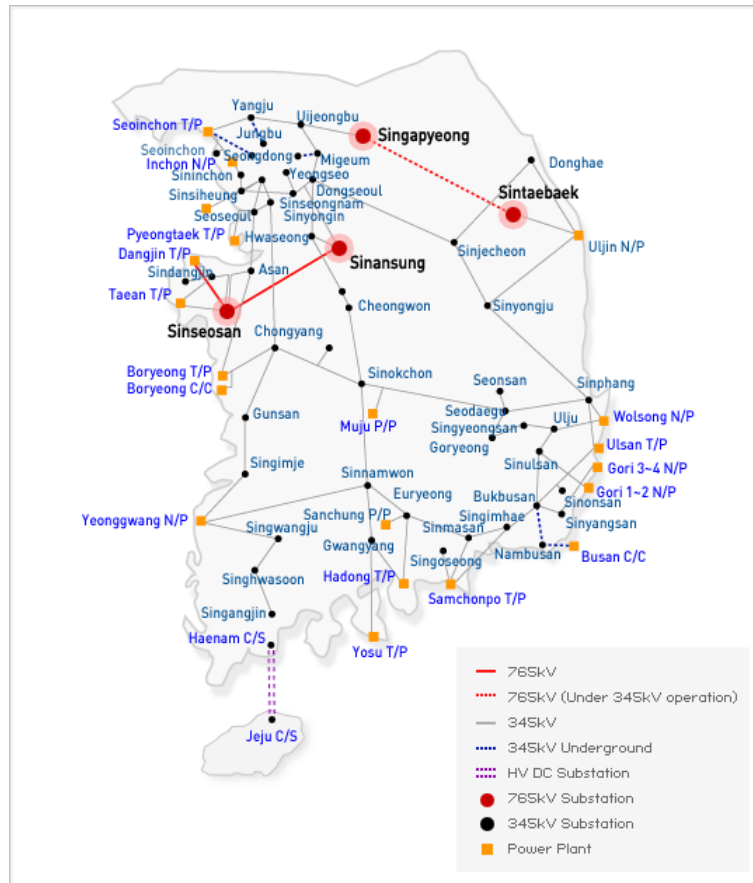


圖 4.4.4 南韓電網圖

南非電業法，1995 年由南非十二個國家組成共同組織一電力池

如圖 4.4.5 南非電網，其特點：

1. 目的推展各國貿易，降低能源成本及提升自 1965 年開始實施。
2. 大部分電力交易透過雙邊交易
3. 短程交易市場於 2001 年成立，可以即時交易。
4. 短程交易市場是相當現貨市場，與一般購售電合約不同。

5. 一般小容量電廠都經過短程交易市場。



圖 4.4.5 南非電網

愛爾蘭電業法，如圖 4.4.6 愛爾蘭電網，愛爾蘭共和國強制性統一單一電力市場，使得發電端與供電端能夠自由進行貿易行為，其特點：

1. 有能量市場與容量市場
2. 所有發電端皆採總代理制投標，來競標價格，市場經由公正第三者清楚資源分配。
3. 無雙邊交易

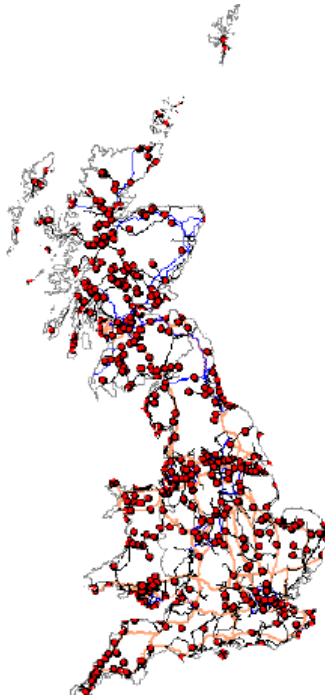
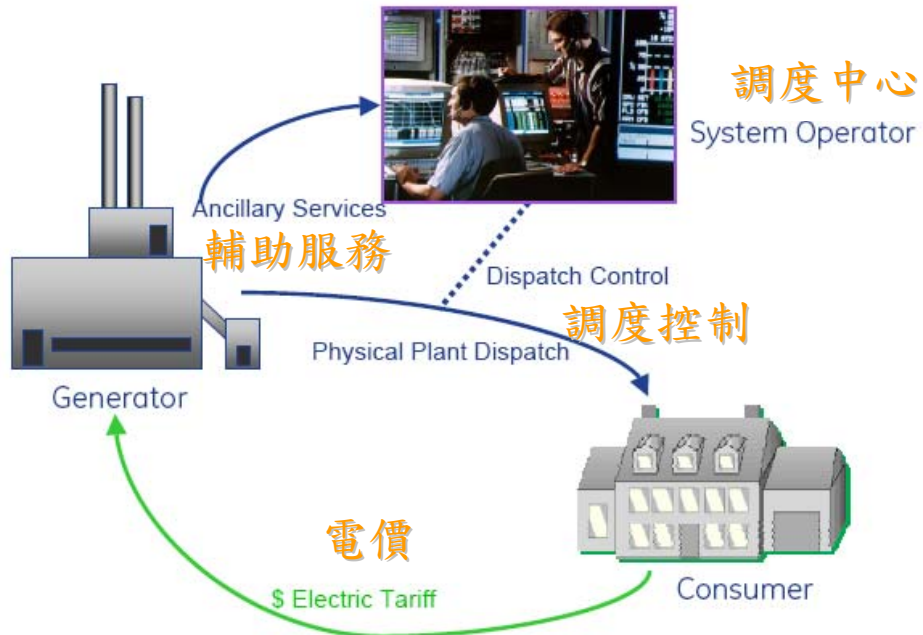


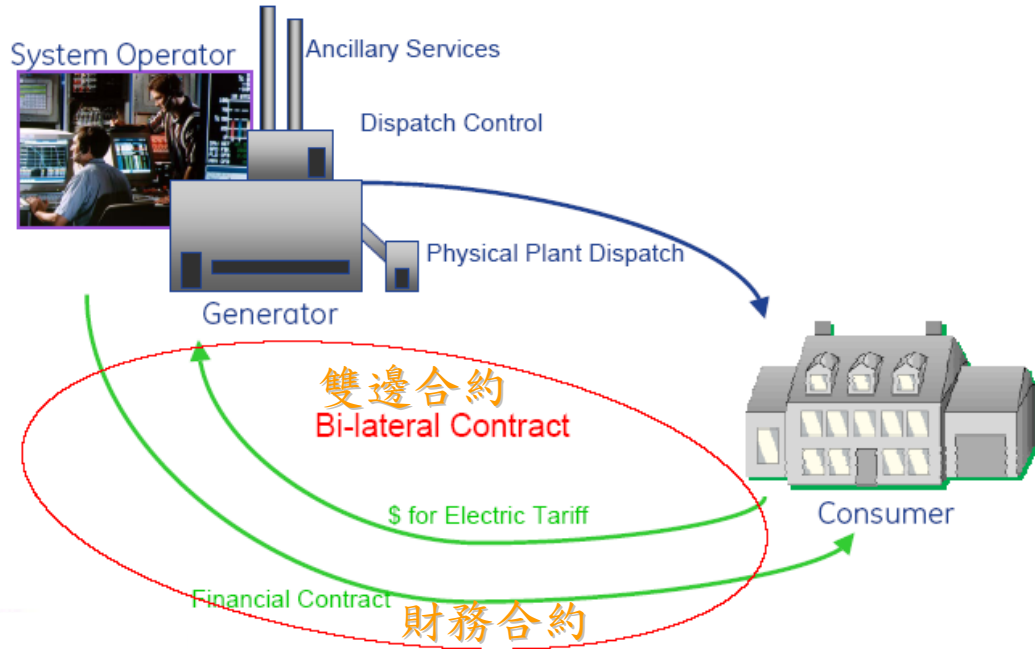
圖 4.4.7 英國電網

4-4-3 電力市場架構

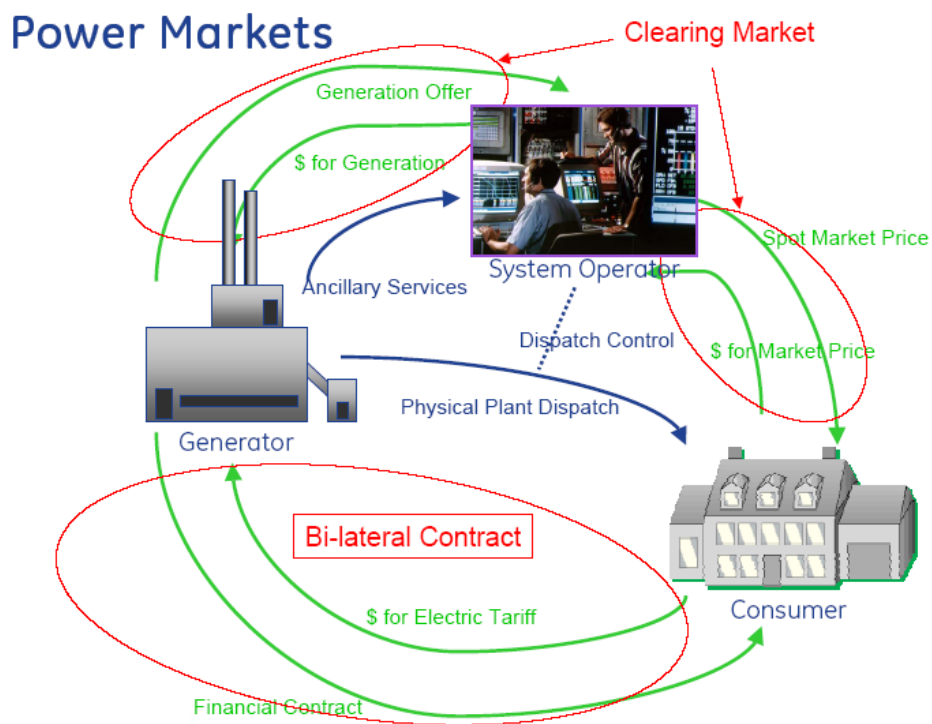
1. 實體電力市場架構



2. 電力市場模式一，調度與電廠同一家電力公司，與消費者簽訂合約。

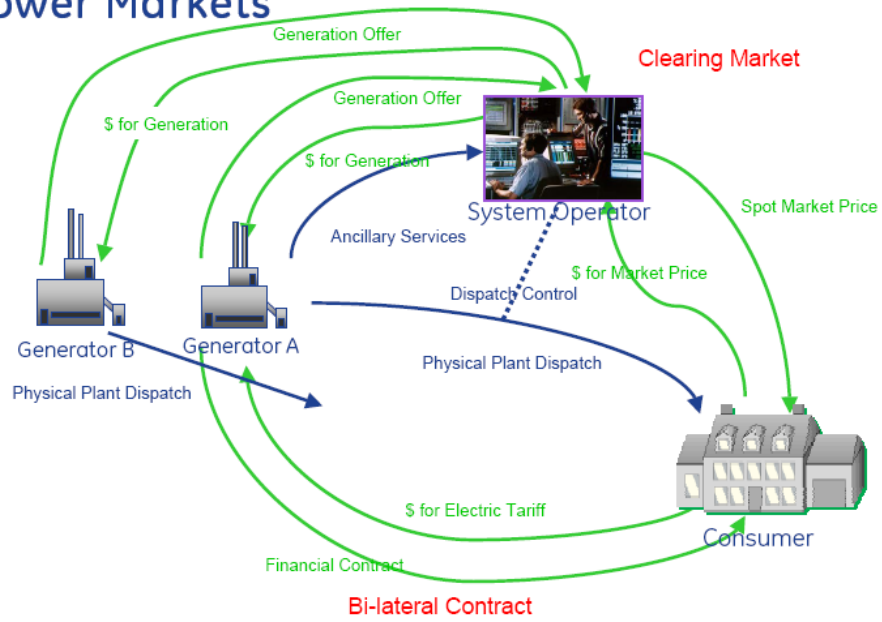


3. 電力市場模式二，電廠直接與消費者有雙邊交易及電廠與調度中心即時現貨市場交易消費行為。



4. 電力市場模式三，某些電廠無直接與消費者交易只與調度中心即時交易。

Power Markets



4-5 再生能源簡介

近年來由於中國、印度、巴西及俄羅斯等金磚四國為首之開發中國家經濟發展突飛猛進，加速對石油、天然氣及煤炭等天然化石燃料的需求量日益增加，全球石油資源日漸枯竭的問題逐漸浮上檯面，使得價格嚴重波動；且經由燃燒石油、天然氣等燃料所產生之二氧化碳，造成空氣污染與溫室效應等環境破壞；而世界先進工業國家在1997年於日本簽定達成遏止全球氣候暖化的「京都議定書」（Kyoto Protocol）簽署後，達成溫室氣體排放減量的決議，使得世界各國開始重視替代能源（Alternative energy）或再生能源（Renewable energy）的推動。

再生能源指的是來源無所匱乏的能源，可永續利用之淨潔能源。根據聯合國環境規劃署（UNEP）的定義，「再生能源」係指理論上能取之不盡的天然資源，過程中不會產生污染物，例如太陽能、風能、地熱能、水力能、潮汐能、生質能等，都是轉化自然界的能量成為能源，並在短時間內（幾年之內，相對於億年以上才能形成的石化燃料）就可以再生之能源。

4-5-1 水力能 HYDRO

水力能發電是利用水的流動推動連接發電機的水輪機，將機械能轉換為電能。水力能為最“傳統”的再生能源之一，水力發電技術也

是再生能源中最成熟者。水力開發對環境之衝擊較小，除了提供廉價電力外，且有管制洪水氾濫、提供灌溉用水、利於河流航運以及提供尖峰時段電力調度等優點。

水力發電常見之發電方式如下：

■ 慣常水力發電

藉由水之流動而產生電能，無須任何燃料且不排放污染物，發電成本具競爭力；且因其應載迅速，為最佳之尖峰電源之一。

■ 抽蓄水力發電

利用離峰時之多餘電力抽水而於尖峰時發電，為調節尖、離峰用電之最佳負載管理方式；惟其利用基載機組產出之電能抽水，需加計燃料成本，故其發電成本較慣常水力高。

4-5-2 生質能 BIOMASS

生質能泛指自然界可用作能源用途的各種植物、人畜排泄物以及有機廢物轉化成的能源，包括沼氣、稻殼等農業、工業、都市廢棄物以及其他野生植物等能源作物，經過焚化、氣化、裂解、發酵等技術轉換成燃油、燃氣與電力等可用能源。目前生質能為全球第四大能源，僅次於石油、煤及天然氣，由於兼具能源與環保雙重貢獻，是國

際公認最廣泛使用的再生能源，約占世界所有再生能源應用的三分之一。

4-5-3 地熱能 GEOTHERMAL

利用蘊藏在地表下的熱能發電或供給暖氣等。地熱資源不易受天候影響，輸出穩定，惟現階段地熱發電成本仍較傳統發電方式略高，故發電後的溫泉熱水多進行遊憩、溫室植栽、空調等多目標利用，以提高經濟效益。

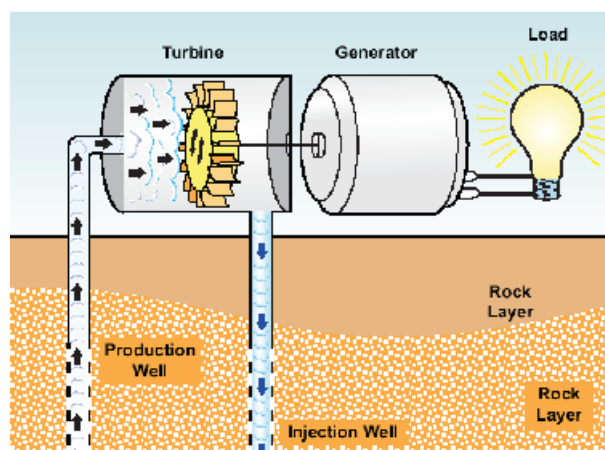


圖 4.5.1 地熱發電示意圖

4-5-4 海洋能 OCEAN

海洋能是潮汐能、海流能、波浪能和溫差能的統稱，除具有能量巨大、可以再生、無環境污染等優點外，尚有不需陸地空間等優勢，是一種具潛力的再生能源

- 潮汐發電：利用漲潮退潮的位能差產生電力。
- 海流發電：利用海洋中的洋流推動水輪機發電。

- 波浪發電：利用波浪運動的位能差、往復力或浮力產生電力。
- 溫差發電：利用深層海水與表層海水之溫差汽化工作流體帶動渦輪機發電。

4-6 風力發電概要

太陽照射到地球表面時，因各處受熱不同產生溫差，從而引起大氣的對流形成風，據估計太陽能抵達地球的部份約 2% 轉化為風能，全球的風能約達 $2.74 \times 10^9 \text{MW}$ ，其中可利用的部份為 $2 \times 10^7 \text{MW}$

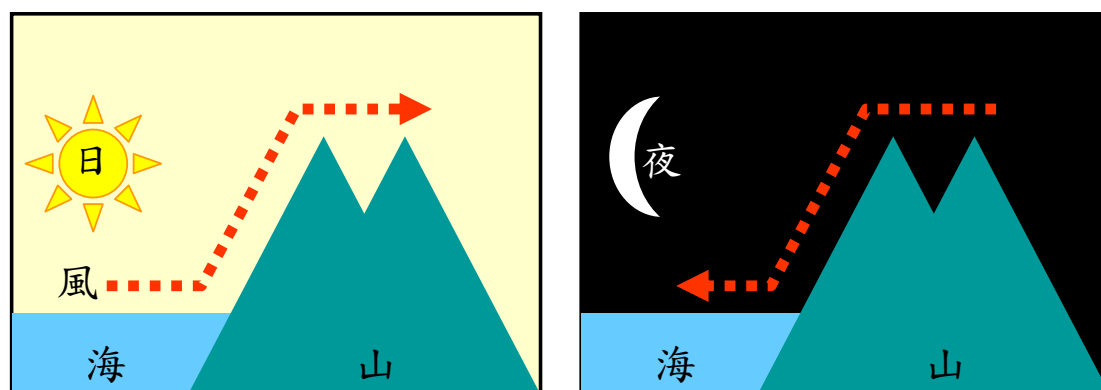


圖 4.6.1 日夜風向示意圖

4-6-1 風機概述

風機機艙構成元件略述如下：

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。

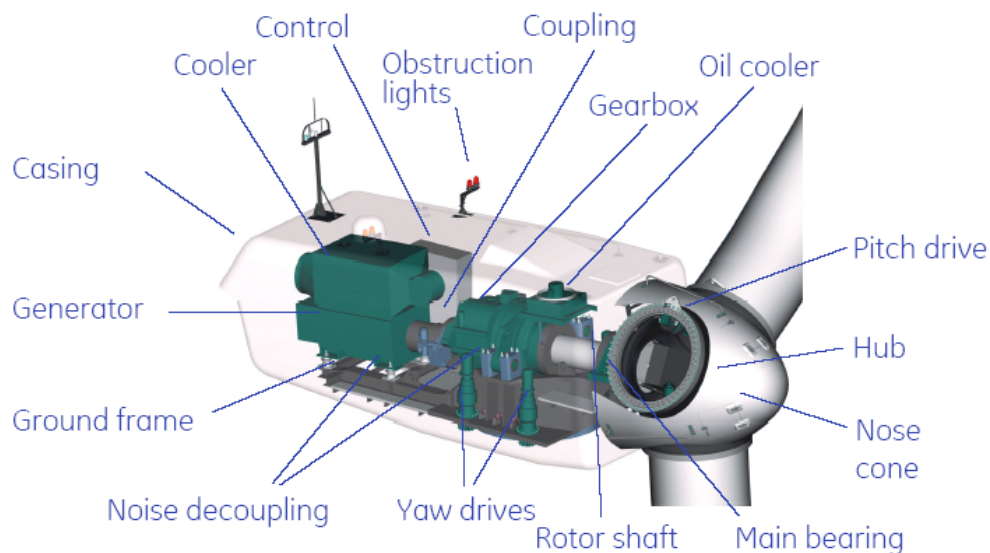
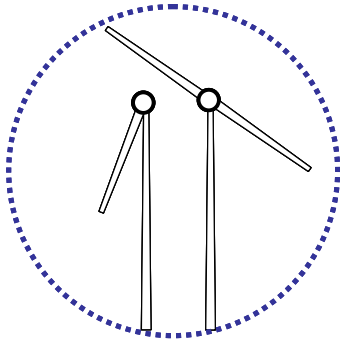


圖 4.6.3 風機機艙示意圖

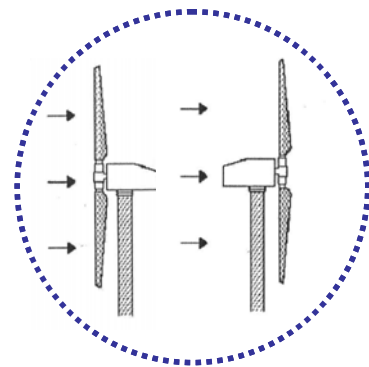
依目前的技術，約莫 3m/sec 的風速(約可搖動樹葉)，便可帶動風車扇葉，再透過齒輪模組將轉速度提高的增速機，結合轉動軸上的線圈切割磁場，使風機感應發電。以下有幾項風機之基本介紹：

- 1.就風機扇葉考量，除講求輕巧堅固，若設置於海岸地區，尚須考量到鹽分銹蝕問題，往昔的風機本體支架和扇葉常以鋁鈦合金製造，近幾年來由於材料科技的進步，扇葉部已改用玻璃纖維以取代，近年更嘗試引入碳纖維材料。
- 2.依空氣動力學之理論，旋轉物的葉片宜隨其轉速之提高而減少，多翼形風車，係轉速低、高扭力用途。故慢速轉動的磨坊



風車其葉片大都是四片，而發電風機轉速較快因而採三片扇葉設計，至於為何不採用兩片或單片葉片，則係考量視覺平衡及轉動平衡，使感官、環境衝擊降至最低。

- 3.再就風車的轉動方向(順時針或逆時針)皆與發電出力無關，為考量迎風面可能造成葉片扭曲，一般迎風面設計於風機塔基之後，以保護風機，現今商業化主流風力機為水平軸、三葉式翼型風力發電機。



- 4.風機出力能力約與葉片大小成正比

(目前 ERpower 的風機型號是最大的，其 4.4MW，風輪直徑達 112m，5MW 風機風輪直徑達 125m)，目前以 3.0MW 機組為主流，已經有 3 種超過 3MW 的風機投入商業化，因為風場決定後，龐大體積之風機由製造廠至設置地點經過之道路、橋樑等運送過程係一大考驗，其改善措施費用恐遠高於設備成本，故目前風機容量大小暫無法大幅提昇，惟離案風力部分，因限制較少，且由於海上的風力通常大於陸地，近年，風機製造廠開始研發離岸風機，迄今 GE Wind 已開發出 3.6MW 海上專用風電機組，更大的 5-10MW 葉片則研發中，然而，離岸機組的探索也遇

到了很多挫折,由於離岸風場的水深常達幾十米,吊裝相當困難,且風機大型化相對零件要求更高,虧損使得市場開始對發展離岸項目持更謹慎的態度。

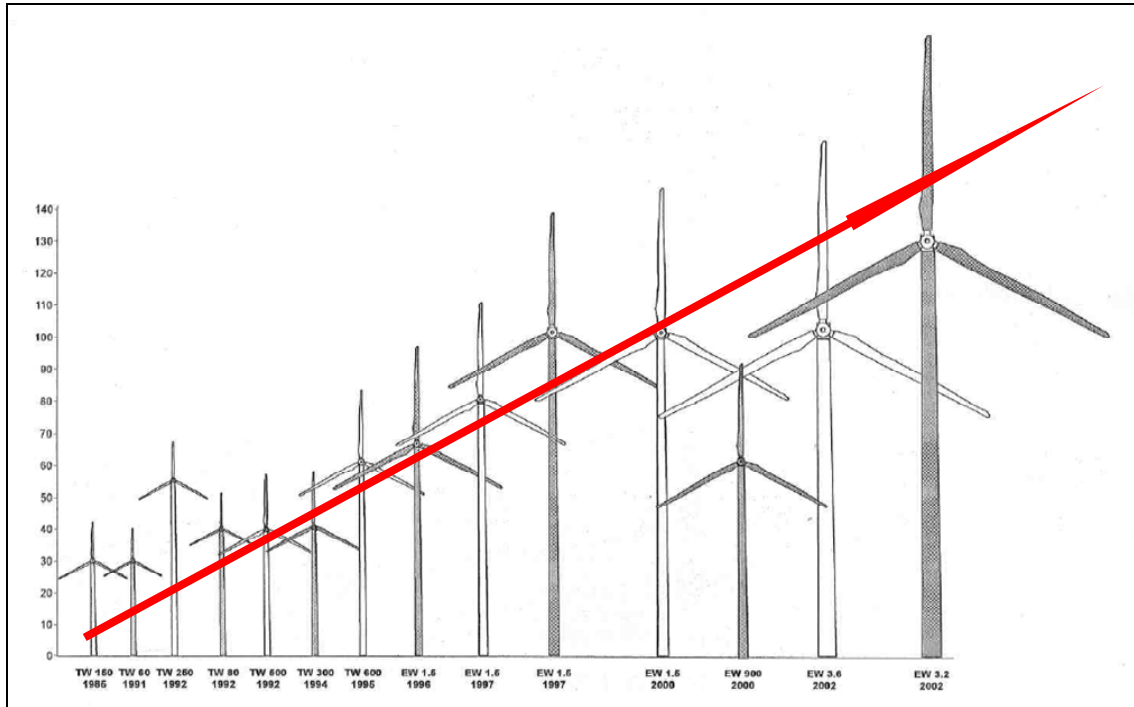


圖 4.6.2 風機容量與塔高發展歷程

4-6-2 風機種類介紹

風力發電機種類約可分為四大類：

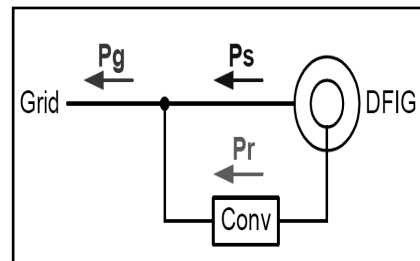
1. Type 1 定轉子電阻式感應式發電機：此類機型由一轉子和一鼠籠式感應發電機，連接到一個齒輪箱，發電機定子線圈則連接到電網，構造極為簡單，相對的價格較低廉，然因為轉子速度不能改變，風速的變動直接轉換為驅動轉子之扭矩起伏變化，造成電壓不穩及有閃爍的問題，使得電的品質受到影響，且由併聯電網吸收無效電流，需配合設置補償虛功率的電容器因

應。

2. Type 2 可變轉子電阻式感應式發電機：此類機型係由 Type 1 演化，利用可調式轉子電阻控制調整轉速。

3. Type 3 雙饋可變速感應發電機 doubly-fed induction generators (DFIG)：轉換器接到轉子線圈而定子線圈直接連接到電網，透過電力電子設備，將系統電壓頻率狀態迴授，藉由電壓改變控制無效電力，頻率改變

控制有效電力，轉子頻率可以用轉換器來改變並，因此，機械和電



頻率耦合使變速操作成為可能，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 AC-DC-AC 轉換器半導體零件價格降幅極大，故已成為主流型式。

4. Type 4 直接傳動可變速同步發電機 (Full-conversion)：將發電機和併聯電網能完全的用電子轉換器耦合，也允許變速操作，因風機出力，基本上與系統已完全脫溝，可視為變形的 STATCOM 元件，對於虛功及電壓控制範圍最大，然比起雙饋入可變速感應發電機來說發電機定子設計較複雜、電子轉換器較大、較重，故價格較高。

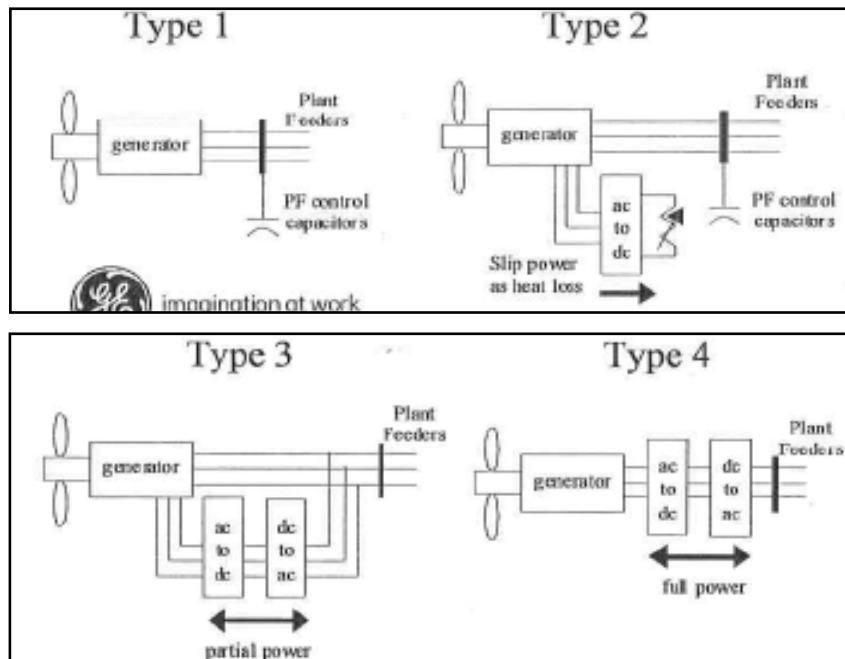
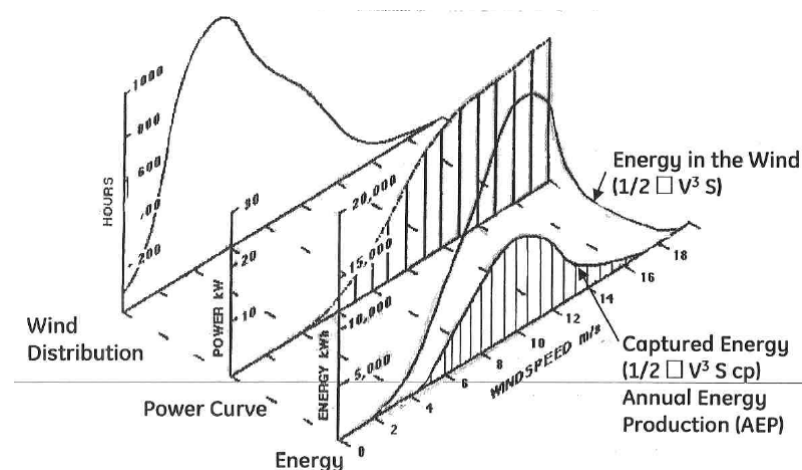


圖 4.6.4 四種基本型式之風力發電機

4-6-3 風能評估

有關風能的評估，可由下圖略述，由風場產生風力分佈，轉換為功率及能量曲線曲線，而風能大小係與風速的三次方成比例，藉由空氣的氣動力作用(包括升力及阻力)轉動葉片以擷取風的動能，進而轉換成電能，風力機無法轉換全部風能，一般而言，輸出效率約 20~40%。



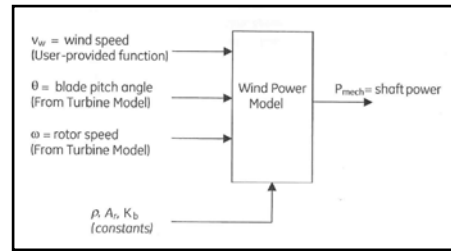
因風能之不穩定性，風機採用之輸出控制方式為：失速節制(Stall regulation)及旋角節制(Pitch control)－以吸收風能，獲較佳之輸出曲

綿降低啟動風速及避免過高的輸出，變速控制，則有較佳電力品質及

較低之傳動鏈負荷，而影響風機功率 P

因素有風速、 V_w 葉片、角度 θ 及轉子

速度 ω 。



其公式為：

$$P = \frac{\rho}{2} A_r V_w^3 C_p(\lambda, \theta)$$

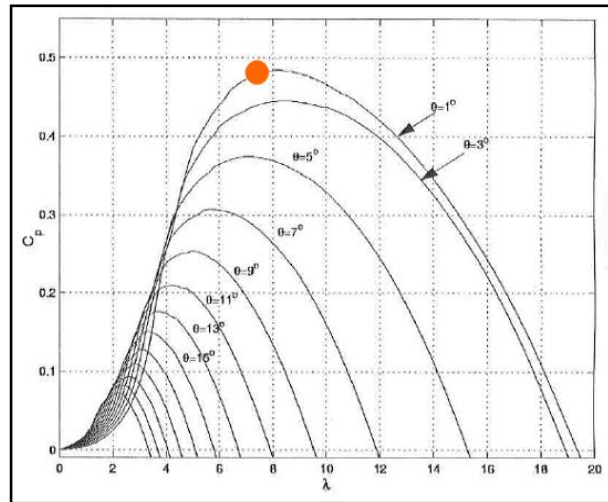
而風機 C_p 曲線如右圖所

示，其 Tip speed ratio $\lambda = k_b(\omega$

$/V_w)$ ， A_r 為葉片面積，理想的

C_p 值為 0.593，就三葉片的風

機而言，最大 C_p 值為 0.47，發生於 $\lambda=7$ 時。



4-6-4 風機系統分析介紹

風力機組加入後，對系統之影響分析，可就保護系統(小型風場)、

電壓控制、低電壓過渡(Ride-Thru)能力(中型風場)及主動式電力控制

(大型風場)逐級增加比重，一般：

1. 大型風場開發規模
2. 系統較脆弱者
3. 風力發電佔總發電量比重越高者

對系統衝擊所需考量的層面就越廣。下表則是風場系統衝擊考量

的演進狀況，橫軸表示風場規模，縱軸為歷史演化，可知整個系衝除傳統過電壓、過電流、故障電流等潮流分析及穩定度、電力品質、閃爍等檢討，更需對電壓過渡、頻率特性甚至提供備轉能力多所著墨。

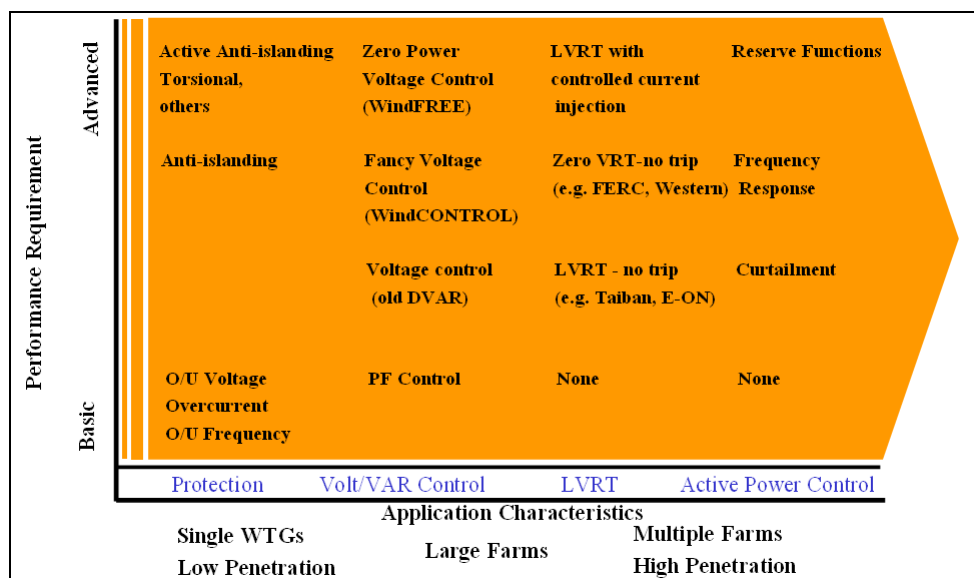


圖 4.6.5 風場系統衝擊考量的演進狀況

其中 LVRT(Low Voltage Ride-Thru)，係指當系統發生擾動導致電壓下降時，風機本身有能力度過時間，提供系統恢復穩定運轉之能力，甚而要求有零電壓過渡 ZVRT(Zero Voltage Ride-Thru)之能力，就 GE 公司風機設計標準而言，其 ZVRT 需達 200ms。

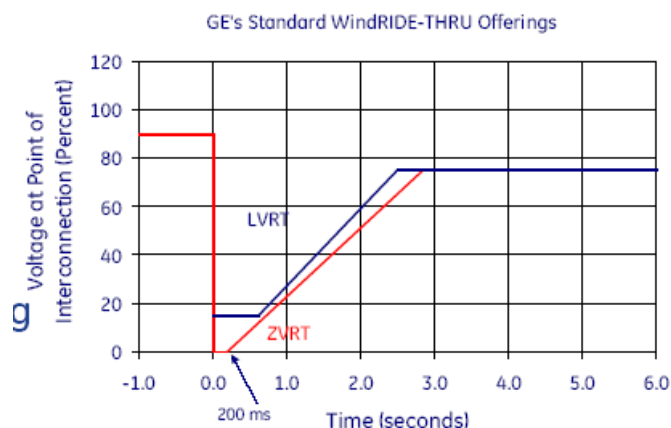
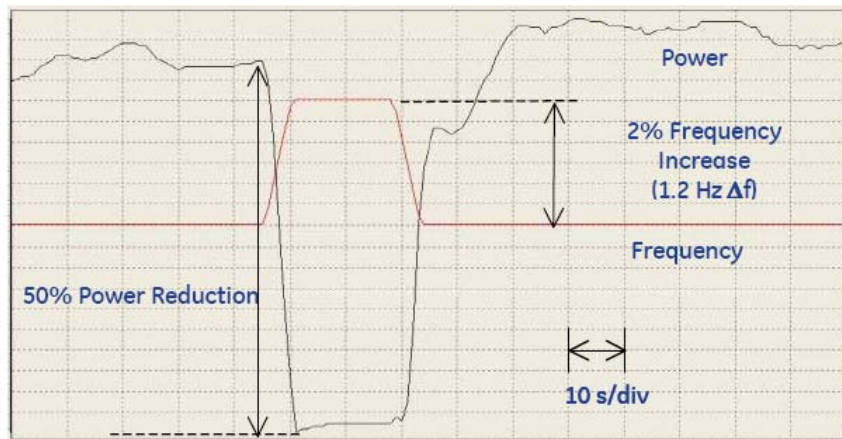
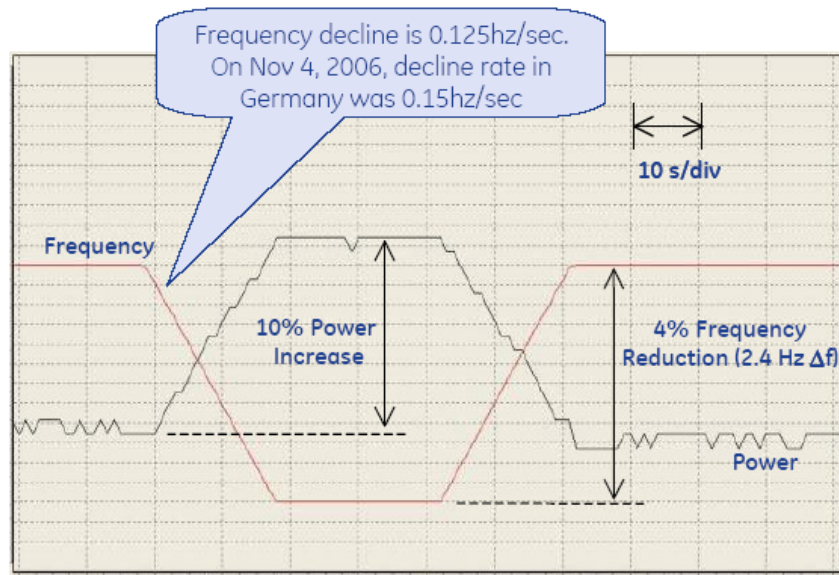


圖 4.6.6 GE 公司風機 LVRT、ZVRT 設計

而所謂 Active Power Control，係指風機之保留一定的輸出能力，不以額定容量出力，藉以因應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。



就目前主力雙饋式風機機組而言，因採用電力電子元件，控制電壓及頻率，其反應極快，故對於系統穩定度而言，較傳統的同步電機穩定許多，且就阻尼影響而言，模擬結果顯示，於相同

條件系統下，擴充系統機組，若採增設風力機組方式並不會惡化系統阻尼，反而因為相對於增設同步機組時系統其他同步機組發電量減少而出現改善阻尼的現象。

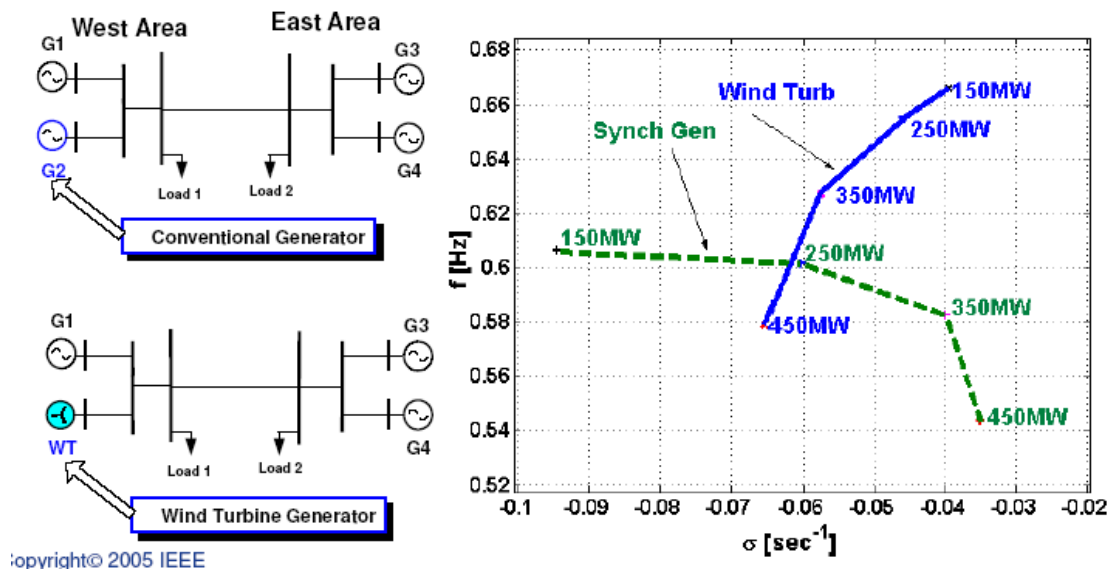


圖 4.6.7 增設風力機組 vs 同步機組後阻尼比較

自九〇年代起，排放二氧化碳造成的溫室效應日益嚴重，加以反核聲浪及能源短絀的問題日趨浮現，環保議題之「京都議定書」發布後各國皆有服膺並落實的責任，限制傳統能源使用，避免溫室效應的惡化已是世界各國必須正視的重點。

種種原因使得風力發電愈益受到重視，而石化資源並不充沛、卻擁有綿長海岸線且科技發達的國家，如中、北歐的丹麥、瑞典和德國…等，在風力發電領域已有豐碩的成果，且隨著新技術和新產品的使用，風力發電成本在近廿年之內已下降了80%，自1996年起上述諸國的風力發電量仍以每年逾10%的幅度呈穩定成長，全球風力發電先

進國家之推廣經驗顯示，長期而穩定的能源政策訂定目標與方針，搭配合理的補助與獎勵措施以提供誘因，為風能推廣能否成功之最重要關鍵。

除實體技術的引入，而如何開發風能，建立風能資料庫，並修訂再生能源的相關法規(稅賦、電價等)，乃至於訂定風力發電於系統之比重(美國以 20%為目標)研究，亦成為一大挑戰，以台灣能源短缺且電源開發困難的現況下，師法國外經驗，實刻不容緩。

4-7 太陽能發電概要

太陽能一般是指太陽光的輻射能量，自地球形成生物就主要以太陽提供的熱和光生存，而自古人類也懂得以陽光曬乾物件，並作為保存食物的方法，如制鹽和曬咸魚等。廣義上的太陽能是地球上許多能量的來源，如風能，化學能，水的勢能等等。但在文明社會快速發展下，能源使用量大增，而主要能源來源之化石燃料卻已即將告罄，故人們嘗試開發不同的新的能源，太陽能即為其中之一。

太陽能的利用有被動式利用（光熱轉換）和光電轉換兩種方式。太陽能發電遂成為一種新興的可再生能源。但現在太陽能的利用尚未普及，利用太陽能發電仍存在成本高、轉換效率低的問題，但是太陽電池在為人造衛星提供能源方面得到了很好的應用。

4-7-1 被動式利用(光熱轉換)

現代的太陽能科技可以將陽光聚合，並運用其能量產生熱水、蒸汽和電力。集熱式太陽能(Solar Thermal)。原理是將鏡子反射的太陽光，聚焦在一條叫接收器的玻璃管上，而該中空的玻璃管可以讓油流過。從鏡子反映的太陽光會令管子內的油升溫，產生蒸氣，再由蒸氣推動渦輪機發電。除了運用適當的科技來收集太陽能外，建築物亦可利用太陽的光和熱能，方法是在設計時加入合適的裝備，例如巨型的向南窗戶或使用能吸收及慢慢釋放太陽熱力的建築材料。在適當地

點，太陽能的長期使用成本已經接近甚至低於傳統的化石燃料。

4-7-2 光電轉換

光電轉換又稱太陽能光電。太陽能板是一種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）製成的薄片固體太陽能電池組成。由於沒有活動的部分，故可以長時間操作而不會導致任何損耗。簡單的光電電池可為手錶及計算機提供能源，較大的光電系統可為房屋照明，並為電網供電。

太陽能板可以製成不同形狀，而又可連接，以產生更多電力。近年，天台及建築物表面開始使用光電板組件，被用作窗戶、天窗或遮蔽裝置的一部分，這些光電設施通常被稱為附設於建築物的光電系統。

目前，全球最大的屋頂太陽能面板系統位於德國南部比茲塔特（Buerstadt），面積為四萬平方公尺，每年的發電量為 450 萬千瓦時。

日本為了達成京都議定書的二氧化碳減量要求，全日本都普設太陽能光電板，位於日本中部的長野縣飯田市，居民在屋頂設置太陽能光電板的比率甚至達 2%，堪稱日本第一。而在中國的江蘇睢寧，太陽能利用率更達到 95%，可謂全中國第一。



圖 4.7.1 太陽電池實際上裝設情形

太陽電池是一種可以將能量轉換的光電元件，其基本構造是運用 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，再利用 P 型半導體有個電洞，與 N 型半導體多了一個自由電子的電位差來產生電流，所以當太陽光照射時，光能將矽原子中的電子激發出來，而產生電子和電洞的對流，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，形成一個迴路，這就是太陽電池發電的原理。

簡單的說，太陽光電的發電原理，是利用太陽電池吸收 $0.4\mu\text{m}\sim 1.1\mu\text{m}$ 波長(針對矽晶)的太陽光，將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式。

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裝直/交流轉換器，換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。

太陽電池的材料種類非常的多，可以有非晶矽、多晶矽、CdTe、 $\text{CuIn}_x\text{Ga}(1-x)\text{Se}_2$ 等半導體的、或三五族、二六族的元素鏈結的材料，簡單地說，凡光照後，而產生電能的，就是太陽電池尋找的材料。

主要是透過不同的製程和方法，測試對光的反應和吸收，做到能隙結合寬廣，讓短波長或長波長都可以全盤吸收的革命性突破，來降低材料的成本。

太陽電池型式上也分有，基板式或是薄膜式，基板在製程上可分拉單晶式的、或相溶後冷卻結成多晶的塊材，薄膜式是可是和建築物有較佳結合，如有曲度或可撓式、折疊型，材料上較常用非晶矽。另外還有一種有機或奈米材料研發，仍屬於前瞻研發，目前僅運用於太空項目上。因此，也就是目前可聽到不同世代的太陽電池：第一代基板矽晶（Silicon Based）、第二代為薄膜（Thin Film）、第三代新觀念研發（New Concept）。

非晶矽被廣為應用在薄膜太陽能電池材料上有下列因素：(1) 矽的藏量豐富並且比較起其餘化合物半導體無毒性 (2) 製程低溫和基板廉價 (3) 技術能力足以沉積大面積薄膜 (4) 相較於單晶矽元件的巨大材料要求量，非晶矽的膜厚小於 $1\ \mu m$ 。

	First generation	Second generation	Third generation
區別	基底為矽晶圓	薄膜太陽光元件技術	高績效,低成本光電製品
製程費用	US\$ 150 / m ²	US\$ 30 / m ²	US\$ 30 / m ²
最高績效	<20%	<15%	<60%
價格	US 3.5/W	US 1.0/W	US 0.5/W

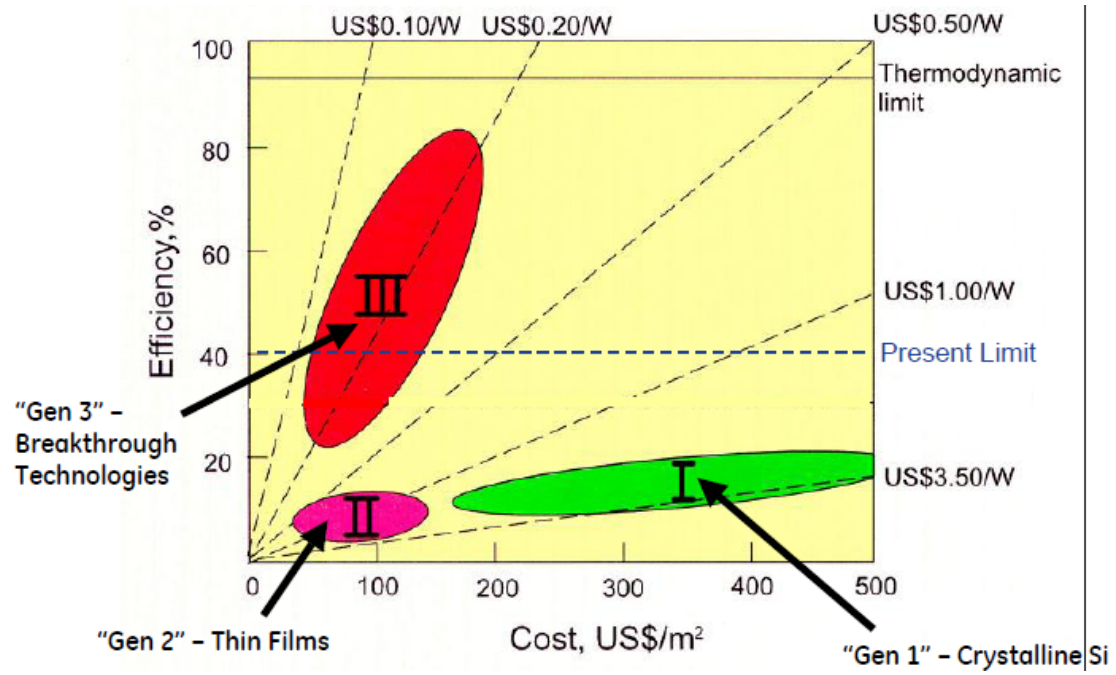


圖 4.7.2 不同世代太陽電池比較

五、實習期間參訪活動

5-1 Fenner Windpower Project

該風場位於紐約州 Madison County，佔地面積約 2,000 英畝，係由 20 台單機容量為 1.5 mw(GE Wind Energy 1.5 series)風機所構成，各機組透過 24.9 kV 地下電纜約 6.6 mile 互相連結，而後匯入變電站後，經過主變升壓至 115 kV 後引入系統，其引接點為 T 接 Niagara ~Mohawk 115 kV 傳輸線。



圖 5.1 參訪 Fenner 風場

該風場風機相關資料概略如下表：

Technical Details:

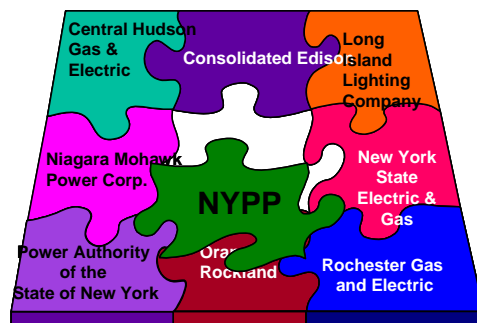
Height of towers: approximately 213 feet.

- Diameter of tower: 13.5 feet at base; 8.5 feet at top.
- Rotor assembly diameter (sweep of blades): 231 feet.
- Total height (tower and blades): 328 feet.
- Length of each blade: 113 feet.
- Weight of Nacelle (houses the generator):
112,400 lbs (56) tons.
- Weight of rotor assembly:
72,900 lbs (36.5) tons.
- Weight of entire turbine (including tower):
380,000 lbs (190) tons.
- Concrete foundation for each tower weighs more than 610,000 pounds.

5-2 NYISO 紐約獨立調度中心

紐約獨立調度中心 NYISO (New York Independent System Operator) 成立演進過程如下：

- 1965 年紐約大停電→
- 1966 年紐約電力池 NYPP(New York Power Pool)成立→
- 1970 年 NYPP 控制中心開始運轉→
- 1993 年 NYPP 因應 FERC 的 888&889 命令，研議改進原有電力池的調度規則→
- 1997 年 NYPP 向 FERC 提出申請成立紐約獨立調度中心→
- 1999 年 NYISO 開始運作→2007 年預計市場達 497 億美元。



NYISO 組織架構如下圖，是由十位不同專業背景人士(與電力市場交易業者無關)組成之董事會管理，並轄數個控制管理委員會(Governance committees)，由包括在躉售及零售市場買方與賣方同一位階的 NYISO stockholders，以及在市場上並未擁有 commercial stake 的代表所組成。這些委員會包括管理委員會(Management Committee)、營運委員會(Operating Committee)及企業事務委員會(Business Issues Committee)等，相關規則修改，均需獲得 58% 成員贊成方可通過。

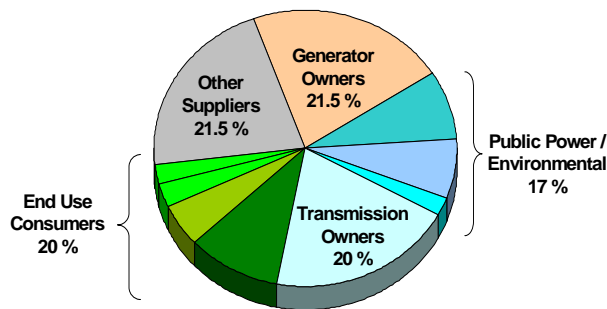
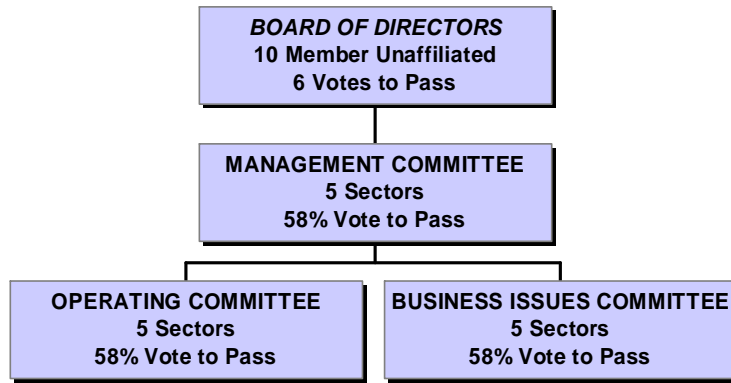


圖 5.2 NYISO 組織架構

NYISO 成立後主要任務為：

1. 紐約州電力系統可靠運轉。

2006 年紐約州尖峰負載約 32,295MW，採 18% 備用容量，約需 39,288MW 電源；而就運轉考量需有 1.5 倍系統最大單一事故量=1800MW(1.5*1200/停線容量)，其中 1200MW 於 10 分鐘內可用，600MW 於 30 分鐘內可用。

2. 有效管理紐約州競爭的躉售市場機制。

目前紐約州電力市場結構 51% 為一日前市場(Day-Ahead Market)、45% 為雙邊合約(Bilateral (forward) Contracts)、4% 為即時市場(Real Time)。

3. 改善區域間運轉與規劃並滿足顧客的期望與需求。

台灣未來的電力發展將不可避免自由化的趨勢，多方參考觀摩各國電力市場結構、運轉機制，將有助於發展因應自身未來自由化發展的走向，感謝奇異公司安排一系列的參訪及 NYISO 解說，也期待有機會瞭解其他獨立調度中心。

5-3 其他參觀行程

1. GE 汽輪機與發電機製造工廠：Schenectady , New York

2. GE 大電力電容器與電力品質產品工廠：

Fort Edward , New York

3. GE 全球研發中心(Global Research Center Headquarters)：

Niskayuna, New York

GE 公司是一個結合科技與製造並多元性發展的世界級企業集團，長久以來在各個領域有相當令人印象深刻的與成就，該公司自 1878 年由愛迪生(Thomas A. Edison)創立



以來，已超過百年歷史，而歷經時代的變遷與企業轉型的雙重考驗，GE 憑俟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)，更是 1896 年在美國道瓊 (Dow Jones)掛牌上市的所有公司中，迄今唯一碩果僅存的一個，可知求新求變是一個公司永續經營的原動力，足堪效法學習。

六、參考文獻(攜回資料)

1. John J. Grainger & William D. Stevenson ,“Power System Analysis” –McGraw-Hill
2. Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg ,“Power Generation Operation And Control” –Wiley interscience
3. Allan Greenwood ,”Electrical Transients in Power Systems” –Wiley interscience
4. John D. McDonald ,”Electrical Power Substations Engineering” –CRC Press
5. J. Lewis Blackburn & Thomas J. Domin ,”Protective Relaying Principles and Applications” –CRC Press
6. Richard E. Brown ,”Electrical Power Distribution Reliability” –CRC Press
7. James J. Burke “”Power Distribution Engineering” –CRC Press
8. Prabha Kundur ,”Power Systems Stability and Control” –McGraw-Hill
9. Hadi Saadat ,“Power System Analysis”
10. Steven A. Barnes, "Power Flow and Transient Stability Analysis"
11. Ronald L. Hauth, "Transmission Analysis"

12. Liz Pratico, "Surge Analysis & Equipment Application"
13. John P. Skliutasr, "Reactive Power Compensation & Voltage Control"
14. Mike Reichard,P.E. & Jason MacDowell, "Fundamentals of Power System Relaying"
15. Dr. Sheppard Salon, "Synchronous Machine Fundamentals I & II"
16. Juan J. Sánchez-Gasca, "Power System Dynamics"
17. Sandy Murdoch & Steven A. Barnes, "Generation Control Fundamentals"
18. Reigh Walling, "Power Electronics Applications in Transmission"
19. Lavelle Freeman, "Distribution Systems Planning and Reliability"
20. Devin Van Zandt, "Distribution Equipment and Application"
21. John McDonald & Byron Flynn, "Modern Grid : Substation/Distribution Automation"
22. Beth LaRose, "Global Power Markets"
23. Sundar Venkataraman, "North American Energy Industry"
24. Steven Oltmanns & Ravi Kanth Varanasi, "Utility Economics"
25. Gary Jordan and Rit Sepanski, "Strategic Transmission & Generation Planning"

26. Beth LaRose & Gene Hinkle, “Deregulated Power Markets”
27. Sundar Venkataraman, “Power Plant Financial Modeling and Evaluation”
28. Chris Stammen & Jack Weininger, “Competitive Power Generation”
29. Terry Raddings & Chris Kelbert, “Integrated Gasification Power Fundamentals”
30. Everett Whitaker & Andrew Poulos, “Nuclear Power Fundamentals”
31. Russell Young & Chris Kelbert, “Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications”
32. Jack Weininger & Mike McMurray, “Industrial Energy Users”
33. Nicholas W. Miller, “Wind Power Fundamentals”
34. Mahmood Nahvi & Joseph Edminister, “Electric Circuits”