

(95)電返國報字第 18 號出國報告  
行政院及所屬各機關因公出國報告書  
(出國類別：實習)

參加美國奇異公司舉辦之電力系統研習班  
出國報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：周芳正 電機工程師

出國地區：美國

出國期間：95 年 09 月 05 日至 96 年 04 月 02 日

報告日期：96 年 06 月 01 日

## 行政院及所屬各機關出國報告審核表

|                           |  |                  |
|---------------------------|--|------------------|
| 出國報告名稱：參加美國奇異公司舉辦之電力系統研習班 |  |                  |
| 出國人姓名                     | 職稱   | 服務單位             |
| 周芳正                       | 電機工程師  | 電力調度處            |
| 出國期間：95年09月05日至96年04月02日  |  | 報告繳交日期：96年06月01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<br><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」）<br><input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備。<br><input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值<br><input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦<br><input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考<br><input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔<br><input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：<br><input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。<br><input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告<br><input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式： |                  |
| 層轉機關審核意見                  | <input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號）<br><input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____<br><input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：   |                  |

說明：

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

|      |     |     |       |
|------|-----|-----|-------|
|      | 單位  | 主管處 | 總經理   |
| 報告人： | 主管： | 主管： | 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：參加美國奇異公司舉辦之電力系統研習班

頁數 51 含附件  是  否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

|     |        |       |       |              |
|-----|--------|-------|-------|--------------|
| 周芳正 | 台灣電力公司 | 電力調度處 | 電機工程師 | 02-2366-6645 |
|-----|--------|-------|-------|--------------|

出國類別： 1. 考察  2. 進修  3. 研究  4. 實習  5. 其他：

出國期間：95 年 09 月 05 日至 96 年 04 月 02 日 出國地區：美國

報告日期：96 年 06 月 01 日

分類號／目

關鍵詞：奇異電能顧問部門 (GEPSEC)、電力系統研習班 (PSEC)、穩定度 (Stability)、高壓直流輸電系統 (HVDC)

內容摘要：

本次前往美國奇異公司參加美國奇異公司電力系統研討班近七個月，其課程分成四大部分：一、輸電分析和規劃，二、進階電力系統主題，三、規劃和運轉策略，四、工業和配電系統應用。

課程內容包含電力系統各方面知識，從電力系統分析，突波現象、同步發電機特性、暫態及小信號穩定度、保護電驛系統之動作原理、電力公用事業工程經濟電力系統調度、電業自由化，到電力系統開發規劃流程、輸電網路分析、應用等理論課程皆有詳細的介紹，並融合該公司多年應用於電力業界的實際經驗技術，為一理論與實務兼顧的學程，對於系統分析人員專業技能知識有相當大的助益。

# 參加美國奇異公司舉辦之電力系統研習班

## 目 錄

## 頁次

|  |    |
|--|----|
| 壹、 心得及建議 .....   | 4  |
| 貳、 出國緣由與目的 .....   | 6  |
| 參、 出返國行程 .....   | 7  |
| 一、 往程：.....  | 7  |
| 二、 受訓：.....  | 7  |
| 三、 返程：.....  | 7  |
| 肆、 班別概要及參加人員 .....   | 9  |
| 一、 班別概要.....   | 9  |
| 二、 參加人員.....   | 12 |
| 伍、 奇異公司 PSEC 課程內容介紹.....   | 13 |
| 一、 第一學期：輸電系統分析與規劃 (TRANSMISSION ANALYSIS & PLANNING) .....             | 13 |
| 二、 第二學期：尖端電力系統課題(ADVANCED POWER SYSTEM TOPICS).....                    | 18 |
| 三、 第三學期：規劃與運轉的策略(STRATEGIC PLANNING AND OPERATIONS) .....              | 32 |
| 四、 第四學期：工業及配電系統應用(INDUSTRIAL & DISTRIBUTION SYSTEM APPLICATIONS) ..... | 38 |

## 參加美國奇異公司舉辦之電力系統研習班

### 壹、心得及建議

- 一、 在電力系統分析軟體中通常會設定輸電線路最小阻抗值，若輸電線路阻抗值低於設定值時，在程式計算電力潮流時會將這條輸電線兩端的匯流排當成同一個匯流排計算，算完後再利用匯流排的 MISMATCH 當成這一條線的潮流量重新計算。
- 二、 近年來由於民眾意識高漲，本公司新建之輸電線路大多採用地下電纜，其充電電流較架空輸電線大十餘倍，故常需要在長距離的地下電纜兩端裝設並聯電抗器予以補償，因此我們可以在電力系統分析軟體中利用 Multisection Line 功能描述裝有並聯電抗器的地下電纜，以進行各種開關暫態或穩態之模擬分析。
- 三、 2010 年風力發電發電容量配比預估將達到全系統 10% 佔比，約 513.9 萬瓩，佔全系統百分比甚高，目前風力發電機製造商已發展可使風機以 SLB 方式運轉之能力(頻率高時減少出力，頻率低時增加出力)，若要求風機在平時滿載運轉，遇系統頻率升高時自動減少出力以協助調整頻率，將可增加系統穩定度；且於系統全黑啟動時，風機以 SLB 方式運轉可增加系統恢復正常之速度。
- 四、 建議繼續派員前往奇異公司接受電力系統課程訓練

電力系統隨著負載成長發展隨之日益龐大且新的技術持續發展，使得電力

系統趨於複雜，因此系統分析檢討人員需有更多的訓練、習得新的技能，除有溫故知新的效果，且能加強其分析技術能力，預防問題的發生，並可與世界各國來參加此課程的學員共同分享系統調度、分析經驗；如本期日本電力公司及韓國電力公司皆派 5~6 名工程師接受課程訓練，另外，奇異公司電力部門人員亦在學員中，可隨時與其交流最新電力設備的發展及電業自由化後的調度經驗。

#### 五、 建議規劃訪問美國各獨立調度中心及電力公司

電業自由化為目前世界各國的趨勢，因此台灣未來的電力市場結構、機制也將朝電業自由化規劃，而美國目前已有許多個電力市場及不同運轉機制，是一最佳觀摩學習的國家，日本派訓工程師在接受奇異公司課程期間，除接受課程訓練外，更利用假期自行規劃訪問美國各獨立調度中心、電力公司及設備製造公司，可謂一石二鳥，該公司僅員工補助交通費用，建議本公司可朝此方向規劃。

## 貳、出國緣由與目的

奇異公司(GE)為美國著名且主要的電力設備製造與電力技術研發機構，其舉辦之電力系統訓練課程至今已有五十年歷史。課程主要為電力系統分析、調度運轉、最新電力技術及全球電業趨勢之傳授，其內容涵蓋發、輸、變、配電及控制、保護電驛設備、電業自由化市場與電力系統模擬軟體等相關電力知識。並實地參觀各型電廠、電力調度中心、設備製造廠及電力研究中心，期使理論與實際相結合。由於世界各國積極推動電業自由化及風力發電，深切體會電力專業知識須加強之必要，以期對日益龐大且複雜的電力系統，做出更有效之分析。參加該項訓練課程，除學習其先進電力系統技術及全球電業趨勢外，並能與其他國家電力工程師交換經驗與心得。如此將有助於提昇電電力調度技術與運用績效

赴美國參加奇異公司電力系統研習班(Power Systems Engineering Course ,PSEC)，可接受電力系統相關的頂尖學者專家，從理論基礎、問題解析、改善與預防，實例演練及最新發展等一系列發輸配電完整電力系統之訓練，除學習其先進電力系統技術及全球電業趨勢外，同時能與其他國家電力相關工程師交換經驗及技術，吸收電力系統新觀念與技術。希望對本公司電力調度相關技術與運用績效目標有所幫助，為此次出國之主要目的。

### 參、出返國行程

本出國計畫，自95年9月05日起，至96年4月2日止，前後共210天，詳細行程及地理位置圖如下所示：

#### 一、往程：

| 日期       | 出發地點 | 出發時間  | 抵達地點 | 抵達時間  |
|----------|------|-------|------|-------|
| 95/09/05 | 臺北   | 23:55 | 洛杉磯  | 21:00 |
| 95/09/05 | 洛杉磯  | 23:10 |      |       |
| 95/09/06 |      |       | 芝加哥  | 05:05 |
| 95/09/06 | 芝加哥  | 08:35 | 奧爾巴尼 | 11:30 |

#### 二、受訓：

95/09/07~96/03/30 參加美國奇異公司電力系統研習班

#### 三、返程：

|          |      |       |     |       |
|----------|------|-------|-----|-------|
| 93/03/31 | 奧爾巴尼 | 17:05 | 紐華克 | 18:07 |
| 93/04/01 | 紐華克  | 00:25 | 西雅圖 |       |
| 93/04/01 | 西雅圖  |       |     |       |
| 93/04/02 |      |       | 臺北  | 07:50 |



★ 美國紐約州 Schenectady 郡



## 肆、班別概要及參加人員

### 一、班別概要

美國奇異公司(GE)是從西元 1949 年開始創設電力系統研習班(Power Systems Engineering Course)，PSEC，已經有超過 55 個國家 1600 位元工程師來這裏學習，課程內容主要是由具有電力系統規劃，設計及運轉多年實務經驗的資深專家所講授，包含當前電業經營管理及工程師關注的各項議題及世界未來能源的趨勢對人們的影響，使學員們在電力系統規劃，設計及運轉方面具有有良好的觀察力、判斷力及相關知識。PSEC 本屆為第 58 屆，全部分成四期(Quarter)共 7 個月，每期約 1.5~2 個月，以下為 PSEC 課程表：

| 期別 | 期間              | 主題   | 課程大綱   |
|----|-----------------|--|--|
| 1  | 95/09~<br>95/10 | 輸電分析與規劃<br>(Transmission Analysis<br>& Planning) | 1. 電路學分析<br>(Circuit Analysis)<br>2. 電力系統分析<br>(Power system Analysis)<br>3. PSLF 研討會<br>(PSLF Seminar)<br>4. 輸電線分析與價格<br>(Transmission Analysis and<br>Pricing)<br>5. 突波現象(Surge Phenomena) |

|   |                 |   |   |
|---|-----------------|---|---|
| 2 | 95/11~<br>95/12 | 尖端電力系統課題<br>(Advanced Power System Topics)      | 1. 同步機<br>(Synchronous Machines)<br><br>2. 電壓穩定度與彈性交流輸電系統<br>(Voltage Compensation and FACTS)<br><br>3. 暫態穩定度<br>(Transient Stability Analysis)<br><br>4. 動態穩定度<br>(Small-Signal Stability Analysis)<br><br>5. 工程經濟學<br>(Utility Economics) |
| 3 | 96/01           | 規劃與運轉的策略<br>(Strategic Planning and Operations) | 1. 系統運轉-控制<br>(Power System Operation-Control)<br><br>2. 系統運轉- 經濟<br>(Power System Operation-Economics)<br><br>3. 發電競比<br>(Competitive Power Generation)<br><br>4. 輸電線與發電機規劃<br>(Strategic Transmission & Generation Planning)              |

|   |               |  |  |
|---|---------------|--|--|
| 4 | 96/2~<br>96/3 | 工業及配電系統應用<br>(Industrial &<br>Distribution System<br>Applications) | 1. 高壓直流輸電系統<br>(HVDC)<br>2. 電力電子<br>(Power Electronics)<br>3. 自由化後電力市場<br>(Deregulated Power Markets.)<br>4. 旋轉電機<br>(Rotating Machine)<br>5. 配電設備與應用<br>(Distribution Equipment and<br>Application)<br>6. 保護電驛<br>(Protective Relaying)<br>7. 風力發電研討會<br>(Wind Seminar) |
|---|---------------|--|--|

## 二、參加人員

本屆計有來自 7 個國家 17 位學員參加一期以上之課程，摘要如下表。另有來自 GE、NY-ISO、New England-ISO、KEPCO 等多人參加一到二星期之短期課程。

| 國 別             | 公 司 名 稱  | 人 數 | 備 註     |
|-----------------|--|-----|---------|
| 日本<br>Japan     | Kansai Electric Power Company *1<br>Hokkaido Electric Power Company *1<br>Tokyo Electric Power Company *1<br>Chubu Electric Power Company *1<br>Electric Power Development Co.,Ltd.* 1<br>Kyushu Electric Power Company *1 | 6   | 第 1~4 期 |
| 韓國<br>Korea     | KEPCO *4<br>Korea Power Exchange *1  | 5   | 第 1~4 期 |
| 卡達<br>Qatar     | Qatar Petroleum *1   | 1   | 第 1~4 期 |
| 阿曼<br>Oman      | Ministry of Defense *1   | 1   | 第 1~4 期 |
| 印尼<br>Indonesia | Chevron Pacific Indonesia *1   | 1   | 第 1~4 期 |
| 智利<br>Chile     | Transelec *1   | 1   | 第 3~4 期 |
| 台灣<br>Taiwan    | Taiwan Power Company   | 2   | 第 1~4 期 |

## 伍、奇異公司 PSEC 課程內容介紹

美國奇異公司所開設電力系統訓練課程，共分四部分，為期約七個月共二十九週密集課程，從九月開課至翌年三月結束，

以下為課程內容：

### 一、第一學期：輸電系統分析與規劃 (Transmission Analysis & Planning)

#### (一)、基本電路分析複習(Circuit Analysis Review)：

本課程安排三天，由現執教於當地(Schenectady) Union College Dr. Ekram Hassib 擔任講師，主要讓學員回憶過去在學生時代所學電機工程學門之基本知識，內容包含電路元件特性、複數相量、基本電路理論之KCL 與 KVL、正弦穩態電路、串/並聯共振電路、理想變壓器與三相系統功率之計算；在網路分析方面，分別介紹分壓及分流技巧、戴維寧及諾頓定理之電壓與電流源轉換與應用於節點電壓和迴路電流等分析方法；之後教授拉氏與反拉氏 ( Laplace & Inverse Laplace) 轉換及應用於電路之微分方程式求解。接著對週期函數使用傅立葉級數分析，進而求解亦有詳細之說明；離散系統之數位信號處理方面，介紹Z及Inverse Z 轉換特性及其處理方法、最後說明數位信號之取樣理論。Dr. Hassib擁有豐富的教學經驗，也長期擔任本班之教授，深知學員普遍來自非英語系國家，多少存在語言障礙，所以每個主題均在黑板上繪圖，將解析過程一步一步寫出來，並舉例解說，同時為提高同學

的興趣與注意，還三不故意寫錯，讓同學指正，或問同學好像那個地方寫錯了，希望同學幫他找出來，充分發揮互動教學。

## (二)、電力系統之基本分析 ( Power System Analysis) :

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 ( Power System Energy Consulting; GE) 資深工程師 Joe Plewinski 先生負責指導，首先對輸電線模型提出說明，係依短程、中程、長程輸電線分別定義不同模型，接著說明平衡與不平衡故障電流分析，不平衡故障電流方面，使用對稱成分法求正序、負序與零序成分，再依線對地、線對線及兩線對地故障，組成對應之網路圖進而求解故障電流值。

平衡三相系統可用單相等效電路及標麼值的方法得到簡便的計算。另外電力潮流亦屬於電力系統中重要課題，因其對系統特性分析扮演重要角色，電力潮流主要由網路中各發電機電壓、總電源供給量與總負載量決定後，利用電力潮流方程式求出負載匯流排電壓、相角及線路之實、虛功率。求解電力潮流問題，一般常用高斯塞德法 ( Gauss- Seidal) 或牛頓拉福森法 ( Newton-Raphson) ，通常牛頓拉福森法收斂快而效率較佳。本課程主要目的係加強電力工程師之電力系統分析觀念，以對整個課程產生最佳概念。

### (三)、 GE 電力系統分析軟體 PSLF (PSLF Seminar)

PSLF (Positive Sequence Load Flow) 是奇異公司所自行開發的電力系統分析模擬套裝軟體，其功能有計算電力潮流、故障電流及模擬暫態穩定度，同時可利用EPCL Language撰寫程式，讓程式可自動化的執行，並且可與其他程式相互連結（如：風力發電機發展程式、複循環機組製造研究程式...等），各家軟體為能讓使用者不需重新建立系統資料，所以通常都可以互相讀取，且與目前本公司系統規劃處與調度處所使用的SIEMENS PSS/E電力系統分析軟體早年是同一人所開發出來的，故PSLF可讀取PSS/E格式，其號稱在暫態穩定度模擬方面是速度最快最準確且可配合的機組模型是最多。

由於之前已接觸過PSS/E軟體，故對PSLF的各項操作很快就能上手，以便應用於下一課程－輸電線分析與定價。上完這個課程後最大的效益是對模擬分析軟體有更一步的認識，對目前公司使用的PSS/E軟體也可適用，如：在分析軟體中會設定輸電線最小阻抗值，若輸電線路阻抗值低於設定值時，在計算電力潮流時會將這條輸電線兩端的匯流排當成同一個匯流排計算，算完後再將兩個匯流排的MISMATCH重新計算成這一條線的潮流量；由於目前新建之輸電線路大多採用地下電纜，其充電電流較架空輸電線大十餘倍，故在長距離的地下電纜兩端需裝設並聯電抗器，所以我們可以在分析軟體中利用Multisection Line描述裝有並聯電抗器的地下電纜，並進行各種模擬分析；在求解電力潮流時，如遇到電力潮流不收斂時，可將描繪電力系統的阻抗矩



陣重新建置，要求解時設定FLAT START後，即可求得收斂的電力潮流。

#### **(四)、 輸電線分析與價格( Transmission Analysis and Pricing)**

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 (Power System Energy Consulting ; GE PSEC) 資深工程師Ronald Hauth 先生負責指導，首先介紹全球電力市場概況，並針對近年來世界各國電力市場解除管制後之環境，主要重點是美國本地電力環境，加以說明運轉與規劃的改變。接著概述解制後整個輸電線之定價模式，然後分組競賽，利用上週所學習的PSLF 軟體執行電力潮流及穩定度，計算是否符合規劃準則，若不符合則規劃新建輸電線路，達到課程學習目的。

#### **(五)、 突波現象(Surge Phenomena)**

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 (Power System Energy Consulting ; GEPSEC) Liz Practico 與John Skliutas 二位資深工程師負責指導，本課程主要目的係增進電機工程師輸電系統之絕緣協調能力，以最低成本設計具可靠性之系統絕緣。內容包含：

- (1) 輸電線之進行波方程式 (Transmission Line Equations & Traveling Waves)
- (2) 進行波在線路接合點之行為特性 (Behavior of Traveling Waves at Junctions)

- (3) 進行波在線路多重端點與分歧點之行為特性 (Complex Terminals, Line Bifurcation)
- (4) 晶格圖之應用 (Lattice Diagram)
- (5) 進行波衰減與失真 (Attenuation and Distortion of Traveling Waves)
- (6) 輸電線遭雷擊之概述 (Lightning Performance of Transmission lines – General Concepts)
- (7) 避雷器基本原理及應用 (Surge Arresters – Fundamentals, Application)
- (8) 系統接地 (System Grounding)
- (9) 鐵磁共振 (Ferroresonance)
- (10) 回復電壓 (Recovery Voltage)
- (11) 開關突波之控制 (Switching Surge Control)
- (12) 絕緣協調 (Insulation Coordination)

以上內容將使工程師具備對突波現象的分析能力，以降低電力系統的過電壓至適當範圍，而減少損害。

## 二、第二學期：尖端電力系統課題(Advanced Power System Topics)

### (一)、 同步機(Synchronous Machines)

由Rassenaer Polytech Institute (RPI) 電力系Dr. Shepherd Salon 教授負責指導，學員可由本課程加強對同步機在各種運轉情況下的瞭解，課程分為兩大部份：1. 同步機的數學模型2. 性能分析。同步機數學模式的推導包括：同步機的基本概念、d-q軸轉換、標么化的各種方程式、以及同步機的等效電路。第二部份是同步機在穩態運轉時的分析、平衡故障分析、不平衡故障分析。

Synchronous Machine 課程，講授主要內容有下列項目：

同步機基本理論。

同步機的數學模型。

dq0 軸轉換(Park's equations)及標麼化。

Steady State 的向量圖。

同步發電機容量曲線。

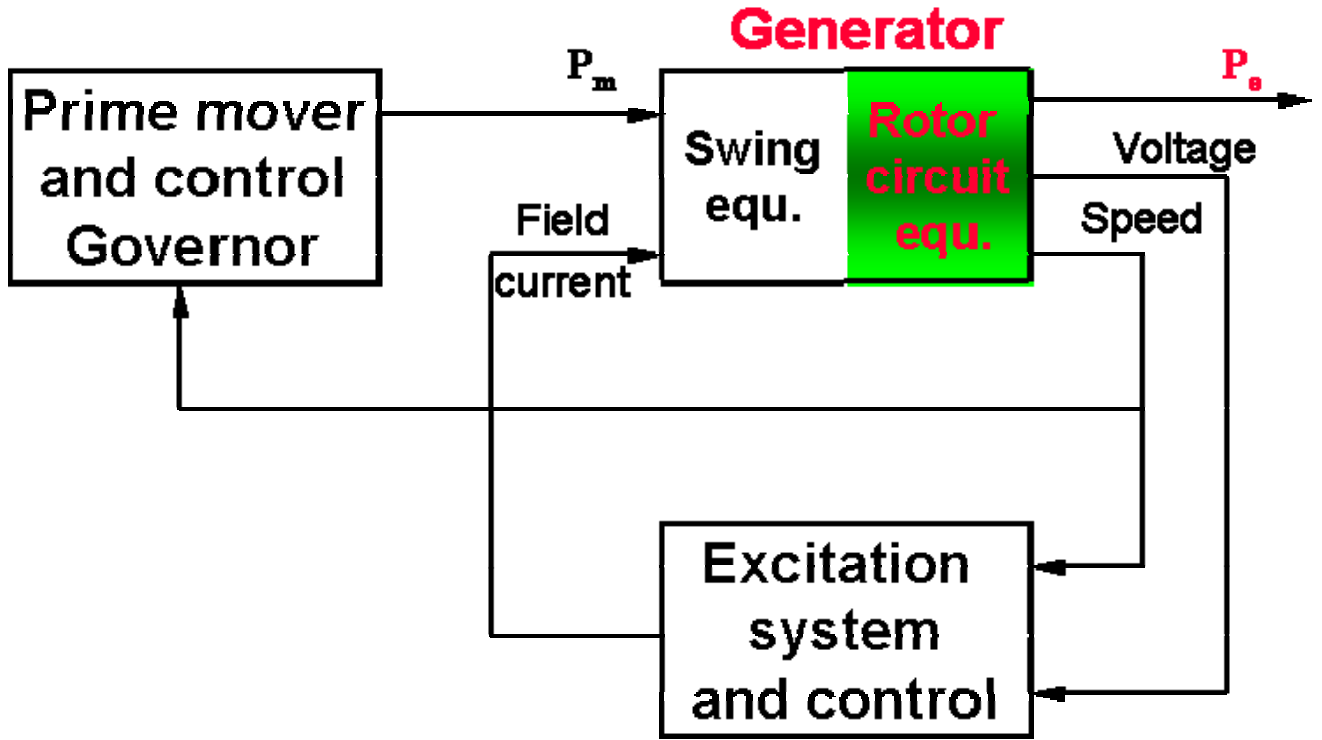
同步發電機的繞組結構。

同步發電機三相故障時的分析。

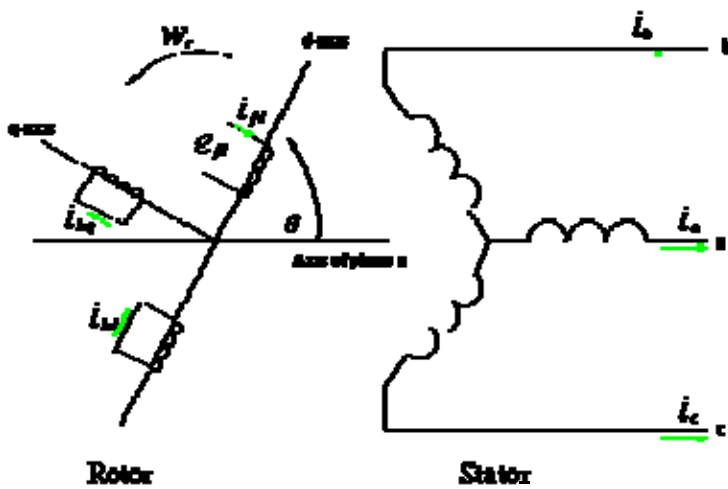
同步機的方塊圖數學模型推導。

本課程重點主要在於推導同步機模型，因此以下摘要其流程說明同步機

組數學方塊圖推導過程：



同步發電機組控制方塊圖



同步發電機電路圖

由同步發電機電路圖可推導出磁通與定子電流、激磁電流的矩陣方程

式，如下：

$$\begin{bmatrix} -\psi_a \\ -\psi_b \\ -\psi_c \\ \psi_{fd} \\ \psi_{kd} \\ \psi_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_{aa} & l_{ab} & l_{ac} & l_{afd} & l_{akd} & l_{akq} \\ l_{ba} & -l_{bb} & l_{bc} & l_{bfd} & l_{bkd} & l_{bkq} \\ l_{ca} & l_{cb} & -l_{cc} & l_{cfd} & l_{ckd} & l_{ckq} \\ -l_{fad} & -l_{fbd} & -l_{fcd} & l_{ffd} & l_{fkd} & 0 \\ -l_{akd} & -l_{kbd} & -l_{kcd} & l_{kfd} & l_{kkd} & 0 \\ -l_{kaq} & -l_{kbq} & -l_{kcq} & 0 & 0 & l_{kkq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_{fd} \\ i_{kd} \\ i_{kq} \end{bmatrix}$$

上述磁通方程式中的電感及互感矩陣為轉子與定子角度的函數，將隨時間變化，不適合於未來等效電路之推導，因此利用Park's Transformation將三相同步機轉換為二相的機組，即為dq軸轉換。

#### Park's Transformation

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_0 \\ \psi_{fd} \\ \psi_{kd} \\ \psi_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_d & 0 & 0 & L_{afd} & L_{akd} & 0 \\ 0 & -L_q & 0 & 0 & 0 & L_{akq} \\ 0 & 0 & -L_0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{3}{2}L_{afd} & 0 & 0 & L_{ffd} & L_{fkd} & 0 \\ -\frac{3}{2}L_{akd} & 0 & 0 & L_{kfd} & L_{kkd} & 0 \\ 0 & -\frac{3}{2}L_{akq} & 0 & 0 & 0 & L_{kkq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \\ i_{fd} \\ i_{kd} \\ i_{kq} \end{bmatrix}$$

經上述dq軸轉換後可將電感矩陣轉換為常數值。且由該矩陣仍無法畫出等效電路圖（因其為非對稱矩陣），故需再做標么化運算，如下：

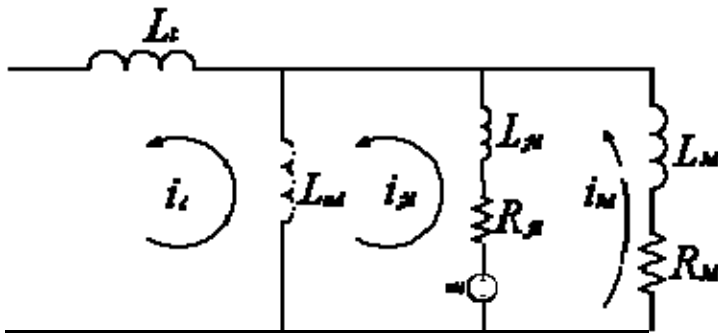
Per unitize

$$\begin{bmatrix} \bar{\psi}_d \\ \bar{\psi}_q \\ \bar{\psi}_0 \\ \bar{\psi}_{fd} \\ \bar{\psi}_{kd} \\ \bar{\psi}_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\bar{L}_d & 0 & 0 & \bar{L}_{afd} & \bar{L}_{akd} & 0 \\ 0 & -\bar{L}_q & 0 & 0 & 0 & \bar{L}_{akq} \\ 0 & 0 & -\bar{L}_0 & 0 & 0 & 0 \\ -\bar{L}_{afd} & 0 & 0 & \bar{L}_{ffd} & \bar{L}_{fkd} & 0 \\ -\bar{L}_{akd} & 0 & 0 & \bar{L}_{kfd} & \bar{L}_{kkd} & 0 \\ 0 & -\bar{L}_{akq} & 0 & 0 & 0 & \bar{L}_{kkq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{i}_d \\ \bar{i}_q \\ \bar{i}_0 \\ \bar{i}_{fd} \\ \bar{i}_{kd} \\ \bar{i}_{kq} \end{bmatrix}$$

經由Park轉換及標麼化後電感矩陣已成為常數值且為對稱矩陣，即可由

矩陣方程式畫出等效電路圖，如下：

d 軸等效電路圖



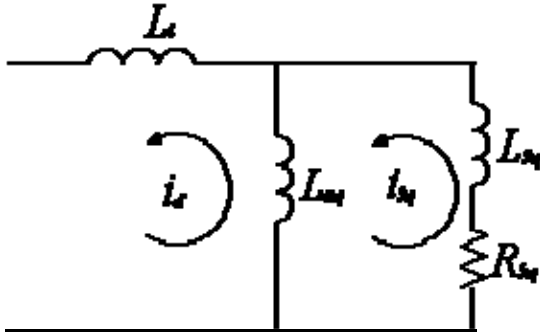
$$\psi_d'' = \psi_d' \frac{L_d' - L_l}{L_d' - L_l} + \psi_{kd}' \frac{L_d' - L_d}{L_d' - L_l}$$

$$\frac{d\psi_{kd}}{dt} = \frac{1}{T_{d0}''} \left[ \psi_d' - \psi_{kd}' - i_d (L_d' - L_l) \right]$$

$$L_{ad} i_{fd} = \psi_d' + (L_d - L_d') \left[ i_d + T_{d0}'' \frac{d\psi_{kd}}{dt} \frac{L_d' - L_d}{(L_d' - L_l)^2} \right]$$

$$\frac{d\psi_d'}{dt} = \frac{1}{T_{d0}'} (E_{fd}' - L_{ad} i_{fd}')$$

q 軸等效電路圖

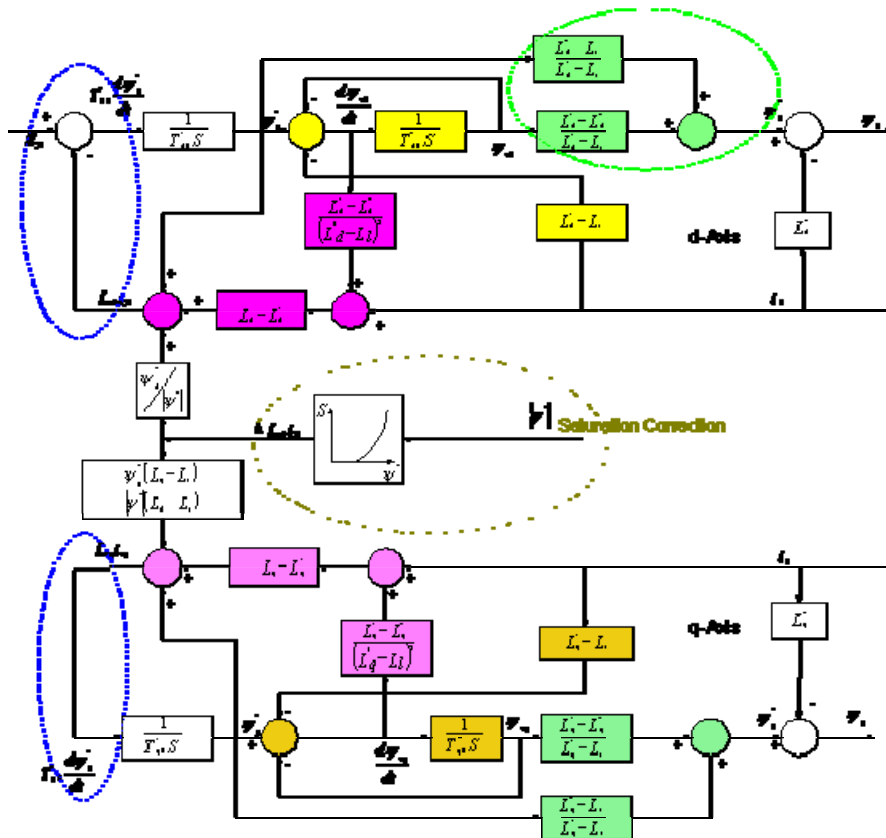


$$\psi_q'' = \psi_q' \frac{L_q'' - L_l}{L_q' - L_l} + \psi_{kq}' \frac{L_q' - L_q''}{L_q' - L_l}$$

$$\frac{d\psi_{kq}}{dt} = \frac{1}{T_{q0}''} \left[ \psi_q' - \psi_{kq}' - i_q (L_q' - L_l) \right]$$

$$L_{aq} i_{kq} = \psi_q' + (L_q' - L_q'') \left[ i_q + T_{q0}'' \frac{d\psi_{kq}}{dt} \frac{L_q' - L_q''}{(L_q' - L_l)^2} \right]$$

$$\frac{d\psi_q'}{dt} = \frac{-L_{aq} i_{kq}}{T_{q0}'}$$



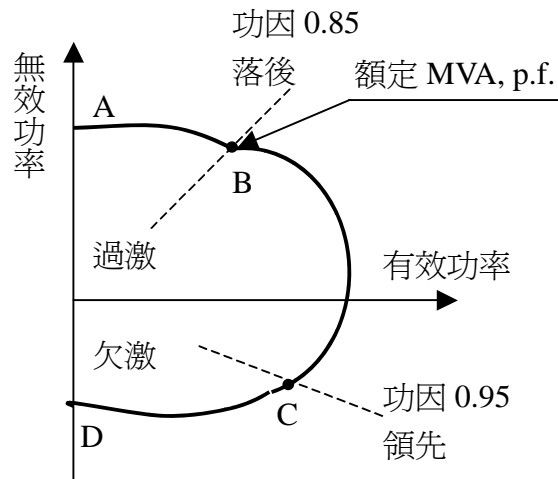
同步發電機組數學模型方塊圖

上述數學模型即可應用於GE公司PSLF及PTI PSS/E電力分析軟體中。可使得分析人員由方塊圖中的各元件瞭解在應用分析程式模擬系統時各參數對於模擬結果的影響。

### 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下圖所示受到下列三個因素限制：





發電機容量特性曲線圖

1. 電樞電流限制：電樞電流之損失  $I^2R$  產生熱，將限制電樞電流之最大值，以避免電樞發生過熱，如上圖之 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為一圓，其圓心為  $-Et^2/X_s$  及半徑徑為  $(X_{ad}/X_s)Et$  ifd，如上圖之 AB 段曲線。
3. 末端區域之熱限制：當同步機欠激運轉時，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。

## (二)、電壓穩定度與彈性交流輸電系統( Voltage Compensation and FACTS)

指導者 Ronald L. Hauth。Ronald 自 1979 年起已於 PSEC 課程講授系統穩定度等相關主題，理論及實務經驗豐富，PSEC 課程負責人特地延攬，有關電壓補償及彈性交流輸電系統課程，除以理論介紹，另輔以實務操作效果之

經驗作為補充。本課程首先介紹負載補償，其目的在於(1)改善功率因素(2)改善電壓調整率(3)平衡三相負載，進而達到最經濟之電力系統及滿足電壓位準與系統同步穩定。接著介紹三類基本補償裝置如：(1)串聯電容器(2)並聯電容器(3)並聯電抗器之特性。串聯電容器有增加電力傳輸能力，降低電壓變動，增加暫態穩定度及提升瞬間過載能力等特性。並聯電容器有改善輸配電系統電壓，增加電力傳輸能力及降低電力傳輸能力及降低線路開關突波之特性。並進一步分析輸電線補償前及補償後之特性。最後對靜態無效電力補償器(SVC: Static Var Compensation)之補償方式加以討論。另一主題FACTS (Flexible AC Transmission System)彈性交流輸電系統是屬於固態電子設備，旨在快速控制系統電壓、阻抗及相位角，而達到控制有效/無效電力潮流，增加系統阻尼及穩定度。其中並聯補償器以STATCON、SVC 代之，而串聯補償器以TCSC 代之，相角移以TCPR 代之。STATCON(Static Condenser):有減少電壓變化及閃爍，改善電壓調整，快速暫態反應特性，而TCSC (Thyristor-Controlled Series Capacitor) 閘控串聯電容器，有增加系統穩定度，減少次同步共振，提高電力傳輸能力等功能。

### **(三)、暫態穩定度(Transient Stability Analysis)**

暫態穩定度(Transient Stability)主要在探討發生嚴重擾動後，電力系統之動態表現，所謂嚴重擾動，如系統發生三相故障、發電機組跳脫或負載

跳脫，對造成系統重大衝擊。

暫態穩定度是在時域內利用數值法分析描述電力系統之非線性微分及代數方程式，已包括一些非線性如限制器、比率限制器、飽和等，其檢討可分成下述步驟：

1. 定義檢討目的：如求得發生線路故障或負載跳脫後之系統穩定度及暫態電壓。
2. 發展系統模型：如每一發電機是否採用快速激磁系統及裝設電力系統穩定器，負載模型採用定阻抗、定電流、定功率之組成，及採用同步機模型、激磁系統模型、電力系統穩定器模型，以及輸電線路及變壓器阻抗模型。
3. 定義運轉情況：發電機出力分配、負載大小、電力融通。
4. 定義事故：事故發生後，電驛動作跳脫線路清除故障之時間。
5. 執行模擬：先對特定系統運轉情況下求解電力潮流，並執行暫態穩定度模擬。
6. 分析模擬結果：系統是否穩定或不穩定，評估選定變數之表現，確認穩定度準則如暫態電壓降之大小和期間，最小暫態頻率。

穩態下由原動機產生之機械轉矩 $T_m$ 與由發電機產生之電功率 $T_e$ ，大小相等 $T_m = T_e$ 方向相反，此時發電機轉子以同步速旋轉及加速度為零，可由搖擺方程式(Swing Equation)  $J(d\omega/dt) = T_a = T_m - T_e$ 描述，或以不同單位改寫

成 $d\omega/dt = T_a = (T_m - T_e) / 2H$ ，其中 $H = J(\omega_{om})^2 / 2V_{Abase} = \text{儲存於轉子之動能} / V_{Abase}$ ， $H$ 值範圍約為 $2\text{sec} \sim 10\text{sec}$ ，如下表所示：

| 機組類型             | H [sec]    |
|------------------|------------|
| 火力機組 2 極,3600rpm | 2.5 ~6.0   |
| 火力機組 4 極,1800rpm | 4.0 ~ 10.0 |
| 水力機組             | 2.0 ~ 4.0  |

利用 $d^2 \delta / dt^2 = \omega_o d\omega / dt$ ，將 $d\omega / dt$  替換為 $(T_m - T_e) / 2H$ ，得到 $d^2 \delta / dt^2 = \omega_o(T_m - T_e) / 2H$ ，考慮阻尼轉矩(Damping Torque)效應 $D \Delta \omega$ ，則描述轉子震盪之搖擺方程式為

$$d^2 \delta / dt^2 = \omega_o(T_m - T_e - D \Delta \omega) / 2H$$

其狀態空間形式(State Space Form)為

$$d \delta / dt = \omega_o \Delta \omega$$

$$d \Delta \omega / dt = (T_m - T_e - D \Delta \omega) / 2H$$

由於搖擺方程式是非線性方程式，無法直接求得確切解析解，在實際電力系統中此類型方程式使用數值積分方法求解。然而如果一個系統僅由一台發電機連接至無限匯流排(Infinite Bus)所組成，且僅考慮發生故障後緊接之時間，如此傳統發電機模型為正確，則等面積準則EAC(Equal Area Criterion)方法能被使用於研討系統暫態穩定度。

目前因電子科技應用在電力設備之高度發展，已發展出更快速之靜態式

(statistics)激磁系統如STA1, STA3等，靜態快速反應型之激磁系統(即Gain(KE)高, 時間常數(TE)小)可較傳統交流式激磁系統有較快速之反應(Response ratio)，可用來改善系統暫態穩定度，雖然靜態式激磁系統(High initial response)對暫態穩定度有正的效應，但因該系統將提供系統負的阻尼，對系統動態穩定帶來負面的衝擊，改善對策乃裝設電力系統穩定器(Power System Stabilizer-PSS)，因PSS可增加正阻尼來補償靜態快速反應型之激磁系統所提供之負阻尼。

#### **(四)、動態穩定度(Small-Signal Stability Analysis)**

小信號穩定度(Small-signal Stability)係電力系統於無事故正常運轉下遭到小擾動後，仍能繼續維持同步運轉之能力，即小擾動所引起的系統低頻振盪(Low Frequency Oscillation)響應特性，主要視系統是否有足夠的阻尼能力，以使小擾動所引發之振盪現象呈現衰減趨勢，藉此研判系統是否趨於穩定。其系統低頻振盪現象可分類如下：

1. 局部振盪模式(Local Mode):振盪現象發生在同一電廠之發電機組者。
2. 區域間振盪模式(Inter-area Mode):振盪現象發生在不同區域間之發電機群組者。
3. 全區振盪模式(Global Mode):振盪現象發生在全系統發電機組者。

電力系統小信號穩定度之分析方法，一般可分成時域模擬(Time Domain

Simulation)與頻域分析(Frequency Domain Analysis)兩種：

1. 時域模擬法：於系統中加入一小擾動信號，求解狀態方程式，觀察系統振盪現象，以判斷系統是否穩定，為最直接、最易瞭解及方便實施的方法。採用此法須進行多項測試，以確定各種不同擾動下所產生之響應是否都趨於穩定。因為所求得系統響應常為多種振盪模式之總和響應，不易判定出個別單獨振盪模式之阻尼情形。目前用於時域模擬之商用軟體程式已相當成熟，如 PSS/E。
2. 頻域分析法：於系統運轉工作點上，將非線性之系統狀態方程式加以線性化而求得系統線性模型，再求解各個振盪模式之特徵值(Eigenvalue)、頻率及阻尼，藉此能很清楚描述各個振盪模式為其優點，故又稱為特徵分析法。目前應用於電力系統特徵值計算之軟體程式較不普遍，由 EPRI 開發之 SSSP 較受歡迎。若一振盪模式之特徵值為  $\lambda_1, \lambda_2 = \sigma + j\omega$ ，其中虛部  $\omega$  為該振盪模式之頻率(rad/sec)，而實部  $\sigma$  則可用於判斷該振盪模式是否穩定。

對該模式阻尼的相對大小程度加以分析，則定義「阻尼比」 $\zeta$  (Damping Ratio)或稱阻尼係數如下：

$$\zeta = -\sigma / \sqrt{(\sigma^2 + \omega^2)}$$

若  $\zeta > 0$  表示該振盪模式為穩定模式，若  $\zeta < 0$  表示該振盪模式為不穩定模式。當  $0 < \zeta < 1$  時，稱為欠阻尼(Under-damped)，當  $\zeta = 1$  時，稱為臨界阻

尼(Critically-damped)，當 $\zeta > 1$ 時，稱為過阻尼(Over-damped)。

## (五)、工程經濟學(Utility Economics)

現代電力工程師完全依賴技術層面決策是不足夠的，尚需考量投資成本、投資報酬率、多少收益值得投資、投資回收期長短、對公司每股收益...等，可利用現金流動法(Cash Flow Approach)來分析，即藉由在每個時段內，資金收入和支出比較至少兩個以上替代方案；最重要是現金流動差異性，相同的成本或收益並不重要。

決策過程中選用經濟準則有回收時段法(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)、利潤與成本比率(Benefit/Cost Ratio) ...等。視考量情況選用不同經濟準則，如有時採用回收時段法係考慮現金危機及需要滿意的短期效益，而忽略收入偏離回收期、資金時值、物價上升率等因素。

### 5-1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)：表示當年利率為 $i$ 時，現值 $P$ 元等值於未來第 $n$ 年

金額  $F$ ，即  $F=P(1+i)^n = P(F/P, i, n)$ 。

2. 折現(Discount)：表示當年利率為  $i$  時，未來第  $n$  年金額  $F$  等值於現值  $P$  元，即  $P=F/(1+i)^n = F(P/F, i, n)$ 。
3. 複利年金(Compounding an Annuity)：相等期間內之期末如年、季、月、星期，均於有相等之付款  $A$  元，未來第  $n$  年總金額  $F$ ，即  $F=A[(1+i)^n - 1]/i = A(F/A, i, n)$ 。
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)：共  $n$  年每年之付款年金  $A$ ，等值於現年之現值  $P = A[(1+i)^n - 1]/i(1+i)^n = A(P/A, i, n)$ 。
6. 現值之等效年金(Annuity Equivalent to Present Value)：現值之等效未來年金  $A = P i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1] = P(A/P, i, n)$ 。
7. 均勻變化量(Uniform Gradient)：固定期間內對一已知固定資金  $A$  之每年增加或減少  $G$ ，其等效現值  $P'' = [1/(1+i)^n][G/i]\{[(1+i)^n - 1]/i - n\}$ 。
8. 幾何數列(Geometric Series)  $A_k = A_{k-1}(1+j)$ ，其中  $A_1$  表幾何數列中第一年資金流動之大小，其後續每年增加  $(1+j)$  倍，則其現值  $P = A_1 \{1 - [(1+j)/(1+i)]^n\} / (i-j)$ ，其  $n$  年後資金  $F = P(1+i)^n$ ，亦可求等效未來年金  $A$ 。



### 三、第三學期：規劃與運轉的策略(Strategic Planning and Operations)

#### (一)、系統運轉-控制 (Power System Operation-Control)

本課程指導者William W. Price 係GE PSEC 資深工程師，課程講授主要著重於熱力學及數學模式之理論推演。電力系統運轉課程，上課講授主要內容有：

1. 課程及能源控制中心簡介(Introduction to Course and Energy Control Centers)
2. 動態系統模組(Dynamic System Modeling)
3. 各式控制系統之特性與績效(Characteristics and Performance of Control Systems)
4. 慣性、負載及速度控制等各調速特性(Inertia, Load and Speed Control Governing Characteristics)
5. 原動機動態模組(Prime Mover Dynamic Models)
6. 自動發電控制(Automatic Generation Control)
7. 長時間之電力系統動態分析(Long-Term Power System Dynamics)
8. 各種電力系統擾動(Power System Disturbances)
9. 電力系統狀態預估(Power System State Estimation)

電力系統操作需考慮電力品質、系統安全、經濟性。為應付時刻變動的用電需求，保持供電品質，有賴於有效功率/頻率之控制及無效功率/電壓之

控制。前者旨在使系統頻率維持於正常同步頻率 $\pm 0.05\%$ ，後者在使系統電壓維持於額定電壓 $\pm 5\%$ 。有效功率/頻率控制方面，正常運轉下係透過調速機 (Speed Governor)，自動發電控制 (AGC: Automatic Generation Control)，經濟調度控制 (EDC; Economic Dispatch Control)，緊急運轉下係透過卸載 (Load Shedding)，發電機解聯 (Generation tripping) 運作。

另於無效功率/電壓控制方面，正常運轉下係透過控制變壓器接點調整，發電機匯流排電壓 (激磁系統)，靜動態並聯補償 (電容，電感，靜態虛功率補償器，同步調相機) 來達成。緊急運轉下透過卸載，增減發電量，動態並聯補償完成。按著介紹動態系統模型化，其中說明轉移函數分析，狀態變數及線性，非線性系統，按著說明控制系統之特性反應，一階、二階系統之時域反應及比例，積分及微分控制器之行為。另解析發電機慣量，調速機，負載特性及水力，蒸氣及氣體渦輪機之動態模型，最後就自動發電控制作一扼要說明。

## **(二)、系統運轉-經濟 (Power System Operation-Economics)**

指導者 Kim Arthur Wirgau 係 GE PSEC 高級工程師，課程講授方式除數學模式之理論推演，並以應用程式模擬電力系統於不同條件下之運轉情形。電力系統的基本原理是必須在固定頻率，電力平衡下運轉，發電量，負載損失及線路潮流必須相等，滿足以上情形之各發電機出力組合有無限多種，經

濟調度旨在配合負載之變動，分配各發電機之出力，而達到最經濟之運轉。

上課講授主要內容有：

1. 電力系統互聯後系統運轉之簡介(Introduction)
2. 電力資訊系統開放聯結與衝擊(Open Access and its Impact)
3. 水力電廠之各種特性(Hydro Plant Characteristics)
4. 火力電廠之各種特性(Thermal Plant Characteristics)
5. 互聯後之電力系統(Interconnected Power System)
6. 經濟調度數學模式(Economic Dispatch Formulation)

### **(三)、發電競比(Competitive Power Generation)**

本課程期間兩個星期，第一週講課，第二週將同學分組實際參與開放電力環境如何競標之分析與合約協商。由兩位GE退休之Marketing專家Mr. John Kovacik and Bill Palmer負責。由汽輪機，氣渦輪機之結構介紹，導入熱耗量、氣量計算、燃料價格、運轉時間之相關、HHV/LHV熱轉換值計算，然後複循環、汽電共生、電廠可靠度及電廠計畫經濟分析。最後藉Project Developer Game由學員模擬北美自由化環境下如何參與電廠計畫競比。

遊戲摘要如下：

在Rocky Mountain電力公司轄區內有六家製造業者(煉油廠或紙廠)有擴建計畫，計畫增加用汽量，如由現在的150,000lb/hours，三年後擴充為

300,000lb/hours，而電力公司也有購電計畫如兩年後需購電200MW。將學員分成六組，每組4~5人，組成一家能源開發公司(Developer)。針對個別廠址為了製程擴充需要，如何利用廠區現有空地，及本身條件(現有設備、用地)，電力公司要求(購電量、運轉條件、Demand/Energy costs、Back-up、電力系統)，政府法規(環境保護)，能源價格(油或瓦斯)等。利用GE公司開發之GTPRO V14(Windows Version)，設計一發電系統能符合業者及電力公司之需求，以Excel程式進行財務分析。並與業者簽訂供汽合約、電力公司簽訂售電合約，能源公司簽訂購氣/油合約、與銀行簽訂貸款合約，與其他能源開發者競標，以獲得標約，創造商機。

#### **(四)、 輸電線與發電機規劃(Strategic Transmission & Generation Planning)**

本課程由兩位元GE工程師Gary A. Jordan及Richard S. Szczepanski負責講授。旨在介紹電力公司之長期(Horizon year)發電及輸變電計畫最佳計畫(經濟方案)規劃過程，利用GE公司開發之Electric Utility Planning and Operation Game 程式(DOS 版)，讓學員分組模擬分析自我規劃長期計畫之投資及運轉費用，透過組間比較，互相觀摩。遊戲過程摘要如下：

1. 由長期負載預測啟動:從講議模擬紐約系統1996年之負載實績，各小

- 組成員(一組5人)，討論年負載成長率，預測1998~2008年長期負載。
2. 各小組討論訂定該小組之reserve margin。(美國一般約25%,發電容量/尖峰負載)。
  3. 依據前兩項資料，算出各年度缺電量。
  4. 依據講義規定條件，如有/無負載管理、各燃料型式電廠建廠時程(核能8年，火力6年、複循環4年)、投資費用、運轉費用、可增設廠址、每一廠址限制容量(如<2000MW)等，擬定各小組之長期發電計畫(如2000+核能1000MW、2004+ CC600MW)。
  5. 配合發電計畫，規劃輸電系統，採N-1準則，須考慮Thermal/Voltage/Stability Limit，(如增加線路、無效電力、變壓器等)。
  6. 各小組完成發輸變電計畫後，進入Game。
  7. 由老師發給各小組統一之1998年尖載、負載管理資料(有/無)、一年四季各季負載比、各燃料價格、運轉費用、機組損壞資料、指定停用輸電線路等，然後由老師拿撲克牌給學員隨機針對既有系統13部發電機(核能、火力、CC、GT、水力)抽出加入系統運轉或停機(水力除外)。
  8. 根據第7項條件，各小組RUN Game，此時依據前所規劃調整訂定配合負載之發電機、輸電線等計畫。取得各組之1998年投資及運維費用。
  9. 1998年完成後，將結果登錄在黑板老師製作之表格上，進入下一輪

遊戲，由老師發給2000, 02, 04, 06, 08之負載及條件，重覆7~9之步驟。

10. 由老師彙集各組分析結果，以投資/運轉/總費用各項曲線圖比較分析各組差異。

總結有新設核能發電，初期投資費用較高，但往後之運轉費用較低；規劃電源時需注意，若實際負載較預估負載高很多時，若備轉容量不高，很可能電價會大幅度上昇。

從本課程模擬分析中，可知初期系統，負載不高，系統裕度多，容易運轉，各小組很快就獲得分析結果，但隨著年度負載成長，系統漸漸出現電壓偏低情形，必須加強系統如增加線路、無效電力，甚至發電機，變壓器等設備，才能獲得答案，花的時間也較多。

#### 四、第四學期：工業及配電系統應用(Industrial & Distribution System Applications)

##### (一)、高壓直流輸電系統 (HVDC)

本課程係以Seminar 方式進行，非常迅速地介紹該領域內所應用之理論與實務之現況。

講授主要內容有：

1. 高壓直流輸電之簡介 (Introduction)
2. 高壓直流輸電之應用 (HVDC Application)
3. 轉流器之操作 (Converter Operation)
4. 轉流器之方程式 (Converter Equation)
5. 高壓直流輸電之控制和系統功效 (HVDC Control and System Performance)
6. 系統整合 (System Integration)

高壓直流輸電與傳統之交流輸電比較，除具經濟性，環保之優點外，尚具有下列技術上的優點：(1)可降壓運轉。(2)不同頻率之電力聯結，如日本60HZ 與50HZ 系統連結。(3)電纜輸電，可減低如AC 系統需無效電力補償。(4)電力潮流控制。(5)降低短路電流。(6)改善系統穩定度。另介紹HVDC 整流器(Converter)與換流器(Inverter)之運作原理，公式計算及有效無效電力的控制。

## (二)、電力電子(Power Electronics)

指導者為Carl Wegner 君，為GE PSEC 部門資深工程師，上課亦以Seminar 方式進行，非常迅速地介紹該領域內所應用之理論與實務之現況。

上課講授主要內容有：

1. 簡介與半導體物理 (Introduction)
2. 電力電子裝置特性 (Device Characteristics)
3. 諧波之控制與保護 (Harmonics Control and Protection)
4. 電力事業上之應用－相位控制( Selected Utility Applications – Phase Control )
5. 電力事業上之應用－脈衝寬度調變 (Selected Utility PWM Applications – BESS、SSVR)

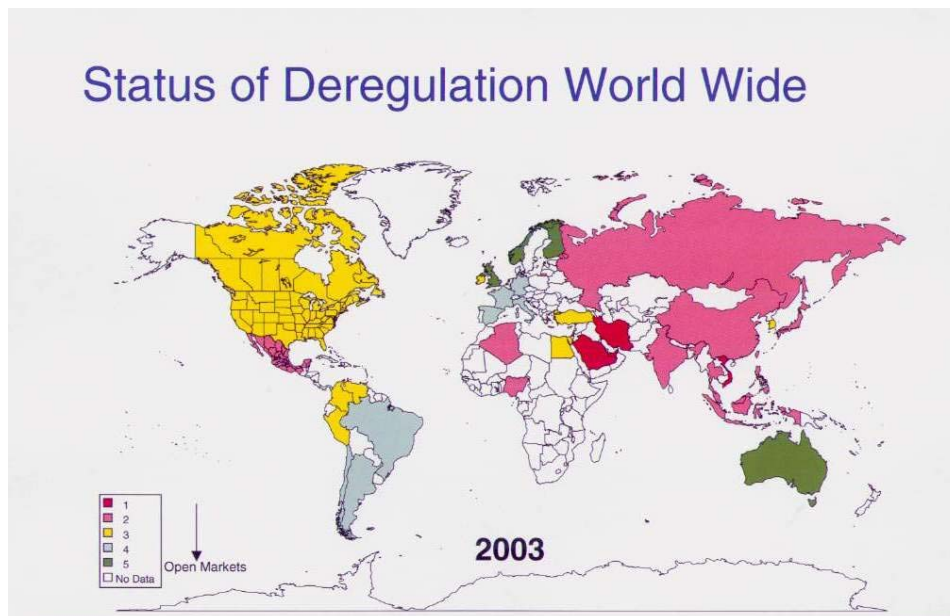
## (三)、自由化後電力市場(Deregulated Power Markets.)

本課程由Dr. Beth LaRose負責。介紹世界各國電業解構(Deregulation) 最新狀況，如把電業解構之開放程度分成5級，級數越高越開放，我國與日本同列2級，北美及韓國則列3級(圖一)。電業私有程度亦分成5級，級數越高越私有化，台電屬第二級(圖二)。並以經濟學供需曲線說明解構之意義。如在完全開放競爭的環境可達到理想的供需平衡點(圖三)，但如獨佔(單一賣家如TVA)及寡佔(少數賣家如New England, 佛羅裏達強調)則存在無效率問題，而



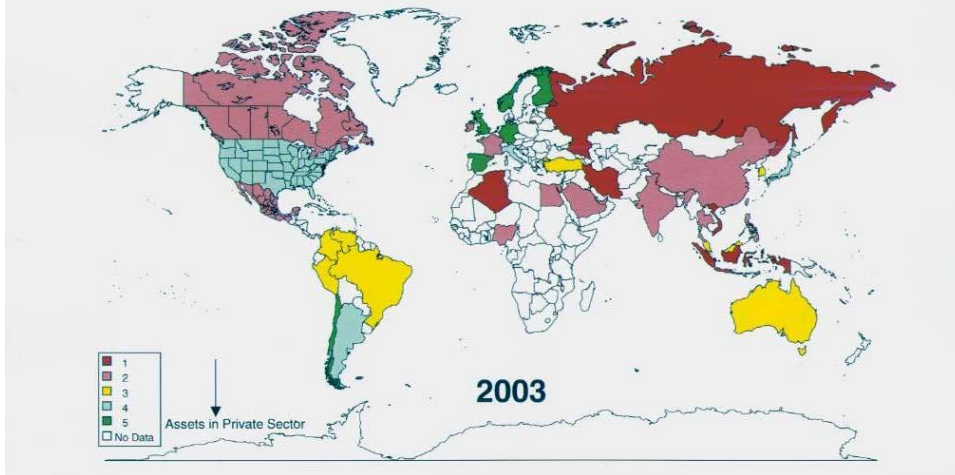
使得消費價格偏高(圖四、五)。圖六~八為美國PJM及 NE-ISO 2002年Power Market Bids資料，值得本公司參考。

本課程利用最後一天將學員分成7組，各組皆有一部燒煤機組(200MW ~500MW)、一部複循環機組(100MW ~250MW)及一部氣渦輪機組(OMW ~170MW)的發電機，利用每日的負載預測，各組需決定各部發電機的投標價格，讓學員能瞭解在電力自由化的市場中，如何進行電力交易。



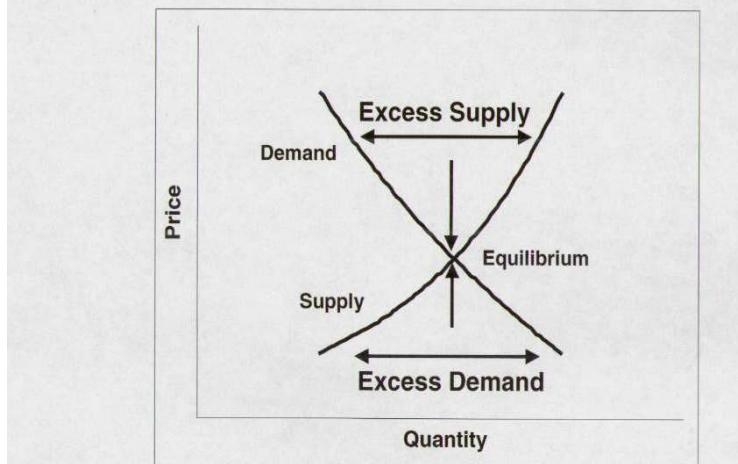
圖一 世界電業自由化現況說明

## Status of Privatization World Wide



圖二 世界電業民營化現況說明

## Supply and Demand



圖三 理想化供需平衡圖

## Monopoly – Single Seller

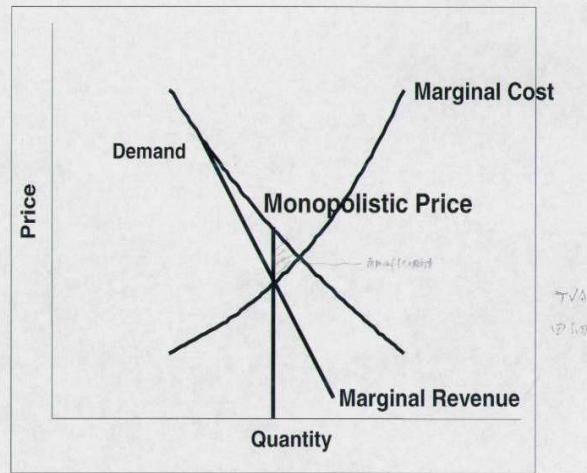


圖 四 獨占市場供需平衡圖

## Oligopoly – Few Sellers

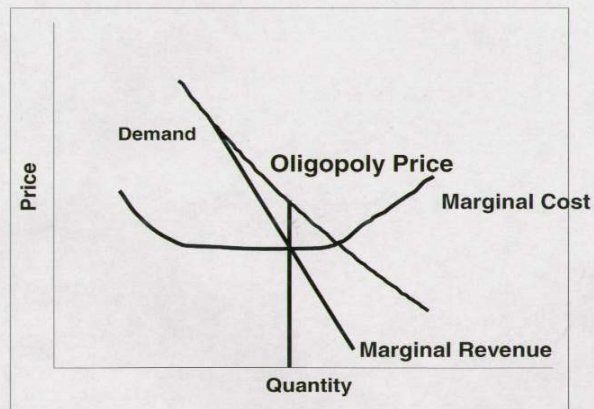
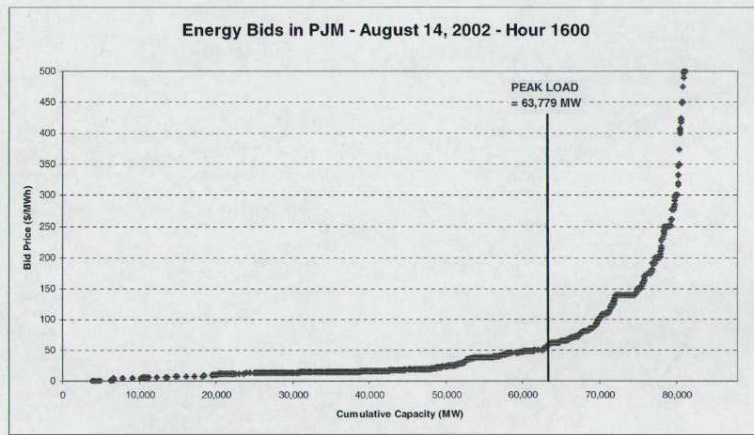


圖 五 寡占市場供需平衡圖

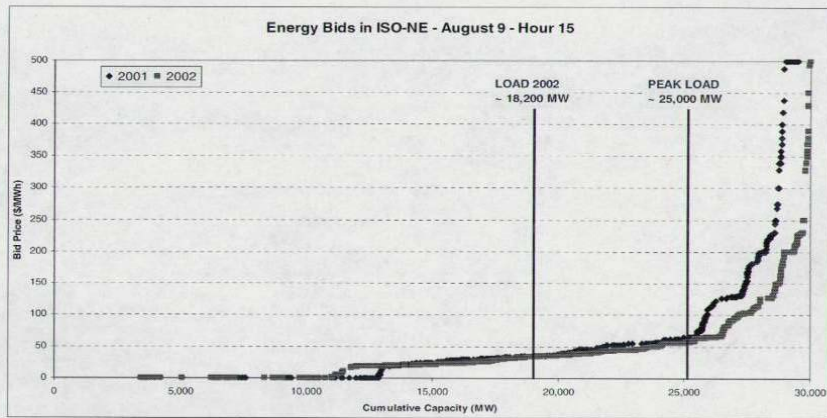
## Examples of Power Market Bids



Source: Bid Data Posted on PJM Website

圖六 美國 PJM 電力市場 2002 年電力價格競標說明

## Examples of Power Market Bids



Source: Bid Data Posted on ISO-NE Website

圖七 美國 NE-ISO 2001/2002 年電力價格競標說明(一)



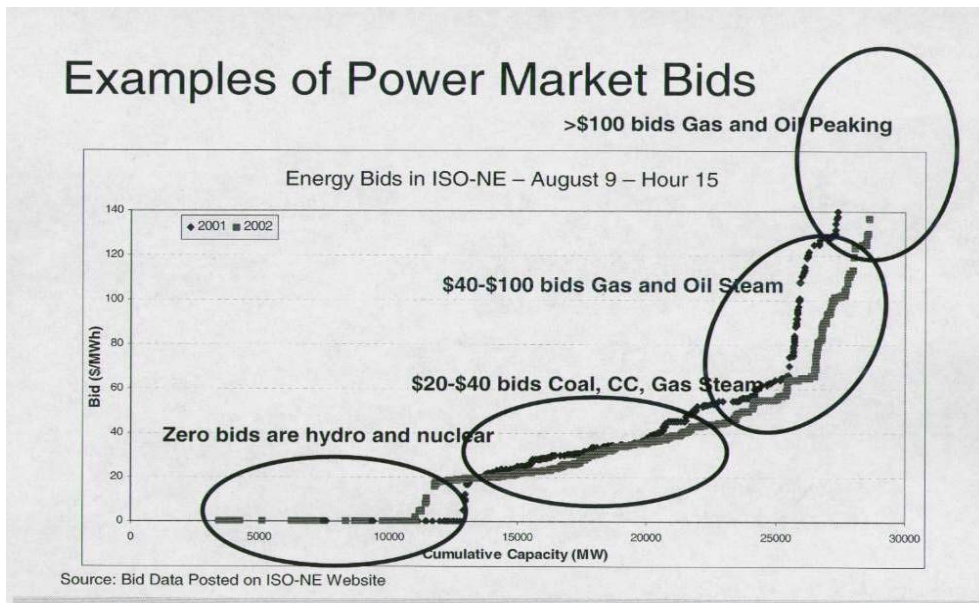


圖 八 美國 NE-ISO 2001/2002 年電力價格競標說明(二)

#### (四)、旋轉電機 (Rotating Machine)

指導者為Dr. Sheppard Salon 教授，Dr. Salon 君曾服務於西屋公司，實務經驗十分豐富，目前係RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) 學院電力工程系教授，上課時理論與實務並重，以達到課程學習目的，每位同學並於課堂上利用電池、磁鐵及漆包線製作了直流電動機，學員必須要瞭解直流電動機的動作原理及構造，有部分學員因將接觸端之漆包線外表全部刮除，造成直流電動機運轉時線圈產生高溫。

上課講授主要內容有：

1. 磁路 (Magnetic Circuits)
2. 電機機械之磁動勢與力距 (MMF and Torque in Electric Machines)

3. 電動機控制之基本理論(Fundamentals of Electric Motor Control)
4. 直流機(Direct Current Machines)
5. 同步機(Synchronous Machines)
6. 感應機(Induction Machines)
7. 無刷直流電動機之驅動(Brushless DC Motor Drives)
8. 電力系統中電動機啟動之議題(Power System Issues With Motor Starting)
9. 交流電動機之啟動設備與應用實例(Alternative Motor Starting Equipment & Application Examples)
10. 交流機之選擇(AC Motor Selection)
11. 特殊機械(Special Purpose Machines)
12. 相間與接地事故 (Phase and Ground Faults)

課程一開始介紹電磁場之基本定理、Maxwell 公式、Faraday 定理、Lenz 定理、磁通密度與磁路之磁阻定律。然後應用上述電磁理論說明直流電機動作原理及轉矩/電壓關係式，依其連接型式可分為分激式、串激式、自激式與複激式四類。瞭解直流電機特性後，進一步說明交流同步機之功率、轉矩/轉速之關係與同步機當作電動機、同步調相機及發電機之應用。同時繼續探討感應機之速率/轉矩特性及感應馬達速率控制與起動特性。最後概略簡介特殊功能之旋轉電機及其應用。

## (五)、配電設備與應用(Distribution Equipment and Application)

上課講授主要內容有：

1. 電壓調整 (Voltage Regulation)
2. 配電系統之過流保護 ( Distribution Systems Overcurrent Protection)
3. 電力品質之瀏覽 (An Overview of Power Quality)
4. 計算損失之基本觀念 (Fundamental of Loss Evaluation)
5. 無效功率補償與電容器應用 (Kilovar Supply and Capacitor Application)
6. 電壓調整器應用之根本( Fundamentals of Regulator Application)
7. 可靠度 (Reliability)

配電系統網路型式，可大略區分二種，一為美國所採用三相四線式(二次側Y 接，中性點接地)，二為歐洲地區所採用，三相三線式(二次側A 或Y 接)，除以上二種系統之變壓器接線，變壓器容量選定，損失之計算外，另介紹配電系統之特性，如電壓降，電壓閃爍，電壓調整率及低電壓與過電壓對系統之影響，進而考慮裝設串聯電容器補償無效電力，改善電壓調整及功因。最後介紹配電系統過電壓及過電流之保護方式如使用避雷器(Arrester)保護過電壓，使用熔絲 (Fuse)保護過電流及避雷器電壓之選定。另一主題電力品質，首先定義影響電力品質因素，如：

Sag：電壓偏低下期間少於2 秒之現象

Spike：電壓大幅突變之暫態現象

Swell：電壓升高之現象

Interruption：電壓中斷期間少於2 分鐘之現象

Harmonic Distortion：電壓與電流波形扭曲之現象

Flicker：連續週期之電壓異常變動之現象

Noise：連續週期之高頻信號幹擾之現象

由於電力品質之惡化將導致連續流程之製造業、資訊業、資料處理、通信、銀行及醫院與軍事設施等造成嚴重影響。其中電壓低下現象可因事故、負載大馬達起動或點焊變動所引起，解決方式可以電壓補償為之。電壓閃爍現象可因軋鋼，電弧爐週期變動負載所引起，造成電燈閃爍及設備誤動作，解決方式可以改善負載週期，降低系統阻抗及加裝SVC，STATCON 為之。最後諧波可因靜態補償器，變壓器飽和，交直流馬達，電弧爐及電視所引起，造成設備誤動作及變壓器，電容器過載，解決方式可以諧波濾波器消除之。

## **(六)、 保護電驛(Protective Relaying)**

本課程首先介紹電力系統基本元件之保護觀念，儀表用變壓器和電驛用來偵測電流和電壓，並決定是否需切離故障。儀表用變壓器有兩種基本型式：比壓器 (PT)和比流器(CT)，而CT 飽和問題影響電驛可靠度甚鉅，若選用錯



誤可能導致電驛無法發揮其保護功能。電驛是電力系統保護之主要元件，電驛需具備下列特性：可靠性、選擇性、靈敏性、速度及瞬時性。電驛依構造上分類可分為電磁式電驛、靜態及數位電驛等。接著探討各項電力系統設備保護如：匯流排保護、變壓器保護、發電機保護與線路保護。

### **(七)、 風力發電研討會(Wind Seminar)**

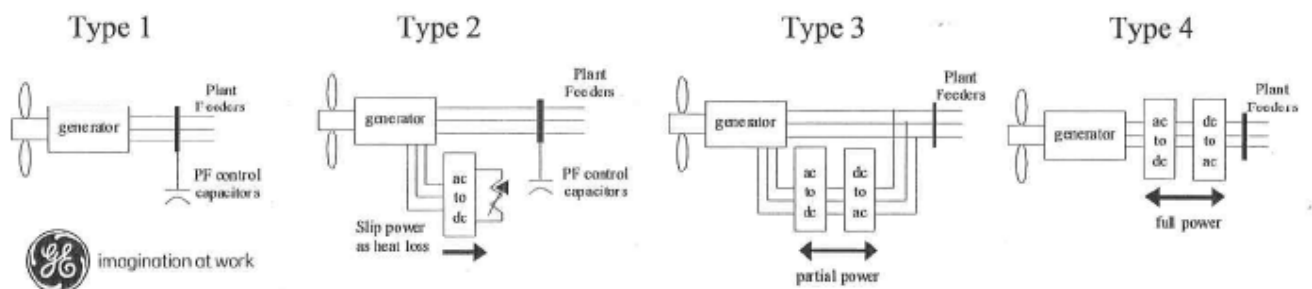
因應全球氣候變遷以及近年來全球環保意識之覺醒，抑制溫室氣體排放已成世界各國關注的重要課題，加上「京都議定書」2005年2月16日正式生效後，綠色能源的重要性更形彰顯。近年來化石燃料價格飆漲，更加速全球對風力發電與再生能源之需求。本公司為配合政府政策，預定在2010年再生能源發電容量配比能達到全系統10%佔比，約513.9萬瓩。其中又以風力發電的技術較為成熟且成本較低，因此可以預見的是風力發電將會在近幾年大幅成長。

目前常見的風力發電機一般可分為四種：

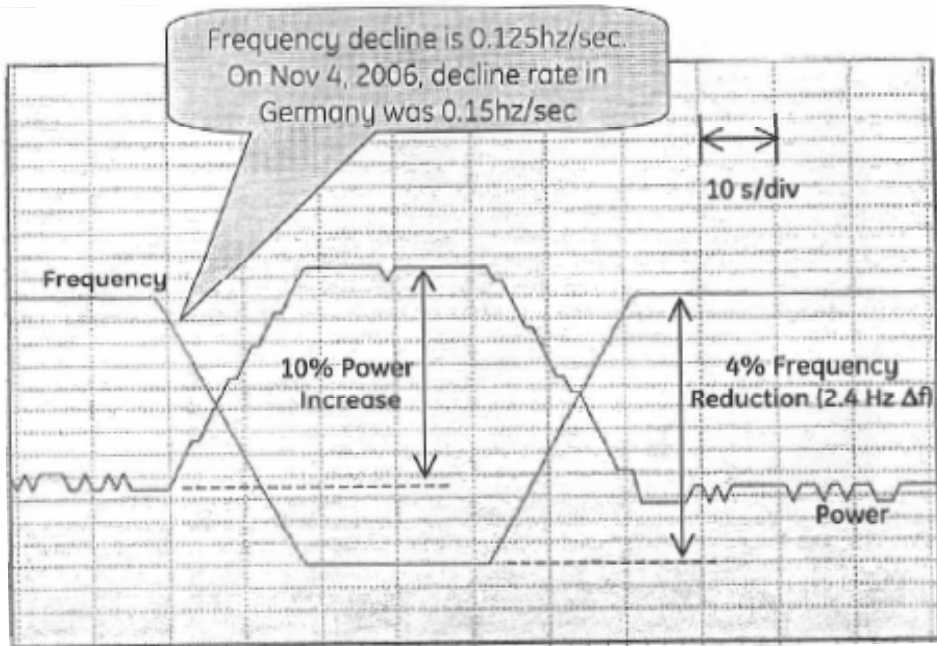
- 一、 鼠籠式感應發電機：轉子使用導體條，並於兩端以短路環予以並接短路，與外部無實體連接途徑，因其運轉特性不好，目前較少廠商使用。
- 二、 繞線式感應發電機：轉子採用三相繞線共經滑環(Slip ring)與外部電路連接，並經由電力轉換器將外部電阻與繞線式轉子相接，透過

轉子側等效電阻值之改變，轉速之滑差因需改變。

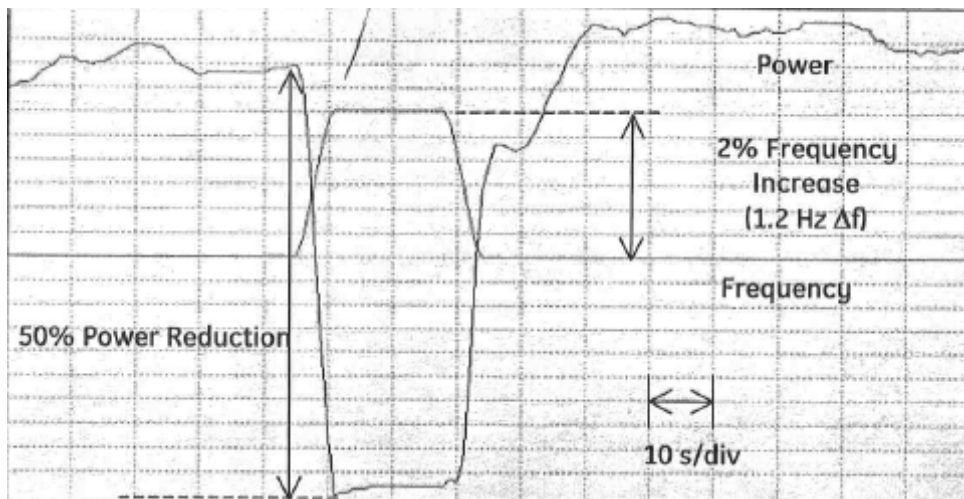
- 三、 雙饋式感應發電機：此發電機為目前最具發展潛力的風力發電機組，其電機本身為一般繞線式感應發電機，定子三相與電網連接，由於電力可經由轉子側之電力轉換器雙向流動，因此發電饋入電網的介面同時包含定子側及轉子側。其轉子側使用之電力轉換器功率僅為發電機額定功率之1/3, 成本較低，而發電機可變速範圍可達同步轉速之60%。
- 四、 同步發電機：使用同步發電機，因其輸出電壓及頻率隨風力機轉動速度而改變，故需先將同步發電機輸出電壓經由整流器(Rectifier)整流為直流電，再利用換流器(Inverter)將頻率轉換為系統頻率送至系統中使用。



由於未來風力發電將佔全系統發電量比例甚高，因此風力發電機對系統的影響也較大，目前製造廠商所製造之風機已具有隨系統頻率調整風機出力的能力，系統頻率降低時自動增加風機發電量(如圖九)，如系統頻率升高時自動降低風機發電量(如圖十)，部分風場更可採AGC運轉，視系統之需要由調度中心調整出力。



圖九 遇系統頻率降低時之風機反應



圖十 遇系統頻率升高時之風機反應