

出國報告（出國類別：實習）

赴美國參加奇異公司電力系統工程班

服務機關：台灣電力股份有限公司電力調度處

姓名職稱：李公明 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：99年7月28日至99年12月13日

報告日期：100年1月3日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加奇異公司電力系統工程班

頁數 49 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李公明/台灣電力公司/電力調度處/6等電機工程師/23666616

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日至99年12月13日

出國地區：美國

報告日期：100年1月3日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司(General Electric Company, 簡稱 GE)於 1949 年起舉辦電力系統工程班(Power System Engineering Course, 簡稱 PSEC), 至今已有 61 年歷史, 本期為第 62 期訓練班, 其課程內容主要為電力系統各項安全運轉分析、線上調度運轉與控制、電力經濟與自由化市場、電力電子元件應用技術及全球電業發展趨勢, 內容涵蓋發、輸、變、配電及控制、保護設備等, 於課堂中以電力系統各項模擬軟體作為輔助教學, 並實地參觀獨立調度中心、設備製造廠及國家電網控制中心, 有計劃性之課程規劃期使學員理論與實務相結合。訓練期間並藉由與他國學員之互動比較不同國家電力公司實務應用之差異性。

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

目錄

圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
誌謝.....	vi
第一章 緒論.....	1
1-1 緣由與目的.....	1
1-2 出返國行程.....	2
1-3 課程內容簡介.....	3
1-4 受訓學員簡介.....	5
第二章 美國電業與自由化.....	6
2-1 美國電業架構.....	6
2-2 自由化市場之供需競價機制.....	8
2-3 自由化市場之邊際成本.....	8
2-4 自由化市場之影子價格.....	11
2-5 壅塞管理費用.....	12
2-6 快速備轉容量費用.....	14
2-7 機組競價技巧.....	17

第三章 負載頻率控制.....	19
3-1 前言.....	19
3-2 轉動慣量.....	20
3-3 負載阻尼係數.....	22
3-4 調速機.....	24
第四章 參訪行程.....	30
4-1 Fort Edward.....	30
4-2 NYISO.....	31
第五章 感想與建議.....	37
5-1 感想.....	37
5-2 建議.....	40
參考文獻.....	43

圖目錄

圖 2.1 美國電力事業階層架構	6
圖 2.2 北美區域可靠度組織分佈圖	7
圖 2.3 北美 ISO 與 RTO 分佈圖	7
圖 2.4 經濟市場供需競價示意圖	8
圖 2.5 正常運轉之 3 匯流排範例圖	9
圖 2.6 考慮 AC 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖	9
圖 2.7 考慮 AB 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖	10
圖 2.8 考慮 BC 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖	10
圖 2.9 輸電線 AC 之影子價格系統圖	11
圖 2.10 輸電線 AB 與 BC 之影子價格系統圖	12
圖 2.11 輸電線有無壅塞管理之各項費用比較圖之一	12
圖 2.12 輸電線有無壅塞管理之各項費用比較圖之二	13
圖 2.13 兩匯流排系統範例圖	15
圖 2.14 未考慮備轉容量各機組出力堆疊示意圖	16
圖 2.15 考慮備轉容量各機組出力堆疊示意圖	16
圖 2.16 機組競價情形範例一	18

圖 2.17 機組競價情形範例二	18
圖 3.1 轉動慣量、頻率與功率之控制方塊圖	20
圖 3.2 馬達負載變化、頻率變化與 k 值關係圖	22
圖 3.3 轉動慣量及負載阻尼係數之控制方塊圖	23
圖 3.4 恆速調速機之頻率控制示意圖	24
圖 3.5 速度調定調速機之頻率控制示意圖	25
圖 3.6 速度調定率、負載變化與頻率之關係圖	25
圖 4.1 電容器生產流程圖	30
圖 4.2 紐約洲自 2000 年起裝置容量成長分佈圖	32
圖 4.3 紐約洲各燃料別裝置容量佔比圖	32
圖 4.4 紐約洲 2009 年實際運轉之燃料別發電組成圖	33
圖 4.5 紐約洲風力機組裝置容量成長情形圖	33
圖 4.6 紐約洲近年空污排放率比較圖	34
圖 4.7 紐約洲近年尖峰負載情形圖	34
圖 4.8 紐約洲歷史最高負載當日中午 12 時至晚上 8 時之負載曲線圖	35
圖 4.9 紐約洲可執行需量反應之負載區域分佈圖	36

表目錄

表 1.1 PSEC 參訓學員名冊	5
表 2.1 兩匯流排系統機組參數表	15

誌謝

首先感謝本公司各級主管對於本項出國計畫的支持，並讓職有接受歷練的機會，謹此致上最誠摯的謝意。

特別感謝本處鄭組長壽福、吳組長進忠、蔡課長培德於出國前不吝提供出國經驗及注意事項；感謝當地僑胞陳醫師英仁給予在美國生活上之協助；感謝曾副調度監重富、薛課長美英、鍾工程師云彰、王工程師曉嬋、蔡工程師啓瑞於職在美國授課期間協助提供相關參考文獻；感謝黃工程師保源於職出國期間代理業務，讓本處於審修業務上無後顧之憂。

最後感謝家人的支持，並再次表達對於上述人員誠摯的謝意，讓職可以順利完成任務。

第一章 緒論

1-1 緣由與目的

確保臺灣電力系統穩定供電為台電公司職責所在，近幾年來負載用電伴隨著環保意識逐日增加，然發、輸、配電之電源及電網建設已無法跟上負載成長的腳步，故要在線上安全運轉與離線維護上取得平衡點，需有更加周延之分析，諸如電力系統潮流分析、穩定度分析、故障電流之計算等，均需符合安全運轉值。

科技的進步日新月異，在電力的建設上，電力電子元件應用於彈性交流輸電系統 (Flexible AC Transmission System，簡稱 FACTS) 及高壓直流 (High-Voltage DC, 簡稱 HVDC) 傳輸系統已被部分電力公司所應用；在系統的運轉上，智慧型電網 (Smart Grid) 的運用亦被廣泛討論，未來本公司在輸電網路之規劃上及系統運轉上均有機會將上述技術納入評估應用。另電力事業民營化一直是政府努力的方向，惟在各方面之配套措施均需詳加規劃，才能在電力市場與經濟能源成本達到雙贏的局面。

本期美國奇異公司電力系統工程班 (Power Systems and Energy Course，簡稱 PSEC) 課程內容包含上述電力系統各項安全運轉分析理論、線上調度運轉與控制、FACTS、HVDC、Smart Grid、電力經濟、自由化議題等相關，內容豐富除可提供本公司派訓人員將電力系統理論與調度實務相結合外，並提升目前本公司人員較缺乏之電力電子應用及電力自由化專業知識，訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流各項規劃及運轉心得，俾利強化既有電力系統專業能力，吸取國外之經驗及技術。

1-2 出返國行程

本出國計畫，自 99 年 7 月 28 日起，至 99 年 12 月 13 日止，前後共 139 天，
詳細行程如下所示：

一、去程

日期	出發地	時間	目的地	時間
99 年 7 月 28 日	台北 (Taipei)	18:50	紐華克 (Newark)	21:45
99 年 7 月 29 日	紐華克 (Newark)	07:30	阿爾巴尼 (Albany)	08:40

二、受訓

99 年 7 月 30 日至 99 年 12 月 10 日參加美國奇異公司電力系統工程班

三、返程

日期	出發地	時間	目的地	時間
99 年 12 月 11 日	阿爾巴尼 (Albany)	17:40	紐華克 (Newark)	19:09
99 年 12 月 11 日	紐華克 (Newark)	22:30		
99 年 12 月 13 日			台北 (Taipei)	07:10

1-3 課程內容簡介

本期 PSEC 課程主要分為四大部分，其中第一、二部分主要偏重於電力系統之規劃與應用；第三部分為電力經濟與自由化議題；第四部分則為能源應用與再生能源之探討，各部分課程分項簡敘如下：

一、電力系統規劃與應用 I (Power System Planning and Application I)

- (一)電力系統基本原理(Power System Fundamentals)
- (二)電力系統分析與對稱元件(Power System Analysis & Symmetrical Component)
- (三)輸電系統規劃與分析(Transmission Planning and Analysis)
- (四)突波分析與設備應用(Surge Analysis & Equipment Application)
- (五)無效功率補償與電壓控制(Reactive Power Compensation & Voltage Control)
- (六)保護電驛基本原理(Protective Relaying Fundamentals)

二、電力系統規劃與應用 II (Power System Planning and Application II)

- (一)同步機基本原理(Synchronous Machine Fundamentals)
- (二)電力系統動態(Power System Dynamics)
- (三)發電控制與激磁機(Power Generation Control and Excitation)
- (四)電力電子於輸電系統之應用(Power Electronic Applications in Transmission)
- (五)配電系統規劃與工程(Distribution Systems Planning and Engineering)

(六)智慧型電網：變電所與配電系統自動化(Smart Grid:
Substation/Distribution Automation)

三、能源經濟、電力市場及策略規劃(Energy Economics, Power Markets and
Strategic Planning)

(一)全球電力市場(Global Power Markets)

(二)美國電力工業(U.S. Electric Power Industry)

(三)電力經濟與電力系統運轉(Utility Economics and Power Systems
Operation)

(四)發、輸電系統之規劃策略(Strategic Transmission and Generation
Planning)

(五)解制之電力市場(Deregulated Power Markets)

(六)電廠財務模型與計算(Power Plant Financial Modeling and
Evaluation)

四、發電技術與分析(Emerging Generation Technologies and Analysis)

(一)發電機組之競爭性(Competitive Power Generation)

(二)工業用戶(Industrial Energy Users)

(三)汽化發電原理(Integrated Gasification Power Fundamentals)

(四)燃料彈性與替代能源應用(Fuel Flexibility and Alternative Energy
Applications)

(五)太陽能發電基本原理(Solar Power Fundamentals)

(六)風力發電基本原理(Wind Power Fundamentals)

1-4 受訓學員簡介

全程參與本屆 PSEC 訓練課程共有 14 位學員，其中共有 10 位來自於日本；2 位來自於韓國；2 位來自於台灣，學員名冊如表 1.1 所示。

學員	公司單位	國家
Takahide Fujioka	Shikoku Electric Power Co., Inc.	Japan
Fuminao Kinjo	Okinawa Electric Power Company	Japan
Seiya Kitajima	Toshiba Corporation	Japan
Shiro Kuba	Chugoku Electric Power Co., Inc.	Japan
Sung Kyu Lee	Korea Electric Power Corporation	Korea
Kung-Ming Li	Taiwan Power Company	Taiwan
Yoshihiro Matsuura	Kyushu Electric Power Co., Inc.	Japan
Tomoyuki Nagashima	Chubu Electric Power Co., Inc.	Japan
Yi-Fan Pai	Taiwan Power Company	Taiwan
Junhwa Ra	Korea Electric Power Corporation	Korea
Norihiko Shimizu	Kansai Electric Power Company, Inc.	Japan
Hidetoshi Suzuki	Electric Power Development Company, Ltd.	Japan
Kenichi Suzuki	Tokyo Electric Power Company	Japan
Tatsuro Yamamoto	Hokkaido Electric Power Company, Inc.	Japan

表 1.1 PSEC 參訓學員名冊

第二章 美國電業與自由化

2-1 美國電業架構

美國電力事業階層架構如圖 2.1 所示，國家電力可靠度協會(National Electricity Reliability Council，簡稱 NERC)負責協調北美各區域間之運轉可靠度，其下共有 8 個區域可靠度組織(Regional Reliability Organization，簡稱 RRO)如圖 2.2 所示，區域可靠度組織以下則有獨立系統操作者(Independent System Operator，簡稱 ISO)或區域輸電操作者(Regional Transmission Operator，簡稱 RTO)如圖 2.3 所示，ISO 與 RTO 不擁有任何發、輸、配電設備，僅負責系統調度運轉與自由化市場價格管理，目前美國境內約有三分之二的用戶享有 ISO 與 RTO 服務之自由化電力市場，圖 2.3 所示之白色區域則是尚未自由化之區域，而獨立系統操作者以下則有電力公司(Utility)或輸電公司(Transmission Organization，簡稱 TO)負責售電給用戶。

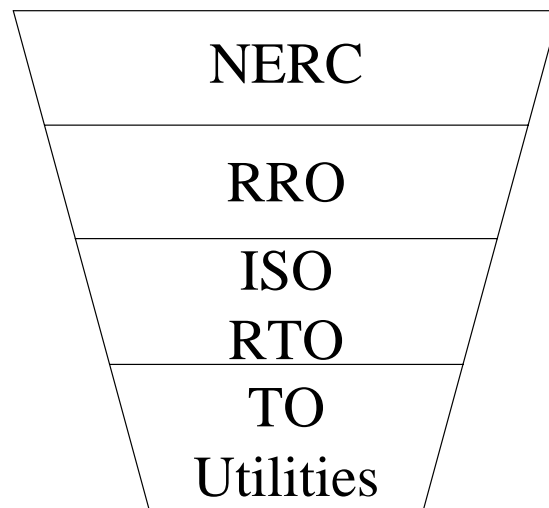


圖 2.1 美國電力事業階層架構

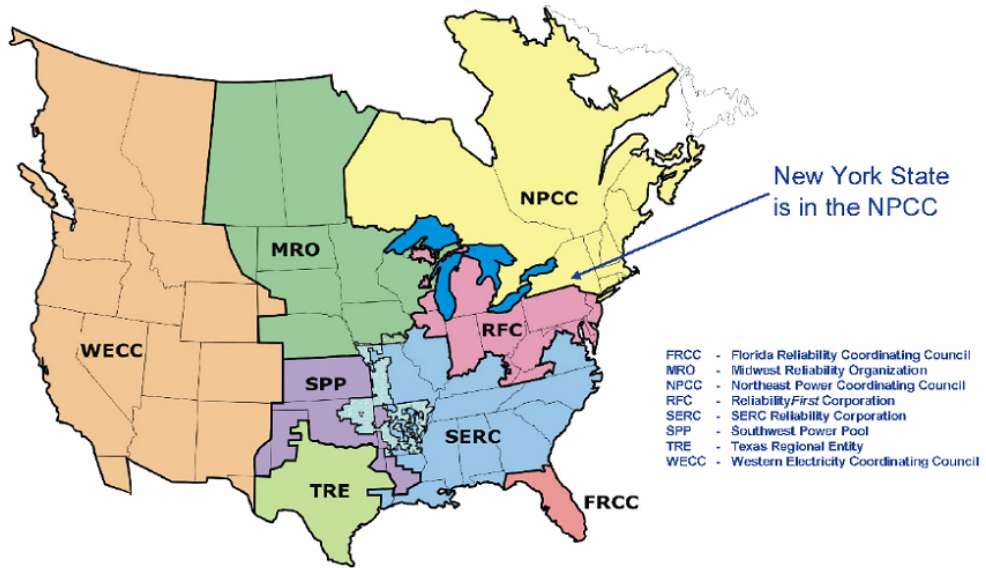


圖 2.2 北美區域可靠度組織分佈圖

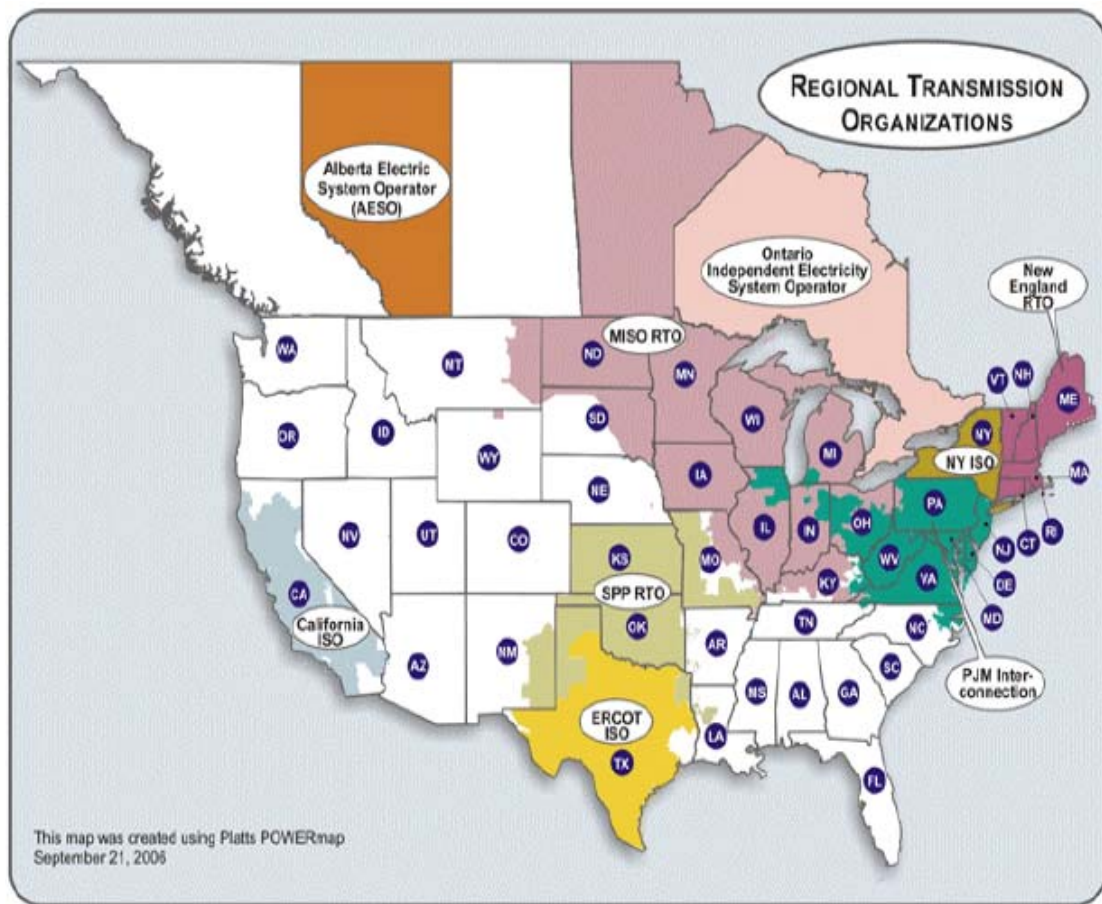


圖 2.3 北美 ISO 與 RTO 分佈圖

2-2 自由化市場之供需競價機制

電力經濟之供需價格與市場價格(Market Price)如圖 2.4 所示，Supplier Bids 可表為各發電公司所願意出售之電價，Consumer Bids 則為各用戶所願意購買之電價，而當發電公司所願意出售之電價與用戶所願意購買之電價相同時，此價格即為市場價格，市場價格與各發電公司所願意出售之電價差即為各發電公司之利益，市場價格與各用戶所願意購買之電價差即為各用戶之利益。

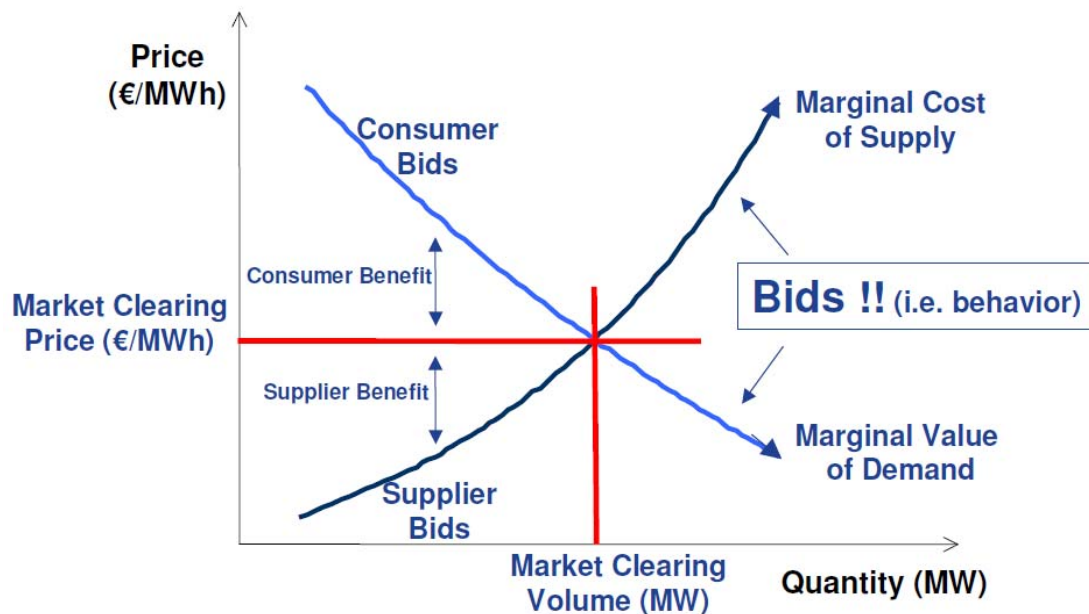


圖 2.4 經濟市場供需競價示意圖

2-3 自由化市場之邊際成本

所謂邊際成本(Marginal Cost)係指當某處增加負載用電 1MW 時，系統所需增加或減少之成本，下面將舉 3 匯流排例子說明邊際成本之計算。

如圖 2.5 所示，假設 AB、BC、AC 輸電線阻抗均相同，匯流排 A 與匯流排 C 分別有發電機出力 300MW 與 100MW，其發電成本分為 1\$/MWh 及 10\$/MWh，正常運

轉時系統總發電成本為 1300 元。

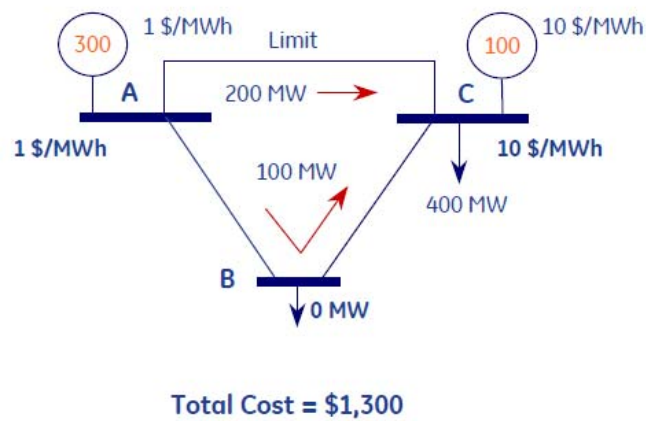


圖 2.5 正常運轉之 3 匯流排範例圖

如圖 2.6 所示，於匯流排 B 增加負載用電 1MW，並考慮 AC 輸電線限制 200MW，為滿足 AC 最大傳輸限制，匯流排 A 與匯流排 C 之發電機出力需調整為 300.5MW 與 100.5MW，此時系統總發電成本為 1305.5 元，故於此運轉條件下匯流排 B 之邊際成本為 5.5\$/MWh，此意味於此條件下，當匯流排 B 增加負載用電 1MW，則發電機可獲得 5.5\$/MWh。

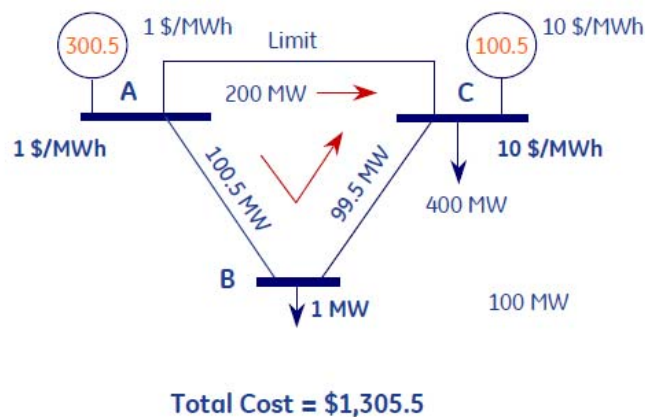


圖 2.6 考慮 AC 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖

如圖 2.7 所示，於匯流排 B 增加負載用電 1MW，並考慮 AB 輸電線限制 100MW，為滿足 AB 最大傳輸限制，匯流排 A 與匯流排 C 之發電機出力需調整為 299MW 與

102MW，此時系統總發電成本為 1319 元，故於此運轉條件下匯流排 B 之邊際成本為 19\$/MWh，此意味於此條件下，當匯流排 B 增加負載用電 1MW，則發電機可獲得 19\$/MWh。

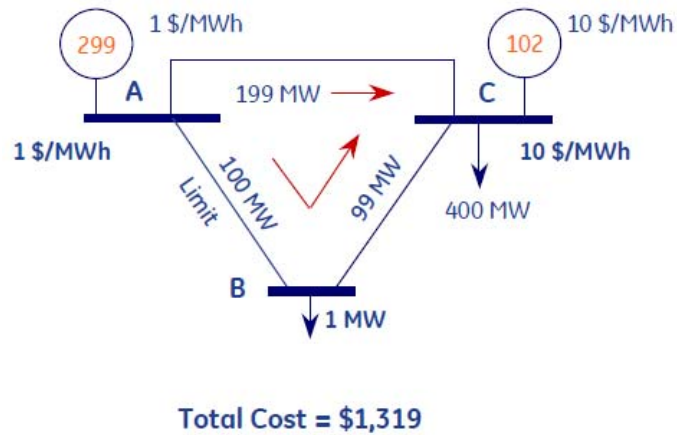


圖 2.7 考慮 AB 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖

如圖 2.8 所示，於匯流排 B 增加負載用電 1MW，並考慮 BC 輸電線限制 100MW，為滿足 BC 最大傳輸限制，匯流排 A 與匯流排 C 之發電機出力需調整為 302MW 與 99MW，此時系統總發電成本為 1292 元，故於此運轉條件下匯流排 B 之邊際成本為 -8\$/MWh，此意味於此條件下，當匯流排 B 增加負載用電 1MW，則發電機需支付 8\$/MWh。

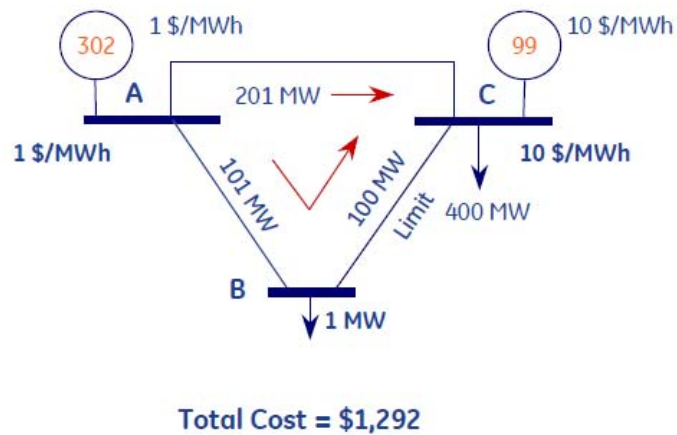


圖 2.8 考慮 BC 傳輸限制之匯流排 B 之邊際成本系統圖

2-4 自由化市場之影子價格

所謂影子價格(Shadow Price)係指當某輸電線之最大傳輸量增加 1MW 時，系統所需增加或減少之成本，下面仍將以圖 2.5 為正常運轉條件，分別針對假設 AB、BC、AC 輸電線計算其影子價格。

如圖 2.9 所示，於輸電線 AC 增加傳輸量 1MW，因 AB、BC、AC 輸電線阻抗均相同，故此時 AB 與 BC 之潮流量為 100.5MW，匯流排 A 與匯流排 C 之發電機出力需調整為 301.5MW 與 98.5MW，此時系統總發電成本為 1286.5 元，故於此運轉條件下輸電線 AC 之影子價格為 13.5\$/MWh。

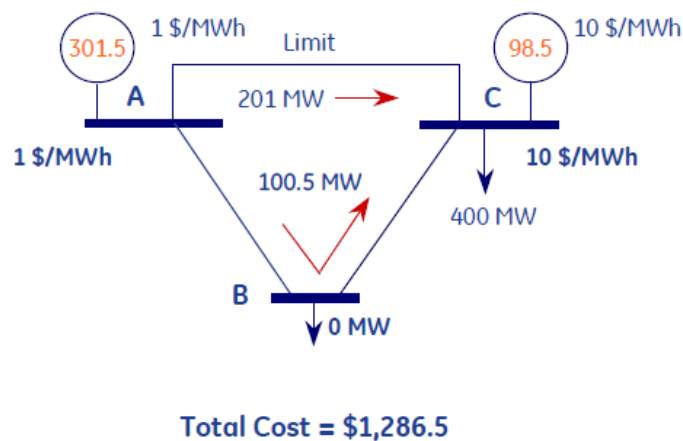


圖 2.9 輸電線 AC 之影子價格系統圖

如圖 2.10 所示，於輸電線 AB 或 BC 增加傳輸量 1MW，因 AB、BC、AC 輸電線阻抗均相同，故此時 AC 之潮流量為 202MW，匯流排 A 與匯流排 C 之發電機出力需調整為 303MW 與 97MW，此時系統總發電成本為 1273 元，故於此運轉條件下輸電線 AB 或 BC 之影子價格為 27\$/MWh。

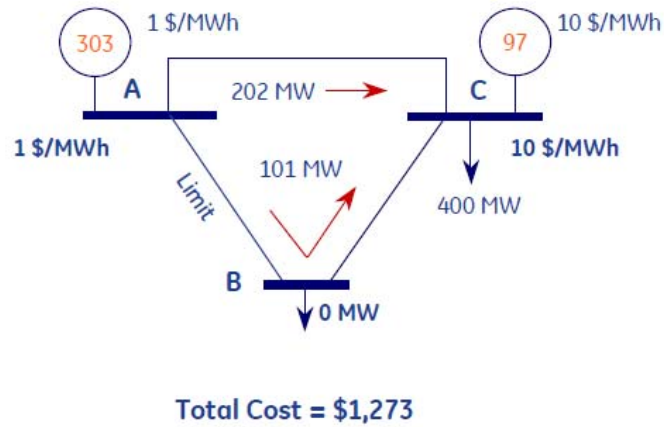


圖 2.10 輸電線 AB 與 BC 之影子價格系統圖

2-5 壅塞管理費用

自由化市場壅塞管理的費用係指用戶所支付之電費扣除電廠機組之獲益，如圖 2.5 之正常運轉之 3 匯流排範例其用戶所支付之電費為 4000 元，電廠機組之獲利為 1300 元，故系統上壅塞管理的費用為 2700 元，下面將再舉兩範例說明壅塞管理之費用。

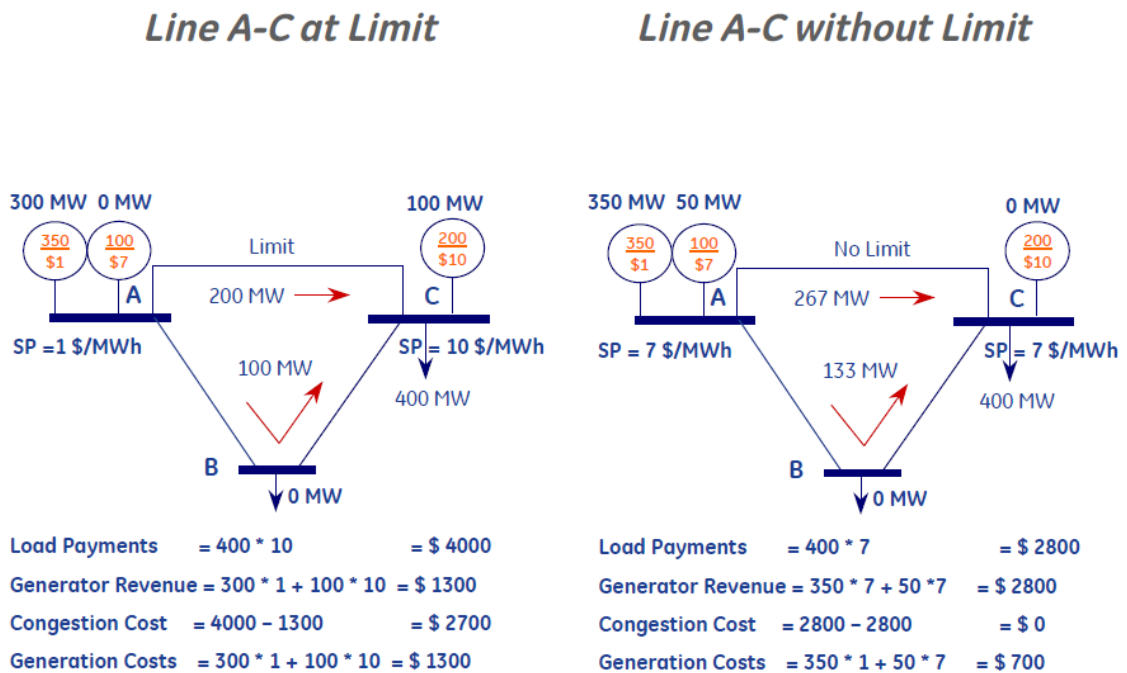


圖 2.11 輸電線有無壅塞管理之各項費用比較圖之一

如圖 2.11 所示，圖左側為輸電線運轉於最大傳輸能力，因輸電線限制，故匯流排 A 之機組出力需限制於 300MW，而匯流排 C 之機組則需出力 100MW 以滿足用電需求，由各機組之競標價格較低者優先調度，故各機組出力如圖所示，經計算可得用戶所支付之用電費用為 4000 元，電廠機組之獲利為 1300 元，故系統上壅塞管理的費用為 2700 元。圖右側則不考慮輸電線之最大傳輸能力，因輸電線無限制，故匯流排 A 之機組出力有能力滿足用電需求，而匯流排 C 之機組則因競標價格較高而不需出力，故各機組出力如圖所示，且市場價格為 7\$/MWh，經計算可得用戶所支付之用電費用為 2800 元，電廠機組之獲利為 2800 元，無壅塞管理費用。

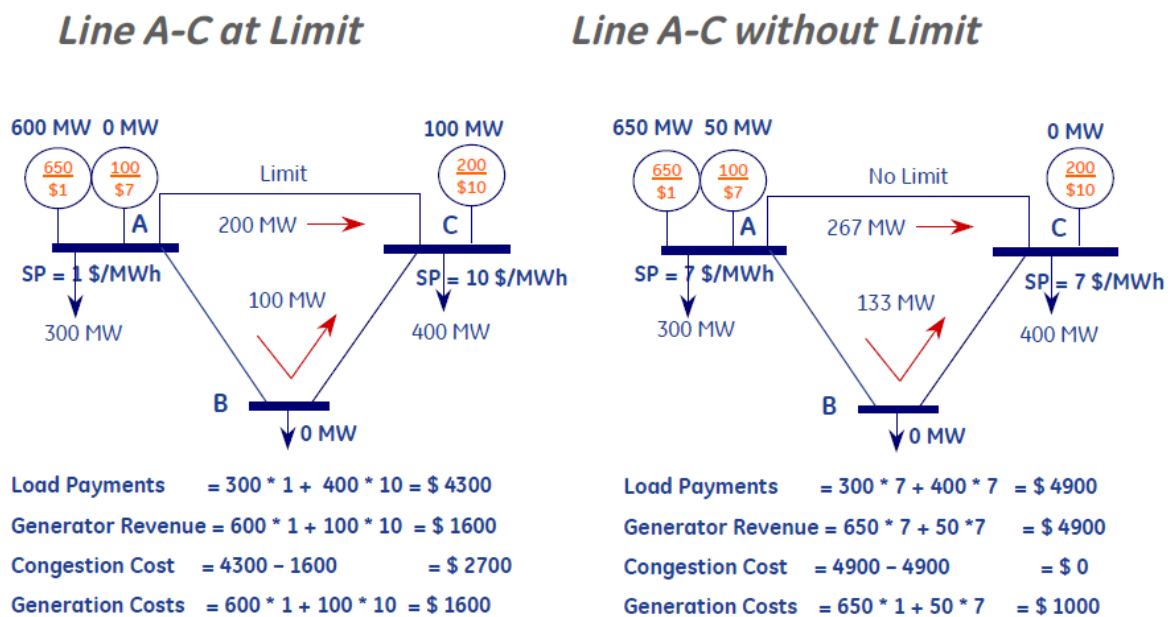


圖 2.12 輸電線有無壅塞管理之各項費用比較圖之二

如圖 2.12 所示，圖左側為輸電線運轉於最大傳輸能力，因輸電線限制且匯流排 A 之用電負載為 300MW，故匯流排 A 之機組出力需限制於 600MW，而匯流排 C 之機組則需出力 100MW 以滿足用電需求，由各機組之競標價格較低者優先調

度，故各機組出力如圖所示，經計算可得用戶所支付之用電費用為 4300 元，電廠機組之獲利為 1600 元，故系統上壅塞管理的費用為 2700 元。圖右側則不考慮輸電線之最大傳輸能力，因輸電線無限制且匯流排 A 之用電負載為 300MW，故匯流排 A 之機組出力有能力滿足用電需求，而匯流排 C 之機組則因競標價格較高而不需出力，故各機組出力如圖所示，且市場價格為 7\$/MWh，經計算可得用戶所支付之用電費用為 4900 元，電廠機組之獲利為 4900 元，無壅塞管理費用。

比較圖 2.11 與圖 2.12，可以發現輸電線傳輸限制與否跟用戶所支付之用電費用無絕對關係，圖 2.11 用戶在無輸電線傳輸限制下比原本有限制條件下可以少支付 1200 元，而圖 2.12 則顯示用戶在無輸電線傳輸限制下比原本有限制條件下需多支付 600 元。

2-6 快速備轉容量費用

在電力系統調度運轉上，維持適當快速備轉容量(Spinning Reserve，簡稱 SR)是非常重要的，於運轉中當發生異常事故導致機組減載或跳機無法滿足負載需求時，擁有備轉容量服務之機組可以快速升載至系統所需。在美國自由化市場中之輔助服務項目裡，快速備轉容量定義為 10 分鐘內機組所能升載之能力，下面將說明自由化市場中如何計算快速備轉容量之輔助服務費用。

我們以一簡單範例說明快速備轉容量之輔助服務費用，假設現有一兩匯流排系統如圖 2.13 所示，1 號匯流排有機組 A、B、C，2 號匯流排有機組 D、E，兩匯流排分別有負載 220 及 140MW，而各機組之額定容量、運轉成本、最小出力及快速備轉容量能力如表 2.1 所示。

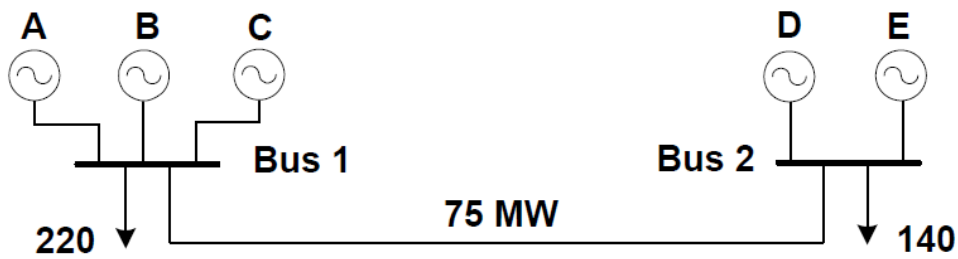


圖 2.13 兩匯流排系統範例圖

Unit ID	A	B	C	D	E
Capacity(MW)	110	120	130	140	150
Cost(\$/MWh)	50	40	30	20	10
Min Output(MW)	10	15	20	40	50
SR Capacity(MW)	22	24	26	28	30

表 2.1 兩匯流排系統機組參數表

首先不考慮快速備轉容量服務，並忽略傳輸線之傳輸限制，系統總負載為 360MW，以運轉成本較低之機組優先發電，故可以得知機組 E 出力 150MW，機組 D 出力 140MW，機組 C 出力 70MW，而市場價格為 30\$/MWh，各機組之出力堆疊圖如圖 2.14 所示，最下層表機組 C、D、E 之最小出力，X,3 表機組 X 之快速備轉容量，X,2 則為機組 X 之總容量扣除快速備轉容量與最小出力。

若考慮系統有 60MW 之快速備轉容量服務，則包含系統負載機組需準備 420MW，其中機組 C 出力 104MW，並提供快速備轉容量服務 26MW；機組 D 出力 112MW，並提供快速備轉容量服務 28MW；機組 E 出力 144MW，並提供快速備轉容

量服務 6MW，而機組 C 與機組 D 之運轉成本差即為快速備轉容量之輔助服務費用，此意即機組 C、D、E 均可獲得 20\$/MWh 之快速備轉容量之輔助服務費用，各機組之出力堆疊圖如圖 2.15 所示。

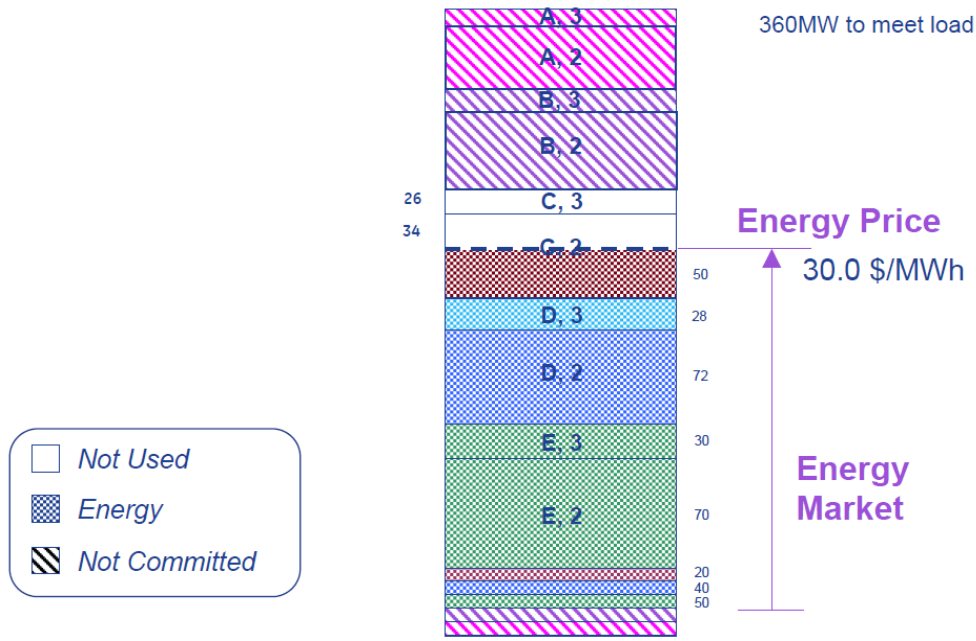


圖 2.14 未考慮備轉容量各機組出力堆疊示意圖

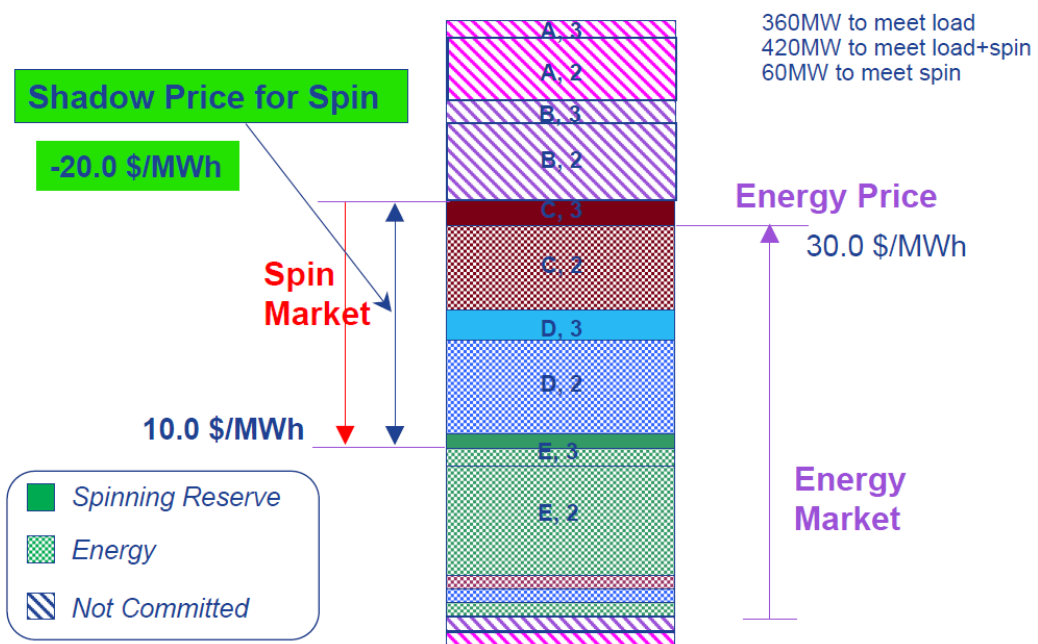


圖 2.15 考慮備轉容量各機組出力堆疊示意圖

2-7 機組競價技巧

在自由化電力市場中，如何透過市場競價過程取得最大利益一直是各發電廠努力的方向，如何提出適當之競標價格其考量點主要有以下幾點：

- 一、精算本身機組之發電成本：必須對於本身機組之燃料成本(Fuel cost)、啟動成本(Start-up cost)以及操作維護成本(Operation & Maintenance cost)有充分的掌握。
- 二、瞭解本身機組特性：必須知悉本身機組之運轉效率、最小停機時間以及升、降載率等。
- 三、掌握未來負載變化趨勢：唯有高度掌握未來系統負載預測才能在一日前電力市場(Day-ahead power market)中贏得對本身較有利之競標價格。
- 四、洞悉市面上各機組之運轉成本：從過去競標過程中分析市面上所有機組所可能提出的競標價格，從中分析其運轉成本，以作為對本身機組有利之競價指標參考。

綜合以上主要考量點，要提出適當之競標價格並不容易，不僅要瞭解本身機組之發電成本，更要分析市面上各機組所可能提出之競標價格，而對於負載預測之準確性更顯得格外重要，下面將舉一範例說明機組競標時所可能遭遇之情形，說明如何讓本身獲取最大利益。

假設目前電力系統中市面上共有 7 台機組參與市場競標，分別為機組 A、B、C、D、E、F、G，其中機組 C 及機組 E 屬於同一家發電公司 X，若機組競價結果如圖 2.16 所示，黑影斜線面積即為發電公司 X 之獲利。倘若發電公司 X 策略性將機組 E 之競標價格提高，並高於機組 G 之競標價格，則整個機組競價結果如圖

2.17 所示，因市場價格提高，機組 C 之獲利為 Increased Margin 面積加上原先機組 C 以上之黑影斜線面積，惟損失原先機組 E 之獲利，即 Lost Margin 面積，但因所增加之獲利(Increased Margin 面積)大於所損失之獲利(Lost Margin 面積)，故於此市場條件下發電公司 X 策略性將機組 E 之競標價格提高將可獲取較高利益。

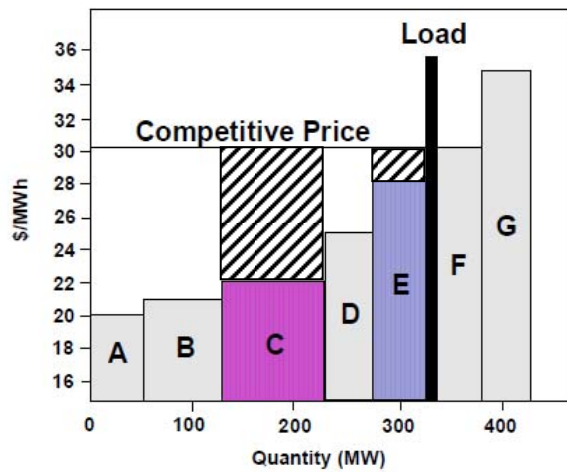


圖 2.16 機組競價情形範例一

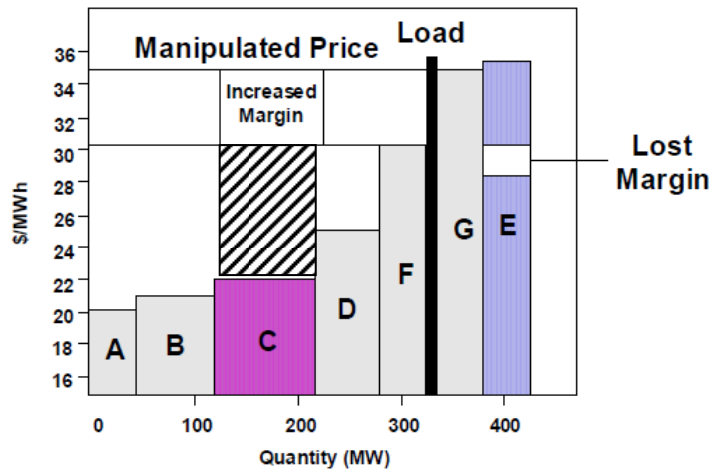


圖 2.17 機組競價情形範例二

第三章 負載頻率控制

3-1 前言

我國電力系統基準頻率為 60Hz，當電力系統負載變動或機組跳脫時，造成供電與負載需求不平衡，而產生頻率偏移，故需依賴頻率控制方式即時修正，並將頻率恢復至 60Hz。提高電力系統頻率品質一直是台電公司的績效指標之一，因其攸關精密工業與高科技產業之發展，若頻率過高或過低，超出發、輸、配電等相關設備之設計容許範圍時，將導致上述設備損壞，也會降低用戶供電品質，故保持頻率於安全範圍內($60 \pm 0.1\text{Hz}$)是相當重要的。

台電公司所採用之頻率控制方式有初級控制(Primary Control)與次級控制(Secondary Control)，當頻率偏移量超過設定值($\pm 0.03\text{Hz}$)時，各發電機組之調速機立即依照各自之速度調定率(Speed Droop)增加或減少發電機出力，亦即調速機自由運轉(Governor Free)模式，作為頻率之初級控制，先行修正頻率偏移，使供需達一平衡點；再藉由中央調度中心之電能管理系統(Energy Management System，簡稱 EMS)，依據各發電機組升/降載率大小順序與經濟調度原則運算後送出自動發電控制(Automatic Generation Control，簡稱 AGC)信號，重新調配發電機增加或減少出力，將頻率恢復至 60Hz。

本章將重點討論頻率初級控制之基本原理，即負載頻率控制(Load Frequency Control，簡稱 LFC)，影響負載頻率控制之主要因素有三，包含轉動慣量、負載阻尼及調速機效應，本章將在如后一一說明當負載變動時各項因素對於頻率變動的差異性。

3-2 轉動慣量

首先定義發電機與渦輪機的轉動慣量 $H = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \frac{\omega_0^2}{MVA_{Base}}$ ，圖 3.1 為轉動慣量、頻率與功率之控制方塊圖。

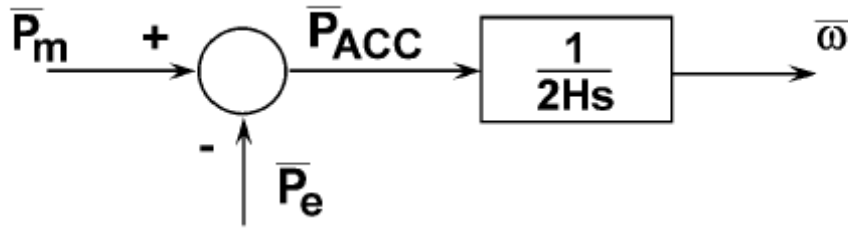


圖 3.1 轉動慣量、頻率與功率之控制方塊圖

假設發電機機械功率 P_m 為定值，負載變化量為 ΔL ，則

$$P_{ACC} = -\Delta P_e = -\Delta L$$

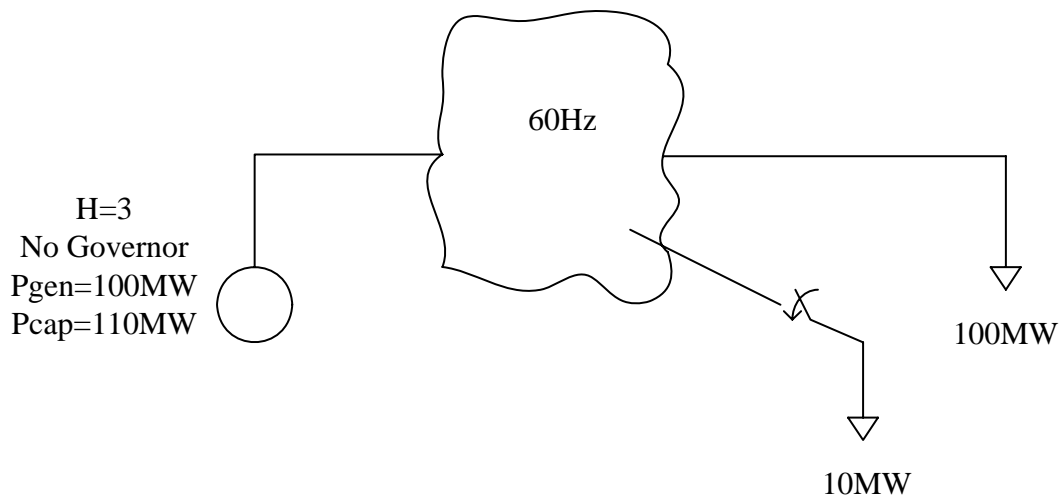
故由圖 3.1 可知

$$\Delta\omega(t) = \frac{1}{2H} \int_0^t (-\Delta L) dt = -\frac{\Delta L}{2H} t$$

且 $\omega(t) = 1 - \frac{\Delta L}{2H} t$ 。

例題 3.1 如下圖所示，正常時系統運轉於 60Hz，負載為 100MW，發電機出力為 100MW，發電機額定容量為 110MW，轉動慣量為 3。現若有某負載用戶增加用電 10MW，假設系統無調速機調頻控制：

- (1) 系統頻率下降幾 Hz/sec？
- (2) 1 秒後系統頻率變更為幾 Hz？
- (3) 2 秒後系統頻率變更為幾 Hz？



解：假設 $P_{Base} = 100MW$

$$\Delta L = \frac{10}{100} = 0.1 p.u.$$

$$-\frac{\Delta L}{2H} = -\frac{0.1}{2 \times 3} = -0.01667 p.u./sec$$

$$\therefore f_{drop} = 60Hz \times (-0.01667) = -1 Hz/sec$$

$$1 \text{ 秒後頻率} = 60 - 1 = 59Hz$$

$$2 \text{ 秒後頻率} = 60 - 2 = 58Hz$$

如果同例題 3.1 將轉動慣量 H 分別改為 1.5、6、9、12，重新計算(1)及(2)

問題，我們可以得到下表結果，故可以得知，發電機組轉動慣量越大，則系統頻率變動越小。

H	f_{drop} (Hz/sec)	1 秒後頻率
1.5	2	58
6	0.5	59.5
9	0.33	59.67
12	0.25	59.75

3-3 負載阻尼係數

電力系統中的負載 L 由許多不同元件所組成，其中包含電阻性負載及馬達負載(如風扇、交流機設備)，其中馬達負載會隨著頻率的變動而變化，我們可將電力系統的負載表示為

$$P_L(f) = L\left(\frac{f}{f_0}\right)^k = L\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^k = L\bar{f}^k = L\bar{\omega}^k$$

若負載為電阻性負載，則 $k = 0$ ，若負載為馬達負載，則 $k = 1 \sim 3$ 。馬達負載變化、頻率變化與 k 值之關係如圖 3.2 所示。

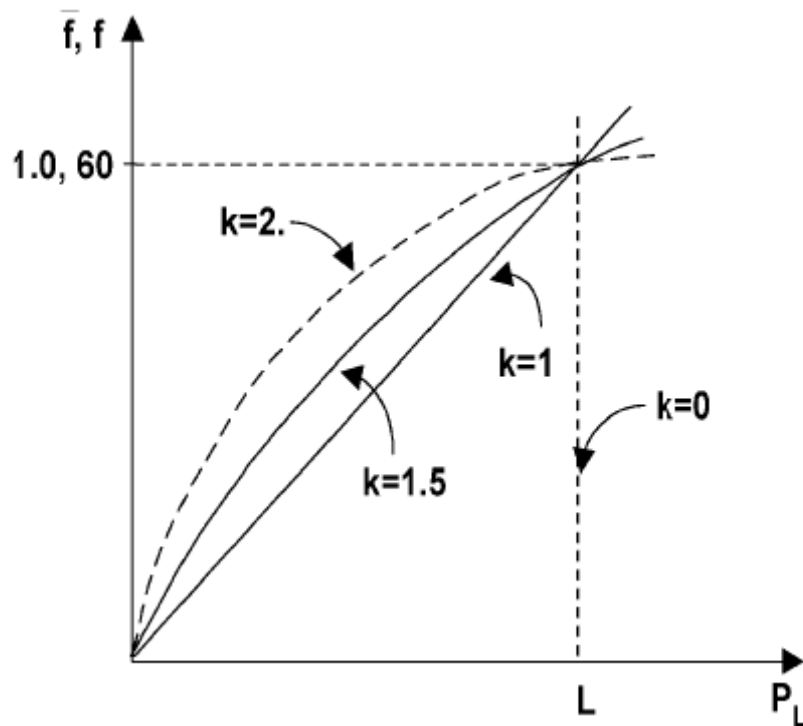


圖 3.2 馬達負載變化、頻率變化與 k 值關係圖

若我們將 $P_L(f)$ 於頻率 f 做線性化，則可以得到

$$\Delta P_L = L \left[k \frac{f^{k-1}}{f_0^{k-1} f_0} \right] \Delta f = L \frac{k}{f_0} \left(\frac{f_0}{f_0} \right)^{k-1} \Delta f$$

其中負載阻尼係數 D 可如下表示

$$D = \frac{\Delta P_L}{\Delta f} = \frac{k}{f_0} L \text{ (MW/Hz)}$$

而考慮轉動慣量及負載阻尼係數之頻率控制方塊圖如圖 3.3 所示。

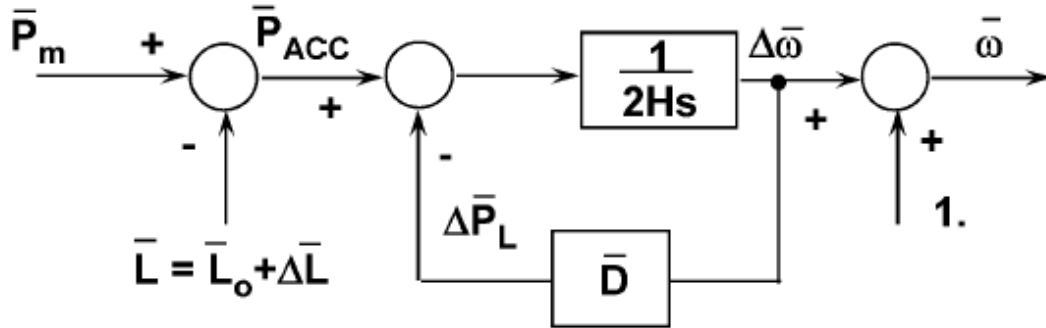
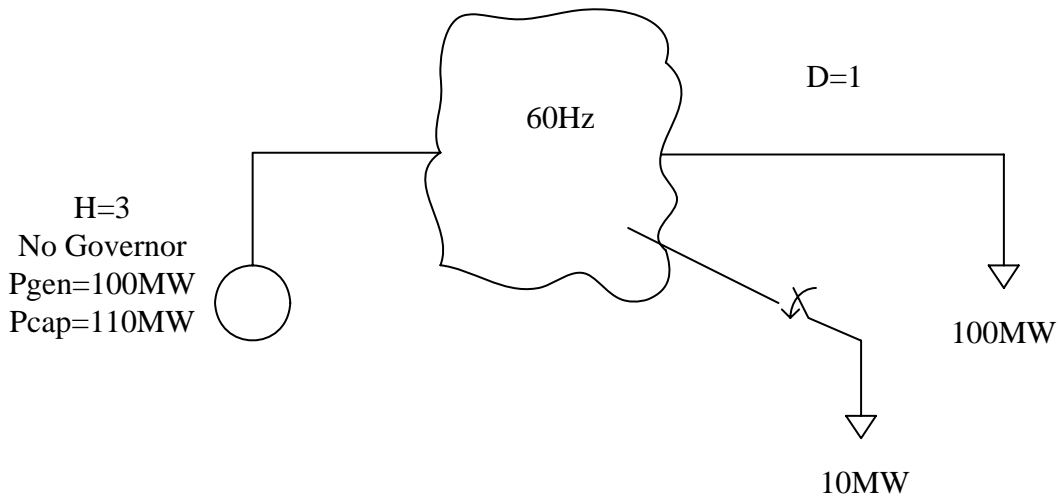


圖 3.3 轉動慣量及負載阻尼係數之控制方塊圖

例題 3.2 如下圖所示，正常時系統運轉於 60Hz，負載為 100MW，發電機出力為 100MW，發電機額定容量為 110MW，轉動慣量為 3，負載阻尼係數為 1。現若有某負載用戶增加用電 10MW，假設系統無調速機調頻控制，則系統頻率變更為幾 Hz？



解：假設 $P_{Base} = 100MW$

$$\Delta L = \frac{10}{100} = 0.1 p.u.$$

$$\Delta f = \frac{\Delta L}{D} = \frac{0.1}{1} = 0.1 p.u.$$

$$f_{drop} = 60\text{Hz} \times (-0.1) = -6\text{Hz}$$

$$\text{系統頻率 } f_{ss} = 60 - 6 = 54\text{Hz}$$

如果同例題 3.2 將負載阻尼係數 D 分別改爲 2、3、4、5，重新計算負載變化後之頻率，我們可以得到下表結果，故可以得知，負載阻尼係數越大，則系統頻率變動越小。

D	f_{ss} (Hz)
2	57
3	58
4	58.5
5	58.8

3-4 調速機

調速機主要有兩種型式，即恆速調速機(Isochronous Governor)與速度調定調速機(Droop Governor)兩種，兩者之差異在於恆速調速機可使系統頻率恢復至 60Hz 如圖 3.4 所示，而速度調定調速機則僅能將頻率修正至一接近 60Hz 之平衡點如圖 3.5 所示。

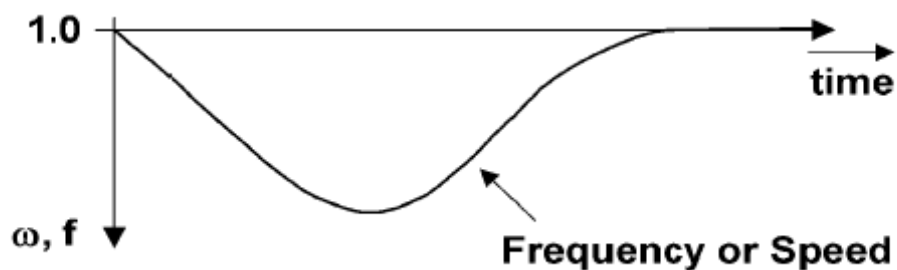


圖 3.4 恆速調速機之頻率控制示意圖

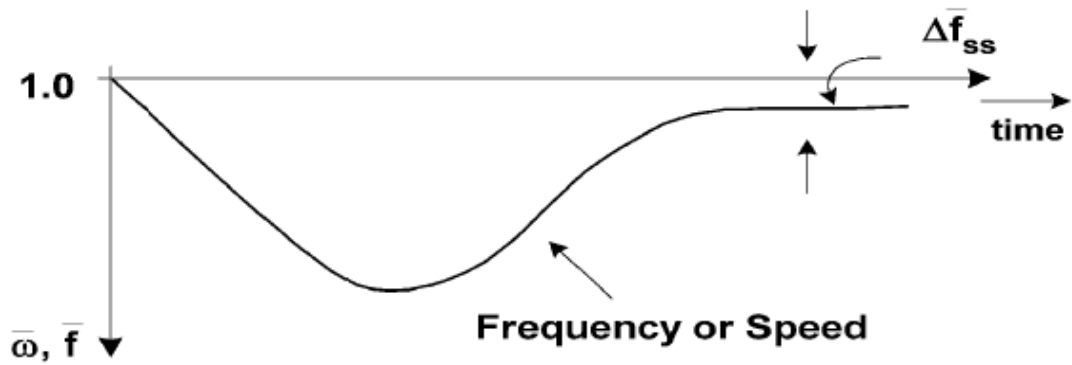


圖 3.5 速度調定調速機之頻率控制示意圖

小型電力系統若由單台恆速調速機來調整系統頻率將十分理想。此恆速調速機將吸收全系統負載變化，若超過一台恆速調速機來調整系統頻率，則會產生互斥效應，因恆速調速機本身無法適當分配全系統負載變化，故於大型電力系統中並無法應用恆速調速機來調整頻率，通常以速度調定調速機來調整頻率作為頻率之初級控制，先將頻率修正至接近 60Hz 之一平衡點，再由自動發電控制(AGC)作為頻率之次級控制將頻率恢復至 60Hz。速度調定率、負載變化與頻率之特性變化如圖 3.6 所示。

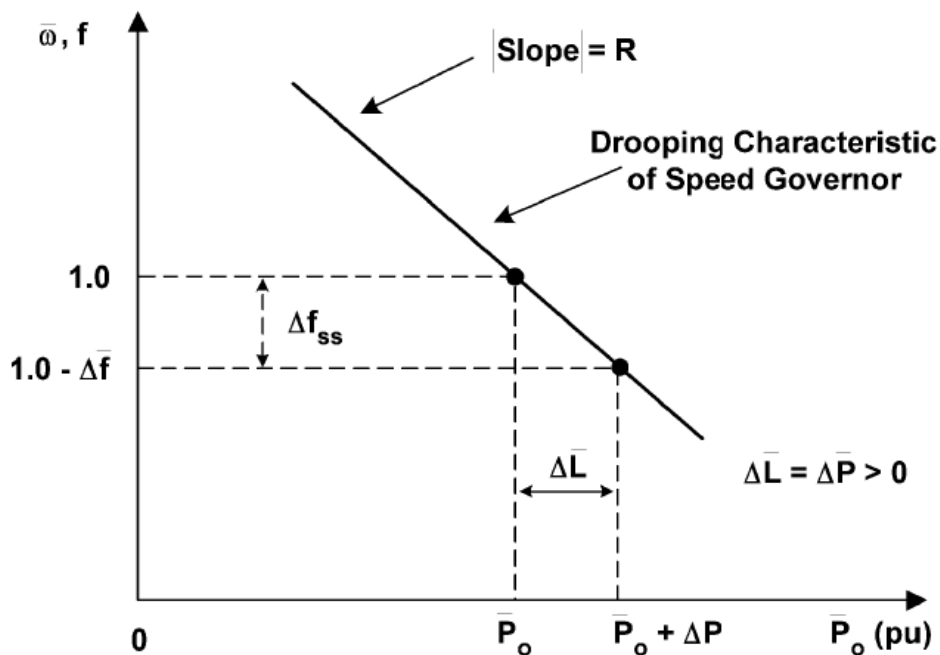


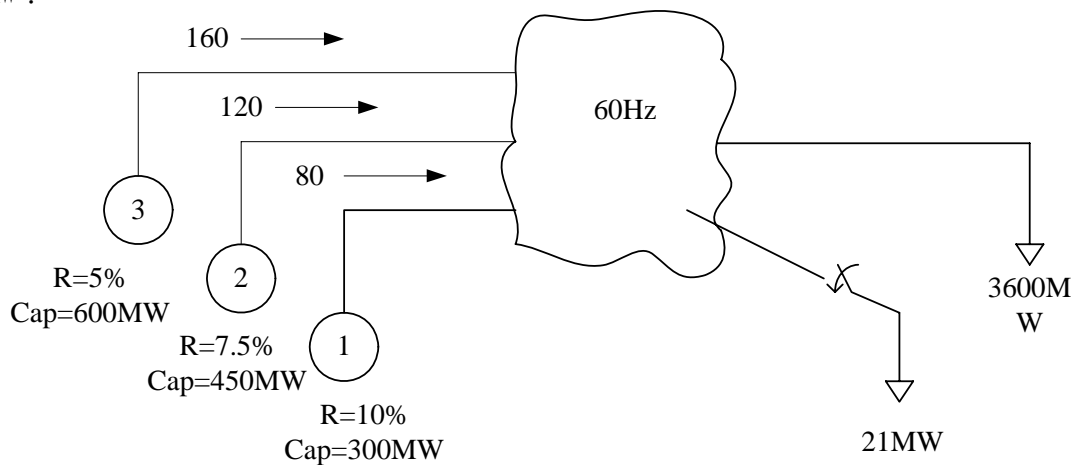
圖 3.6 速度調定率、負載變化與頻率之關係圖

首先我們假設負載阻尼係數 D 為零，則依圖 3.6 所示，發電機組的速度調定率 R 可決定在同樣的頻率變化下，不同機組之出力變化，速度調定率 R 可表示如下：

$$R = \frac{\text{頻率變化量}}{\text{機組出力變化量}}$$

由以上之公式可以看出在電力系統上，速度調定率設定較小的機組，其出力變化較大。

例題 3.3 如下圖所示，正常時系統運轉於 60Hz，負載為 360MW，發電機 G1、G2、G3 出力分別為 80MW、120MW、160MW；其額定容量分別為 300MW、450MW、600MW；其速度調定率分別為 10%、7.5%、5%。現若有某負載用戶增加用電 21MW，假設系統以調速機調頻控制，則系統頻率變更為幾 Hz？各發電機出力需調整為多少 MW？



$$\text{解： } R_{p.u.} = \left(\frac{\Delta f}{f_0} \right) \bigg/ \left(\frac{\Delta P}{P_{Cap}} \right)$$

$$\therefore \left(\frac{\Delta P}{\Delta f} \right) = \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{P_{Cap}}{f_0} \right)$$

G1： $R_1 = 10\%$ ， $P_{1Cap} = 300$ ，則

$$\left(\frac{\Delta P_1}{\Delta f}\right) = \left(\frac{1}{R_1}\right)\left(\frac{P_{1cap}}{f_0}\right) = \left(\frac{1}{0.1}\right)\left(\frac{300}{60}\right) = 50 \text{ MW/Hz}$$

G2 : $R_2 = 7.5\%$, $P_{2cap} = 450$, 則

$$\left(\frac{\Delta P_2}{\Delta f}\right) = \left(\frac{1}{R_2}\right)\left(\frac{P_{2cap}}{f_0}\right) = \left(\frac{1}{0.075}\right)\left(\frac{450}{60}\right) = 100 \text{ MW/Hz}$$

G3 : $R_3 = 5\%$, $P_{3cap} = 600$, 則

$$\left(\frac{\Delta P_3}{\Delta f}\right) = \left(\frac{1}{R_3}\right)\left(\frac{P_{3cap}}{f_0}\right) = \left(\frac{1}{0.05}\right)\left(\frac{600}{60}\right) = 200 \text{ MW/Hz}$$

得 $\Delta P_1 = 50\Delta f$; $\Delta P_2 = 100\Delta f$; $\Delta P_3 = 200\Delta f$

又 $\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 = 21 = 50\Delta f + 100\Delta f + 200\Delta f$

故 $\Delta f = 0.06 \text{ Hz}$; $\Delta P_1 = 3$; $\Delta P_2 = 6$; $\Delta P_3 = 12$

系統頻率變更為 $60 - 0.06 = 59.94 \text{ Hz}$

$$P_1 = 80 + 3 = 83 \text{ MW}$$

$$P_2 = 120 + 6 = 126 \text{ MW}$$

$$P_3 = 160 + 12 = 172 \text{ MW}$$

若負載阻尼係數 D 不為零，由 3-3 節， D 可表示為

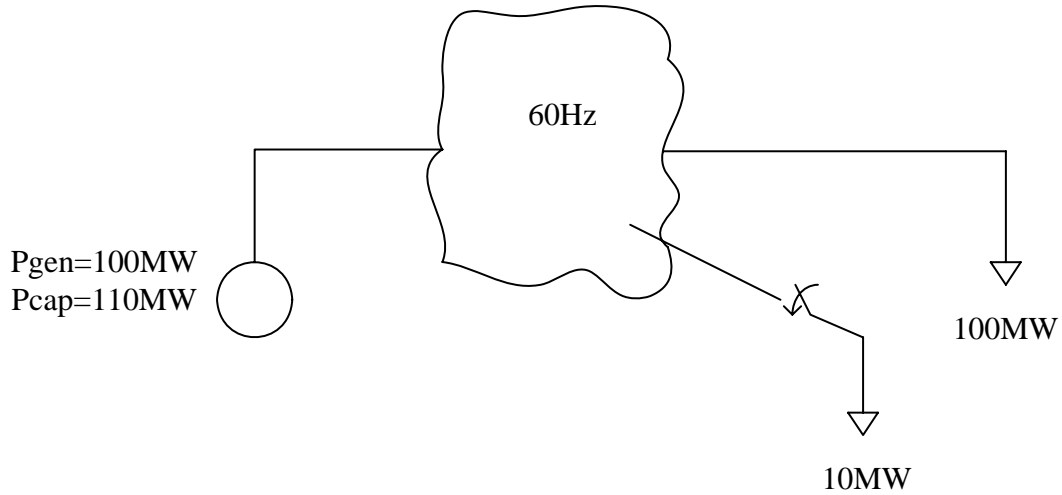
$$D = \frac{\Delta P_L}{\Delta f}$$

結合負載阻尼係數與調速機頻率控制對負載的影響，則可以得到如下的關係式

$$\Delta L = D\Delta f + \left(\frac{1}{R}\right)\Delta f$$

$$\text{所以 } \Delta f = \frac{\Delta L}{D + \left(\frac{1}{R}\right)} \text{。}$$

例題 3.4 如下圖所示，正常時系統運轉於 60Hz，負載為 100MW，發電機出力為 100MW，發電機額定容量為 110MW。今有某負載用戶增加用電 10MW，則



- (1) 假設系統無調速機頻率控制， $H=2$ ， $D=0$ ，則 1 秒後頻率變更為幾 Hz？
- (2) 假設系統無調速機頻率控制， $D=2$ ，則系統頻率變更為幾 Hz？
- (3) 假設系統有恆速調速機頻率控制，則系統頻率變更為幾 Hz？
- (4) 假設系統有速度調定調速機頻率控制， $R=4\%$ ， $D=0$ ，則系統頻率變更為幾 Hz？
- (5) 假設系統有速度調定調速機頻率控制， $R=4\%$ ， $D=2$ ，則系統頻率變更為幾 Hz？

解：(1) 假設 $P_{Base} = 110MW$

$$\Delta L = \frac{10}{110} = 0.0909 p.u.$$

$$-\frac{\Delta L}{2H} = -\frac{0.0909}{2 \times 2} = -0.0227 p.u./sec$$

$$\therefore f_{drop} = 60Hz \times (-0.0227) = -1.364 Hz/sec$$

$$1 \text{ 秒後頻率} = 60 - 1.364 = 58.636Hz$$

$$(2) \Delta f = \frac{\Delta L}{D} = \frac{0.0909}{2} = 0.0455 p.u.$$

$$f_{drop} = 60\text{Hz} \times (-0.0455) = -2.73\text{Hz}$$

$$\text{系統頻率 } f_{ss} = 60 - 2.73 = 57.27\text{Hz}$$

(3) 恆速調速機可使系統頻率恢復至 60Hz

$$(4) \left(\frac{\Delta P}{\Delta f} \right) = \left(\frac{1}{R} \right) \left(\frac{P_{Cap}}{f_0} \right) = \left(\frac{1}{0.04} \right) \left(\frac{110}{60} \right) = 45.833 \text{ MW/Hz}$$

$$\Delta P = 10 = 45.833 \Delta f$$

$$\therefore \Delta f = 0.2182\text{Hz}$$

$$\text{系統頻率 } f_{ss} = 60 - 0.2182 = 59.7818\text{Hz}$$

$$(5) \Delta f = \frac{\Delta L}{D + \left(\frac{1}{R} \right)} = \frac{0.0909}{2 + \left(\frac{1}{0.04} \right)} = 0.003367 \text{ p.u.}$$

$$f_{drop} = 60\text{Hz} \times (-0.003367) = -0.202\text{Hz}$$

$$\text{系統頻率 } f_{ss} = 60 - 0.202 = 59.798\text{Hz}$$

第四章 參訪行程

4-1 Fort Edward

奇異公司之 Fort Edward 工廠主要為生產電容器及各項改善電力品質產品之設備，而本項參訪行程主要為參觀該廠電容器之製造技術及生產線，其電容器之生產流程可如圖 4.1 所示，可分為 5 大步驟如下：

- 一、水洗儀器(Washing Machine)：主要用於清洗所有零組件。
- 二、濕乾儀器(Drying Machine)：主要用於將清洗完之各項零組件乾濕分離。
- 三、組件生產線：將所有零組件組合成一台電容器。
- 四、組裝生產線：將各台電容器組裝成一組電容器組。
- 五、試驗儀器(Testing Machine)：依客戶所需規範測試電容器組，每一需測試之電容器組均配掛試驗單(Testing Ticket)，記載客戶之規範，且 Testing Ticket 每週均配用不同顏色，用以區分進度，以避免出貨延遲。

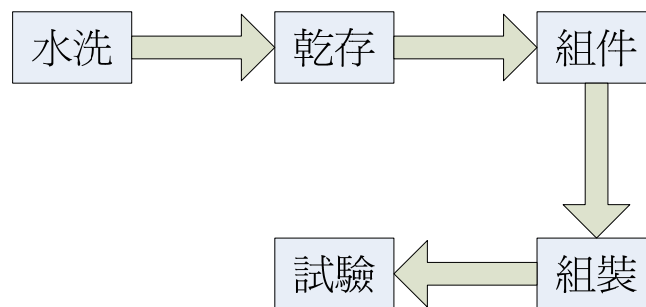


圖 4.1 電容器生產流程圖

該廠工作人員表示，電容器之生產工作日一般依電容器容量大小不同而有所增減，而一組電容器其平均生產工作日約 20 天，但其規範之制訂上往往依客戶之需求而進行多次修改，故需求規範之制訂與修改反而較生產線製造時程費時。

4-2 NYISO

紐約獨立系統調度中心(New York Independent System Operator，簡稱 NYISO)位於 Albany 附近之 Schenectady，其於系統中主要所扮演的角色有三：

- 一、維持高壓發、輸電網路之可靠運轉
- 二、管理開放性之自由化競爭電力市場
- 三、規劃未來紐約州之電源發展

其控制中心人員每班 5 人，電網調度員負責高壓輸電網路之監控；電源調度員負責維持發電與負載之供需平衡，並維持適當快速備轉容量；在自由化競爭電力市場上則由兩位值班員負責管理，其一掌管即時電力市場(Real time power market)；其二掌管一日前之電力市場(Day-ahead power market)；一位值班監督者則負責統籌所有調度事項。輪班方式每日 2 班，每班 12 小時，於每日的早、晚 7 點交班。

自 2000 年起，紐約洲之總裝置容量已增加共 7823MW，其各區域所增加之裝置容量發佈圖如圖 4.2 所示，其中約有 80%集中於東半部，截至 2010 年，紐約洲目前之發電燃料組成如圖 4.3 所示，系統總裝置容量為 37416MW，其中燃煤機組僅佔總系統裝置容量之 7%，相較於台灣的 21.86%要低上許多，而圖 4.4 為 NYISO 於 2009 年實際運轉之燃料別發電組成，其中再生能源比例佔總系統發電量的 22%，而在風力發電裝置容量的成長上如圖 4.5 所示，於 2006 年起每年均有所成長，2009 年更一舉較前一年成長 3 倍以上，足以可見當前 NYISO 對於綠色能源的重視，其效益更可以從空污的排放率連年持續遞減如圖 4.6 看出。

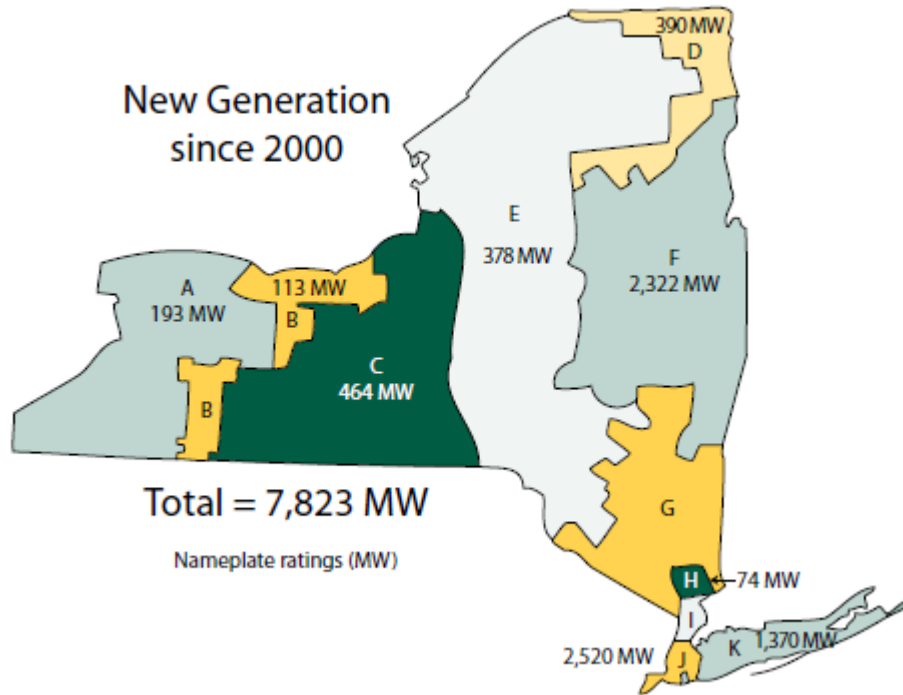
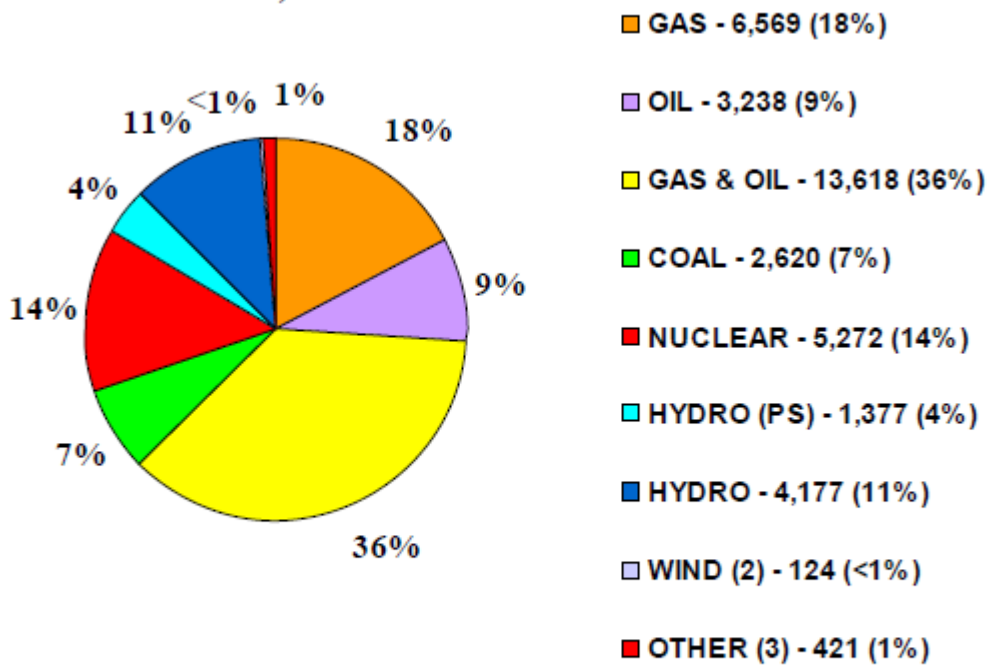


圖 4.2 紐約洲自 2000 年起裝置容量成長分佈圖

Summer 2010 = 37,416 MW

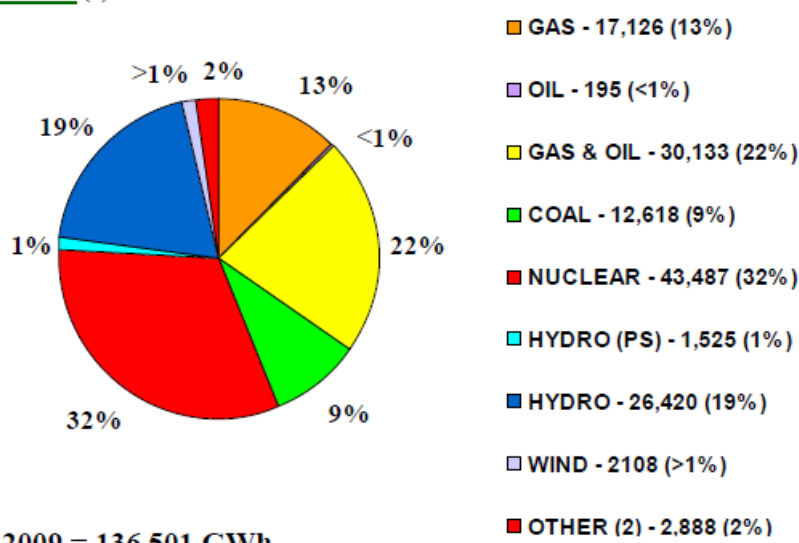


- (1) - All values are from the Summer Capability column in Table III-2 and are rounded to the nearest whole MW.
 (2) - Wind Generators - Summer Rating = 10% of Nameplate
 (3) - Includes Methane, Refuse, Solar & Wood
 (PS) - Pumped Storage

圖 4.3 紐約洲各燃料別裝置容量佔比圖

Renewable Resources (3)

Hydro	19%
Wind	1%
Other	2%
Total	22%



Total 2009 = 136,501 GWh

- (1) - All values are rounded to the nearest whole GWh.
- (2) - Includes Methane, Refuse, Solar & Wood
- (3) - Renewable Resources do not necessarily match the NYS Renewable Portfolio Standard (RPS) Definition
- (PS) - Pumped Storage

圖 4.4 紐約州 2009 年實際運轉之燃料別發電組成圖

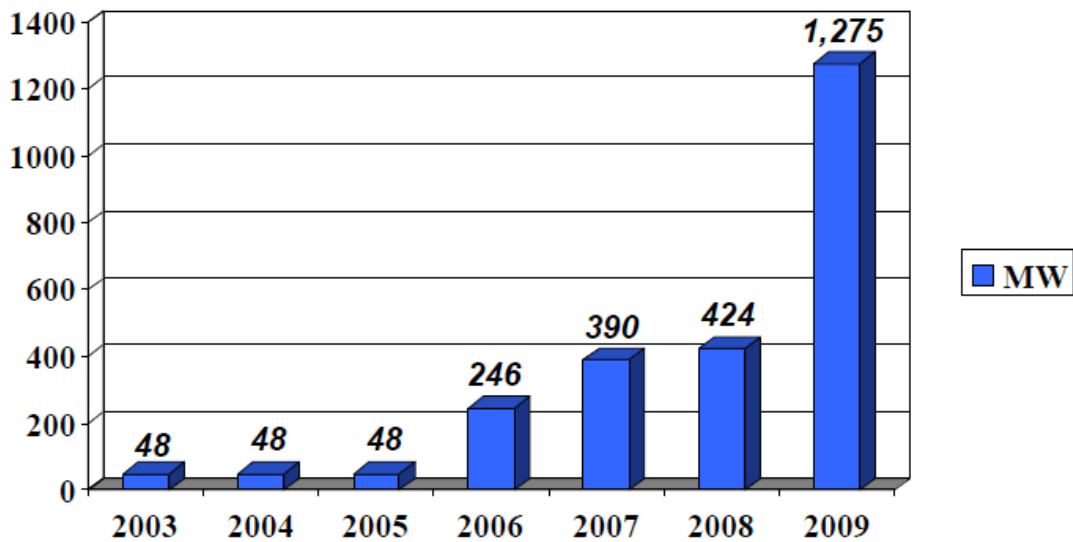


圖 4.5 紐約州風力機組裝置容量成長情形圖

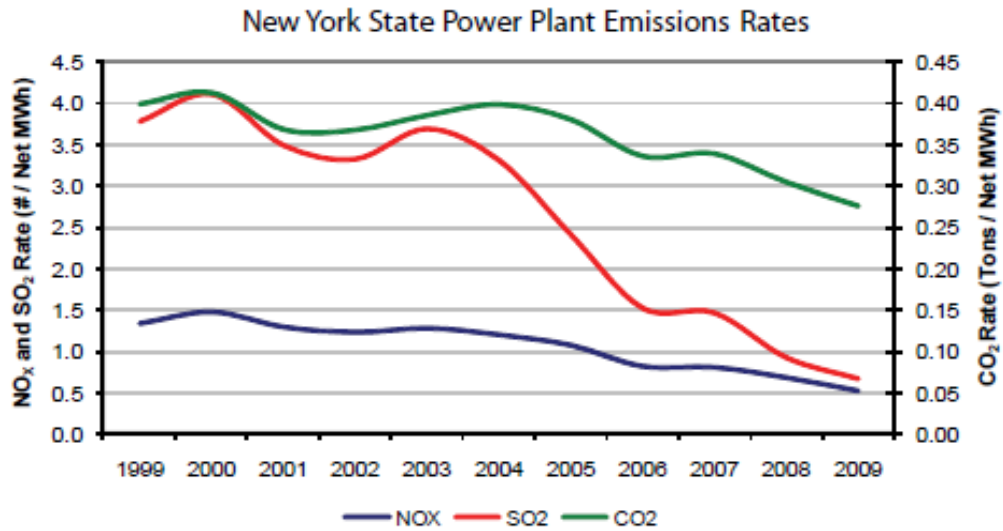


圖 4.6 紐約洲近年空污排放率比較圖

NYISO 在備轉容量(Spinning reserve)的要求需滿足總負載的 18%，而在運轉上即時的快速備轉容量(Operating reserve)需維持 1800MW 以上，另外在尖峰負載成長的部分如圖 4.7 所示，其並不像台灣有連年成長的趨勢，歷年最高尖峰負載發生於 2006 年 8 月 2 日。

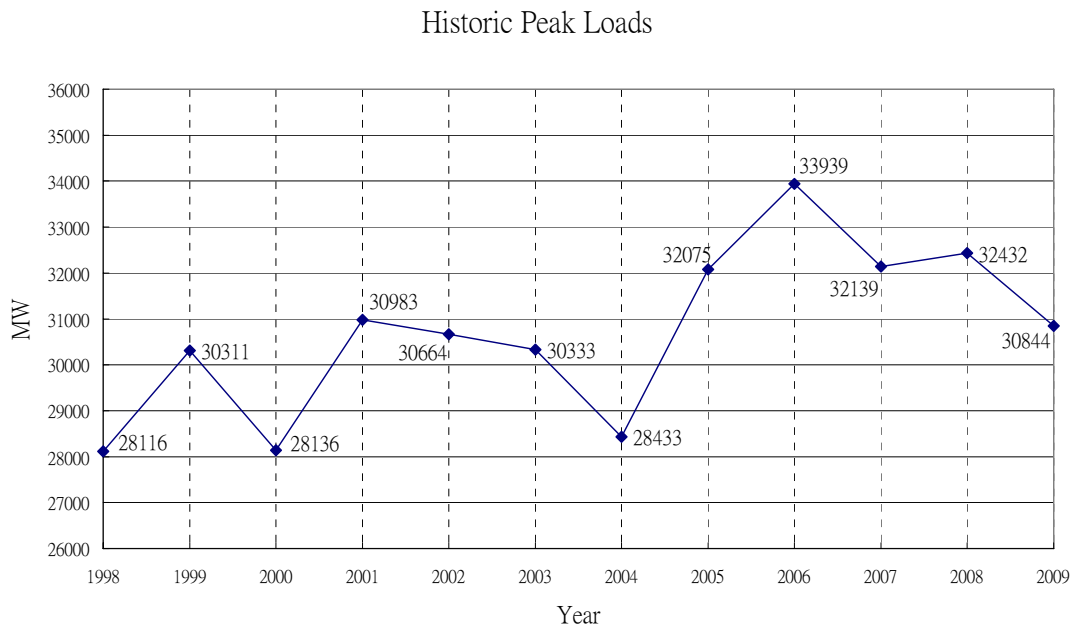


圖 4.7 紐約洲近年尖峰負載情形圖

圖 4.8 為紐約洲 2006 年 8 月 2 日歷史最高尖峰負載當日中午 12 點至晚上 8 點之負載曲線，紫色曲線表系統所需之實際負載量，紅色曲線表執行需量反應 (Demand response) 後之負載量，當日執行需量反應之總量超過 1000MW，足以可見在系統負載異常偏高，電源緊縮時期，需量反應之執行扮演相當重要的角色，可有效避免系統所面臨快速備轉容量不足而可能引發的缺電危機，而圖 4.9 即為紐約洲可執行需量反應之負載區域分佈，其總量為 2383.6MW，相較於台灣的 11.66MW 要高上許多。

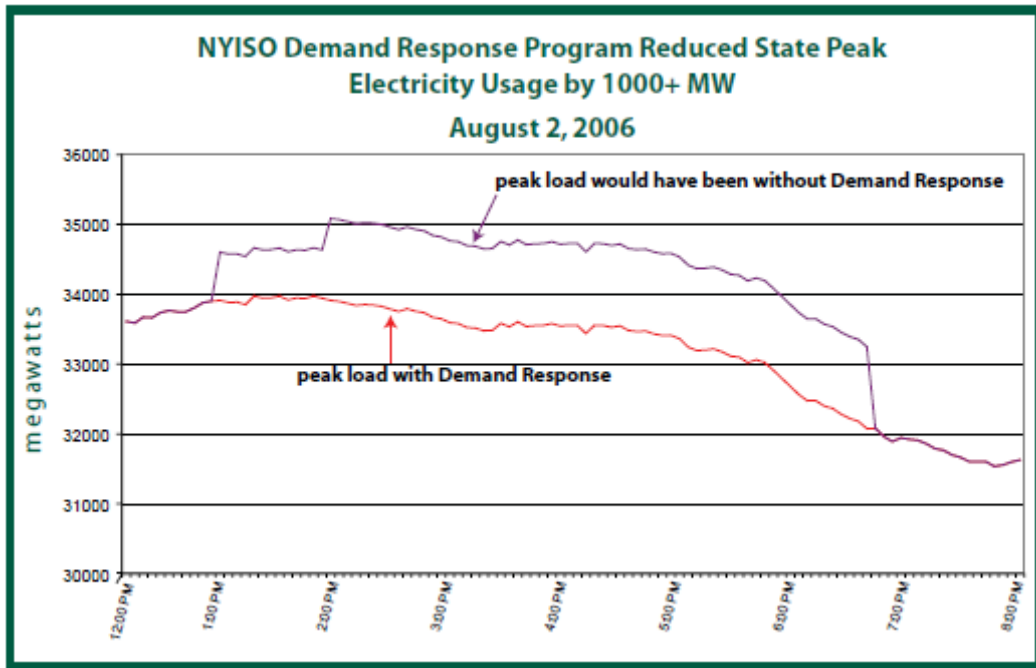


圖 4.8 紐約洲歷史最高負載當日中午 12 時至晚上 8 時之負載曲線圖

Demand Response Resources

Emergency Demand Response Program
and Special Case Resources
(MW by NYISO Zone)
August 2009

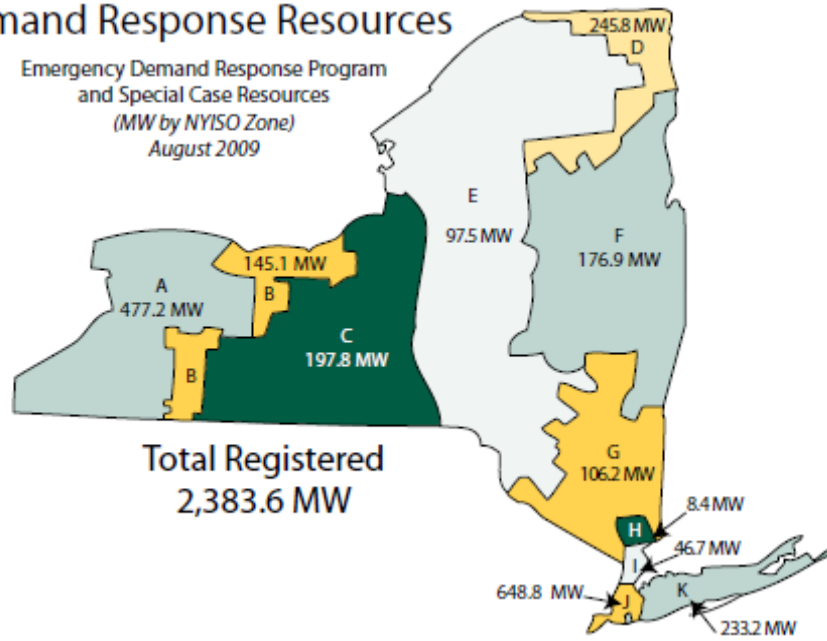


圖 4.9 紐約洲可執行需量反應之負載區域分佈圖

第五章 感想與建議

5-1 感想

本次能有幸前往美國奇異公司參與 PSEC 課程必須感謝公司各級主管對於本項計畫的支持，並提供如此絕佳之學習機會，本項計畫對於職的實質助益大致可以歸納為以下幾點：

- 一、 語言再進化：出國前首先就必須先跟奇異公司這邊的聯絡人辦理註冊、簽證及租屋等相關事宜，連續往返之英文信件也是個人第一次與外國人通信，讓職有接受磨練的機會，抵達美國後，不管在課堂上或是生活上英文更是唯一語言。在課堂上，長時間的聽講有助於聽力的增長，閱讀所編列之講義有助於增進閱讀能力；在生活上，不管是購物或是用餐，更是讓本身之英文聽、讀、說能力大大增加。記得剛到美國時到餐廳用餐菜單幾乎都看不懂，隨著每次點錯餐的經驗也無意間讓自己的字彙能力增強，不同的環境確實可以逼迫你不得不學習。
- 二、 電力系統知識再進化：奇異公司所規劃之 PSEC 課程內容涵蓋範圍極廣，舉凡調度運轉、系統規劃、系統安全性分析、財務會計、機組模型、自由化市場、再生能源等均有涉獵，本項課程可以說是國內大學研究所課程之加強版，而其亦安排相關工廠、調度中心等之參訪行程，對於己身專業能力之提升有莫大幫助。
- 三、 與他國學員交流，拓展國際觀：本項 PSEC 課程除了於課堂上由講師授課外，亦根據授課內容安排分組討論、競賽，讓各國不同工作背景學員可以相互瞭解對於同一問題的想法，相互取長補短而獲取最佳的答案或結果，而除

了課堂上，於課餘休息時間或用餐時間亦有機會與他國學員相互分享各國文化、生活、工作等各方面寶貴經驗，讓本人對於國際人文社會有更深刻的體會與認知。

四、培養解決問題的能力：學習如何在美國活下去是職剛到美國後最重要的課題之一，由於個人之前從未前往過歐、美國家，對於其生活文化一概不知，而美國人的辦事能力更讓職感到不可思議；不論是租屋、租車、銀行帳戶申請、網路申請問題層出不窮，美國人似乎只要學會說「I'm sorry!」、「I don't know!」就可以讓你拿他沒輒，故於美國生活不只可以培養自己解決問題的能力，也因為如此讓職對於所有事情的處理變得更加的謹慎，以避免不必要的狀況發生。

五、學習保持樂觀的思維：在長時間與美國人實際的接觸過後，可以發現絕大部分的美國人不論是在生活上或是工作上均保持樂觀的態度，較不會有對於某件事情斤斤計較的問題，而從長時間定居於美國的親朋好友口中亦得知美國人雖然一般收入遠高出於台灣，但因其稅金制度及小費文化，往往僅能達到收支的平衡，較不容易有大幅增加財富或儲蓄的機會，儘管如此，大部分美國人在工作上依然保持樂觀的態度，較不會去抱怨薪資的多寡，往往能甘之如飴；台灣則反之，往往因升遷而造成同僚之間的人情失和，故學習把財富擺在一邊，保持樂觀的思維，把自己快樂的心境感染到你周遭附近的人，可以讓自己的生活更美好，而個人在本次的美國行亦有深刻的體會。

六、建立人與人之間的信任感：美國人對於信用卡的使用模式與台灣有所不

同，以台灣為例，我們往往在消費完後列出總金額明細再由消費者簽單確認，而在美國以自身在租屋、租車及餐廳用餐的例子，均是以信用卡先進行過卡後再由服務業者執行扣款動作，故本身在租屋或是租車的費用，往往不瞭解其扣款時間，以及扣款費用是否正確，而在餐廳用餐，則是先過卡後再填寫小費費用，在你離開餐廳後才進行扣款，所以當下無法查知所扣款數是否正確，所以美國這種信任制度讓職剛到美國時還真有點不適應，不過久而久之也便習以為常，也更容易去信任別人。其實人與人之間的彼此信任是很重要的，以工作為例，主管必須信任下屬有處理事情的能力，而下屬又必須信任主管有領導及危機處理能力，如此工作團隊才能對於交辦事項事半功倍。

七、學習主動的互助精神：本次受訓個人亦利用些許課餘時間造訪參觀鄰近之大城市，也讓職感受到其實美國人是非常熱心的，當自己拿著當地城市的旅遊地圖，站在大馬路邊研究著該往哪個方向時，有時總會得到美國人熱心的關切與詢問，而不管是在地鐵或是公車的搭乘，雖然本身對於路線不熟悉，但總能得到適當地協助而到達正確的地點，故美國人主動的互助精神是值得我們學習的。在工作上，同儕之間應給予相互幫助與支援，以本次受訓為例，公司包含職本身在內派 2 員參訓，在生活上或是課業上彼此間的相互幫助更顯得格外重要，畢竟來自於同一國家在語言上比較沒有隔閡，兩兩互助也讓我們在生活上及課堂上更佳地順利。而近幾年來公司陸續吸收許多新進同仁，主動並適度地給予新進同仁該有的關心與幫助更是較資深員工的基本要求。

5-2 建議

- 一、持續派員參與本項 PSEC 訓練課程：如前一小節所述，本項課程對於參訓學員幫助甚大，不管是生活上、工作上及本身的思考邏輯、知能管理上均有相當大的幫助，除不應取消本項出國計畫外，更應增派參訓學員以提供本公司員工更多出國學習的機會，以亞洲鄰國日本為例，本年度派員多達 10 位之多，而本公司之經營目標在於成為卓越之世界級電力事業集團，更不能自我放棄與國際接軌的機會。
- 二、加強本公司員工對於自由化電力市場的專業認知：本公司基層員工對於自由化電力市場的專業領域普遍不足，雖然目前台灣在關於電力自由化法案的推動上不如預期，或許在短期內仍會維持現況，不會有市場競爭的機制產生，但個人相信在長遠的將來電力自由化仍會是必然要走的方向，故本公司仍應重視培養有關電力自由化專業領域的人才。從第二章節美國自由化市場的競爭機制，我們已經學習到透過機組競標機制來決定市場價格，而學習如何提供一個合理的競標價格並創造己身最大利益更是重要的課題。依亞洲鄰國韓國於 2001 年起開放電力自由化市場競爭機制為例，其發電機組部分將原屬於韓國電力公司(Korea Electric Power Corporation，簡稱 KEPCO)所有發電廠依地域、容量及燃料別切分為 6 家發電公司，彼此透過電力市場參與競價，KEPCO 僅擁有輸電線對用戶售電，而電源調度及市場價格的監控則由韓國電力交換中心(Korea Power Exchange，簡稱 KPX)負責。倘若台灣未來亦走向類似韓國的自由化模式，台電公司所有電廠切分為數家電力公司，則勢必將需要一批專業的市場競價小組於各發電公司負責提出適當地競標價

格，而如同 KPX，亦需要一批熟悉市場運作機制的調度員負責調度電源及市場價格監控。電力自由化的成敗與否與台灣經濟密切相關，故我們應該要格外重視先期電力自由化領域的專業人員培育，以期未來真正開放電力自由化時可以迅速達到供需雙贏的局面。

三、定期測試本公司調速機自由運轉(Governor free)調頻功能：頻率控制的良窳一直是本公司重要的績效指標之一，而本公司在頻率控制則區分為初級控制與次級控制，初級控制為調速機自由運轉；次級控制為自動發電控制(AGC)。目前本公司對於自動發電控制功能的測試已有程序書明訂各機組於大修完成後兩週內需執行自動發電控制功能測試，而關於調速機自由運轉功能試驗則尚未有程序書的制式化書面規範。從第三章節負載頻率控制議題中，我們已經瞭解到調速機自由運轉在頻率控制中佔有舉足輕重的地位，故定期測試本公司調速機自由運轉之調頻功能並確保其功能的正常性是必然要達成的目標。

四、持續推動需量反應政策：紐約洲的裝置容量與尖峰負載其實與台灣相去不遠，但其需量反應之總量卻遠高出於台灣，從第四章節所提到 NYISO 的運轉實績，於其 2006 年 8 月 2 日的歷史最高尖峰負載，其需量反應之總效益超過 1000MW。利用較低成本的需量反應價格來換取尖峰時段高燃料成本的機組不僅符合經濟效益，且在安全性上，於電源緊縮時期更可以維持適當的備轉容量，可以有效避免尖載時段因機組跳機而可能造成的缺電危機，故本公司仍應持續推動需量反應政策，研擬相關配套措施並提供用戶更大的誘因，以拓展需量反應之總量。

五、持續開發再生能源：近年來國際間環保意識已逐漸增長，各國在再生能源的發展上更是不虞餘力，以 NYISO 為例，2009 年風力機組總裝置容量更較前一年成長 3 倍以上，而低碳能源一直都是我國能源政策的目標之一，其中離島地區澎湖一直被認為蘊藏著豐富的風能資源，若能有效規劃並建立風力發電廠，再利用海底電纜將電力送回台灣本島是可以評估的選項，由於風力發電仍屬一種不穩定的電源，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，如何進行大容量風場系統衝擊分析，從簡單的設備保護到電壓、無效電力的控制，乃至利用軟體模擬風機特性與模型參數，進行暫態穩定度、系統阻尼之分析，已是當前所需努力的課題之一，值得深入研討。

參考文獻

- [1] Allen J. Wood, and Bruce F. Wollenberg, Power generation operation and control
- [2] John J. Grainger, and William D. Stevenson, jr., Power system analysis
- [3] Prabha Kundur, Power system stability and control
- [4] Steve Barnes, and Sandy Murdoch, Power generation control and excitation
- [5] Beth LaRose, Global power markets
- [6] Sundor Venkataraman, U.S. electric power industry
- [7] Steve Oltmanns, Utility economics and power systems operation
- [8] Gene Hinkle, Deregulated power markets
- [9] Chris Stammen, Competitive power generation
- [10] Load frequency control and performance, UTCE
- [11] 發電廠電力系統負載頻率控制設備之運轉規範, TPC
- [12] 調速機(Governor)運轉規範, TPC
- [13] 施有為，電力系統之頻率特性
- [14] Cheng-Yi Tu, Lih-Lang Tsai, Chung-Fu Tseng, Hsu-Min Lei, and Yu-Wei Shih
Promoting the power system frequency quality