

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：台電電力調度處

出國人職 稱：電機工程師

姓 名：徐 唯 耀

出國地區：美國

出國期間：102.08.07~102.12.12

報告日期：103.1.21

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班

頁數 66 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：

徐唯耀/台灣電力公司/電力調度處/電源計劃員/2366-6294

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他

出國期間：102年8月7日~102年12月12日 出國地區：美國

報告日期：103年1月21日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、電動車(Electric Vehicles)、全球電力市場(Global Power Markets)、風機實功控制(Wind Curtailment)、自由化電力市場(Deregulated Power Market)

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), 至已有 64 年歷史, 本期為第 65 期訓練班, 本訓練課程包含電力系統基本原理分析、輸電線潮流與暫態穩定度分析、突波分析、無效電力與電壓控制、保護電驛原理、發電機原理與控制、電力系統動態分析、電力電子元件應用、配電系統規劃、全球電力市場、美國電力產業介紹、電廠財務分析、電力公司經濟策略、機組運轉及競爭策略、負載管理與動態價格、燃料市場機制介紹、再生能源及新興發電技術之介紹等。

受訓期間與國外各知名電力公司派訓人員交流各項規畫及運轉理念, 並實地參觀奇異公司研究發展中心、紐約調度中心以及 Beacon Power 公司, 以達成理論與實務相輔相成之目的。

報 告 內 容

<u>一、出國緣由與目的</u>	1
<u>二、出返國行程</u>	2
<u>三、誌謝</u>	3
<u>四、心得與建議</u>	4
<u>五、電力系統工程班課程摘要</u>	9
5-1 第一部分：電力系統基礎課程.....	10
5-2 第二部分：電力系統規劃與應用.....	15
5-3 第三部分：能源經濟、電力市場及系統規劃策略.....	22
5-4 第四部分：新興發電技術及分析.....	32
<u>六、電動車發展及對電力系統之影響</u>	46
<u>七、參考文獻(攜回資料)</u>	57
附錄一 2013 PSEC 受訓學員合照	
附錄二 2013 PSEC 課程講師合照	

圖目錄

<u>圖一 電力系統設施建設流程</u>	11
<u>圖二 無效功率的來源與支出示意圖</u>	13
<u>圖三 2013 PSEC 1st Quarter 學員合影</u>	14
<u>圖四 保護電驛規劃原則示意圖</u>	15
<u>圖五 電力系統穩定度分類</u>	16
<u>圖六 世界各國電力系統使用之電壓與頻率</u>	18
<u>圖七 400MW 離岸高壓直流傳輸系統站台</u>	20
<u>圖八 2013 PSEC 2nd Quarter 學員合影</u>	21
<u>圖九 全球電業管制程度示意圖</u>	23
<u>圖十 2012 年韓國電力裝置容量-依燃料別統計</u>	25
<u>圖十一 2024 年韓國電力裝置容量-依燃料別統計</u>	25
<u>圖十二 美國各州再生能源配額目標(RPS)</u>	26
<u>圖十三 不同類型的機組其成本與特性比較</u>	27
<u>圖十四 2013 PSEC 學員至紐約州調度中心 NYISO 參觀合影</u>	32
<u>圖十五 零售市場(Retail Markets)收費價格方式</u>	33
<u>圖十六 化石燃料價格變動示意圖</u>	34
<u>圖十七 全球能源需求示意圖</u>	35
<u>圖十八 能源需求成長趨勢</u>	36

<u>圖十九 全球各燃料別發電佔比</u>	37
<u>圖二十 北美新增之電廠裝置容量來源</u>	37
<u>圖二十一 分布式能源的組成示意圖</u>	39
<u>圖二十二 全球各主要地區再生能源目標</u>	41
<u>圖二十三 再生能源裝置容量累計及單位成本趨勢示意圖</u>	42
<u>圖二十四 風機縮減出力後提載測試(一)</u>	43
<u>圖二十五 風機縮減出力後提載測試(二)</u>	44
<u>圖二十六 風機在低頻之頻率反應能力</u>	44
<u>圖二十七 風機在高頻之頻率反應能力</u>	45
<u>圖二十八 未來車輛市場動力來源輪廓</u>	46
<u>圖二十九 2011-2015 年美國電動車充電站數量</u>	46
<u>圖三十 不同燃料別車輛對應油價之成本分析</u>	47
<u>圖三十一 電動車與內燃機汽車油價、電價比較示意圖</u>	48
<u>圖三十二 佛羅里達未來電動車數量與電能消耗</u>	48
<u>圖三十三 電動車發展對汽油需求減少評估</u>	49
<u>圖三十四 佛羅里達夏季與冬季負載示意圖</u>	49
<u>圖三十五 佛羅里達居民充電時段與理想充電時段差異</u>	50
<u>圖三十六 電動車佔整體車輛佔比對電能的消耗佔比</u>	51
<u>圖三十七 不同電力公司採用的充電收費價格</u>	52

<u>圖三十八 模擬案例之全年電能生產來源</u>	52
<u>圖三十九 有無電動車對系統機組發電之影響</u>	53
<u>圖四十 不同控管電動車方式對應系統負載變化</u>	53
<u>圖四十一 智慧型充電方式對機組排程變化示意圖</u>	54
<u>圖四十二 不同電動車充電控管方式對應之系統邊際成本</u>	54
<u>圖四十三 不同電動車充電控管方式對系統碳排放之影響</u>	55

表 目 錄

<u>表 1 PSEC 受訓行程表</u>	2
<u>表 2 2013 PSEC 受訓學員名冊</u>	6

一、出國緣由與目的

本公司電力系統日趨龐大、複雜，且未來面臨電業自由化及再生能源大量加入系統等挑戰，深切體會電力專業知識須加強之必要，而如何在安全運轉、品質優良、節能減碳與經濟調度間操作為調度運用人員努力目標。

電力市場之自由化是目前全球化的趨勢，我國政府則積極鼓勵獨立發電業(IPP)及風力、太陽能等再生能源科技之設立，在未來提供充分之低碳電力供應，智慧型電網(Smart grid)的運用亦被廣泛討論，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。

本項訓練課程包含全球電力市場、輸電系統的分析與規劃、經濟調度、電廠財務模型與評估、發電及輸電策略、智慧型電網、自由化後之議題及新能源科技等相關課程，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自由化及新能源技術等專業知識，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理念，俾利強化既有電力系統專業能力，吸取國外之經驗及技術。

二、出返國行程

本出國計畫編號為「102 年度出國計畫第 042 號」，前往紐約州斯堪那堤斯城市(Sechenectady)參加美國奇異公司電力系統研習班，出國天數共計 128 天(102 年 8 月 7 日至 102 年 12 月 12 日)，上課時間為 102 年 8 月 9 日至 102 年 12 月 9 日)，課程名稱為 Power System Engineering Courses)，簡稱 PSEC，行程如下表所示：

表 1 PSEC 參訓行程表

去程期間:	
102 年 08 月 07 日(三)	台北 Taipei →舊金山(SFO) →芝加哥(ORD) →
102 年 08 月 08 日(四)	奧爾巴尼(ALB) →斯堪那堤斯(Sechenectady)
實習期間:	
102 年 08 月 09 日(五)	美國奇異公司電力系統研習班
102 年 12 月 09 日(一)	
返程期間:	
102 年 12 月 10 日(二)	斯堪那堤斯(Sechenectady) →奧爾巴尼(ALB) →
102 年 12 月 12 日(四)	芝加哥(ORD) →舊金山(SFO) →台北 Taipei

三、誌謝

本次出國計畫能順利成行，特別感謝總經理、莊副總經理光明、藍處長宏偉、吳副處長士襄、張副處長木軍、吳組長進忠、高專工孟甫、范專工正、石課長連柱等各位長官的支持與鼓勵，本人謹致上最誠摯的謝意。

另外亦感謝林工程師琦軒、葉工程師宏志於出國前提供辦理出國手續之經驗及當地生活注意事項；感謝當地僑胞陳醫師英仁給予在美國生活上之協助；感謝楊工程師賀翔、謝工程師佳霖及胡工程師宗豪於出國期間內代理職務，使課內業務能順利推展；感謝曾參與 PSEC 課程的長官及同仁，奠定本公司在此訓練課程中的良好口碑；最後感謝本處全體同仁的良好表現，獲得公司認同得以繼續支持本出國計畫。

四、心得與建議

- (一) 感謝公司提供英文進修機會，本人參加第 38 期英語訓練計畫，上課內容著重於語言表達能力訓練，有別於傳統英文教育僅針對聽、讀、寫的考試方向，口語英文訓練對於本次出國計畫與各國電力公司派訓人員交流幫助甚多，偶後派訓本出國計畫之人員如對英語表達能力信心不足，建議可參加公司相關英文進修課程。
- (二) 本課程授課方式與國內大學授課方式不同，課堂中學員勇於發問問題，講師多能回應或提供資訊，各國參訓人員依國內經驗相互交換意見，課堂上經常性的分組討論或進行小組競賽增加互動性促進交流。上課時間為早上 8:00 開始至下午 4:00 或 5:00，中間有一小時的午餐時間，由於英文非本國官方語言，需要維持專注力聽課，課餘時間建議培養運動習慣。因當地幾乎沒有華人居住，飲食方面如無法適應美式飲食，須至附近華人城市採買食材及生活用品，出國前建議換取國際駕照及學習基本料理，確保身體健康及飲食均衡，為學習奠好基礎。
- (三) 奇異公司所規劃之 PSEC(Power System Engineering Courses) 課程，內容涵蓋範圍相關廣泛，除電力系統基本原理分析、

輸電線潮流與暫態穩定度分析、突波分析、無效電力與電壓控制、保護電驛原理、發電機原理與控制、電力系統動態分析、電力電子元件應用、配電系統規劃外，亦有公司近來積極推動的自由化相關議題，如全球電力市場、美國電力產業介紹、電廠財務分析、電力公司經濟策略、機組運轉及競爭策略、負載管理與動態價格、燃料市場機制介紹、再生能源及新興發電技術之介紹等課程，公司基層員工對於自由化電力市場專業認知普遍不足或僅了解有關自身業務部份。當前台電因無法反映電價造成之虧損問題，導入市場自由化機制是解決此問題的方法之一，建議公司重視培養有關自由化專業領域之人才，員工應對自由化市場應有全面的基礎認知，了解自由化對台灣的意義，知道自由化是要解決甚麼問題。

(四) 此次受訓共有 5 位學員參加全期四個半月之課程，分別來自日本 2 位、韓國 2 位、台灣 1 位，另有約 14 人(含調度處 1 位)參加一至二個月之短期課程，學員多為機械或電機背景之各國電力公司員工，職務則涵蓋電力調度、電網規劃、火力電廠運轉維護、發電、輸電、配電等亦有卡達天然氣公司派員參與課程，學員名冊如下表所示：

表 2 2013 PSEC 參訓學員名冊

學員	公司	國家
Abdulraheem Ayed Mohammad Algarni	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Ahmad Ghormallah Mohammad AlGhamdi	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Bandar Salem Menawer AlHarbi	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Bandar Abdulrahman Safed AlHazmi	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Ahmad Abdulrahman Rashed AlJabr	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Ahmed Mohammed Momin Khan	SAUDI ELECTRICITY COMPANY	沙烏地 阿拉伯
Asmail Mesaad Alhajaji	RASGAS	卡達
Stanley Appiah	VOLTA RIVER AUTHORITY	加納
Linda Nana Huna Baah	GHANA GRID COMPANY,LTD	加納
Rei Hemmi	HITACHI,LTD	日本
Katsuhiko Shiraishi	HITACHI,LTD	日本
Katsuya Mogima	CHUBU ELECTRIC POWER COMPANY	日本
Toyohisa Tashiro	ELECTRIC POWER DELELOPMENT COMPANY,LTD	日本
Huidae Jung	KEPCO	南韓
Imjung Kim	KEPCO	南韓
Jongan Kim	KEPCO	南韓
Tae Yong Song	KOREA POWER EXCHANGE	南韓
Wei-Yao Hsu	TAIWAN POWER COMPANY	台灣
Guo-Tang Liang	TAIWAN POWER COMPANY	台灣

(五) 本處相當支持參訓 PSEC 課程，歷年陸續派送人員參與，對於參訓人員的視野、思考邏輯及知識儲備助益甚大，在公司大力推動廠網分工、會計分離等有關自由化相關議題之際，有關本處業管部份如輔助服務、內部競價、燃料存量管控、事故責任與成本歸屬、抽蓄用電成本等相關子議題，處內討論相當熱烈且對於細節錙銖必較，更難得可貴的是各組、室將討論內容付諸實行，成立小組並按計畫系統性地進行研究、試行並致力完善。籃處長常引用的一句話：「魔鬼藏在細節裡」，用來形容本處業管非常貼切，想維持系統分分秒秒的平衡與穩定，每一個細節都攸關成敗，實為不易。本課程提供管道讓員工進修、擴展視野、促進與國外電力公司交流互動及掌握電力產業發展趨勢，返國後可將國外所見、所學融入業務之中，以求新、求變的思維推展相關業務，使公司儘早走出目前的經營困境。

(六) 本次受訓學員本公司共派遣二人，其中系規處同仁因經費預算不足僅參加部分課程，建議預算及人力許可的情況下，持續並增派參訓人員，共同參訓具有互相討論，互補專業領域的優點，對於課程學習效果加分可不少。此外，在日常生活起居亦可相互幫忙，減低獨自在異鄉生活的風險與壓力。

(七) 奇異公司位於美東紐約州州政府奧爾巴尼(Albany)附近，當地生活消費水準不低，依奇異公司推薦的社區住宿公寓每月 1,350 美金起跳(不含管理費、水電費，沒有家具)，與公司每月補助生活費之 1100 美金差距不少；另因受訓地點偏遠且無公共交通工具，日、韓各國派訓人員皆租車代步，職受訓期間亦自行租車通勤，每月租車含保險花費約 1,350 美元(不含油資)，目前公司綜合補助費每月 150 美金並不足以支付租車費用；其餘日常生活開銷，亦因台美兩地物價之差異致入不敷出，綜合以上，影響了年輕同仁的出國意願。故建議公司考量此特殊情況之訓練，恢復或另案處理自 98 年度起租車不全額補助之限制，建議往後參訓之同仁，出發前了解當地物價及必要花費，預先做好財務規劃。

五、電力系統工程班課程摘要

2013 年電力系統工程班課程 (Power System Engineering Courses, PSEC)課程分成四大主題：一、電力系統基礎課程；二、電力系統規劃與應用；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。受訓期間並配合實地參觀複循環電廠、紐約調度中心以及奇異公司電機設備製造廠與研究發展中心，以下針對課程內容做簡單的說明與介紹：

Dates	Course	Duration
1ST QUARTER		
POWER SYSTEM ENGINEERING COURSES		
August 12-13	Power System Fundamentals	2 days
August 14-16	Power System Analysis and Symmetrical Components	3 days
August 19-22	Transmission Planning and Analysis	4 days
August 26-28 AM	Surge Analysis and Equipment Application	2.5 days
August 28 PM-30	Reactive Power Compensation and Voltage Control	2.5 days
September 3-6	Protective Relaying Fundamentals	4 days
2ND QUARTER		
POWER SYSTEM PLANNING AND ADVANCED APPLICATIONS		
September 9-12	Synchronous Machine Fundamentals	4 days
September 16-19	Power System Dynamics	4 days
September 23-26	Distribution Systems Planning and Engineering	4 days
September 30-October 2	Smart Grid: Substation/Distribution Automation	3 days
October 3-4	Power Electronic Applications in Transmission: HVDC and FACTS	2 days
3RD QUARTER		
POWER MARKETS, ENERGY ECONOMICS, AND STRATEGIC PLANNING		
October 7-8	Global Power Markets	2 days
October 9-11	U.S. Electric Power Industry	3 days
October 14-15	Power Plant Financial Modeling and Evaluation	2 days
October 16-18	Utility Economics and Power Systems Operation	3 days
October 21-24	Strategic Generation Planning	4 days
October 28-31	Competitive Power Generation	4 days
4TH QUARTER		
EMERGING GENERATION TECHNOLOGIES		
November 4-7	Smart Grid: Demand Response and Dynamic Pricing	4 days
November 8	Advanced Metering Infrastructure Fundamentals	1 day
November 13-15	Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications	3 days
November 18-21	Energy Storage, Electric Vehicles, and Distributed Energy	4 days
December 3-6	Resource System Integration	4 days
	Fundamentals of Renewable Energy Systems	4 days

第一部分(1ST QUARTER)

(一)電力系統基礎介紹(Power System Fundamentals)

(二)電力系統分析與對稱成分(Power System Analysis

and Symmetrical Components)內容包含:

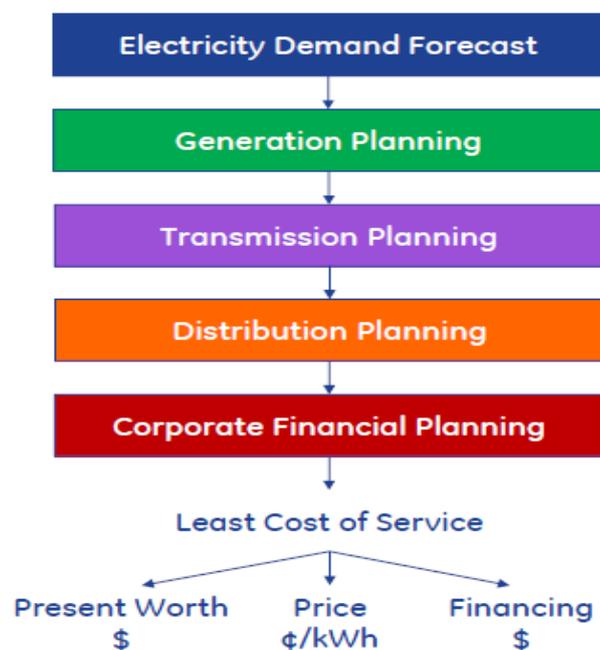
1. 電場與磁場基本定義與公式(Fundamentals of magnetic and electric fields)
2. 輸電線路的參數計算(Introduce parameter calculations for transmission lines)
3. 實功、虛功及可視功率介紹(Concepts of active ,reactive and apparent power)
4. 平衡三相系統(Balanced Three-Phase Systems)、不平衡三相系統(Unbalanced Three-Phase Systems)
5. 對稱成分(symmetrical components)
6. 單向對地故障、線對線故障及雙向對地故障

(三)輸電系統規劃與分析(Transmission Planning and Analysis)課程包

容包含:

1. 輸電系統功能介紹: 連接發電機與負載、維持系統穩定度、提供操作可靠度、降低線損、各區域可交換電力等概念。
2. 電力系統可靠度定義:在美國大部分的輸電系統規劃是以北美NERC(North American Electric Reliability Corporation)公布的準則來規劃。

3. 電力公司計劃流程介紹:電力系統設施的建設是要滿足用戶的用電需求，丹麥物理學家尼爾斯·波耳(Niels Bohr)曾說，預測是件困難的藝術工作，而評估未來系統負載的需求決定了電力設施的建設計劃，雖然負載預測不易，但準確的預測除可提升電力系統可靠度外，也可避免過度投資浪費。台灣負載預測多以經濟成長率作為參考基準，在乘上相關的彈性係數做為未來的負載需求，惟經濟成長率波動相當劇烈，如國內 101 年度曾發生九次下修經濟成長率的情況，實際用電需求亦較原預測為低，進而備用容量升高造成民眾質疑投資浪費;美國負載預測的做法除參考經濟成長率外，亦實地分析各區域不同類型用戶的用電需求，值得借鏡。



圖一 電力系統設施建設流程

4. 如何設計輸電系統之觀念講解
5. 電力系統分析軟體 PSLF 程式功能介紹與操作範例講解
6. 電力潮流分析(Power Flow Analysis)、偶發事故分析
(Contingency Analysis)、穩定度分析(Stability Analysis)觀念與
範例講解

(四)突波分析與設備應用(Surge Analysis & Equipment Application)，課

程內容包含：

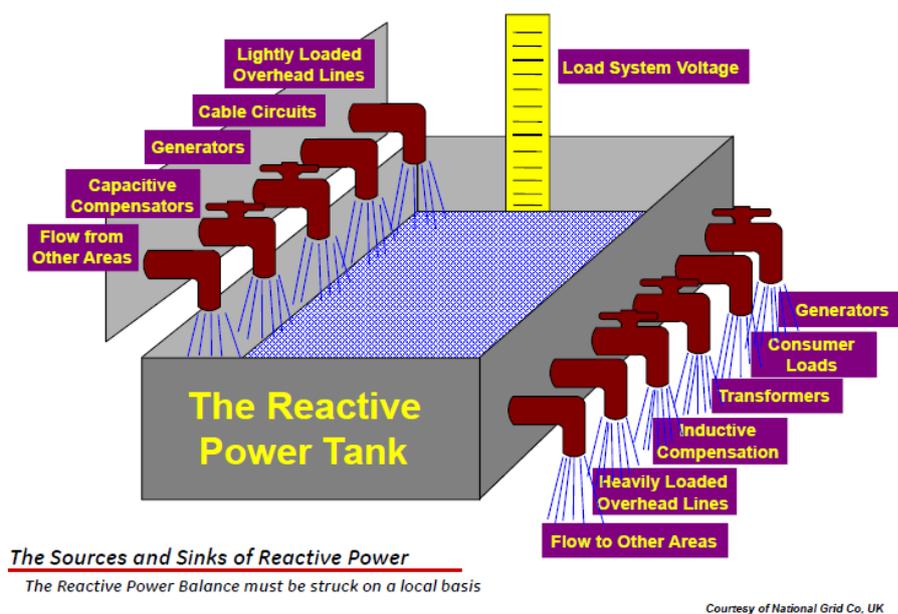
1. 自恢復絕緣(self-restoring insulation)
2. 非自恢復絕緣(non-self-restoring insulation)
3. 雷擊現象分析與計算
4. 突波案例分析與應用

(五)無效電力補償與電壓控制(Reactive Power Compensation &

Voltage Control)，課程內容包含：

1. 不同負載的型態及功率因數介紹

2. 無效功率(The Reactive)的來源與支出，虛功率對系統電壓變化的示意圖如下。



圖二 無效功率的來源與支出示意圖

有關有效功率(Real Power)與無效功率(Reactive Power)的控制，有效功率可藉由改變電壓角度來控制，無效功率則用改變電壓大小來控制；換言之，負載變動導致有效功率的需求改變，將會造成系統電壓角度的變化，而無效功率的改變，也會造成電壓大小的變化。

3. 無載輸電線路分析(Unloaded Transmission Lines)
4. 無效電力補償方式介紹(Introduction to compensation)

5. 極端嚴寒下的系統電壓穩定度介紹

6. 並聯及串聯電抗性補償介紹(Shunt and Series Compensation)

(六)同步電機控制模型(Synchronous Machines)

1. 同步機原理與結構介紹

2. 發電機模型介紹(Generation model)

3. 激磁模型介紹(Exciter model)

4. 電力系統穩定器介紹(Power system stabilizer)



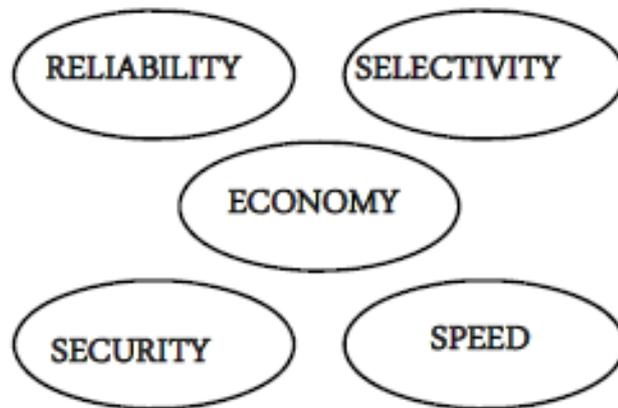
2013 Power Systems & Energy Course

圖三 2013 PSEC 1st Quarter 學員合影

第二部分(2ST QUARTER)

(七)保護電驛基礎(Protective Relaying Fundamentals)，課程內容包含：

1. 保護電驛規劃原則



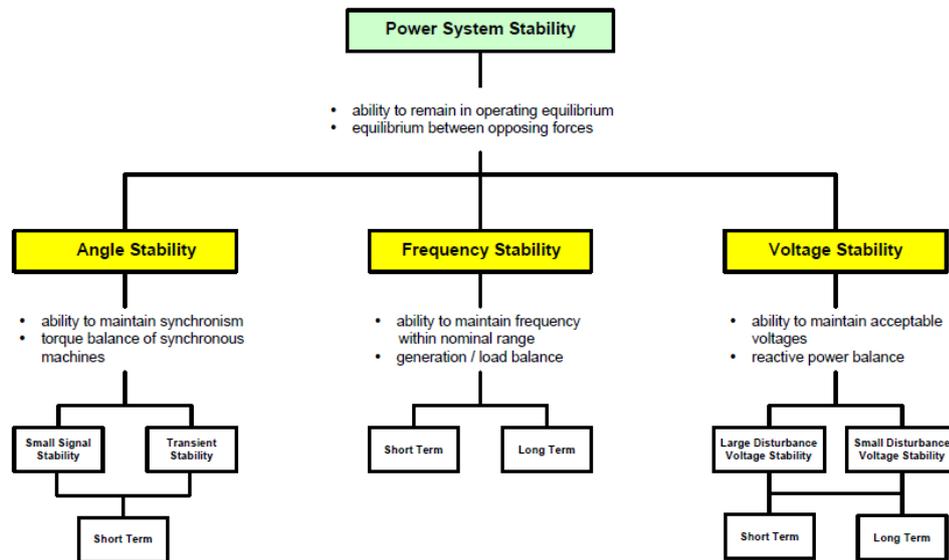
圖四 保護電驛規劃原則示意圖

- A. 可靠性(reliability)：正常情況下電驛不動作，故障發生時迅速隔離故障源。
- B. 選擇性(selectivity)：故障發生時，迅速判斷故障源，啟斷必要的電驛。
- C. 經濟性(economy)：評估系統需求，避免過高的電驛投資。
- D. 安全(security)：正確的啟斷故障源，避免誤動作。
- E. 速度(speed)：快速操作使故障持續縮短，避免事故擴大。

2. 比流器 (Current transformers, CTs) , 比壓器 (Voltage transformers, PTs) 介紹
3. 過電流電驛(Overcurrent Relays)、測距電驛(Distance Relays)及差電流電驛(DF)介紹
4. 發電機保護介紹

(八)電力系統動態研究(Power System Dynamics):目標使系統在遭受擾動時仍可保持在可接受操作的狀態，內容包含:

1. 電力系統穩定度的基本觀念:角度穩定、頻率穩定、電壓穩定



圖五 電力系統穩定度分類

2. 電力系統穩定度分析探討:

(1) 同步機發電模型(Synchronous Generator Model)

(2) 激磁系統模型(Excitation System models)

(3) 變動性負載及感應馬達模型(Dynamic Loads and Induction Motor Models)

(4) 電力系統穩定器(Power System Stabilizer)

3. 使用 PSLF 電力系統分析軟體進行電力系統穩定度模擬操作

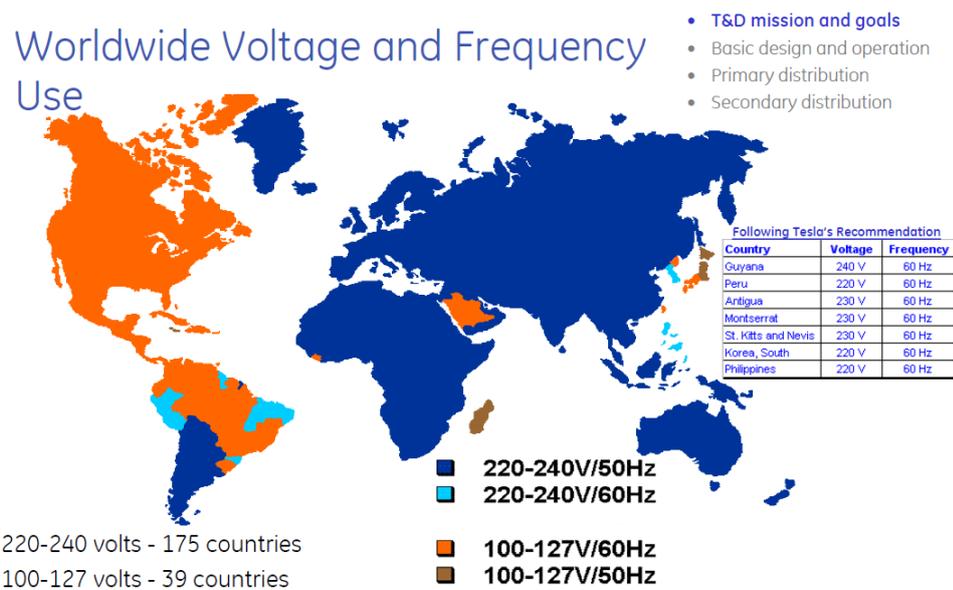
(九)配電系統規劃與工程(Distribution Systems Planning and Engineering)內容包含:

1. 配電系統介紹:配電系統即是將電力由傳輸系統送至用戶手中，須同時兼顧容量、頻率、電壓及可靠度。

2. 配電系統傳輸規劃與經濟性考量:

下圖為世界電壓與系統頻率示意圖，一般認為 60Hz 較 50Hz 對發電機及電力傳輸較有效率，而 240 伏特可較 110 伏特減少線路損失，但實際上因為電力系統的演進及商業行為影

響下，採 60Hz、240 伏特的國家並不多，甚至日本同時擁有 50Hz、60Hz 系統(關東是 50 赫茲，關西是 60 赫茲)主要因日本向國外學習發電時，關東是效仿歐洲，購買 50Hz 的發電機，而關西則是跟美國人，買 60Hz 的發電機。南韓為少數採 60Hz、240 伏特的國家之一，據參與本課程的南韓學員表示，過去南韓並非採 60Hz、240 伏特，是經歷電力改革後才改成目前的系統頻率及電壓。



圖六 世界各國電力系統使用之電壓與頻率

3. 配電系統可靠度介紹與計算:美國配電系統可靠度準則依各州政府委員會或相關組織訂定，關鍵目標在於事故後如何恢復正常頻率、如何減少停電時間，一般而言美國配電系統可靠

度為 99.98%(換算約每年兩小時停電)，一些常用的指標介紹如下，其中 SAIFI 、SAIDI 較多電力公司採用：

- ◆ 系統平均停電次數指數: System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)
- ◆ 系統平均停電時間指數: System Average Interruption Duration Index (SAIDI)
- ◆ 用戶平均停電次數指數: Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)
- ◆ 用戶平均停電時間指數: Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

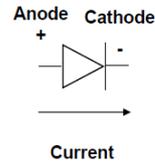
(十)智慧電網:配電變電所自動化(Smart Grid: Substation Distribution Automation)，課程內容包含：

1. 智慧型電網(Smart Grid)概念及目的性
2. 變電所自動化概念:著重於資訊的收集與傳遞，建立共同的通訊協定為變電所自動化的重要課題。
3. 配電系統保護設備及監視系統介紹

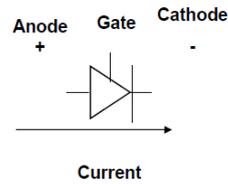
(十一) 傳輸系統電力電子運用(Power Electronics Applications in Transmission)，課程內容包含:

1. 電力電子元件介紹(Power Electronic Devices):

Diodes: 允許單方向電流通過



Thyristors: 採矽控整流器



2. 高壓直流傳輸系統(High Voltage Direct Current ,HVDC)應用介紹:

具控制性的 HVDC 電力潮流，HVDC 可使輸電線更有效率，尤其是長距離的架空線路和海底電纜，特別是新興再生能源如水力、風能、太陽能，這些人口較少卻是和再生能源發展地的偏遠地區，可將多餘電力往城市輸送，故 HVDC 的需求逐漸增加。



圖七 400MW 離岸高壓直流傳輸系統站台

(圖片來源:SWECO Energuide AB International,Offshore Wind Accelerator – HVDC Study,Stockholm,Nov,13,2013)

3. 彈性交流系統(Flexible AC transmission system, FACTS)應用介

紹: 可改善交流系統傳輸效率,減少長距離電力傳輸電力損耗
並可將輸電的容量大幅度增加,具有即時調整電流量之功能,
利於將不穩定及間歇等的再生能源順利併入電網,達成智慧電
網的目標

4. 變頻變壓器(Variable Frequency Transformer)介紹



2013 Power Systems & Energy Course

圖八 2013 PSEC 2nd Quarter 學員合影

第三部分(3ST QUARTER)

(十二) 全球電力市場(Global Power Markets)，課程內容包含：

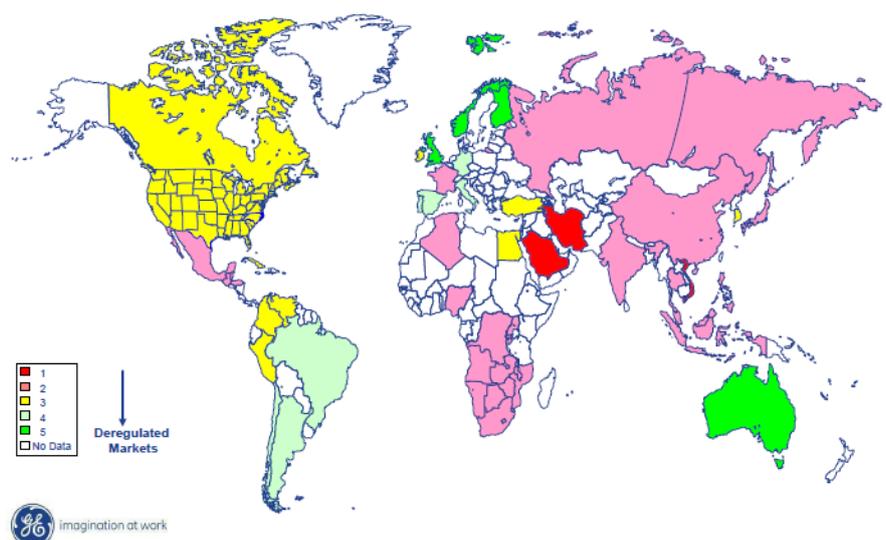
1. 電力需求與市場建設(Demand for Power and Market Structures)

根據奇異公司全球市場策略與計劃部門預測，在 2025 年時世界人口將突破 100 億、80% 的能源消耗來自石化燃料、70% 的碳排放來自開發中的國家、較 2012 年超過 30 倍的電子檔案需要電力來儲存、12,000 件自然災害可能發生(2012 年自然災害損失金額達 160 億美元)。

根據 EIA, International Energy Statistics 於 2013 年 7 月統計，全球 2001 至 2010 年間裝置容量提升 42%，總計 1,506GW，其中亞洲及大洋洲增加 871GW 最高、其次為北美 235GW、歐洲 193GW，未來電力需求成長仍以開發中的國家為主，中國、印度有高度的電力成長需求。

電業放鬆管制(Deregulation)可定義為：改革既有國營壟斷情形，分離電業引進市場競爭和增加電力市場彈性，下圖為奇異公司分析全球電業管制程度示意圖，北美、歐洲及澳洲電業 Deregulation 程度較高。舉例而言，台灣目前由台電統籌發、

輸、配電，雖系統中包含非國營之 IPP 民營電廠，但其發電行為及價格是依購電合約由台電執行調度，並無市場機制決定其發電量及價格；在解制的自由市場內，獨立的發電廠是以自身電廠獲利最大化為考量，加入市場前需考慮發電廠位置、發電廠類型和建廠所需資料，必須考量並承擔不確定之風險，如負載成長是否如當初建廠相當(如負載成長不如預期，可能無法被系統調度造成無法回收成本)、電力傳輸是否穩定、燃料供應及價格變動及市場規則。



圖九 全球電業管制程度示意圖

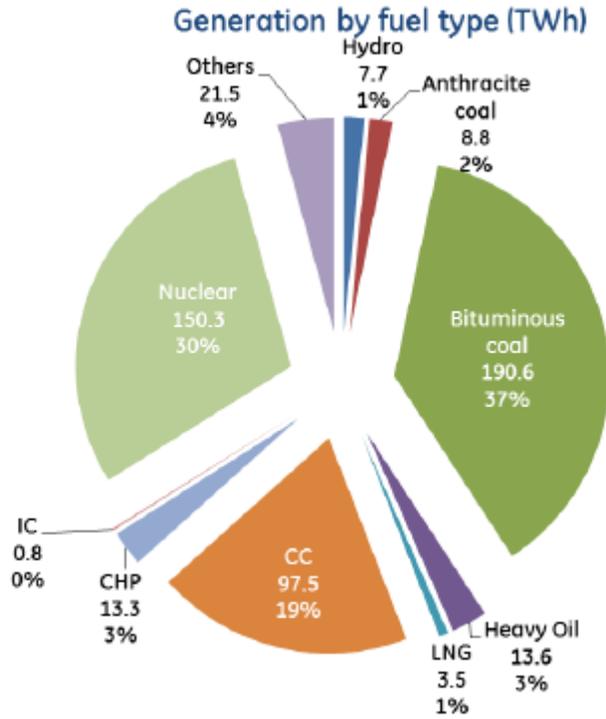
2. 市場介紹

◆ 歐洲市場介紹:主要內容為電力互聯與電力市場交易簡

介、歐洲溫室氣體減量交易系統介紹(EU ETS)、尖、離峰

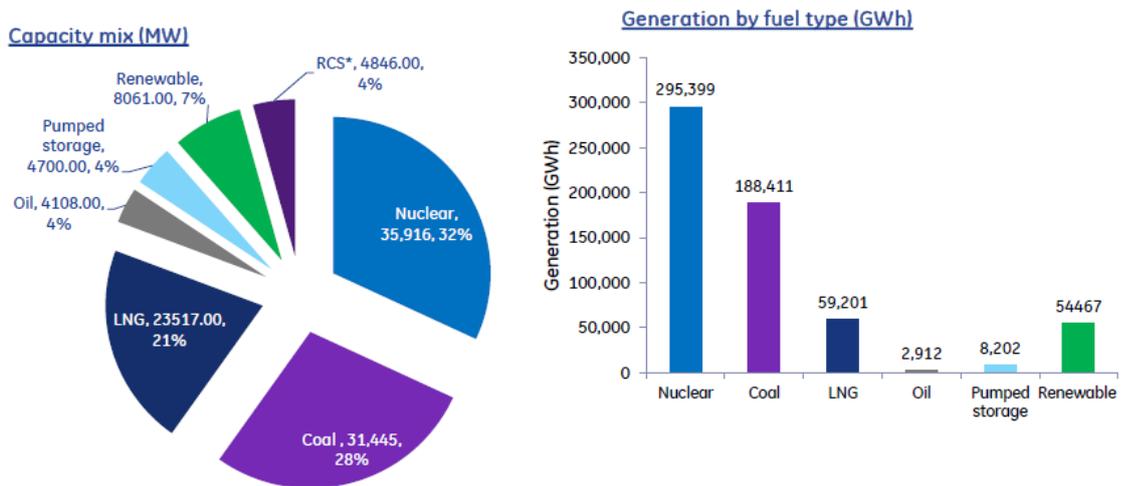
價格差異分析、再生能源發展目標;英國、荷蘭、比利時、德國、法國、希臘、葡萄牙、西班牙、土耳其裝置容量與市場簡介。

- ◆ 非洲市場介紹:非洲地區經濟成長相當快速，電力消耗成長速度是世界最快的地區之一，但目前仍有 45%地區約 470 萬人口無法獲得電力。由於供應及可靠度不足，多數城市有電源不足及服務中斷的情況並不罕見，政府財政不足及政策多變對於投資當地電力市場是一大阻礙。
- ◆ 印度地區市場簡介:近年電力與負載需求皆穩定成長，2103 年裝置容量約 227.36GW，其中燃煤占 59%，其次為水力 17%、再生能源 12%，2005 年至 2011 年平均增加 3,000MW 風力裝置容量。
- ◆ 韓國電力市場:韓國裝置容量 2012 年約 81.8GW，以燃煤 37%、核能 30%及燃氣 19%為主，未來能源政策以核能發電及燃煤為主軸，其中核能預估 2024 年裝置容量將從目前的 15030MW 增加至 35916MW，未來發電占比達 45~50%之間;再生能源規劃採穩健成長，比例則從目前的 2%增加至 2012 年的 10%。



圖十 2012 年韓國電力裝置容量-依燃料別統計

(資料來源:電力統計資訊系統 <http://epsis.kpx.or.kr>)



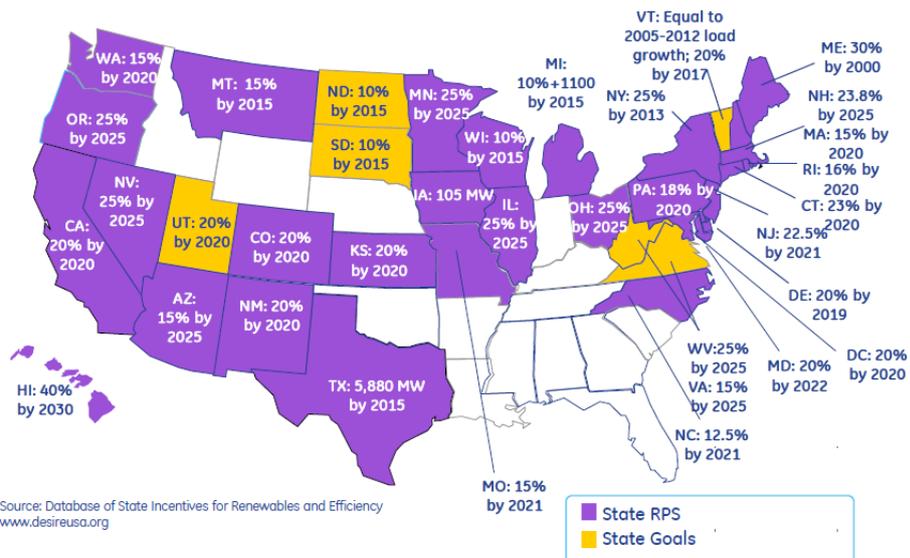
圖十一 2024 年韓國電力裝置容量-依燃料別統計

(資料來源:5thBPE,Korea Power Exchange,KPX)

3. 再生能源(Renewable Energy)

美國各州大部分採可再生能源配額制(Renewable Portfolio Standard, RPS)，起初是美國少數電力業者在 1990 年初期提供綠色電力產品讓消費者可以自由選擇，是否以較高的電價購買綠色電力。聯邦能源管理委員會和州政府的公共事業委員會藉由規定發電商或經營電網的配電商，保證一定比例的電力必須來源於可再生能源發電，推動再生能源市場，達到可再生能源總量控管目標。根據奇異公司表示 2012 年 11 月底，奇異公司已在全美各地裝設風機達 3,000 餘架，在政策推動與發電廠商的配合下，美國各州對於達成目標頗為樂觀。

U.S. State Renewable Portfolio Standards (RPS)



圖十二 美國各州再生能源配額目標(RPS)

(十三) 美國電力工業(U.S. Electric Power Industry)，課程內容包含：

1. 北美電力市場結構介紹。

需求面:用電需求分析，分為工業、商業及民用用電需求統計。

供給面:不同類型的機組其成本與特性介紹。

	Coal	Nuclear	Natural Gas	Hydro	Petroleum	Renewables	Cogeneration
Capital Cost	Medium	High	Low	High	Low	Medium-High	Medium
Variable Cost	Low	Low	High	Low	High	Low	medium
Operational Flexibility	Low	Low	Medium-High	High	Medium-High	Low	Low
Time to Permit and Construct	Long	Long	Short	Long	Short	Short	Short
Environmental Impact	High	Low-Medium	Low	Low-High	Medium-High	Low	Low
Fuel Availability	Plentiful	Plentiful	Some concerns	Limited	Some concerns	Plentiful	Some concerns
Availability of Sites	Limited	Limited	Flexible	Limited	Limited by air quality permits	Limited by resource availability	Flexible

Source: Enerdynamics: Understanding Today's Electricity Business

圖十三 不同類型的機組其成本與特性比較

2. 北美電力市場發展歷史介紹

3. 電力批發市場的概念-以 PJM 電力市場為例

4. 北美電力市場目前所遭遇之問題:如溫室氣體排放問題、再生能源的不確定性、核能安全性議題、輸電線路汰換更新、電力人才不足或平均年齡較高。

(十四) 電廠財務模型與評估(Power Plant Financial Modeling and Evaluation)內容概述:

電廠成本大致可區分為固定成本及變動成本，固定成本是指建廠投資費用、或其它固定資產，具有不隨產品數量增減(即發電量)而變動的特性，變動成本是隨著產品數量增減而變動的費用。

要維持一個電廠的營運，可以從收入面及支出面切入來看。就收入而言，電廠收入可大致有能量收入、容量收入、輔助服務收入;支出部分大致有燃料成本、操作成本、保險、債務利息、折舊、收入稅收及償還債務等，各項收支項目的比例及多寡與電廠類型較有相關性。現金淨流量(Net Cash Flow)是指一定時間內，現金的收入減去支出之餘額，反應了電廠在這段時間內增加或減少的現金。

了解電廠的財務狀態，有助於評估電廠在目前或未來於電力系統中的價值，換句話說，如果現金淨流量持續為負值，則電廠須思考如何增加自身的競爭力，才能在電力市場中存活。

此外，風險評估也是電廠營運的一部分，諸如負載成長不如預期或購電合約比期望值低、電力市場上的競爭強度大於預期、燃料成本比預期中貴、環境政策的改變、新的技術出現等。

一個很好的例子是2013年8月27日路易斯安那州的 Entergy 公司因為財務不堪負荷宣布將計劃關閉佛蒙特州的洋基核能發電廠，該廠預計在核管理委員會的全程監督下於2014年安全除役，這項在美國很罕見的除役計畫其原因包括電廠成本高(主因在2002年以來投入4億美元在安全及可靠度上)、地區能源批發價格低落及便宜的天然氣發電廠競爭所致。這個案例顯示，在美國，即使是標榜著燃料價格較低的核能電廠，再正面臨著其他類型機組的競爭壓力。此外，該公司指出能量批發市場的有設計缺陷，該地區人為壓低能源和容量的價格，同時並無提供足夠的補償給核電廠為系統提供燃料多樣性。

未來台灣電力自由化後，如何評估電廠本身在電力市場中的價值、電廠收支是否平衡、電廠在未來是否能保持較高的競爭力皆是重要的研究課題。

(十五) 公用事業經濟與電力系統運轉 Utility Economics and Power

Systems Operation，課程內容包含:

1. 電力市場經濟概念: 供需理論、電廠成本分析(變動費用、固定費用)、平均成本與邊際成本概念。
2. 公用事業經濟與應用: 了解折舊、通貨膨脹及利率等名詞概念，針對公共事業的投資計畫，使用各種分析財務的方法，以各類分析工具。
3. 電力市場介紹: 日前市場、即時市場及輔助服務市場介紹

(十六) 策略性輸電與發電規劃 Strategic Transmission & Generation

Planning: 課程內容概述如下:

1. 負載預測及發電機可靠度介紹
2. 發電機與傳輸線規劃介紹
3. 分組競賽: 三至四人一組，由講師提供情境模擬 2013 至 2025 年的發電機與傳輸線規劃，首先需要做負載預測，尤其是尖峰負載之評估，然後執行發電機可靠度分析，決定未來發電機組裝置容量總和; 傳輸線部分則需考量不

同區域間的傳輸能力及工程時間是否能配合，競賽過程中講師不時提出情境變更，如負載需求徒增、某區域核電廠關閉等狀況，充分體驗系統規劃之多變性。

(十七) 發電機組競爭(Competitive Power Generation)，課程內容為

1. 氣渦輪機介紹(組成元件、原理、操作及維護)
2. 複循環機組介紹(組成元件、原理、操作及維護)
3. 汽電共生介紹
4. 分組競賽:

主題為前一日市場競價(僅能量部分)，必須考慮成本、操作限制並進行負載預測，更困難的部分是，如何擬定策略在市場中獲利。三至四人一組，每組代表一個電力公司，每家電公司擁有不同類型之機組，如燃煤、單循環機組、複循環機組；提供相同的條件，如機組裝置容量、啟動成本、最小停機時間、燃料價格、熱耗率曲線、固定及變動費用等。經過多次的競標過程，各家電力公司的報價漸趨一致，但並非所有公司都能獲利。甚至在負載較低的時段，因發電機組能力遠大於負載需

求，發電公司想的是如何降低損失，而採低於發電成本但高於燃料成本地的競標價格使自身機組避免解聯，並回收部分固定成本。



圖十四 2013 PSEC 學員至紐約州調度中心 NYISO 參觀合影

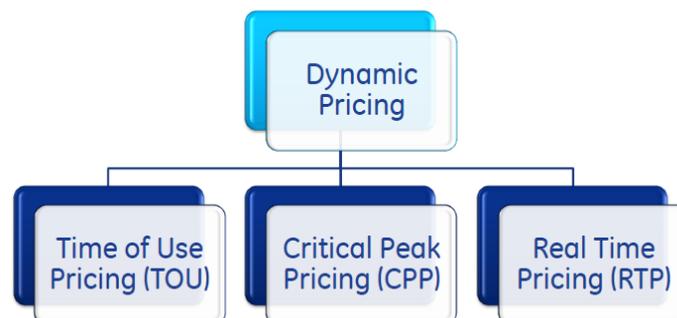
第四部分(4ST QUARTER)

(十八) 智慧電網:需量反應與動態價格(SG:Demand Response & Dynamic Pricing)，課程內容包含:

1. 需量反應的概念(Introduction to Demand Resoinse)
2. 智慧型電表基礎建設(Advanced Metering Infrastructure, AMI)、負載端管理(Demand-Side Management,DSM)介紹
3. 動態價格(Dynamic Pricing):

(1)零售市場(Retail Markets):

- ◆ 使用時間價格(Time of Use Picing,TOU)
- ◆ 尖峰價格(Critical Peak Pricing, CPP)
- ◆ 尖峰價格折扣(critical peak rebate,CPR)
- ◆ 即時時間價格(Real time Pricing,RTP)
- ◆ 即時時間折扣(Real time rebate,RTR)



圖十五 零售市場(Retail Markets)收費價格方式

(2)批發市場(Wholesale Maekets):

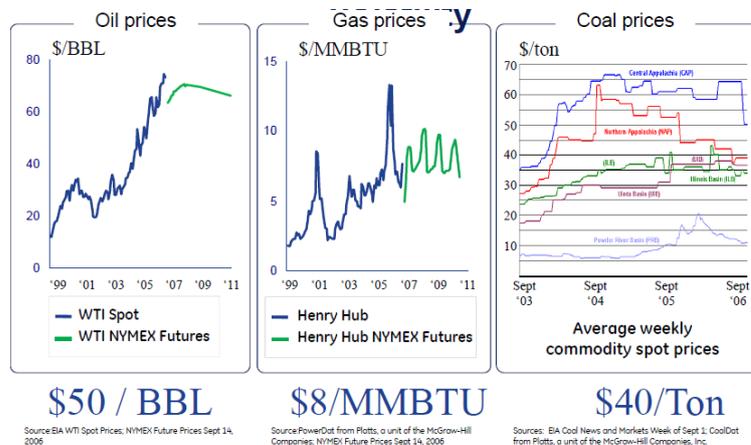
- ◆ 能量價格(Energy Pricing):區域價格、日前市場
- ◆ 容量價格(Capacity Pricing)
- ◆ 輔助服務價格(Ancillary Services Pricing)

4. 儲能設備在需量反應中的角色

5. 美國的需量反應介紹及經濟效益

(十九) 燃料彈性與交替能源應用(Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications)，課程內容如下：

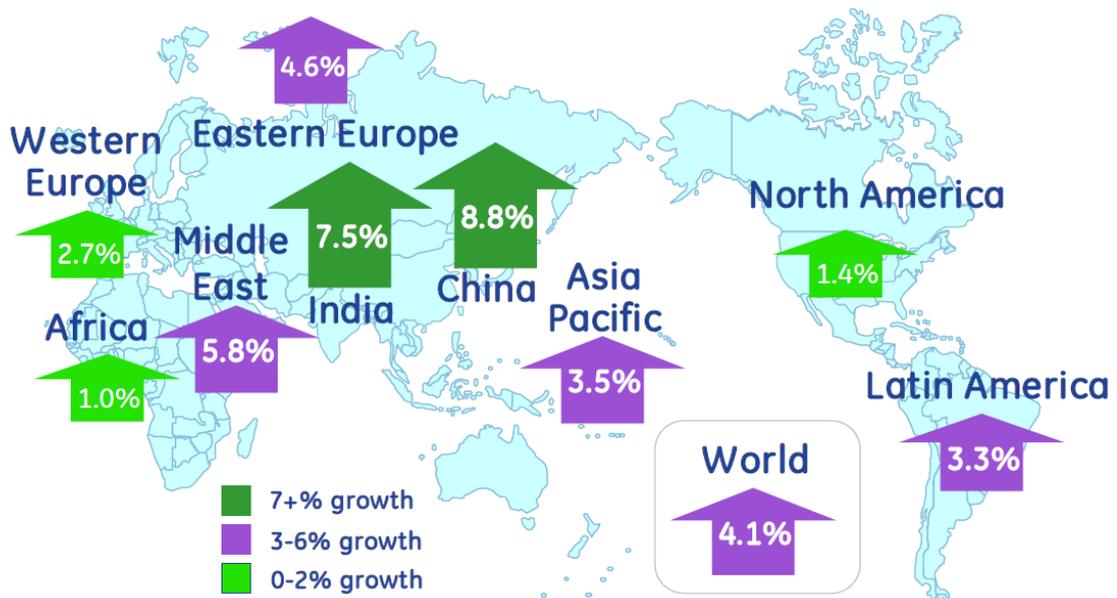
1. 核能發電介紹:容量因數逐年提升、操作成本與其他類型電廠比較、節能減碳效益、燃料價格穩定優勢(參考下圖其他類型燃料成本變動)等，另介紹美國、東歐、俄羅斯、印度、日本及韓國核能發展歷程、核能反應爐設計介紹、核能燃料週期。



圖十六 化石燃料價格變動示意圖

2. 全球能源需求

參考下圖 GE Energy 對全球能源需求分析，依成長率分為三個級距，其中中國、印度電力需求成長快速，每年電力需求成長率達 7% 以上，再來是東歐、中東、沿大太平洋亞洲地區及拉丁美洲有 3 至 6% 的成長，最後是西歐、北美、非洲每年約 0 至 2% 之成長，整體而言，全球電力需求成長約在 4.1%，評估在 2030 年電力需求將是 2008 年的 2 倍以上。

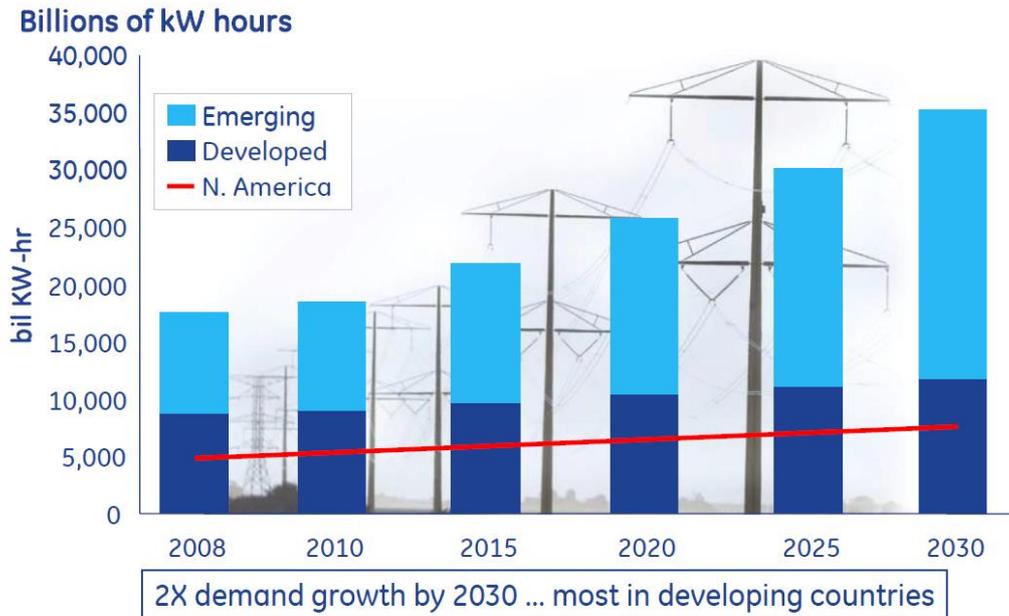


GE Energy Management - Copyright 2013

Source: GE Energy electricity demand estimates. GOAST 01.07.09.

10

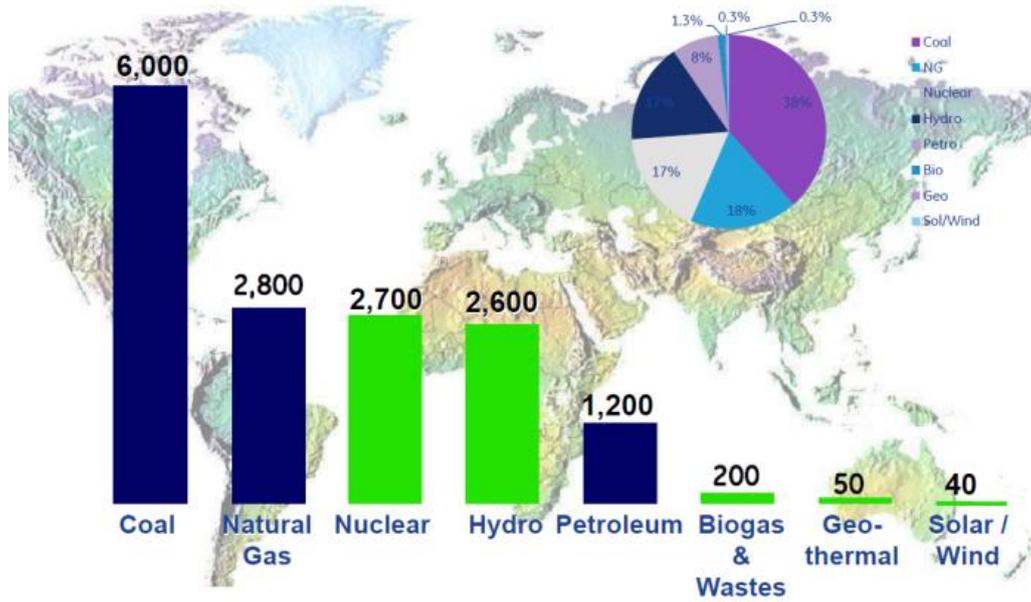
圖十七 全球能源需求示意圖



圖十八 能源需求成長趨勢

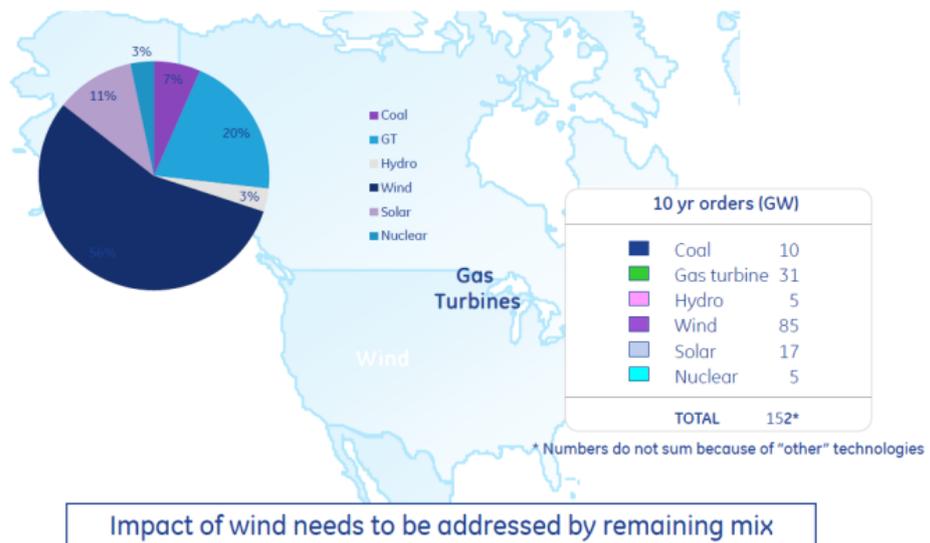
如以機組發電類型分類，目前全球仍以燃煤、天然氣、核能及水力發電為主，發電佔比合計達 90%。值得注意的是再生能源發展相當快速，以北美為例，在 2010 至 2019 年新設機組，風力發電佔比達 56%、太陽能也有 11% 的高佔比；此外，天然氣的 20% 高於燃煤機組的 7%，顯示頁岩氣的開採技術的突破，北美地區天然氣機組的價格已經可與燃煤機組相競爭。

Global Electric Generation



圖十九 全球各燃料別發電佔比

N. America Power Additions: 2010-2019



圖二十 北美新增之電廠裝置容量來源

3. 天然氣市場及價格趨勢

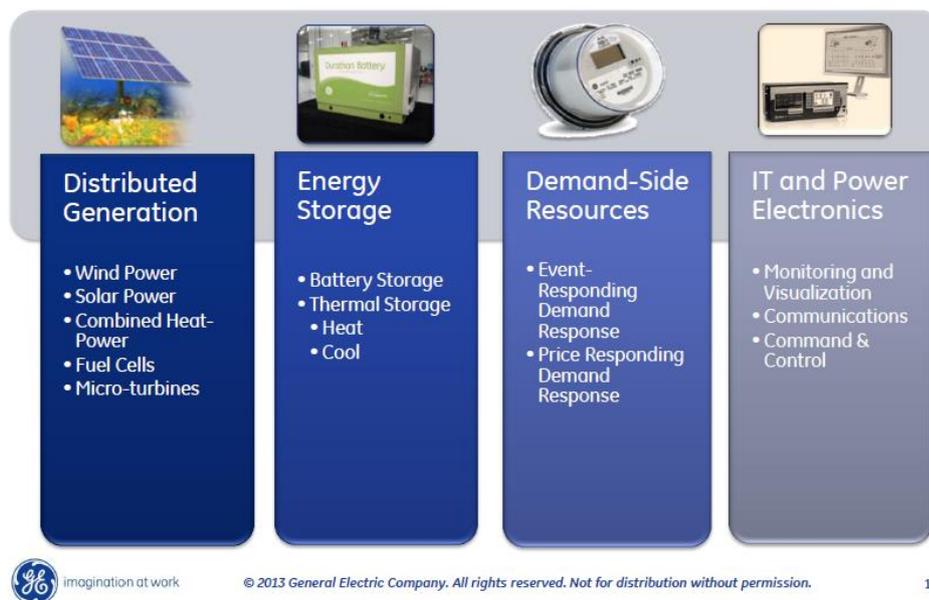
全球天然氣的交易方式可分為管道天然氣(Pipeline Natural Gas)及液化天然氣(LNG)2種，管道天然氣係以管路輸送天然氣，而 LNG 則以 LNG 船來運輸。全球天然氣市場主要區分為北美、歐洲及亞太等三大地區：

1. 北美：以管道天然氣為主，區域性天然氣交易指標為 Henry Hub (HH)氣價。
2. 歐洲：以管道天然氣為主，區域性天然氣交易指標為 National Balancing Point (NBP)氣價。
3. 亞太：因自產氣不足及地域之限制，以進口液化天然氣(LNG)為主，計價指標多與原油價格連動。

隨著經濟成長，用電需求逐年提高，舊有機組將陸續除役，我們必須了解未來電力系統中所需要的是哪種類型的發電機組。世界正在改變，人們對電力的需求已不是滿足用電需求而已，未來新加入之新機組須考量一些新的概念，如溫室氣體減量議題、燃料價格的變動性、自然資源的匱乏、能源的使用效率、科技的進步以及能源政策等等。

(二十) 能源儲存(Energy Storage)

1. 分布式能源(Distributed energy resources,DER)概念:



圖二十一 分布式能源的組成示意圖

分布式能源有別於傳統集中供電的方式，它的概念是讓更多的能源使用者加入系統，目的是節能減碳並整體提升效率。在發電部分，較具環保概念的天然氣電廠為主軸，輔以再生能源如風力、太陽能等；儲能設備（亦有儲存熱能、冷能的設備）則應用在縮減尖峰、離峰需求差異，降低成本並提升效率。分散式能源的發展相關快速，能源占比逐年提高，隨著屋頂型太

陽能、風機或燃料電池的技術突破，商業大樓甚至是一般家庭用戶，不再只是消費者的角色，同時也是能源的生產者。

2. 飛輪(Fly wheel)介紹:以機械旋轉原理方式儲存動能，由於其具有快速反應的特性，適用於調整系統頻率，未來可應用於再生能源之整合。
3. 電動車(Electric Vehicles)介紹:詳第六章介紹

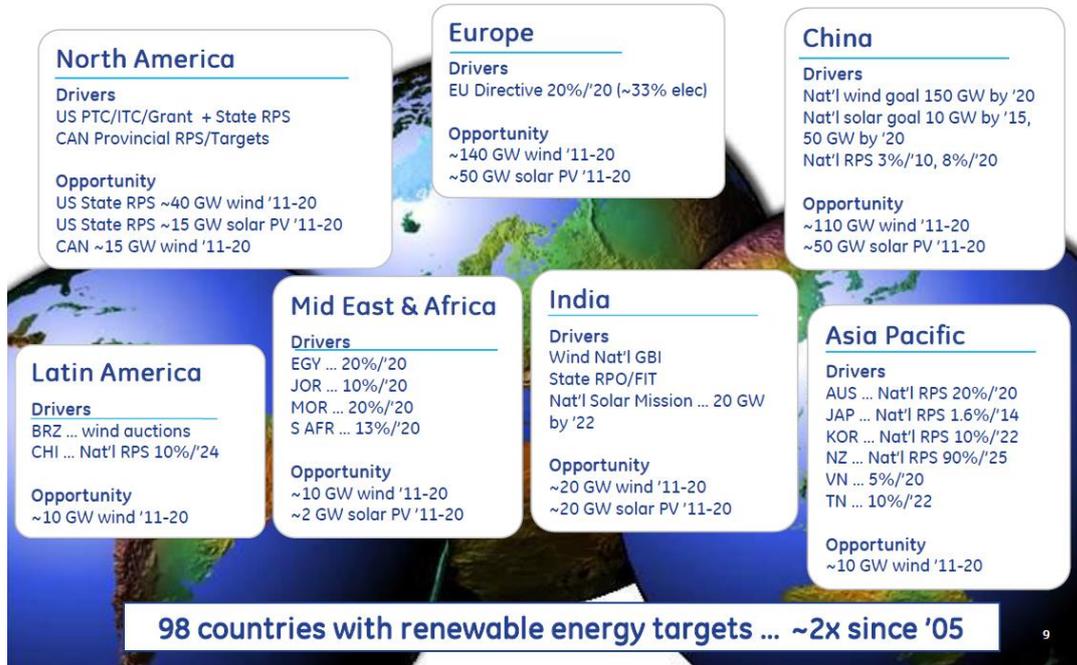
(二十一) 再生能源 (Renewable Energy)

1. 再生能源趨勢:政策引領著再生能源發展，世界主要各國再生能源目標統計各主要地區在 2011 至 2020 的發展目標如下:

- ◆ 北美:美國 RPS 再生能源配額制度(Renewable Portfolio Standards)，縮寫為 RPS ~40GW wind、RPS~15GW solar、加拿大 ~15GW wind
- ◆ 歐洲:~140GW wind、~50GW solar
- ◆ 中國:國家目標為 2020 年風力裝置容量 150GW、太陽能裝置容量 50GW
- ◆ 拉丁美洲:~10GW wind
- ◆ 中東及非洲:~10GW wind、~2GW solar

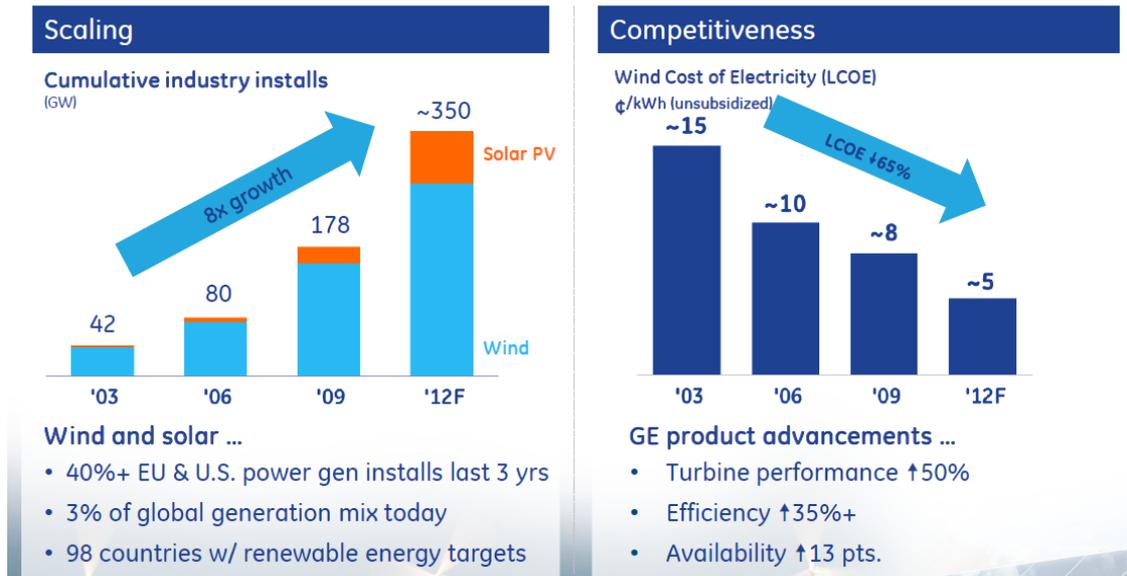
◆ 印度: ~20GW wind、~20GW solar

◆ 亞太地區: ~10GW wind



圖二十二 全球各主要地區再生能源目標

部分人可能認為再生能源不具備競爭力，但事實上再生能源已進入一個全新的良性循環，即成本不斷下降，政策支持及資源持續投入，重要的是同時科技進步也在不斷加快，過去兩年見證了再生能源競爭力的顯著提高。2012年，再生能源日趨成熟，足以與其他發電技術相抗衡，並將逐漸變得更加獨立和完善。

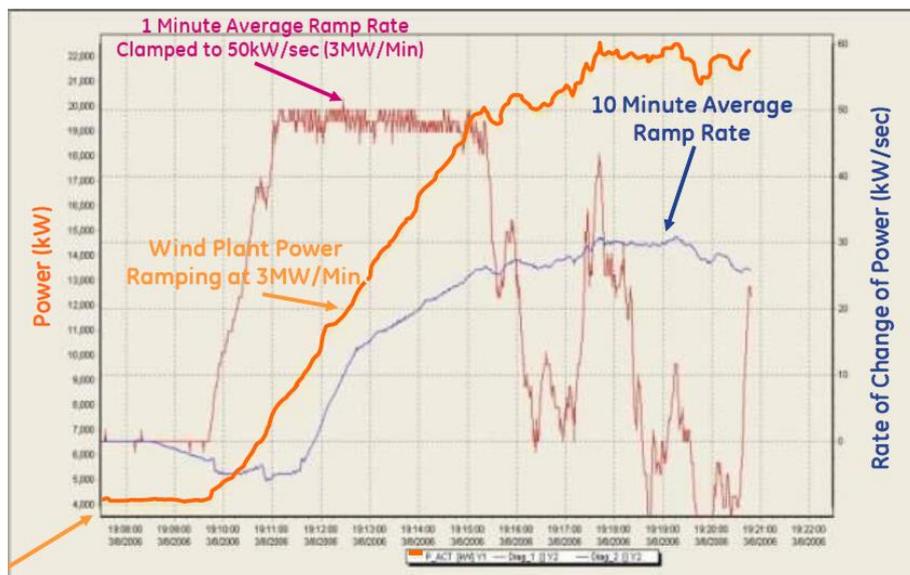


圖二十三 再生能源裝置容量累計及單位成本趨勢示意圖

2.風機實功控制案例

案例介紹:做為案例的風力電廠廠內有 45 部 1.5MW 風機，其中 40 部風機在測試過程可用，可發電容量總計 60MW。

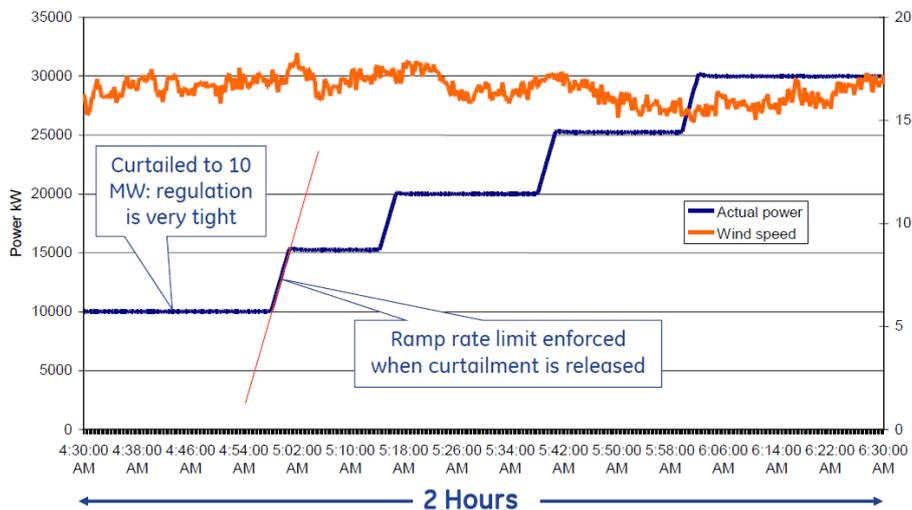
測試過程中風機縮減出力至 4MW 然後開始提升出力，模擬結果每分鐘平均提載約 3MW，相當於 5% 風機裝置容量。



圖二十四 風機縮減出力後提載測試(一)

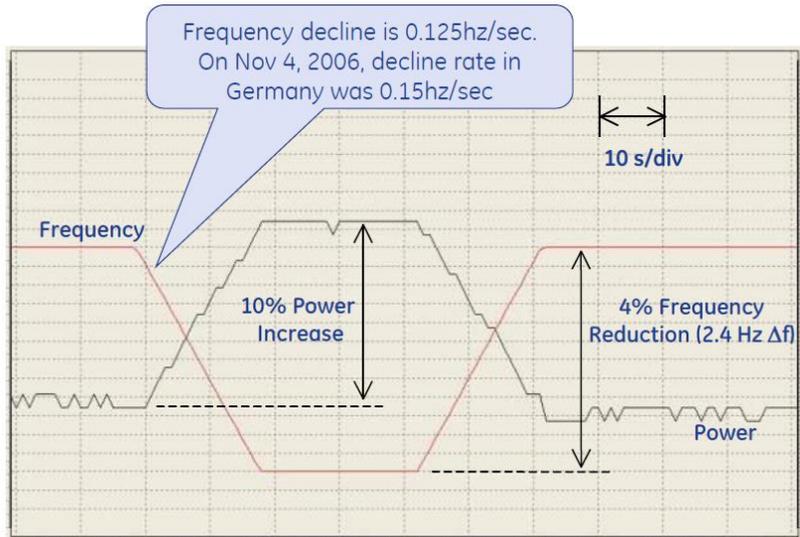
隨著再生能源占比逐漸提高，其不穩定性須被加以考量，新一代的風機具有實功控制能力，以因應風的不確定性並維持系統頻率穩定。下圖為另一個例子，30MW 的風力電廠，風機縮減出力從 10MW 提升至滿載 30MW，1 小時提載約 66%。

Curtailment and Ramp Example (30 MW plant)

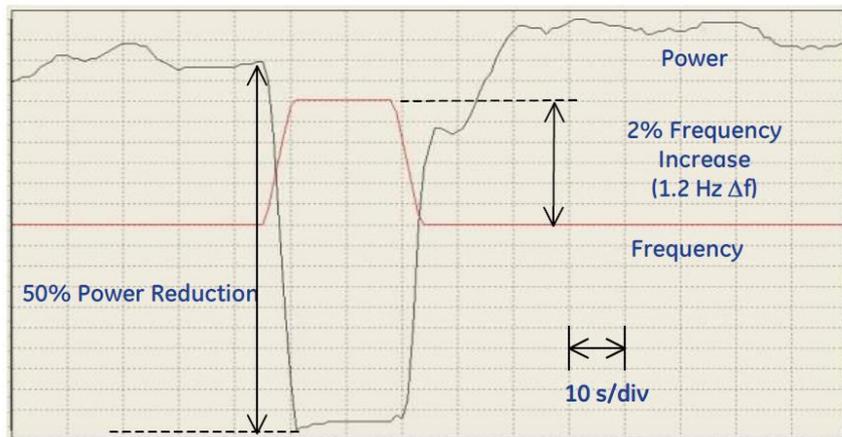


圖二十五 風機縮減出力後提載測試(二)

風機也可應用在頻率控制，模擬風機出力在 90% 裝置容量，當系統頻率低於基準值 60Hz，頻率下降 4% 約 2.4Hz (以 0.125Hz/秒下降)，這期間風機可增加出力 10%，協助系統回復至基準值；另一個例子是當系統頻率高於基準值 60Hz，頻率上升 2% 約 1.2Hz 時(以 0.25Hz/秒上升)，風機可以在很短的時間內降載 50%。



圖二十六 風機在低頻之頻率反應能力



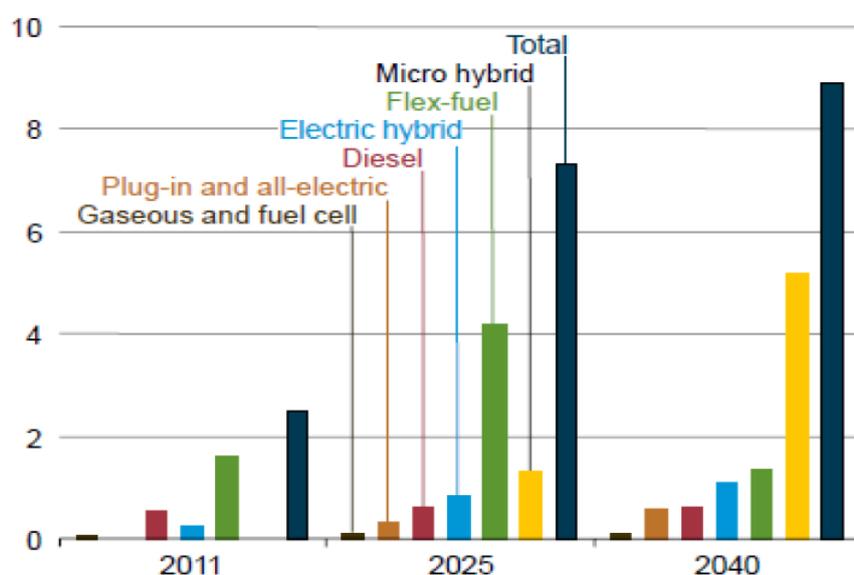
圖二十七 風機在高頻之頻率反應能力

第六章 電動車發展及對電力系統之影響

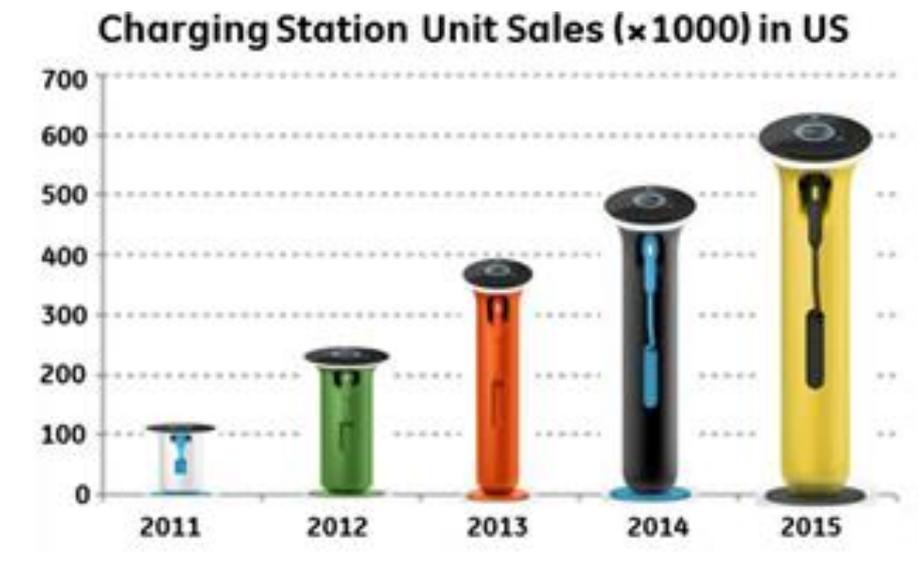
6.1 前言

18 世紀末在可充電之鉛蓄電池及電動馬達發明後，第一部電動車隨之誕生，在 19 世紀初期，路上的車輛多為電動車，但隨著使用內燃機的汽車改進，車體重量較輕、無充電時間過久等問題，電動車在 20 世紀初可以說是完全退出市場。二十一世紀電動車則有個新的開始，主要因人們開始思考內燃機汽車對環境之衝擊，使得適合再生能源發展的電動車愈來愈受到歡迎。

根據美國能源資訊組織於 2013 年 4 月的年度能源輪廓報告指出，於 2025 年電動車的銷售量將大幅提升，2040 年 Micro hybrid 的銷售量佔車輛需求的一半以上，值得注意的是美國近年致力打造電動車充電站，預估 2015 充電站數量達 600,000 座是 2011 年的六倍。



圖二十八 未來車輛市場動力來源輪廓

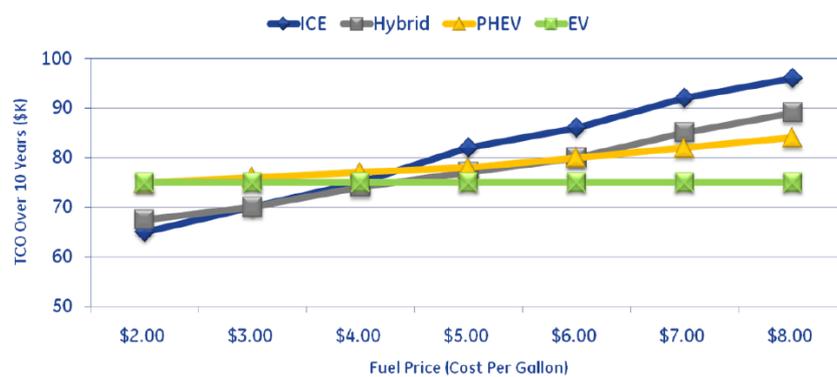


資料來源:Internal GE

圖二十九 2011-2015 年美國電動車充電站數量

6.2 電動車與內燃機汽車的價格比較

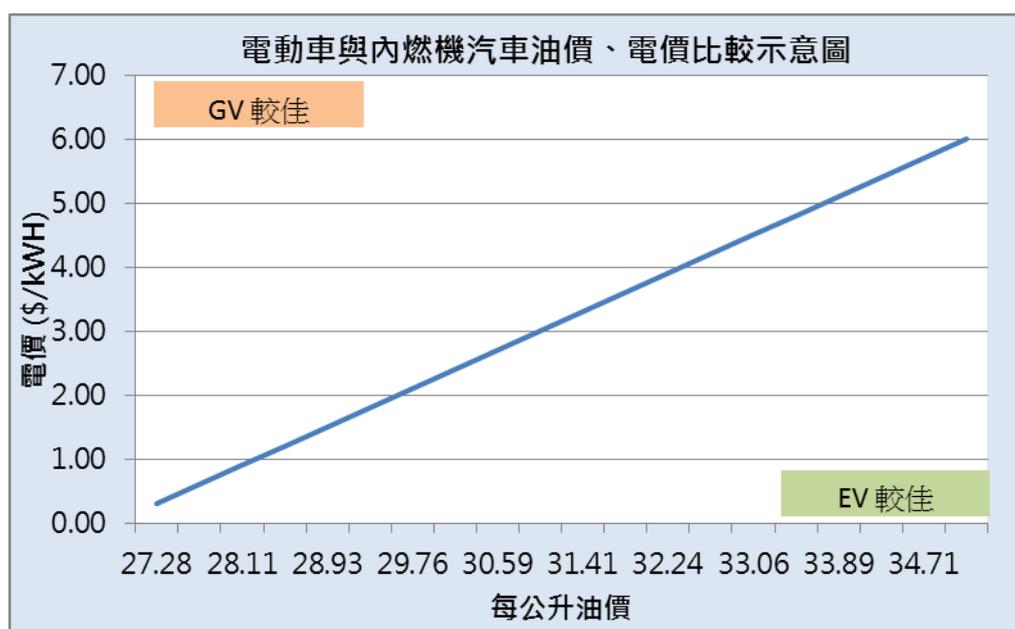
如果未來油價仍持續高漲，未來人們選購新車時，電動車在經濟上將取得優勢，根據奇異公司研究，當美國在 4 美元/加侖時，電動車與內燃機汽車的花費是相當的，若油價持續飆漲，電動車取得價格上的極大優勢。



Sources: "Charging ahead GE EV Solutions", IEEE - NYC Chapter, February 22, 2011, Daniel Ciarcia, GE Product Manager, EV

圖三十 不同燃料別車輛對應油價之成本分析

若考量台灣當前電價及油價如下圖，以 101 年為例，台灣平均電價為 2.722 元，即油價在 33 元以上時，電動車將取得價格優勢(計算基準為電動車價格 105 萬新台幣，3 Miles/kWh、內燃機汽車價格 75 萬新台幣，6.6 Miles/L、折舊率 10%、)。



圖三十一 電動車與內燃機汽車油價、電價比較示意圖

6.3 電動車對電網的衝擊-佛羅里達案例

個別的電動車充電並不會對電網的可靠度造成影響，但若單考量各別小區域，特別是住宅區域則可能造成穩定度影響，如多個居家式高電壓充電可能會超出設備額定設計值，另外快速充電站也可能對配電系統造成衝擊，因為快速充電對電力需求在 50kW 以上，特別注意的是系統負載尖峰時段對系統的影響。

根據佛羅里達公眾服務委員會-電動車研究報告指出，佛羅里達

電動車數量將由 2012 年的 5,531 輛至 2021 年的 226,579 輛，對電力消耗的百分比由 0.09% 提升至 0.33%。

Year	Total EVs in Florida	Additional Electricity Consumption from EVs (GWh)	Total Electricity Consumption in Florida (GWh)	Percent Increase due to EVs
2012	5,531	22.1	238,645	0.009
2013	11,090	44.4	241,632	0.018
2014	19,069	76.3	245,318	0.031
2015	29,517	118.1	250,598	0.047
2016	43,889	175.6	254,549	0.069
2017	64,707	258.8	258,198	0.100
2018	87,360	349.4	261,484	0.134
2019	115,141	460.6	265,337	0.174
2020	161,302	645.2	270,297	0.239
2021	226,579	906.3	275,519	0.329

Source: Utility data responses and 2012 FRCC Load and Resource Plan

圖三十二 佛羅里達未來電動車數量與電能消耗

值得一提的是，由於電動車的顯著成長，至 2021 年時，當年度可減少 9 千 4 百萬加侖的汽油消耗，對整體馬達燃料消耗可節省約 1.17%。

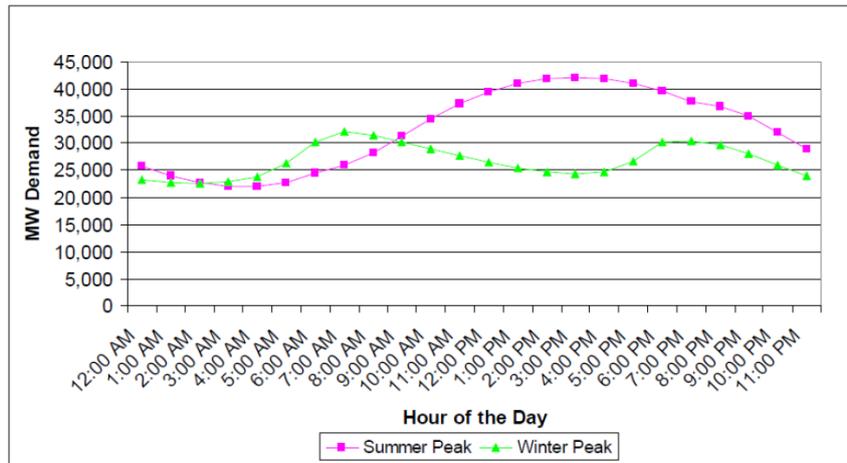
Year	Total EVs	Gasoline Saved (gallons)	Percentage of 2011 Motor Fuel Consumption Saved
2012	5,531	1,969,036	0.024
2013	11,090	4,024,438	0.050
2014	19,069	7,051,292	0.087
2015	29,517	11,118,070	0.137
2016	43,889	16,833,870	0.207
2017	64,707	25,264,489	0.311
2018	87,360	34,711,040	0.428
2019	115,141	46,542,551	0.574
2020	161,302	66,313,044	0.817
2021	226,579	94,710,022	1.167

Source: Utility data responses and FPSC Staff calculations

圖三十三 電動車發展對汽油需求減少評估

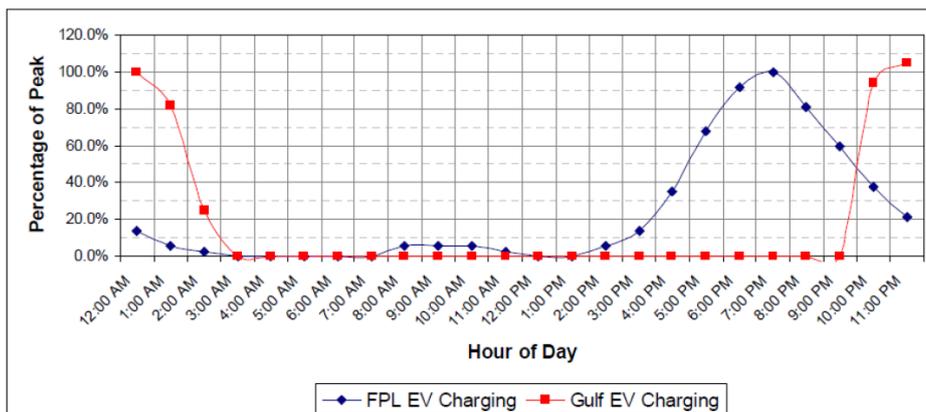
下圖可知佛羅里達用電需求，夏季期間尖峰時段在下午 3 至 5 時，冬天期間則是雙尖峰，第一段是在上午 7 至 9 時、第二段是在下午 6 至 8 時，共同的趨勢是下午 8 時候負載緩步下降，離峰時段約在

上午 2 至 5 時之間。



圖三十四 佛羅里達夏季與冬季負載示意圖

參考下圖，藍色線段為佛羅里達居民的充電時段，明顯集中在下午 3 至 11 點之間，充電尖峰時段為下午 7 時，與冬天時與電力系統負載尖峰有部分重疊，對佛羅里達而言理想的充電時段應是紅色線段，即下午 10 點至隔日 3 點之間。



圖三十五 佛羅里達居民充電時段與理想充電時段差異

3.4 美國電動車用電量占比模擬

根據奇異公司分析，當 20% 的汽車為電動車，電動車年消耗電量為 240TWh，佔全美電力消耗量的 6.67%，這意味著電動車數量龐大時，可對電力系統產生衝擊。

EV Portion of All Vehicles (%)	Number of EVs (Millions)	Annual EV Electricity Demand (TWh)	Percent of USA Electricity Consumption (%)
1%	3	12	0.33%
5%	15	60	1.67%
10%	30	120	3.33%
20%	60	240	6.67%

圖三十六 電動車佔整體車輛佔比對電能的消耗佔比

- ◆ 美國用電量為 3,600TWh
- ◆ 3 億輛汽車
- ◆ 平均駕駛距離 12,000Mileage/Year
- ◆ 電動車里程與耗電量 3Miles/kwh

6.4 電動車的充電等級

主要分為三級，概略介紹如下

第一級:交流式電源充電(110V)，2 至 5 Mile/小時，電池用盡到充滿需要 16-18 小時，非常低的成本約在 10 至 1000 美元之間，非常適合推廣給電動車使用者並且容易在工作地點使用。

第二級:交流式電源充電(220V)，10 至 20 Mile/小時，電池用盡到充滿需要 3-8 小時，成本約在 500 至 6000 美元，較快的充電時間，通常由第三方廠商建置並提供充電服務，需要增加充電所需設備。

第三級:直流快速充電(480V)，60 至 80 Mile/20 分鐘，電池用盡到充滿需要 30 分鐘，非常高的成本大於 15,000 美元以上，較適合於公共場所設置。

6.5 充電收費方式

以充電時間為基準:簡單、直觀的方式，充電時間容易測量，但須考量當充電完成後的時間如何收費，如民眾停車在停車場三小時，但充電時間只有二小時，多出一小時如何處理。

以充電能量為基準:確實計算傳輸能量，能量上收費合理，但無法適當反映充電時間成本，美國多數州不採用這方式收費。

以下是一些以充電時間為計算基準的例子，大致上區分尖峰、半尖峰及離峰價格，而尖峰與離峰的單位價差約 1 至 3 倍，鼓勵電動車使用者於離峰充電，充分反應電力系統尖、離峰發電成本之差異。

Utility	Period	Price (cents/kWh)	Timing Source
Consumers Energy	Peak	19	2 pm - 6 pm ¹
	Mid-peak	12	7 am - 2 pm, 6 pm - 11 pm
	Off-peak	6	11 pm - 7 am
Detroit Edison	Peak	18	9 am - 11 pm (Mon-Fri) ²
	Off-peak	8	11 pm - 9 am (Mon-Fri), All Day (Sat, Sun)
Hawaiian Electric	Peak	18	7 am - 9 pm (Mon-Fri) ³
	Off-peak	11	9 pm - 7 am (Mon-Fri), All Day (Sat, Sun)
Pacific Gas & Electric	Peak	28	2 pm - 9 pm (Mon-Fri) ⁴
	Mid-peak	10	7 am - 2 pm, 9 pm - 12 am (Mon-Fri), 5 pm - 9 pm (Sat, Sun)
	Off-peak	6	12 am - 7 am (Mon-Fri), 9 pm - 5 pm (Sat, Sun)
San Diego Gas & Electric	Peak	26	12 pm - 6 pm ⁵
	Mid-peak	17	5 am - 12 pm, 6 pm - 12 am
	Off-peak	15	12 am - 5 am
Southern California Edison	Peak	27	12 pm to 9 pm ⁶
	Off-peak	12	9 pm to 12 pm

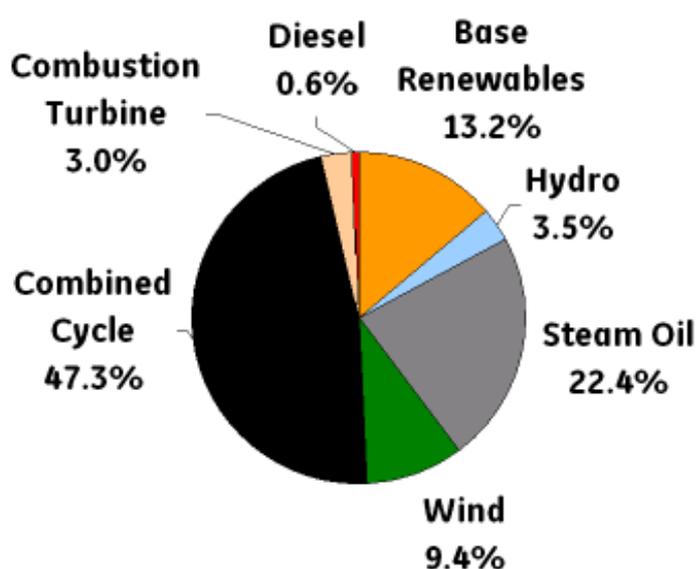
Sources:
1. Consumers Energy website
2. DTE website
3. HECO website
4. PG&E website
5. SDG&E website
6. SCE website

Notes:
1. Several of the utilities offer different rates depending on whether the metering is done for the whole house or separately for the electric vehicle. For simplicity, we have only presented the separately metered rate.
2. Some utilities offer rates that vary by season; for simplicity, only the summer rate is shown. Winter rates are lower.
3. It's also somewhat common for utilities not to have created an EV-specific TOU rate, but to recommend that EV owners enroll in an existing residential TOU rate (Portland General Electric is one example).
4. Prices represent only the variable portion of the rate and don't reflect, for example, customer charges.

圖三十七 不同電力公司採用的充電收費價格

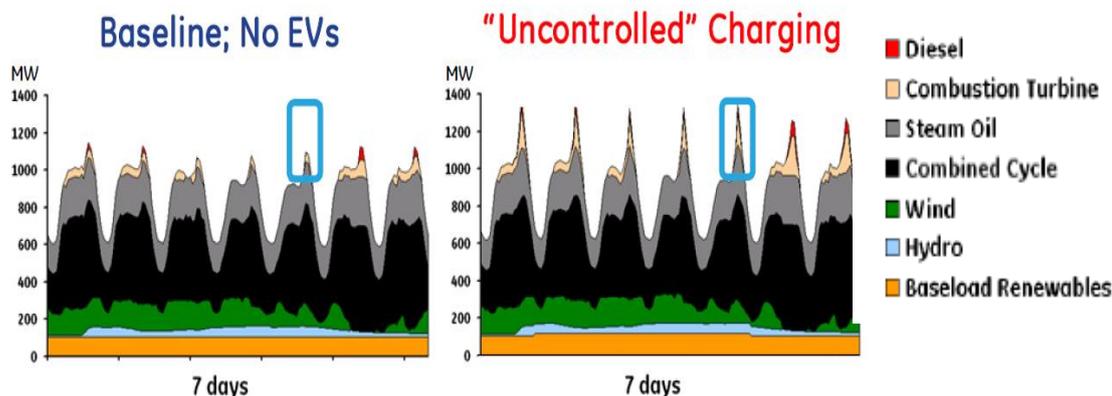
6.6 電動車對系統影響-案例分析

每個電力系統是獨一無二的，本案例分析旨在探討電動車對系統負載的敏感度。參考下圖分析案例，總裝置容量約 1638MW，主要由複循環、燃油機組及再生能源組成，其中風力占了 9%。假設該地區有 72 萬輛汽車，其中 10% 為電動車。



圖三十八 模擬案例之全年電能生產來源

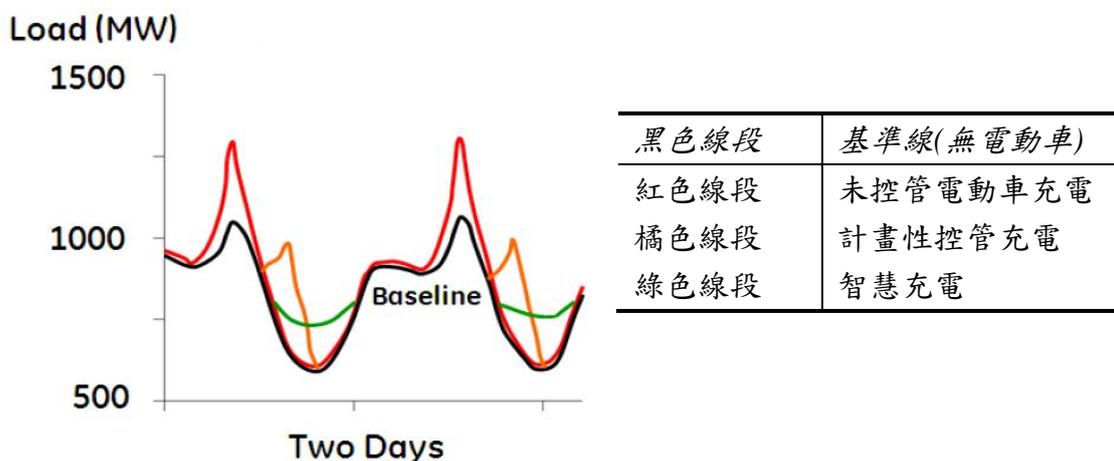
以一週時間來看，系統考量電動車負載，若無明顯的管控措施，電動車充電時段將集中在尖峰時刻，造成系統須調度成本較高的機組發電，且必須增加系統裝置容量及提升輸變電傳輸能力。



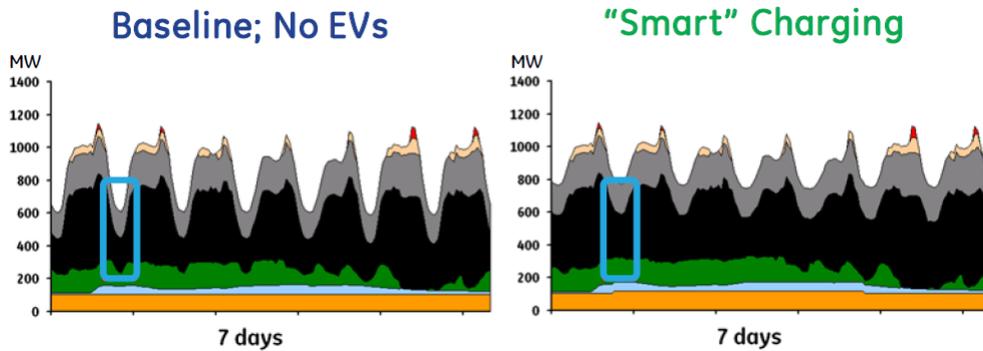
圖三十九 有無電動車對系統機組發電之影響

電動車充電時段需要擬定策略，如未控管電動車充電，會有 78% 的駕駛選擇在下午 4 至 7 時進行充電，系統需要更多的機組以滿足負載需求；如計畫性夜間充電規定使用者在上午一時至五時進行充電，負載管理得出結果較未管控佳；如採智慧充電，電動車充電能量配合負載，亦可當備轉容量來使用。

採智慧型充電方式，可平緩增加夜間時刻系統負載，不至於使用到成本較高之機組。此外，當系統風力機組發電過多時，為避免夜間時刻大型機組被迫解聯，風力機組須降載運轉，此時電動車加入系統可避免風力降載的情況發生。



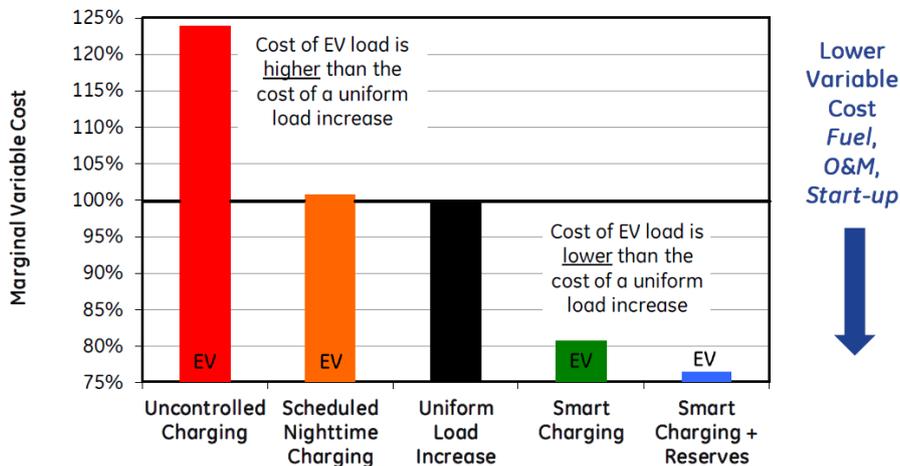
圖四十 不同電動車充電控管方式對應系統負載變化



圖四十一 智慧型充電方式對機組排程變化示意圖

邊際成本的探討:根據本案研究，如未控管電動車充電時段，則系統邊際成本將提升 25%，即使採計畫性夜間充電，略高於較沒有電動車的系統邊際成本，採智慧充電則可降低可觀的邊際成本，邊際成本的降低主要因夜間發電機組不再需要配合負載需求降載或解聯，可保持在較高的效率點運轉並降低操作成本，另一個經濟上的優點是當夜間風力過多時仍可滿載輸出，不需要保留出力。

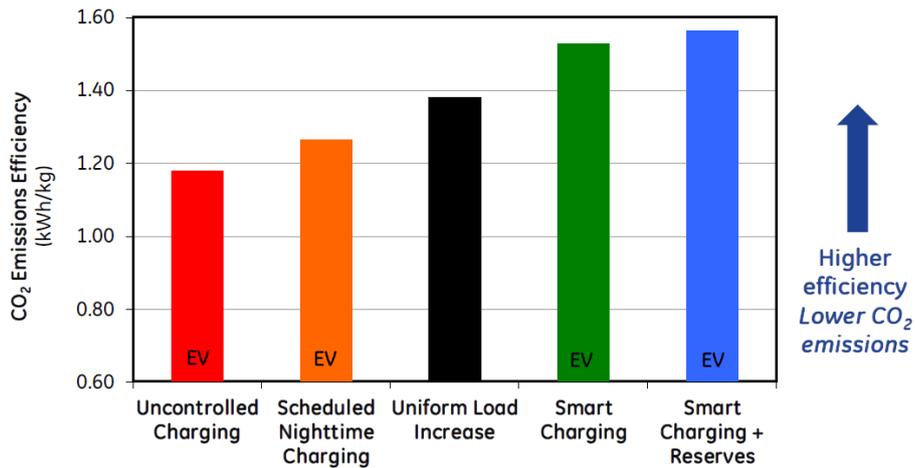
Economics ... Smart charging reduced marginal costs



圖四十二 不同電動車充電控管方式對應之系統邊際成本

另一個探討的重點是，溫室氣體的排放問題，如果未控管電動車充電，每單位 CO2 可生產的電能將明顯下降，反之若採智慧型充電則可提升 CO2 排放效率。

CO₂ ... Smart charging reduced emissions



圖四十三 不同電動車充電控管方式對系統碳排放之影響

6.7 結論

隨著環保意識抬頭，適合再生能源發展之電動車將越來越被採用，電動車提供一個顯著的負載需求，如 3.6 節的案例探討，10% 的電動車負載將提升 4.7%，同時若未控管充電行為，機組邊際發電成本將增加 24%，反之若採智慧型充電，則會有 19% 下降，另外若考量溫室氣體排放，未管控充電將較智慧型充電增加 30% 的 CO₂ 排放，兩種極端的結果取決於消費者充電行為的選擇。

第七章 參考文獻(攜回資料)

1. Hamid Elahi, “Power System Fundamentals”
2. Jovan Bebic, “Power System Analysis and Symmetrical Components”
3. Steve Barnes, “Transmission Planning And Analysis”
4. Liz Pratico, "Surge Analysis & Equipment Application"
5. John P. Skliutasr, “Reactive Power Compensation & Voltage Control”
6. Luis Polanco, “Protective Relaying Fundamentals”
7. Miaolei Shao & Jovan Bebic , “Synchronous Machines”
8. Juan J. Sánchez-Gasca,& Miaolei Shao “Power System Dynamics”
9. Lavelle Freeman, “Distribution Planning and Engineering”
10. John McDonald& Byron Flynn, “Smart Grid: Substation Distribution Automation”
11. Bruce English, “Power Electronics Applications in Transmission”
12. Beth LaRose, “Global Power Markets”
13. S. Venkataraman&Gene Hinkle, “U.S. Electric Power Industry”
14. Sundar Venkataraman, “Power Plant Financial Modeling and

Evaluation”

15. Steve Oltmanns&Mark Schroder, “Utility Economics and Power Systems Operation”
16. Bob Woodfield&Mark Walling, “Strategic Transmission & Generation Planning”
17. Fred Post&Kevin Stone, “Competitive Power Generation”
18. Bahman Daryanian, “SG:Demand Response & Dynamic Pricing”
19. Matt Lecar&Ev Whitaker, “Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications”
20. Bahman Daryanian&Gene Hinkle, “Energy Storage”
21. Jason MacDowell, “Renewable Energy”
22. Prabha Kundur, “Power System Stability and Control”
23. John D. Mcdonald, “Eelctric Power Substations Engineering”
24. Dr. M. Harry Hesse, “Principles Of Electric Power Engineering Analysis”
25. Paul C. Krause&Oleg Wasynczuk&Scott D. Sudhoff, “Analysis of Electric Machinery and Drive Systems”
26. James J. Burke, “Power Distribution Engineering”
27. Allan Greenwood, “Electrical Transients in Power Systems”



Bandar Abdulrahman Safed AlHazmi
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Second Quarter



Bandar Salem Menawer AlHarbi
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Second Quarter



Asmail Mesaeed AlHajjaji RASGAS DATAR
First & Second Quarters



Ahmad Ghomailan Mohammad AlGhannadi
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Second Quarter



Abdurahman Ayed Mohammed AlGarni
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Second Quarter



Rei Hemmi, PhD
HITACHI, LTD.
JAPAN
First Quarter



Linda Nana Huna Baah
GHANA GRID COMPANY, LTD.
GHANA
Third Quarter



Guo-Tang Liang
TAIWAN POWER COMPANY
TAIWAN
Fourth Quarter



Jonghan Kim
KEPCO
KOREA



ImJung Kim
KEPCO
KOREA
Second Quarter



Ahmed Mohammed Momin Khan
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Second Quarter



HuDae Jung
KEPCO
KOREA
Second Quarter



Wei Yeo Hsu
TAIWAN POWER COMPANY
TAIWAN



Toyohisa Tashiro
ELECTRIC POWER
DEVELOPMENT COMPANY, LTD.
JAPAN



Tae Yong Song
KOREA POWER EXCHANGE
KOREA



Katsuhiko Shiratschi, PhD
HITACHI, LTD.
JAPAN
First Quarter



Katsuya Mogami
CHUBU ELECTRIC POWER
COMPANY, INC.
JAPAN

Power Systems & Energy Course 2013



Stanley Appiah
VOLTA RIVER AUTHORITY
GHANA
Third Quarter



Ahmad Abdulrahman Rashed AlJahr
SAUDI ELECTRICITY COMPANY
SAUDI ARABIA
Third Quarter

附錄二 2013 PSEC 課程講師合照



Lavelle A. Freeman
DISTRIBUTION SYSTEMS
PLANNING & ENGINEERING



Gene A. Hinkle
ENERGY STORAGE, ELECTRIC
VEHICLES & DISTRIBUTED
ENERGY RESOURCE SYSTEM
INTEGRATION



Altesane NDour
THE GLOBAL POWER
MARKET



John P. Skliutas
REACTIVE POWER
COMPENSATION & VOLTAGE
CONTROL



Byron Flynn
SMART GRID:
SUBSTATION/DISTRIBUTION
AUTOMATION



Nicholas W. Miller
FUNDAMENTALS OF
RENEWABLE ENERGY
SYSTEMS



Dr. Minotai Shao
SYNCHRONOUS MACHINE
FUNDAMENTALS
POWER SYSTEM DYNAMICS



Robert H. Woodfield
POWER PLANT FINANCIAL
MODELING & EVALUATION
STRATEGIC GENERATION
PLANNING



Michael Farina
THE GLOBAL POWER
MARKET



John D. McDonald
SMART GRID:
SUBSTATION/DISTRIBUTION
AUTOMATION



Dr. Juan J. Sanchez-Gasca
POWER SYSTEM DYNAMICS



Everett W. Whitaker
FUEL FLEXIBILITY &
ALTERNATIVE ENERGY
APPLICATIONS



Bruce English
POWER ELECTRONIC
APPLICATIONS IN
TRANSMISSION



Jason M. MacDowell
FUNDAMENTALS OF
RENEWABLE ENERGY
SYSTEMS



Christopher Prince
ADVANCED METERING
INFRASTRUCTURE
FUNDAMENTALS



Mark W. Walling
STRATEGIC GENERATION
PLANNING



Dr. Hamid Elahi
POWER SYSTEM
FUNDAMENTALS



Daniel J. Leonard
PROTECTIVE RELAYING
FUNDAMENTALS



Elizabeth R. Pratico
SURGE ANALYSIS &
EQUIPMENT APPLICATION



Sundar R. Venkataraman
U.S. ELECTRIC POWER
INDUSTRY
POWER PLANT FINANCIAL
MODELING & EVALUATION



Dr. Bahman Darypanian
SMART GRID: DEMAND
RESPONSE & DYNAMIC PRICING
ENERGY STORAGE, ELECTRIC
VEHICLES & DISTRIBUTED
ENERGY RESOURCE SYSTEM
INTEGRATION



Matt Lecar
FUEL FLEXIBILITY &
ALTERNATIVE ENERGY
APPLICATIONS



Fred J. Post
COMPETITIVE POWER
GENERATION



Arun Unni
THE GLOBAL POWER
MARKET



Dr. Jovan Bebic
POWER SYSTEM ANALYSIS
& SYMMETRICAL
COMPONENTS
SYNCHRONOUS MACHINE
FUNDAMENTALS



Hilary K. Lashley Remison
U.S. ELECTRIC POWER
INDUSTRY



Luis Polanco
POWER SYSTEM ANALYSIS
& SYMMETRICAL
COMPONENTS
PROTECTIVE RELAYING
FUNDAMENTALS



Kevin D. Stone
COMPETITIVE POWER
GENERATION



Steven A. Barnes
TRANSMISSION PLANNING
& ANALYSIS



Sureeh Ganatan
DISTRIBUTION SYSTEMS
PLANNING & ENGINEERING



Elizabeth M. LaRose
THE GLOBAL POWER
MARKET



Steven E. Ottmanns
UTILITY ECONOMICS & POWER
SYSTEMS OPERATION



Bart Stoffer
THE GLOBAL POWER
MARKET

Power Systems & Energy Course Instructors 2013