



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：其他)

赴泰國曼谷參加 2015 年 IEEE 創新
智慧電網科技亞洲研討會心得報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱姓名：技士林明山

出國地點：泰國曼谷市

出國期間：中華民國 104 年 11 月 2 日至 11 月 7 日

報告日期：中華民國 105 年 1 月 21 日

行政院研考會/省(市)
研考會編號欄

目 錄

壹、	前言與目的.....	7
貳、	活動行程簡述.....	7
參、	參加智慧電網專業教學.....	11
肆、	參加專業論壇.....	20
伍、	心得與建議.....	50
一、	心得.....	50
二、	建議事項.....	58

圖目錄

圖 1、研討會舉辦會場	8
圖 2、研討會舉辦會場內部	8
圖 3、IEEE 電力及能源協會主席 Miroslav M. Begovic 教授致詞	9
圖 4、IEEE 電力及能源協會泰國分會主席 Boonmarg Smitthileela 先生 開場致詞.....	10
圖 5、大會雞尾酒晚宴表演	11
圖 6、「同步相量量測器應用於電網的操作及控制」課程	13
圖 7、3 相電壓或電流.....	13
圖 8、PMU 的定義	14
圖 9、Phasor(相量)的定義	14
圖 10、動態的相量	15
圖 11、PMU 的內部元件方塊圖	16
圖 12、包含 PMU 的設備	17
圖 13、同步相量量測基礎概念：取樣	17
圖 14、PMU 的生產廠商	18
圖 15、同步相量量測基本概念：資料品質	19
圖 16、PMU 的基本應用	20
圖 17、北美洲電網中相量量測單元分佈圖	20
圖 18、典型的 SVC 架構.....	22
圖 19、基本波及諧波的機率分佈	23
圖 20、機率分佈及最佳 SVC 位置.....	23
圖 21、在匯流排 k_1, k_2 及 k_n 第 h 階電流注入電力系統的示意圖	24
圖 22、匯流排 s 之戴維寧等效電路示意圖.....	24
圖 23、諧波電壓於落於信心區間的評估	25
圖 24、諧波失真的機率信賴區間之圖示	26
圖 25、18 個匯流排配電系統.....	27
圖 26、各個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置作業前之 THD _v 的 95% 機率 位準值分佈圖	28
圖 27、各個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置作業前之 IHD _v 的 95% 機率 位準值分佈圖	29
圖 28、每個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置前的 V_{rms} 99.9% 機率位準 分佈圖.....	29
圖 29、並列式 SVC 的操作範圍.....	30
圖 30、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 THD _v 95% 機率位準值 分佈圖.....	30

圖 31、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 IHDv 95% 機率位準值分佈圖.....	31
圖 32、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 Vrms 99.9% 機率位準值分佈圖.....	31
圖 33、在 CSW 市場，時段 j 的結清價格 p_j^* 是由參加的代理人間拍賣匹配所決定，供給拍賣 $q_{i,S}(p_j)$ 及需求拍賣 $q_{i,D}(p_j)$ 是單向遞增函式，對映單位價格至能源的數量。剩餘供應函式描述在不同的價格的剩餘的能源(加總)，其與 0 相交在 p_j^*	34
圖 34、在 SAW 市場對時段 j 結清價格 p_j^* 被決定，藉由對每個開放時段增加單位價格 p_i ；對一給定的時段當供給超過需求，此時段交易關閉，此範例中在結清價格 1 cent/kWh 時段 13 及 84 首先關閉.....	35
圖 35、價格預測錯誤值，其表示對每個時段在真實清場價格與價格預測之間絕對差異的中間值。紅色圓圈(虛線)表示上線(on line)預測的錯誤值；黑色圓盤(實線)表示離線(off line)預測的錯誤值.....	36
圖 36、在所有模擬的天數中實用性(utility)及表現(performance)的分佈，這些圖可以被解釋為特定實用性或表現的發生機率(每條曲線下的總面積為 1)，根據定義，表現的最佳配置為 100%.....	37
圖 37、選擇的結果(最後一日結清價格及電動車需求)顯示當拍賣人員考慮上線價格資訊時，採購排程(黑實線)與最佳化(灰色區)對齊的改善，此展示了對聰明需求響應(上線)資訊的價值.....	38
圖 38、熱帶新加坡典型的一天中高變異性日照曲線；資料來源：SERIS 氣象站.....	41
圖 39、來自新加坡能源市場公司隨機的一天 30 分鐘間隔的價格資料.....	41
圖 40、來自新加坡能源市場公司的 24 小時需求資料.....	42
圖 41、由隨機函式展示的工作完成曲線.....	46
圖 42、負載曲線在 EDF 有 10% 可延遲負載和沒有太陽能發電下比較資源調度.....	46
圖 43、負載曲線在 EDF 有 10% 可延遲負載和 10% 太陽能發電普及率下比較資源調度.....	47
圖 44、在引入發電預測修改的 EDF 下比較資源調度的負載曲線(10% 可延遲的負載和 10% 的太陽能發電普及率).....	49
圖 45、泰國智慧電網主軸計畫執行單位.....	51
圖 46、泰國智慧電網主軸計畫策略.....	51
圖 47、泰國及 EGAT 智慧電網實作期程.....	53
圖 48、Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫(1/2).....	53

圖 49、Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫(2/2)	54
圖 50、不同國別發表論文數佔整體論文數之比率	56
圖 51、不同論文主題佔整體論文數之比率	57

表目錄

表 1、諧波電流源機率特徵(%)	27
表 2、並列式 SVC(TCR+LCF)位置及容量	30
表 3、有不同的時段順序及拍賣格式及可得資訊的效應之(W) alrasian 呼叫拍賣會 4 項分類，結果以 CSW 及 SAW 市場來展現	32
表 4、EDF 調度在不同的太陽能及可延遲負載普及率下的 24 小時總 成本比較.....	47
表 5、對在 EDF 和 LLF 於不同的太陽能普及率下的調度之 24 小時 的總成本比較	48
表 6、在不同可延遲負載普及程度 EDF 和 LLF 計算時間比較.....	48
表 7、不同國別發表論文數(*為公司).....	55
表 8、不同主題發表論文數	56

壹、前言與目的

本局配合行政院 101 年核定之智慧電網總體規劃方案，積極辦理智慧電網相關科專、科發研究計畫推動，於研究計畫規劃下本年度台中分局王課長宏魯與台北總局第六組林技士明山共同撰寫「A Probabilistic Approach for SVC Placement with Harmonic Control and Reactive Power Compensation」技術論文一篇，投稿於本(104)年於泰國曼谷舉辦之 IEEE 創新智慧電網科技亞洲研討會(IEEE Innovative Smart Grid Technologies 2015 Asian Conference, 簡稱 ISGT Asia 2015)，該論文被接受發表，本次出國行程主要為發表此論文。

另為蒐集國際智慧電網最新檢測與驗證技術資料，與國際智慧電網領域之專家與學者進行技術交流，建立連絡管道，以利後續科專、科發計畫之執行，並接受與會人士技術諮詢，指派本局林技士明山出席該研討會。

貳、活動行程簡述

參加研討會行程：

- 11 月 2 日(星期一)：桃園機場搭機赴泰國曼谷。
- 11 月 3 日(星期二)：曼谷 ISGT Asia 2015 亞洲研討會會場(曼谷市 Centara Grand & Bangkok Convention Centre 如圖 1 及圖 2 所示)辦理報到手續及領取會議相關資料，之後開始研讀會議相關資料與了解會場環境，並快速瀏覽各場次的論文題目，以安排準備聆聽的會議場次。上午 9 點至下午 5 點有 4 場來自工業界及學術界的專家或教授教學(Tutorial)，其中 3 場在 3 個不同場地同時舉行，另 1 場則安排在前述其中 1 場之後。



圖 1、研討會舉辦會場



圖 2、研討會舉辦會場內部

- 11月4日(星期三)：上午9點開幕典禮首先由IEEE電力及能源協會(PES)主席Miroslav M. Begovic教授致歡迎詞(如圖3所示)，其後由IEEE電力及能源協會泰國分會主席Boonmarg Smithileela先生致開場詞(如圖4所示)，泰國能源部常務秘書Areepong Bhoocha-oom博士進行能源主題演說。隨後4場專題演講(Keynote Address)均由泰國官方主管機關首長發表，分別為能源監管委員會(ERC)主席Pornthape Thanyapongchai先

生、發電管理局(EGAT)長 Soonchai Kumnoonsate 先生、大都會電力管理局(MEA)長 Somchai Roadrungrwasinkul 及省電力管理局(PEA)長 Sermsakool Klaikaew 先生，講題均為泰國智慧電網，中午之前最後一個講題為 ABB 公司代表 Hakan P. Johansson 先生發表的“Future Demands on the Grid from a Smart Grid Perspective: Systems and Services to Optimize Grid Performance”專題演講。下午 1 點開始有 12 場論文發表場次，3 點之前同時有 6 場不同場地分別發表，3 點 15 分之後剩下 6 場不同場地同時發表，每一個場次大約有 120 分鐘及 8 篇論文。



圖 3、IEEE 電力及能源協會主席 Miroslav M. Begovic 教授致詞



圖 4、IEEE 電力及能源協會泰國分會主席 Boonmarg Smitthileela 先生開場致詞

- 11 月 5 日(星期四)：上午 8 時 30 分至 10 時為全會座談會 (Plenary Panel Discussion) 主題為電力工程中女性的角色，由泰國發電管理局 Thitiporn Sangpetch 博士主持，與談人有美國 Kansas 州立大學 Noel N. Schulz 教授、馬來西亞 MARA 科技大學 Zuhaina Zakaria 博士、泰國工業資產及策略夥伴協會主席 Anchalee Chavanich 女士及泰國 B.Grimm 電力公司銷售及市場副總裁 Oratai Suwanwilaikul 小姐，4 位與談人均為女性。上午 10 時 15 分至中午 12 時全會座談會主題為公用事業主管論壇，由 IEEE 電力與能源協會(PES)理事會代表及 Alstom 電網公司 Jay Giri 博士主持，與談人有沙勞越能源 Berhad 公司資深副總裁 Victor Wong 先生、澳洲西部電力公司系統管理部門主管 Dean Sharafi 先生、泰國發電管理局規劃部門襄助(Assistant)主管 Paruhus Vongthanet 先生及泰國省電力管理局副局長 Vilas Ngamsangroongsaroj 先生。下午 1 時至 3 時同時有 6 場不同場地分別發表論文，每場有 8 篇論文，3 時

15 分至 5 時同時有 6 場不同場地分別發表論文，每場約有 8 篇論文。晚上 6 時 30 分至 8 時為大會雞尾酒晚宴時間。圖 5 為大會雞尾酒晚宴表演。



圖 5、大會雞尾酒晚宴表演

- 11 月 6 日(星期五)：8 時 30 分至 9 時 45 分同時有 6 個場次發表論文，每一場次約有 5 篇論文，10 時至 11 時 15 分同時有 5 個場次發表論文，每一場次約有 5 篇論文發表。11 時 15 分至 45 分為閉幕典禮，由明年 ISGT Asia 2016 研討會主辦單位簡報明年將於澳洲墨爾本舉辦之廣告簡報，大會並報告今年研討會的相關統計資料。下午 1 時至 4 時為大會安排的科技之旅，有 2 個行程，其一為參觀 Ayutthaya 省的陽光 Bangchak 太陽能發電園區，另一為參觀省電力管理局資料採集與監控系統(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)／配電管理系統(Distribution Management System, DMS)系統。
- 11 月 7 日(星期六)從泰國曼谷搭機回台北。

參、參加智慧電網專業教學

本次研討會第 1 天有安排整天專業教學(Tutorial)，共有 4 個課程，但是前 3 個課程同時在 3 個不同場地進行，其中第 3 個課程只有半天，第 4 個課程也僅半天安排於其後，為讓學習能比較完整且連貫，只能選其中 1 個場地來上課，4 個課程分別為：

1. 「同步相量量測器應用於電網的操作及控制」(Application of Synchrophasors for Power Grid Operation and Control)由美國華盛頓州立大學 Anurag K. Srivastava 博士主講。
2. 「風能管理系統」(Wind Energy Management System)由丹麥 Vatenfall 公司 Jens Madsen 博士主講。
3. 「利用 OpenDSS 軟體於智慧配電網路之先進模擬」(Advanced Modelling of Smart Distribution Networks Using OpenDSS)由英國曼徹斯特大學 Luis (Nando) Ochoa 博士主講。
4. 「未來電網的管理：於控制中心的能源管理系統(EMS)、PMU 同步向量量測器的量測之演進」(Managing the Future Grid : Evolution of Energy Management Systems (EMS), PMU Synchrophasor Measurements at Control Centers)由 Alstom 電網公司 Jay Giri 博士主講。

我們選擇了第 1 個課程，Anurag K. Srivastava 博士非常認真製作了 127 頁的投影片，限於篇幅我們僅就幾個重要內容介紹。圖 6 為上課時教室會場照片。圖 7 為 3 相電壓或電流基本概念，3 相電壓或電流為 3 個弦波，每個弦波之間相角相差 120° ，也就是時間上相差 $\frac{1}{3}$ 週期，弦波是以三角函數 $A \cdot \sin(\omega t + \theta)$ 來表示，A 為弦波的大小， ω 與弦波的頻率有關，而

θ 即為弦波的相角，以 cosine 函數來表示亦可。3 相電壓或電流於電力系統、馬達等使用相當廣泛而基本，是非常重要的基本概念。



圖 6、「同步相量量測器應用於電網的操作及控制」課程

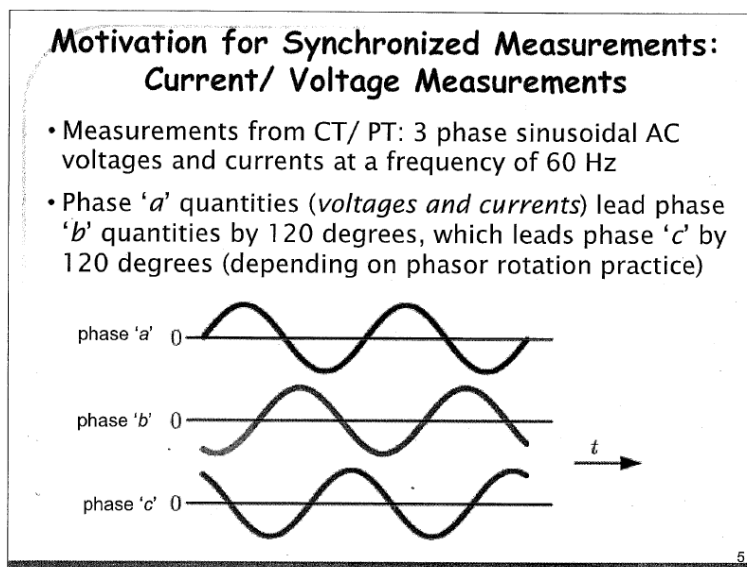


圖 7、3 相電壓或電流

圖 8 為相量量測單元 PMU(Phasor Measurement Unit)的定義，Phasor(相量)是一個複數用來代表一個弦波，其包含大小及相角，頻率已被省略。PMU 根據 IEEE 的定義是 1 項設備用來

產生來自 GPS 全球衛星定位系統提供的同時時間電壓及/或電流的相量、頻率及頻率變動率(ROCOF)之同步量測。圖 9 為 Phasor(相量)的定義，圖中數學函數為 $(\sqrt{2})A\cos(2\pi \times 60 \times t + \phi)$ ，60 即為我們一般稱市電頻率為 60 Hz，如果是電壓，市電 110 V 即為 A 值，而數學上要乘 $(\sqrt{2})$ ， $(\sqrt{2})A$ 為瞬間的最大值，A 則為一平均值， ϕ 為相角。相量是以數學上複數來表示，如圖中 $\sqrt{2}Ae^{j\phi}$ 為一複數。

PMU Definition

PMU definition (as stated in IEEE Std.C37.118-2011):

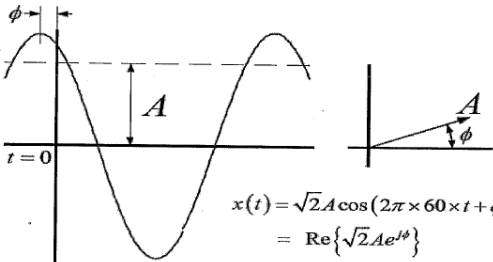
- "A device that produces synchronized measurements of phasor (i.e. its amplitude and phase), frequency, ROCOF (Rate of Change Of Frequency) from voltage and/or current signals based on a common time source that typically is the one provided by the Global Positioning System UTC-GPS."

10

圖 8、PMU 的定義

Synchrophasor Fundamentals: Phasor Definition

- Phasor: A sinusoidal signal can be represented by a cosine function with a magnitude A, frequency ω , and phase ϕ .
- A is the rms value of the voltage/current signal



$$x(t) = \sqrt{2}A\cos(2\pi \times 60 \times t + \phi)$$

$$= \text{Re}\{\sqrt{2}Ae^{j\phi}\}$$

Phasor representation of a sinusoidal wave form

15

圖 9、Phasor(相量)的定義

在現實的世界，電力系統很少操作在一個號稱 50 或 60 Hz 的精準頻率，一般是會上下飄動的。圖 10 的相量公式中可以看到相量的大小 $X_m(t)$ 為一時變量，也就是電壓或電流的大小會隨時間變動，此部分很容易理解，而相量的相角則需要頻率 $g(t)$ 對時間作積分再加上一時變的量 $\varphi(t)$ 來取得。一般而言，我們無法取一即時 t_1 的相量，而是要對 t_1 時間附近一小段時間區間的訊號作一評估，而算出相量，此為積分運算之內涵。圖 11 為 PMU 內部方塊圖，最上方為 GPS 接收單元，GPS 下方為鎖相迴路，最左方為類比訊號輸入進反鋸齒(anti-aliasing)濾波器，反鋸齒也譯為抗鋸齒或邊緣柔化、消除混疊、抗圖像摺疊失真等，之後訊號進入 16 位元類比數位轉換器，轉為數位訊號，之後再進入相量微處理器，最後將處理完的結果由數據機 (Modem) 輸出。

Signal specification

- Phasor is a shorthand for sinusoid formula
 - Specifies magnitude and phase
 - Assumes frequency, based on nominal f_0
- We are used to seeing constant phase and amplitude
 - X_m & φ give phasor: $\mathbf{X} = X_m e^{j\varphi}$
- A true dynamic system has changing parameters:
 - Amplitude: $X_m(t)$
 - Frequency: $g(t)$
 - Phase: $\varphi(t)$
- Giving a dynamic phasor:

$$\mathbf{X}(t) = (X_m(t)/\sqrt{2})e^{j(2\pi \int g dt + \varphi(t))}$$

圖 10、動態的相量

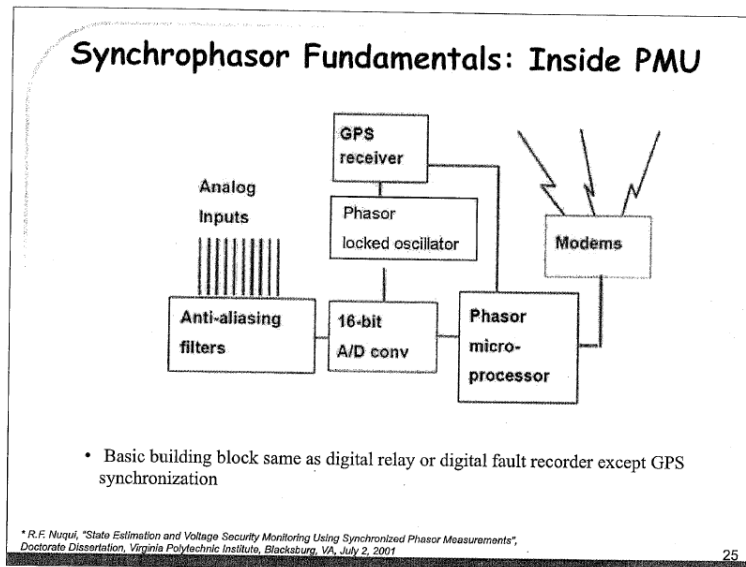


圖 11、PMU 的內部元件方塊圖

圖 12 說明 PMU 可以評估或者量測電壓及電流序列、電壓及電流的相角、頻率、頻率變動率及斷路器的切換狀況。圖中最左有一變壓器，其透過電纜線接上負載，再接上衰減器後連接到 PMU，變壓器右方與變壓器相像的裝置為比流器，也就是將電流放大或縮小一定比例，同樣接負載及衰減器後接到 PMU，而 PMU 上方有一 GPS 天線，以接收衛星訊號。圖 13 顯示同步相量量測的基本概念—取樣，取樣會將連續的電壓或電流訊號透過取樣電路轉為數位訊號，圖中每個訊號週期取 12 個點，利用分散式傅利葉數列(DFS)法計算訊號的大小及相角。

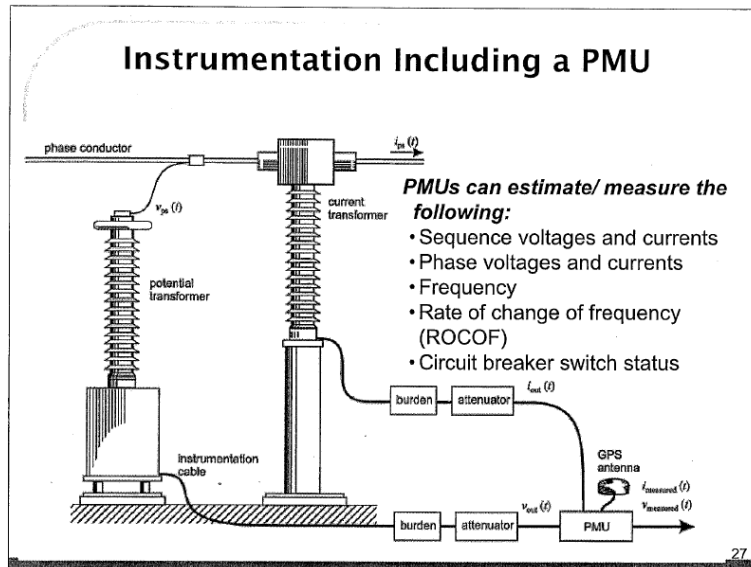


圖 12、包含 PMU 的設備

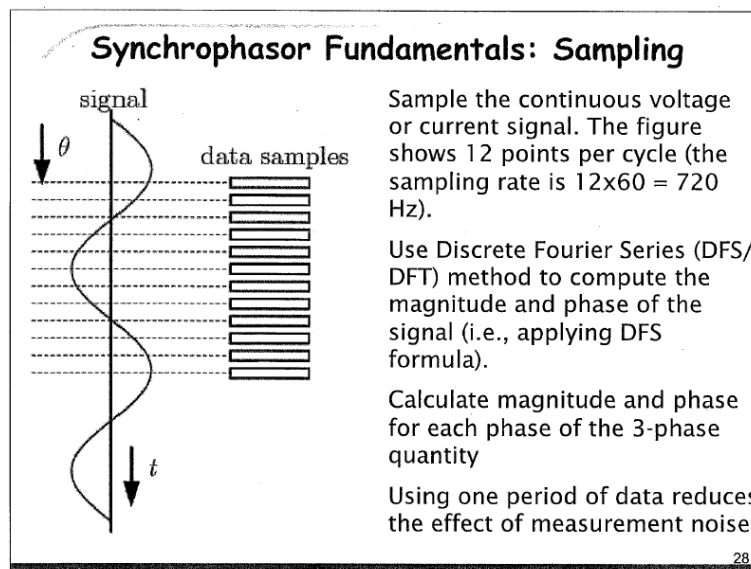


圖 13、同步相量量測基礎概念：取樣

圖 14 列舉了 PMU 的廠牌，出名的如 GE、Siemens、National Instruments... 等等。圖 15 揭示了新英格蘭地區實際 PMU 量測結果，圖中為 4 個 PMU 於不同地區的量測結果，可以看到 4 條不同曲線，仍有些許差異，縱軸為頻率大小，橫軸為時間。根據 IEEE C37.118.1 標準，PMU 可以大致分為 2 類，P 型需要快速反應，M 型則量測需要高精準。一般而言，GPS

同步設備可提供時間的準確可以小於 1 微秒(μs)，或者等效來說 60 Hz 的訊號有 0.02° 的相角差。而 PMU 提供的電壓及電流大小一般而言相當準確，大約 1% 的誤差。電壓及電流相角誤差會出現在一些 PMU 上，在系統重置(reset)後一小段時間可能在 7.5° 或其整數倍之間任意跳動。此些誤差可能歸因於：

1. PMU 連接到錯誤的相角：一個固定偏移，太不重要而不去修正。
2. PMU 內使用的訊號處理演算法：漂移號稱的頻率值及鎖相迴路的實作。
3. 時間同頻的錯誤：GPS 時間訊號過載或 GPS 訊號暫時失去。
4. 設備電纜線的時間及濾波器時間常數所導致的時間延遲。

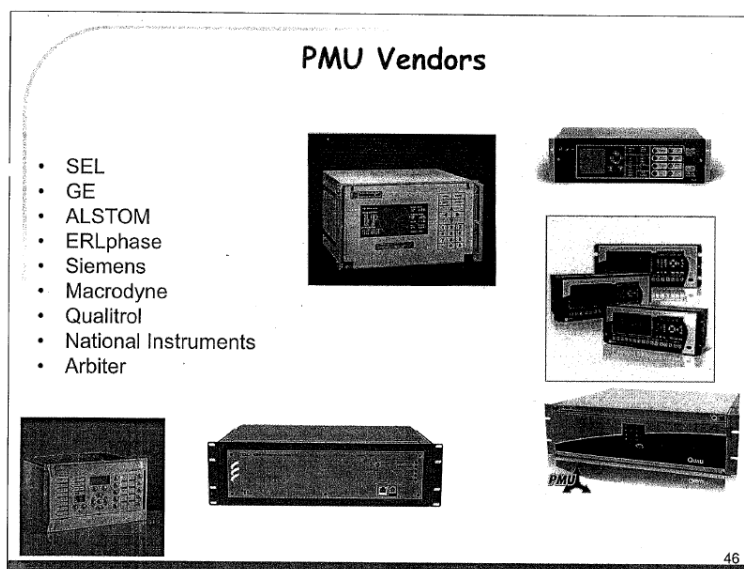


圖 14、PMU 的生產廠商

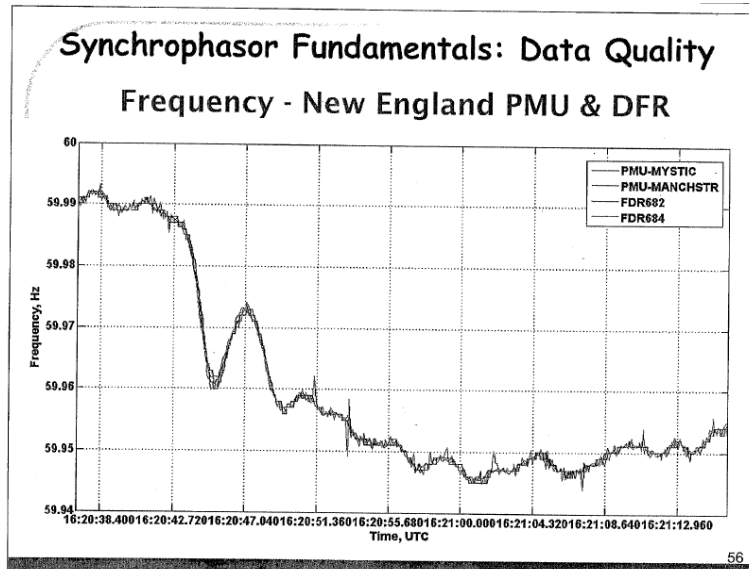


圖 15、同步相量量測基本概念：資料品質

圖 16 為 PMU 的基本應用，藉由區域的量測而知道整體的表現；相量量測資料可以用來補償或增強現在的控制中心功能並提供新的功能；有 GPS 訊號的相量量測資料可以提供橫跨廣大區域的同步電壓及電流相量量測；藉由直接量測相角，匯流排之間的電力轉換可以直接計算出來；高的取樣率(每秒有 25-50 取樣)；擴大可見性：超越個人自己的操作區域；干擾的監控—暫態及穩態的響應。圖 17 為北美洲相量量測單元分佈圖，圖中可見美國在東部、西部、五大湖及南部墨西哥灣附近等人口密集區，PMU 布建較為密集。

Synchrophasor Fundamentals: Basic PMU applications

- Global behavior may be understood from local measurement
- Phasor measurement data can be used to supplement/enhance existing control center functions and provide new functionalities.
- Phasor measurement data with GPS signal can provide synchronized voltage and current phasor measurements across a wide region
- By measuring the phase directly, the power transfer between buses can be computed directly
- High sampling rate (25-50 samples per second)
- Extended visibility: beyond one's own operating region
- Disturbance monitoring –transient and steady-state responses

98

圖 16、PMU 的基本應用

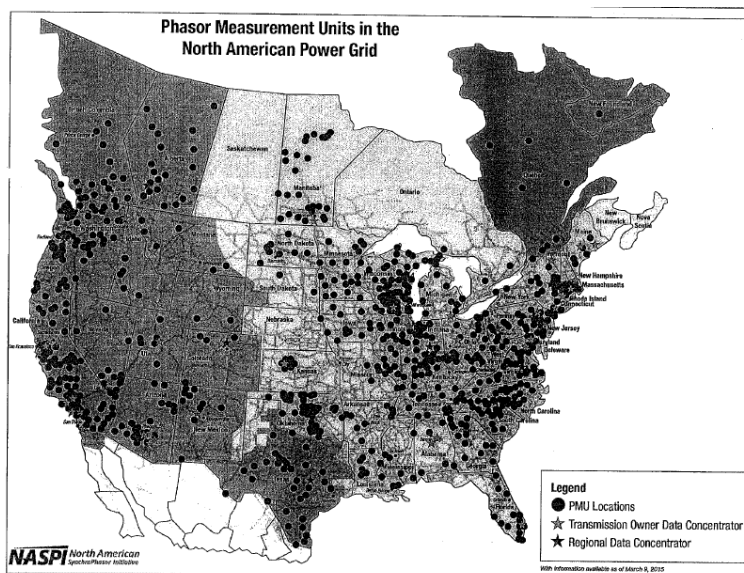


圖 17、北美洲電網中相量量測單元分佈圖

肆、參加專業論壇

本次研討會主要主題為：智慧電網(Smart Grid)或電力工程，投稿的論文主要分下列幾個領域，包含：

- Smart grid technologies (for power generation, transmission and distribution systems, and energy conversion and storage devices)
- Smart grid communication and information technologies

- Distributed generation and micro-grid
- Electric vehicle charging technology and system integration
- Micro-grid applications and islanding operation
- Smart grid measurements, protection, control and operation
- Physical, cyber and system security for smart grid
- Computation intelligence and IEDs for smart grids
- Sensing, communication and smart metering infrastructures
- Demand side management, smart buildings and home automation
- Diagnostics, self-healing and reliability of smart grids
- Power quality issues and FACTS devices
- Electricity markets, incentives, regulation and pricing
- Smart grid interoperability, standards and codes
- Demand response and management through smart grid technology
- Renewable energy integration and storage
- Smart grid planning, economic, environment and policy issues

本次研討會發表的論文非常多，因限於篇幅及筆者自身專業，僅挑選幾篇論文內容簡介：

題目：A Probabilistic Approach for SVC Placement with

Harmonic Control and Reactive Power Compensation

作者：王宏魯課長、林明山技士(本局)

靜態虛功補償器(Static VAR Compensator, SVC)在配電系統已被廣泛運用於虛功率補償。SVC 主要為維持電壓而安置，甚且，當被安置在適當位置時，它可以降低電力耗損並削弱諧波電壓。SVC 安置的問題是被廣泛研究的主題。圖 18 為典型的 SVC 架構，其中 TCR 為 Thyristor Controlled Reactor，Thyristor

為一半導體開關，當有觸發訊號到達時，該開關即導通，且呈低阻抗狀態，當無觸發訊號時，該開關則斷開，呈一高阻抗狀態，Reactor 即為一電感，所以 TCR 為一開關控制的電感。同理 Thyristor Switched Capacitor(TSC)為一開關控制的電容，LCF 為電感與電容串連的濾波器，均可用於電力系統的虛功補償。圖中也有說明當 $V_s = V_{ref}$ 時 SVC 沒有作用，當 $V_s > V_{ref}$ 時 SVC 由電網吸收虛功率，當 $V_s < V_{ref}$ 時 SVC 提供電網虛功率，所以有調節的作用。

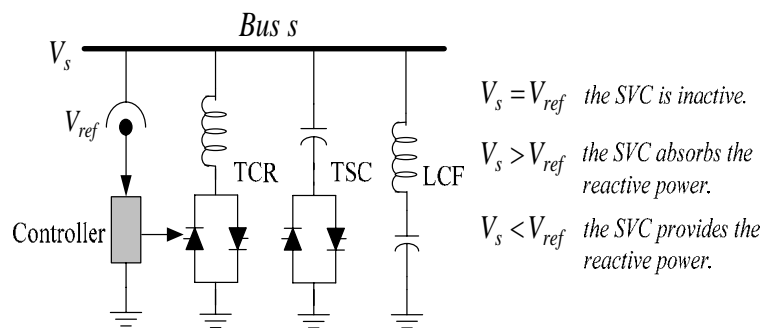


圖 18、典型的 SVC 架構

本篇論文奠基於解決未受限的最佳化問題，提出一個新的方法來簡化 SVC 布置規劃問題，此方法也考慮電力系統中基本波及諧波的電壓、電流及阻抗之機率特徵，目標方程式是系統的基本電壓及諧波電壓失真，為找到最合適的 SVC 位置，算出 SVC 布置編號，模擬的結果顯示所提出的方法是有用的且可有效率的計算。圖 19 顯示考慮時變的電壓、電流及阻抗的效果，透過泰勒級數線性近似法來取得其基本波及諧波的機率分佈行為。圖 20 顯示取得機率分佈函數後，透過信心區間的評估及敏感度分析可以推導取得 SVC 位置的編號，而取得擺放 SVC 的匯流排最佳候選名單。

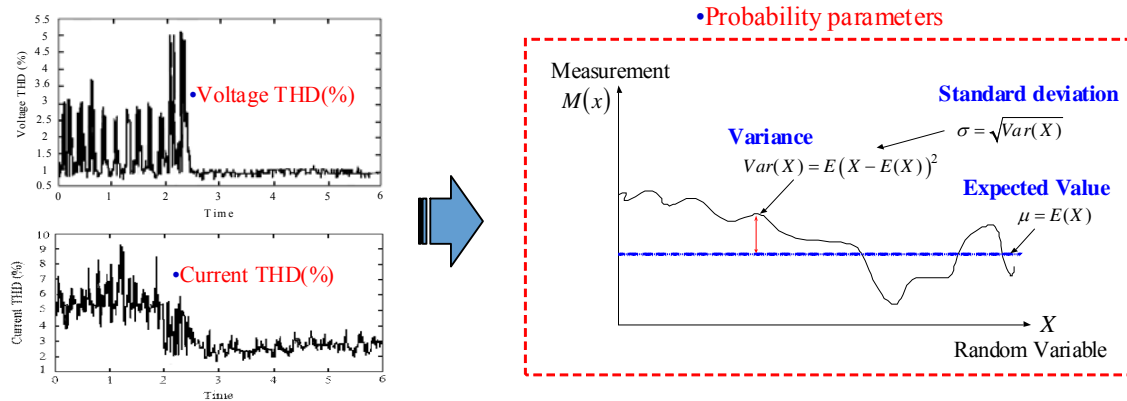
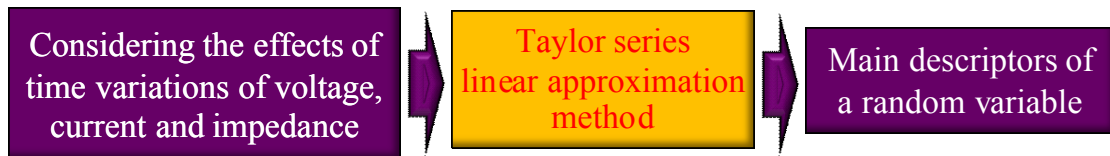


圖 19、基本波及諧波的機率分佈

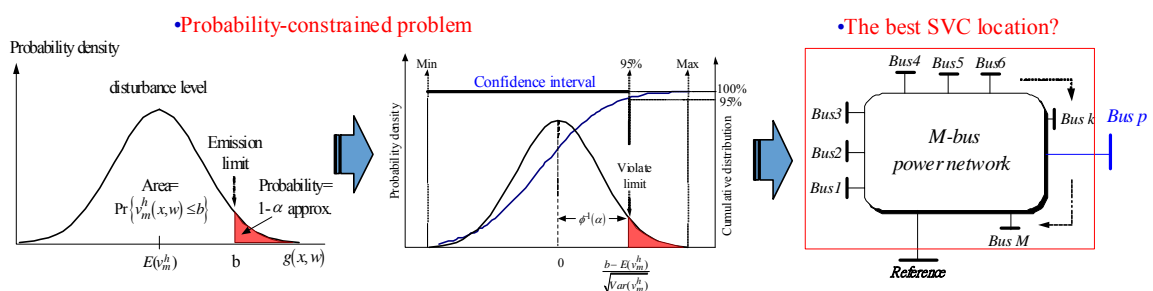
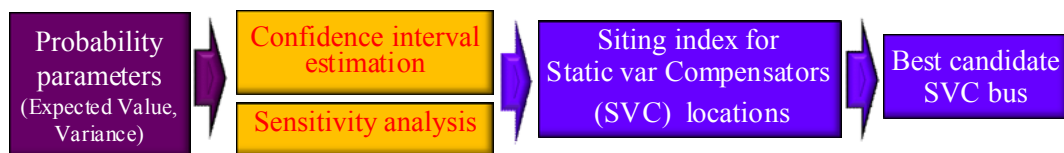


圖 20、機率分佈及最佳 SVC 位置

假如有多個第 h 階諧波電流源存在電網中，在第 m 匯流排的相映第 h 階諧波電壓可以被表示為圖 21 中(1)方程式，也就是說第 m 匯流排的相映諧波電壓為各匯流排中第 h 階諧波電流源的貢獻加總，各諧波電流源乘上諧波轉換阻抗，而轉換阻抗為複數，故可分為實部及虛部，如圖 21 中 where 下方公式。圖 22 一個 SVC 連接到匯流排 s 之戴維寧等效電路，由圖中電路

可得公式 $I_{svc}^h = \frac{V_{s,o}^h}{Z_{ss,o}^h + Z_{svc}^h}$ 。 I_{svc}^h 為第 h 階流經 SVC 之電流， $V_{s,o}^h$ 及

$Z_{ss,o}^h$ 為匯流排 s 之第 h 階戴維寧等效電路之電壓及阻抗， Z_{svc}^h 為 SVC 第 h 階阻抗值。

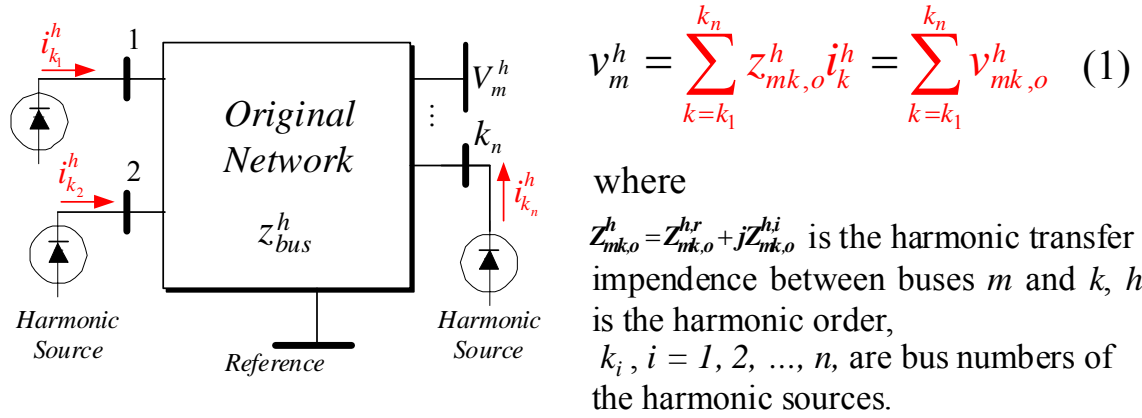


圖 21、在匯流排 k_1, k_2 及 k_n 第 h 階電流注入電力系統的示意圖

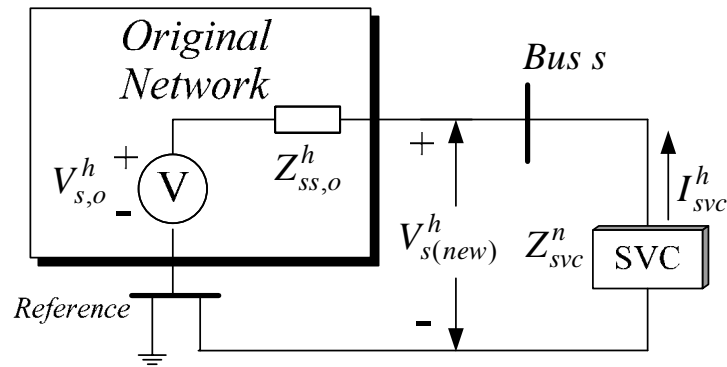


圖 22、匯流排 s 之戴維寧等效電路示意圖

根據中央極限定理，當諧波電流及阻抗的隨機個數夠多時，此時諧波電壓的機率分配會近似於常態分佈，如圖 23 所示。當 v_m^h 的機率分佈和諧波管制標準推薦之限制值併行考慮時，評估每個匯流排上其諧波污染所能容許的機率位準，如圖 23 中 b 點。依照圖 23 所示，借助機會限制規劃的理論，我們發展出一個評估諧波污染的機率限制定義式，如公式 $\Pr\{v_m^h(x, w) \leq b\} \geq \alpha$ ，其中 v_m^h 是前述的諧波電壓函數表示式， $w \in \mathbb{R}^m$ 是加入諧波濾波器的決策變數參數， $x \in \mathbb{R}^n$ 是隨機性諧波狀態的變

數參數， b 是係數， α 是要求的機率位準， $\Pr\{\cdot\}$ 為事件 $\{\cdot\}$ 成立的機率。

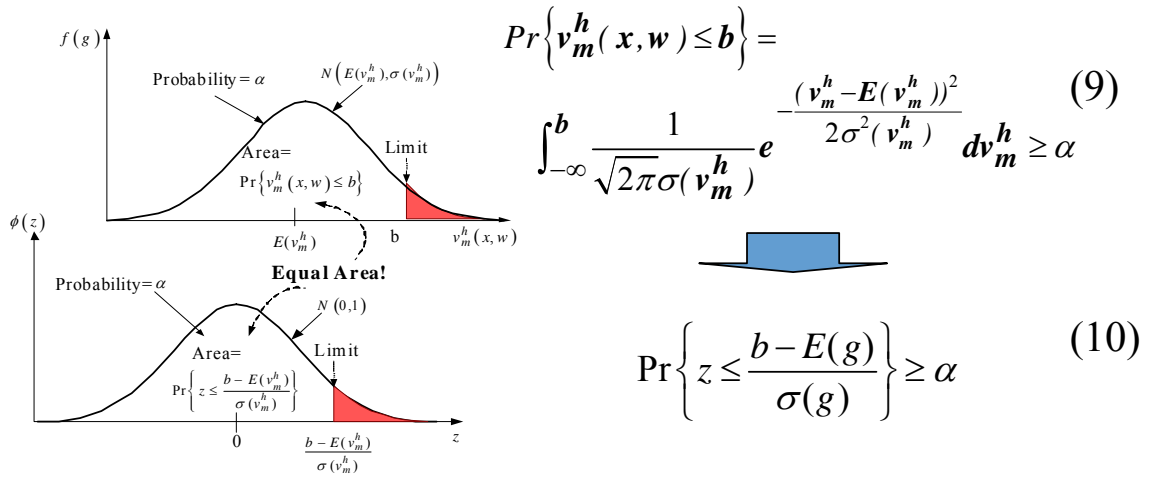


圖 23、諧波電壓於落於信心區間的評估

為了計算方便，再將圖 23 轉換在一個對應的信賴水準下所構成的信賴區間(confidence interval)，如圖 24 所示。如此，公式 $\Pr\{v_m^h(x, w) \leq b\} \geq \alpha$ 就可以一個傳統的確定性表示式取而代之，如下所示。

$$E(g_m^h) + \phi^{-1}(\alpha) \sqrt{\text{Var}(g_m^h)} \leq b$$

式中， $E(G)$ 和 $\text{Var}(G)$ 為 $g(x, w)$ 的平均值和變異數值， $\phi^{-1}(\alpha)$ 是標準常態分佈在 α 的逆累積分佈函數評估值。

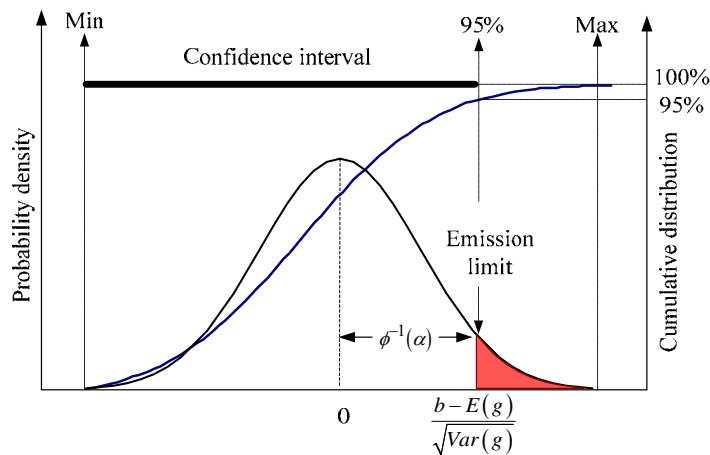


圖 24、諧波失真的機率信賴區間之圖示

我們的目標是在電力系統中利用 SVC 來穩定及提供每個匯流排 m 的基本電壓符合規範大小而且抑制存在的諧波電壓至零。將問題最小化的目標方程式可以如下表示：

$$\min f_L = \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H |V_{m,o}^h \pm \Delta V_{ms}^h|$$

其中

$$V_{m,o}^h = \sum_{k=k_1}^{k_n} Z_{mk,o}^h I_k^h = \sum_{k=k_1}^{k_n} V_{mk,o}^h$$

$$\Delta V_{ms}^h = Z_{ms,o}^h I_{svc}^h = \sum_{m=1}^M \sum_{h=2}^H Z_{ms,o}^h \frac{V_{s,o}^h}{Z_{ss,o}^h + Z_{svc}^h}$$

根據敏感度分析，匯流排 s 最佳 SVC 位置編號可以下式找出：

$$S_V^{h,s} = \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H \sum_{k=k_1}^{k_n} \frac{\partial f}{\partial |V_{mk,o}^h|} = \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H \sum_{k=k_1}^{k_n} \left| S_m^h(x', w) \Big|_{x'=\mu_x} + \varepsilon \right|$$

其中

$$S_m^h(x', w) = 1 - \frac{Z_{ms,o}^h Z_{sk,o}^h}{Z_{mk,o}^h (Z_{ss,o}^h + Z_{svc}^h)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \left(\frac{\partial S_m^h(x', w)}{\partial x'_i} \Big|_{x'_i=\mu_{x_i}} \right)^2} \times \text{Var}(x'_i)$$

有最小的 $S_V^{h,s}$ 匯流排 s 對 SVC 放置有最高的優先權。

以下進行實例研究，18 個匯流排配電系統如圖 25 所示，說明所提出 SVC 配置最佳規劃之計劃的有效性。實例系統的基準容量是 10 MVA，所有的匯流排除了 17 和 18 之外其他都是

12.5 KV 的匯流排。此系統中諧波電流源、系統阻抗及每個匯流排的負載都是有機率特徵且時變的。

假如非線性負載的每階諧波電流的實部及虛部都是常態分佈，其相對映的期望值及標準差如表 1 所示，其中每個諧波源之實部及虛部的相關係數為 0.5，實功 P(%)及虛功 Q(%)的標準差假設為 30%。

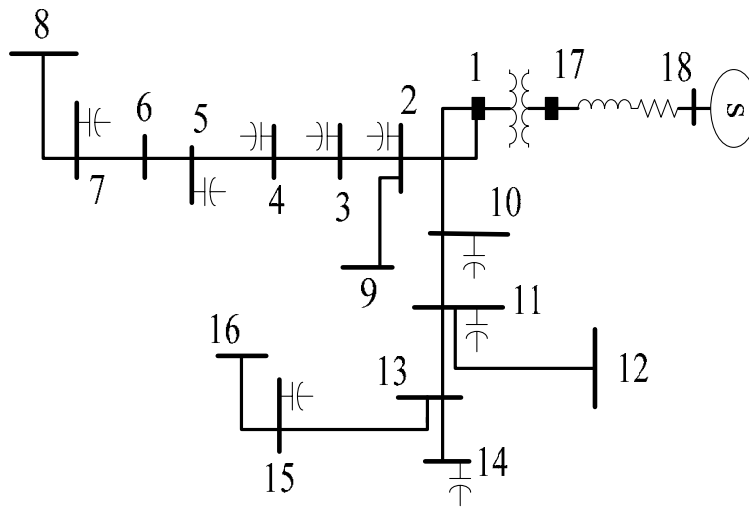


圖 25、18 個匯流排配電系統

表 1、諧波電流源機率特徵(%)

Harmonic Current Sources Bus		Harmonic order					
		5	7	11	13	17	19
3	$\mu(i_k^{h,r})$	2.45	1.66	1.24	0.74	0.07	0.04
	$\mu(i_k^{h,i})$	1.65	1.41	0.65	0.73	0.16	0.03
	$\sigma(i_k^{h,r})$	0.17	0.18	0.17	0.14	0.03	0.01
	$\sigma(i_k^{h,i})$	0.13	0.14	0.13	0.11	0.02	0.01
9	$\mu(i_k^{h,r})$	2.71	2.23	1.87	1.04	0.20	0.07
	$\mu(i_k^{h,i})$	2.03	1.67	1.40	0.78	0.15	0.05
	$\sigma(i_k^{h,r})$	0.26	0.16	0.14	0.11	0.06	0.01
	$\sigma(i_k^{h,i})$	0.19	0.10	0.11	0.08	0.05	0.01
11	$\mu(i_k^{h,r})$	2.84	2.33	1.77	1.04	0.20	0.07
	$\mu(i_k^{h,i})$	1.90	1.57	1.50	0.78	0.15	0.05
	$\sigma(i_k^{h,r})$	0.26	0.16	0.14	0.11	0.06	0.01
	$\sigma(i_k^{h,i})$	0.19	0.10	0.11	0.08	0.05	0.01
15	$\mu(i_k^{h,r})$	2.97	2.53	2.06	1.04	0.62	0.16
	$\mu(i_k^{h,i})$	2.05	1.72	1.54	0.78	0.46	0.12
	$\sigma(i_k^{h,r})$	0.22	0.15	0.12	0.13	0.06	0.01
	$\sigma(i_k^{h,i})$	0.17	0.11	0.09	0.09	0.04	0.01

整個系統之各匯流排於 SVC 安置前作業前，總諧波失真 (THDv)及個別諧波失真(IHDv)的 95%機率位準值如圖 26 及圖 27 所示。在 THDv 的部分很明顯有 16 個匯流排超過 IEEE-519 諧波管制規範的 5%要求，最大 THDv 的 95%機率位準值為 12.8%，發生在匯流排 15 的位置。而 IHDv 部分，第 5、7 及 11 階諧波最大 IHDv 的 95%機率位準值分別為 8.4%、6.8%及 3.76%。

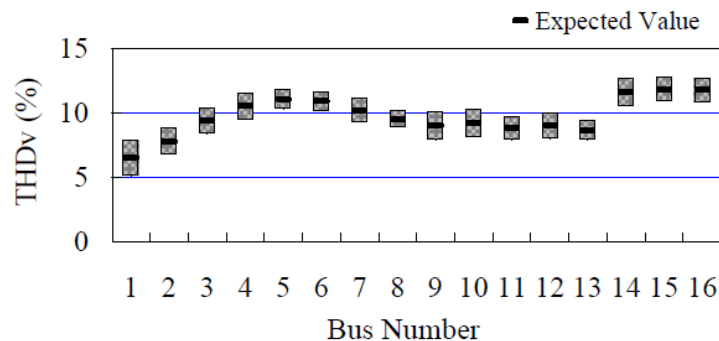


圖 26、各個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置作業前之 THDv 的 95%機率位準值分佈圖

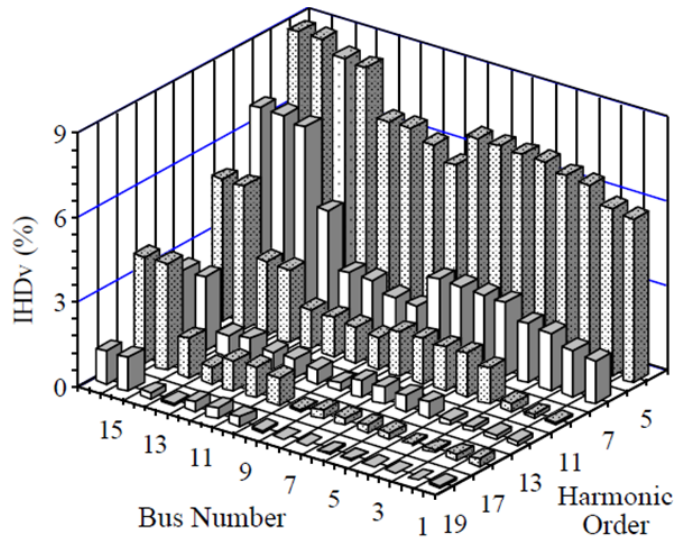


圖 27、各個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置作業前之 IHDv 的 95% 機率位準值分佈圖

另外匯流排於 SVC 安置作業前的方均根電壓(Vrms) 99.9% 機率位準值如圖 28 所示，此部分有 2 個匯流排超過 105% 電壓操作限制值，最大的 Vrms 99.9% 機率位準值是 106.5%，其發生在 1 號匯流排，另外有 5 個匯流排是低於 95% 電壓操作限制值，最低的 Vrms 99.9% 機率位準值是 92.8%，其發生在 16 號匯流排。

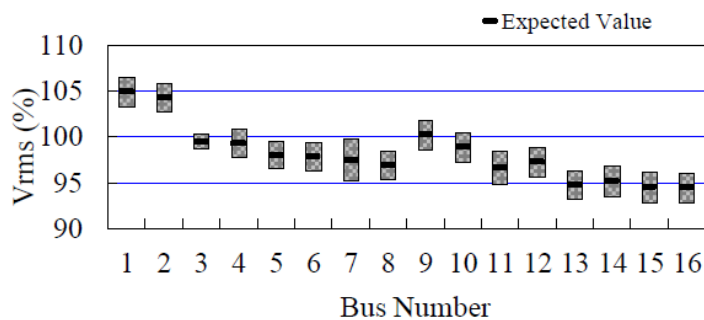


圖 28、每個 12.5 KV 匯流排於 SVC 安置前的 Vrms 99.9% 機率位準分佈圖

此論文提出機率分析模型及解決方案找出用來設計 SVC(TCR+LCF)擺放位置及容量，並確定 SVC 容量的操作範圍，SVC 安置的結果如表 2 及圖 29 所示。

表 2、並列式 SVC(TCR+LCF)位置及容量

SVC No.	SVC Bus	TCR	LCF		
		$Q_L(\%)$	Number	$Q_C(\%)$	$Q_L(\%)$
1	11	1.4	5	8.4	0.3
2	13	0.8	7	33.4	0.7
3	4	2.0	11	8.4	0.1

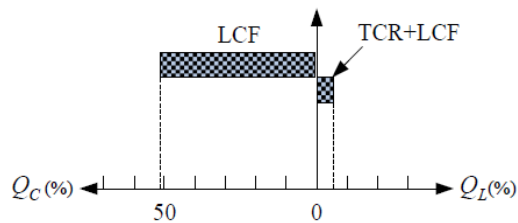


圖 29、並列式 SVC 的操作範圍

圖 30、圖 31 及圖 32 顯示系統利用基本虛功補償及諧波抑制改善後，全部匯流排的 IHDv 及 THDv 95%機率位準值沒有超過 IEEE/Std 519-1992 建議的限制值 3%及 5%。Vrms 99.9% 機率位準值也位於電壓操作的要求 95%(下限)及 105%(上限)之間。

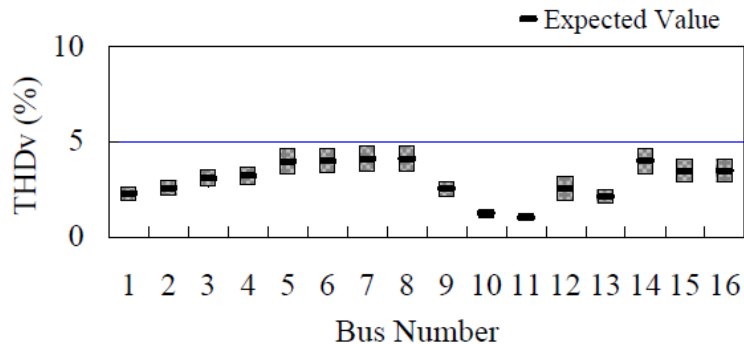


圖 30、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 THDv 95%機率位準值分佈圖

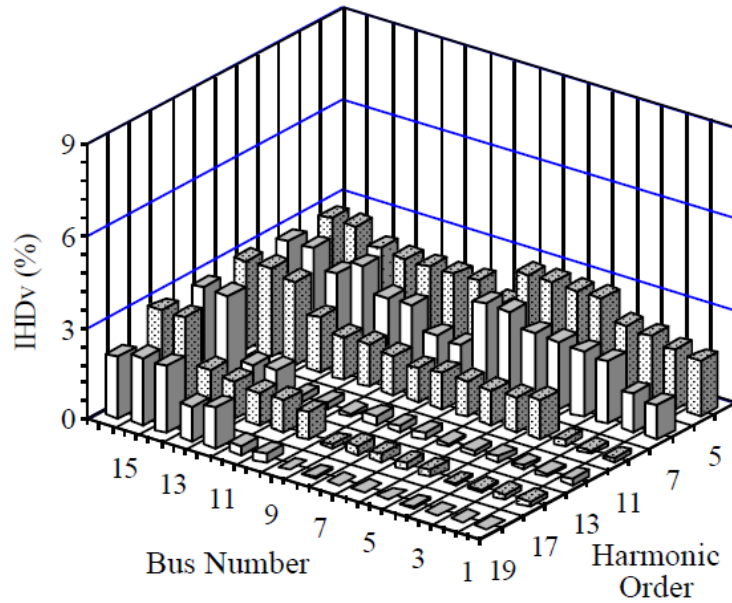


圖 31、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 IHDv 95% 機率位準值分佈圖

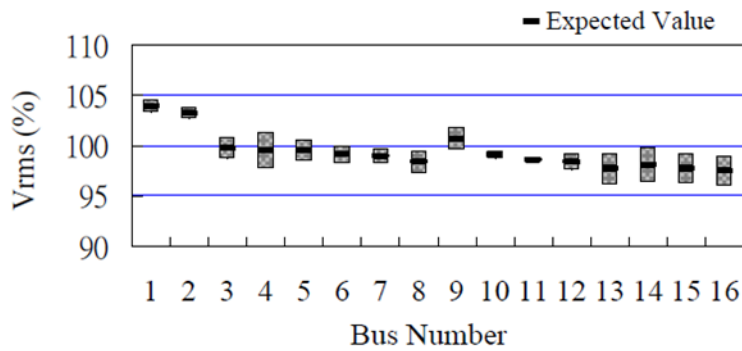


圖 32、每個 12.5 KV 匯流排於安置 SVC 後之 Vrms 99.9% 機率位準值分佈圖

此篇論文展示了一種基於敏感度的方法及一個簡單解決演算法，用於諧波污染的電力系統中 SVC 安置規劃，提出的解決程序已於真實三相平衡配電系統中測試，結果顯示對電力系統中虛功補償及諧波失真控制，提出的方法及解決程序是簡單且計算是有效率的，此論文中所展示的機率分析模型及解決程序也能夠被延伸及應用在電力系統中的主動及被動濾波器的安置及容量規劃的最佳化問題。

題目：**The value of online information for demand response in
Walrasian electricity markets**

作者：Felix Claessen¹, Bart Liefers¹, Michael Kaisers¹,^Land Han
La Poutré^{1,2}(¹Centrum Wiskunde & Informatica (CWI),
Amsterdam, The Netherlands; ²Technical University Delft,
The Netherlands)

此篇論文焦點特別集中在資訊分享的特徵上，此特徵正引發更多的注意，因為歐盟已經在批發能源市場誠信和透明度 (REMIT) 通過法規，要求商人分享資訊，譬如他們已安裝的容量。許多的拍賣會規則強烈地影響可取得的資訊，譬如在投標的匹配順序(呼叫拍賣或連續拍賣)、拍賣掉的時段的順序(連續式或者同步式)及拍賣被接受的格式(開放式或閉鎖式)。為了簡明的分類，此論文使用 Walrasian 拍賣此字眼來描述雙方均一價多單位拍賣。這表示買家及賣家雙方喊價及出價，市場在供給與需求匹配時的平衡價時拍賣成交。歐洲日前(day-ahead)市場可以被描述為同時閉鎖式 Walrasian(SSW)呼叫拍賣會，此論文探究被用於日前(day-ahead)交易的呼叫拍賣會時段順序(連續式或同步式)的效應及拍賣格式(閉鎖式與增價式相比)。表 3 中 4 種可能的組合，此論文展示了連續閉鎖式拍賣 Walrasian(CSW)市場——基於目前電力市場中拍賣個別天數的標準方法的另一種選擇，並提出同步加價式 Walrasian(SAW)市場——一種有可信的模擬效能的精細機制。

表 3、有不同的時段順序及拍賣格式及可得資訊的效應之(Walrasian)呼叫拍賣會 4 項分類，結果以 CSW 及 SAW 市場來展現

	(C)onsecutive slots	(S)imultaneous slots
(S)ealed bids	CSW <ul style="list-style-type: none"> • slots traded one by one • information available about previous slots 	SSW <ul style="list-style-type: none"> • no information exchange about any slots
(A)scending prices	CAW <ul style="list-style-type: none"> • information available about current and previous slots 	SAW <ul style="list-style-type: none"> • iterative scheduling • information available about all slots

Walrasian 市場機制是標準模型被歐洲電力市場的大多數所採用，能源每天的個別時段被交易，市場是午夜開始的 24 小時前的未來市場，每個時段為 15 分鐘，此論文對所有時段利用 CSW 或 SAW 拍賣，表 3 可見其梗概。

CSW 市場簡介如下，基於個別天數如何一天接一天被拍賣掉，連續閉鎖式 Walrasian(CSW)市場與日前(day-ahead)市場相像，然而在 CSW 機制中個別時段一個接著一個被拍賣掉，其中有關所有前時段的資訊都是可得的，且不是只有前些天的時段，這不像一般的日前(day-ahead)市場，day-ahead 市場典型同時關閉隔天的所有時段。根據此篇論文的分類，CSW 市場機制由連串相同拍賣會組成，此些拍賣會是閉鎖式拍賣 Walrasian 拍賣會。一般對時段 $j \in \{1, \dots, 96\}$ 拍賣會被連續的舉辦， $j+1$ 時段拍賣會只有在時段 j 關閉後才會開始。

每個時段有一場拍賣，代理人藉由提交拍賣函式進行拍賣，拍賣函式在一個給定的時段 j 中，對映單位價格 p_j (€/kWh) 至能源的數量 q_j (kWh)。在此代理人用 $q_j > 0$ 表示能源供給， $q_j < 0$ 代表能源需求，如圖 33 中所示。市場加總所有的拍賣函式並計算單位價格 p_j^* ，於此價格市場結清，也就是說供給與需求相匹配且所有拍賣函式的加總是 0。代理人們將被承諾他們在價格 p_j^* 拍得的數量。

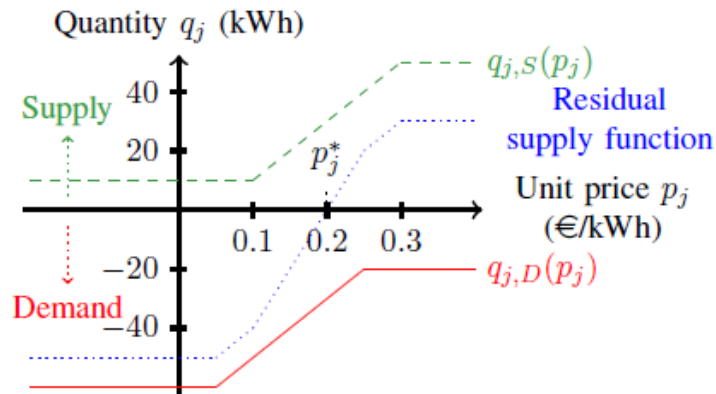


圖 33、在 CSW 市場，時段 j 的結清價格 p_j^* 是由參加的代理人間拍賣匹配所決定，供給拍賣 $q_{j,S}(p_j)$ 及需求拍賣 $q_{j,D}(p_j)$ 是單向遞增函式，對映單位價格至能源的數量。剩餘供應函式描述在不同的價格的剩餘的能源(加總)，其與 0 相交在 p_j^*

SAW 市場說明如下，就我們所知，同步增價式 Walrasian(SAW)市場目前為止並沒有電力市場使用，SAW 市場機制包含 96 個同步相同拍賣會，這些拍賣會是增價式 Walrasian 拍賣會於每個時段 $j \in \{1, \dots, 96\}$ 被執行，每個拍賣包含重覆的程序，程序中時段 j 的單位價格上升直到結清價格抵達，如圖 34 中所示。當結清價格抵達時，開放時段(交易進行中)轉變為結束時段(交易結束)。這些拍賣是同步的，所以，在一給定的重覆叫價時點，所有開放時段分享相同的單位價格，請注意結束時段可以有不同的單位價格，我們認定每個重覆叫賣次數 i 為一個市場回合，其中 p_i 標示對所有時段目前單位價格向量，也就是說 $p_{i,j}$ 是時段 j 的目前價格。在一個市場回合期間，每個代理人可以提出拍賣時程：每個代理人願意在目前單位價格交易的時段的數量。

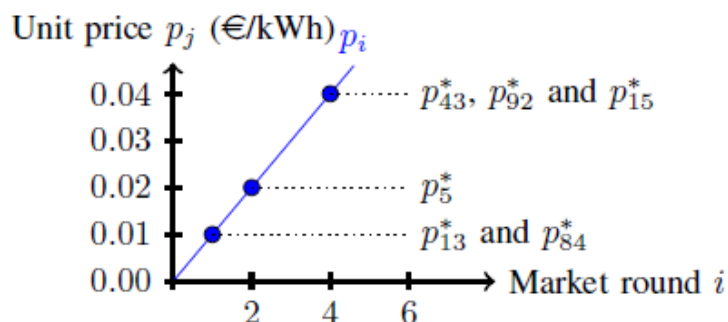


圖 34、在 SAW 市場對時段 j 結清價格 p_j^* 被決定，藉由對每個開放時段增加單位價格 p_i ；對一給定的時段當供給超過需求，此時段交易關閉，此範例中在結清價格 1 cent/kWh 時段 13 及 84 首先關閉

藉由模擬微電網在 2 種型態的情境下 w/ (有風電) 及 w/o (無風電)，此論文比較市場機制，微電網包含有 400 戶住家及 400 輛電動車 (EV)，在 w/ 情境，微電網包含額外的風力渦輪機，w/o 情境沒有風力渦輪機，微電網有一單獨連接至主電網且在任何給定的時間點均是一淨消費者，主電網以大型傳統發電機來模擬，有彈性的供給大到足以覆蓋微電網的尖峰需求。

論文中有一些複雜的方程式計算，在此我們予以省略，直接進入結論。模擬 100 天時間，包含有 (w/) 及沒有 (w/o) 風力發電，需求及供給的型態隨機產生，於其間聰明代理人控制彈性的電動車價格觀察資料收集，所以學習更正確的預測價格。每天為了下一天市場資料被組織整理。對 SAW 市場，每一個回合價格上升 0.1 分 (cents) 被採用。

在 SAW 市場，讓代理人在被給予該回合的預測價格下可提出一個排程以讓實用公式 (在此不列出) 最佳化，此論文展示 2 種拍賣策略：在上線 (online) SAW 拍賣策略，排程在每回合後藉由對上線價格預測重新最佳化更新，也就是說利用在市場機制操作期間可取得的上線資訊來預測。在離線 (offline) SAW

拍賣策略，代理人不使用上線資訊除了 1)結束時段的承諾、2)結束時段的最後價格、3)所有開放時段目前上升中的價格。

在 CSW 市場，沒有報價單可取得，對開放時段只有歷史價格可被用來產生預測，我們稱此情況為離線預測。在 SAW 市場，對所有開放時段在第一回合之後的啟始報價可以取得，假如這些報價可以被利用，我們稱結果的預測為上線預測。

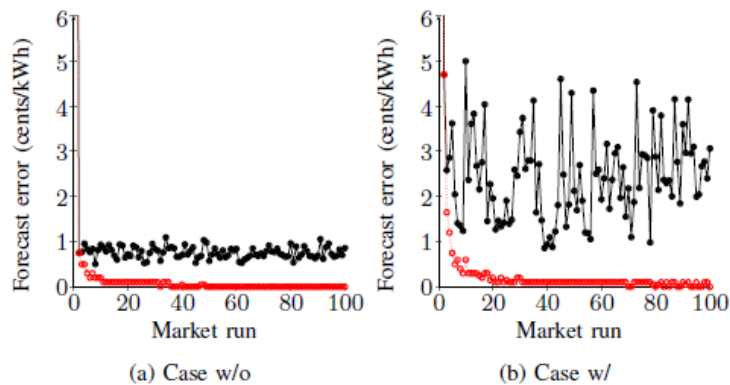


圖 35、價格預測錯誤值，其表示對每個時段在真實清場價格與價格預測之間絕對差異的中間值。紅色圓圈(虛線)表示上線(on line)預測的錯誤值；黑色圓盤(實線)表示離線(off line)預測的錯誤值

圖 35 顯示兩個實作的價格預測方法的準確度，歷史資料在第一天之後變得可以取得，第一天之後離線(off line)預測的錯誤值顯示沒有往下降的趨勢。在所有狀態下，上線(on line)價格預測的準確度更隨著時間增加。最初的 20 天提供一個開始的階段以取得可靠的價格預測，在剩餘 80 天可以展現分析預測。

圖 36 顯示取得的所有模擬的實用性(utility)及表現(performance)，取得的實用性的分佈是因負載的需求排程及在 w/的情況下，其間有風的日子可以取得高實用性的風力渦輪機的供應排程每日差異造成，代理人的表現於 SAW 市場當上線預測被使用時，在兩種情況下都是最高的，價格是否消失很難

有任何的影響。當代理人的拍賣策略只使用離線資訊時，表現在兩種機制下在價格消失的情況下都是低的。

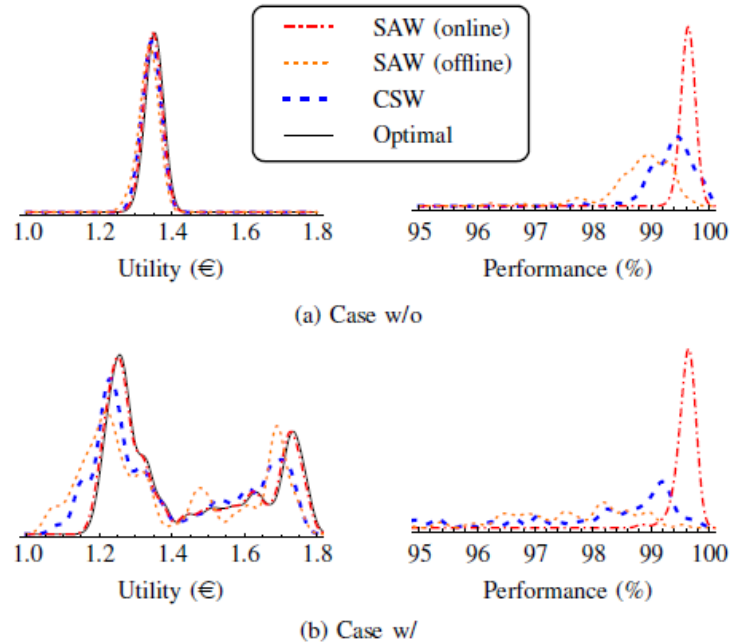


圖 36、在所有模擬的天數中實用性(utility)及表現(performance)的分佈，這些圖可以被解釋為特定實用性或表現的發生機率(每條曲線下的總面積為 1)，根據定義，表現的最佳配置為 100%

較低的實用性特別發生在離線資訊被使用而錯誤的預測最低價的時間(如圖 37 所示)，在 w/o 的情況下(左邊的圖)，離線預測正確地預測最低價時間大約 5 am 至 8 am，而且代理人獲得的實用性接近最佳狀態。在 w/的情況下(右邊的圖)，因為來自風力渦輪機無法預測的供給，最的低價真正出現在 4 am 至 6:30 am 之間。在 CSW 市場，代理人的拍賣函式允許本身多多少少調適到可取得這些無法預期的早期機會，但是在 SAW 市場，沒有上線資訊的即時更新，最便宜的時段關閉而沒有來自代理人的拍賣動作，且代理人獲得較高價格的小負載。在有上

線資訊即時更新的 SAW 市場，代理人能夠正確地更新他的買賣價接近最佳化的排程。

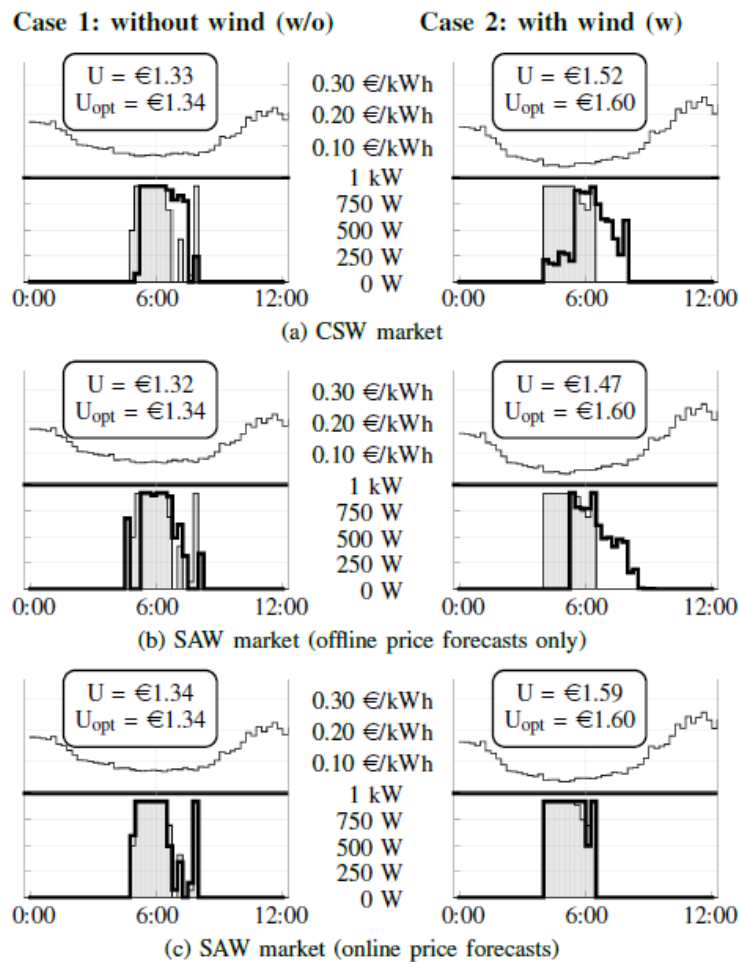


圖 37、選擇的結果(最後一日結清價格及電動車需求)顯示當拍賣人員考慮上線價格資訊時，採購排程(黑實線)與最佳化(灰色區)對齊的改善，此展示了對聰明需求響應(上線)資訊的價值

對聰明的代理人可得上線資訊明顯地改善其在市場的位置，允許他去取得較高的實用性。然而，在敵對方的設定，其他代理人可以使用此資訊猜測以對抗這第一個代理人。在目前的實驗中，沒有敵對代理人被考慮，所以我們的眼光主要轉換到合作性的設定，譬如地區性的市場，其中對抗性的行為已經有直接的社會反響。未來的工作可以藉由增加彈性負載的數量及相對地聰明代理人的數量，讓上線資訊更動態。第二項限制

是指假設代理人對價格回吐，個別市場的力量可以變大，特別是在一些小的市場，當在協調的過程中拍賣行為對價格的影響變成一項顯著的因子，代理人藉由考慮某種程度的市場價格被自己拍賣行為所影響，可以改善自己的獲利。未來的研究將探究當代理人的市場影響力是高的時候，價格資訊在代理人實用性的影響力。

此論文展示了在不同的日前電力市場機制(CSW 及 SAW)的模擬實驗，結果顯示實用性可被聰明的代理人獲得且將其與由對未來價格充份資訊推導而來的上限相關連。論文中的案例研習顯示一個接近最佳實用性可以被獲得，當代理人在 SAW 市場交易並且使用可得的有關所有時段的上線資訊時。上線資訊的價值在價格很難去預測最高，也就是在有揮發性風力渦輪機情境時。分享上線資訊能夠幫助降低在可得能源及相對性價格的不確定性，同時可以啟發彈性的消費者去提供聰明的需量反應。此揮發性發電與(彈性)負載之改善的對準增加個人較高的獲利並且有潛能來消除系統的不平衡。

題目：Real-Time Scheduling of Time-Shiftable Loads in Smart Grid with Dynamic Pricing and Photovoltaic Power Generation

作者：Congmiao Li, Dipti Srinivasan, Thomas Reindl(Solar Energy Research Institute of Singapore, National University of Singapore, Singapore)

時間可移動的(Time-Shiftable)負載，也被稱為可延遲的負載，例如電動汽車充電，洗衣機，乾衣機，能夠提供對需量反應的調度靈活性。這可以幫助降低動態電力定價條件下的能量

消耗。它也可以藉由吸收變異性而利於可再生能源發電的更深層次的整合。根據新加坡的環境條件和供電即時市場價格，本篇論文提出並研究了兩種即時價格為基礎的調度演算法。實作模擬有不同的百分比的可延遲負載及太陽能普及程度的，有約 1 百萬台設備參與需求側管理計畫。實驗結果表明，該演算法排程工作導致電費帳號消費顯著降低。該演算法被進一步調整以包括需求和可再生能源發電的預測，以減輕變異性的問題，這導致了更深的再生能源滲透可能性和更好的系統穩定性。

電網電壓穩定性的基本面向發電和負載的適當平衡在操作時間區間 $[0, T]$ 。假設在該區間中進行的 N 次平衡，被標示為 $k \in \{1, 2, \dots, N\}$ 。群集管理 (CM) 執行調度以滿足負載要求以及平衡供需。

所產生的太陽能發電忽視其初始建置成本，被認為有可以忽略不計的運營成本，所以考慮何時成本最佳化。通過太陽能生產的電能的使用可以預期更優先於使用採用傳統方法生產的電能。然而，當有陰影及雲在太陽能電池板上通過時，傳統資源的調度需要預見到短缺，它可以有效地減輕因為供需失衡而導致的電壓驟昇或驟降等型式的電壓波動非期望效應。

論文假設叢集管理(CM)發電採購，該 CM 涉及採購發電的事前市場，以滿足負載要求和可延遲負載即時的時間排程，以滿足來自兩個來源的負載要求：

1) 太陽能發電 s_k ：這是指分佈式屋頂光伏系統的可變發電。論文假設它的成本可以忽略不計，但存在顯著變異性如圖 38 中所示。但由於它的零邊際成本假設，它總是會被首先使用。

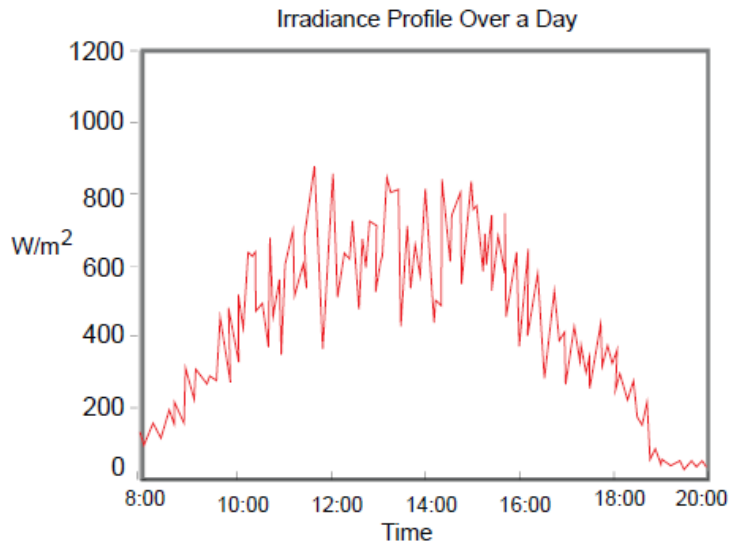


圖 38、熱帶新加坡典型的一天中高變異性日照曲線；資料來源：
SERIS 氣象站

2) 電網發電 g_k ：這是指按市場價格通過輸電系統在傳統電力市場購買的電力，如圖 39 所示，來自新加坡能源市場公司 (EMC) 一天之中市場價格變化。論文標示在時間標數 k 時的價格為 λ_k 。該電網發電假設為當由 CM 要求時可得且充分。為簡單起見，我們對不同市場採用相同的價格數據。與來自可再生能源的變動性發電相比，電網電力的可用性是肯定的，但價格昂貴。

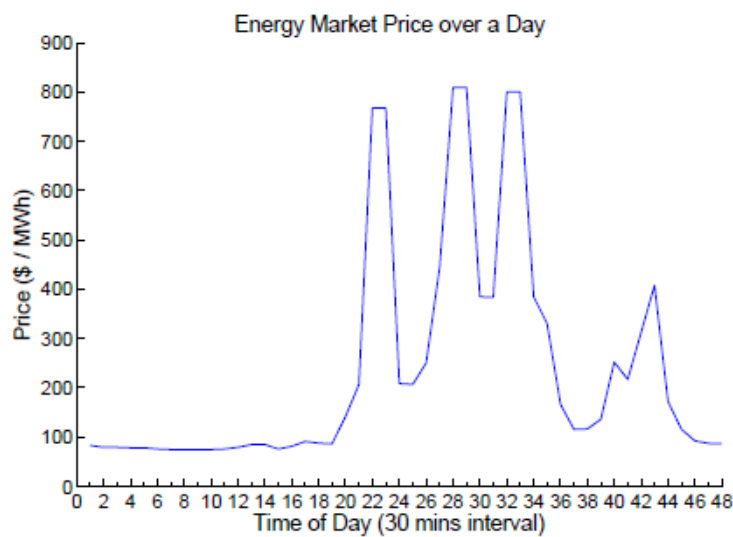


圖 39、來自新加坡能源市場公司隨機的一天 30 分鐘間隔的價格資料

在論文的案例中，兩種不同類型的負載被考慮。他們包括：

1) 靜態負載 I^S ：提供任何調度的靈活性。能量管理系統必須保證在運作區間內在每個時刻 k 有足夠的發電存在以滿足這項負載的要求。所有靜態負載的合計電力需求被模擬為電力需求曲線 $I^S = \{I_k^S\}_{k=1}^N$ ，其必須在每個調度時間 k 被滿足。圖 40 示出在一個隨機平日的電力需求。

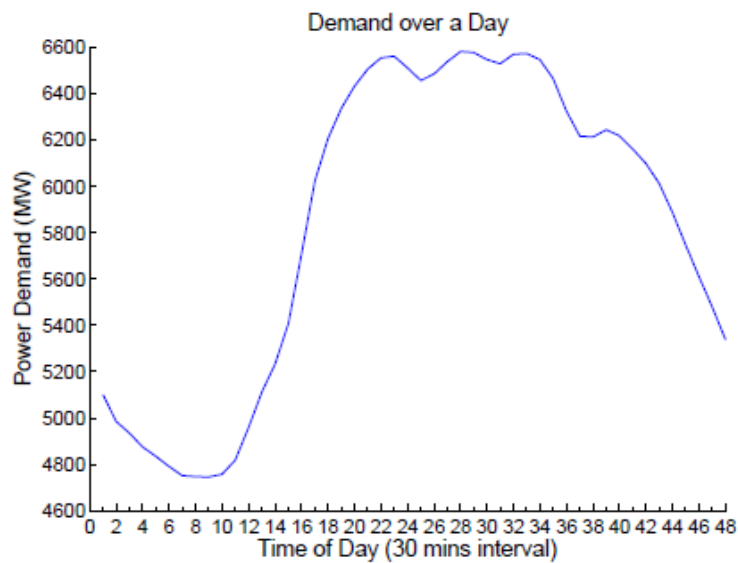


圖 40、來自新加坡能源市場公司的 24 小時需求資料

2) 時間可移動負載/可延遲負載 T_i ：要求要在限期內交付了一定量的能量。詳細的負載模擬至不同程度的準確度是一項活躍的研究領域。在一般情況下，這樣的負載可以被模擬為集總(lump)模型，而他們的能量需求可以被模擬為分別的工作。

每個工作 T_i 是由 (E_i, m_i, a_i, d_i) 參數化。這些參數捕獲可延遲負載的自由度。其中， E_i 為工作的總能量需求， m_i 是電力傳遞速率限制， $\{a_i, \dots, d_i\}$ 是工作的服務區間，其上的能量大小 E_i 必須被以最大功率傳遞速率 m_i 遞送。因此，工作要求可以被定義為：

$$\sum_{k=a_i}^{d_i} p_{ik} \Delta t = E_i, 0 \leq p_{ik} \leq m_i, \forall k \in \{a_i, \dots, d_i\}$$

在時間 k 的工作之能量狀態 e_{ik} 被定義為對該工作在第 k 時間步(time-step)的結尾之剩餘能量需求。在時間 k 工作 T_i 是活躍的，假如 $a_i \leq k \leq d_i$ 及 $e_{ik} > 0$ 。 k 時刻的一系列活躍工作被標示為 A_k 。

論文提出兩種因果啟發式方法的改進版本，分別命名為最早時限優先(EDF)和懈怠最少優先(LLF)來配合動態定價資訊。論文研究調度策略如何影響總成本及在操作區間使用所提出修改的 EDF 和 LLF 調度演算法的電網發電 g_k 需求。運用有不同程度的可延遲的負載之模擬，可以更好地滿足每個負載的最後期限，並協助動態定價排程。執行進一步的模擬納入增加太陽能發電滲透程度以研究提出的調度演算法如何可以進一步降低成本，同時減少太陽能發電的變動性的影響。

A. 最早時限優先(Earliest Deadline First, EDF)

在處理器時間分配(PTA)，EDF 是一種常用的方法來安排的一組計算工作，如此工作的最後期限可以在特定的時間間隔內被滿足。在論文案例中可得的發電可以被想像成對可得的處理器處理時間的類似對比，如此是有用的。微妙的差異可以被突出顯示；當處理時間是固定的，可得的發電可以被調整。因此，當應用到論文的案例時，有些程度的自由被放寬。最後，不像在 PTA，一般而言靜負載和可延遲負載可以同時提供，無需專用時間間隔的要求。上述情況使 EDF 成為一個非常合適的啟發式方法對當引進一些修改時之現存的發電問題。

修改的 EDF 將於每個時間間隔 k 運行在以下 4 個步驟：

1)分配所有可用的 s_k 至 l_k^S ，如果 $l_k^S > s_k$ ，其餘的將使用 g_k 。

2)找到活躍工作列表，其必須被排程以滿足其最後期限。分配可用 s_k 給他們。如果 s_k 是不夠的，其餘的使用 g_k 。

3)如果仍然 s_k 可用，分配其給有最早截止日期的工作，然後給有下一個最早最後期限的工作，直到所有的 s_k 被消耗完。

4)為節省成本進一步利用動態定價，如果目前的價格 λ_k 低於價格門檻 λ_c 的話，更積極的工作被排程。

B. 懈怠最少優先(Least Laxity First, LLF)

在 EDF 的步驟 3 中，資源分配基於工作截止時間的基礎上。LLF 是另一種因果啟發，其在作出分配決定時，也結合剩下的工作要求。在時刻 k 對每個工作 T_i 的懈怠被定義為：

$$\phi_{ik} = (d_i - k) - e_{ik} / m_i$$

修改的 LLF 與 EDF 中的前兩個步驟及最後一個步驟操作相同。它不同於僅在第三步驟中，其中最少懈怠工作被排程第一。

C. 需求調度和太陽能發電預測

為實現太陽能發電的深層擴散，我們必須藉由利用更好的需求和太陽能發電預測，來減少變異性。先前提出的 EDF 和 LLF 的步驟 4 可進一步修改，以利用發電預測。在每個調度時間間隔，不採用市場價格門檻 λ_c 來確定哪些活躍工作應該被排程，而是假如靜負載和已排程負載的總和沒有達到在此時間間隔預測的負載量，會有更多活躍工作被排程。

使用從新加坡能源市場公司取得的太陽能發電和電力價格數據進行了大量的模擬。有可延遲負載和太陽能普及程度的不

同的百分比進行模擬，並且有約 1 百萬台設備參與需求側管理程序。下面顯示的模擬結果首先展示 EDF 調度在一天的時間中會如何影響不同級別的可延遲負載和太陽能發電。然後，它比較使用 EDF 和 LLF 調度演算法所節省的成本。

需求和即時價格數據是從能源市場公司在隨機的平日選出為如圖 39 及圖 40。該數據為 30 分鐘間隔的形式。論文的調度演算法每 15 分鐘執行一次，假設價格和電力需求在 30 分鐘內不改變。

太陽能發電的數據是來自新加坡的一個 5 MW 的太陽能發電廠，其為隨機選擇的一天。該數據對不同級別的太陽能發電滲透率跟著縮小放大。

對於可延遲的負載，隨機工作完成曲線被繪製出來如圖 41 所示，其展示完成時間 a_i 。

對於工作 T_i ，期限 $d_i = a_i + E_i/m_i + \Delta$ ，其中 Δ 是從 15 - 120 分鐘隨機產生的，以表示一個工作的彈性度。論文假設一個工作的平均功率是在 80 - 3000 W 之間，並且根據來自美國國立再生能源實驗室(NREL)數據需要 0.75 至 3 小時；每個工作的參數是在預定的範圍中隨機產生的。對於 5% 可延遲負載滲透率，由大約一百萬裝置(工作)所產生。

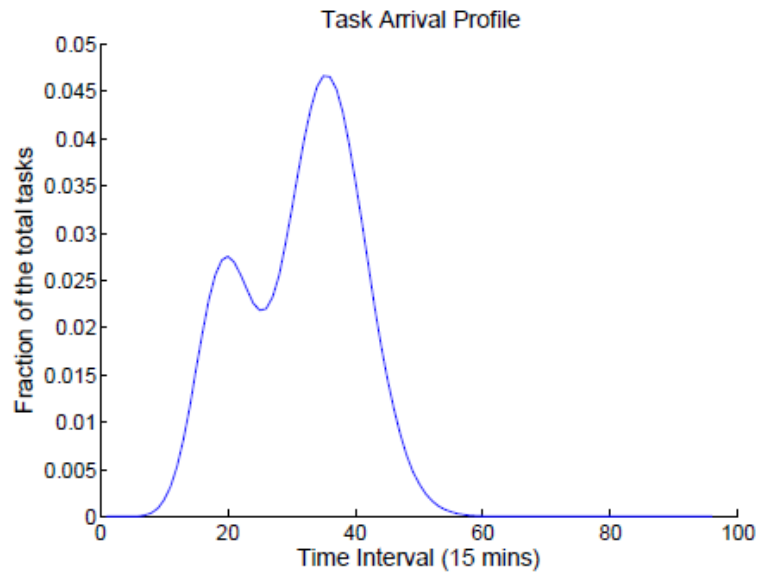


圖 41、由隨機函式展示的工作完成曲線

圖 42 比較沒有太陽能發電 EDF 調度前後負載曲線。我們可以看到，作為價格上升超出定義的閾值時，負載被降低以節省成本。通過引入太陽能發電至系統中，成本可以進一步降低。

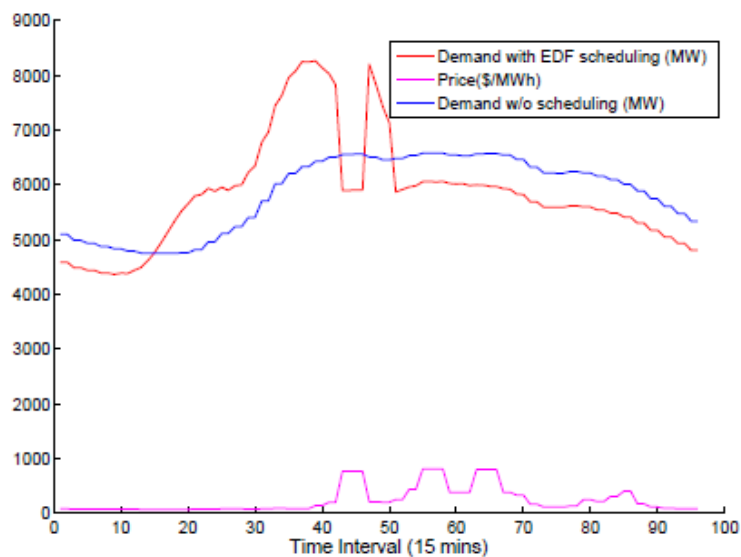


圖 42、負載曲線在 EDF 有 10%可延遲負載和沒有太陽能發電下比較資源調度

圖 43 顯示使用 EDF 演算法的調度結果。因為論文不考慮發電預測，論文的目標是滿足活躍工作的所有期限，所以，在論文的結果是電網電力需求在有太陽能發電曲線下是波動的。此外，論文使用即時定價(RTP)資訊來調度負載。使用 RTP 也導致需求轉移到低電價的時間，這將導致在低價格的時間更高的峰值需求和峰 - 均比(PAR)。

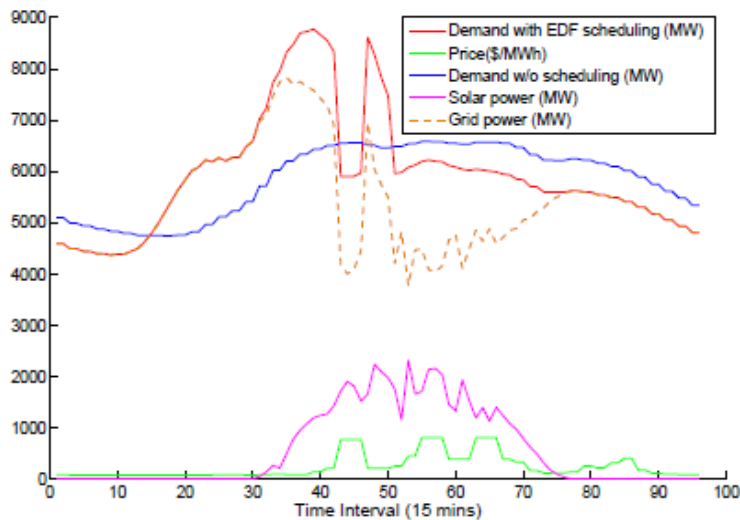


圖 43、負載曲線在 EDF 有 10%可延遲負載和 10%太陽能發電普及率下比較資源調度

表 4、EDF 調度在不同的太陽能 and 可延遲負載普及率下的 24 小時總成本比較

	0% deferrable (no scheduling)	1% deferrable	5% deferrable	10% deferrable	15% deferrable
cost with no solar (mil\$)	35.9479	35.7665	35.0415	34.1443	33.2481
cost with 1% solar (mil\$)	35.3127	35.1317	34.4106	33.5153	32.6110
cost with 5% solar (mil\$)	32.7715	32.5908	31.8652	30.9708	30.0710
cost with 10% solar (mil\$)	29.5951	29.4137	28.6902	27.7933	26.8910
cost with 15% solar (mil\$)	26.4186	26.2377	25.5137	24.6170	23.7150

表 4 顯示通過使用 EDF 調度演算法，一天內的總成本可顯著減少。成本也隨著增加太陽能 and 可延遲負載普及率水平而減少。

論文也比較了 LLF 與 EDF 調度演算法的費用如表 5 中。這裡可延遲負載程度被固定為 10%。結果表明，以節約成本為考量兩種算法之間沒有太大的差別。不同之處低於 0.001%，這可能是透過模擬中不同的運行期間的亂數而引起。

表 5、對在 EDF 和 LLF 於不同的太陽能普及率下的調度之 24 小時的總成本比較

	EDF (10% deferrable)	LLF (10% deferrable)	Difference (EDF-LLF)
cost with no solar (\$)	34.1443	34.1463	-0.0060%
cost with 1% solar (\$)	33.5153	33.5099	0.0163%
cost with 5% solar (\$)	30.9708	30.9701	0.0025%
cost with 10% solar (\$)	27.7933	27.7935	-0.0009%
cost with 15% solar (\$)	24.6170	24.6190	-0.0079%

這兩種算法在 MATLAB 中實作。他們的計算時間示於表 6 中。結果表明隨著工作數量的增加，計算時間隨之增長。而一般而言 EDF 的運行速度比 LLF 快。這是因為在 EDF，工作只有根據他們的期限排序一次。然而，在 LLF，工作是根據在每個調度時間間隔的懈怠來排序的，當它隨著時間改變時。

表 6、在不同可延遲負載普及程度 EDF 和 LLF 計算時間比較

	EDF runtime (sec)	LLF runtime (sec)
1% Deferrable	5.73	12.67
5% Deferrable	27.13	61.76
10% Deferrable	53.73	126.09
15% Deferrable	83.09	195.61

儘管上揭模擬結果表明所提出的調度演算法可以降低能源成本，必須注意的是它們不能減輕太陽能發電的間歇效果，此可能導致較高的儲備成本。因此，實施了進一步的模擬，其中的發電預測引入調度演算法中。論文增加高斯雜訊進入太陽能發電的數據中來模擬合成的太陽能發電預測。該電網發電預測是靜態、可延遲負載及太陽能發電數據預測的總和。

圖 44 顯示應用引入發電預測的進一步的修改之 EDF 後的負載曲線。與圖 43 中的負載曲線進行比較，變異性大大降低，而需求曲線很好地與發電曲線配合。

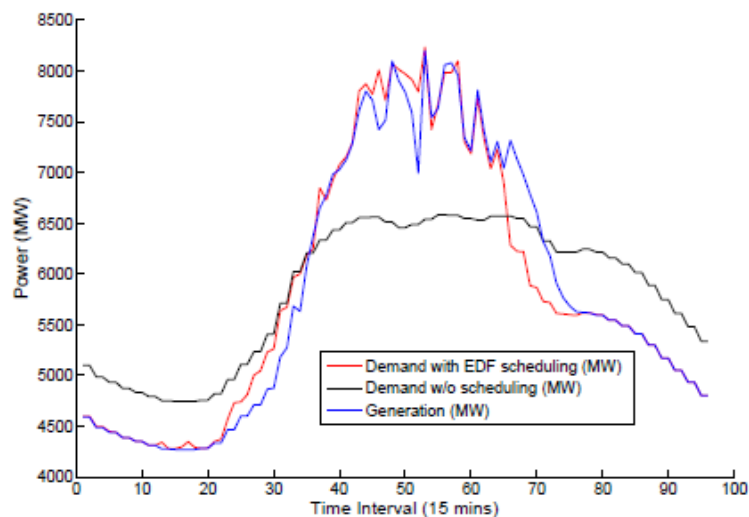


圖 44、在引入發電預測修改的 EDF 下比較資源調度的負載曲線 (10%可延遲的負載和 10%的太陽能發電普及率)

由於需量反應的重要性，對實現可再生能源普及率的增加，在未來智慧電網中時間可移動的負載提供的靈活性可以有效地利用來最大化節約成本。本文為有即時電力市場定價，以及可再生能源發電之預測的調度時間可移動負載/可延遲的負載，提出了調度演算法。當動態市場定價被使用時，論文提出了兩種經典的處理器資源調度演算法 EDF 和 LLF 修改後的版本，來解決時間可移動的負載調度問題。文章進一步探討了這

些演算法節約能源成本方面的性能。這些結果表明，當再生能源滲透程度和可延遲負載百分比的增加，有希望降低成本。還研究由太陽能間歇性發電預測及可變需求預測所導入的變異性問題。

未來的改進可以通過考慮到存儲和其他設施成本，並且發展對於不同類型的時間可移動負載更精確的模型。更複雜的價格為基礎的調度演算法也可以探索，以減少需求的峰值對平均值之比，如此可減少變異性，且提高了系統的穩定性。

伍、心得與建議

一、心得

智慧電網自行政院於 101 年 8 月核定「智慧電網總體規劃方案」開始即為本局重要發展方向。參加本次研討會發覺泰國當局對本次有關智慧電網之研討會相當重視，泰國能源部常務秘書、能源監管委員會(ERC)主席、發電管理局(EGAT)局長、大都會電力管理局(MEA)局長及省電力管理局(PEA)局長均出席發表演說，可說泰國與電力能源相關之政府機關長官幾乎全員出動，其間於泰國智慧電網主軸計畫亦多有論述，以下為於研討會期間有關此議題之專題講演簡單資料蒐集。

圖 45 說明泰國智慧電網主軸計畫期程為 2015 年至 2036 年，由能源部統籌而 EGAT、PEA、MEA 共同執行。圖 46 說明泰國智慧電網主軸計畫目標是為有合格運轉服務的電力發展提供充足、可靠、效率及永續性的增強，發展策略有 5 項：1. 電力可靠度及品質、2. 能源永續性及效率提升、3. 公用事業運作與服務、4. 整合及互操作性及 5. 經濟及工業競爭力



圖 45、泰國智慧電網主軸計畫執行單位



圖 46、泰國智慧電網主軸計畫策略

圖 47 說明泰國智慧電網實作期程，主軸計畫部分 2015-2016 年為準備期，主要工作為指派推動智慧電網(SG)之公用事業/委員會、決定 SG 發展平台及 SG 人力資源及 SG 研究；2017-2021 年短期發展規劃主要工作為 SG 先導型計畫及在 SG 的投資策略；2022-2031 年中期發展規劃主要工作為基礎建設發展、SG 的政策、規則及法規、SG 基礎建設投資的支持；2032-2036 年長期發展規劃主要工作為對 SG 高科技發展的基礎建設支持、鼓勵 SG 消費者高科技安裝、支持公用事業對 SG 的研究。發電管理局(EGAT)的任務於 2015-2016 年準備期的工作有參加 SG 推動及決策平台之委員會分組(譬如 2015-2016 年互操作性委員會分組)、資助 SG 研究的大學、給予 SG 研究學位；2017-2021 年短期發展規劃主要工作為湄宏順府(Mae Hong Son)試驗性計畫；2022-2031 年中期發展規劃主要工作為對以下科技、產業、產品或系統的投資：資訊與通訊科技(ICT)的整合、小發電商 (SPP)/超小發電商(VSPP)資料通訊系統、變電站自動化、資料採集與監控系統(SCADA)/電能管理系統(EMS)、廣域監控系統(WAMS)/廣域保護與控制(WAPC)；2032-2036 年長期發展規劃主要工作為對以下科技、產業、產品或系統的投資：特高壓(EHV)/彈性交流電輸電系統(FACTS)、智慧充電/載具對電網通信(V2G)、需量反應(DR)/需求端管理(DSM)及再生能源(RE)預測。



圖 47、泰國及 EGAT 智慧電網實作期程



圖 48、Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫(1/2)

圖 48 顯示泰國 Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫其目標主
 展在示範、研究及發展，計畫分智慧能源、智慧系統、智慧城
 市及智慧學習等 4 大範疇，智慧能源包括電池能貯存系統
 (BESS)、柴油發電、太陽能園區、太陽能屋頂及生質能源；智
 慧系統包含微電能管理系統(Micro EMS)、小水力發電/儲能/柴
 油管理及微電能管理系統研究測試平台；智慧城市包含電動車
 及充電站、聰明街燈、智慧告示板、建築電能管理系統(BEMS)
 及綠色生活博物館；智慧學習包含建設智慧學習中心。



圖 49、Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫(2/2)

圖 49 揭示 Mae Hong Son 智慧電網試驗計畫之發展策略，
 四大範疇分別為智慧能源於再生能源的提昇及供給可靠度的改
 善；智慧系統於微電能管理系統及資通訊科技(ICT)的整合；智
 慧城市於需量反應及電動汽車；智慧學習於智慧電網學習中心

與智慧電網研究及設計(R&D)，前述 4 大範疇發展策略均指向電力系統安全、綠色能源供應及永續性與有效發展。

泰國智慧電網主軸計畫給筆者的感覺是，雖然沒有特別引人注目之處，但是基本上該有主題也均有涉及，整體上給人平穩而無突出之處。

今年台灣在 ISGT Asia 2015 發表的論文有 3 篇，1 篇由本局林明山技士發表，另 2 篇由中原大學斐明陌同學發表，論文數量排名第 11，落後於中國大陸、新加坡、主辦國泰國、印度、日本...等國家之後，如表 7 內容所示，其中打上*為公司名稱，因其無法辨識作者國別，不同國別發表論文數佔整體論文數之比率如圖 50 內容所示，全部發表論文數有 204 篇。新加坡於本次研討會發表的論文數高達 29 篇居第二名甚為突出，另外也值得注意的是北歐國家芬蘭、丹麥、瑞典、荷蘭等投稿也算踴躍，尤其是芬蘭論文數達 12 篇，亦甚可觀。

表 7、不同國別發表論文數(*為公司)

國別	篇數	國別	篇數	國別	篇數
China	40	New Zealand	3	Romania	1
Singapore	29	Vietnam	3	Norway	1
Thailand	20	Philippine	3	Trinidad and Tobago	1
India	19	Malaysia	3	Egypt	1
Japan	14	South Africa	3	Belgium	1
Finland	12	Germany	3	Austria	1
Australia	11	Iran	3	France	1
United Kingdom	8	Netherland	2	Italy	1
USA	5	Indonesia	2	ABB*	1
Denmark	5	Sweden	2		

Taiwan	3	Bangladesh	2		
Sum	204				

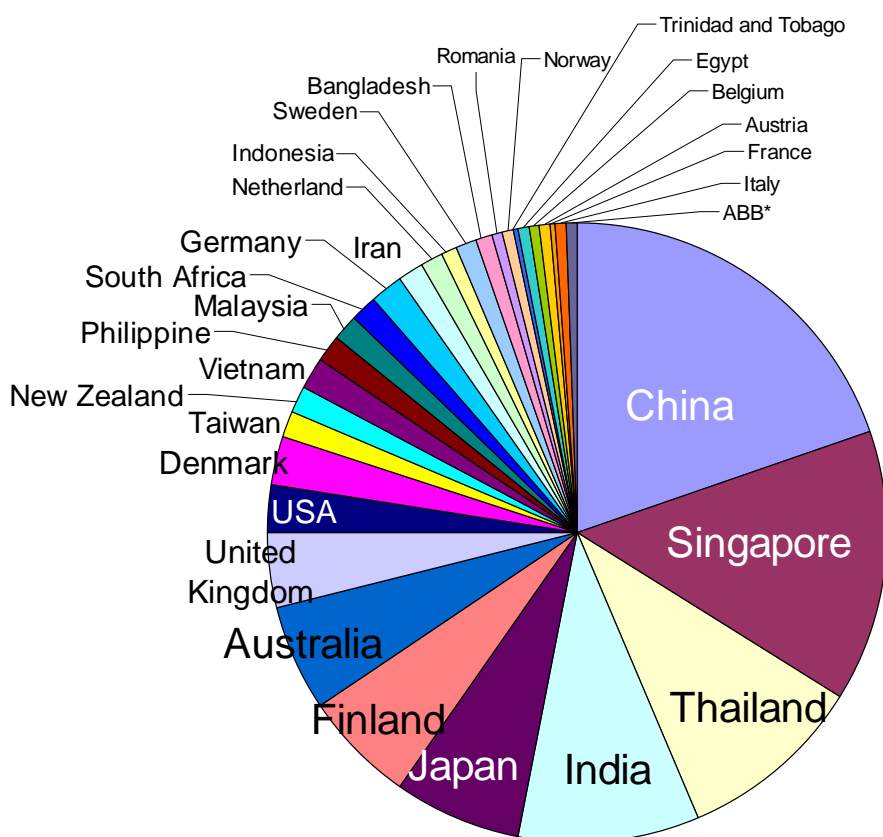


圖 50、不同國別發表論文數佔整體論文數之比率

表 8 為不同主題發表論文數，大致上分別 15 個主題發表，有關電力系統防護及錯誤診斷有 28 篇最多，其次為可再生能源的模擬、整合及管理主題有 25 篇，排名第 3 為微電網及分散式電源管理主題，共計 19 篇，排名第 4 為資訊、通訊及量測技術主題。圖 51 為不同論文主題佔整體論文數之比例。

表 8、不同主題發表論文數

Micro Grid and Distributed Generation Management	19
Artificial Intelligence and Optimization	11
Modeling, Integration and Management of Renewable Energy	25
Building and Home Energy Management	11
Electricity Markets, Incentives, Regulation and Pricing	11
Integration and Management of Electric Vehicle	12
Information, Communication and Metering Technologies	16
Power System Protection and Fault Diagnosis	28
Power System Automation and Control	11
Stability and Security in Smart Grid	11
Evaluation and Enhancement of Power Quality and Reliability	10
Demand Side Management	12
Power Electronics and its Applications	8
Battery and Energy Storage System	13
Smart Grid: General Concepts	6
Sum	204

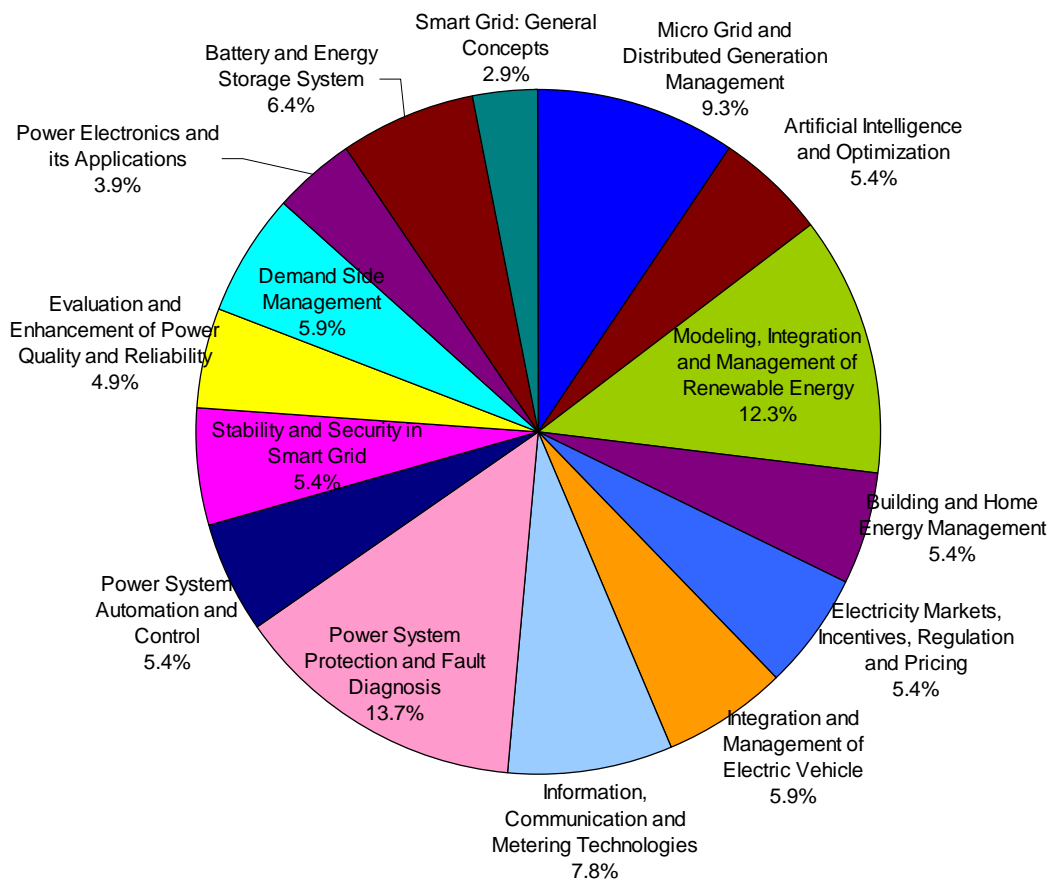


圖 51、不同論文主題佔整體論文數之比率

二、建議事項

本次參加曼谷 ISGT 2015 研討會後有幾點建議：

1. 目前於國際間於智慧電網推動非常熱門，尤其是用戶端之需量反應(Demand Response)管理，於本次研討會發表之相關論文約達 6%，多篇論文述及電力市場交易機制的模擬。智慧電網之推動，智慧電表(AMI)布建為基礎工程，譬如在臺灣就需要布建高達約 1300 萬顆 AMI，因其數量龐大，所以其所花費之成本甚鉅，台電公司於提報行政院之 AMI 布建益本比僅 0.51，但此部分僅為 1 萬戶布建後之評估，建議未來若能更為詳細評估於用戶端大量運用需量反應，對台電公司尖峰負載的降低將有很大的助益，AMI 布建益本比可再提升，也可提升台電公司布建 AMI 之意願。
2. 可再生能源對電網電力品質的影響甚大，譬如風力機之發電量隨風力之時有時無而隨機變動，烏雲通過太陽能電力園區時發電量之改變等天氣變化對可再生能源發電的影響，本次研討會也有多達 12.3%的論文與本主題有關，目前再生能源於台電公司之發電佔比仍相當低，此部分問題並未凸顯，未來於佔比大增後，問題將浮現，建議臺灣於此領域應投入更多研發能量。
3. 目前電動車大量發展後於汰換後的鋰電池，仍可大量儲存電力，此因電動車需求之鋰電池性能相當高，汰換下來的鋰電池仍相當好用，此部分運用於可再生能源的電能儲存或是微電網內的電能儲存相當適合，建議電池工業界可往此部分發展，政府亦可投入經費引導相關產業發展。於本

次研討會電池及能源儲存系統主題論文佔比約 6.4%，也算相當重要。

4. 結合需量反應、可再生能源及柴油發電機等組成之虛擬電廠概念目前相當熱門。需量反應可以透過管理用戶端之冷氣機等設備而降低電力公司尖端負載，尖端負載的降低意謂電力公司投入發電設備預留備轉容量的投資降低，而省下來電力也可賣給電力公司，另外購買醫院、大樓、政府等建築的緊急柴油發電機使用權，以用於電力調度，這些機構再也不必為了每周測試而浪費燃料，此為一舉兩得，建議可以扶植相關產業發展，讓電力公司電力調度更為靈活。
5. 微電網研究與應用於本國智慧電網主軸計畫中主要由核能研究所執行，該所並於桃園龍潭設有國內第一座「百瓩級微型電網試驗場」，於臺灣離島的發電主要依賴柴油發電機，且其每度發電成本高達壹拾多元，而微電網正可運用於此應用情境，本次研討會相關論文佔比達 9.3%，排名第 3，相關研究可謂方興未艾，建議本國可繼續投入更多研發能量於此主題。