

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：執行「菁英留學計畫推動方案」，赴美國德州大學阿靈頓分校進修電機博士學位

頁數 42 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

蔡金助/台灣電力公司/電力調度處/8 等電機工程師/23666610

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97 年 12 月 29 日至 99 年 12 月 26 日 出國地區：美國

報告日期：101 年 2 月 13 日

分類號/目

關鍵詞：相位置測單元(phasor measurement unit, PMU)、發電機組參數、混合動態模擬 (Hybrid Dynamic Simulation)、最佳化演算法

內容摘要：(二百至三百字)

一、赴美國德州大學阿靈頓分校進修電機博士學位，2009 年及 2010 年修課之課程及課程內容簡介。

二、動態模擬為電力系統運轉及分析之重要工具，然而分析結果的準確性主要取決於設備模型及參數的正確性，因此模型的驗證及參數量測為一基本且重要之工作。本文之研究方法，是依照調度處的實際應用為出發點，研討一以 PMU 為基礎之線上機組模型驗證及機組參數識別之方法。

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

# 目 錄

## 頁次

壹、出國任務 .....	1
貳、出國行程 .....	2
參、修課內容 .....	3
一、2009 年 春季.....	3
二、2009 年 夏季.....	4
三、2009 年 秋季.....	5
四、2010 年 春季以及秋季.....	6
肆、研究論文簡介 .....	7
一、序論 .....	7
二、混合動態模擬 (Hybrid Dynamic Simulation) .....	9
三、軌跡靈敏度分析用以篩選重要參數 .....	19
四、最佳化演算法 .....	29
五、範例及結果說明 .....	30
六、結論 .....	40
伍、感想及誌謝 .....	41

## 壹、出國任務

執行「菁英留學計畫推動方案」，赴美國德州大學阿靈頓分校進修電機博士學位，計劃於2 年內研討電力調度之相關議題，如再生能源短期發電預測、電源排程、PMU相關之調度應用以及穩定度分析之相關技術，以增進相關問題之分析能力，以提升經營績效。

## 貳、出國行程

本出國計畫，自 97 年 12 月 29 日起，至 99 年 12 月 28 日止，共計 730 天，詳細行程如下表所示。

時 間	地 點	工 作 概 要
97 年 12 月 29 日～ 97 年 12 月 30 日	桃園機場→美國洛杉磯機場 →美國達拉斯機場→阿靈頓	往程 (台北→阿靈頓)
97 年 12 月 31 日～ 99 年 12 月 28 日	德州大學阿靈頓分校 UT at Arlington	進修電機工程博士學位

## 參、修課內容

### 一、2009 年 春季

- Advanced Analysis in Power Market 課程 EE5379 (Ricson Chai 講授)：

本課程主要是講解德州電力自由化之市場價格結構，以及能源公司參與電力市場之機制，因此，本課程包含 5 次預測及最佳化程式報告，分別為：利用迴歸分析法，建立風力發電預測模型、利用價格波動理論預測即時市場價格、考慮線路壅塞的經濟調度、參與能量市場與輔助服務市場的共同最佳化(Co-Optimal)及運轉安全限制下之機組排程。

- DIGITAL SIGNAL PROCESSING 課程 EE5350 (Michael T. Manry 講授)：

課程講授包含迴旋積(convolution)之基本概念、非時變系統(time invariance)、離散時間系統穩定性(stability of discrete-time system)、離散時間傅利葉轉換及 Z 轉換之運用。整個學期共有八個 Homeworks，另指定六個 Projects，利用上課所學各種分析方法編寫 Matlab 程式，設計 Finite Impulse Response (FIR)、Infinite Impulse Response (IIR)數位濾波器，並繪製出圖形加以驗證結果。職於修讀完本課程後，更清楚瞭解數位信號的分析方法及處理方式，可應用於 PMU 量測之訊號處理或應用於風力、負載之相關預測。

- THESIS 課程 EE6397 (Wei-Jen Lee 指導)：

本門課是論文研究的一部份，選修此課程主要是引導學生從事電機領域研究的前導課程，不需上課但須定期向指導教授報告，以教導學生研究方法及研討論文方向。

## 二、2009 年 夏季

- MICROPROCESSOR SYSTEMS 課程 EE5313 (Jason Losh 講授)：

本課程主要是講解 x86 處理器之軟、硬體發展技術，課程重點包含：多位元寬度之記憶體設計，資料處理率之討論、直接記憶體存取(DMA)控制設計、多處理器運轉、中斷程序控制，及其他週邊元件（輸出入、振盪器、A/D 等）之介紹。因此修習本課程結束後，對於電腦硬體架構之熟悉有相當程度之幫助，同時對於硬體控制之組合語言及 C 語言又再一次得以複習。學期中除考試之外，亦包含一個 DMA 控制器 IC 設計之分組專題，此專題要求設計一用於 8086 微處理器之 DMA 控制器。

- POWER SYSTEM DISTRIBUTION 課程 EE5375 (Rasool Kenarangui 講授)：

本課程主要介紹配電系統分析技術，其中包含：配電負載特性、線路參數計算及配電系統之電力潮流計算，因此對於變壓器、電壓調整器、傳輸線路、負載之模型建立亦有詳細之介紹。職於調度處期間，接觸皆為平衡三相之輸電傳輸系統，對於不平衡之配電分析方式未曾接觸，經過一學期的學習，對於瞭解配電系統之特性收益良多。於課程期間亦完成一經由電容器及電壓調整器的最佳化配置，以達到配電端降電壓運轉之需量反應專題，此專題所撰寫之程式可分析當供電吃緊時，電力公司欲利用降電壓運轉以降低負載需求時，最佳化之電容器配置及變壓器 Tap 位置設定。

### 三、2009 年 秋季

- Linear System 課程 EE5307 (Kai Yeung 講授)：

本課程主要介紹線性控制系統的分析與設計，其中包含單輸入單輸出及多輸入多輸出系統，教導學生利用不同的方法來建立線性模型的設計及分析，並利用 Matlab 來協助分析及驗證計算結果。課程大致可分類成：動態系統的狀態變量描述 State variable description (SVD) 的建立、系統轉換方式、特徵函數及特徵向量特性、轉移函數特性、狀態微分方程的求解、可/不可控制及可/不可觀性的分解及穩定性判斷、最小階數的系統實現，以及迴授控制設計。

- Programmable Logic Controllers IN Industrial Automation 課程 EE5377 (Wei-Jen Lee 講授)

課程講授著重於 Programmable Logic Controllers (PLC) 的程式編寫設計、各式感測元件特性介紹及其在電力系統的實例介紹。學期專題是替 GM 汽車公司設計一汽車馬達線圈絕緣檢測，因此專題包含生產線的硬體規劃及 PLC 程式撰寫，藉由 PLC 的數位、類比輸入及數位輸出控制，加壓單一線圈並量測其絕緣特性，進而判斷並挑除絕緣不良的線圈；此實例專題使學生能熟悉 PLC 的量測、運算及循序控制的設計。

- High Voltage Engineering 課程 EE 6372 (William E. Dillon 講授)

本課程介紹高壓系統的設計、量測及實際測試技術。包含測試之高壓產生電

路、各種絕緣材料的電氣特性及實際測試技術。學期中完成兩個專題，一是利用 PSpice 模擬不同類型高壓產生電路及雷擊波產生電路之設計分析；另一是利用 ElecNet 模擬絕緣設備之電場分佈狀況，並利用不同的構造設計，達到不同的耐壓等級需求。職經由本課程得以深入瞭解線路設備及絕緣設備的設計原理，這對於實際從是調度運轉時應當有所助益。

- 2009.10.4-10.6 與指導教授及同學赴 Mississippi State University 參加 NAPS 2009 北美電力研討會，職亦發表一篇抽序機組參與 ERCOT 自由市場的競標機制的文章。能有機會參加國外研討會是難得的經驗，除了知識的交流，更重要的是準備過程的歷練。
- 職於本學期通過博士班資格考試，其考試科目為電力系統分析、線性控制系統及電力電子技術。

#### 四、2010 年 春季以及秋季

- Dissertation 課程 EE 6999 (Wei-Jen Lee 講授)

自本學期開始因修課部分已經完成，並開始研討確定論文方向，這期間研修方向以電力調度處可能之應用為出發點，曾研討過之題目分別為：以需量反應為前提之降電壓運轉之電壓控制規劃、抽序水力發電參與自由市場的經濟效益評估、短期風力發電預測、以 PMU 量測為基礎之系統故障點定位、風力發電廠增設太陽光電及蓄電池之最佳配比規劃，上述題目皆有完成文章撰寫。最後以 PMU 量測為基礎之發電機組參數識別為最後的論文方向。

## 肆、研究論文簡介

### 一、序論

電力系統運轉的目標是在設備正常安全的運轉狀況下追求最佳經濟效益，但隨著電力系統及電力市場架構日趨複雜，並且新增線路設備日益艱困之際，某些線路或設備被迫運轉在趨近其運轉極限之狀況，這已對於電力系統的穩定度造成嚴重的威脅。為了評估電力系統承受事故衝擊的能力，動態分析提供為一重要的分析工具，提供規劃及運轉人員檢視電力系統的動態特性，以及各項運轉限制。然而，電力系統動態分析結果的可信度取決於設備模型及其參數的正確性，如發電機、負載及線路等之模型參數。而發電機組又為影響結果正確性的最主要設備，通常包含：發電機、勵磁裝置、調速機及電力系統穩定器。因此驗證發電機組之模型參數的正確性，藉以確實反映出機組的響應狀況，以確保模擬結果的可靠性及準確性對於系統分析及運轉是相當重要的。

大部分的電力系統都有著同樣的問題-無法有效的驗證發電機組的參數。傳統上是以現場實地測試結果來作為發電機組參數校正依據，但實地測試成本太高、耗時長，因此職之研究目標為提出一線上發電機組參數模擬識別技術，預期透過既有的同步相量測量儀器(PMU)所紀錄到之事故記錄，結合系統混合等校簡化及人工智慧法的系統辨識功能以驗證發電機組模型參數之準確性，並作為日後系統動態模擬的依據。

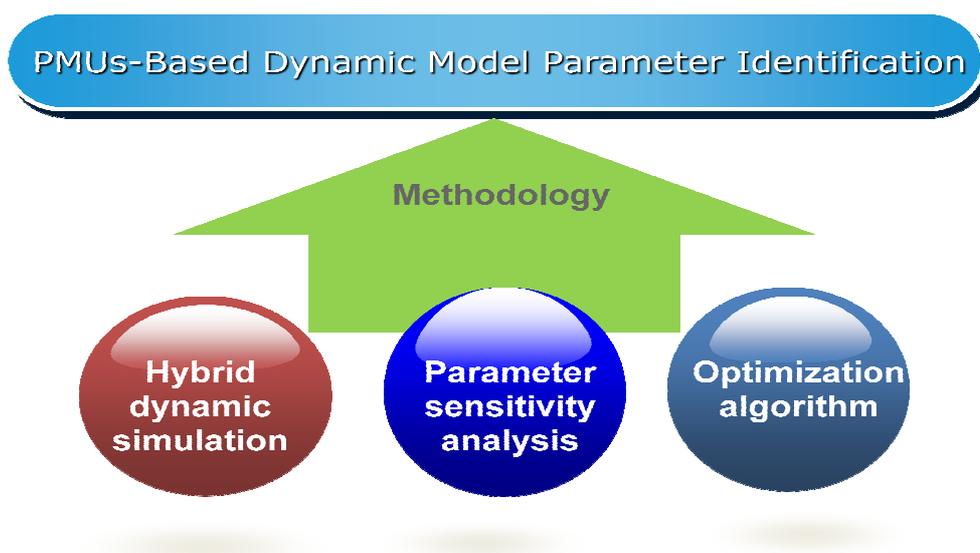
此研究是以調度中心的實際應用為出發點，考量機組設備的量測資料取得不易，因此假設 PMU 所記錄的事故資料為唯一可應用之量測資料，此事故紀錄包含事故當時的實功(P)、虛功(Q)、線電壓(V)以及頻率/角度( $\delta$ )等數據。在模擬軟體方面，首先

需要電力系統模擬程式 PSS/E，並搭配 python 程式語言用以呼叫 PSS/E 來達到模擬自動化。此機組參數驗證自動化程序包含三個主要步驟，如圖一所示。

**混合動態模擬技術 (Hybrid Dynamic Simulation)** --系統簡化步驟可將 PMU 量測點之外的電力系統，利用 PMU 的量測資料予以等校，換言之，只有 PMU 量測點以內的少數機組及設備需要被考慮，因此可有效避免建立全系統的曠日耗時以及增加模擬結果的準確性。

**軌跡靈敏度分析 (Trajectory Sensitivity)** --此一分析步驟可將發電機組之眾多參數分離出對模擬結果有較大影響的重要參數，可大幅降低參數調整的時間，以及增進識別後參數的可信度。

**最佳化演算法(Multi-Dimension Optimization Algorithm)** --由於動態模擬步驟相對耗時，以及機組模型之參數眾多，因此參數調整演算法的效率及正確性極為重要，以下第二、三及四段將針對上述三項技術予以說明，並於第五段中提供一範例說明。



圖一、線上動態模型參數識別技術架構圖

## 二、混合動態模擬 (Hybrid Dynamic Simulation)

由於發電機組是直接連結到電力系統，全系統設備繁多，因此參數識別結果的不確定性，很難界定是由系統的哪一個設備所造成。傳統電力系統模擬的方法是採用等校簡化模型來降低外部系統所造成的模擬結果不確定性。然而，等校模型為一進似的物理特性的模型，本身有其極限，並無法完全消除模擬誤差。近幾年混合動態模擬技術被提出來用以驗證機組模型的響應狀況，可有效的解決外部系統所造成的模擬誤差問題。此方法允許模擬一小區域系統，並以量測點為邊界，注入量測訊號於邊界點，以達到系統簡化的目的，並可消除外部系統設備所造成的模擬誤差。此方法需利用 PMU 的量測資料，該量測資料可精確的記錄位於邊界點的系統動態行為，藉此於模擬時精確的描述出外部系統的響應狀況。本文引用此混合動態模擬法的概念並應用於發電機組參數識別之用途，並將此理論整合 PMU 的量測數列資料應用至商業電力系統分析軟體(PSS/E)。

電力系統的動態方程式可由一組微分代數方程式來表示，如 (1) 所示

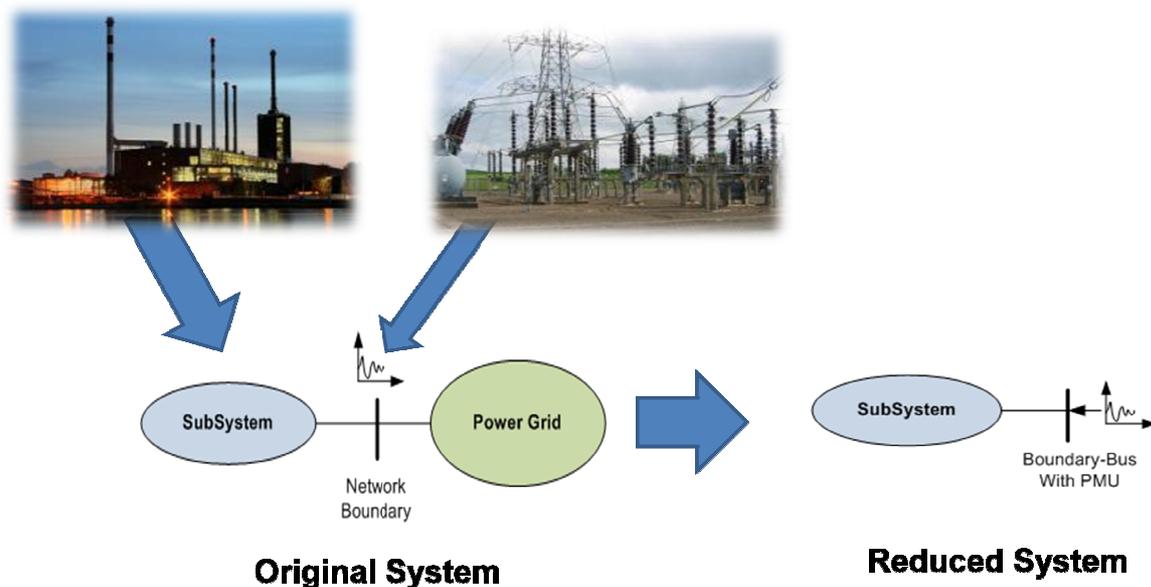
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x, y, \lambda, u) \\ 0 = g(x, y, \lambda, u) \end{cases} \quad (1)$$

其中  $x = \{x_1, \dots, x_M\}$  表示動態狀態變數，如：轉子角度及轉子速度等。此外  $y = \{y_1, \dots, y_N\}$  代表代數變數，如匯流排電壓及功率角； $\lambda$  代表模型參數，以及  $u$  代表控制項。當電力系統模擬軟體用來求解(1)式，則使用者可將每次的計算結果用以處理下一個時間點的方程，因此整個時間段的系統響應狀況可以依此求出。此外，

若可取得時間同步的量測資料時，則混合動態模擬則變為可行，混合動態微分代數方程可描述成如下所示：

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x_1, y_1, \lambda, u, x_2, y_2) \\ 0 = g(x_1, y_1, \lambda, u, x_2, y_2) \end{cases} \quad (2)$$

(1) 式中之動態狀態變數  $x$  以及代數變數  $y$  可分類成兩個子集合， $\{x_1, y_1\}$  及  $\{x_2, y_2\}$ 。子集合  $\{x_1, y_1\}$  包含所有可逐步模擬求解的結果，以及子集合  $\{x_2, y_2\}$  包含可經由 PMU (Phasor Measurement Unit) 取得的變數。混合動態模擬的基本想法可經由圖 2 說明。假設 PMU 裝置於小子系統 (Subsystem) 的邊界匯流排，則全系統可僅考慮此子系統以及使用 PMU 的量測資料來表示。因此，僅有在這個子系統的設備模型及參數需要被考慮，以及在此子系統邊界的量測資料需要提供作為模擬之所需。經由此方法，模擬驗證的工作可以簡化到非常小的區域。



## 圖 2 應用 PMU 量測資料混合動態模擬之系統簡化

混合動態模擬提供一個 PMU 量測資料的輸入點，以整合此量測值進入傳統的動態模擬。此混合動態模擬的應用可包含下列幾項：

- **系統狀況的重播（System Scenario “Playback”）**

電力系統過去十年經歷過數次的大型事故。作為釐清系統問題以及避免相同事故的發生，事後分析（Post-event analyses）是極為重要的。混合模擬因採用了量測數據，因此可幫助事後事故分析，並更深入瞭解系統的特性及識別出造成事故的原因。

- **軟體的驗證（Software Validation）**

當驗證過的模型以及量測紀錄皆具備時，可經由軟體的模擬結果與量測紀錄的比對，評估軟體模擬的正確性。

- **狀態估計（State Estimation）**

PMU 已經被安裝於許多重要的地點以及記錄重要的資訊作為系統分析、監視及控制之使用。然而，仍有許多的數值訊號 PMU 並無量測。在此狀況，混合模擬可使用既有的量測資料來估計無量測到之訊號。此方法可使用已存檔之歷史資料之離線工作，也可用於線上即時估算。

- **模型驗證（Model Validation）**

比較量測資料與模擬結果來驗證模型正確性的方法已經被廣為採用，然而，實際電力系統擁有數千個設備模型，每個模型皆有可能造成模擬的誤差，因此想要在

大系統裡定位那個設備的模型問題造成模擬結果誤差是非常困難的。經由混合動態模擬，此類的比較可經由一簡化之小系統與在邊界點注入量測訊號來完成，如圖 2 所示。則量測與模擬之電力潮流可經由比較得知其誤差，此誤差可指示出此小系統內的模型問題，此發電機模型驗證方法以被成功用於驗證某些 WECC 系統之機組模型。

四個數值通常被用來表示電力系統的狀態，分別為：電壓、角度/頻率、實功及需功。理想狀況，如任何兩項為已知，則其餘項目可經由此兩項已知量來求得。因此根據實現方式的不同，混合動態模擬可歸類成兩種方法，如圖 3 所示。首先為電壓注入法(voltage-injection)，迫使量測點之電壓及角度如量測到之訊號所示；其次為負載注入法(Load-injection)，迫使實功及需功在量測匯流排一致。兩方法之想法如下列兩章節說明。

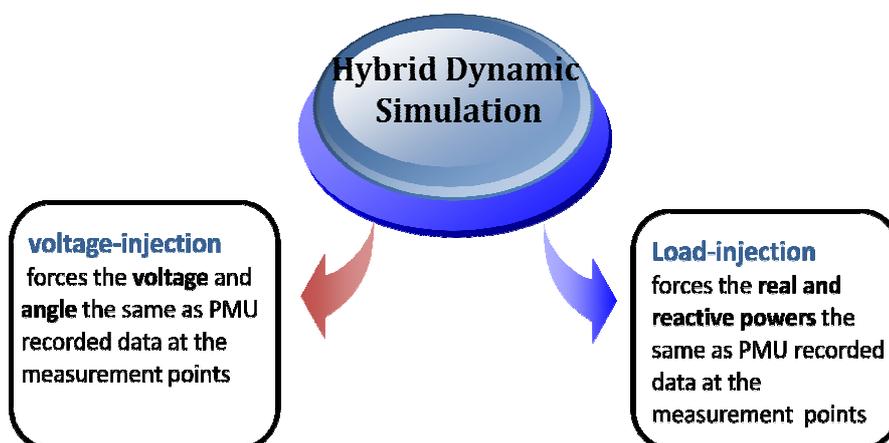


圖 3 混合動態模擬法分類

## 2-1 電壓注入法 (Voltage injection method)

相位移法( Phase shift method)為一間接實現混合動態模擬的方法，架構如圖 4 所示。為了保持邊界匯流排的響應狀況，一動態設備需加入於邊界匯流排處以創造一量測訊號之輸入點。

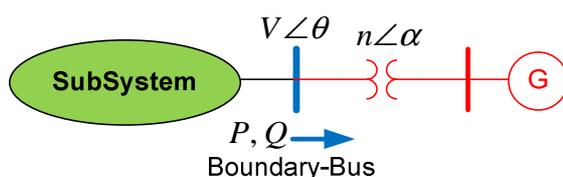


圖 4 相位移混合動態模擬法

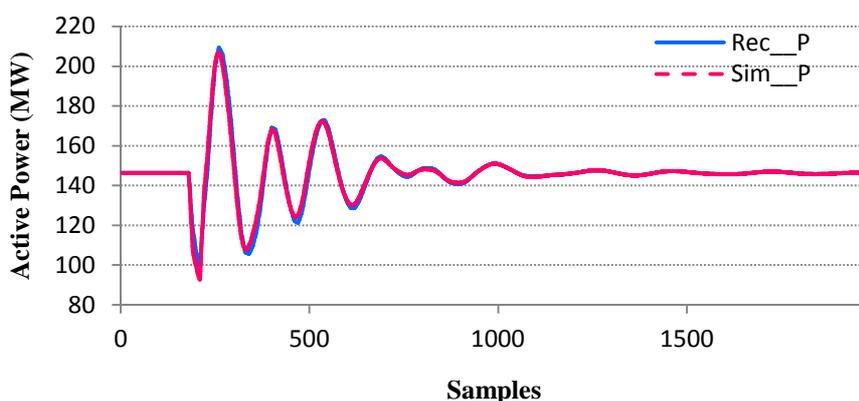
於圖 4 中，邊界匯流排位於 PMU 量測點，量測紀錄包含電壓大小( $V$ )、角度( $\theta$ )、實功( $P$ ) 以及需功( $Q$ )。此方法之目標是迫使邊界點之電壓及角度在模擬週期內兩者皆如量測紀錄值。因此，一假設之發電機及一理想變壓器需被連接至此邊界匯流排。發電機之模型為一典型發電機模型，擁有零內電抗、非常高的轉動慣量以及阻尼比為零。而變壓器為一零組抗之理想變壓。此理想變壓器與典型發電機之初始狀態定義如下：

- 發電機的電壓設定為 1 標么。
- 發電機初始功率為量測點上之傳輸線量測到之電力潮流量
- 變壓器之初始匝數筆( $n$ )為初始紀錄到之匯流排電壓 ( $V$ )
- 變壓器之初始相位移( $\alpha$ )為匯流排電壓角度( $\theta$ )。

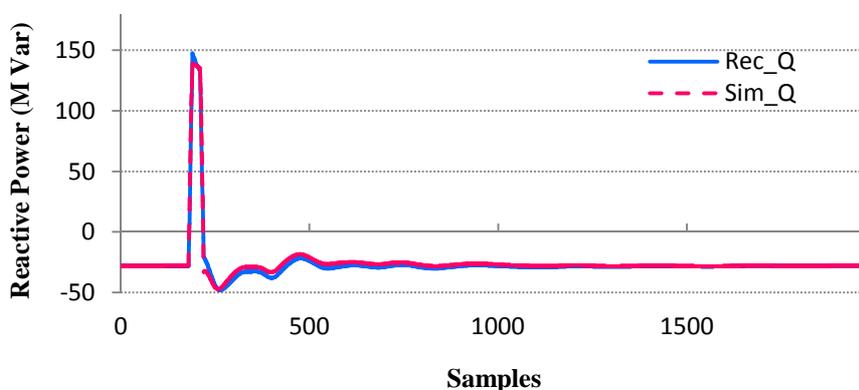
藉由調整理想變壓器之匝數筆及相位移，邊界匯流排的電壓及角度可與量測值一致。下列範例被建置用以測試混合動態模擬之性能。其實功、需功、電壓及角度之

模擬結果與量測資料分別如圖 5 (a)~ (d)所示。圖中上標 “Rec” 為一全系統模擬結果，並假設其為 PMU 量測資料。

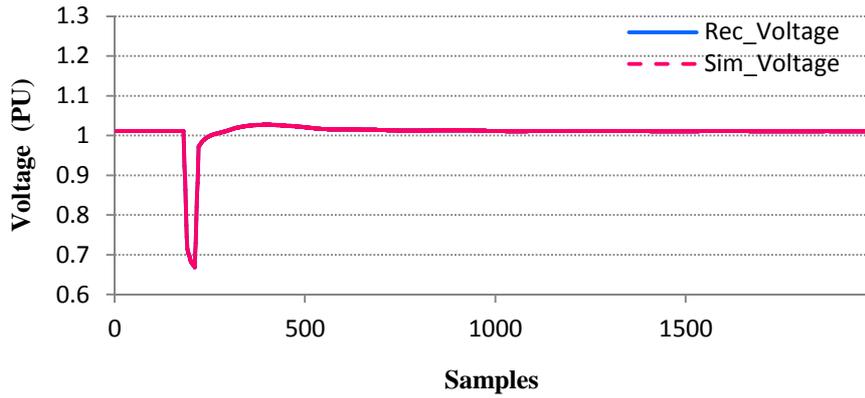
然後將此一量測資料注入於 PMU 邊界匯流排，並執行簡化系統之動態模擬。則混合模擬結果為上標為 “Sim.”之波形。結果顯示此相位移法可以可靠的呈現系統的動態響應特性，藉以作為參數調整之用途。然而，由圖 5(a)、5(b)可觀察出些微的誤差存在於模擬結果，這是肇因於變壓器無法設定為完全理想之變壓器，此一些微誤差可能導致參數調整時之正確性。



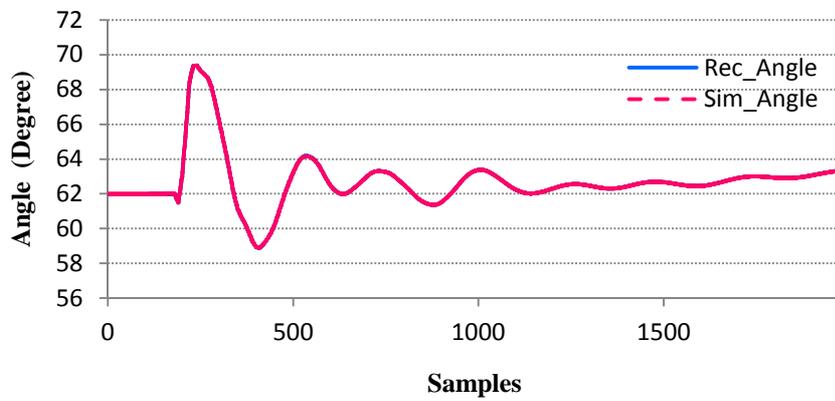
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 5 模擬結果與量測資料之比較(a) 實功 (b) 需功 (c) 電壓 (b) 角度

## 2-2 負載注入法 ( Load Injection Method )

這裡提出一相對簡單的方法以取代相位移法,此方法藉由轉換量測資料為等校阻抗。我們稱此方法為動態負載注入法(Dynamic Load Injection),可無接縫的整合到動態模擬軟體內。如圖 6 所示,在邊界匯流排上的同步量測訊號被轉換成一等校負載。

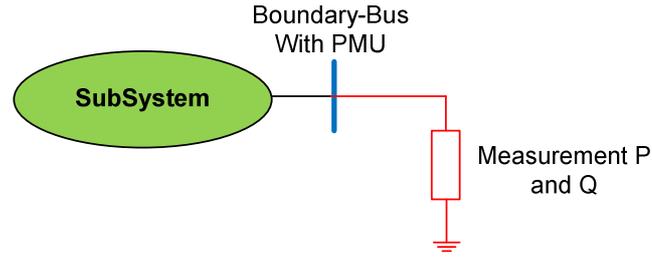


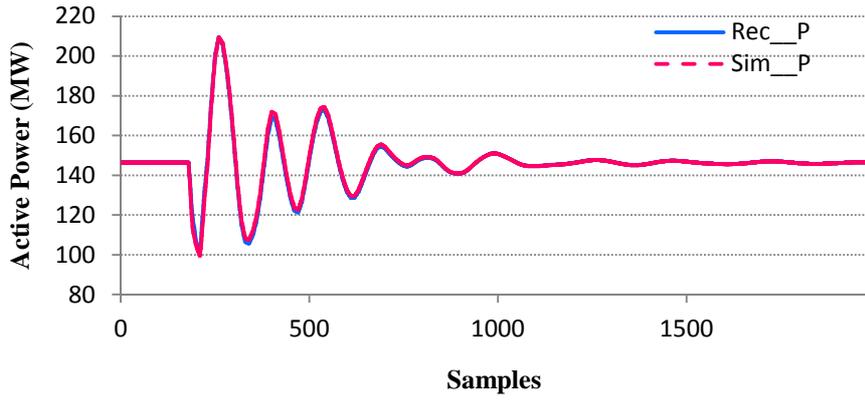
圖 6 混合模擬之負載注入法

每個量測時間點之等校負載可如下式計算而得

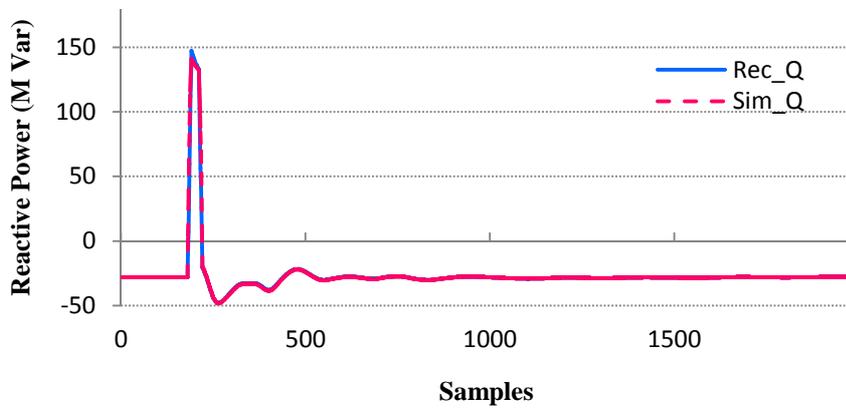
$$\begin{cases} P_{sim}(t) = \frac{P_{rec}(t)}{V_{rec}^2(t)} \times V_{base}^2 \\ Q_{sim}(t) = \frac{Q_{rec}(t)}{V_{rec}^2(t)} \times V_{base}^2 \end{cases} \quad (3)$$

其  $V_{rec}(t)$ 、 $P_{rec}(t)$  及  $Q_{rec}(t)$  為 PMU 紀錄之電壓、實功及虛功， $V_{base}$  為 PMU 量測匯流排之基準電壓， $P_{sim}(t)$  及  $Q_{sim}(t)$  為用於模擬時之等校負載。

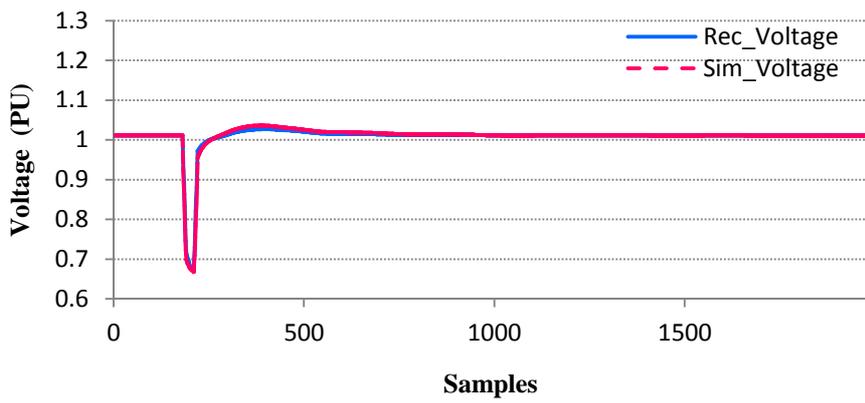
從式(3)可看出邊界點之負載  $P_{sim}(t)$  與  $Q_{sim}(t)$  是在每個模擬點時根據同步量測訊號予以更改。此動態變化之負載是在每個模擬步階點上，用此動態負載灌入邊界點以取代外部系統。執行與上一章節相同測試範例，實功、需功、電壓以及角度之模擬結果 (Sim) 與紀錄資料(Rec)分別如圖 7 (a)、(b)、(c)、(b)所示。實功與需功的模擬結果皆與量測結果相當吻合，然而角度的曲線卻存在著相當顯著的誤差，即使兩曲線的趨勢一致。由於此一誤差造成實功與需功率對於參數變化時的靈敏度下降，無法完全反映出系統的實際響應狀況。



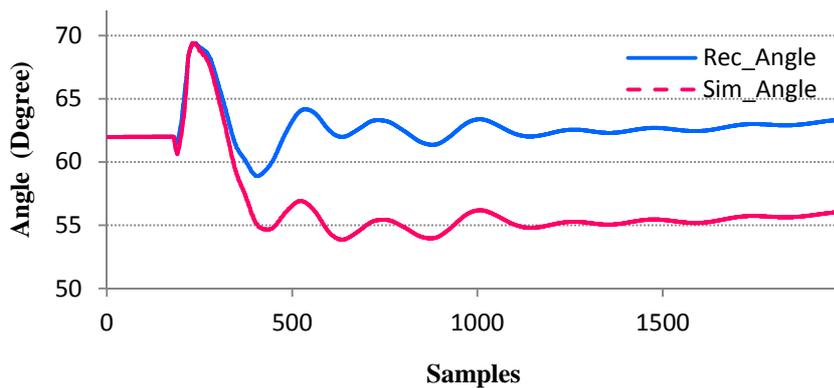
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 7 模擬結果與量測資料之比較(a) 實功 (b) 需功 (c) 電壓 (b) 角度

### 2-3 混合動態模擬小結

混合動態模擬起初被開發作為模型驗證之用，由於 PMU 量測點之外的系統可完全真實的由 PMU 的量測資料來取代。因此由外部系統所造成的模擬的誤差可完全被避免，並且只需要考慮邊界內之模型。

實現混合動態模擬的方式可歸類成兩類，負載注入法與電壓注入法。負載注入法比電壓注入法可得較為吻合的實功及需功的模擬結果，當實功及需功被作為目標函數的比較值時。然而負載注入法的電壓及角度結果顯然差異較大，因此用於參數識別之應用時，仍須採用電壓注入法為佳。

### 三、軌跡靈敏度分析用以篩選重要參數

#### ( Key Parameter Screening by Trajectory Sensitivity )

某些參數可用以調整以減少模擬與實際量測之系統響應誤差。然而，如何鑑定那個參數造成此模擬誤差卻很困難。軌跡靈敏度可提供一有效之方法，藉以量化某一參數的微小改變對於響應軌跡所造成之變化。

#### 3-1 軌跡靈敏度分析

大部分的電力系統模型可使用一組微分代數方程來表示，如下式：

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x, y, \lambda) \\ 0 = g^-(x, y, \lambda) = g^+(x, y, \lambda) \end{cases} \quad (4)$$

其中  $x$  為動態狀態變數， $y$  為代數狀態變數，以及  $\lambda$  為模型參數。方程式(4)之初始

狀態為已知  $x(t_0) = x_0$ ， $y(t_0) = y_0$

為使方程式更為簡潔，變數先做以下之定義：

$$\begin{cases} X = \begin{bmatrix} x \\ \lambda \end{bmatrix} \\ F = \begin{bmatrix} f \\ 0 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (5)$$

根據上述之定義，方程式(4)可重寫成一較簡潔之形式，如：

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = F(X, y) \\ 0 = g^-(X, y) = g^+(X, y) \end{cases} \quad (6)$$

式(6) 之初始狀態為已知  $X(t_0) = X_0$ ， $y(t_0) = y_0$

模擬之時間間隔假設與 PMU 的取樣間隔一致，並假設系統為平滑，即  $(g^+(t_0) = g^-(t_0))$ 。則每個時間間隔之靈敏度  $X_{x_0}(t)$  及  $y_{x_0}(t)$  可由求解式 (6) 的偏微分以及考慮初始狀態  $X_0$  求得。結果如 (7)、(8) 所示：

$$\frac{\dot{X}}{\partial X_0} = \frac{\partial F(X, y)}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial X_0} + \frac{\partial F(X, y)}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial X_0} \quad (7)$$

$$0 = \frac{\partial g(X, y)}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial X_0} + \frac{\partial g(X, y)}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial X_0} \quad (8)$$

其中  $\frac{\partial F(X, y)}{\partial X}$ 、 $\frac{\partial F(X, y)}{\partial y}$ 、 $\frac{\partial g(X, y)}{\partial X}$  以及  $\frac{\partial g(X, y)}{\partial y}$  為時變矩陣以及為被計算為系統軌跡。 $\frac{\partial X}{\partial X_0}(t_0)$  之初始狀態為  $I$  為對角為 1 之矩陣。使用 (8) 式並假設靈敏度矩陣非奇異矩陣， $\frac{\partial y}{\partial X_0}$  的初始狀態可由下式得出

$$\frac{\partial y}{\partial X_0} = \left[ \frac{\partial g(X, y)}{\partial y} \right]^{-1} \frac{\partial g(X, y)}{\partial X} \quad (9)$$

因此，軌跡靈敏度  $X_{x_0}(t)$  以及  $y_{x_0}(t)$  可由數值方法求解(7)及(8)以及使用(9)之初始條件求得。

由於模擬時間間隔非常小，擾動軌跡可由 (10) 表示。此式可使用一階方程來近似，高階部分予以忽略。

$$\begin{cases} \Delta X(t) \approx \frac{\partial X(t)}{\partial X_0} \Delta X_0 \\ \Delta y(t) \approx \frac{\partial y(t)}{\partial X_0} \Delta X_0 \end{cases} \quad (10)$$

對於參數識別的問題，兩個重要的數值為 PMU 於邊界匯流排量測之實功及需功，因此有必要根據其初始狀況及參數的微小變異量取得潮流 P 及 Q 的靈敏度。

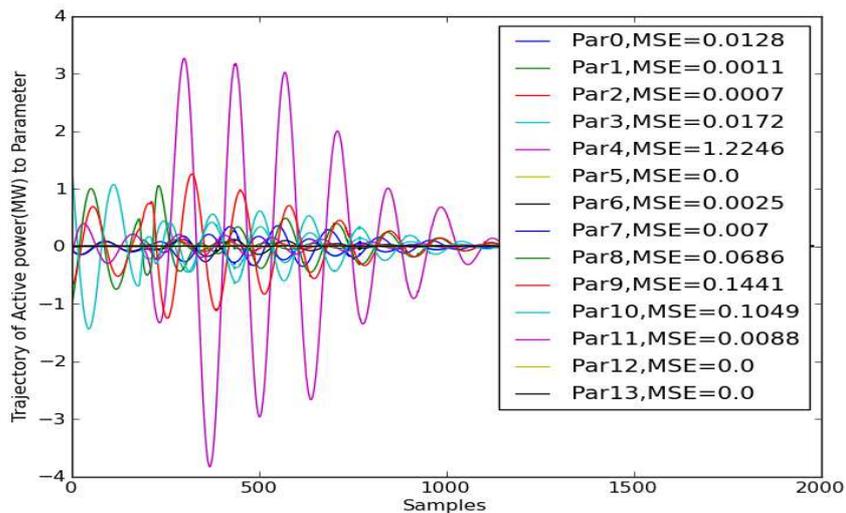
$$\begin{cases} \Delta P(t) = \frac{\partial P(t)}{\partial X_0} \Delta X_0 = P_{X_0}(t) \Delta X_0 \\ \Delta Q(t) = \frac{\partial Q(t)}{\partial X_0} \Delta X_0 = Q_{X_0}(t) \Delta X_0 \end{cases} \quad (11)$$

值的注意的是此靈敏度已將  $\lambda$  整合入  $X_0$ 。因此，潮流對於  $X_0$  的靈敏度可完全描述其對  $x_0$  及  $\lambda$  的靈敏度。

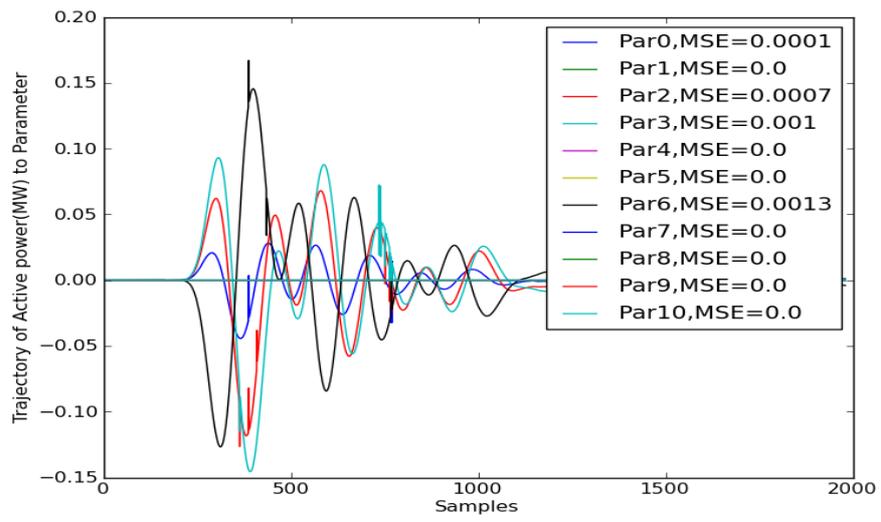
一自動化程式已被開發用以求解上述靈敏度軌跡，用以篩選重要參數之步驟。

此外，利用 ERCOT 系統的一新設機組為討論範例用以驗證此程序，此發電機組包含發電機、勵磁機、調速機以及電力系統穩定器(PSS)其對應之模型分別為 GENROU、ESAC1A、IEESGO 與 PSS2A。實功軌跡對應到各模型分別如圖 8 所示，虛功軌跡對應到各模型分別如圖 9 所示。方均差(Mean square errors) 如(12)所示被用以表示重要參數篩選之指標，其各軌跡之方均差值分別標示於各圖之右上方。

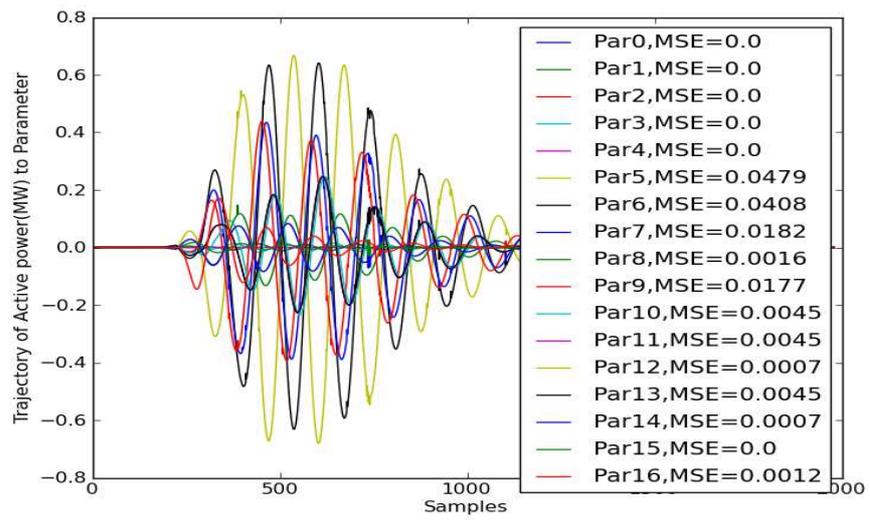
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=i}^n P^2(t) \quad \text{或} \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=i}^n Q^2(t) \quad (12)$$



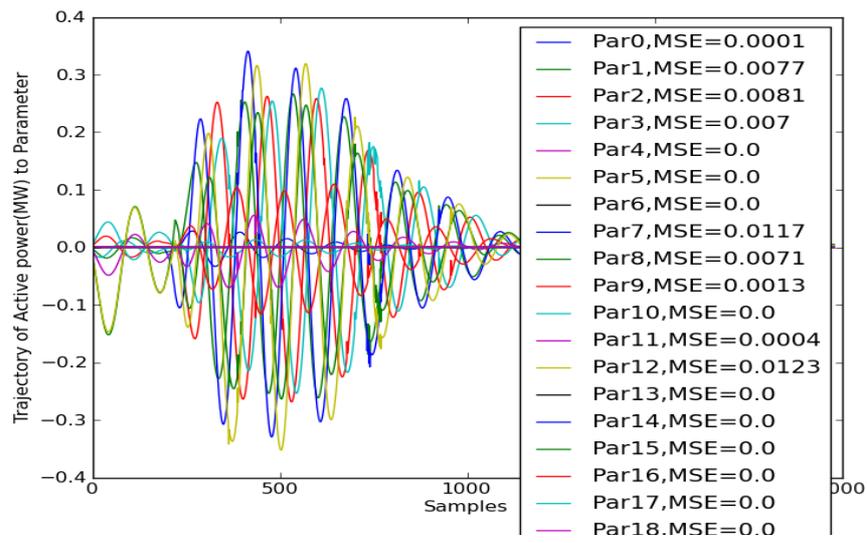
(a)



(b)



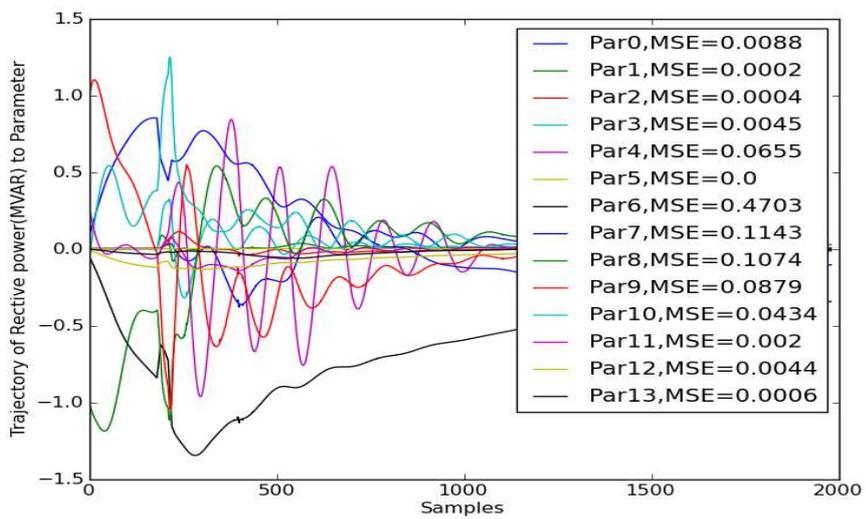
(c)



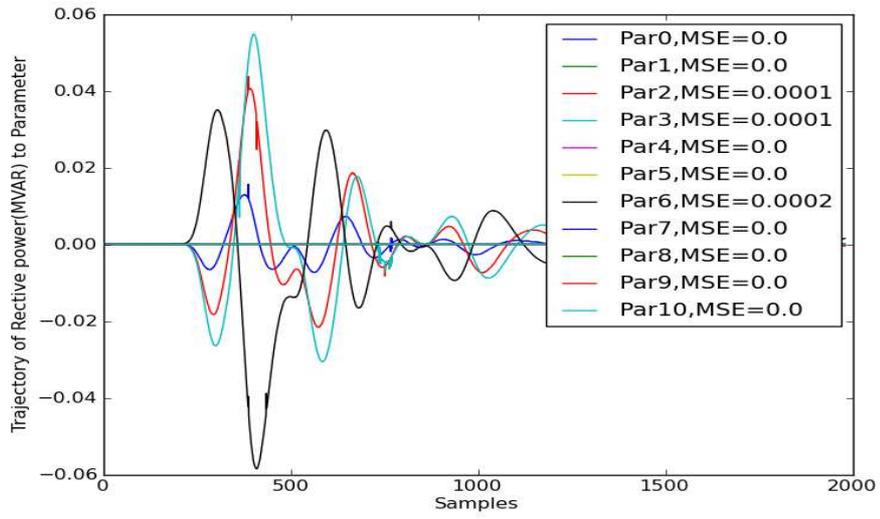
(d)

圖 8 各模型之實功軌跡靈敏度 (a) GENROU (b) IEESGO

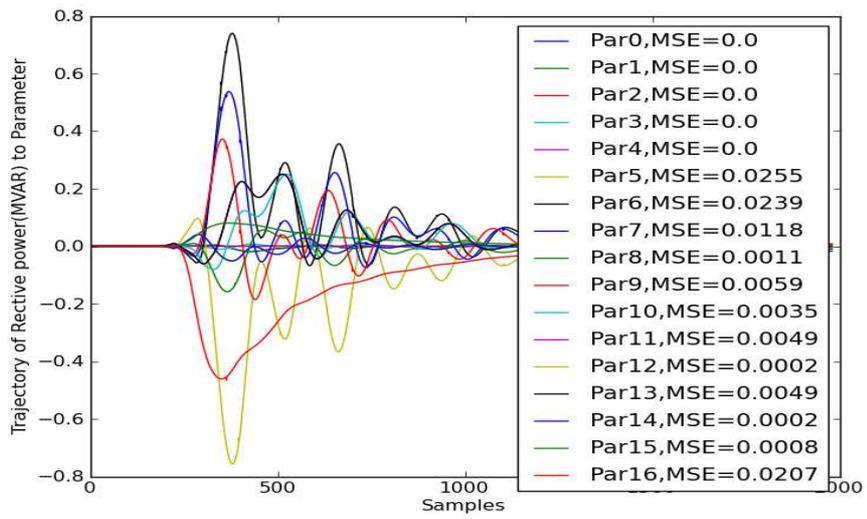
(c) ESAC1A (d) PSS2A



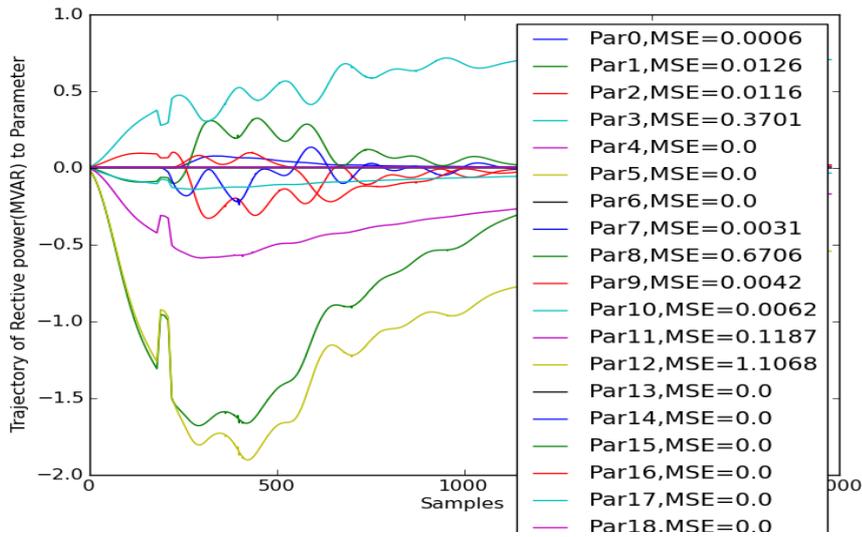
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 9 各模型之虛功率軌跡靈敏度 (a) GENROU (b) IEESSGO  
(c) ESAC1A (d) PSS2A

### 3-2 重要參數

如前章節所述， $\Delta P(t)$  與  $\Delta Q(t)$  之軌跡為利用動態模擬所得之結果如圖 8 及圖 9 所示，此結果可用來指示搜尋重要參數，這些參數為參數估算時之良好的候選參數。假設該參數在某些特定狀態對於軌跡變化有顯著的影響，則該參數所對應之軌跡靈敏度也會比較大，則此類的參數可被歸類為“重要參數”。例如：參照式 (11)，如參數為對應到  $X_0$  的第  $i$  個元素，此參數對於  $P$  或  $Q$  的軌跡有著顯著的影響，則軌跡靈敏度  $P_{x_0}(t)$ ， $Q_{x_0}(t)$  在整個模擬時間內會反映出一明顯的量。

由於大的軌跡靈敏度之參數可對模型的響應影響較大，因此調整該參數可使模型的輸出響應與實際量測結果較為接近，故該參數為重要參數；反之，軌跡靈敏

度較小之參數，代表需要調整很大的變化量，才可以得到一顯著的軌跡變化。因此只有當該參數對於輸出響應有較大影響的參數，才有可能被正確的識別出。某些參數也許對系統的特性會有很大的影響，但如果此影響並沒有反映在量測訊號上，則無法正確識別該參數。此範例之根據軌跡結果，挑選出之重要參數如表 1~4 所示，篩選門檻值為 0.05。

表 1 發電機模型參數及對應之 MSE 值  
(GENROU)

CONs	Parameter	MSE of $\Delta P$	MSE of $\Delta Q$	Key Parameter
J	T'do	0.0128	0.0088	X
J+1	T''do	0.0011	0.0002	
J+2	T'qo	0.0007	0.0004	
J+3	T''qo	0.0172	0.0045	X
J+4	H, Inertia	1.2246	0.0655	X
J+5	D, damping	0.0	0.0	
J+6	Xd	0.0025	0.4703	X
J+7	Xq	0.007	0.1143	X
J+8	X'd	0.0686	0.1074	X
J+9	X'q	0.1441	0.0879	X
J+10	X''d = X''q	0.1049	0.0434	X
J+11	Xl	0.0088	0.002	X
J+12	S(1.0)	0.0	0.0044	X
J+13	S(1.2)	0.0	0.0006	X

表 2 調速機模型參數及對應之 MSE 值  
(IEESGO)

CONs	Parameter	MSE of $\Delta P$	MSE of $\Delta Q$	Key Parameter
J	T1	0.0001	0.0	
J+1	T2	0.0	0.0	

J+2	T3	0.0007	0.0001	
J+3	T4	0.001	0.0001	
J+4	T5	0.0	0.0	
J+5	T6	0.0	0.0	
J+6	K1	0.0013	0.0002	
J+7	K2	0.0	0.0	
J+8	K3	0.0	0.0	
J+9	P <sub>MAX</sub>	0.0	0.0	
J+10	P <sub>MIN</sub>	0.0	0.0	

表 3 勵磁機模型參數及對應之 MSE 值

(ESAC1A)

CONs	Parameter	MSE of $\Delta P$	MSE of $\Delta Q$	Key Parameter
J	TR	0.0001	0.0006	
J+1	TB	0.0077	0.0126	X
J+2	TC	0.0081	0.0116	X
J+3	KA	0.007	0.3701	X
J+4	TA	0.0	0.0	
J+5	VA <sub>MAX</sub>	0.0	0.0	
J+6	VA <sub>MIN</sub>	0.0	0.0	
J+7	TE > 0	0.0117	0.0031	X
J+8	KF	0.0071	0.6706	X
J+9	TF > 0	0.0013	0.0042	X
J+10	KC	0.0	0.0062	X
J+11	KD	0.0004	0.1187	X
J+12	KE	0.0123	1.1068	X
J+13	E1	0.0	0.0	
J+14	SE(E1)	0.0	0.0	
J+15	E2	0.0	0.0	
J+16	SE(E2)	0.0	0.0	
J+17	VR <sub>MAX</sub>	0.0	0.0	
J+18	VR <sub>MIN</sub>	0.0	0.0	

表 4 電力系統穩定器模型參數及對應之 MSE 值

## (PSS2A)

CONs	Parameter	MSE of $\Delta P$	MSE of $\Delta Q$	Key Parameter
J	Tw1 (>0)			
J+1	Tw2			
J+2	T6	0.0	0.0	
J+3	Tw3 (>0)			
J+4	Tw4	0.0	0.0	
J+5	T7	0.0479	0.0255	X
J+6	KS2	0.0408	0.0239	X
J+7	KS3	0.0182	0.0118	X
J+8	T8	0.0016	0.0011	
J+9	T9 (>0)	0.0177	0.0059	X
J+10	KS1	0.0045	0.0035	X
J+11	T1	0.0045	0.0049	X
J+12	T2	0.0007	0.0002	
J+13	T3	0.0045	0.0049	X
J+14	T4	0.0007	0.0002	
J+15	VST <sub>MAX</sub>	0.0	0.0008	
J+16	VST <sub>MIN</sub>	0.0012	0.0207	

## 四、最佳化演算法

此研究之目標是要藉由識別調整電力系統設備模型之參數，使得模擬結果與量測結果相符。傳統的最佳化演算法的性能取決於初始解之假設值，而智能型方法則無關初始解的假設，但確需要較多的運算時間來求得一合適解。因此，粒子群最佳化演算法(PSO, Particle Swarm Optimization) 其快速收斂以及無需初始解之假設之優點極適合用來調整模型參數，其詳細描述如下所示。

### 4-1 粒子群最佳化演算法 ( Particle Swarm Optimization )

一種啟發式以群體為基礎的智能最佳化演算法，粒子群最佳化 (PSO)起初於 1995 由 Kennedy 與 Eberhart 所開發，為一新盈的智能最佳化方法。最佳解是經由數學方式模擬鳥群的社會行為而得。從 1999 開始，電力系統方面的研究利用 PSO 的技術以求解最佳解，諸如：經濟調度、需功及電壓控制、狀態估算以及最佳負載潮流。PSO 是基於粒子群之觀念，也就是每一個粒子代表一個候選解並且存在兩個特性：位置( $x_i$ ) 與指示粒子飛行方向的速度 ( $v_i$ )。一整個群體的粒子稱為粒子群，這個群體持續在解空間裡飛行搜尋解，直到停止的條件滿足了為止。

自從此科技被開發出來之後，不同類型的 PSO 演算法陸續被發展出。在基本的全域最佳 PSO 演算法，在粒子群裡的每一個粒子在問題求解空間隨機取的一初始解，每一個粒子的更新方式是依據下列方程式來更新：

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1r_1(p_{besti}^k - x_i^k) + c_2r_2(g_{best}^k - x_i^k) \quad (13)$$

$$x_i^{k+1} = \begin{cases} x_i^k + v_i^{k+1} & \text{if } f(x_i^{k+1}) < f(x_i^k) \\ x_i^k & \text{if } f(x_i^{k+1}) \geq f(x_i^k) \end{cases} \quad (14)$$

其中  $v_i^k$  為粒子  $i$  在第  $k$  次疊代時的速度向量， $i$  為維度  $i=1, \dots, p$ ， $k$  為疊代次數

$x_i^k$  為粒子  $i$  在第  $k$  次疊代時的位置向量。

$c_1$  及  $c_2$  為兩個正加速常數，分別用以調整本身及社群的貢獻量。

$w$  為慣量，可定義為一線性遞減序列，如下式所示

$w(k) = w_{\max} - k(w_{\max} - w_{\min}) / (k_{\max} + 1)$ ，其中  $w_{\max}$  為最大慣量權重（通常為

0.9）， $w_{\min}$  為最小慣量權重（通常為 0.4）以及  $k_{\max}$  為最大疊代次數。

$r_1$  以及  $r_2$  為兩個隨機數，範圍為[0, 1]

$p_{best}^k$  為粒子  $i$  之個人最佳位置，此為粒子  $i$  從第一次疊代以來，所經歷過之最佳位置。

$g_{best}^k$  為第  $k$  次疊代以來，全粒子群全內最佳位置。

PSO 的最主要是由與此方法可以平行挖掘探索多個解，並使用一合作的方式去搜尋一全域最佳化解。此外，無須指定一合適之初始假設解，因此本演算法相當容易實現。

## 五、範例及結果說明

此論文提出一新的方法以及實現的程序，以求解基於以 PMU 量測之發電機組參數識別問題。此實現之程序乃對於混合動態模擬、軌跡靈敏度以及 PSO 演算法

建立一緊密之連結作為參數識別之用。混合動態模擬是被實現於商業電力分析軟體 PSS/E 以創造出 PMU 邊界系統外之外部系統的等校，此關鍵步驟可有要的大幅降低運算負擔以及增加結果的準確性。此外，軌跡靈敏度則用以提供重要資訊來決定哪些參數為重要參數，此參數將會用於進一步的調整。在此之後，PSO 最佳化演算法則是用以求解參數之問題，因 PSO 為一高效率之演算法，因此求解速度與結果的準確性皆可被大幅提昇。此章節利用一測試範例與資料來評估所提驗證程序之可行性及效能。

### 5-1 範例架構及資料

本範例使用一 EROCT 系統之新設電廠，該電廠有兩部相同新設機組。本電廠經由一 138kV 系統連接至 ERCOT 系統，其單線圖如圖 9 所示，其 PMU 設備裝置於#8126 匯流排，用以紀錄所需之系統擾動數據，該數據資料將用於識別機組參數。

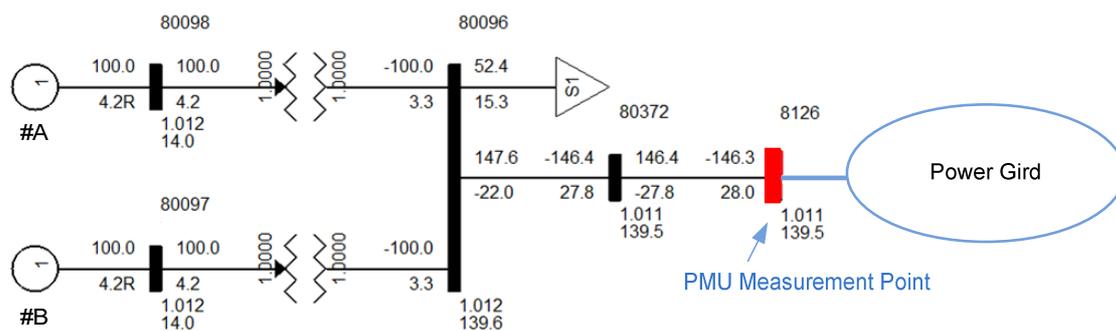
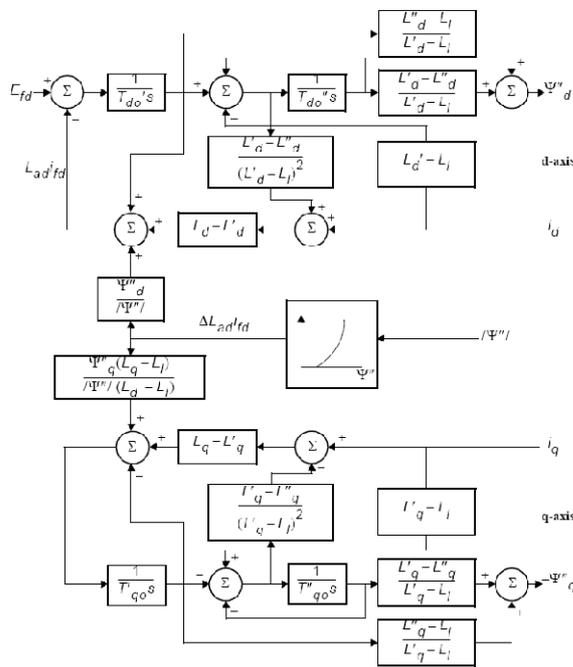


圖 9 測試範例之單線圖

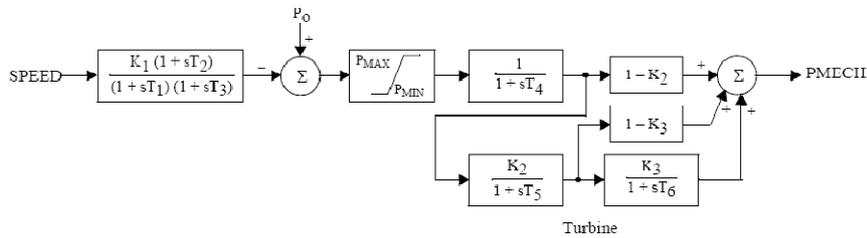
假設發電機組 #A 為參數估計之對象，以及機組之發電機、調速機、勵磁機及電力系統穩定器所使用之模型分別為 GENROU、IEESGO、ESAC1A 以及 PSS2A。詳

細模型參數與方塊圖如圖 10~13 所示。



CONs	Description	Value
J	T'do (>0) (sec)	8.4
J+1	T'do (>0) (sec)	0.04
J+2	T'qo (>0) (sec)	2.5
J+3	T''qo (>0) (sec)	0.15
J+4	H, Inertia	4.47
J+5	D, Speed damping	0.0
J+6	Xd	1.98
J+7	Xq	1.88
J+8	X'd	0.27
J+9	X'q	0.45
J+10	X''d = X''q	0.2
J+11	Xl	0.14
J+12	S(1.0)	0.07
J+13	S(1.2)	0.31

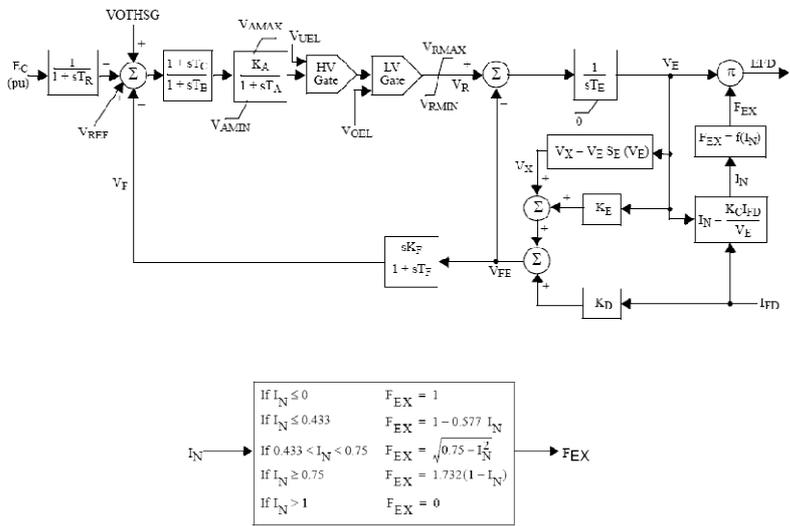
圖 10 GENROU 模型



CONs	Description	Value
J	T1, controller lag (sec)	0.045
J+1	T2, controller lead compensation (sec)	0
J+2	T3, governor lag (>0) (sec)	0.2
J+3	T4, delay due to steam inlet volumes associated with steam chest and inlet piping (sec)	0.6
J+4	T5, reheater delay including hot and cold leads (sec)	0
J+5	T6, delay due to IP-LP turbine, crossover pipes, and LP end hoods (sec)	0
J+6	K1, 1/per unit regulation	22.2
J+7	K2, fraction	0
J+8	K3, fraction	0

<b>J+9</b>	$P_{MAX}$ , upper power limit	1
<b>J+10</b>	$P_{MIN}$ , lower power limit	0

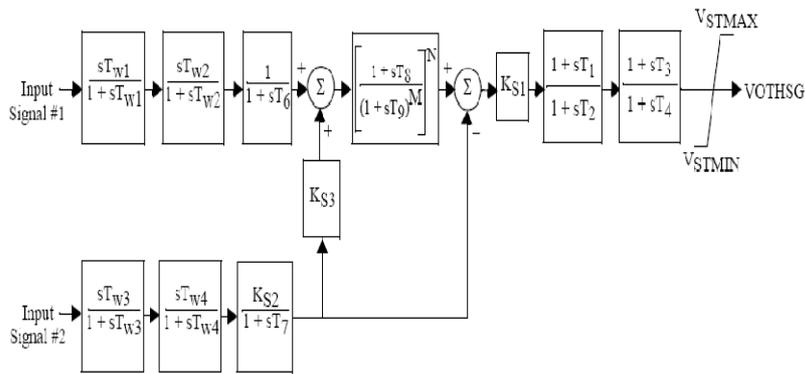
圖 11 IEESGO 模型



$I_N \rightarrow$	$F_{EX} = \begin{cases} 1 & \text{If } I_N \leq 0 \\ 1 - 0.577 I_N & \text{If } I_N \leq 0.433 \\ \sqrt{0.75 - I_N^2} & \text{If } 0.433 < I_N < 0.75 \\ 1.732(1 - I_N) & \text{If } I_N \geq 0.75 \\ 0 & \text{If } I_N > 1 \end{cases}$	$\rightarrow F_{EX}$
-------------------	---	----------------------

CONs	Description	Value
<b>J</b>	TR (sec)	0.035
<b>J+1</b>	TB (sec)	0.46
<b>J+2</b>	TC (sec)	0.26
<b>J+3</b>	KA	104.7
		7
<b>J+4</b>	TA (sec)	0
<b>J+5</b>	$V_{AMAX}$	7
<b>J+6</b>	$V_{AMIN}$	-7
<b>J+7</b>	TE > 0 (sec)	0.84
<b>J+8</b>	KF	0.08
<b>J+9</b>	TF > 0 (sec)	1.5
<b>J+10</b>	KC	0.13
<b>J+11</b>	KD	0.35
<b>J+12</b>	KE	1
<b>J+13</b>	E1	1.125
<b>J+14</b>	SE(E1)	0
<b>J+15</b>	E2	1.5
<b>J+16</b>	SE(E2)	0.029
<b>J+17</b>	$V_{RMAX}$	7
<b>J+18</b>	$V_{RMIN}$	-7

圖 12 ESAC1A 模型



CON	Descript	Value
s	ion	
J	Tw1	5
	(>0)	
J+1	Tw2	5
J+2	T6	0
J+3	Tw3	5
	(>0)	
J+4	Tw4	0
J+5	T7	5
J+6	KS2	0.44
J+7	KS3	1
J+8	T8	0.5
J+9	T9 (>0)	0.1
J+10	KS1	5.299
		7
J+11	T1	0.515
J+12	T2	0.03
J+13	T3	0.515
J+14	T4	0.03
J+15	VST <sub>MAX</sub>	0.1
J+16	VST <sub>MIN</sub>	-0.1

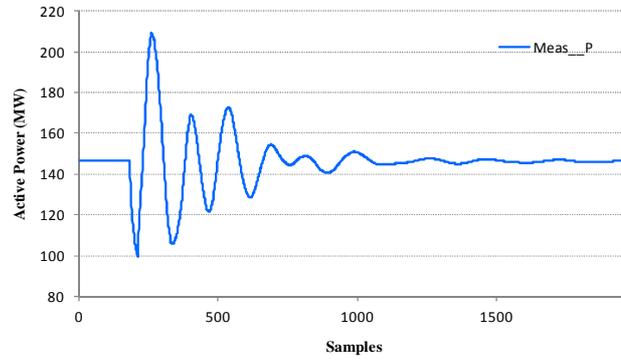
圖 13 PSS2A 模型

此測試範例假設一三相短路接地故障發生於電廠外側，此事故持續 6 個週波後清除，故障線路兩端跳脫。為驗證演算法，因以假設此動態參數由發電機業者提交 ERCOT 之參數為正確參數。此範例之動態模擬是基於既定參數之全系統模擬，於匯流排#8126 之模擬結果(Meas\_P、 Meas\_Q、Meas\_Angle 以及 Meas\_Voltage) 被視為 PMU 量測紀錄，如圖 14 所示。此後，這些參數則假設為未知，並被任意替換成一隨機值。利用此任意參數所得之系統響應狀況則視為模擬結果。這裡所提出之方法將利用此全系統之模擬結果視為 PMU 量測值，並依據此量測數據將被置換過

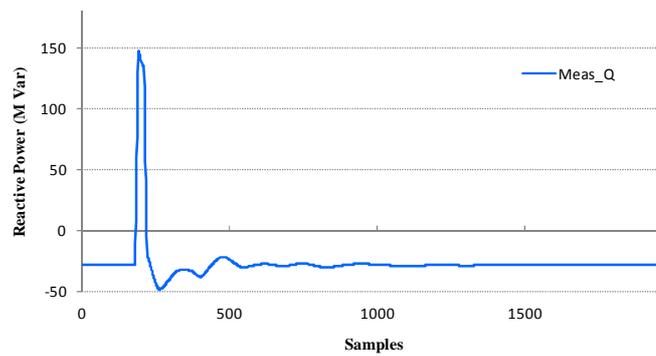
之參數調整回原實際值。

此演算法此採用 Python 2.5 所開發，並調用 PSS/E 的模擬引擎 (version 32)

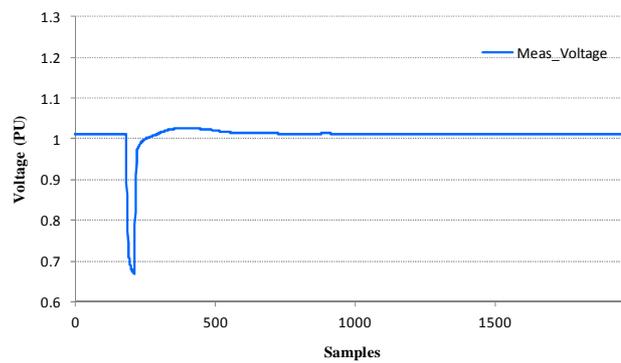
且執行於下列規格之電腦：Intel Core i3 Quad-Core CPU 2.27GHz and 4 GB RAM。



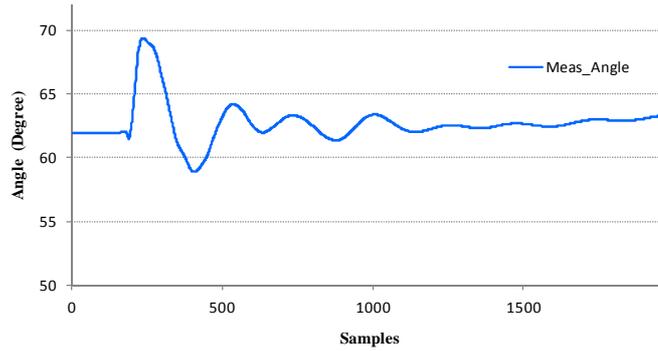
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 14 於邊界匯流排之 PMU 量測值(a) 實功 (b) 需功 (c) 電壓 (d) 角度

## 5-2 參數識別程序

所提出之基於 PMU 之動態模型參數識別之程序如圖 15 示，首先，此應用的 PMU 資料需包含電壓、角度/頻率、實功以及需功  $(V, \delta / f, P, Q)$ 。第二，應建立一以 PMU 量測點為邊界之隔離子系統，此子系統之電力潮流如圖 9 所示，應當調整成與 PMU 量測到之故障前系統狀況一致。

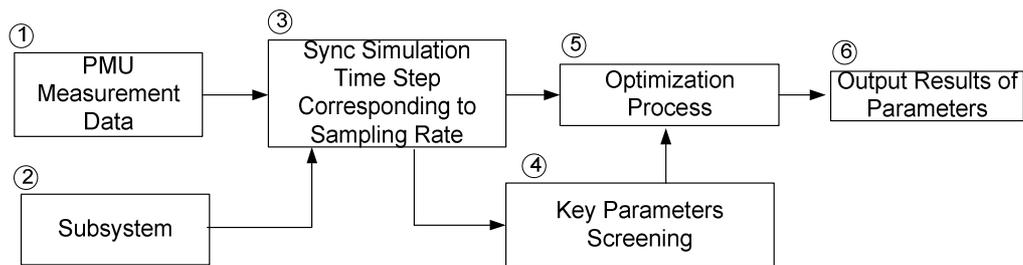


圖 15 自動參數識別程序流程圖

第三，為能夠正確比較實際紀錄與模擬資料，因此模擬程序的每個模擬時間段應與 PMU 的取樣率同步。之後，重要參數篩選程序則用以篩選及決定哪些參數對於系統模擬的輸出響應較大。最後，PSO 最佳化演算法可識別出一組參數，其可使模擬結果與量測結果誤差最小。

### 5-3 動態參數識別之結果

此結果比較兩個 PSO 之效率及收斂性，因此基本的 PSO 法與 SPSA-PSO 法各被執行 50 次。每次的測試皆隨機選擇初始假設值以及使用相同之停止條件，每次執行皆執行 300 次之動態模擬。

表 5 為執行 50 次程式運算的統計結果。此 50 次的識別結果之最大、最小值、平均值與平均值皆顯示於表中。比較此結果，SPSA-PSO 皆明顯優於基本的 PSO 法。此兩種方法的收斂特性如圖 14 所示，同樣顯示 SPSA-PSO 法對於收斂效率與精確度皆有顯著提升。

表 5 50 次執行結果統計結果

Basic PSO				Cooperative SPSA-PSO			
Max.	Min.	Mean	standard deviation	Max.	Min.	Mean	standard deviation
4.5567	1.4407	2.3334	0.7253	2.2483	1.4439	1.7734	0.1956

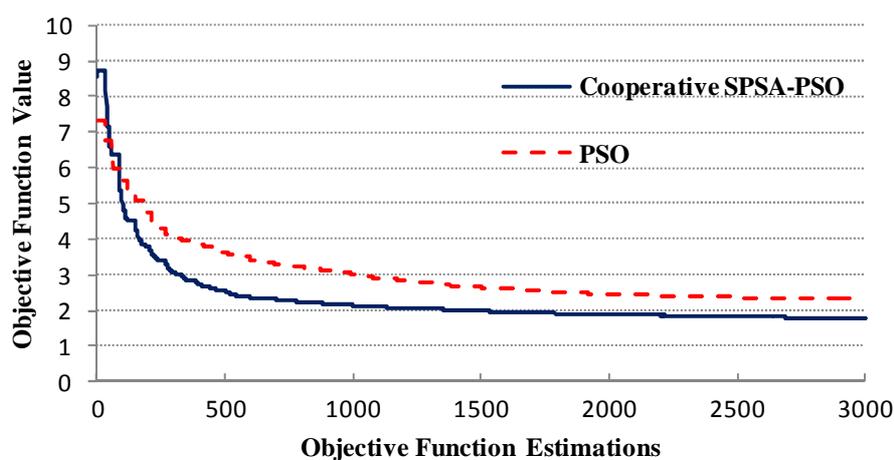


圖 14 兩種方法之收斂特性圖

最後模擬如圖 15 及 16 所示，綠色曲線為初始模擬結果，紅色曲線為擬合目標（PMU 量測值），最終參數調整後之模擬結果如藍色曲線所示皆與 PMU 量測值非常接近。

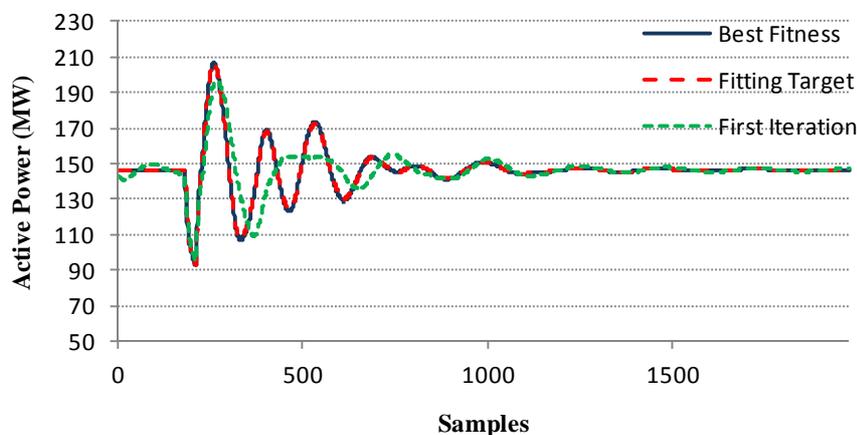


圖 15 實功模擬結果

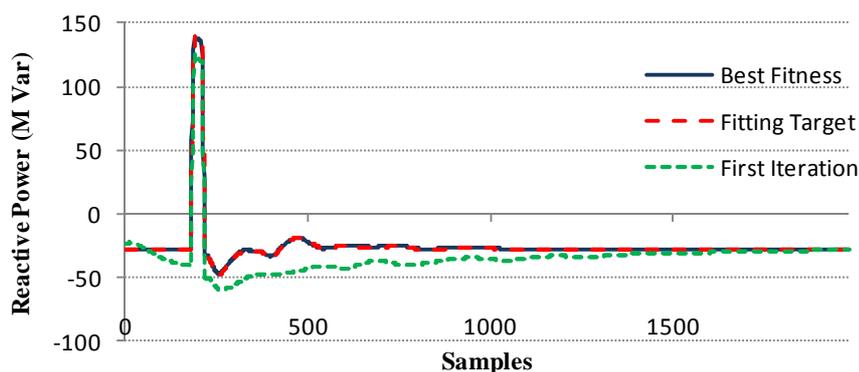


圖 16 需功模擬結果

SPSA-PSO 法 50 次模擬結果之參數統計結果如表 6 所示，包含各參數之實際值(actual value)、最大值(maximum value)、標準差(standard deviation)、平均值(mean value)、百分比誤差(percentage error)以及最佳擬合曲線的參數組。此表中包含兩項百分比誤差；第一項百分比誤差為平均值誤差與實際值之誤差比，第二項百分比誤差則代表最佳擬合曲線之參數組之參數值與實際值之誤差比。可觀察到最後一欄之誤差值仍然偏大，即使模擬曲線與 PMU 量測曲線已經擬合的相當好。此結果並不

令人意外，由於機組參數存在著相當嚴重的關連性，此關連性將使造成機組參數調整時的困難。參數關連性將造成所估算之參數值為非單一值，但此現象為參數識別時常見之問題，無論參數如何校正，參數關連性造成參數識別時參數無法得到一唯一解。此缺點可經由某些特殊的統計的手段，使此問題可以改善。因此，本文採用取 50 次參數估算結果的平均值方法，而不是採用最佳擬合曲線的方法。由此平均值欄位顯示的結果可得知，此估算結果離實際值皆非常接近。因此此方式之結果挑選方式為一非常可靠且可信任之驗證結果。

表 6 50 次模擬結果統計之參數結果

Parameter	Actual	Max.	Min.	standard deviation	Mean value	percentage error	Best Value	percentage error
Generator Model -GENROU								
T'do	8.4	10.92	5.88	1.61	<b>8.63</b>	2.8	<b>9.28</b>	10.4
T''qo	0.15	0.20	0.11	0.03	<b>0.15</b>	2.6	<b>0.18</b>	20.5
H, Inertia	4.47	5.13	4.05	0.24	<b>4.58</b>	2.4	<b>4.73</b>	5.8
Xd	1.98	2.47	1.45	0.26	<b>2.02</b>	2.0	<b>1.79</b>	9.7
Xq	1.88	2.34	1.48	0.19	<b>1.92</b>	2.2	<b>1.61</b>	14.1
X'd	0.27	0.32	0.23	0.02	<b>0.27</b>	0.7	<b>0.27</b>	0.0
X'q	0.45	0.49	0.41	0.03	<b>0.45</b>	0.1	<b>0.46</b>	2.2
X''d= X''q	0.2	0.24	0.16	0.02	<b>0.20</b>	0.8	<b>0.20</b>	0.4
XI	0.14	0.18	0.10	0.02	<b>0.14</b>	2.1	<b>0.13</b>	9.2
Exciter Model- ESAC1A								

<b>T7</b>	<b>5</b>	6.50	3.57	0.80	<b>4.87</b>	2.6	<b>4.66</b>	6.8
<b>KS2</b>	<b>0.44</b>	0.56	0.32	0.06	<b>0.45</b>	1.9	<b>0.44</b>	0.3
<b>KS3</b>	<b>1</b>	1.30	0.71	0.17	<b>1.04</b>	3.6	<b>1.09</b>	9.1
<b>T9 (&gt;0)</b>	<b>0.1</b>	0.13	0.07	0.02	<b>0.10</b>	2.9	<b>0.12</b>	22.8

Power System Stabilizer Model-PSS2A

<b>TB (sec)</b>	<b>0.46</b>	0.60	0.32	0.07	<b>0.45</b>	2.8	<b>0.50</b>	9.5
<b>TC (sec)</b>	<b>0.26</b>	0.34	0.19	0.04	<b>0.26</b>	1.8	<b>0.31</b>	18.5
<b>KA</b>	<b>104.8</b>	136.20	80.34	12.82	<b>107.44</b>	2.6	<b>104.76</b>	0.0
<b>TE (sec)</b>	<b>0.84</b>	1.06	0.62	0.12	<b>0.84</b>	0.1	<b>0.81</b>	3.1
<b>KF</b>	<b>0.08</b>	0.10	0.06	0.01	<b>0.08</b>	1.3	<b>0.07</b>	11.3
<b>KD</b>	<b>0.35</b>	0.45	0.25	0.06	<b>0.36</b>	2.4	<b>0.37</b>	6.4
<b>KE</b>	<b>1</b>	1.27	0.70	0.15	<b>1.01</b>	0.5	<b>1.07</b>	7.4

## 六、結論

此一全新 SPSA-PSO 演算法以及參數識別程序已被充分予以討論與介紹，此新演算法用於估算以基於 PMU 量測之動態模型的參數之應用。

SPSA-PSO 演算法用以估計系統參數，此方法乃藉由系統擾動時的 PMU 量測數據評估電力系統之參數。此演算法可明顯的增進全域最佳解的搜尋能力以及增進收斂的速度。使用混合動態模擬，討論模型之外部系統可有效的去除，因此求解的品質以及計算的時間可有要的增進，此外軌跡靈敏度提供一有效的訊息用以決定重要參數。本文建立混合動態模擬、軌跡靈敏度以及最佳化演算法的一緊密連結，用以建立參數識別程序。

所提出之方法，已使用一ERCOT系統之新設機組為範例來說明，此方法已驗證具有優良的驗證能力，包含高準確度之驗證結果，穩定的收斂特性以及良好的運算效率。此方法之最重要特色是，此方法為一從ISO的觀點，較為可行、簡單實現的線上機組驗證方法。

## 伍、感想及誌謝

三年的國外經驗，最大的收獲莫過於增廣見聞，開拓視野。學業方面，此次再進修不只是專業知識的溫故知新，更能夠在國際多元的學識殿堂裡，學習更多元的思維與想法；專業見聞方面，因參與研究計劃的原因，透過直接與其他電力公司人員的合作機會，更進一步瞭解其他公司之所長以及電力自由市場之優缺點。

李教授指導學生的方式自由開放，不採用緊迫盯人的控管方式，卻採用目標管理的自由學習方式，他強調博士生的養成不是只有修習6門課，而是要培養學生學會發現問題、定義問題以及解決問題的能力。因此，無論被指定從事何種題目的研究，應該都能要求自己能夠在3個月的時間內，使自己成為該題目之專家。因此在UTA期間，雖然為學自由，但卻培養自我學習的負責態度，在各方面多了一股自我督促的責任感，我相信對日後工作上的專業都有不同的幫助。

美國普遍守法、誠實的觀念讓我印象深刻，充分表現在像等紅綠燈及排隊這種小事上。在教育上多採正面鼓勵的方式，這對為初為人父的我也是一個很好的學習。社會福利方面對於弱勢的照顧令人佩服，不但給予受補助人需要的補助，更給予當事人充分的尊重。美國的愛國教育與國家認同感更是從小養成，如，每一場比賽或表演的開始，一定有人領唱國歌，讓全場的人感覺強烈的國家認同感。然而比較過

台灣跟美國公務機關的辦事效率後，才會知道台灣公務部門的效率其實是相當不錯；其次是台灣的人力素質以及工作勤奮的程度，也是值得令人稱讚的地方。

此次難能可貴的機會，特別感謝單位裡諸多主管的支持與提攜，首先感謝李副總尚宗於行前特別勉勵職應利用此次難能可貴的機會，除課業外應多看多學以增廣見聞，其次感謝藍處長宏偉、鄭前處長金龍、吳副處長士襄、張副處長木軍、劉調度監坤城、曾副調度監重富、吳組長進忠等處內長官的支持與勉勵，本人才有機會在國外磨練。此外，同樣感謝計劃組周課長芳正、王工程師曉嬋、楊工程師賀翔等同仁對於出國期間事務的大力協助，使職能無後顧之憂完成學業。

公司陸續有許多新血加入，為公司不斷注入新的生氣與活力，人力資源永遠是公司最大的資產，而持續的學習新知，就和經驗的傳承一樣重要。為維續公司永續經營理念，日後之進修、研習機會，仍請長官給予新進同仁支持。