結合智慧型控制與改良型粒子群尋優法之風力驅動感應發電機系統

Intelligent Control with Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for Wind-Driven Induction Generator System

國科會電力學門召集人
國立中央大學　電機工程學系
林 法 正 教授

內 容

- 緒論
- 風力驅動感應發電機系統
- 應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統
- 類神經網路理論與最佳化演算法則
- 應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統
- 應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統
- 應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統
- 結論與未來之研究發展

❑ 風力發電技術發展概況

- 迄2004年底全球已有53個國家應用風力發電，裝置容量超過47,000MW，主要分佈於歐洲(73%)與北美洲(15%)。

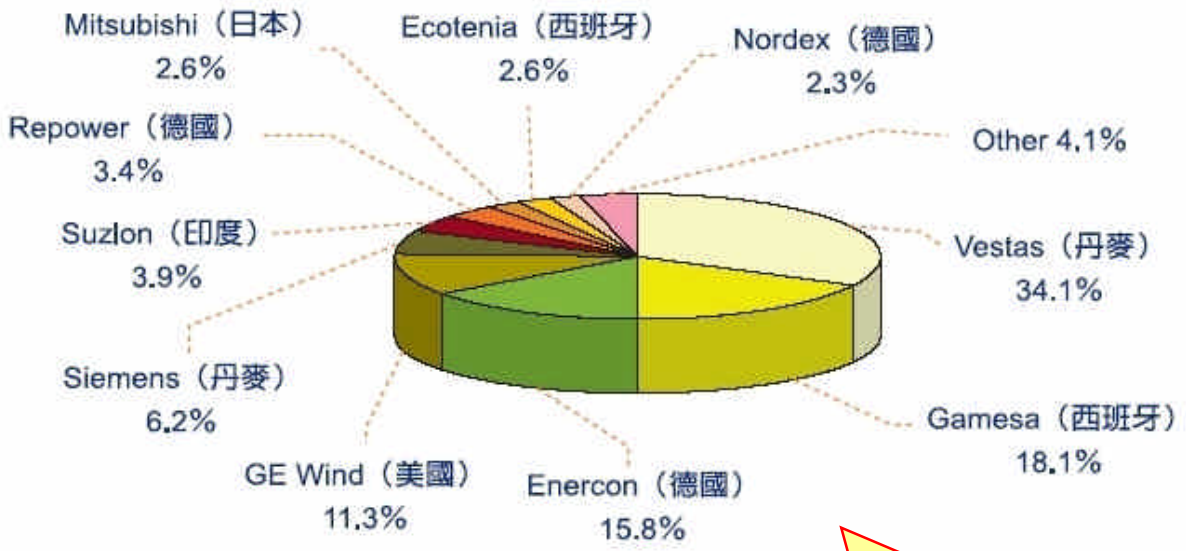


圖1.1 2004年全球風機製造商之市佔率

一、緒　論(續)

- 為了因應能源危機，我國自1980年起亦開始積極從事風力發電相關技術研究。

- 主要研究方向及重點：

  風能評估

  蒐集分析了長短期氣象測風資料並發展風能評估模式及選址方法。

  風機研發

  委託工研院，從事4kW、40kW及150kW風機之研發，完成風能轉換系統設計、葉片開發、傳動鏈設計製作、監控系統設計開發、風機塔設計製作、組件及系統性能測試等，雖仍未達商業化應用，但開發技術與國外相較並不遜色。

一、緒 論(續)

- 風力發電技術之改良：

改良型轉子(葉片)

(1) 使用高強度-質量比的碳纖維
(2) 不增加質量情況下增加葉片的長度
(3) 利用特殊合金使葉片彎曲變形
(4) 直接將葉片設計成符合空氣動力學的彎曲形狀

新型驅動方式

直接驅動發電機省去設計複雜的齒輪箱
優點：減少整體大小、降低成本並在風波動或負載變動時，擁有較快響應
缺點：低轉速的發電機極數較多且直徑非常大
解決方法：利用稀土族永磁來設計永磁同步發電機可大幅縮小體積並降低繞線的損失。

新型風機塔設計

由於風機塔及大型葉片於運輸上之需求，使得風力發電之成本增加，驅使了新型風機塔的研發。

一、緒 論(續)

- 離岸風能：

優點：相較於安裝在陸地的風力發電機組，離岸式風力發電機組擁有較佳的平均風能，因此離岸式風力發電機組可以多產生出約50%的風能。

缺點：設置離岸式風力發電機組需多出約50%的成本。

(1)對於海浪的衝擊而在結構上的改良
(2)加壓的機艙
(3)預防海上空氣對風機造成的侵蝕與元件的毀損
(4)方便人員維修保養及發生緊急情況的操作平台與避難場所
(5)必須裝配有自動監控系統、自動軸承加油系統

以長遠的眼光來看，未來25至30年之間，離岸式風力發電機比起陸地上的風力發電機還要更令人期待。此外，隨著技術之持續進步，離岸式風力發電將逐漸佔有一席之地。

一、緒 論(續)

❑ 研究動機與目的

- 由於核能、傳統石油及燃煤等石化燃料大量開發，已嚴重破壞地球的生態，造成全球環境污染及溫室效應等問題。

- 能源日益短缺，勢必尋求替代能源來取代傳統之電力。其中，
  永不匱乏且無污染的綠色能源－**風能**，已為人類及地球帶來了商機和希望。

- 有鑑於此，本論文將設計一風機仿真器驅動之感應發電機系統，利用交流/直流/交流(AC/DC/AC)功率轉換器將感應發電機所產生之變動頻率及變動電壓之三相交流電源轉換為穩定三相110V、60Hz的交流電源以提供負載使用。並設計結合改良型粒子群尋優法之智慧型控制系統以達到直流鏈電壓控制與負載端三相交流電壓控制，並以實測結果來驗證所提出之控制理論的正確性與可行性。

二、風力驅動感應發電機系統

❑ 風機簡介

- 風機主要結構包含：葉片、發電機與風機塔三部分。
- 風機若依其旋轉軸的方式區分，主要可分為：

水平軸式(Horizontal-Axis Rotor)　　垂直軸式(Vertical-Axis Rotor)



圖2.1 丹麥Vestas 2.0MW
水平軸式風機[57]



圖2.2 美國ecoPower 300kW
垂直軸式風機[58]

二、風力驅動感應發電機系統(續)

- 水平軸式風機
  - 又稱為風軸式或螺旋槳式風機，特點是風機的旋轉軸與風向平行。
  - 技術最成熟、生產最多的一種，擁有較高的發電效率。
  - 以面對風向而言，可分迎風(Downwind)型和逆風(Upwind)型兩種。
  - 依據葉片受力可區分為升力(Lift)或阻力(Drag)型。
  - 依葉片數量則可分單葉、雙葉、三葉或多葉型。

缺點：必須將發電機和控制設備安裝於風機塔的上方，於大型風機設置上有一定之難度。

二、風力驅動感應發電機系統(續)

- 垂直軸式風機
  - 又稱交風軸式風機，特點是轉動軸與風向垂直。
  - 以轉子來分類有桶形(Savonius)轉子和打蛋形(Darrieus)轉子，其旋轉的動力主要是依賴作用於葉片部分之順風和逆風的阻力差。
  - 設計較簡單且風機不必隨風向改變而轉動調整方向。

缺點：無法擷取大量風能且當風力不夠強的情況下葉片將不會轉動。

二、風力驅動感應發電機系統(續)

❑ 風機仿真系統

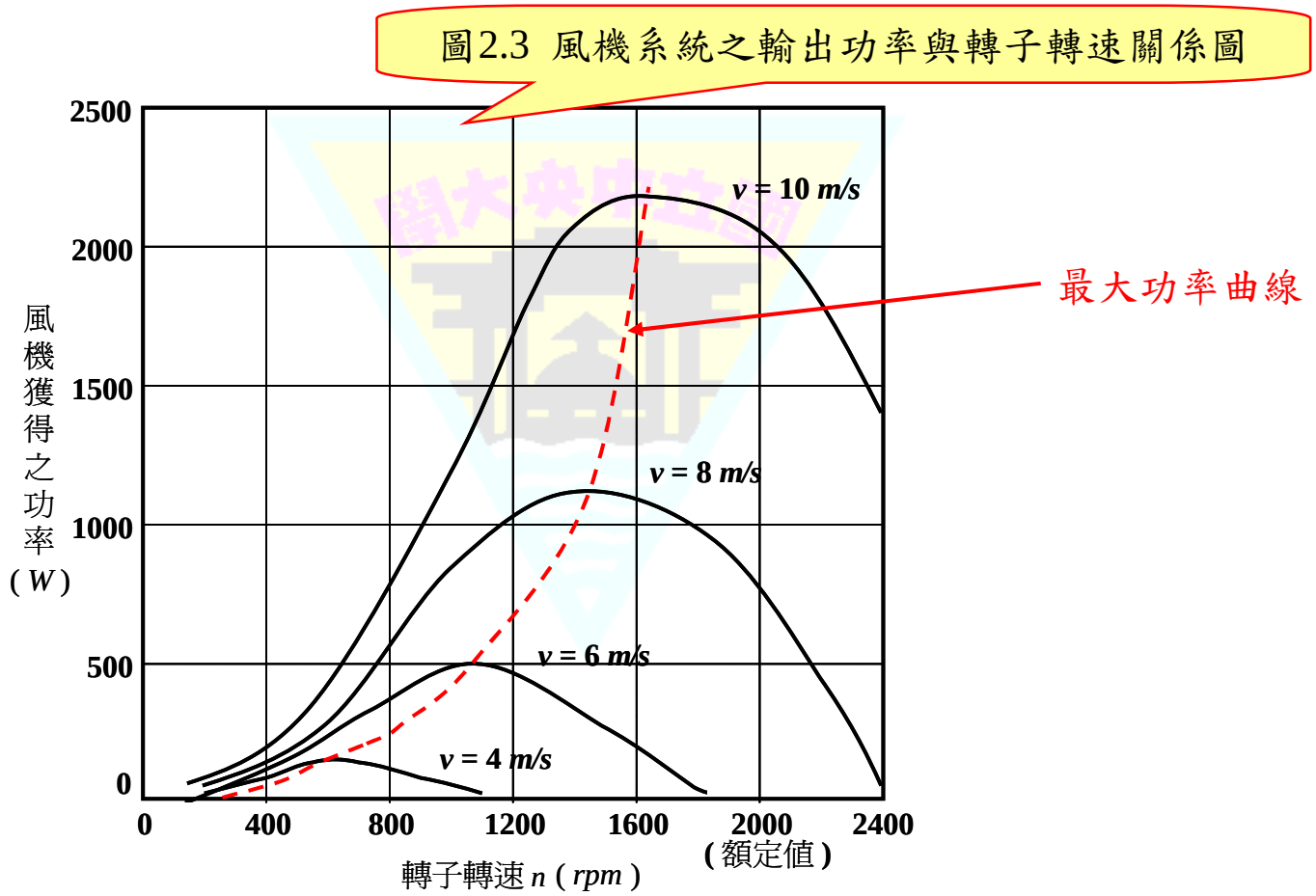
- 本文所提出之感應發電機系統是以永磁同步馬達模擬實際之3kW、三葉片水平軸式風機，葉片直徑為3.4公尺。
- 一般在說明風機特性時[22]，會將功率係數以尖端速度比(Tip Speed Ratio)的函數表示，而尖端速度比的定義如下：

$$\lambda = \frac{R_m \omega_m}{v} \tag{2.1}$$

其中 λ 為尖端速度比，R_m 為風機葉片半徑，ω_m 為永磁同步馬達之轉速，v 為風速。

二、風力驅動感應發電機系統(續)

- 本文所模擬之風機在各種風速情況下，功率輸出-轉子轉速關係圖：



二、風力驅動感應發電機系統(續)

- 功率係數C_p與尖端速度比 λ 之關係曲線圖：

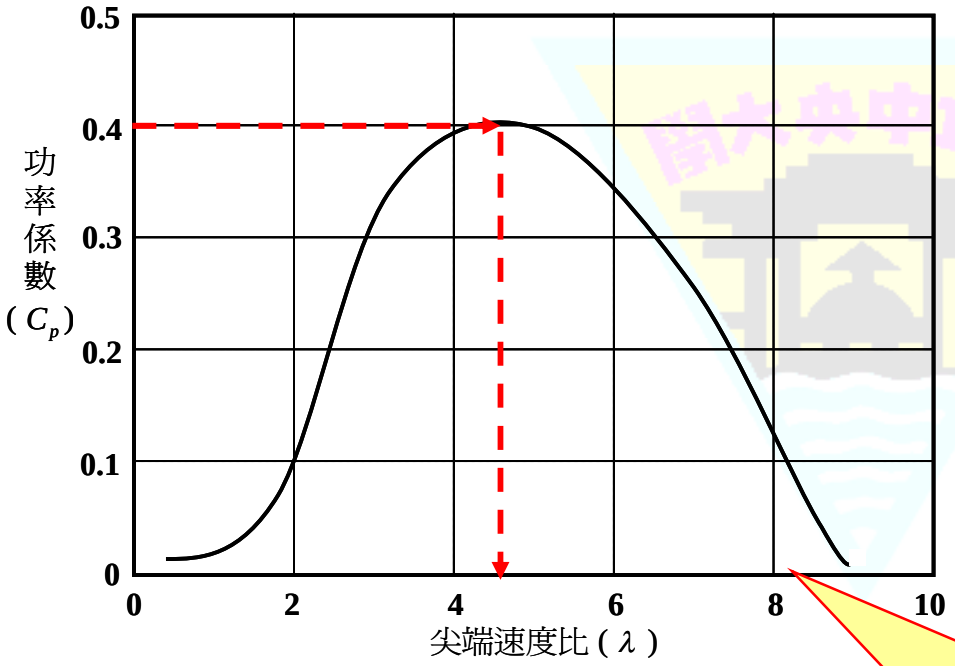


圖2.4 風機之C_p- λ 曲線圖

若從曲線圖上選取一個具有最大功率係數$C_{p,max}$的理想值 λ_{opt}，而此時永磁同步馬達相對應的轉子轉速則可表示為：

$$\omega_m^* = \frac{\lambda_{opt} v}{R_m} \qquad (2.2)$$

二、風力驅動感應發電機系統(續)

- 根據風能之特性，可將風機所獲得之能量表示如下：

$$P_m = \rho A C_p v^3 / 2 = 5.14 \times C_p v^3 \qquad (2.3)$$

其中空氣密度為 ρ=1.29 (kg/m^3)；A為風機葉片旋轉面積 (m^2)。

- 將C_p = 0.4 、 λ_{opt}=4.5、R_m及各指定風速分別代入(2.2)式，即

可計算出各指定風速下相對應之理想轉速分別為640 rpm、960 rpm、1200 rpm、1600 rpm，而感應發電機輸出功率P_e可表示如下：

$$P_e = \eta_m \eta_g P_m \approx 0.9 P_m \qquad (2.4)$$

其中，風機機械傳送效率 η_m= 0.95，發電機轉換效率 η_g =0.95。

$$\omega_m^* = \frac{\lambda_{opt} v}{R_m}$$

二、風力驅動感應發電機系統(續)

表2.2 風機仿真系統於各風速情況之參數對照表

參數 / 風速	尖端速度比 λ	功率係數 C_p	馬達轉子轉速命令 ω_m^*	風機獲得之功率 P_m	感應發電機輸出功率 P_e
v = 10 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	1600 rpm	≈ 2284W	≈ 2056W
v = 8 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	1200 rpm	≈ 1173W	≈ 1056W
v = 6 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	960 rpm	≈ 493W	≈ 444 W
v = 4 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	640 rpm	≈ 148W	≈ 133 W

二、風力驅動感應發電機系統(續)

❑ 感應發電機系統

- 本文實作中所使用之感應發電機為Nikki Denso公司所製造之4極、7.5kW、120V、54A、2000rpm之三相Y接伺服馬達(NA100-370F)，其參數如下所示：

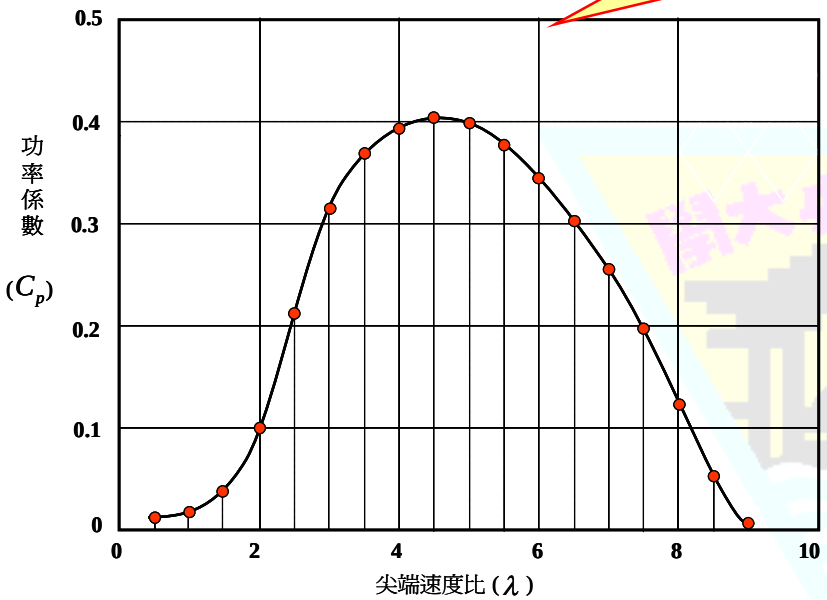
$$R_s = 0.17\Omega \qquad R_r = 0.05\Omega$$
$$L_{ls} = 0.0001H \qquad L_{lr} = 0.0003H \qquad L_m = 0.0061H \tag{2.36}$$

其中L_{ls}及L_{lr}分別為定子及轉子繞組之漏電感。

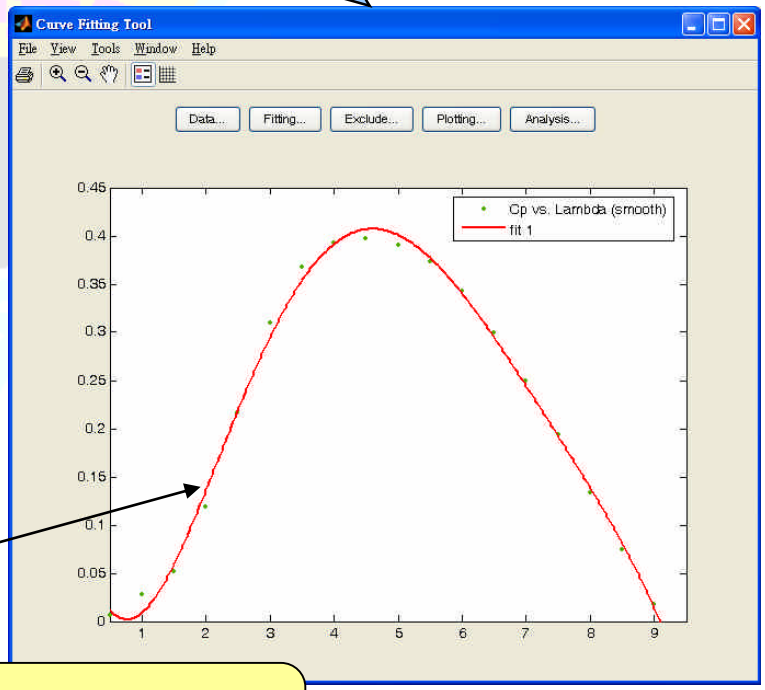
- 原動機為Sanyo Denki公司所製造之4極、3.5kW、120V、26.4A、2000rpm之三相Y接永磁同步馬達(P60B18350HXS)。

❑ 風機模型

圖2.4 風機之C_p-λ曲線圖

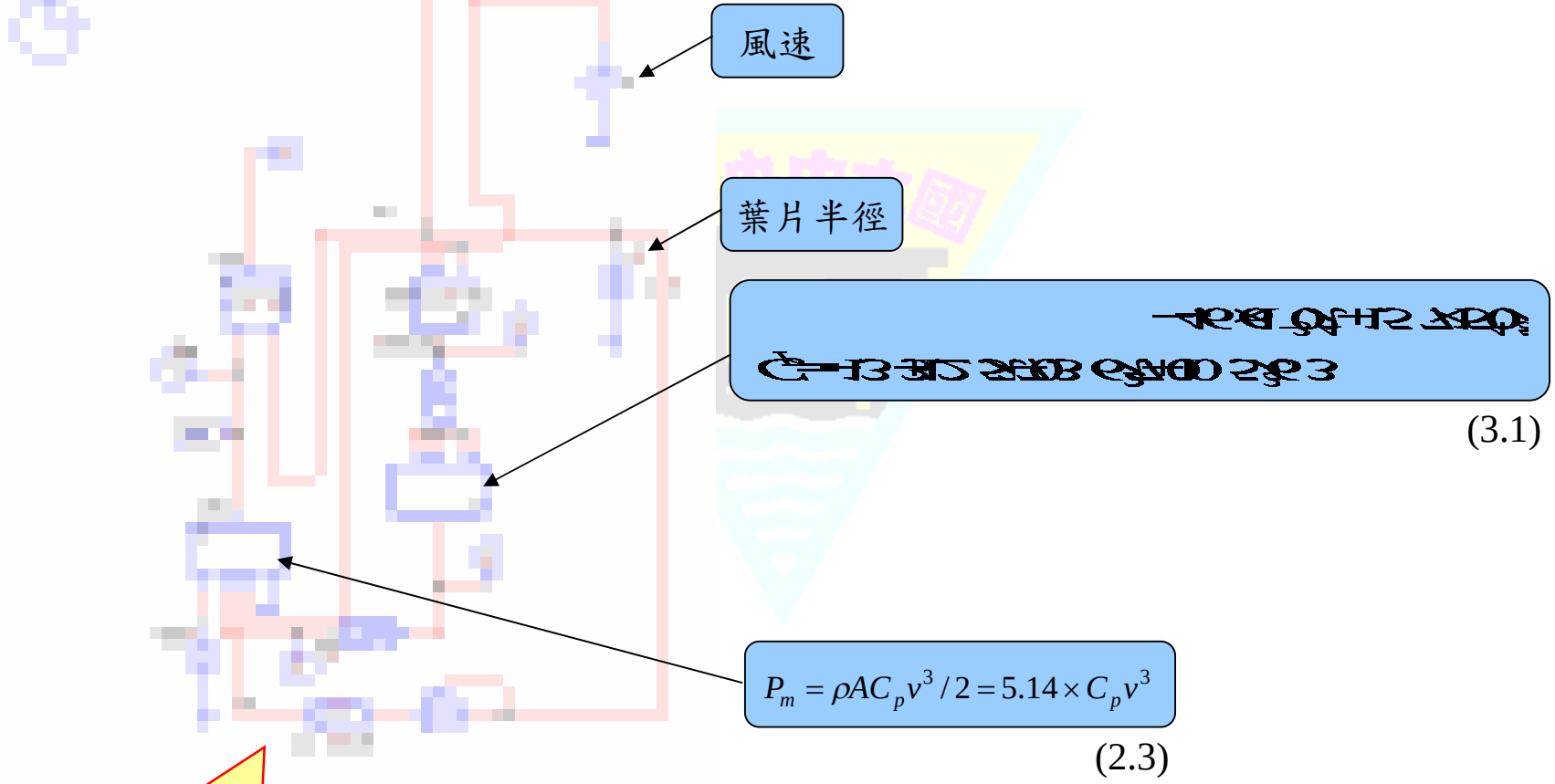


MatLab Curve Fitting Tool



$$C_P = -1.33 + 1.257\lambda - 0.3671\lambda^2 + 0.0563\lambda^3 - 4.66\times10^{-3}\lambda^4 + 1.575\times10^{-4}\lambda^5 \quad (3.1)$$

三、應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統(續)



(3.1)

(2.3)

圖3.5 PSIM風機模型

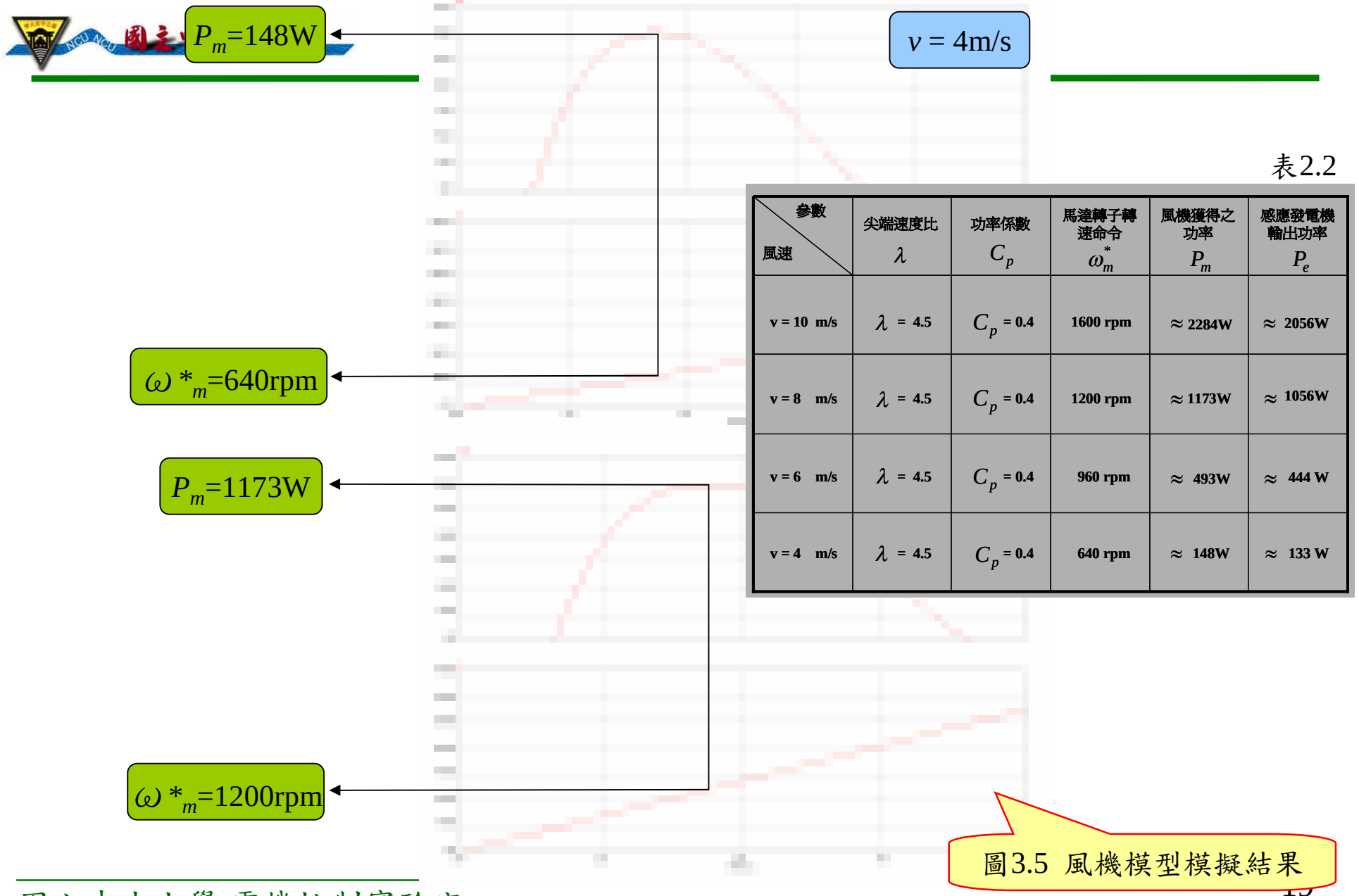


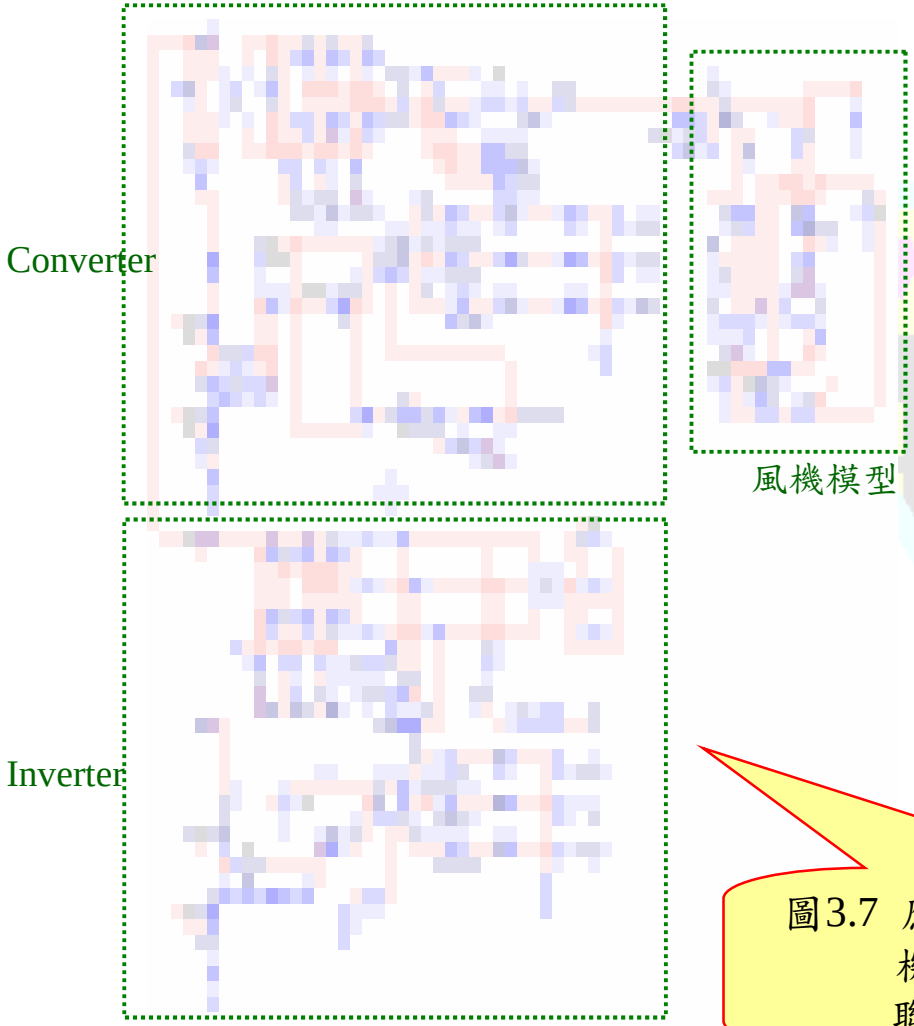
表2.2

參數 / 風速	尖端速度比 λ	功率係數 C_p	馬達轉子轉速命令 ω_m^*	風機獲得之功率 P_m	感應發電機輸出功率 P_e
v = 10 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	1600 rpm	≈ 2284W	≈ 2056W
v = 8 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	1200 rpm	≈ 1173W	≈ 1056W
v = 6 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	960 rpm	≈ 493W	≈ 444 W
v = 4 m/s	λ = 4.5	C_p = 0.4	640 rpm	≈ 148W	≈ 133 W

圖3.5 風機模型模擬結果

三、應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統(續)

● 獨立供電於負載之模擬：



輕載：

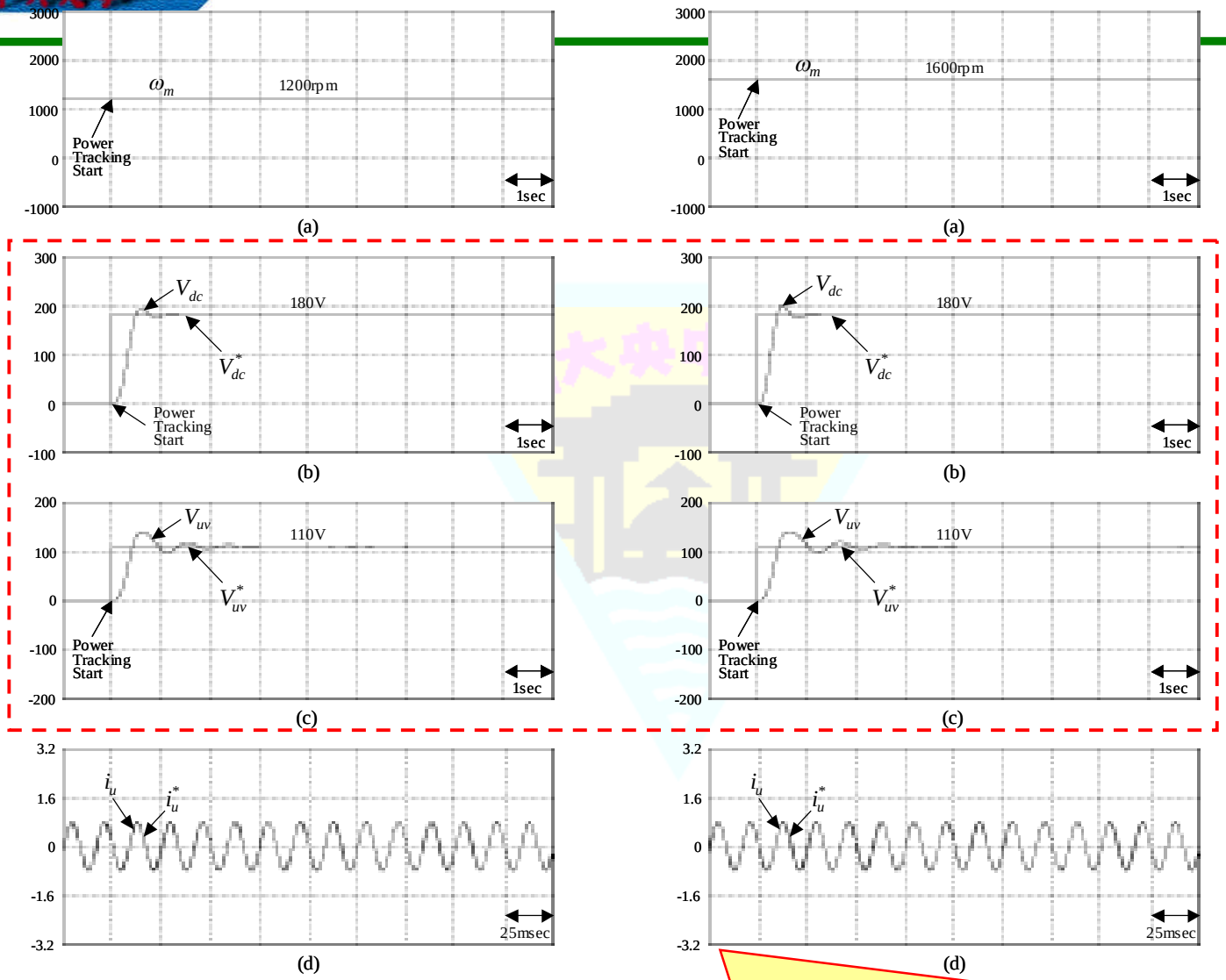
在固定風速(即轉速命令ω^*_m=1200rpm或ω^*_m=1600rpm)且負載端之每相電阻R=100Ω (即R_Δ=66.6Ω)下，維持直流鏈上之電壓為V_{dc}=180V，負載端三相交流電壓穩定輸出V_{uv}=110V。

重載：

在固定風速(即轉速命令ω^*_m=1200rpm或ω^*_m=1600rpm)且負載端之每相電阻R=33.3Ω (即R_Δ=22.2Ω)下，維持直流鏈上之電壓為V_{dc}=180V，負載端三相交流電壓穩定輸出V_{uv}=110V。

圖3.7 應用積分-比例控制器於感應發電機與交流/直流/交流功率轉換器並聯三相△接負載之模擬電路圖

$R_{\Delta}=66.6\Omega$



V_{dc}與V_{uv}追隨響應

圖3.8~圖3.9 應用積分-比例控制器於感應發電機系統在輕載66.6Ω下之模擬結果

$R_{\Delta}=22.2\Omega$

V_{dc}與V_{uv}追隨響應

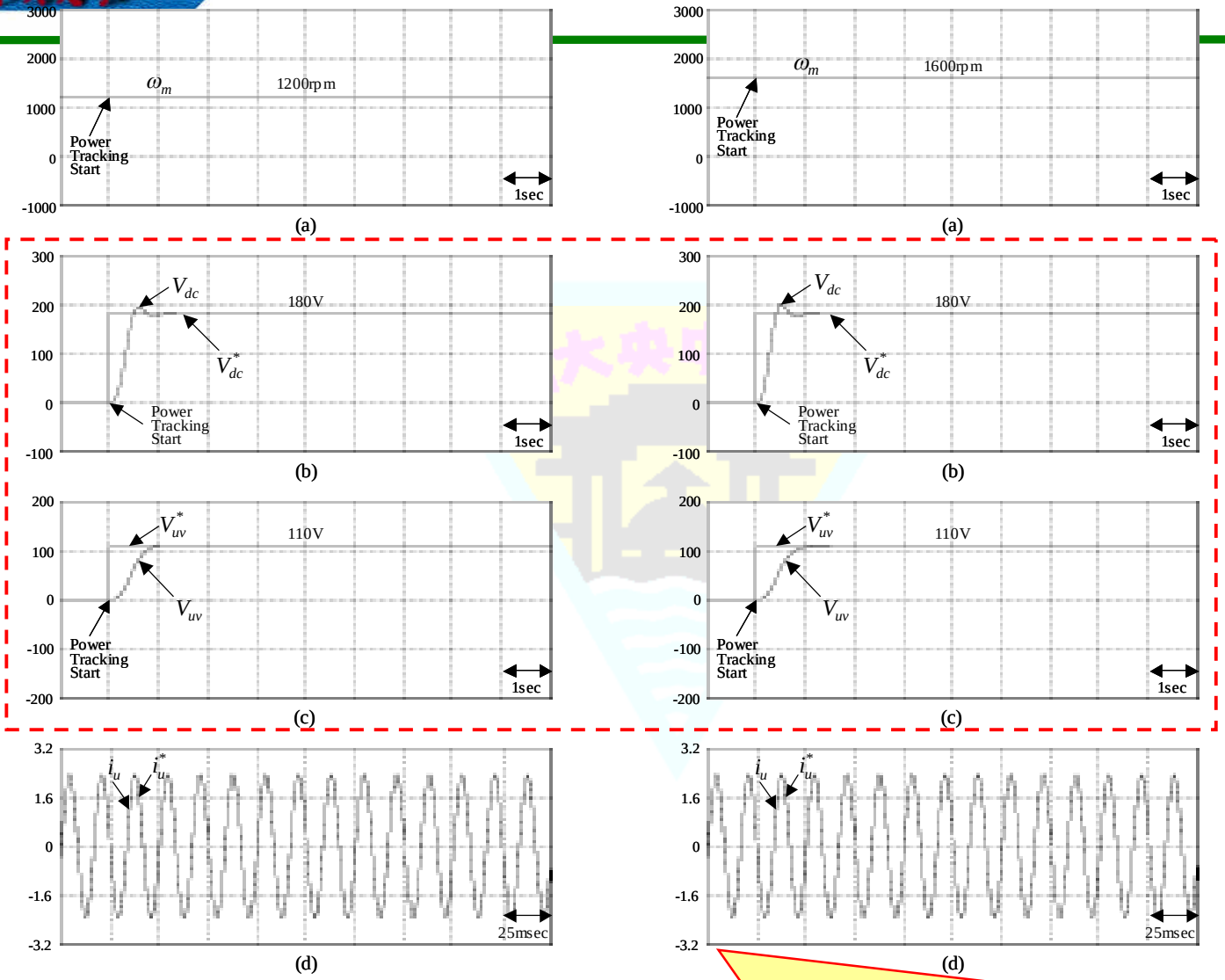


圖3.10~圖3.11 應用積分-比例控制器於感應發電機系統在重載22.2Ω下之模擬結果

三、應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統(續)

- 並聯市電系統之模擬(一)：

架構一：

在固定風速(即轉速命令ω^*_m=1200rpm或ω^*_m=1600rpm)下，維持直流鏈上之電壓為V_{dc}=180V，功率反流器之輸出功率分別為P_o=900W與P_o=1757W。

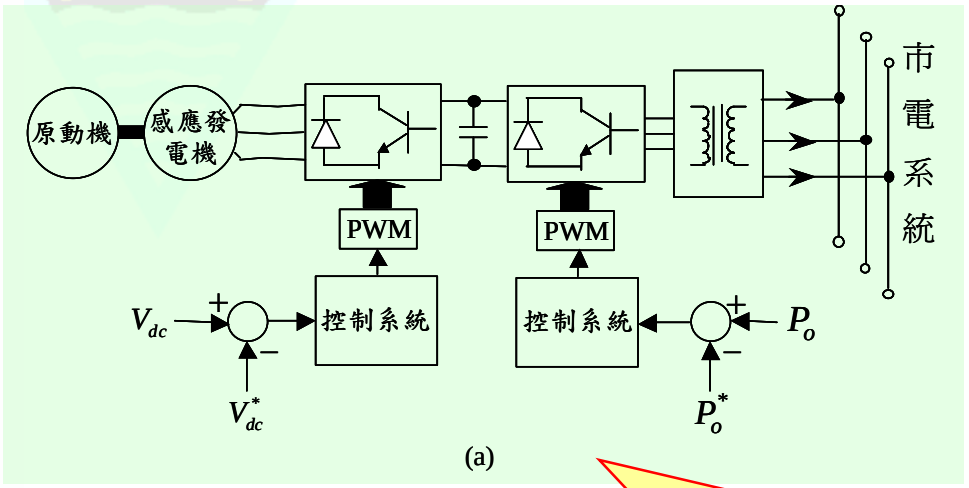


圖3.2(a) 市電並聯應用控制架構圖

V_{dc}與P_o追隨響應

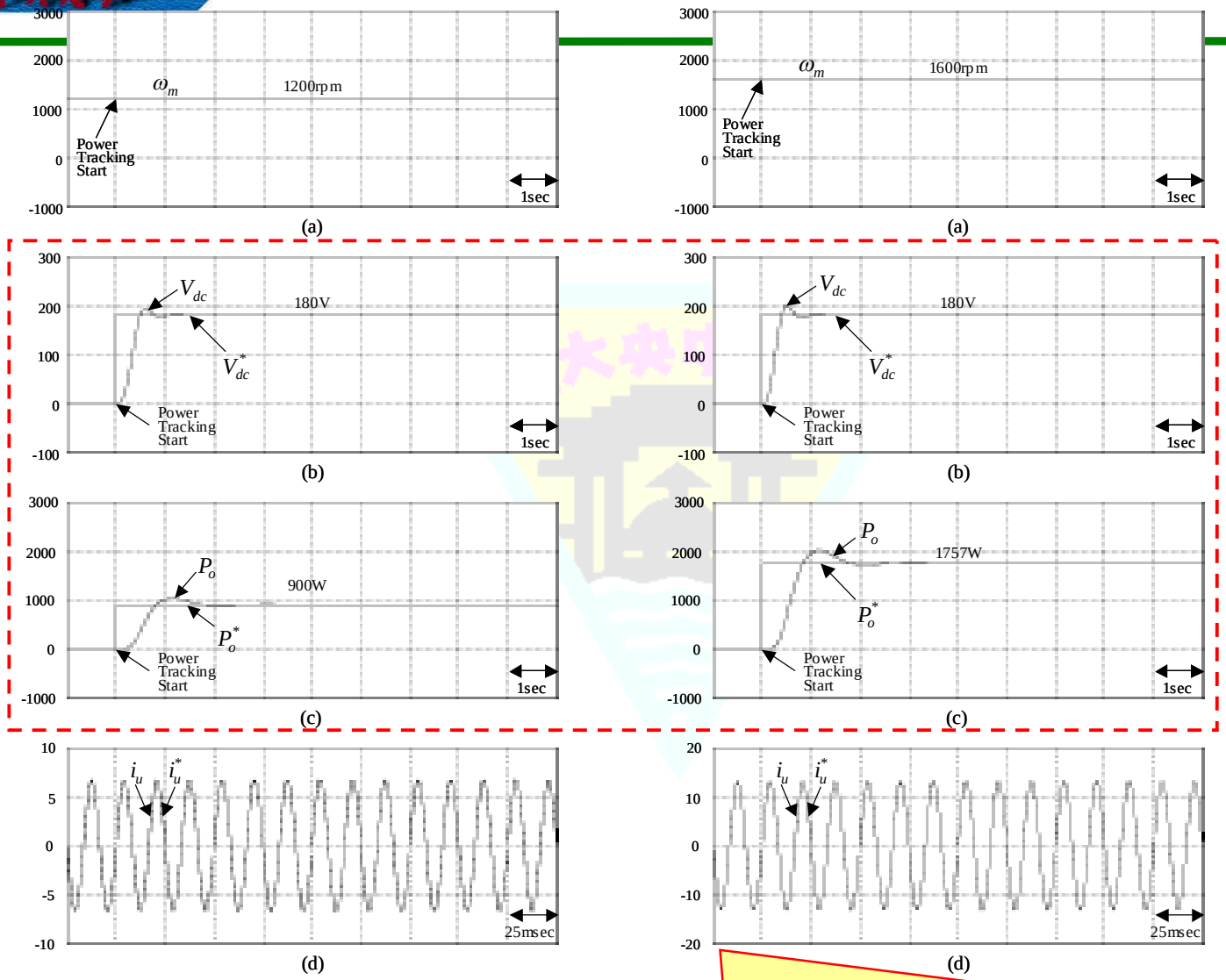


圖3.13~圖3.14 應用積分-比例控制器控制感應發電機發電系統於架構一之模擬結果

三、應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統(續)

- 並聯市電系統之模擬(二)：

架構二：

控制發電機轉速以維持最大功率下(即轉速命令ω^*_m=1200rpm或ω^*_m=1600rpm)，功率反流器之輸出功率分別為P_o=900W與P_o=1757W 。

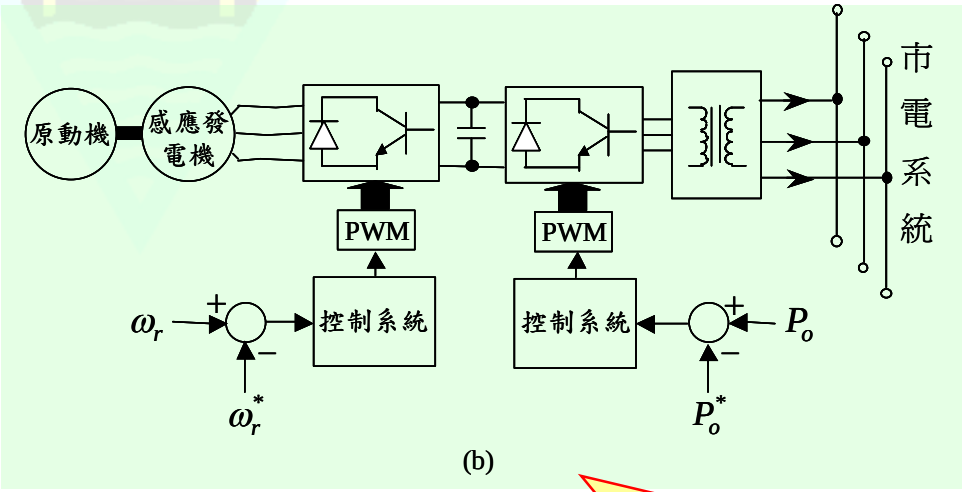


圖3.2(b) 市電並聯應用控制架構圖

三、應用PSIM軟體模擬之風力驅動感應發電機系統(續)

ω_m與P_o追隨響應

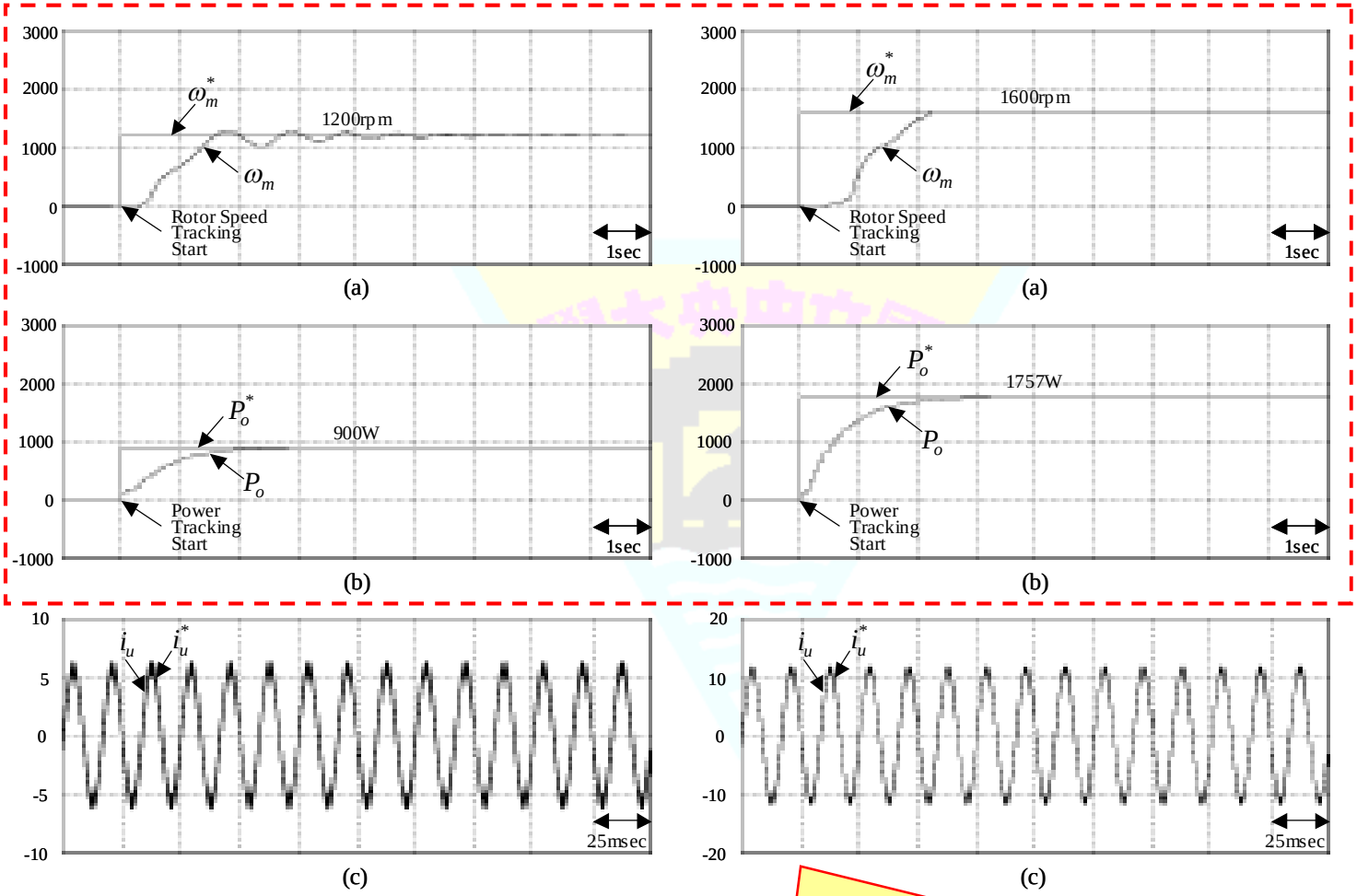


圖3.15~圖3.16 應用積分-比例控制器控制感應發電機發電系統於架構二之模擬結果

四、類神經網路理論與最佳化演算法則

❑ 簡介

為了達到良好之直流鏈電壓與負載三相交流電壓控制，本論文應用三種類神經網路架構來控制，並利用最佳化法則來線上搜尋網路的最佳學習速率。

- 放射狀基底函數網路
  (Radial Basis Function Network)
- 遞迴式小波類神經網路
  (Recurrent Wavelet Neural Network)
- 遞迴式函數連結模糊類神經網路
  (Recurrent Functional Link-Based Fuzzy Neural Network)

- 改良型粒子群尋優法
  (Improved Particle Swarm Optimization)

四、類神經網路理論與最佳化演算法則(續)

表4.1 類神經網路理論之特點

類神經網路理論	特點
放射狀基底函數網路	1. 以放射狀基底函數作為網路之激發函數，故只需三層網路架構便可有效近似非線性函數， 並具有局部協調能力。 2. 以放射狀基底函數實現模糊規則庫，可省略模糊推論中的模糊化及解模糊化，加速模糊推論機制。 3. 類神經網路線上學習能力。
遞迴式小波類神經網路	1. 以小波理論作為網路之激發函數，故具有小波理論高精確度函數近似能力。 2. 類神經網路線上學習能力。 3. 遞迴式網路良好動態特性。
遞迴式函數連結模糊類神經網路	1. 以隨機線性組合輸入信號，擴展輸入信號空間至高階部分，故函數連結類神經網路更能有效的近似非線性函數。 2. 模糊理論處理不確定性訊息能力。 3. 類神經網路線上學習能力。 4. 遞迴式網路良好動態特性。

四、類神經網路理論與最佳化演算法則(續)

- 粒子群尋優法(Improved Particle Swarm Optimization)
  - 粒子群尋優法最早由Kennedy與Eberhart於1955年提出。
  - 此最佳化法則起源於生物社會學家對鳥群如何利用個體經驗和群體訊息，以最短時間找到食物最多的位置。
  - 以隨機的方式在搜尋空間中產生第一批粒子(Particle)。每個粒子會依據自己的飛行經驗與其他粒子的飛行經驗來尋找全域最佳解。
  - 可將粒子在空間中的搜尋移動用數學式表示：

粒子本身所搜尋到的最佳解(粒子最佳解)

粒子位置(第N次)

粒子速度(第N次)

所有粒子中所獲得的最佳解(全域最佳解)

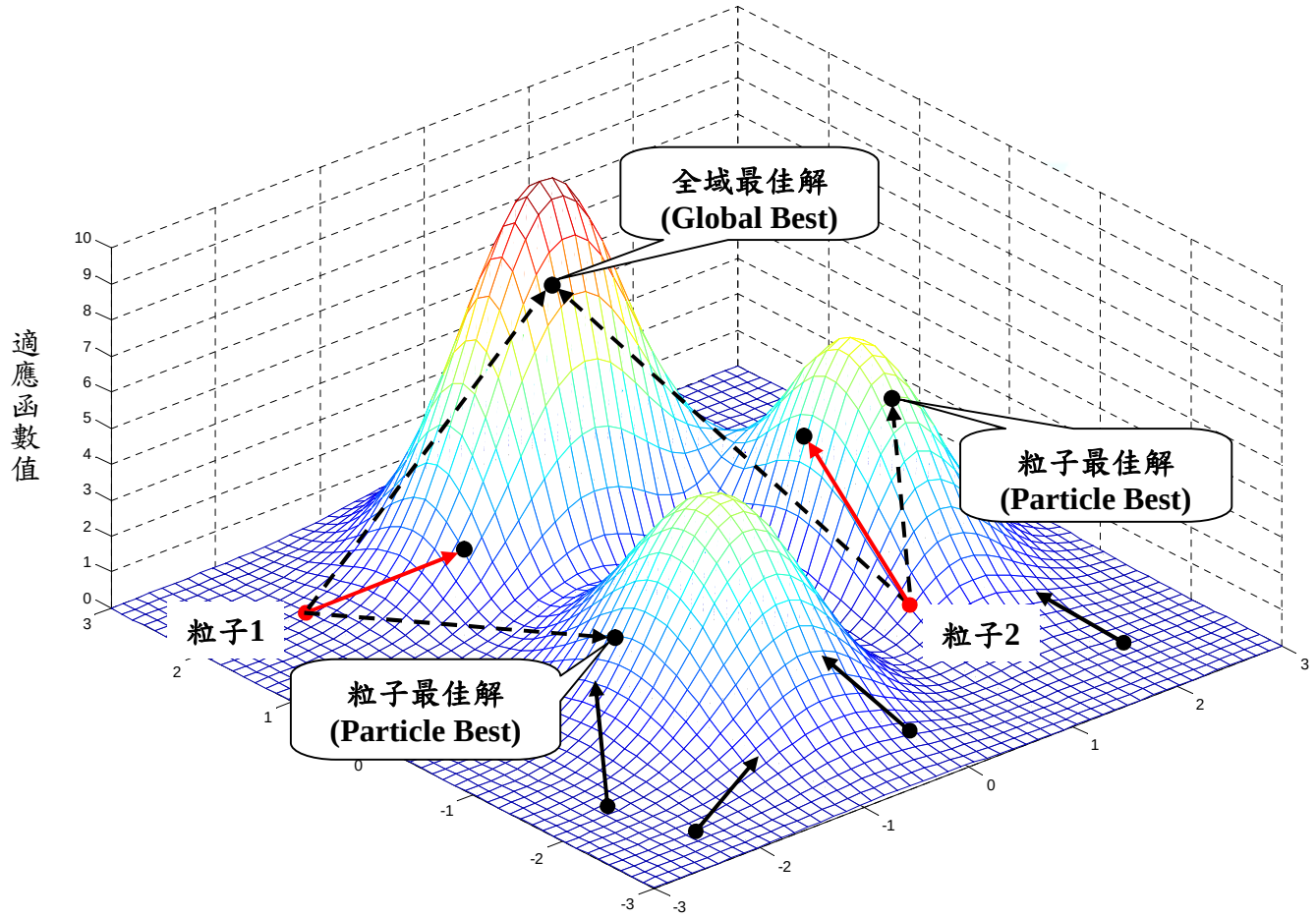
粒子速度(第$N+1$次)

$$v_i^d(N+1) = v_i^d(N) + c_1 \times rand() \times (Pbest_i^d - R_i^d(N)) + c_2 \times rand() \times (Gbest^d - R_i^d(N))$$

$$R_i^d(N+1) = R_i^d(N) + v_i^d(N+1), \quad i = 1,...,P \tag{4.32}$$

粒子位置(第$N+1$次)

四、類神經網路理論與最佳化演算法則(續)



四、類神經網路理論與最佳化演算法則(續)

- 改良型粒子群尋優法(Improved Particle Swarm Optimization)
  - 為了平衡局部搜尋(Local Search)與全域搜尋(Global Search)能力，在$v^d_i(N)$項多乘上一個慣性權重(Inertial Weight) w。
  - 考慮了粒子的最壞解P_{worst}，藉由讓粒子記憶最壞之位置，可使粒子遠離之以增加粒子的搜尋能力。

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{N_{\max}} \times N_n$$

$$\begin{aligned} v_i^d(N+1) &= wv_i^d(N) + c_1 \times rand() \times (Pbest_i^d - R_i^d(N)) \\ &\quad + c_2 \times rand() \times (Gbest^d - R_i^d(N)) \\ R_i^d(N+1) &= R_i^d(N) + v_i^d(N+1) \end{aligned} \tag{4.33}$$

$$\begin{aligned} v_i^d(t+1) &= wv_i^d(t) + c_1 \times rand() \times (Pbest_i^d - R_i^d(t)) \\ &\quad + c_2 \times rand() \times (R_i^d(t) - Pworst_i^d) \\ &\quad + c_3 \times rand() \times (Gbest^d - R_i^d(t)) \\ R_i^d(t+1) &= R_i^d(t) + v_i^d(t+1) \end{aligned} \tag{4.35}$$

四、類神經網路理論與最佳化演算法則(續)

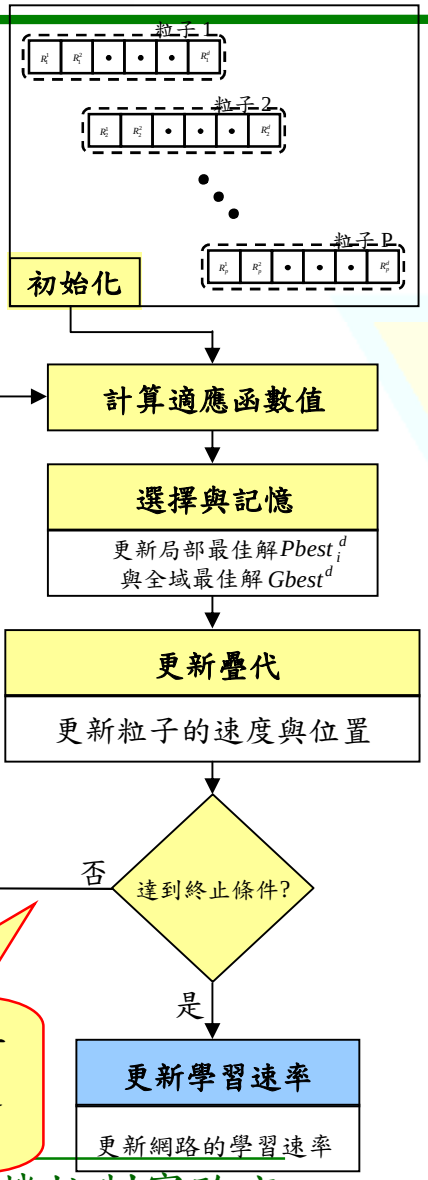


圖4.9 改良型粒子群尋優法之流程圖

- **步驟一(初始化)**：依據尋求之最佳解之數量設定粒子之維度，再隨機產生$R^d_i(N)$之初始值。
- **步驟二(計算適應函數值)**：計算每個粒子之適應函數值。

$$FIT = \frac{1}{0.1 + abs(V_{dc} - V^*_{dc}) + abs(V_{uv} - V^*_{uv})} \quad (4.37)$$

如果誤差越小，*FIT*之值會越大，代表所搜尋到之學習速率越好。

- **步驟三(選擇與記憶)**：每個粒子在搜尋的過程中，會找出一組最大*FIT*值，亦即代表此粒子之所搜尋到最佳解$Pbest^d_i$，所有*FIT*值最大的那組作為全域最佳解$Gbest^d$。
- **步驟四(更新疊代)**：代入(4.33)或(4.35)式中來更新計算粒子之位置。
- **步驟五**：重複步驟二到四，直到$Gbest^d$被找到(即*FIT*值已達到最大值)，或是達到所設定之疊代次數*N*。

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統

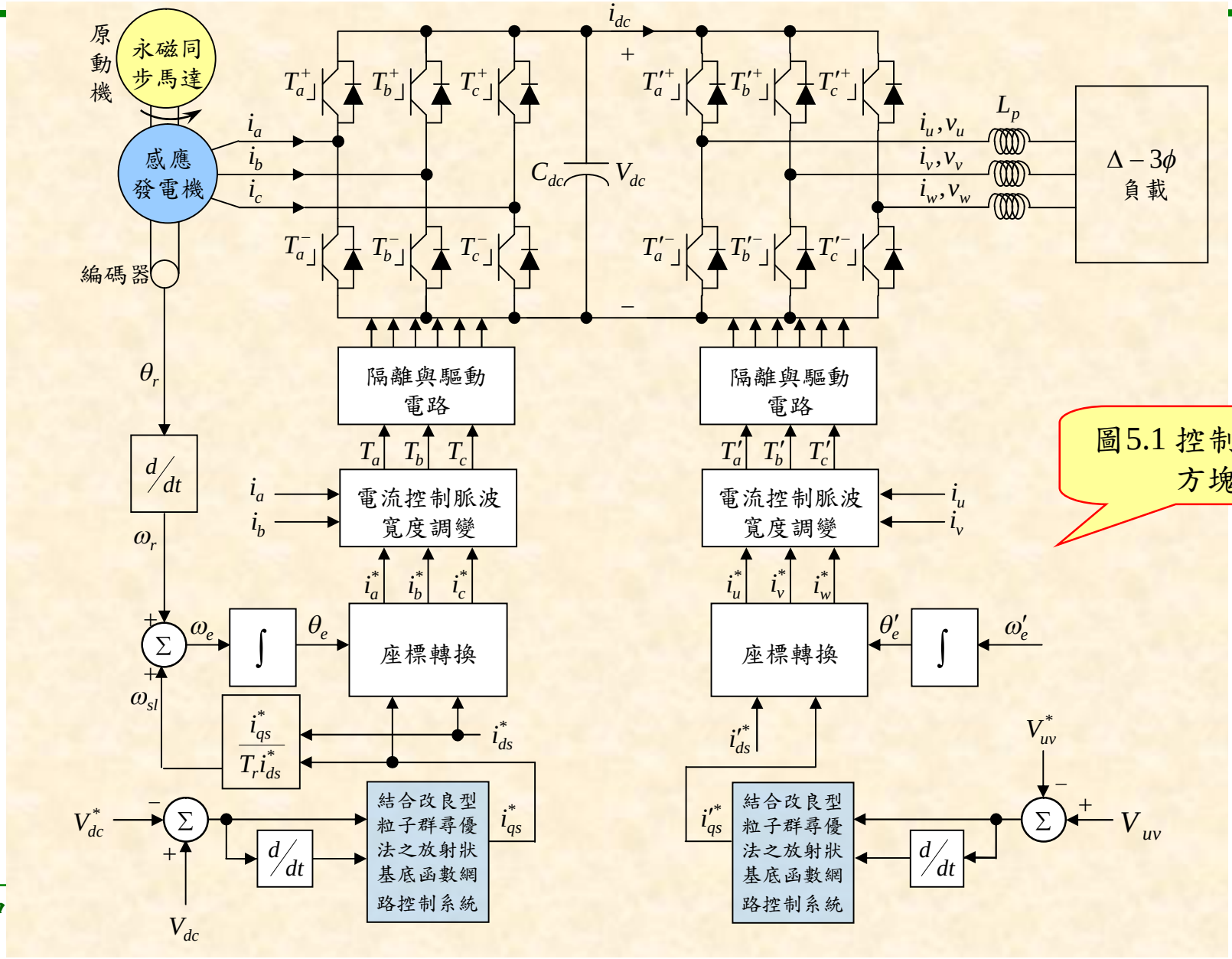


圖5.1 控制系統方塊圖

- 放射狀基底函數網路(RBFN) (圖4.2)

(4.6)

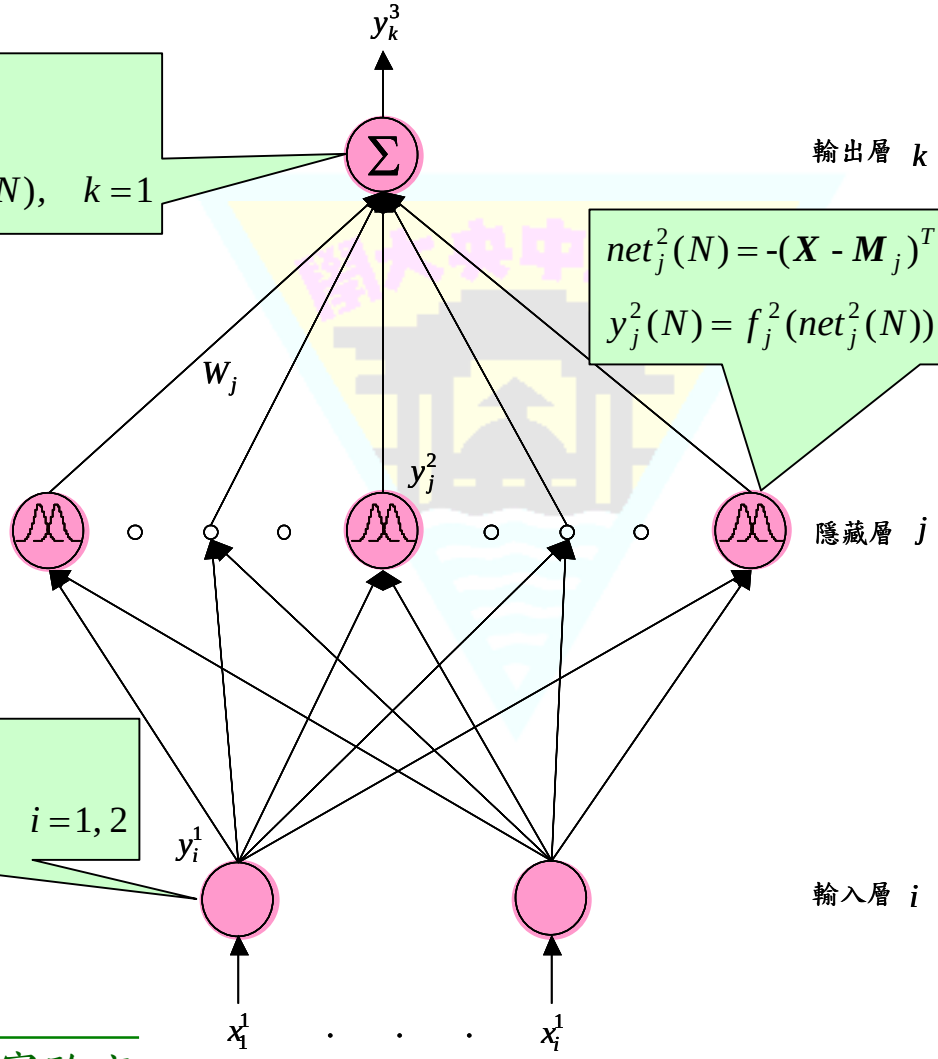
$$net_k^3(N)=\sum_j W_j y_j^2(N),$$
$$y_k^3(N)=f_k^3(net_k^3(N))=net_k^3(N),\quad k=1$$

$$net_j^2(N)=-(\boldsymbol{X}-\boldsymbol{M}_j)^T\sum_j(\boldsymbol{X}-\boldsymbol{M}_j)$$
$$y_j^2(N)=f_j^2(net_j^2(N))=\exp(net_j^2(N)),\quad j=1,\Lambda,9$$

(4.5)

(4.4)

$$net_i^1(N)=x_i^1(N)$$
$$y_i^1(N)=f_i^1(net_i^1(N))=net_i^1(N),\quad i=1,2$$



五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

(5.3)-(5.4)

$$\Delta W_j = -\eta_W \frac{\partial E}{\partial W_j} = -\eta_W \frac{\partial E}{\partial y_k^3}\frac{\partial y_k^3}{\partial net_k^3}\frac{\partial net_k^3}{\partial W_j} = \eta_W \delta_k y_j^2$$

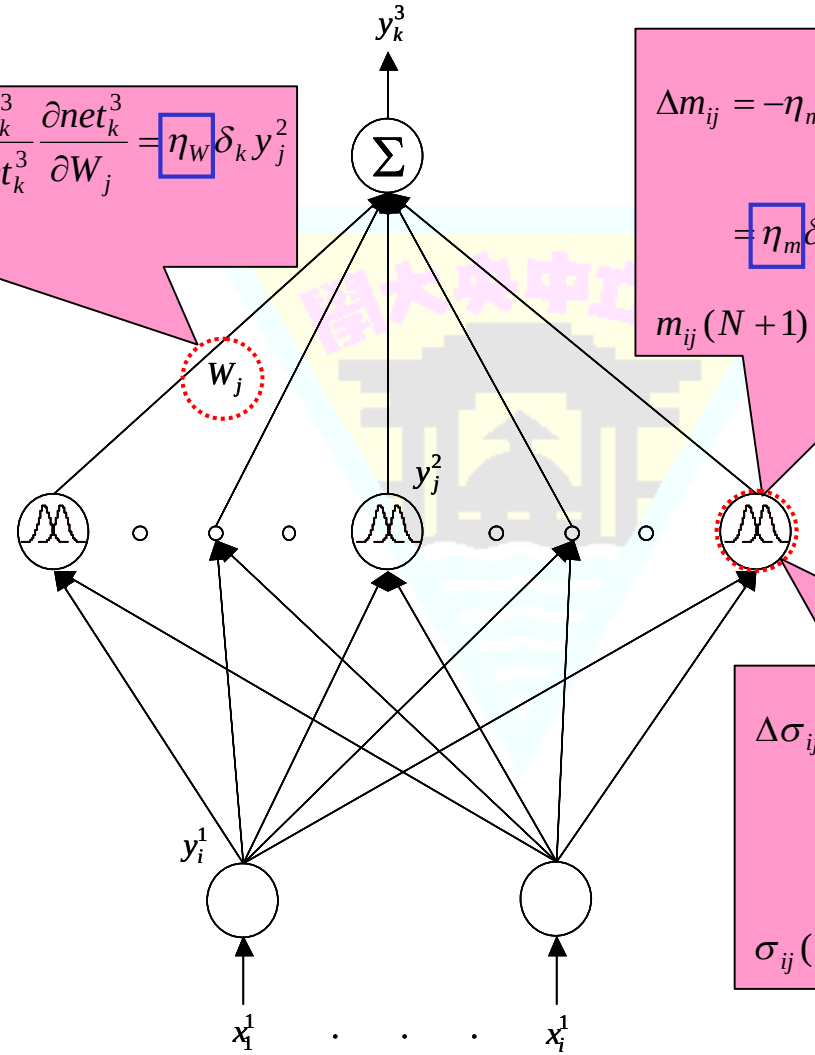
$$W_j(N+1) = W_j(N) + \Delta W_j(N)$$

(5.5), (5.7)

$$\Delta m_{ij} = -\eta_m \frac{\partial E}{\partial m_{ij}} = -\eta_m \frac{\partial E}{\partial net_k^3}\frac{\partial net_k^3}{\partial y_j^2}\frac{\partial y_j^2}{\partial m_{ij}}$$

$$= \eta_m \delta_k W_j y_j^2 \frac{2(x_i^1 - m_{ij})}{(\sigma_{ij})^2}$$

$$m_{ij}(N+1) = m_{ij}(N) + \Delta m_{ij}(N)$$



$$\Delta \sigma_{ij} = -\eta_\sigma \frac{\partial E}{\partial m_{ij}} = -\eta_\sigma \frac{\partial E}{\partial net_k^3}\frac{\partial net_k^3}{\partial y_j^2}\frac{\partial y_j^2}{\partial \sigma_{ij}}$$

$$= \eta_\sigma \delta_k W_j y_j^2 \frac{2(x_i^1 - m_{ij})^2}{(\sigma_{ij})^3}$$

$$\sigma_{ij}(N+1) = \sigma_{ij}(N) + \Delta \sigma_{ij}(N)$$

(5.6), (5.8)

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

- 風機仿真之控制系統中，控制程式使用一個主程式及一個中斷服務程式完成即時控制程序。

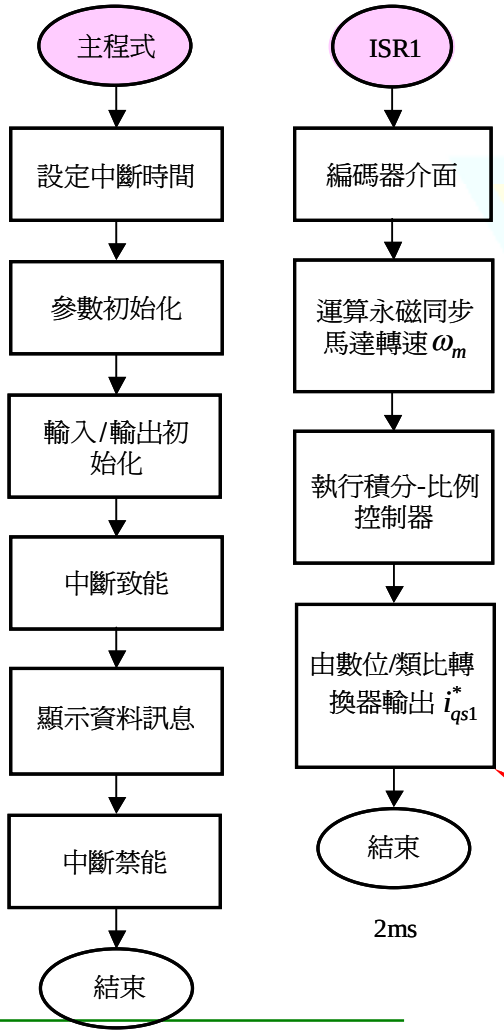


圖5.2 風機仿真系統之控制程式流程圖

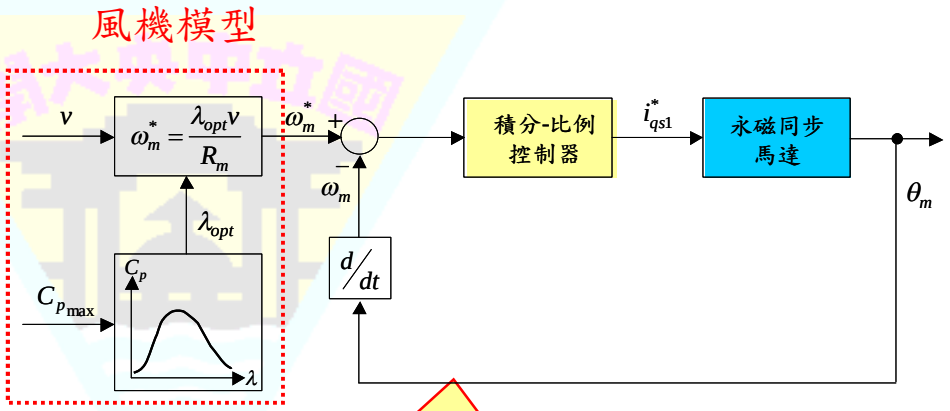


圖2.5 永磁同步馬達風機仿真系統

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

- 在感應發電機之PC-DSP並列處理機控制系統中，其控制程式使用一個主程式及二個中斷服務程式完成即時控制程序 。

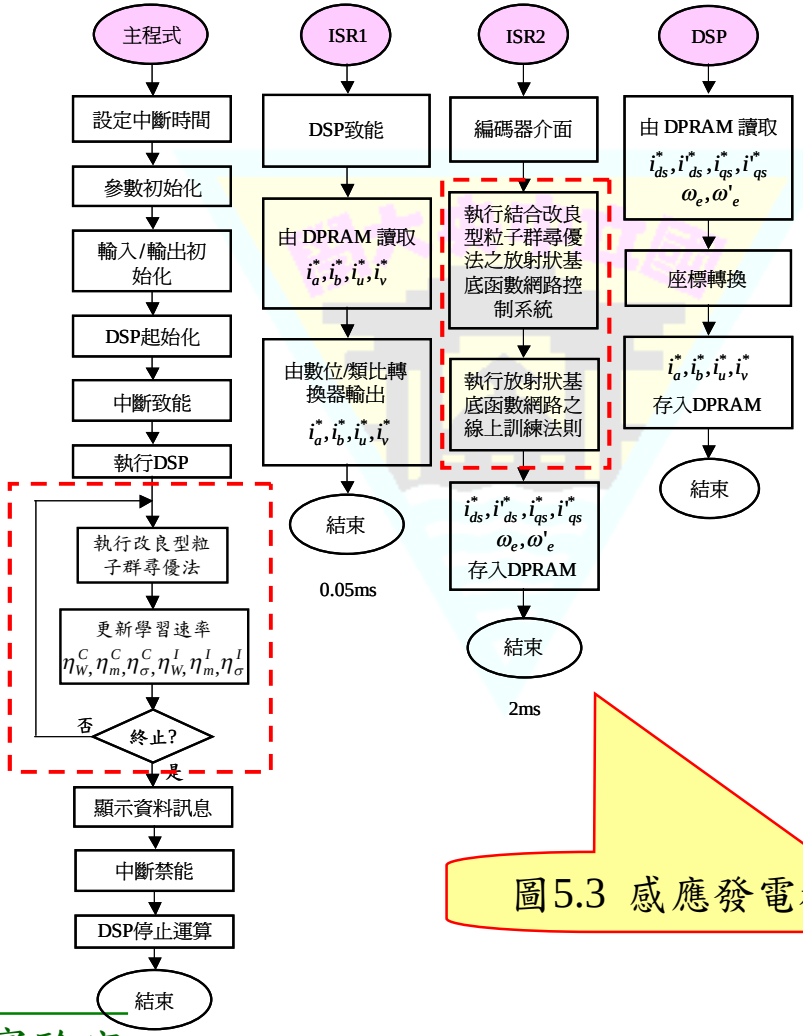


圖5.3 感應發電機系統之控制程式流程圖

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

狀態一：

在固定風速(即轉速命令ω^*_m=1200rpm或ω^*_m=1600rpm)，直流鏈電壓命令V^*_{dc}=180V，負載端三相交流電壓命令V^*_{uv}=110V，三相負載為66.6Ω。

狀態二：

接續狀態一，當直流鏈電壓追上180V，負載端三相交流電壓追上110V後，將三相負載由輕載66.6 Ω切換成重載22.2 Ω 。

狀態三：

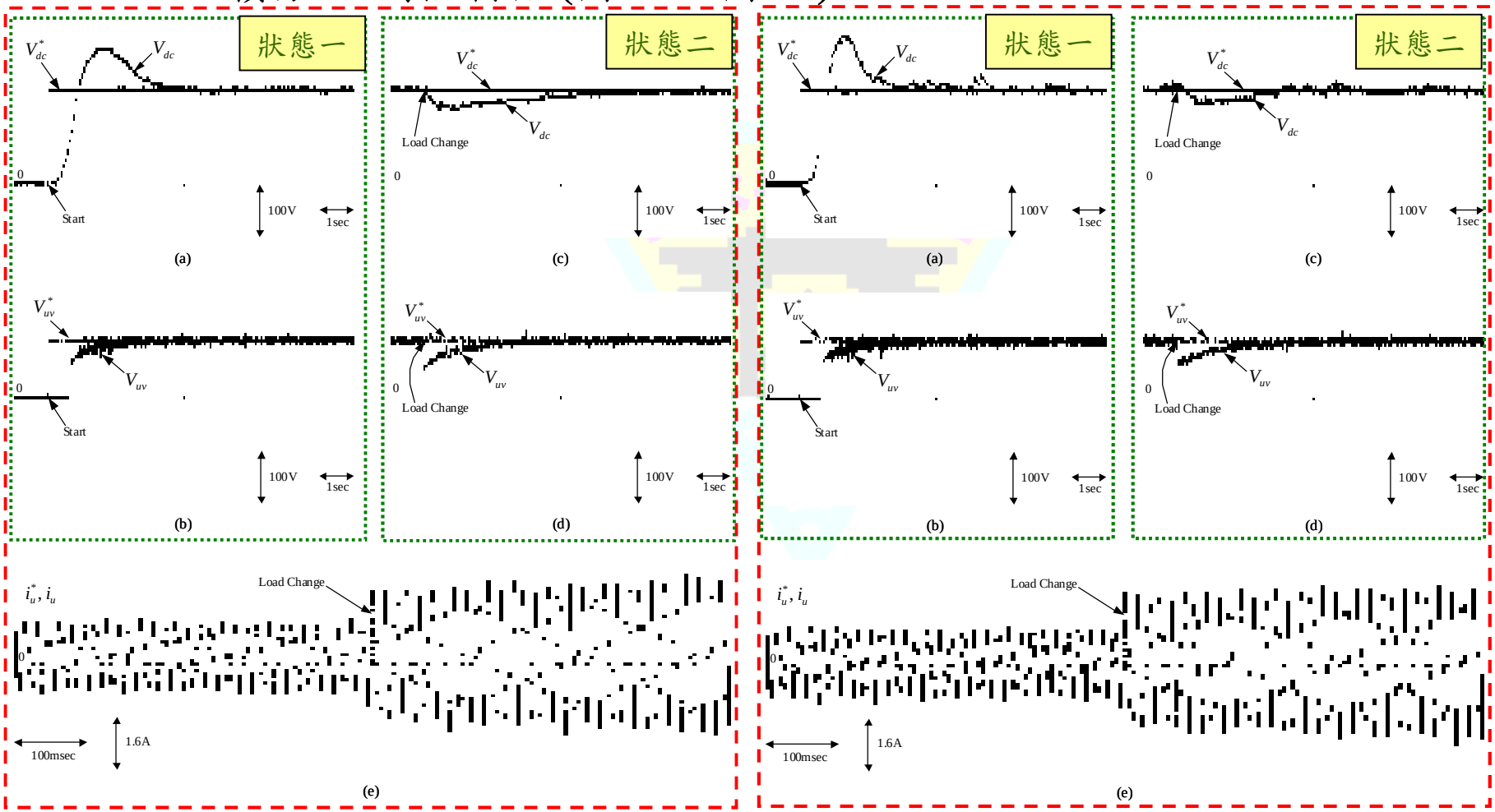
為了測試風速變化下的追隨響應，原動機轉速命令ω^*_m由1200rpm切換至1600rpm。直流鏈電壓命令V^*_{dc}=180V ，負載端三相交流電壓命令V^*_{uv}=110V 。

狀態四：

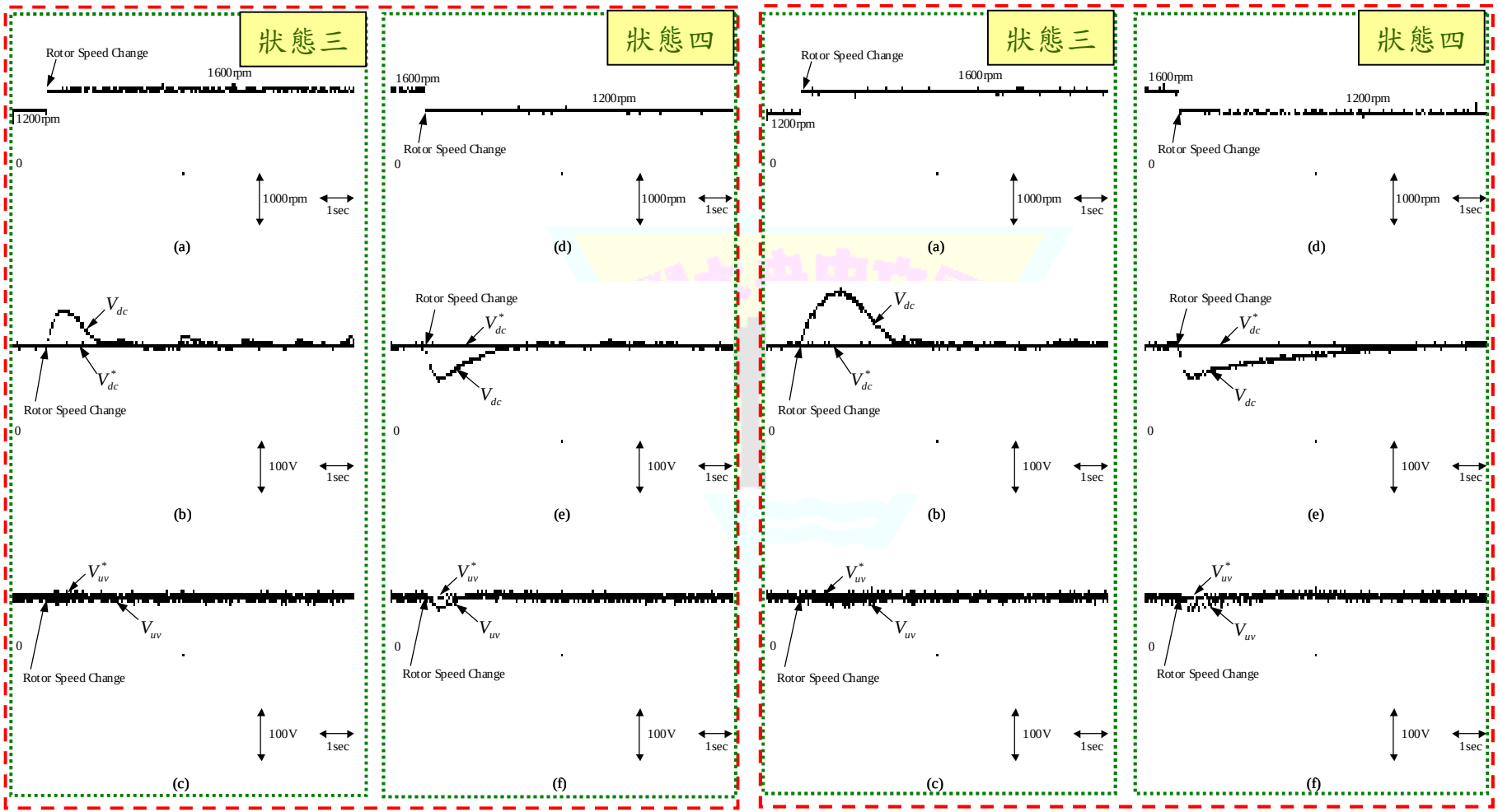
接續狀態三，原動機轉速命令ω^*_m由1600rpm切換回1200rpm。直流鏈電壓命令V^*_{dc}=180V ，負載端三相交流電壓命令V^*_{uv}=110V 。

❑ 實測結果 (I)

- 積分-比例控制器 (圖5.4 ~ 圖5.7)



五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)



輕載66.6 Ω

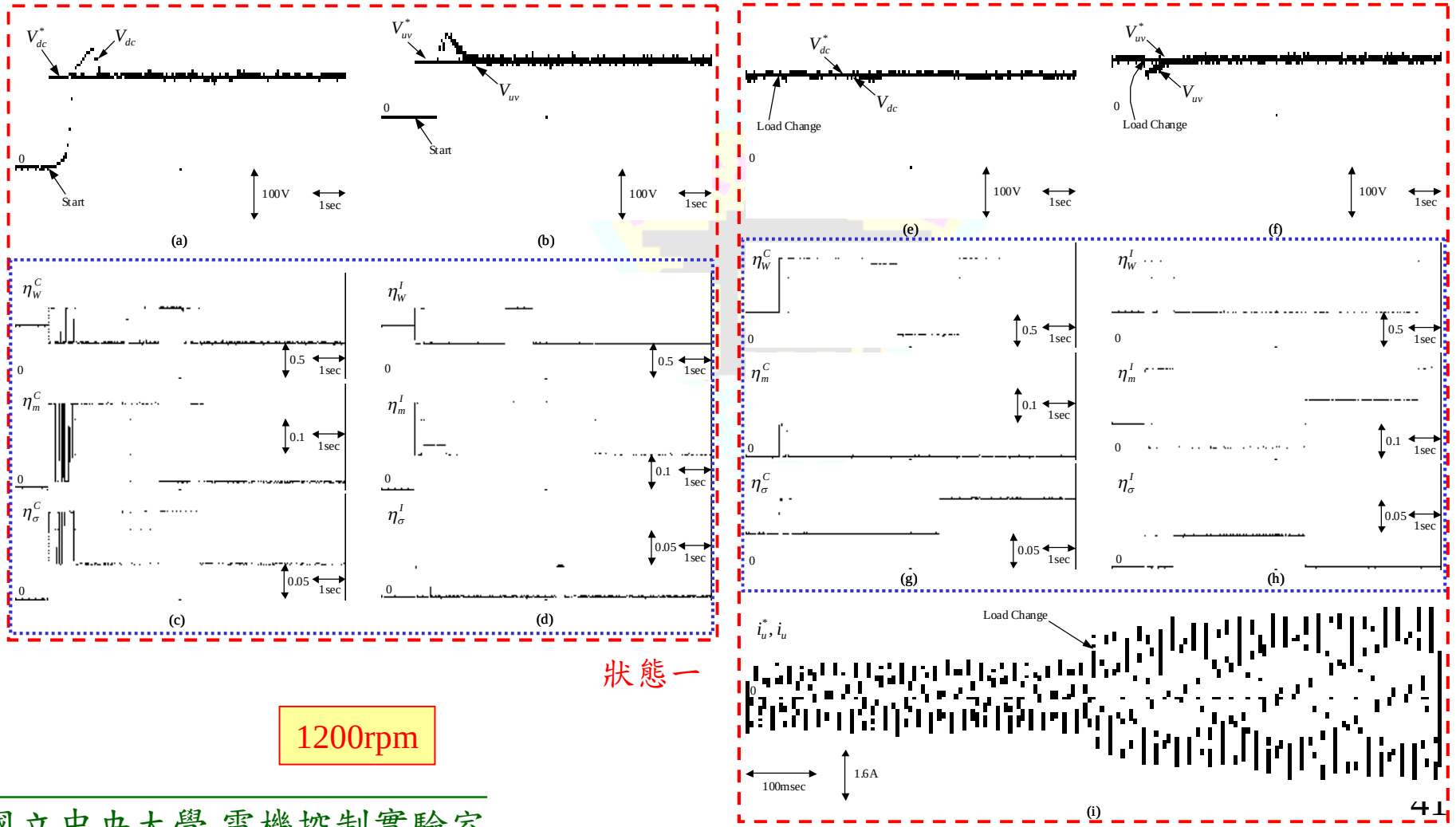
重載22.2 Ω

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

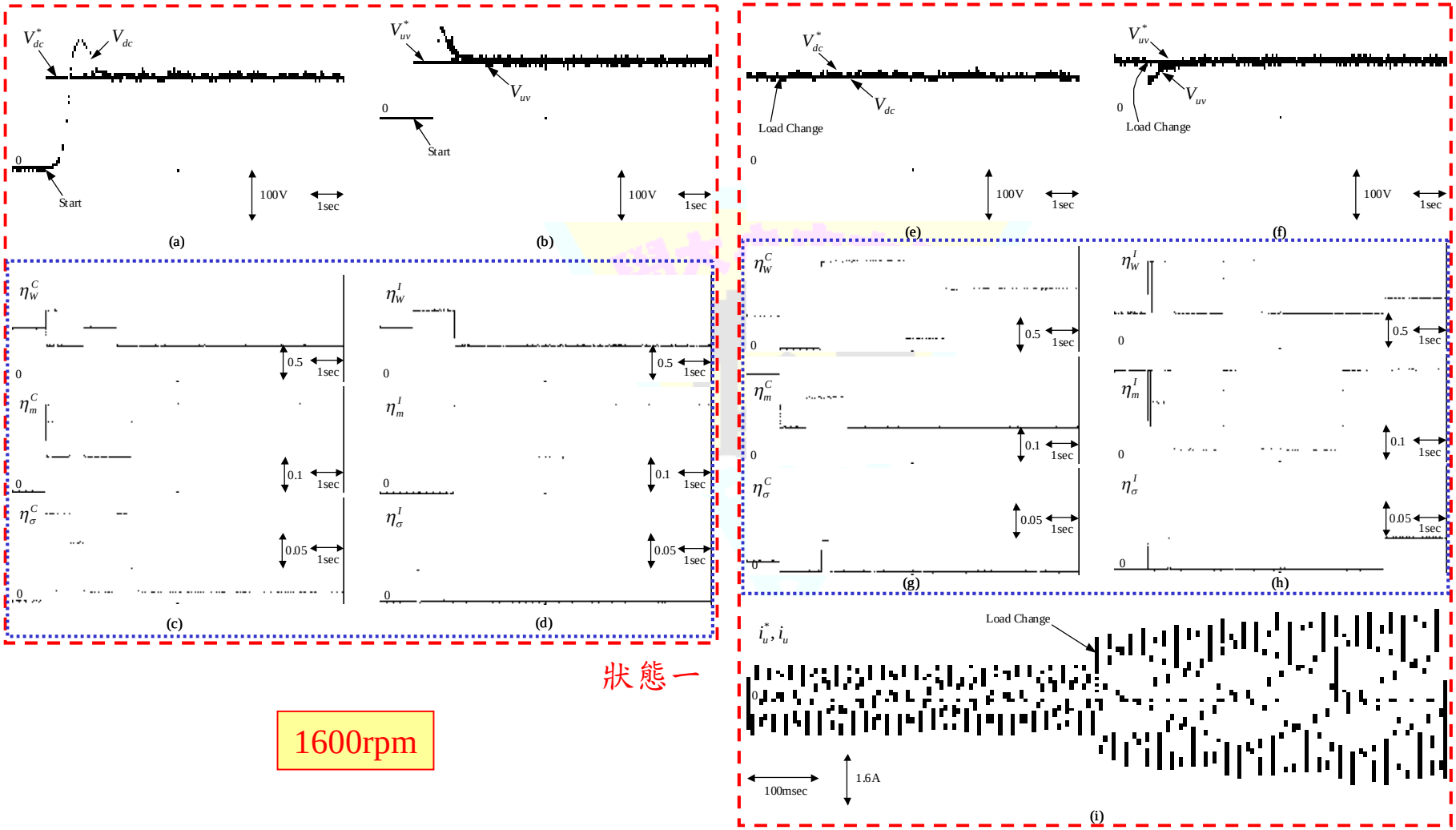
國立中央大學

❑ 實測結果 (II) (圖5.8 ~ 圖5.11)

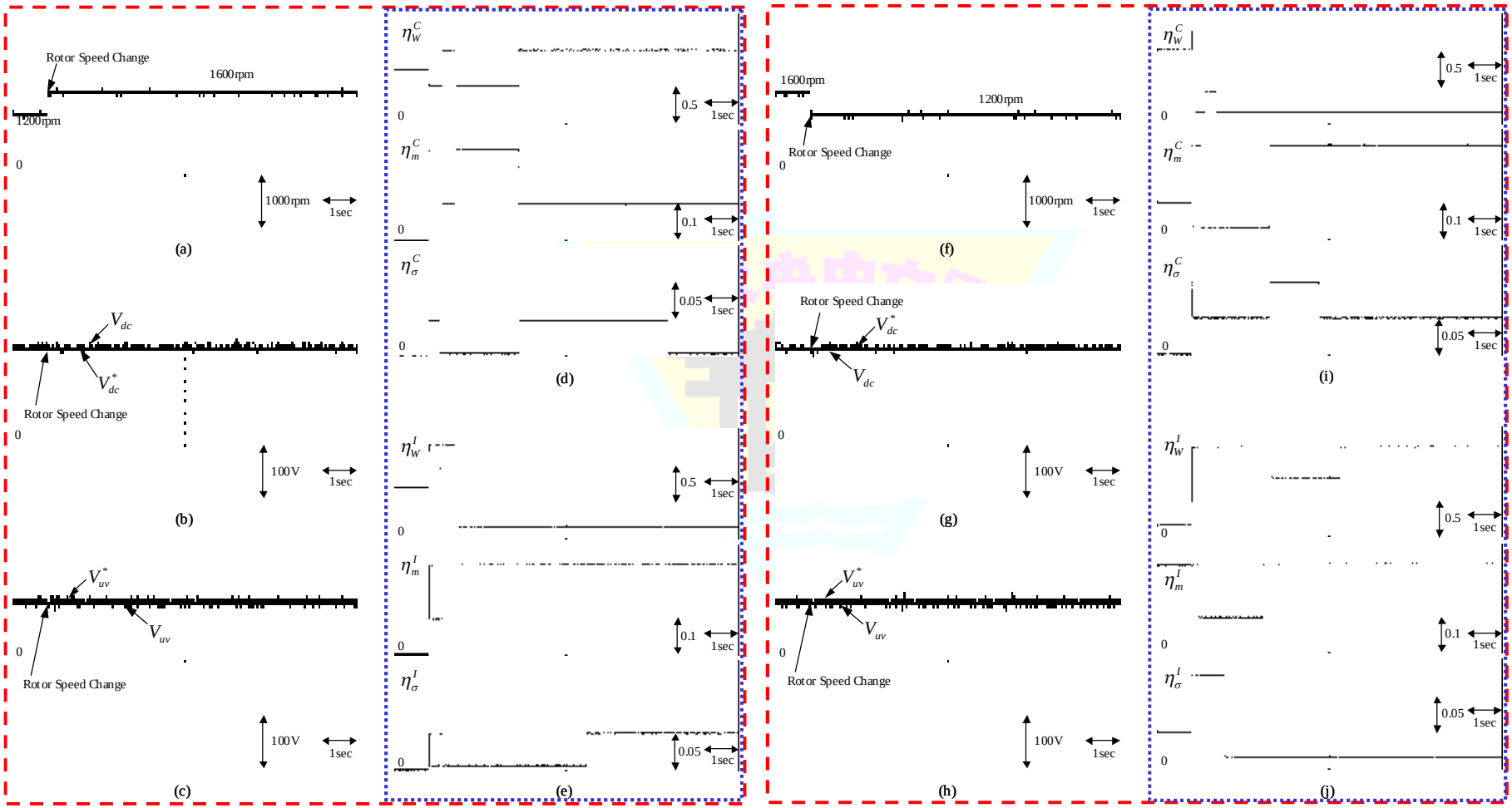
● 結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統



五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)



五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

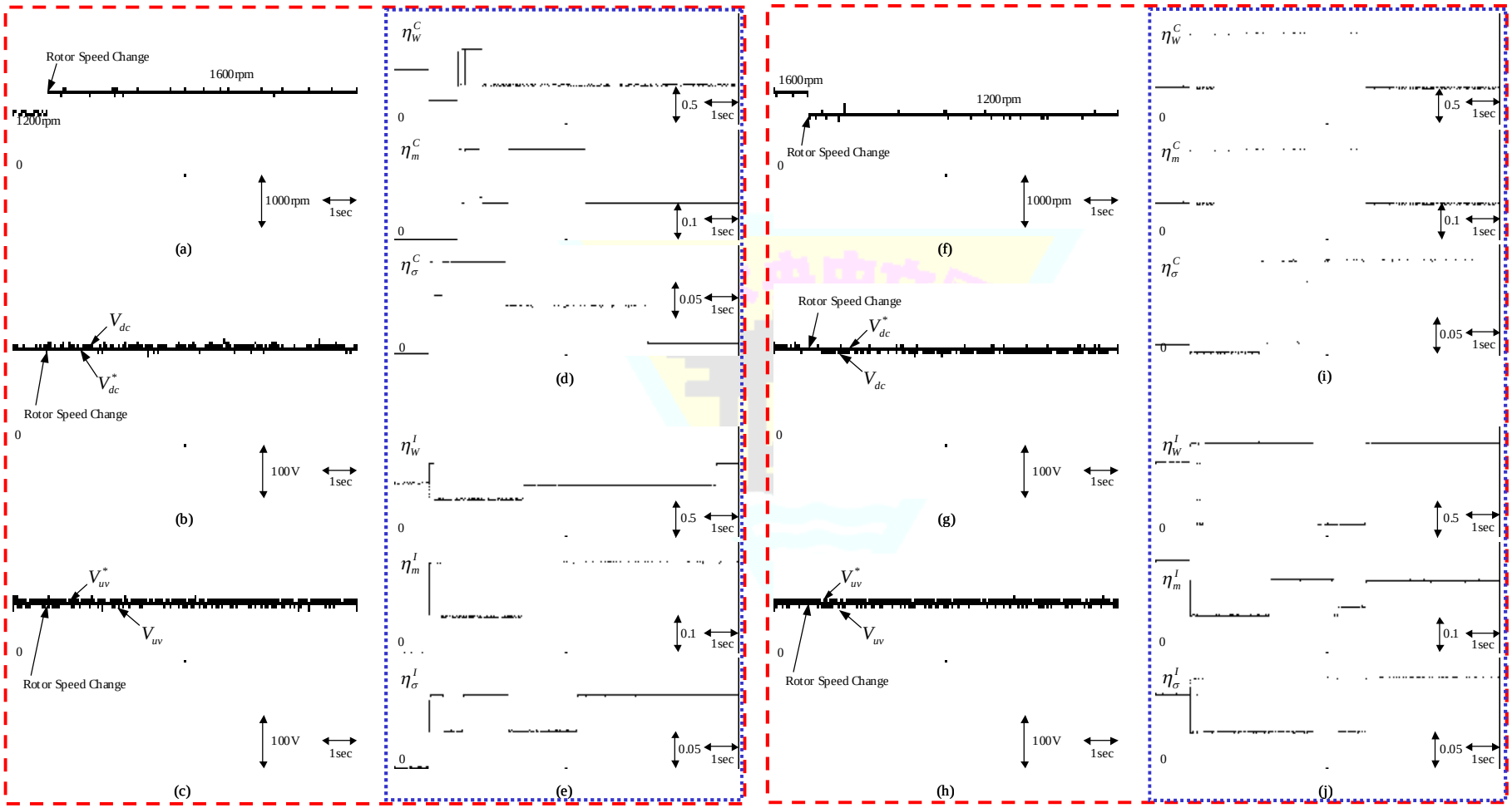


狀態三

狀態四

輕載66.6 Ω

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

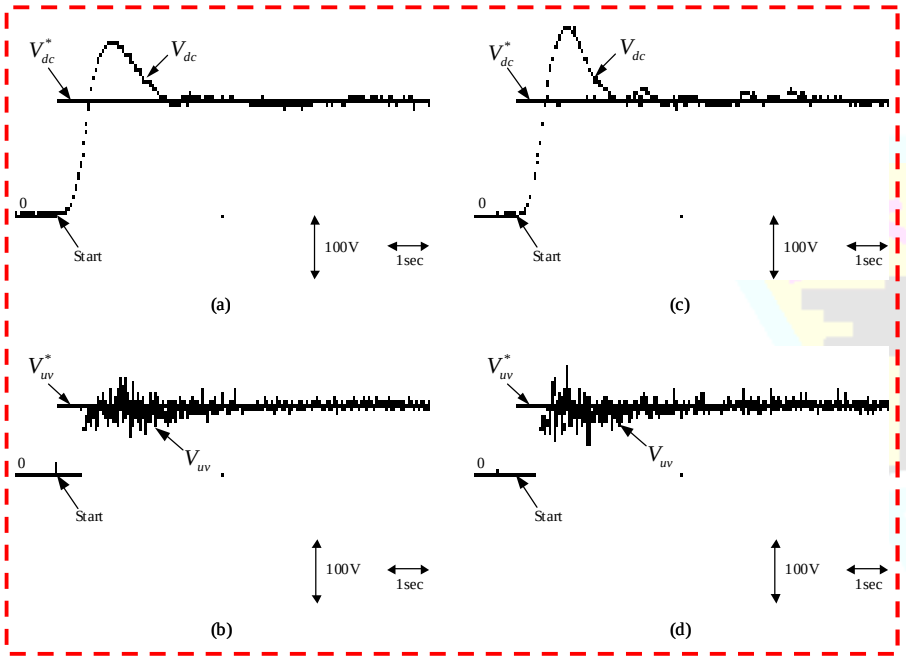


狀態三　　狀態四

重載22.2 Ω

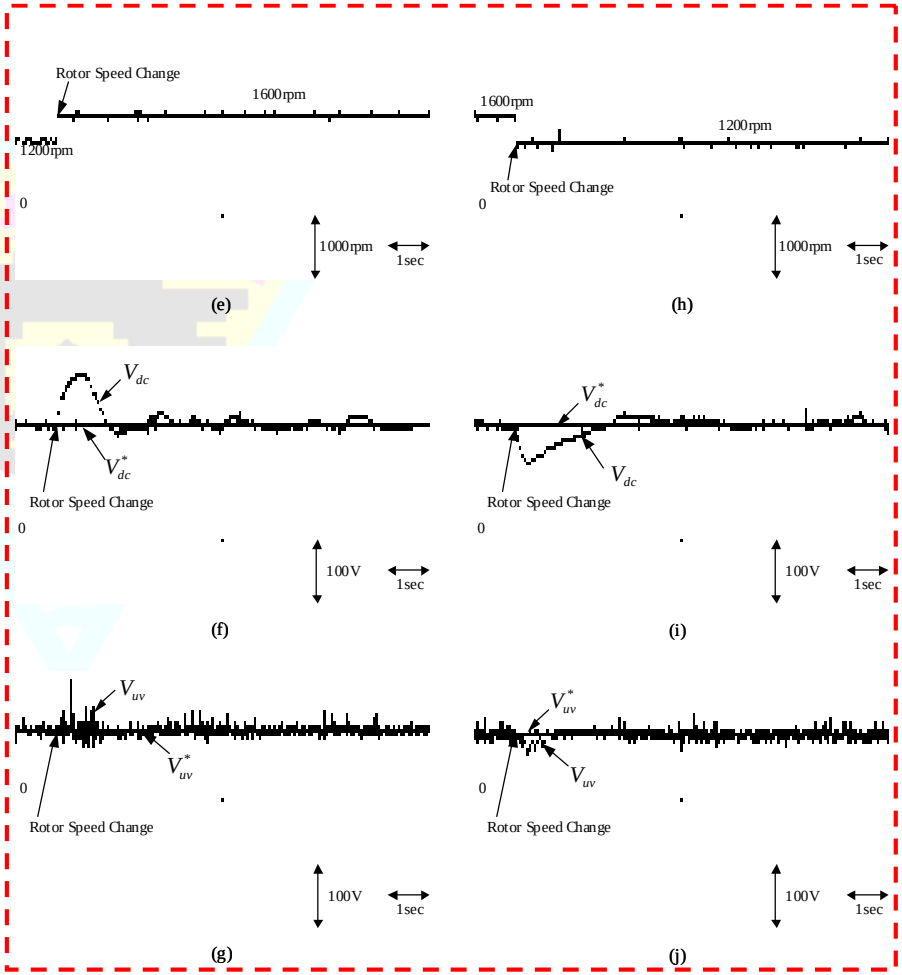
❑ 實測結果(III)

- 電感性負載 (圖5.12 ~ 圖5.13)



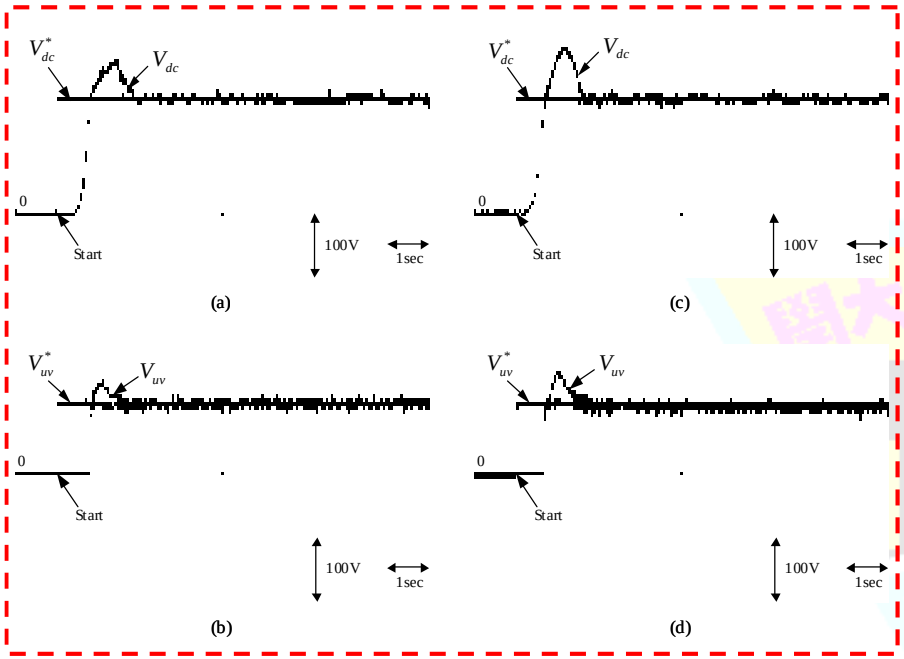
1200rpm、1600rpm

積分-比例控制器



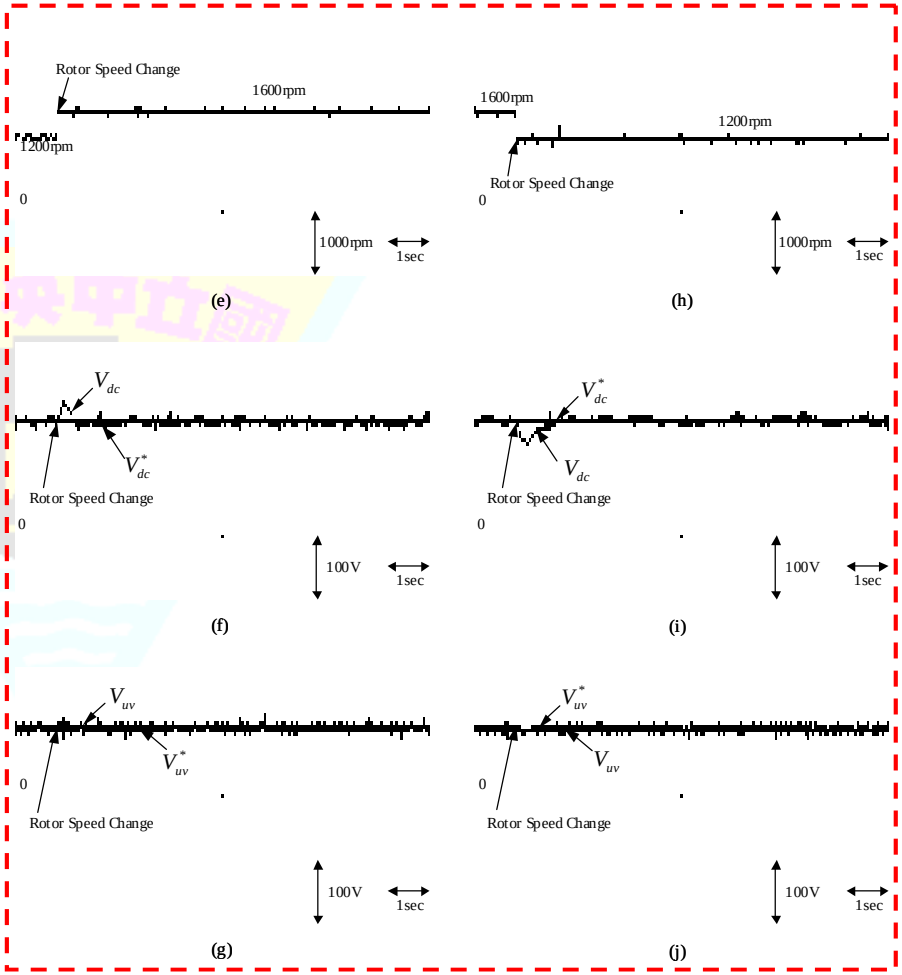
狀態三、狀態四

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)



1200rpm、1600rpm

結合改良型粒子群尋優法之
放射狀基底函數網路控制系統



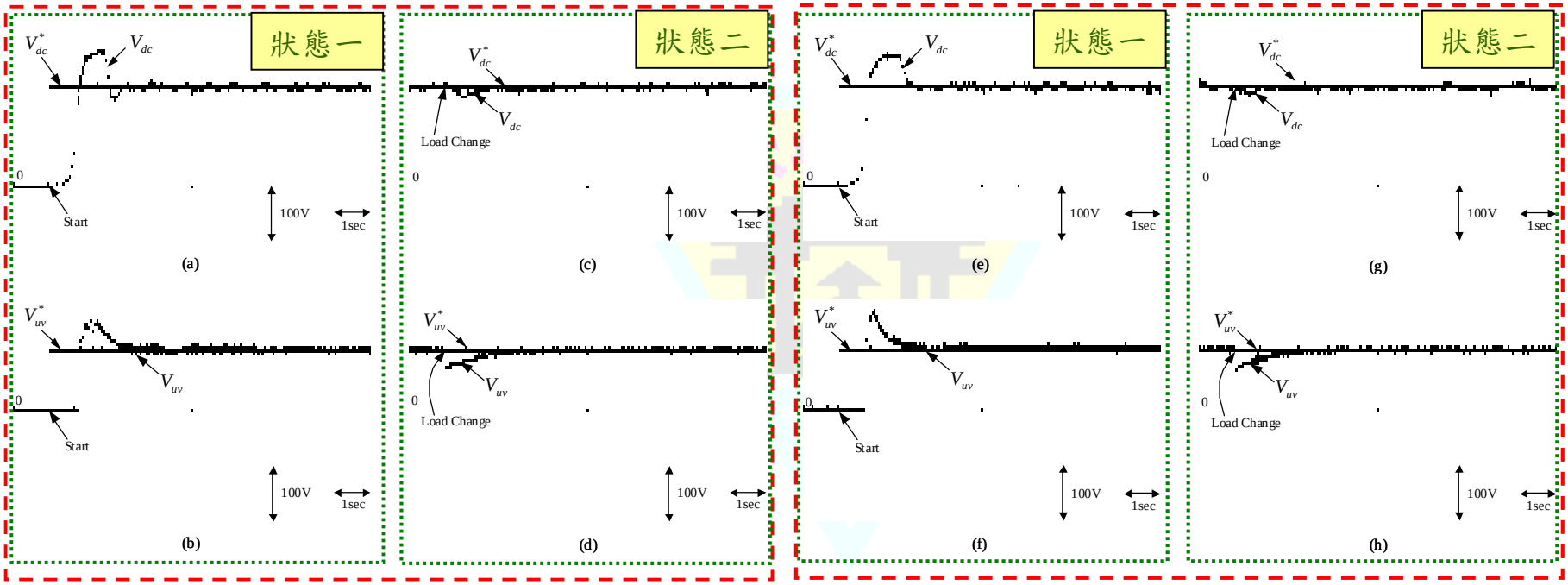
狀態三、狀態四

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)

國立中央大學

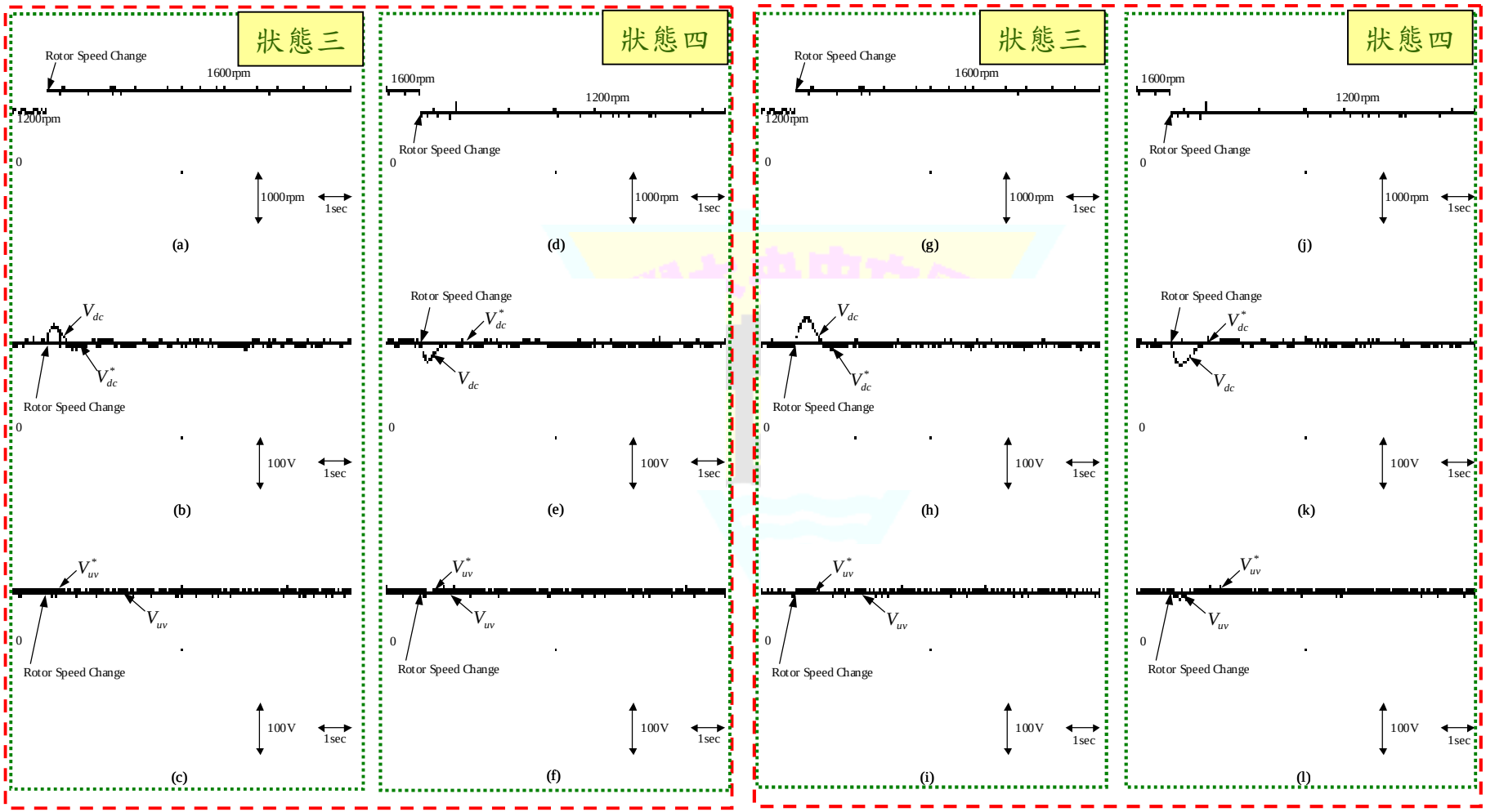
❑ 實測結果(IV) (圖5.14 ~ 圖5.15)

- 應用放射狀基底函數網路控制系統(無改良型粒子群尋優法)



1200rpm　　1600rpm

五、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路控制系統(續)



輕載66.6 Ω

重載22.2 Ω

六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統

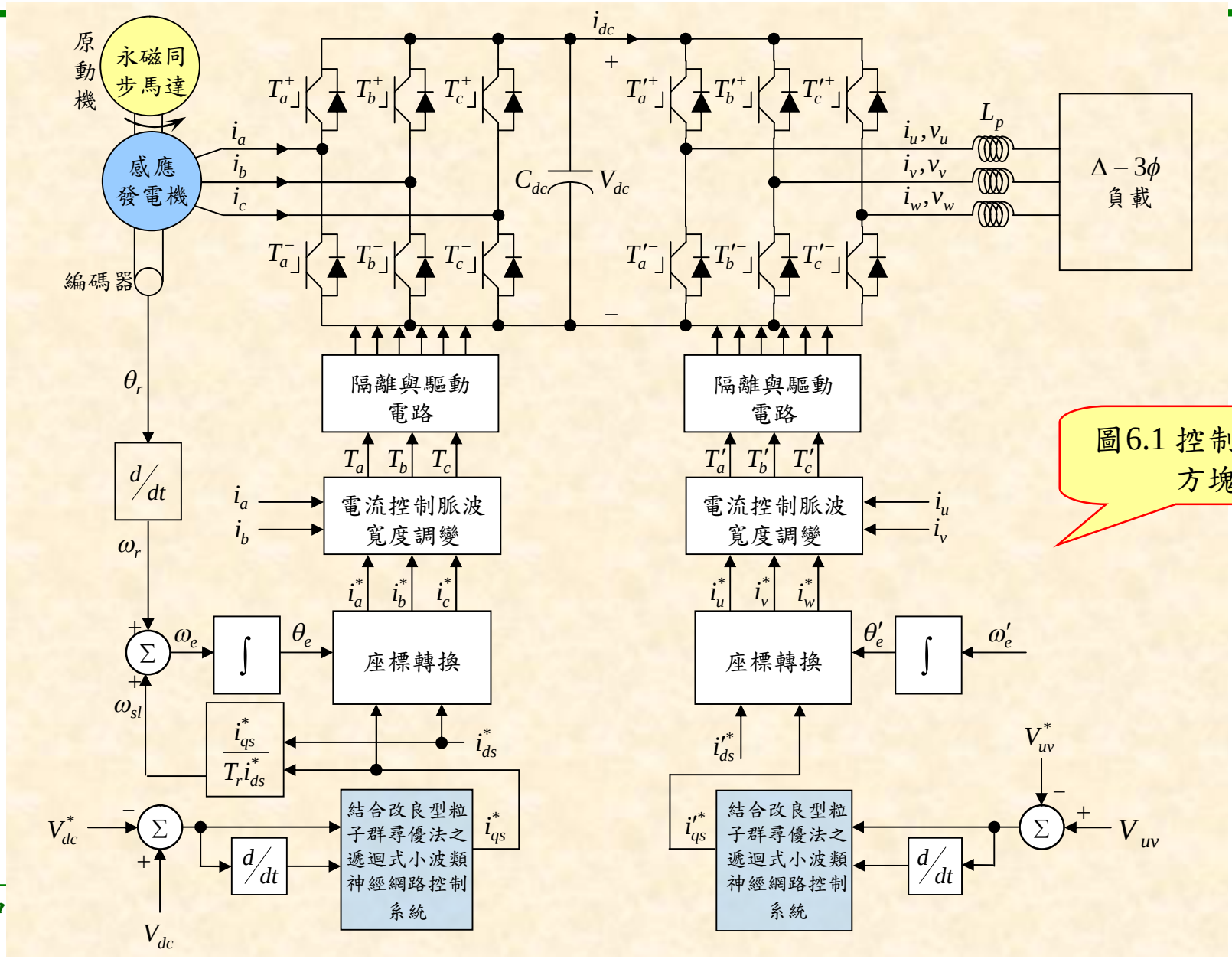
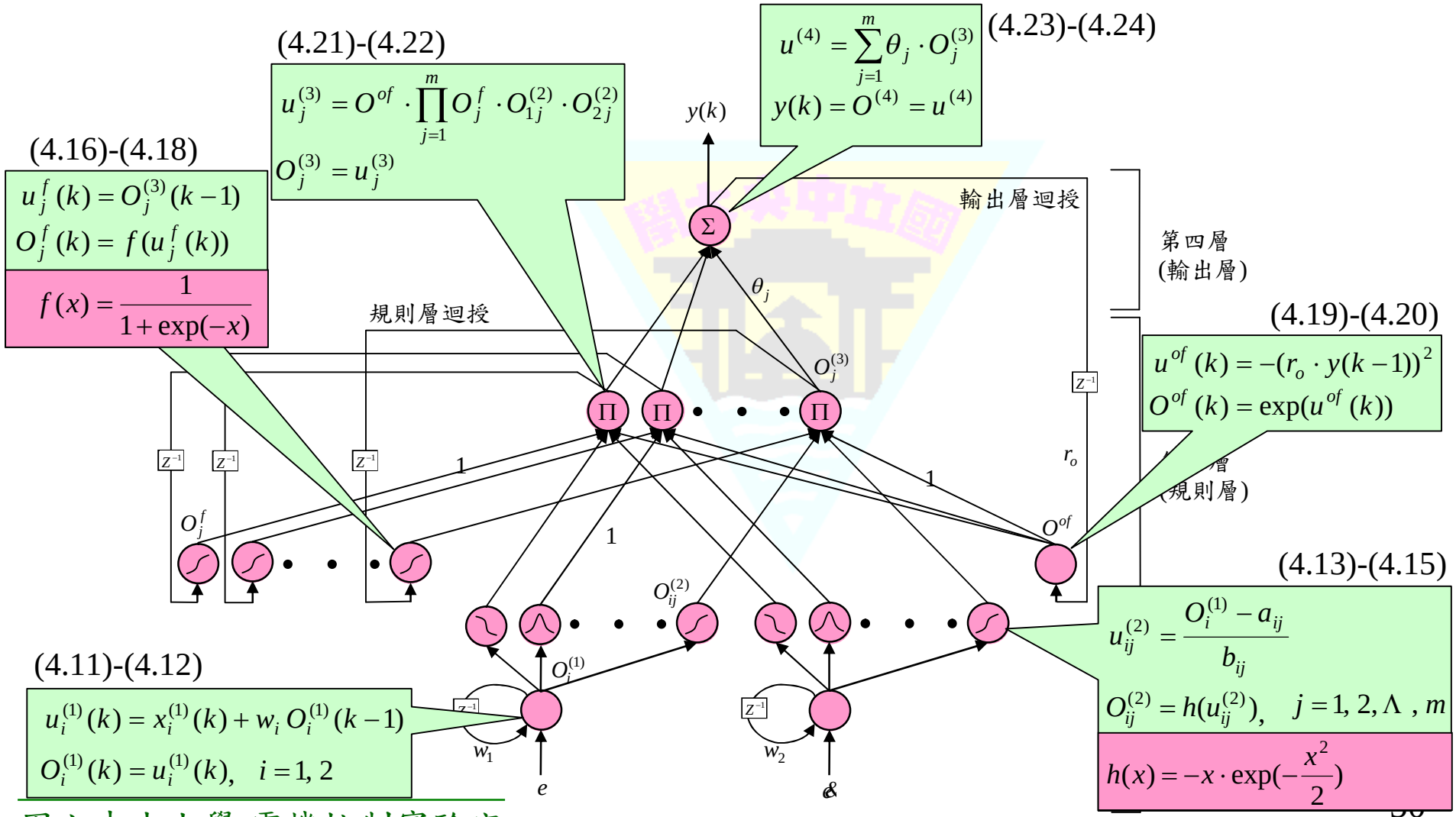


圖6.1 控制系統方塊圖

六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

- 遞迴式小波類神經網路(RWNN) (圖4.5)



六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

$$\Delta a_{ij} = -\eta_2 \frac{\partial E}{\partial a_{ij}} = -\eta_2 \frac{\partial E}{\partial O_{ij}^{(2)}} \frac{\partial O_{ij}^{(2)}}{\partial u_{ij}^{(2)}} \frac{\partial u_{ij}^{(2)}}{\partial a_{ij}}$$

$$= \eta_2 \delta_{ij}^{(2)} \frac{1}{b_{ij}} (1-(u_{ij}^{(2)})^2) \exp(-0.5(u_{ij}^{(2)})^2)$$

$$\Delta b_{ij} = -\eta_3 \frac{\partial E}{\partial b_{ij}} = -\eta_b \frac{\partial E}{\partial O_{ij}^{(2)}} \frac{\partial O_{ij}^{(2)}}{\partial u_{ij}^{(2)}} \frac{\partial u_{ij}^{(2)}}{\partial b_{ij}}$$

$$= \eta_3 \delta_{ij}^{(2)} \frac{1}{b_{ij}} u_{ij}^{(2)} (1-(u_{ij}^{(2)})^2) \exp(-0.5(u_{ij}^{(2)})^2)$$

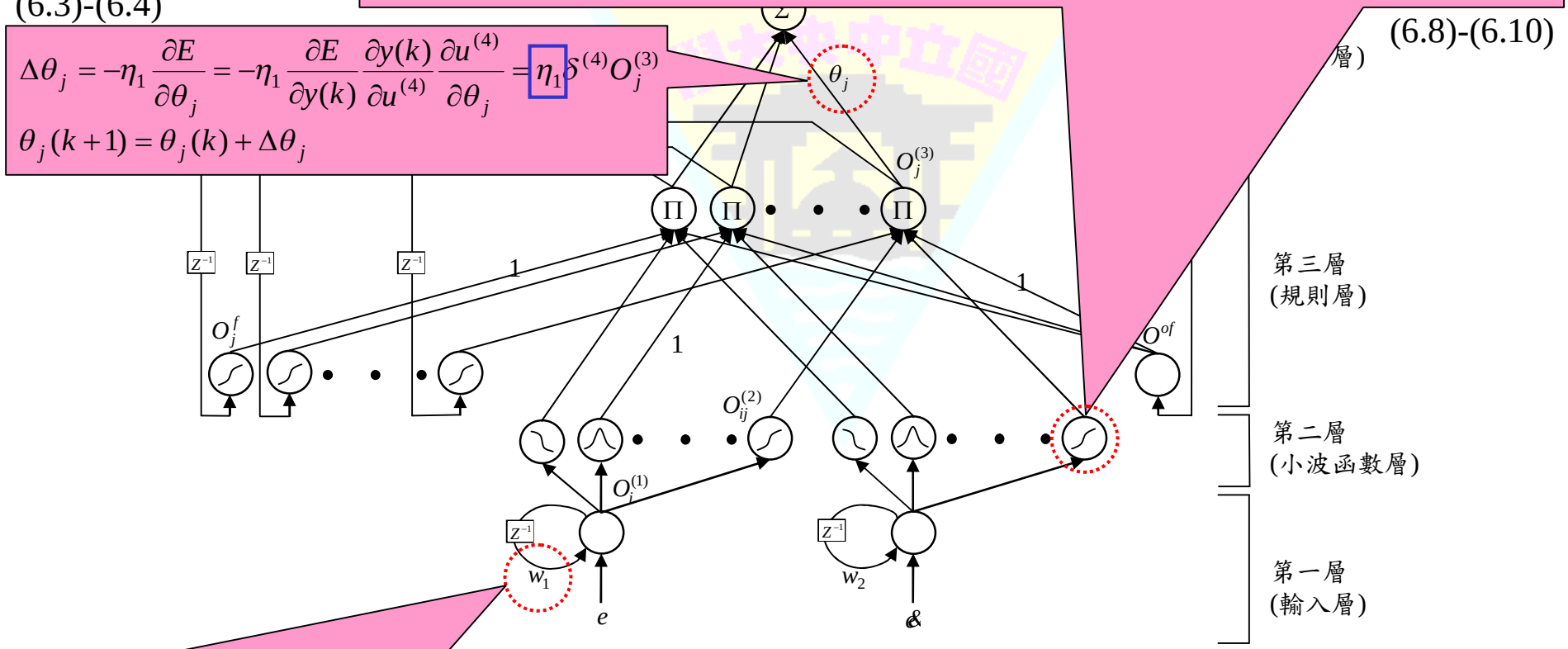
$$a_{ij}(k+1) = a_{ij}(k) + \Delta a_{ij} \qquad b_{ij}(k+1) = b_{ij}(k) + \Delta b_{ij}$$

(6.3)-(6.4)

$$\Delta\theta_j = -\eta_1 \frac{\partial E}{\partial \theta_j} = -\eta_1 \frac{\partial E}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial u^{(4)}} \frac{\partial u^{(4)}}{\partial \theta_j} = \eta_1 \delta^{(4)} O_j^{(3)}$$

$$\theta_j(k+1) = \theta_j(k) + \Delta\theta_j$$

(6.8)-(6.10)

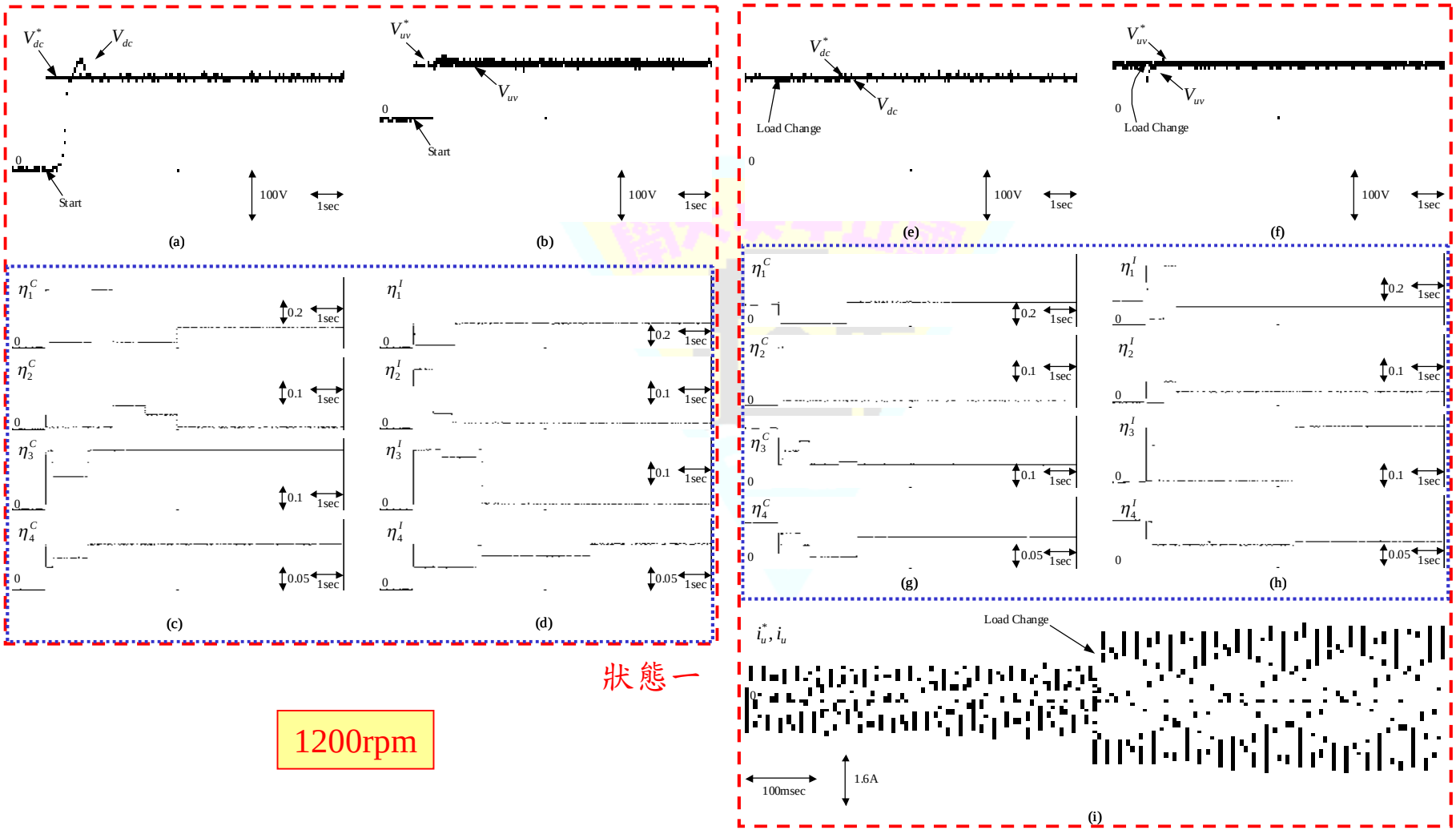


$$\Delta w_i = -\eta_4 \frac{\partial E}{\partial w_i} = -\eta_4 \frac{\partial E}{\partial O_i^{(1)}} \frac{\partial O_i^{(1)}}{\partial u_i^{(1)}} \frac{\partial u_i^{(1)}}{\partial w_i} = \eta_4 \delta_i^{(1)} O_i^{(1)}(k-1) \qquad w_i(k+1) = w_i(k) + \Delta w_i$$

(6.13)-(6.14)

六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

❑ 實測結果 (I) (圖6.3 ~ 圖6.6)

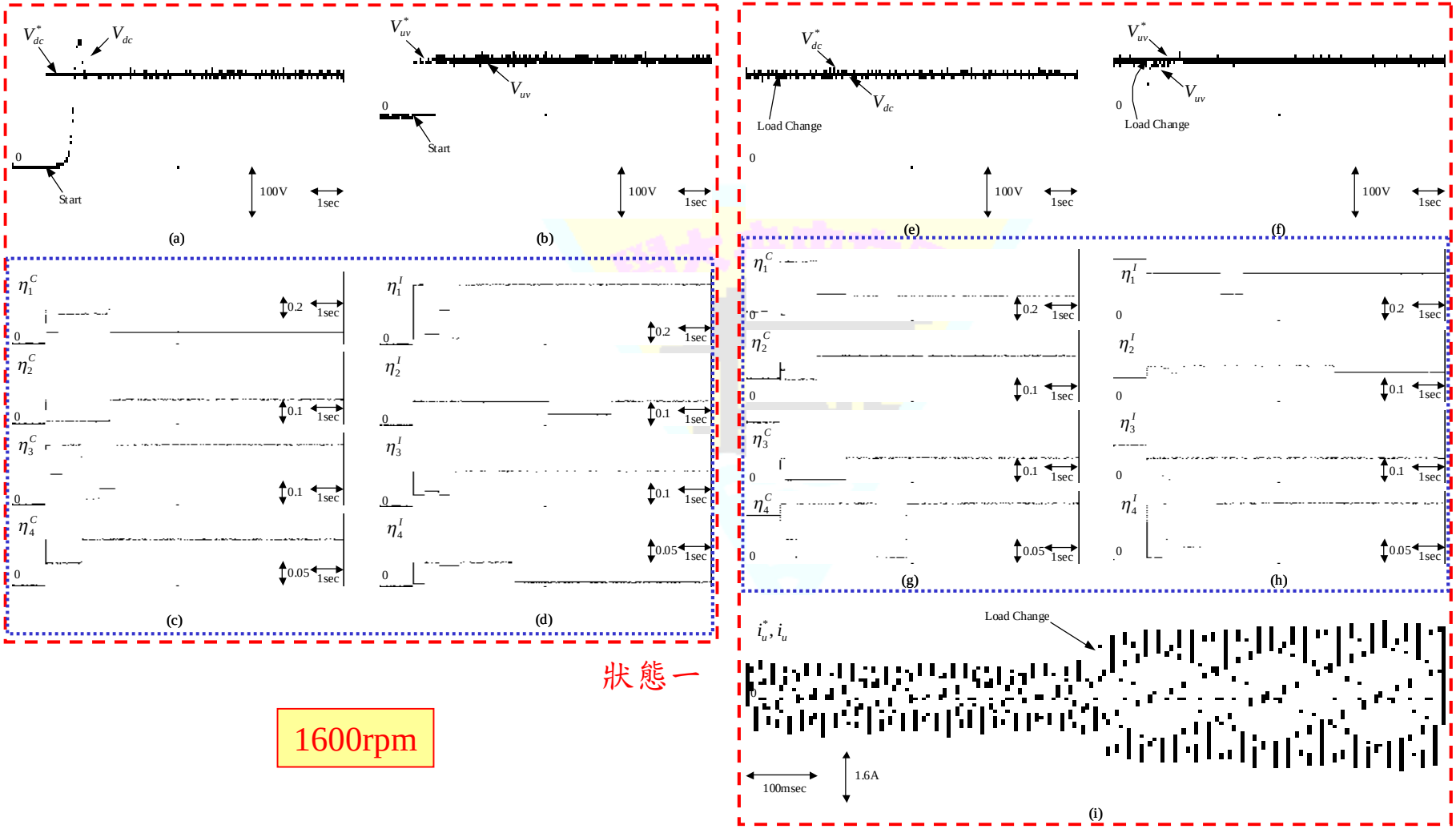


狀態一

1200rpm

狀態二

六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

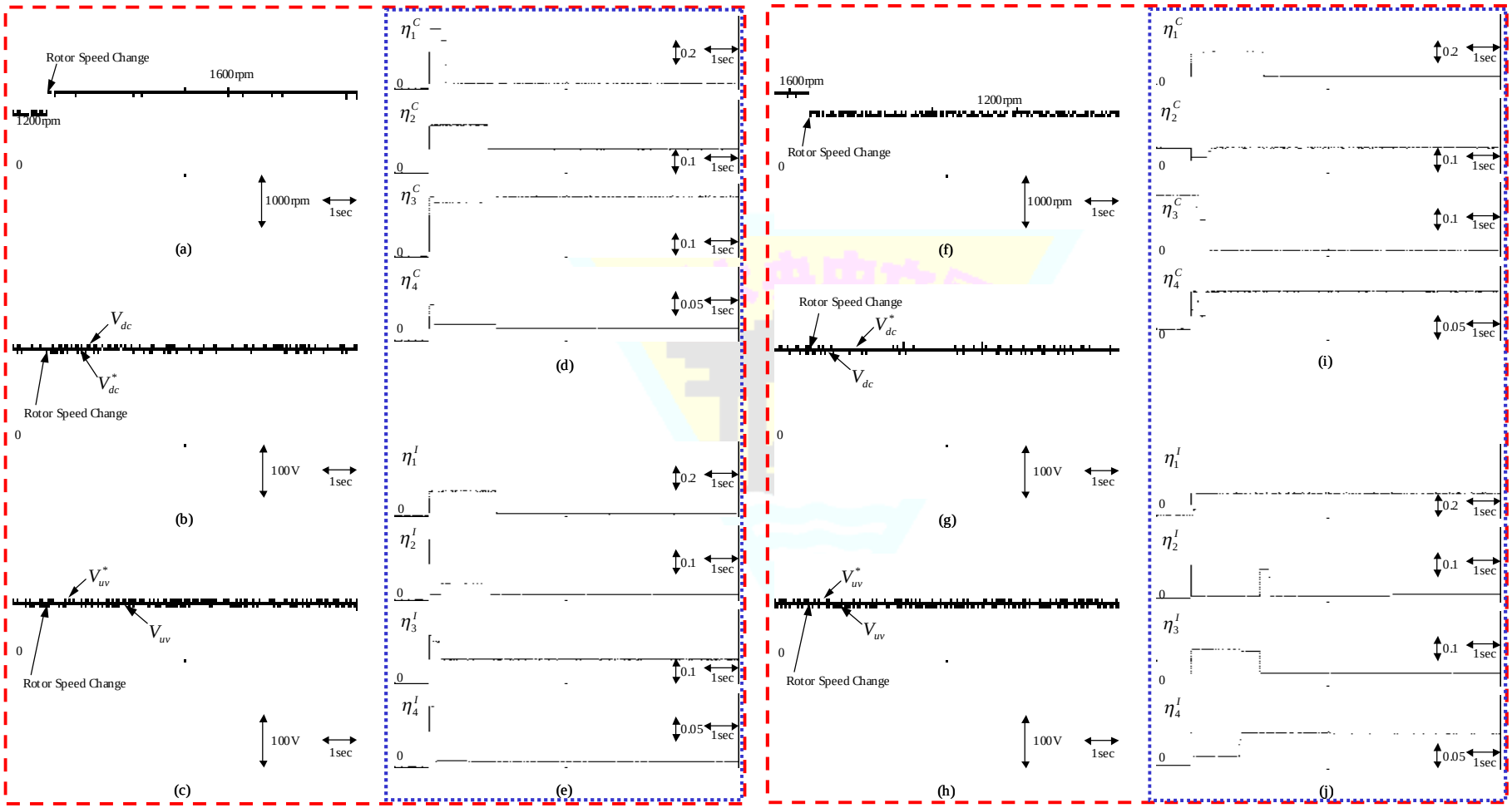


狀態一

1600rpm

狀態二

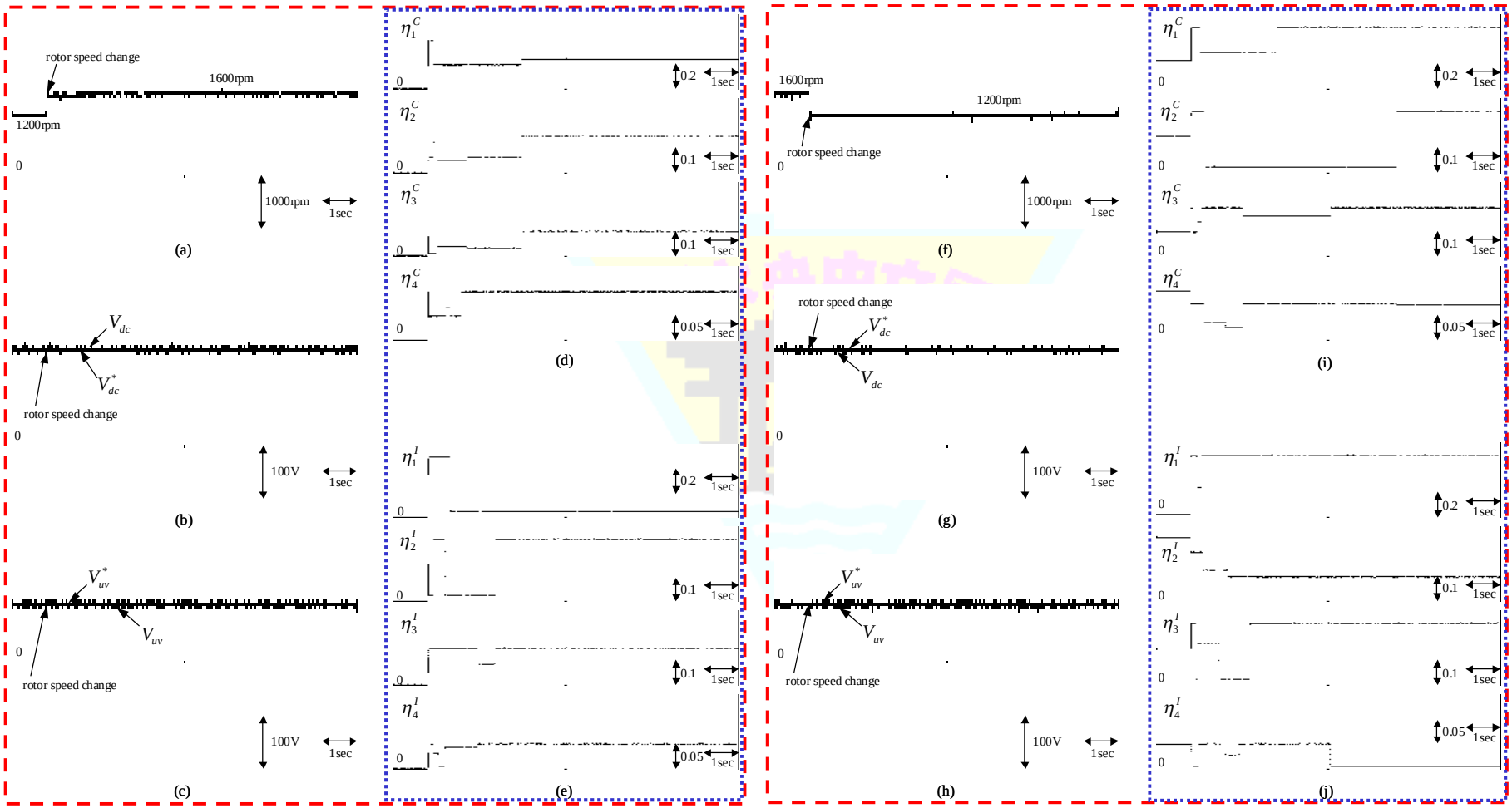
六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)



狀態三　　狀態四

輕載66.6 Ω

六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

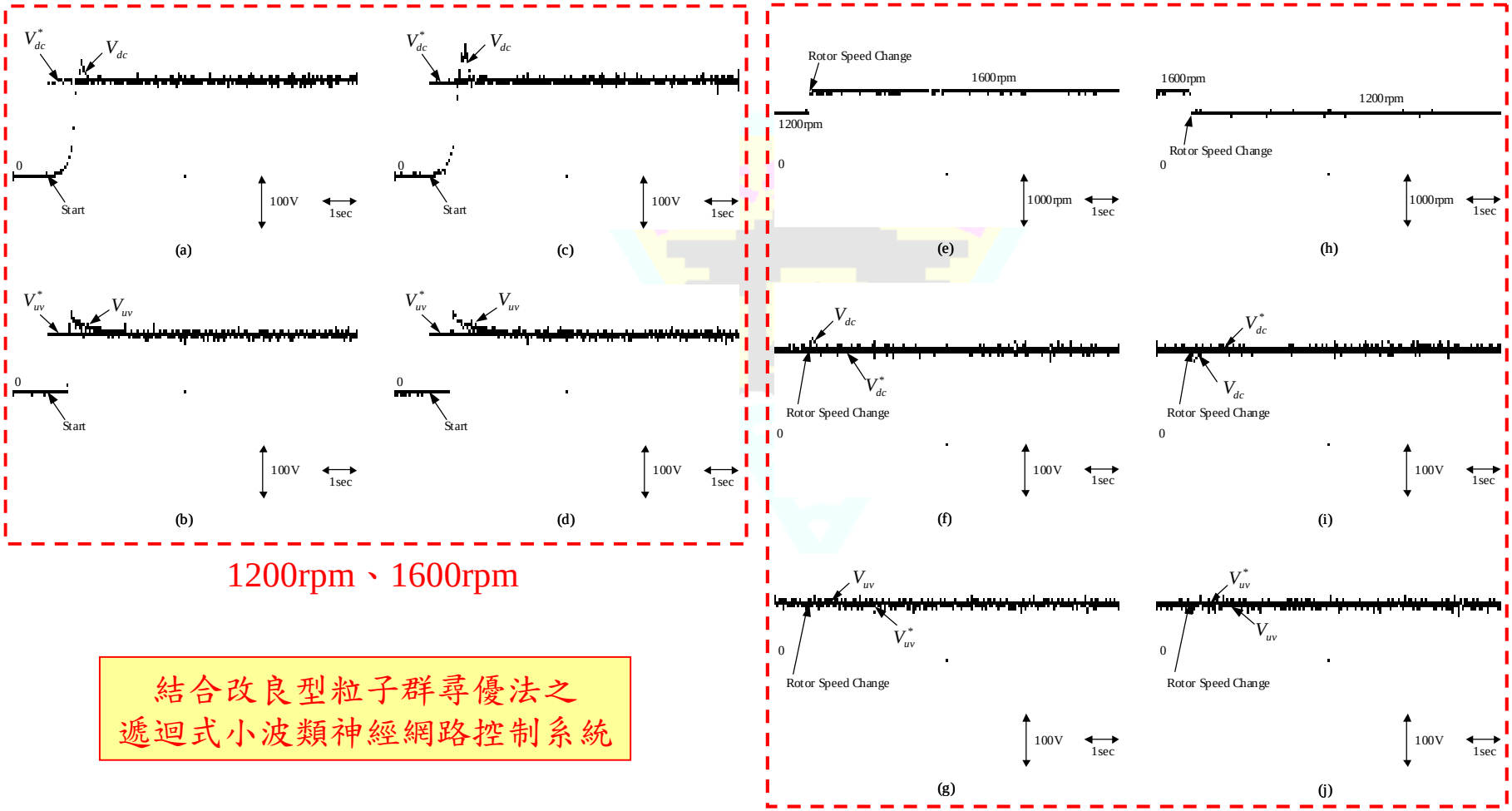


狀態三　　狀態四

重載22.2 Ω

❑ 實測結果(II)

- 電感性負載 (圖6.7)



1200rpm、1600rpm

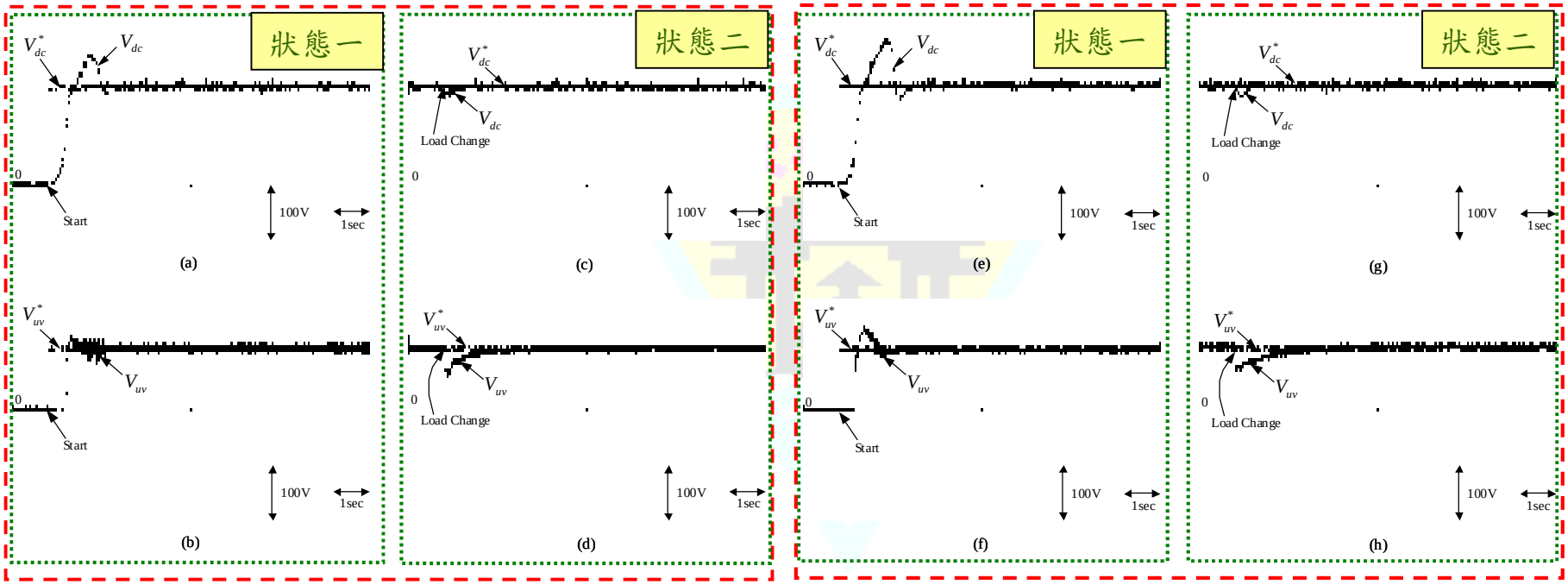
結合改良型粒子群尋優法之
遞迴式小波類神經網路控制系統

狀態三、狀態四

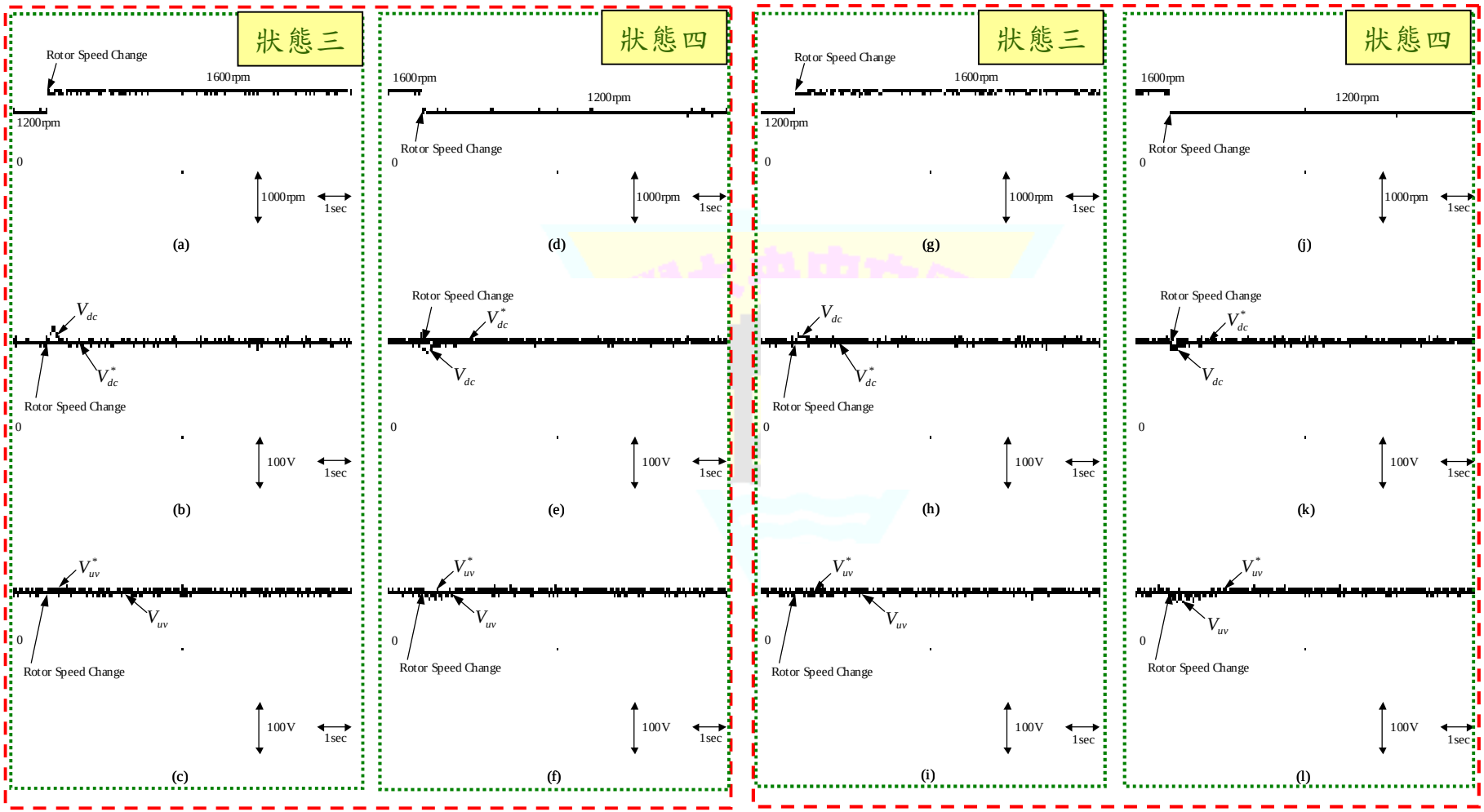
六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)

❑ 實測結果(III) (圖6.8 ~ 圖6.9)

- 應用遞迴式小波類神經網路控制系統(無改良型粒子群尋優法)



六、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式小波類神經網路控制系統(續)



輕載66.6 Ω

重載22.2 Ω

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統

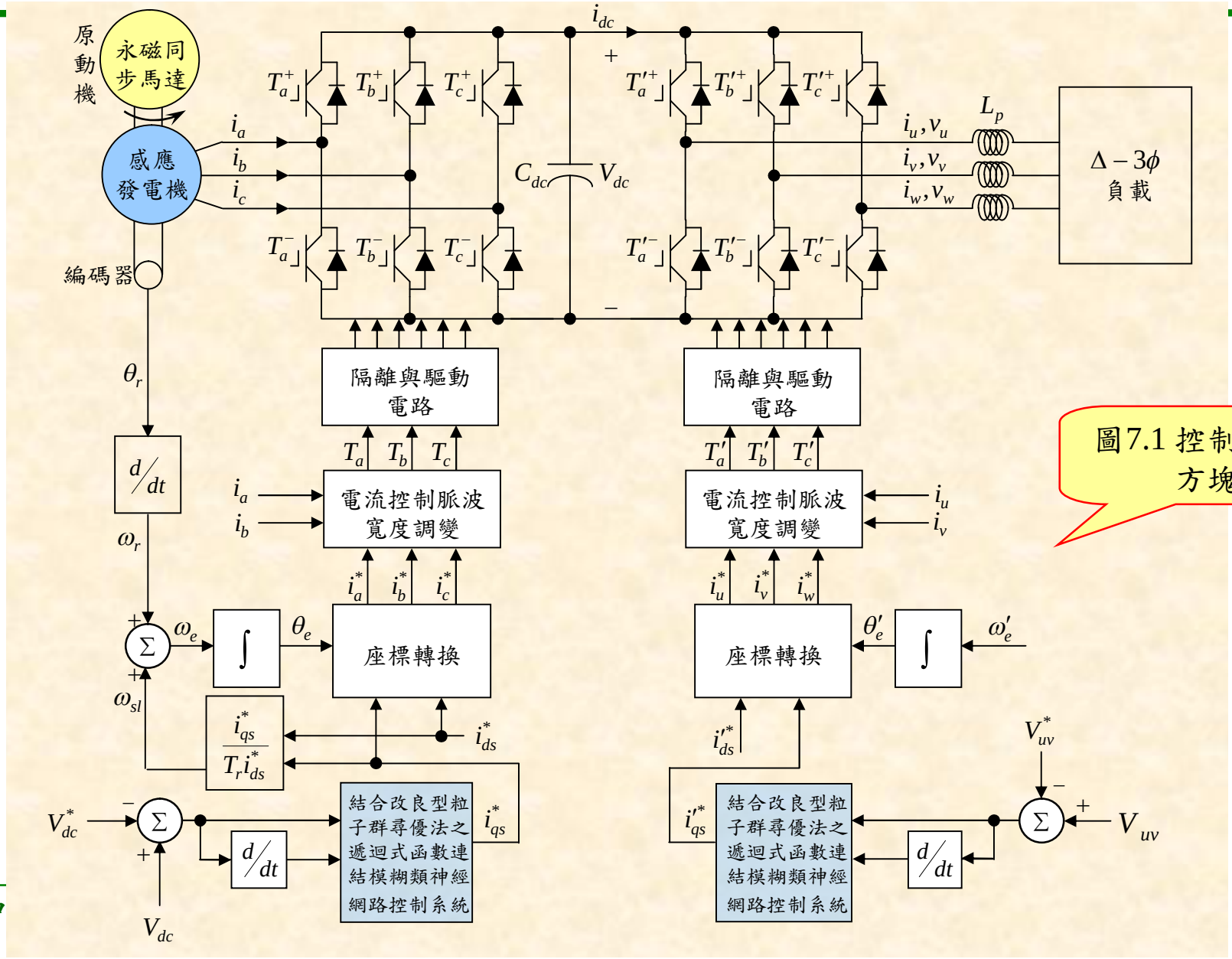


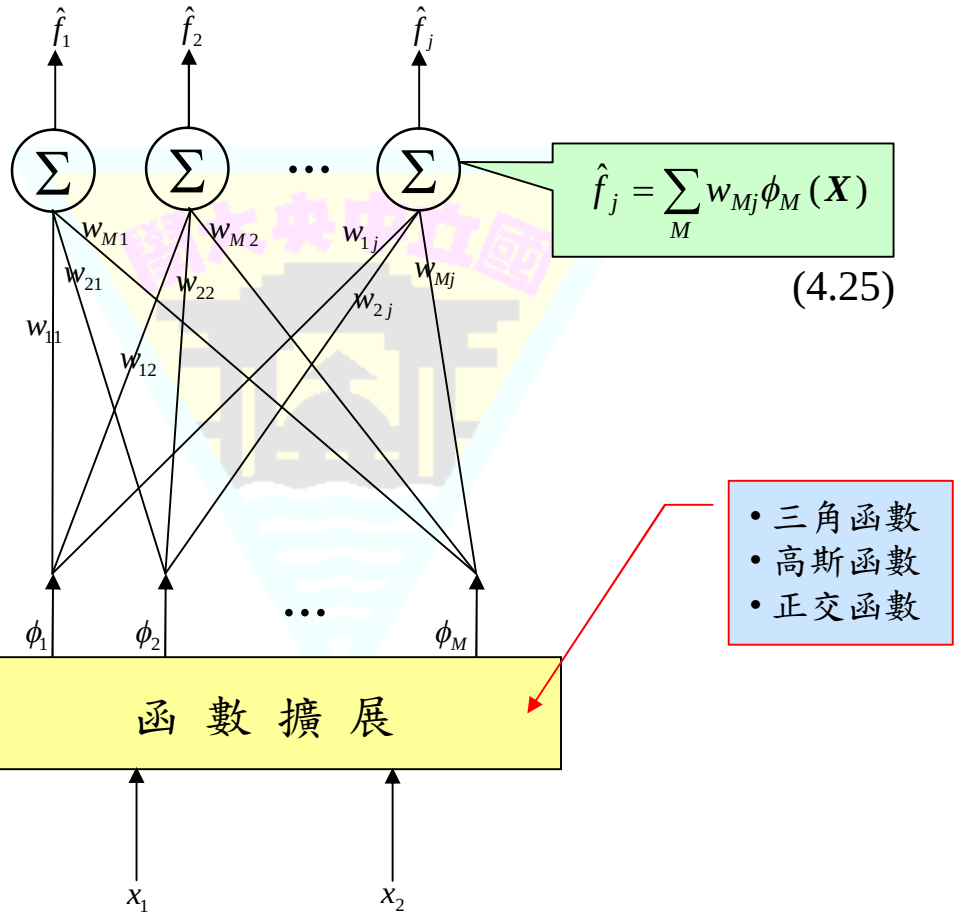
圖7.1 控制系統方塊圖

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

函數連結類神經網路(FLNN) (圖4.6)

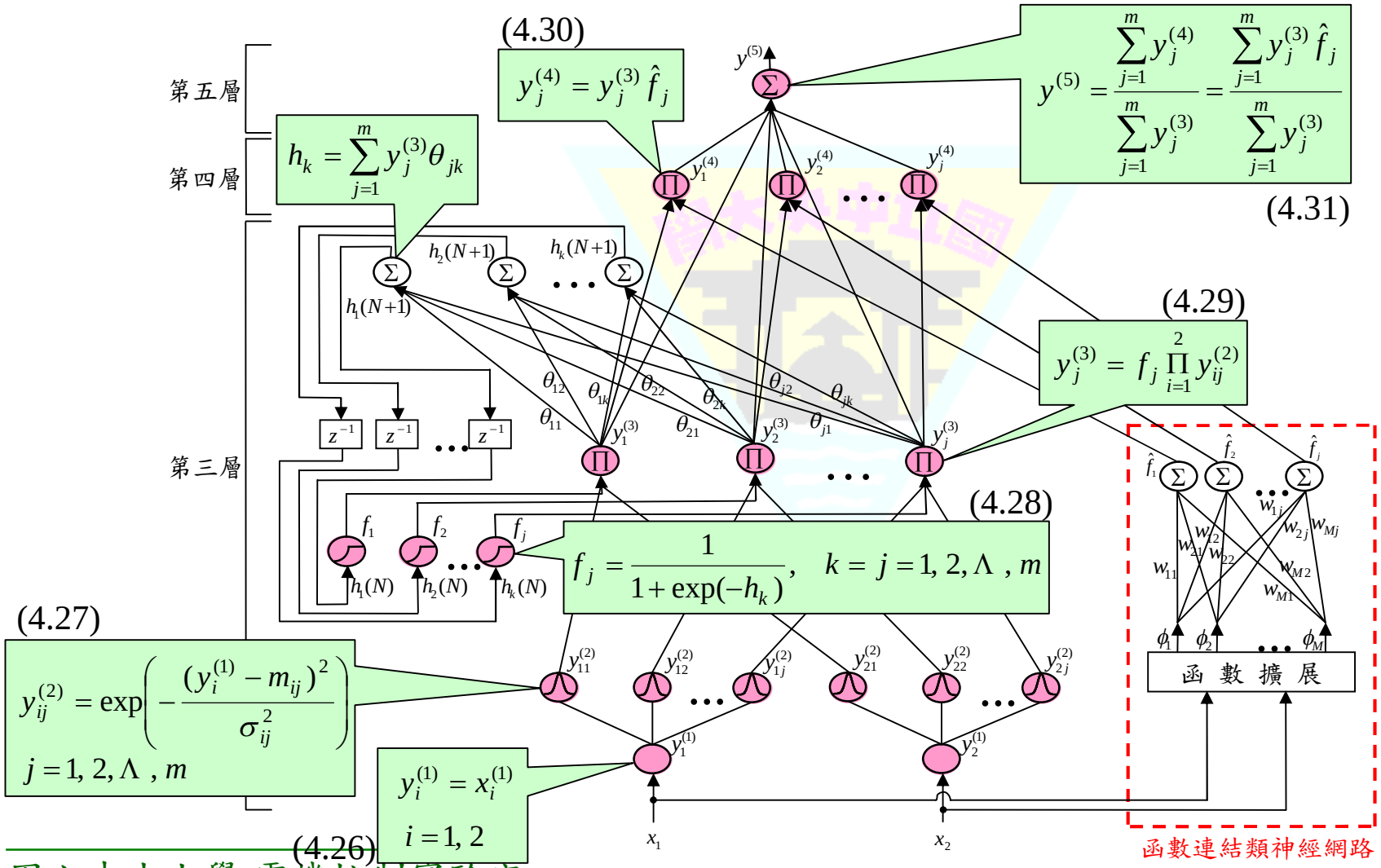
- 函數連結類神經網路由於利用擴展輸入信號空間，成功地將多層感知機中的隱藏層省略掉，簡化多層感知機的架構。

- 函數連結類神經網路因輸入變數可以被擴展至高階部分，更能有效的近似非線性函數。



七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

- 遞迴式函數連結模糊類神經網路(Recurrent FL-Based FNN) (圖4.7)



七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

(7.7)-(7.8)

$$\Delta\theta_{jk} = -\eta_\theta \frac{\partial V}{\partial \theta_{jk}} = -\eta_\theta \frac{\partial V}{\partial y_j^{(3)}} \frac{\partial y_j^{(3)}}{\partial f_j} \frac{\partial f_j}{\partial h_k} \frac{\partial h_k}{\partial \theta_{jk}}$$

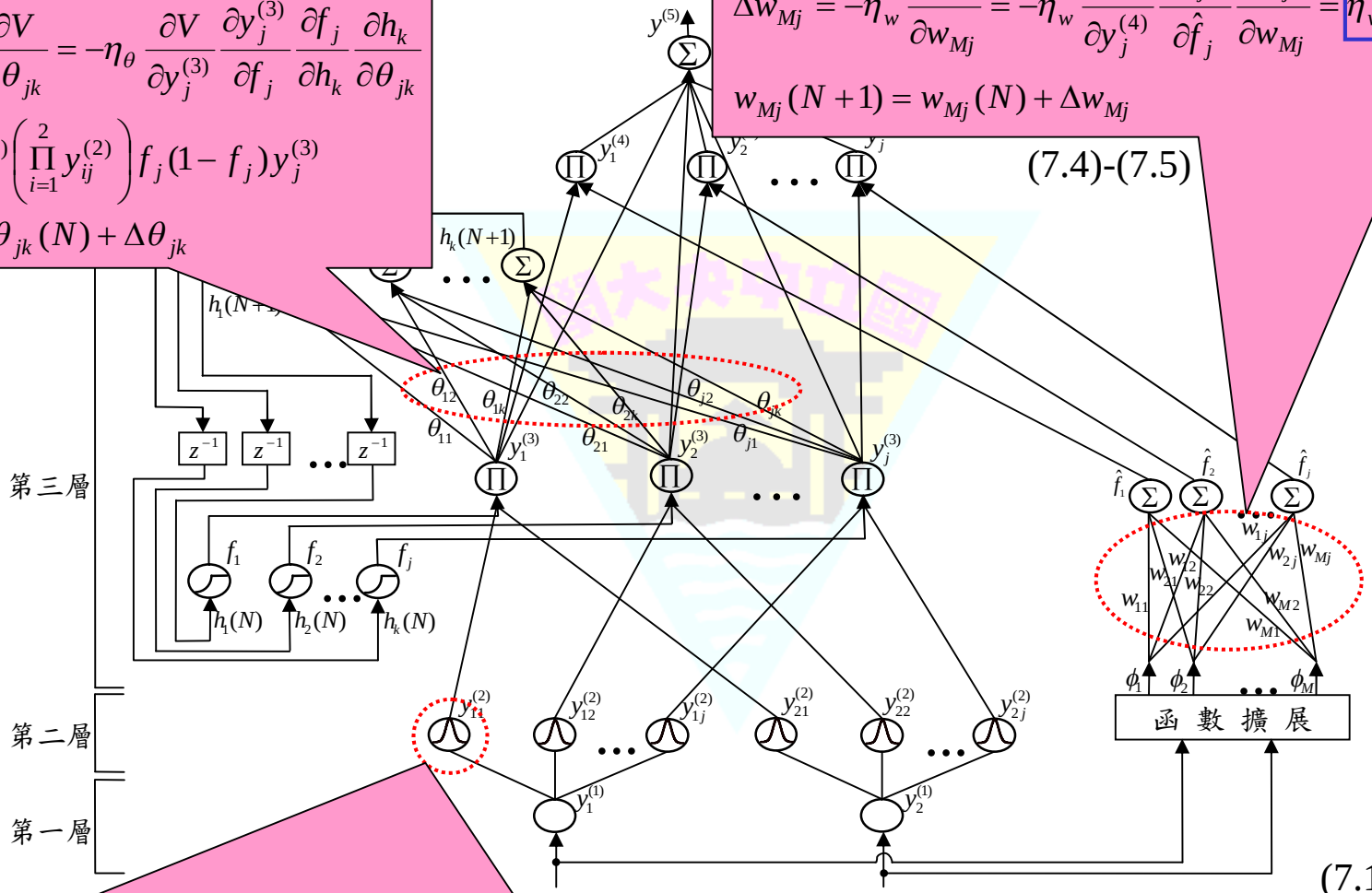
$$= \eta_\theta \delta_j^{(3)} \left(\prod_{i=1}^{2} y_{ij}^{(2)} \right) f_j (1 - f_j) y_j^{(3)}$$

$$\theta_{jk}(N+1) = \theta_{jk}(N) + \Delta\theta_{jk}$$

$$\Delta w_{Mj} = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial w_{Mj}} = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial y_j^{(4)}} \frac{\partial y_j^{(4)}}{\partial \hat{f}_j} \frac{\partial \hat{f}_j}{\partial w_{Mj}} = \eta_w \delta_j^{(4)} y_j^{(3)} \phi_M$$

$$w_{Mj}(N+1) = w_{Mj}(N) + \Delta w_{Mj}$$

(7.4)-(7.5)



(7.11)-(7.14)

$$\Delta m_{ij} = -\eta_m \frac{\partial V}{\partial m_{ij}} = -\eta_m \frac{\partial V}{\partial y_{ij}^{(2)}} \frac{\partial y_{ij}^{(2)}}{\partial m_{ij}} = \eta_m \delta_{ij}^{(2)} y_{ij}^{(2)} \frac{2(y_i^{(1)} - m_{ij})}{\sigma_{ij}^{\,2}}$$

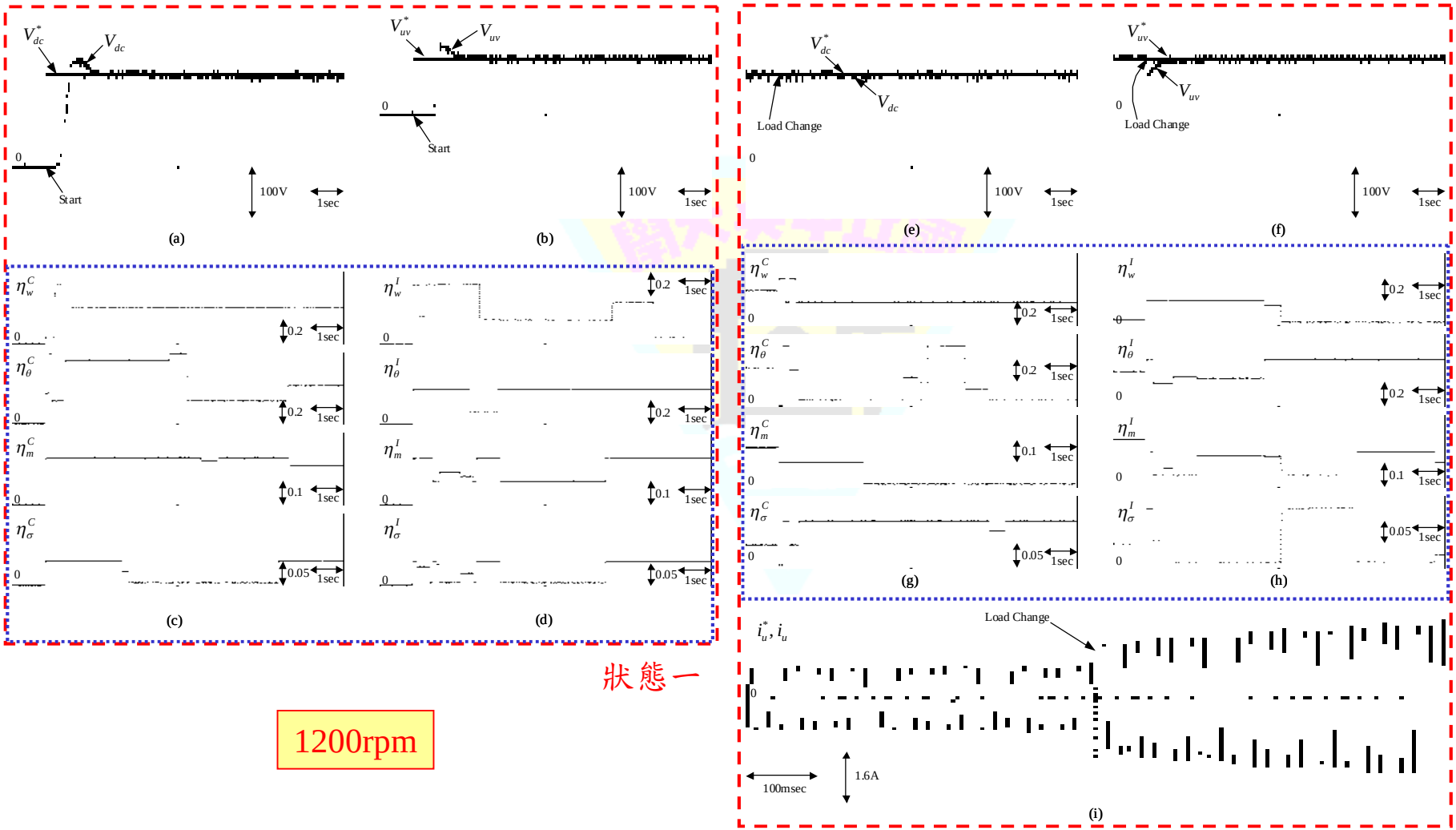
$$m_{ij}(N+1) = m_{ij}(N) + \Delta m_{ij}$$

$$\Delta\sigma_{ij} = -\eta_\sigma \frac{\partial V}{\partial \sigma_{ij}} = -\eta_\sigma \frac{\partial V}{\partial y_{ij}^{(2)}} \frac{\partial y_{ij}^{(2)}}{\partial \sigma_{ij}} = \eta_\sigma \delta_{ij}^{(2)} y_{ij}^{(2)} \frac{2(y_i^{(1)} - m_{ij})^2}{\sigma_{ij}^{\,3}}$$

$$\sigma_{ij}(N+1) = \sigma_{ij}(N) + \Delta\sigma_{ij}$$

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

❑ 實測結果 (I) (圖7.3 ~ 圖7.6)

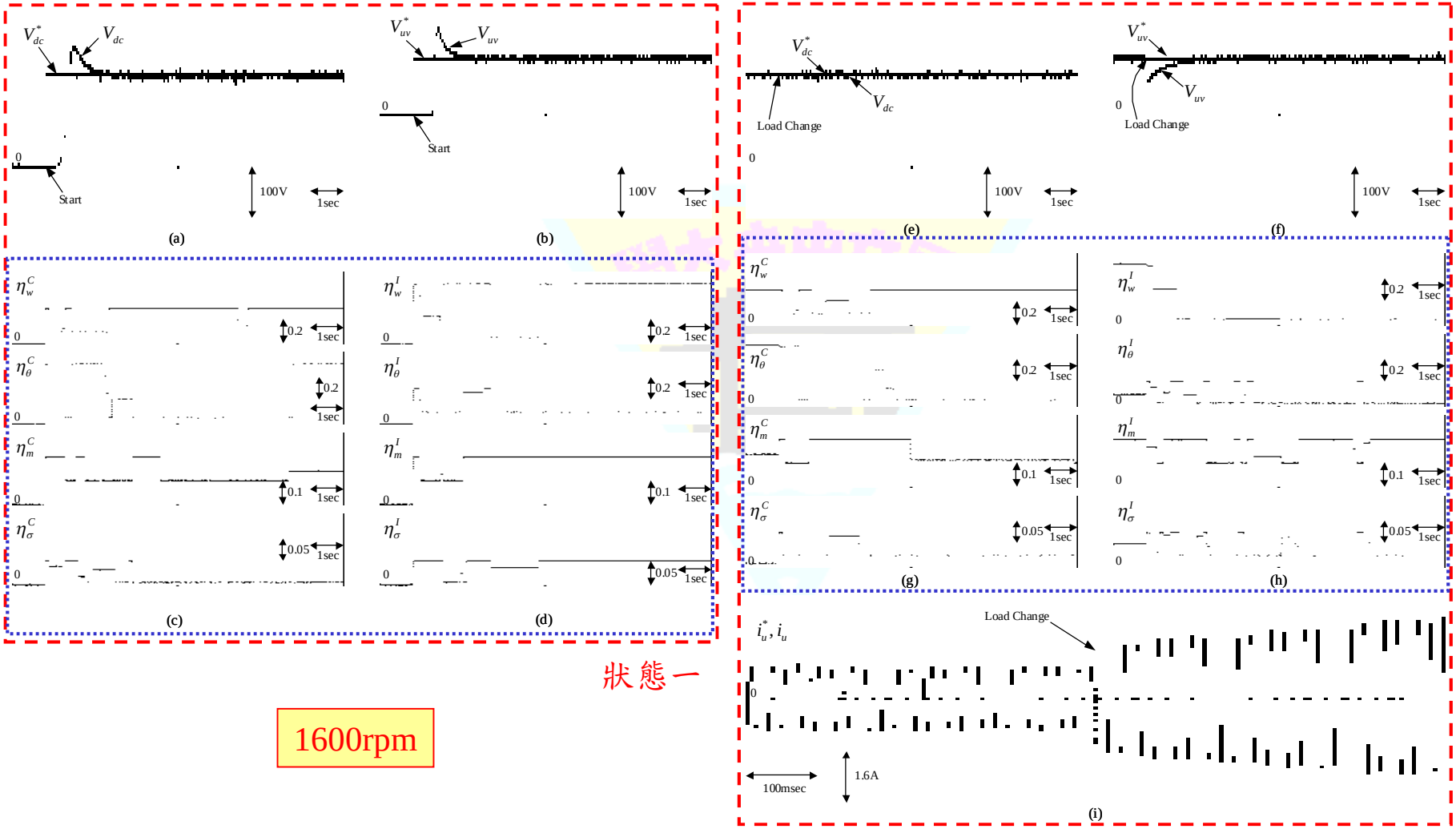


狀態一

1200rpm

狀態二

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

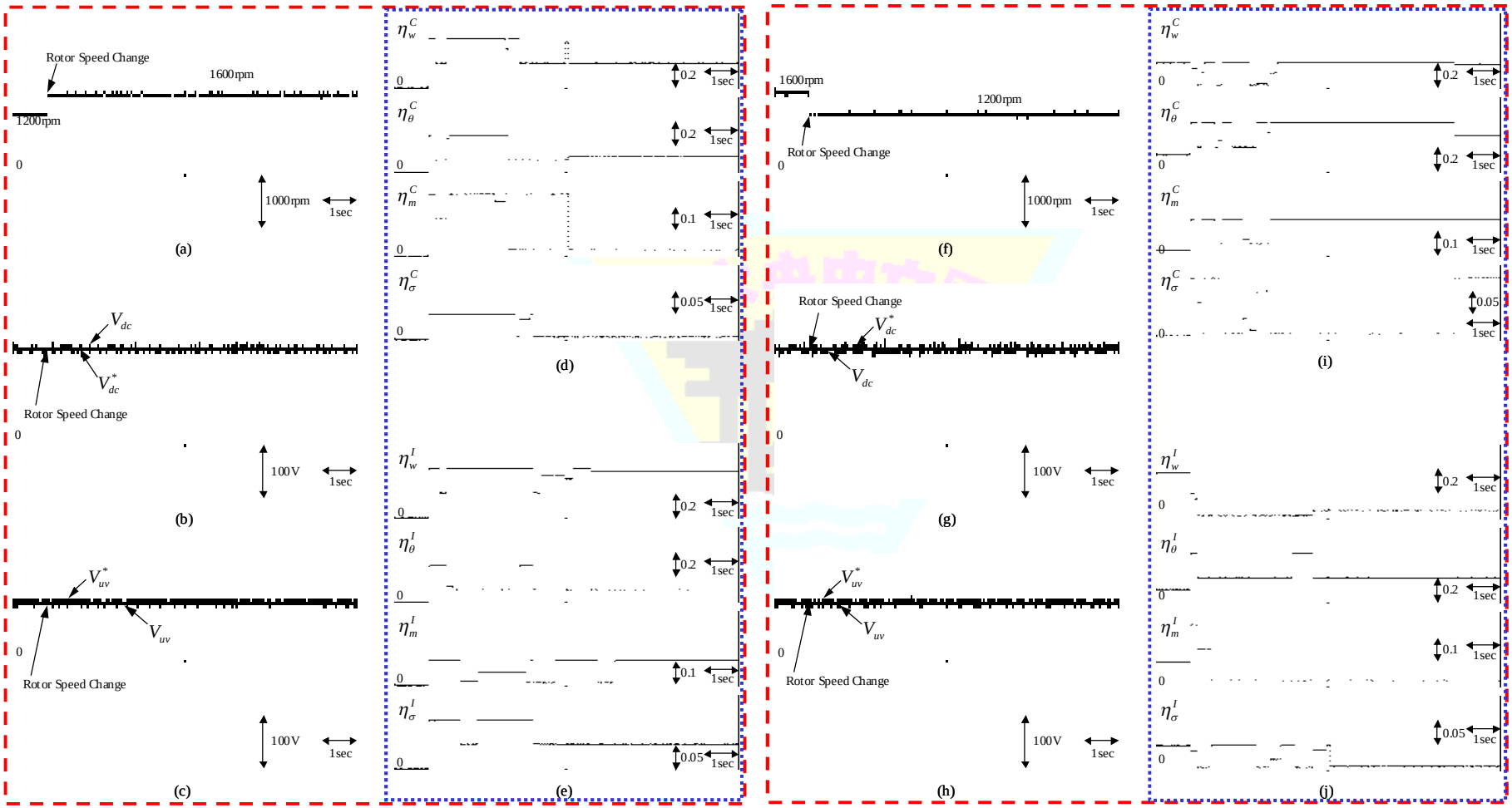


狀態一

1600rpm

狀態二

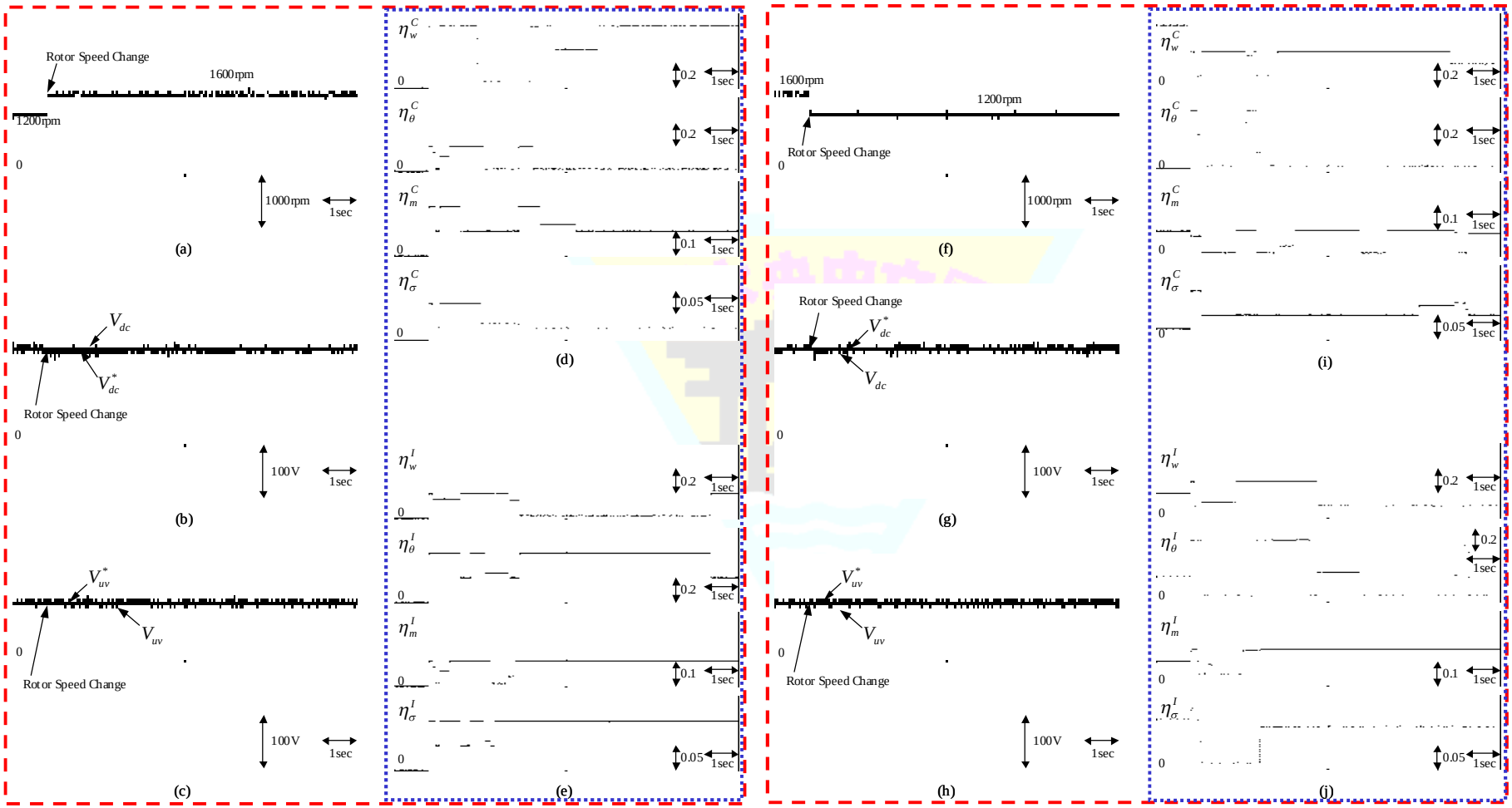
七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)



狀態三　　狀態四

輕載66.6 Ω

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)



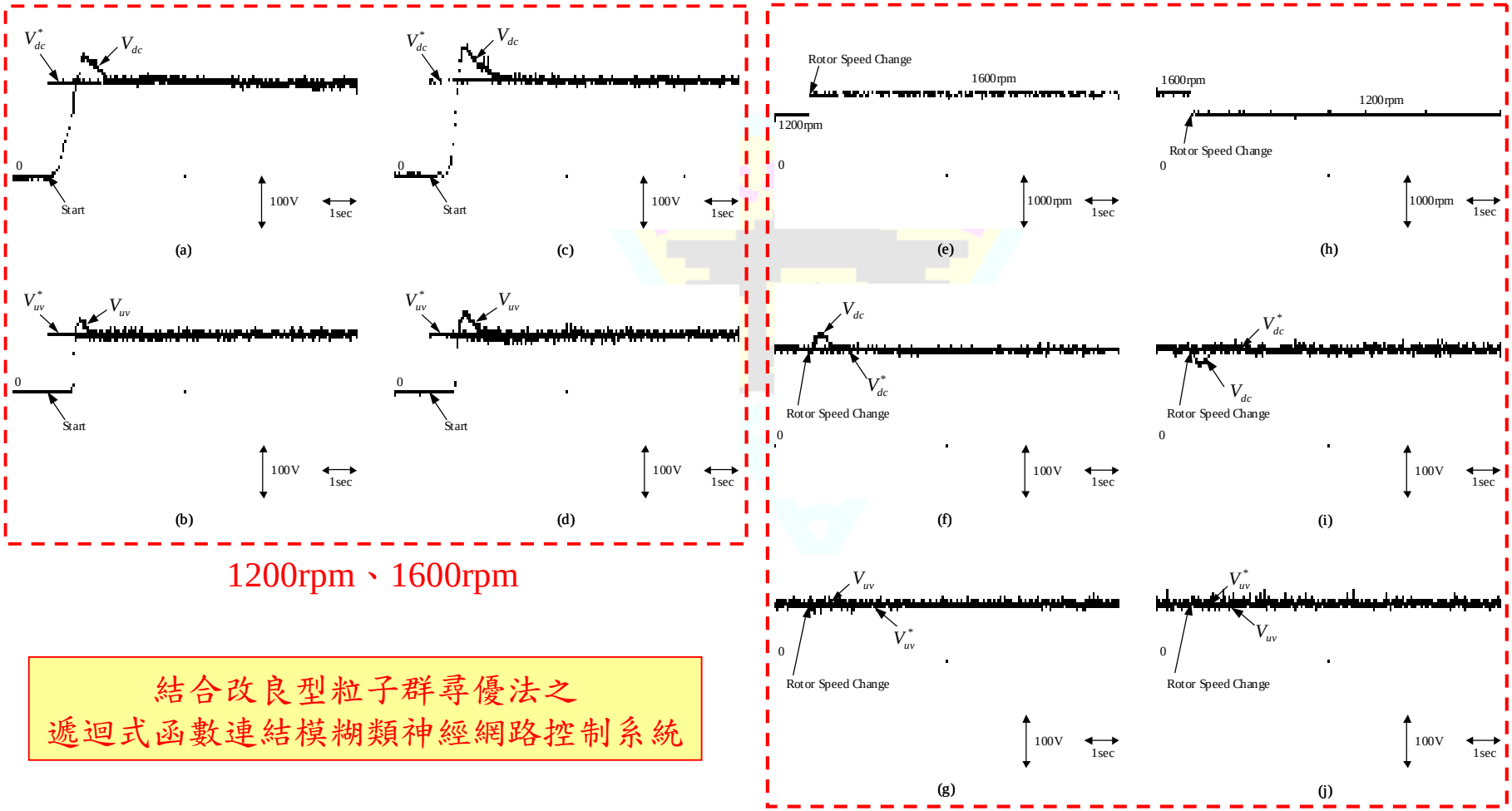
狀態三　　狀態四

重載22.2 Ω

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)

❑ 實測結果(II)

- 電感性負載 (圖7.7)



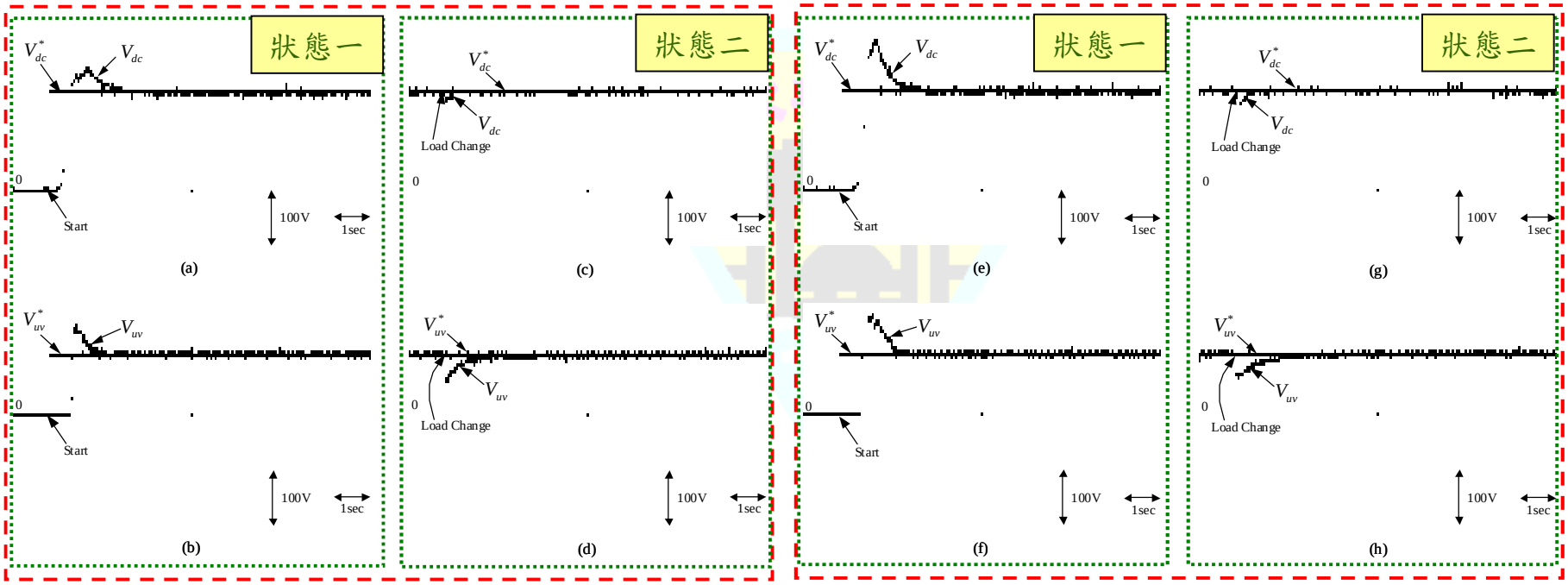
1200rpm、1600rpm

結合改良型粒子群尋優法之
遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統

狀態三、狀態四

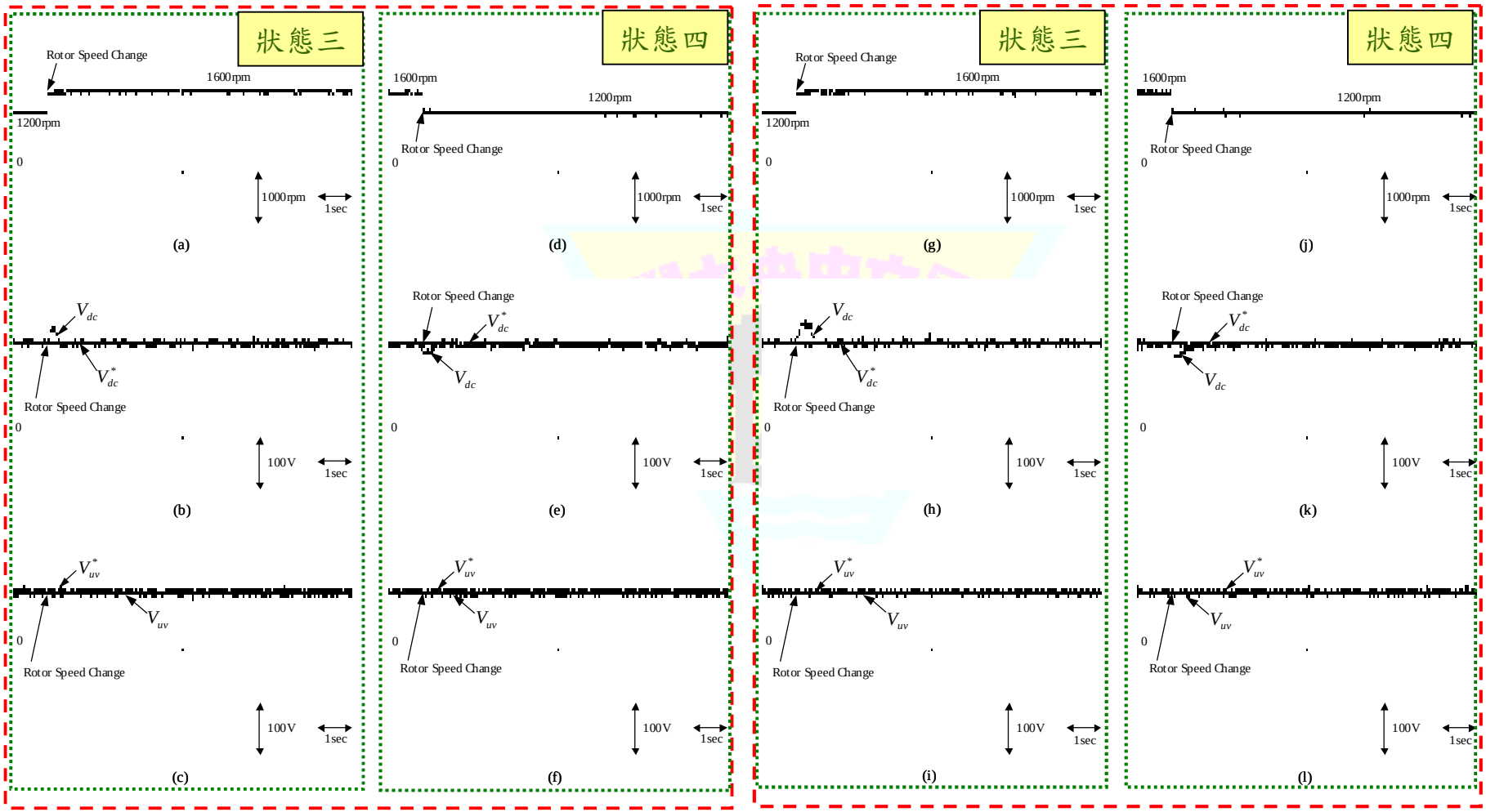
❑ 實測結果(III)

- 應用遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(無改良型粒子群尋優法) (圖7.8 ~ 圖7.9)



1200rpm　　1600rpm

七、應用於感應發電機系統之結合改良型粒子群尋優法之遞迴式函數連結模糊類神經網路控制系統(續)



輕載66.6 Ω

重載22.2 Ω

八、結論與未來之研究發展

❑ 結論

- 發展出頻率控制之三相鼠籠式感應發電機，並採用交流/直流/交流功率轉換器以供獨立負載應用。
- 成功地將改良型粒子群尋優法與類神經網路結合，用以線上調整網路之學習速率。
- 成功地將結合改良型粒子群尋優法之放射狀基底函數網路、遞迴式小波類神經網路與遞迴式函數連結模糊類神經網路，應用於感應發電機系統之直流鏈電壓與負載端三相交流電壓控制，使其在不同的風速及負載情況下皆有良好之控制特性與強健性。

八、結論與未來之研究發展(續)

❑ 未來之研究發展

- 應用本文之風力驅動感應發電機系統及交流/直流/交流功率轉換器，實際將感應發電機產生之三相電源並聯於市電系統。

- 為了達到一具商業價值之DSP風力驅動感應發電機系統，今後將以DSP單板控制電腦並配合人機介面相關之軟、硬體取代先前之PC-DSP雙處理器硬體模式。同時朝向驅動電路模組化，以FPGA將驅動相關電路積體化，以減少驅動電路所需之空間。

- 將所提出之控制系統架構及交流/直流/交流功率轉換器與實際風機作結合，發展更完善之風力驅動感應發電機系統以達成風機商業化之目的。

Thank You for Your Attention!