

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

再生能源自主性開關之無縫併聯演算法開發  
**Development of seamless grid-connected  
algorithms for Static-Switch**

計畫編號：1002001INER063

受委託機關(構)：國立中央大學

計畫主持人：林法正

聯絡電話：03-4227151 轉 34532

E-mail address：[linfj@ee.ncu.edu.tw](mailto:linfj@ee.ncu.edu.tw)

核研所聯絡人員：羅國原

報告日期：100.12.6

## 目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	7
一、計畫完成項目.....	8
二、5kW 直流/交流功率轉換器設計.....	10
三、市電併聯同步法.....	11
四、小波模糊類神經網路控制器設計.....	15
(一)小波模糊類神經網路架構.....	15
(二)小波模糊類神經網路線上學習法則.....	17
(三)市電併聯系統測試.....	19
五、新型主動式孤島偵測法.....	22
(一)D 軸擾動訊號注入法.....	22
(二)WFNN 智慧型控制器結合孤島偵測.....	25
(三)新型主動式孤島偵測法實作.....	27
六、靜態開關.....	29
七、監控軟體與實作.....	33
(一)Elipse 監控軟體.....	33
(二)監控軟體實作.....	37
八、微電網 PSIM 模擬.....	38
參、主要發現與結論.....	42
肆、參考文獻.....	43

## 中文摘要

本計畫預計將完成 5kW 直流/交流併網型轉換器之設計與製作，其中閉迴路控制器將採用小波模糊類神經網路(Wavelet Fuzzy Neural Network, WFNN)控制器並以工業級電腦(Industrial PC, IPC)進行實現。為使併網型轉換器能順利與市電併聯，將設計同步併網控制法與主動式孤島偵測法。另一方面，為達成有效的電能管理分配以及提升分散式發電系統使用效率，將設計以工業級電腦為基礎之微電網控制器。待電力資訊收集完畢後使用微電網控制器之 IEC 60807-5-104 通訊協定將微電網控制器之資訊傳送至市電端之區域調度中心，以利區域調度中心對各分散式發電系統作有效的能源分配與管理；另外並藉由靜態開關(Static-Switch, SS)，使併聯於市電之微電網系統，於市電故障時，能自主無縫切離形成孤島運轉，並當市電恢復後，能恢復與市電併聯。本計畫最後將藉由 IEEE1547 及 UL1741 所提供之測試方式以測試所發展之併網型轉換器，使其具備孤島運轉與優越過度性之相關功能，並能符合相關之併聯標準與規範。

## **Abstract**

The objective of this project is to accomplish the design and manufacture of 5kW DC/AC grid-connected converter, in which the wavelet fuzzy neural network (WFNN) controller will be adopted for the closed-loop controller and be implemented by means of industrial PC (IPC). In order to connect the grid-connected converter with the grid smoothly, the methods of synchronous grid-connected control and active islanding detection algorithm will also be designed. Moreover, to improve the efficiency of power management for the distributed generation (DG) system, an IPC-based microgrid controller will be designed. Furthermore, the power information of the DGs will be sent to the local dispatched control center (LDCC) of the power grid utilizing IEC 60807-5-104 protocol module installed in the microgrid controller for the efficient power management of the DG system. In addition, when the grid fails, the microgrid system can seamlessly disconnect from the power grid, and when the electricity is restored, the microgrid system can reconnect to power grid by the static switch (Static-Switch, SS). Finally, in order to possessing the functions of islanding and ride-through and meeting the relevant interconnection standards, this project will verify the developed grid-connected converter by using the offered test methodology in IEEE1547 and UL1741.

## 壹、計畫緣起與目的

隨著科技不斷進步，人類對生活品質的要求不斷提升，使得電力公司如何在輸配電系統上提供良好與穩定的供電品質給用戶端成為相當重要之議題。過去多數國家在固定區域建設大型發電廠如火力發電廠、核能發電廠以及水力發電廠等。所採行的發電型式稱為集中式發電(Centralized Generation, DG)，而建立一個完善的電力輸送網路所開發大型的發電、輸電及供電系統，必須花費相當多的人力與金錢。不僅如此，為了安全考量，集中式大型發電廠往往建造於偏遠地區與用戶端距離甚遠，所以電力公司必須承擔傳輸電力過程中的能量損失及設備機組的維護。然而大型發電廠一旦發生故障，勢必造成整體電網的穩定度降低，更可能演變成無預警的大規模停電。因此世界各國紛紛開發新的能源供應環境，其中以分散式發電(Distributed Generation, DG) [1]系統最能解決集中式發電所產生的問題。

分散式發電採用再生能源，可有效減緩全球溫室效應的惡化與地球上有限石化能源的枯竭。以再生能源為主的分散式發電具有模組化、建造時程短與接近負載端的特性等優點。儘管分散式發電擁有許多優點，但隨著分散式電源不斷擴增，越來越多的分散式電源與市電併聯運轉產生諸多問題，例如分散式電源單機併入系統的成本高、電源設備控制與相容性問題等。不僅如此，分散式電源對於大電網而言較不易控制，因此 IEEE1547 對於分散型電源併網制定了相關規範，減少對大電網的衝擊，但也限制了分散式電源的效能。為了協調分散式電源對大電網的影響與增加分散式電源為用戶端的價值，近年來相關學者提出一種新概念：微

電網(Microgrid)架構[2,3]。微電網是將分散式電源與鄰近負載端組成新的微型電網，其中包含兩種運轉模式，一是正常情況下，微電網與市電併聯運轉，稱為併網模式；另一是當檢測出微電網外部發生故障或電力品質不滿足要求時，微電網將及時與市電解聯並獨立運轉，稱為孤島運轉模式。微電網是由靜態切換開關、微型電源、電力設備及自動監控系統所組成，可將一系列的負載與微型電源整合而成的單一可控系統。微電網主要併聯於用戶端與大電網間之饋線上以提供穩定之電源；在與大電網併聯運轉時，由大電網平衡微電網內之電力供需；當在大電網發生故障時，微電網亦可獨立運轉。

台灣地處東亞季風盛行區域內，冬季有強勁的東北季風，夏季則有豐沛的西南氣流，常年風向穩定，風速不小，非常具有發展風能的潛力。另一方面，台灣地處亞熱帶，更是適合直接利用太陽光發電，因此近年來台灣地區各式太陽光電模組與系統之發展與安裝更是發展快速。但是不論是利用太陽能或風能所獲得之再生能源均必須利用直流/交流併網型轉換器將分散式發電系統產生之電能送入電力系統，並配合微電網技術以克服台電滲透率上限之困難。

圖 1、2 分別為本計畫系統架構及微電網架構圖，由圖所示本計畫將設計一以工業級電腦(IPC)為基礎之微電網控制器。待電力資訊收集完畢後使用微電網控制器之 IEC 60807-5-104 通訊協定將微電網控制器之資訊傳送至市電端之區域調度中心，以利區域調度中心對各分散式發電系統作有效的能源分配與管理；另外本實驗室將自行建置儲能系統及同步、感應發電機與太陽能光電板等

分散式電源以發展微電網系統。

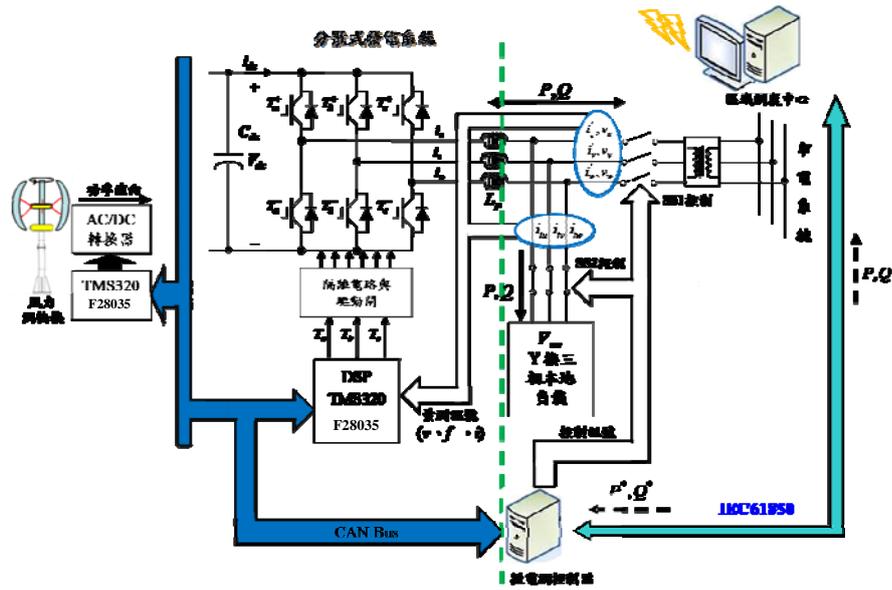


圖 1.系統架構圖

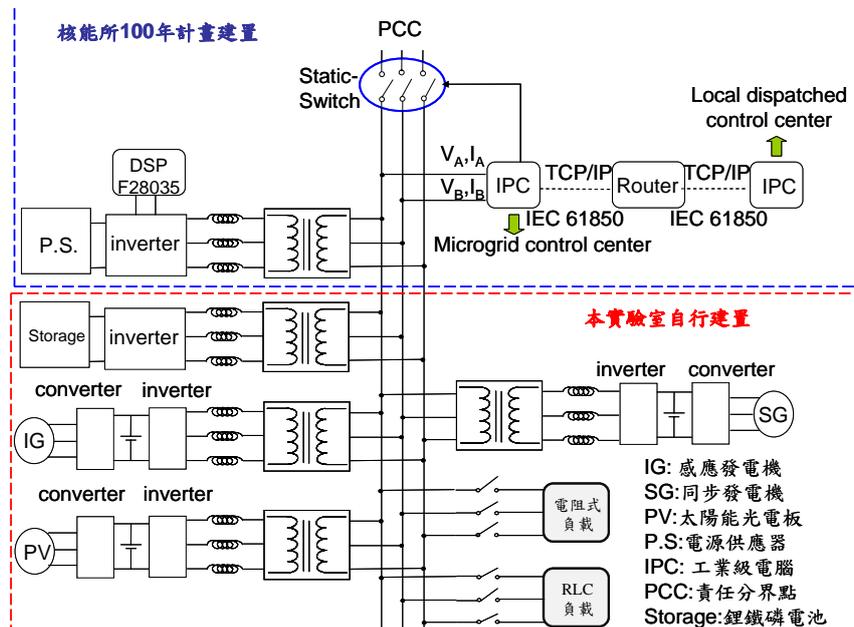


圖 2. 微電網架構圖

本計畫完成 5kW 直流/交流併網型轉換器之設計與製作，其中閉迴路控制器採用小波模糊類神經網路控制器，並以工業電腦進行實現。另外欲使分散式發電系統順利與市電併聯，將設計同步

併網與主動式孤島偵測技術，使系統能安全與有效地操作於市電併聯或孤島運轉模式，而為達成有效的電能管理分配以及提升分散式發電系統使用效率，將以工業級電腦為基礎之微電網控制器，待電力資訊收集完畢後使用微電網控制器之 IEC 60807-5-104 通訊協定將資訊傳送至市電端之區域調度中心，以利區域調度中心對各分散式發電系統作有效的能源分配與管理；微電網控制器並具有保護電驛之功能。當靜態開關(Static-Switch, SS) SS2 導通，表示分散式發電系統供電於本地負載，若分散式發電系統所提供之功率可以完全滿足本地負載之所需，即形成自給自足之獨立運轉型微電網系統。而此時若仍有多餘之電力，可透過區域調度中心之電能管理機制並利用控制訊號，使靜態開關 SS1 導通，將電力調度至市電系統。反之，若本地負載所需之功率大於分散式發電系統所能提供之功率，此時功率流向為市電端至微電網系統端，由市電補足分散式發電系統功率之不足。另外，若市電發生故障時，SS1 將強制開路，使分散式發電系統與市電解聯，並由微電網控制器進行負載管理，關閉無迫切需要性之負載或提高分散式發電系統之供電，以進行孤島運轉，因此藉由微電網控制與靜態開關(Static-Switch, SS)，使併聯於市電之微電網系統，於市電故障時，能自主無縫切離形成孤島運轉，並當市電恢復後，能恢復與市電併聯。最後藉由 IEEE1547 及 UL1741 所提供之測試方式以測試所發展之併網型轉換器，使其具備孤島運轉與優越過度性之相關功能，並能符合相關之併聯標準與規範。

## 貳、研究方法與過程

本計畫主要目的係設計一以工業級電腦(IPC)為基礎之微電網控制器。待電力資訊收集完畢後使用微電網控制器之 IEC 60807-5-104 通訊協定將微電網控制器之資訊傳送至市電端之區域調度中心，以利區域調度中心對各分散式發電系統作有效的能源分配與管理；另外欲使分散式發電系統順利與市電併聯，本計畫已設計同步併網與發展新型主動式孤島偵測技術，使系統能安全與有效地操作於市電併聯或孤島運轉模式，而為提升孤島偵測響應速度，本計畫結合模糊類神經網路與小波函數形成之模糊類神經網路(Wavelet Fuzzy Neural Network, WFNN)，以取代傳統 PI 控制器。

微電網控制器並具有保護電驛之功能，當靜態開關(Static-Switch, SS)導通，表示分散式發電系統供電於本地負載，若分散式發電系統所提供之功率可以完全滿足本地負載之所需，即形成自給自足之獨立運轉型微電網系統，若市電發生故障時，SS1 將強制開路，使分散式發電系統與市電解聯，並由微電網控制器進行負載管理，關閉無迫切需要性之負載或提高分散式發電系統之供電，以進行孤島運轉。因此藉由微電網控制與靜態開關，使併聯於市電之微電網系統，於市電故障時，能自主無縫切離形成孤島運轉，並當市電恢復後，能恢復與市電併聯。最後藉由 IEEE1547 及 UL1741 所提供之測試方式以測試所發展之併網型轉換器，使其具備孤島運轉與優越過度性之相關功能，並能符合相關之併聯標準與規範。

## 一、計畫完成項目

本計畫已完成 5kW 直流/交流功率併網型轉換器設計與製作，而原計畫以 DSP TMS320F28035 進行實現轉換器之設計與製作，惟因 DSP TMS320F28035 及微電網端之控制系統發展需較長時間，因此發展工業電腦 PC-based SIMULINK 測試系統取代 DSP TMS320F28035 以利演算法之發展，另外為維持穩定電壓及功率輸出，本計畫原採用機率型模糊類神經網路控制器實現功率之閉迴路控制，因研究與實驗需求，提出新型小波模糊類神經網路控制器實現閉迴路控制，直流/交流併網型轉換器之磁場導向控制方塊架構如圖 3 所示。若分散式發電系統運作在市電併聯模式，小波模糊類神經網路控制器將用以控制功率轉換器端之輸出實功與虛功。另一方面，併聯負載或市電系統側之功率轉換器採用固定座標軸控制架構，以調節分散式發電系統功率轉換器側之三相線電壓或輸出功率，獲得具穩定性和可靠性之三相 220VAC/60Hz 交流電源，以獨立供給三相負載或同時併聯於市電系統。

本計畫已發展之 PC-based SIMULINK 控制系統如圖 4 所示，所使用之系統為一電壓源輸出電流的換流器，輸入端為一直流電源供應器，輸出端經由一隔離變壓器後與市電併聯，而 Y 接三相本地負載為模擬反孤島測試系統之 RLC 共振負載，其共振頻率設計在 60Hz。圖 4 中，左起為電源供應器，中間部分為換流器轉換系統以及個人電腦，輸出端為一比二的隔離變壓器，最後經過靜態開關與手動斷路器後與市電端併聯，最右側為本計畫所設計之 RLC 共振負載槽，全系統實體以裝箱形式呈

現。另本計畫已採購 Eclipse 公司之 E3 軟體配合研華科技 UNO 工業級電腦等硬體設備以做為整體微電網電力監控系統整合與控制，並完成靜態開關、市電併聯同步法、新型主動式孤島偵測法、小波模糊類神經網路及復電偵測等。而為使分散式發電系統能夠在孤島運轉模式與併聯運轉模式之間平穩的轉換，本計畫參照 IEEE1547 及 UL1741 之測試項目，使 5kW 直流/交流併網型轉換器滿足 IEEE1547 及 UL1741 之相關標準。

微電網控制部分，為了減少實際裝設時的問題，將先利用 PSIM 進行模擬，並將分散式電源區分 Master/Slaver 控制法來進行微電網控制。

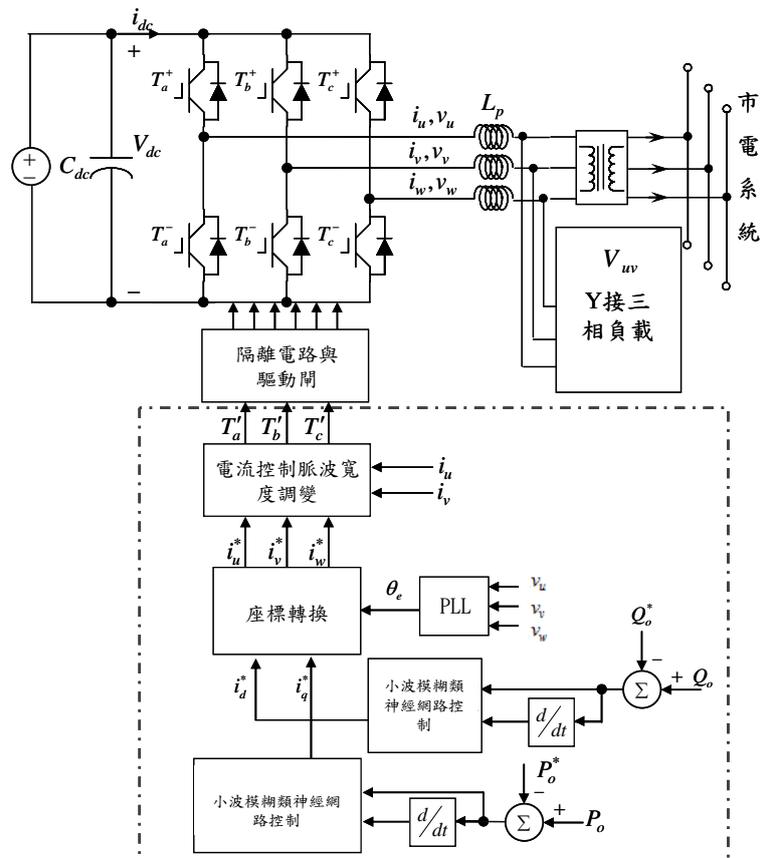


圖 3.併聯於市電之磁場導向控制架構方塊圖



圖 4. PC-based SIMULINK 控制系統

## 二、5kW 直流/交流功率轉換器設計

如圖 3 所示，當功率轉換器併聯於市電系統時，輸出功率命令  $P_o^*$  與  $P_o$  比較後經過小波模糊類神經網路控制器產生功率轉換器之轉矩電流分量  $i_q^*$ ，令功率轉換器之磁場電流分量  $i_d^* = 0$ ， $i_d^*$  與  $i_q^*$  利用偵測市電系統  $v_u$  之相角  $\theta_e$  經由二相同步旋轉座標軸對三相固定座標由轉換後，產生與市電系統同步之三相命令電流，再利用電流控制 PWM 產生功率轉換器之三相觸發信號。 $i_d^*$  表示功率轉換器之磁場命令電流； $i_q^*$  表示功率轉換器之實功率命令電流； $\theta_e$  表示功率轉換器之電氣角度； $i_u^*$ 、 $i_v^*$ 、 $i_w^*$  表示功率轉換器之三相命令電流； $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$  表示功率轉換器之三相電壓； $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$  表示功率轉換器之三相電流； $T_a$ 、 $T_b$ 、 $T_c$  表示功率轉換器之三相控制訊號。 $P_o$  表示功率轉換器端輸出功率； $P_o^*$  表示

功率轉換器端輸出功率命令。

### 三、市電併聯同步法

本計畫針對市電併聯同步與孤島偵測部分，以 PC-based SIMULINK 控制系統來執行完成市電併聯同步。而為達成與市電併聯，因此需偵測市電相角及電壓，故本計畫發展鎖相迴路法 (PLL) 達到與市電併聯同步，控制架構圖如圖 5，其輸出功率誤差藉由 WFNN 類神經網路控制架構產生  $i_{ds}^*$  後，與鎖相迴路法產生之  $\theta_e$ ，經由軸座標轉換產生  $i_u^*$ 、 $i_v^*$ 、 $i_w^*$ ，再經由控制達成與市電併聯同步。

本計畫採用鎖相迴路法產生之  $\theta_e$  達到三相電壓同步[4-6]，其公式推導如下：

假設三相電壓為：

$$v_u = V_m \sin \theta_e \quad (1)$$

$$v_v = V_m \sin(\theta_e - 120^\circ) \quad (2)$$

$$v_w = V_m \sin(\theta_e + 120^\circ) \quad (3)$$

其中  $V_m = |v_u| = |v_v| = |v_w|$ 。在此定義鎖相迴路法的軸轉換公式：

$$v_\alpha = \frac{2}{3}v_u - \frac{1}{3}v_v - \frac{1}{3}v_w \quad (4)$$

$$v_\beta = -\frac{\sqrt{3}}{3}v_v + \frac{\sqrt{3}}{3}v_w \quad (5)$$

將(1)至(3)式代入至(4)與(5)式，可以推得：

$$v_\alpha = V_m \sin \theta_e \quad (6)$$

$$v_\beta = V_m \cos \theta_e \quad (7)$$

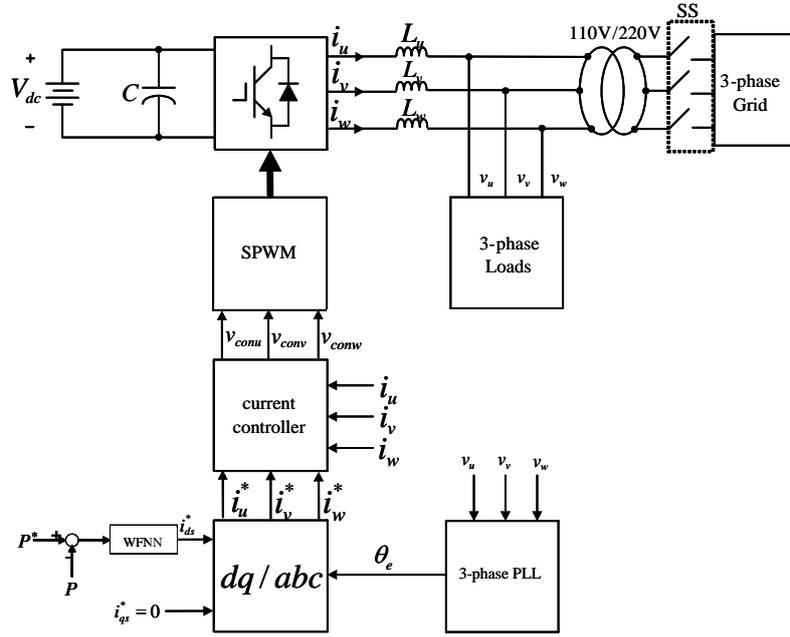


圖 5. 三相市電併聯控制架構圖

假設同步旋轉座標軸轉換公式：

$$\begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_e & -\sin \hat{\theta}_e \\ \sin \hat{\theta}_e & \cos \hat{\theta}_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

將(6)與(7)代入(8)式，可以得到(9)式：

$$\begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \sin(\theta_e - \hat{\theta}_e) \\ \cos(\theta_e - \hat{\theta}_e) \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中  $\delta = \theta - \hat{\theta}$ ，當  $\delta = 0$ ，即三相電源之電壓角位置與鎖相迴路之角位置完全一樣，達到鎖相之目的，此時  $v_q = 0$ ， $v_d = V_m$ 。如圖 6 三相鎖相迴路控制架構圖所示，首先將三相電壓源  $v_u$ 、 $v_v$  與  $v_w$  經由同步旋轉座標軸轉換得到非時變物理量  $v_q$  與  $v_d$ ，其中

$v_d$  代表三相電壓源相電壓之峰值， $v_q$  代表三相電壓角度  $\theta$  與鎖相迴路輸出角度  $\hat{\theta}$  之間的誤差量，將  $v_q^*$  設為零，再利用比例積分控制器  $K_f(s)$  去調節  $v_q^*$  與  $v_q$  的誤差量。其誤差量經過比例積分控制器獲得角頻率  $\hat{\omega}_e$  再經過積分器，即可輸出角度  $\hat{\theta}_e$ ，此角度再輸入至軸轉換方程式，形成一閉迴路控制，進而達成三相鎖相之目的。實作波形如圖 7 及圖 8 所示，由實作可知，利用鎖相迴路法可達到市電併聯同步。

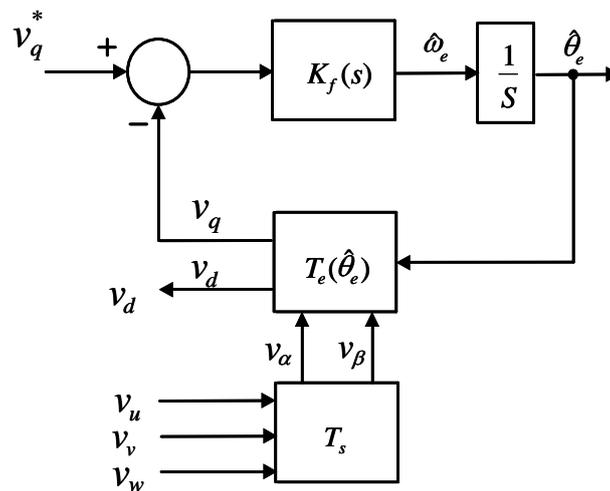


圖 6. 鎖相迴路法控制架構圖

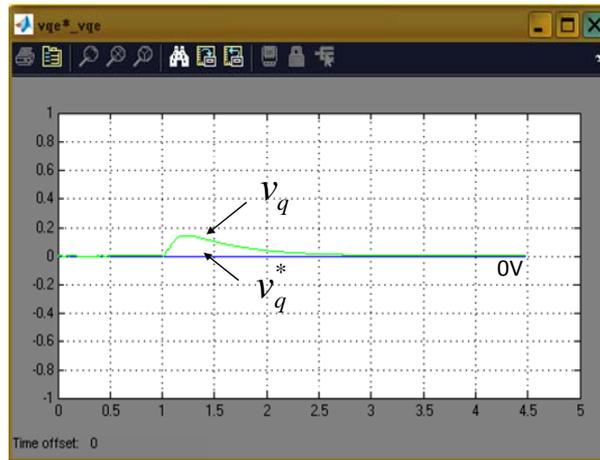


圖 7. 鎖相迴路法三相電壓角度

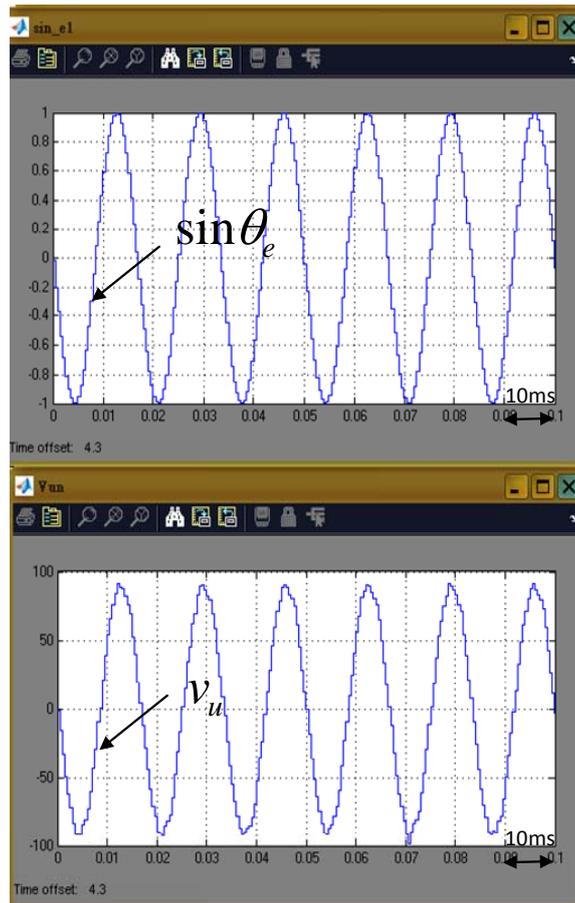


圖 8. 鎖相迴路法實作波形

#### 四、小波模糊類神經網路控制器設計

近年來智慧型控制之發展的崛起，其在解決複雜系統上有良好的效果，如 FNN 不需要數學式推論，便能夠處理非線性且不確定性之系統[7, 8]。因此，現今有許多研究利用 FNN 來處理複雜的系統平台並基於倒傳遞法則來建構出一卓越的控制器[9, 10]；另外根據小波理論的時域及頻域特性，其對於收斂性速度與精確性有更勝一籌之效果[11, 12]。因此本計畫結合了模糊類神經網路與小波型函數之特性形成 WFNN 模糊類神經網路，主要是用來改善暫態響應速度並且能夠快速達成孤島偵測之目的。詳細網路架構與學習法則描述如下：

##### (一)小波模糊類神經網路架構

圖 9 為小波模糊類神經網路架構之架構圖，本身為包含輸入層、歸屬函數層、規則層、小波層與輸出層的五層神經網路架構，每層間的訊號傳遞描述情形，如下所述：

➤第一層(輸入層)：

在輸入層中，其輸入輸出可表示成：

$$net_i^1(N) = x_i^1, y_i^1 = f_i^1(net_i^1(N)) = net_i^1(N), \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

其中  $x_1^1 = e$ ； $\dot{x}_1^1 = \dot{e} = x_2^1$ ，分別表示成誤差值與誤差值的微分； $N$  表示第  $N$  次網路訓練次數；本研究中輸入變數分別為  $e = P^* - P_{inv}$  實功控制、 $e = Q^* - Q_{inv}$  虛功控制。

➤第二層(歸屬函數層)：

在歸屬函數層中，歸屬函數是採用高斯函數，其控制節點表示成：

$$net_j^2(N) = \frac{-(y_i^1 - m_j)^2}{\sigma_j^2}, \quad y_j^2(N) = f_j^2(net_j^2(N)) = \exp(net_j^2(N)) \quad (11)$$

$$i=1,2 \quad j=1,2,\dots,n$$

其中  $m_j$  與  $\sigma_j$  分別為第  $j$  項高斯函數的均值與標準差，並將輸入  $y_i^1$  至第二層節點， $n$  為相對於輸入節點之總數。

➤ 第三層(規則層)：

在輸出層中，控制節點是將各個輸入相乘後再輸出，其表示成：

$$net_k^3(N) = \prod_j w_{jk}^3 y_j^2(N) \quad (12)$$

$$y_k^3(N) = f_k^3(net_k^3(N)) = net_k^3(N), \quad k=1,\dots,p \quad (13)$$

其中  $y_j^2$  為第  $j$  個輸入， $w_{jk}^3$  為連結歸屬函數層與規則層間的權重值，此設為 1。

➤ 第四層(小波層)：

$y_k^3$  為次一節點輸入，在這一層中包含  $k$  個小波函數，小波函數如下所示， $\psi_k$  為小波函數輸出結果：

$$\phi_{ik}(x) = \frac{1}{\sqrt{|\sigma_j|}} \left[ 1 - \frac{(x_i^1 - m_j)^2}{\sigma_j^2} \right] \exp\left[ -\frac{(x_i^1 - m_j)^2}{2\sigma_j^2} \right], \quad i=1,2 \quad k=1,\dots,p \quad (14)$$

$$\psi_k = \sum w_{ik} \phi_{ik}(x), \quad i=1,2 \quad k=1,\dots,p \quad (15)$$

其中  $\psi_k$  為第  $k$  項小波函數輸出至小波層節點， $w_{ik}$  為小波函數層內之小波權重值。

在第  $l$  層之輸出可表示：

$$net_l^4(N) = \prod_k \psi_k w_k^4 y_k^3(N), \quad i=1,2 \quad k=1,\dots,p \quad (16)$$

$$y_l^4(N) = f_l^4(net_l^4(N)) = net_l^4(N), \quad l=1,\dots,q \quad (17)$$

➤ 第五層(輸出層)：

在輸出層中，其控制節點是將所有輸入加總後輸出，可表示成：

$$net_o^5(N) = \sum_l w_l^5 y_l^4(N), \quad (18)$$

$$y_o^5(N) = f_o^5(net_o^5(N)) = net_o^5(N), \quad o=1 \quad (19)$$

其中  $w_l^5$  為小波層和輸出層之間的連結權重值。 $y_l^4$  為第  $l$  輸入。

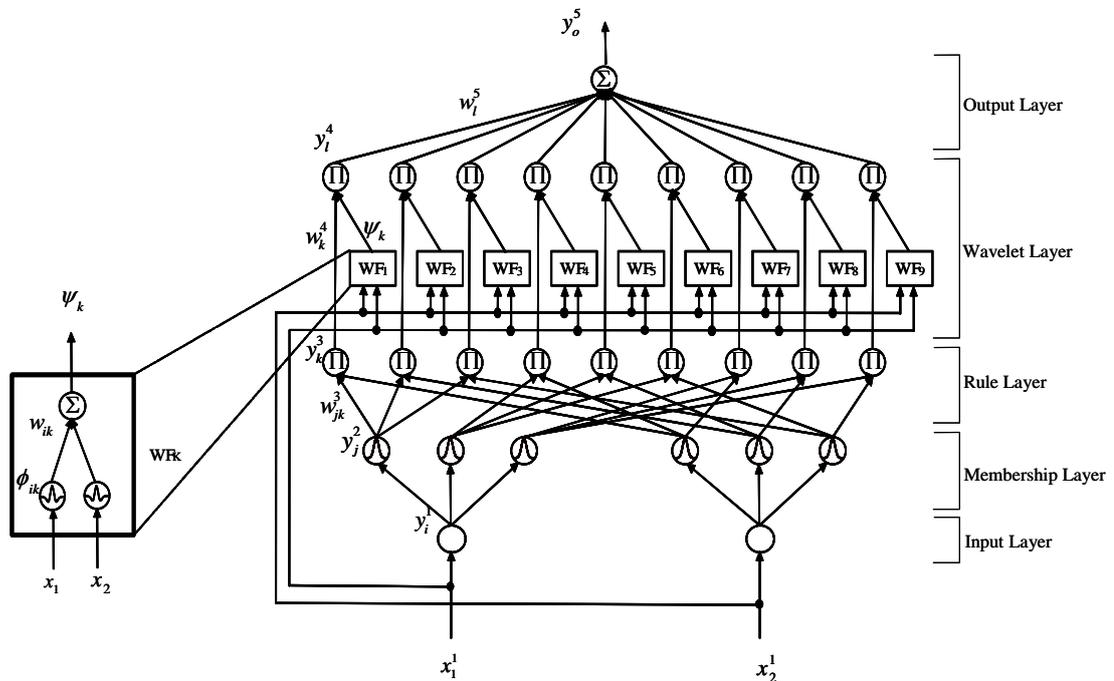


圖 9. 小波模糊類神經網路

## (二) 小波模糊類神經網路線上學習法則

小波模糊類神經網路的學習法則的重點是在監督式線上學習法則，藉由調整輸出層之連結權重值及倒傳遞學習法則來縮減能量函數，為了描述小波模糊類神經網路的線上學習法則，首先定義能量函數如下：

$$V = \frac{1}{2}(P^* - P_{inv})^2 = \frac{1}{2}e^2 \quad (20)$$

而學習演算法則描述如下：

➤ 第五層(輸出層)：

倒傳遞的誤差項如下：

$$\delta_o^5 = -\frac{\partial V}{\partial y_o^5} = -\frac{\partial V}{\partial P_{inv}} \frac{\partial P_{inv}}{\partial y_o^5} \quad (21)$$

連結權重值的更新疊代如下：

$$\Delta w_l^5 = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial w_l^5} = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial w_l^5} = \eta_w \delta_o^5 y_l^4 \quad (22)$$

➤ 第四層(小波層)：

在此層，倒傳回來的誤差項如下所示：

$$\delta_l^4 = -\frac{\partial V}{\partial y_l^4} = -\frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} = \delta_o^5 w_l^5 \quad (23)$$

➤ 第三層(規則層)：

在此層，倒傳回來的誤差項如下所示：

$$\delta_k^3 = -\frac{\partial V}{\partial y_k^3} = -\frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} \frac{\partial y_l^4}{\partial y_k^3} = \delta_l^4 w_k^4 \psi_k \quad (24)$$

連結權重值的更新疊代如下：

$$\Delta w_{ik}^4 = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial w_{ik}^4} = -\eta_w \frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} \frac{\partial y_l^4}{\partial w_{ik}^4} = \begin{cases} \eta_w \delta_l^4 y_k^3 w_k^4 \phi_{1k}, & i=1 \\ \eta_w \delta_l^4 y_k^3 w_k^4 \phi_{2k}, & i=2 \end{cases} \quad (25)$$

➤ 第二層(歸屬函數層)：

倒傳遞的誤差項如下：

$$\delta_j^2 = -\frac{\partial V}{\partial y_j^2} = -\frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} \frac{\partial y_l^4}{\partial y_k^3} \frac{\partial y_k^3}{\partial y_j^2} = \sum_k \delta_k^3 y_k^3 \quad (26)$$

均值的更新疊代如下：

$$\Delta m_j = -\eta_m \frac{\partial V}{\partial m_j} = -\eta_m \frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} \frac{\partial y_l^4}{\partial y_k^3} \frac{\partial y_k^3}{\partial y_j^2} \frac{\partial y_j^2}{\partial m_j} = \eta_m \delta_j^2 y_j^2 \frac{2(y_i^1 - m_j)}{\sigma_j^2} \quad (27)$$

標準差的更新疊代如下：

$$\Delta \sigma_j = -\eta_\sigma \frac{\partial V}{\partial \sigma_j} = -\eta_\sigma \frac{\partial V}{\partial y_o^5} \frac{\partial y_o^5}{\partial y_l^4} \frac{\partial y_l^4}{\partial y_k^3} \frac{\partial y_k^3}{\partial y_j^2} \frac{\partial y_j^2}{\partial \sigma_j} = \eta_\sigma \delta_j^2 y_j^2 \frac{2(y_i^1 - m_j)^2}{\sigma_j^3} \quad (28)$$

其中  $\eta_w$ 、 $\eta_m$  和  $\eta_\sigma$  分別為連結權重值、均值與標準差的學習速率。因此，連結權重值、歸屬函數之均值與標準差可根據下式來調整：

$$w_{ik}^4(N+1) = w_{ik}^4(N) + \Delta w_{ik}^4 \quad (29)$$

$$m_j(N+1) = m_j(N) + \Delta m_j \quad (30)$$

$$\sigma_j(N+1) = \sigma_j(N) + \Delta \sigma_j \quad (31)$$

由於系統存在不確定項，系統的靈敏度 ( $\partial V / \partial y_o^5$ ) 無法精確求得。為了克服此問題及增加權重值的線上學習能力，採用一誤差適應法則如下：

$$\delta_o^5 \cong e + A\dot{e} \quad (32)$$

以取代系統的靈敏度，其中  $A$  為一常數。

### (三) 市電併聯系統測試

為測試市電併聯，本計畫先以 PI 控制器做模擬測試，其中系統額定輸出實功率設為 2kW、虛功率為 0VAR，利用 PI 控制器實功率追隨響應及虛功率追隨響應，如圖 10、11 所示。另外本計畫所提 WFNN 智慧型控制器，其功用除了能提升換流器之暫態響應能力外，因 WFNN 智慧型控制器具有快速學習與強健性之特性，於市電併聯下之功率較不易受外在因素擾動而有不良現象產生，因此以 WFNN 取代 PI 控制器，圖 12、

13 分別為以 WFNN 智慧型控制器之實功率追隨響應及虛功率追隨響應模擬結果圖，圖中之暫態響應能夠緊緊跟隨緩起動之控制命令，相較於圖 10 利用 PI 控制器之暫態響應能力，其響應能力獲得大幅度改善。圖 14、15 分別為利用 PI 與 WFNN 控制器之實作圖，由實作結果可與模擬相互驗證，因此本計畫所提之 WFNN 控制器，其暫態響應之誤差值明顯優於傳統 PI 控制器。而 WFNN 智慧型控制器之另一優勢為提升孤島偵測之偵測速度，於次章節會加以說明。

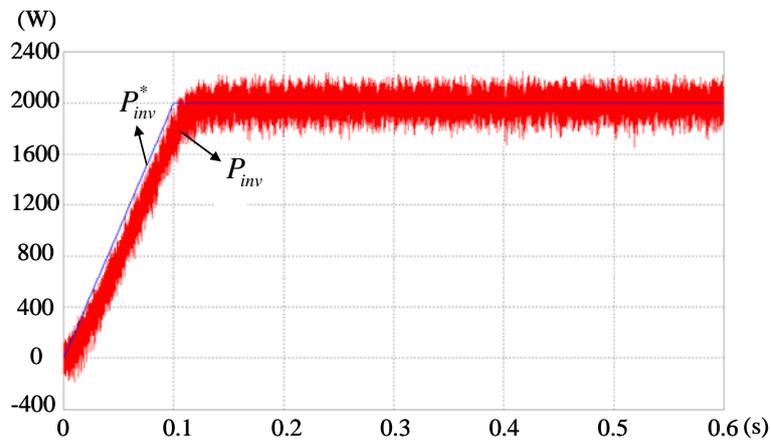


圖 10.利用 PI 控制器之實功率命令及回授模擬圖

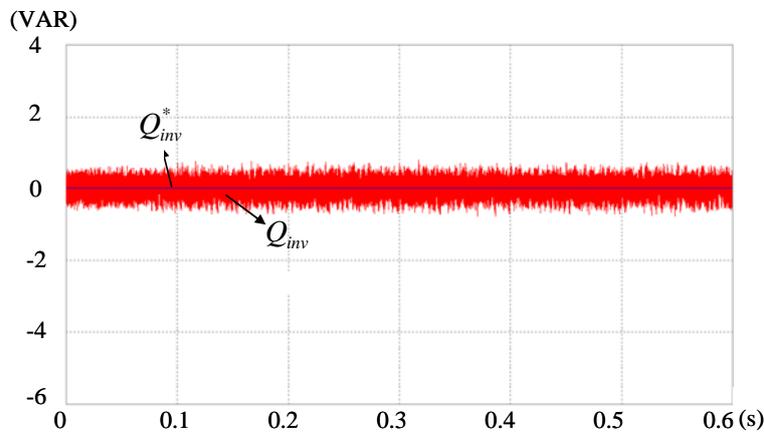


圖 11.利用 PI 控制器之虛功率命令及回授模擬圖

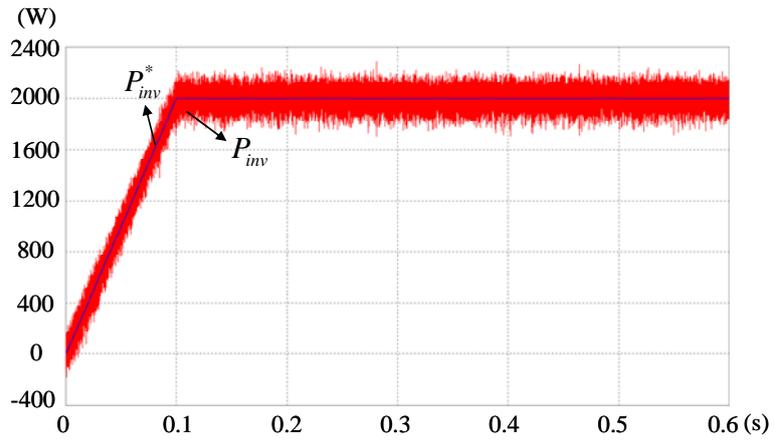


圖 12.利用 WFNN 控制器之實功率命令及回授模擬圖

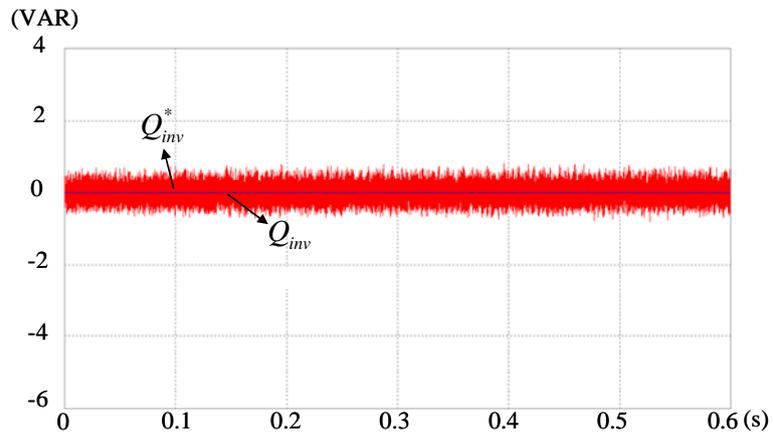


圖 13.利用 WFNN 控制器之虛功率命令及回授模擬圖

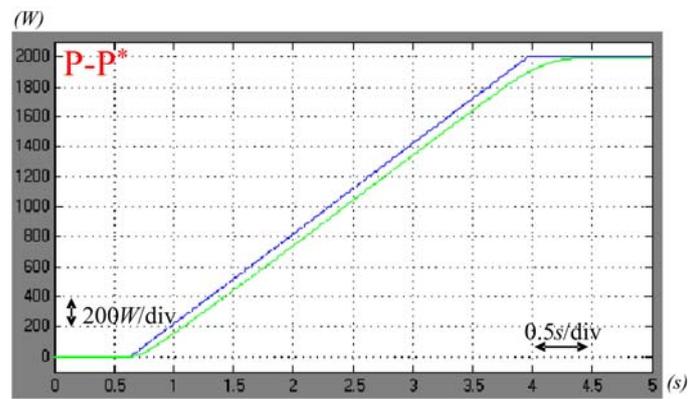


圖 14.利用 PI 控制器之實功率命令及回授實作結果圖

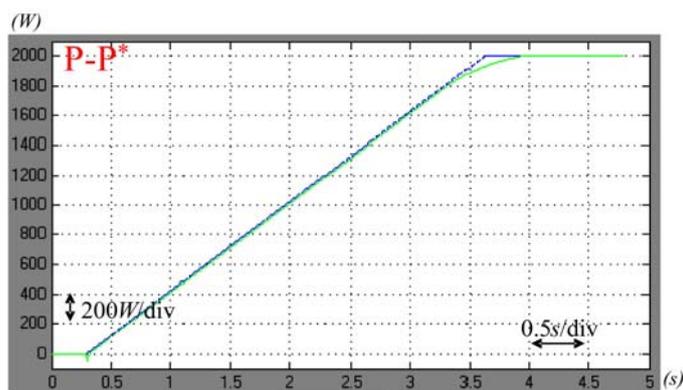


圖 15.利用 WFNN 控制器之實功率命令及回授實作結果圖

## 五、新型主動式孤島偵測法

本計畫已發展新型主動式孤島偵測法，其主要係在  $d$  軸(虛功軸)注入擾動訊號，藉由注入頻率差之訊號至虛功率軸，於市電正常運作時，擾動訊號差值將趨近於零，對市電併聯型變流器而言將無任何正回授訊號影響，因此能夠減低擾動之諧波失真電流的影響。當市電異常或中斷時，此時頻率差值訊號擾動將逐量增大，使  $d$  軸之擾動訊號成分增加並加速頻率偏移至孤島安全規範之外，因此達到孤島偵測目的。

### (一)D 軸擾動訊號注入法

本計畫所提之  $d$  軸擾動訊號注入法之目的在於藉由加入一擾動訊號，使市電脫離時能快速擾動頻率至無法偵測之範圍外，以達成孤島偵測之效果，圖 16 為本計畫所提  $d$  軸擾動訊號注入法控制架構圖。

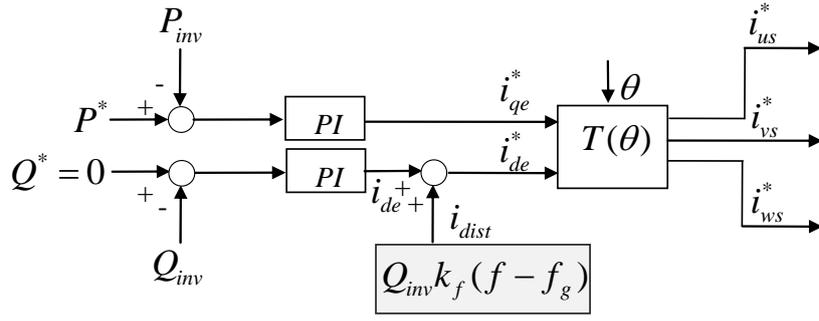


圖 16.  $d$  軸擾動訊號注入法控制架構圖

其中  $P^*$  為實功率控制命令、 $Q^*$  為虛功率控制命令、 $\theta$  為利用鎖相偵測迴路所求得之市電同步角度、 $i_{us}^*$ 、 $i_{vs}^*$ 、 $i_{ws}^*$  為三相電流控制命令、 $i_{us}$ 、 $i_{vs}$ 、 $i_{ws}$  為三相反流器之回授電流、 $i_{qe}^*$ 、 $i_{de}^*$  為  $d$ - $q$  軸輸出電流控制命令，其實功率與虛功率之誤差訊號經由 PI 控制器調整後可得  $d$ - $q$  軸電流命令，而  $i_{de}^*$  為一般虛功軸控制力經由三相座標軸轉換後可產生三相電流控制命令，其主要由  $i_{de}$  與加入之擾動訊號  $i_{dist}$  組成，可表示於(33)、(34)式

$$i_{de} = k_p (Q^* - Q_{inv}) + k_I \int (Q^* - Q_{inv}) dt \quad (33)$$

$$i_{dist} = Q_{inv} k_f (f - f_g) \quad (34)$$

其中  $k_p$  與  $k_I$  則為 PI 控制器之增益值、 $k_f$  為擾動訊號之比例增益、 $f$  為負載端頻率、 $f_g$  為一般市電標準頻率，其所注入之擾動訊號成分，將加速虛軸電流擾動。

由(33)式與(34)式加總後得虛軸之控制力  $i_{de}^*$

$$i_{de}^*(t) = i_{de} + Q_{inv} k_f (f - f_g) \quad (35)$$

將(35)式左右微分與整理後得(36)式

$$\frac{d(i_{de}^*(t))}{dt} + k_p \frac{d(Q_{inv}(t))}{dt} + k_I Q_{inv}(t) + k_f \cdot f_g \frac{d(Q_{inv}(t))}{dt} - k_f \frac{d(Q_{inv}(t)f(t))}{dt} = k_p \frac{dQ^*}{dt} + k_I Q^*$$

(36)

其中  $Q^*=0$ ，並將(36)式兩邊做拉式轉換後得(37)

式

$$sI_{de}^*(s) + k_p \cdot sQ_{inv}(s) + k_I Q_{inv}(s) + k_f f_g \cdot sQ_{inv}(s) - k_f f \cdot sQ_{inv}(s) = 0 \quad (37)$$

$Q_{inv}(s)$ 可整理得

$$Q_{inv}(s) = \frac{-sI_{de}^*(s)}{s[k_p + k_f(f_g - f)] + k_I} = \frac{-I_{de}^*(s)}{k_p + k_f(f_g - f)} + \frac{k_I I_{de}^*(s) / [k_p + k_f(f_g - f)]^2}{s + k_I / [k_p + k_f(f_g - f)]} \quad (38)$$

最後再將左右兩式取反拉式轉換後得(39)式

$$Q_{inv}(t) = \frac{-i_{de}^*(t)}{k_p + k_f(f_g - f)} + \frac{k_I i_{de}^*(t) e^{\frac{-k_I t}{k_p + k_f(f_g - f)}}}{[k_p + k_f(f_g - f)]^2} \quad (39)$$

在無擾動訊號加入之情況下脫離市電時，由於  $RLC$  負載操作於共振頻率點，可視為一電阻性負載，因此換流器輸出虛功率  $Q_{inv} \approx 0$ ，將  $Q_{inv} \approx 0$  帶入 IEEE1547 所規範之無法偵測區 (Non-Detection Zone, NDZ) 範圍表示式(40)式，可得(41)式

$$Q_f \left( \frac{f_{\min}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\min}} \right) \leq \frac{Q_{inv}}{P_{load}} \leq Q_f \left( \frac{f_{\max}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\max}} \right) \quad (40)$$

$$Q_f \left( \frac{f_{\min}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\min}} \right) \leq 0 \leq Q_f \left( \frac{f_{\max}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\max}} \right) \quad (41)$$

由(41)式得知於此情況下將操作在盲點區，因此會有孤島運轉之現象產生。

於擾動訊號加入之情況下脫離市電時， $i_{de}^*(t)$ 與  $f_g - f$  之瞬間改變使得  $Q_{inv}(t)$  不再趨近於零，接著將(39)式帶入(40)式後，

得  $d$  軸注入訊號加速擾動至 NDZ 範圍外之表示式，如第(42)

式所示

$$\begin{cases} \frac{-i_{de}^*(t)}{P_{load}[k_p + k_f(f_g - f)]} + \frac{k_I i_{de}^*(t) e^{\frac{-k_I t}{k_p + k_f(f - f_g)}}}{P_{load}[k_p + k_f(f_g - f)]^2} < Q_f \left( \frac{f_{\min}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\min}} \right) \\ \frac{-i_{de}^*(t)}{P_{load}[k_p + k_f(f_g - f)]} + \frac{k_I i_{de}^*(t) e^{\frac{-k_I t}{k_p + k_f(f - f_g)}}}{P_{load}[k_p + k_f(f_g - f)]^2} > Q_f \left( \frac{f_{\max}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\max}} \right) \end{cases} \quad (42)$$

對於其擾動分析中，由於  $f_g$ 、 $k_p$ 、 $k_I$ 、 $k_f$ 、 $P_{load}$  為皆為正值的常數，因此(42)式之指數與平方項的結果為正，而  $i_{de}^*$  為實功率輸出，因此也恆正，所以(42)式中會影響 NDZ 何時操作於最大值與最小值的關係可改寫為(43)，其中 A 為一恆正的未知數。

$$\frac{-i_{de}^*(t)}{P_{load}[k_p + k_f(f_g - f)]} + A < Q_f \left( \frac{f_{\min}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\min}} \right) \quad (43)$$

將(43)整理後可得，其實會造成 NDZ 之操作關係為  $f_g > f - B$ ，其中 B 為一恆正的未知數。

所以當市電脫離時，若 RLC 負載端所迴授之  $f - B$  的值若低於  $f_g$ ，則會操作於 NDZ 的下限之外，反之，當 RLC 負載端所迴授之  $f - B$  的值若大於  $f_g$ ，則會操作於 NDZ 的上限之外。

## (二)WFNN 智慧型控制器結合孤島偵測

為了使  $d$  軸訊號注入法能達到極致，本研究結合 WFNN 智慧型控制器，讓孤島偵測之響應速度再加快些許，於結合的部分，如圖 16 所示，將外迴路實功率與虛功率的傳統控制器 PI 取而代之成 WFNN 智慧型控制器。由圖 9 所知，該智慧型

控制器輸出訊號可表示為第(18)、(19)式所示，使得虛功率控制器之輸出由(33)式轉變為(44)式，與擾動訊號結合後，虛軸之電流控制命令由(35)式轉變成(45)式

$$i_{de} = [\sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t)] (Q^* - Q_{inv}(t)) \quad (44)$$

$$i_{de}^*(t) = [\sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t)] (Q^* - Q_{inv}(t)) + Q_{inv}(t) k_f (f - f_g) \quad (45)$$

$Q_{inv}(t)$  可整理得(46)式

$$Q_{inv}(t) = \frac{i_{de}^*(t)}{[k_f (f - f_g) - \sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t)]} \quad (46)$$

最後，將(46)式所得之虛功率帶入第(40)式所得之 NDZ 範圍

圖

$$\begin{cases} \frac{i_{de}^*(t)}{[k_f (f - f_g) - \sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t)] P_{load}} < Q_f \left( \frac{f_{\min}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\min}} \right) \\ \frac{i_{de}^*(t)}{[k_f (f - f_g) - \sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t)] P_{load}} > Q_f \left( \frac{f_{\max}}{f_g} - \frac{f_g}{f_{\max}} \right) \end{cases} \quad (47)$$

由於所加入知擾動訊號與智慧型控制之旨在於加速虛功率脫離第(40)盲點偵測區，如第(47)所示，當注入之擾動訊號與虛功率之 WFNN 智慧型控制器輸出的值迅速偏離到達 NDZ 知最小範圍時，即可使虛功率脫離左半邊之 NDZ，相反地，當注入知擾動訊號與虛功率之 WFNN 智慧型控制器輸出的值迅速偏離到達 NDZ 知最大範圍時，即可使虛功率脫離右半邊之 NDZ。

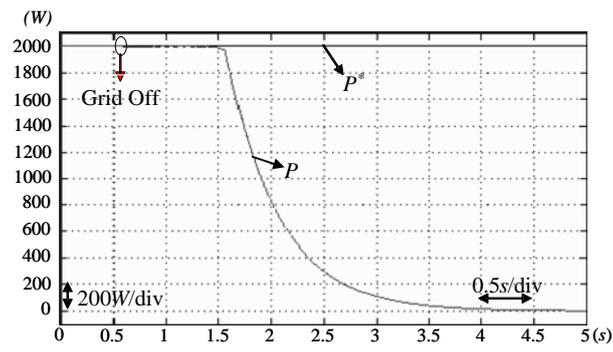
因此，(47)式中會影響孤島偵測速度的關係式為

$$k_f(f - f_g) < \sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t) \quad \text{or} \quad k_f(f - f_g) > \sum_{l=1}^9 w_l^5(t) y_l^4(t) \quad (48)$$

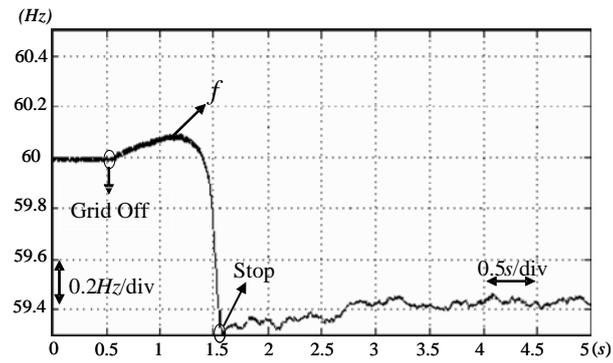
由於  $\sum_{l=1}^9 w_l^5(t) \cdot y_l^4(t)$  為小波類神經網路輸出，其擁有快速的學習調整能力，因此可快速遞增或遞減來使(48)操作於 NDZ 之最高上限與最低下限之效果。

### (三) 新型主動式孤島偵測法實作

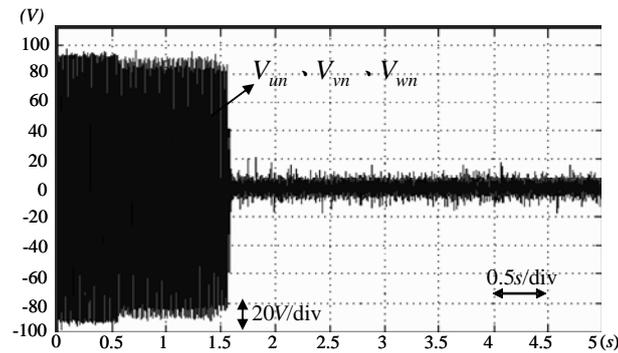
本計畫以 PC-based SIMULINK 控制系統實作驗證所發展之新型主動式孤島偵測，圖 17 為使用 PI 控制器之  $d$  軸擾動訊號注入法之實作結果，市電異常之時間點發生在 0.562(s)，耗時約 1.063 秒偵測到市電中斷或市電異常的現象發生，如圖 17(b) 頻率變化波型與圖 17(c) 電壓變化波型所示，並隨即停止功率輸出至  $RLC$  共振負載槽上，如圖 17(a) 反流器輸出功率波型變化；結合 WFNN 智慧型控制器之  $d$  軸擾動訊號注入法之實作結果如圖 18 所示，當市電中斷或市電異常的情況下其孤島偵測之時間為 0.687 秒。由以上實作結果可得知  $d$  軸擾動訊號注入法結合 WFNN 控制器之孤島偵測響應速度明顯優越於傳統 PI 控制器之孤島偵測響應速度。



(a)



(b)



(c)

圖 17. 使用 PI 控制器之  $d$  軸擾動訊號注入法實作圖

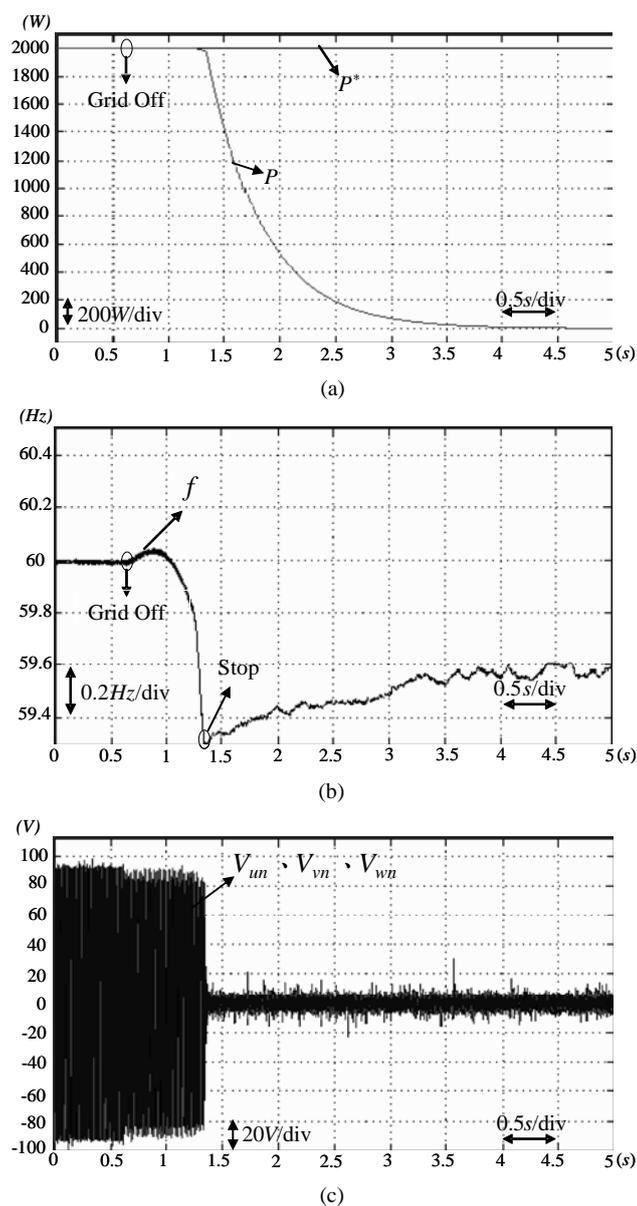


圖 18. 使用 WFNN 控制器之  $d$  軸擾動訊號注入法實作圖

## 六、靜態開關

本計畫採用靜態開關，使併聯於市電之分散式發電系統，於市電故障時，能自主無縫切離形成微電網控制，並當市電恢復後，能恢復與市電併聯，本計畫目前選用型號 K3P20C25DA 三相三極固態繼電器作為開關，如圖 19，其具有電熱負載專用、零點

觸發、常開接點等特性，輸入阻抗 1.5Kohm、控制電壓範圍( $V_{rms}$ )DC 12-32V、輸出負荷電壓範圍：AC 24 - 280V。

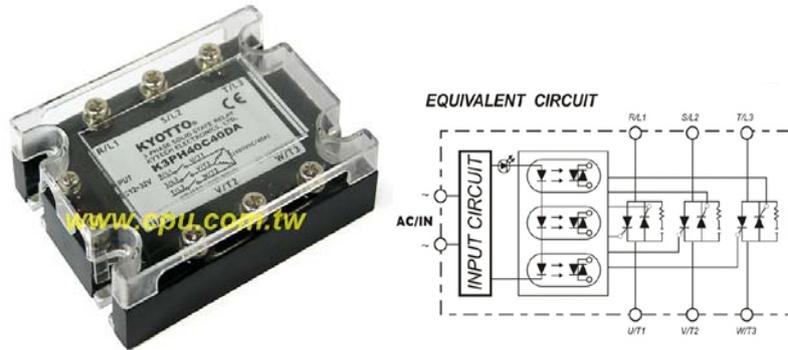


圖 19. 三相三極固態繼電器

為測試靜態開關功能是否正常，利用圖 20 之測試架構，由靜態開關連接市電、反流器及 2kW 負載，量測三種狀況下靜態開關靠反流器端的線間電壓及相電流。

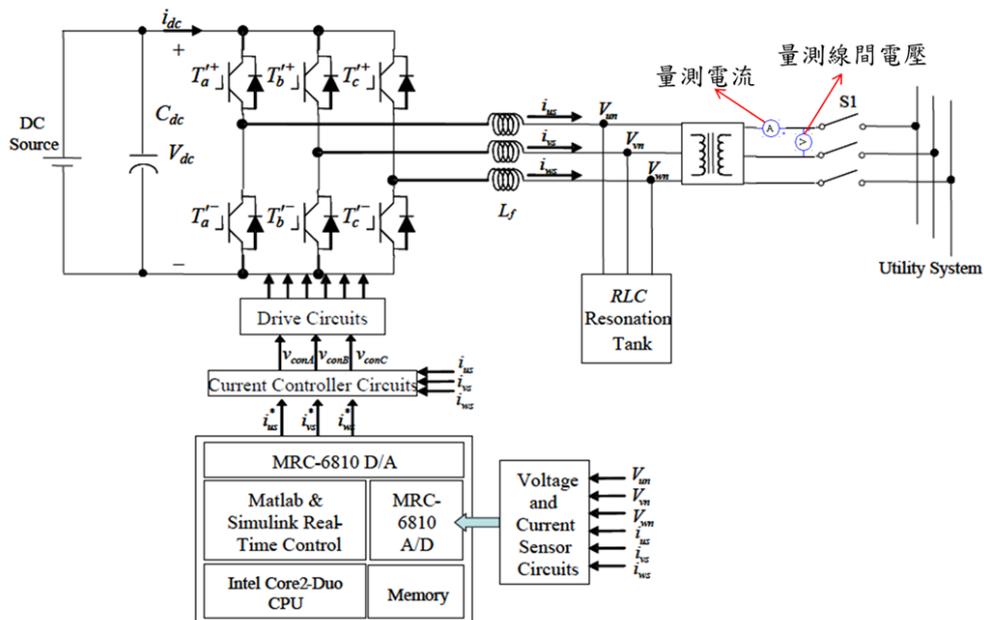


圖 20. 靜態開關測試架構圖

Case1: 靜態開關導通而反流器送出 0kW 功率，此時將由市電供應負載所需的 2kW，其結果如圖 21 所示，而由於電壓為線間電壓，所以與電流會有相差。



圖 21. 靜態開關導通、市電輸入 2kW

Case2: 靜態開關導通而反流器送出功率 2kW，因此市電電流趨近零，此時由反流器供應負載所需的 2kW，其結果如圖 22 所示。

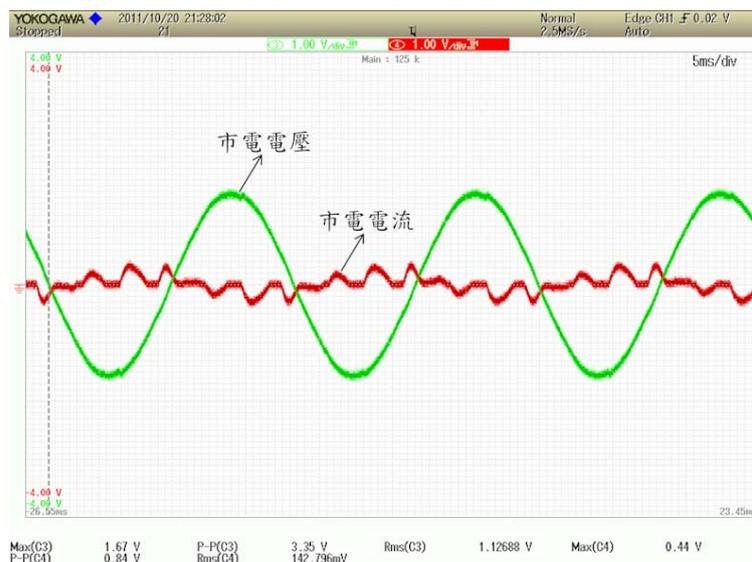


圖 22. 靜態開關導通、市電輸入 0kW

Case3: 當市電發生異常時，測試系統偵測到孤島效應即將靜態開關關閉，此時偵測到電壓電流皆為 0，其結果如圖 23 所示。



圖 23. 偵測孤島效應靜態開關關閉

為了達成 IEEE1547 安全規範之復電要求，當市電發生中斷，欲重新恢復供電時，本計畫利用 RLC 之端電壓與鎖相迴路的相角誤差作為判斷市電恢復的依據，於端電壓恢復 110V 與鎖相迴路之相位角誤差趨近於零的條件下重新將 PWM 與靜態開關之功能開啟並將實功率與虛功率命令回復至預設值，以達成復電偵測之能力。圖 24 為復電偵測實作波型，於 1s 的時間點開始與市電併聯，輸出  $u$  相相電流峰值為 15A，電壓量測點為 S1 之相電壓峰值 180V，於 14s 時市電發生異常狀態且反孤島運轉偵測於 1s 後立即啟動，因此換流器停止輸出功率，間隔約 11s 鐘後市電電源恢復，在 36s 的時間點換流器回復且正常與市電併聯，持續輸出 2kW 的時功率，成功達成復電能力。

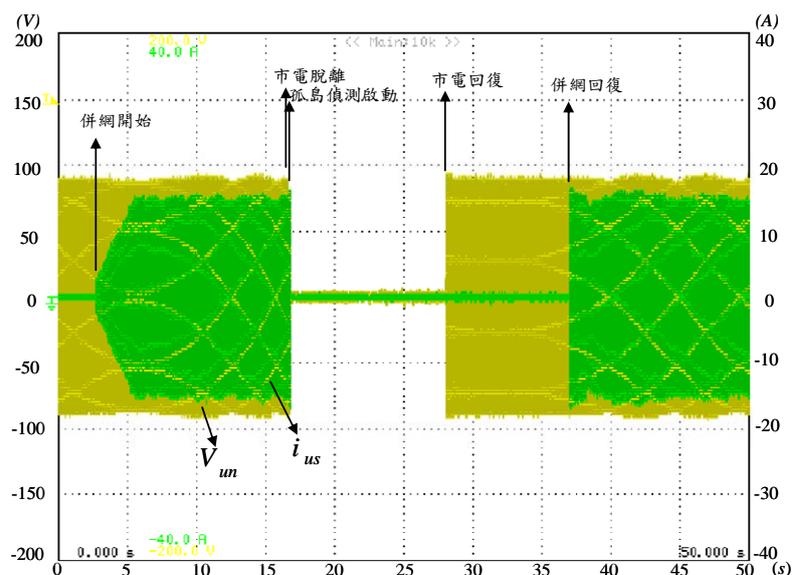


圖 24. 復電偵測實作波型圖

## 七、監控軟體與實作

本計畫為發展微電網系統，購置 Elipse 公司生產之 E3 監控軟體，其輸出資訊可符合 ICCP/IEC-61850 通訊協定，因此將藉由本軟體來開發微電網系統通訊系統。

### (一) Elipse 監控軟體

Elipse software 於 90 年初期在 Porto Alegre 成立，是一間巴西公司，致力於生產工廠自動化的監控軟體。Elipse 於 2000 年開始發展監控軟體 E3。從 2001 年發行後已有 500 套經許可的軟體安裝。E3 可以應用在各種系統上，如：電力公司的操控中心，各種工廠，礦業，自動化建築的控制，遙控及能量控制... 等。相關軟體模組功能介紹如後：

#### a. ElipseX library:

E3 可以將任意物件或在 E3 裡創的物件轉到使用者的 library

中，如圖 25。如此許多物件就可以共享並重複使用，減少重新開發的時間，也可以降低開發過程中測試的次數，大大提昇開發效率。

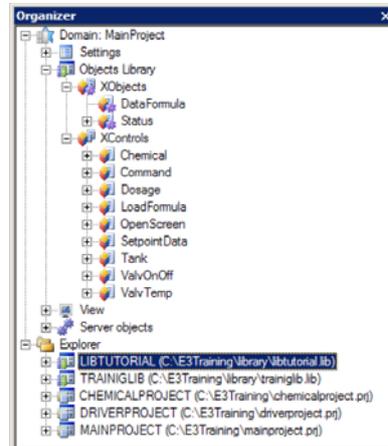


圖 25. 物件設計

## b. Scripts:

使特定的事件觸發一連串的程序，讓使用者能更有彈性的開發。而 E3 內的物件皆有內建的事件及程序供選擇，也可以依據需求自行創立新的事件與程序，如圖 26。

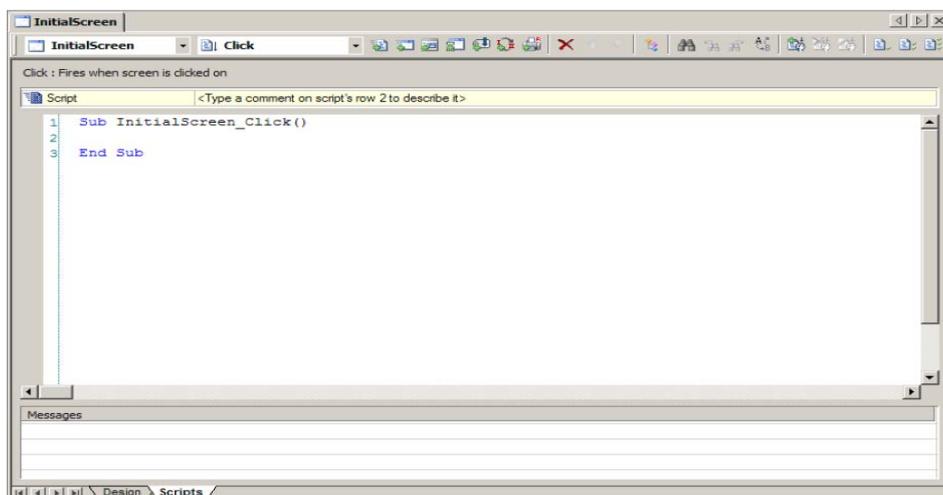


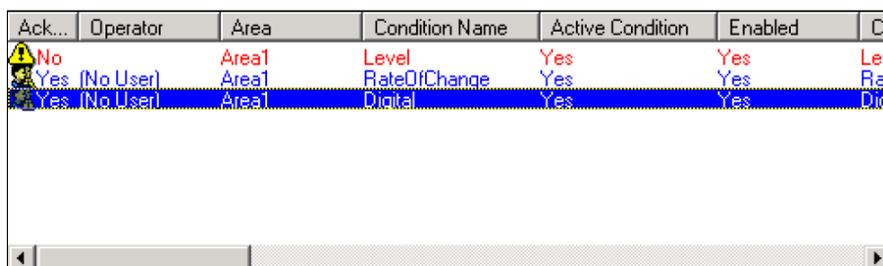
圖 26. 事件及程序設計

**c. Database:**

用以儲存 project 中的歷史、警報及公式等資料。支援 MBD (Microsoft Access)、Oracle 和 Microsoft SQL 等伺服器形式。

**d. Alarms:**

設定在什麼情況下會觸動警報，用以提醒使用者，如圖 27。



Ack...	Operator	Area	Condition Name	Active Condition	Enabled	Ca
No		Area1	Level	Yes	Yes	Lev
Yes (No User)		Area1	RateOfChange	Yes	Yes	Rat
Yes (No User)		Area1	Digital	Yes	Yes	Digi

圖 27. 警報設計

**e. Historic:**

負責應用儲存在 Database 裡的資料。可以在 E3 或其他工具中經由儲存的資料進行分析。

**f. E3 chart:**

可以將目標的即時資訊或儲存在 Database 裡的歷史資訊繪製成圖表，如圖 28。

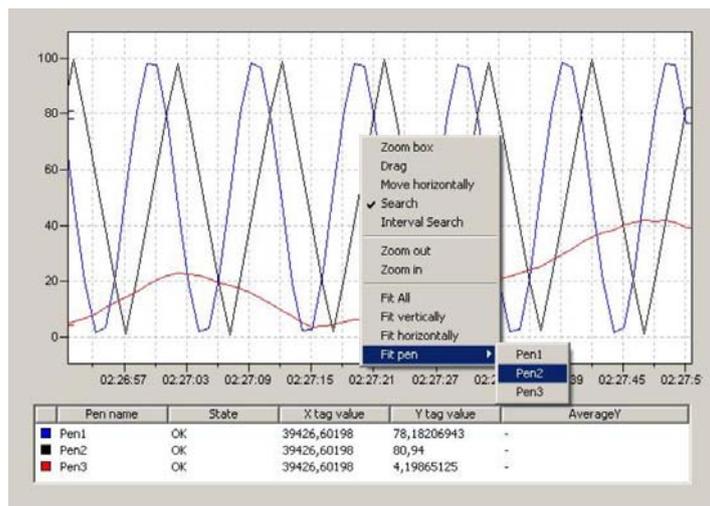


圖 28. 圖表

**g. Report:**

圖 29 為報告資料，可以觀看和列印系統變化值，及儲存在 Database 裡的資料。

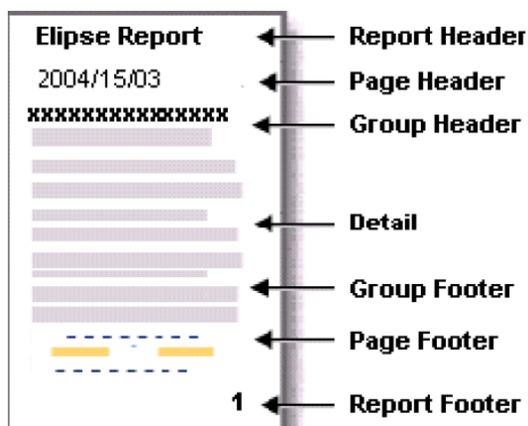


圖 29. 報告資料

**h. Report:**

E3 對 Screen、Alarm 都有存取控制，每個使用者都可以有一組密碼和帳號。

## (二) 監控軟體實作

圖 30 為 E3 通訊架構圖，圖 31 為本計畫利用 E3 之實作圖，主要利用 2 台 Function Generator 產生頻率約 1Hz 大小不同的 2 組訊號，經 A/D 卡送入 Microgrid control center 後，E3 再抓取資料顯示於 IPC 螢幕上，其後再分 2 部分送出資料。一部分經 D/A 卡送出至示波器，另一部份以 IEC 60870-5-104 之規範，通過網路傳送至 Local dispatched control center，再由 E3 抓取顯示於螢幕上。

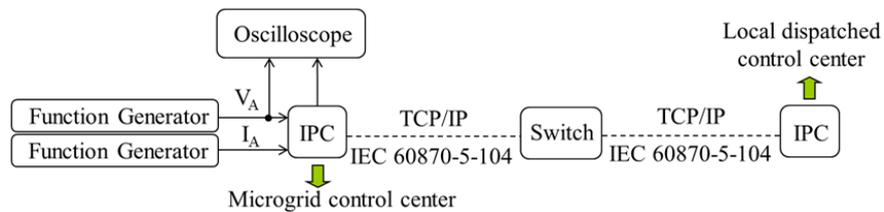


圖 30. 通訊架構圖

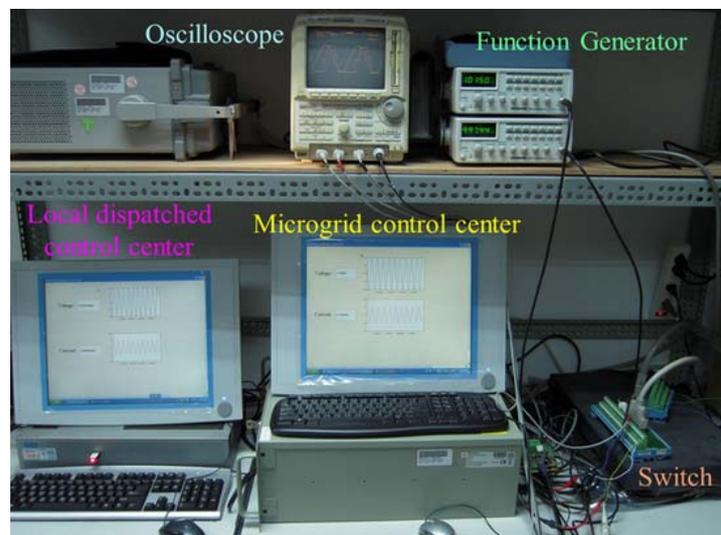


圖 31. 通訊實作圖

由實作測試結果可知，由於 E3 取樣速率較慢，高於 1Hz 的弦波即會失真，因此不適合用於保護、控制等需要較快取樣

速度的工作。但可用於 AMI 的監控等取樣速度較慢且須長時間統計分析數據的工作。

## 八、微電網 PSIM 模擬

圖 2 為本計畫將設置之微電網架構方塊圖，為了減少實際裝設時的問題，將先利用 PSIM 進行模擬，本計畫利用電源供應器模擬主要(Master)分散式電源，而風力發電機 WTG 及太陽能光電板 PV 等分散式電源則定位為從屬(Slave)部分。在市電併聯時，Master 及 Slave 都是輸出固定功率。當微電網脫離市電獨立運轉時，Slave 依然輸出固定功率，而 Master 則要負責穩定微電網的電壓及頻率，故可依據負載的變化做輸出功率的調整。

圖 32 為 PSIM 微電網模擬方塊圖，其中模擬分散式電源包含 Master、PV 及 WTG 等，負載為 4kW。

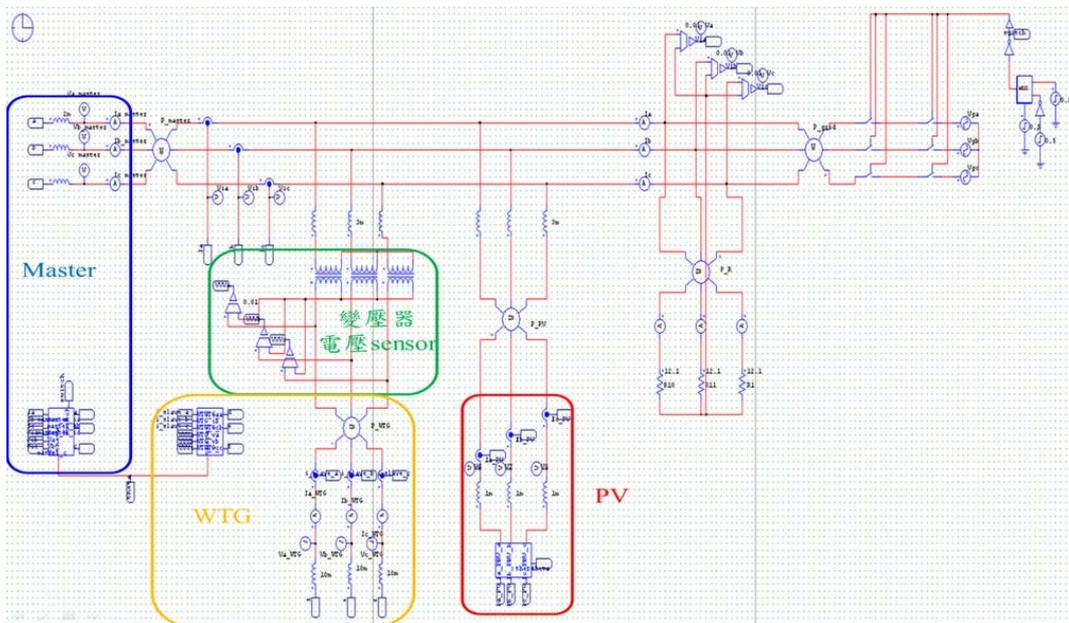


圖 32. PSIM 微電網模擬方塊圖

圖 33 為 Master 控制模擬方塊圖。模擬參數設定 0 到 0.2 秒

時與市電併聯，Master 負責定功率輸出 4kW。0.2 到 0.5 秒脫離市電由 DG 獨立供電，故 Master 負責定電壓輸出 220V 及頻率 60Hz。0.5 到 1 秒恢復併聯市電，Master 也恢復定功率輸出 4kW。

圖 34 為 PV 控制模擬圖。具 MPPT 功能。0 到 0.7 秒輸出功率 4.1kW，0.7 到 1 秒降低照度，輸出功率變為 3kW。

圖 35 為 WTG 控制模擬圖。由原動機代替風機以定轉速 1620rpm 帶動鼠籠式感應發電機發電。輸出功率為 400W。

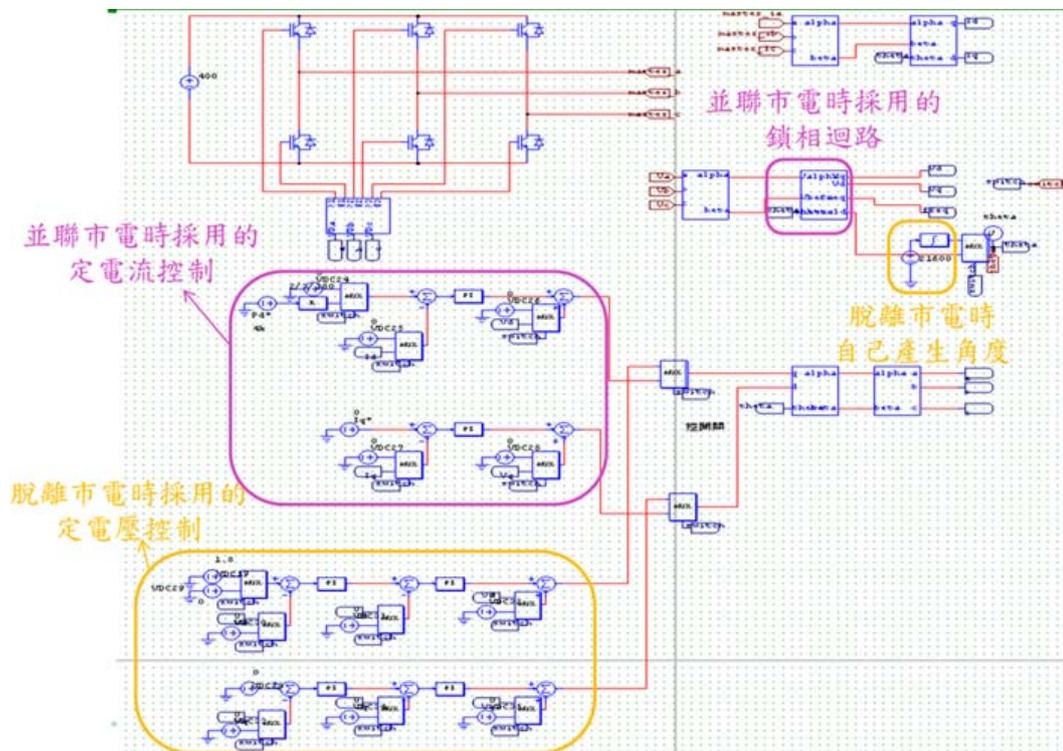


圖 33. Master 控制模擬方塊圖

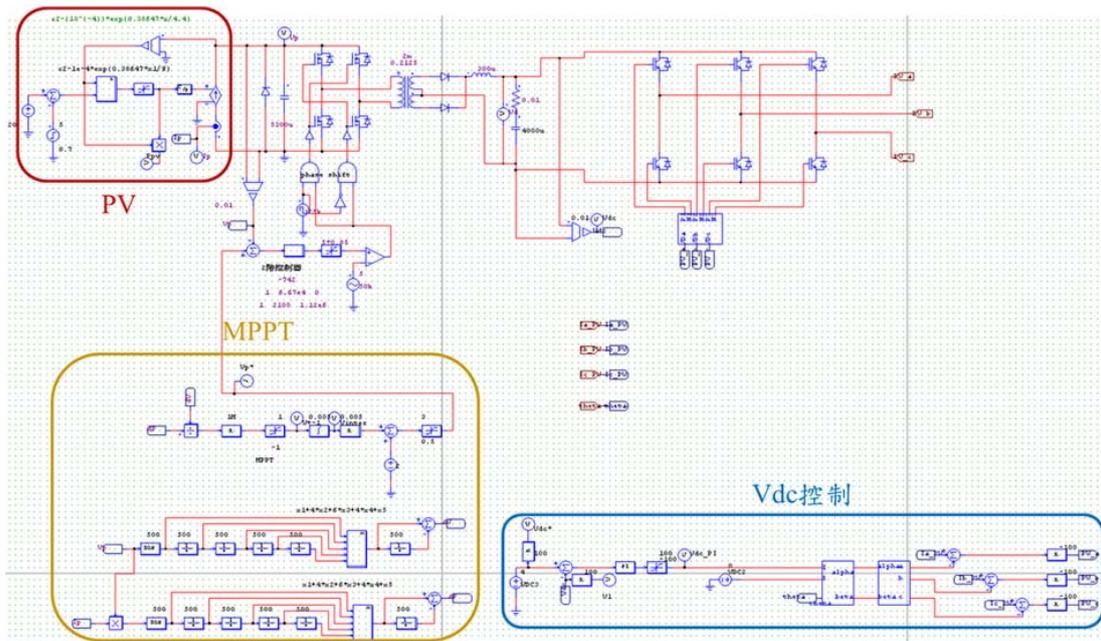


圖 34. PV 控制模擬圖

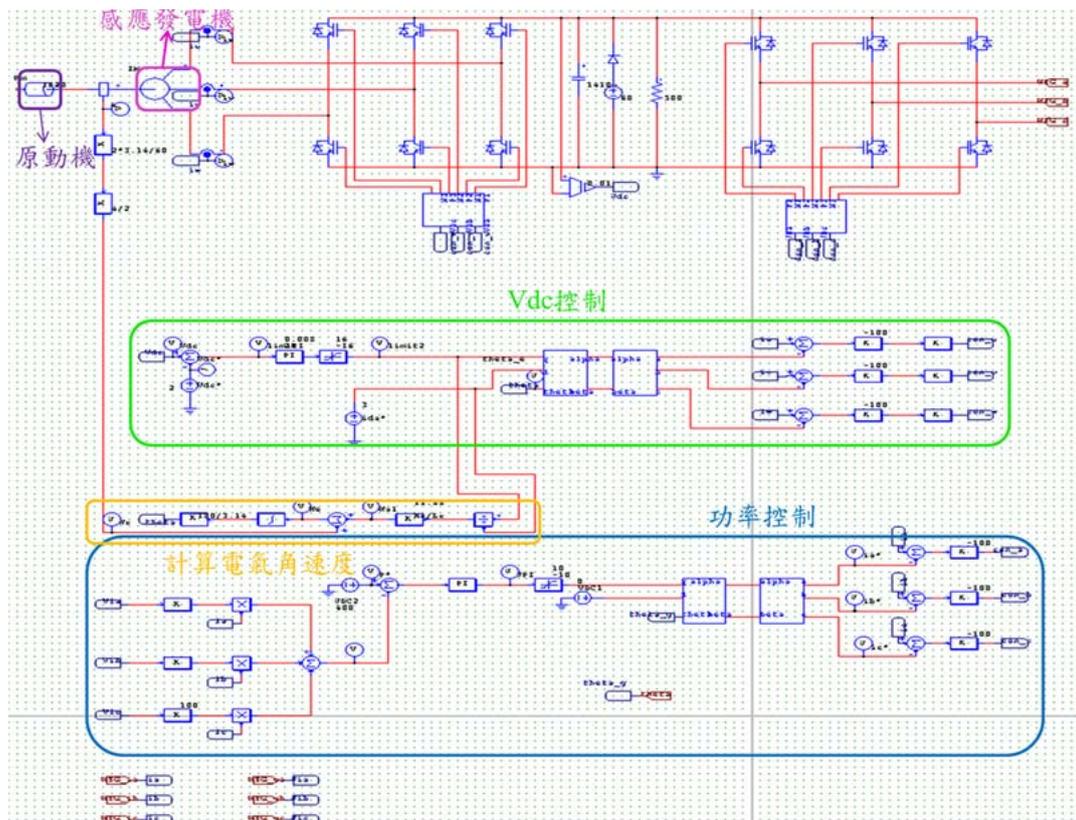


圖 35. WTG 控制模擬圖

圖 36 為微電網模擬結果圖。模擬參數設定 0 到 0.2 秒時與市電併聯，Master 輸出 4kW，PV 輸出 4.1kW，WTG 輸出 400W，因此回灌市電 4.5kW。0.2 到 0.5 秒脫離市電時由 DG 獨立供電，故 Master 負責定電壓輸出 220V 及頻率 60Hz。0.5 到 0.7 秒恢復併聯市電，Master 輸出 4kW，PV 輸出 4.1kW，WTG 輸出 400W，回灌市電 4.5kW。0.7 到 1 秒 PV 輸出降為 3kW，因此回灌市電 3.4kW，故由模擬可知當市電發生異常時，微電網由 Master 負責穩定微電網的電壓及頻率，並依據負載的變化做輸出功率的調整。

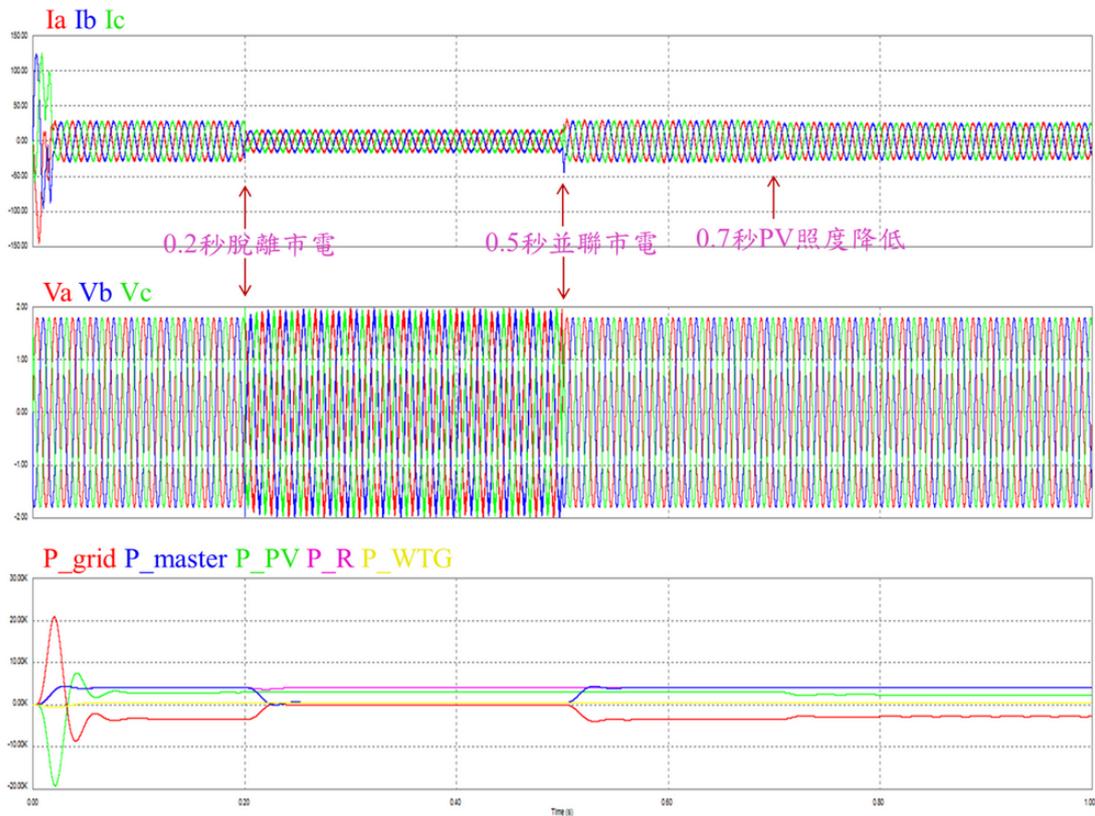


圖 36. 微電網模擬結果圖

### 參、主要發現與結論

本計畫已完成 5kW 直流/交流併網型轉換器之設計與製作，並發展鎖相迴路法達成與市電併聯同步實驗，由控制架構圖中，其輸出功率誤差藉由小波模糊類神經網路 WFNN 架構產生  $i_{ds}^*$  後，與鎖相迴路法產生之  $\theta_e$  經由控制而達成與市電併聯同步。

在測試市電併聯部分，本計畫以 PI 與 WFNN 智慧型控制器做做測試比較，其中系統額定輸出實功率設為 2kW、虛功率為 0VAR。因 WFNN 智慧型控制器，其功用能提升換流器暫態響應能力，並具有快速學習與強健性之特性，因此於市電併聯下之功率較不易受外在因素擾動而有不良現象產生，由模擬與實作結果可知，以 WFNN 智慧型控制器之暫態響應能夠緊緊追隨緩起動之控制命令，相較於利用 PI 控制器之暫態響應能力，其暫態響應之誤差值明顯優於傳統 PI 控制器。

孤島偵測部分，本計畫提出  $d$  軸擾動訊號注入法並結合 WFNN 智慧型類神經網路控制器來做為主動式分散發電系統之孤島偵測演算法之核心。所提之方法為一最小功率品質擾動且最小 NDZ 之孤島偵測法，並於實作結果可得知  $d$  軸訊號擾動法能夠快速擾動頻率至安全範圍 IEEE1547 範圍之外，達成孤島偵測之目的。

本計畫採購 Elipse 公司之 E3 軟體配合研華科技 UNO 工業級電腦等硬體設備以做為整體微電網電力監控系統整合與控制，由實作測試結果可知，由於 E3 取樣速率較慢，高於 1Hz 的弦波即會失真，因此不適合用於保護、控制等需要較快取樣速度的工作。但可用於 AMI 的監控等取樣速度較慢且須長時間統計分析數據的

工作。

微電網控制部分，本計畫利用 PSIM 進行模擬，將分散式電源區分 Master/Slaver 控制法來進行微電網控制，由模擬可知當市電發生異常時，微電網由 Master 負責穩定微電網的電壓及頻率，並依據負載的變化做輸出功率的調整。

### 目前研究成果

本計畫研究成果"Active islanding detection method using D-axis disturbance signal injection with intelligent control"已投稿 IET Renewable Power Generation 期刊。

本計畫研究成果"Novel active islanding detection method using current injection disturbance with intelligent control"正在準備中。

### 肆、參考文獻

1. D. J. Cox, and T. Davis, "Distributed generation and sensing for intelligent distributed microgrids," IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering, Los Angeles, pp. 5, 2006. °
2. R. H. Lasseter, "Microgrids," Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 1, pp. 305-308, 2002.
3. P. Paigi and R. H. Lasseter, "Autonomous control of microgrids," Power Engineering Society General Meeting, 2006.
4. F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre and A. V. Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 53, no. 5,

- pp. 1398-1409, 2006.
5. J. Youngseok, C. Jaeho, Y. Byunggyu and Y. Gwonjong, "Optimal Design of Active Anti-islanding Method Using Digital PLL for Grid-connected Inverters," IEEE Power Electronics Conference, pp. 1-6, 2006.
  6. S.-K Chung, "Phase-locked loop for grid-connected three-phase power conversion systems," IEE Proceedings -Electric Power Applications, vol. 147, no. 3, pp. 213-219, 2000.
  7. W. Yu and X. Li, "Fuzzy identification using fuzzy neural networks with stable learning algorithms," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 12, no. 3, pp. 411-420, 2004
  8. F. J. Lin, H. J. Shieh, P. K. Huang and L. T. Teng, "Adaptive control with hysteresis estimation and compensation using RFNN for piezo-actuator," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr., vol. 53, no. 9, pp. 1649-1661, 2006
  9. Y. Gao and M. J. Er, "An intelligent adaptive control scheme for postsurgical blood pressure regulation," IEEE Trans. Neural Netw., vol. 16, no. 2, pp. 475-483, 2005
  10. F. J. Lin, P. K. Huang, C. C. Wang and L. T. Teng, "An induction generator system using fuzzy modeling and recurrent fuzzy neural network," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 1, pp. 260-271, 2007
  11. J. Zhang, G. G. Walter, Y. Miao and W. N. W. Lee, "Wavelet neural networks for function learning," IEEE Trans. Signal Process., vol. 43, no. 6, pp. 1485-1497, 1995
  12. Q. Zhang, "Using wavelet networks in nonparametric estimation," IEEE Trans. Neural Netw., vol. 8, no. 2, pp. 227-236, 1997

