

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

應用連續小波轉換於分散式電源與市電解聯之即時預警系統研製(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-168-011-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：崑山科技大學電機工程系

計畫主持人：謝承道

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 95 年 10 月 30 日

# 分散式發電系統安全併聯運轉技術提昇之研究

## 應用連續小波轉換於分散式電源與市電解聯之即時預警系統研製(II)

計畫編號：NSC 94-2213-E-168-011

執行期間：2005/08/01~2006/07/31

主持人：謝承道 崑山科技大學電機系

### 一、中文摘要(關鍵詞：分散式發電系統、獨立運轉現象、連續小波轉換。)

由於分散式電源建置於配電系統附近，但隨著分散式電源之佔比增加，必將對目前已運轉之電力系統造成衝擊，諸如對配電系統電力品質之影響、獨立運轉現象發生之可能性及電力系統穩定度之餘裕降低等。分散式發電系統與市電並聯時，除了需考慮同步化技術外，其中最重要者，尚需考慮分散式電源獨立運轉現象的檢測。因分散式發電系統常屬私人擁有，並不受電力公司直接控制，但此事故發生時，如未在事前予以縝密規劃，即有可能擴大事件影響範圍，造成嚴重損害，因此獨立運轉現象之檢測是一可行且實用之研究方向。因此，本計畫即研究一新式分散式發電系統獨立運轉現象偵測法，並融合主動型與被動型偵測技術，以建構混合型獨立運轉檢測專用保護電驛，達到快速及正確檢知系統獨立運轉之目標。本計畫並利用電力反流器(power inverter)控制輸出電流，再輔以連續小波轉換技術分別對電壓及頻率進行運算及解析，進而掌握市電運轉或解聯之狀態，以有助於相關保護控制對策之施行。

英文摘要(Keywords: Dispersed power generation system, Independent operation, Continuous wavelet transform.)

Recently, due to the rapid decrease in fossil fuels, percentage of the installation of dispersed

small-scaled generators is increasing. The dispersed units, such as battery energy storage system, residential photovoltaic system, wind generation, and cogeneration, have been operated effectively in parallel with utility networks. One of critical concerns in the operation of grid-connected dispersed power generation systems is the occurrence of independent operation. The independent operation is a scenario where dispersed generators continue to operate after the utility supply is disconnected. It may bring hazards to electric utility personnel and complicate the orderly reconnection of the grid. In this project, the continuous wavelet transform combined with passive and active method was applied to detect the independent operation. A Morlet wavelet basis function will be embedded to ensure the expected computational performance. The proposed approach will be tested on various scenarios. From these test results, the feasibility and effectiveness of the approach are shown.

### 二、計畫緣由與目的

傳統之化石能源經長期大量的開採使用，如今已日漸耗竭，此外，傳統之化石能源對環境之衝擊亦日漸惡化，如造成環境污染與溫室效應現象；如何減少對傳統之化石能源的依賴，已成為目前全世界

之重要課題。因此有 1997 年京都議定書之訂定。為達成減少對化石能源之依賴，必須加速再生能源之開發與利用。再生能源取自自然環境，為自然產生之能源，具有低環境污染之特性，理論上取之不盡、用之不竭，但其普遍具有低能源密度之特性且其利用必須配合當地的條件加以評估其可行性，因此目前之開發及利用尚不十分普遍。

台灣自產之能源十分有限，大部分石化原料像石油、煤及天然氣皆需仰賴進口，不僅原料成本較貴且易受國際市場波動影響及控制，如能有效開發自產能源，對降低進口能源之依賴及分散能源之取得皆有幫助，另一方面，國人環保意識的抬頭，台電在興建輸、配電變電所與一般大型集中式火力電廠或核能電廠往往遭受到民眾激烈的抗爭。此外，再生能源為可永續利用之潔淨能源，對環境與生態之影響甚小，因而各國皆大力推行，被視為舒緩環境汙染及改善溫室效應之有效措施。因此，發展再生能源已列為政府在 2008 年國家發展重點計劃之施政重點。

另外，為因應我國之電業自由化，綜合電業發電業及一定容量以上之自備發電業者，均需負擔天然氣及再生能源配比任務。因此，在未來電業自由化的市場架構下，勢必造成各種分散式電源之研發與設置，朝向多元發展，例如：汽電共生系統、小型模組化的發電機、儲能系統等新

的發電科技。這些小型汽電共生機組及再生能源發電系統可稱為分散式發電系統 [1]，由於設備容量一般較小，所以大部份會與電力公司配電系統並聯。未來電力系統的分散式電源佔比將逐漸提高 [2,3]。由於分散式電源建置於配電系統附近，隨著分散式電源之佔比增加，必將對目前已運轉之電力系統造成衝擊，諸如對配電系統電力品質之影響、獨立運轉現象發生之可能性及電力系統穩定度之餘裕降低等 [4-7]。

分散式發電系統與市電並聯時，除了需考慮同步化技術外，其中最重要者尚需考慮分散式電源獨立運轉現象的檢測 [8]。因分散式發電系統常屬私人擁有，並不受電力公司直接控制，因此事故發生時，如未在事前予以縝密規劃，即有可能擴大事件影響範圍，造成嚴重損害。獨立運轉現象期間，電壓、頻率不穩定，可能造成一些較敏感性的負載受到損害。另一方面，因獨立運轉區域仍維持受電並未切離，有可能造成相關區域維修人員之安全顧慮。

台灣電力自由化允許合格之民營發電廠併聯目前電力系統，而小型之分散式發電系統（如太陽能、風力發電系統、及汽電共生等）併入配電系統運轉，更已成為未來再生能源之發展方向 [9-11]。然而將分散式發電系統併入配電系統運轉勢必逐漸對現有之配電系統產生影響，不論

是運轉、規劃、保護協調等方面，都將造成衝擊。

有鑑於此，歐美日等國電力學者專家已相繼投入研究，其中於配電系統中可能發生之分散式發電系統獨立運轉現象，更已成為目前極重要之研究課題[12-15]。此現象即發生於電力公司因故供電中斷，但各分散式發電系統並未檢知，且未即時切離市電網路時，所可能造成部份配電系統呈現單獨受電之現象。可能造成下列不利之影響：

- (1) 在獨立運轉發生時，由於分散式發電系統失去市電作為參考訊號，所以電力轉換器的輸出電壓及頻率可能會發生不穩定的現象。倘若獨立運轉區域內分散式發電系統發電量低於總用電量時，則系統電壓與頻率將出現下降的趨勢。
- (2) 因獨立運轉區域仍維持受電卻未檢出，有可能造成相關區域維修人員之忽略，因而危害工安。
- (3) 影響配電系統自動復閉器動作時序。

有鑑於上述因此現象所造成之影響，美、日等國之電力法規均已規定：當電力系統故障或停電時，分散式發電系統應即時與電力系統解聯，以避免市電網路呈異常充電之狀態。然而在分散式發電系統上使用傳統型的保護電驛，可能無法完全適時的執行解聯跳脫功能，因市電中斷

時，由於分散式發電系統仍持續並聯供電，以致於配電系統上的電壓、頻率變動範圍並不顯著，可能不足以觸發電壓、頻率型電驛，導致分散式發電系統之出口側斷路器會發生無法與市電解聯之誤動作現象；另一方面，若對獨立運轉現象檢測不正確，導致誤判使分散式發電系統切離市電，亦將使系統可靠度降低。有鑑於此，未來當有越來越多的分散式發電系統並聯到市電時，發生獨立運轉現象的機率相對增加。因此如何建立分散式發電系統側之獨立運轉檢測技術，業已成為該型發電系統之重要研究課題。

目前學術文獻上已有多篇論文針對該分散式發電系統之獨立運轉現象進行探討[16-20]，偵測方法主要可分為兩大類，第一類為被動式偵測的方法，第二類為主動式偵測的方法。被動式偵測的方法有相位偏移偵測法[21-22]，它是當分散式發電系統和市電解聯時，監測電流和電壓相角差的瞬間的變化，並且可以觸發分散式發電系統的保護裝置而防止獨立運轉的產生，但是相位偏移偵測法有一個缺點那就是它很容易受到負載的變化而誤判。另外，又有學者 Kim[23]提出邏輯推論法來監測電力參數訊號的改變，同時研判分散式發電系統的獨立運轉現象。主動式偵測法[24-26]，它是將分散式發電系統的輸出加入一個微量的電流擾動，當分散式發電系統和市電並聯時，負載兩端的電

壓並不會受到微量的電流擾動影響。反之，當市電中斷時，則微量的電流擾動會使頻率和電壓大幅改變，因此可使分散式發電系統和市電解聯。然而為了防止主動式偵測法失敗，可將主動式偵測法分為主動式頻率飄移法[27]和滑差式頻率偏移法[28]兩類型。所謂主動式頻率飄移法，就是當市電系統故障跳脫時，反流器的輸出電流和負載的端電壓之相位差會根據負載特性的不同而有所變化，反流器內部的鎖相迴路電路將會偵測相位角的變動，為了減少相角的差，我們可將反流器的輸出電流頻率往上或往下飄移，使負載的端電壓頻率超出某一個正常的頻率範圍，並且去觸發過頻率保護電譯和欠頻率保護電譯使得獨立運轉的現象不再發生。在滑差式頻率偏移法，它跟主動式頻率偏移法相當的類似，唯一不同的地方是滑差式頻率偏移法的反流器改變輸出電流頻率時，會造成輸出電流的起始相位角也會跟著一起改變。主動式偵測法除了上述的兩種方法之外，另外還有兩位學者 Tsukamoto 與 Yamagishi 提出電壓相關擾動技術[29]，此方法是用來計算負載端電壓擾動變化和反流器輸出擾動電壓之相關性。但是所計算的相關性指標值差異量極小，很容易受到電力故障訊號與雜訊干擾而偵測臨界值時浮動並且造成誤判。主動式偵測法雖然可以針對此現象來大幅提高保護電譯的偵測性，但是它可能缺點

是如果市電的電力饋線的發電系統數目很多時，則所加入的擾動信號會失去準確性並造成誤動作，進而使發電系統供電不穩定。

因此，本計畫即研究一新式分散式發電系統獨立運轉現象偵測法，期以融合主動型與被動型偵測技術，建構混合型獨立運轉檢測專用保護電驛，達到正確及快速檢知系統獨立運轉之發生。本計畫利用電力反流器(power inverter)控制輸出電流，再輔以小波轉換技術分別對電壓及頻率進行運算及解析，進而判斷市電是否停止供電。小波理論應用在訊號分析上，目前已可達到預期的速度、精確性及效率。小波轉換之基本理論是把輸入信號分解成數個階層解析度(resolution)較低的信號，在每個階層的信號可以重組成更高解析度的階層，而連續小波轉換則可針對任意欲觀測之時-頻進行分析。本計畫提出的新型混合型獨立運轉偵測技術具備下列特性：

- (1) 利用連續小波轉換之特性，可同時觀測信號之時-頻域，因此對該訊號之完整分析將有助於市電是否中斷之判斷。
- (2) 偵測靈敏度高及最小化電驛偵測不感帶，以提高分散式發電系統之運轉安全性。
- (3) 同時具備主動式與被動式之優點，有高偵測可靠度，降低錯誤預警機

率確保新型偵測法動作之正確性。對電力獨立運轉之防治能迅速提供可靠的解決方案，且不受其他電力異常擾動之干擾。

### 三、研究方法

傅立葉轉換(Fourier transform)可將定義在時域上之訊號，轉換至頻域再予以分析。雖然傅立葉轉換在信號分析上，其應用已十分廣泛普遍，然而其將所有的時域資訊均全部轉換到頻域上，如欲觀察的訊號僅落於某一時間區間，則該轉換工具將無法協助分析。就實際量測應用而言，由於信號的頻率係反比於它的週期長度，所以對於高頻的信號，較窄的時間區間，即可得到相關之資訊，反之，對於低頻的信號，則需有較寬的時間區間，以得到較完整的資訊。換言之，如能擁有一個較具彈性的時域－頻域視窗(time－frequency window)，它能在較高的中心頻率(center－frequency)時，將時間區間變窄，而於較低的中心頻率時，加寬時間區間，則其在量測波形及分析上將頗具助益。小波轉換即具有該項功能，此亦即本計畫所採行之方法。

由於測不準原理，時間及頻率解析度不能同時無限制地提高，欲提高時間解析度則必須降低頻率解析度，反之亦然。而小波轉換之時間-頻率視窗繪於圖1，由圖

中可知，小波轉換會根據欲觀察之頻率高低自動調整解析度。在高頻時(如圖1中之 $\omega_1$ )，信號可能在極短的時間之內大幅變化，此時若時間解析度不足，則將無法觀測此高頻信號之快速變化，而在此情況之下，小波轉換之時間解析度將會自動提高，亦即時間視窗縮短，以監測高頻信號之快速變化。而在低頻時(如圖1中之 $\omega_2$ )，信號之變化緩慢，此時若時間視窗過短，則無法偵測出較低頻率之信號變化，此時小波轉換之時間視窗將延長，以監測低頻信號之變化。其頻寬(bandwidth)與中心頻率之比值為一定值，應用此特性將可更精確地觀測高頻與低頻信號之變化。

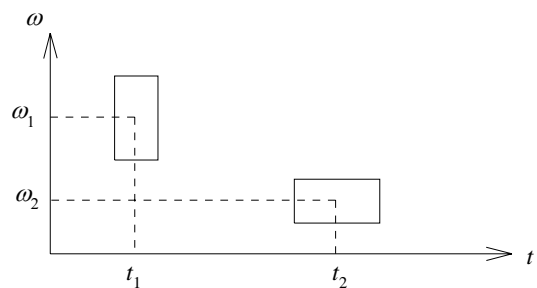


圖1. 時間-頻率視窗

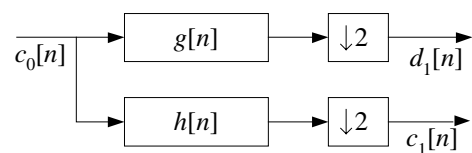


圖2 一階小波分解

#### (a) 離散小波轉換

在圖2示意的分解架構上，包含了一個低通濾波器 $h[n]$ 及一個高通濾波器 $g[n]$ ，可將原始訊號 $c_0[n]$ 分別分解成高頻訊號 $c_1[n]$

與低頻訊號 $d_1[n]$ 。訊號 $c_1[n]$ 是由原始信號 $c_0[n]$ 與低通濾波器 $h[n]$ 摺積(convolution)，再經2倍之降取樣(down sampling)所得。而訊號 $d_1[n]$ 則是由原始信號 $c_0[n]$ 與高通濾波器 $g[n]$ 摺積，再經2倍之降階取樣所得。因此，訊號 $c_1[n]$ 包含原訊號 $c_0[n]$ 之低頻成分，而訊號 $d_1[n]$ 則包含 $c_0[n]$ 之高頻成分，且由於經過兩倍降取樣，故訊號 $c_1[n]$ 與訊號 $d_1[n]$ 之長度為原始信號 $c_0[n]$ 之一半，換言之，將原始訊號 $c_0[n]$ 分解為高頻訊號 $c_1[n]$ 與低頻訊號 $d_1[n]$ ，其資料量不變。訊號 $c_0[n]$ 、 $c_1[n]$ 與 $d_1[n]$ 之關係可用數學式表示如下：

$$c_1[k] = \sum_n \overline{h[n-2k]} c_0[n] \quad (1)$$

$$d_1[k] = \sum_n \overline{g[n-2k]} c_0[n] \quad (2)$$

若選擇高通濾波器 $g[n]$ 與低通濾波器 $h[n]$ 為正交基底(orthogonal basis)之濾波器，則可將信號 $d_1[n]$ 及 $c_1[n]$ 分別升取樣(up sampling)兩倍，再分別通過高通濾波器 $g[n]$ 及低通濾波器 $h[n]$ ，最後將其相加即可還原成原始信號 $c_0[n]$ ，其數學式及流程圖分別表示於式(3)及圖3。

$$c_0[n] = \sum_k h[n-2k]c_1[k] + \sum_k g[n-2k]d_1[k] \quad (3)$$

以上為一階小波分解與重組，同理， $c_1[n]$ 仍可繼續分解而得到 $c_2[n]$ 和 $d_2[n]$ ，而 $c_2[n]$ 亦可再繼續分解得到 $c_3[n]$ 和 $d_3[n]$ ，此步驟可持續進行直到我們所要求的觀測範圍。圖4與圖5所示為小波理論之二階分解與重組。並可將之再推廣至 $n$ -階分解與重

組，而較高階數之分解可獲得較高之頻率解析度，但也相對地需要更多計算時間。

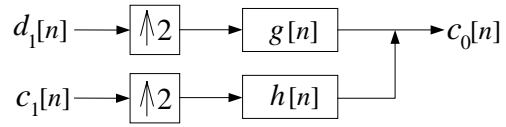


圖3 信號重組

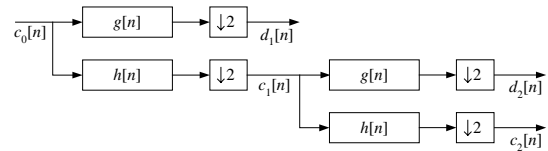


圖4 二階小波分解

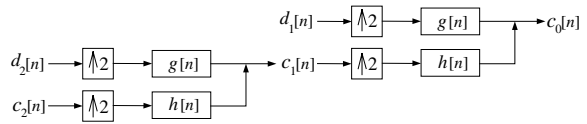


圖5 二階小波重組

## (b) 連續小波轉換 (The Continuous Wavelet Transform, CWT)

小波函數之特點為每個小波函數均由其母函數作不同平移與尺度調整產生。每一種小波函數有特定的時頻位置，也具有一定的時間解析力與頻率解析力，因此可以用於分析訊號之局部時頻訊息。每一個小波基底函數均具有一定的主要頻率域(frequency interval)、主要的非零函數值分佈在一定的時間域(time interval)域裡，小波可以經由它在某訊號局部區域位置裡對應的基底函數將訊號在那個區域裡的局部訊號時頻訊息顯示出來。小波是由一能描述信號之時間及頻率位置的基底函數(basis functions)所形成，所有在空間中定

義的函數均可用小波函數生成(span)，亦即利用調整位移及尺度參數之基底函數的線性組合。信號 $f(t)$ 之連續小波轉換定義如下：

$$W_{\psi}f(b,a) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

其中， $\psi(t)$ 是基本小波函數(basic wavelet function)，由於基本小波函數快速衰減的特性，所以當觀測區在時間視窗(time window)以外時，便可予以省略。對於參數 $t^*$ 與 $\Delta\psi$ 的計算如下：

$$t^* = \frac{1}{\|\psi\|_2} \int_{-\infty}^{\infty} t |\psi(t)|^2 dt \quad (5)$$

$$\Delta\psi = \frac{1}{\|\psi\|_2} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} (t-t^*)^2 |\psi(t)|^2 dt \right\}^{1/2} \quad (6)$$

其中， $\|\psi\|_2$ 是 $\psi(t)$ 的範數(norm)，參數 $t^*$ 是 $\psi(t)$ 的中心(center)， $\Delta\psi$ 是 $\psi(t)$ 的徑寬(radius)。若 $\psi(t)$ 的中心與徑寬為 $t^*$ 跟 $\Delta\psi$ ，則 $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 的中心為 $b+at^*$ ，徑寬為 $a\Delta\psi$ ，因此時間視窗 $t_w$ 如下：

$$t_w = [b+at^*-a\Delta\psi, b+at^*+a\Delta\psi] \quad (7)$$

必須注意的是函數 $\psi(t)$ 需滿足下列條件：

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (8)$$

由 Parseval 等式得知，(4)可表示成下列的頻域積分

$$(W_{\psi}f)(b,a) = \frac{a|a|^{-1/2}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) e^{j\omega(b-a\omega)} \overline{\hat{\psi}(a\omega)} d\omega \quad (9)$$

上式中 $\overline{\hat{\psi}(a\omega)}$ 可看作一種視窗函數，若視窗函數 $\overline{\hat{\psi}(\omega)}$ 的中心與徑寬為 $\omega^*$ 及 $\Delta\hat{\psi}$ ，則 $\overline{\hat{\psi}(a\omega)}$

的中心與徑寬則分別為 $\frac{\omega^*}{a}$ 和 $\frac{1}{a}\Delta\hat{\psi}$ ，因此，視窗頻率 $f_w$ 表示式如(10)

$$f_w = \left[ \frac{\omega^*}{a} - \frac{1}{a}\Delta\hat{\psi}, \frac{\omega^*}{a} + \frac{1}{a}\Delta\hat{\psi} \right] \quad (10)$$

結合(7)與(10)，可得時-頻視窗如(11)所示：

$$[b+at^*-a\Delta\psi, b+at^*+a\Delta\psi] \times \left[ \frac{\omega^*}{a} - \frac{1}{a}\Delta\hat{\psi}, \frac{\omega^*}{a} + \frac{1}{a}\Delta\hat{\psi} \right] \quad (11)$$

圖 1 描述小波轉換的時頻視窗，從圖中可知道，頻寬對中心頻率的比率的計算：

$$\frac{2\Delta\hat{\psi}/a}{\omega^*/a} = \frac{2\Delta\hat{\psi}}{\omega^*} \quad (12)$$

上式所得之的比值與 $a$ 、 $b$ 無關，而且這項比值說明中心頻率越高則時間軸的解析度越高，這是小波轉換的受到青睞的特性之一。

### (c) 莫列(Morlet)小波函數

在本研究計劃中，我們採用的是莫列小波函數。其定義如下：

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} \left( e^{jkt} - e^{-\frac{k^2}{2}} \right) e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (13)$$

其中 $k$ 為一常數， $k$ 值可以改變它的時間及頻率的解析度，使其更有彈性，其傅立葉轉換如下：

$$\hat{\psi}(\omega) = \pi^{1/4} \sqrt{2} \left[ e^{-\frac{1}{2}(\omega-k)^2} - e^{-\frac{1}{2}(\omega+k^2)} \right] \quad (14)$$

當 $k=5$ 時，其圖形如圖 6 到圖 8 所示

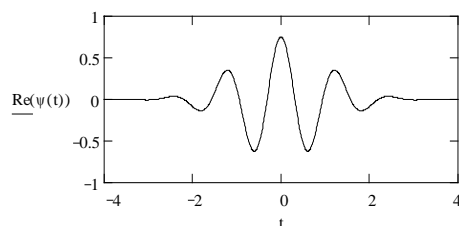


圖 6.  $\psi(t)$ 之實部



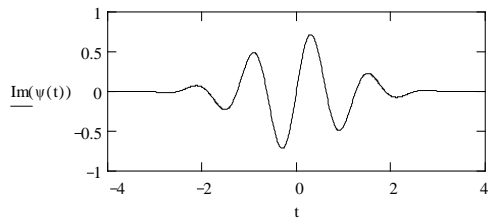


圖 7.  $\psi(t)$ 之虛部

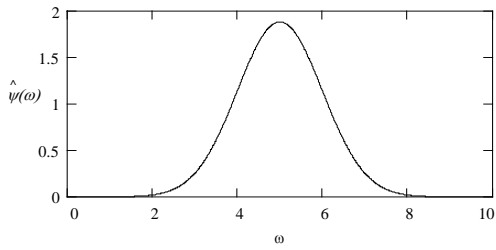


圖 8.  $\hat{\psi}(\omega)$

其時間-頻率視窗經計算後如下：

$$\left[ b - \frac{a}{\sqrt{2}}, b + \frac{a}{\sqrt{2}} \right] \times \left[ \frac{k}{a} - \frac{1}{a\sqrt{2}}, \frac{k}{a} + \frac{1}{a\sqrt{2}} \right] \quad (15)$$

它具有以下幾點優點：

(1) 由海森堡測不準原理(Heisenberg uncertainty principle)可知  $\Delta \psi \cdot \Delta \hat{\psi} \geq \frac{1}{2}$ ，亦即時間及頻率之解析度不可能兩者同時無限制之提高，而莫列小波函數正好達到這個極限。

(2) 時間視窗之中心只與參數  $b$  有關，頻率視窗之中心只與參數  $a$  有關，故我們可以分別控制  $a$  與  $b$  來觀測特定頻率在特定時間之分量。

(3) 頻寬與中心頻率之比值為

$$\frac{2\Delta \hat{\psi}}{\omega^*} = \frac{\sqrt{2}}{k} \quad (16)$$

此比值只與  $k$  有關，亦即我們可以調整  $k$  值大小來改變頻寬與中心頻率之比值。

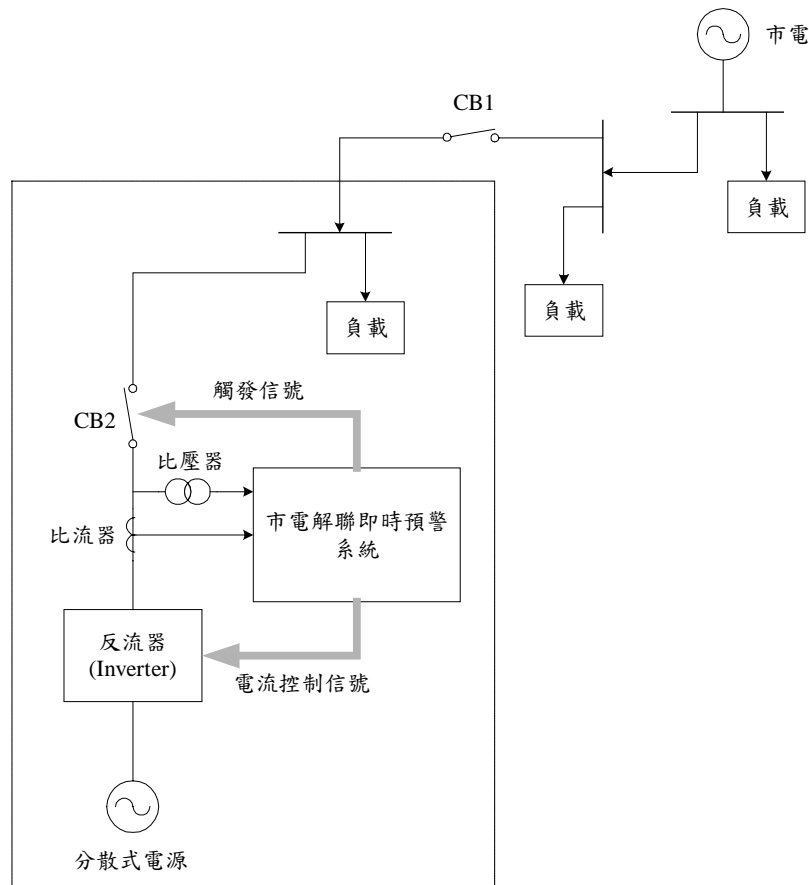


圖 9. 分散式電源獨立運轉偵測系統架構圖

#### (d) 偵測流程

測試分散式電源獨立運轉偵測之系統架構圖如圖 9 所示，當市電發生故障導致斷路器 1(CB1)跳脫時，若斷路器 2(CB2)未能及時跳脫，則圖中虛線部分仍由分散式電源供電，形成所謂獨立運轉現象，為避免此現象之發生，本計畫設計一新型混合式分散式電源獨立運轉偵測系統，當偵測出此現象發生時，系統將發出一觸發信號，將斷路器 2 跳脫，即可立即與市電解聯。

本計畫建構之偵測系統，係融合主動式與被動式偵測方法之優點。此系統先主動將一小擾動信號輸入反流器(Inverter)，將反流器輸出電流之振幅產生一小擾動，在市電正常之情況下，此電流振幅之小擾動並不會對電壓產生影響，但當市電中斷時，負載全由分散式電源供電，此時電壓將會出現擾動之現象，再輔以小波轉換即可偵測出此電壓擾動現象。另一方面，當獨立運轉現象發生時，亦常伴隨系統頻率之小幅變動，而小波轉換之優點為可同時監測信號之時-頻域，因此可同時準確偵測出系統電壓與頻率之變動。綜合以上兩點，當電壓與頻率擾動同時出現時，即可準確判斷出獨立運轉現象，而不至於因電力擾動現象之干擾或負載變動之影響而導致誤動作。完整偵測流程如圖 10 所示，茲說明如下：

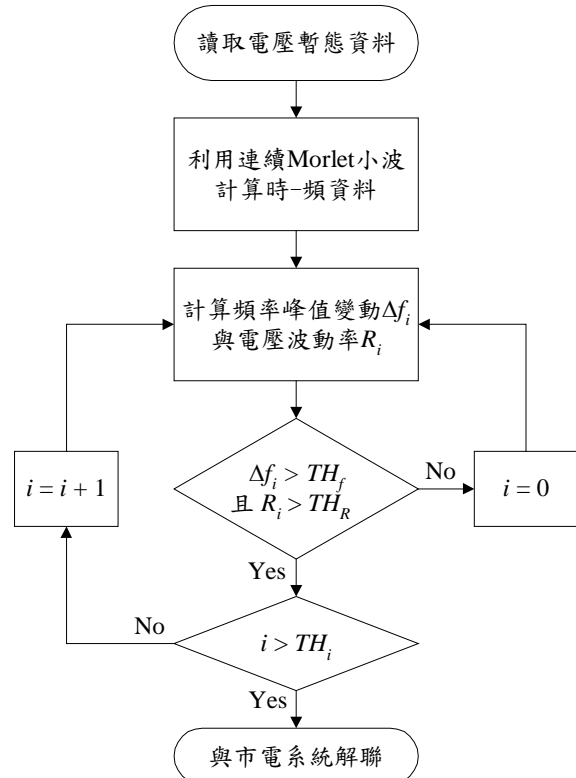


圖 10 本計畫採用之偵測演算流程

- (1) 首先本系統可利用比壓器讀取匯流排之電壓暫態資料。
- (2) 再經由連續 Morlet 小波轉換可同時計算出電壓訊號之時間-頻率資料。
- (3) 接著計算該時刻之頻率峰值 $f_i$ ，亦即當時間固定時，頻率之最大值，而頻率峰值變動 $\Delta f_i$ 為 $f_i$ 與正常系統頻率之差值。
- (4) 再將頻率固定於 $f_i$ ，計算電壓波動率 $R_i$ ，其公式如下：

$$R_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=i}^{i+N} [V_k(f_i) - \bar{V}_i]^2 / N}}{\bar{V}_i} \times 100\% \quad (17)$$

其中

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{k=i}^{i+N} V_k(f_i)}{N} \quad (18)$$

$N$  為一個週期之取樣點數。

- (5) 當市電正常供電時，反流器所產生之微小電流擾動並不會影響電壓，亦即電壓峰值為穩定，故電壓波動率 $R_i$ 為0；反之，一旦市電中斷時，電壓將會呈現波動現象，此時故電壓波動率 $R_i$ 將不為0，我們可設定一門檻值 $TH_R$ 藉以評估電壓波動率 $R_i$ 是否過大。
- (6) 另一方面，由於市電中斷造成分散式電源系統失去參考電壓，將造成獨立運轉系統之頻率異常變動，我們亦可設定另一門檻值 $TH_f$ 作為評估頻率異動之標準。而當電壓波動率 $R_i$ 與頻率峰值變動 $\Delta f_i$ 皆大於門檻值時，此時方判定為獨立運轉現象，如此將可降低其他電力擾動現象誤判之可能性。
- (7) 在一般市電系統中，皆有裝置復閉器(recloser)設備，若該故障在短時間內被移除，則復閉器將自動恢復市電供電，因此只有當市電中斷超過一時間門檻值 $TH_i$ 之後，才將分散式發電系統與市電解聯，除此之外，亦有助於降低暫態電力擾動之誤判。

#### 四、研究成果

本計劃應用所提之方法於數種不同之模擬訊號上，以測試所提方法之可行性及

可靠度。目前，本信號是利用matlab 6.5程式進行模擬，其中，假設額定電壓為110伏特，運轉頻率為60 Hz，所有模擬訊號每秒取樣點數為1000點，且訊號的取樣時間為0.3秒，門檻值 $TH_f$ 、 $TH_R$ 及 $TH_i$ 分別設定為1 Hz、0.1%及100(相當於0.1秒)。接著再以自行撰寫之莫列連續小波轉換程式進行分析，可獲得信號之時-頻資料，最後應用混和型之方法偵測其電壓及頻率是否異常，可作為將分散式發電系統與市電系統解聯與否之判斷依據。茲將其分述如下：

##### (a) 測試一：市電正常供電

本測試係模擬市電正常供電時，本計畫所提方法之測試結果。圖11為模擬之反流器電流，由於加入少量擾動訊號，可看出電流振幅有些微變動。圖12為模擬之系統電壓，由於此時市電仍正常供電，由圖中可看出電壓並無異常。電壓信號經莫列連續小波轉換後之結果繪於圖13(a)與(b)。圖13(a)為電壓訊號之頻率峰值變動 $\Delta f_i$ ，由於市電並未中斷，系統電壓之頻率峰值接近60 Hz，故此值接近於0，並小於 $TH_f$ 。除此之外，圖13(b)為電壓頻率固定於 $f_i$ 所計算出之小波轉換，可看出電壓相當穩定，並可計算出 $R_i = 0.0124\%$ ，亦小於 $TH_R$ ，綜合以上兩點，可以判斷並未發生獨立運轉現象。

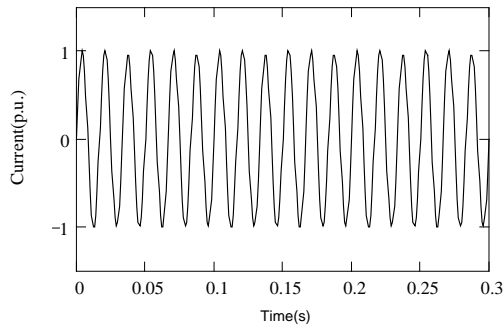


圖 11 反流器產生電流

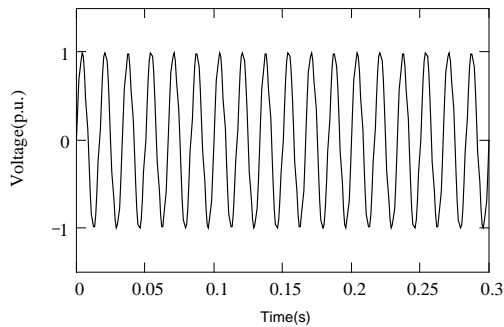
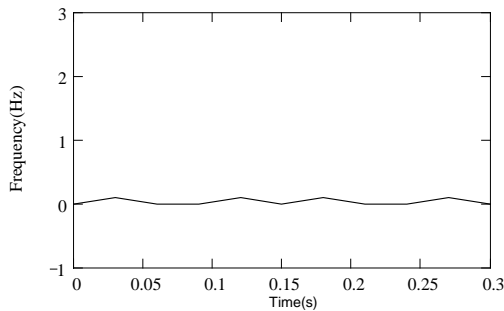
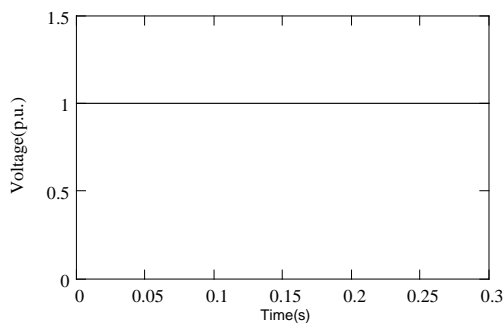


圖 12 系統電壓



(a)



(b)

圖 13 偵測結果。(a)頻率，(b)電壓。

(b) 測試二：市電中斷

本測試係模擬市電系統跳脫時之狀況

以測試本方法之可行性。圖 14 為系統電壓之模擬訊號。假設 0 秒時發生獨立運轉事故，此時電壓及頻率皆有下降的趨勢，惟這些訊號特性之改變均屬微量，不僅難以觀測，且難以驅使傳統電壓及頻率型電驛產生動作。此時，透過本計畫所提方法可得圖 15 之偵測結果。如圖 15(a)所示，頻率峰值變動  $\Delta f_i$  明顯上升並大於所設定之  $TH_f$ 。另由圖 15(b)可察覺，在市電中斷後電壓訊號之監測結果亦出現擾動狀況，其  $R_i$  值經計算結果為 0.5104 %，不但大於設定之  $TH_R$  並持續超過  $TH_i$ ，故可判斷分散式發電系統係處於獨立運轉現象，此測試結果說明本計畫方法之可行性。

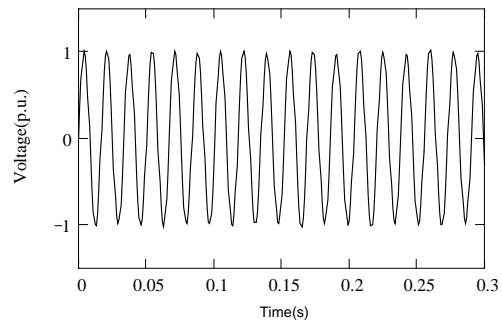
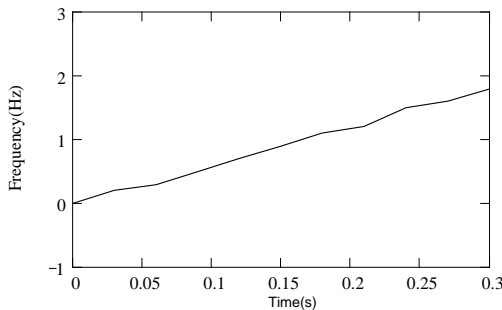


圖 14 系統電壓



(a)

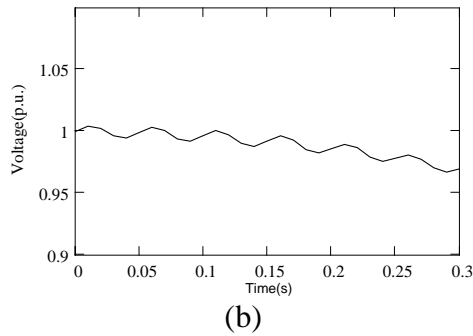


圖 15 偵測結果。(a)頻率，(b)電壓。

(c) 測試三：電壓閃爍

在測試三中，本計畫考量市電並未中斷且加入電壓閃爍現象(Voltage Flicker)之狀況，因在各種不同之電力擾動中，電壓閃爍亦會導致電壓峰值之小幅擾動，最易令系統產生誤動作。因此，在本測試中即加入電壓閃爍之擾動，以測試所提方法之可靠度。加入電壓閃爍擾動所模擬之電壓訊號如圖 16 所示，其計算結果則繪於圖 17。由圖 17(b)可看出其電壓峰值確實產生小幅擾動，其電壓峰值波動率 $R_i = 0.5018\%$ ，超過 $TH_R$ 設定之 $0.1\%$ ，但仍須經由頻率的監測訊號方能作正確的判斷，而透過圖 17(a)所示之資訊，可判斷其頻率變動並未大於所設定之門檻值 $TH_f$ ，故可斷定系統並未發生獨立運轉現象。本測試結果顯示所提方法並未因電壓閃爍而造成誤判。

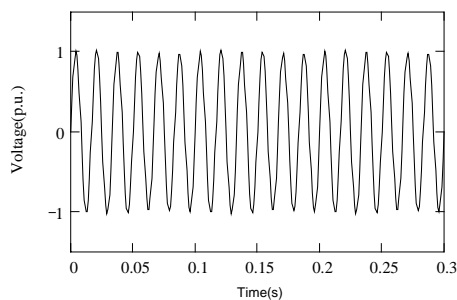


圖 16 系統電壓

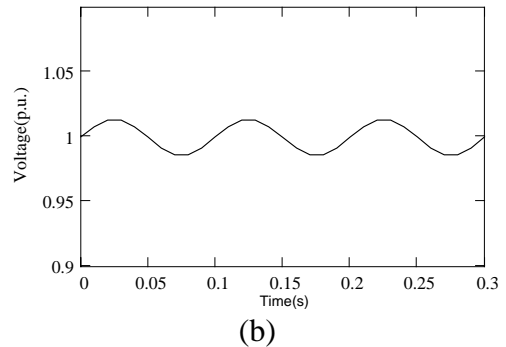
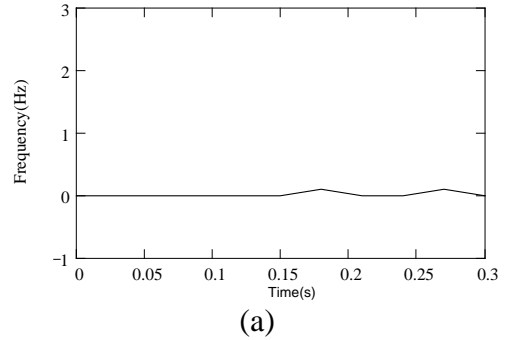


圖 17 偵測結果。(a)頻率，(b)電壓。

(d) 測試四：電壓閃爍與電力諧波

在各種電力擾動中，最為常見之擾動為電力諧波，因此，在測試四中，本計畫探討電力諧波是否會造成所提方法之誤判。圖 18 為模擬之系統電壓，在市電並未中斷之狀況下，除了電壓閃爍外，亦加入了 $5\%$ 之三階諧波。圖 19 為所提方法計算之結果，因同樣含有電壓閃爍擾動，故圖 19(b)與測試三相似，其電壓峰值呈現上下波動之現象且 $R_i = 1.0003\%$ ，遠大於設定之 $THR = 0.1\%$ 。另一方面，圖 19(a)顯示頻率峰值變動之計算結果亦與測試三相似，並未受到諧波之干擾，即 $\Delta f_i < TH_f$ ，此測試結果說明了電力諧波並不會造成所提方法之誤判，並驗證了本方法之可靠度。

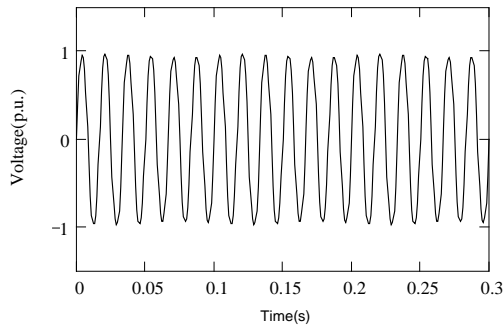
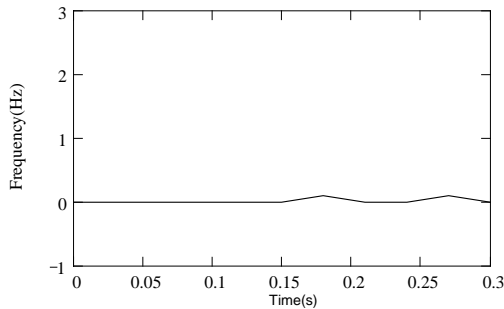
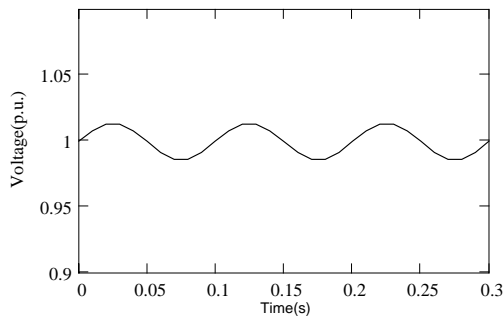


圖 18 系統電壓



(a)



(b)

圖 19 偵測結果。(a)頻率，(b)電壓。

## 五、結論與討論

本計畫應用連續小波轉換於偵測分散式電源與市電解聯，由上述之測試一與測試二可知，本計畫進行之研究確有其可行性；而測試三及測試四則顯示本方法由於綜合主動式與被動式偵測法之優點，故可將誤動作之機率降至最低。本計畫之研究成果亦可提供計畫參予人員在數位保護電驛設計能力之訓練，對國內該類技術人才之培育著實有若干貢獻，且有助於相關分

散式電源系統工程人員深入施行參考所需。

## 六、參考文獻

- [1] 梁志堅，“分散型電源對台灣電力系統之影響”，電機技師月刊，第 69 期，pp. 88-103，1998。
- [2] Rabinowitz, M., “Power systems of the future. 1,” IEEE Power Engineering Review, Vol. 20, No. 1, pp.5-16(2000).
- [3] T. Gonen, Electric Power Distribution System Engineering, McGraw Hill, (1986).
- [4] G. J. Ball, D. Balackburm, and W. Gish, “Summary of Static Power Converters of 500Kw or Less Serving as the Relay Interface Package for Non-Conventional Generators”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, July 1994, pp. 1325-1331.
- [5] Summary Report of IEEE Working Group Report, “Intertie Protection of Consumer-Owned Source of Generation, 3MVA or Less”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990, pp. 924-929.
- [6] W. M. Strang and R. M. Westfall, “Distribution Line Protection Practices Industry Survey Results IEEE Power System Relaying Committee Report”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, January 1995, pp. 176-186.
- [7] J. C. Gomez and M. M. Morcos, “Coordinating Overcurrent Protection and Voltage Sag in Distributed Generation Systems”, IEEE Power Engineering Review, Vol. 22, No. 2, February 2002, pp. 16-19.
- [8] G.A. Smith, P.A. Onions and D.G. Infield, “Predicting islanding operation of grid connected PV inverters,” IEE Proceedings-Electrical Power Applications, Vol. 147, No. 1, Jan. 2000, pp. 1-6.
- [9] H. L. Willis and W. G. Scott, Distributed power generation: planning and evaluation, Marcel Dekker, New York, 2000.
- [10] R. Chedid and S. Rahman, “A Decision Support Technique for the Design of Hybrid Solar-Wind Power Systems”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998, pp. 76-83.
- [11] K. Tam and S. Rahman, “System Performance Improvement Provide by a Power Conditioning Subsystem for Central Station Photovoltaic-Full Cell Power Plant”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 1, March 1988, pp. 64-69.
- [12] H. Kobayashi and K. Takigawa, “Problems and Countermeasures on Safety of Utility Grid with a Number of Small-Scale PV Systems”,

- IEEE 21st Photovoltaic Specialist Conference*, 1990, pp. 850-855.
- [13] S. J. Ranade, N. R. Prasad, S. Omick, and L. F. Kazda, "A Study of Islanding in Utility-Connected Residential Photovoltaic Systems Part I – Models and Analytical Methods", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 4, No. 3, September 1989, pp. 436-445.
- [14] S. J. Ranade, N. R. Prasad, S. Omick, and L. F. Kazda, "A Study of Islanding in Utility-Connected Residential Photovoltaic Systems Part II – Case Studies", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 4, No. 3, September 1989, pp. 446-452.
- [15] T. R. Sims, R. A. Jones, and A. F. Imece, "Investigation of Potential Islanding Problems of a Self-Commutated Static Power Converter in Photovoltaic Systems", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 5, No. 3, September 1990, pp. 436-442.
- [16] H. Kobayashi, K. Takigawa, and E. Hashimoto, "Method for Preventing Phenomenon on Utility Grid with a Number of Small Scale PV Systems", *Proceedings of the 22nd IEEE PV Specialist Conference*, 1991, pp. 695-700.
- [17] P. D. Hopewell, N. Jenkins, and A. D. Cross, "Loss-of-Mains Detection for Small Generators", *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, Vol. 143, No. 3, May 1996, pp. 225-230.
- [18] M. A. Redfern, O. Usta, and G. Fielding, "Protection Against Loss of Utility Grid Supply for a Dispersed Storage and Generation Unit", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp. 948-954.
- [19] M. A. Redfern and O. Usta, "A New Microprocessor Based Islanding Protection Algorithm for Dispersed Storage and Generation Units", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1249-1254.
- [20] M. E. Ropp, M. Begovic, and A. Rohatgi, "Analysis and Performance Assessment of the Active Frequency Drift Method of Islanding Prevention", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 3, September 1999, pp. 810-816.
- [21] Michael ROPP, "Evaluation of Islanding Detection Methods for Photovoltaic Utility Interactive Power System," Report IEA PVPS, T5-09,2002.
- [22] M. E. Ropp, "Design Issues for Grid-Connected Photovoltaic Systems," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 1998.
- [23] J. Sung-II and K. Kwang-Ho, "An Islanding Detection Method for Distributed Generations Using Voltage Unbalance and Total Harmonic Distortion of Current," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 19, Issue: 2, April 2004.
- [24] F. S. Pai and S. J. Huang, "A Detection Algorithm for Islanding Prevention of Dispersed Consumer Owned Storage and Generating Units", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 16, No. 4, December 2001.
- [25] A. Woyte, R. Belmans, K. U. Leuven, and J. Nijs, "Islanding of Grid Connected Ac Module Inverters", *IEEE Photovoltaic Specialists Conf*, 2000, pp. 1683-1686.
- [26] H. T. Yang, P. C. Peng, J. C. Chang, and J. Y. Wang, "Islanding Detection Techniques for Wind Power Generation Systems", *Proceedings of the 25<sup>th</sup> Symposium on Electrical Power Engineering*, Tainan, Taiwan, November 2004, pp. 1853-1858.
- [27] Guo-Kiang Hung, Chih-Chang Chang, and Chern-Lin Chen, "Automatic Phase Shift Method for Islanding Detection of Grid-Connected Photovoltaic Inverters", *IEEE Transactions on energy conversion*, Vol. 18, No. 1, March 2003.
- [28] M. E. Ropp, M. Begovic, and A. Rohatgi, G. A. Kern, R. H. Bonn, and S. Gonzalez, "Determining the Relative Effectiveness of Islanding Detection Methods Using Phase Criteria and Nondetection Zones", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 15, No. 3, September 2000, pp. 290-296.
- [29] O. Tsukamoto, T. Okayasu and k. Yamagishi, "Study on Islanding of Dispersed Photovoltaic Power System Connected to a Utility Power Grid", *Solar Energy*, Vol. 70, No. 6, pp. 505-511, 2001.