

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

小波理論於台南科學園區電力系統監測之實務應用

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-168-011-

執行期間：91年08月01日至92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

計畫參與人員：謝建賢、黃崑賓

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 15 日

行政院國家科學委員會補助專題研究
計畫

成果報告
 期中進度報
告

小波理論於台南科學園區電力系統監測之實務應用

Application of Wavelet Transform Approach to
Supervise the Power System of the Tainan Science-Based
Industrial Park.

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 168 - 011

執行期間：2002 年 8 月 1 日至 2003 年 7 月 31 日

計畫主持人：謝承道

計畫參與人員：謝建賢、黃崑賓

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整
報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究
計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開

查詢

執行單位：崑山科技大學 電機系

中 華 民 國 2003 年 10 月 10 日

小波理論於台南科學園區電力系統監測之實務應用

Application of Wavelet Transform Approach to Supervise the Power System of the Tainan Science-Based Industrial Park.

計畫編號：NSC 91-2213-E-168-011

執行期間：2002/08/01 2003/07/31

主持人：謝承道 崑山科技大學電機系

一、中文摘要（關鍵詞：小波轉換，台南科學園區，電力品質。）

本研究計畫應用小波轉換於監測分析台南科學園區之各種電力品質擾動現象，將各監測點所測得之實際資料加以分析，以判斷電力品質擾動之發生。利用小波轉換所提供之整體且嚴謹之信號處理架構與其時間-頻率定位特性，將能比傳統傅立葉轉換更有效率地分析各種不同之動態電力信號，並可更精確地偵測出電力品質擾動之發生時間。最後，本研究之方法將應用在各種於台南科學園區實際量測之電力信號，以驗證本方法之可行性。

英文摘要 (Keywords : Wavelet Transform, Tainan Science-Based Industrial Park, Power Quality Disturbances.)

In this study, the wavelet transform approach will be applied to monitor the power quality disturbances in the power system of the Tainan Science-Based Industrial Park. Wavelet theory provides a unified framework for signal processing applications. By this way, the characteristics of non-stationary disturbances can be more closely monitored. The transient behavior and discontinuities in the signals can be both investigated. For finding out the major reason of the power quality disturbances, the data collected from every monitoring point are analyzed by using the wavelet transform approach. Test results support the feasibility of this approach for the industry power

application.

二、計畫緣由與目的

近年來新穎之電力設備中，使用非線性元件非常普遍，然而這些設備卻常產生嚴重之電力品質劣化，因此研製一個能幫助工程人員分析電力品質之工具將是十分重要。最常被用來分析頻譜的工具包括離散傅立葉轉換(discrete Fourier transform)及快速傅立葉轉換(fast Fourier transform)，雖然這些方法成功地應用於分析靜態信號(stationary signal)，但是對於高度非線性元件或其他故障所產生之電力品質擾動信號，可能屬於非靜態信號，如一個週期內高頻信號之變化，則傳統之傅立葉轉換較不適合分析此種信號，因此對於非靜態信號，則需要更具效率之分析工具。

由於小波理論之發展，已提供一個嚴謹之信號處理架構[1-9]。與應用傅立葉轉換作信號分析的不同點在於小波轉換使用一個窗型函數，而此窗型函數會在不同的頻率下自動調整觀測區間大小，對於高頻成分，具有較短之時間視窗，亦即其時間解析度較高，故對於電力品質擾動發生之時間定位可更加精確；而對於低頻成分，則具有較長之時間視窗，換言之，則能觀測更低頻率之信號變化。而透過數位信號處理之方法，採用正交(orthogonal)且為有限脈衝響應(finite impulse response, FIR)之濾波器，可大幅減少計算時間，增加其分析電力信號之效率。由於小波轉換之特性，使我們可以同時對時域及頻域作定位(localization)，也能針對各種不同動態信號

之變化與行為作更精確之觀測。

由於半導體、電腦及光電等高科技產業在國內蓬勃發展，政府亦積極推動高科技園區的開發，除現有新竹、台南園區外，尚有路竹、台中、雲林等科技園區亦積極開發中。此等高科技園區大多數為高產值的半導體，電腦及其週邊產業及光電等產業進駐，由於此等高科技產業多半大量採用自動化之製程設備，又由於此類製程設備具有高靈敏度的特性，易受系統電壓驟降而使製程中斷造成半成品毀損，生產設備清理以及修復期間停產等嚴重損失。而依據美國電力研究所（EPRI）資料顯示，由於自動化製程設備之使用，美國產業因電力中斷（多數為瞬時）造成損失由 1980 年 1 億美元/年 提升到 1990 年為 10 億美金/年；而半導體、光電等產業因電壓驟降、中斷造成的損失每一園區約 500 萬美金/年。國內以半導體業為主軸的新竹科學園區亦有類似的情況。因此尋求改善科學園區電壓驟降已成為全球研究電力品質的焦點。美國電力研究所更於電力應用中心（PEAC）成立電力品質工作小組，推動半導體業電壓驟降問題等相關研究。

電壓發生驟降乃是因供應電源系統發生電擊、鹽霧、外物或人為因素造成之接地或相間短路事故使電壓產生急降現象。其改善應分為電源供應者（即電力公司）以及電源使用者（即用戶）兩方面。在電力公司方面當然致力於系統事故的防制，而在用戶方面，則應以提升製程設備的忍受度為主軸。而電力系統之干擾現象是影響電力品質的主因，產學界對於此問題已投入相當的關切[10-14]。由訊號處理之觀點來探討，電力系統產生的訊號應屬時變訊號，對於非靜態（non-stationary）訊號而言，傅立葉轉換較不適合。小波理論的應用範圍、成效已廣見於學術界[15-18]，因此本研究計畫利用小波轉換理論的特性對台南科學園區電力系統產生的訊號所作的分析，利用獲得的時域及頻域的結果提供電力品質改善的參考。

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，可是它把所有的時域資訊均全部轉換到頻域上，然而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，此亦即本研究計畫所採行之方法。

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 ω_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 ω_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。

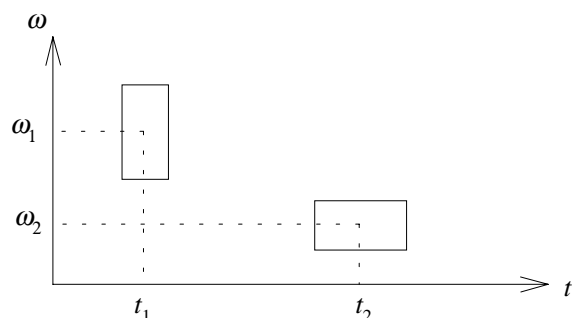


圖1時間-頻率視窗

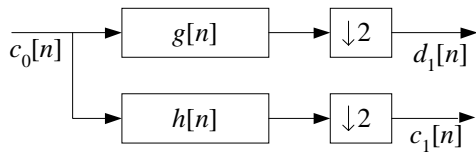


圖2 一階小波分解

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。

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

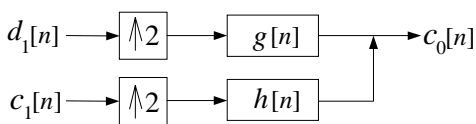


圖3 信號重組

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。

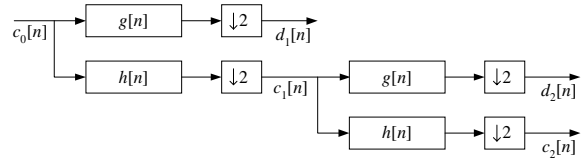


圖4 二階小波分解

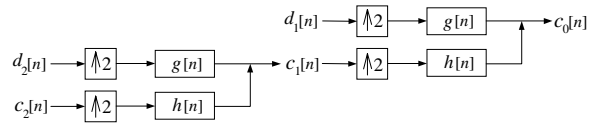


圖5 二階小波重組

四、研究成果

為配合台南科學園區用電需要，台灣電力公司特於園區內興建南科超高壓變電所(簡稱南科E/S)，其345 kV電源線連接，北邊接至嘉民超高壓變電所(簡稱嘉民E/S)，南側則與龍崎超高壓變電所(簡稱龍崎E/S)相連，於南科E/S 345 kV匯流排形成二進二出之電源網路，再經由南科E/S內345/161 kV變壓器轉換，提供161 kV系統電源供給園區相關一次變電所、一次配電變電所，以及特高壓161 kV用戶。

如圖6所示，初期引接至南科E/S 345 kV輸電線，有嘉民二回線，每回線長度為71.869公里 - 架空線69.355公里及地下電纜2.514公里以及龍崎E/S二回線，其長度每回線44.074公里 - 架空線41.56公里及地下電纜2.514公里。此外南科E/S亦規劃未來引接七股E/S二回線，終期345 kV共有六回線。

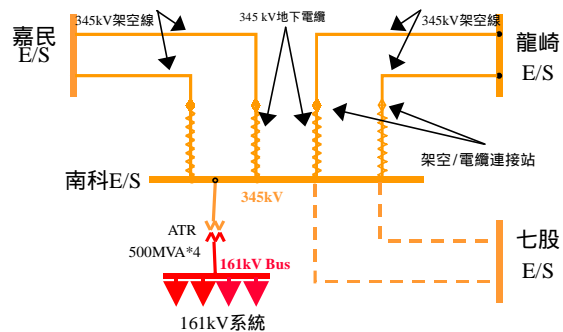


圖6 台南科學園區供電系統概要圖

引接入南科E/S 345 kV輸電線，其引接方式係分別由嘉民E/S與龍崎E/S經由架空線引接至架空/電纜連接站，然後經由連接站以地下電纜經由地下洞道接入南科E/S 345 kV匯流排。此外，南科E/S亦設置345/161 kV變壓器4組，提供161 kV電力電源，供應鄰近變電所。目前由該所引接161 kV線路有三竹D/S三回線、新化D/S二回線以及台積電、聯電、奇美等161 kV特高用戶。

台電電壓驟降監測裝置系統架構如圖7，主要分成三部份，即遠端監錄設備、中央監控工作站與遠端工作站。遠端監錄設備主要為置於變電所之電力品質監測儀器，裝設地點有南科超高壓變電所及三竹配電變電所，而用戶端則有台積電及奇美。至於中央監控工作站則放置新營區域調度中心(ADCS)。放置於變電所之電力品質監測儀器，可由中央監控工作站進行參數修改，資料傳送或即時監控等作業，當監測裝置因電力系統電壓驟降、過流、頻率降低等因素觸發，可由中央監控工作站列印出事故報表，此外亦於遠方設置遠端工作站，透過遠端工作站與中央監控工作站之聯結，而於遠端工作站進行事故資料下載，至於用戶端之監視裝置則未與台電監視裝置相連接。

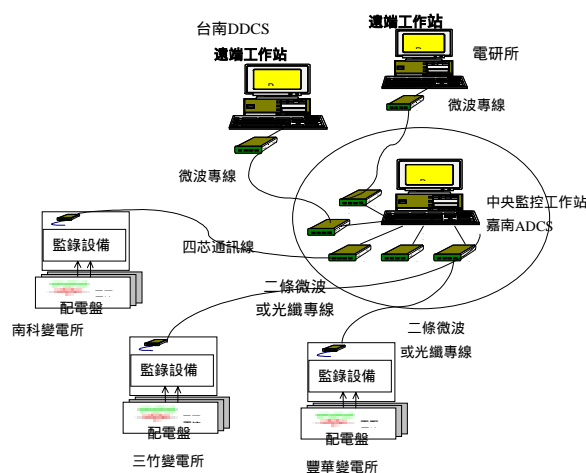


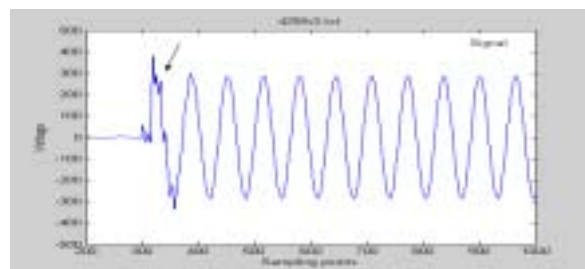
圖7 台電電壓驟降監測裝置系統

本研究所選用的小波是Daubechies 3 [19]，所進行的分解階層為3，選用的分析軟體是MATLAB。分析信號來源是取樣率3840點的台南科學工業園區供電系統之三

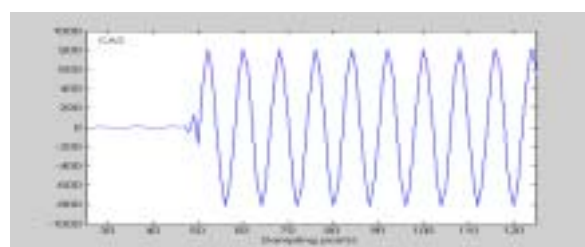
相電壓信號，其中包括開關投入、瞬間電壓擾動、電壓突降等各種不同之電力品質擾動。以下是分析結果。

測試一：開關投入

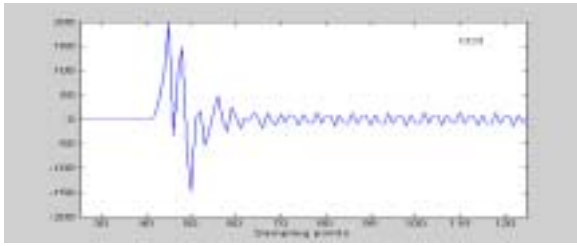
此開關投入發生於2002/08/11 10:52:55，圖8(a)是原始T相電壓信號，即圖四中的 $c_0[n]$ ，其中箭頭所指位置是開關投入瞬間的擾動情況，隨後電壓波形很快即呈現穩定。圖8(b)是 $c_3[n]$ 之信號，代表原始信號之近似趨勢，波形顯示波形迅速穩定。圖8(c)為 $d_3[n]$ 之信號，代表原始信號之細部趨勢，波形顯示擾動信號峰值只有一處，即擾動發生之瞬間（大約位於取樣點40-50之間），且迅速的衰減。故對原始信號近似信號的波形不構成干擾。圖8(d)是 $d_2[n]$ 信號，代表原始信號經過2層分解之細部趨勢，波形亦顯示出擾動信號峰值僅有一處，且迅速的衰減。圖8(e)是信號 $d_1[n]$ 之圖形，其代表原始信號經過1層分解之細部趨勢，波形同樣顯示主要的擾動信號峰值集中一處（大約在取樣點160附近）。從圖8(b)至圖8(e)，可看出電壓在開關投入瞬間存在暫態現象，雖然暫態現象迅速衰減，而本方法仍可明確顯示出擾動發生之時間。



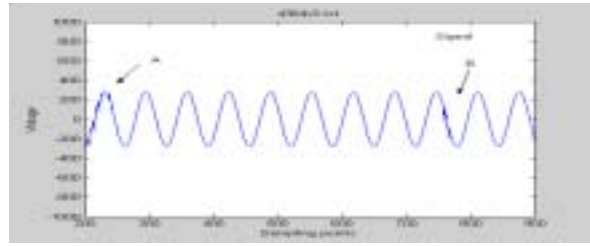
(a)



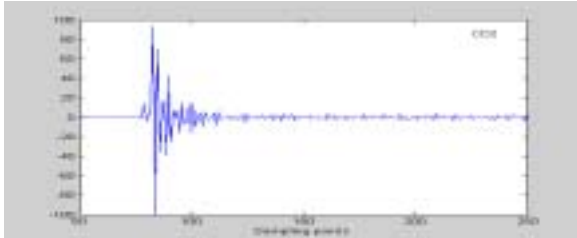
(b)



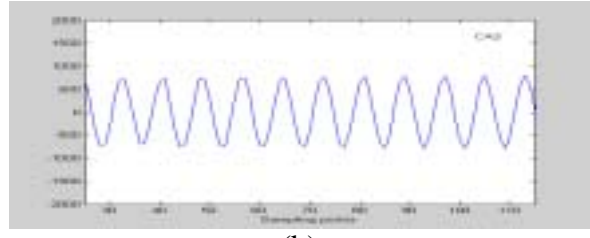
(c)



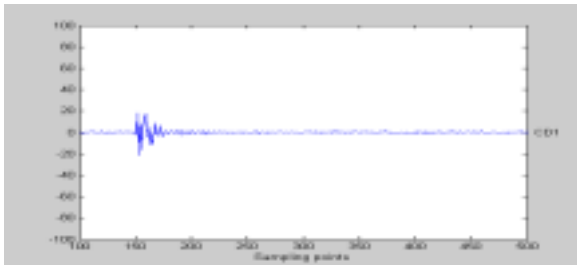
(a)



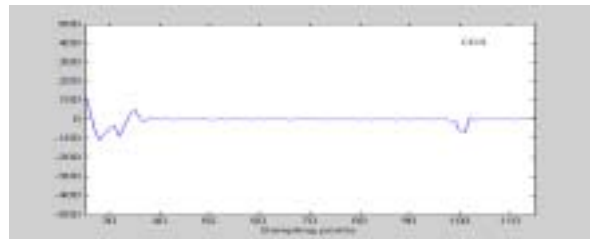
(d)



(b)



(e)



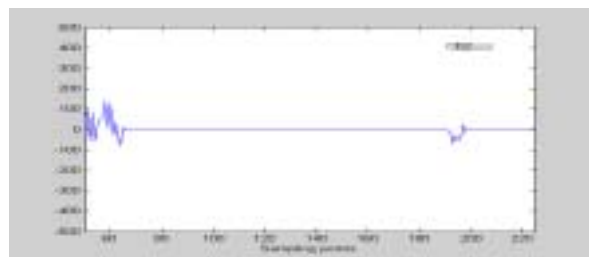
(c)

圖 8 開關投入

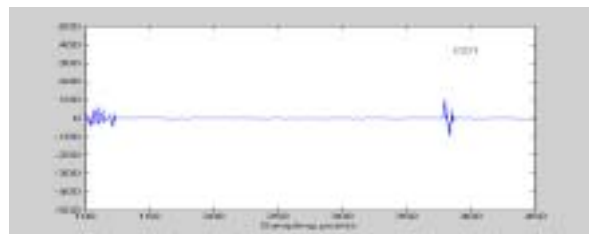
(a) $c_0[n]$ (b) $c_3[n]$ (c) $d_3[n]$ (d) $d_2[n]$ (e) $d_1[n]$

測試二：瞬間電壓擾動

本測試之瞬間電壓擾動發生於 2002/08/30 00:53:04。圖 9(a)是原始的 T 相電壓信號，箭頭所指位置為瞬間電壓擾動發生之時間，由於此種擾動屬於暫態現象，故隨後電壓波形很快即呈現穩定。圖 9(b)為 $c_3[n]$ 之信號，波形代表原始信號之近似信號，由於此種擾動並不會造成電壓有效值的下降，因此 $c_3[n]$ 信號並無異常變化。圖 9(c)為 $d_3[n]$ 之信號，波形代表原始信號之細部信號，波形顯示擾動信號峰值有 2 處與圖 9(a)中 A、B 位置相符。圖 9(d)是 $d_2[n]$ 信號，波形亦顯示擾動信號峰值有 2 處且亦與圖 9(a)中 A、B 位置相符。圖 9(e)是經 1 層小波分解後得到的 $d_1[n]$ ，波形代表原始信號經一次分解後之細部信號，波形顯示擾動信號峰值與圖 9(c)-9(d)相符。



(d)



(e)

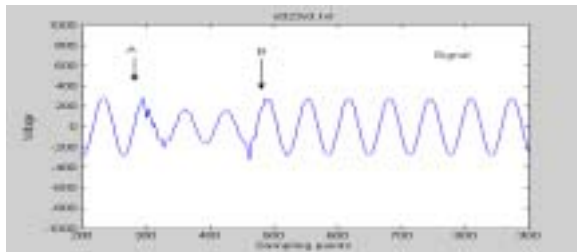
圖 9 瞬間電壓擾動

(a) $c_0[n]$ (b) $c_3[n]$ (c) $d_3[n]$ (d) $d_2[n]$ (e) $d_1[n]$

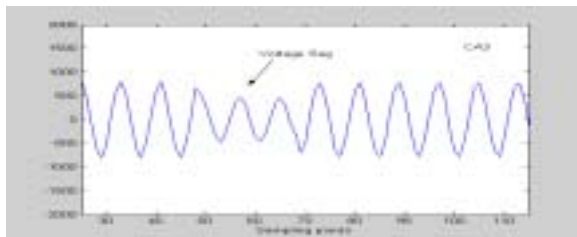
測試三：電壓突降

此測試之電壓突降擾動發生於 2002/08/10 22:03:23。圖 10(a)為原始的 T 相電壓信號，箭頭 A、B 所指位置是波形發生突降的區間，隨後電壓波形即呈現穩定。圖 10(b)是 $c_3[n]$ 信號，同樣代表原始信

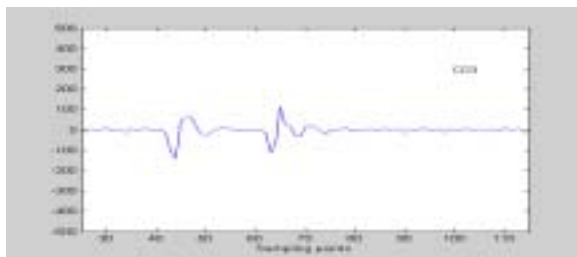
號之近似信號，由於此種擾動不同於瞬間電壓擾動，其電壓有效值具有下降之特性，因此在 $c_3[n]$ 信號中可看出此種趨勢，圖中箭頭所指位置是發生突降的地方，波形趨勢也與圖 10(a) 吻合。圖 10(c) 是 $d_3[n]$ 信號，代表原始信號之細部信號，波形顯示擾動信號峰值有 2 處分別在擾動“開始”與“結束”之位置。圖 10(d) 與 10(e) 分別代表二次與一次分解後之細部信號 $d_2[n]$ 與 $d_1[n]$ ，波形顯示擾動信號峰值亦同樣有 2 處，與原始信號符合。



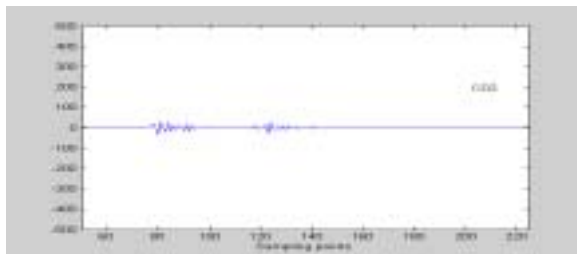
(a)



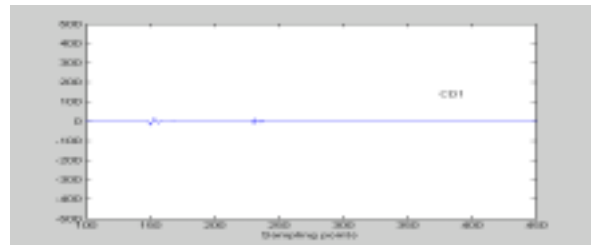
(b)



(c)



(d)



(e)

圖 10 電壓突降

(a) $c_0[n]$ (b) $c_3[n]$ (c) $d_3[n]$ (d) $d_2[n]$ (e) $d_1[n]$

五、結論與討論

本研究應用小波轉換於台南科學園區電力信號之分析，並選擇 Daubechies 3 小波及分解階層為 3，藉由小波分解所得的係數，可更有效率地偵測出各種不同之電力擾動，而小波分解所得的係數亦具有表示干擾事件訊號大小的功能與趨勢。在測試結果中顯示，所提之方法不僅可正確偵測出電力擾動事件，更可精確地定位與標示。

參考文獻

- [1] D.E. Newland "An introduction to random vibrations, spectral and wavelet analysis" Longman Scientific & Technical New York, 1993
- [2] Stephane G. Mallat "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation" New York: Scientific DataLink, 1987
- [3] Lokenath Debnath (editor) "Wavelet transforms and time-frequency signal analysis" Boston: Birkhuser, 2001
- [4] A. Antoniadis, G. Oppenheim (editors) "Wavelets and statistics", 103, Lecture note in Statistics, Springer Verlag, 1995
- [5] Y. Meyer "Wavelets: algorithms & applications" Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1993.
- [6] G. Strang and T. Nguyen, "Wavelets and FilterBanks", Wesley-Cambridge Press, Boston, USA, 1996.
- [7] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, No. 7, July 1989, pp.

- 674-693.
- [8] I. Daubechies, "The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 36, No. 5, September 1990, pp. 961-1005.
- [9] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing", IEEE Signal Processing Magazine, October 1991, pp. 14-38.
- [10] A. Domijan, G. T. Heydt, A. P. S. Meliopoulos, S. S. Venkata and S. West, "Directions of Research on Power Quality", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, January 1993, pp. 429-436.
- [11] S. Santoso, E. J. Powers and W. M. Grady, "Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis", IEEE PES Summer Meeting, 95-SM-371-5-PWRD, Portland, Oregon, July 1995.
- [12] Huang, S. J., Huang, C. L. and Hsieh, C. T.: 'A Method of Supervising Inrush Current Harmonics in Transformers', Proceedings of the Sixteenth Symposium on Electric Power Engineering, Kaohsiung, Taiwan, 1995, pp. 29-34
- [13] J. Carr, "Detection of High Impedance Faults on Multi-Grounded Primary Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 4, April 1981, pp. 2008-2116.
- [14] S. Ebron, D. L. Lubkeman and M. White, "A Neural Network Approach to the Detection of Incipient Faults on Power Distribution Feeders", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990, pp. 905-914.
- [15] Wernekinck, E., H. Valenzuela and I. Anfossi, (1993) On the Analysis of Power Electronics Circuits Waveforms with Wavelets, Power Computation Conference, Yokohama, Japan
- [16] P. Pillay and A. Bhattacharjee, "Application of Wavelets to Model Short-Term Power System Disturbances", IEEE PES Winter Meeting, 96-WM-284-0-PWRS, Baltimore, Maryland, January 1996.
- [17] W. A. Wilkinson and M. D. Cox, "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients", IEEE PES Summer Meeting, 96-SM-286-5-PWRS, Baltimore, Maryland, January 1996.
- [18] S. Santoso, E. J. Powers and W. M. Grady, "Power Quality Disturbance Data Compression using Wavelet Transform Methods", IEEE PES Summer Meeting, 96 SM 427-5 PWRD, Denver, Colorado, July 1996.
- [19] I. Debauchies 1992 "Ten lectures on wavelets " CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics ,PA.

計畫成果自評

由於近來大量使用靈敏的電力電子設備，所以電力系統中任何的異常都可能帶來無法預測得結果，因此，一個能預警電力品質的方法是非常需要的，本研究報告提出小波轉換的方法來探討分析台南科學園區之各種電力品質擾動現象，將各監測點所測得之實際資料加以分析，以判斷電力品質擾動之發生。

小波理論提供了一個應用信號處理的架構。與傅立葉轉換的不同在於小波轉換使用一個窗型函數，且此窗型函數會在不同的情況下自動調整大小。由於這種特性，所以它可精確地觀測非靜態信號的暫態行為。若有一個突波擾動發生在某個極短的時間區域內，如以快速傅立葉轉換，或許無法偵測出正確的時間，但小波轉換則可同時獲得時間及頻率的資訊，並可偵測出擾動發生的精確時間。小波轉換有以下四種主要特性：

1. 它可更有效地監測暫態信號頻譜間之變化。
2. 它可同時表現出時間與頻率的資訊。
3. 穩態週期波之取樣週期數，若非剛好整數週期則會造成洩漏效應，以小波轉換方法處理可降低洩漏效應。
4. 使用小波轉換可分析基波頻率整數倍以外的諧波分量，因此比傳統快速傅立葉轉換適用的範圍更廣。

測試結果顯示此方法可正確偵測台南科學園區之各種電力品質擾動事件，也可以對數種擾動加以可精確地定位與標示，因此本方法在實務應用上確具有可行性及實用性。本研究報告達成的貢獻包括下列幾點：

1. 建立小波理論在實際電力系統擾動事件分析之應用方法：本研究所使用之小波理論可以提高電力品質擾觀測之精確度，以避免系統設備之損壞，並減少損失。
2. 提出觀測電力品質之方法：本研究提出之方法除了可分析穩態信號外，更可以適用於動態信號，補救傳統傅立葉轉換的缺失。

本研究計畫除已完成之研究貢獻外，未來之研究方向可包括：

1. 要完整的監測系統及判斷事件則需要分析龐大的資料。為了在不失真的情形下降低這些資料的數量，資料壓縮的方法是具有其實用性，因此未來也可應用小波理論於資料壓縮上。
2. 在本研究計畫中我們採用的基本小波是 Daubechies 小波，在未來的研究中我們將評估不同基本小波之影響。