

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

用於分佈式發電系統之混合式孤島偵測脈波電流注入法

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 101-2221-E-216-029-
執行期間：101年08月01日至102年07月31日
執行單位：中華大學電機工程學系

計畫主持人：侯中權

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：江盈璇
碩士班研究生-兼任助理人員：蘇心平
碩士班研究生-兼任助理人員：羅榮榜
碩士班研究生-兼任助理人員：林書緯
大專生-兼任助理人員：林漢威

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 102年08月28日

中文摘要：分散式發電系統通常由太陽能發電系統和風力發電機等系統組成。其中孤島偵測對於分散式發電系統非常重要。當市電與分散式發電系統解除並聯時，孤島現象發生，此時分散式發電系統供電給區域負載。先前的文獻提出孤島偵測技術與微電網的保護觀念。本研究提出單相市電並聯反流器系統搭配孤島偵測。此系統包含電壓電流感測器、孤島保護跳脫器、類比數位轉換器、數位訊號處理器、電阻電感電容之區域負載及脈波寬度調變器。

孤島偵測技術主要分為三類，被動式技術、主動式技術及遙測技術。被動式技術偵測電壓、頻率及諧波。被動式技術與主動式技術的差異在於電阻電感電容之區域負載。當電阻電感電容之區域負載與分散式發電系統供電相同時，即使孤島現象發生，被動式技術也無法偵測，稱為非偵測區。因此，主動式技術用來偵測非偵測區。傳統的主動式技術於 2 秒內可偵測非偵測區的孤島現象，滿足(IEEE-1547 標準)。例如，鎖相回路法(> 220ms)，主動漂移法(> 100ms)，相位跳躍法(> 26 ms)，及諧波電流注入法(> 16.5 ms)。本研究提出主動式孤島偵測技術使用可調脈波電流於分散式發電系統。利用脈波電流注入所造成的電壓響應差於 2.8ms 內判斷系統操作在市電並聯模式或孤島模式，比傳統的電流注入法判斷快。此外，利用電力線通訊技術確保孤島偵測之準確性。

中文關鍵詞：主動式孤島偵測, 被動式孤島偵測, 分散式發電系統, 微電網, 非偵測區, 鎖相回路, 主動頻率漂移, 相位跳躍, 諧波電流注入, 脈波電流注入, 電力線通訊, 單相市電並聯反流器, 電壓感測器, 電流感測器, 數位訊號處理器

英文摘要：The islanding detection is an important issue for distributed generation systems (DGSs) or micro-grid. The DGSs consist of photovoltaic, wind generator systems and etc. The islanding issue in DGSs occurs when utility power is disconnected, and the local load is fed power from DGSs. The islanding detection methods for DGSs are presented. The protection principles for micro-grid are proposed. This study presents a single-phase grid-connected inverter system with islanding detection. The system consists of DGSs, voltage sensor (VPCC) and current sensor (I_{inv}) via point of common coupling (PCC), a breaker as anti-islanding trip, analog-to-digital (A/D) converters, a digital signal processor (DSP)

controller, parallel resistor-inductor-capacitor (RLC) loads and a pulse width modulator (PWM) unit. This study proposes an active anti-islanding detection using an adjustable pulse current. The pulse current injection (PCI) method is utilized to find out the NDZ with fast detection time (< 2.8 ms). Furthermore, the power line communication (PLC) as an auxiliary islanding detection method to keep islanding detection system with accuracy.

英文關鍵詞： Active anti-islanding detection, Passive anti-islanding detection, distributed generation systems, micro-grid, non-detection zone, phase lock loop, active frequency drift, phase jump, harmonic current injection, pulse current injection, power line communication, single-phase grid-connected inverter, voltage sensor, current sensor, digital signal processor

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	II
圖目錄.....	III
摘要.....	IV
Abstract.....	V
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 論文架構.....	1
第二章 文獻回顧.....	2
2.1 孤島運轉簡介.....	2
2.2 遠端遙控孤島偵測及區域孤島偵測分析.....	3
2.2.1 遠端通訊技術.....	3
2.2.2 區域型孤島偵測技術.....	3
2.3 被動型孤島偵測技術.....	4
2.3.1 輸出功率變化率 (Rate of change of output power, ROCOP)	5
2.3.2 頻率變化率 (The rate of change of frequency, ROCOF)	5
2.3.3 頻率功率變化率 (Rate of change of frequency over power)	5
2.3.4 阻抗變化 (Change of impedance)	6
2.3.5 電壓不平衡 (Voltage unbalance)	6
2.3.6 諧波失真檢測 (Harmonic distortion)	6
2.4 主動式孤島偵測技術.....	6
2.4.1 虛功誤差偵測 (Reactive power export error detection)	6
2.4.2 阻抗量測 (Impedance measurement)	6

2.4.3	相位（頻率）移動（Phase (or frequency) shift）	6
2.5	混合式孤島偵測技術.....	7
2.5.1	正回授及電壓不平衡技術.....	7
2.5.2	電壓及虛功漂移技術.....	7
2.6	結論.....	8
第三章	孤島測試平台架構設計.....	8
3.1	前言.....	8
3.2	鎖相迴路控制器設計.....	9
3.3	電流控制.....	10
3.4	孤島非探測區負載設計.....	11
3.5	主動式孤島偵測-脈波電流注入偵測法	12
3.5.1	系統阻抗分析.....	12
3.5.2	脈波電流注入法.....	14
3.6	電力線通訊偵測法.....	19
3.7	混合式孤島偵測配置及操作點選擇.....	20
第四章	模擬結果.....	23
4.1	簡介.....	23
4.2	非 NDZ 之孤島偵測模擬	23
4.3	NDZ 中應用主動式脈波電流注入法之孤島偵測	31
第五章	實驗結果.....	35
5.1	簡介.....	35
5.2	可探測區孤島偵測實驗結果.....	35
5.3	非探測區混合式孤島偵測實驗結果.....	37
5.4	電力線通訊孤島偵測實驗結果.....	40
5.5	實驗結論.....	41
第六章	總結.....	42

6.1 結論.....	42
6.2 未來展望.....	42
參考文獻	44
附錄	47

表目錄

表 2-1 孤島偵測技術之優缺點.....	4
表 3-1 IEEE-1547 規範之電壓與頻率正常操作與故障清除時間.....	12
表 3-2 主動式孤島偵測法中 PCI 與 HCI 比較.....	19
表 4-1 孤島運轉模擬系統參數一覽.....	23
表 4-2 模擬 OV/UV、OF/UF 狀況之負載參數.....	24
表 4-3 主動式孤島偵測速度比較表.....	35
表 5-1 孤島運轉實驗系統參數一覽.....	35
表 5-2 實驗 OV/UV、OF/UF 狀況之負載參數.....	36
表 5-3 非探測區孤島偵測測試使用負載.....	38
表 5-4 混合式孤島偵測法中各別方法之優缺點比較.....	42

圖目錄

圖 2-1 孤島偵測技術架構.....	3
圖 2-2 NDZ 範圍圖形	5
圖 3-1 市電並聯型單相全橋式反流器用於孤島偵測系統.....	8
圖 3-2 三相電壓源使用之鎖相迴路控制方塊圖	9
圖 3-3 三相與靜止座標及同步座標示意圖.....	9
圖 3-4 單相電壓源使用之鎖相迴路控制方塊圖	10
圖 3-5 預測電流控制之模型.....	11
圖 3-6 市電並聯型反流器的阻抗模型	13
圖 3-7 在 NDZ 之 RLC 負載阻抗的動態響應.....	13
圖 3-8 使用脈波電流於並聯 RLC 負載之電壓反應.....	14
圖 3-9 各種脈波電流及脈波寬度所造成的電壓反應.....	15
圖 3-10 脈波電流輸出半週期向上或向下序列示意圖.....	16
圖 3-11 脈波電流輸出一上一下序列示意圖.....	17
圖 3-12 向上或向下脈波序列電流注入頻譜分析	17
圖 3-13 一上一下脈波序列電流注入頻譜分析.....	18
圖 3-14 不同頻率之序列脈波電流注入差異.....	18
圖 3-15 一般家庭應用電力線通訊網路橋接架構圖.....	19
圖 3-16 應用於微電網之電力線通訊技術架構.....	20
圖 3-17 電力線通訊與其他分散式發電機系統連結示意圖.....	20
圖 3-18 混合式孤島偵測控制方塊圖	21
圖 3-19 混合式孤島偵測流程.....	22
圖 4-1 在非線性負載操作時發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形.....	24
圖 4-2 孤島運轉中過壓狀況之模擬.....	25

圖 4-3 孤島運轉中欠壓狀況之模擬.....	26
圖 4-4 孤島運轉中過頻狀況之模擬.....	28
圖 4-5 孤島運轉中欠頻狀況之模擬.....	29
圖 4-6 模擬測試欠壓時之防孤島運轉.....	30
圖 4-7 模擬測試過頻時之防孤島運轉.....	30
圖 4-8 操作於 NDZ 下之反流器輸出電流及電壓波形.....	30
圖 4-9 NDZ 負載之系統發生孤島運轉於 0.8 s 且同時注入脈波電流.....	32
圖 4-10 NDZ 負載之系統發生孤島運轉於 0.8145 s 且同時注入脈波電流.....	33
圖 4-11 在不同能量 Q_{PCI} (庫倫) 之電流總諧波失真分布.....	34
圖 5-1 孤島運轉發生過壓 OV 情況以及防孤島實驗.....	36
圖 5-2 孤島運轉發生欠壓 UV 情況以及防孤島實驗.....	36
圖 5-3 孤島運轉發生過頻 OF 情況以及防孤島實驗.....	37
圖 5-4 孤島運轉發生欠頻 UF 情況以及防孤島實驗.....	37
圖 5-5 上半弦波注入一上一下脈波電流實驗示意圖.....	38
圖 5-6 下半弦波注入一上一下脈波電流實驗示意圖.....	38
圖 5-7 利用 PCI 在不同注入角度下於非探測區負載偵測孤島運轉.....	40
圖 5-8 單獨使用電力線通訊孤島偵測法.....	41

摘要

隨著再生能源的開發，市電並聯型的發電系統已漸漸成為一種趨勢。為了分散式發電系統的應用、確保系統維護人員的安全，以及電網的可靠性以及並聯所需技術要求，孤島運轉已經是非常關鍵的議題。

本研究提出了一個新混合式孤島偵測，包含被動式、主動式、遠端式孤島偵測技術於分散式發電系統。本研究所發展新型主動式脈波電流注入法可有效解決孤島運轉中非探測區的問題，以注入脈波電流知道其系統電壓響應，不須使用快速傅立葉轉換或離散傅立葉轉換等大量計算消耗控制處理器運算能力，比其他主動式孤島偵測法更為快速 ($<2.8\text{ms}$)。此外，本文加入電力線通訊法，利用與遠端伺服器，或是分散式發電系統之間溝通，使孤島偵測更為可靠。

被動式包含過／欠電壓及過／欠頻率；主動式脈波電流注入法；遠端式電力線通訊法，所成之混合式孤島偵測可以搭配使用且不互擾，提供一項快速、有效、可靠度高之孤島偵測技術。全文依照 IEEE-1547-2008 規範及 IEEE-929-2000 規範，透過模擬與實驗證明其方法可行。

關鍵字 - 孤島運轉、分散式發電系統、微電網、脈波電流注入、電力線通訊

Abstract

Depend on the development of renewable energy, the grid-connected power generation systems have become a trend. For application of distributed power generation systems, to ensure that safety of maintenance staff of power system, as well as the reliability of the grid-connected technical requirements, the islanding is a very critical issue.

This study proposes a hybrid islanding detection method which including active method and remote method for distributed generation. The pulse current injection (PCI) as active method is utilized to find out non-detection zone (NDZ). Using pulse current injection to observe the voltage response of the system replaces Fast Fourier Transform (FFT) or Discrete Fourier Transform (DFT). It is faster and more than the other active islanding detection method ($<2.8\text{ms}$). Furthermore, the power line communication (PLC) as remote method to keep islanding detection system stably and accurate.

Passive methods include over / under voltage and over / under frequency; active method: pulse current injection method; remote method: power line communication method, as the hybrid islanding detection can be used with and without interference, to propose a fast, effective and high reliability of islanding detection technology. Finally, the performances of the proposed scheme follow IEEE-929 and IEEE-1547 standards are validated by simulation and experimental results.

Keywords – Islanding, distributed generation systems, micro-grid, pulse current injection, power line communication.

第一章 緒論

1.1 前言

在現今溫室效應衝擊下，地球氣候已產生巨大變異。自工業革命以來，人類的能源需求越來越高，大量使用各種燃料，使得二氧化碳濃度急遽高升，不僅僅是環境變異問題，而且能源的耗盡是可以預期的。為了解決未來能源缺乏的窘境，國際間已有共識，紛紛投入再生能源的研究發展，各國在 1997 年簽訂「京都議定書」共同解決溫室氣體排放問題。因此，再生能源發展已是現今熱門的議題。

隨著再生能源的開發，市電並聯型的發電系統已漸漸成為一種趨勢。為了分散式發電 (Distributed Generation, DG) 系統大規模的應用、確保系統維護人員的安全，以及電網的可靠性以及並聯所需技術要求，孤島運轉 (Islanding) 已經是非常關鍵的問題。為了明確定義孤島運轉以及規範其要求，國際間有制定兩種規範分別為 IEEE Std.1547[1]及 IEEE Std. 929[2]。

孤島運轉所指的是市電並聯型的反流器具有反潮流系統，且並聯之市電端故障停止供電，形成分散式能源單獨運轉的情況。當市電端斷開後，可能仍穩定的供電，或是產生劇烈負載電壓變化，進而造成電器機具的損壞。根據國際間規範，一旦偵測到市電端故障，保護裝置都應隨即切斷分散式能源供電，以防止孤島現象發生。而且當分散式發電系統繼續供電，並持續將電力回送電網時，若此時維護人員正在修復電網，容易造成人員觸電，產生工安危險。因此分散式能源系統之孤島檢測技術非常重要。

現今已有許多文獻探討孤島檢測，但各種孤島檢測方法仍有其優缺點，然而非探測區問題使得孤島運轉不易被發現，而傳統偵測非探測區之方式非常緩慢，本研究使用脈波注入技巧可以快速偵測非探測區，而混合式孤島偵測使系統更加可靠完備，詳細內容在下列各章節會一一描述。

1.2 論文架構

本文的架構共分為六章節，內容如下概述：

第二章 文獻回顧

對目前現有的文獻探討回顧，目前的孤島檢測技術主要分為遠端遙控孤島偵測技術及區域孤島偵測技術，區域孤島偵測技術又可進一步分為被動式、主動式和混合式偵測，本文將在此章節一一介紹其特性，及其優缺點之整理。

第三章 孤島測試平台架構設計

測試平台依照 IEEE1547 之測試規範設計，設計反流器控制方式，並針對可探測區與非探測區之負載作探討。本章節也包含本文提出之主動式脈波電流注入法及電力線通訊法及混合式孤島偵測概念。

第四章 模擬結果

使用 PSCAD/EMTDC 建立模擬專案，分別利用被動式與主動式模擬探測區以及非探測區之孤島偵測。

第五章 實驗結果

建構實驗平台，以實驗結果驗證提出之方法，證實本研究於探測區與非探測區的孤島偵測可行性。

第六章 結論

對本文之混合式孤島偵測作結論，並提出未來研究方向建議及討論。

第二章 文獻回顧

2.1 孤島運轉簡介

分散式發電系統 (Distributed Generation, DG) 併入市電系統之後，會衍生出許多問題，例如：電壓控制、鎖相迴路、暫態分析等...，孤島運轉 (Islanding) 即為重要的問題之一。孤島運轉是指市電端故障，造成電力中斷，而分散式發電系統並未從並聯系統上解聯，分散式發電系統仍持續提供電力，產生獨立區域供電的情況。

孤島運轉有許多好處，但同時也有缺點如下[4]：

1. 系統將電力輸往市電，市電電網維修人員會在不知情的情況下觸電，造成人員受傷，產生工安問題。
2. 電壓和頻率可能無法維持在規定的標準範圍內。
3. 若是持續並聯直到市電修復且供電的瞬間，可能會因為市電與分散式發電系統相位不同，造成電網上的發電機、設備損傷，或是分散式發電系統設備的損壞。同時產生的暫態反應很可能破壞用電戶設備。
4. 孤島運轉會干擾鄰近線路以及用戶手動或自動復原程序。

基於以上理由，快速且精準的孤島運轉檢測系統是非常重要的。

孤島運轉偵測主要在監測分散式發電系統的輸出參數或系統參數，並從這些監測數據的變動來判斷孤島效應是否已產生。孤島偵測技術可以分類成「遠端型孤島偵測」及「區域型孤島偵測」，區域孤島偵測又可進一步分為被動式、主動式和混合式偵測，如圖 2-1 所示。

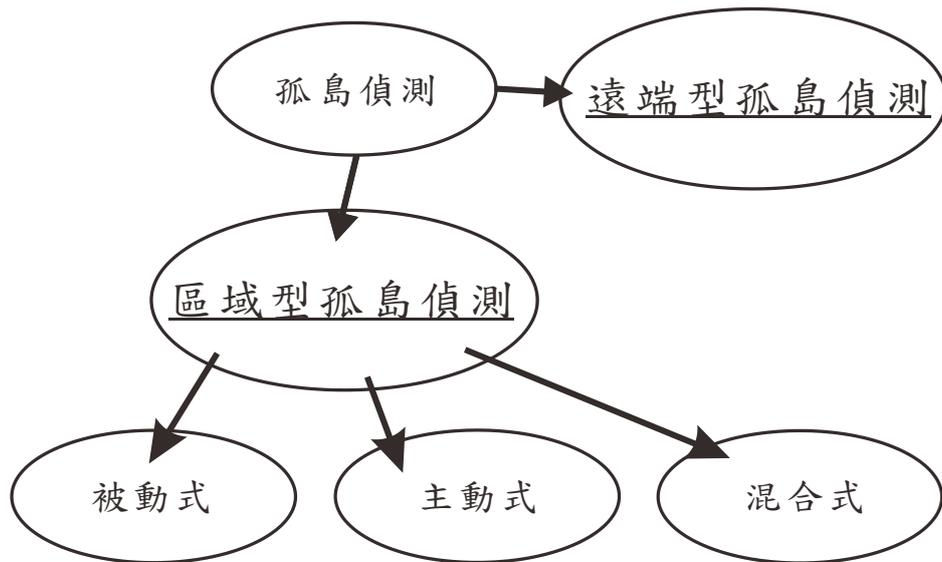


圖 2-1 孤島偵測技術架構[4]

2.2 遠端遙控孤島偵測及區域孤島偵測分析

2.2.1 遠端通訊技術

遠端通訊孤島偵測技術，是市電與分散式發電系統設備間做通訊。若是市電發生故障，將由市電端發出訊號要求分散式發電系統設備解聯。雖然遠端遙控孤島偵測技術較區域孤島偵測技術可靠，但是對於小系統而言成本較高。遠端遙控

孤島偵測的相關技術整理如下：

移轉跳脫偵測技術[5]：

此技術主要監控電網電驛（Relay）的狀態。可由主控端系統進行監控。此方法必須在市電和分散式發電系統之間作通訊，因此會增加市電及分散式發電系統的設備成本。

電力線訊號技術[6-7]：

利用電力電網當作通訊路徑來傳遞訊號，而分散式發電系統端加裝接受器。市電端一直傳送訊號，而分散式發電系統端則接收，若是接收器接收不到訊號，則孤島現象即產生。此技術成本較高，但在多個分散式發電系統並聯系統下較為實際。

2.2.2 區域型孤島偵測技術

區域偵測技術以量測分散式發電系統之系統參數，如電壓、頻率、相位等...。可歸類如下：

1. 被動式偵測技術：

量測系統電壓、頻率、諧波失真等參數變化。代表技術：輸出功率變動率[8]、頻率變動率[9]、阻抗變動[10]、電壓不平衡[11]、諧波失真檢測[11]。

2. 主動式偵測技術：
虛功誤差偵測[10]、諧波注入測量[12-13]、阻抗量測[14-15]、相位或頻率移動（如滑差模式頻率移動演算法[16-17]、主動式頻率飄移法[18-19]、自動相移法[20]等...）。
3. 混合式偵測技術：
利用正回授和電壓不平衡技術[21]、利用電壓和虛功飄移技術[22]。

孤島偵測技術主要分成遠端遙控及區域偵測技術。而區域偵測技術又分為主動式、被動式與混合式。每個技術皆有其優點及限制。沒有一個孤島偵測技術可以滿足所有的系統可能的操作情況。選擇哪一種孤島偵測方式和分散式發電系統的型式及特性有很大的關係。近年來提出的混合式偵測技術，其方式是以參數變化做為區別，當系統參數變動量很大時採用被動式偵測技術，而變化量不夠大時則改用主動式偵測技術。其優缺點如表 2-1。

表 2-1 孤島偵測技術之優缺點[4]

偵測技術		優點	缺點
遠端型偵測技術		• 可靠度高	• 對小系統而言成本高
區域型偵測技術	被動式	• 偵測時間短 • 不干擾系統 • 在可探測區仍保持精確	• 在非探測區不精確 • 系統設定太敏感容易經常跳脫
	主動式	• 在非探測區可保持精確	• 系統中引進干擾 • 偵測時間較久
	混合式	• 不可偵測範圍小	• 當被動式及主動式同時採用，孤島偵測時間會被延長

2.3 被動型孤島偵測技術

被動式孤島偵測技術其優點為簡單、設備成本便宜，業界也已有產品安裝於電力系統之上。但是被動型孤島偵測技術有缺點：有較大的不可偵測範圍（Non Detectable Zone, NDZ），在發電量與負載需求量非常接近時，會無法偵測到孤島現象。根據 IEEE-1574，典型的過/欠電壓設定值為 1.1 標么值到 0.88 標么值，而過/欠頻率為 60.5Hz 到 59.3Hz。依規範而定，可繪出 NDZ 的範圍圖形如圖 2-2，NDZ 圖形指出負載消耗實功與反流器輸出實功相減所得之 ΔP ，以及載消耗虛功與反流器輸出虛功相減所得之 ΔQ 。在負載需求之實功量小於輸出之實功量，在相同輸出電流下，其反應之電壓即增加，此時利用過電壓（OV）電驛即可偵測出孤島運轉；反之，在負載需求之實功量大於輸出之實功量，在相同輸出電流下，

其反應之電壓即下，降此時利用欠電壓（UV）電驛即可偵測出孤島運轉。在負載需求負虛功量大於輸出之需功量，則頻率上升，利用過頻率（OF）電驛即可

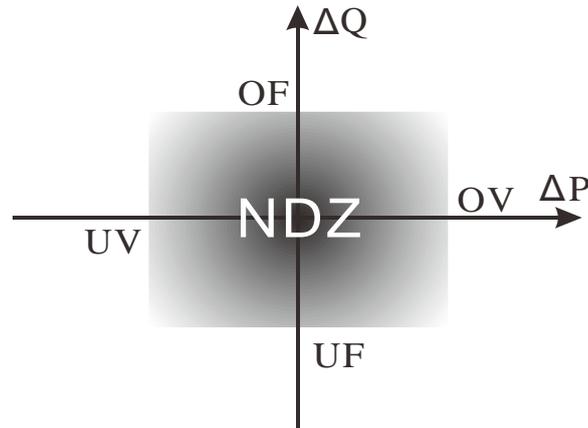


圖 2-2 NDZ 範圍圖形

偵測出孤島運轉；在負載需求正虛功量大於輸出之需功量，則頻率下降，利用欠頻率（UF）電驛即可偵測孤島運轉。而被動式孤島偵測，尚有許多方法，在下列小節會一一介紹：

2.3.1 輸出功率變化率（Rate of change of output power, ROCOP）

輸出功率變化率： $\frac{dP}{dt}$ ，當分散式發電系統與電力系統併網，而且在相同的負載情況下。途中發生孤島運轉，分散式發電系統的輸出功率會變得異常。此方法對於不平衡負載的情況下較為有效。

2.3.2 頻率變化率（The rate of change of frequency, ROCOF）

孤島現象發生時，頻率會因實功不平衡而變動的非常劇烈，其中頻率變化率（ROCOF）的數學方程式如式(2-1)。

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P}{2GH} f \quad (2.1)$$

其中

ΔP ：實功不平衡量

H：分散式發電系統的慣性常數

G：分散式發電系統系統的額定發電量

f：市電頻率

大型的系統擁有較大的 H 及 G，小型的系統擁有較小的 H 和 G，小型系統會讓 $\frac{df}{dt}$ 值變得較大。頻率變化率的系統會監測電壓波形，若是頻率變化率，高於設定的值一段時間，則判定孤島運轉發生。

2.3.3 頻率功率變化率（Rate of change of frequency over power）

頻率功率變化率： $\frac{df}{dP}$ 值在小容量發電系統比大容量發電系統來的大。頻率

功率變化率利用此概念來檢測孤島運轉。然而在功率較小，以及分散式發電系統與負載不匹配的情況下，頻率功率變化率方式會比頻率變化率方式更為敏感，因此決定方式與參數是必須的工作。

2.3.4 阻抗變化 (Change of impedance)

電力系統的阻抗比起孤島運轉系統的阻抗小的多。利用此概念，只要電力系統網中有一節電力中斷，則阻抗將會有所變化。所以持續觀察電源的阻抗變化，則能判斷是否已呈現孤島運轉。

2.3.5 電壓不平衡 (Voltage unbalance)

當孤島運轉發生時，分散式發電系統必須對突然間的負載變大狀況做些改變。可利用監測幾種參數如：電壓大小、相位移動、和頻率改變。若改變的量非常大，則很容易將孤島運轉的狀態檢測出。然而，這些方式若是在狀態改變很小的情況下，就不見得很有效。

2.3.6 諧波失真檢測 (Harmonic distortion)

其方法為監測分散式發電系統內的總諧波失真量 (Total harmonic distortion, THD)，在與市電並聯時，因市電系統比起分散式發電系統大，並聯情況下諧波失真變化較小。而孤島運轉時，因分散式發電系統單獨運作輸出，因此諧波失真變化量較大，因比較分散式發電系統在孤島運轉前後的參數值，即可知道是否呈現孤島運轉。

2.4 主動式孤島偵測技術

有了主動式偵測技術，就算是在發電機輸出功率與負載在非探測區時，孤島運轉仍然能檢測出來，這是被動式技術做不到的。主動式偵測技術是指直接在電力系統中注入擾動，若是在孤島運轉發生時，會產生一些重要的反應。而在分散式發電系統及電網並聯時這些反應極小，因此可以判定是否孤島運轉產生。相關的技術如下：

2.4.1 虛功誤差偵測 (Reactive power export error detection)

此方法的概念，是因分散式發電系統會在責任分界點 (Point of Common Coupling, PCC) 或是斷路器上產生一定水平的虛功潮流。而與電網連結的分散式發電系統則會維持此虛功潮流。若是檢測出虛功潮流超出設定的值，而無法維持虛功潮流水平的話，那孤島運轉即被檢測出。

2.4.2 阻抗量測 (Impedance measurement)

此方法的觀點與被動式偵測技巧阻抗變化技術有關。在主動式的方法中，使用一個並聯電感跨接在電源及分散式發電系統端。如此，產生的短路電流及壓降，即可測出系統之阻抗。

2.4.3 相位 (頻率) 移動 (Phase (or frequency) shift)

當以變流器為基礎的分散式發電系統發生孤島運轉時，相對相位是一個很好的偵測方法。當分散式發電系統和市電連結時，引進一個小擾動量，造成相位移動，市電將會很快將頻率穩定。相對的，若是在孤島運轉發生時引進擾動，則會產生很重大的頻率變化。其中常見的技術有：滑差模式頻率移動演算法

(Slip-Mode Frequency Shift Algorithm, SMS)、主動式頻率飄移法 (Active Frequency Drift, AFD)、自動相移法 (Automatic Phase-Shift Method, APS)。這些方法大致相同，而各種方法各有其優缺點，詳細可參考文獻[23]。

2.5 混合式孤島偵測技術

混合式孤島偵測技術將區域型偵測的兩大項技術，被動式及主動式孤島偵測作結合。若是被動式孤島偵測懷疑可能有孤島運轉產生時，則轉成主動式孤島偵測。相關的技術如下：

2.5.1 正回授及電壓不平衡技術

正回授及電壓不平衡技術，使用了兩種偵測技巧，一者是正回授(主動式)，另者是電壓不平衡(被動式)。此方法概念是監測三相電壓且持續的計算電壓不平衡狀態，其式子如式(2.2)：

$$VU = \frac{V_{-sq}}{V_{+sq}} \quad (2.2)$$

其中 VU 代表電壓不平衡的計算結果， V_{+sq} 為正序電壓而 V_{-sq} 為負序電壓。理想狀況下，VU 的值該趨近於零。但若是負載改變、孤島運轉、開關動作等...，皆能觀察出瞬態電壓 (Spike)。每當 VU 超出設定值後，分散式發電系統的頻率設定點將改變。若因電力中斷造成系統頻率改變，則孤島運轉狀態即被檢測出。

2.5.2 電壓及虛功飄移技術

此技術為量測一段時間的電壓變化(被動式)得到共變異數 (Covariance) 值如式(2.3)，到達設定的參數值後，轉換成適應性虛功飄移方法(主動式)。

$$\text{cov}(T_{av^t}, T_v) = E(T_{av}^{(n)} - U_{av})(T_v^{(n)} - U_v) \quad (2.3)$$

其中

$T_{av}^{(n)}$ ：前四個電壓週期平均值

U_{av} ： T_{av^t} 的平均值

T_v ：電壓週期

U_v ：的平均值

共變異數表示機率與統計學中兩個變數的總體的誤差，而 E 表示期望值，孤島發生時會產生暫態或不穩定量，利用期望值與實際量的誤差量 $\text{cov}(T_{av^t}, T_v)$ 來懷疑是否孤島運轉，進而執行主動式適應性虛功飄移：

適應性虛功飄移利用 d 軸電流位移，虛功位移如式(2.4)

$$i_d^k = k_d \left(\frac{T_{av^t} - T_v^{(k)}}{T_v^{(k)}} \right) \quad (2.4)$$

k_d 的設定點決定孤島是否產生。而一般而言，正常的系統 d 軸電流(虛功)變化率小於 q 軸電流(實功)，因此，系統不論如何令虛功飄移，皆不產生巨大變化。若 d 軸(虛功)電流增加，則孤島運轉可能發生，適應性虛功飄移加速相位移動。因此使得系統頻率快速變動以發覺孤島產生[22]。

2.6 結論

孤島偵測已有大量技術及辦法被提出，以被動式而言可以掌握大部分孤島運轉的問題，然而非探測區的問題使得被動式有其缺陷，而目前主動式方法有偵測速度較緩慢的問題，本文提出一脈波電流注入之方法，解決主動式技術偵測緩慢的問題。而電力線通訊設備以目前發展之下已趨於便宜，本文應用電力線通訊方式進行實驗，詳細操作流程在下章節詳述。

第三章 孤島測試平台架構設計

3.1 前言

孤島測試平台依照 IEEE1547 之測試規範設計。圖 3-1 表示本文所使用之單相全橋式市電並聯型反流器及孤島標準測試電路，其中包含輸入之分佈式直流電源 (DG Source)、直流濾波電容 (C_{dc})、全橋式反流器 (Full-Bridge Inverter)、濾波電感 (L_{inv})、電壓及電流感測器、數位類比轉換器 (A/D Converter)、控制器 (Controller)、RLC 並聯負載 (Parallel RLC Load) 及斷路器 (Breaker)。其中 IEEE1547 中，定義量測的點為責任分界點 (Point of Common Coupling, PCC)。控制器必須執行鎖相迴路控制，電流控制及孤島偵測；為了達成市電並聯，穩定的鎖相迴路控制及電流控制是必須的。因此在 3.2 節及 3.3 節各別討論其控制方法，若系統負載不匹配於分散式發電系統輸出能量，則孤島產生後，系統會座落在過/欠電壓 (OV/UV)、過/欠頻率 (OF/UF) 範圍中，孤島現象便可非常快速的檢測出。但系統負載若匹配，則系統會座落在非探測區 (Non-Detection Zone, NDZ)，相關之非探測區負載設計方法會在 3.4 節提到。

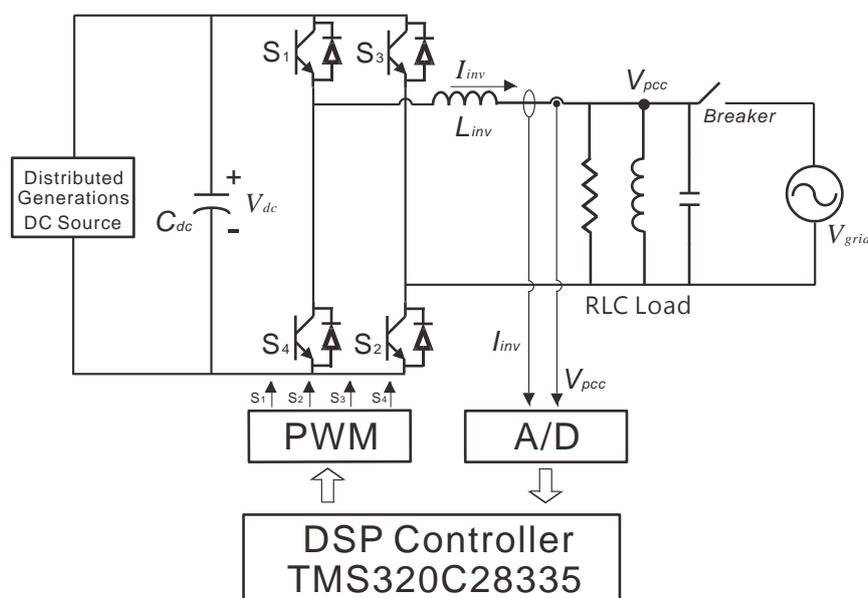


圖 3-1 市電並聯型單相全橋式反流器用於孤島偵測系統

3.2 鎖相迴路控制器設計

對於許多電網並聯式設備而言，因為市電頻率、電壓較穩定且容量大，因此市電相位角已被認定是最基礎的資訊。在這些條件下，快速且精準的鎖相迴路（Phase Lock Loop, PLL）系統是必須的[24-25]。

一般三相市電鎖相迴路之控制方塊圖如圖 3-2[25]，其方法利用三相各相序理想電壓 V_a 、 V_b 、 V_c ，如式(3.1)：

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos(\omega t + \theta) \\ V \cos(\omega t + \theta - \frac{2\pi}{3}) \\ V \cos(\omega t + \theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

代入靜止參考系座標轉換（Clark Transformation）後，可將三相（A、B、C）電壓轉為兩相的靜止參考座標 V_α 、 V_β 以及零序座標 V_0 ，再以 V_α 、 V_β 代入同步參考系座標轉換（Park Transformation），輸出 V_{qe} 和 V_{de} ，其靜止框及同步框轉換之框轉換如圖 3-3。而公式分別為式(3.2)及式(3.3)：

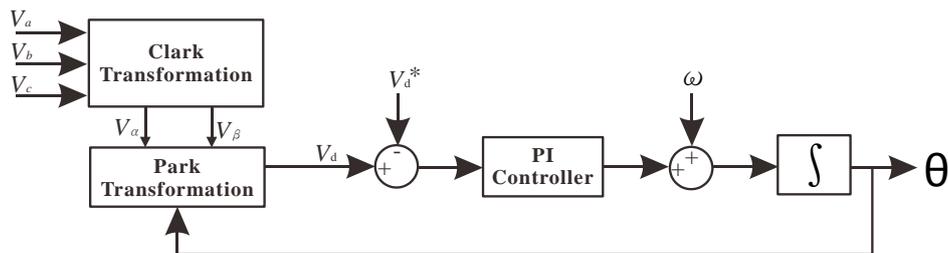


圖 3-2 三相電壓源使用之鎖相迴路控制方塊圖

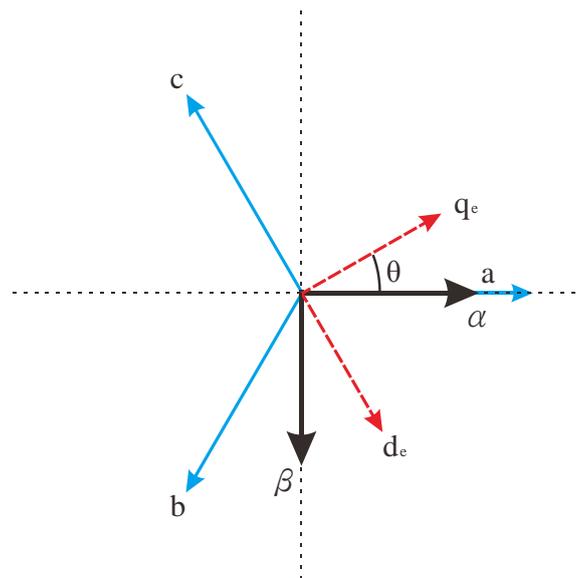


圖 3-3 三相與靜止座標及同步座標示意圖

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} & \frac{-1}{3} \\ 0 & \frac{-1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\begin{bmatrix} V_{qe} \\ V_{de} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

將 V_d 減去命令 V_d^* 得到的誤差 (error)，利用比例積分控制器 (PI Controller) 累積誤差，最後加上起始角度 ω ，對其做積分後即可得到目前系統角度 θ 。

然而本文使用單相並聯系統，但單相電源不像三相電源般可利用三相各相序電壓提供同步參考系座標轉換。因此，必須利用輸入之單相電源 V_{grid} 作為靜止參考系座標的 V_α 軸，初始之 V_β 軸以零為初始值，利用同步框轉換輸出 V_d 軸與 V_q 軸同步框座標，經濾波器後得到 V'_d (表示系統虛功) 與 V'_q (表示系統實功) 輸入式(3.4)得到下一階段之 β 軸。

$$\begin{cases} V_\alpha = V_{grid} \\ V_\beta = V'_q \cos \theta - V'_d \sin \theta \end{cases} \quad (3.3)$$

之後，如圖 3-4，再將 α 、 β 軸輸入同步參考系座標轉換如式(3.3) 得到其 d 軸及 q 軸，對其軸 V'_d 減去命令 V_d^* 得到的誤差，利用比例積分控制器累積誤差，最後加上起始角速度 ω ，對其做積分後即可得到目前系統角度 θ 。

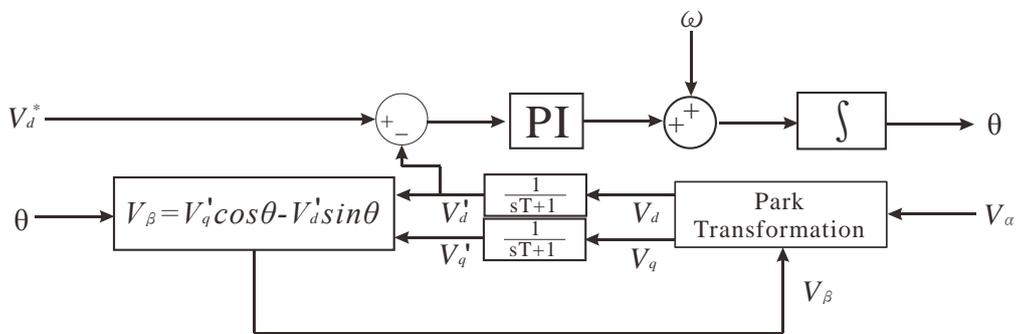


圖 3- 4 單相電壓源使用之鎖相迴路控制方塊圖

3.3 電流控制

併網系統中，因市電端為定電壓系統，因此利用脈波寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 的操作技術控制輸出電流。

本文使用預測電流控制 (Predictive Current Control)，其控制模型如圖 3-5。電流控制需要幾項要求如下：非正弦的電流追蹤、有高頻諧波下仍有高電流追蹤、高電流控制頻寬、恆定開關 PWM 頻率、維持電流漣波 (Current Ripple) 邊界及相位間的互擾與避免電流環流問題等...[26]，預測電流控制基於輸出電流的靜止座標兩相座標 (分別為 i_d 及 i_q) 下做控制，以控制實功為例：將框轉換後之

i_q 與電流命令 i_q^* 相減得到誤差 Δi_q 後乘以比例控制器 $\frac{L}{\Delta t}$ (其中 L 表示輸出濾波電感量, 而 Δt 表示固定的切換時間) 之後, 加上系統電壓反電動勢 e 作為前饋項, 以電壓弦波為基礎以及增加系統追隨能力, 輸出到 PWM 單元控制反流器開關做切換, 利用市電端與直流匯流排(DC Bus)端電壓差, 以濾波電感 $\frac{1}{sL}$ 輸出切換電流。

預測電流控制是在固定取樣週期內, 根據輸出電流與命令間的誤差, 以及硬體元件的配置及參數的不同, 預測之後電流輸出的趨勢, 輸出相應的控制命令。

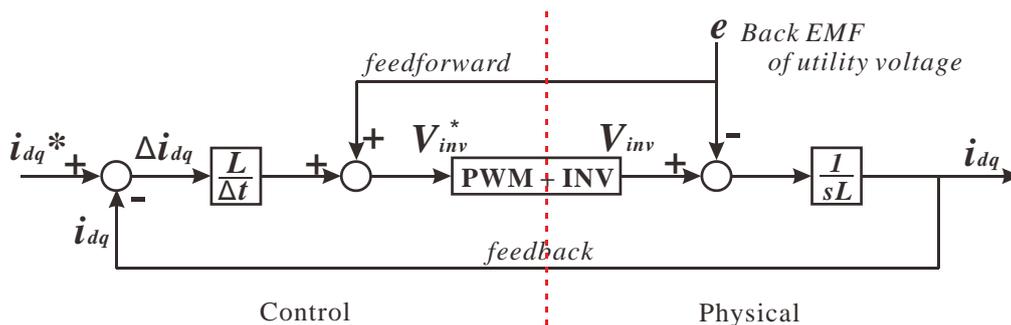


圖 3-5 預測電流控制之模型

3.4 孤島非探測區負載設計

對孤島偵測而言, 非探測區 (Non Detectable Zone, NDZ), 是指在發電量與負載需求量非常接近時, 被動式孤島偵測法會無法偵測到孤島現象, RLC 負載量與品質因數 Q_f 則為非探測區關鍵之一[27]。

品質因數 Q_f 其定義為(3.5)式, 而 RLC 並聯負載之品質因數可表示為(3.6)式:

$$Q_f = \frac{\text{儲存電能}}{\text{消耗電能}} \quad (3.4)$$

$$Q_f = \frac{1}{P} (\sqrt{Q_C \times Q_L}) \quad (3.5)$$

其中 $|P|$ 為反流器輸出實功量, $|Q_C|$ 為電容器消耗負虛功量, $|Q_L|$ 為電感器消耗正虛功量。而將負載設計於非探測區時, 三者消耗之實功以及正負虛功率皆相同如(3-7)式, 代表品質因數 $Q_f = 1$ 。

$$|P| = |Q_C| = |Q_L| \quad (3.6)$$

再者因 IEEE1547 規範之電壓及頻率如下頁表 3-1, 以其範圍之過/欠電壓 (OV/UV) 及過/欠頻率 (OF/UF) 及可繪出非探測區範圍。而並聯 RLC 負載計算式如下(3.8)式、(3.9)式、(3.10)式及(3.11)式:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.7)$$

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3.8)$$

$$L = \frac{V^2}{2\pi f Q_f P} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{Q_f P}{2\pi f V^2} \quad (3.10)$$

其中 f 代表系統頻率、 P 代表輸出實功、 Q_f 表示品質因數。

表 3-1 IEEE-1547 規範之電壓與頻率正常操作與故障清除時間

參數	範圍	故障清除時間
電壓	$V < 50\%$	0.16 sec
	$50\% \leq V < 88\%$	2.00 sec
	$88\% \leq V < 110\%$	一般操作情況
	$110\% \leq V < 120\%$	1.00 sec
	$V \geq 120\%$	0.16 sec
頻率	$f > 60.5 \text{ Hz}$	0.16 sec
	$60.5 \text{ Hz} \geq f \geq 59.3 \text{ Hz}$	一般操作情況
	$f < 59.3 \text{ Hz}$	0.16 sec

在 IEEE-1547 中規範品質因數 $Q_f \leq 2.5$ ，本文以 $Q_f = 1$ 作為全參數設定，因此在同輸出功率下，NDZ 的範圍可以依上頁並聯負載 RLC 各式算出，本文提出脈波電流注入法針對 NDZ 下負載做孤島偵測，以脈波電流判斷其負載座落點，以分辨系統是否為孤島運轉，詳細內容將在下一節詳述。

3.5 主動式孤島偵測-脈波電流注入偵測法

本文提出一個新的主動式孤島偵測法，脈波電流注入法 (Pulse Current Injection, PCI)，提供了一項快速、無非探測區問題的孤島偵測。脈波電流注入法利用改變電流命令，以脈波方式偵測系統電壓反應，依照反應的變化，得知目前系統是否為孤島運轉，減少被動式方法在 NDZ 上無法有效偵測的問題，使用其方法必須了解系統阻抗、脈波寬度變化及總諧波失真 (THD) 的影響，以下將分為兩小節一一說明。

3.5.1 系統阻抗分析

市電並聯型反流器的阻抗模型如圖 3-6，以反流器輸出觀點而言，其路徑可為反流器輸出阻抗 Z_{inv} 、並聯 RLC 負載 Z_{load} 、斷路器電驛 Breaker、市電系統阻抗 Z_{grid} 及市電系統電壓源 V_{grid} ，其中流經輸出阻抗之電流為 I_{inv} 、流經當地負載之電流為 I_{load} 、流經市電系統阻抗的電流為 I_{grid} 。一般而言，市電系統阻抗 Z_{grid} 比起並聯負載阻抗 Z_{load} 小很多 [15]，因此，在反流器維持市電並聯狀態時，其輸出阻抗為 Z_{con} 。而斷路器電驛斷開時，因少了市電系統端阻抗 Z_{grid} ，整體則會呈現另一阻抗 Z_{isl} 狀態，可整理成(3.12)式：

$$\begin{bmatrix} Z_{con} \\ Z_{isl} \end{bmatrix} = Z_{load} \begin{bmatrix} Z_{grid} \\ Z_{load} + Z_{grid} \\ 1 \end{bmatrix} + Z_{inv} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

依照(3.12)式，當孤島運轉發生時，此時輸出的阻抗，剩反流器輸出阻抗 Z_{inv} 及並聯 RLC 負載 Z_{load} 。並聯 RLC 負載 Z_{load} 可以描述成(3.13)式：

$$Z_{load} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})} \quad (3.12)$$

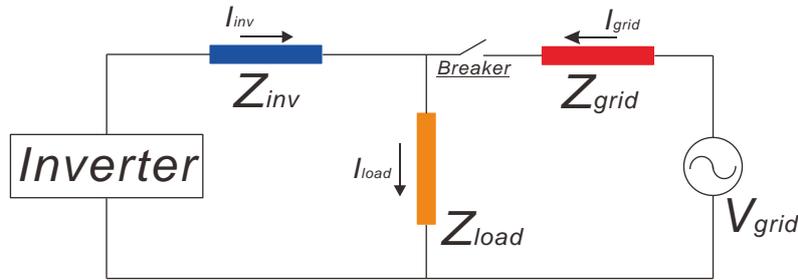


圖 3-6 市電並聯型反流器的阻抗模型

根據(3.13)式，可繪出在 NDZ 之 RLC 負載阻抗的動態響應圖如圖 3-7。其表示 NDZ 負載在不同頻率的範圍內變化，以 60Hz 左右為最高峰點，隨著頻率增長或下降，其阻抗大小會相對應的下降。利用注入電流得知其操作阻抗的方法還有諧波電流注入法 (Harmonic Current Injection, HCI)，諧波電流注入法 (HCI) 利用注入三次或高次諧波，再利用數位處理器 (DSP) 執行離散式傅立葉分析 (Discrete Fourier Transform, DFT) 或是快速傅立葉分析 (Fast Fourier Transform, FFT) 來得知其阻抗是否呈現為孤島運轉[11,13]，利用 DFT 或 FFT 的計算對 DSP 而言處理量非常大，且低頻的諧波電流注入容易影響電力系統，高頻的諧波電流注入其阻抗反應極小不易偵測，這些注入諧波參數設定不易。PCI 利用脈波電流偵測負載電壓反應，可以預測其負載目前落點，細節將在下一小節詳述。

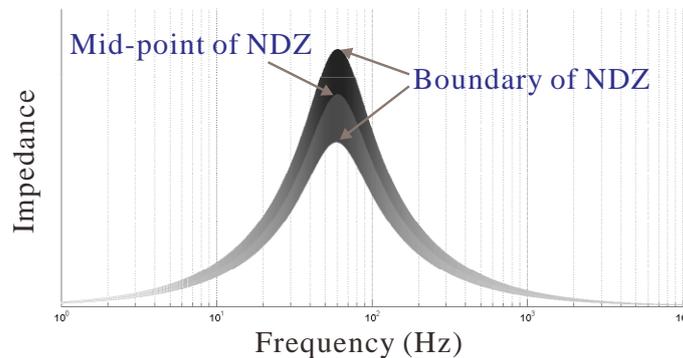


圖 3-7 在 NDZ 之 RLC 負載阻抗的動態響應

3.5.2 脈波電流注入法

本研究提出主動式脈波電流注入法 (PCI)，解決孤島運轉中 NDZ 的問題。給予一個系統脈衝訊號，得到其輸出訊號，可以得到此系統的系統轉移函數。反之，得到系統的轉移函數後，只要輸入一脈波訊號，就會得到一可預測的反應，因此，PCI 利用已知的 NDZ 阻抗模型，注入一脈波電流預測其孤島運轉之電壓反應，若是電壓不符合預測範圍內反應，表示目前系統併網正常，若是電壓符合範圍內反應，則判定系統呈孤島運轉，並且中斷輸出。

根據式(3.13)，已知系統呈現孤島運轉時阻抗。再利用原先系統使用的預測電流控制如(3.14)式，增加步階函數 $u(t)$ 改成式(3.15)以達到脈波電流輸出的需求：

$$v_{cmd}^* = V_{pcc} + \frac{L_{inv}}{T} \{(i^* - i_{inv})\} \quad (3.13)$$

$$v_{cmd}^* = V_{pcc} + \frac{L_{inv}}{T} \{(i^* - i_{inv}) \pm i_{pci}^* \times [u(t) - u(t - t_{pci})]\} \quad (3.14)$$

其中 v_{cmd}^* 表示輸出電壓命令、 V_{pcc} 表示責任分界點電壓、 L_{inv} 表示輸出濾波電感值、 T 表示系統取樣速度、 i^* 表示電流命令、 i_{inv} 表示系統真實輸出電流、 i_{pci}^* 表示脈波電流大小、 t 表示脈波電流注入起始點、 t_{pci} 表示脈波電流注入時間、 $u(t - t_{pci})$ 表示脈波電流時間寬度。

圖 3-8 表示了對並聯 RLC 負載 (R: 50 Ω ; L: 132.4 mH; C: 53 μ f) 使用脈波電流注入 ($i_{pci}^* = 0.5A$; $\Delta t_{pci} = 400\mu s$) 的電壓反應，其中圖 3-8(a) 為脈波電流以零電壓為基礎向上注入電流及其電壓反應，而圖 3-8(b) 為脈波電流以零電壓為基礎向下注入電流及其電壓反應。

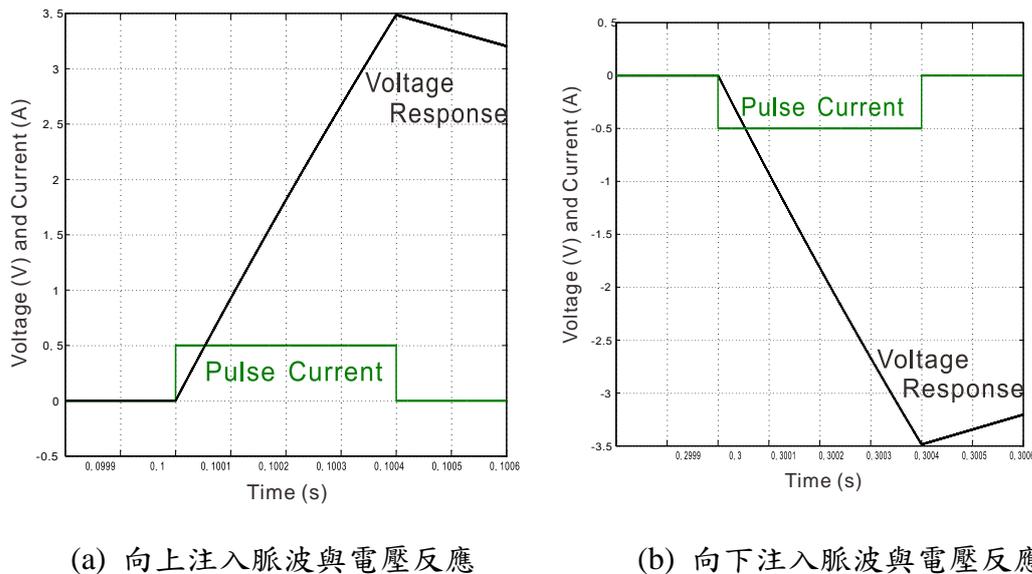


圖 3-8 使用脈波電流於並聯 RLC 負載之電壓反應

電壓響應可以被視為一個並聯 RLC 負載於無市電源之響應，依照 RLC 負載可寫成以下(3.16)式：

$$\frac{V_{resp}(t_{pci})}{R_z} + \frac{1}{L_z} \int_0^{t_{pci}} V_{resp}(t) dt + I_{loop} + C_z \frac{dV_{resp}(t_{pci})}{dt} = 0 \quad (3.15)$$

其中 V_{resp} 為電壓響應， t_{pci} 為脈波電流注入的時間，而 R_z 、 L_z 和 C_z 分別為電阻性負載、電感性負載及電容性負載，而這項式子，經微分及拉式轉換（Laplace Transform）後可被推導成下列式(3.17)：

$$V_{out}(t) = \frac{i_{pci}}{2C_z\sqrt{\alpha_z^2 - \omega_z^2}} e^{(-\alpha_z + \sqrt{\alpha_z^2 - \omega_z^2})t_{pci}} - \frac{i_{pci}}{2C_z\sqrt{\alpha_z^2 - \omega_z^2}} e^{(-\alpha_z - \sqrt{\alpha_z^2 - \omega_z^2})t_{pci}} \quad (3.16)$$

其中 $\alpha_z = \frac{1}{2R_z C_z}$ 以及 $\omega_z = \frac{1}{\sqrt{L_z C_z}}$ 。

依照上頁式(3.17)可以發現 NDZ 下的 LC 負載會呈現弦波震盪的情形，若正好與市電週期震盪頻率相同，則孤島運轉就無法被有效偵測出來。因此引入一些外部的擾動觀察系統，這樣當方式稱之為主動式孤島偵測法，而因 PCI 引入脈波電流，加入電流擾動量偵測系統，所以也屬於主動式孤島偵測法。利用脈波電流注入市電並聯反流器系統，會有兩種情況發生：一、電壓反應非常的微小。二、電壓反應大。其中第一種狀況是系統仍與市電並聯供電的情況，依照圖 3-6 與(3.12)式得知，在市電並聯的情況下，輸出阻抗特別小，所以引入脈波電流對目前主要供電之市電電壓源而言，電壓反應微小。第二種為孤島運轉的情況，利用(3.17)式可知在孤島運轉時，其阻抗會呈現 RLC 負載的電壓響應，因此，利用(3.17)式可將各種脈波電流及脈波寬度所造成的電壓反應繪出如圖 3-9。

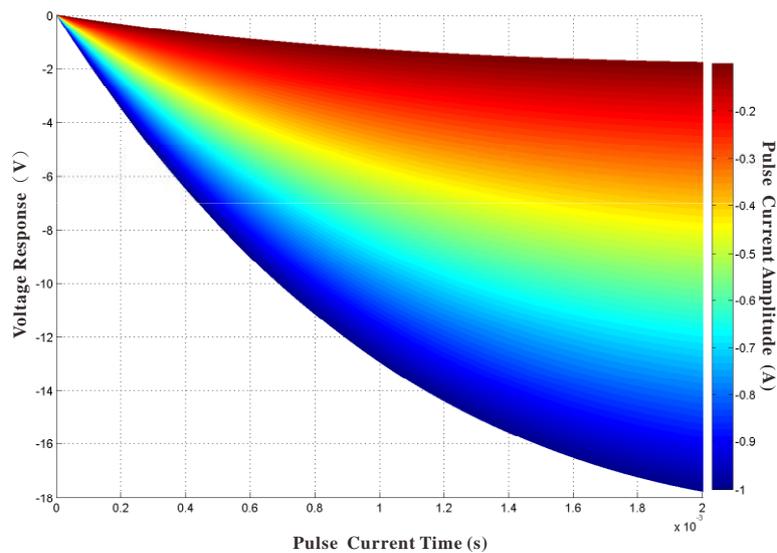


圖 3-9 各種脈波電流及脈波寬度所造成的電壓反應

根據圖 3-7 與圖 3-9，較低的頻率會有較大的阻抗，電壓響應會更加明顯，因此根據環境需要，可選擇不同的頻率(f_{pulse})與占空比(d)，選擇的不同頻率與占空比之輸出能量(Q_{pci} ：庫倫)表示成(3.18)式：

$$Q_{pci} = i_{pci} \cdot \frac{d}{f_{pulse}} \quad (3.17)$$

然而，較低的頻率會產生較低次的諧波，而低次諧波對市電系統有較大的影響，另一方面，只讓脈波電流單純以零點為基準向上或向下注入脈波電流，會影響系統輸出之電流基頻，因此，令注入之脈波電流呈一上一下序列注入，可使得電流基頻不受影響，於偵測上可減少因基頻變動造成的錯誤發生。圖 3-10 表示設計輸出電壓半週期 m 個脈波電流向上，而半週期 m 個脈波電流下向，其脈波寬度為 δ ，脈波與脈波間的寬度為 Δ ，傅立葉級數定義為(3.19)式，其中函式為(3.20)式及(3.21)式，式子中 A 表示脈波電流大小：

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)] \quad (3.18)$$

$$a_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{\cos[nk\Delta] - \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\} \quad (3.19)$$

$$b_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{-\sin[nk\Delta] + \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\} \quad (3.20)$$

而圖 3-11 表示設計輸出脈波電流一上一下序列，其脈波寬度為 δ ，脈波與脈波間的寬度為 Δ ，而半個週期會有 m 個脈波輸出，傅立葉級數定義如上(3.19)式，而其中函式為(3.22)式及(3.23)式，式子中 A 表示脈波電流大小：

$$a_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{(-1)^k \times \{\cos[nk\Delta] - \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\}\} \quad (3.21)$$

$$b_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{(-1)^k \times \{-\sin[nk\Delta] + \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\}\} \quad (3.22)$$

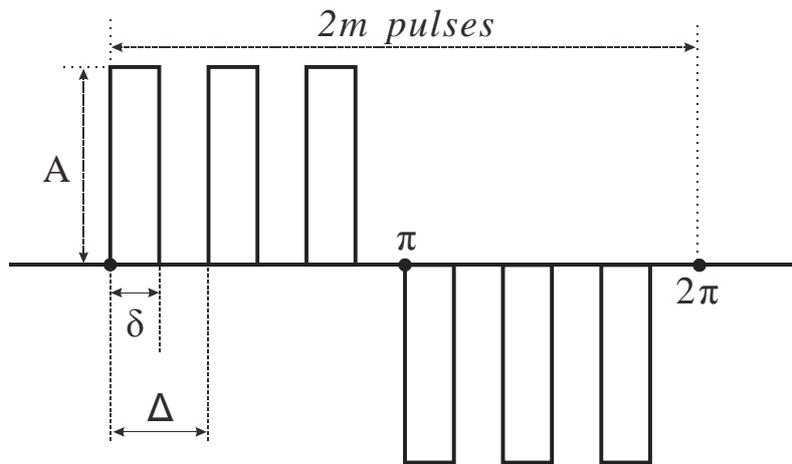


圖 3-10 脈波電流輸出半週期向上或向下序列示意圖

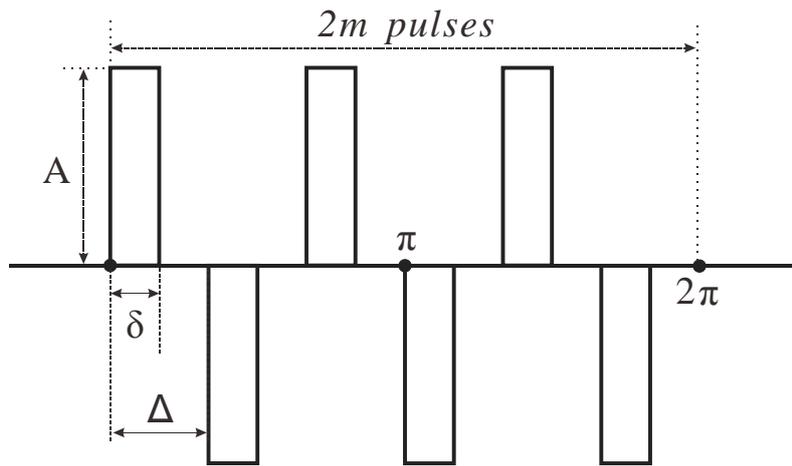


圖 3-11 脈波電流輸出一上一下序列示意圖

依照上頁傅立葉級數，設定參數 $m=3$ （半個市電週期有 3 個脈波）、 $400\mu\text{s}$ 脈波寬度、高度為 1A 電流注入，可以分析出半週期輸出向上或向下脈波電流，其項次與諧波量如圖 3-12。由圖 3-12 顯示當半週期輸出向上或向下脈波電流會影響各項奇次頻率，因其波型對稱所以沒有偶次項諧波。而每市電周期注入脈波數越多，高次諧波衰減程度越低。輸出一上一下序列脈波電流其項次與諧波量為圖 3-13。而圖 3-13 顯示輸出一上一下序列脈波電流並不影響電流基頻，而其諧波項都集中於 3 倍頻上。如圖 3-14，隨著頻率增高，其諧波項也隨之往高次項諧

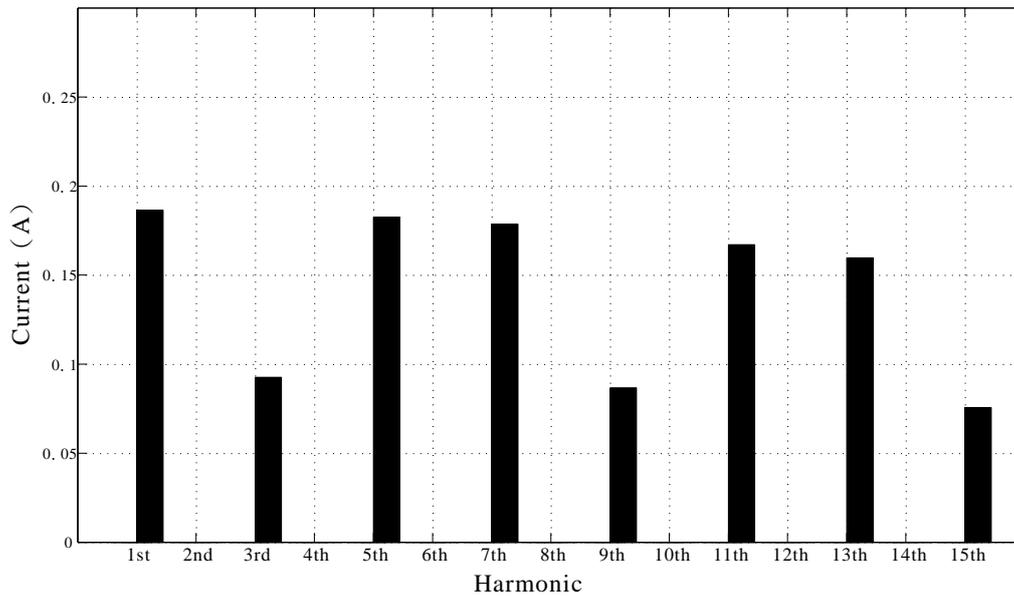


圖 3-12 向上或向下脈波序列電流注入頻譜分析

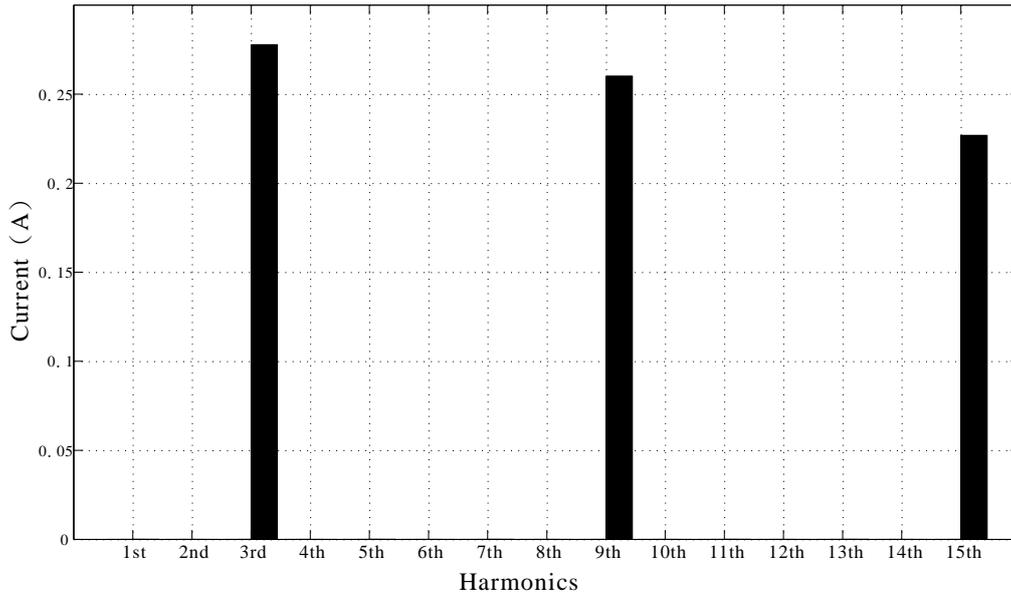


圖 3-13 一上一下脈波序列電流注入頻譜分析

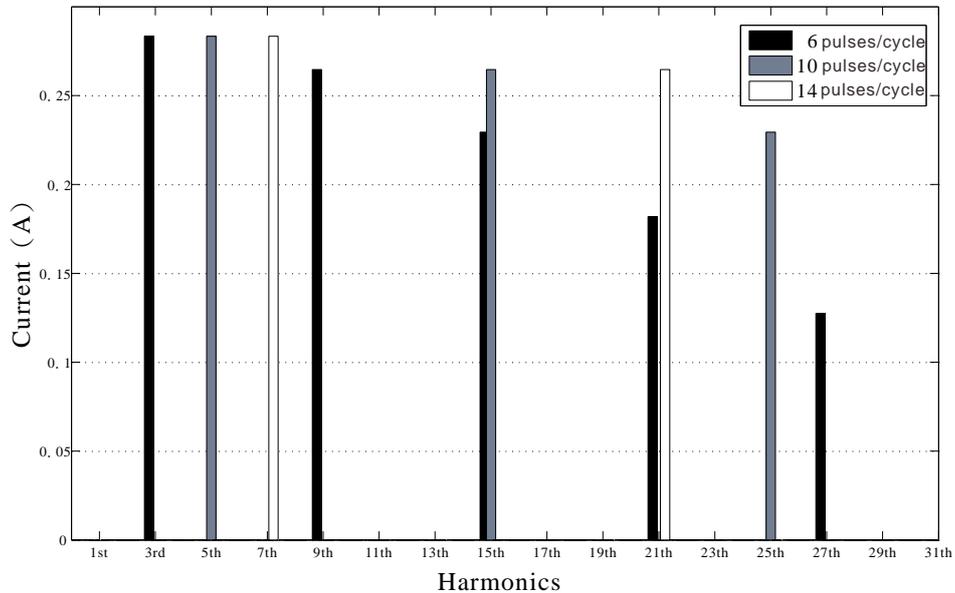


圖 3-14 不同頻率之序列脈波電流注入差異

波累積，但隨著高次的脈波電流注入，越容易影響電流控制，因此依操作環境挑選相當之脈波與脈寬是必須的。相同地，每市電周期注入脈波數越多，高次諧波衰減程度越低

脈波電流注入法 (PCI) 注入高頻脈波電流，並且觀察注入電流前後電壓反應，PCI 比起其他主動式孤島偵測更加快速。舉例，注入每市電週期 6 個脈波的脈波電流，可使系統在最慢時間 2.8ms ($1/6$ 系統週期) 內偵測出 NDZ 下的孤島系統，與 PCI 最相似的為諧波電流注入法 (HCI)，兩者之間的比較如下表 3-2：

表 3-2 主動式孤島偵測法中 PCI 與 HCI 比較

	諧波電流注入法 (HCI)	脈波電流注入法 (PCI)
偵測方式	DFT 或 FFT	電壓反應
處理器處理時間	大	非常小
偵測速度	較慢	快

3.6 電力線通訊偵測法

電力線通訊 (Power Line Communication, PLC) 系統的概念在西元 1950 年被提出。至現今，電力線通訊已發展成熟，並且已應用到一般區域網路建置。電力線通訊技術可透過既有之電源線迴路建置網路寬頻環境，而不必佈署額外網路線路。圖 3-15 表示一般家庭電力線通訊網路橋接架構圖。外部網路由路由器 (Route) 連線到電力線通訊設備，利用既有之電力迴路傳送網路信號，在其它電力線通訊設備之間做資訊解碼，再傳送至其他須上網設備如個人電腦 (Personal Computer)、機上盒 (STB)、遊戲機 (Games) 等...

電力線通訊除了在寬頻網路的通訊範圍領域外，也可利用於控制、自動化或微電網，如偵測停電、監控電力品質、遠端遙控及負載管理等相關議題。本研究利用電力線通訊使用於孤島偵測上，如圖 3-16 顯示，遠端伺服器部分持續傳送固定資訊，讓控制系統持續接收。若是發生孤島運轉，則市電端通訊設備發送之訊號中斷。此時分散式系統若一段時間沒有接收到任何訊息，即可判定孤島運轉產生，這是一項非常有效的方法應用於孤島偵測。初期電力線通訊設備非常昂貴 [4]，因此遠端通訊功能不常被採用。但發展至今，目前一組 HomePlug AV 的電力線通訊設備可以 99 元美金購得。比較於再生能源平台設置而言，已非常廉價。

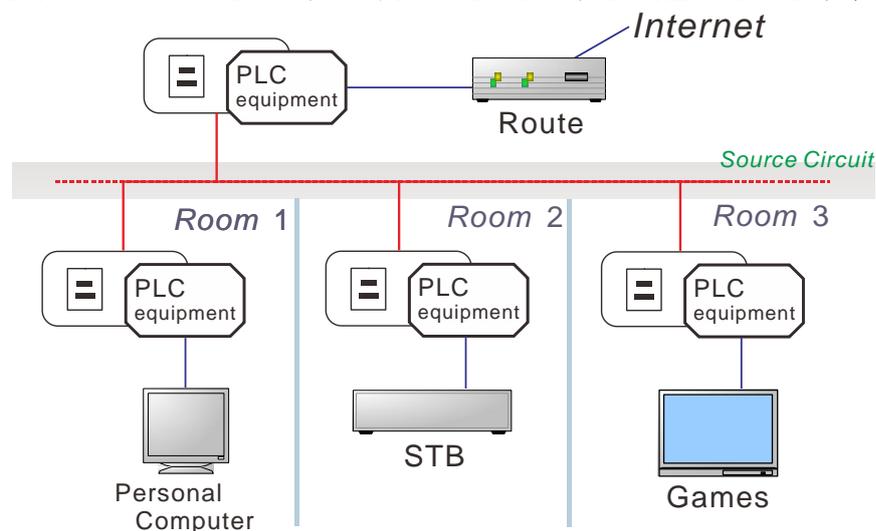


圖 3-15 一般家庭應用電力線通訊網路橋接架構圖

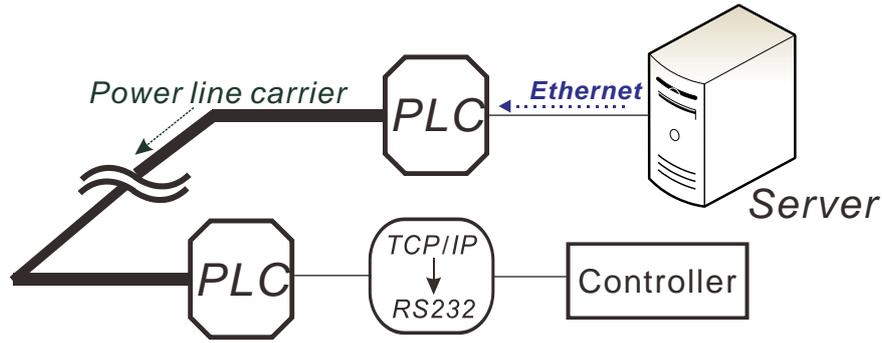


圖 3-16 應用於微電網之電力線通訊技術架構

由於伺服器散播訊號至各個分散式系統的控制器，若是失去訊號等待過久則跳脫。連接於電網之其他分散式發電機也可以由網路通訊中雙向溝通功能，利用 PLC 互相傳遞信息，可包含輸出總功率、輸出系統規格、系統狀態等...。如圖 3-17，市電若是故障，則伺服器與各個分散式發電機系統 (DGSs) 間通訊中斷，而若其中一台分散式發電機發現孤島運轉，則將停止輸出能量信號給各個分散式發電機，一併達到遠端及區域溝通的防孤島運轉 (Anti-islanding)。

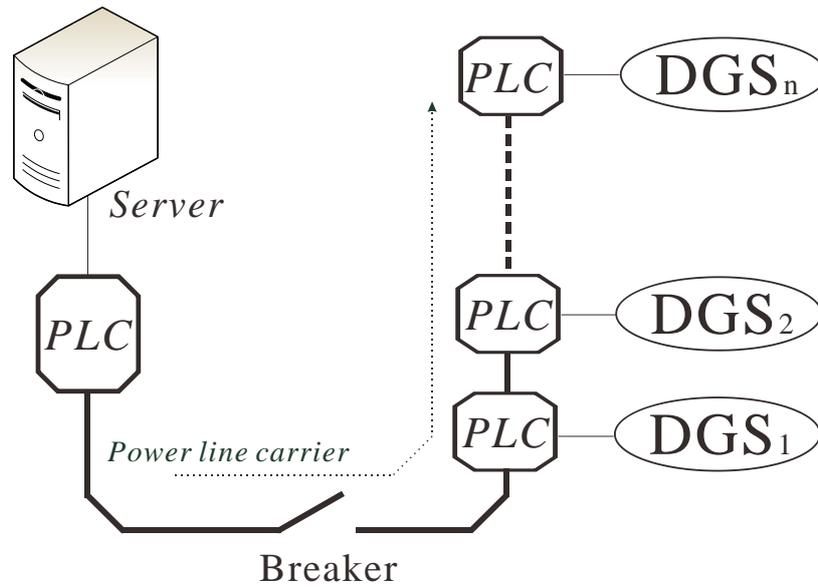


圖 3-17 電力線通訊與其他分散式發電機系統連結示意圖

3.7 混合式孤島偵測配置及操作點選擇

本研究之市電並聯反流器混合式孤島偵測控制方塊圖如圖 3-18，包含電流控制 (Current Control)、單相鎖相迴路控制 (Phase Lock Loop, PLL)、及混合式孤島偵測，詳細的解釋如下。

責任分界點電壓 V_{pcc} 被用來做為靜止框 (Stationary reference frame) 轉換的 α 軸，利用單相 PLL 創造出虛擬的 β 軸進行同步框 (Synchronous reference frame) 轉換得到 V_{qe} 與 V_{de} 軸，其中 V_{qe} 表示實功量、 V_{de} 表示虛功量。而 V_{de} 經過低通濾波器 (Low pass filter, LPF) 後得到一直流量 $V_{de,dc}$ ，經由同步比例積分器

(Proportional-Integral, PI) 產生頻率角速度誤差 ω_{err} ，基本頻率角速度 ω_f 加上頻率角速度誤差 ω_{err} 後作積分即得到目前同步市電電壓相角 θ 。電流控制方面採預測電流控制，以直流鏈電壓命令 V_{dc}^* 減去實際直流鏈電壓 V_{dc} 後執行比例積分器控制產生電流命令 i^* ，電流命令乘上 $\cos\theta$ 後與目前輸出電流 i_{inv} 和脈波電流命令 i_{pci}^* 相減乘上 $\frac{L_{inv}}{T}$ ，再加上前饋項 (feed forward term) 電壓 V_{pcc} 輸出電壓命令 v_{cmd}^* 於 PWM 單元。

而混合式孤島偵測的部分搭配 OV/UV、OF/UF 獨立執行，PCI 部分依照 PLL 所得的系統角度 θ 進行脈波電流注入，而 PLC 部分持續接收外部訊息，可依照環境獨立進行孤島偵測或是做為看門狗 (Watchdog) 控制 PCI 啟動運作。

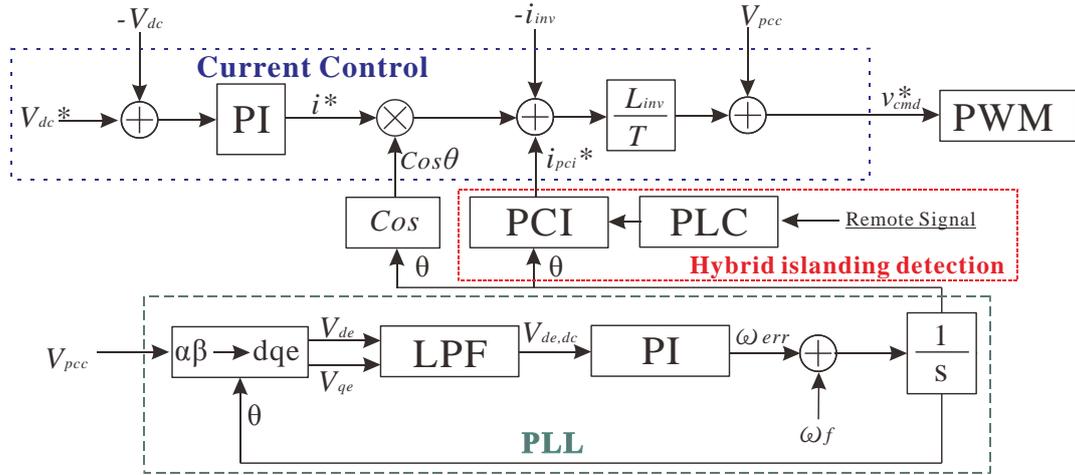


圖 3-18 混合式孤島偵測控制方塊圖

然而 PCI 注入之電流大，其反應電壓量大，可減少偵測上受到干擾問題，但由於規範中輸出電流必須維持 $THD_i < 5\%$ ，因此保持輸出電流在規範之內是必須的，操作點的選擇與 THD_i 有關，操作點選擇依照以下四個步驟：

1. 以系統輸出電流基頻(fundamental)為基準，與 PCI 注入之脈波電流與寬度行傅立葉分析如(3.26)及(3.25)式，算出的各諧波項次(H1、H2、H3...)如(3.26)式，其中脈波寬度為 δ ，脈波與脈波間的寬度為 Δ ，而半個週期會有 m 個脈波輸出，以總諧波失真(THD)如(3.27)式預測計算出電流 $THD < 5\%$ 的操作點。

$$a_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{(-1)^k \times \{\cos[nk\Delta] - \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\}\} \quad (3.23)$$

$$b_n = \frac{2A}{n\pi} \sum_{k=0}^{m-1} \{(-1)^k \times \{-\sin[nk\Delta] + \cos[n \times (k\Delta + \delta)]\}\} \quad (3.24)$$

$$H_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (3.25)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + \dots + H_n^2}}{\text{fundamental}} \quad (3.26)$$

2. 利用(3.9)式、(3.10)式及(3.11)式得知目前可能 NDZ 的 RLC 負載後，將脈波電流及脈波寬度代入運行(3.17)式，算出其並聯 RLC 電壓反應。
3. 代入系統與控制器，測試其輸出電流諧波是否在規範之內，若超過規範範圍，則降低脈波電流大小。
4. 設定系統偵測邊界，若是注入脈波電流後，其反應落在其電壓反應附近，表示孤島運轉產生，中斷系統能量輸出。

按照配置環境需求，PCI 搭配 PLC 的方法提供一項較寬裕的選擇，圖 3-19 表示其混合式孤島偵測流程的搭配組合，OV/UV、OF/UF 在系統中因不干擾系統且在可探測區下偵測效果佳，因此可獨立執行。而 PCI 與 PLC 的配置依環境需求可以分為兩種：

1. PCI 的執行可保持系統非常快速的孤島偵測，而 PLC 可靠度高，因此兩者並聯執行可使系統保有速度及可靠度，如圖 3-19(a)。
2. 因為 PLC 在孤島運轉系統中為較可靠的部分，而 PCI 持續注入脈波電流使系統產生部分諧波問題，因此可選擇以 PLC 作為主控端控制 PCI 使用時機，流程如圖 3-19(b)，PLC 設定時間範圍可以以表 3-1 為基準，在範圍時間內若懷疑系統發生問題時，再持續執行 PCI 偵測是否呈現孤島運轉。

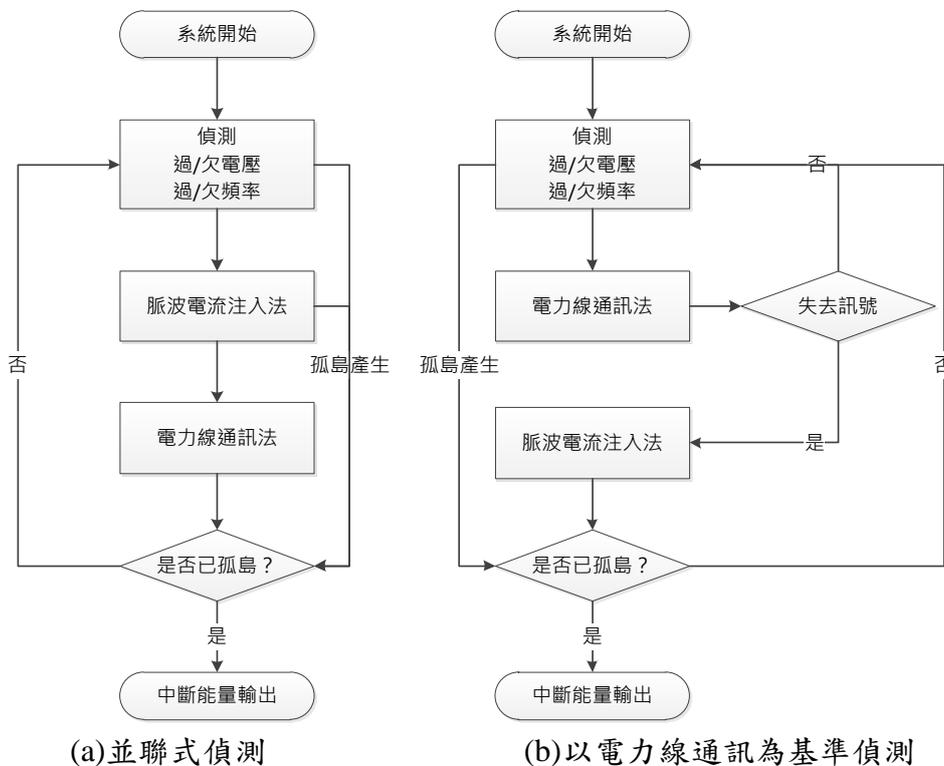


圖 3-19 混合式孤島偵測流程

本研究以 PCI 為主體執行並聯式孤島偵測為主，因此選用的系統流程為圖 3-19(a)，下段章節將進行模擬測試與實驗呈現。

第四章 模擬結果

4.1 簡介

為驗證本文所提之混合式孤島偵測之設計及控制方法，利用模擬軟體 PSCAD/EMTDC 進行模擬，模擬首先於可探測區下的各種情況，針對各種不同形式負載做模擬，之後在於非探測區(NDZ)情況下使用主動式之脈波電流注入法(PCI)偵測孤島運轉，系統操作之參數如下表 4-1：

表 4-1 孤島運轉模擬系統參數一覽

市電參數 (單相)	
相電壓	110 V _{ac,rms}
市電頻率	60 Hz
反流器參數	
系統操作頻率	10 kHz
系統取樣頻率	20 kHz
輸出濾波電感	10 mH
直流鏈	300 V _{dc}
直流鏈電容	2000 μ F
輸出功率	0.25 kW
操作負載參數 (NDZ)	
電阻性負載	50 Ω
電感性負載	132.6 mH
電容性負載	53 μ F

4.2 非 NDZ 之孤島偵測模擬

非探測區(NDZ)，意指因系統與阻抗匹配，造成無法偵測孤島運轉的區域。因此負載落在 NDZ 以外的區域且在孤島運轉時，會使電壓上升或下降、頻率上升或下降。而非線性負載(如橋式整流器)則會造成孤島運轉時系統電壓形變，如圖 4-1 (參數：交流電源經橋式整流器，整流後直流側 100 μ f 濾波電容及 50 Ω 阻抗)。圖 4-1 中表示市電並聯之反流器輸出電流 I_{inv} ，之後發生孤島運轉於 0.8s，而後因非線性負載的緣故，使得電壓 V_{pcc} 形變。利用此形變電壓可使得系統得以利用一般偵測方式(OV/UV)可輕易偵測出系統是否為孤島運轉。

市電對於分散式發電系統而言是較穩定的系統，因此並聯系統在各種負載情況下其電壓或頻率變化極微小。但發生孤島運轉情況，則其電壓或頻率變化會有明顯變化(除 NDZ 外)，因此利用被動式偵測法即可有效偵測出孤島運轉。以下，將針對不同狀況下以輸出為 0.25kW 為輸出的負載進行模擬，分別為過壓(OV)情況、欠壓(UV)情況、過頻(OF)及欠頻(UF)情況進行模擬，其相關 RLC 負載參數列於下頁表 4-2。

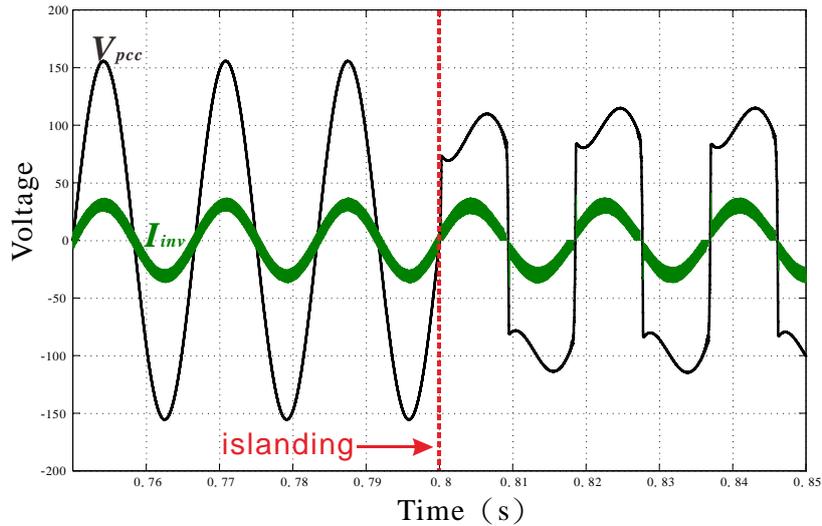


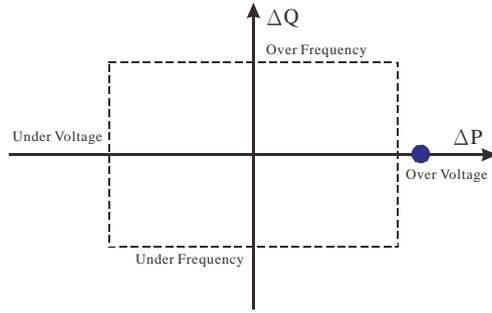
圖 4-1 在非線性負載操作時發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形

表 4-2 模擬 OV/UV、OF/UF 狀況之負載參數

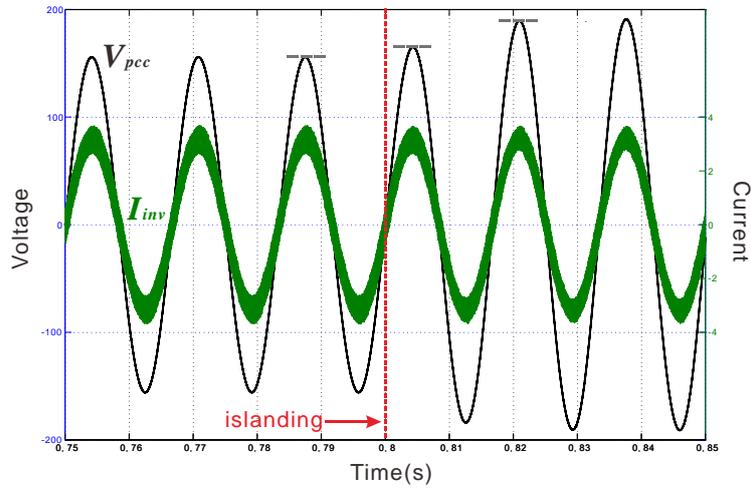
狀態	電阻性負載(R)	電感性負載(L)	電容性負載(C)
非探測區 (NDZ)	50 Ω	132.4 mH	53 μF
過電壓 (OV)	60 Ω	132.4 mH	53 μF
欠電壓 (UV)	40 Ω	132.4 mH	53 μF
過頻率 (OF)	50 Ω	125 mH	53 μF
欠頻率 (UF)	50 Ω	132.4 mH	57 μF

在 IEEE-1547 規範系統電壓必須在 $0.88 \text{ 標么值} \leq V \leq 1.1 \text{ 標么值}$ 內，因此，以市電 $110V_{ac,rms}$ 計算其電壓峰值 V_{peak} 範圍為： $136.9 \text{ V} \leq V_{peak} \leq 171.1 \text{ V}$ 。利用上表 4-2 之過電壓 (OV) 負載參數設定進行模擬，其過壓狀態之孤島運轉模擬如圖 4-2 所示，圖 4-2(a)顯示目前系統操作之於較高實功輸出，換句話說即是負載消耗量小於分散式發電系統之輸出，且不在非探測區之內。圖 4-2(b)表示反流器在 0.8 秒後發生孤島運轉，其產生之電壓變化，因反流器使用電流控制注入電流的影響，較大的阻抗使得系統產生較大的電壓，因此，利用同步框參考座標轉換下的 q 軸，可觀察其電壓變化如圖 4-2(c)，在 0.8 秒前，因市電並聯的關係，電壓變化量不大。0.8 秒之後，因產生孤島運轉，所以發生電壓驟升的情形，而 0.805 秒時超過 OV 界線時，可依此判斷系統產生問題，中斷分散式發電系統輸出。

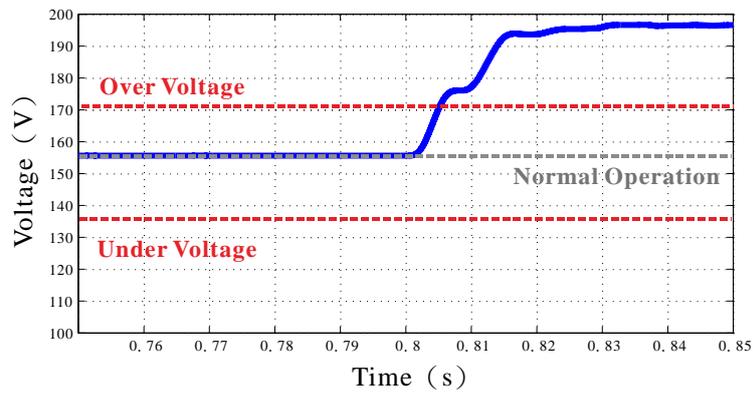
欠壓偵測方式與過壓偵測方式相同，欠壓狀態之孤島運轉模擬依照表 4-2 中 UV 的負載參數，其結果如圖 4-3 所示，圖 4-3(a)顯示目前系統操作之於較低實功輸出，換句話說即是負載消耗量大於分散式發電系統之輸出，且其負載不在非探測區之內。圖 4-3(b)表示反流器在 0.8 秒後發生孤島運轉，其產生之電壓變化，利用同步框參考座標轉換下的 q 軸，可觀察其電壓變化如圖 4-3(c)，在 0.8 秒前，



(a) 負載操作於 NDZ 之 OV 範圍外

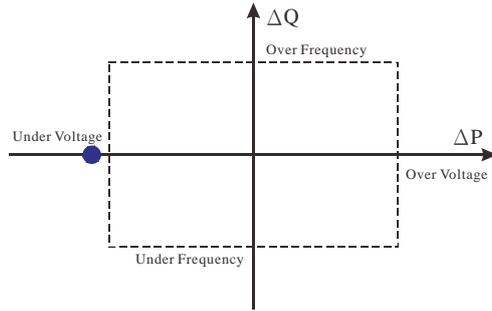


(b) 發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形（過壓）

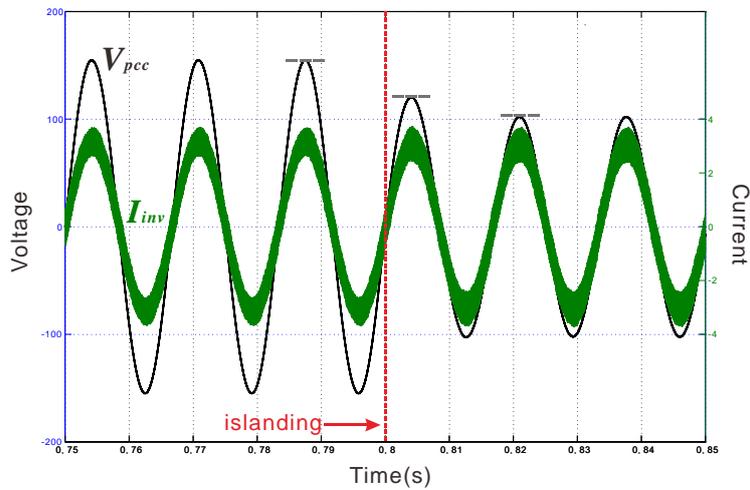


(c) 責任分界點之電壓變化（過壓）

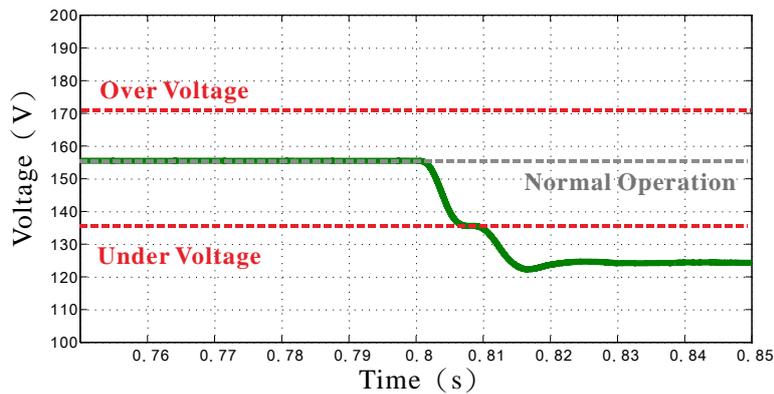
圖 4-2 孤島運轉中過壓狀況之模擬



(a) 負載操作於 NDZ 之 UV 範圍外



(b) 發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形 (欠壓)



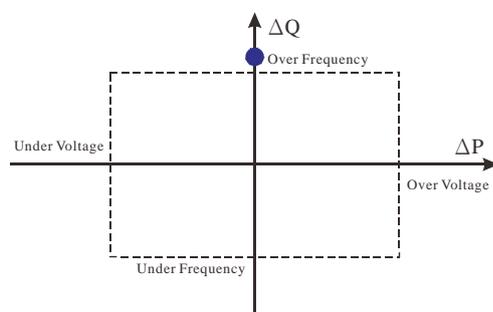
(c) 責任分界點之電壓變化 (欠壓)

圖 4-3 孤島運轉中欠壓狀況之模擬

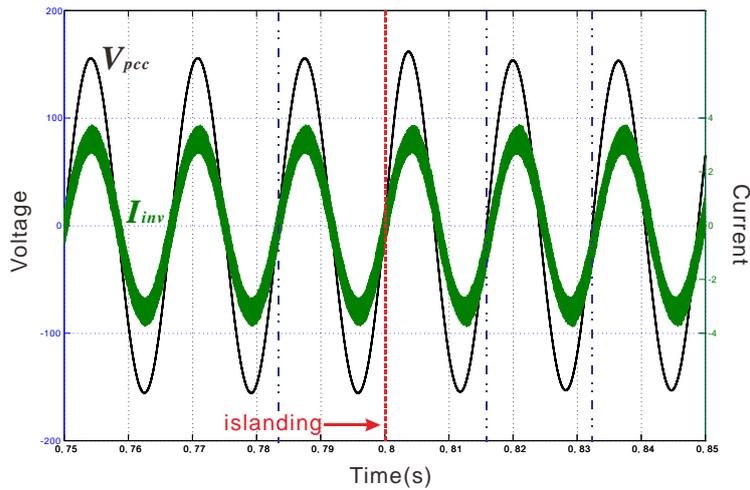
因市電並聯的關係，因此電壓變化量不大。0.8 秒之後，因產生孤島運轉，所以發生電壓驟降的情形，而 0.804 秒時超過 UV 界線時，可依此判斷系統產生問題，中斷分散式發電系統輸出。

被動式孤島偵測之電壓偵測法是在純電阻性負載情況下，其好處特別明顯，純電阻性負載下稍有阻抗變動，則會造成電壓幅度大幅的變化。而在 RLC 並聯負載情況下，由於 LC 負載會呈弦波震盪，在孤島運轉情況下會持續放出、吸收能量（正、負虛功），因此電壓變化比起純電阻性負載（R）而言，電壓幅度變化較不明顯。LC 負載因其值不同，會造成品質因數、電壓幅度和震盪頻率不同，此時透過利用過頻（OF）、欠頻（UF）偵測法偵測系統是否為孤島運轉。

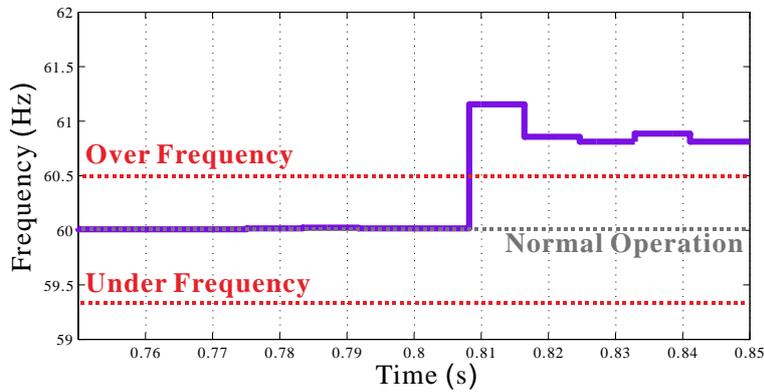
在 IEEE-1547 規範系統頻率必須介於 $59.3 \text{ Hz} \leq f \leq 60.5 \text{ Hz}$ 間，在此區間之市電頻率皆為正常操作，反之則異常必須跳脫並聯。本模擬利用電壓零點作為偵測點，利用零點與零點之間累積的時間除上半個週期，算出其週期頻率，為避免多個零點造成系統誤判，設計一組緩衝器，在偵測到零點電壓後數個週期內，不偵測零點電壓，可避免因干擾造成多個零點而使系統誤動作。依照表 4-2 之過頻率（OF）負載參數設定進行模擬，其結果如圖 4-4，圖 4-4(a)顯示目前系統操作於較高正虛功輸出，換句話說，即是分散式發電系統之負載消耗較多正虛功量，且其負載不在非探測區之內。圖 4-4(b)表示反流器在 0.8 秒後發生孤島運轉，其產生之頻率變化，因為 LC 負載造成的電壓相位落於電流後，頻率增高，因此，利用零點電壓偵測轉換頻率的方式，可觀察其電壓頻率變化如圖 4-4(c)，在 0.8 秒前，因市電並聯的關係，因此頻率變化量不大。0.8 秒之後，因產生孤島運轉，發生頻率變異的情形，而 0.808 秒時超過 OF 界線時，可依此判斷系統產生問題，中斷分散式發電系統輸出。



(a) 負載操作於 NDZ 之 OF 範圍外



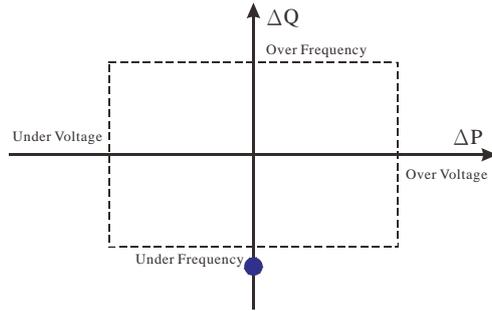
(b) 發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形（過頻）



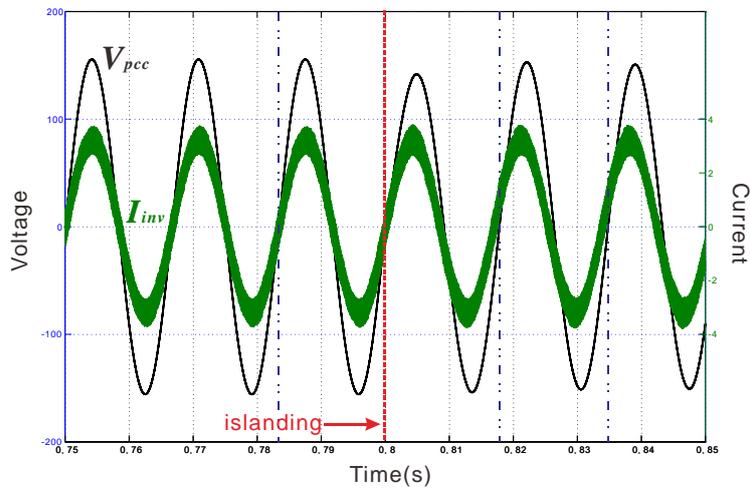
(c) 責任分界點之頻率變化（過頻）

圖 4-4 孤島運轉中過頻狀況之模擬

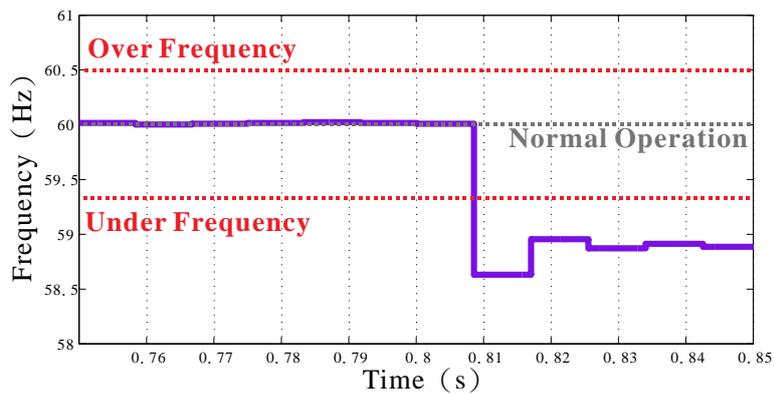
欠頻率(UF)偵測亦同，欠頻狀態之孤島運轉模擬依照表 4-2 中 UF 的負載參數，其結果如圖 4-5 所示，圖 4-5(a)顯示目前系統操作於較高負虛功量輸出，即是分散式發電系統之負載消耗較多負虛功量，且其負載不在非探測區之內。圖 4-5(b)表示反流器在 0.8 秒後發生孤島運轉，其產生之頻率變化，利用零點電壓偵測轉換頻率的方式，可觀察其頻率變化如圖 4-5(c)，在 0.8 秒前變化並不大。0.8 秒之後，因產生孤島運轉，發生頻率變異的情形，而 0.809 秒時超過 OF 界線時，可依此判斷系統產生問題，中斷分散式發電系統輸出。



(a) 負載操作於 NDZ 之 UF 範圍外



(b) 發生孤島運轉其反流器輸出電壓與電流波形 (欠頻)



(c) 責任分界點之頻率變化 (欠頻)

圖 4-5 孤島運轉中欠頻狀況之模擬

最後，利用被動式方法 OV/UV、OF/UF 偵測非 NDZ 負載，做防孤島測試如圖 4-6 及圖 4-7。圖 4-6 為 UV 的例子，市電並聯反流器系統在 0.8 秒發生孤島運轉，並且在 0.804 秒時偵測到低壓狀態，立即地中斷反流器輸出。圖 4-7 表示 OF

的例子，市電並聯反流器系統在 0.8 秒發生孤島運轉，並在 0.807 秒時偵測過頻率現象，立即地中斷反流器輸出。

利用被動式方法 OV/UV、OF/UF 偵測孤島雖然不帶給系統影響，但被動式方法有其缺點：有很大的非探測區（NDZ），若此時分散式發電系統之負載落在 NDZ 內，則其反流器輸出之電流及電壓波形會如同圖 4-8。依圖所示，0.8 秒後發生孤島運轉，但系統無法辨別其電壓大小變化及頻率大小差異，無法有效偵測目前之系統狀態，因此，本文提出了一項新的技術，脈波電流注入法（PCI）來解決 NDZ 問題，PCI 擁有簡單、快速等優點，詳細模擬在下一節說明。

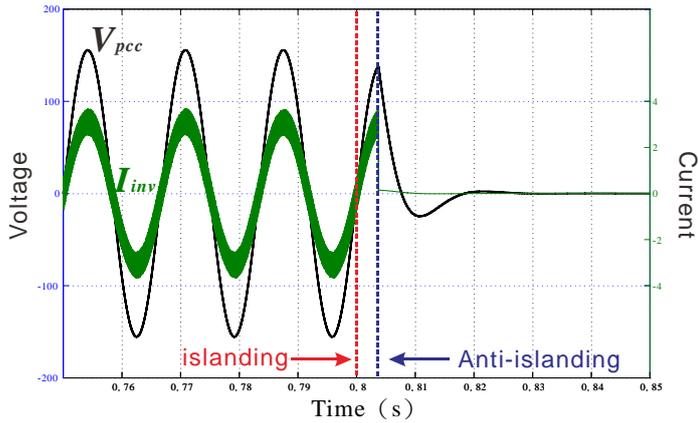


圖 4-6 模擬測試欠壓時之防孤島運轉（負載：40 Ω , 132.4 mH, 53 μ F）

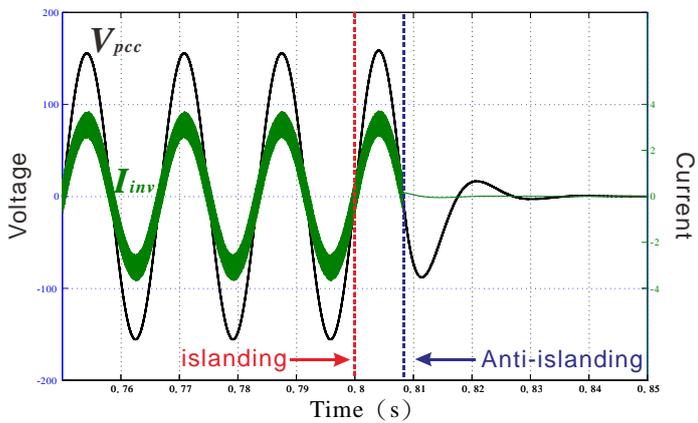


圖 4-7 模擬測試過頻時之防孤島運轉（負載：50 Ω , 125 mH, 53 μ F）

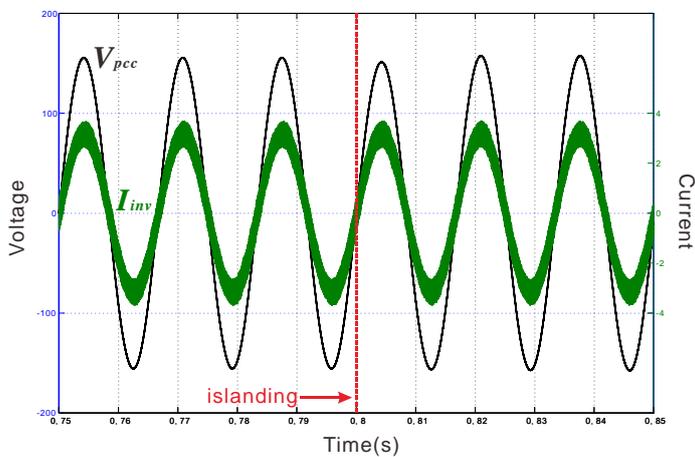
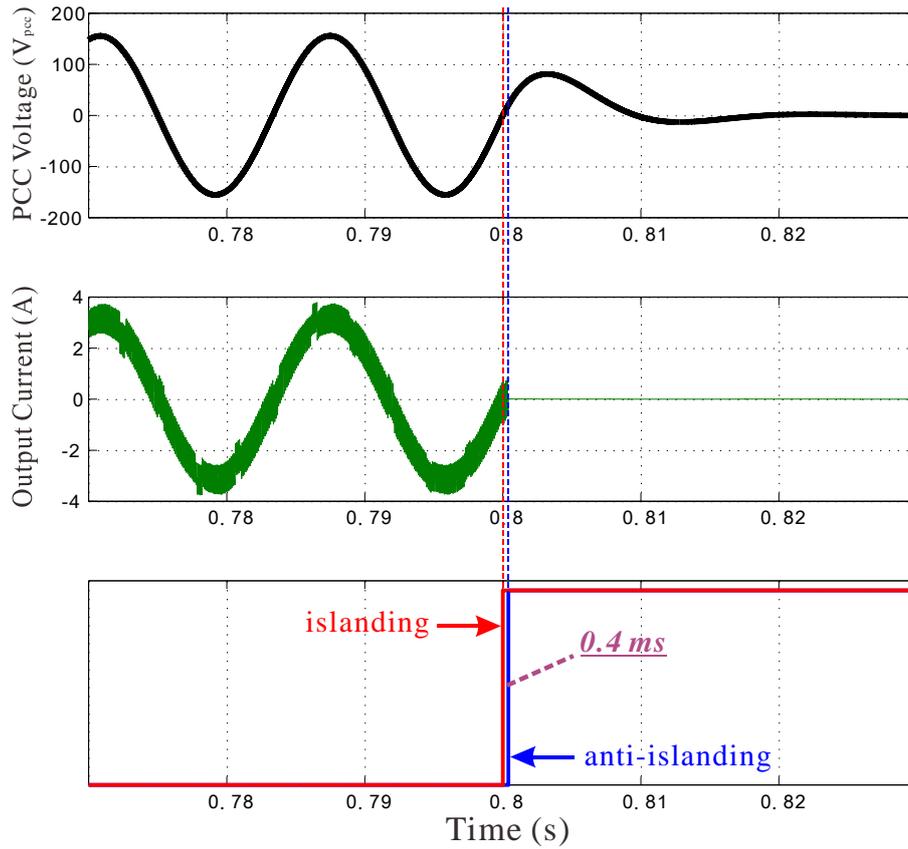


圖 4-8 操作於 NDZ 下之反流器輸出電流及電壓波形

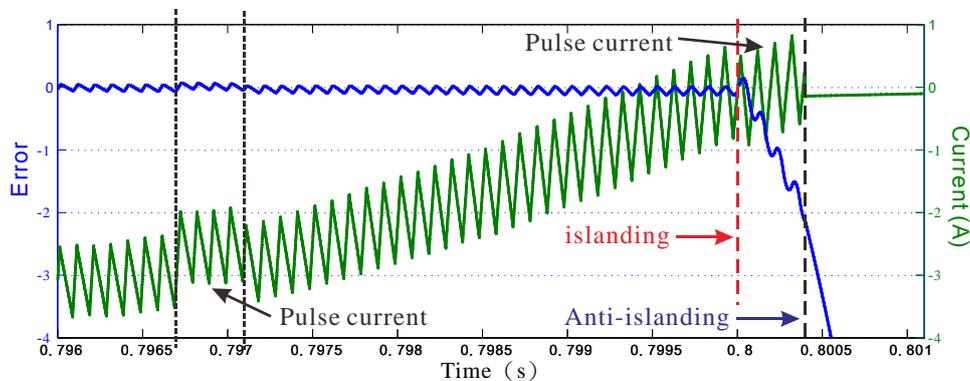
4.3 NDZ 中應用主動式脈波電流注入法之孤島偵測

本節將注重在 NDZ 情況下，操作 PCI 偵測出孤島狀態。本模擬之 PCI 依鎖相迴路得知角度，並注入每市電週期 6 個脈波之脈波電流。控制器在相位角度分別為 $\theta = 0^\circ$ 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 300° 時，注入一上一下之脈波電流。選擇使用這些角度是為了增加其精確度，以及不希望其脈波電流在電力系統峰值時注入。因為一上一下之脈波有對稱性，因此不會影響系統電流基頻，對於偵測上的干擾較小。此模擬之脈波電流之脈波大小設定為 0.25A，以及脈波電流之寬度設為 400 μ s。設定這些參數符合規範（電流 THD < 5%），其他參數下模擬的 THD 結果之後會再討論。有了脈波電流之參數，其電壓反應可以利用第三章推導式 (3.17) 計算出。其脈波電流 0.25A 及脈波寬度 400 μ s 可計算出當系統呈現孤島運轉時，其電壓反應為 $\pm 1.6225V$ 。

圖 4-9 模擬在電網連結之系統操作，而當地負載設計在 NDZ，全程持續使用 PCI 偵測孤島運轉，設定系統在 0.8s 時市電供電中斷，孤島運轉產生，且 PCI 正好在此刻（0.8s）注入脈波電流（脈波電流 0.25A 及脈波寬度 400 μ s）的情況，來驗證中斷瞬間之 PCI 效果。其中 V_{PCC} 為責任分界點電壓，以及輸出電流為 I_{inv} 。而圖 4-9(a) 下方圖型為市電端供電中斷及輸出電驛狀態。當系統偵測到孤島運轉，防孤島機制會將輸出電驛啟動，中斷輸出，完成防孤島運轉。在模擬系統中設計一個與 PCC 相比較的參考電壓，此參考電壓為 $110\sqrt{2} \cos(\omega t)$ ，而相減後的電壓誤差與反流器輸出電流顯示於圖 4-9(b)。由圖 4-9(b) 可以比較出非孤島運轉以及孤島運轉情況的不同。當 0.8s 前還是市電並聯正常的情況下，因整個系統輸出阻抗微小，PCI 所注入的脈波電流並不影響 PCC 電壓，因此由圖 4-9(b) 可知 0.8145s 前注入的脈波電流其電壓誤差趨近於零。過了 0.8s 之後，孤島運轉發生，而此時正好注入脈波電流，注入的脈波電流因系統為孤島運轉的狀態，立即反應出其當地阻抗反應，而正好為 $Q_{pci} = 100\mu$ (庫倫) 反應出電壓，約誤差 -1.6V 的反應，因此由 PCI 偵測結果得知已發生孤島運轉狀態，立即的將輸出電驛啟動，終止輸出能量，這項使用 PCI 方法之孤島運轉偵測只花了 0.4ms 的時間，而 0.4ms 時間正好為 PCI 注入脈波的時間。



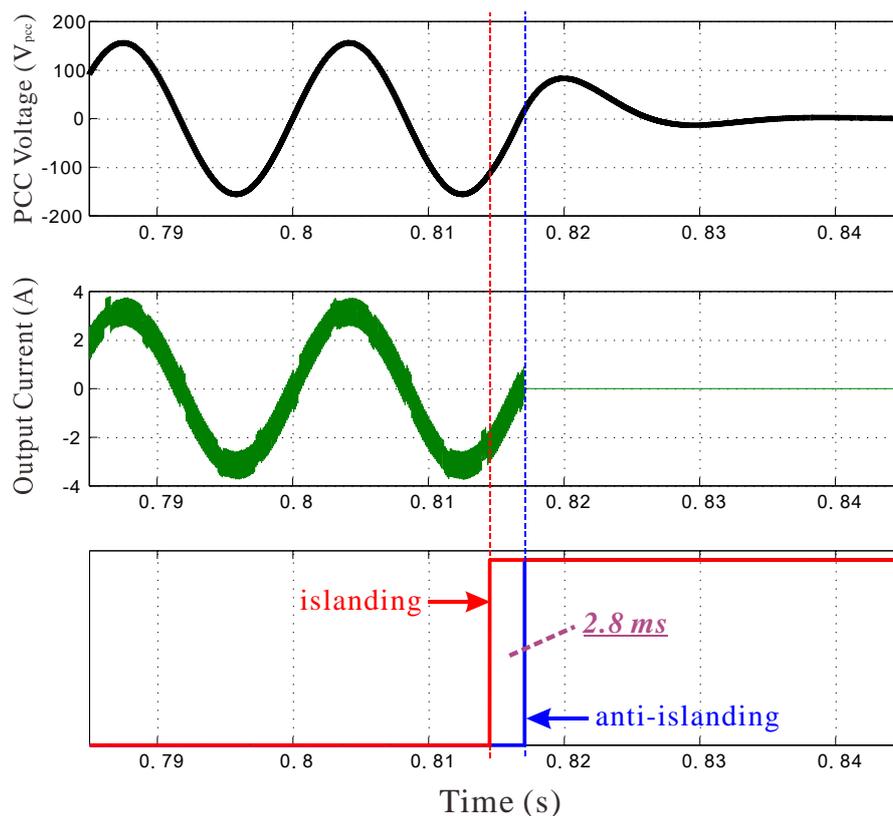
(a) 在 0.8 s 時發生孤島運轉，花費 0.4ms 利用 PCI 啟動防孤島機制



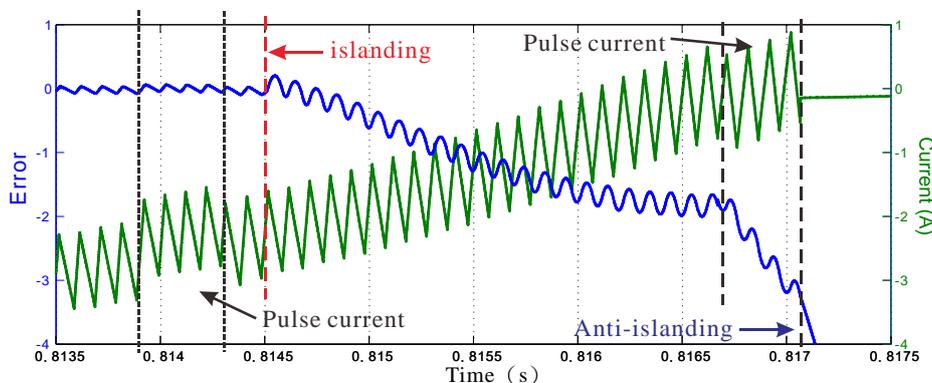
(b) 在非孤島及孤島運轉狀況下，使用 PCI 之電壓誤差改變幅度
圖 4-9 NDZ 負載之系統發生孤島運轉於 0.8 s 且同時間注入脈波電流

圖 4-10 設定系統在 0.8145s 時市電供電中斷，孤島運轉產生，而且 PCI 正好結束注入脈波電流不久，等待下一次脈波注入的情況。圖 4-10(a) 下方圖型為市電端供電中斷及輸出電驛狀態。當系統偵測到孤島運轉，防孤島機制會將輸出電驛啟動，中斷輸出，完成防孤島運轉。在模擬系統中仍然設計一個與 PCC 相比較的參考電壓，此參考電壓為 $110\sqrt{2} \cos(\omega t)$ ，而相減後的電壓誤差與反流器輸出電流波形顯示於圖 4-10(b)。由圖 4-10(b) 可以比較出非孤島運轉以及孤島運

轉情況的不同。當 0.8145s 前還是市電並聯正常的情況下，因整個系統輸出阻抗微小，PCI 所注入的脈波電流並不影響 PCC 電壓，因此由圖 4-10(b)可知 0.8145s 前注入的脈波電流其電壓誤差趨近於零。過了 0.8145s 之後，孤島運轉發生，而此時正好注入脈波電流，注入的脈波電流於接近 0.8167s 到 0.8171s 間，因系統為孤島運轉的關係，反應出其當地阻抗反應，正好為 $Q_{pci} = 100\mu$ (庫倫) 反應出電壓誤差，約 -1.6V 的反應，因此由 PCI 偵測解果得知已發生孤島運轉狀態，立即地將輸出電驛啟動，終止輸出能量，而這項使用 PCI 方法之孤島運轉偵測花了約 2.8ms 的時間，此為 PCI 孤島偵測最慢的情況。



(a) 在 0.8145 s 時發生孤島運轉，花費 2.8ms 利用 PCI 在啟動防孤島機制



(b) 在非孤島及孤島運轉狀況下，使用 PCI 之電壓誤差改變幅度
圖 4-10 NDZ 負載之系統發生孤島運轉於 0.8145 s 且同時注入脈波電流

應用 PCI 方法特別關注在總諧波失真 (THD) 的部分，而針對各種脈波電流的模擬結果如圖 4-11。橫軸 Q_{pci} 表示脈波電流大小與脈波電流時間寬度相乘的能量 (庫倫)，縱軸 THD 表示電流總諧波失真。圖中線段表示各種時間下輸入不同的脈波電流大小，其總能量與時間對系統造成的 THD 大小。由圖中可見，以脈波寬度為 $200\mu s$ 的 THD 比起其它時間寬度的 THD 而言較大，因為以相同的能量 Q_{pci} 而言，時間 $200\mu s$ 的電流較大，對電流控制器來說較大的電流命令容易使之產生不理想的部分，因此 THD 的反應會比較糟。另一方面，在時間 $800\mu s$ 對系統造成的 THD 影響較小。因此由圖 4-11 所示，相同的能量 Q_{pci} 而言，較大的電流大小及較小時間的電流寬度會使系統電流 THD 較糟，而較小電流大小而較長時間的電流寬度使系統電流 THD 較小。但較長時間的電流寬度會使的系統頻寬變小，而工業標準規範了電流 THD 必須 $<5\%$ ，小型系統的選擇會因為電流 THD 的影響，造成選擇性較小，不過對於大系統而言，因為相對基頻較大，脈波電流對系統造成的影響就會相對縮小，選擇較寬限。

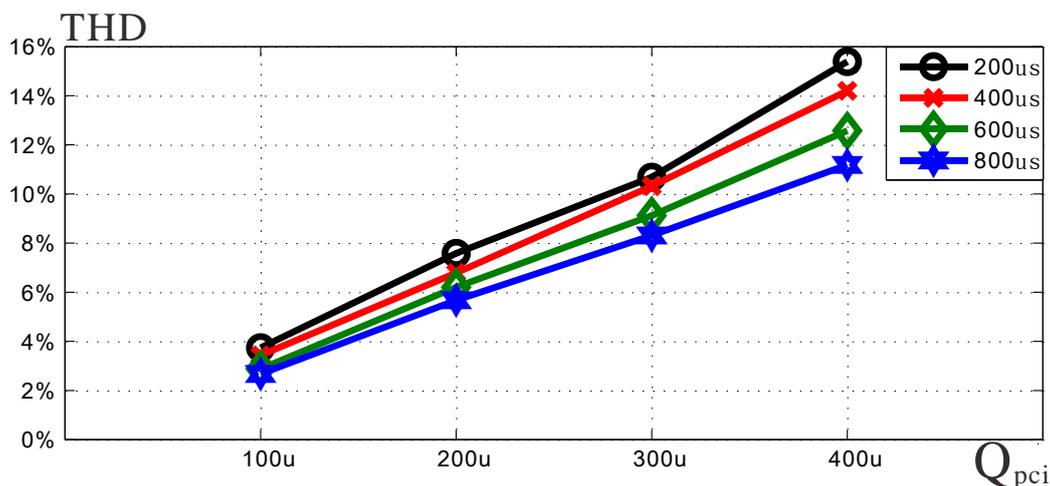


圖 4-11 在不同能量 Q_{pci} (庫倫) 之電流總諧波失真分布

而針對多機並聯操作之脈波電流注入法 (PCI) 而言，經過模擬測試結果顯示，並不影響在 NDZ 下之孤島偵測。根據結果顯示，PCI 孤島偵測法有非常快速的偵測速度 ($<2.8ms$)。脈波電流注入法與其他經典之主動式孤島偵測法比較列於下表 4-3：

表 4-3 主動式孤島偵測速度比較表

偵測方法	偵測時間 (市電週期)
d-q based Current Injection	2 週期
Harmonic Current Injection	2 週期
Auto Frequency Drift	0.5 週期
PLL-based Detection	0.5 週期
Pulse Current Injection (PCI)	< 0.167 週期 (6 脈波/週期)

第五章 實驗結果

5.1 簡介

實驗將分成三種情況進行，利用混合式孤島偵測操作於可探測區負載、不可探測區負載及單純針對 PLC 進行孤島測試。本實驗使用了德州儀器 (Texas Instruments, TI) 的 DSP 晶片 320C28335，利用軟體 CCStudio v3.3 撰寫 C 語言程式控制整體市電並聯及孤島偵測，以及使用 Lattice 的 CPLD 晶片 LCMXO640C，利用 Lattice Diamond v1.2 撰寫 VHDL 程式作為輸出 PWM 命令的單元。實驗使用的系統參數如下表 5-1：

表 5-1 孤島運轉實驗系統參數一覽

市電參數 (單相)	
相電壓	110 V _{ac,rms}
市電頻率	60 Hz
反流器參數	
系統操作頻率	10 kHz
系統取樣頻率	20 kHz
輸出濾波電感	10 mH
直流鏈	300 V _{dc}
直流鏈電容	2000 μF
輸出功率	0.25 kW
操作脈波參數 (NDZ)	
脈波電流寬度	400 μs
脈波電流大小	0.25 A
脈波電流頻率	6 <i>pulses/cycle</i>

5.2 可探測區孤島偵測實驗結果

可探測區部分由過壓/欠壓(OV/UV)、過頻/欠頻(OF/UF)為主要偵測方法，其負載參數如下表 5-2。而根據 IEEE-1547 規範而言，電壓操作應介於 $88\% \leq V < 110\%$ ，而頻率應介於 $59.3 \text{ Hz} \leq f \leq 60.5 \text{ Hz}$ ，因此設定其邊界電壓範圍為 $136.9\text{V} \leq V_{pcc,peak} \leq 171.1\text{V}$ ，頻率範圍為 $59.3 \text{ Hz} \leq f_{pcc} \leq 60.5 \text{ Hz}$ 。本次實驗為了使 OV/UV、OF/UF 操作不受 PCI 影響，因此不開放使用 PCI 偵測取樣。

表 5-2 實驗 OV/UV、OF/UF 狀況之負載參數

狀態	電阻性負載(R)	電感性負載(L)	電容性負載(C)
過電壓 (OV)	60 Ω	~132 mH	~53 μF
欠電壓 (UV)	40 Ω	~132 mH	~53 μF
過頻率 (OF)	50 Ω	~60 mH	~53 μF
欠頻率 (UF)	50 Ω	~180 mH	~57 μF

圖 5-1 表示孤島運轉時，操作在過電壓 OV 情況，其中 V_{pcc} 表示責任分界點電壓， I_{inv} 表示反流器輸出電流，電流方向定義為反流器往市電端，孤島運轉時會過壓是由於電流控制模式時，其當負載地阻抗較大，因此反應出的電壓量較大（ 60Ω 約 192.9V），圖 5-1 中因濾波器設計關係將電壓量平均化，電壓同步框軸 V_{qe} 在約 6 個市電週期內會漸漸超過標準 171.1V，最後將孤島運轉判斷出並且中斷輸出。圖 5-2 表示孤島運轉時，操作在過電壓 UV 情況，由於電流控制模式時，其當負載地阻抗較小，因此反應出的電壓量較小（ 40Ω 約 128.6V），同樣的因濾波器均化，電壓同步框軸 V_{qe} 在約 6 個市電週期內會漸漸低於標準 136.9V，最後將孤島運轉判斷出並且中斷輸出。

圖 5-2 表示孤島運轉時，操作在過頻率 OF 情況，本實驗利用一個市電週期做一次判斷，在 V_{pcc} 零交越且電壓向下時計算其頻率。由於當地負載之 L 和 C 會提供落後及領先虛功，並且 LC 產生震盪如式(3.8)所示，在孤島運轉前，因市電連接可以保持系統在穩定操作內，而負載量如表 5-2 中 OF 的參數下，孤島運轉產生約 89Hz 的過頻率現象如圖 5-3，立即地在一個市電週期內檢測出並中斷輸出。而圖 5-4 表示孤島運轉時，操作在欠頻率 UF 情況，負載量如表 5-2 中 UF 的參數下，孤島運轉產生約 51.5Hz 的欠頻率現象，立即地在一個市電週期內檢測出並中斷輸出。

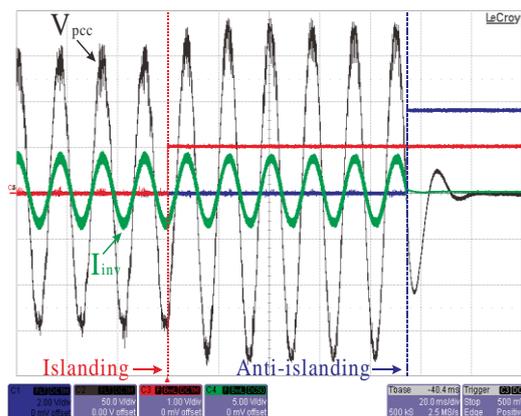


圖 5-1 孤島運轉發生過壓 OV 情況以及防孤島實驗 (V_{PCC} : 50V/div.; I_{inv} : 5A/div.; time base: 20ms/div.)

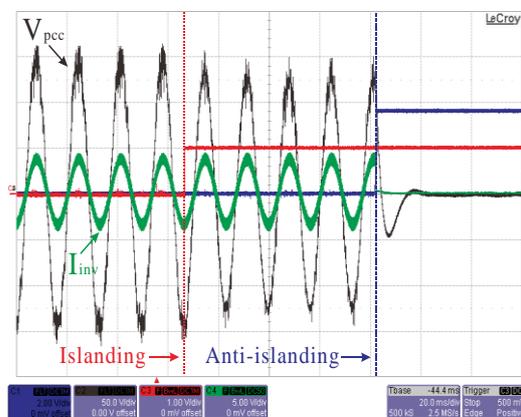


圖 5-2 孤島運轉發生欠壓 UV 情況以及防孤島實驗 (V_{PCC} : 50V/div.; I_{inv} : 5A/div.; time base: 20ms/div.)

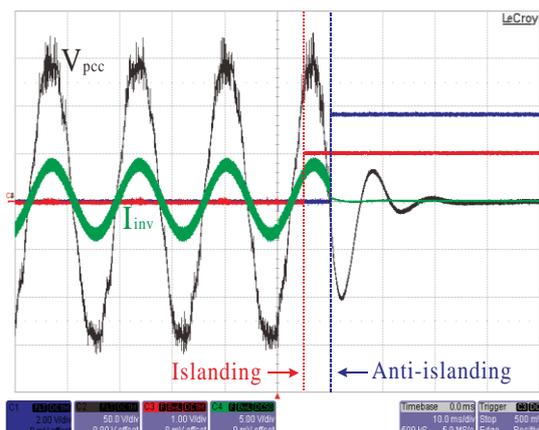


圖 5-3 孤島運轉發生過頻 OF 情況以及防孤島實驗 (V_{PCC} : 50V/div.; I_{inv} :5A/div.; time base: 10ms/div.)

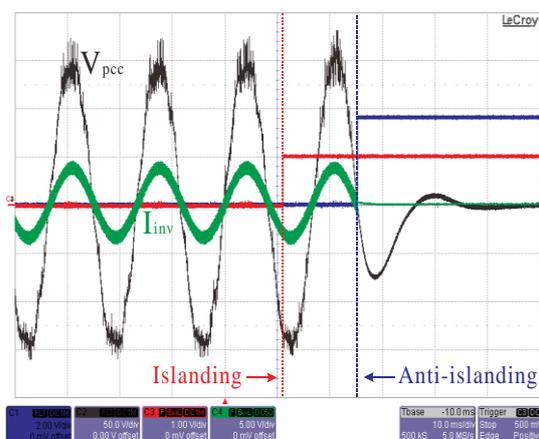


圖 5-4 孤島運轉發生欠頻 UF 情況以及防孤島實驗 (V_{PCC} : 50V/div.; I_{inv} :5A/div.; time base: 10ms/div.)

5.3 非探測區混合式孤島偵測實驗結果

以下實驗使用脈波電流注入法 (PCI)，於非探測區負載 (如表 5-3) 時，發生孤島運轉並偵測且中斷輸出，利用 PCI 在不同的系統角度 $\theta = 0^\circ$ 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 300° 下注入脈波電流。其中 V_{pcc} 表示責任分界點 (PCC) 電壓，而 I_{inv} 表示反流器輸出電流。實驗中， V_{pcc} 在市電併網狀態時並不正弦，因為有許多諧波在內，但合乎規範； I_{inv} 輸出的電流總諧波失真 (THD) $< 3.9\%$ 也合乎規範的 $< 5\%$ 內。

表 5-3 非探測區孤島偵測測試使用負載

電阻性負載	50 Ω
電感性負載	~ 130 mH
電容性負載	~ 53 μ F

利用同步框轉換的方式對 V_{pcc} 轉框可得知目前輸出之 d_e - q_e 軸向，因輸出全實功，因此鎖相迴路 (PLL) 之 d_e 軸控制為 0° 。而 q_e 軸表示的量即為目前電壓量，利用此電壓量減去預測之電壓量即得知目前的電壓誤差 (error)。經過計算，利用脈波寬度 400μ s 以及脈波電流大小 0.25 A 於表 5-3 非探測區負載，所反應出的電壓響應為 ± 1.6225 V。其脈波電流注入實驗示意，上半弦波注入一上一下脈

波如圖 5-5；下半弦波注入一上一下脈波如圖 5-6。如果電壓誤差出現此電壓反應，即表示目前系統操作於孤島運轉狀態。圖 5-7 表示使用脈波電流注入法之孤島偵測，擁有快速的偵測速度，以每市電週期 6 個脈波之脈波電流注入為例，系統花了 0.167 系統週期內偵測出孤島運轉並且中斷系統輸出。圖 5-7 各別表示偵測時間：(a) $\theta=0^\circ$ ，防孤島時間：0.4ms；(b) $\theta=60^\circ$ ，防孤島時間：0.5ms；(c) $\theta=120^\circ$ ，防孤島時間：1.5ms；(d) $\theta=180^\circ$ ，防孤島時間：1.2ms；(e) $\theta=240^\circ$ ，防孤島時間：0.6ms；(f) $\theta=300^\circ$ ，防孤島時間：2.6ms。

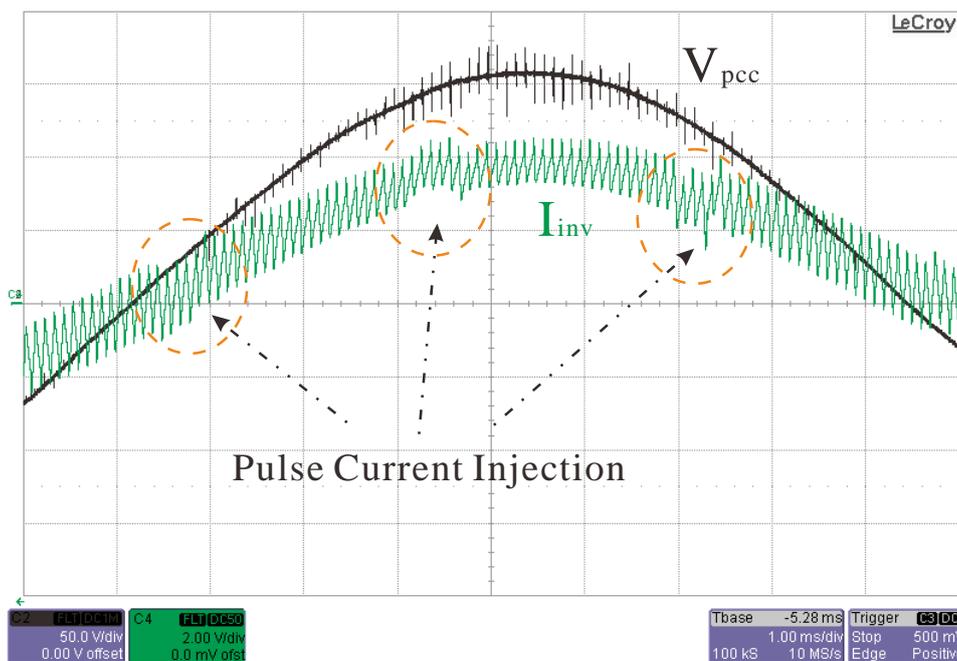


圖 5-5 上半弦波注入一上一下脈波電流實驗示意圖

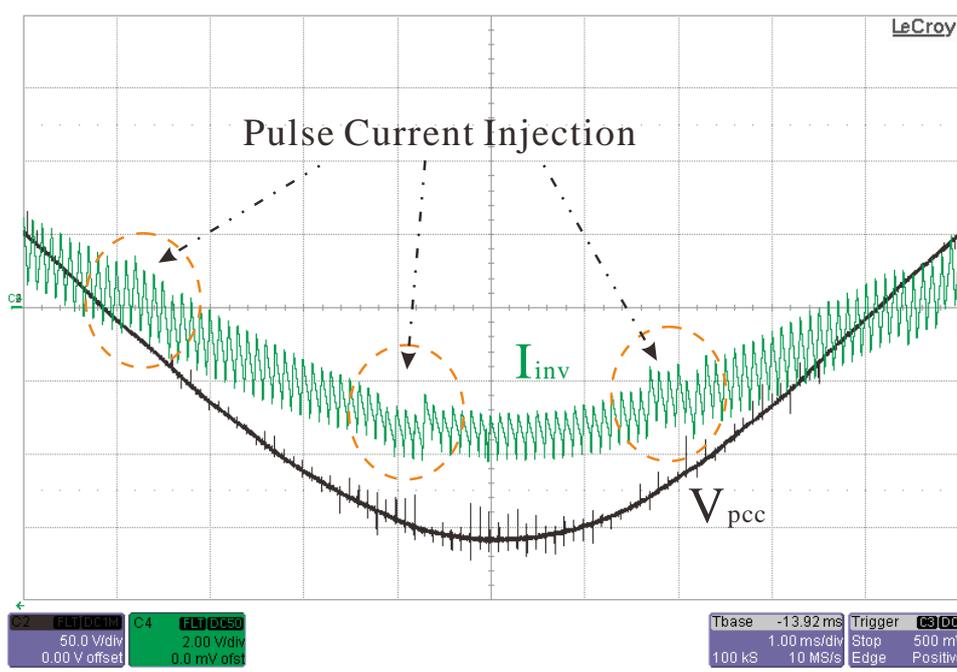
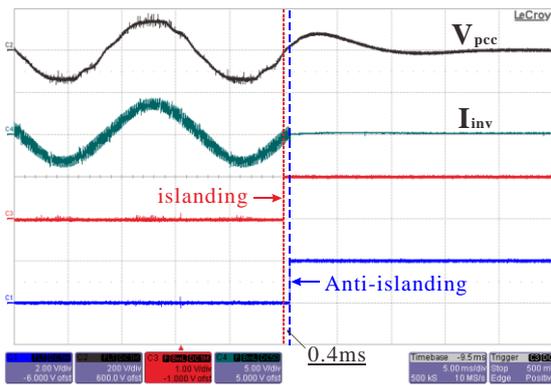
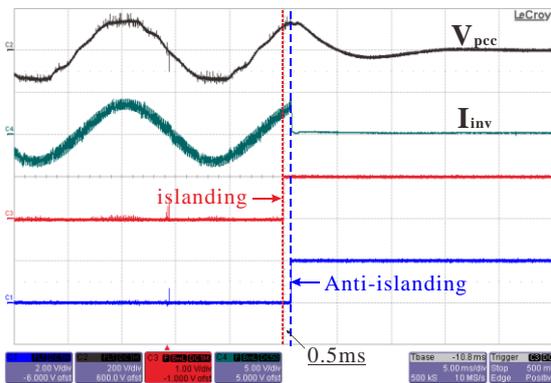


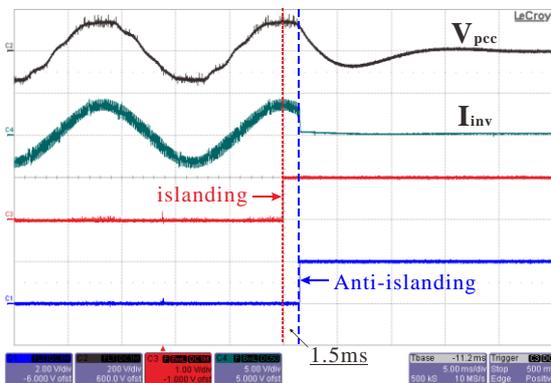
圖 5-6 下半弦波注入一上一下脈波電流實驗示意圖



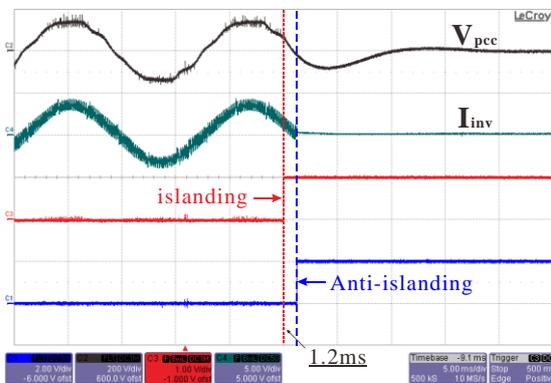
(a) PCI 在 $\theta = 0^\circ$ 系統角度時以 0.4ms 偵測時間防孤島



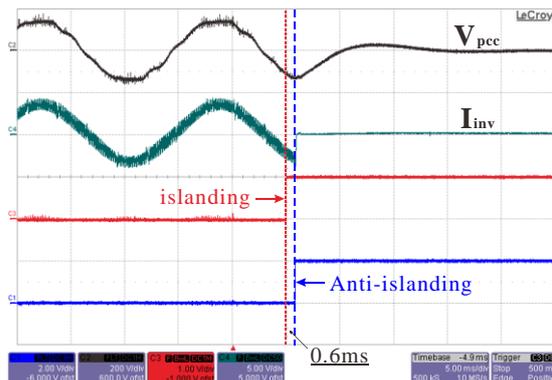
(b) PCI 在 $\theta = 60^\circ$ 系統角度時以 0.5ms 偵測時間防孤島



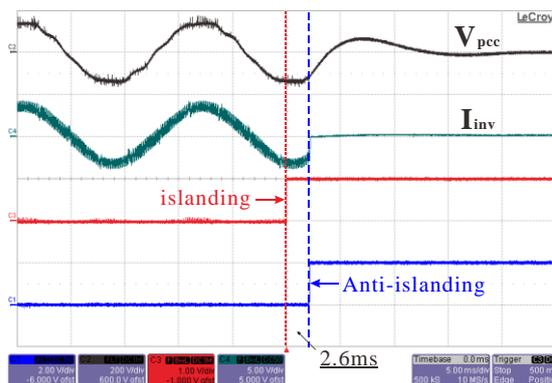
(c) PCI 在 $\theta = 120^\circ$ 系統角度時以 1.5ms 偵測時間防孤島



(d) PCI 在 $\theta = 180^\circ$ 系統角度時以 1.2ms 偵測時間防孤島



(e) PCI 在 $\theta = 240^\circ$ 系統角度時以 0.6ms 偵測時間防孤島



(f) PCI 在 $\theta = 300^\circ$ 系統角度時以 2.6ms 偵測時間防孤島

圖 5-7 利用 PCI 在不同注入角度下於非探測區負載偵測孤島運轉 (V_{PCC} : 200V/div.; I_{inv} :5A/div.; time base: 5ms/div.)

5.4 電力線通訊孤島偵測實驗結果

本實驗利用 Visual Basic .NET 實作 RS232 溝程序，透過 PLC 裝置與另一端有 TCP/IP 轉 RS232 裝置的 PLC 溝通，再利用 RS232 與 DSP320C28335 溝通，一旦 DSP 發現失去信號，則開始計數，直到下一個信號來才將計數器重置。圖 5-8 表示實驗測試不使用 PCI 之電力線孤島偵測法，實驗測試令 DPS 在失去傳送訊號 3.5 個市電週期後，判定系統成孤島運轉，並且中斷系統能量輸出。在 IEEE-1547 中規範孤島在特定情況下要在 10 個市電週期中斷系統輸出，因此可基於此規範調整 PLC 之系統參數。

如圖 5-8 結果顯示，PLC 不論是否操作在探測區或非探測區負載上，皆能可靠的在設定時間下偵測出孤島運轉狀態，但 PLC 通訊上因為距離或是外在干擾問題，無法以非常快速的方式偵測出孤島運轉，但因 PLC 非常的可靠，因此搭配一般被動式的方法(OV/UV、OF/UF)加上快速偵測的主動式孤島偵測(PCI)，而 PLC 做為系統最後一道防線，使孤島偵測更加快速，且可靠度高。

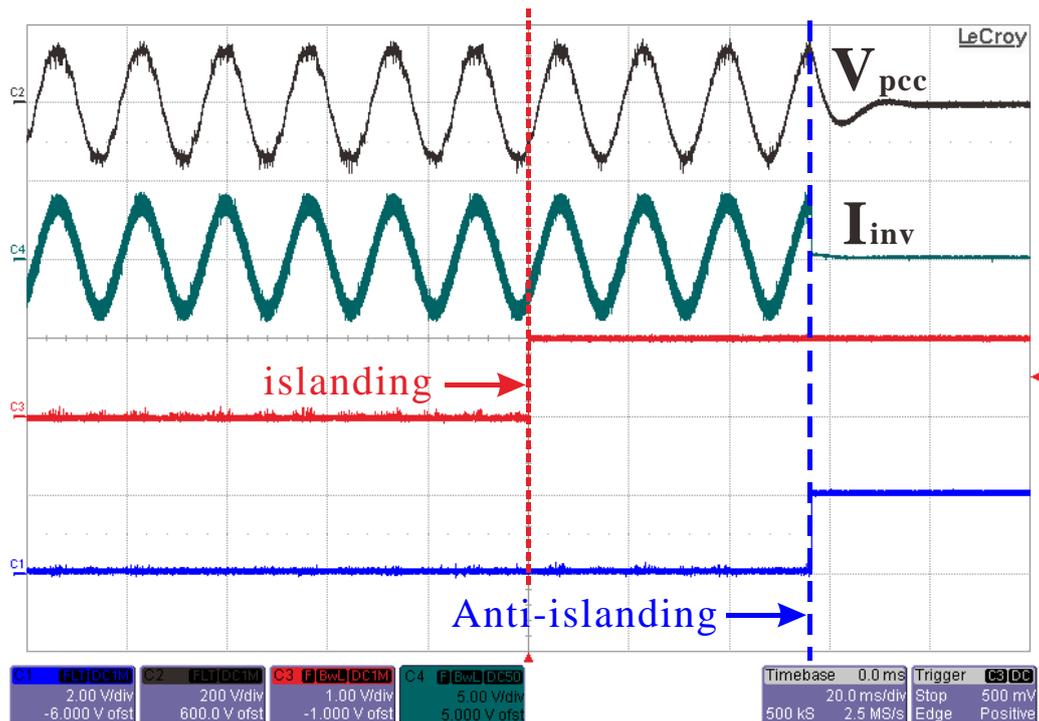


圖 5-8 單獨使用電力線通訊孤島偵測法 (V_{PCC} : 200V/div.; I_{inv} :5A/div.; time base: 5ms/div.)

5.5 實驗結論

本文之混合式孤島偵測技術包含了被動式偵測法（過電壓 OV/欠電壓 UV、過頻率 OF/欠頻率 UF）、主動式偵測法（脈波電流注入法 PCI）、遠端偵測法（電力線通訊 PLC），實驗與模擬結果相符，其優缺點整理如表 5-4。若單獨各別使用，有其缺點無法有效偵測孤島運轉，因此本文之混合式孤島偵測集其優點，可非常有效且可靠的偵測孤島運轉。

表 5-4 混合式孤島偵測法中各別方法之優缺點比較

孤島偵測法	優點	缺點
被動 (OV/UV、OF/UF)	不干擾系統、速度快	有非探測區問題
主動 (PCI)	偵測非探測區、速度快	可探測區偵測不易預估
遠端 (PLC)	可靠度高	偵測速度較慢

第六章 總結

6.1 結論

本研究描述了混合式孤島偵測法於分散式發電系統，應用了被動式孤島偵測技術（過壓 OV、欠壓 UV、過頻 OF、欠頻 UF）、主動式孤島偵測技術（脈波電流注入 PCI）、遠端式孤島偵測技術（電力線通訊 PLC），可保持市電連接型分散式發電系統在孤島運轉情況能快速、準確地被偵測出來。

本文所提的混合式孤島偵測法具有下列四項特點：

- 一、主動式孤島偵測技術-脈波電流注入以電壓反應得知系統是否為孤島運轉，可以有效的解決非探測區 NDZ 的問題，不須以快速傅立葉轉換或離散傅立葉轉換等大量計算消耗處理器能力，注入脈波電流可以很快地知道其系統變化，利用不同注入之脈波數量，可以讓系統更快速的，檢測出孤島運轉（ $6 \text{ pulses}/\text{cycle}$ 脈波電流：檢測時間 <0.167 市電週期）。
- 二、遠端是孤島偵測技術利用電力線通訊設備，與遠端伺服器或分散式發電系統之間溝通，一旦與伺服器溝通中斷，表示此線路中已呈現孤島運轉，立即中止能量輸出，電力線通訊是個可靠度高的孤島偵測方式，偵測時間可 <5.0 市電週期。
- 三、混合式孤島偵測包含了 OV/UV、OF/UF、PCI、PLC 有不同搭配方式，以 OV/UV、OF/UF 為基礎，可單獨包含 PCI 或是 PLC 技術，依照環境操作不同予以不同操作流程，使系統有更多元的選擇方案。
- 四、全文可符合 IEEE-1547 及 IEEE-929 之規範，經模擬及實驗證實可有效的防治孤島運轉。

6.2 未來展望

本研究提出之主動式脈波電流注入法已成功可偵測非探測區的孤島運轉問題，並且擁有比其他主動式方法更為快速的優點，而電力線通訊法之實驗成功驗證其可靠度，混合式孤島偵測間不互擾，且相輔相成，但本研究仍有一些議題可以更加深入討論，歸納如下七點：

- 一、各種不同分散式發電機並聯在同電網下，不同的孤島偵測造成的相互影響：在同一微電網中，會存在不同種形式且不同孤島偵測方式的系統，例如單純的被動式技巧之系統、包含相位移動或脈波電流注入等主動式孤島偵測、混合式孤島偵測等…，在這些並聯系統下是否孤島偵測仍維持正常值得再繼續探討研究。
- 二、孤島偵測技術操作在單相、三相電力系統：
本文使用之脈波電流注入法操作於單相電力系統，在三相電力系統下是否使系統不穩定或是更加可靠值得探討。

三、孤島偵測在電壓驟降或驟升情況時之反應及應變方法：

電力系統中，存在不同電力污染問題，包含電壓驟降或驟升。電壓驟降幅度可能達 13% 並持續 8.3ms 以上，在電壓幅度改變情況下，是否造成孤島偵測系統誤動作，有無渡過或判斷決策之方法必須研判。

四、各種不同方法配合之混合式孤島偵測法：

本文提供被動式、主動式與遠端式孤島偵測法，三者之間並不互相影響或干擾。目前文獻提供許多孤島偵測法，但在這些方法間之互擾情形或搭配使用之有效、可靠度並沒有被探討。可規劃一個各種孤島偵測法矩陣圖，以矩陣方式表達這些方法之間的搭配情況，是否互擾；其程度如何，可使讀者明確了解應使用何種孤島偵測法搭配成混合式孤島偵測。

五、電力線通訊法之多機並聯溝通模式：

本研究利用電力線間溝通之訊號作為基準，成功的利用訊號中斷鑑別孤島運轉產生。然而在多機並聯情況下，機組與機組之間有了電力線通訊平台，在孤島產生時是否可以以電力線通訊與其他機組溝通，在微電網中做決策分析，是一項非常值得研究的議題。

六、電力線通訊法其通訊距離對孤島偵測影響：

電力線通訊因電力線上的雜訊影響，使得資訊傳送會有較多的錯誤及頻寬縮減等影響，而溝通速度上也因傳送距離而變。如何建立在微電網中電力線通訊下的速度統計及模型是可被研究的主題。

七、利用脈波電流方式偵測市電系統阻抗：

判斷目前市電系統阻抗對電力調度極有幫助。本研究在第三章提出脈波電流注入法偵測孤島運轉時可能遇到之阻抗以及其推導，同樣的，利用近端負載與市電並聯的關係，應能使用脈波電流判斷目前市電阻抗狀態。

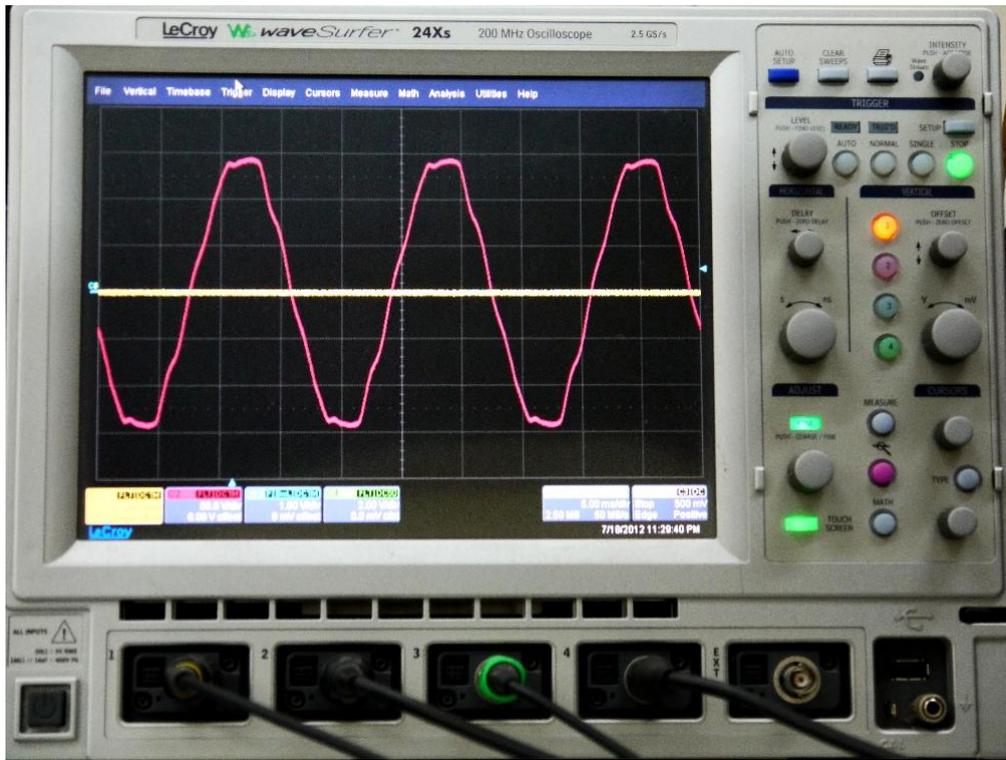
參考文獻

- [1] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Standard 1547-2008, 2008.
- [2] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems, IEEE Standard 929-2000, 2000.
- [3] Hannu Jaakko Laaksonen, “Protection Principles for Future Microgrids”, *IEEE Trans. Power Electronics.*, Vol.25, no.12, pp. 2910-2918. Dec. 2011.
- [4] Pukar Mahat, Zhe Chen and Birgitte Bak-Jensen, “Review of Islanding Detection Methods for Distributed Generation”, *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies Third International Conference*, 2008, pp. 2743-2748.
- [5] Redfern, M.A., Usta, O. and Fielding, G., “Protection against loss of utility grid supply for a dispersed storage and generation unit”, *IEEE Trans. Power Delivery.*, Vol.8, no.3, pp.948-954. Jul. 1993.
- [6] Wilsun Xu, Guibin Zhang, Chun Li, Wencong Wang, Guangzhu Wang and Jacek Kliber, “A Power Line Signaling Based Technique for Anti-Islanding Protection of Distributed Generators—Part I: Scheme and Analysis”, *IEEE Trans. Power Delivery.*, Vol.27, no.3, pp.1758-1766. Jul. 2007.
- [7] Wencong Wang, Jacek Kliber, Guibin Zhang, Wilsun Xu, Blair Howell and Tony Palladino, “A Power Line Signaling Based Scheme for Anti-Islanding Protection of Distributed Generators—Part II: Field Test Results”, *IEEE Trans. Power Delivery.*, Vol.27, no.3, pp.1767-1772. Jul. 2007.
- [8] Hagh, M.T., Ghadimi, N., Hashemi, F. and Zebardast, S.J., “New Islanding Detection Algorithm for Wind”, *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2011, pp.1-5.
- [9] Laverty, D.M., Morrow, D.J., Best, R.J. and Crossley, P.A., “Differential ROCOF relay for Loss-of-Mains protection of Renewable Generation using phasor measurement over Internet Protocol”, *Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System*, 2009, pp. 1-7.
- [10] P. D. Hopewell, N. Jenkins, and A. D. Cross, “Loss of mains detection for small generators,” *IEE Proc. Electric Power Applications*, Vol. 143, no. 3, pp. 225-230, May 1996.

- [11] Sung-II Jang and Kwang-Ho Kim, "An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion of current", *IEEE Trans. Power Delivery.*, Vol.19, no.2, pp.745-752. Apr. 2004
- [12] Jae-Hyung Kim, Jun-Gu Kim, Young-Hyok Ji, Yong-Chae Jung and Chung-Yuen Won, "An Islanding Detection Method for a Grid-Connected System Based on the Goertzel Algorithm", *IEEE Trans. Power Electronics.*, Vol. 26, no. 4, pp. 1049-1055. Apr. 2011.
- [13] Mihai Ciobotaru, Remus Teodorescu and Frede Blaabjerg, "On-line grid impedance estimation based on harmonic injection for grid-connected PV inverter", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2007, pp. 2437-2442.
- [14] Marco Liserre, Remus Teodorescu and Frede Blaabjerg, "Stability of Photovoltaic and Wind Turbine Grid-Connected Inverters for a Large Set of Grid Impedance Values", *IEEE Trans. Power Electronics.*, Vol.21, no.1, pp. 263-272. Jan. 2006.
- [15] Gerald Francis, Rolando Burgos, Dushan Boroyevich, Fred Wang and Kamiar Karimi, "An Algorithm and Implementation System for Measuring Impedance in the D-Q Domain", *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2011, pp. 3221-3228.
- [16] G.A.Smith, P.A.Onions and D.G. Infield, "Predicting islanding operation of grid connected PV inverters", *IEE Proc. Electric Power Applications*, Vol.147, no.1, pp.1-6. Jan. 2000.
- [17] Liu, F., Kang, Y., Zhang, Y., Duan, S. and Lin, X., "Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters", *IET. Renewable Power Generation*, Vol.4, no.1, pp. 36-42. Jan. 2010.
- [18] Ahmad Yafaoui and Bin Wu and Samir Kouro, "Improved Active Frequency Drift Anti-islanding Method with Lower Total Harmonic Distortion", *Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2010, pp. 3216-3221.
- [19] Ahmad Yafaoui, BinWu and Samir Kouro, "Improved Active Frequency Drift Anti-islanding Detection Method for Grid Connected Photovoltaic Systems", *IEEE Trans. Power Electronics.*, Vol.27, no.5, pp. 2367-2375. May. 2012.
- [20] Guo-Kiang Hung, Chih-Chang Chang, and Chern-Lin Chen, "Automatic Phase-Shift Method for Islanding Detection of Grid-Connected Photovoltaic Inverter", *IEEE Trans. Power Delivery.*, Vol.19, no.2, pp.745-752. Apr. 2004.

- [21] Vivek Menon and M. Hashem Nehrir, "A Hybrid Islanding Detection Technique Using Voltage Unbalance and Frequency Set Point", *IEEE Trans. Power Systems.*, Vol.22, no.1, pp.442-448. Feb. 2007.
- [22] J. Yin, L. Chang, and C. Diduch, "A new hybrid anti-islanding algorithm in grid connected three-phase inverter system," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2006, pp. 1-7.
- [23] Yiding Jin, Qiang Song and Wenhua Liu, "Anti-islanding Protection for Distributed Generation Systems Based on Reactive Power Drift", *Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2009. pp. 3970-3975.
- [24] Qi Zhang, Xiang-Dong Sun, Yan-Ru Zhong, Mikihiro Matsui and Bi-Ying Ren, "Analysis and Design of a Digital Phase-Locked Loop for Single-Phase Grid-Connected Power Conversion Systems", *IEEE Trans. Industrial Electronics.*, Vol. 58, no. 8, pp.3581-3592. Aug. 2011.
- [25] Lícia Neto Arruda, Sidelmo Magalhães Silva and Braz J. Cardoso Filho, "PLL Structures for Utility Connected Systems", *Industry Applications Conference*, 2001. pp. 2655-2660.
- [26] Bhattacharya, S., Frank, T.M., Divan, D.M. and Banerjee, B., "Active filter system implementation", *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 4, no. 5, pp.47-63. Sep/Oct. 1998.
- [27] Tomas Skocil, Oriol Gomis-Bellmunt, Daniel Montesinos-Miracle, Samuel Galceran-Arellano and Joan Rull-Duran, "Passive and Active Methods of Islanding for PV systems.", *Power Electronics and Applications. EPE '09. 13th European Conference*, 2009. pp. 1-10.
- [28] Young-Doo Yoon, Seung-Ki Sul, Shinya Morimoto and Kozo Ide, "High-Bandwidth Sensorless Algorithm for AC Machines Based on Square-Wave-Type Voltage Injection", *IEEE Trans. Industry Applications.*, Vol.47, no.3, pp. 1361-1370. May/Jun. 2011.
- [29] Chien-Liang Chen, Yubin Wang, Jih-Sheng (Jason) Lai, Yuang-Shung Lee and Daniel Martin, "Design of Parallel Inverters for Smooth Mode Transfer Microgrid Applications", *IEEE Trans. Power Electronics.*, Vol.25, no.1, pp. 6-15. Jun. 2010.

附錄



LeCroy 24Xs 數位示波器

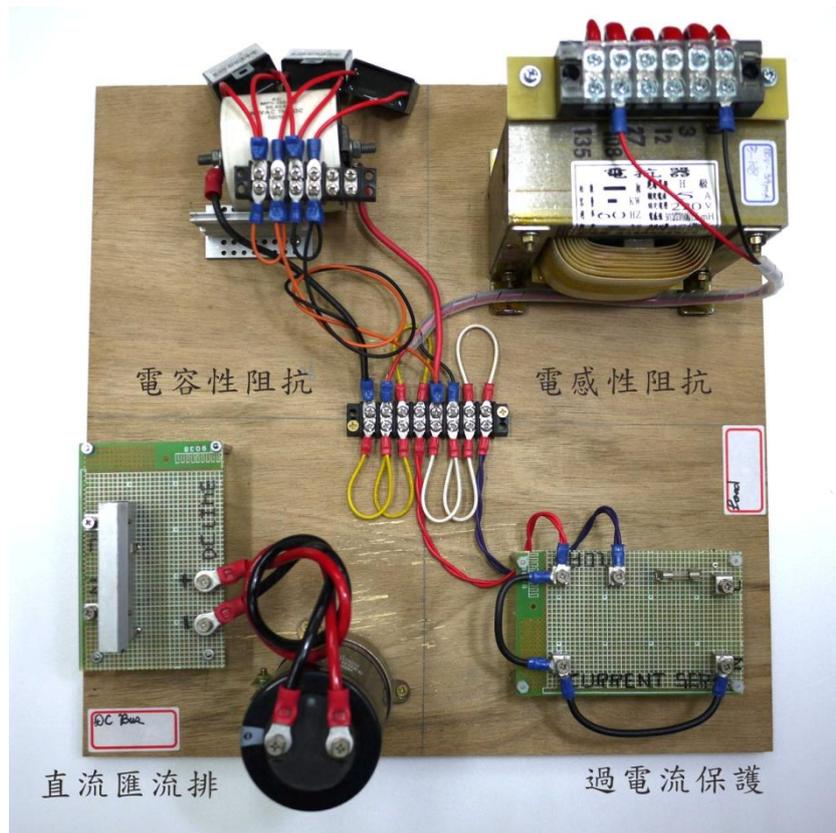


FLUKE 43B 電力諧波分析儀

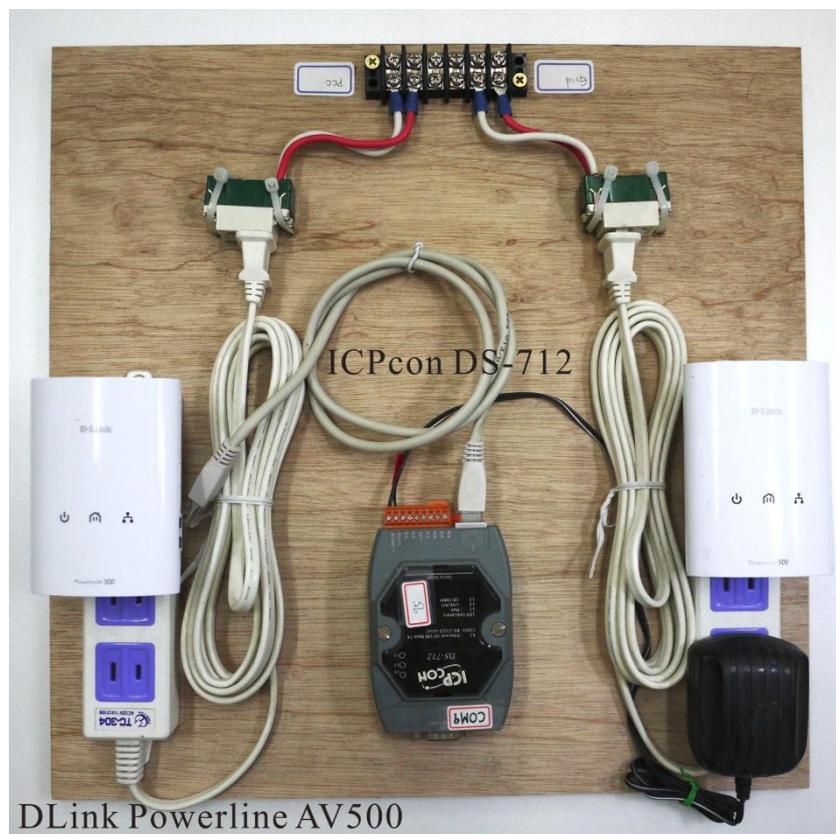
PINTEK DP-25 高壓隔離探棒

FLUKE 80i-110s
AC/DC 電流鉗

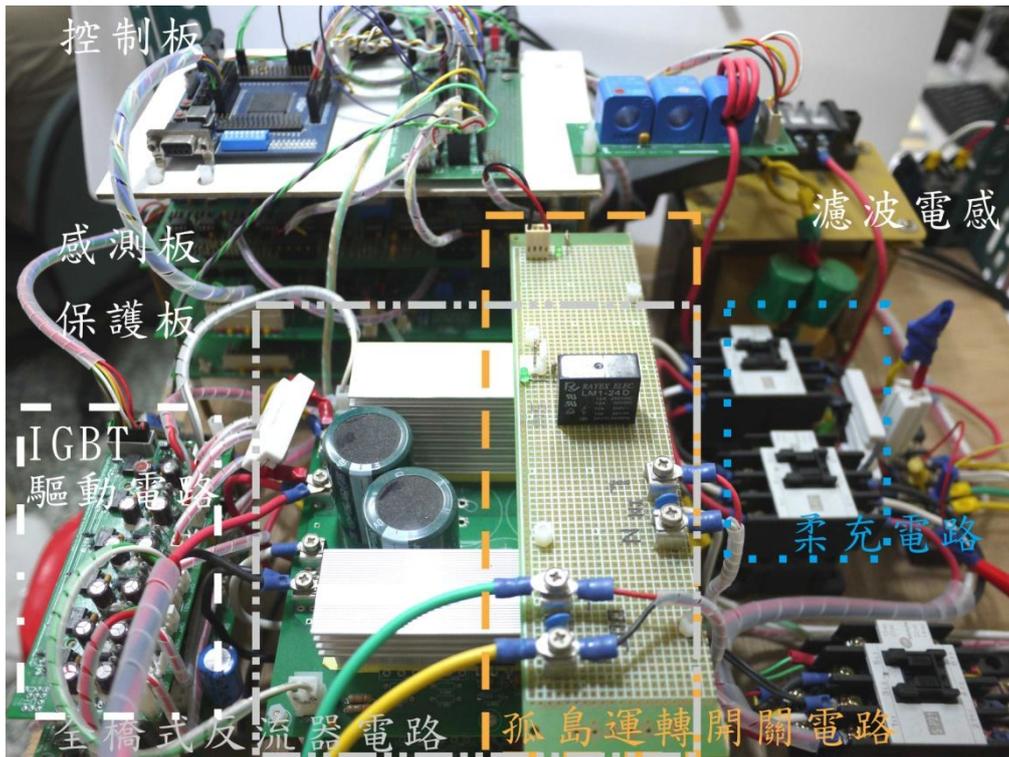
探棒



LC 負載阻抗



PLC 設備與 TCP-IP/RS232 設備



控制板

感測板

保護板

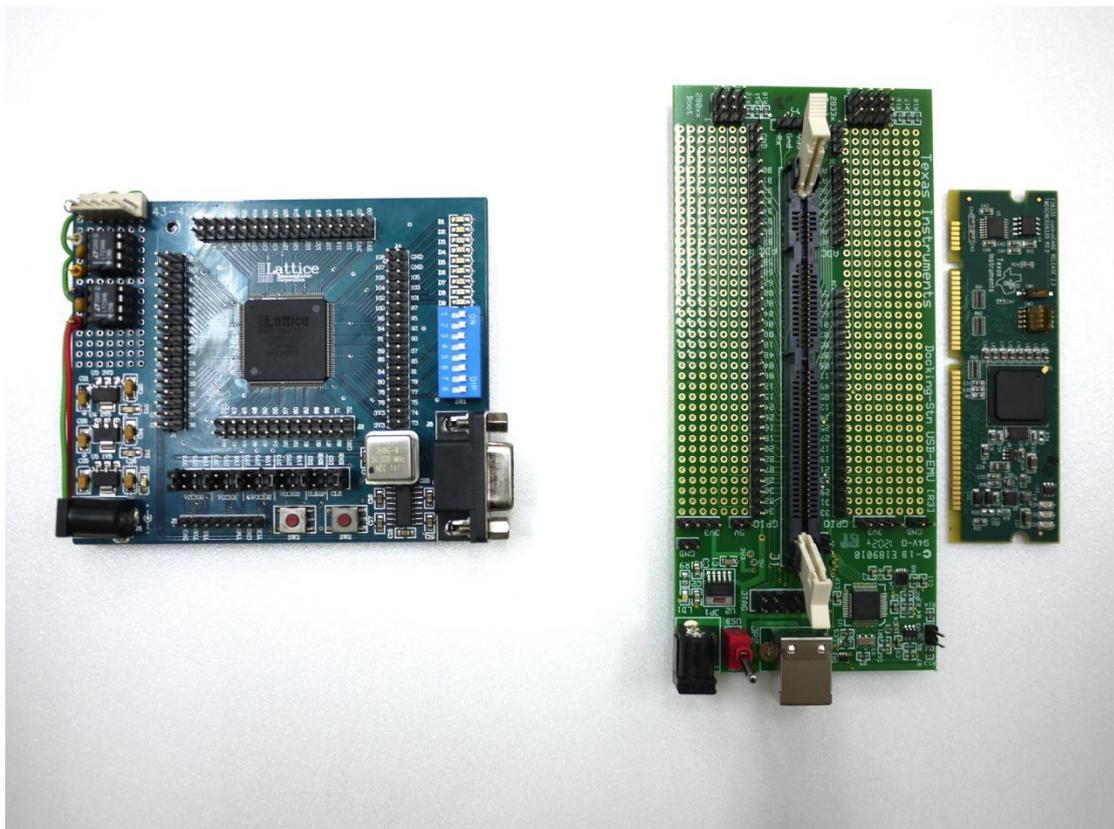
IGBT
驅動電路

濾波電感

柔充電路

全橋式整流器電路 | 孤島運轉開關電路

實驗機台



CPLD LCMXO640C

DSP320C28335 Kit

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2013/08/02

國科會補助計畫	計畫名稱: 用於分佈式發電系統之混合式孤島偵測脈波電流注入法
	計畫主持人: 侯中權
	計畫編號: 101-2221-E-216-029- 學門領域: 電力電子
無研發成果推廣資料	

101 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：侯中權		計畫編號：101-2221-E-216-029-					
計畫名稱：用於分佈式發電系統之混合式孤島偵測脈波電流注入法							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	第十一屆台灣電力電子研討會暨展覽會
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	Accepted by IET Power Electronics
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	用於分佈式發電系統之混合式孤島偵測脈波電流注入法為目前最快之孤島偵測技術
--	--------------------------------------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

用於分佈式發電系統之混合式孤島偵測脈波電流注入法為目前最快之孤島偵測技術，研究成果發表接受於 IET Power Electronics 期刊