

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

智慧型電網孤島運行之電力系統分析與建置
Power System Analysis and Implementation for a Stand Alone
Smart Grid

計畫編號：992001INER060

受委託機關(構)：私立中原大學

計畫主持人：洪穎怡

核研所聯絡人員：李奕德

聯絡電話：03-2654050

E-mail address：yyhong@dec.ee.cycu.edu.tw

報告日期：99 年 11 月 23 日

目 錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
中文摘要.....	1
英文摘要.....	3
壹、計畫緣起與目的.....	5
一、緒論.....	5
(一)研究背景.....	5
(二) 研究動機.....	7
(三) 計畫目的與工作項目.....	8
貳、研究方法與過程.....	9
一、暫態/動態模擬分析.....	9
(一) 核研所微型電網測試平台背景.....	9
(二) 模型.....	12
二、電力品質.....	14
(一) 諧波分析.....	14
(二) 不平衡分析.....	15
三、故障分析與保護協調檢討.....	16
(一) 故障電流計算.....	16
(二) 保護協調檢討.....	18

四、風力機組之人才培育教案編輯.....	20
(一) 授課綱要內容.....	20
(二) 講員任職背景介紹.....	23
(三) 學生之互動反應.....	26
參、主要發現與結論.....	35
一、暫態/動態情境模擬分析.....	35
(一) 區域 1 微型電網測試平台動態模擬分析.....	35
(二) HCPV 變頻器的控制模式.....	43
(三) 馬達啟動.....	45
(四) 電壓波動.....	47
二、電力品質.....	49
(一) 諧波分析.....	49
(二) 微型電網測試平台不平衡分析.....	56
三、故障分析及保護協調檢討.....	71
(一) 故障分析.....	71
(二) 保護協調之檢討.....	73
四、結論.....	80
(一) 暫態模擬分析.....	80
(二) 電力品質分析.....	80
(三) 故障分析及保護協調檢討.....	80
肆、參考文獻.....	83
附錄.....	85

圖目錄

圖 2.1	5KW HCPV 光伏發電機(25°C)	9
圖 2.2	25 kW 風力機組發電量對風速曲線圖	10
圖 2.3	具電力轉換器之微型電網測試平台單線圖	11
圖 2.4	負載、監控室、光伏系統和風力機組	12
圖 2.5	核研所微電網保護協調分析假設的故障點位置	17
圖 2.6	核研所微電網內數位電驛及電磁開關之位置	19
圖 2.7	實務教材編撰單元架構圖	21
圖 3.1	微型電網區域一測試平台單線圖	36
圖 3.2	Zone 1 電網於市電併聯下，氣渦輪機組跳脫暫態現象	37
圖 3.3	Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態	38
圖 3.4	Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫後，氣渦輪機暫態現象	39
圖 3.5	Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫後，市電端暫態現象	39
圖 3.6	Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，於 6.2 秒 HCPV 投入	40
圖 3.7	氣渦輪機組運轉，Zone 1 電網於市電跳脫暫態現象	41
圖 3.8	Zone 1 電網於孤島運轉下，氣渦輪機跳脫暫態現象	41
圖 3.9	Zone 1 電網於孤島運轉下，HCPV 跳脫暫態現象	42
圖 3.10	匯流排 3 和 7 的實功率發電變化情形(電流控制模式)	43
圖 3.11	匯流排 3 和 7 的頻率響應(電流控制模式)	44
圖 3.12	匯流排 3 和 7 的實功率發電變化情形(功率控制模式)	44

圖 3.13 在匯流排 3 和 7 的頻率響應(功率控制模式).....	44
圖 3.14 匯流排 3 和 7 的實功發電變化情形(常數 PQ 模式).....	45
圖 3.15 匯流排 3 和 7 的頻率響應(常數 PQ 模式)	45
圖 3.16a 馬達啟動電流(市電併聯).....	46
圖 3.16b 匯流排壓降(市電併聯).....	46
圖 3.17a 馬達啟動電流(孤島).....	47
圖 3.17b 匯流排壓降(孤島).....	47
圖 3.18 風速和匯流排 10 的葉片角度.....	48
圖 3.19 不同發電機的實功響應.....	48
圖 3.20 匯流排 2、10 和 11 的電壓.....	49
圖 3.21 含諧波源之微型電網測試平台單線圖.....	50
圖 3.22 含電子(非線性)負載之併聯市電單線圖.....	51
圖 3.23 市電併聯時 THD 隨非線性負載增加之趨勢.....	53
圖 3.24 含電子(非線性)負載之孤島運轉單線圖.....	55
圖 3.25 孤島運轉時 THD 隨非線性負載增加之趨勢.....	56
圖 3.26 微型電網測試平台單線圖.....	57
圖 3.27 不平衡分析單線圖(並聯市電).....	58
圖 3.28 不平衡分析單線圖(孤島運轉).....	63
圖 3.29 不平衡之改善分析單線圖(孤島運轉).....	68
圖 3.30 主變壓器至故障點 F3 的相電驛保護協調曲線圖.....	74
圖 3.31 主變壓器至故障點 F3 的接地電驛保護協調曲線圖.....	75

表目錄

表 2.1	最大諧波電壓失真率.....	15
表 2.2	不平衡率規範.....	16
表 2.3	實務教材編撰專家介紹.....	25
表 3.1	各 Bus 電力潮流及功率因素.....	36
表 3.2	匯流排 2 諧波電流源基本參數.....	49
表 3.3a	各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%).....	52
表 3.3b	各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%).....	53
表 3.4	各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%).....	55
表 3.5	匯流排 1 之不平衡率(並聯市電).....	59
表 3.6	匯流排 2 之不平衡率(並聯市電).....	60
表 3.7	匯流排 6 之不平衡率(並聯市電).....	60
表 3.8	匯流排 7 之不平衡率(並聯市電).....	61
表 3.9	匯流排 11 之不平衡率(並聯市電).....	61
表 3.10	匯流排 12 之不平衡率(並聯市電).....	62
表 3.11	匯流排 2 之不平衡率(孤島).....	65
表 3.12	匯流排 6 之不平衡率(孤島).....	65
表 3.13	匯流排 7 之不平衡率(孤島).....	66
表 3.14	匯流排 11 之不平衡率(孤島).....	66
表 3.15	匯流排 12 之不平衡率(孤島).....	67
表 3.16	匯流排 2 三相皆虛功補償相同之不平衡率改善(孤島).....	69
表 3.17	匯流排 2 三相虛功補償不同之不平衡率改善(孤島).....	70
表 3.18	市電提供的故障電流計算結果(380V base).....	71

表 3.19 太陽能板提供的故障電流計算結果(380V base).....	71
表 3.20 微渦輪機提供的故障電流計算結果(380V base).....	72
表 3.21 F3 發生故障斷路器動作時間.....	73
表 3.22 F5 發生故障斷路器動作時間.....	76
表 3.23 F6 發生故障斷路器動作時間.....	77
表 3.24 孤島運轉下發生三相故障依現行設定的電驛動作時間(s)..	78
表 3.25 孤島運轉下發生單相接地故障依現行設定的電驛動作時間 (s).....	79

中文摘要

歐美日等國近年來有許多實驗室級的微型電網仿真器，而且有許多戶外微型電網測試平台已經建構完成。美國電力可靠性技術協會(Consortium for Electric Reliability Solutions, CERTS)在微型電網技術的研究方面占世界領先地位。2005 年 CERTS 微型電網的研究已經從模擬分析、實驗仿真器研究階段進入測試平台階段。有鑑於此，核研所已將現有再生能源設施與已添購的負載箱為基礎，在 4E-1 區域規劃一個可進行多種測試及展示功能的微型電網測試平台。前一期成果中，中原大學與核研所參考 CERTS 測試項目，規劃提出微型電網可供測試項目及測試內容，並對各項測試預先進行評估。基於前述工作成果與所內風力機研發經驗傳承，本期將進行下列工作，以利正進行的微型電網測試平台建置工程：

1. 4E-1 區域元件之靜態與動態模型建立與模擬。
2. 孤島運行下電力系統之保護協調研究(模擬與分析)。
3. 電力系統孤島運行下之電力品質控制。
4. 風力機組之人才培育教案編撰。

本報告為期末報告，包括微型電網靜態模型(諧波、不平衡、電力電子及太陽光電模組)之建立，亦包括元件動態模型(氣渦輪機發電機及馬達啟動等)建立。動態模擬分析涵蓋 Zone 1- Zone 3 設備跳脫引起的暫態現象、馬達啟動及電壓波動等；靜態模擬分析涵蓋 Zone 1- Zone 3 之諧波及不平衡分析。另外亦探討 Zone1 故障電流與保護協調。最後提出風力機組之人才培育教案案例。

關鍵詞：微型電網、測試平台、動態模擬、電力品質、保護協調

Abstract

Recently, USA, EU and Japan have developed many micro-grid emulators in labs and some are realistically established as outdoor test beds. The Consortium for Electric Reliability Solutions (CERTS) in USA has a leading position in the area of microgrids around the world. Starting from simulation analysis though emulator study, CERTS begun its test bed investigation in 2005. On basis of CERTS study, INER took advantage of existing renewable resources as well as purchased load banks to set up a microgrid test bed in the 4E-1 area, which may be used for the purposes of testing and demonstration. In the previous results, Chung Yuan Christian University and INER consulting the CERTS test items proposed possible test items and their corresponding works. The test items have been evaluated. Based on the previous research results and experience delivery for wind-turbine-generators, the following works are addressed in this project for helping micro-grid test bed establishment:

1. Modeling and simulation for the components in the 4E-1 area
2. Simulation and analysis of protection coordination in a stand alone power system

3. Enhancement of power quality in a stand alone power system

4. Composition of lesson planning related to the electric wind power for personnel training

This is the final report. It covers the static models (harmonics, frequency fluctuation, imbalance, power electronics and HCPV module). It also includes the dynamic models (gas turbine, wind turbine and motor starting). The dynamic simulation results consist of transient analysis considering component outage, motor starting and voltage fluctuation for Zone 1- Zone 3. The static analysis includes the harmonic studies and imbalance in Zone 1- Zone 3. On the other hand, the fault analysis and protection coordination are explored, too. The tutorial materials are presented for the wind-turbine generation system finally.

Key Words: Micro-grid, Test bed, Dynamic Simulation, Power Quality, Protection Coordination

壹、計畫緣起與目的

一、緒論

(一) 研究背景

大氣中之溫室氣體(Greenhouse Gas)如二氧化碳、甲烷及氧化亞氮等濃度持續增加，自 1890 年以來，地球的「年平均溫度」上升 0.6~1.0 攝氏度，使得溫室效應(Greenhouse Effect)增強，地球產生暖化現象，以致海平面高度上昇，造成生態系統失衡，威脅地球生物生存，而這些氣體來自傳統的石化燃料。1997 年「聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC) 締約國」於日本京都召開第三次締約國大會，當時所擬定之京都議定書(Kyoto Protocol)係期望藉由控制人為排放之溫室氣體量，抑制地球氣候惡化之管制協議。京都協議書於 2005 年 2 月 16 日正式簽訂生效。

1. 分散式電源(Distributed Generation, DG):

近年來由於可部分取代傳統電源，已經漸漸受到重視。分散式電源的優點包括降低輸電線容量、實功率損失及傳統電源的擴充規劃等，詳細如下:

(1) 降低輸配線路的架構及成本:

近年來由於公眾及環保意識的抬頭，新增傳輸線及變電所困難度極高，且架設輸配線路所需的時間較長。然而分散式電源能在短時間內建置完成，且不需架設長程輸電線路，可迅速解決發電容量短缺的問題，因此可降低輸電線容量之需求，相對的實功率損失也降低。

(2) 取代傳統電源的擴充規劃:

近年來一些新的分散式電源，如燃料電池、微渦輪機、以及風

力機及太陽能板等再生能源已可提供系統做為分散式電源。此外，再生能源發電系統的製造成本已顯著降低且可提供高性能及無污染的發電能力。因此可降低溫室氣體如二氧化碳、甲烷及氧化亞氮等濃度。

然而分散式電源的使用，造成電力潮流在電力系統流竄，改變了僅有傳統電源時的電力系統潮流方向。因此有微型電網的概念誕生，微型電網含有上述的分散式電源，如燃料電池、微渦輪機、以及風力機及太陽能板。微型電網大多併接在配電系統中，微型電網通常不提供電能進入配電電網中，其與市電的介面須符合 IEEE 1547 規範，如此確保市電配電電網之電力潮流具單一方向，以避免破壞配電系統保護協調之設計。微型電網可以獨立於市電電網運轉，此現象稱為"孤島"運轉。微型電網通常與市電電網並聯，微型電網可從市電電網獲得經濟的電力和其它一些輔助的服務。

2. 國外對於微型電網之設計規劃，大多尚在研究階段，通常研究步驟為：

- (1) 電腦模擬(Simulation)分析
- (2) 實驗室實體仿真器(Emulator)
- (3) 測試平台(Test Bed)
- (4) 實際展示系統(Demonstration)。

近年來歐美日等國已有許多實驗室級的微型電網仿真器，而且亦有許多測試平台已經建構完成。美國電力可靠性技術協會 (Consortium for Electric Reliability Solutions, CERTS) 在微型電網技術的研究方面占領先地位。2005 年 CERTS 微型電網的研究已經從模擬分析、實驗仿真器研究階段進入測試平台階段。CERTS 的微型

電網系統的概念是一個半獨立的微型電網，正常與市電電網併網運轉，當由於成本或事故發生需要獨立運轉時，就與市電電網解聯或向市電電網反送電力。CERTS 的微型電網發電裝置包括微型燃氣輪機、燃料電池、太陽能發電、小型風力發電以及電力儲藏裝置，這些發電裝置通過電力電子裝置相互連接來完成微型電網系統所需要的功能。

CERTS 微型電網不是透過高速通訊來完成控制，而是透過自主性(Autonomous)的變流器(Inverter)控制來完成電氣的隨插即用(Plug and Play)，以達到電能的供需平衡。CERTS 微型電網針對終端使用者的不同需求來提供不同的電力品質和可靠性。微型電網保證對關鍵負載(Sensitive loads)提供可靠的、高品質的電力，而向其它的負載只提供和其重要性相對應的電力品質和可靠性，這種多種電力品質和可靠性的思想在提高關鍵設備整體可靠性的同時，也降低了成本。

(二) 研究動機

核研所 4E-1 區域包含 029 館、048 館、039 館及 072 館。目前裝有 25kW 水平風力機及 1.5kW 垂直風力機各一部，另外亦架設好一風力機支架，準備安裝 150 kW 風力機一部。除風力機外，還裝設有 12 台 5kW 及 25 台 1.5 kW HCPV 在屋頂或地面。本區域目前有生質能實驗室、直流電展示館及辦公室等用途，未來將有陸續的辦公室進駐。本計畫將呼應上述美國 CERTS 的作法，配合核研所 4E-1 區域擇一塊地，將上述再生能源，將新增的 60kW 氣渦輪機與已購置電子負載，改為一個百 kW 級的測試平台。在前一期計畫中，已完成之工作項目如下：

1. 以既有線路及設備為基礎，提出基本的微型電網架構。
2. 微型電網之設計規劃與檢討。
3. 考慮隨插即用與設備對等觀念，設計微型電網保護協調。
4. 提出微型電網可供測試項目及測試內容。測試項目涵蓋：靜態開關測試、內部保護測試、變流器控制測試、電力潮流控制測試及劇烈變動負載測試

(三) 計畫目的與工作項目

綜觀第二期計畫之成果，本期計畫之目的如下：以現有 4E-1 測試平台工程為研究對象，建構靜態與動態模擬模型，進一步研究 380V 低電壓系統之保護協調，並研究獨立系統電力品質問題，以利規劃 4E-1 測試平台成一個可進行多種測試及展示功能的微型電網，並作為未來發展智慧型微電網之基礎。

1. 4E-1 區域元件之靜態與動態模型建立與模擬。電力元件包含發電機、電力電子、氣渦輪機、HCPV、負載及變壓器等。
2. 孤島運行下電力系統之保護協調研究(模擬與分析)。以 380V 微型電網為主要設計對象。
3. 電力系統孤島運行下之電力品質控制。電力品質主要包括諧波、馬達啟動及不平衡。
4. 風力機組之人才培育教案編撰。

貳、研究方法與過程

一、暫態/動態模擬分析

本計畫利用 NEPLAN 5.4.3 套裝軟體，進行暫態/動態和靜態模擬研究，以確保微型電網測試平台系統能正常操作。

(一) 核研所微型電網測試平台背景

1. 高聚光伏系統(High Concentration PV, HCPV)

目前在台灣南部地區已由核研所建造 1 MW 高聚光伏系統(不是微型電網測試平台)。此 III-V 族(砷化鉀)光伏系統發電效率為 27.5%，核研所依 IEC62108 規範進行光伏系統量測與測試，每個光伏系統陣列透過最大功率追蹤(MPPT)，可提高效率至 40.7%。圖 2.1 所示為 5 kW 光伏系統模組在 25°C 之輸出功率與輻射關係圖。

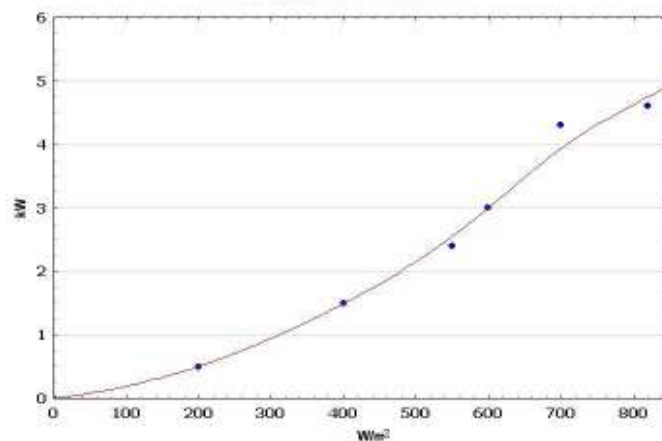


圖 2.1 5kW HCPV 光伏發電機(25°C)

2. 風力發電機

核能研究所發展兩種風力發電機組系統：25kW 和 150kW。發電機屬於永磁式風電機，風力機組之機械應力運作情形已通過測試且風力發電機組已達到 IEC 61400-11-A 型規範。風力發電機組之關鍵技術包括主動渦輪滑動控制、旋角葉片控制、智慧型停止控制和最大功率追蹤轉換器。如圖 2.2 所示為 25 千瓦的風力發電機之輸出

功率相對於風速（米/秒）曲線圖。

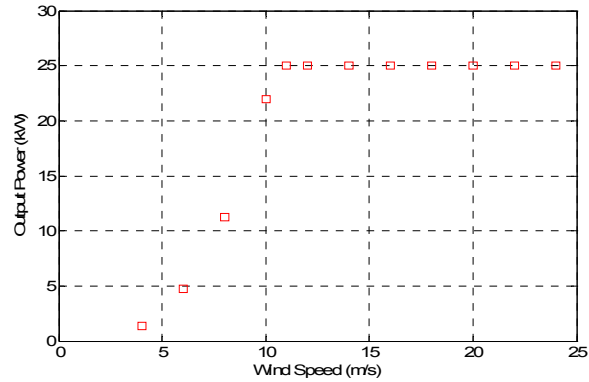


圖 2.2 25 kW 風力機組發電量對風速曲線圖

3. 微型電網

(1) 核研所微型電網測試平台的目的是：

- A. 展示開發的光伏系統與風力機組
- B. 測試分散式電源在不同情形下變頻器之功能。

(2) 系統架構之規劃原則為

- A. 分離重要負載與非關鍵負載
- B. 串聯與併聯饋線
- C. 以氣渦輪機增強可靠度。

為了清楚說明微電網各節點，圖 2.3 說明整流器/變頻器和濾波器 (L 和 C) 位置，這些設備將充份納入暫態/動態模擬分析。

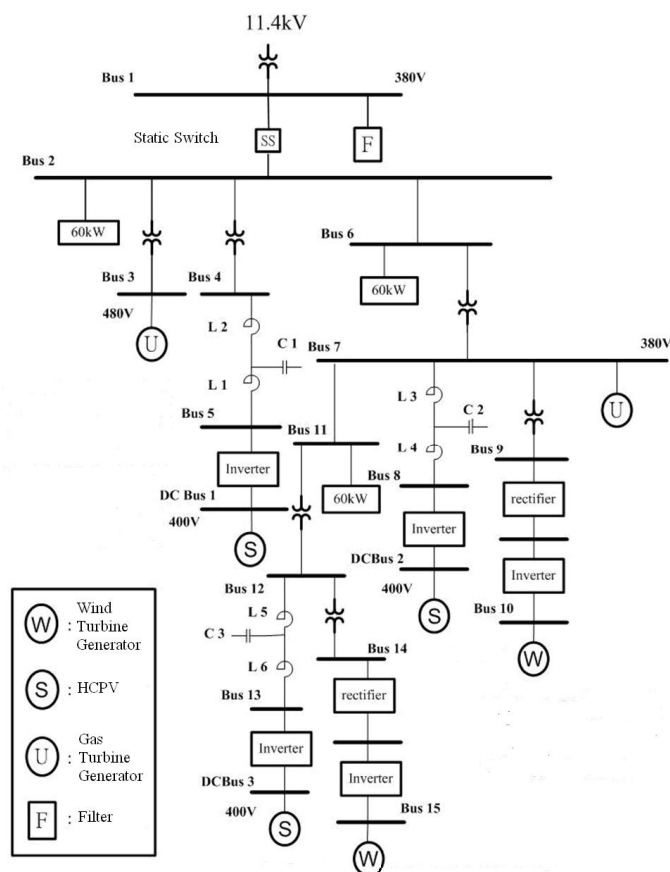


圖 2.3 具電力轉換器之微型電網測試平台單線圖

(3) 微型電網測試平台以 380V 做規劃設計，預計包含以下三個區域：

- A. Zone 1：區域一建立匯流排 1-5 和直流匯流排 1。區域一包括 60kW 負載、65kW 氣渦輪機和 21×1.5kW 光伏系統。
- B. Zone 2：區域二建立匯流排 6-10 和直流匯流排 2。區域二包括 60 kW 負載、150 kW 風力機、7×5 kW 光伏系統和 65kW 氣渦輪機。
- C. Zone 3：匯流排 11-15 和直流匯流排 3 位於區域三，其中包括 60 kW 負載、7×5 kW 光伏系統和 25 kW 風力機。

微型電網測試平台負載模擬器是經由電力電子設備研製，這些負載可以消耗功率、模擬諧波、不平衡與馬達啟動。圖 2.4 所示為監控室、25 kW 風力機組、2×5kW 光伏系統和負載箱。

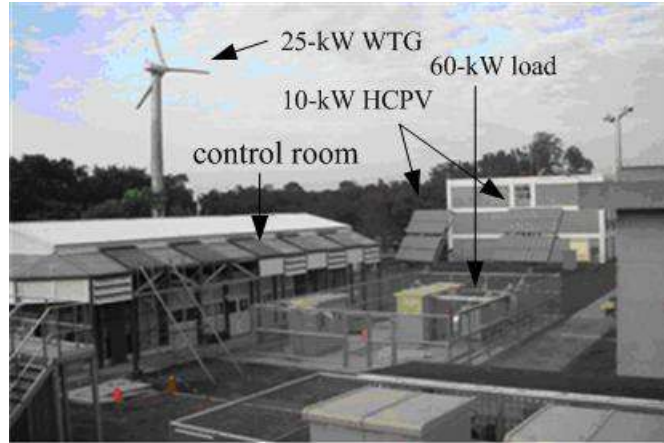


圖 2.4 負載、監控室、光伏系統和風力機組。

開發中的靜態開關和調整功率因素的濾波器仍建置在匯流排 1。圖 2.3 所示低通濾波器 C1-C3 和 L1-L6 和整流器與變頻器模型皆納入本文暫態/動態模擬之研究中。

(二)模型

本節描述一些重要模型：

1. 轉換器(Converter)

轉換器通常包含整流器和變流器，轉換器基本方程式如下：

$$V_d = V_{d0} \cdot \cos(\alpha) - \frac{3}{\pi} \cdot X_c \cdot B \cdot I_d \quad (2.1)$$

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot B \cdot T \cdot E_{ac} \quad (2.2)$$

$$Q_{ac} = P_{ac} \times \tan(\phi) \quad (2.3)$$

$$P_{ac} = P_d = V_d \cdot I_d \quad (2.4)$$

$$I_{ac} = \frac{\sqrt{6} \cdot B}{\pi} \cdot V_d \cdot I_d \quad (2.5)$$

V_d 和 E_{ac} 分別表示為直流和交流轉換器電壓， P_{ac} 和 Q_{ac} 分別表示為交流端電壓的實功率與虛功率， I_{ac} 和 I_d 分別表示為轉換器交流與直流電流， P_d 表示為直流端之直流功率， B 表示為電橋數量， X_c 表示為換流電抗， ϕ 和 α 分別表示為交流功率因素角與整流器觸發角。

正常運轉模式下，調整變流器邊界角(marginal angle)可維持變流器直流電壓設定值。在整流器電流控制模式下，為了避免在控制配置下頻率變化，電壓邊界值大約維持 3%。假使整流器最小觸發角設定在 5° - 7° ，則典型操作觸發角設定 $14^\circ \leq \alpha \leq 16^\circ$ 。

2. PV 模組

太陽能輸出電流表示如下：

$$I = I_{SC} \left[1 - \exp\left(\frac{V - V_{oc} + R_s I}{N_s V_t}\right) \right] \quad (2.6)$$

I 和 I_{sc} 分別表示太陽能輸出電流與短路電流。 V 、 V_{oc} 和 V_t 分別表示太陽能端電壓、開路電壓和單個太陽能電池端電壓。 R_s 表示太陽能串聯等效電阻。 V_t 取決於溫度，而短路電流 I_{sc} 與照度(W/m^2)成正比。

3. 馬達啟動電流

馬達啟動模擬是一連串的負載潮流計算。在每一時間步伐(time step)計算中，非同步機的阻抗將會以逐漸增加的速度、電阻(渦流損失)以及漏抗(降低飽和度)為函數來改變。

Te 和 Tl 表示電磁轉矩與負載轉矩，馬達啟動方程式可以用運動方程式(motion equation)表示如下：

$$T_e - T_l = -2 \cdot \pi \cdot J \cdot n_0 / p \cdot ds/dt \quad (2.7)$$

$$T_e = p / (2 \cdot \pi \cdot n_0) \cdot R_2 \cdot I_2^2 / s \quad (2.8)$$

$$T_l = M_0 + (1 - s) \cdot M_1 + (1 - s)^2 \cdot M_2 \quad (2.9)$$

其中 J 表示轉動慣量(moment of inertia)， n_0 表示同步速度，p 表示磁極對數目，s 表示轉差率， I_2 表示轉子電流。符號 M_0 , M_1 和 M_2 為輸入值。

二、電力品質

(一) 諧波分析

1. 電壓的總諧波失真率:

$$V_{\text{THD}} \% = \frac{\sqrt{|V_2|^2 + |V_3|^2 + |V_4|^2 + \dots}}{|V_1|} \times 100\% \quad (2.10)$$

V_1 基頻電壓成分

$V_2, V_3, V_4 \dots$ 整數倍諧波電壓成分

2. 諧波相關規範:

系統電壓會受非線性負載的諧波電流污染而產生諧波電壓畸變，4E-1的電子負載箱可模擬出諧波電流，法規及規範可參考相關的國際標準規範。表2.1 為IEEE 519-1992規範。

表2.1 最大諧波電壓失真率

在PCC點匯流排電壓 kV	個別諧波電壓失真率 %	總諧波電壓失真率 (V_{THD} %)
69kV以下	3.0	5.0
69,001kV~161kV	1.5	2.5
161,001kV以上	1.0	1.5

資料來源：IEEE Std 519-1992

(二) 不平衡分析

1. 不平衡率定義：

以線電壓為主，三相中最大偏差量與此三相平均值的比值，及電壓不平衡比(Voltage Unbalance Ratio，VUR)：

$$\text{不平衡率} = \frac{\text{三相電壓中與平均值相最大偏差量}}{\text{三相電壓平均值}} \quad (2.11)$$

$$VUR = \frac{\text{Max} (|V_{L1} - V_{avg}|, |V_{L2} - V_{avg}|, |V_{L3} - V_{avg}|)}{V_{avg}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

$$\text{其中，} V_{avg} = \frac{V_{L1} + V_{L2} + V_{L3}}{3} \quad (2.13)$$

$$\text{負序不平衡率 } (d_2 \%) = \frac{\text{負序分量大小 } (V_2)}{\text{正序分量大小 } (V_1)} \times 100 \% \quad (2.14)$$

$$\text{零序不平衡率 } (d_0 \%) = \frac{\text{零序分量大小 } (V_0)}{\text{正序分量大小 } (V_1)} \times 100 \% \quad (2.15)$$

其中， V_2 ：負序電壓(Negative-sequence voltage)

V_1 ：正序電壓(Positive-sequence voltage)

V_0 ：零序電壓(Zero-sequence voltage)

2. 不平衡相關規範

目前國內未有正式不平衡率之相關標準，故先參考國外標準，

在下表中所示為摘錄各國的相關規定，依電壓等級不同，其限制值分佈在 1%~2%

表 2.2 不平衡率規範

標準與規範	不平衡率規範		適用對象
	電壓(V)	電流(I)	
IEC 1000 2-1/2 和 1000-2-2 Electromagnetic Compatibility(EMC), Part2:Environment	2%	-	適用於低電壓配電系統
IEC 34-1,1983 Rotating Electrical Machines,Part1:Rating and Performance	(a)1%(連續) , 1.5%(幾分鐘) (b)1% (c)5%	(d)5%~10%	(a)電動機負序電壓 (b)電動機零序電壓 (c)發電機 (d)視電機形式而異
ANSI C50.13,1989,Rotating Electrical Machinery-Cylindrical Rotor Synchronous Generator	(a)5%(連續)	(b)5%~10%	(a)電動機負序電壓 (b)負序電流對正序電流比值，視發電機形式而異
EDF(法國電力公司) CET NO.3	(a)1%(連續) , (b)3%(幾分鐘) ; (c)1%(連續) , (d)1.5%(幾分鐘)	-	(a),(b)為供電給用戶 (c),(d)為用戶對供電者
NF-C-53220,Semi-conductor Converters(法國)	5%(連續)	-	
VDF 0530/7.55 Rule for Electrical Machine Standard(德國)	2%(連續)	-	
IEEE STD 141-1976(美國)	(a)2%(連續) (b)2%~2.5%	-	(a)電動機 (b)電子及電腦設備

三、故障分析與保護協調檢討

(一) 故障電流計算

核研所微電網區域內發生故障時，故障電流的成分包括由微電網內的分散式電源以及由微電網外的市電端所提供的故障電流。因此，在設計微電網的保護系統前，必須先針對微電網內各區域不同的故障點，進行故障電流計算。

計算故障電流所使用的微電網區域一系統網路架構如圖 2.5 所示。中二變電所將 69kV 降壓至 11.4kV，經過 11.4kV/380V 的主變壓器進入微電網系統中。

參考圖 2.5 系統架構圖假設不同的故障位置，計算不同故障型式以及不同故障電阻值的故障電流。針對三相短路、兩相短路、單相接地以及兩相短路再接地等不同故障型式、不同的故障位置時，計算由市電端所提供的故障電流量。

分散式電源提供的故障電流，係根據廠商提供的設備輸出電流資料估算，若無設備資料，則以分散式電源的兩倍輸出額定電流作為故障電流值。目前核研所微電網 Zone 1 區域內設有 1.5kW 太陽能板 21 台、65kW 微渦輪機 1 台，經估算太陽能板的故障電流輸出最大值為 96A，微渦輪機的故障電流輸出最大值為 200A。

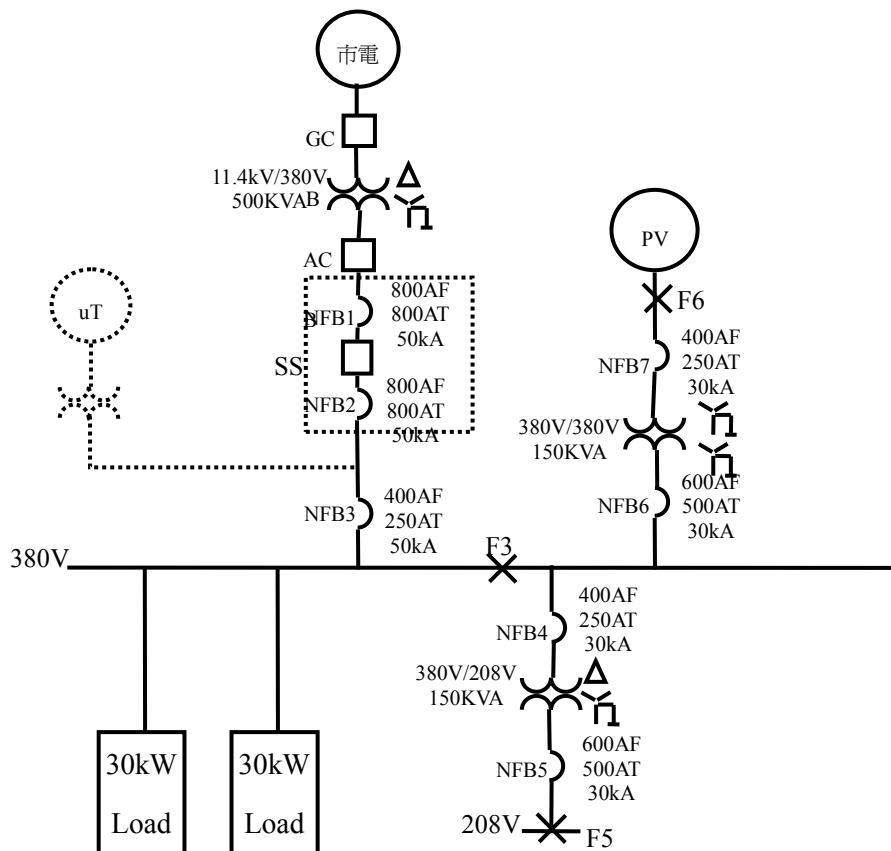


圖 2.5 核研所微電網保護協調分析假設的故障點位置

(二) 保護協調檢討

核研所微電網的保護協調目前主要係以高壓側的六氟化硫斷路器(GCB)、主變二次側的空氣斷路器(ACB)、靜態開關(SS)以及各分支的電磁開關(MC)及無熔絲開關(NFB)所組成。本研究將考慮當微電網內發生單相接地故障及三相短路故障時，目前所建置分支及幹線上的 SS、ACB 及 NFB 是否協調。圖 2.5 為本研究考慮的不同故障位置。

進行保護協調模擬分析時，使用 ETAP 模擬軟體，由於軟體內尚無目前核研所提供的部份設備設定值，因此在模擬時利用類似的設備參數代替。

由於微電網內分散式電源提供的故障電流遠低於市電提供的故障電流。因此，市電併聯時，系統的保護協調主要由無熔絲開關組成，且微電網系統內的數位電驛不會因為偵測到故障電流而使電磁開關跳脫。若微電網外部發生故障，則微電網與台電系統責任分界點上的靜態開關(SS)則會動作，微電網進入孤島運轉。

針對孤島運轉的保護策略，係利用數位電驛(過流)偵測故障電流，並跳脫電磁開關。當微電網的外部線路發生故障時，低電壓驅動 SS 跳脫後並使微電網進入孤島運轉，此時會傳送一個訊號給微電網內的各個數位電驛，並使數位電驛的設定轉換為孤島運轉下的保護協調設定模式。以下遂針對目前核研所微電網的數位電驛設定進行檢討。圖 2.6 為核研所微電網內數位電驛及電磁開關之位置圖。

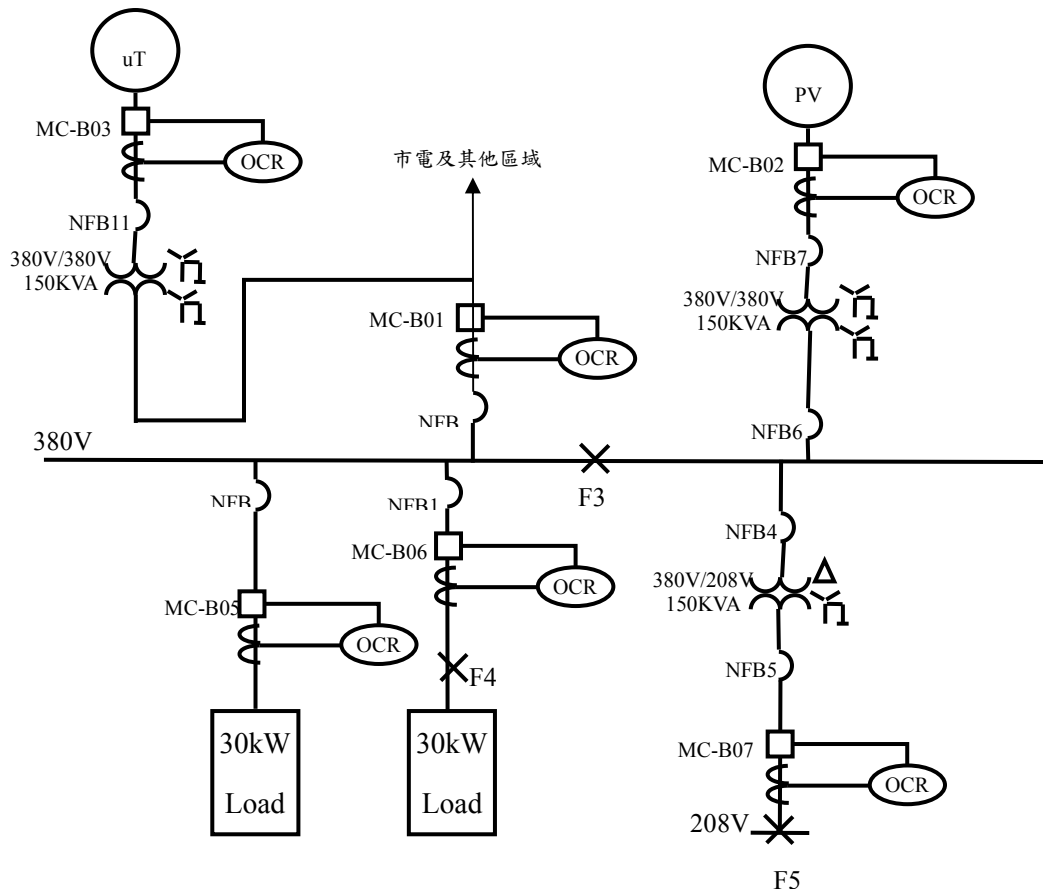


圖 2.6 核研所微電網內數位電驛及電磁開關之位置

四、風力機組之人才培育教案編輯

由於世界風電市場需求持續熱絡，對於台灣地區而言，沿岸風能潛力相當優越，極適合開發風力發電；然而，台灣風電機製造商之相關零組件，包括葉片、發電機、變速齒輪箱、軸承、電力轉換器、控制器與塔架等設備，目前大多無法符合市場技術需求。為使新舊人力陸續投入風電相關研究領域，以提升我國技術層次，應廣為開設相關課程，吸引更多人力及資金進入。因此，本「跨領域風電技術課程」教案設計對象為研究所相關理工系所（如電機、電子、機械及冷凍等）畢業，具有三年以上相關工作經驗者為設計考量。

由於風力機組技術涵蓋領域相當廣泛，為使教案編輯涵蓋跨系及跨領域之內容單元，本計畫邀請業界及研究機構師資進行授課，瞭解講員授課綱要內容、講員任職公司介紹、以及學生互動反應等，以期提供貴所往後舉辦相關課程時，邀請講員之參考。未來學員可從研習修課中取得風力發電領域之專業知識，對於風力發電相關專業設計及製造技術更具競爭力，亦可儘早銜接業務工作。

(一) 授課綱要內容

本教材編撰以中原大學在職碩士研究生為試教對象，經評估後認為，為使學員可獲得完整知識背景，建議授課內容應就下列各單元（如圖 2 所示）挑選包含業界及研究機構師資之十個主題予以授課，其各單元簡介如下。

1. 風力機分類、元件及趨勢分析

風力機之概念、分類及改進，葉片、齒輪箱、發電機、機械控制、風機塔架及離岸風力機之趨勢，陸域、離岸與高樓等風場特性介紹。

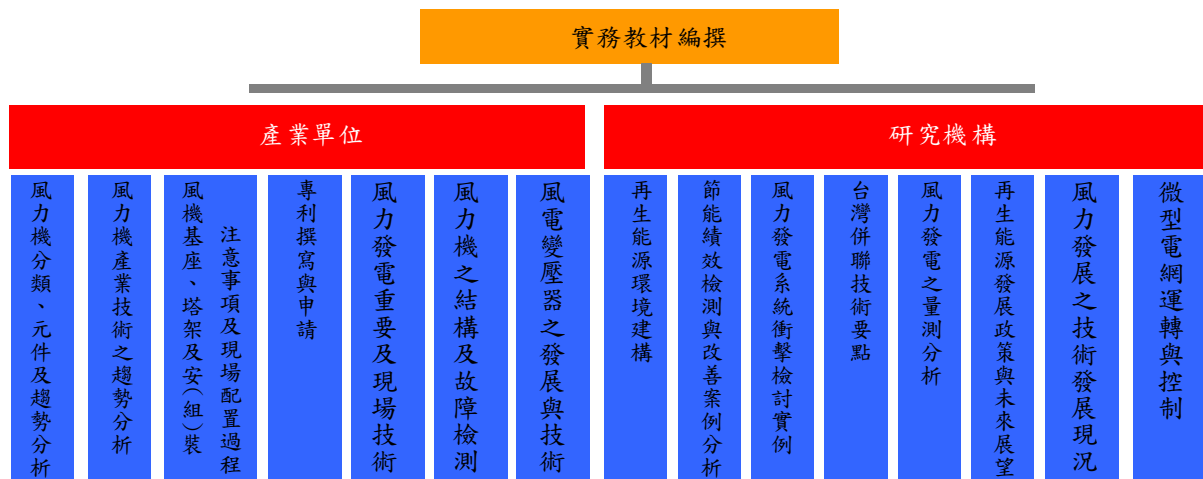


圖 2.7 實務教材編撰單元架構圖

2. 風力機產業技術之趨勢分析

風機面臨之風險、產業狀況、生產環境、安裝現場及維護環境及未來之發展趨勢等介紹。

3. 風機基座、塔架及安(組)裝注意事項及現場配置過程

選址與設計（基礎施工、整地、基樁工程、開挖、鋼筋綁紮、模板組立及灌漿、養護與回填），風機吊裝（安裝區規劃及配置、運輸道路規劃、電力模組組裝、塔筒分節吊裝、發電機及機艙安裝、葉片組裝及安裝），選址與設計介紹。

4. 專利撰寫與申請

無形資產及智財權管理的重要性、認識智財權與中美專利法規、專利申請、撰寫及解讀的要領、如何面對別人的智權挑戰、如何進行智權（專利）管理及創意思考技巧介紹。

5. 再生能源環境建構

分散式能源運轉與控制方式介紹

6. 節能績效檢測與改善案例分析。

電力系統概況、電力系統節能措施、節能技術應用成功案例及節能績效評估介紹。

7. 風力發電系統衝擊檢討實例

台電公司再生能源併聯技術要點、IEC 61400-21 風電系統測量與電力品質評估、風機故障電流檢討計算、風機電壓變動計算、風機諧波計算及電力電纜安全電流計算介紹。

8. 台灣併聯技術要點

申請時間、PV 系統電器施工廠商資格、台電併聯同意書申請作業程序及台電併聯同意書申請作業程序說明介紹。

9. 風力發電之量測分析

分析風力感應發電機利用高壓直流傳輸線與市電系統併聯運轉時整體系統之穩定度介紹。

10. 我國再生能源發展法制政策與未來展望

風力發電發展現況、國外現行政策措施、台灣風力資源之發展、我國政策與經濟效益評估、風力發電之評估及二氧化碳減量效益、我國再生能源發展目標及面臨之關鍵問題。

11. 風力發電重要性及現場技術

風力發電的特性與優點、成功發展風力發電的最大要素及風力發電現場技術等介紹。

12. 風力發電機之結構及故障檢測問題

風力發電機之結構及故障檢測問題、風力機組內部發電機之結構及發電機故障檢測方法介紹。

13. 風力發展之技術發展現況

風力發展之技術發展現況、全球大型風機發展趨勢外，並針對陸域、離岸與高樓等風場介紹。

14. 微型電網運轉與控制

微型電網運轉控制、分散式能源運轉與控制方式介紹。

15. 風電變壓器之發展與技術

風電變壓器發展與技術、非晶質變壓器技術願景介紹。

(二) 講員任職背景介紹

由於風能發電技術涵蓋領域相當廣泛，本教材邀集產業單位及研究機關之跨領域專家，以有效地於本教材中呈現最新之應用技術。對於各單元教材編撰專家如表 1 所示，而講員授課情況如下所示。



英華威風力發電集團 張嘉文資深經理 力鋼工程公司 林伯峰專案經理



利愛電氣股份有限公司 李宜彥課長 台灣綜合研究所 楊正光顧問



核能研究所 鄭志銘博士 核能研究所 李奕德博士



英華威風力發電集團 高傳勝技師 峻鼎電機公司 林展弘總經理

表 2.3 實務教材編撰專家介紹

	實務課程教材編撰單元	業界專家	任職單位
1	風力機分類、元件及趨勢分析	林伯峰	力鋼工業公司
2	風力機產業技術之趨勢分析	林伯峰	力鋼工業公司
3	風機基座、塔架及安(組)裝 注意事項及現場配置過程	高傳勝	英華威風力發電集團
4	專利撰寫與申請	林源吉	和基管理顧問公司
5	再生能源環境建構	張永瑞	核能研究所
6	節能績效檢測與改善 案例分析	楊正光	台灣綜合研究院
7	風力發電系統衝擊檢討實例	黃永清	工研院能資所
8	台灣併聯技術要點	謝文考	工研院能資所
9	風力發電之量測分析	李東璟	工研院能資所
10	我國再生能源發展法制政策與未 來展望	李欣哲	工研院能資所
11	風力發電重要性及現場技術	張嘉文	英華威風力發電集團
12	風力發電機之結構及故檢測問題	李宜彥	利愛電氣公司
13	風力發展之技術發展現況	鄭志銘	核能研究所
14	微型電網運轉與控制	李奕德	核能研究所
15	風電變壓器之發展與技術	林展弘	峻鼎電機公司

(三) 學生之互動反應

由於我國風電教育正處萌芽階段，本計畫藉由實地參訪與授課過程，瞭解學員對於我國風力相關問題疑義之處，以作為提供開設相關課程時，講員授課之參考；茲列出英華威公司（高傳勝工程師）及力鋼公司（林伯峰經理）與學員互動答覆內容如下：

英華威公司答覆內容（高傳勝工程師）

提問內容：基樁如何製造？為何製造基樁時要施加預力？

回覆內容：施加預力是為了要增加結構強度，使使用的壽命更長，做法是先將鋼筋的兩頭夾住往外拉，再加入混泥土包覆之，此做法也常應用在橋梁結構及土木工程上。

提問內容：德國公司風力發電機所產生的電能都轉賣給台電公司，那台電方面是以用多少價格來收購貴公司所產生的電能呢？

回覆內容：因台灣法規規定只允許賣給台電公司，電價方面每年度的再生能源電價都會不一樣；大約在每年的 10~11 月份會討論明年度的再生能源電價，就以今年度太陽能收購電價為新台幣 14 元，近期歐洲傳出明年度再生能源電價將會調低，台灣在這部分也有可能跟進；以台灣再生能源發展的方向來看，台灣不應隨著外國電價來做變動，避免打壓台灣再生能源市場。

提問內容：由於發電機有 50 公噸，要如何決定風力機之塔高才能承受住發電機之重量？

回覆內容：不管是哪種型號之風力機，不管其塔高、葉片長度、發電機之重量等，都有一定格式，不會隨意更改。而如何確定其規格，必須與第三認證單位試建風力機，並須經由測試認證，認證完成後才可在市面上發售。

提問內容：風力機基座在灌漿時模板如果不慎爆開，導致水泥流出來，請問如何補救？

回覆內容：在混泥土未乾燥前還可以回收回來，若真的不慎乾掉且沾到鋼筋，就必須連鋼筋一起拆掉重做，因此在一開始規劃灌漿前要經過嚴密計算及考量。

提問內容：葉片跟機艙都是由德國進口而來，那台灣氣候多變如何去解決可能發生水土不服的問題？那如何去解決？

回覆內容：德國公司已經考慮到這點，例如：在零組件內有溼度計，溫度太高會自動加熱降低溼度；若塔桶內部溫度太高機艙最上層有個風孔，利用煙囪效應來散熱。

提問內容：德國公司的經營模式是向銀行借錢來從事風機的設立與營運，這樣是否合乎經濟效益？有些台灣風機，因為並不是特別針對台灣的氣候設計的，所以會有底部積水的問題？請問德國公司的風機也有這樣的問題嗎？

回覆內容：銀行會評估投資報酬率，然後才會撥款。德國公司的風機，已經設置在世界上許多不同的國家，所以已經能克

服很多氣候上的問題。只有在彰濱的風機曾發生積水的問題，不過那是整片大面積的土地低窪所造成的問題，並非風機設計上的問題，而此問題也透過其他的方法處理。

提問內容：基礎樁打後，需要做荷重測試，基礎樁允許之下沉量有何判斷標準？

回覆內容：樁的下沉量以不超過樁徑的 1%或 2 公分為標準，若下沉量超過標準，則需要檢討設計，判斷是否需要重新打樁或補強。

提問內容：請問目前德國公司所裝設之風機重量？

回覆內容：一台風機約 300 噸（葉片一組 6 噸，塔筒一節約 4~5 噸，發電機 50 噸）

提問內容：風力機基礎的混泥土樁，在打樁時其深度的判斷標準為何？

回覆內容：打樁深度是依據 SPTN 的數據往下累加深度直到風力機總重量可承受的指定噸數。

提問內容：陸上風電機基礎和離岸風電機基礎有何不同

回覆內容：陸上風電機基礎依據鑽探報告表可分為淺基礎和深基礎兩種。離岸風電機基礎施工較困難只能用深基礎裡的樁基礎進行施工。

提問內容：離岸風電機基礎是否須要鑽探報表？

回覆內容：須要要用鑽探船來取樣，打樁時也須要打樁船進行施工。

提問內容：風力機安裝前作地質調查時，鑽探之點需要選擇多少處方合理？

回覆內容：需依照工地之大小，決定需要探勘多少點，一般來說 600 m² 鑽探需一處，但現場之土木技師可以依實際狀況作判斷。

提問內容：風力機成本最高之部分為何？

回覆內容：應該是發電機部份，葉片約 600 萬，總成本一座約 1 億台幣。

提問內容：風力機安裝所需之時間大概多久？風塔之運轉是否有人監控？

回覆內容：一般來說安裝時間從基礎施作到可以運轉時間大概 1.5 到 2 個月時間。風塔之入口都會安裝監控設備，有人入侵或是異常，將傳送訊號給維護工程師，風機控制會連線至變電站。

提問內容：關於風機塔之基礎下方是否有比照一般變電站設置接地網？風機塔內器材之接地是否分別接至塔柱，還是直接接到地面？

回覆內容：風力塔基礎下方外側有設置接地，塔內設備接地線均直接引至基礎下外側接地，葉片接地是採用電刷方式接地。

提問內容：離岸風力的地點，是否有限制其海水深？

回覆內容：建議是最深 50 米，最淺則沒有限定。

提問內容：鑽探試驗報告中之地下水位高度試驗值，可作為地質分析依據嗎？

回覆內容：此報告中之地下水位高度，只可顯示出探鑽當時之水位高度，需於探鑽試驗取樣完成後，利用原有的取樣點，插入一支 6 米長之 PVC 管，監控 1~2 個月，觀察其水位高度，將其觀察結果提供給土木技師，此觀察結果是最正確且可靠之數據。

力鋼公司答覆內容（林伯峰經理）

提問內容：台灣有中央山脈，大陸有武夷山，台灣海峽自然形成一個朔口是發展離岸風力最好的風場，以本島的彰濱最佳。請問離島澎湖、金門及媽祖是否也是很好發展離岸風力的風場？

回覆內容：離岸也是發展離岸風力很好的風場，以澎湖最佳，但是離岸電能如何輸送到本島是要考量的。以澎湖離本島較近可用輸送電纜解決。但是為何澎湖無積極發展，可能與發展觀光及政府政策有關，如何取得人民與政府認同，須待努力。

提問內容：看到新聞力瑋等 36 家公司簽署要發展「離岸風力電場網路」，在台灣是否有發展潛力及其適合發展的區域分佈嗎？

回覆內容：離岸風力電場發展區域分佈：彰濱、漢堡、雲林以北都適合發展，南部適合太陽能發展。

提問內容：關於風力海域問題（中國與台灣），我們有多少自主的海域可供發展風力發電？

回覆內容：台灣海峽有很好的風場，尤其是澎湖可以發展風力。只要排除釣魚台、澎湖與主權爭議即可有良好發展。

提問內容：風機在多少高度，才不致有亂流的現象？而離岸的風機與陸上的風機高度設計是否有所不同？

回覆內容：自然風大約 100M 以上較不會有亂流的現象，而離岸與陸上的風機設計高度是不同的。

提問內容：台灣未來的風力發電機發展有困難，是否符合經濟效益？

回覆內容：雖然台灣在製造風力發電機組的技術上都很成熟，也有能力製造其內部零件，但其最大問題在「認證」，因為風力發電機內部的各種零件都需要經過認證，若無經過認證，發展風力發電機時張無法申請保險或貸款，這就牽涉到法律問題。但將來一定會突破這個困難，讓台灣也能夠建造適合本島的風機。

提問內容：風力機各葉片可因風速狀況來調整其升力及阻力角度，且在單一葉片上，各點角度可分別變化成扭曲狀態，請問其各點控制角度變化之感應點是在何處？

回覆內容：在每一葉片上皆放置感應裝置來控制葉片角度的方式較不可能，因須裝置的感應點太多及複雜，且成本太高，目前大部分以控制邏輯方式來改變葉片角度，也有部分已較複雜的以在葉片上佈滿光纖感應方式來調整。

提問內容：1. 風力發電機如何防範地震？ 2. 金屬疲勞的問題，如何檢測及維護？ 3. 風力發電機的共振噪音問題如何解決？

回覆內容：1. 應想辦法減輕重量，風力發電機葉片及座艙部分，佔大部分重量所以要想改善頭重腳輕狀況。

2. 風力發電機產生金屬疲勞主要部分為葉片部分，葉片的材質為金屬材料，雖具有一定軟性，還是會有變形情況存在，一般大都採用目視檢查及定期更換等方式處理。

3. 風力發電機噪音來源主要有二：一是葉片，二是齒輪箱。主要透過控制轉速、控制葉尖及葉型等部分來改善葉片噪音，合適的葉型對於噪音改善有很大的幫助。齒輪箱部分則定期檢測及適當的潤滑，即可減少噪音產生。

提問內容：風機是否建置於較穩定風速高度？

回覆內容：風機高度愈高，其風速較穩定，風葉愈不易損壞，目前最高風機為 160 公尺，包含風葉均在風速較穩定區，銅柱無法支撐這高度/重量，才以鐵塔式支撐，目前技術日趨，或許往後也許有風箏式風機之應用。

參、主要發現與結論

一、暫態/動態情境模擬分析

(一) 區域 1 微型電網測試平台動態模擬分析

微型電網可能聯網至台電或獨立運轉，本節將分析 4E-1 區域 1 (Zone 1)之微型電網的暫態模擬分析，其中暫態模擬分析係用 NEPLAN 商用軟體計算分析。表 3.1 為各匯流排電壓及功率因素，圖 3.1 為本計劃之 4E-1 區域 1 微型電網測試平台單線圖。氣渦輪機實際出力為 36kW，太陽能實際出力為 19kW，匯流排 4 及 5 間有變流器及串接一低通濾波器。

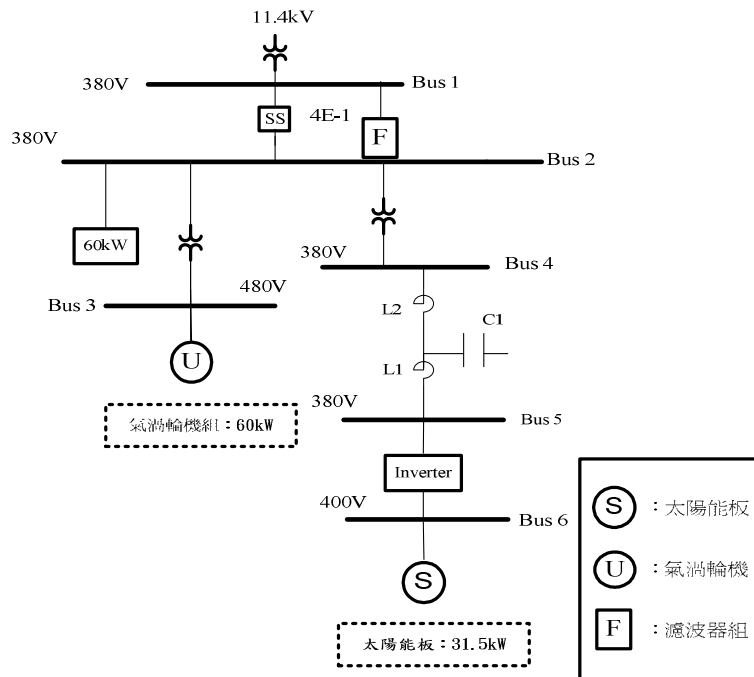
一般而言，Zone 1 電網於市電併聯運轉時，氣渦輪機組不會併網，但為了模擬各種情境，本章多考量 Zone 1 併網及孤島、氣渦輪機組併網及解聯情形。本節之微型電網測試平台暫態模擬分析分為八部分來進行比較與探討：

1. Zone 1 電網於市電併聯下，氣渦輪機組跳脫暫態現象
2. Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態現象(包含 Bus 4、Bus 5、Bus 6)
3. Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態現象(包含 Bus 4、Bus 5、Bus 6)
4. Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，經 6.2 秒後，HCPV 投入
5. 有氣渦輪機組運轉，Zone 1 電網於市電跳脫暫態現象
6. Zone 1 電網於孤島運轉下，氣渦輪機跳脫暫態現象
7. Zone 1 電網於孤島運轉下，HCPV 跳脫暫態現象(包含 Bus 4、Bus 5、Bus 6)
8. 動態模擬分析小結

表 3.1 各 Bus 電力潮流及功率因素

Bus No.	P Load	Q Load	P Gen	Q Injection	功率因素
	kW	kVAR	kW	kVAR	p.f
Bus 1	0	0	5.19	0.32	0.998
Bus 2	60	29.05	0	-30*	0
Bus 3	0	0	36	6.5	0.984
Bus 4	0	0	19	7.082	0.936
Bus 5	0	0	19	6.112	0.952
Bus 6	0	0	19	0	0

註：-30*kVAR 為濾波器虛功率之電力潮流



1. Zone 1 電網於市電併聯下，氣渦輪機組跳脫暫態現象

本小節討論 Zone 1 電網於市電併聯下，氣渦輪機組跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.2 所示，於 3 秒時，氣渦輪機組跳脫，市電功率由 5.2kW 上升至 41kW，市電虛功率由 1.37kVAR 上升至 7.32kVAR。Bus 2 電壓數值並無太大的變動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。

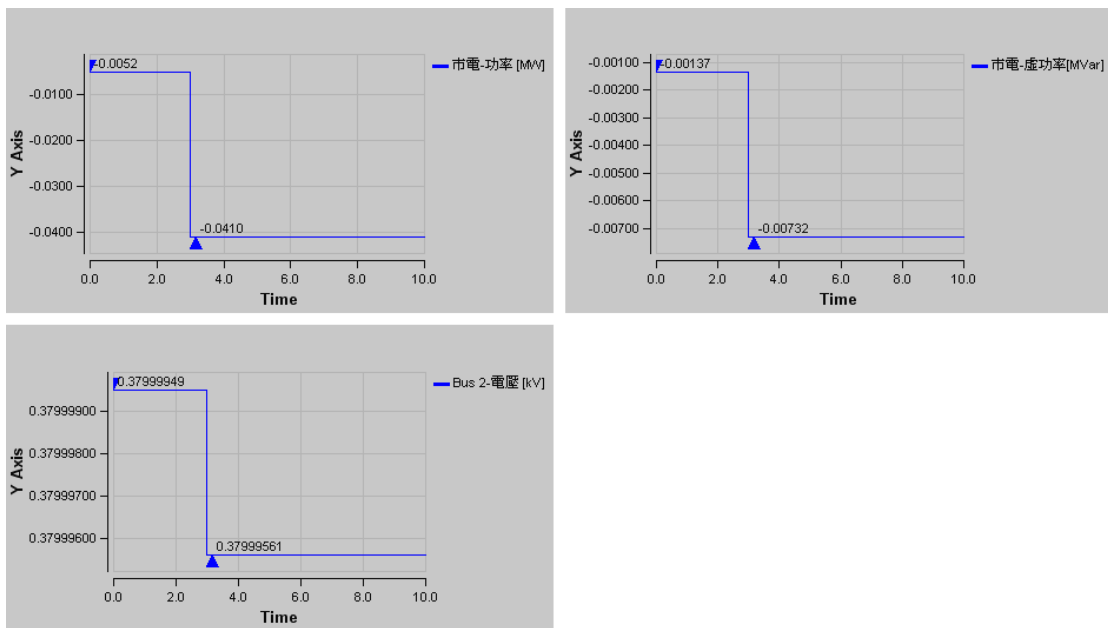


圖 3.2 Zone 1 電網於市電併聯下，氣渦輪機組跳脫暫態現象

2. Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 跳脫

暫態現象

本小節討論 Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.3 所示，於 3 秒時 HCPV 跳脫，市電流入電網的功率由 41kW 上升至 60kW，因濾波器提供 30kVAR 導致電網提供 0.95kVAR 給市電。Bus 2 電壓數值並無太大的變動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。

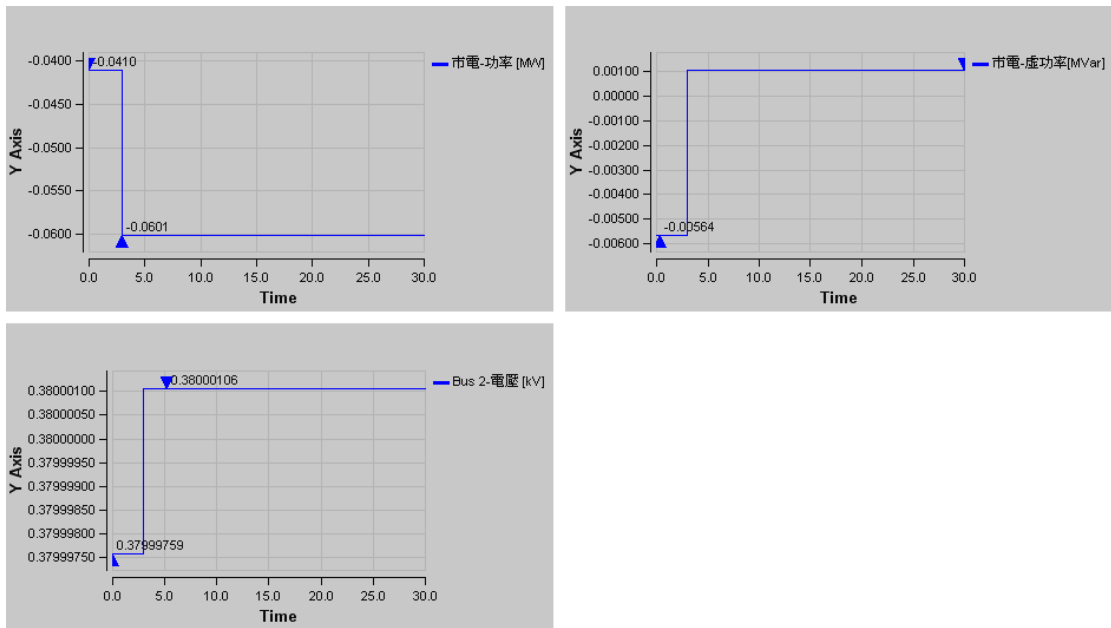


圖 3.3 Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態

3. Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫

暫態現象

本小節討論 Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.4 及 3.5 所示，於 3 秒時 HCPV 跳脫，氣渦輪機由 36kW 上升至 36.5kW，虛功率由 6.26 kVAR 下降至 5.81kVAR。電壓和頻率在 3 秒過後並無太大的擺動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。市電流入電網的功率由 5.2kW 上升至 24.2kW，因濾波器提供 30kVAR，導致電網提供 5.71kVAR 給市電。Bus 2 電壓在 3 秒過後並無太大的擺動。

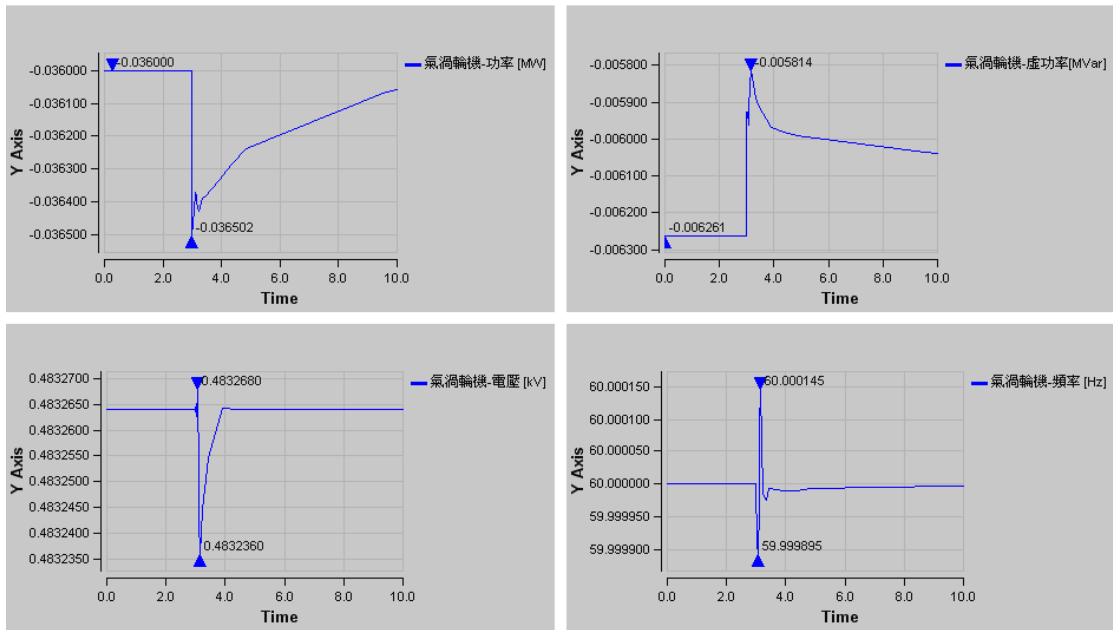


圖 3.4 Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫後，
氣渦輪機暫態現象

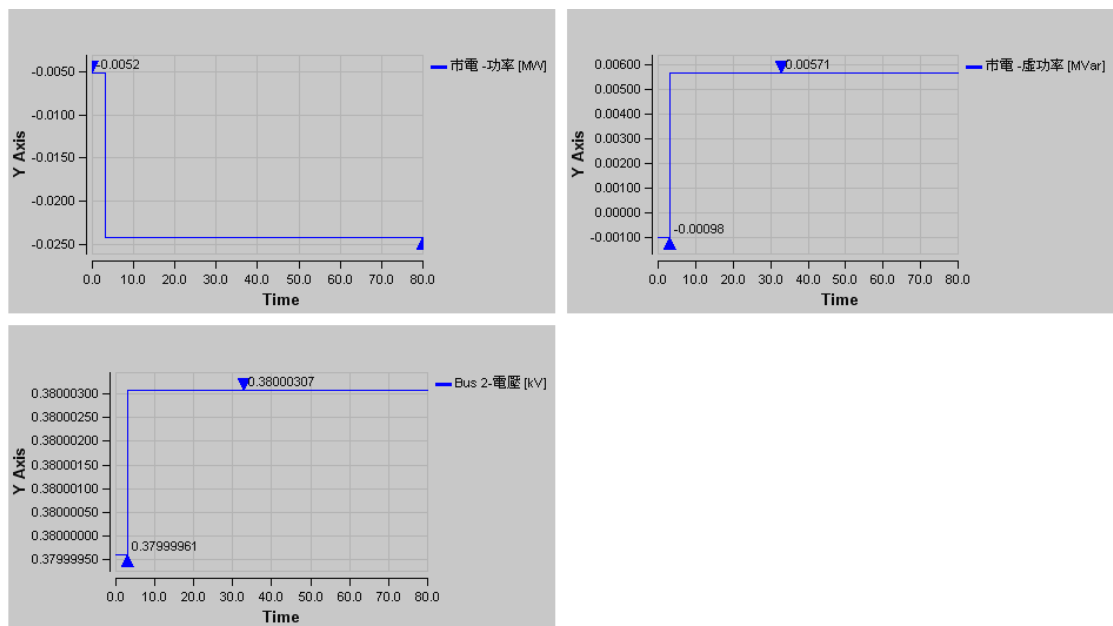


圖 3.5 Zone 1 電網於市電併聯下，有氣渦輪機組時，HCPV 跳脫後，
市電端暫態現象

4. Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，HCPV 投入

本小節討論無氣渦輪機組下，市電供給負載，於 6.2 秒時 HCPV 投入暫態現象。模擬結果如圖 3.6 所示，於 6.2 秒 HCPV 投入後，市電功率由 60kW 下降至 41kW，因低通濾波器一起投入，虛功率由 1.07kVAR 下降至-5.64kVAR。Bus 2 電壓在 HCPV 投入後並無太大的變動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。

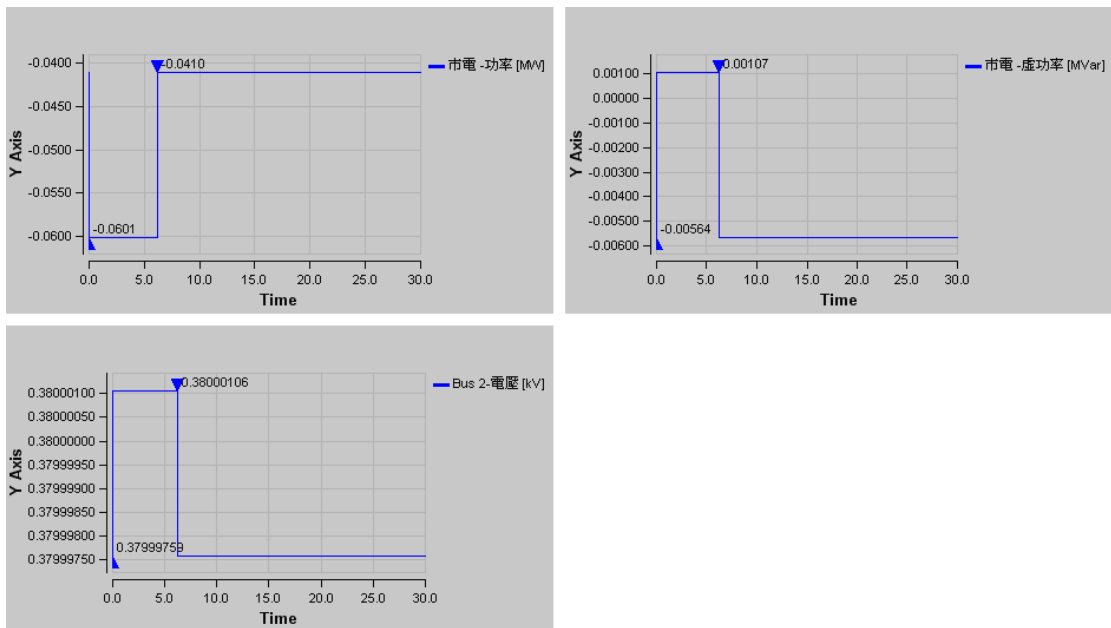


圖 3.6 Zone 1 電網於市電併聯下，無氣渦輪機組時，於 6.2 秒 HCPV 投入

5. 有氣渦輪機組運轉，Zone 1 電網於市電跳脫暫態現象

本小節討論有氣渦輪機組運轉時，Zone 1 電網於市電跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.7 所示，於 3 秒時市電跳脫，氣渦輪機功率由 36kW 上升至 41.7kW。氣渦輪機虛功率由 6.5kVAR 上升至 6.85kVAR。氣渦輪機電壓和頻率在市電跳脫後並無太大的變動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。

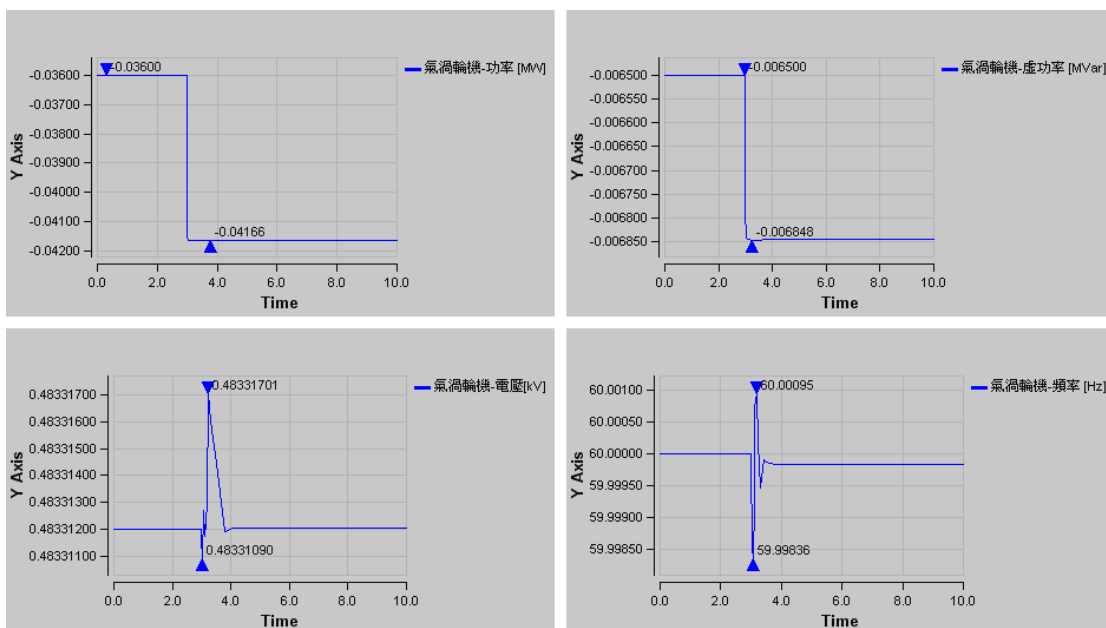


圖 3.7 氣渦輪機組運轉，Zone 1 電網於市電跳脫暫態現象

6. Zone 1 電網於孤島運轉下，氣渦輪機跳脫暫態現象

本小節討論 Zone 1 電網於孤島運轉下，氣渦輪機跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.8 所示，於 3 秒時氣渦輪機組跳脫，氣渦輪機功率 41.4kW 下降至 0kW。氣渦輪機虛功率由 37.3kVAR 下降至 0kVAR。此時因 HCPV 之變流器為 grid-tie 型式，當失去 AC 電源時，HCPV 亦跳脫導致系統全黑。

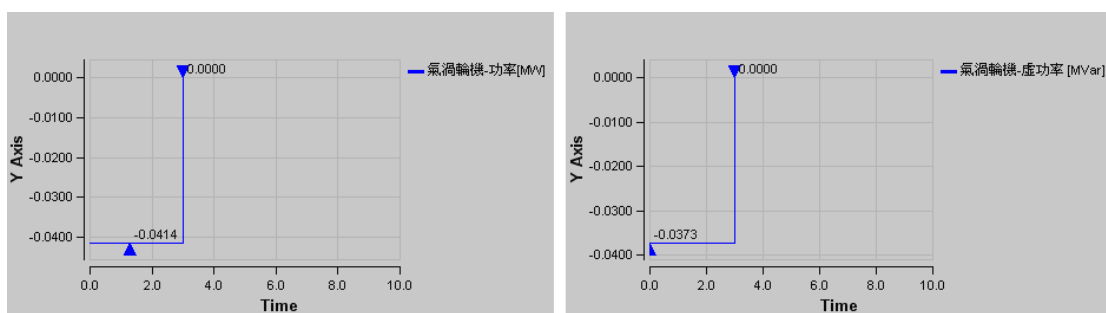


圖 3.8 Zone 1 電網於孤島運轉下，氣渦輪機跳脫暫態現象

7. Zone 1 電網於孤島運轉下，HCPV 跳脫暫態現象

本小節討論 Zone 1 電網於孤島運轉下，HCPV 跳脫暫態現象。模擬結果如圖 3.9 所示，於 3 秒時 HCPV 跳脫，氣渦輪機由 41.4kW 上升至 61.1kW，虛功率 37.19kVAR 下降至 30.69kVAR，氣渦輪機電壓 483.3V 上升至 498.3V。氣渦輪機頻率並無太大的擺動，Zone 1 電網系統仍然維持穩定。

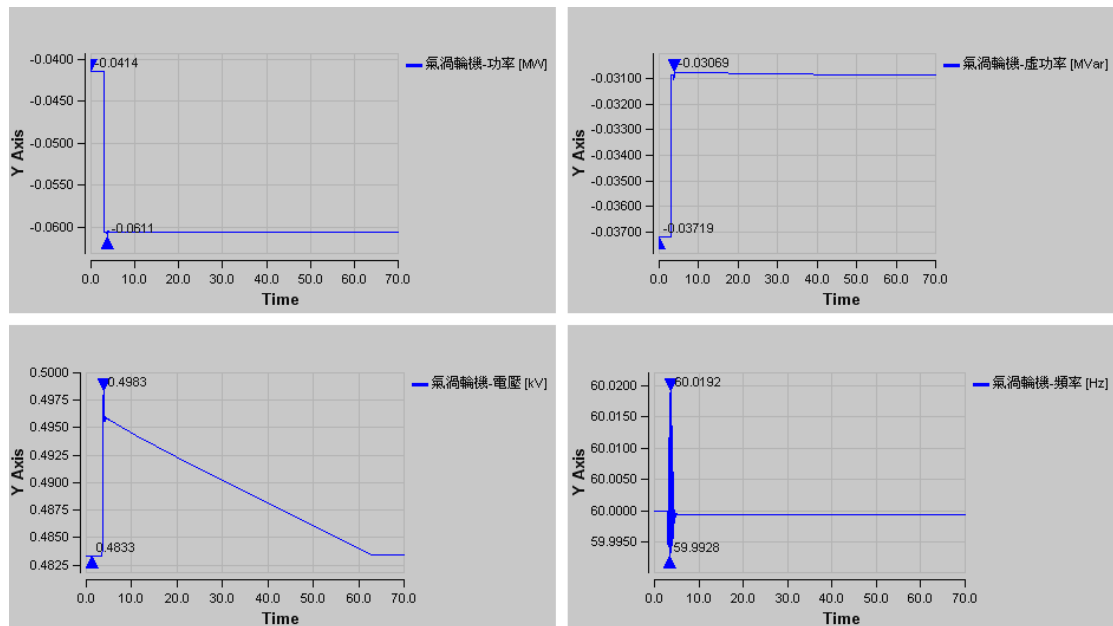


圖 3.9 Zone 1 電網於孤島運轉下，HCPV 跳脫暫態現象

8. Zone 1 之動態模擬分析小結

- (1) 因市電短路容量(87MVA)，所以在測試平台與市電相連接時，系統暫態並無太大影響。
- (2) 孤島運轉下，因 HCPV 之變流器為 grid-tie 型式，當失去 AC 電源時，HCPV 亦跳脫導致系統全黑，因此 Zone 1 有必要新增儲能設備。
- (3) 市電併聯下，HCPV 跳脫時因濾波器提供 30kVAR 導致電網提供虛功率給市電端。

(二) HCPV 變頻器的控制模式

假設微電網 Zone 1~Zone 3 在孤島運轉下，這章節將探討光伏系統 HCPV 的變頻器於不同控制模式下操作結果。參考圖 2.3，在匯流排 10 和匯流排 15 的風力發電量分別為 15kW 和 45kW；在匯流排 10 和 15 的兩台風力渦輪機均具有葉片角控制；氣渦輪發電機的頻率由 PID 控制器的調速機控制。每一組負載為 60kW 且功率因素 0.9，在直流匯流排 1、2 和 3 的太陽能發電功率分別為 10kW、5kW 和 5kW。

假設在時間 3 秒時，5kW 的光伏系統(直流匯流排 3)忽然中斷供電，在此探討在直流匯流排 1 和 2 的控制模式造成的系統頻率響應的影響。光伏系統變頻器的控制模式有電壓控制、電流控制及功率控制；常見的光伏系統定功率模型也一併探討(常數 PQ 注入法)。

1. 模擬結果的發現

(1) 動態模擬無執行電壓控制模式，因為光伏系統已經同步地接在微電網上，NEPLAN 軟體有錯誤訊息產生。

(2) 相比於電壓控制模式，電流控制模式產生較好的方式讓電流流入微電網。圖 3.10 和圖 3.11 分別表示是兩台風力發電機的功率和頻率變化情形。

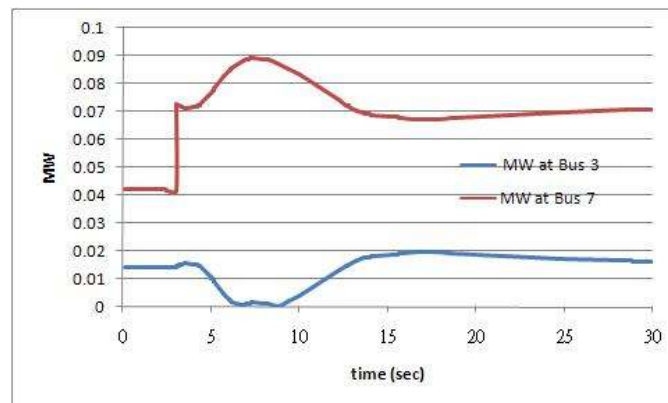


圖 3.10 匯流排 3 和 7 的實功率發電變化情形(電流控制模式)

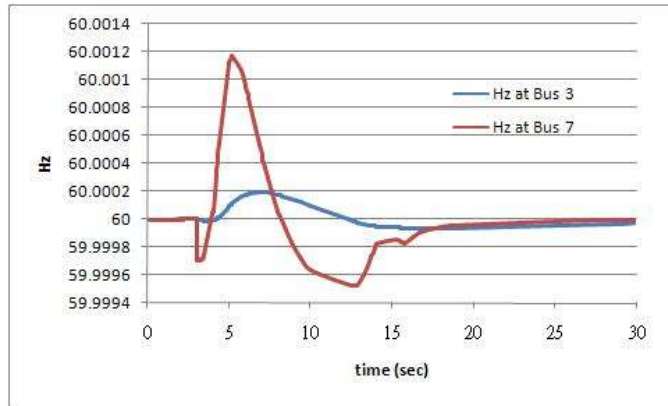


圖 3.11 匯流排 3 和 7 的頻率響應(電流控制模式)

(3) 從圖 3.12 和 3.13 可發現功率控制模式是最佳的方法，實功發電和頻率在兩台氣渦輪發電機平滑地改變。

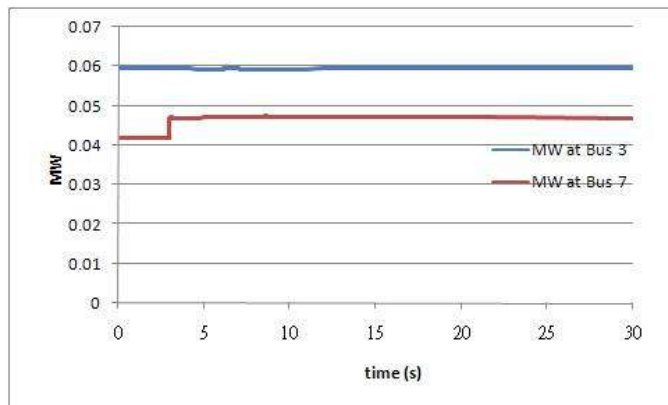


圖 3.12 匯流排 3 和 7 的實功率發電變化情形(功率控制模式)

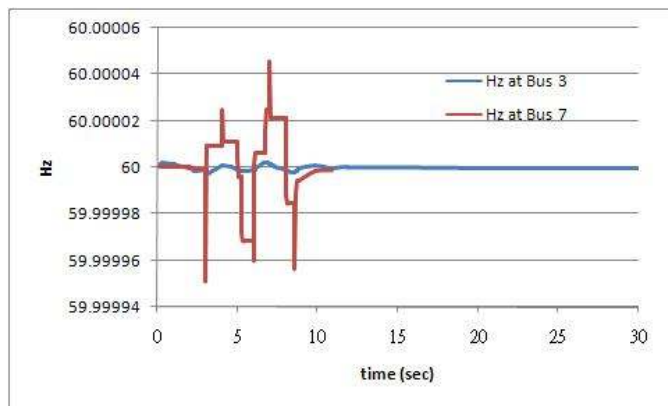


圖 3.13 在匯流排 3 和 7 的頻率響應(功率控制模式)

(4) 圖 3.14 和 3.15 分別說明若光伏系統模型為傳統的常數 PQ 注入模型時之功率和頻率不穩定的響應。因為任一光伏系統沒有變頻器控制，所以系統無法藉由調整變頻器而改善響應。

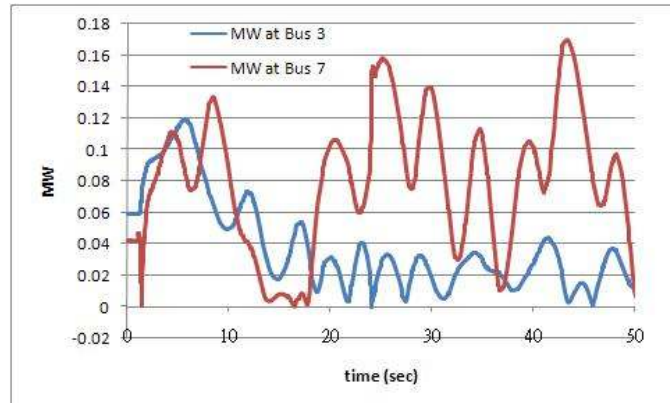


圖 3.14 匯流排 3 和 7 的實功發電變化情形(常數 PQ 模式)

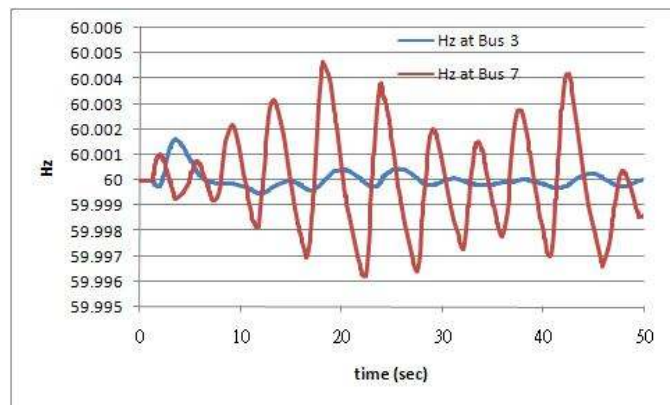


圖 3.15 匯流排 3 和 7 的頻率響應(常數 PQ 模式)

(三) 馬達啟動

參考圖 2.3，在這章節只有討論區域 1，包括從匯流排 1 到 5 和直流匯流排 1，至於 60kW 負載部分，則由 2kW 的馬達和 58kW 的負載組成。

在市電併聯下，圖 3.16 說明當時間 0.1 秒時，馬達啟動電流為 19.99 A，正常電流為 3.22 A；當時間 0.1 秒時，電壓降為 379.9 V，非常接近 380 V (穩態值)。這表示若微電網在市電併聯下，馬達啟動的電流對匯流排電壓不會有太大的影響。

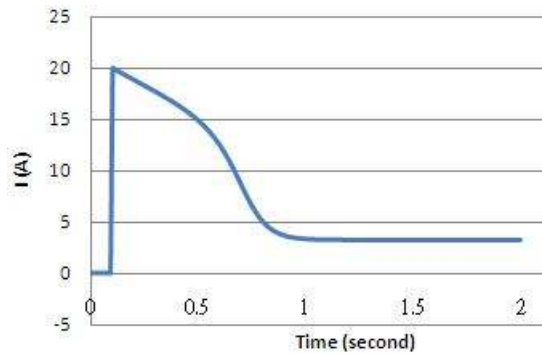


圖 3.16a 馬達啟動電流(市電併聯)

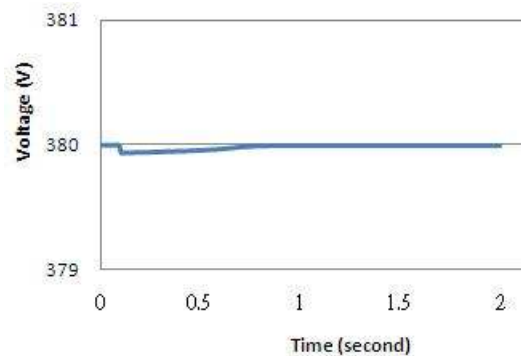


圖 3.16b 匯流排壓降(市電併聯)

圖 3.17 說明在孤島運轉下的馬達啟動電流。當時間為 0.1 秒時，馬達啟動的電流為 16.37 A，對應的電壓降為 311.19 V (81.9%)，啟動後於 1.67 秒時變為穩定，此時電流為 3.314 A，匯流排電壓 367.9 V，這表示壓降是非常嚴重的，且在匯流排 3 之氣渦輪機的激磁系統是無法適當地調整匯流排 2 的電壓。

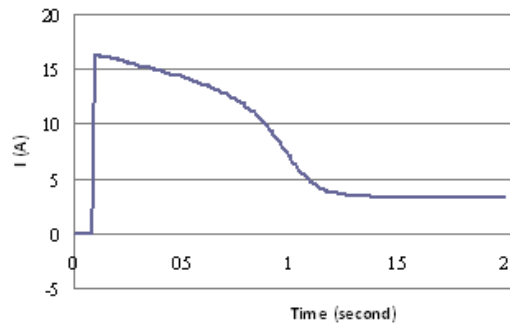


圖 3.17a 馬達啟動電流(孤島)

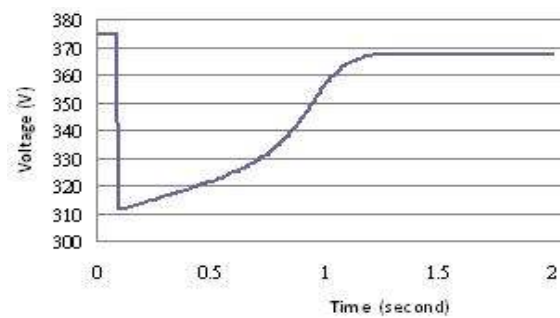


圖 3.17b 匯流排壓降(孤島)

(四) 電壓波動

參考圖 2.3，在這章節討論區域 1~3 全系統，在匯流排 10 的風力渦輪發電機的裝置容量為 150kW，非常接近系統總負載 180kW。因風的變化可能造成電壓波動，所以此模擬主要目的為檢視當風速變化時，葉片角、最大功率點追蹤和電壓波動的控制。

圖 3.18 說明風速和在匯流排 10 風力渦輪機的葉片角度。如圖所示，因為風速變化，所以葉片角被調整，然而因為葉片受機械控制，所以葉片角度的反應較風速變化為慢。

圖 3.19 說明在匯流排 10 風力渦輪機實功發電和匯流排 3 和 7 的氣渦輪發電機的實功發電。在匯流排 10 的實功發電量的變化與匯流排 7 相反。

圖 3.20 說明在匯流排 2 和 11 的電壓波動，及在匯流排 10 的風

力渦輪發電機電壓。由此可知，在匯流排 2 和 11 的負載匯流排電壓保持穩定而沒有任何波動，然而在變頻器前的匯流排 10 的電壓有明顯的變化。

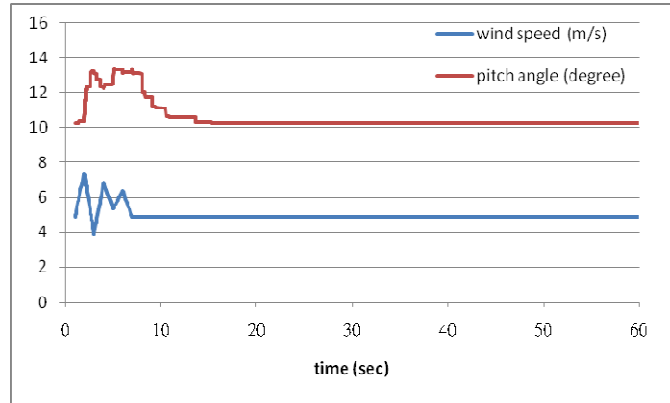


圖 3.18 風速和匯流排 10 的葉片角度

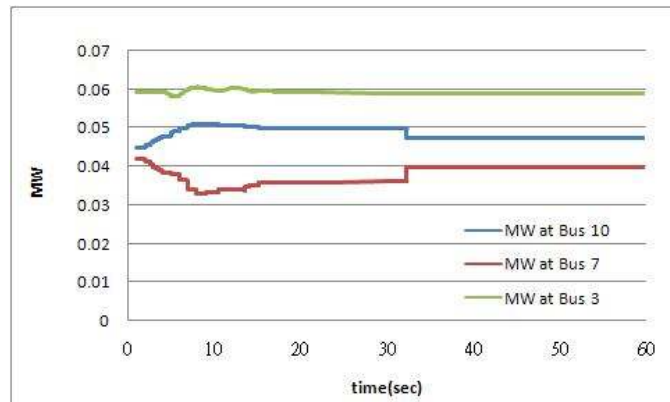


圖 3.19 不同發電機的實功響應

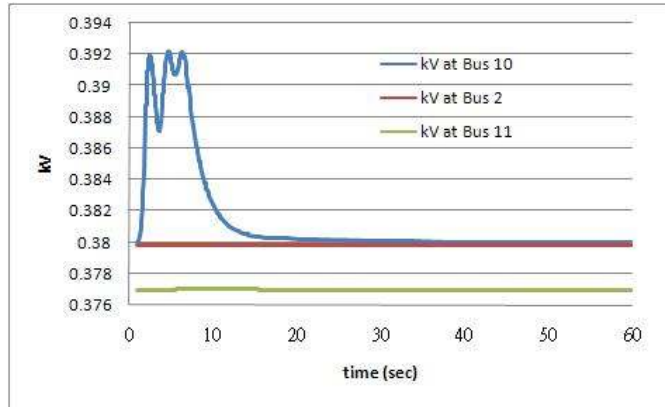


圖 3.20 匯流排 2、10 和 11 的電壓

二、電力品質

(一) 諧波分析

微型電網可聯網至台電或獨立運轉，本節將分析 Zone 1 之微型電網測試平台的總諧波電壓失真率(THD%)，其中總諧波電壓失真率分析係用 NEPLAN 商用軟體計算分析。

本節模擬在併聯市電時，忽略微渦輪機裝置，而孤島運轉時才考慮微渦輪機裝置模型。圖 3.21 為 Zone 1 含諧波源之微型電網測試平台單線圖。表 3.2 為匯流排 2 諧波源(電子負載)基本參數。本節之微型電網測試平台諧波分析分為兩部分來比較與探討：市電併聯與孤島運轉。

表 3.2 匯流排 2 諧波電流源基本參數

諧波級數	i(%)
5th	20
7th	14.29
11th	9.09
13th	7.69

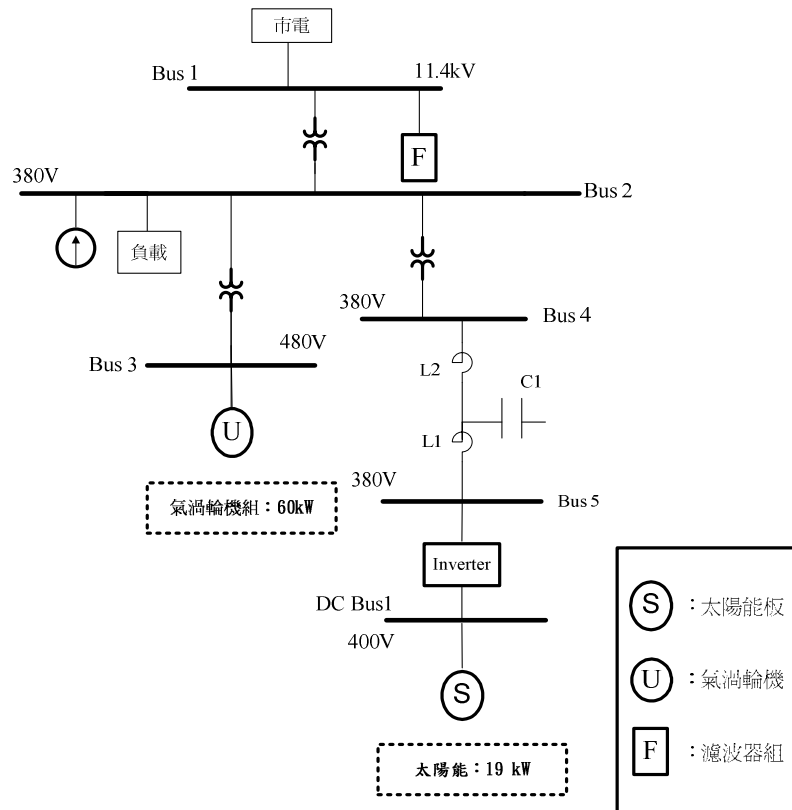


圖 3.21 含諧波源之微型電網測試平台單線圖

1. 市電併聯下之諧波分析

本小節討論 Zone 1 並聯至市電情形下，利用諧波電流源模擬非線性負載所造成的諧波汙染，進行諧波電壓以及總諧波失真率分析。此分析依序增加模擬的非線性負載功率，而一般負載功率則依序減少，一般負載和非線性負載共消耗 60kW 功率。

圖 3.22 為市電併聯下，諧波分析之單線圖。由表 3.3 可發現，當微型電網測試平台 Zone 1 併聯至市電時，因為有市電幫忙調節，所以諧波電流源汙染的影響非常小，總諧波電壓失真率皆在 IEEE Std 519-1992 限制值內。圖 3.23 為 THD 隨非線性負載增加之趨勢。

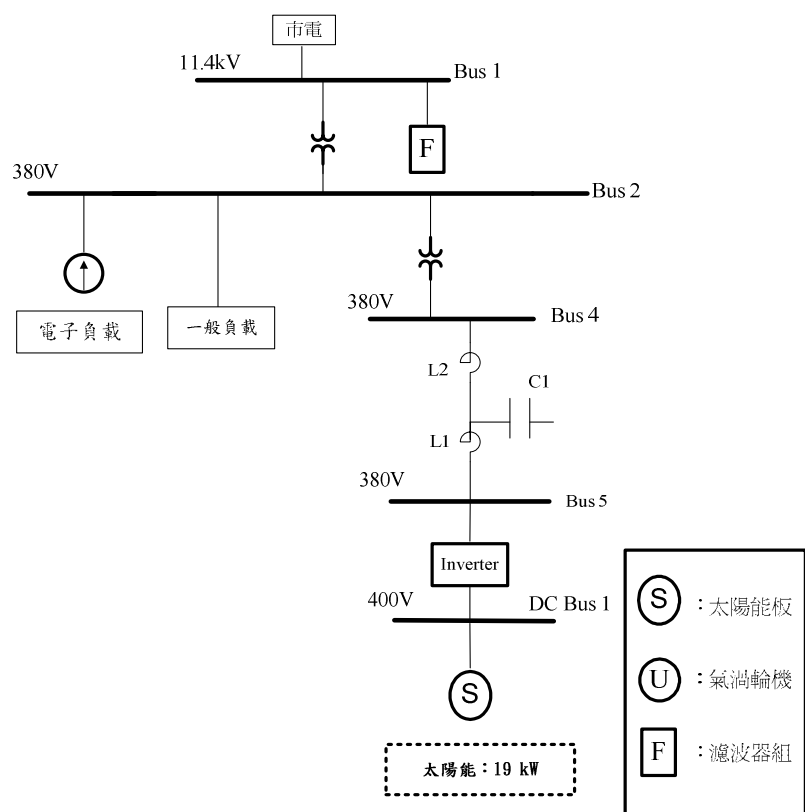


圖 3.22 含電子(非線性)負載之併聯市電單線圖

表 3.3a 各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%)

電子負載	諧波電流	一般負載	Bus1	Bus2	Bus4	Bus5
kW	A	kW	THD(%)	THD(%)	THD(%)	THD(%)
1	1.688	59	0	0	0	0
2	3.376	58	0	0	0	0
3	5.064	57	0.01	0.01	0.01	0.01
4	6.753	56	0.01	0.01	0.01	0.01
5	8.441	55	0.01	0.01	0.01	0.01
6	10.13	54	0.01	0.01	0.01	0.01
7	11.82	53	0.02	0.02	0.02	0.02
8	13.51	52	0.02	0.02	0.02	0.02
9	15.19	51	0.02	0.02	0.02	0.02
10	16.88	50	0.02	0.02	0.02	0.02
11	18.57	49	0.03	0.03	0.03	0.03
12	20.26	48	0.03	0.03	0.03	0.03
13	21.95	47	0.03	0.03	0.03	0.03
14	23.63	46	0.03	0.03	0.03	0.03
15	25.32	45	0.03	0.04	0.04	0.04
16	27.01	44	0.04	0.04	0.04	0.04
17	28.7	43	0.04	0.04	0.04	0.04
18	30.39	42	0.04	0.04	0.04	0.04
19	32.08	41	0.04	0.05	0.05	0.05
20	33.76	40	0.05	0.05	0.05	0.05
21	35.45	39	0.05	0.05	0.05	0.05
22	37.14	38	0.05	0.05	0.05	0.05
23	38.83	37	0.05	0.06	0.06	0.06

表 3.3b 各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%)

電子負載	諧波電流	一般負載	Bus1	Bus2	Bus4	Bus5
kW	A	kW	THD(%)	THD(%)	THD(%)	THD(%)
24	40.52	36	0.05	0.06	0.06	0.06
25	42.2	35	0.06	0.06	0.06	0.06
26	43.89	34	0.06	0.06	0.06	0.06
27	45.58	33	0.06	0.07	0.07	0.07
28	47.27	32	0.06	0.07	0.07	0.07
29	48.96	31	0.07	0.07	0.07	0.07
30	50.64	30	0.07	0.07	0.07	0.07

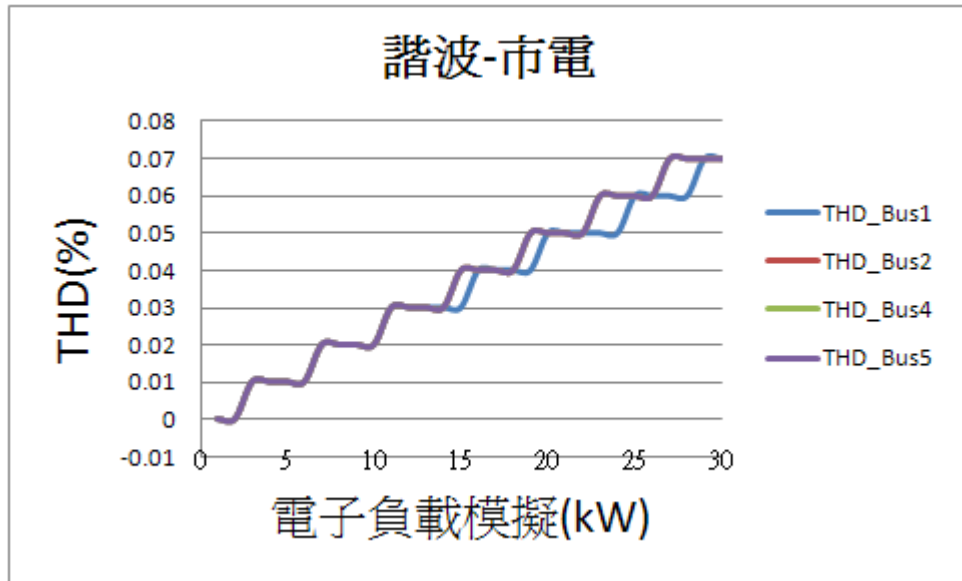


圖 3.23 市電併聯時 THD 隨非線性負載增加之趨勢

2. 孤島運轉之諧波分析

本小節討論 Zone 1 孤島運轉下，利用諧波電流源模擬非線性負載所造成的諧波汙染，把模擬的非線性負載功率依序從 1kW 增加至 8kW，而一般負載功率則從 59kW 依序減少至 52kW，一般負載和電子負載共消耗 60kW 功率。圖 3.24 為含電子(非線性)負載模擬之孤島運轉單線圖。

由表 2.1 可知依照 IEEE Std519-1992 標準，電力系統總諧波電壓失真率規範值為 5% 以下。表 3.4 為孤島運轉時之各匯流排 THD(%), 由表可發現模擬的電子(非線性)負載達到 7kW 時, Bus 2、Bus 4、Bus 5 的總諧波電壓失真率超過 5%, 已超過 IEEE Std 519-1992 的規範值, 而模擬電子負載達到 8kW 時, Bus 3 的電壓失真率亦超過 5%。因此可知 Zone 1 孤島運轉下, 總共 60kW 的負載中, 當電子負載超過 8kW(約 60kW 的 13%)時, Zone 1 的諧波汙染會變得非常嚴重。圖 3.25 為 THD 隨非線性負載增加之趨勢。

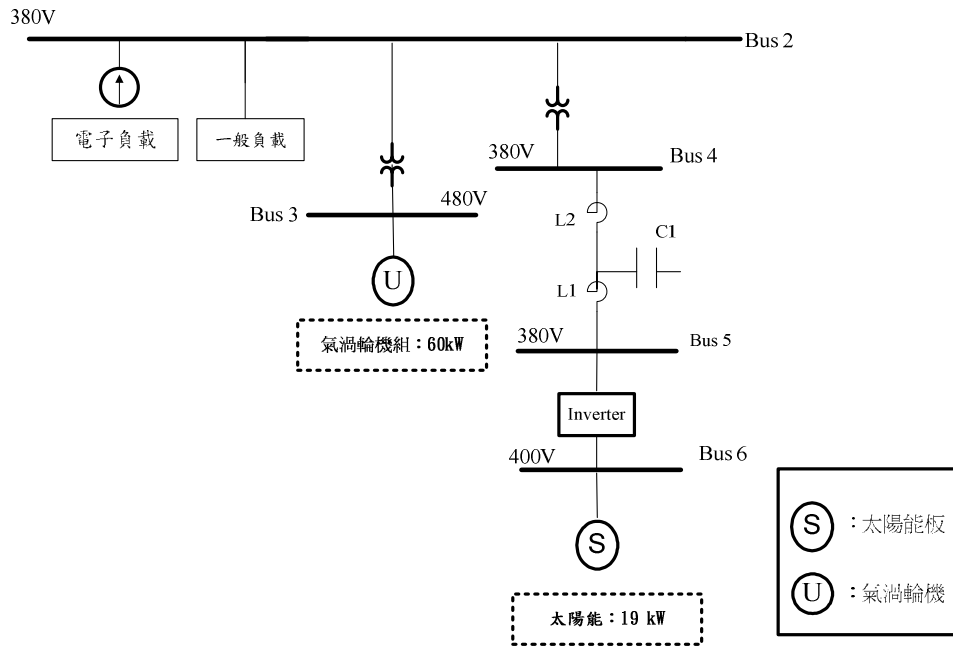


圖 3.24 含電子(非線性)負載之孤島運轉單線圖

表 3.4 各匯流排總諧波電壓失真率 THD(%)

電子負載	諧波電流	一般負載	Bus2	Bus3	Bus4	Bus5
kW	A	kW	THD(%)	THD(%)	THD(%)	THD(%)
1	1.688	59	0.7	0.64	0.7	0.71
2	3.376	58	1.41	1.3	1.41	1.43
3	5.064	57	2.13	1.96	2.13	2.16
4	6.753	56	2.86	2.63	2.87	2.9
5	8.441	55	3.6	3.32	3.61	3.66
6	10.13	54	4.35	4.01	4.37	4.43
7	11.82	53	5.12	4.72	5.14	5.2
8	13.51	52	5.9	5.4	5.92	6

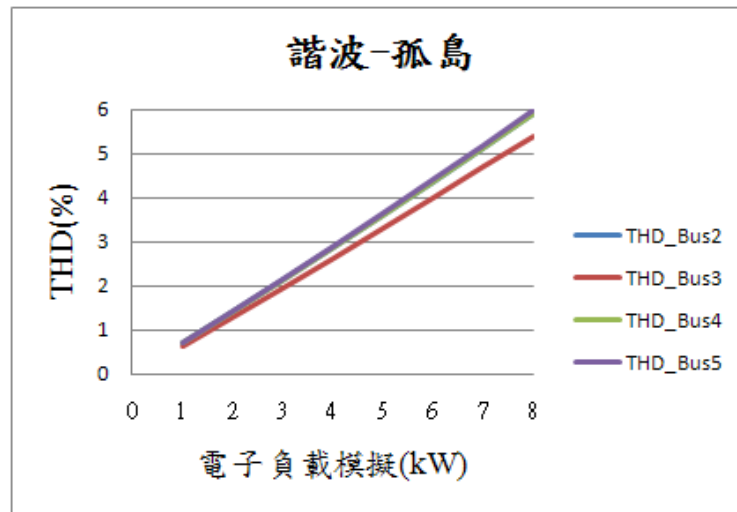


圖 3.25 孤島運轉時 THD 隨非線性負載增加之趨勢

(二) 微型電網測試平台不平衡分析

微型電網可能聯網至台電或獨立運轉，本節將分析 4E-1 微型電網區域 1~3 之的不平衡率，其中不平衡率分析係用 NEPLAN V5.4.3 商用軟體計算分析。圖 3.26 為本計畫構想之 4E-1 區域微型電網測試平台單線圖。本節模擬在併聯市電時，忽略微渦輪機裝置，孤島運轉時才考慮微渦輪機裝置模型。

以原 048 館 60kW(匯流排 2)之負載為基礎，由負載 1(a 相)、負載 2(b 相)以及 30 kW 負載(c 相)分別模擬在匯流排 2 的 3 相負載不平衡情況，負載 1 由 20kW 遞增到 25kW，負載 2 由 10kW 遞減到 5kW，藉此模擬當 Zone 1 負載不平衡時，整個 4E-1 區域電力系統各匯流排的不平衡率。

本節之微型電網測試平台不平衡分析分為兩部分：市電併聯及孤島運轉。

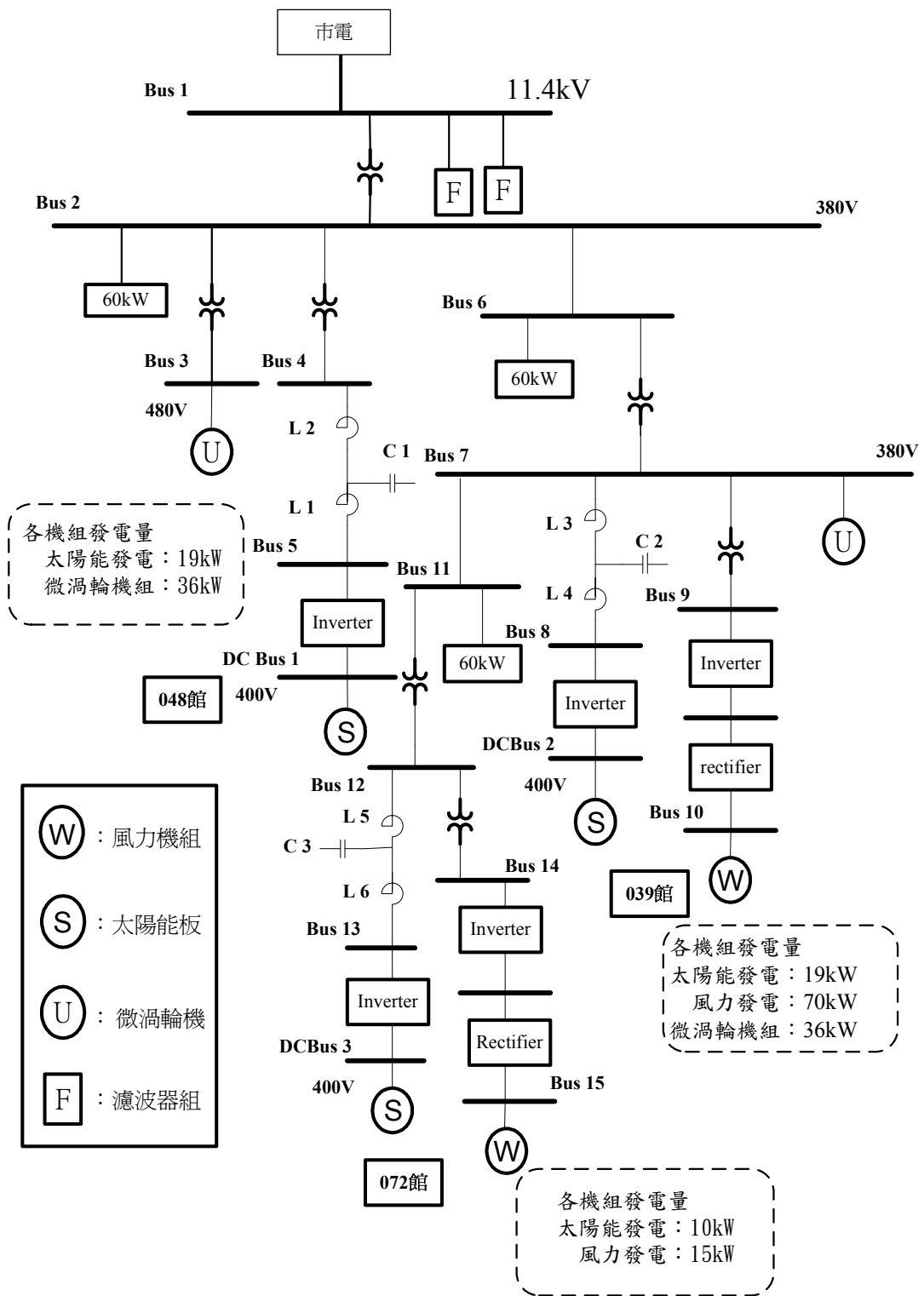


圖 3.26 微型電網測試平台單線圖

1. 測試平台與市電併聯

微電網與市電併聯不平衡分析之單線圖如圖 3.27 所示。

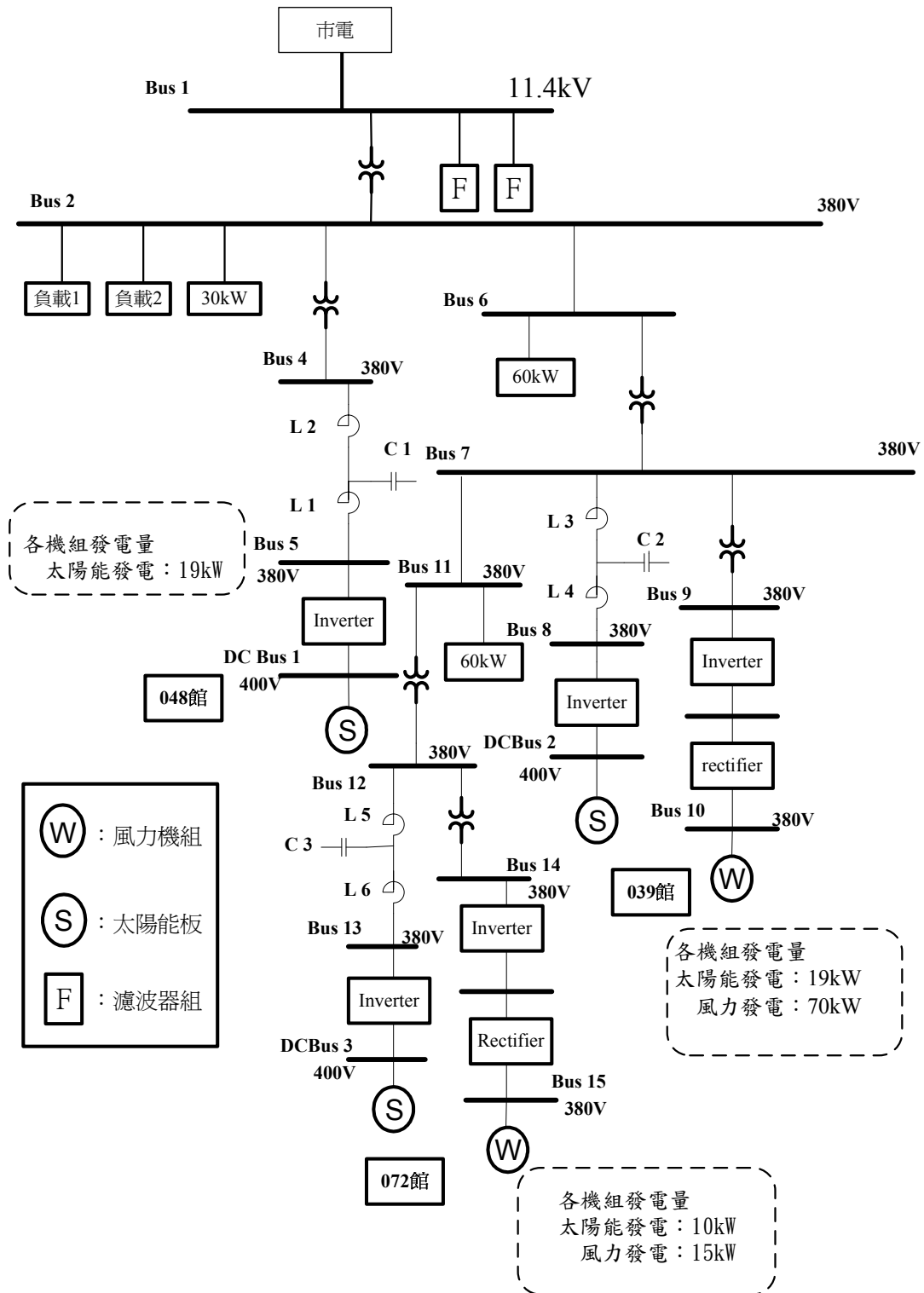


圖 3.27 不平衡分析單線圖(並聯市電)

如表 3.5 所示，由左而右分別依序為 048 館的負載 1、負載 2，a 相的電壓值、角度值，b 相的電壓值、角度值，c 相的電壓值、角度值，電壓不平衡率、零序電壓不平衡率、負序電壓不平衡率。測試平台與市電併聯情況下，從表 3.5 至表 3.10 可發現，雖然負載 1、負載 2 與 30kW 負載呈現負載不平衡，但因為系統併聯至市電，藉由市電的調節，可發現各匯流排電壓不平衡率、零序電壓不平衡率、負序電壓不平衡率，除了 Bus 6、Bus7 的零序不平衡率不為零，其它皆為零。

表 3.5 匯流排 1 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0
21	9	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0
22	8	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0
23	7	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0
24	6	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0
25	5	6.58	0	6.58	240	6.58	120	0	0	0

表 3.6 匯流排 2 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	219	-30	219	210	219	90	0	0	0
21	9	219	-30	219	210	219	90	0	0	0
22	8	219	-30	219	210	219	90	0	0	0
23	7	219	-30	219	210	219	90	0	0	0
24	6	219	-30	219	210	219	90	0	0	0
25	5	219	-30	219	210	219	90	0	0	0

表 3.7 匯流排 6 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	219	-29.8	219	210.2	219	90.19	0	0.006	0
21	9	219	-29.8	219	210.2	219	90.19	0	0.006	0
22	8	219	-29.8	219	210.2	219	90.19	0	0.006	0
23	7	219	-29.8	219	210.2	219	90.19	0	0.006	0
24	6	219	-29.81	219	210.2	219	90.19	0	0.005	0
25	5	219	-29.81	219	210.2	219	90.19	0	0.005	0

表 3.8 匯流排 7 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0
21	9	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0
22	8	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0
23	7	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0
24	6	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0
25	5	218	-29.09	218	210.92	218	90.91	0	0.006	0

表 3.9 匯流排 11 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0
21	9	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0
22	8	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0
23	7	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0
24	6	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0
25	5	217	-29.05	217	210.95	217	90.95	0	0	0

表 3.10 匯流排 12 之不平衡率(並聯市電)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0
21	9	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0
22	8	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0
23	7	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0
24	6	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0
25	5	222	-28.13	222	211.87	222	91.87	0	0	0

2. 測試平台與市電切離(孤島運轉)

微電網孤島時不平衡分析之單線圖如圖 3.28 所示。

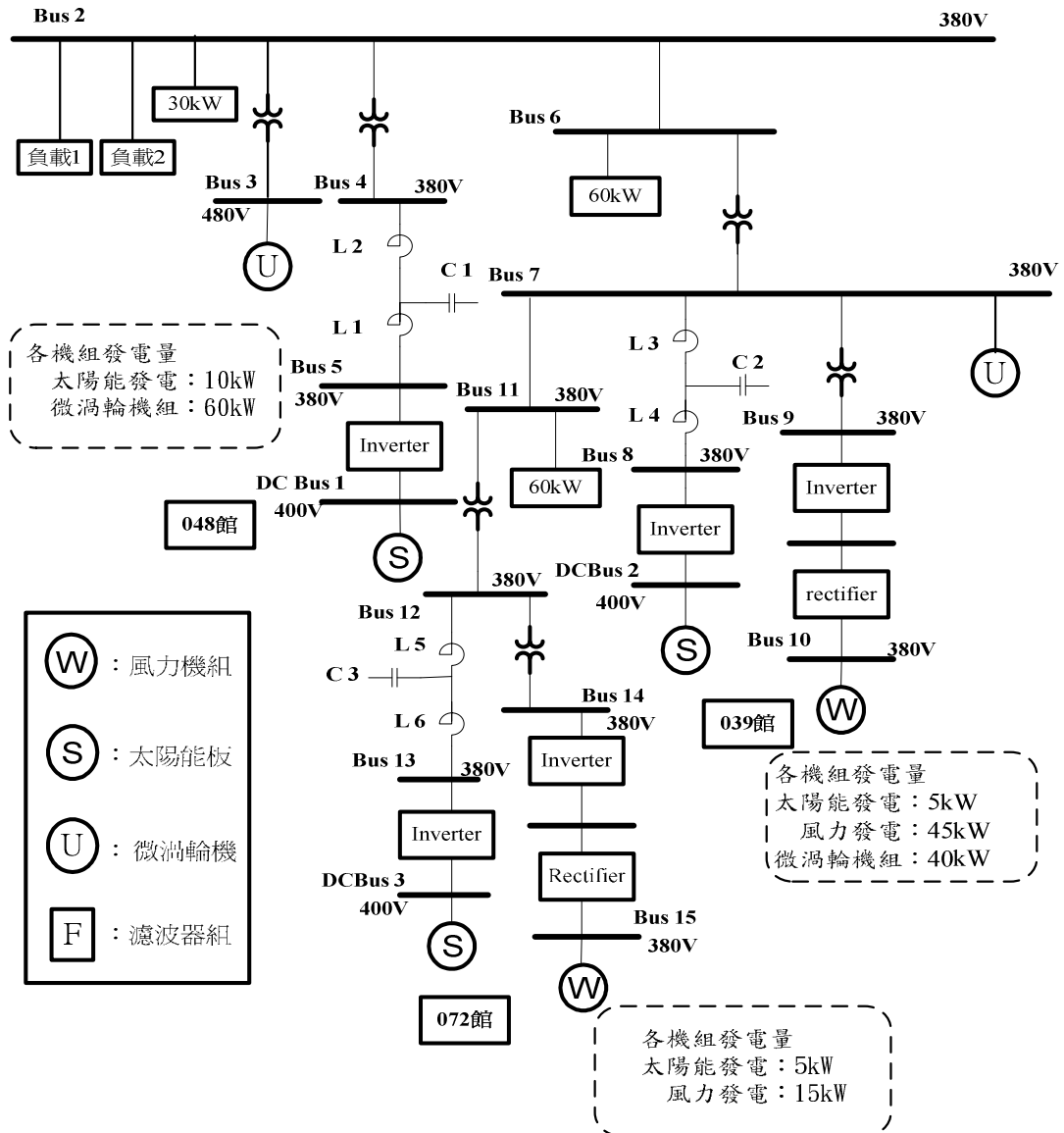


圖 3.28 不平衡分析單線圖(孤島運轉)

因為台灣還未有相關不平衡率規範，因此本節參考國外標準規範來探討，如表 2.2 所示。以 IEEE Std 141-1976 為標準，當 $VUR > 2\%$ ，視為超過限制值；以 IEC 34-1,1983 Rotating Electrical Machine 為零序不平衡標準，當連續情況下之 $VUR_0 > 1\%$ ，視為超過規範限制值。表 3.11 至表 3.15 為各匯流排不平衡分析。

(1) 電壓不平衡率(VUR)

當 048 負載 1(a 相)、負載 2(b 相)分別為 25kW、5kW，不平衡最嚴重的況下，各匯流排(包括 Bus 2、Bus 6、Bus 7、Bus 11 及 Bus 12)的 $VUR < 2\%$ ，均合乎規範限制值。

(2) 零序電壓不平衡率(VUR_0)

048 負載 1(a 相)、負載 2(b 相)分別為 22kW、8kW，已相當接近規範的零序不平衡率限制值，當負載 1 和 2 分別達到 23kW、7kW 時，各匯流排(包括 Bus 2、Bus 6、Bus 7、Bus 11 及 Bus 12)的 VUR_0 超過 1%的限制值。

表 3.11 匯流排 2 之不平衡率(孤島)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	221	-1.62	223	238.99	219	118.53	0.9	0.78	0.38
21	9	221	-1.68	224	239.05	219	118.53	1.2	0.95	0.51
22	8	221	-1.75	224	239.11	219	118.53	1.2	1.01	0.49
23	7	220	-1.81	224	239.17	219	118.53	1.36	1.04	0.61
24	6	220	-1.87	224	239.23	219	118.53	1.36	1.1	0.62
25	5	220	-1.93	225	239.29	219	118.53	1.66	1.27	0.75

表 3.12 匯流排 6 之不平衡率(孤島)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	221	-1.79	224	238.82	219	118.36	1.20	0.89	0.53
21	9	221	-1.86	224	238.88	219	118.36	1.20	0.95	0.5
22	8	221	-1.92	224	238.94	219	118.36	1.20	1.01	0.49
23	7	221	-1.98	224	239	219	118.36	1.20	1.07	0.48
24	6	221	-2.04	225	239.06	219	118.36	1.50	1.23	0.61
25	5	220	-2.11	225	239.12	219	118.36	1.66	1.28	0.75

表 3.13 匯流排 7 之不平衡率(孤島)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	225	-1.32	227	239.28	223	118.84	0.89	0.77	0.37
21	9	225	-1.38	227	239.34	223	118.84	0.89	0.83	0.35
22	8	225	-1.44	228	239.40	223	118.84	1.18	0.99	0.47
23	7	224	-1.51	228	239.46	223	118.84	1.33	1.03	0.59
24	6	224	-1.57	228	239.52	223	118.84	1.33	1.09	0.60
25	5	224	-1.63	228	239.58	223	118.84	1.33	1.14	0.62

表 3.14 匯流排 11 之不平衡率(孤島)

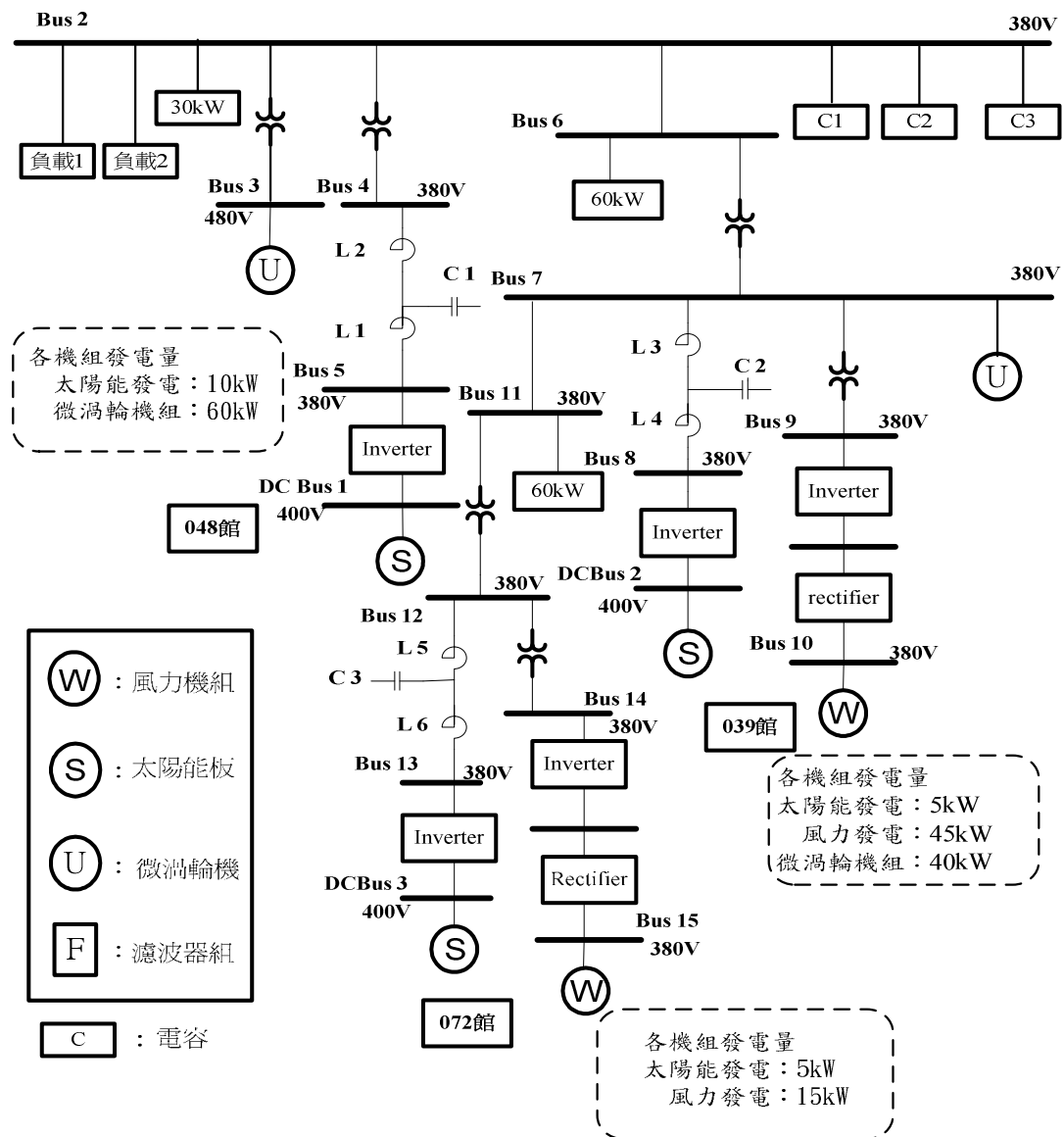
048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	224	-1.28	226	239.32	222	118.88	0.89	0.77	0.37
21	9	224	-1.34	227	239.38	222	118.88	1.19	0.94	0.49
22	8	224	-1.41	227	239.44	222	118.88	1.19	1.00	0.47
23	7	223	-1.47	227	239.50	222	118.88	1.34	1.03	0.60
24	6	223	-1.53	227	239.56	222	118.88	1.34	1.09	0.60
25	5	223	-1.59	228	239.61	222	118.88	1.63	1.26	0.73

表 3.15 匯流排 12 之不平衡率(孤島)

048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a)ang 度	V(b) V	V(b)ang 度	V(c) V	V(c)ang 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
20	10	227	-0.52	229	240.07	225	119.67	0.88	0.76	0.35
21	9	227	-0.58	230	240.13	225	119.66	1.17	0.93	0.47
22	8	227	-0.64	230	240.19	225	119.66	1.17	0.98	0.46
23	7	226	-0.70	230	240.24	225	119.66	1.32	1.02	0.57
24	6	226	-0.76	230	240.30	225	119.66	1.32	1.07	0.58
25	5	226	-0.82	230	240.36	225	119.66	1.32	1.13	0.6

3.不平衡之改善分析

本小節探討微電網孤島時不平衡之改善，改善的方法為新增三相電容器 C1、C2 及 C3 於 Bus 2，其單線圖如圖 3.29 所示。



本節對不平衡改善之分析將分成兩部分探討:

- (1) 對三相作相同的虛功補償
- (2) 對 a 相、b 相作不同的虛功補償

C1、C2 和 C3 為 3 個電容器組，分別對應 a 相、b 相和 c 相。本節利用虛功補償，以改善三相負載不平衡的情形。因為併聯市電時不平衡率甚小，所以本節將只探討孤島運轉時不平衡率如何改善。

下列表 3.16、表 3.17 都以匯流排 2 為例，說明加 C1、C2 和 C3 後，三相不平衡改善的情形。

- (1) 對三相作相同的虛功補償:

當 048 負載 3 固定為 30 kW，且 048 負載 1、048 負載 2 分別為 25kW、5kW 為最不平衡的情形下，由 C1、C2 和 C3 分別對 a 相、b 相和 c 相作相同的虛功補償，探討當虛功補償分別為-20 kVar、-15 kVar、-10 kVar 和-5 kVar 時之不平衡率改善。

對照表 3.11，由表 3.16 可以發現當三相作相同的-20 kVar 和-15 k Var 虛功補償時，明顯改善不平衡率，其中以-20 kVar 效果較佳。而對三相作-10 kVar 和-5 kVar 虛功補償時，不平衡率卻無顯著改善。

表 3.16 匯流排 2 三相皆虛功補償相同之不平衡率改善(孤島)

C1 (a 相) kVar	C2 (b 相) kVar	C3 (c 相) kVar	048 負載 1 (a 相) kW	048 負載 2 (b 相) kW	V(a) V	V(a) angle 度	V(b) V	V(b) angle 度	V(c) V	V(c) angle 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
-20	-20	-20	25	5	223	-1.53	225	239.08	221	117.85	0.90	0.81	0.80
-15	-15	-15	25	5	222	-1.80	226	239.42	221	117.89	1.35	1.07	1.06
-10	-10	-10	25	5	221	-1.76	226	239.46	220	117.93	1.65	1.15	1.18
-5	-5	-5	25	5	221	-1.76	226	239.46	220	117.93	1.65	1.15	1.18

(2) 對 a 相、b 相作不同的虛功補償

當 048 負載 3 固定為 30 kW，且 048 負載 1、048 負載 2 分別從 20 遞增至 25kW 和由 10kW 遞減至 5kW 的情形下，使 C1、C2 分別對 a 相、b 相作不同的虛功補償，c 相的虛功補償固定，且當 a 相和 b 相之虛功補償分別為各自 a 相、b 相負載功因 0.9 時所造成之虛功時，此情形下探討微電網測試平台不平衡率改善。

對照表 3.11，由表 3.17 可以發現當三相作不同的虛功補償時，改善不平衡率的效果非常顯著。

對照表 3.16，由表 3.17 可以發現比起三相皆作相同虛功補償的情形，當三相分別作不同的虛功補償時，改善不平衡率的效果更佳。

表 3.17 匯流排 2 三相虛功補償不同之不平衡率改善(孤島)

C1 (a相) kVar	C2 (b相) kVar	C3 (c相) kVar	048 負載 1 (a相) kW	048 負載 2 (b相) kW	V(a) V	V(a) angle 度	V(b) V	V(b) angle 度	V(c) V	V(c) angle 度	VUR %	VUR_0 %	VUR- %
-9	-5	-15	20	10	222	-1.43	223	239.25	221	117.83	0.45	0.76	0.76
-10	-4	-15	21	9	222	-1.52	223	239.34	221	117.83	0.45	0.83	0.78
-11	-4	-15	22	8	222	-1.59	223	239.4	221	117.84	0.45	0.88	0.79
-11	-3	-15	23	7	222	-1.66	223	239.48	221	117.83	0.45	0.95	0.83
-12	-3	-15	24	6	222	-1.74	223	239.54	221	117.84	0.45	1.00	0.85
-12	-2	-15	25	5	222	-1.80	223	239.62	221	117.83	0.45	1.07	0.9

三、故障分析及保護協調檢討

(一) 故障分析

依不同故障點及不同故障形式分別模擬市電併聯下與孤島運轉下的微電網故障電流，如表 3.18。

表 3.18 市電提供的故障電流計算結果(380V base)

故障點 \ 故障型式	單相接地 (kA)	兩相短路 (kA)	兩相短路接地 (kA)	三相短路 (kA)
F1	172.8	114.6	160.2	132.3
F2	17.97	14.86	17.55	17.17
F3	9.44	9.32	10.69	10.76
F4	8.32	8.28	8.55	9.55
F5	3.74	2.77	3.51	3.19
F6	3.41	3.12	3.44	3.6

表 3.19 太陽能板提供的故障電流計算結果(380V base)

故障點 \ 故障型式	單相接地 (kA)	兩相短路 (kA)	兩相短路接地 (kA)	三相短路 (kA)
F1	0	0.09	0.09	0.09
F2	0.095	0.081	0.094	0.094
F3	0.095	0.081	0.095	0.094
F4	0.094	0.081	0.094	0.094
F5	0.141	0.082	0.158	0.095
F6	0.096	0.083	0.096	0.096

表 3.20 微渦輪機提供的故障電流計算結果(380V base)

故障型式 故障點	單相接地 (kA)	兩相短路 (kA)	兩相短路接地 (kA)	三相短路 (kA)
F1	0	0.18	0.18	0.18
F2	0.194	0.168	0.194	0.194
F3	0.195	0.169	0.195	0.195
F4	0.194	0.168	0.194	0.194
F5	0.283	0.165	0.313	0.191
F6	0.191	0.166	0.191	0.191

針對核研所微電網區域一進行故障電流分析，可得到以下結論：

1. 當微電網內發生故障，市電端提供的故障電流極大，由於故障電流會因為線路阻抗的增加而遞減，因此，最大故障電流應發生在微電網的市電端，故障電流約為 17.17kA；單相接地故障最大故障電流約為 17.97kA；相間短路故障最大故障電流則約為 14.86kA；相間短路接地故障最大故障電流約為 17.55kA。

2. 分散式電源變頻器內的保護主要係根據電壓($\pm 20\%$)、頻率($\pm 5\%$)及電流(30AT 的電力熔絲)作為保護的原則。變頻器內含有電力電子元件，因此在電流輸出上受到限制，分散式電源提供的故障電流小於市電的故障電流。

3. 微電網與市電併聯時，市電提供的故障電流極大，因此，設定系統保護協調時，分散式電源提供的故障電流影響不大；孤島運轉時，分散式電源的故障電流很小，因此微電網切換至孤島運轉時，電驛的設定須設定較為靈敏，以免發生電驛誤動作的情形。

(二) 保護協調之檢討

1. 市電併聯下保護協調

當 F3 點發生故障時，並依據技師設定的電驛設定參數及 NFB 等規格，繪製出保護協調曲線，主變壓器(11.4kV/380V)至故障點 F3，沿途經過 ACB、NFB1(800A)、SS、NFB2(800A)及 NFB3(400A)。

參照表 3.18 不同故障位置的故障電流以及圖 3.30 相電驛保護協調曲線圖及圖 3.31 接地電驛保護協調圖，可評估斷路器或電驛動作時間，如表 3.21。

表 3.21 F3 發生故障斷路器動作時間
(GCB、SS、ACB 為電驛跳脫時間)

	故障位置 F3	
	單相接地故障	三相故障
	無熔絲開關動作或電驛跳脫時間(秒)	
GCB (LCO 及 CO 電驛)	20.3	13.4
ACB	0.06	0.06
NFB1	0.031	0.0265
SS (LCO 及 CO 電驛)	0.3	0.3
NFB2	0.031	0.0265
NFB3	0.02	0.02

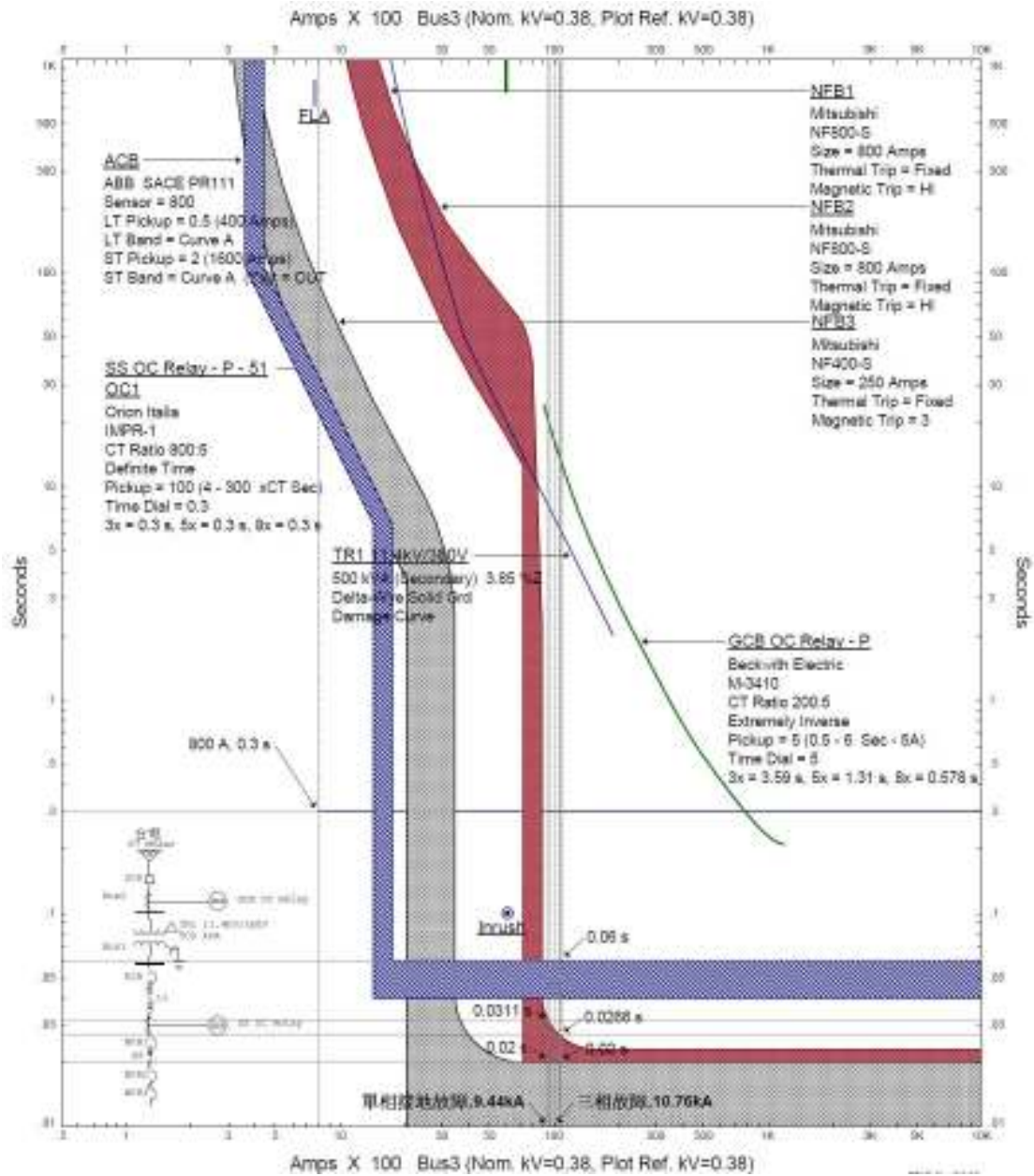
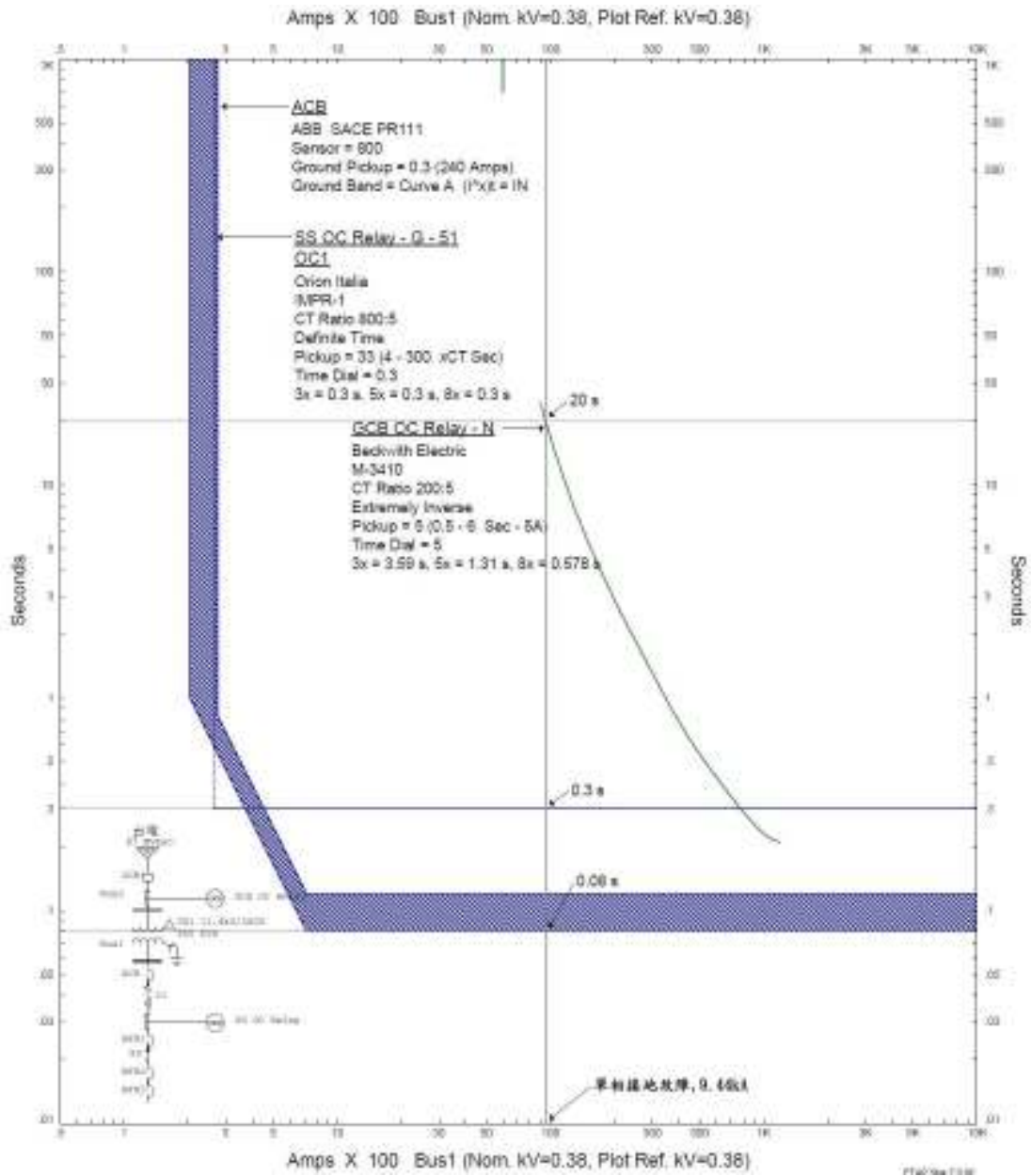


圖 3.30 主變壓器至故障點 F3 的相電驛保護協調曲線圖



註：圖為簡化圖面，NFB1、2、3 的 I-T 曲線於發生單相接地故障時的跳脫時間，請參閱圖 3.30。

圖 3.31 主變壓器至故障點 F3 的接地電驛保護協調曲線圖

當 F5、F6 發生故障，依相電驛及接地電驛保護協調圖，可得表 3.22、表 3.23，據以評估斷路器或電驛動作時間。

表 3.22 F5 發生故障斷路器動作時間
(GCB、SS、ACB 為電驛跳脫時間)

	故障位置 F5	
	單相接地故障	三相故障
	無熔絲開關動作或電驛跳脫時間(秒)	
GCB (LCO 及 CO 電驛)	不跳脫	不跳脫
ACB	0.08	0.06
NFB1	40	50
SS (LCO 及 CO 電驛)	0.3	0.3
NFB2	40	50
NFB3	0.032	4.57
NFB4	0.032	4.57
NFB5	0.027	0.037

表 3.23 F6 發生故障斷路器動作時間
(GCB、SS、ACB 為電驛跳脫時間)

	故障位置 F6	
	單相接地故障	三相故障
	無熔絲開關動作或電驛跳脫時間(秒)	
GCB (LCO 及 CO 電驛)	不跳脫	不跳脫
ACB	0.08	0.06
SS (LCO 及 CO 電驛)	0.3	0.3
NFB1	43	40
NFB2	43	40
NFB3	0.03	0.03
NFB6	5	4.73
NFB7	0.03	0.03

依表 3.21~表 3.23，可獲致以下結論與建議：

(1) 故障電流為上游台電系統提供時，不同故障位置發生三相故障時，根據模擬結果得知，較靠近故障位置的無熔絲開關會在 1~1.5cycle 跳脫隔離故障，若無熔絲開關未動作，則 ACB 亦會於 4cycle 內動作。由於目前微電網內使用的 SS 動作時間(電驛偵測及斷路器跳脫)將近 1 秒，因此可能造成故障點上游的 NFB 會比 SS 先動作。

(2) 茲以圖 3.31 為例，若 F3 位置發生單相接地故障，且線路上的無熔絲開關及 ACB 皆未動作，則保護設備僅剩主變壓器一次側的 GCB，由保護協調曲線圖可知，GCB 電驛的動作時間為 20 秒，不利於電源側的線路保護。

(3) 如保護協調圖顯示，變壓器破壞曲線和電驛跳脫時間線之間上有足夠的裕度。茲以圖 3.30 為例，在三相故障下，11.4kV/380V 變壓器(TR1)破壞曲線的破壞時間遠大於 ACB 動作時間(0.06 秒)。

2. 孤島運轉下保護協調

當 F3 點發生故障時，並依據技師設定的電驛設定參數及 NFB 等規格，繪製出保護協調曲線，主變壓器(11.4kV/380V)至故障點 F3，沿途經過 ACB、NFB1(800A)、SS、NFB2(800A)及 NFB3(400A)。

參照表 3.19、表 3.20 分散式電源提供的故障電流及依現行電驛設定的相電驛保護協調曲線圖及依現行電驛設定的接地電驛保護協調曲線圖，可以評估核研所微電網在孤島運轉時，數位電驛的動作時間，如表 3.24、表 3.25 所示。

表 3.24 孤島運轉下發生三相故障依現行設定的電驛動作時間(s)

故障位置 電驛編號	三相故障					
	F3		F4		F5	
	uT 迴路	PV 迴路	uT 迴路	PV 迴路	uT 迴路	PV 迴路
MC-B02		6.28		6.28		6.28
MC-B03	2.17		2.17		2.17	
MC-B01	不跳脫		不跳脫		不跳脫	
MC-B06			0.39			
MC-B07					0.148	

表 3.25 孤島運轉下發生單相接地故障依現行設定的電驛動作時間

(s)

故障位置 電驛編號	單相接地故障					
	F3		F4		F5	
	uT 迴路	PV 迴路	uT 迴路	PV 迴路	uT 迴路	PV 迴路
MC-B02		0.25		0.25		0.25
MC-B03	0.165		0.165		0.17	
MC-B01	不跳脫		不跳脫		不跳脫	
MC-B06			0.07			
MC-B07					0.04	

根據表 3.24、表 3.25 可知，若以目前電驛設定值，MC-B01 電驛動作時間並未能偵測故障；MC-B06、MC-B01 及 MC-B07 間動作時間裕度不夠充分。恐造成電網內電磁開關誤動作，無法確實隔離故障區。因此，微電網進型孤島運轉時，必須重新設定目前的電驛設定值，以達到保護協調的目的。

四、結論

(一) 暫態模擬分析

模擬結果顯示，對光伏系統(HCPV)的變流器而言，功率控制模式相較於電流和電壓控制模式，是調整系統頻率的最佳方法；而傳統常數 PQ 注入模型不能適用在此類模擬。此外，Zone 1 在孤島運轉時，雖然馬達只有 2kW，但馬達啟動電流會導致嚴重的電壓降，因此在孤島時，小感應馬達的干擾亦不能被忽略。目前 150kW WTG 的變流器正在改進，可以讓其強健地操作在大風速變化環境下，然而全系統的負載規劃在 180 kW，增加氣渦輪機發電機及儲能設備可增強系統的穩定度。

(二) 電力品質分析

孤島運轉時，微電網所能承受的不良電力品質能力，遠小於與市電併聯的狀況。在無新增濾波器的狀況下，孤島的 Zone 1 可承受的非線性負載僅 6 kW(10%)；與市電併聯時，Zone 1 可承受的非線性負載 30 kW(50%)，都不會產生諧波問題。

孤島微電網 Zone 1~3 在無任何新增虛補償下，當 048 a 相 25kW 負載、b 相 5kW 負載為最嚴重不平衡的狀況下，各匯流排的 $VUR < 2\%$ ，均合乎規範限制值；當 048 a 相 23kW 負載、b 相 7kW 負載時，各匯流排的 VUR_0 超過 1% 的限制值。

(三) 故障分析及保護協調檢討

核研所微電網低壓系統的最大故障電流發生在微電網的近主變二次側，為 17.97kA，略大於三相短路電流(17.17kA)。由於市電提供的故障電流皆為仟安級，但分散式電源提供的幾乎在 0.2kA 以下，因此，當與市電併聯時，係以 NFB 或 CB 隔離故障，而作孤島

運轉時，係以 MC 隔離故障。因此，前者在於協調電驛(GCB、ACB)與 NFB，而後者在於協調數位電驛。經保護協調檢討，獲致以下結論：

1. 市電併聯下

- (1) 靜態開關(Static Switch, SS)反而會比上游的 ACB 較遲動作，失去 SS 快速跳脫的功能。
- (2) 主變壓器一次側的電驛作為後衛保護的時間(譬如：F3 故障下，GCB 電驛動作時間為 20 秒)頗長，不利於設備保護。
- (3) 其餘保護裕度尚稱充分。

2. 孤島運轉時

目前的電驛設定尚須調整，俾能有效偵測故障並有足夠的協調裕度。

肆、參考文獻

1. “Kyotol Protocol to the United Nations – framework convention on climate change,” December 1997.
2. The Copenhagen Accord, United Nations Climate Change Conference, 18 December 2009.
3. Sustainable Development and Energy Security, General Report for National Energy Convention, Ministry of Economics, R.O.C., April 2009.
4. R. H. Lasseter, “Integration of distributed energy resources: The CERTS MicroGrid concept,” Lawrence Berkeley Nat. Lab., CA, Tech. Rep. LBNL-50829, Apr. 2002.
5. R.H. Lasseter and J. Eto, “Value and Technology Assessment to Enhance the Business Case for the CERTS Microgrid,” DE-FC02-06CH11350, US Department of Energy, May 2010.
6. IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Standards Coordinating Committee 21, April 2009.
7. Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids, Contract No: ENK-CT-2002-00610, Description of the laboratory micro grids, September 2005.
8. M.Q. Mao, M. Ding, J.H. Su, L.C. Chang, M. Sun, G.R. Zhang, “Testbed for Microgrid with Multi-energy Generators,” Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 4-7 May 2008, pp. 637-640.
9. B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papatlianassiou and N. Hatziargyriou, “Making microgrids work,” Power and Energy Magazine, May-June 2008, pp. 40-53.
10. B. Kroposki, T. Basso, R. DeBlasio, “Microgrid Standards and

Technologies“, Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-4, July 2008.

11. G. Venkataramanan, C. Marnay, A larger role for microgrids,” Power and Energy Magazine, Vol. 6, May-June 2008, pp. 78-82.

12. 陳士麟，97 年度「提升我國電力系統可靠度之分析規劃」委辦計畫期末報告，中原大學，98 年 3 月。

13. 陳士麟，98 年度「提升我國電力系統可靠度之分析規劃」委辦計畫期末報告，中原大學，99 年 3 月。


14. H. Nikkhajoei and R. H. Lasseter, “Microgrid Protection”, Power Engineering Society General Meeting, June 2007, pp. 1-6.

附錄

(風力機組之人才培育教案編輯教材部分講題大綱)

風力機分類、產業與趨勢分析



 力鋼工業 林伯峰

2010年10月13日

內 容

1. 前言
2. 風力機之概念
3. 風力機之分類
4. 風力機之改進
5. 葉片之趨勢
6. 齒輪箱之趨勢
7. 發電機之趨勢
8. 機械控制之趨勢
9. 風機塔架之趨勢
10. 離岸風力機趨勢
11. 風機面臨之風險
12. 風力機產業狀況
13. 風力機生產環境
14. 風力機安裝現場
15. 風力機維護環境
16. 未來之發展趨勢
17. 建議





中原大學電機系碩士班

ESCO 節能績效檢測與驗證

(Measurement & Verification: M&V)

主講人：楊正光
台灣綜合研究院
2010.09.30

2010/11/24

1

內 容

- 壹、前言
- 貳、ESCO概況
- 參、節能績效驗證之目的與範疇
- 肆、國外檢測及驗證方法
- 伍、國內實施方法
- 陸、電力系統節能
- 柒、案例說明
- 捌、結論

2010/11/24

2



再生能源發電系統併聯技術要點

99.12

請保密及尊重作者智慧，不得製本文件，不得將本文件內容公開資料或將其揭露予不相關之第三人。

1



內容大綱

- 壹、再生能源發電系統及併網介面
- 貳、再生能源發電系統併網概念
- 參、再生能源發電系統併聯技術要點

請保密及尊重作者智慧，不得製本文件，不得將本文件內容公開資料或將其揭露予不相關之第三人。

2