

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

整合多種分散型資源之微型電網研究—子計畫六：整合多種分散型資源之微型

電網電能管理研究(2/3)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-270-014-MY3

執行期間：98年8月1日至99年7月31日

計畫主持人：黃維澤 建國科技大學/電機工程系

共同主持人：

計畫參與人員：陳進忠、洪聆議 建國科技大學/電機工程系

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：建國科技大學/電機工程系

中華民國九十九年五月三十一日

## 摘要

本年度主要針對一次配電饋線所構成之高壓微型電網進行電能管理研究。由於，電能管理的目的乃整合分散型資源及可控制負載對微型電網執行最安全與最佳化之管理；因此，首要之務即以台電 11.4 kV 配電系統為參考標的，規劃、設計由一次配電饋線所構成之高壓微型電網進行電能管理研究，在此一系統架構下，探討高壓微型電網所需之功能與軟體設施，以及採用直接搜尋法求解在併網/孤島運轉模式下之最佳機組調度。本研究計畫的研究成果有助於未來電力相關產業開發高壓微型電網之電能管理系統，不僅對於我國發展區域獨立穩定電網有正面之助益，亦可以達到提高電力供應品質、減少溫室氣體排放等目的。

**關鍵字：**高壓微型電網、分散型資源、電能管理、分散式發電系統、分散式儲能設備、直接搜尋法。

## Abstract

The second year of this project aims to study the electrical energy management (EEM) of the high-voltage microgrid that formed with primary feeders. The major purpose of the EEM for the microgrid is to manage the multiple distributed energy resources (DERs) and controllable loads with safety and optimization. Therefore, referring to the 11.4 kV distribution systems of Taiwan Power Company (Taipower), a high-voltage microgrid with primary feeders are designed as the sample system for the EEM studies. Based on this sample system, not only the essential functions and characteristics of the EEM are discussed and assessed, but also the optimal unit dispatch under the grid-tied and islanded operation modes are derived and evaluated by the direct search method (DSM). The outcomes of the second year are helpful for the utilities and related industries while developing the EEM systems of high-voltage microgrid in Taiwan. Furthermore, the study outcomes will pave the way for the development of autonomous grids, and increase the reliability of power supply, as well as reduce the greenhouse gas emissions.

**Keywords:** High-Voltage Microgrid, Distributed Energy Resources (DERs), Electrical Energy Management, Distributed Generation, Distributed Storage, Direct Search Method (DSM).

## 一、前言

微型電網乃整合分散型資源(Distributed Energy Resources)與可控制負載(Controllable Loads)所構成之小型電力系統，一般而言，微型電網泛指形成於配電系統的電網，因此，依附在既有之一次及二次配電系統下可區分為高壓微型電網(High-Voltage Microgrids)以及低壓微型電網(Low-Voltage Microgrids)二大類。由於微型電網的系統架構及其組成之分散式資源與負載類型不盡相同，因此，所需的電能管理系統與運轉調度方式將有所差異，因應

不同微型電網系統提出最佳的電能管理系統與運轉調度為本研究計畫的主要目標。其中，本計畫第一年已經針對低壓微型電網進行電能管理相關研究，已經獲得部分研究成果，並持續進行相關研究。本年度研究之標的為一次配電饋線所形成之高壓微型電網，此一系統乃參考台電 11.4 kV 一次配電系統並加入分散式資源所構成之一次配電饋線高壓微型電網，本年度即利用該系統進行電能管理相關研究。以下各節將依序針對研究目的、相關文獻探討、研究方法以及結果與討論詳加說明。

## 二、研究目的

電力調度的良窳攸關電力系統之運轉安全及經濟與否，電力調度中心之於傳統垂直式架構之大型電力系統就如同電能管理之於微型電網，是故，國內發展微型電網成功與否之重要關鍵要素之一為「電能管理」，有鑑於此，本計畫著手進行「整合分散型資源之微型電網電能管理研究」有七個主要目的：

第一為瞭解國外不同系統架構之微型電網的電能管理發展現況與未來趨勢、電能管理系統所需之功能及其軟硬體設施，據之以發展適用於國內微型電網之電能管理策略及其所需之功能與軟硬體設施；

第二為探討國外微型電網在併網/孤島運轉模式以及運轉模式轉換之暫態情況下的電壓與頻率控制策略與方式，並予於修正引用或衍生推導適用於國內電能管理之電壓與頻率控制策略；

第三為探討國外微型電網在併網/孤島運轉模式下的分散型資源實功與虛功控制策略與方式，並予於修正引用或衍生推導適用於國內電能管理之分散型資源實功與虛功控制策略；

第四為探討國外微型電網在併網/孤島運轉模式下的負載管理策略與方式，包括負載計算、分類及卸載方式等，予於修正引用或衍生推導適用於國內電能管理之負載控制策略；

第五為探究國內外間歇性再生能源發電系統發電量預測方法以及負載預測方式，並予於修正引用或衍生推導適用於國內電能管理之發電與負載；

第六為探究國內外各種即時三相電力潮流求解方法與技巧，並予於修正引用或衍生推導適用於國內電能管理之即時三相電力潮流求解方法，以期應用於母線電壓及線路流量之監控；

第七為探究國內外整合分散型資源之最佳電能管理模式，並建立整合電能管理模組之微型電網模擬系統，以期完成適用於整合多種分散型資源之微型電網新型集中式電能管理監控系統之開發。

總之，本計畫的完成有助於提高微型電網之運轉效能，並具體化提供國內發展微型電網之電能管理系統，同時對改善區域供電穩定度與提高使用再生能源發電比例降低 CO<sub>2</sub> 排放量等皆有正面之助益。

## 三、文獻探討

本計畫持續蒐集、整理與微型電網電能管理系統、最佳線上管理，以及最佳機組調度等相關的研究文獻與技術報告，涵蓋歐美以及日本等高度已開發國家針對微型電網電能

管理相關研究公開發表之文獻以及大型微型電網示範系統[1-16]，其中與本研究計畫相關之電能管理研究則不外乎以最小用戶帳單支出、降低燃料成本、運轉與維護成本，以及環境污染等單目標/多目標的最佳化問題，並使用最佳化方法進行微型電網即時最佳機組調度，因此，對電網購電成本、各種分散型資源的燃料成本、啟動成本，或溫室氣體的排放量等因素均分別納入考量。茲列舉數篇重要文獻整理如下：

F. A. Mohamed and H. N. Koivo 在[1-2]文中，推導一通用公式用以決定微型電網之最佳運轉策略、成本最佳化組合以及降低污染等目標，此一多目標最佳化之非線性數學問題，同時考慮運轉、維修與降低 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放量之影響，以及由風力發電機、微渦輪機、柴油引擎發電機、太陽能發電系統及燃料電池組合之微型電網，在滿足負載需求與系統安全性之限制條件下，以最低燃料成本為目標，求取最佳發電調度。

Ryan Michael Firestone 在[3]文中提出混合整數規劃法對整合能源系統進行最佳即時調度，該系統係由汽電共生發電機與儲能系統所組成，同時考量負載需求反應進行最佳調度。此外，C. A. Hernandez-Aramburo 等人[4]提出以最小化燃料消耗為目標求解整合復循環機組、電熱複和發電廠、太陽能發電系統以及風力發電機於微型電網之最佳化問題，而 G. Celli, 等人在[5]中，應用類神經網路(Neural Network)發展一套智慧型能源管理系統，接受能源價格、氣象情況、電能與熱能負載需求之預測以及微型電網狀態等輸入資料，經倒傳遞網路演算法(Backpropagation Algorithm)訓練，獲得各分散型發電機、靜態虛功補償器(SVCs)以及饋入/逆送市電網路之最佳實功與虛功輸出量，此一能源管理系統具備自行決策之能力而且可以在最小化總能源成本(Global Energy Costs)的目標下，以每小時為單位進行分散型發電機的調度，同時也應用一小型測試系統模擬結果顯示可以節省約 15%之總能源帳單(Global Energy Bill)；然而，此一論文並未考慮孤島運轉狀況下之最佳調度情況，值得針對此一情況在考慮可靠度及經濟效益目標下作深入之研究。又 F. Katiraei 等人發表之論文[6]，針對混合式微型電網內之具備電子控制介面的分散型發電機(Electronically Interfaced Distributed Generation, EI-DG)提出實功及虛功之控制策略，其分散型發電機的控制及電能管理策略乃利用發電機現場量測之信號進行控制因而無須任何通訊，每一部分散型發電機之實功控制則透過頻率下降特性(Frequency Droop Characteristic)和頻率恢復策略(Complimentary Frequency Restoration Strategy)發展出實功率控制器，而且又以(1)電壓下降特性(Voltage-Droop Characteristics)、(2)電壓調整(Voltage Regulation)和(3)負載虛功補償(Load Reactive Power Compensation)等方法為基礎發展三種虛功電能管理策略。

此外，N. D. Hatziargyriou 及 A. Dimeas 等人在[7]文中，闡述為了達到微型電網運轉及其互連系統運轉最佳化所需之中央控制器的主要功能，該控制架構主要是由區域控制器(Local Controller, LC)、微型電網中央控制器(MicroGrid System Central Controller, MGCC)以及中壓配電網路運轉者(Distribution Network Operator, DNO)和電力市場運轉者(Market Operator, MO)等三個關鍵的控制階層所組成，此一控制系統之提出有助於微型電源之間的協調運轉，並有效降低運轉成本。

以上所述研究成果不外乎利用頻率、電壓下降特性發展分散型電源之實功率與虛功率控制器，並整合於微型電網能源管理系統，進行電熱能供需平衡之控制，有助於本計畫之進行。

#### 四、研究方法

延續第一年的研究計畫，第二年所採行之研究方法與前一年相似，如圖 1 所示。首先，蒐集國內外期刊、會議論文與技術報告等相關的文獻，並加以閱讀與整理作為後續研究立論的基礎；接著，瞭解高壓微型電網架構與運轉方式、分散型資源之輸出功率控制方式及其相關成本函數、負載管理方法、電能管理策略，以及電能管理系統架構，並且探討高壓微型電網在穩態併網運轉模式(Grid-Tied Mode)與孤島運轉模式(Islanded Mode)下之最佳電能管理方式；隨之，深入瞭解風力及太陽能發電系統之發電量預測方法，直接或經由修正後引用；再利用隱含式  $Z_{BUS}$  高斯法結合敏感因子法撰寫即時三相電力潮流求解公式，並以直接搜尋法(Direct Search Method)推導最佳調度模式，以利整合於電能管理系統中進行最佳經濟調度快速計算；最後，規劃、設計由二條一次配電饋線所構成之高壓微型電網求解進行併網/孤島運轉模式下之最佳調度，模擬、分析、探討所得之結果，以驗證本研究計畫所提方法之正確性。

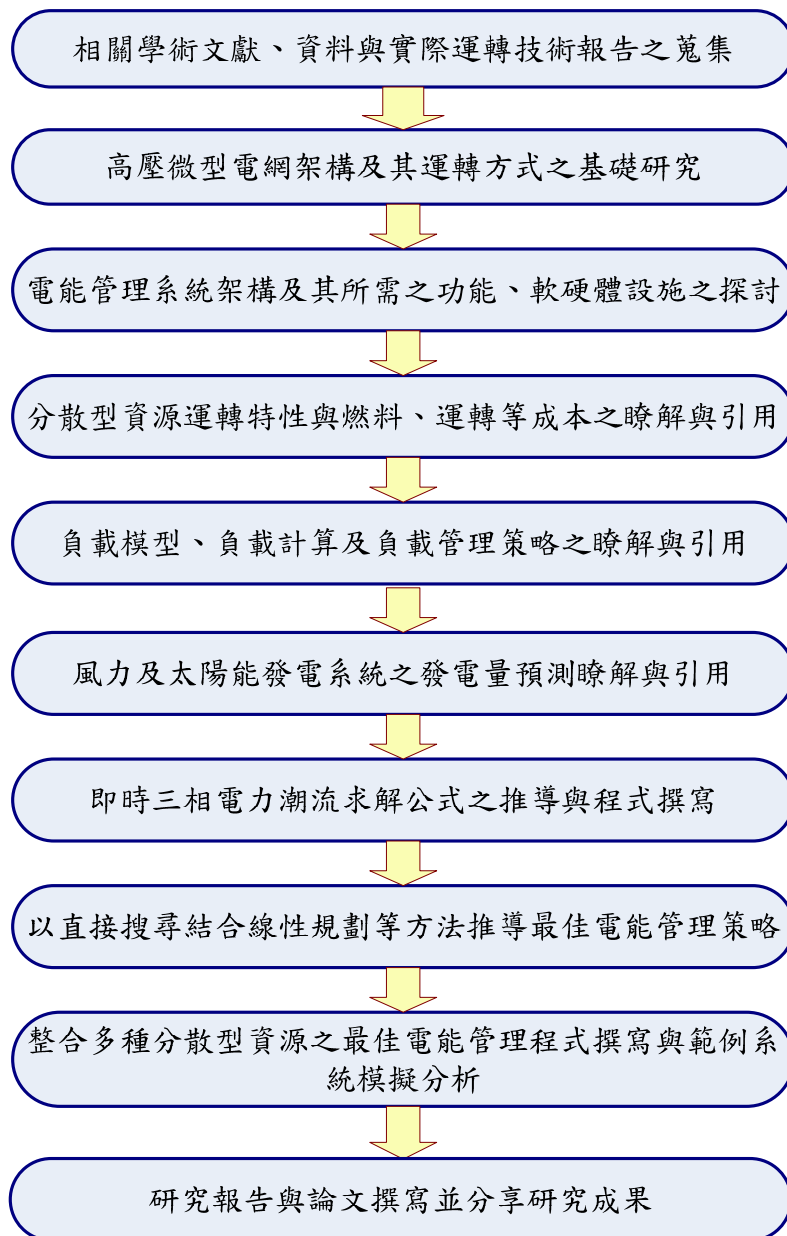


圖 1 本研究計畫第二年採行的研究方法與執行流程

## 五、結果與討論

目前本計畫第二年的研究工作仍持續進行中，尚有部分模擬分析結果之數值資料處於驗證階段，無法詳列於此次的進度報告中，茲將範例系統架構、運轉方式、電能管理系統架構、相關公式的推導，以及模擬分析結果加以呈現，後續仍有研究成果將透過論文投稿以及完整成果報告呈現。

### A. 高壓微型電網系統架構

如圖 2 所示為本研究計畫參考台電 11.4kV 一次配電系統所規劃、設計之高壓微型電網，該系統係由一台 25 MVA、69 kV/11.4 kV、60 Hz 的主變壓器及其所屬五條一次配電饋線所組成，其中 F#1 及 F#2 饋線可分別視為二個單一饋線所構成之高壓微型電網，或者將二條饋線視為一個高壓微型電網；其餘三條饋線，亦即 F#3~F#5 則為一般不含分散式資源之饋線。

就 F#1 饋線所構成之高壓微型電網而言，該饋線係由二台氣渦輪機(Gas Turbines)發電機、二台燃料電池(Fuel Cells)發電系統、一組太陽光電池(Photovoltaic Cells) 發電系統，以及包括住宅、辦公室與商業等三種類型之等效集總負載(Equivalent Lumped Loads)所組成；相似地，F#2 饋線所構成之高壓微型電網則由二台柴油引擎(Diesel Engines)發電機、一台風力發電機(Wind Power Generator)與包括住宅與工業二類型之等效集總負載所組成。上述二個單一饋線微型電網於變電所出口處之饋線前端均設置靜態開關(Static Switch)，以利進行併網運轉與孤島運轉的操作；此外，亦可以整合二條饋線形成一高壓微型電網以便於較為靈活運轉、調度應用，是故，位於變電所主變壓器二次側匯流排亦規劃分斷匯流排架構將二條饋線以一靜態開關與其餘三條饋線做適當分隔。

此一系統架構非常適合本計畫所欲探討之研究議題「整合多種分散式資源之微型電網電能管理研究」，是故，第二年的研究計畫即以此系統進行相關研究。此外，為了使得研究結果更具參考價值，本計畫將整合蓄電池等儲能設備於微型電網中進行電能管理研究，此一部份的相關研究將於後續第三年進行。

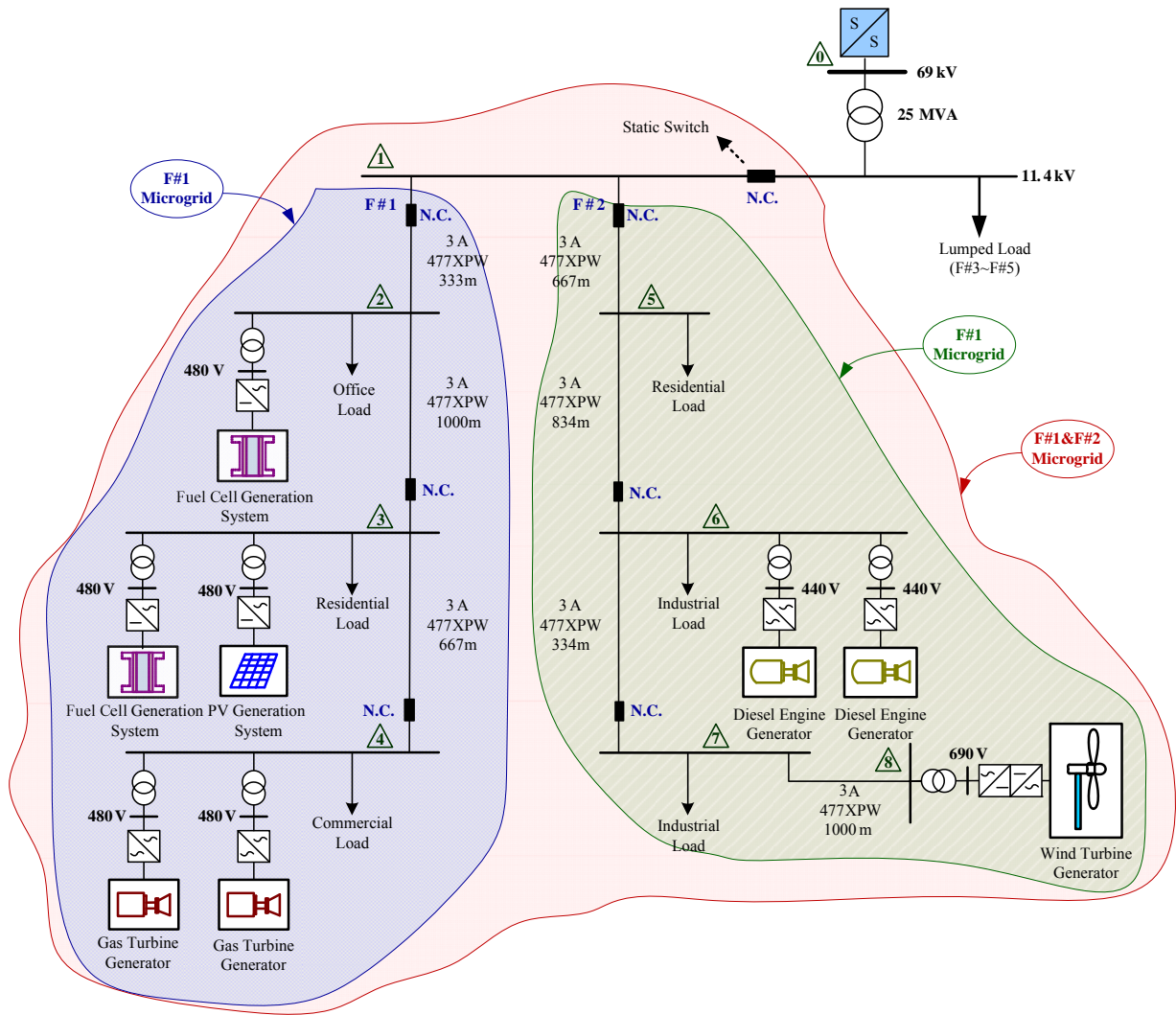


圖 2 高壓微型電網系統架構

## B. 高壓微型電網之電能管理系統架構

### 1. 運轉模式

微型電網的運轉模式可細分為四種，分別為(1)穩態併網運轉、(2)穩態孤島運轉、(3)由併網轉為孤島暫態運轉以及(4)由孤島轉為併網暫態運轉等狀態，就電能管理的最佳機組調度研究而言，本研究僅考慮併網與計畫性或非計畫性孤島運轉二種模式，以此兩種運轉模式下，依據當時系統架構、可用之分散型資源的型態及其容量與數量，以及所組成之負載，進行最佳電能管理，其作法與傳統電力系統機組選定(Unit Commitment, UC)及經濟調度(Economic Dispatch, ED)方式類似。然而最佳電能管理模式若同時考慮最低燃料成本以及減少環境污染等問題，則為多目標函數之最佳化問題，因此必須結合相關分散行資源所設定之目標以及限制條件後推導其目標函數。

### 2. 電能管理架構

微型電網之電能管理系統係整合分散型資源、負載，以及市電網路的狀態進行最佳的併網與孤島運轉，如圖 3 所示為高壓微型電網電能管理系統所需充分掌握之資訊與具備之功能，因此，除了必須掌握市電網路上游的狀態以及共同耦合點之功率輸出與饋入等資訊

外，對於微型電網內之分散式資源的總裝置容量、負載需求與電壓、頻率等相關參數與即時訊息均需隨時更新，並迅速地做出最佳的運轉控制決策。這些智慧型的運轉、控制與即時調度策略為電能管理系統必要的軟體功能；然而，若無相關硬體設備相輔相成則終將無法實現，因此，硬體設施亦不容忽視，此一部份必須透過先進與成熟的資通訊基礎建設方能達成，如圖 4 所示為高壓微型電網電能管理系統架構示意圖，圖中電能管理系統透過資通訊媒介對各個區域控制器(Local Controller)所屬分散式資源、負載以及共同耦合點進行資料的擷取與即時的監視和控制；此外，微型電網之電能管理系統還必須向上對饋線調度控制中心(Feeder Dispatch Control Center, FDCC)或配電調度控制中心(Distribution Dispatch Control Center, DDCC)進行資料的交換，隨時更新雙方資訊，進行有效的整合，以達微型電網能安全地融入傳統電力系統做最佳的運轉、調度。

茲擬定併網及孤島運轉之電能管理模式如下：

- 併網運轉之電能管理模式(Mode<sub>Tie</sub>)：如圖 2 所示，F#1&F#2 饋線構成之微型電網透過靜態開關在共同耦合點經主變二次側匯流排與市電網路併聯，在此一運轉模式下，微型電網內之負載功率需求將由市電、風力發電機、太陽光電池、柴油引擎發電機、微渦輪發電機、氣渦輪發電機，以及燃料電池等分散式資源以最低燃料成本與減少環境污染等最佳化的目標供電。
- 孤島運轉之電能管理模式：又稱為自主運轉(Autonomous Mode)電能管理模式，亦即 F#1&F#2 饋線構成之微型電網在共同耦合點與市電網路解聯，形成孤島運轉形式，此一模式根據運轉時的負載需量以及分散式資源的可利用供電能力進一步區分為二種次模式，如下：

**Mode<sub>Auto\_o</sub>**：分散式資源的可用電力大於負載需量，亦即  $\sum P_{DER_s} > \sum P_D + \sum P_{loss}$ ，在此一情況下，優先調用不需燃料成本及無環境污染之再生能源發電系統；然而，若仍不足負載需求時，在考慮最低燃料成本目標下，調用非再生能源發電系統。

**Mode<sub>Auto\_u</sub>**：分散式資源的可用電力小於負載需量，亦即  $\sum P_{DER_s} < \sum P_D + \sum P_{loss}$ ，此時，所有分散式資源必須全數加入運轉，並且依照所擬定之卸載優先順序與卸載策略依序卸載，以維持系統穩定運轉。



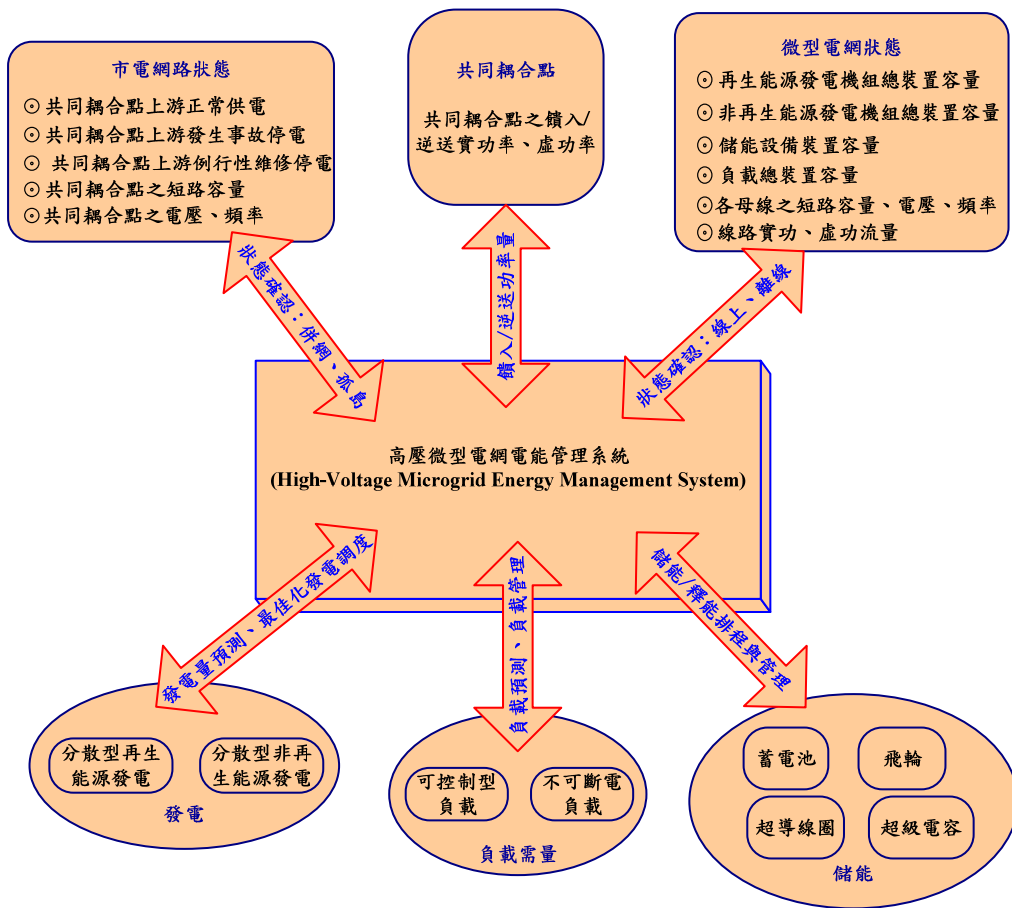


圖 3 高壓微型電網電能管理系統功能

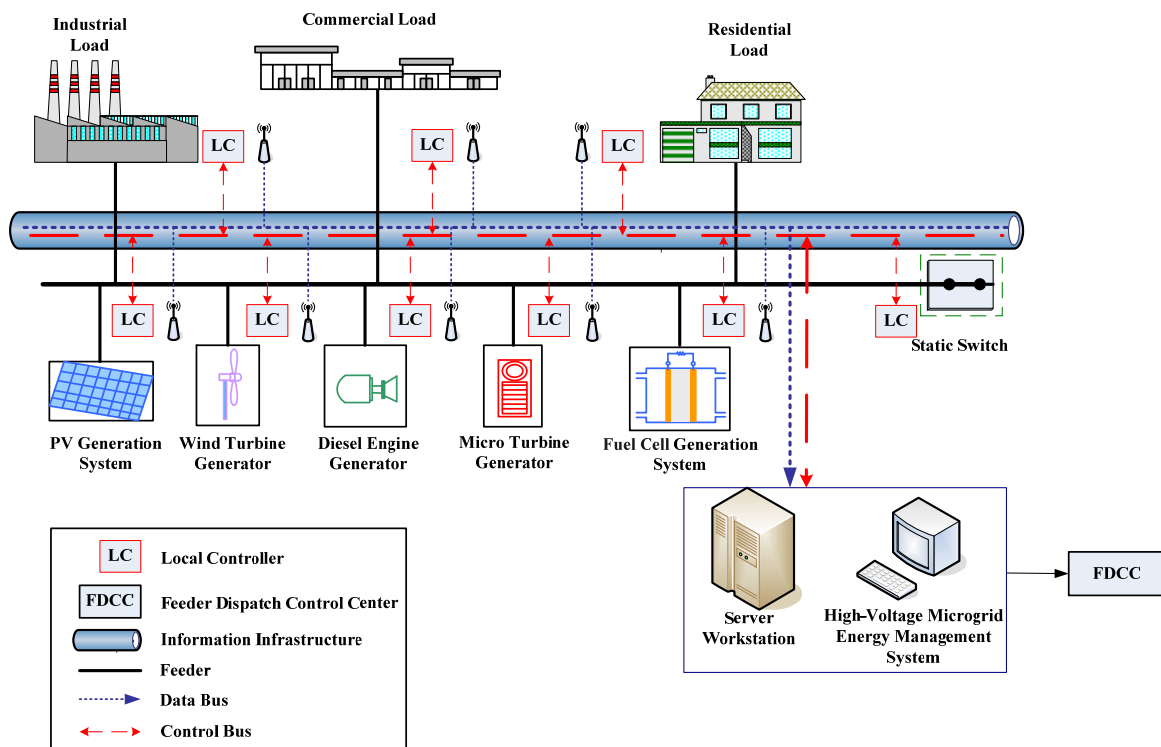


圖 4 高壓微型電網電能管理系統架構示意圖

### C. 高壓微型電網之最佳電能管理與調度

綜合以上所述，可得知微型電網在不同的運轉模式下有不同的運轉考量因素，然不論

如何，皆必須建築在運轉安全性與可靠度的基礎上，滿足功率平衡以及分散式資源可利用之發電量等限制條件下，尋求最低燃料成本與減少環境污染的最佳化問題，微型電網的發電成本為各分散式資源的燃料成本、運轉與維護成本，以及購自市電的成本函數，因此，欲正確計算其成本，必須瞭解並應用各分散式資源的可提供電力及成本函數，茲分述如下：

#### a. 風力發電機(Wind Turbine Generator)

風力發電機的輸出功率可利用式(1)配合歷史氣象資料統計所得之風速(m/s)計算輸出功率。

$$\begin{cases} P_{wt}=0, & V < V_{ci} \\ P_{wt}=a \cdot V^2 + b \cdot V + c, & V_{ci} < V < V_r \\ P_{wt}=P_{wt,r}, & V > V_{co} \end{cases} \quad (1)$$

其中， $P_{wt,r}$ 、 $V_{ci}$ 與 $V_{co}$ 分別代表風機之額定輸出功率、切入與切離風速，若以商用 AIR403 型風機為例，式(1)的參數為  $a=3.4$ 、 $b=-12$ 、 $c=9.2$ 、 $P_{wt,r}=130$  W、 $V_{ci}=3.5$  m/s、 $V_{co}=18$  m/s、 $V_r=17.5$  m/s。本計畫採用上述公式經修正後，配合實際量測資料取得夏季某日的風速曲線如圖 5 所示，經計算後所得之風機日發電量如圖 6 所示。

#### b. 太陽光電池(Photovoltaic)

太陽光電池的輸出功率可由式(2)配合歷史氣象資料所得之太陽光照度( $W/m^2$ )與溫度( $^{\circ}C$ )計算輸出功率。

$$P_{pv} = P_{stc} \frac{G_{ing}}{G_{stc}} [1 + k(T_c - T_r)] \quad (2)$$

其中， $P_{pv}$ 為PV模組在 $G_{ing}$ 下之輸出功率； $P_{stc}$ 為PV模組在標準測試條件(Standard Test Condition, STC)下之最大輸出功率； $G_{ing}$ 為入射光照度； $G_{stc}$ 為STC光照度 $1000(W/m^2)$ ； $k$ 為功率溫度係數； $T_c$ 為元件溫度； $T_r$ 為參考溫度。

#### c. 柴油引擎發電機成本(Diesel Generator Cost)

柴油引擎發電機的成本為發電量的函數，可以利用二次多項式表示，如式(3)所示，

$$C_{DE} = \alpha + \beta \cdot P_{DE} + \gamma \cdot P_{DE}^2 \quad (3)$$

其中， $P_{DE}$ 為發電機輸出功率； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 則為發電機的係數，可由製造商的規格書中取得。將式(3)對發電量微分，即可得該機組的遞增燃料成本，如式(4)所示，利用該式則可計算在不同發電量之下的遞增燃料成本。

$$IC_{DE} = \frac{dC_{DE}}{dP_{DE}} = \beta + 2\gamma \cdot P_{DE} \quad (4)$$

#### d. 燃料電池成本(Fuel Cell Cost)

燃料電池的種類綜多，若以熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)及固態氧化物燃料電池(SOFC)為例，其燃料來源為天然瓦斯，相較於質子交換膜燃料電池(PEM)的額定容量大，因此較

適合應用於高壓微型電網，故研究採用上述二種燃料電池作為燃料電池發電系統，因此，其成本可利用式(5)計算之。

$$C_{FC} = C_{nl} \frac{P_J}{\eta_J} \quad (5)$$

其中， $C_{nl}$ 為天然瓦斯價格； $P_J$ 為電功率輸出； $\eta_J$ 為燃料電池效率。將式(5)對發電量微分，可取得該機組的遞增燃料成本，如式(6)所示。

$$IC_{FC} = \frac{dC_{FC}}{dP_J} = \frac{C_{nl}}{\eta_J} \quad (6)$$

#### e. 微渦輪機成本(Microturbine Cost)

由於微渦輪機與燃料電池的燃料來源皆為天然瓦斯，因此其成本函數相似，如式(7)所示。

$$C_{MT} = C_{nl} \frac{P_J}{\eta_{MJ}} \quad (7)$$

將式(7)對發電量微分，可取得該機組的遞增燃料成本，如式(8)所示。

$$IC_{MT} = \frac{dC_{MT}}{dP_J} = \frac{C_{nl}}{\eta_{MJ}} \quad (8)$$

#### f. 氣渦輪機成本(Gas Turbine Cost)

氣渦輪機燃料成本可以利用二次函數表示，如式(9)所示。

$$C_{GT} = \alpha + \beta \cdot P_{GT} + \gamma \cdot P_{GT}^2 \quad (9)$$

將式(9)對發電量微分，可取得該機組的遞增燃料成本，如式(10)所示。

$$IC_{GT} = \frac{dC_{GT}}{dP_{GT}} = \beta + 2\gamma \cdot P_{GT} \quad (10)$$

在釐清上述各個分散式資源的數學模型、成本函數與相關參數後，考慮燃料成本與功率平衡、契約容量、各分散式資源發電極限等限制條件後訂定高壓微型電網之最佳電能管理目標函數，並整合第一年 Matlab/Simulink 環境下所完成之各類型高壓用戶等效集總負載計算、再生能源風力發電機與太陽能發電系統可利用之輸出功率計算程式，進行最佳電能管理下之機組調度計算。資詳述如下：

最佳電能管理之問題可描述如下：

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^N C_i(P_{DER_i}) \quad (11)$$

滿足

$$\sum_{i=1}^N P_{DER_i} = P_D + P_{loss} \quad (12)$$

及

$$P_{DER_i}^{\min} \leq P_{DER_i} \leq P_{DER_i}^{\max} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (13)$$

上式中， $C$ 表示目標函數； $C_i$ 表分散式資源之成本函數； $P_{DER_i}$ 則表示第*i*部分散式資

源之發電量； $P_D$  表主微型電網負載需求之總和； $P_{loss}$  表系統損失。本研究採用直接搜尋法 (Direct Search Method, DSM) 進行分散式資源最佳調度，其流程如圖所示 5。以圖 2 的範例系統為例，進行模擬分析，首先，各分散式資源的相關參數及成本係數如表 1 所示；圖 6 為微型電網自市電購電之成本。另外，相關的負載資料則列示於圖 7~13 中，其中，圖 7~12 為各類型用戶等效集總日負載量需求曲線；圖 13 則為 F#3~F5 饋線等效集總日負載量需求曲線，以上所述乃為夏月負載曲線。而再生能源發電量預測與估算結果則如圖 14、15 所示，其中，圖 14 為太陽能發電系統功率輸出曲線；圖 15 為風力發電機功率輸出曲線。經模擬分析所得之結果分述如下：

#### I. 在併網運轉模式下：

在最小化燃料成本的目標並滿足限制條件下，依據全日 24 小時的負載需求變動進行整合市電及各分散式資源最佳調度，其模擬、分析所得結果分別如圖 16~20 所示，其中，圖 16 所示為市電及各分散式資源在不同負載需量下之最佳輸出功率分佈，其詳細的出力情形則可進一步由圖 17 得知，而遞增燃料成本則如圖 18 所示，且整個微型電網的平均遞增燃料成本則列示於圖 19；另外，總燃料成本的模擬結果則如圖 20 所示。整體而言，由於本研究所假設之市電購電成本主要參考台電高壓用戶夏月三段式電價所得，因此其等效之每千瓦小時的燃料成本相較於非再生能源之分散式資源低，故除了不需燃料成本之分散式資源完全輸出電力外，其餘市電與非再生能源之分散式資源在不同負載需求下的輸出功率，則由目前成本最低的市電網路輸出最多，其他的機組輸出功率高低則與其遞增燃料成本成反比關係。預期未來在電力市場自由競爭以及碳排放管制等的情況下，電價結構及其計算方式將有別於目前的計算基準，因此，市電成本及分散式資源成本較為接近時，在公平競爭的環境下進行最佳電能管理的分析結果將與目前有所差異。

#### II. 在孤島運轉模式下：

如圖 21~25 所示為孤島運轉模式下模擬、分析所得結果，由於在此一運轉模式下沒有市電網路扮演類似搖擺匯流排 (Swing Bus) 的功能，因此，在微型電網內若欲維持系統穩定運轉則必須擁有足夠的可調配機組提供負載需求，本研究報告僅列示分散式可輸出功率高於負載需求之模擬結果，如圖 21 所示為各分散式資源在不同負載需量下之最佳輸出功率分佈，各部機組的出力情形則可進一步由圖 22 得知，其對應之遞增燃料成本則如圖 23 所示，整個孤島型微型電網的平均遞增燃料成本則如圖 24 所示；另外，總燃料成本的模擬結果則如圖 25 所示。由模擬結果可得知，在孤島運轉模式下之平均每千瓦小時的燃料成本較併網運轉模式下高。

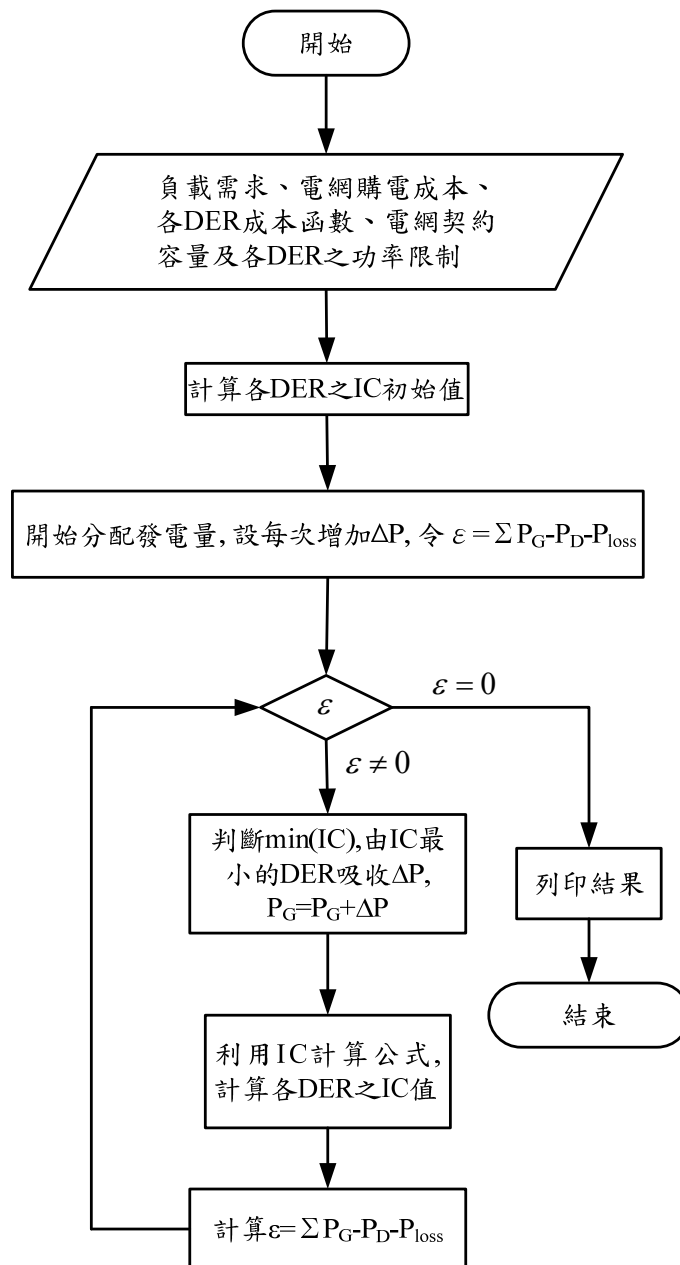


圖 5 直接搜尋法求解最佳調度流程圖

表 1 分散式資源的參數

機組名稱	額定功率 (kW)	發電成本係數 $\alpha$ (\$/h)	發電成本係數 $\beta$ (\$/kWh)	發電成本係數 $\gamma$ (\$/kWh <sup>2</sup> )
燃料電池發電系統 (FC#1)	1000	0	2.56	0
燃料電池發電系統 (FC#2)	1000	0	2.56	0
柴油引擎發電機 (DE#1)	1500	10	0.47	0.0075
柴油引擎發電機 (DE#2)	1500	10	0.47	0.0075
氣渦輪發電機 (GT#1)	1790	15	0.35	0.006
氣渦輪發電機 (GT#2)	1790	15	0.35	0.006

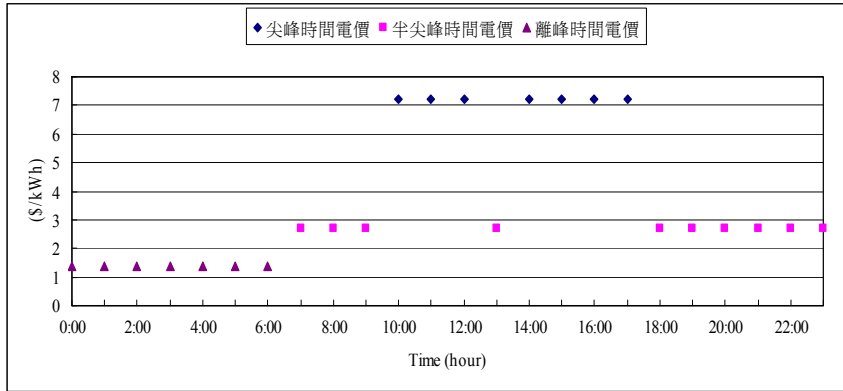


圖 6 市電購電成本—夏季三段式時間電價

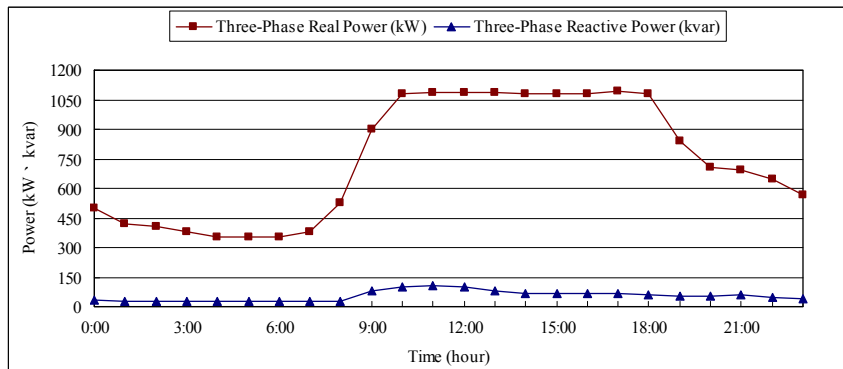


圖 7 辦公室區等效集總負載曲線—Bus 2

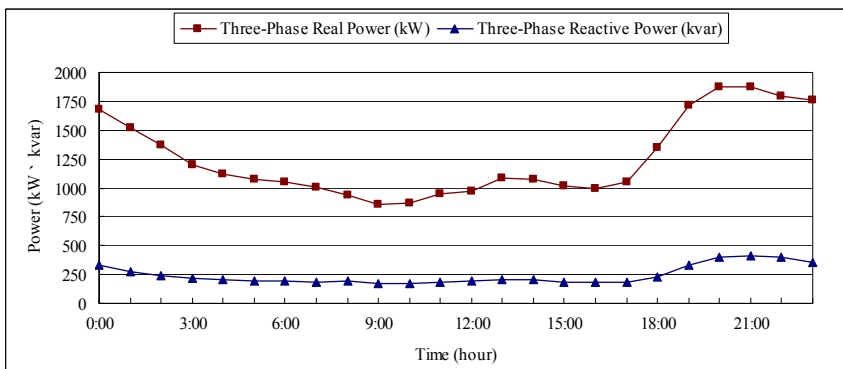


圖 8 住宅區等效集總負載曲線—Bus 3

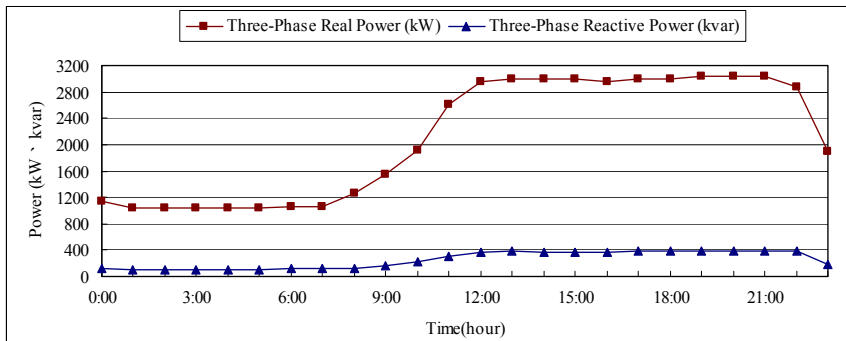


圖 9 商業區等效集總負載曲線—Bus 4

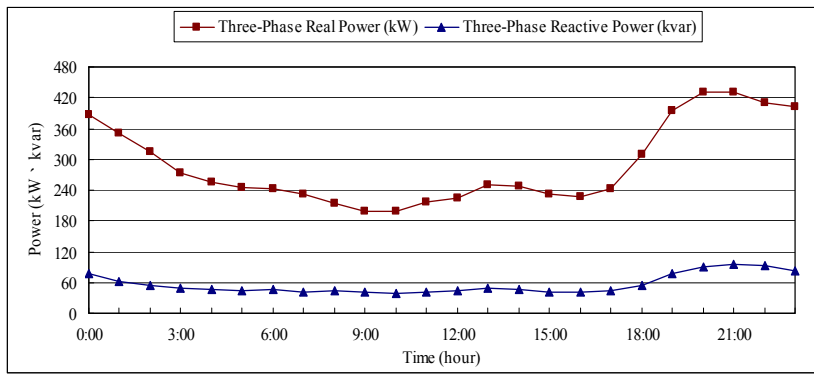


圖 10 住宅區等效集總負載曲線—Bus5

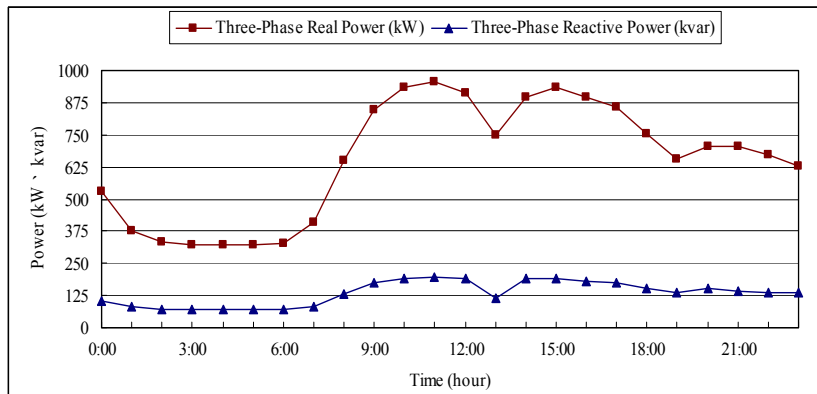


圖 11 工業區等效集總負載曲線—Bus 6

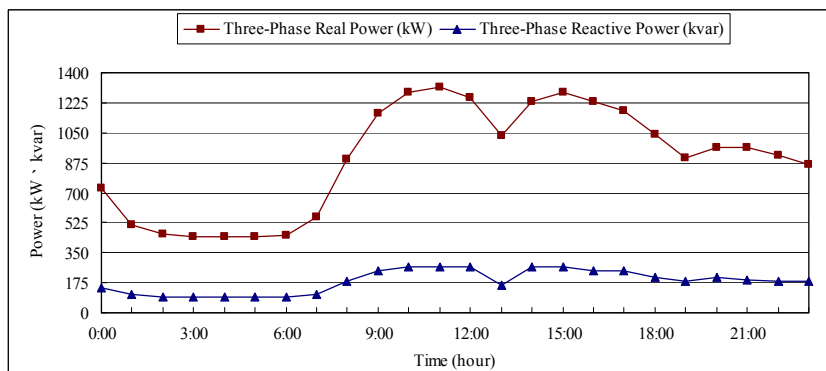


圖 12 工業區等效集總負載曲線—Bus 7

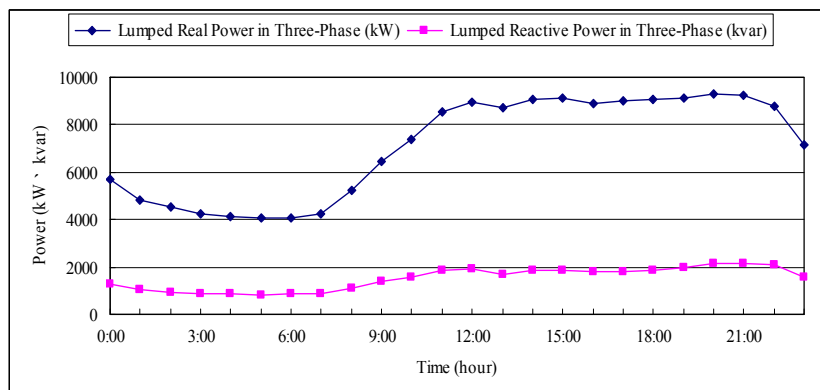


圖 13 F#3~F#5 饋線等效集總負載曲線

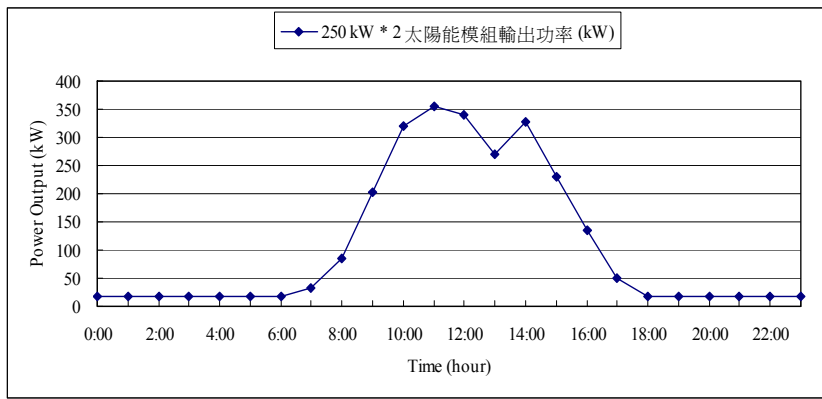


圖 14 太陽能發電系統功率輸出曲線

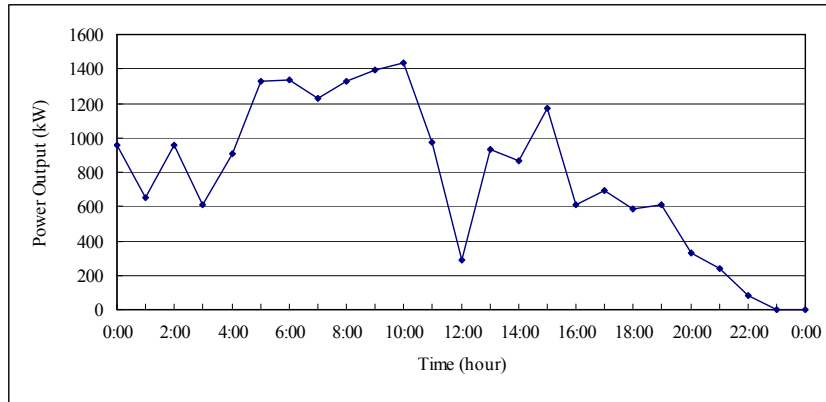


圖 15 風力發電機功率輸出曲線

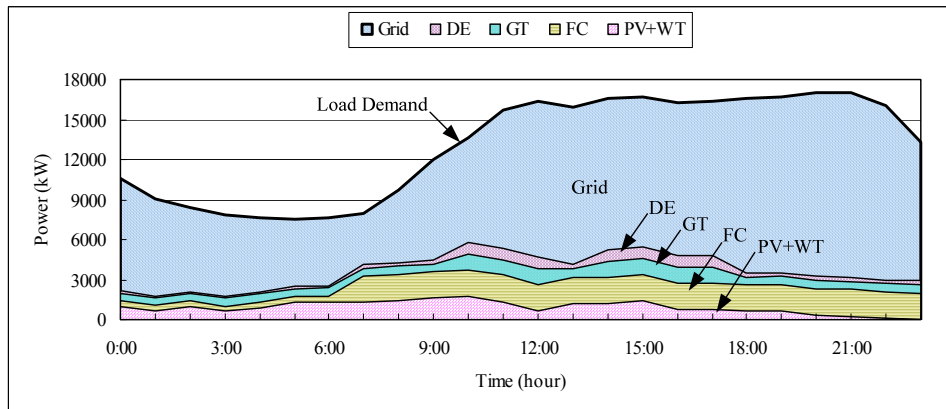


圖 16 併網運轉模式下市電及各分散式資源最佳調度模擬結果

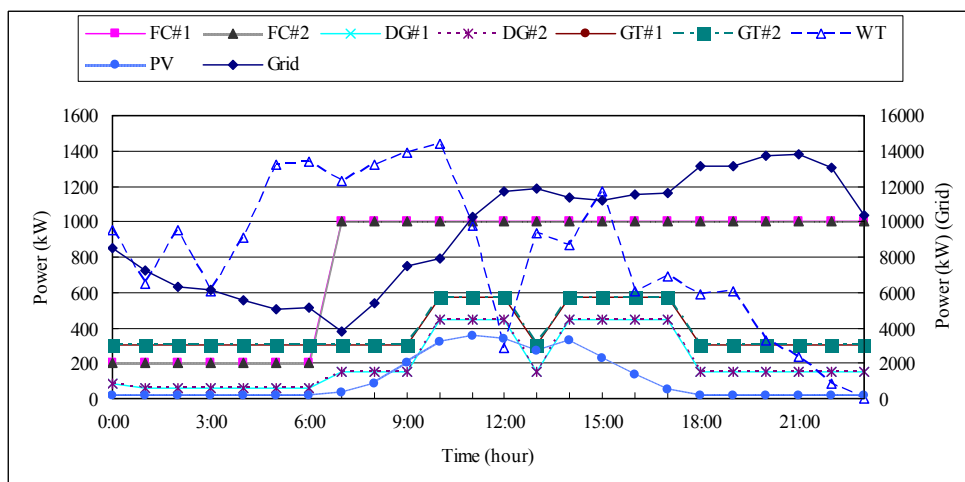


圖 17 併網運轉模式下市電及各分散式資源最佳輸出功率模擬結果



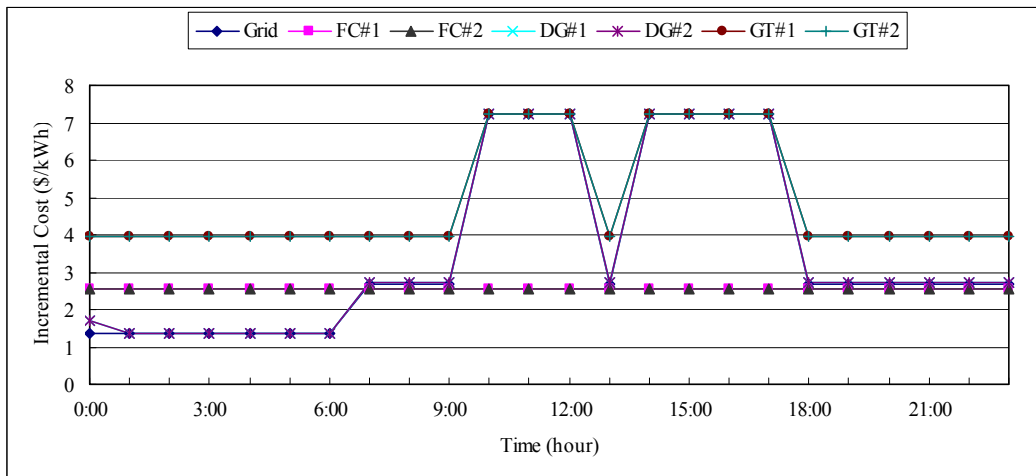


圖 18 併網運轉模式下市電及各分散式資源之遞增燃料成本

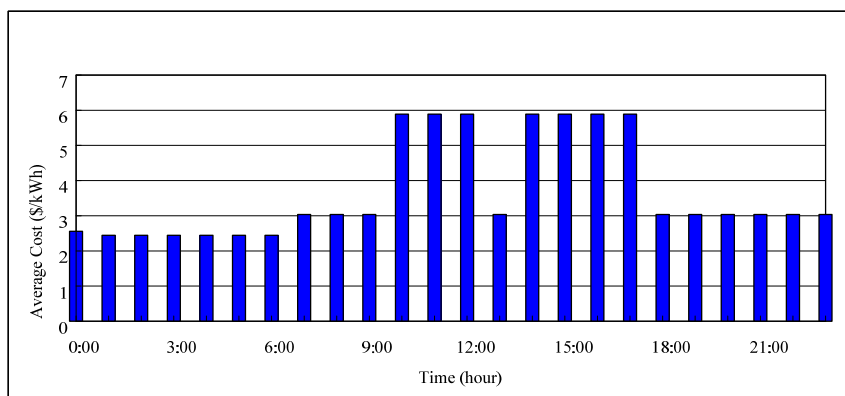


圖 19 併網運轉模式下微型電網之平均遞增燃料成本

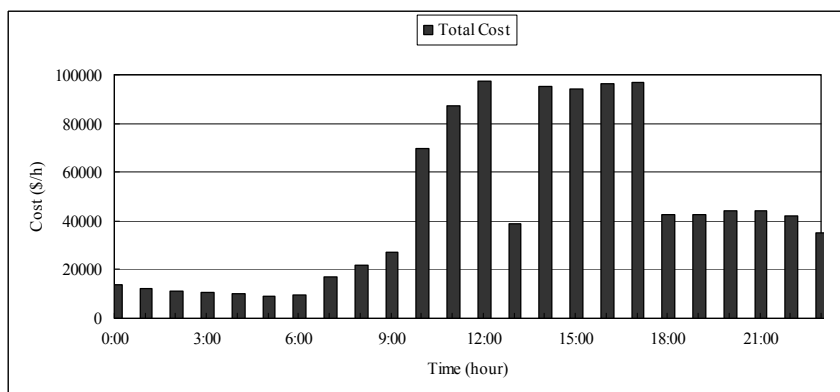


圖 20 併網運轉模式下微型電網之總發電成本

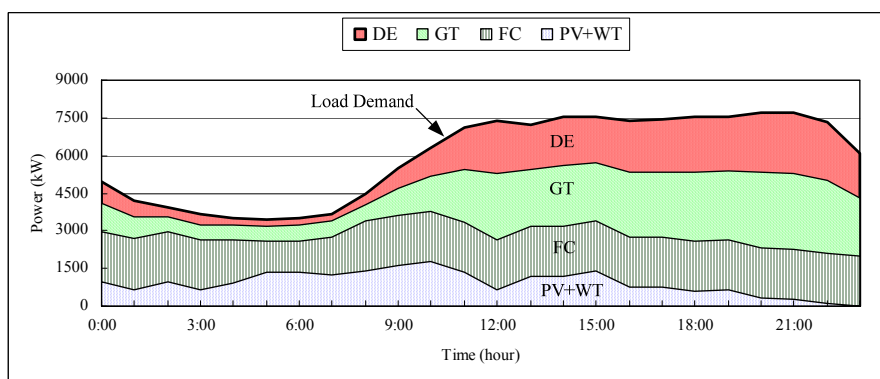


圖 21 孤島運轉模式下各分散式資源最佳調度模擬結果

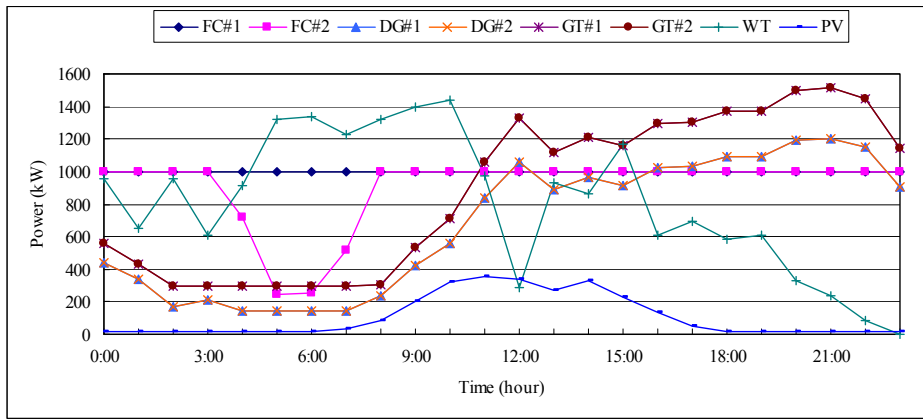


圖 22 孤島運轉模式下各分散式資源最佳輸出功率模擬結果

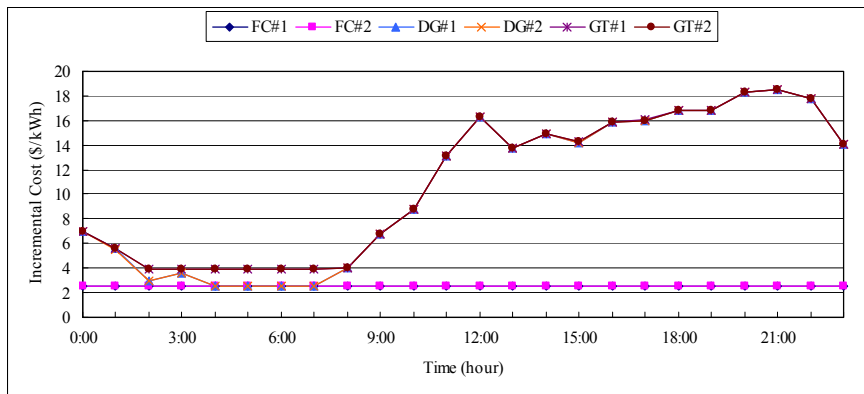


圖 23 孤島運轉模式下各分散式資源之遞增燃料成本

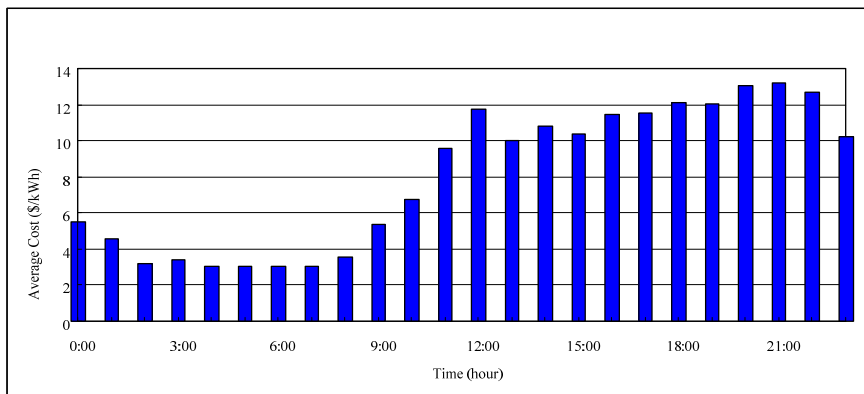


圖 24 孤島運轉模式下微型電網之平均遞增燃料成本

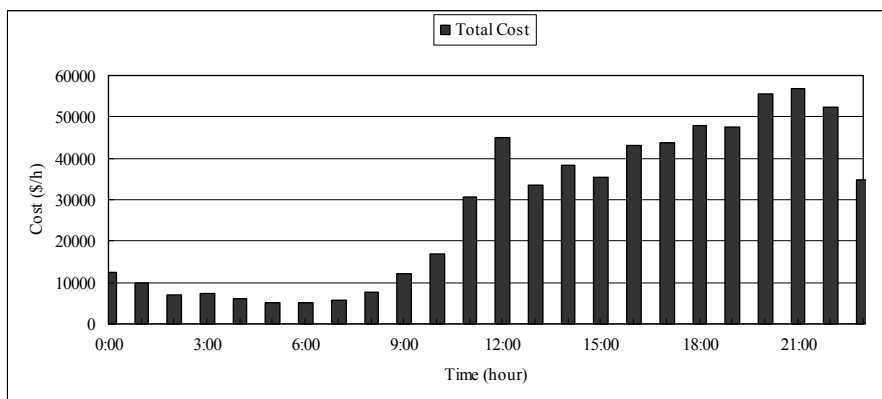


圖 25 孤島運轉模式下微型電網之總發電成本

## 六、参考文献

- [1] Faisal A. Mohamed, "Microgrid Modelling and Online Management," Dissertation, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2008.
- [2] F. A. Mohamed and H. N. Koivo, "Online management of microgrid with battery storage using multiobjective optimization," In Proc. of IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG 2007), Setúbal, Portugal, Apr. 2007.
- [3] Ryan Michael Firestone, "Optimal Real-time Dispatch for Integrated Energy Systems," Dissertation, University of California, Berkeley, USA, 2007.
- [4] C. A. Hernandez-Aramburo, T. C. Green, and N. Mugniot, "Fuel consumption minimization of a microgrid," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 3, pp.673-681, May/June 2005.
- [5] G. Celli, F. Pilo, G. Pisano, and G. G. Soma, "Optimal participation of a microgrid to the energy market with an intelligent EMS," Power Engineering Conference, 2005. IPEC 2005. The 7th International, Vol. 2, pp. 663-668.
- [6] F. Katiraei and M.R. Iravani, "Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 21, Issue 4, Nov. 2006, pp.1821-1831.
- [7] A. L. Dimeas and N. D. Hatziargyriou, "Operation of a Multiagent System for Microgrid Control," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, Issue 3, Aug. 2005, pp. 1447-1455.
- [8] A. M. Azmy and I. Erlich, "Online optimal management of pem fuel cells using neural networks," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, pp.1051-1058, April 2005.
- [9] Paolo Piagi, "Microgrid Control," Dissertation, University of Wisconsin, Madison, USA, 2005.
- [10] Rodolfo Dufo-Lopez, Jose L. Bernal-Agusti'n, Javier Contreras, "Optimization of control strategies for stand-alone renewable energy systems with hydrogen storage," Renewable Energy, Vol. 32, No. 7, pp.1102-1026, June 2007.
- [11] Feng Zhao P. B. Luh, Ying Zhao, J. H. Yan, G. A. Stern, S. C. Chang, "Bid Cost Minimization vs. Payment Cost Minimization: A Game Theoretic Study of Electricity Markets," IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp.1- 8, 24-28 June 2007.
- [12] C. Marnay, G. Venkataramanan, M. Stadler, A. S. Siddiqui, R. Firestone, B. Chandran, "Optimal Technology Selection and Operation of Commercial-Building Microgrids," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 23, Issue 3, May 2008, pp. 975-982.
- [13] F. Katiraei and M.R. Iravani, "Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 21, Issue 4, Nov. 2006, pp.1821-1831.
- [14] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, A. Dimeas, "Microgrid Management," IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 6, No. 3, May-June 2008, pp. 54-65.
- [15] A. M. Azmy, and I. Erlich, "Online Optimal Management of PEM Fuel Cells Using Neural Networks," IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 29, No. 2, April 2005, pp. 1051-1058.

- [16] C. A. Hernandez-Aramburo, T. C. Green, N. Mugniot, "Fuel consumption minimization of a microgrid," *IEEE Trans on Industry Applications*, Vol. 41, No. 3, May/June 2005, pp. 673-681.

## 七、成果自評

本年度研究重點主要集中在低壓及高壓交流微型電網系統之電能管理系統架構以及最佳機組調度等方面的學術文獻、資料與實務技術報告之蒐集、整理與探討，並接續第一年研究計畫持續以歐盟「微型電網」計畫所設計之交流低壓 400 V 微型電網作為最佳電能管理的研究範例，由於精簡報告篇幅有限，故其成果將呈現於相關論文發表；此外，在高壓微型電網電能管理之研究方面，亦以台電某二次變電所所屬之一台主變壓器以下所轄之 11.4 kV 一次配電饋線所構成之微型電網進行電能管理系統規劃與最佳電能管理調度，研究成果已達預期目標；然因相關研究仍持續進行中，故未能完整呈現研究成果，部分研究成果將分別呈現於第三年完整成果報告。本計畫所延伸之部分研究成果已整理完畢並投稿發表如下：

1. "Power Flow Analysis of a Low-Voltage AC Microgrid," The 30th Symposium on Electrical Power Engineering, November 28-29, 2009, Taoyuan, Taiwan, pp. 1-6.
2. "Sequential Three-Phase Power Flow Calculation for Radial Distribution Systems via Three-Phase Z-Bus Distribution Factor," The Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, December 7-9, 2009, Kaohsiung, Taiwan, pp. 647-651. **(EI)**
3. "Digital Control Design of Decentralized Stochastic Singularly-perturbed Large-scale Actuator Type Systems with Multiple Time-varying Delays," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 5, No. 11, pp. 3303-3311, December 2009. **(SCI, EI)**

此外，另有一篇文章投稿至 2010 IEEE CIS ("System Steady-State Analysis of a Low-Voltage Microgrid with Various Distributed Energy Resources," 2010 IEEE International Conferences on Cybernetics & Intelligent Systems, June 28-30, 2010, Singapore) **(EI)**且已被接受；後續相關研究成果也預定在國內外研討會或學術期刊上發表。

## 可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：99 年 05 月 31 日

<b>國科會補助計畫</b>	計畫名稱：整合多種分散型資源之微型電網研究—子計畫六：整合多種分散型資源之微型電網電能管理研究(2/3) 計畫主持人：黃維澤 計畫編號：NSC 97-2221-E-270-014-MY3 學門領域：EL
<b>技術/創作名稱</b>	整合多種分散型資源之微型電網電能管理研究
<b>發明人/創作人</b>	黃維澤
<b>技術說明</b>	<p>中文：</p> <p>本年度主要針對一次配電饋線所構成之高壓微型電網進行電能管理研究。由於，電能管理的目的乃整合分散型資源及可控制負載對微型電網執行最安全與最佳化之管理；因此，首要之務即以台電 11.4 kV 配電系統為參考標的，規劃、設計由一次配電饋線所構成之高壓微型電網進行電能管理研究，在此一系統架構下，探討高壓微型電網所需之功能與軟硬體設施，以及採用直接搜尋法求解在併網/孤島運轉模式下之最佳機組調度。本研究計畫的研究成果有助於未來電力相關產業開發高壓微型電網之電能管理系統，不僅對於我國發展區域獨立穩定電網有正面之助益，亦可以達到提高電力供應品質、減少溫室氣體排放等目的。</p> <p>英文：</p> <p>The second year of this project aims to study the electrical energy management (EEM) of the high-voltage microgrid that formed with primary feeders. The major purpose of the EEM for the microgrid is to manage the multiple distributed energy resources (DERs) and controllable loads with safety and optimization. Therefore, referring to the 11.4 kV distribution systems of Taiwan Power Company (Taipower), a high-voltage microgrid with primary feeders are designed as the sample system for the EEM studies. Based on this sample system, not only the essential functions and characteristics of the EEM are discussed and assessed, but also the optimal unit dispatch under the grid-tied and islanded operation modes are derived and evaluated by the direct search method (DSM). The outcomes of the second year are helpful for the utilities and related industries while developing the EEM systems of high-voltage microgrid in Taiwan. Furthermore, the study outcomes will pave the way for the development of autonomous grids, and increase the reliability of power supply, as well as reduce the greenhouse gas emissions.</p>
<b>可利用之產業 及 可開發之產品</b>	<p>可利用之產業：電力產業、再生能源產業、資通訊產業。</p> <p>可開發之產品：分散型資源電能管理之相關產品。</p>

<p style="text-align: center;"><b>技術特點</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一次配電饋線所構成之微型電網規劃、運轉與電能管理等相關學術文獻、資料與實際能源管理技術報告之蒐集、整理與探討。</li> <li>2. 整合各種分散型資源與可控制負載於一次配電饋線所構成之微型電網之系統架構及其併網/孤島運轉方式之探討與分析。</li> <li>3. 整合各種分散型資源與可控制負載於一次配電饋線所構成之微型電網電能管理所需之功能及其軟硬體設施之探討與分析。</li> <li>4. 完成適用於一次配電饋線所構成之微型電網之負載預測、負載計算及負載管理策略等相關公式之推導與程式撰寫。</li> <li>5. 利用隱含式 <math>Z_{BUS}</math> 高斯法結合敏感因子法完成適用於一次配電饋線所構成之微型電網之即時三相電力潮流求解公式之推導與程式撰寫。</li> <li>6. 採用直接搜尋法完成適用於一次配電饋線所構成之微型電網最佳電能管理模式之推導與程式撰寫。</li> <li>7. 整合前述步驟之系統架構、運轉模式、分散型資源控制方式、負載計算、即時電力潮流計算與最佳化電能管理模式建立含電能管理模組之一次配電饋線所構成之微型電網模擬系統，並據之以模擬、分析各種運轉情況。</li> </ol>
<p><b>推廣及運用的價值</b></p>	<p>本計畫完成後，有助於國內發展高壓微型電網之電能管理系統，並提供電力相關產業參考。</p>

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。