行政院原子能委員會

委託研究計畫研究報告

通用型電網作業系統之雛型發展研究

Study on the prototype development of general electric power operating system

計畫編號：NL1060376

受委託機關(構)：國立成功大學工程科學系

計畫主持人：廖德祿

聯絡電話：06-2757575 #63337

E-mail address：tlliao@mail.ncku.edu.tw

協同主持人：郭瀚鴻、吳毓庭、簡尊彝

研究期程：中華民國 106 年 4 月至 106 年 12 月

研究經費：新臺幣捌拾捌萬元

核研所聯絡人員：陳昌國

報告日期：2017 年 12 月 15 日

目　錄

中文摘要.....1
ABSTRACT.....2
壹、計畫緣起與目的.....3
一、 計畫背景 3
二、 計畫目的及重要性 4
貳、研究方法與過程.....6
一、開發環境介紹-核研所 EOS 實驗室 6
二、開發平台-華碩嵌入式系統 TINKER BOARD 介紹 7
三、開發平台-開放式作業系統 TINKER OS 介紹 8
四、嵌入式系統通訊介面電路設計 9
五、通用型電網作業系統整合與實現 11
六、能源驅動程式開發(MODBUS RTU)-以七泰數位電表為例..... 12
七、能源驅動程式開發(MODBUS TCP)-以施耐德逆變器為例 17
八、能源服務程式設計 22
九、外部通訊-伺服器建立 25
參、主要發現與結論.....26
肆、參考文獻.....27

中文摘要

智慧型區域電網(Smart Grid)是這幾年許多先進國家紛紛投入研發的技術，同時也將智慧型區域電網的發展趨勢，一併列為再生能源發展政策的重要目標。目前國內發展智慧型區域電網的管理系統，均使用付費作業系統(Windows)及相應之應用軟體(LabView)搭配一般桌上型電腦開發而成，因此在建立智慧型區域電網管理系統，往往必須提高許多成本，更因為不同供應商或廠家所發展的分散式能源設備相容性差，無法即時併入電網系統達成智慧區域電網調度共享。因此，日後將智慧型區域電網的技術推廣並普及化給客戶使用時，因相容性不足將會變得難以推廣，導致客戶端使用意願會降低，進而無法將分散式能源有效的運用。

本計畫提出「通用型電網作業系統之雛型發展研究」，係以降低發展智慧型區域電網的成本與提高分散式能源設備相容性為主要目標，開發並設計一可運行於嵌入式系統之價格低廉且具有可移植性(Portable)的開放式作業系統，並結合現有分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)進行智慧型區域電網的管理與調度。為實現上述之目的，本計畫分成下列三項目執行(1) 採用開放式作業系統與嵌入式系統作為開發能源作業系統之工具；(2) 建立嵌入式系統通訊介面驅動程式設計技術；(3) 建立通用型電網作業系統故障偵測與排除之功能。

Abstract

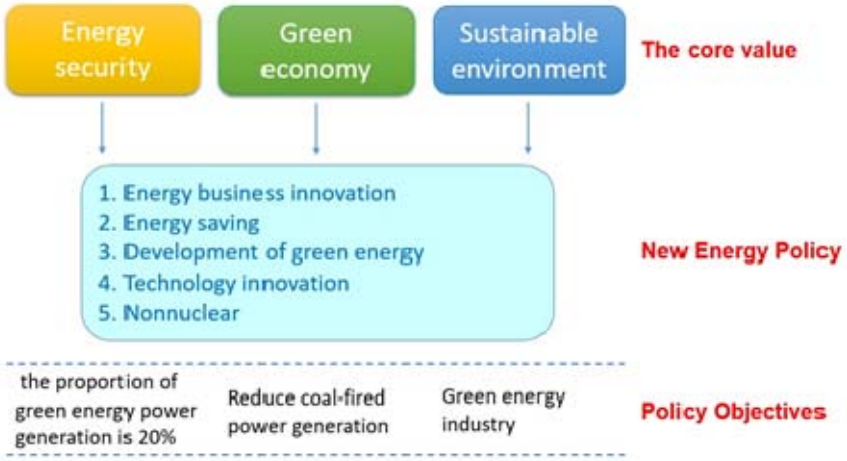
Smart Grid is a technology which has been invested and developed in recent years. The development trend of smart grid is of importance in renewable energy development policy in Taiwan. The current domestic development of smart grid management system is based on using commercial operating system (Windows) with corresponding application software (LabView) on a desktop computer. Such arrangement induces the costs raised greatly in the establishment of smart grid management system. And derives many compatible issues from integration of Distributed Energy Resources (DER) from different suppliers or manufacturers, which hinders the smart grid implemented into the grid system to achieve efficiently dispatch.

This project "Study on the prototype development of general electric power operating system," is aimed at reducing the cost of developing smart grid and improving the compatibility of DER. To achieve the goal, we separate the entire work into three phases: (1) To develop a general electric power operating system with open-source operation system (Linux) and embedded system; (2) To establish the communication interfaces; (3) To establish the functions of fault detection and exclusion.

壹、計畫緣起與目的

一、計畫背景

台灣是個缺乏自產能源的國家，高度仰賴進口能源達 97%以上，能源安全體系脆弱，一旦國際情勢變化，價格上揚，負擔的成本就更大。因此，發展能源技術、提高能源供應自主性，是尋求能源安全刻不容緩的重要課題。另外，為了全球自然環境的永續發展，積極推動減碳運作機制是必須的發展規劃。「高效率」且「潔淨」的能源技術開發，是目前國內能源技術發展的重要目標。配合政府新能源發展目標：能源安全、環境永續、綠色經濟(圖一)，相關政策如 2025 年綠能發電比例提升至 20%、碳排放回到 2000 年的水準、提高能源自給率達成 2025 年非核家園之願景。



圖一、新政府能源政策發展示意圖

蔡總統於 2016/2/29 與南科廠商座談時表示：「新政府未來將積極投入節能、儲能、創能、智慧系統整合等四大綠能產業主軸，並鼓勵廠商走向整廠規劃、整套解決方案的出口，進而打造台灣自己的綠能品牌」。為配合此一政策，本計畫以嵌入式電腦與開放式作業系統為核心架構;並在此架構上運用資訊與通訊技術(Information and Communication Technology, ICT)技術，整合各式廠家之分散式

能源設備；同時提供各式應用軟體，使再生能源能方便且有效地獨立運轉或併入電網發電，達成「智慧系統整合」及能源資源管理目標。

二、計畫目的及重要性

智慧型區域電網(Smart Grid)，是一種現代化的電力網路。利用數位訊號偵測與收集供應端電力供應狀況，再用這些資訊來調整電力的生產與輸配，以達到節約能源、降低耗損、增強電網可靠性之目的。近年來，智慧型區域電網被許多政府認為是一種能夠有效減少能源依賴，減緩全球溫室效應的措施。而在美國歐巴馬前總統宣布將智慧型區域電網計畫納入振興經濟方案後，這項技術更引起世界各國的重視。在台灣，由於國內天然礦產資源的欠缺，絕大部分的石油燃料都是由國外進口，如何將分散式能源有效得整合到電力系統中，是未來台灣再生能源政策發展的主要目標。

然而，目前國內發展的智慧型區域電網管理系統，均是使用付費作業系統(Windows)及軟體(LabView)搭配一般桌上型電腦開發而成，為此在建立智慧型區域電網管理系統，勢必提高許多成本，更因為不同供應商或廠家所發展的分散式能源設備相容性差，無法即時併入電網系統達成智慧區域電網調度共享，未來想將此智慧型區域電網的技術大量技轉給客戶使用時，會變得更難以推廣，客戶使用意願也會降低，進而無法將再生能源有效的運用。

因此，如何建立較具競爭優勢的通用型再生能源作業系統，完成各式廠家設備能源驅動程式及能源服務程式之開發，以及建構一隨插即用之能源作業系統，以低成本的標準化模組提供能源產業具體應用是本計畫技術上的決勝點，也是達成實用性的關鍵。

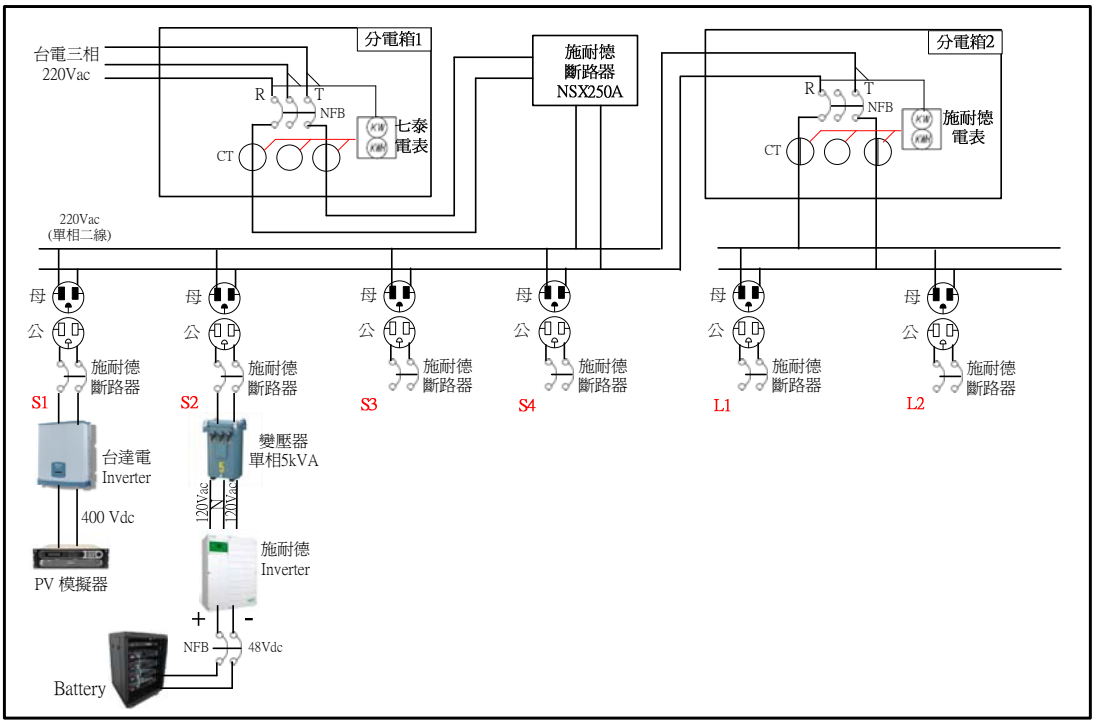
本計畫主要目的在於建立一具競爭優勢之通用型電網作業系統，完成各式廠家設備能源驅動程式及能源服務程式之設計，以標準化的模組提供能源產業具體應用。為實現上述目的，本計畫可分為下列兩個研究主軸：(1)以嵌入式系統取代傳統桌上型電腦做為系統平台以降低該系統操作及維護之成本；(2)利用開放式作業系統(Linux)開發能源驅動程式及能源服務程式，扮演應用程式與電網硬體溝通的角色，居中協調及管理電網的軟硬體資源。

貳、研究方法與過程

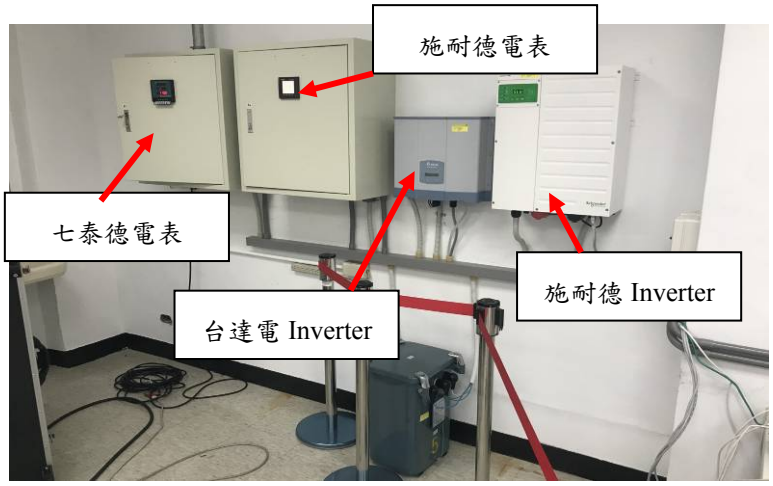
為達成本計畫的目標：(1)以嵌入式系統取代傳統桌上型電腦做為系統平台；(2)利用開源的作業系統(Linux)開發能源驅動程式及能源服務程式。我們可將本研究分成下列九項目說明：

一、開發環境介紹-核研所 EOS 實驗室

為了能驗證本計畫是否有達到上述兩項研究目標，本研究團隊將開發完成的通用型再生能源作業系統雛型，安裝於核能研究所 001 館 314 室 EOS 實驗室，搭配該實驗室內的分散式能源設備實際上線運轉進行功能驗證，下圖二為測試場域單線圖。



圖二、測試場域 EOS 實驗室單線圖



圖三、測試場域 EOS 實驗室分散式能源設備

二、開發平台-華碩嵌入式系統 Tinker Board 介紹

本計畫開發平台採用華碩嵌入式系統Tinker Board，Tinker Board是一款基於Linux的超小型單板電腦(Single Board Computer, SBC)，此單板電腦為國內知名電腦製造商華碩在2017年初所發表的新產品。Tinker board搭載最新、強大的四核心ARM處理器Rockchip RK3288，效能明顯優於其他常見的SBC板。該單板電腦同時也搭載2GB LPDDR3雙通道記憶體，可靈活因應不同的設備和專案。Tinker Board也配備SD 3.0介面，大幅加快讀取和寫入作業系統、應用程式和檔案儲存裝置的可擴充式microSD卡的速度。Tinker Board為使用者提供標準連線選項，包括40 pin的GPIO介面，支援按鍵、開關、感應器、LED等各種輸入。Tinker Board配備一個DSI MIPI介面，供顯示器和觸控螢幕使用；更搭載全尺寸HDMI輸出介面，還擁有四個USB 2.0連接埠，提供廣泛的周邊設備和配件連線能力。Tinker Board的PCB尺寸和拓樸皆與標準SBC板一致，能支援各式各樣的機殼和實

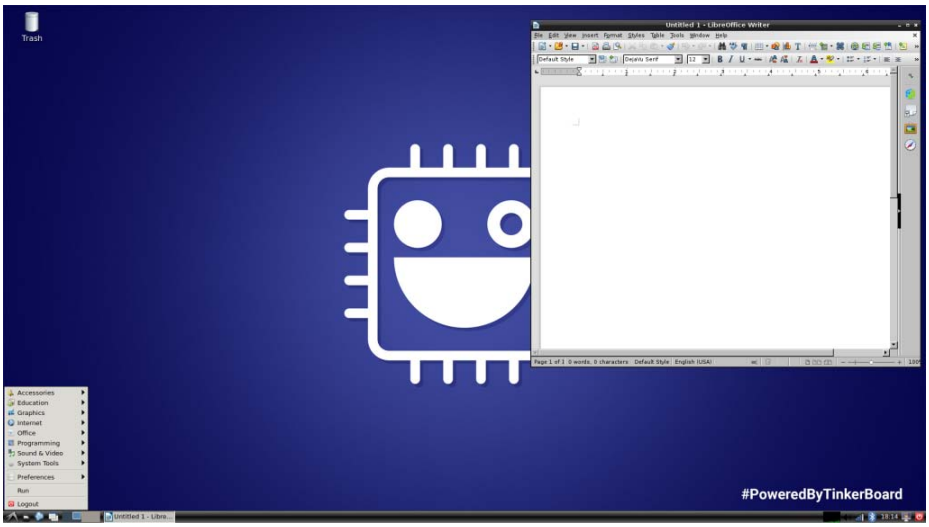
體配件。華碩單板電腦Tinker Board正反面實體圖如圖四所示。

圖四、華碩單板電腦Tinker Board正反面實體圖

三、開發平台-開放式作業系統 Tinker OS 介紹

Linux是一種開放原始碼的類UNIX作業系統，Linux的低成本、強大的客製功能以及良好的移植效能，使得Linux在針對實時作業或嵌入式系統的開發方面得到廣泛應用。目前，超過三百個發行版被積極的開發，最普遍被使用的發行版有大約十二個，較為知名的有Debian、Ubuntu、Fedora和openSUSE等。

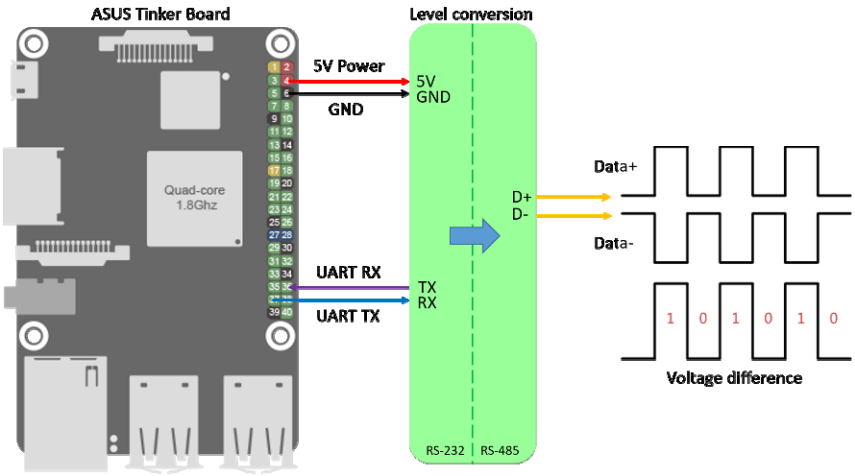
而本計畫所使用的作業系統是華碩電腦以Debian為基礎所開發出的TinkerOS，TinkerOS經過精心設計，體積小且反應迅速，在基本Linux Debian 9上執行的是LXDE桌面環境，此GUI專為SBC板最佳化，還搭載隨插即用的NTFS支援，能輕鬆存取以 Windows為基礎的隨身碟和外接硬碟。TinkerOS也包含一些常見的應用程式，能輕鬆編寫程式及研發，包括IDLE/Python以及 Squeak/Scratch。圖五為開源作業系統TinkerOS LXDE桌面環境。



圖五、開源作業系統TinkerOS LXDE桌面環境

四、嵌入式系統通訊介面電路設計

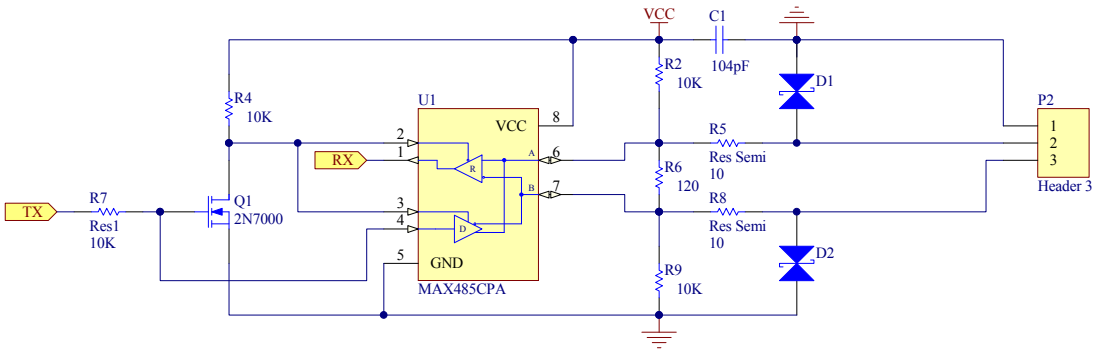
為了能夠與分散式能源設備進行通訊，必須將 Tinker Board 上所提供之 RS-232 (TTL Level)串列通訊介面轉換成分散式能源設備所支援之 RS-485 通訊介面。其示意圖如下圖六所示：



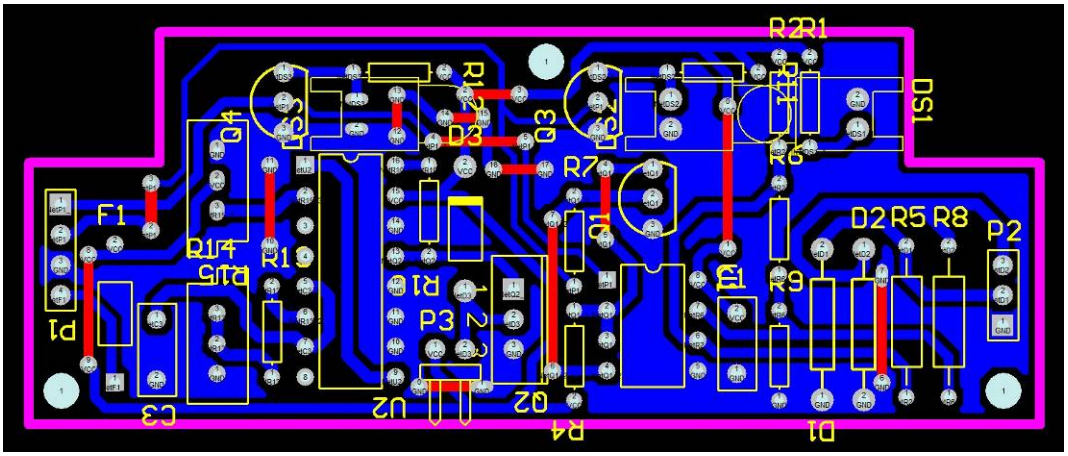
圖六、嵌入式系統Tinker Board通訊埠訊號轉換示意圖

為了能達成上述訊號準位轉換目的，必須透過電路設計來完成上圖六中Level conversion的功能(綠色區塊處)。在本計畫中，此電路是

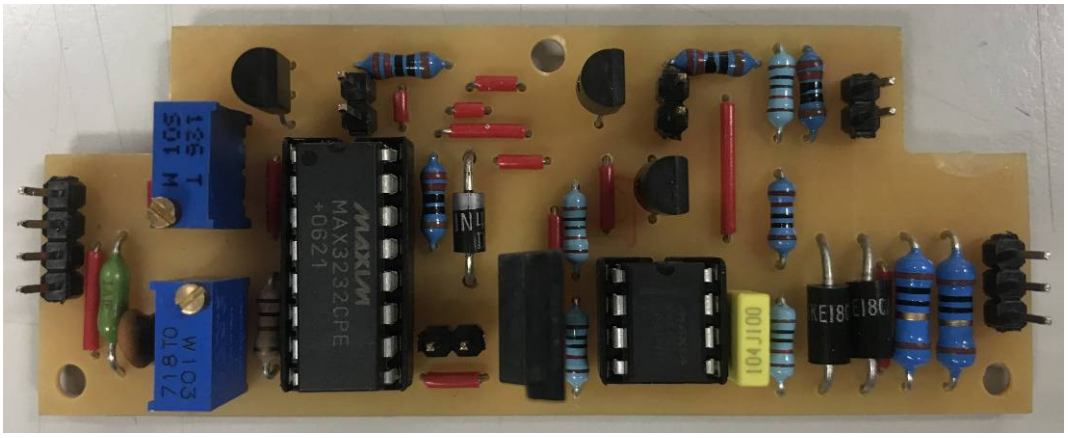
由美商美信半導體所生產之MAX485晶片為核心所組成，詳細電路設計如下圖七所示。MAX485為訊號通訊晶片，可實現UART串列埠與RS-485的信號轉換，執行半雙工RS-485傳輸，其傳輸速率可達500Kbps。而在電路的輸出端，採用TVS二極體提供Tinker Board正負15KV的ESD防護；同時也加入具有四分之一單位負載接收器輸入阻抗及10Ω的電流保護電阻，可支援多設備通訊。MAX485通訊介面電路如圖八、九所示。



圖七、MAX485通訊介面電路



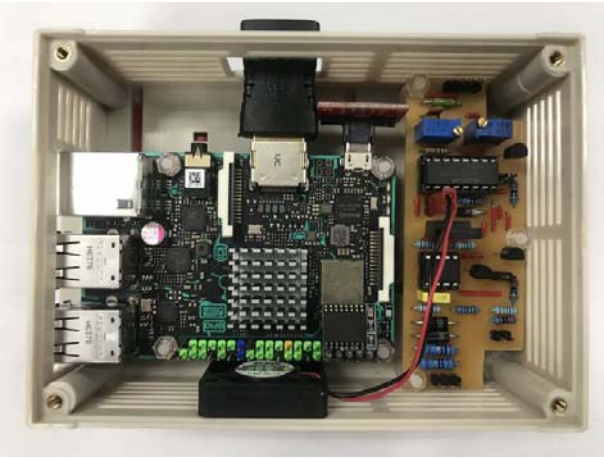
圖八、MAX485通訊介面電路layout圖



圖九、MAX485通訊介面電路實體圖

五、通用型電網作業系統整合與實現

為了能在系統的開發過程中得以快速地進行功能驗證，本研究團隊將華碩單板電腦Tinker Board及嵌入式系統介面電路等開發平台，整合設計到一系統裝置中，並加入端子台以利本計畫開發平台與分散式能源設備連接。其裝置外觀及內部硬體構造如下圖十、圖十一所示。



圖十、裝置內部硬體構造

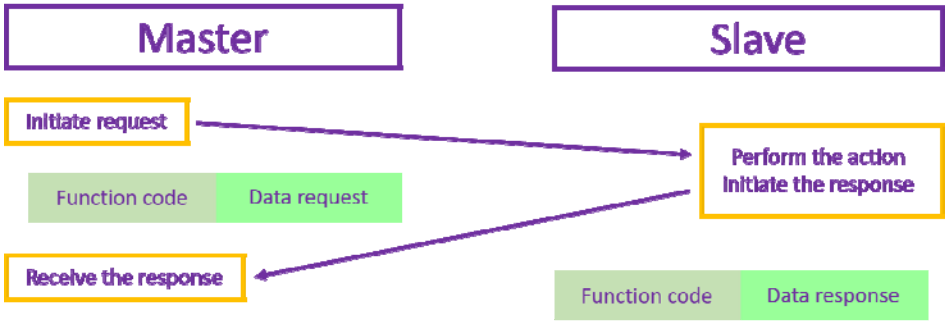
圖十一、裝置外觀實體圖

六、能源驅動程式開發(Modbus RTU)-以七泰數位電表為例

本計畫中所使用之分散式能源設備共計有四項，其中三項分散式能源設備之通訊協議係遵循Modbus RTU標準進行溝通、資訊交換及設備控制。Modbus通訊協定是遵循主端(Master)及僕端(Slave)的通訊步驟，由一方扮演主端角色採取主動詢問方式，送出Query Message給僕端，然後由僕端依據接到的Query Message內容準備相對應的Response Message回傳給主端。即使目前硬體設備的能力已經可以達到雙方互相主動通訊的水準，但是礙於Modbus通信協議的規定，必須一方為主端，另一方為僕端不能互換角色。圖十二為Modbus通訊協議主僕通訊示意圖。

在本計畫的系統配置中，人機介面系統(HMI)扮演的就是主端角色，而逆變器、電表、斷路器等則為僕端，人機介面系統會透過平行處理(Parallel Computing or Parallel Processing)的方式一直Polling

Slave的各種relay and register最新數值，然後做資訊顯示、邏輯計算及控制調整等處理。

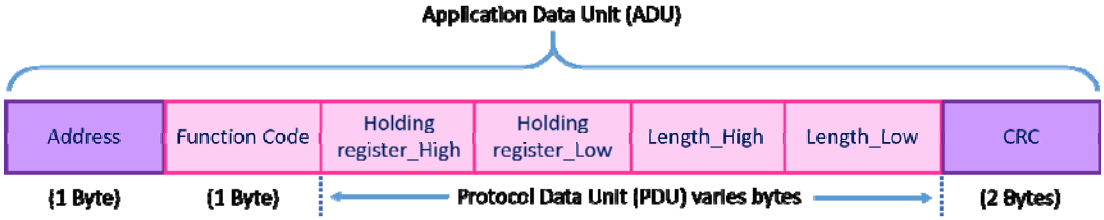


圖十二、Modbus通訊協議主僕通訊示意圖

目前Modbus通訊協定又可分為Modbus ASCII(American Standard Code for Information Interchange)模式與Modbus RTU(Remote Terminal Unit)模式兩種傳送方式，Modbus ASCII顧名思義就是以ASCII碼的方式來傳輸，Modbus RTU則是以二進制的方式來傳輸，二者又以RTU的方式傳輸速度較快，而本計畫中所使用之分散式能源設備也大多以Modbus RTU的協議進行通訊，以下將針對其傳輸格式以及在本計畫開發平台中的實際應用進行說明。

1. Modbus RTU通訊格式

Modbus RTU為不固定長度封包，其長度取決於PDU(Protocol Data Unit)資料大小，每次傳送均為8 Bits，封包格式如下圖十三所示；Modbus封包無結束訊號，結束之判定使用Time Out機制，一定時間內(例如：1ms)沒接收到下一筆資料即判斷為封包結尾。



圖十三、Modbus RTU通訊格式示意圖

- Address

  所有連線的裝置均會收到Modbus Command，每個裝置均擁有唯一的Address，若Command的Device Address與Slave裝置的Address符合，即該指令對象為該Slave裝置。

- Function Code

  Modbus Command支援數種Function，依據Function不同，Slave裝置會執行不同的動作。例如：當Command為0x03時(讀取功能)，Slave會回傳特定暫存器數值回Master。

- Holding register(High & Low)

  每個Slave裝置上為符合Modbus協定，都會規劃一區塊為Holding Register供Master存取，Holding Register(High & Low)為Holding Register的位址，並分為High Byte以及Low Byte。

- Length(High & Low)

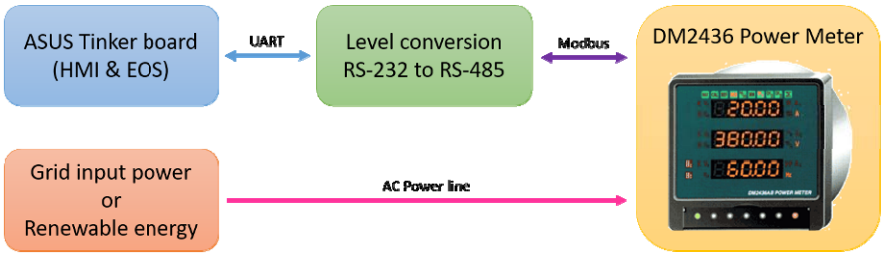
  指定存取自Holding Register(High & Low)起的數個暫存器，例如：Lenth_High = 0x00、Lenth_Low = 0x02，即表示存取從指定Holding Register起的兩個暫存器。

➢ CRC

循環冗餘校驗(Cyclic redundancy check)是一種根據網路資料封包或電腦檔案等資料產生簡短固定位數驗證碼的一種雜湊函數，主要用來檢測或校驗資料傳輸或者儲存後可能出現的錯誤。

2. Modbus RTU於研究計畫中的實際應用

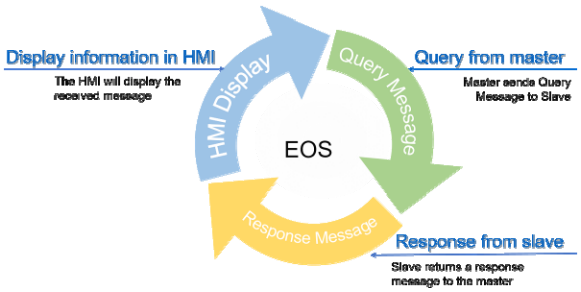
介紹完Modbus RTU通訊格式後，接下來討論Modbus RTU通訊格式的實際應用。本計畫共有三項分散式能源設備是遵循Modbus RTU通訊協定與外部進行通訊，為了實現計畫目標(2)利用開放式作業系統(Linux)開發能源驅動程式及能源服務程式，我們透過Python程式進行通用型電網作業系統的人機介面(HMI)及能源驅動程式之開發。以下就以其中一項遵循Modbus RTU通訊協定的分散式能源設備-七泰數位電表DM2436為例進行說明。圖十四為系統與數位電表DM2436通訊示意圖。



圖十四、系統與數位電表DM2436通訊示意圖

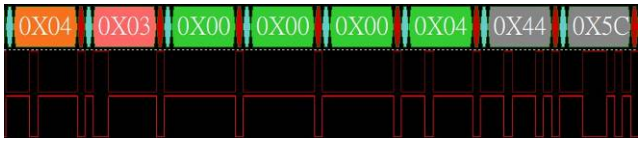
作業系統開始運行時，因遵循Modbus RTU通訊協定，系統會先針對要顯示的資訊向電表提出Query Message的要求。接著電表以

Response Message回應相對應的資訊給系統，系統再將收到的資訊經過邏輯運算後再把資訊即時傳送到本計畫所完成之通用型電網作業系統的人機介面(HMI)上進行顯示。圖十五為系統與數位電表DM2436通訊流程圖。

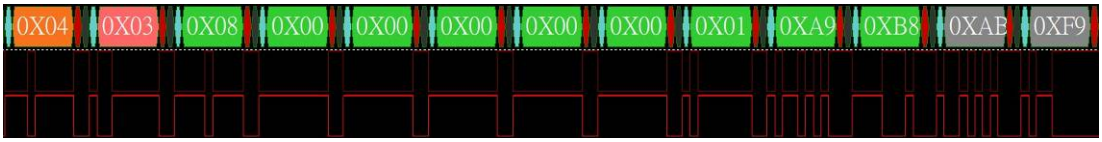


圖十五、本計畫開發平台與數位電表DM2436通訊流程圖

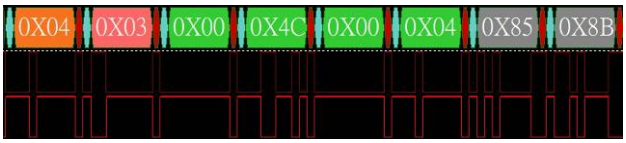
為了能夠在驅動程式開發與除錯的過程中，可即時解析系統與數位電表之間通訊封包(如圖十六-圖二十一)，本計畫採用邏輯分析儀(Logic Analyzers)來進行Modbus RTU訊號解碼。



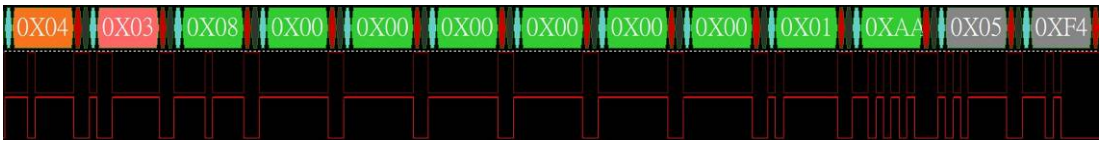
圖十六、系統對電表提出電壓之Query Message封包



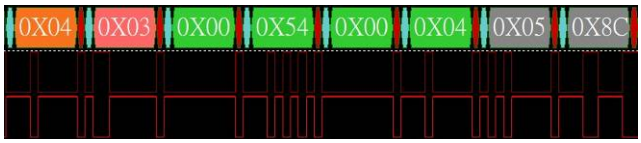
圖十七、電表回傳電壓之Response Message封包



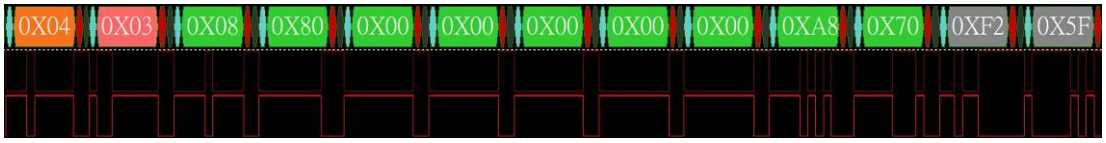
圖十八、系統對電表提出電流之Query Message封包



圖十九、電表回傳電流之Response Message封包



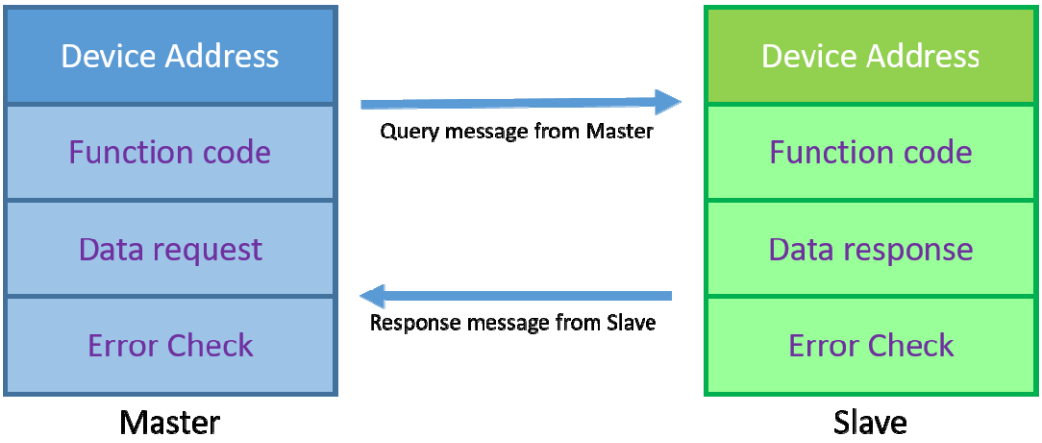
圖二十、系統對電表提出功率之Query Message封包



圖二十一、電表回傳功率之Response Message封包

七、能源驅動程式開發(Modbus TCP)-以施耐德逆變器為例

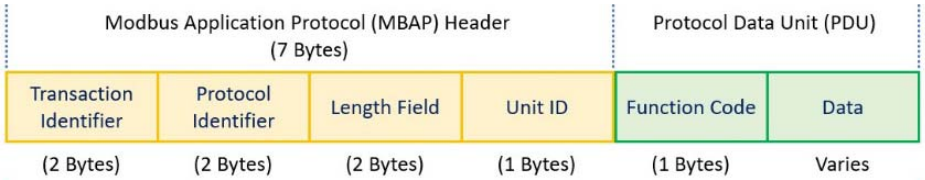
在本計畫中所使用的分散式能源設備，除了有前文說明過的Modbus RTU，其中有兩項設備使用是與Modbus RTU通訊協定相似的Modbus TCP。Modbus TCP和Modbus RTU兩個通訊協定的基礎都是建構在Modbus協定上，皆倚靠Modbus暫存器地址來交換資料數據，但兩者使用的通訊界面大不相同，前者使用的是乙太網路通訊埠；後者則是使用一般串列通訊埠，如RS-232C、RS-485、RS-422等。圖二十二為Modbus TCP通訊協議主僕通訊示意圖。



圖二十二、Modbus TCP通訊協議主僕通訊示意圖

1. Modbus TCP通訊格式

Modbus TCP通訊格式包含了Modbus Application Protocol (MBAP) Header，透過Modbus PDU連接起來。MBAP是一種通用的標頭，仰賴穩定的網路層進行資料交傳輸。圖二十三顯示了這個包含標頭在內的ADU (Application Data Unit)格式。



圖二十三、Modbus TCP通訊格式

➢ Transaction Identifier

傳送識別碼長度為2 Bytes，用以確認傳送與接收封包是否對應，一般是由Master編號之，以區分每次Message。如果是Slave則將Master傳來的Query Message照轉至Response Message。

- Protocol Identifier

  通訊協定識別碼長度為2 Bytes，在Modbus的協定中，Master與Slave會回覆相同的識別碼，此處暫存器數值固定為0x00。

- Length Field

  資料長度暫存器為2 Bytes的大小，此暫存器功能主要為告知Master與Slave兩端後續資料長度為多少(由Unit ID算起至PDU Data的最後一筆資料)，例如：Length Field = 0x07，表示在此暫存器後有跟著7 Bytes的資料。

- Unit ID

  單元識別碼長度為1 Byte，此暫存器功能與Modbus RTU的Address暫存器一樣，作為遠端Slave設備辨識碼。

- Function Code

  與Modbus RTU一樣，Modbus TCP支援數種Function，依據Function不同，Slave裝置會執行不同的動作。

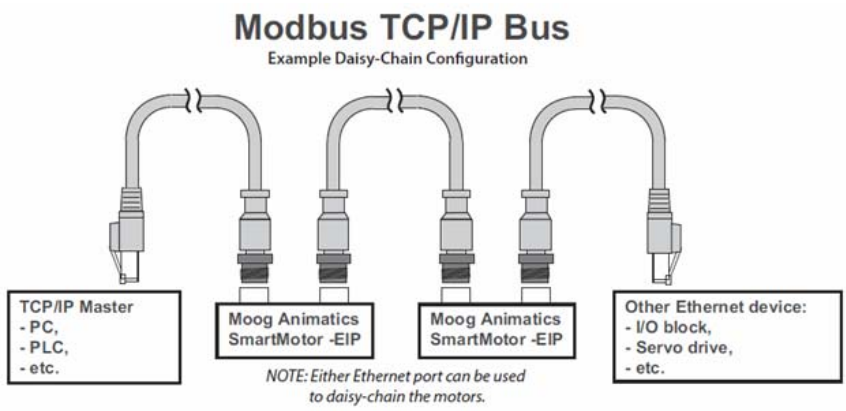
- Data

  Modbus TCP的Data暫存器與Modbus RTU的Length暫存器功能一樣，指定存取自Holding Register(High & Low)起的數個暫存器。

2. Modbus TCP 於本計畫中的實際應用

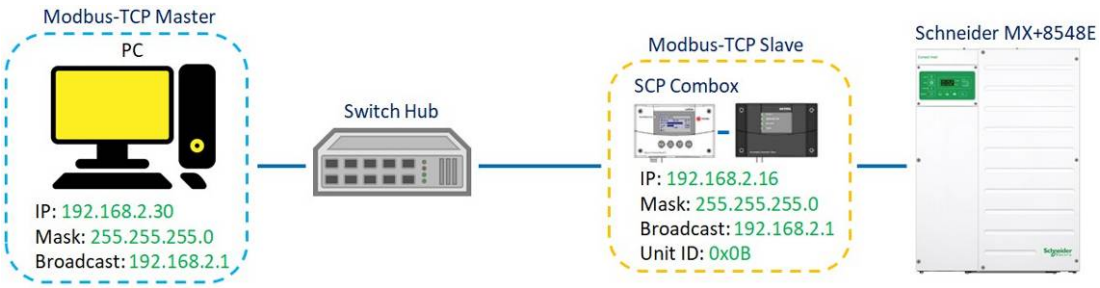
在本計畫中僅有一項分散式能源設備使用 Modbus TCP 通訊格

式，此格式通訊介面並非使用傳統串列埠進行資料傳送；而是以乙太網路所使用的連結器插頭 RJ-45 作為與外部設備連接的端口。

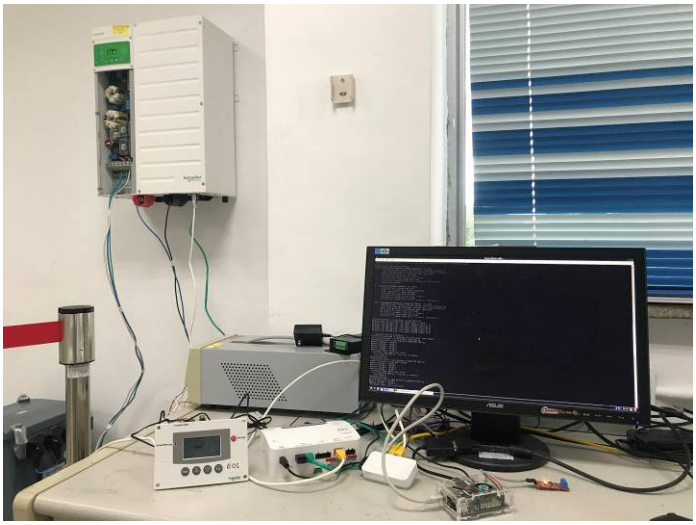


圖二十四、Modbus TCP 通訊介面

因為使用乙太網路進行資料傳輸，故須將所有設備 IP 位址設定為同一區段方可進行通訊，測試環境及測試結果如下圖二十五至二十七所示。



圖二十五、Modbus TCP 通訊示意圖



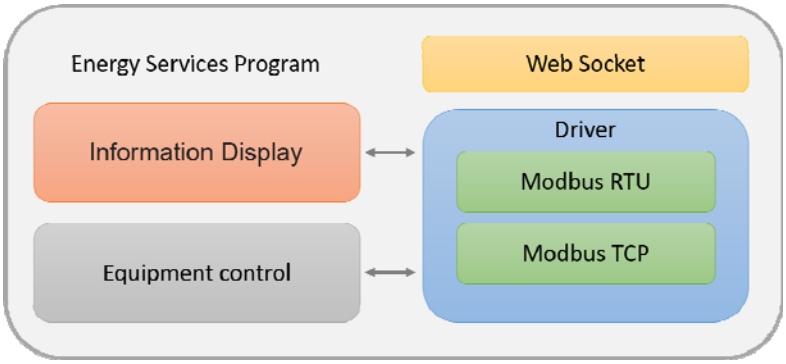
圖二十六、Modbus TCP 測試環境

圖二十七、Modbus TCP 測試結果

八、能源服務程式設計

為了方便使用者控制分散式能源設備及觀察其電力資訊，本研究團隊使用 Qt Designer 軟體開發一能源服務程式。Qt Designer 是一跨平台的應用程式開發框架，廣泛用於開發 GUI 程式 Qt Designer 使用於市售之商業軟體，以及被許多知名公司企業如：歐洲太空總署、夢工廠、Google、HP、盧卡斯影業、西門子公司、三星集團、飛利浦、Panasonic 所使用。Qt Designer 不但擁有了完善的圖形函式庫，而且近年來的版本逐漸整合了資料庫、OpenGL 函式庫、多媒體函式庫、網路、指令碼函式庫、XML 函式庫、WebKit 函式庫等等，其核心函式庫也加入了行程間通訊、多執行緒等模組，極大的豐富了 Qt Designer 開發大規模複雜跨平台應用程式的能力。

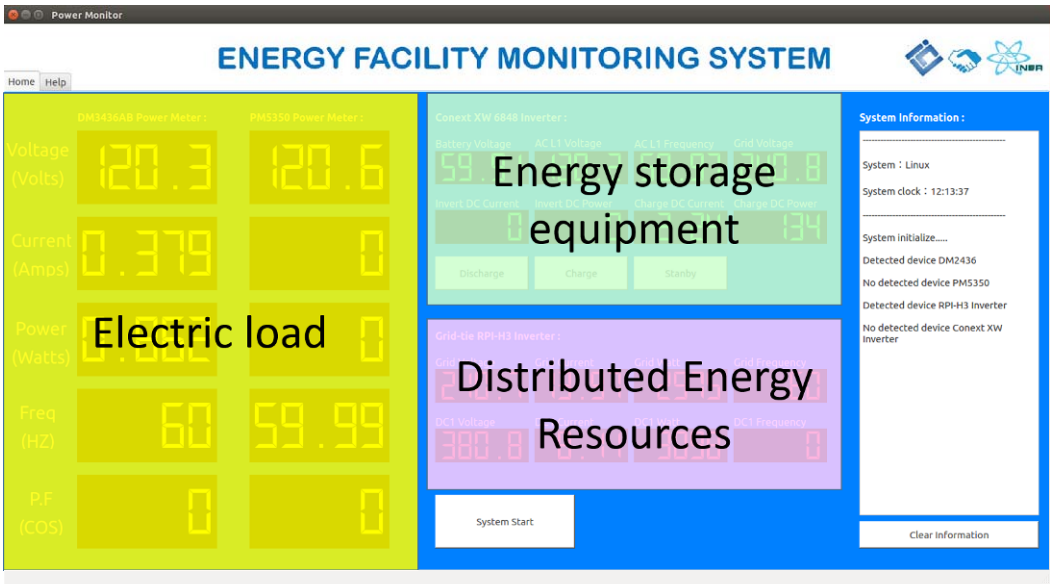
本計畫所開發之能源服務程式係以電網電力資訊顯示及分散式能源設備控制為主要功能，其程式標準框架橫跨開放式系統互聯通訊參考模型(OSI Model)主機層與媒介層，以下就針對上述兩項主要功能進行細部說明。圖二十八為能源服務程式架構圖。



圖二十八、能源服務程式架構圖

1. 電網資訊顯示

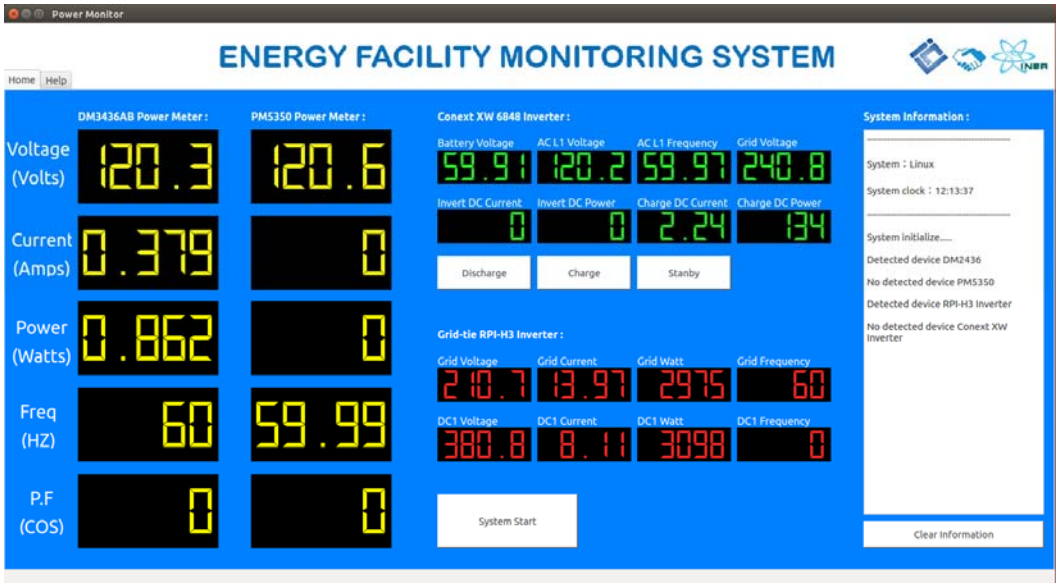
本計畫透過能源服務程式的設計，將安裝於電網中的分散式能源設備電力資訊呈現給使用者，電網資訊內容包括：配置於分電箱一、二的 DM2436 七泰數位電表及 PM5350 施耐德數位電表、台達電併網型逆變器、施耐德雙向逆變器等四項分散式能源設備所量測到之電壓、電流、功率、頻率、充放電參數。本研究團隊為使電網資訊更能方便觀測，因此將四項分散式能源設備區分為電力負載、儲能設備、分散式能源三大區塊作為版面配置，其配置如下圖二十九所示。



圖二十九、能源服務程式版面配置

本研究團隊也在能源服務程式中規劃一對話視窗，將目前通用型電網作業系統狀態即時的顯示在畫面右方的 System information 中，使用者也能透過對話框下方的按鈕(Clear information)將對話框

中的內容清除。能源服務程式完整畫面如下圖三十所示。

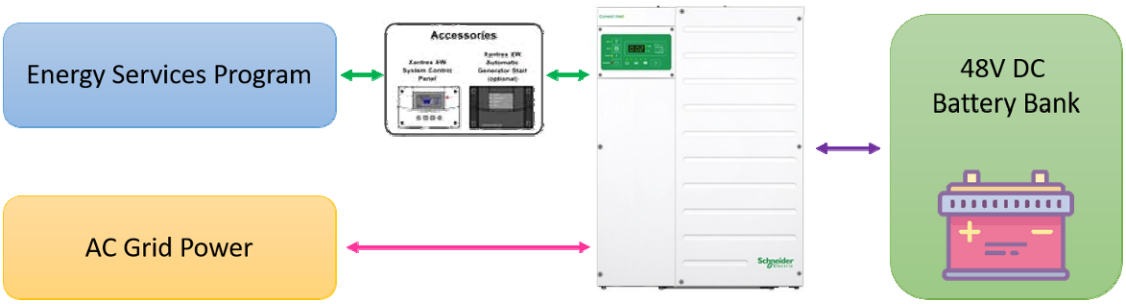


圖三十、能源服務程式人機介面

2. 儲能設備充放電模式控制

本計畫中，使用者能透過能源服務程式中的三個按鈕對儲能設備進行充放電模式控制，此三項模式分別如下：

- 充電模式(按鈕 Discharge) –電網市電透過逆變器對電池充電
- 放電模式(按鈕 Charge) –電池透過逆變器對電網市電放電
- 待命模式(按鈕 Standby) –暫停雙向逆變器一切動作



圖三十一、施耐德雙向逆變器控制示意圖

九、外部通訊-伺服器建立

為了達到本計畫對外部通訊的目標，本研究團隊在通用型電網作業系統中建立一伺服器，並透過 Web Socket 的方式將能源服務程式中的電網資訊同步傳送到外部網頁上顯示。Apache HTTP Server(簡稱 Apache)是 Apache 軟體基金會的一個開放原始碼的網頁伺服器軟體，可以在大多數電腦作業系統中運行，由於其具備跨平台和安全性功能，因此被廣泛使用，是最流行的 Web 伺服器軟體之一。它快速、可靠並且可通過簡單的 API 擴充，將 Perl/Python 等直譯器編譯到伺服器中。

參、主要發現與結論

本計畫旨在建立一具競爭優勢之通用型電網作業系統雛型，以降低發展智慧型區域電網的成本與提高分散式能源設備相容性為主要目標，開發並設計一可運行於嵌入式系統之價格低廉且具有可移植性的開放式作業系統，並結合現有分散式能源(DER)進行智慧型區域電網的管理與調度。目前，本計畫開發平台已於核能研究所 001 館 314 室 EOS 實驗室，搭配該實驗室內的分散式能源設備實際上線運轉進行功能驗證。

在開發各式廠家設備能源驅動程式過程中，因為不同供應商或廠家所發展的分散式能源設備相容性差，亦即，存取位置、存取方式、及資料格式皆完全不同，需要花費不少時間釐清與整理。但是開發完成之能源驅動程式具可移植性，可利用相同方式在其他平台上實現。

另外，本計畫開發平台之反應時間，因分散式能源設備增加，導致反應時間延長，未來將因應平台上執行之能源服務程式進行測試與調整，或採用物聯網(IoT)技術串聯與整合數個本計畫開發平台，以符合能源服務需求之反應時間。

肆、參考文獻

[1] Chang, T. J., Y. T. Wu, H. Y. Hsu, C. R. Chu and C. M. Liao, "Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan," Renewable Energy 28, pp. 851-871, 2003.

[2] Chun-Lung Chen, Yu-Liang Lin, Wen-Yu Fu, "Effects of battery energy storage system on the operating schedule of a renewable energy based on rate industrial user under competitive environment," Journal of Marine Science and Technology.Vol. 23, No. 4, pp. 541-550, 2015.

[3] Pavlos, S. G., "Technique challenges associated with the integration of wind power into power systems," Renewable & Sustainable Energy Reviews. pp. 603-612, 2006.

[4] Oshevire, P., Tolulolope, O. and Sunny, O., "Smart Grid Technology and Its Possible Applications to the Nigeria330 kV Power System," Smart Grid & Renewable Energy, 4, 391, 2013.

[5] Sunday, O.O. and Friday, O.O., "Empirical Modelling of Power Losses as a Function of Line Loadings and Lengths in the Nigerian 330 kV Transmission Lines," International Journal of Academic Research, 2, pp. 47-53, 2010.

[6] The Modern Grid System, A Vision for the Smart Grid. National EnergyTechnology Laboratory, U.S.Department of Energy (DOE), 2009.

[7] Emodi Nnaemeka Vincent, Samson D. Yusuf, "Integrating Renewable Energy and Smart Grid Technology into the Nigerian Electricity Grid System," Smart Grid & Renewable Energy, 5, 220, 2014.

[8] V.C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, C. Buccella, C. Cecati and G. P. Hancke, "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 7, No. 4, pp. 529-538. doi:10.1109/TII.2011.2166794, 2011.

[9] V. C. Gungor, B. Liu and G. P. Hancke, "Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in SmartGrid," IEEE Transactions on Industrial Electron, Vol. 57, No. 10, pp. 3557-3564. doi:10.1109/TIE.2009.2039455, 2010/

[10] C. W. Potter, A. Archambault and K. Westrick, "Building a Smarter Grid through Better Renewable Energy Information," Proceedings of IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 15-18 March, pp. 1-5. doi:10.1109/PSCE.2009.4840110, 2009.

[11] A. Zahedi, "Developing a System Model for Future Smart Grid,"

Proceedings in 2011 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT Asia 2011, pp. 1-5, Perth, 13-16 November 2011.

[12] X. Fang, S. Misra, G. Xue and D. Yang, "Smart Grid-The New and Improved Power Grid: A Survey," *International Journal of IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 14, No. 4, pp. 944-980, 2011.