

行政院原子能委員會核能研究所
委託研究計畫研究報告

整合柴油發電機與太陽光電發電系統之微電網
運轉技術之研究

**A Study of Operation Technology for Microgrids
with Diesel Generator and Solar Photovoltaic
Power Generation System**

受委託單位：國立臺灣科技大學

計畫主持人：辜志承

協同主持人：楊明達、郭明哲

研究人員：鐘心勇、王鈞毅、林大程、張祐嘉

委託單位：行政院原子能委員會核能研究所

聯絡人員：詹振旻、許家豪

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	VI
中文摘要.....	VII
Abstract.....	VIII
壹、計畫緣起與目的.....	1
貳、研究方法與過程.....	3
一、前言.....	3
二、微電網運轉經驗相關文獻探討.....	5
(一) 微電網發展現況.....	5
(二) 國內、外微電網相關規範.....	5
(三) 國內、外微電網發展現況.....	13
(四) 本章小結.....	28
三、逆送電力問題探討.....	29
(一) 逆送電力.....	29
(二) 逆送電力對柴油發電機影響分析.....	30
(三) 逆送電力偵測演算法.....	31
(四) 本章小結.....	34
四、換流器跳脫原因之分析.....	35
(一) 東吉嶼太陽能系統簡介.....	35
(二) 換流器跳脫原因分析.....	36
(三) 本章小結.....	43

五、微電網長距離傳輸介面系統	44
(一) 長距離無線通訊可行性.....	44
(二) 試驗架構介紹	46
(三) 通訊介面系統試驗結果.....	49
(四) 東吉嶼 IED Goose 通訊測試.....	50
(五) 本章小結	55
六、微電網 SCADA 平台暨保護管理系統.....	56
(一) SCADA 平台暨保護管理系統簡介	56
(二) 微電網 SCADA 平台	59
(三) PMS 保護策略規劃與 SCADA 整合	61
(四) 實驗室保護管理系統情境模擬.....	68
(五) 本章小結.....	73
七、離島電壓不平衡探討	74
(一) 東吉嶼電網分析.....	74
(二) Inverter 阻抗計算	77
(三) 東吉嶼微電網模型建立及補償量計算.....	79
(四) 電壓與虛功補償之最佳裝設地點研究.....	85
(五) 本章小結	87
參、主要發現與結論.....	88
肆、參考文獻.....	89

圖目錄

圖 2-1 台電綜研所微電網系統架構	24
圖 2-2 核能研究所微電網系統架構	26
圖 3-1 逆送電力偵測流程圖	32
圖 3-2 SCADA 動作示意圖	33
圖 4-2 東吉嶼量測規劃系統圖	37
圖 4-3 變壓器一次側量測三相電壓波形有效值	38
圖 4-4 S 相過電壓之電壓及電流波形	39
圖 4-5 T 相過電壓之電壓及電流波形	39
圖 4-6 R 相低電壓之電壓及電流波形	40
圖 4-7 R 相過電壓之電壓及電流波形	40
圖 4-8 R、S 相跳機之電壓及電流波形	41
圖 4-9 T 相跳機之電壓及電流波形	41
圖 5-1 發電機房與太陽光電系統控制室相隔距離示意圖	44
圖 5-2 通訊模擬架構示意圖	46
圖 5-3 實驗室設備配置	47
圖 5-5 柴油發電機機房模擬架構	48
圖 5-6 Doble 電力模擬訊號	49
圖 5-7 SCADA 接收狀態圖	50
圖 5-9 IED 傳送 Goose 示意圖	51
圖 5-10 IED 架設於柴油機機房	52
圖 5-11 IED 架設於太陽能系統控制室	53
圖 5-12 IED(AQ107)DI 觸發傳送 Goose 信號	54

圖 5-13 IED(AQ102)接收 Goose 信號	55
圖 6-2 PMS 動作流程圖	58
圖 6-3 東吉嶼微電網架構圖	59
圖 6-4 微電網 SCADA 平台	60
圖 6-5 SCADA 即時事件	60
圖 6-6 實驗室保護管理系統模擬架構	62
圖 6-7 Elipse Power SCADA 加入通訊驅動程式過程	63
圖 6-8 Modbus 通訊設備加入系統設定	64
圖 6-9 Modbus Tag Browser	65
圖 6-10 Modbus Driver 匯入資料設定	66
圖 6-11 Modbus Driver 即時監控	67
圖 6-12 模擬太陽能光電系統控制架構	68
圖 6-13 Elipse Power SCADA 暨保護管理系統	69
圖 6-14 模擬柴油發電機機房架構	69
圖 6-15 正常運作之 Doble 電力模擬訊號	71
圖 6-16 SCADA 正常運作畫面	71
圖 6-17 SCADA 即時事件	71
圖 6-18 保護動作之 Doble 電力模擬訊號	72
圖 6-19 SCADA PMS 保護動作畫面	72
圖 6-20 SCADA 即時事件	72
圖 7-1 柴油發電機(2&4) 功率波形圖 (20160221).....	75
圖 7-2 Inverter_1 三相電壓波形圖 (20160221).....	75
圖 7-3 Inverter_1 三相功率波形圖 (20160221).....	76

圖 7-4 東吉嶼電網架構圖	77
圖 7-5 東吉嶼低壓線路圖	80
圖 7-6 利用 MATLAB/Simulink 建立的東吉村電網圖	81
圖 7-7 電源處的 MATLAB/Simulink 架構	82
圖 7-8 三相電壓電流功率表內部示意圖	82
圖 7-9 距離由近到遠降低負載配重後電源端的功率與電壓電流	84
圖 7-10 距離由近到遠提升負載配重	85
圖 7-11 並接海管處後電壓上升功率下降示意圖	86

表目錄

表 2-1 IEEE Std.1547 異常電壓時分散式電源解聯時間規範	6
表 2-2 IEEE Std.1547 異常頻率時分散式電源解聯時間規範	6
表 2-3 IEEE Std.1547 分散式電源之最大諧波電流失真率限制規範 ..	7
表 2-4 IEEE Std.1547 分散式電源併網要求規範	7
表 4-1 東吉嶼量測紀錄	42
表 7-1 各線路典型線路參數	79
表 7-2 Inverter 之阻抗 Z_1	79
表 7-3 各負載平均分配功率後電源處基本參數	83
表 7-4 距離由近到遠降低負載配重	83
表 7-5 虛功補償後各項參數	87

中文摘要

澎湖東吉嶼供電網在併入新設太陽光電(PV)發電與儲能系統後，即具備微電網之屬性。本研究之目的為探討該微電網之運轉規劃、相關衍生問題檢討與解決之道，主要包括 PV 系統對柴油發電機的逆送電力問題探討；PV 系統換流器異常跳脫原因分析；微電網監控(SCADA)平台暨保護管理系統(PMS)建置；及系統三相電壓不平衡問題的改善。

微電網若因故而導致逆送電力至併聯之柴油發電機組，將使得柴油發電機運轉於電動機模式，若此異常狀態持續過久可能導致輪軸受損等事故，因此需增設保護設備避免此現象。因為換流器的異常導致 PV 無法與系統併網或造成系統電壓不穩定。因柴油發電機機房與 PV 系統控制室間之距離甚遠，因此本計畫將使用光纖通訊之方式，將柴油發電機之相關電氣資訊傳回位於 PV 系統控制室 SCADA 平台，建構以 SCADA 為基礎之 PMS。目前東吉嶼微電網亦存在有嚴重之三相電壓不平衡現象，可能是導致 PV 系統無法正常併入微電網的主因，最後擬於微電網主要饋線上增設虛功補償器，以提高系統電壓的平衡度穩定性。先依據現有微電網資料及量測參數建立其電網模型，再配合適當的目標方程式來計算與決定系統中設置實功虛功補償器的最佳地點與裝置容量。

關鍵字：柴油發電機、逆送電力、微電網保護管理系統、三相電壓不平衡。

Abstract

The main purpose of this study is to review the system planning and operation of the grid of Dongji island after adding a photovoltaic (PV) system. The research items include the reverse power problem of a diesel generator, the tripping problem of the inverter of a PV system, the construction of SCADA and microgrid protection management system, and the improvement of voltage imbalance.

Once the reverse power problem of diesel generator happens, it may cause damage of the turbine. It need a protection device to avoid this situation. The inverters of PV is unstable may cause PV can't grid-connection or unstable voltage. Because of the long distance between diesel generator room and the control center of the PV system, this study use optical fiber communication to collect the electrical data of diesel generator such as voltage, current, and power and send them to the SCADA platform located at the PV control room. In addition, the grid of Dongji island has severe voltage imbalance in the current time. It may be the main reason that PV system cannot connect to the microgrid. A real and reactive power compensator will be set up in the island to improve voltage stability of the grid. This study will be based on the measured grid parameters in the island to establish grid models with the appropriate target equations and obtain a suitable place to set up this real and reactive power compensator.

Keyword: diesel generator 、 reverse power 、 PMS 、 voltage imbalance

壹、計畫緣起與目的

目前澎湖東吉嶼微電網之兩個主要發電裝置，分別是既設的柴油發電機組與新設的防災型太陽光電(PV)發電系統。PV系統包含太陽能光電模組、蓄電池組及換流器。本研究之主要目的為探討微電網之運轉規劃、問題檢討與解決之道。

當PV發電系統與柴油發電機併聯，當太陽光電發電系統發電量大於負載需求時，且蓄電池組充滿電時，太陽光電發電系統將有逆送電力傳送至柴油發電機，此時柴油發電機將變成馬達運轉，因此可能造成輪軸受損等異常現象。

電力系統設定為可逆送電力時，需加裝主動與被動防止單獨運轉檢出裝置各一套，目前併網型換流器大部份屬於有逆向電力之輸出型式，為了防範孤島效應，基本上皆具備了過、低電壓/頻率保護功能。

鑑於東吉嶼柴油發電機與太陽光電發電系統控制室之距離，考慮使用光纖通訊之方式將柴油發電機之電壓、電流及功率等資訊傳回SCADA平台之可行性。

針對離島電網電壓不平衡問題，利用類似SVC或STATCOM等並聯補償器作為因應的對策。而此裝置的設計與安裝通常需要分析兩

個基本考量點：穩定效能和暫態效能。在穩定效能分析中，是以系統進行電壓補償前後的潮流狀態，觀察其電壓改善情況以及可正常運轉的工作圍範作為分析的依據；而在暫態效能分析中，則是在系統正常連轉時，給予一個事故狀況，然後觀察系統電壓能否在事故發生過程中自行恢復至可接受之電壓水平。因此，並聯補償器對於系統的電壓穩定度改善效能可依據上述方式進行研討，並決定所需容量及設置地點的合適性。

為提升離島居民的生活品質，不虞匱乏的優質電力供應為首要基本要求。因此研究內容將包括將此研究成果應用於離島電網的可行性分析。

貳、研究方法與過程

一、前言

本研究使用智慧型電子裝置IED蒐集柴油發電機即時功率，當太陽光電發電系統發生逆送電力時，柴油發電機之輸出功率將會下降，一旦IED偵測功率下降至低功率跳脫設定參數時，IED傳送跳脫訊號至太陽光電發電系統，跳脫部分太陽光電模組，此時柴油發電機之輸出功率將會回升，完成柴油發電機組保護之目的。

澎湖縣東吉嶼電網系統之太陽光電發電系統換流器時常發生異常跳脫，換流器發生跳脫的原因包含有電壓過高/過低、頻率過高/過低、負載不平衡、孤島保護跳脫、諧波電流異常及電壓變動率(Flicker)異常等因素。本研究擬藉由相關文獻資料的收集、分析及歸納探討換流器發生異常跳脫的發生原因。

太陽光電發電系統與柴油發電機間長距離傳輸介面系統的建置擬進行無線通訊方式之可行性分析以及傳輸介面系統之測試。

微電網SCADA平台暨保護管理系統建置。本研究主要針對IEC 61850 標準通訊特點兩種通訊模式。一為Client/Server垂直通訊，透過IED蒐集電力模擬與測試裝置訊號，經過Ethernet Switch將資料連結至電腦主機，再利用E3 SCADA軟體蒐集IED資料，並設計監控畫

面。二為針對IED間Peer-to-Peer水平通訊之GOOSE訊息交換進行測試，有別於傳統硬體線路連接方式，無須透過SCADA下達傳送命令再通知IED，可更快速與即時的傳送訊號。

另外，針對離島電網電壓不平衡問題，本研究將依據當地所量測得到的數據，使用模擬軟體體建立起當地電網模型，再進而找出最佳補償地點及其補償量。

二、微電網運轉經驗相關文獻探討

(一) 微電網發展現況

目前國內外等先進國家皆積極推動微電網之發展，微電網的加入不但可減少傳統電源的使用，區域性的供電特性也可減少線路損失，提高能源使用效率等諸多優點，目的希望能透過整合潔淨能源達到減能減碳之成果。本章節將介紹國內外微電網相關規範以及發展現況。

(二) 國內、外微電網相關規範

1. 美國

由電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)制定 IEEE Std.1547，規範分散式電源併聯於電力系統之準則，避免因為分散式電源併網後影響電力系統之可靠度、電力品質以及安全。起初 IEEE Std. 1547 僅規範責任分界點(Point of Common Coupling, PCC)之電力品質，然而，IEEE 於 2010 年開始著手擬訂一套新標準以因應分散式電源滲透率提高之電力系統，為 IEEE Std. 1547.8 並於 2014 年提出針對 IEEE Std. 1547-2003 資料修訂之 IEEE Std. 1547a[1]。對於電力品質主要規範如下[2]：

1. 異常電壓之保護

電壓保護規範如表 2-1 所示，當分散式電源小於或者等於 300 W 時，其電壓設定點與清除時間應為固定或者為可現場調整；當分散式電源大於 300 W 時應為可現場調整。

表 2-1 IEEE Std.1547 異常電壓時分散式電源解聯時間規範

初始設定		可調整設定
電壓範圍(基準電壓百分比) ^a	清除時間(s)	可調整延長清除時間(s)
$V < 45$	0.16	0.16
$45 \leq V < 60$	1	11
$60 \leq V < 88$	2	21
$110 < V < 120$	1	13
$V \geq 120$	0.16	0.16

註： a. ANSI C84.1 規定電壓基準值為標稱系統電壓。

2. 異常頻率之保護

當系統頻率異常時，分散式電源於表 2-2 所列之時限內須與配電系統解聯，以維護發電設備與用戶設備之安全。

表 2-2 IEEE Std.1547 異常頻率時分散式電源解聯時間規範

功能	初始設定		可調整範圍	
	頻率(Hz)	清除時間(s)	頻率(Hz)	可調整延長清除時間(s)
UF1	< 57	0.16	56 ~ 60	10
UF2	< 59.5	2	56 ~ 60	300
OF1	< 60.5	2	60 ~ 64	300
OF2	< 62	0.16	60 ~ 64	10

3. 諧波電流之限制

對於分散式電源注入配電系統諧波電流之限制如表 2-3 所示。

表 2-3 IEEE Std.1547 分散式電源之最大諧波電流失真率限制規範

個別的諧波級數 h (奇次諧波)	$h \leq 11$	$11 < h \leq 17$	$17 < h \leq 23$	$23 < h \leq 35$	$35 < h$	總諧波失真率 (TDD)
百分比 (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
註：偶次諧波限制為上述奇次諧波限制值之 25 %						

4. 同步互聯系統的參數極限之互聯標準

對於分散式電源同步互聯於配電系統之互聯標準如表 2-4 所示。

表 2-4 IEEE Std.1547 分散式電源併網要求規範

DG 之容量(kVA)	頻率差 ($\Delta f, Hz$)	電壓差 ($\Delta V, \%$)	相位角差 ($\Delta \phi, ^\circ$)
0 ~ 500	0.3	10	20
>500 ~ 1500	0.2	5	15
>1500 ~ 10000	0.1	3	10

5. 電壓閃爍的限制

規定分散式電源不可引起區域電力系統內其他用戶可察覺之電壓閃爍現象，其中可察覺之電壓閃爍為參考 IEEE 519-1992 之規定，電壓閃爍 $\Delta V_{10} < 0.46 \%$ [3]。

6. 直流成分的限制

分散式電源輸出電流中直流成分不可超過其額定輸出電流大小之 0.5 %。

7. 孤島運轉

當非計畫性的孤島運轉發生時，分散式電源須於 2 秒內檢測出並停止對配電系統供電，而計畫性的孤島運轉則無此要求。

2. 德國

德國積極推動再生能源發展，位居該領域之領航者，對於再生能源發電與併網規範是全球欲發展再生能源國家參考之典範。德國目前針對再生能源併網規範依據電壓等級分為：低壓、中壓、高壓以及超高壓共四個等級，關於低壓併聯規範如下所示[4]：

1. 異常電壓定義

於 110 kV、220 kV 與 380 kV 電壓等級之輸電系統中，定義過電壓與欠電壓分界如下所示：

- (1) 分別超過 123 kV(111.8 %)、245 kV(111.4 %)以及 420 kV(110.5 %)即為過電壓。
- (2) 分別低於 100 kV(90.9 %)、210 kV(95.5 %)及 360 kV(94.7 %)則為欠電壓。

2. 電壓變動率(Rapid Voltage Changes)

發電設備投入和解聯於責任分界點(PCC)引起的最大電壓每十分鐘變化不能超過 3 %。

3. 電壓閃爍(Flicker)

額定電流小於等於 75 A 的發電設備需滿足 EN 61000-3-3(小於等於 16 A)或 EN 61000-3-11(大於 16 A)的要求。

4. 諧波與非整數次諧波(Harmonics and Interharmonics)

額定電流小於等於 16 A 的發電設備按 EN 61000-3-2 ClassA 要求，額定電流 16 A-75 A 的發電設備按 EN61000-3-12 要求。

5. 併網準則(Connection Criteria)

每相輸出功率須平衡輸出，單相不平衡度不超過 4.6 kVA。

3. 日本

日本主要以能源多元化、減少排放溫室氣體以及滿足用戶之客製化電力需求等目標，希望再生能源不影響供電品質與可靠度的情況下，能夠發揮再生能源能最大的作用，因此日本電氣協會(Japan Electric Association, JEA)訂定了「分散式電源系統連繫技術指針」，主要是針對分散式電源併網所訂定的併聯技術最小需求標準，分為低壓、高壓、特高壓以及重點網路四個部份，其中低壓規範如下所述 [5]。

1. 責任分界點於逆送電力時，功率因素應大於等於 0.85，以確保不會發生由系統側觀察之超前功因。分散式電源透過換流器連接至公共電網，以利執行功率因素調整。
2. 使用換流器之發電設備，如果發電設備產生逆送電力造成低壓家庭用電電壓變動超過容許範圍(101 ± 6 V、 202 ± 20 V)時，對於發電設備設置者，必須應用具有進相虛功控制以及輸出功率控制等類似功能之設備，以達成自動電壓調整。如果應用上述之方法仍無法將電壓維持在變動容許範圍內，則必須增加配電線的容量。然而，對於單相兩線式 2 kVA 以下，單相三線式 6 kVA 以及三相三線式 15 kVA 以下的低功率換流器來說，進相虛功控制機能以及輸出功率控制機制可以省略之。

3. 使用自激式換流器，可自動維持發電機的同步，使用他激式換流器，併聯時瞬間電壓突降不得超過 10 %，發電業者需要裝設限流的設備，若裝設限流設備還未能改善，則必須增加配電線容量或規定發電業者只能使用自激式的換流器。
4. 如果使用同步型發電機，要有自動同步的裝置，若使用感應型發電機，併聯時瞬間電壓突降不得超過 10 %，發電業者要裝設限流的設備，若裝設限流設備還未能改善，則必須規定發電業者只能使用同步型發電機。
5. 風力發電機併聯的狀況下，輸出變動頻繁且併聯產生電壓變動對其他裝置的影響，發電業者要裝設抑制電壓變動的設備且減低併解聯的次數，若裝設抑制電壓變動設備且減低併解聯的次數還未能改善，則必須增加配電線的容量或是使用專線來併網。
6. 為防止不必要之解聯動作需裝設欠電壓電驛，當電壓下降之時間小於欠電壓設定延遲時間時，系統不必解聯可持續運作；反之，當電壓下降時間大於設定時間時，應立即與公共電網解聯。

4. 台灣

台灣近來積極投入再生能源發展，因此台電訂定「再生能源發電系統併聯技術要點」，避免再生能源併網時，影響系統之供電品質，其主要標準如下所述[6]。

1. 故障電流

- (1) 發電設備送至台電系統之故障電流，不得造成台電及其他用戶斷路器之啟斷容量不足，否則應裝置限流電抗器或負擔因此而更換之斷路器費用。與高壓系統併

聯者，其發電機組加入後，系統三相短路電流應小於 10 kA，否則應裝置限流設備或改接其他線路。

- (2) 再生能源發電系統之接地方式應與台電之電網配合。所造成之過電壓，不得超過與電力系統連接之設備額定值，且不得干擾區域電力系統接地故障之保護協調。
- (3) 發電設備設置者之發電設備零相序電流應與台電系統隔離。

2. 電壓變動率

- (1) 發電設備併接於台電系統造成責任分界點電壓變動率，加計同一變電所或同一變壓器已核准併網電源之影響，不含系統背景值維持 $\pm 2.5\%$ 以內。
- (2) 電壓閃爍限制應依台電「電壓閃爍管制要點」規定辦理。

3. 暫態穩定度

併接 161 kV 以上特高壓系統，其責任分界點所歸屬之變電所匯流排合計發電設備之容量在 100 kW 以上者，不得使台電系統之暫態穩定度降至規定值以下；離島地區為獨立供電系統，併接於離島獨立高壓系統者，其系統穩定度應符合該地區之要求個案檢討。

4. 風力發電設備併接於特高壓系統以上者應具備低壓持續運轉能力(LVRT)

當電力系統發生故障造成責任分界點電壓驟降時，風力發電設備必須能夠持續運轉：

- (1) 發電機設備責任分界點電壓自低電壓開始時間降至額定電壓之 15 % 時，應持續運轉至少 0.5 秒以上。
- (2) 發電設備於責任分界點電壓恢復至額定電壓之 90 % 以

上時，應持續運轉。

5. 發電機組電壓運轉之規定

- (1) 併接 22.8 kV 以下者：其發電機設備於責任分界點額定電壓之 88 % 以上至 110 % 以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可能跳脫。但總發電設備容量在 100 kW 以下者，不適用上述電壓跳脫設定值之規定。
- (2) 併接 69 kV 伏特以上者：其發電設備於責任分界點額定電壓 90 % 以上 110 % 以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。
- (3) 併接於離島獨立高壓系統者，應符合該地區之要求個案檢討。

6. 功率因數

- (1) 併接於特高壓系統以上之再生能源發電系統，責任分界點應具備之功率因數調整能力：

非風力發電機組之功率因數應具有 90 % (滯後) 至 95 % (超前) 運轉能力、風力發電設備於責任分界點功率因數應具有 96 % (滯後) 至 98 % (超前) 運轉能力，並配合台電季節性負載特性調節設定。

- (2) 併接於高壓系統以下之發電廠，責任分界點運轉原則：

不論日間或深夜、例假日、國定假日等期間，功率因數得維持在 100 %。

7. 諧波管制

諧波污染限制應依台電「電力系統諧波管制暫行標準」

規定辦理。併接點電壓在 3.3 kV 以下系統比照 3.3 kV 至 22.8 kV 系統標準。

(三) 國內、外微電網發展現況

本小節將介紹美國、歐洲、日本、中國及台灣之微電網發展現況，相關微電網示範工程場域及項目將一併簡述。

1. 美國

美國微電網研究中較主要之計畫包含 SPIDERS (Smart Power Infrastructure Demonstration for Energy Reliability and Security) 及 RDSI(Renewable and Distribution System Integration)計畫等，由美國能源部(Department of Energy, DOE)主導。RDSI 計畫主要目標為希望透過整合分散式電源及微電網，達到於配電饋線或變電站降低至少 15% 尖峰負載量，不僅可提升電網可靠度及負載端之能源使用效率，並減少輸配電成本及碳排放量。RDSI 計畫場域包含科羅拉多州科林斯堡、內華達州拉斯維加斯、西維吉尼亞州摩根敦等，計畫分項包含 [7]-[8]:

(1) Borrego Springs 微電網

此微電網示範場域位於加州聖地牙哥，由聖地牙哥天然氣及電力公司(San Diego Gas and Electric, SDG&E)建置。五大發展技術分別為分散式電源與虛功率之調節、饋線自動化系統、先進儲能

系統、停電管理系統(Outage Management Systems, OMS)及價格導向之負載管理。

(2) Santa Rita Jail 微電網

此微電網示範場域位於加州都伯林，由雪佛龍能源解決方案公司(Chevron Energy Solutions)主導，並整合 CERTS 微電網技術與大規模再生能源於此系統，微電網中包含 1 MW 燃料電池、1.2 MW 太陽能發電系統、兩部 1.2 MW 緊急柴油發電機及 2 MW 儲能設備，其中使用之 CERTS 技術包含隨插即用控制等。

(3) 伊利諾理工學院(Illinois Institute of Technology, IIT)

由於 IIT 每年至少三次停電事故且用電需求增加，故此分項主要研究目標於建立可自癒(self-healing)之微電網系統，並可快速隔離故障、跟隨負載及發電改變而重新規劃供電路徑、利用價格訊號及發電預測降低需量等。

2. 歐洲

歐盟第一個微電網研究計畫為 Microgrids Project(2003~2005)，由歐盟執委會 FP5 資助、希臘雅典理工大學(National Technical University of Athens, NTUA)主導之研究團隊執行，目的希望透過研究微電網運轉狀態，增加再生能源及其他分散式電源滲透率，減少二

氧化碳排放量。主要研發成果包含分散式電源穩態及動態分析、併網模式及孤島模式控制策略、區域全黑啟動策略、保護策略及接地方法等。此計畫示範場域及參與實驗試包含希臘 Kythnos 島微電網、NTUA 微電網實驗室，德國卡塞爾大學太陽能技術研究所(Institute for Solar Energy Supply Technology, ISET)微電網實驗室等[9]。

歐盟第二個微電網研究計畫為 More Microgrids(2006~2009)，由歐盟執委會 FP6 資助、NTUA 主導之研究團隊執行，延續前期研究成果，此計畫主要新增之研發成果包含下列項目等[10]-[11]:

- (1)基於微電網穩定度分析之新型控制策略。
- (2)環型架構微電網之實功率及虛功率環流問題研究及測試。
- (3)變流器故障穿越能力研究及孤島偵測方法開發。
- (4)多重代理人演算法及程式開發於非集中式架構之研究並安裝於希臘 Kythnos 島微電網。
- (5)電力損失及故障電流等級分析於幅射式及環路式架構。
- (6)結合拓撲狀態開發新型具適應性之保護策略。

除了前期建立之示範場域外，新建立之微電網示範場域包含德國 Mannheim 微電網、丹麥 Bornholm 島微電網，其餘規模較小之示

範場域包含西班牙 Labein 微電網、荷蘭 Bronsbergen 度假村、義大利 CESI 微電網等。

EcoGrid(2011~2015)為歐盟執委會 FP7 資助之研究計畫，主要目標為於丹麥 Bornholm 島上推動需量反應及時間電價等概念，Bornholm 島為目前規模較大之微電網，島上居民約 28000 人，島上發電設備柴油發電機 39 MW，燃煤燃油機組 74 MW，風力發電機 36 MW，此系統另有一條高壓海底電纜與瑞士連接。此計畫於 Bornholm 島建置時間電價所需之相關 ICT 設備，基本概念為利用時間電價影響用戶改變用電行為，間接幫助微電網之電力平衡並有效降低島上尖峰負載，預計共有 2000 個負載參與需量反應，其中約有 1800~1900 個負載為家庭負載，100~200 個負載為商業或工業負載[12]-[13]。

GRID4EU(2011~2016)亦為歐盟執委會 FP7 資助之研究計畫，選定 6 個示範場域如下所述[14]-[15]:

- (1) 德國雷肯(Reken)，研究方向為以多重代理人方式改善中壓微電網監視及控制等。
- (2) 瑞典烏普薩拉(Uppsala)，研究方向為於二次變電所裝設 AMI 及其他智慧裝置開發低壓配電網監控系統等。
- (3) 西班牙卡斯特利翁(Castellon)，研究方向為加強中低壓配電網路

自動化等。

(4)義大利費利-切塞納(Forli-Cesena)，研究方向為開發先進控制系統以增加承載容量並擴大整合再生能源於中壓電網等。

(5)捷克弗爾赫拉比(Vrchlabi)，研究方向為中低壓電網自動化、建設電動車基礎設施等。

(6)法國卡爾羅(Carros)，此分項計畫又稱 Nice Grid，約有 1500 用戶參與需量反應、200 個屋頂型太陽能板及 2 MWh 電池儲存容量，以太陽能及負載預測方式最佳化太陽能併網容量，鼓勵用戶主動管理發電量、用電量及電池儲存量。

EMPOWER(2015~2018)由歐盟執委會發布之 Horizon 2020 資助，目前尚在執行中之計畫。EMPOWER 計畫主要目標為創造區域電力零售市場及產消合一者(prosumer)於智慧電網中之創新商業模型，選定挪威瓦勒爾(Hvaler)、德國呂本(Lubben)及馬爾他(Malta)做為示範場域，其餘計畫還有 TILOS(2015~2019)等。根據歐盟執委會 2014 年 10 月通過之目標，希望於 2030 年達到溫室氣體排放量減少 40%、再生能源成長 27%、能源效率提升 27%，2050 年更希望減少 80%~95% 的溫室氣體排放量[16]-[18]。

3. 日本

日本主要負責微電網研究之機構為新能源產業技術綜合開發機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)，民間研究則由三菱電機公司(Mitsubishi Electric)著墨較深，並已開發出能源管理系統等微電網相關產品。2000 年以前 NEDO 主要研究方向為單一再生能源併網技術相關之研究，如位於神戶市之六角人工島計畫(Rokko island)等[19]。

當再生能源併入電網時，太陽能發電或風力發電輸出隨天氣變動而有所波動，故 NEDO 於 2000 年~2010 年主要研究方向為能源管理系統、儲能裝置及發電預測技術等，以解決再生能源輸出波動問題。此階段研究主題包含群聚式太陽能發電系統併網技術示範、風力發電穩定技術示範等。另外較著名之計畫為整合各式再生能源於區域電網示範計畫，此計畫包含三項子計畫分別為[7][9]:

(1) Aichi 計畫

此計畫位於愛知縣，發電設備由燃料電池及太陽能發電為主，燃料電池包含 270 kW 及 300 kW 熔融碳酸鹽燃料電池(molten carbonate fuel cell, MCFC)、25 kW 固態氧化物燃料電池(solid oxide fuel cell, SOFC)及 800 kW 磷酸型燃料電池(phosphoric acid fuel cell, PAFC)，太陽能發電共 330 kW，另有 500 kW 儲能設備

負責平衡電力供給及需求，負載部分則提供市政大樓及汙水處理廠用電，安裝於愛知縣世博會。此計畫主要成果包含每 5 分鐘電力供給與需求之差距控制於百分之三內等，世博會結束後發電設備移至常滑市(Tokoname)中部國際機場附近。

(2)Kyotango 計畫

此計畫位於京都府京丹後市，發電設備及負載連接於市電下之不同變電站並只透過網路將資訊傳遞至管理系統，故又稱為虛擬微電網，發電設備包含 400 kW 生質能發電系統(biogas)及 250 KW MCFC，遠端發電設備包含 50 kW 太陽能發電系統及 50 kW 風力發電系統連接於不同變電站，並配有 100 kW 儲能設備。

(3)Hachinohe 計畫

此計畫位於青森縣八戶市，主要發電設備包含 510 kW 燃氣引擎及 100 kW 太陽能發電系統，儲能設備 100 kW，供電之饋線長 5.4 km，沿線負載包含兩所小學、兩所中學及市政大樓，建築物上配有太陽能發電共 30 kW 及風力發電 20 kW。監控系統主要有三大面向，分別為每周供給及需求規劃、每 3 分鐘經濟調度控制及互連點(interconnection point)電力潮流監控。

2010 年後，NEDO 研究方向轉為推動智慧社區及提高分散式電源滲透率等，其中智慧社區包含建築能源管理系統(Building Energy

Management System, BEMS)、家庭能源管理系統(Home Energy Management System, HEMS)及智慧電動車充電站等，並將其技術推廣至國際，合作之微電網示範場域包含美國新墨西哥州洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)及阿布奎基(Albuquerque)。

Los Alamos 微電網示範場域中，NEDO 及美國共安裝 2 MW 太陽能發電系統，儲能設備 1 MW，負載方面則於用戶端安裝智慧電表，並加入配有 3 kW 太陽能發電系統、容量 20 kWh 儲能設備及 HEMS 之 NEDO 智慧屋。NEDO 透過控制中心之 EMS 送出價格訊號至智慧電表，觀察負載對價格訊號之變動情形，NEDO 智慧屋內之 HEMS 根據接收之價格訊號及太陽能發電預測，最佳化儲能設備之運轉排程。其餘智慧社區相關合作計畫尚有西班牙馬拉加(Malaga)、法國里昂(Lyon)及美國夏威夷茂宜島(Maui island)等[7][20]。

4. 中國

中國微電網計畫依建置地點大致可分為三大類，分別為島嶼型微電網、工商業住宅區及偏遠地區，學術機構研究單位則由中國科學院、合肥工業大學及天津大學等領導，研究方向朝美國 CERT 微電網概念發展。島嶼型微電網多分布於東南沿海，且島上供電大多仰賴柴油發電機，衍生出供電可靠度及環境汙染等問題，使用海底電纜亦

不符合經濟效益，且島嶼富含大量再生能源如太陽能及風力等，故適合發展微電網系統。中國海島型微電網包含下列島嶼等[7][21]:

(1) 東澳島

東澳島為中國第一個兆瓦等級離島微電網，由中國科學院廣州能源研究所及興業太陽能技術公司合作建立，2010 年正式運轉，發電設備包含 1000 kW 柴油發電機、1000 kW 太陽能發電系統及 50kW 風力發電系統，儲能設備 1500 kWh。主要研究議題包含風力、太陽能及柴油發電機混合系統之微電網最佳規劃、能源管理、儲能系統監控及管理、電力品質、遠端即時監控等。

(2) 南麂島

此微電網由國家電網浙江電力公司建造，2014 年正式運轉，島上居民約 2400 人，發電設備包含 10 部 100 kW 風力發電機、660 kW 太陽能發電系統及 1700 kW 柴油發電機，4 組 500 kW 鋰電池儲能系統，2 組 500 kW 超級電容儲能系統，通訊方式採 IEC 61850 收集微電網資訊，研究項目包含運轉模式之無縫切換、電壓頻率穩定控制、能量平衡控制及以柴油發電機或儲能系統全黑啟動控制等。

學術單位之微電網研究如合肥工業大學與加拿大新不倫瑞克大學(University of New Brunswick)合作建立之微電網試驗系統，系統設

備包含單相太陽能發電 10 kW、三相太陽能發電 30 kVA、兩部 30 kW 風力發電模擬器、燃料電池 5 kW、儲能電池 300Ah 及傳統發電機 30kW。控制系統分為區域控制器及中央控制器，區域控制器整合於分散式電源之變流器內，負責控制匯流排功率潮流、電壓及頻率等；中央控制器則負責微電網運轉模式切換，並根據再生能源發電預測進行經濟調度等[22]。

天津大學微電網試驗系統包含太陽能發電系統 40 kW、風力發電模擬器 30 kVA、風力發電機 8 kW、汽電共生機組(CHP)30 kW、燃料電池 5 kW 及儲能設備含蓄電池、飛輪及超級電容等共 308 kWh。保護方面提出分區域之方向比較式縱聯保護(載波電驛)，且隨微電網運轉模式及分散式電源輸出狀況自適應地調整電驛設定值，其餘研究項目包含無縫切換策略及能量管理系統等[23]。

中新天津生態城為中國第一個智慧電網示範計畫，由中國及新加坡合作建立，示範內容包括 12 大項，分別為分散式電源併網、微電網及儲能系統、智慧變電站、配電自動化、設備綜合狀態監測系統、電力品質監測系統、用電資訊採集系統、智慧社區及建築、電動車充電設備、通訊網路、可視化平台、及智能營業廳，其中智能營業廳包含 30 kW 屋頂型太陽能發電系統、6 kW 風力發電機及 60 kWh 儲能

電池，營業廳可與外部電網切離獨自運行。其餘微電網場域尚有南京供電公司大樓、河北承德、河南安陽等。由於中國幅員遼闊，偏遠地區供電不易，建置再生能源及微電網系統，可提供居民更穩定之電力，建置地點包含吐魯番、青海省玉樹市等[24][25]。

5. 台灣

2012 年行政院核定之智慧電網總體規劃方案，規劃為期 20 年之智慧電網推動時程，分為前期布建(2011~2015)、推廣擴散(2016~2020)及廣泛應用(2021~2030)三個階段，推動之六大方向分別為智慧發電與調度、智慧輸電、智慧配電、智慧用戶、智慧電網產業發展及智慧電網環境建構，希望達成確保穩定供電、促進節能減碳、提高綠能使用及引領低碳產業四項目標[26]。以下將介紹台灣主要之微電網試驗場。

(1) 台電綜研所微電網

台電綜合研究所(Taiwan Power Research Institute, TPRI)於樹林所區之微電網試驗場架構如圖 2-1 所示，一共規劃成五個 Local EPS(Electric Power System)[27]。

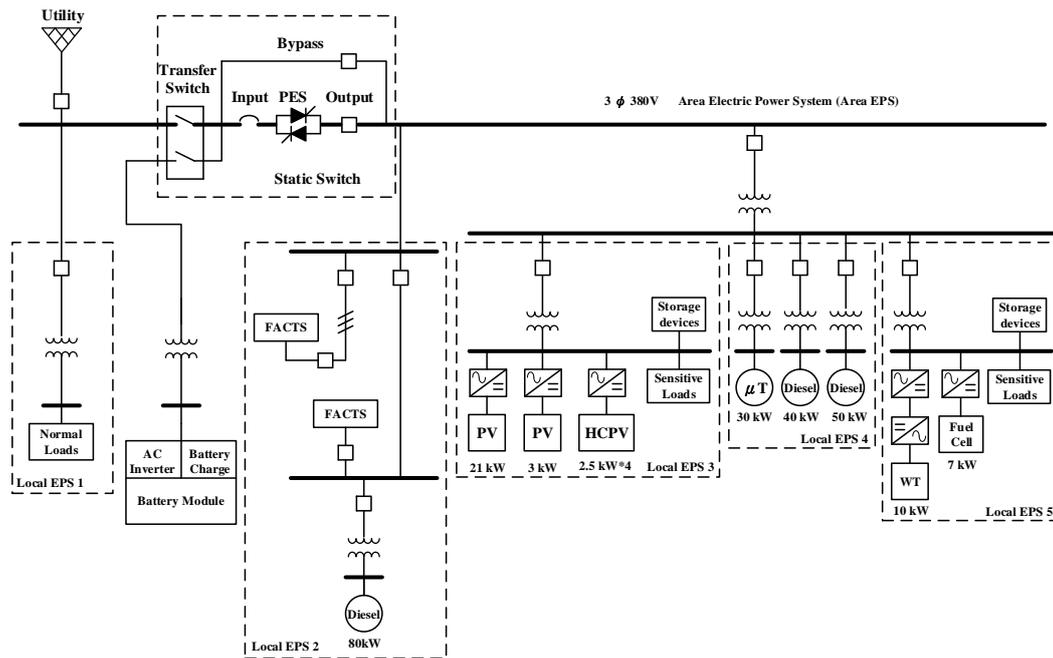


圖 2-1 台電綜研所微電網系統架構

Local EPS 1 包含一般負載；Local EPS 2 包含 80 kW 柴油發電機；Local EPS 3 包含 21 kW 太陽能發電系統、4 座 2.5 kW 薄膜與高聚光型太陽能發電系統、敏感性負載及儲能設備；Local EPS 4 包含 30 kW 微渦輪機、兩部分別為 40 kW 及 50 kW 之柴油發電機；Local EPS 5 包含 10 kW 風力發電系統、7 kW 燃料電池、敏感性負載及儲能設備。此微電網研究項目包含[28]：

- i. 靜態開關測試：微電網市電併聯或孤島運轉模式切換。
- ii. 自主性控制測試：孤島模式下，微電網電壓與頻率之控制。
- iii. 短路故障與保護及故障偵測測試：系統發生故障時，保護設備是否能正確隔離故障。
- iv. 系統穩定度分析與全黑啟動規劃、緊急卸載策略及無縫之復電併聯與同步併聯裝置之應用測試。

- v. 電力品質測試、三相不平衡分析與劇烈變動的大型馬達啟動測試。
- vi. 儲能設備及變流器等電力電子設備之應用測試。

(2) 核能研究所所微電網

核能研究所(Institute of Nuclear Energy Research, INER)於龍潭建置之微電網試驗場架構如圖 2-2 所示，設備包含 20 kW 太陽能發電系統、總合共 120 kW 之高聚光型太陽能發電系統、3 部 65 kW 微渦輪機、兩部分別為 25 kW 及 150 kW 之風力發電機、兩組分別為 182 kW 及 120 kW 之儲能設備及總合 150 kW 之負載箱。此微電網已與台電 OQ38 饋線併聯，預期可接受台電之需量調控及電力調度，短期效益可提高電網對分散式電源之乘載容量，並提高區域電網之分散式電源滲透率[29]。

核研所於第二期能源國家型科技計畫中，各年度研究重點分別為獨立型微電網系統關鍵技術發展(2014)、微電網多區域能源管理與智慧控制(2015)、微電網多區域智慧擴充與分裂(2016)，其中獨立型微電網系統關鍵技術發展包含七大項目，各項目研究如下所述[30]：

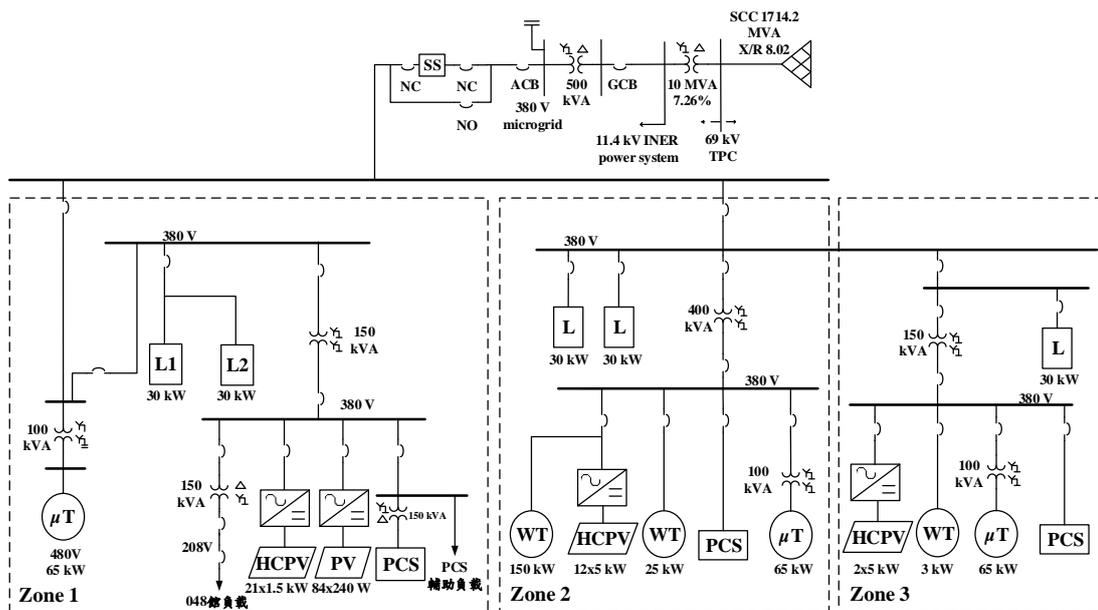


圖 2-2 核能研究所微電網系統架構

i. 微電網多區域系統工程整合

整合儲能設備、電力調節器、靜態開關及能源管理系統，以獨立型微電網內之微渦輪機、儲能設備及太陽能發電系統為供電設備，進行連續運轉測試，並供應 048 館負載且已完成辦公館設之需量反應建置。

ii. 微電網多區域儲能系統控制技術開發

開發 50 kVA 儲能模組硬體、實虛功率補償技術、電壓補償技術及 CAN Bus 通訊介面。

iii. 微電網區域間功率調節器控制技術開發

完成微電網各區域間之電力調節器雙向實虛功率潮流測試、CAN Bus 通訊功能驗證、電力調節器之保護功能測試並進行電

力調節器原型機硬體研製。

iv. 多區域微電網保護系統發展

開發負載、幹線及電源分路故障偵測演算法，整合為完整微電網保護系統，其中負載分路故障偵測採過電流電驛，不含通訊功能，幹線分路故障偵測則需配合電驛間之通訊以確定故障區間。

並已開發可於 1.5 週波內達成故障偵測之電驛雛型板[31]。

v. 微電網區域間靜態開關控制器實現

完成小波多層解析之 FPGA 智慧財產權核心(Intellectual Property Core, IP Core)開發，並可快速分析故障訊號於各頻段之特徵量，

做為後續故障偵測及判斷之用。

vi. 微電網電力品質管控技術發展

建立微電網電力品質動態管理平台及電力濾波器，且於微電網試驗場進行諧波補償驗證。

vii. 可擴充型微電網能源管理系統

開發類神經網路、線性回歸及 Kernel 等演算法精進再生能源及負載預測技術，達到短期(15 分鐘)動態調度及全日動態調度。

(四) 本章小結

本章節介紹美國、歐洲、日本、中國及台灣之微電網相關規範及發展現況之運轉經驗相關文獻，說明微電網的區域性供電特性也可減少線路損失，提高再生能源使用效率等諸多優點。

三、逆送電力問題探討

(一) 逆送電力

隨著電網建設的不斷加快，形成逆送電問題的因素也越來越多。電網中的輸出端和用戶端都會造成逆送電的問題出現。

隨著經濟的快速增長，工業用電量逐漸的增加。進而出現了很多用戶端自備發電設備，用戶端的自備發電設備容易對線路產生額外的電流，這些電流的形成就造成了逆送電的現象。同時，電網的改造和併網都會伴隨有逆送電的情形出現。

逆送電輸送量過大，容易加大電網的供電負荷和調度困難。基於用戶端的數量比較龐大，造成了用戶端的需求過大，各自自備發電設備的模式越來越普遍。而且在自備發電設備的使用上沒有規範，進而更加造成了逆送電量過大。嚴重增大了電網供電的負荷度。

(二) 逆送電力對柴油發電機影響分析

正常情況下，交流發電機是由原動機(內燃機、油壓驅動、引擎)的帶動下不斷的運轉，提供電力給電網，從而達到發電的目的。以柴油發電機為例，在柴油發電機組的汽缸裡，空氣經過空氣濾清器過濾以後就變成了潔淨的空氣，發電機組工作時噴油嘴在高壓狀態下會噴出呈霧狀的柴油，柴油和潔淨的空氣混合後在活塞的擠壓下體積迅速縮小，溫度上升到柴油的燃點，柴油和空氣體積膨脹，推動活塞向下運動。各個發電機組的汽缸輪流重複這種上下運動，就帶動了發電機組曲軸的旋轉，帶動發電機轉動發電。

逆送電力情況下，發電機組從發電模式轉變成電動模式，在發電模式為原動機驅動發電機，發電機供電給電網。在電動模式的情況，為電網供電給發電機，發電機作為電動機驅動原動機。

在電網中分散式電源的加入，可能會影響饋線沿線的電壓大小並改變了電力潮流的方向，致使電力系統難以調度，造成電力系統不穩定。

太陽光發電併入電力系統，使得電力系統可以更加靈活運用，但因太陽光發電受限於白天日照情形及負載需求，當發電量大於負載需求時，將產生逆送電力。

目前澎湖東吉嶼微電網之兩個主要發電裝置，分別是既設的柴油發電機組與新設的防災型太陽光電(PV)發電系統。

太陽光電發電系統與柴油發電機併聯運轉，當太陽光電發電系統發電量大於負載需求時，且蓄電池組充滿電，此時太陽光電發電系統將有逆送電力傳送至柴油發電機，因此柴油發電機將變成電動機運轉，將從系統中吸取實功率。

當發生逆送電力的情形時，柴油引擎無法控制其旋轉速度，因為柴油引擎是由燃料控制其旋轉速度，但於逆送電力的情況下，是由電網提供電力給發電機驅動柴油引擎，而電網提供之電力為無法控制的，因此造成柴油引擎的旋轉速度無法控制。由於柴油引擎的旋轉速度範圍限定非常狹窄，因此當逆送電力的情形，無法控制柴油引擎的旋轉速度，可能會造成柴油引擎面臨嚴重的機械故障，例如：輪軸及齒輪受損破壞等異常現象。

(三) 逆送電力偵測演算法

使用智慧型電子裝置(IED)蒐集柴油發電機即時功率，當太陽光電發電系統發生逆送電力，柴油發電機之輸出功率將會下降，一旦IED偵測功率下降至欠功率始動值時，SCADA傳送跳脫訊號至太陽光電發電系統，切離部分太陽光電模組，此時柴油發電機之輸出功率

將會回升，完成柴油發電機組保護之目的。

東吉嶼負載總和約為 30 kW，柴油發電機最大功率輸出為 200 kW，太陽能光電發電系統滿載輸出總和為 86.4 kW，總共五組太陽能光電發電系統，單組滿載輸出為 17.28 kW，逆送電力偵測流程圖如圖 3-1 所示。

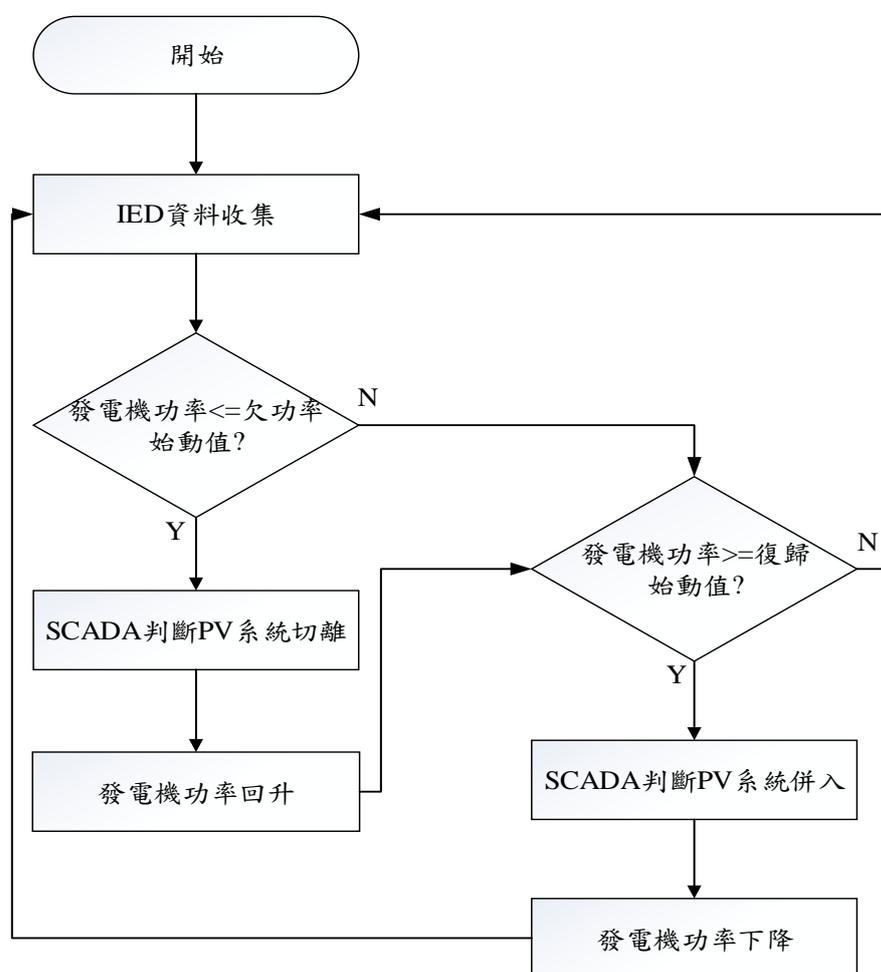


圖 3-1 逆送電力偵測流程圖

柴油發電機逆送功率保護採用欠功率保護，較逆功率保護相對保守，欠功率始動值為柴油發電機額定功率之 2.5%，欠功率保護設有延遲時間，防止柴油發電機在啟動或瞬間功率擺動時誤動作，當 IED 偵測到發電機功率下降至欠功率始動值時，SCADA 進行切離太陽能光電發電系統，防止逆送電力發生。復歸始動值為負載之 80%，當 IED 偵測到發電機功率上升至復歸始動值時，SCADA 進行併入太陽能光電發電系統。SCADA 動作示意圖如圖 3-2 所示。

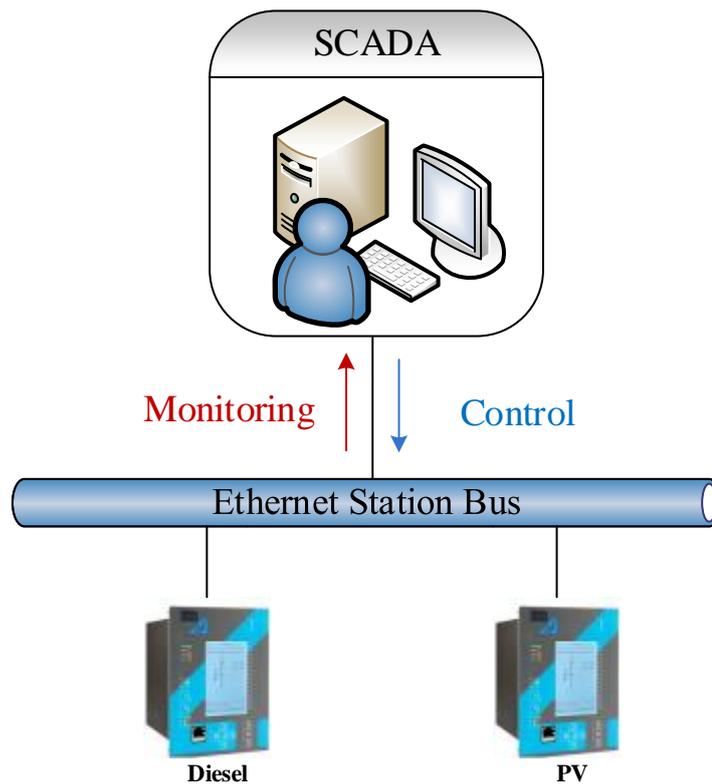


圖 3-2 SCADA 動作示意圖

(四) 本章小結

本章節說明逆送電力形成原因，分析逆送電力對柴油發電機之影響。針對逆送電力保護，設計逆送電力偵測保護流程，藉由量測柴油機輸出功率進行太陽能光電發電系統切離/復歸之動作，達成柴油發電機機組保護之目的。

四、換流器跳脫原因之分析

(一) 東吉嶼太陽能系統簡介

東吉嶼微電網總共有五組太陽能光電系統架構，單組架構如圖 4-1 所示。太陽光電模組總數為 360 pcs，單塊太陽光電模組為 240 W，總裝置容量為 86.4 kW，單組 PV 陣列經由兩台 MPPT 控制器連接至 DC 匯流排，蓄電池組也是連接至 DC 匯流排上，DC 匯流排再經由三台 Inverter 連接到 AC 端 RST 三相上，而每組 Inverter(RST 三相為一組)與 PV 總盤間各有一台廠商安裝的 24 kVA 隔離變壓器，隔離變壓器 Inverter 端為 $3\phi 6W$ ，PV 總盤端為 $3\phi 4W$ 。

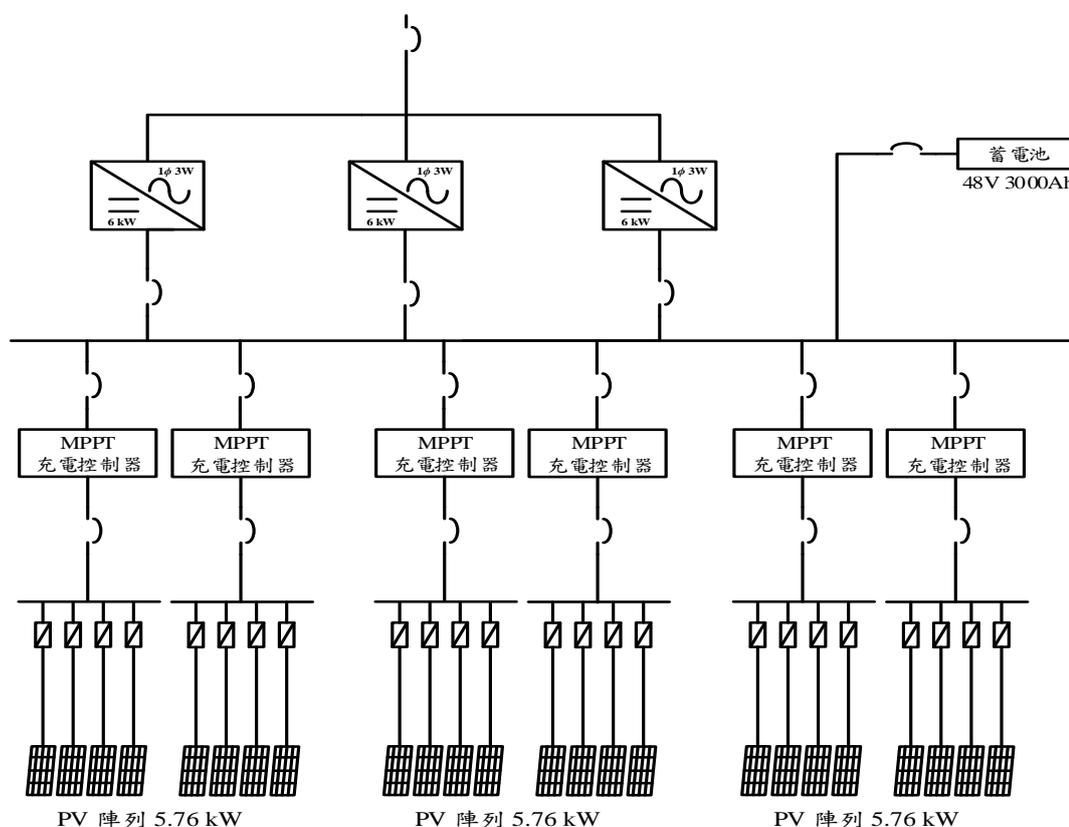


圖 4-1 東吉嶼單組太陽能系統架構圖

(二) 換流器跳脫原因分析

東吉嶼電網系統之太陽光電發電系統換流器(Inverter)時常發生異常跳脫，換流器發生跳脫的原因，包含有電壓過高/過低、頻率過高/過低、負載不平衡、孤島保護跳脫、諧波電流異常及電壓變動率(Flicker)異常等因素。

依照登島所獲得之資訊，初步判斷東吉嶼太陽能系統無法與東吉嶼電網系統併網之可能原因如以下幾點：

1. 山下柴油發電機發電不穩定，導致系統擾動。
2. 居民負載用電之特性與海管處負載用電之特性影響。
3. 山上與山下連接之電纜影響。
4. 太陽能光電系統電氣室之隔離變壓器影響。
5. PV Inverter設備不穩定損壞或設定值導致無法併網。

依照核研所上島進行現場量測，量測規劃系統如圖4-2所示，將一台Hioki電力分析儀放置於柴油發電機輸出端，一台Hioki電力分析儀放置於PV Inverter變壓器一/二次側，量測背景僅保留第1組PV進行併網，其餘第2~4組PV Inverter關閉，第5組PV為海管處所有，因此並無管轄權。

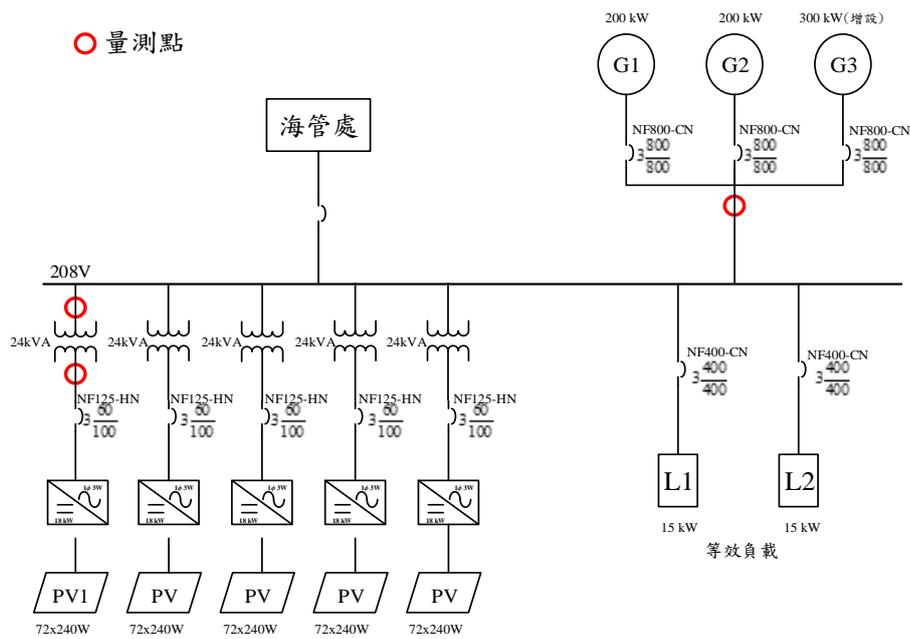


圖 4-2 東吉嶼量測規劃系統圖

Hioki 電力分析儀依照 IEEE 1547 規範設定事件觸發條件，即

$$88\% \leq V \leq 110\% , 59.5 < f < 60.5$$

發現量測結果符合 IEEE 1547 規範。

將 Hioki 電力分析儀事件觸發條件設定較 IEEE 1547 嚴謹，即

$$95\% \leq V \leq 105\% , 59.5 < f < 60.5$$

經修正事件觸發條件設定後，量測紀錄顯示 RST 三相過電壓/低電壓事件頻繁發生。

Hioki 電力分析儀事件觸發條件之電壓設定為 $114 < V < 126$ Volts，超過此範圍之數據稱為過/低電壓，於 PV 端第一組變壓器一次側量測觀察到之三相電壓波形有效值如下圖 4-3 所示，於時間 13:59:55.002 發生 S 相觸發過電壓事件，S 相過電壓 128.97 V，量測之電壓及電流波形如圖 4-4 所示，於時間 14:00:06.602 發生 T 相觸發過電壓事件，T 相過電壓 128.64 V，量測之電壓及電流波形如圖 4-5 所示，於時間 14:00:53.801 發生 R 相觸發低電壓事件，R 相過電壓 113.58 V，量測之電壓及電流波形如圖 4-6 所示，於時間 14:00:54.802 發生 R 相觸發過電壓事件，R 相過電壓 128.23 V，量測之電壓及電流波形如圖 4-7 所示。於時間 14:00:57.801 發生 PV Inverter R、S 相跳機事件，量測之電壓及電流波形如圖 4-8 所示，於時間 14:01:41.801 發生 PV Inverter T 相跳機事件，量測之電壓及電流波形如圖 4-9 所示。表 4-1 為東吉嶼量測紀錄。

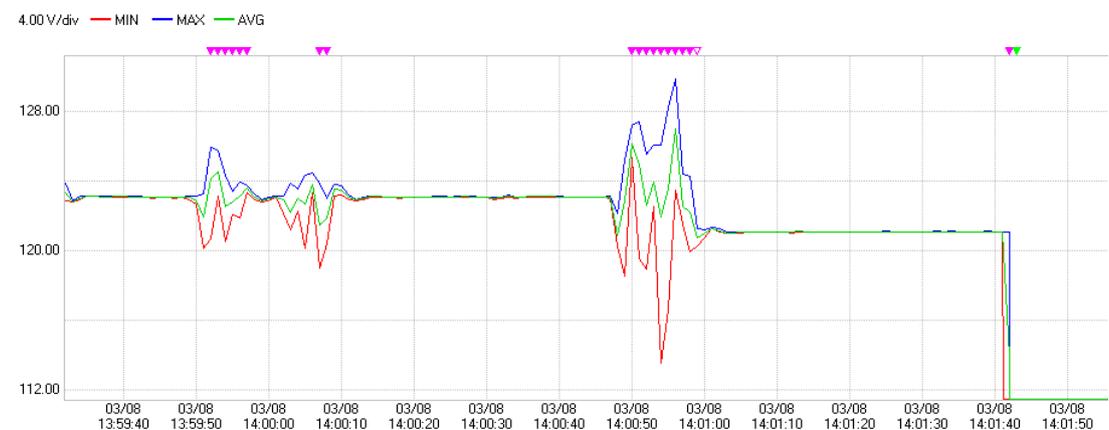


圖 4-3 變壓器一次側量測三相電壓波形有效值

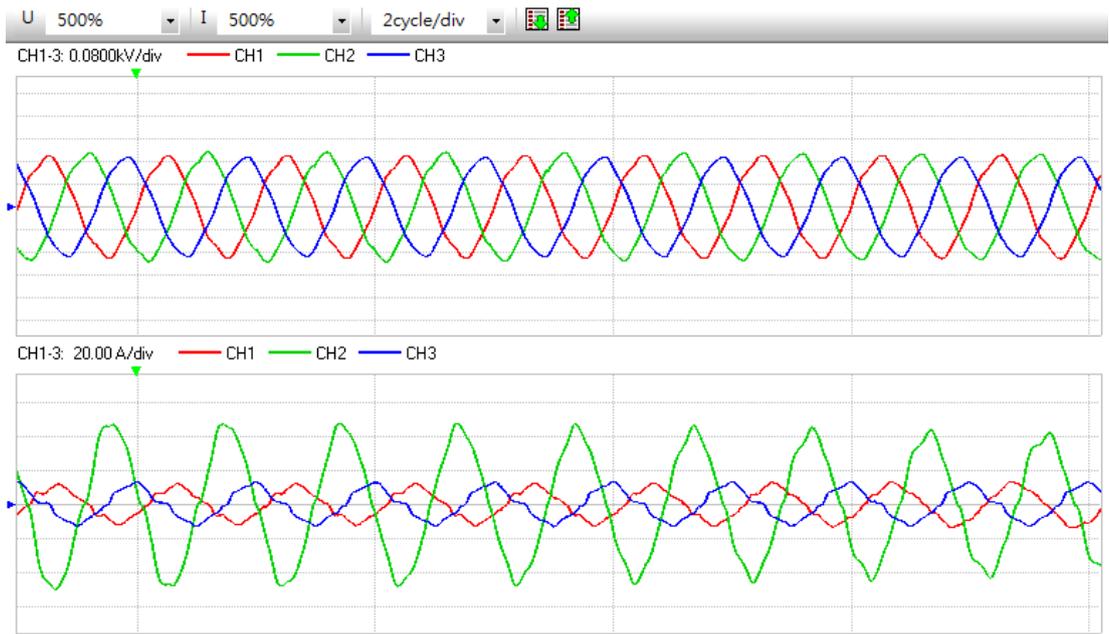


圖 4-4 S 相過電壓之電壓及電流波形

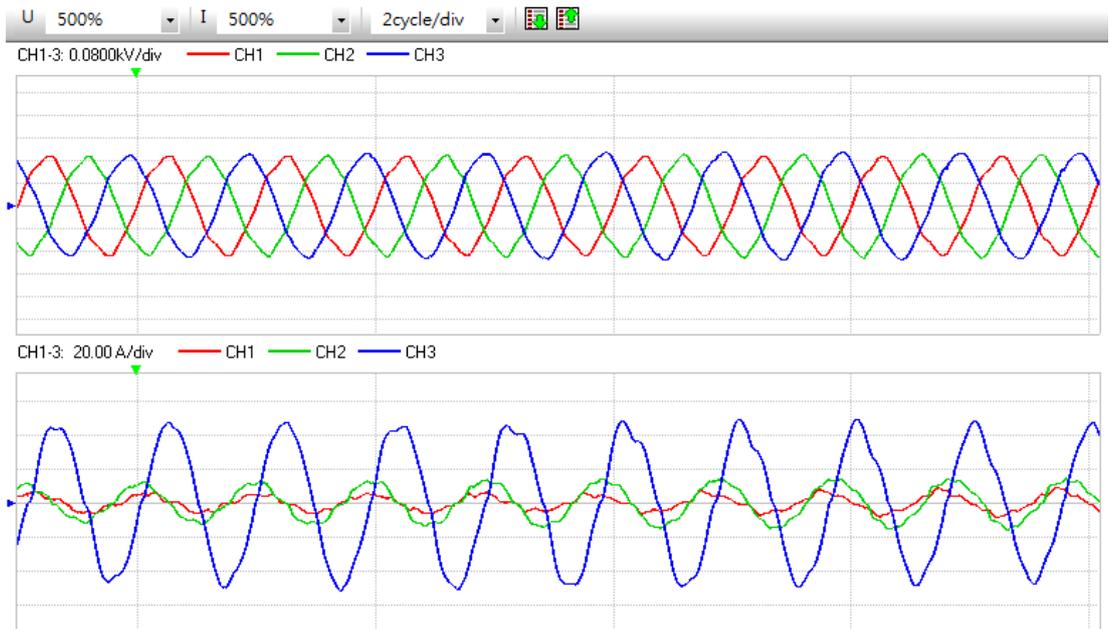


圖 4-5 T 相過電壓之電壓及電流波形

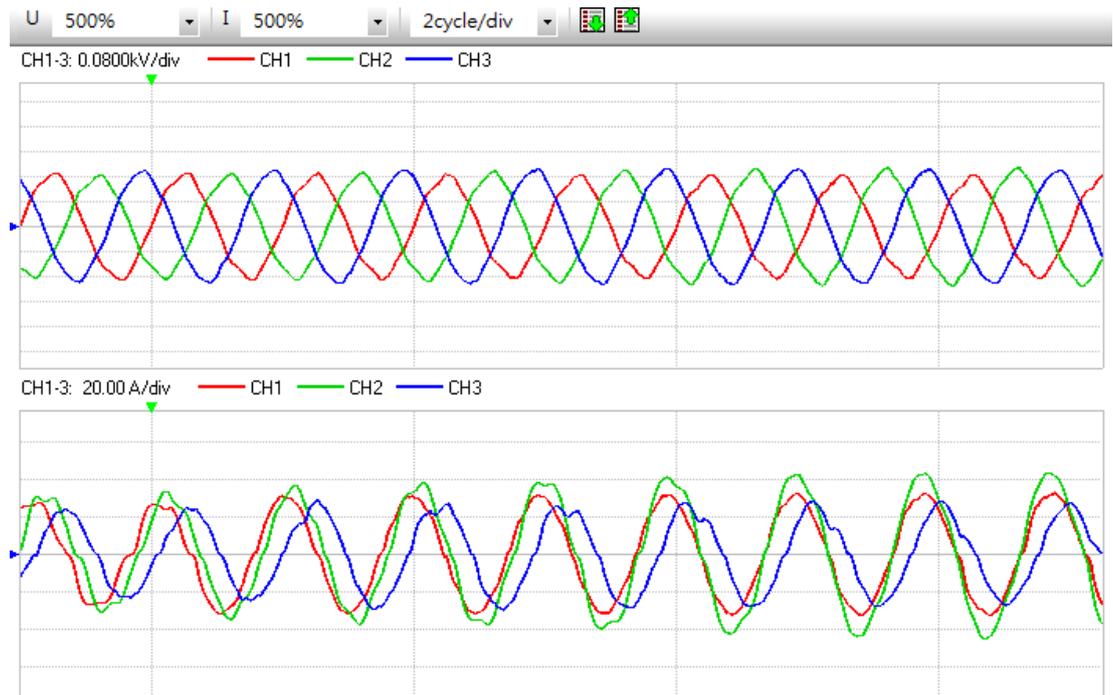


圖 4-6 R 相低電壓之電壓及電流波形

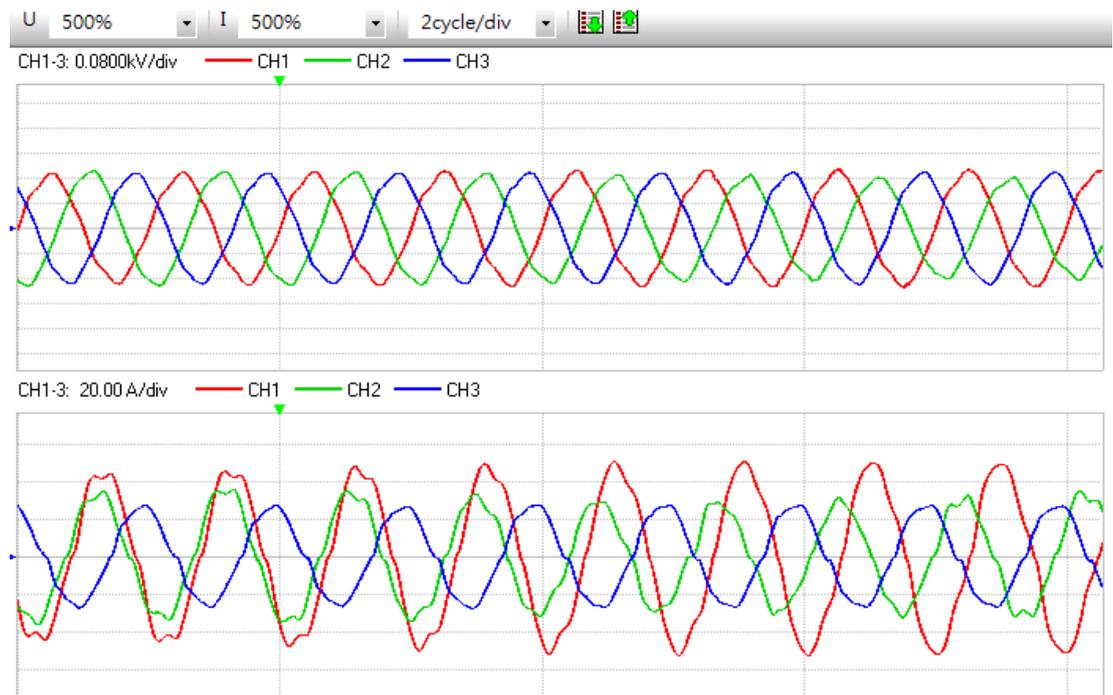


圖 4-7 R 相過電壓之電壓及電流波形

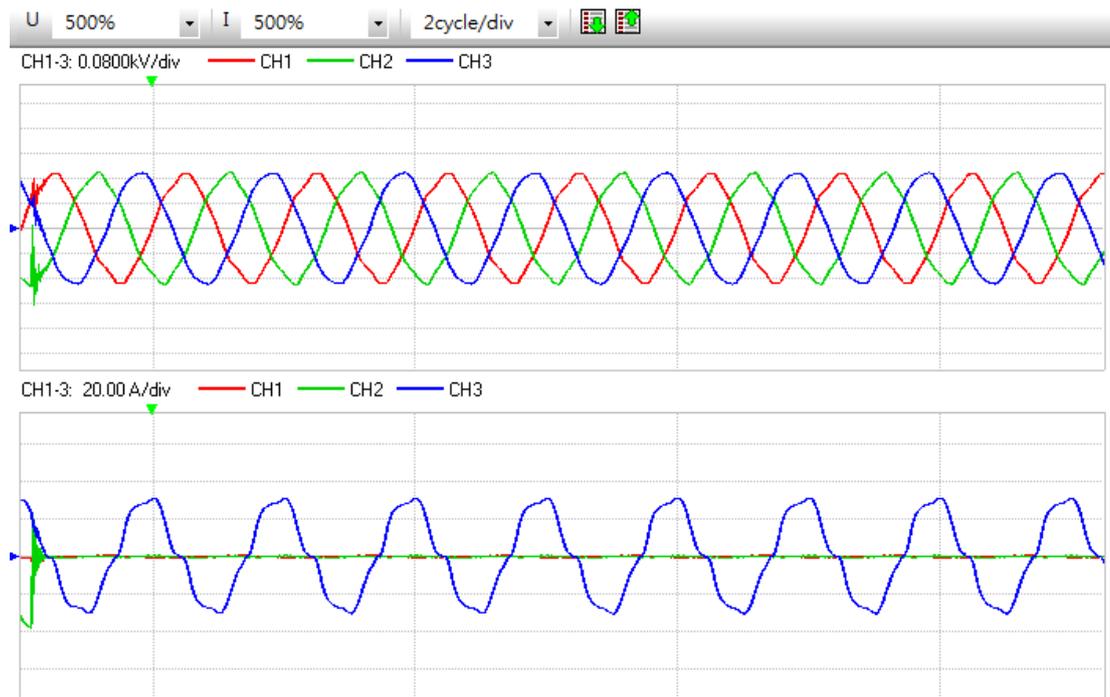


圖 4-8 R、S 相跳機之電壓及電流波形

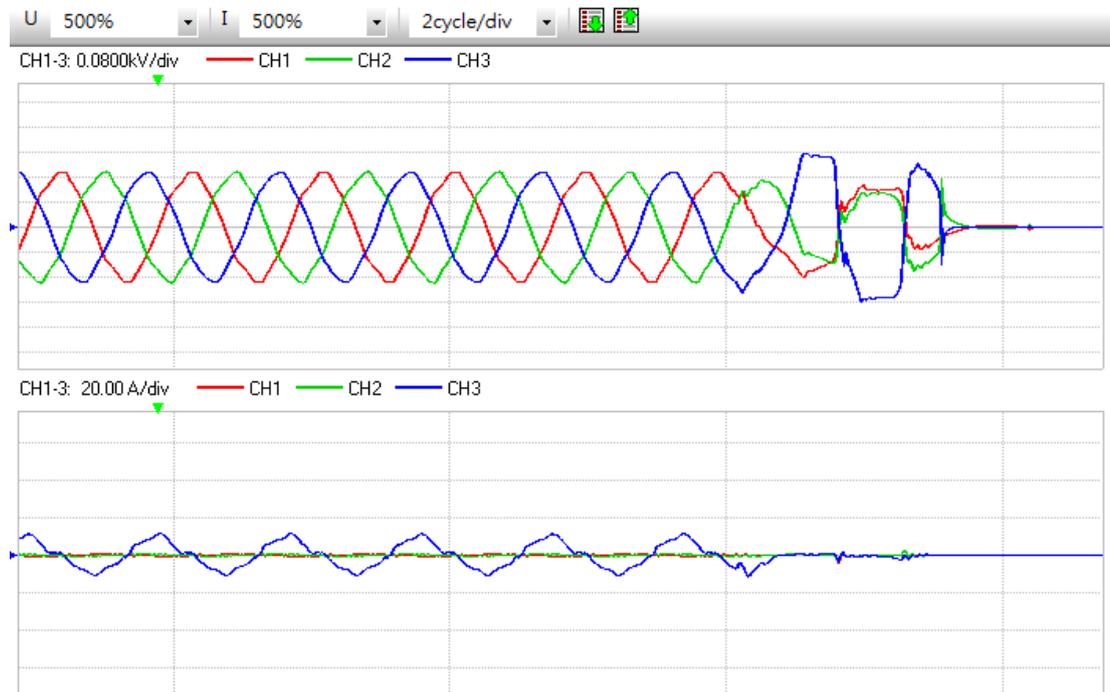


圖 4-9 T 相跳機之電壓及電流波形

表 4-1 東吉嶼量測紀錄

Hioki 3238 第一組變壓器一次側(PV 端)	
PV 全數切離，只留下第一組 PV 變壓器。	
事件電壓設定: $114 < V < 126$ Volts 頻率設定: $59.5 < f < 60.5$ Hz 超過此範圍之數據稱為過/低電壓	
時間	三相過/低電壓
13:59:51.802	S 相低電壓 113.96 V
13:59:53.802	S 相過電壓 128.19 V
13:59:54.202	S 相過電壓 128.57 V
13:59:55.002	S 相過電壓 128.97 V
14:00:06.202	T 相過電壓 127.86 V
14:00:06.602	T 相過電壓 128.64 V
14:00:07.002	T 相過電壓 126.10 V
14:00:49.201	R 相過電壓 126.08 V
14:00:50.401	R 相過電壓 127.40 V
14:00:51.402	S 相過電壓 126.13 V
14:00:52.402	R 相過電壓 126.10 V
	S 相過電壓 128.56 V
14:00:52.801	S 相過電壓 128.42 V
14:00:53.001	R 相過電壓 126.09 V
14:00:53.801	S 相過電壓 126.34 V
	R 相低電壓 113.58 V
14:00:54.201	R 相過電壓 127.93 V
14:00:54.402	S 相過電壓 128.42 V
14:00:54.802	R 相過電壓 128.23 V
14:00:57.801	S 相過電壓 130.09 V
	PV Inverter R、S 相跳機
14:01:41.801	PV Inverter T 相跳機

量測結果顯示，放置於山下柴油發電機輸出端之 Hioki 電力分析儀，並未量測到任何過電壓/低電壓事件，因此排除因為東吉嶼負載之輕/重載而導致 PV Inverter 發生 RST 三相過電壓/低電壓事件。在 PV 關閉的狀態下，放置於變壓器二次側海管處端之 Hioki 電力分析儀，並未量測到任何過電壓/低電壓事件，因此排除因為海管處負載之輕/重載而發生 RST 三相過電壓/低電壓事件。

(三) 本章小結

本章節進行東吉嶼 PV Inverter 併網異常跳脫分析，由量測結果顯示 PV Inverter RST 三相電壓不穩定，異常跳脫原因為 PV Inverter 設備問題。

五、微電網長距離傳輸介面系統

(一) 長距離無線通訊可行性

東吉嶼微電網之兩個主要發電裝置，分別是既設的柴油發電機組與新設的防災型太陽光電發電(PV)系統，柴油發電機組位於東吉嶼村莊港口處，防災型太陽光電發電系統位於東吉嶼北方山上。柴油發電機機房與太陽光電發電系統控制室之距離如圖 5-1 所示，直線距離約為 472 公尺。



圖 5-1 發電機房與太陽光電系統控制室相隔距離示意圖

鑑於東吉嶼柴油發電機機房與太陽光電發電系統控制室之距離，考慮使用無線通訊之方式將柴油發電機之電壓、電流及功率等資訊傳回監控平台SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)平台之可行性。

預期使用智慧型電子裝置(IED)量測柴油發電機機房之柴油發電機的電壓、電流及功率等資訊經由無線通訊之方式傳輸至太陽能光電發電系統控制室SCADA平台。目前市面上之IED尚無可直接透過無線通訊方式與SCADA平台傳輸之功能，故IED必須先接至發電機房交換器(Switch)再連接至無線基地台路由器(Access point Router)，簡稱為AP Router，透過Wi-Fi將電網資料傳輸回SCADA平台。因此使用之AP Router及Switch通訊設備須符合IEC 61850通訊協定。

根據市面上網路通訊設備廠商表示，目前市面上之Switch有符合IEC 61850通訊協定之設備，但無線通訊之AP Router並無符合IEC 61850通訊協定之設備，因為IEC 61850通訊協定屬於使用於變電所自動化系統，變電所皆為高壓電及高電磁波的環境，無線通訊傳輸會受到電磁波影響，導致通訊品質不佳，因此並無廠商研發符合IEC 61850通訊協定之無線AP Router。

東吉嶼微電網長距離無線通訊經研究為不可行，因目前並沒有符合IEC 61850協定的無線AP Router，因此，為符合IEC 61850通訊協定，建議以佈置實體通訊線路作為東吉嶼微電網長距離傳輸介質。

(二) 試驗架構介紹

圖 5-2 為通訊介面系統模擬架構示意圖，透過 IED 蒐集電驛試驗器(Doble)之模擬訊號，經過 Ethernet Switch 將資料傳輸至電腦主機，再利用 E3 SCADA 軟體蒐集 IED 資料。圖 5-3 為實驗室設備配置。圖 5-4 為模擬太陽能光電系統控制室架構(SCADA)。圖 5-5 為模擬柴油發電機機房架構。

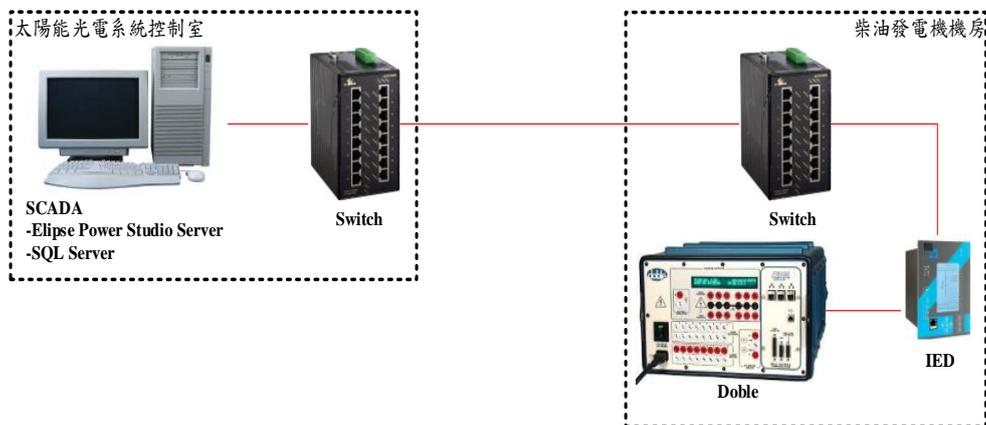


圖 5-2 通訊模擬架構示意圖



圖 5-3 實驗室設備配置

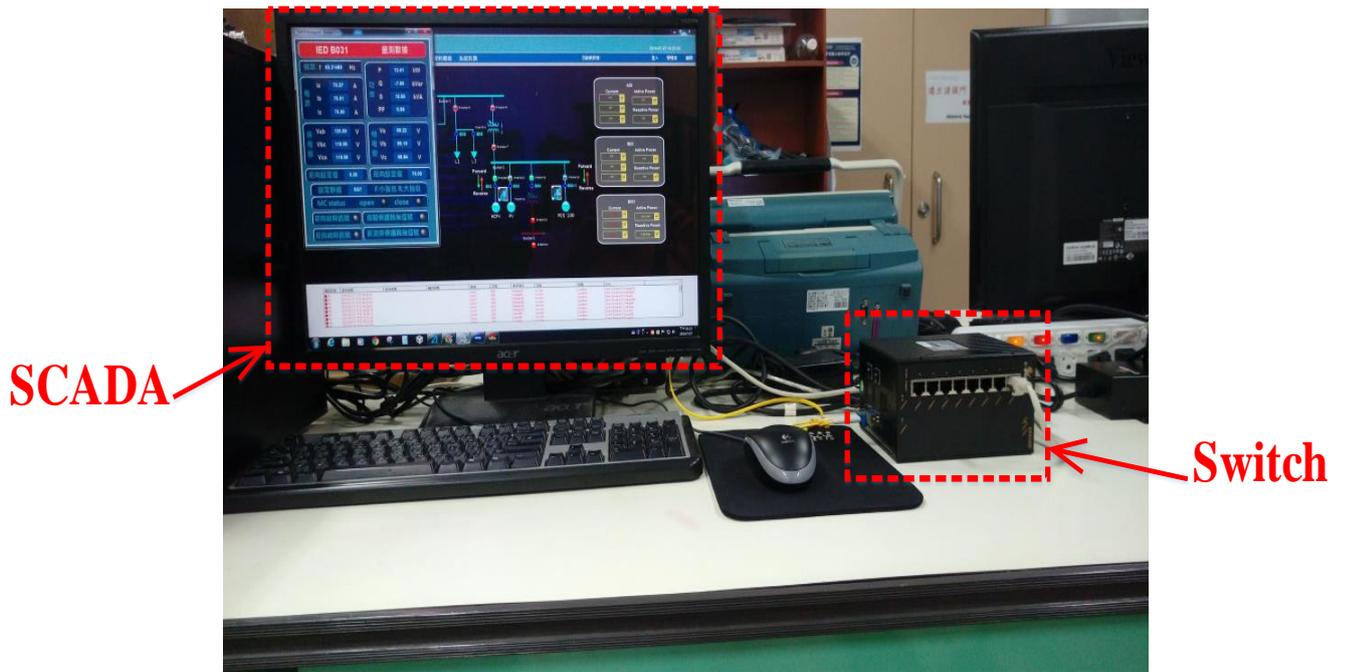


圖 5-4 太陽能光電系統控制室架構(SCADA)

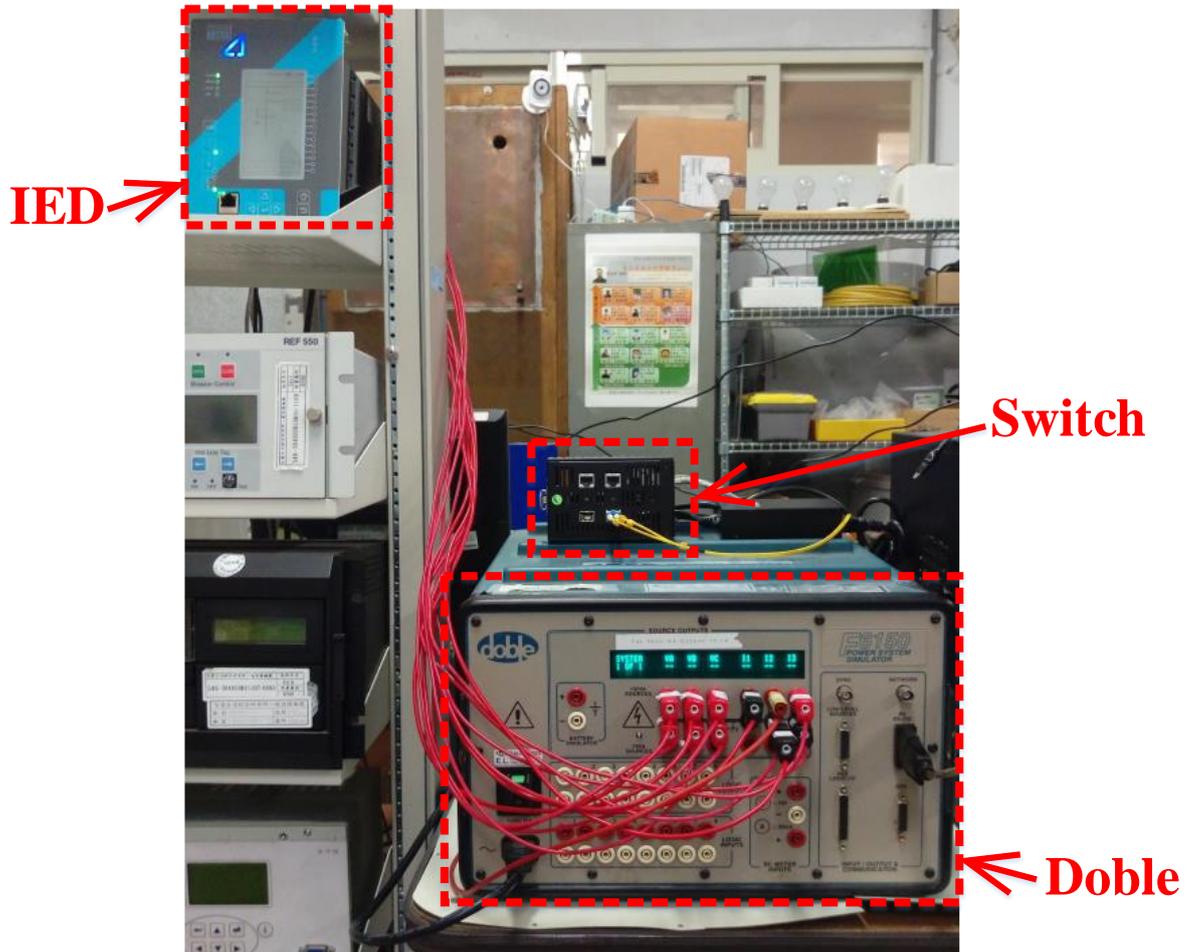


圖 5-5 柴油發電機機房模擬架構

通訊介面系統模擬架構，實驗室使用設備清單如下：

1. 電驛試驗器(Doble)
2. 智慧型電子裝置(IED)
3. 交換器(Switch)
4. 單模光纖SFP模組
5. LC/LC單模雙芯光纖線
6. Elipse E3 SCADA模擬軟體

(三) 通訊介面系統試驗結果

電驛試驗器(Doble)設定電力模擬訊號為各相電壓(VA、VB、VC)皆為 69V；各相電流(I1、I2、I3)皆為 5A，如圖 5-6 所示。進行 Doble 與 IED 量測點接線，模擬 IED 量測柴油發電機輸出電壓及電流數據，IED 再連接至 Switch。雙端 Switch 之間採用光纖為傳輸媒介，各自於 Switch 加裝一個單模光纖 SFP(Small Form Pluggable)模組，雙端由 LC/LC(Lucent Connector)單模雙芯光纖線進行連接。SCADA 端再經由與 Switch 連接，接收來自 IED 量測之各相電壓、各相電流、頻率(f)、實功率(P)、虛功率(Q)及功率因素(PF)等數據。如圖 5-7 所示。

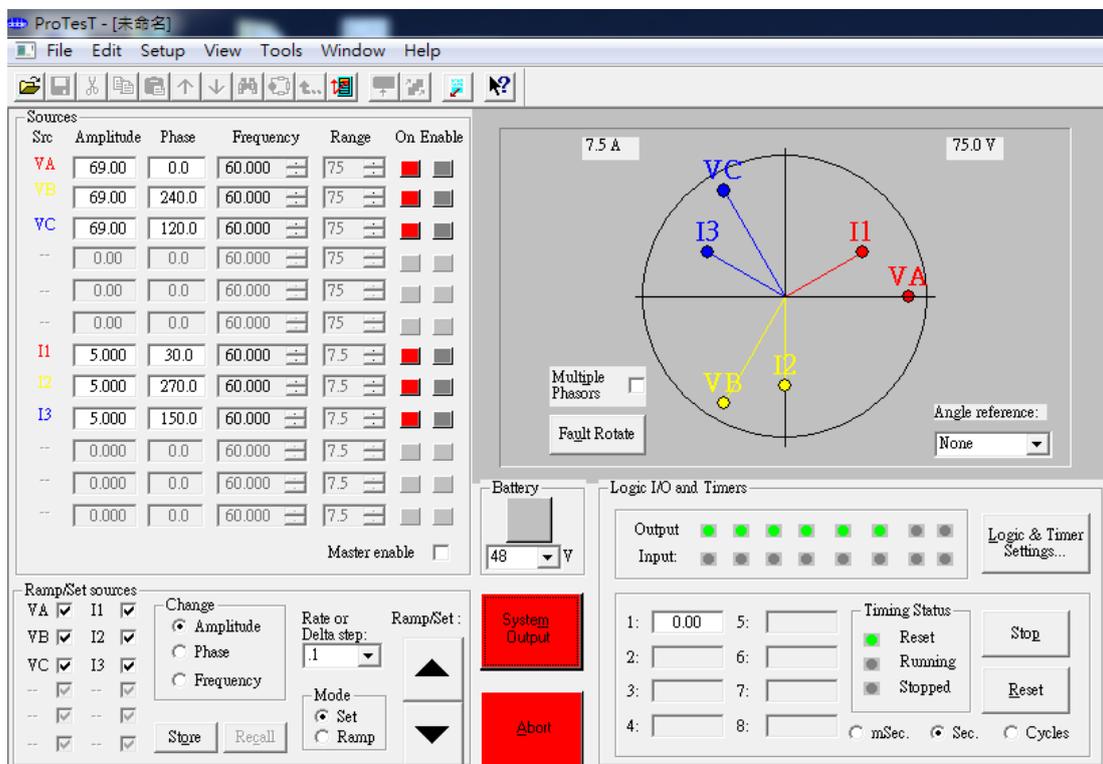


圖 5-6 Doble 電力模擬訊號

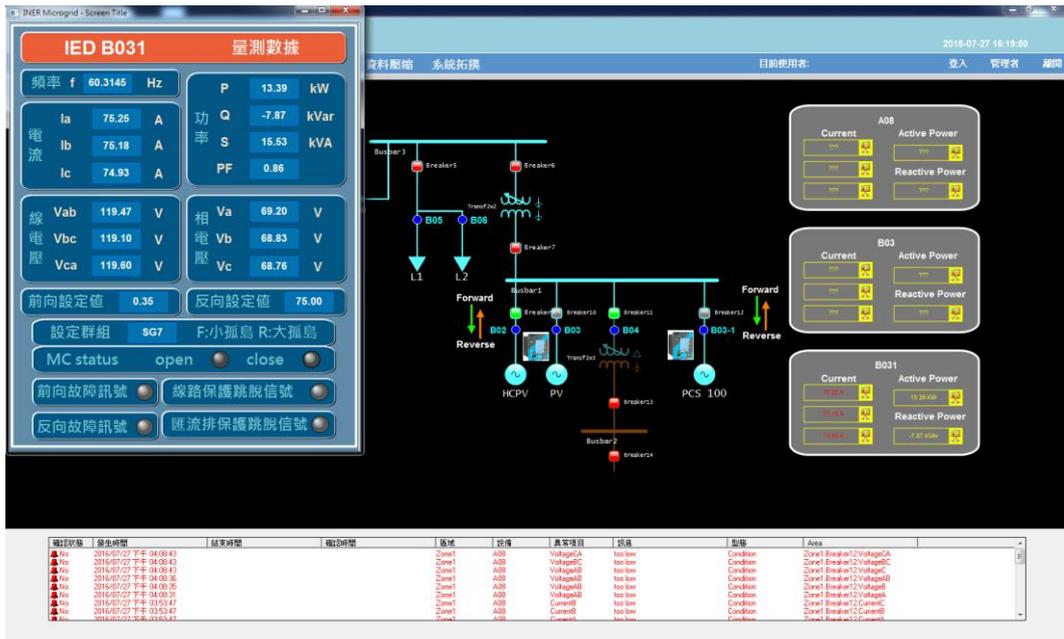


圖 5-7 SCADA 接收狀態圖

(四) 東吉嶼 IED Goose 通訊測試

東吉嶼上的柴油發電機機房與遠處太陽能光電系統控制室之間光纖通訊測試內容為 IED 間的 Goose 通訊測試，整體架構如圖 5-8 所示

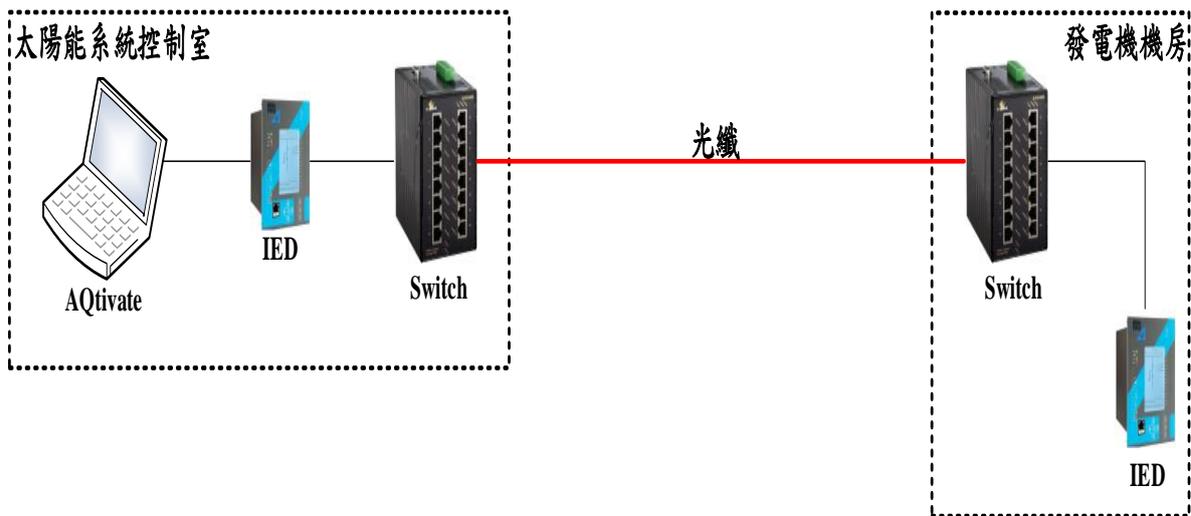


圖 5-8 Goose 通訊測試架構

IED Goose 通訊測試步驟如下列所示:

1. 進行IED連線。
2. 完成邏輯規劃。
3. 設定事件觸發(Digital Input觸發)。
4. Goose訊息傳輸測試。
5. 計算Goose傳送時間。

利用 IED 的 DI 輸入信號進而觸發 IED 發送一個 Goose 信號到另一台 IED，示意圖如圖 5-9 所示。

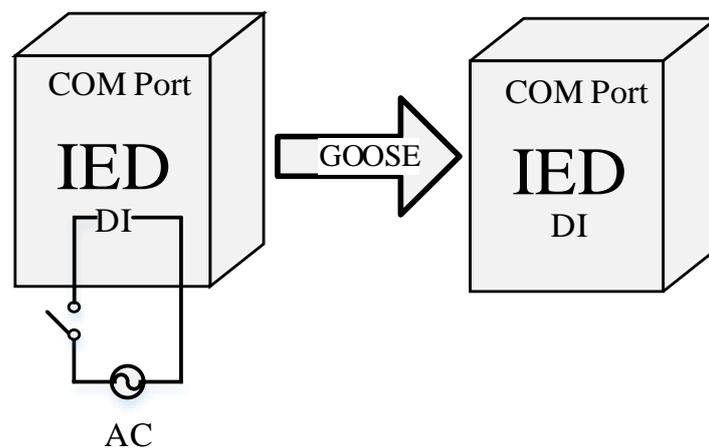


圖 5-9 IED 傳送 Goose 示意圖

圖 5-10 為於東吉嶼柴油發電機機房架設 AQ102 IED，藉由網路線連接 IED 與柴油機機房交換器(Switch)，再利用光纖通訊技術，將資料傳遞至太陽能系統控制室。

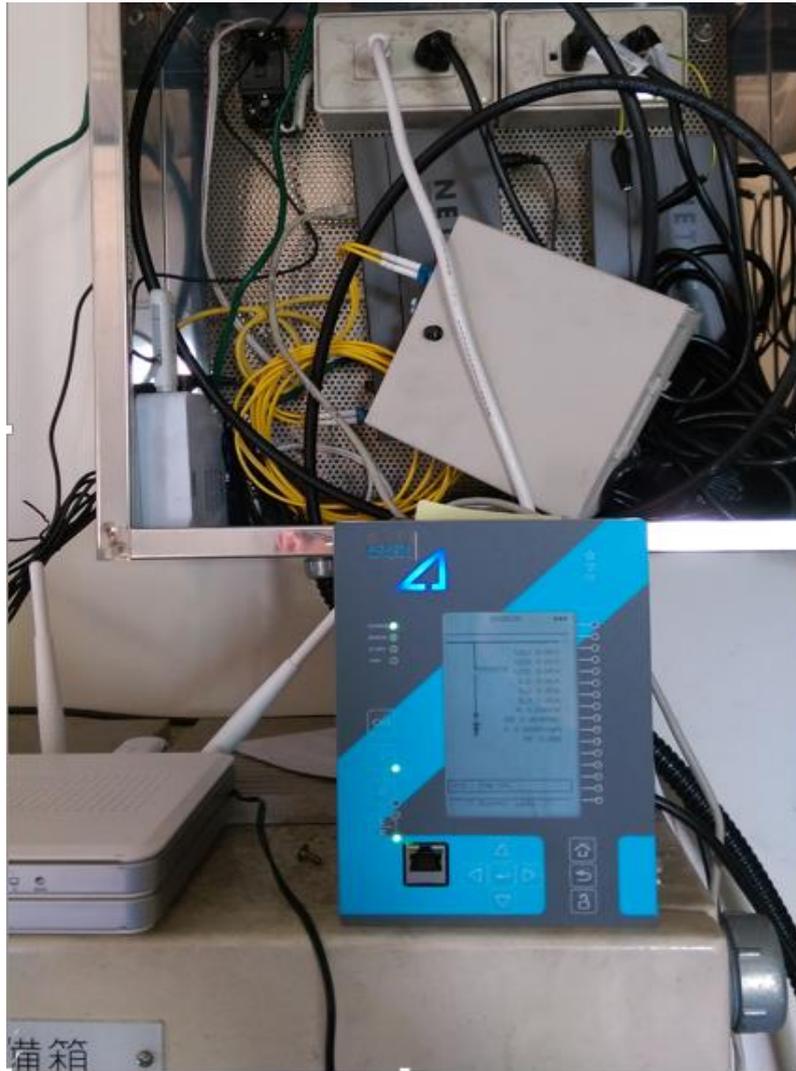


圖 5-10 IED 架設於柴油機機房

圖 5-11 為於東吉嶼太陽能系統控制室架設 AQ107 IED，藉由網路線連接 IED 與太陽能系統控制室交換器(Switch)。使用 IED 專用軟體 AQtivate 對柴油發電機機房以及太陽能系統控制室之 IED 進行連線。



圖 5-11 IED 架設於太陽能系統控制室

AQtivate 與兩台 IED 進行連線成功後，設定 IED 邏輯規劃以及觸發條件。本次 IED Goose 通訊測試由太陽能系統控制室之 AQ107 IED 觸發 DI 後傳送 Goose 訊號至柴油發電機機房之 AQ102 IED。

AQ107 IED 觸發 DI1、DI2 及 DI3 後傳送 Goose 信號給 AQ102 IED 之 Logical In4、Logical In3 及 Logical In5，測試結果如圖 5-12 及圖 5-13 所示。東吉嶼 IED Goose 光纖通訊測試顯示太陽能系統控制室與柴油發電機機房之間能順利傳送 Goose 信號，但目前島上並無時間同步校時儀器(NTP Time Sever)，因此 IED 僅能以電腦時間作為時間同步依據，電腦時間精確度只到秒，對於毫秒的顯示會有誤差，所以對於 Goose 信號傳送時間精確度會有影響。

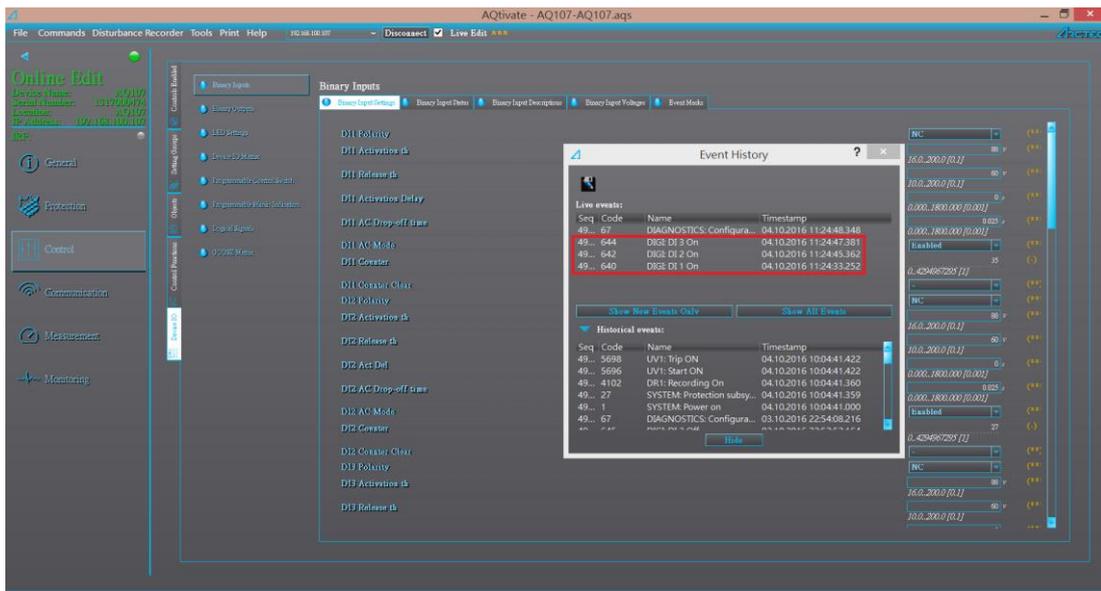


圖 5-12 IED(AQ107)DI 觸發傳送 Goose 信號

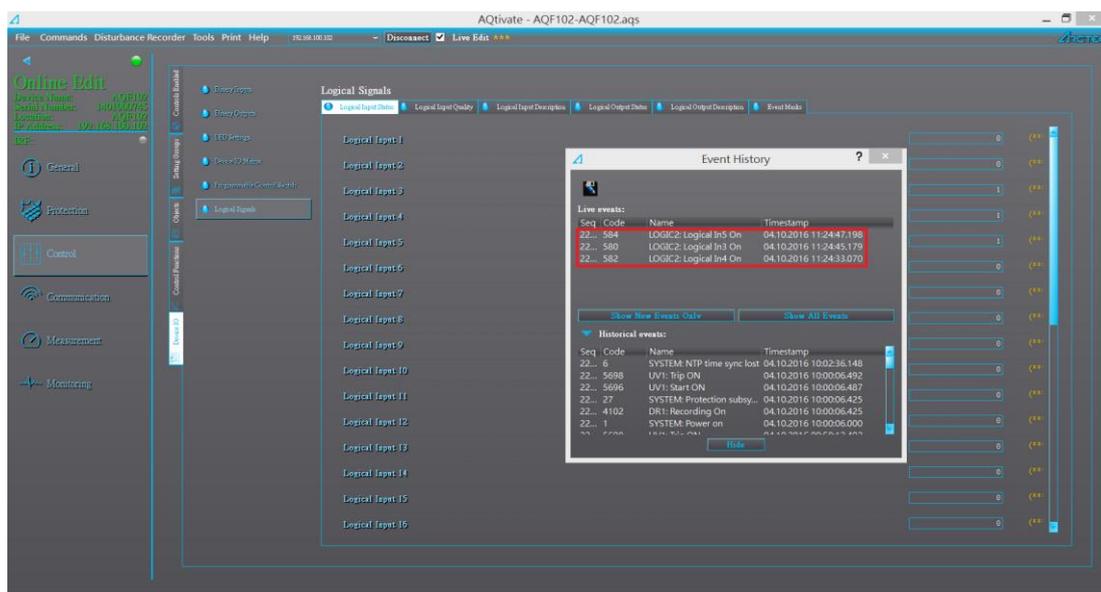


圖 5-13 IED(AQ102)接收 Goose 信號

(五) 本章小結

本章節進行東吉嶼長距離光纖通訊之可行性分析，於實驗室建置光纖通訊系統，模擬東吉嶼之太陽能光電系統控制室與柴油發電機機房電氣資訊傳輸測試。最後實際至東吉嶼運用光纖通訊進行 IED Goose 傳輸測試。目前提供無線通訊功能的 AP Router 並沒有可以滿足 IEC61850 通訊協定的設備可供使用，因此此次研究無法使用無線通訊之架構。

六、微電網 SCADA 平台暨保護管理系統

(一) SCADA 平台暨保護管理系統簡介

SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)即資料採集和監視控制，它是電網調度技術支援系統的重要基礎和核心組成部分之一。

智慧電網時代，電網結構與運行方式日益複雜，需要採用高效的調度運行機制及先進的技術支援，SCADA 平台進行廣泛的資料蒐集與共享，進行協調的控制等，提高電力供給系統的效率性與可靠性。SCADA 平台可透過通訊方式與現場設備做資料交換，經由 IEC 61850 通訊協定遠端取得資料後，透過 SCADA 後端平台進行分析運算，並做出適當的決策，達到系統有效管理的目的[32]。

保護管理系統 PMS(Protection Management System)即將微電網所有量測設備之監測數據，透過乙太網路通訊將其傳送至 SCADA 平台，而 SCADA 平台將已收到之現場資料進行分析運算並做出決策，進而將決策命令回傳至現場之保護設備，使得保護設備動作，以達到保護微電網之功能。東吉嶼微電網保護管理系統示意圖如

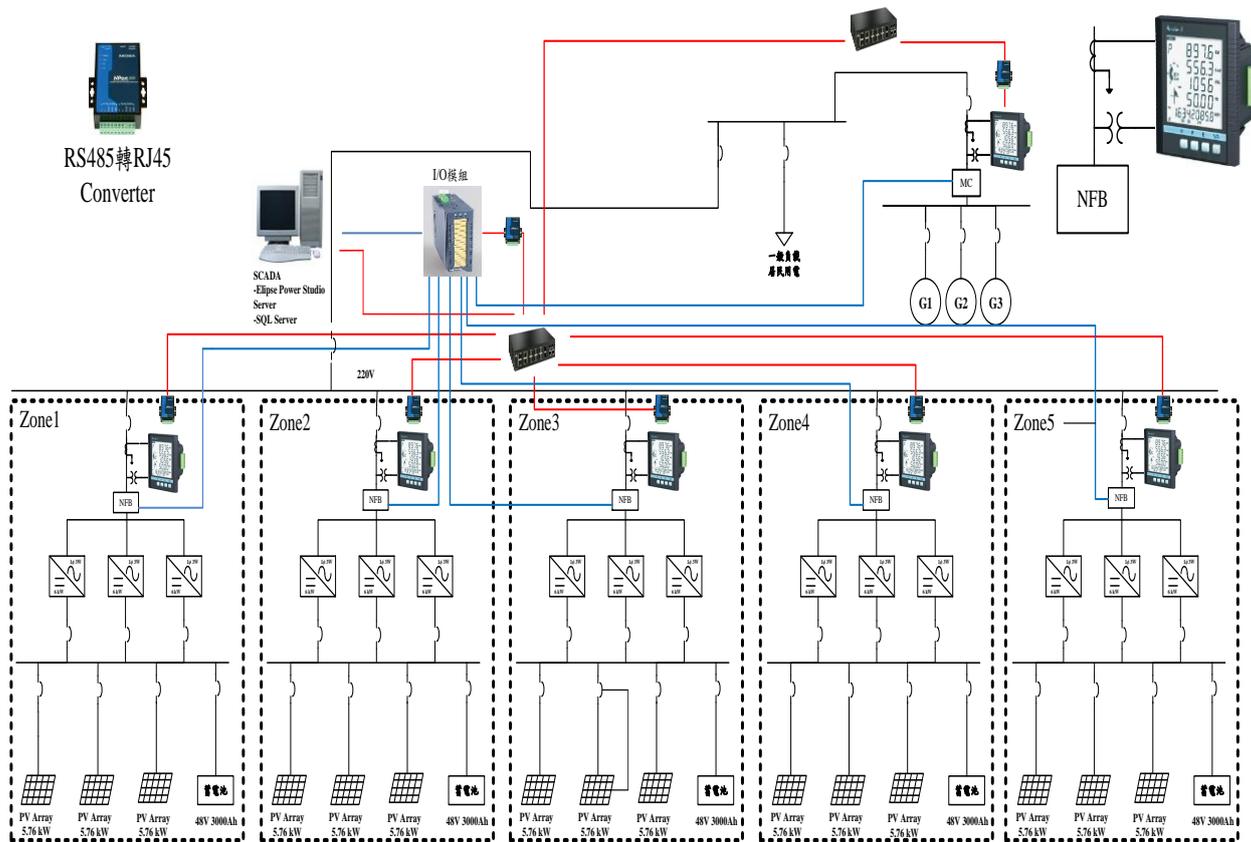


圖 6-1 所示。

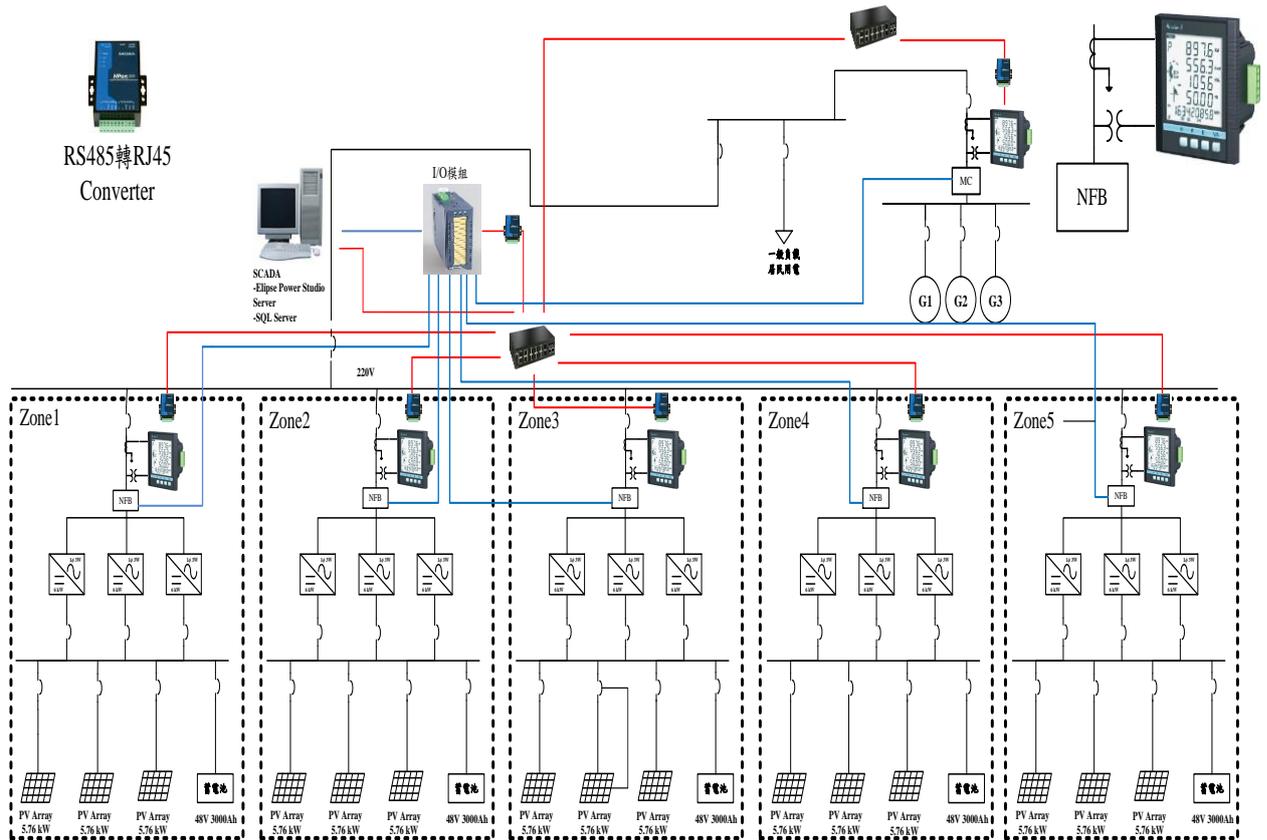


圖 6-1 東吉嶼微電網保護管理示意圖

本計畫將建立 PMS 於 SCADA 平台中，由 PMS 管理微電網之保護設定。基於東吉嶼上所需之保護機制以及設備成本考量，因此不採用 IED 作為東吉嶼微電網保護管理系統的量測及保護設備。採用東吉嶼現有多功能集合式電錶蒐集現場電力資訊，經 PMS 決策是否啟動保護機制，發送信號至 I/O 模組控制 NFB 進行太陽能模組切離或併入之動作。

PMS 主要蒐集微電網現場電錶(Power Meter)之電壓、電流以及功率大小及現場 NFB 之開關狀態。除此之外需即時監測柴油發電機

的發電功率狀態，觀察太陽能發電系統發電過剩而導致柴油發電機功率降低進一步造成逆送電力情形。PMS 之動作流程如圖 6-2 所示，首先使用電錶蒐集柴油發電機即時功率，當太陽光電發電系統發生逆送電力，柴油發電機之輸出功率將會下降，一旦 PMS 偵測功率下降至欠功率始動值時，SCADA 傳送跳脫訊號至太陽光電發電系統，切離部分的太陽光電模組，此時柴油發電機之輸出功率將會回升，當 PMS 偵測功率回升至復歸始動值時，SCADA 傳送復歸訊號至太陽光電發電系統，復歸切離的太陽光電模組，完成柴油發電機組保護之目的。

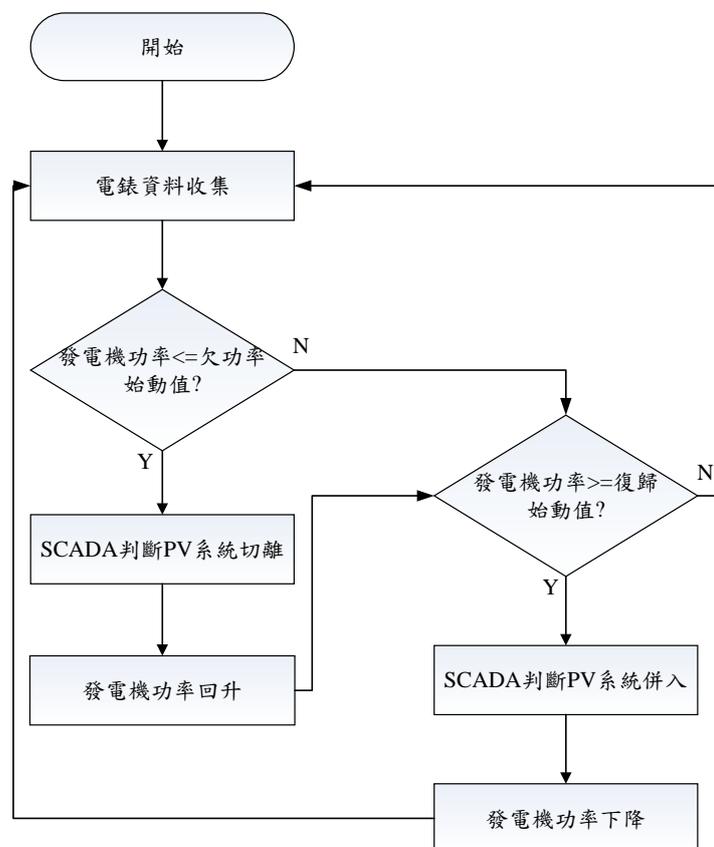


圖 6-2 PMS 動作流程圖

(二) 微電網 SCADA 平台

本計畫以澎湖東吉嶼微電網作為系統，建置微電網 SCADA 平台，東吉嶼微電網架構如圖 6-3 所示。東吉嶼微電網中包含三台柴油發電機、五組太陽能光電發電模組以及島上之負載。

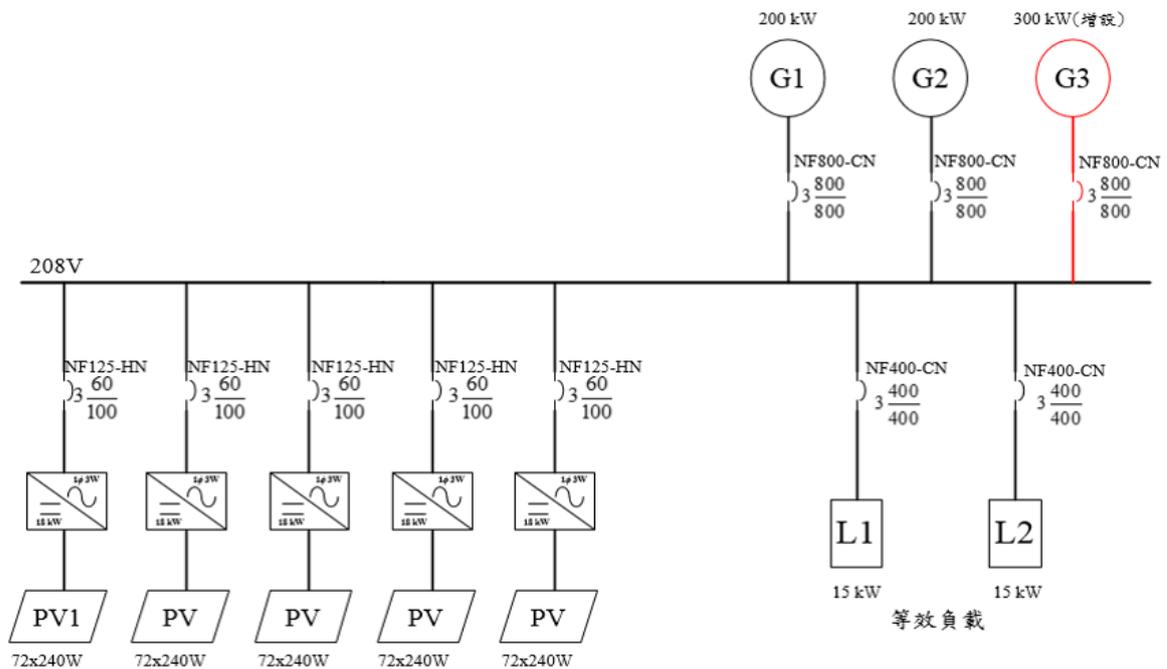


圖 6-3 東吉嶼微電網架構圖

微電網 SCADA 系統平台介面主要分成三部份，上方為工具列，中間為內容顯示畫面，下方為即時事件。工具列功能包含系統架構及即時事件，內容顯示畫面可顯示整體系統架構圖、各設備位置電錶顯示值，即時事件使得使用者可以掌握到系統開關狀態。微電網 SCADA 系統平台如圖 6-4 所示。

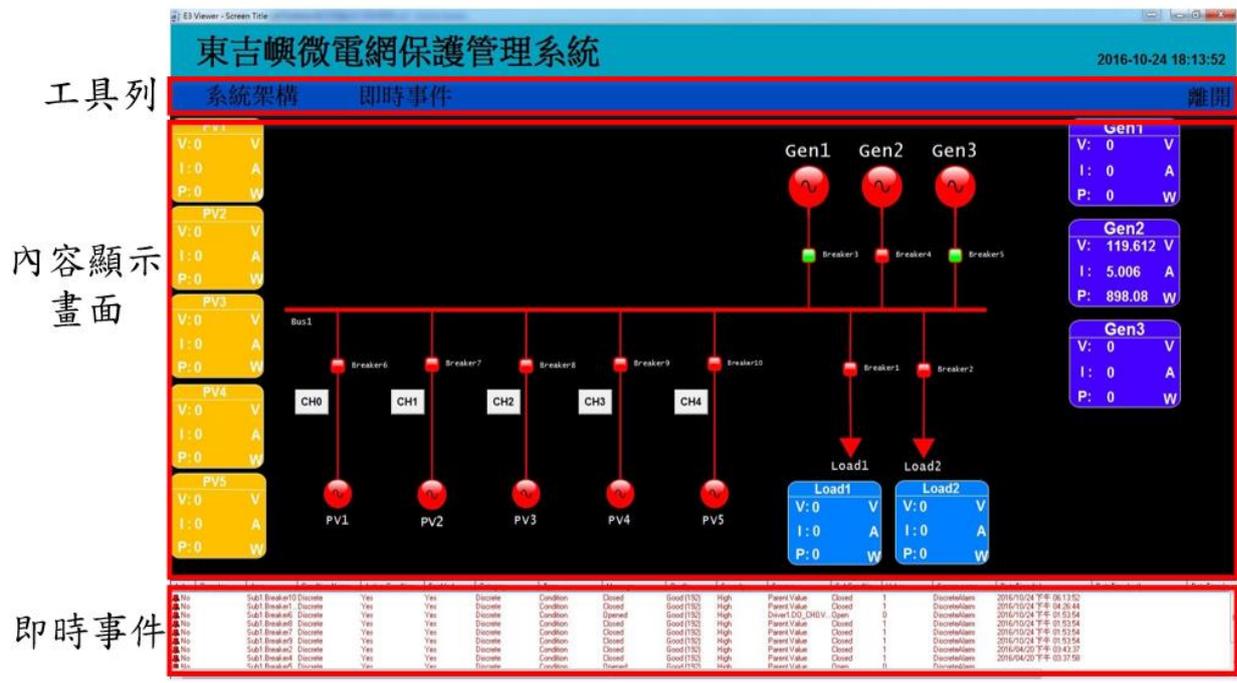


圖 6-4 微電網 SCADA 平台

微電網 SCADA 平台畫面呈現出各電錶蒐集之柴油發電機(Gen)、太陽能光電發電系統(PV)及負載(Load)之電壓、電流以及實功率。即時事件，如圖 6-5 所示，當微電網系統之柴油發電機、太陽能光電發電模組及負載開關發生變化時，應顯示其開關狀態，使得使用者了解目前柴油發電機、太陽能光電發電模組及負載的運作情形。



圖 6-5 SCADA 即時事件

(三) PMS 保護策略規劃與 SCADA 整合

保護管理系統模擬架構，實驗室使用之量測設備、通訊設備及保護設備清單如下：

1. 電驛試驗器(Doble)
2. DM2436AB 多功能集合式電錶(Power Meter)
3. 交換器(Switch)
4. 單模光纖SFP模組
5. LC/LC單模雙芯光纖線
6. RS485—RJ45轉換器
7. I/O模組
8. NFB電動操作開關
9. NFB無熔絲開關
10. Elipse E3 SCADA模擬軟體

圖 6-6 為實驗室保護管理系統模擬架構示意圖，以電驛試驗器(Doble)供應電壓電流給多功能集合式電錶，模擬柴油發電機輸出功率，當輸出功率經 SCADA 判定低於欠功率保護始動值，進行逆送電力保護跳脫。此時 SCADA 將傳送跳脫動作指令至 I/O 模組，接下來 I/O 模組控制 NFB 電動操作機構進行無熔絲開關跳脫動作，模擬切

離太陽能模組，進而達到逆送電力保護的目的。

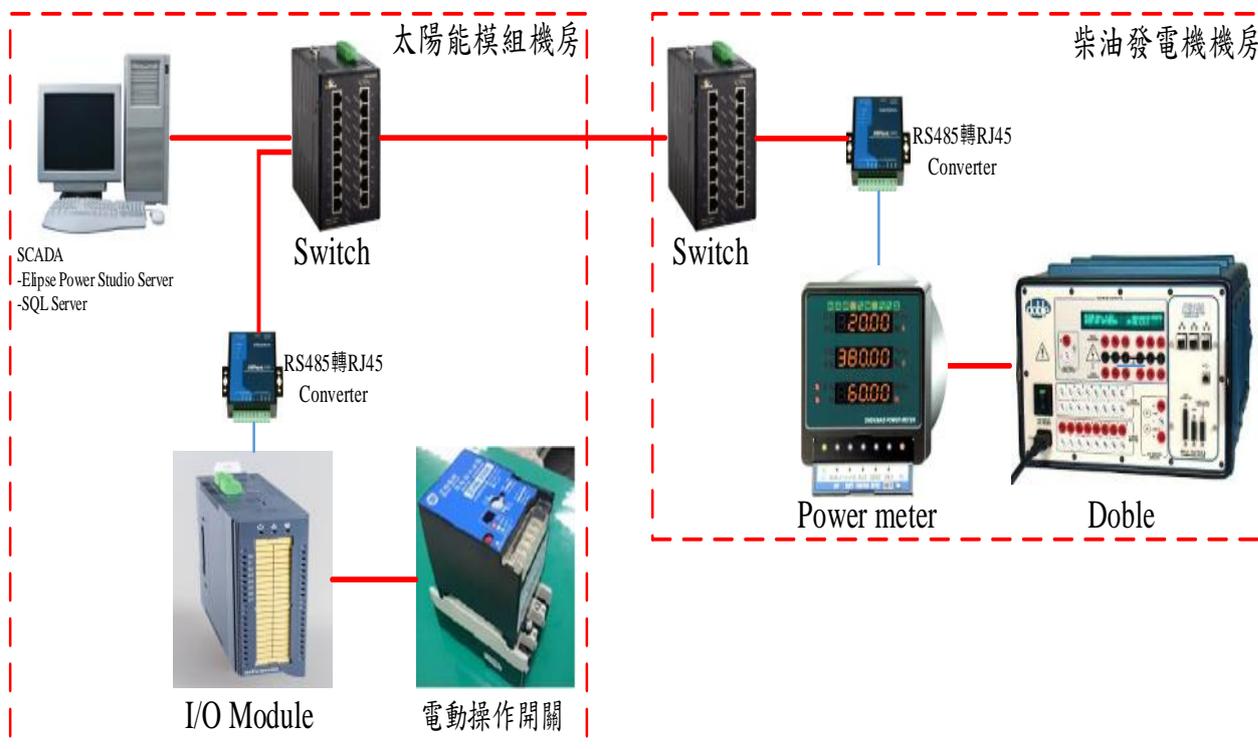


圖 6-6 實驗室保護管理系統模擬架構

保護管理系統模擬架構中，I/O 模組及多功能集合式電錶通訊協定為 Modbus 協定，因此要與 Elipse Power SCADA 進行整合，需要透過 Elipse Power SCADA 內 I/O Server 的通訊功能整合 I/O 模組及多功能集合式電錶之 Modbus 通訊協定，Elipse Power I/O Server 可支援超過 400 種通訊協定，為電力系統整合通訊設備的一大利器。

Modbus 通訊協定整合 Elipse Power 的步驟如下:

Step 1:

開啟 Elipse Power 專案，專案建構完成後，在專案檔案(Drivers and OPC)中選擇加入驅動程式(I/O Driver)，由 Browser Driver 的對話框加入 Modbus.dll 驅動程式，如圖 6-7 所示。

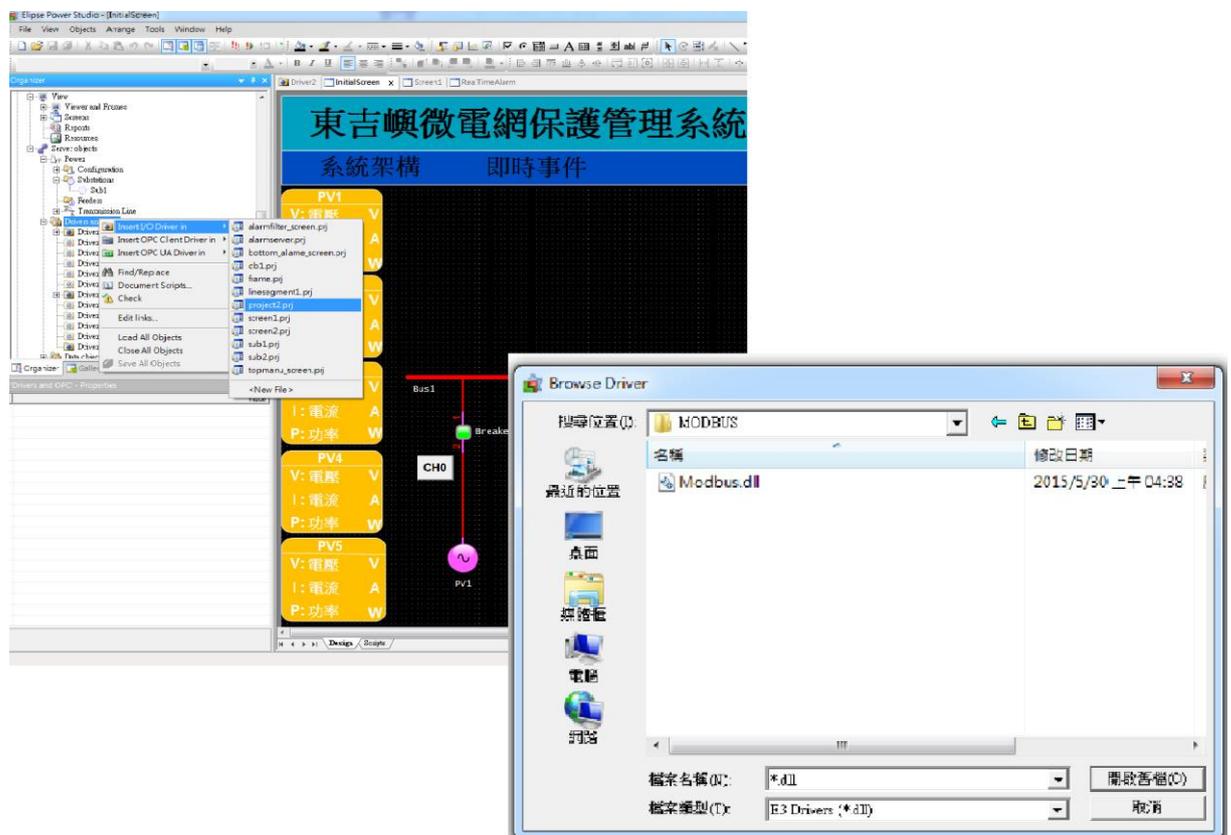


圖 6-7 Elipse Power SCADA 加入通訊驅動程式過程

Step 2:

此步驟為 Modbus 通訊設定，提供 Modbus 數據閱讀及寫入資料類型選擇；進行 Serial、Ethernet、Modem、RAS 實體連接層面選擇，本 Modbus Driver 以 Serial 作為連接設定，於 Serial 設定欄內設定所使用之設備的 COM Port、傳輸速率(Baud Rate)、資料長度(Data Bit)、同位元(Parity)及停止位元(Stop Bit)，如圖 6-8 所示，設定完成即可按確定鍵。

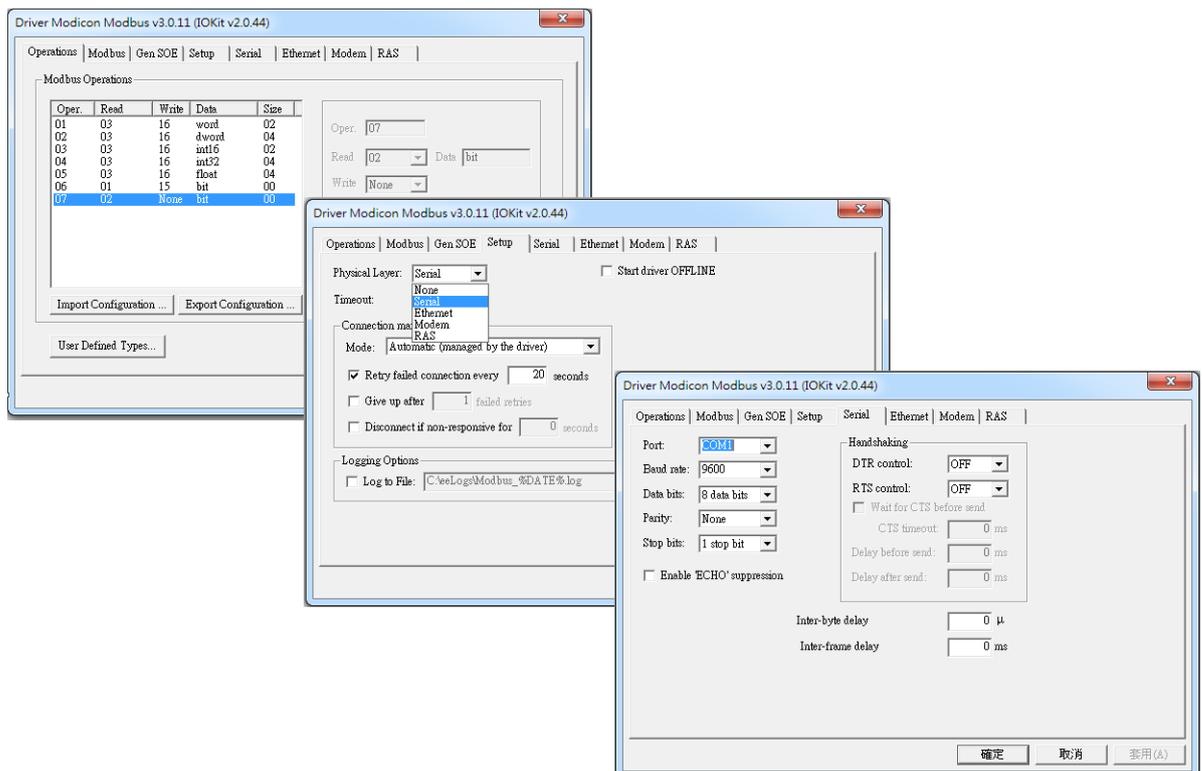


圖 6-8 Modbus 通訊設備加入系統設定

Step 3:

將使用設備之 Modbus 通訊協定設定完成後，Elipse Power SCADA 提供 Modbus Tag Browser 將所有(選擇)的資料匯入 SCADA 整合平台。如圖 6-9 所示。

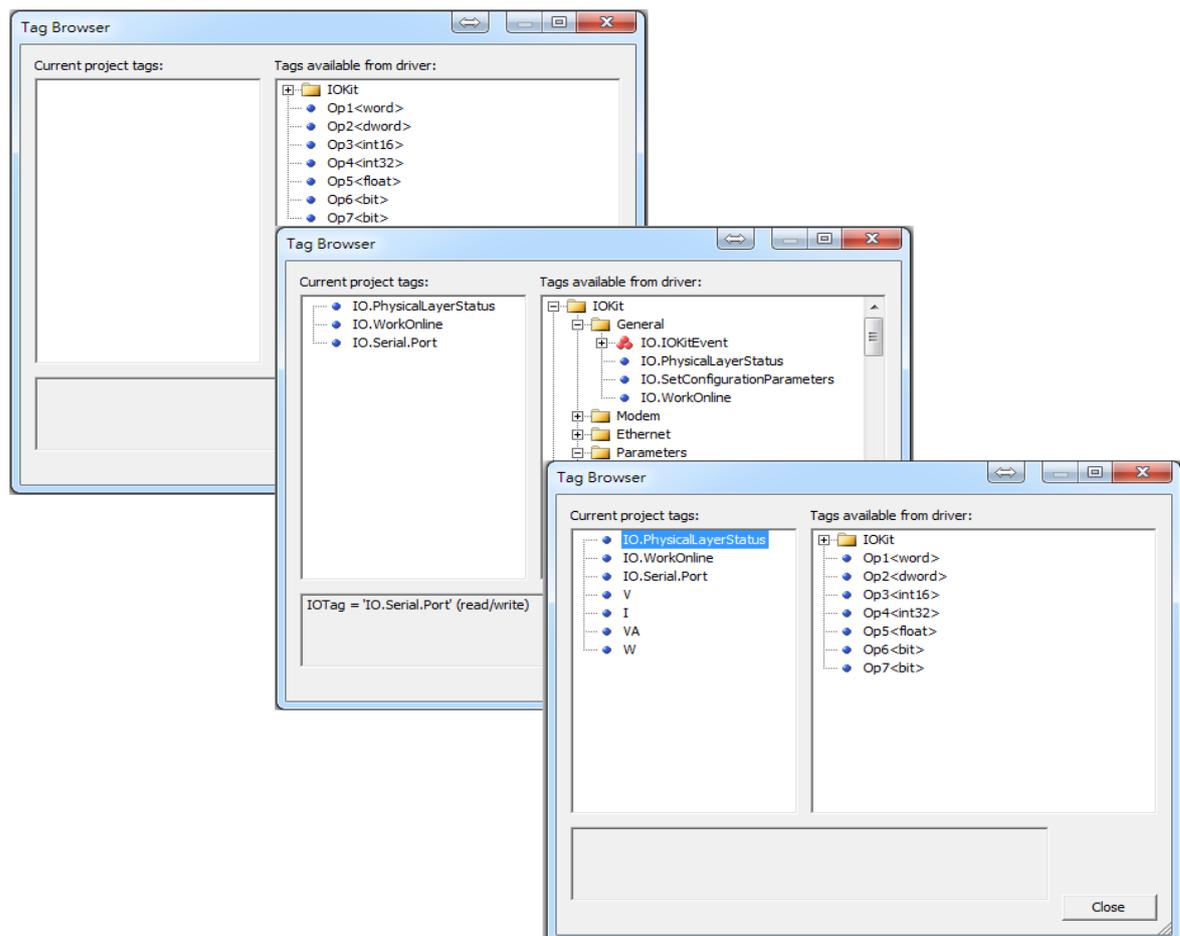


圖 6-9 Modbus Tag Browser

Step 4:

將所需要的資料由 Modbus Tag Browser 匯入 SCADA 整合平台後，開始設定匯入之資料 I/O 標示，如下列所示：

1. P1/N1/B1 :設備位址(Device Address)。
2. P2/N2/B2 :操作代碼(Operation Code)。
3. P3/N3/B3 :沒有使用，可以保持在0的狀態。
4. P4/N4/B4 :Modbus暫存器位址(Address of Modbus)。

設定完成後，可勾選匯入資料是否供讀取或者寫入，如圖 6-10 所示。

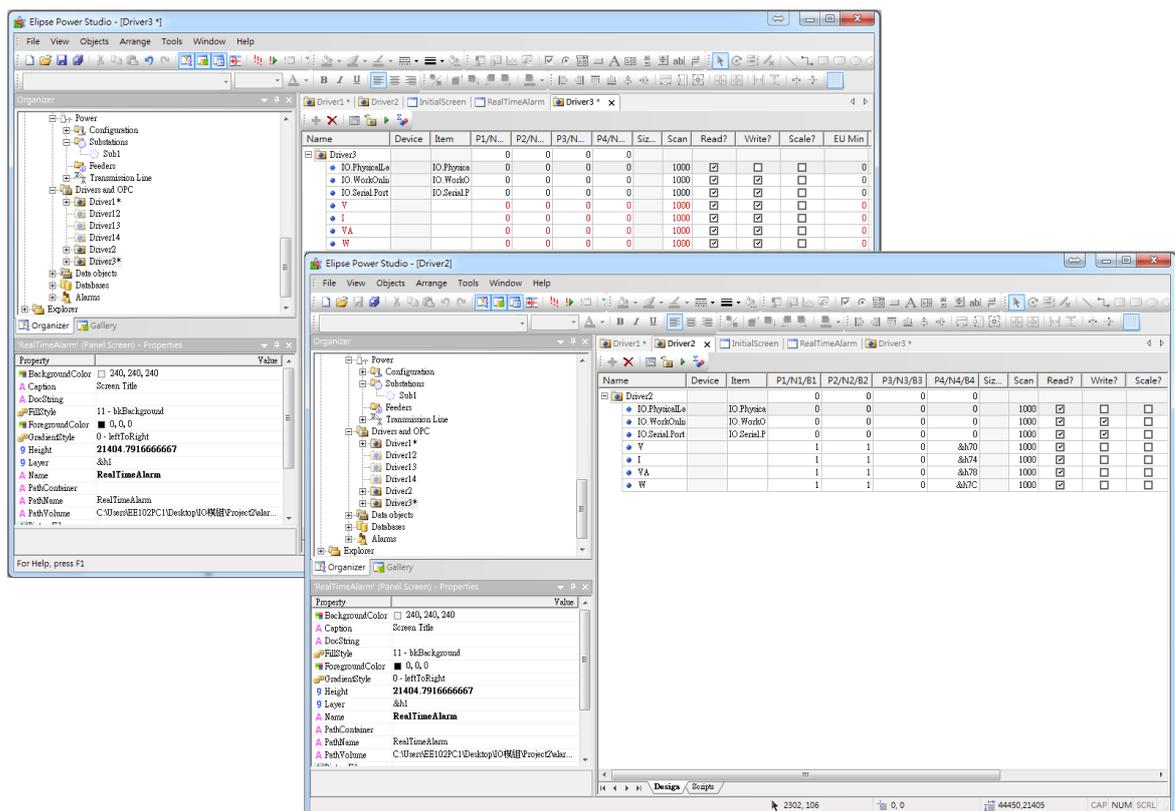


圖 6-10 Modbus Driver 匯入資料設定

Step 5:

完成 Modbus Driver 匯入資料設定後，設備 Modbus 通訊協定整合已完成。此外 Elipse Power SCADA 提供通訊測試功能，可以測試設備資料通訊狀態與監控，如圖 6-11 所示。

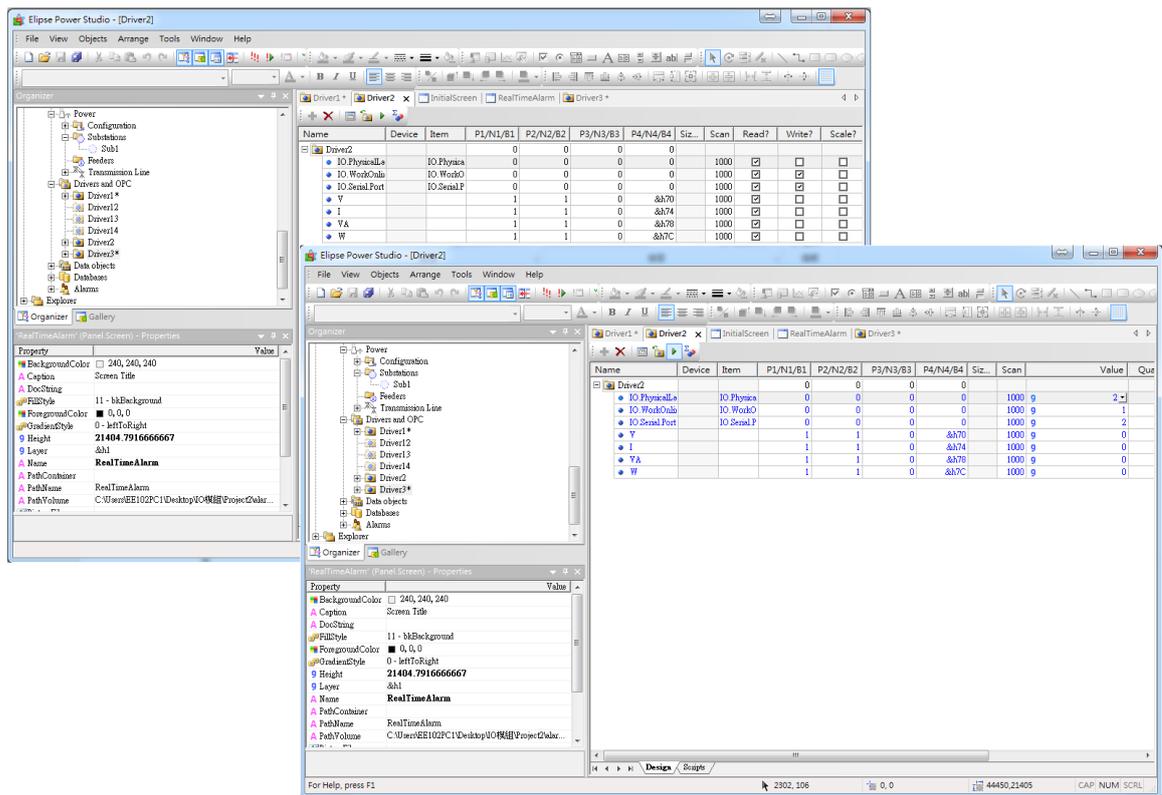


圖 6-11 Modbus Driver 即時監控

(四) 實驗室保護管理系統情境模擬

本計畫於實驗室建置保護管理系統模擬架構，示意圖如圖 6-6 所示。圖 6-12 為模擬太陽能光電系統控制架構，以 I/O Module 接收控制訊號對 NFB 電動操作開關進行投入或切離之動作，模擬太陽能模組切離或併入之狀態。圖 6-13 為 Eclipse Power SCADA 暨保護管理系統。圖 6-14 為模擬柴油發電機機房架構，以 Doble 供應電壓、電流至多功能集合式電錶，模擬柴油發電機輸出功率狀態。

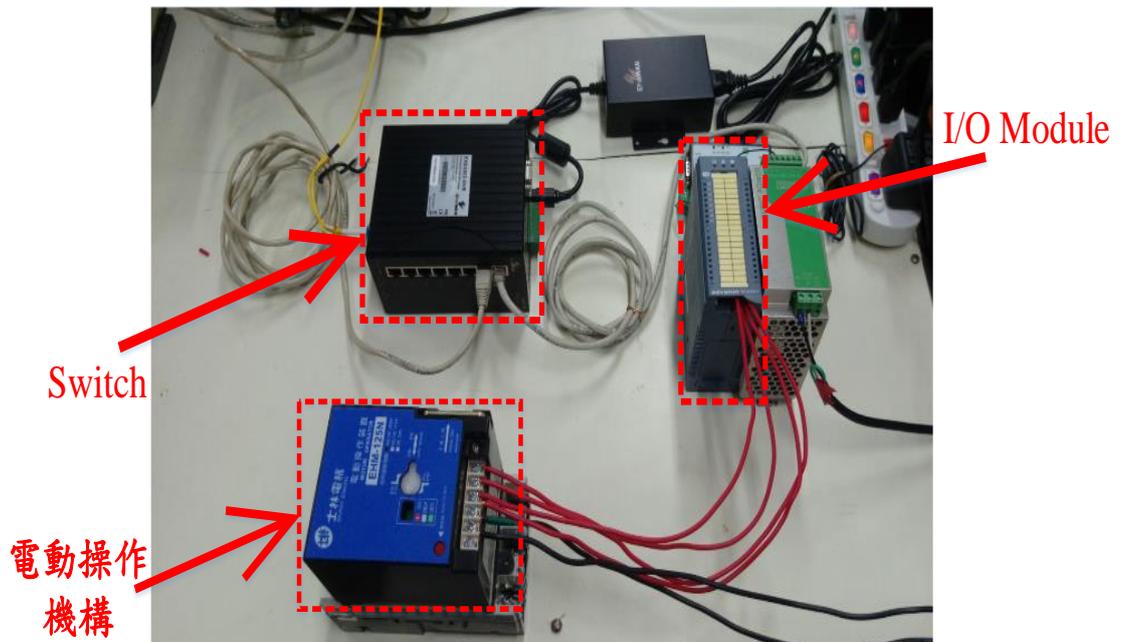


圖 6-12 模擬太陽能光電系統控制架構



圖 6-13 Elipse Power SCADA 暨保護管理系統

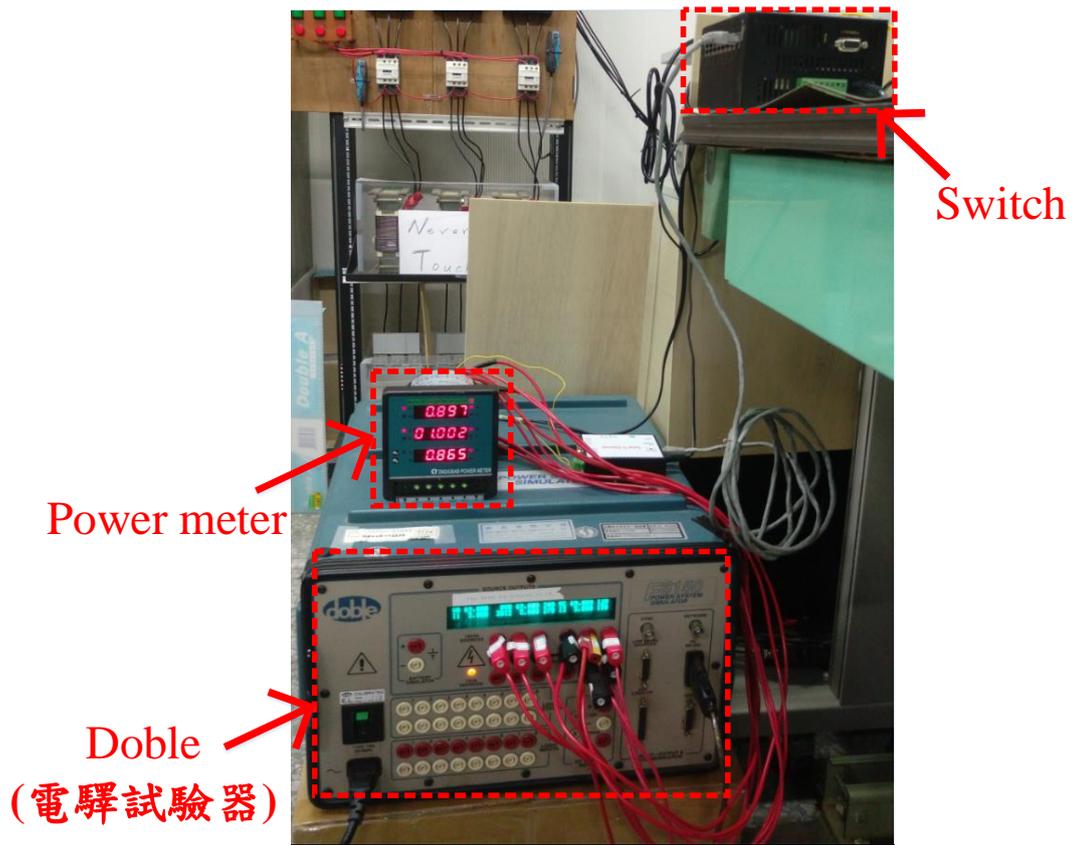


圖 6-14 模擬柴油發電機機房架構

實驗室模擬情境如下：

當柴油發電機輸出功率突然下降至保護管理系統之欠功率保護始動值時，保護管理系統為防止柴油發電機發生逆送電力發生，因此傳送跳脫信號給 I/O 模組控制部分太陽能發電模組的 NFB 電動操作開關進行 NFB 跳脫動作，切離太陽能模組，達成防止逆送電力之保護目的。

利用 Doble 輸出電壓、電流給電錶，如圖 6-15 所示，保護管理系統欠功率保護始動值設定為 875 W，如果輸出功率沒有低於欠功率保護始動值，如圖 6-16 及圖 6-17 所示保護管理系統為正常運作之畫面。修改 Doble 輸出電流，如圖 6-18 所示，此時輸出功率低於欠功率保護始動值，因此保護管理系統判定進行保護動作，傳送跳脫訊號給 I/O 模組，進行太陽能發電模組的 Breaker 10 跳脫動作，切離太陽能模組 5，圖 6-19 及圖 6-20 為保護管理系統保護動作之畫面。

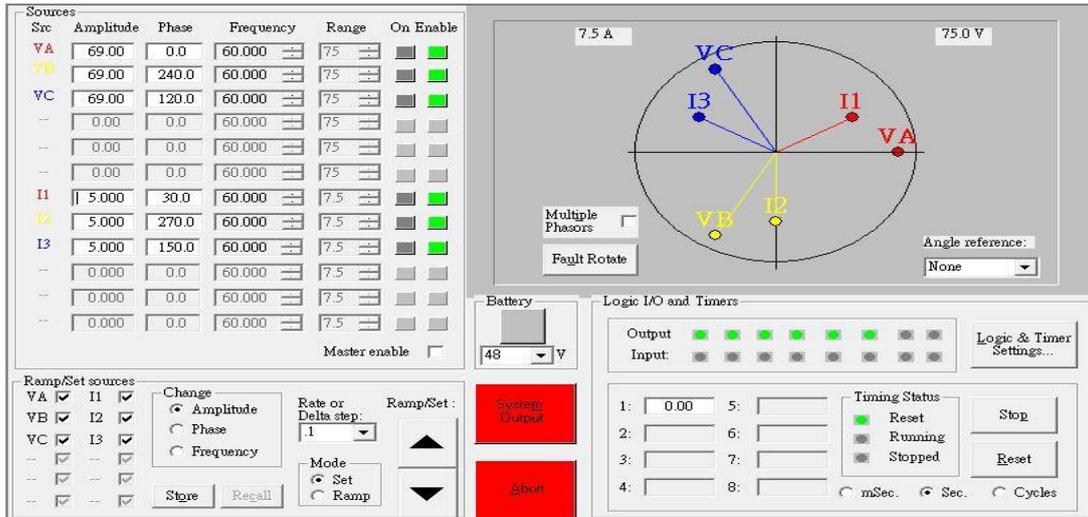


圖 6-15 正常運作之 Doble 電力模擬訊號



圖 6-16 SCADA 正常運作畫面

The screenshot shows a SCADA system interface titled '即時事件' (Real-time Events). The table below lists various events with columns for Ack, Operator, Area, Condition Name, Active Condition, Enabled, Category, Type, Message, Quality, Severity, Source, SubCondition, Value, Source name, DateTime (in), DateTime (out), and DateTime (ack).

Ack	Operator	Area	Condition Name	Active Condition	Enabled	Category	Type	Message	Quality	Severity	Source	SubCondition	Value	Source name	DateTime (in)	DateTime (out)	DateTime (ack)
No		Sub1	Breaker10 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 08:43:57		
No		Sub1	Breaker1 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 08:41:59		
No		Sub1	Breaker6 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 08:40:30		
No		Sub1	Breaker8 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1	Breaker7 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1	Breaker9 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1	Breaker2 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/04/20 下午 03:43:37		
No		Sub1	Breaker4 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (192)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/04/20 下午 03:37:59		
No		Sub1	Breaker5 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Opened	Good (192)	High	Parent Value	Open	0	DiscreteAlarm			
No		Sub1	Breaker3 Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Opened	Good (192)	High	Parent Value	Open	0	DiscreteAlarm			

圖 6-17 SCADA 即時事件

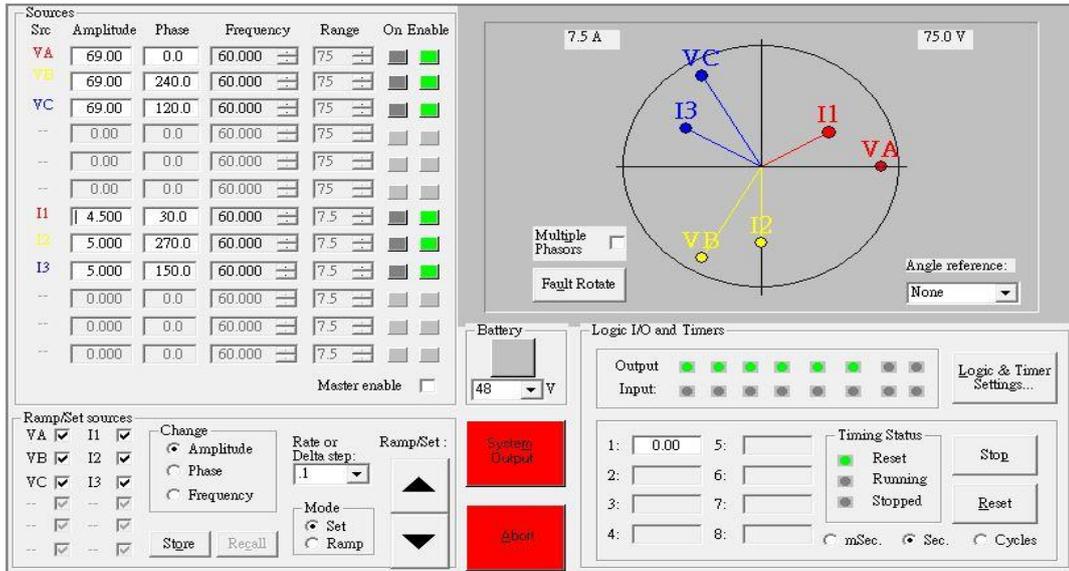


圖 6-18 保護動作之 Doble 電力模擬訊號



圖 6-19 SCADA PMS 保護動作畫面

Ack.	Operator	Area	Condition Name	Active Condition	Enabled	Category	Type	Message	Quality	Severity	Source	SubConditio...	Value	Source name	Date Time (in)	Date Time (out)	Date Time (ack)
No		Sub1 Breaker10	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Opened	Good (130)	High	Parent Value	Open	0	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 08:45:18		
No		Sub1 Breaker11	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 08:41:59		
No		Sub1 Breaker6	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:40:00		
No		Sub1 Breaker6	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1 Breaker7	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1 Breaker5	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/10/25 下午 05:35:44		
No		Sub1 Breaker2	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Closed	Good (130)	High	Parent Value	Closed	1	DiscreteAlarm	2016/04/20 下午 03:43:37		
No		Sub1 Breaker5	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Opened	Good (130)	High	Parent Value	Open	0	DiscreteAlarm	2016/04/20 下午 03:37:56		
No		Sub1 Breaker3	Discrete	Yes	Yes	Discrete	Condition	Opened	Good (130)	High	Parent Value	Open	0	DiscreteAlarm			

圖 6-20 SCADA 即時事件

(五) 本章小結

本章節進行東吉嶼微電網之 SCADA 暨保護管理系統建置。並於實驗室建置保護管理系統模擬架構，進行情境模擬測試，驗證保護管理系統之保護機制。

七、離島電壓不平衡探討

為了解決離島電壓末端電壓過低的問題，本研究先將從核研所提供的資料進行分析，分析後獲得東吉嶼微電網的參數，並模擬微電網內部電壓變動情形，本研究以 Matlab/Simulink 建立核研所提供的東吉嶼微電網模型，微電網內部包含分散式電源及負載。原本核研所提供的資料有兩台柴油發電機，但其各運作於不同的時間，在模擬上以一台三相交流發電機代替。經由區域負載分配與電容的提供，將末端的電壓功率提升，並改善功率因數。

(一) 東吉嶼電網分析

針對核研所於今天 2 月 21 日至 2 月 27 日為期七天在東吉嶼測試到的 inverter 電壓與柴油發電機所提供的資料進行整理。島上兩台主要的柴油發電機為 2 號與 4 號機，如圖 7-1 所示，電壓為 35 kW 左右，X 軸的單位為時間，可以發現在晚上的時候負載會上升。Inverter 的三相電壓資料經由圖化後，如圖 7-2 所示，電壓為 125 伏特左右，在 G2 運轉時電壓偏高，在 G4 運轉時電壓偏低。圖 7-3 為該 Inverter 的功率輸出，集中於 G4 運轉(早上 7 點~下午 5 點)。

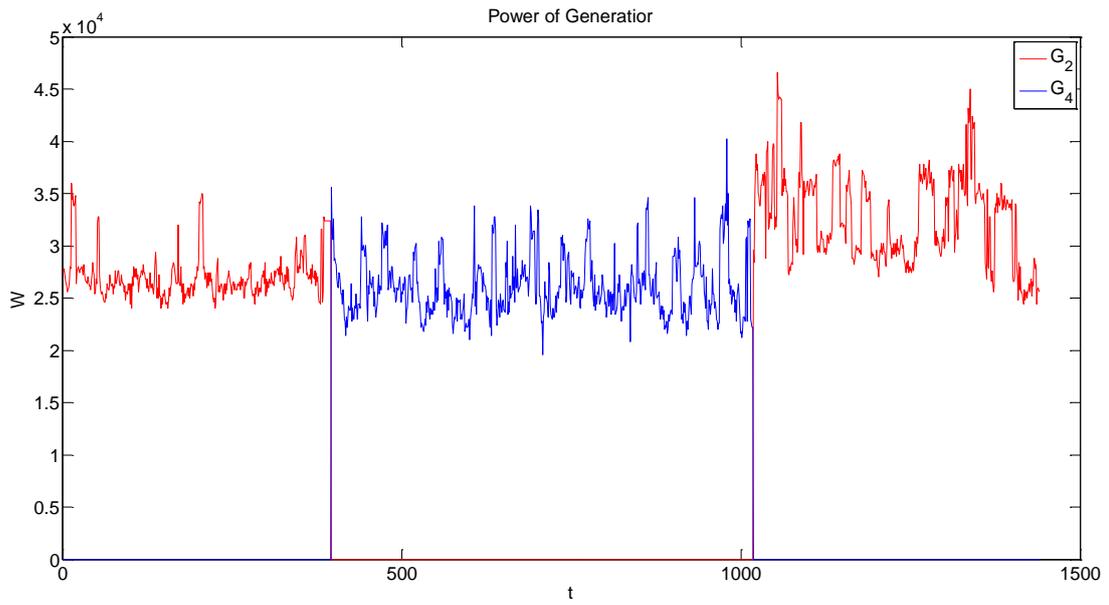


圖 7-1 柴油發電機(2&4) 功率波形圖 (20160221)

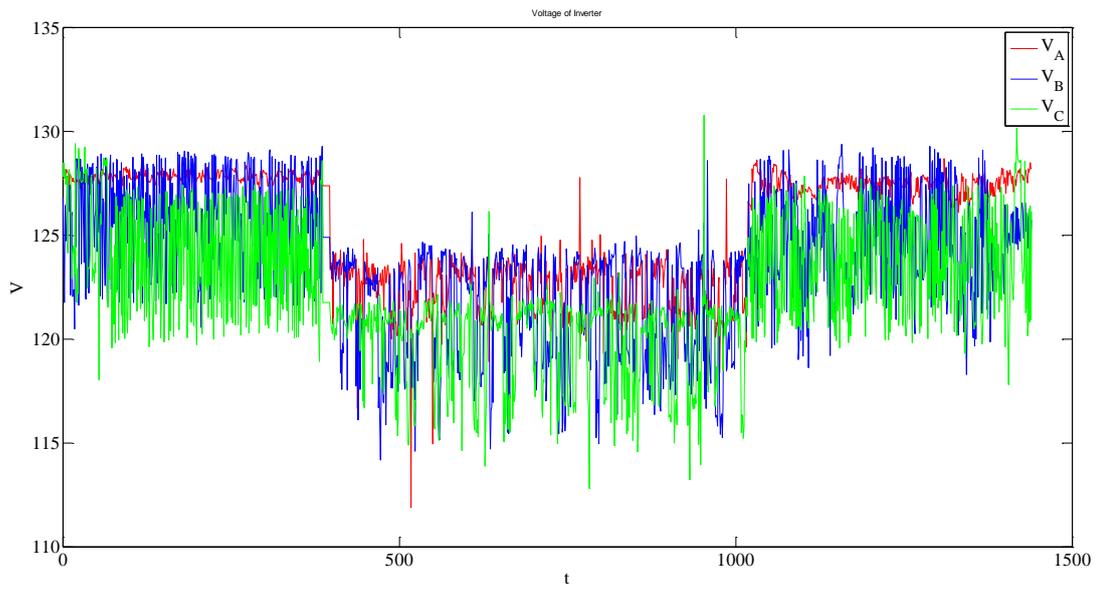


圖 7-2 Inverter_1 三相電壓波形圖 (20160221)

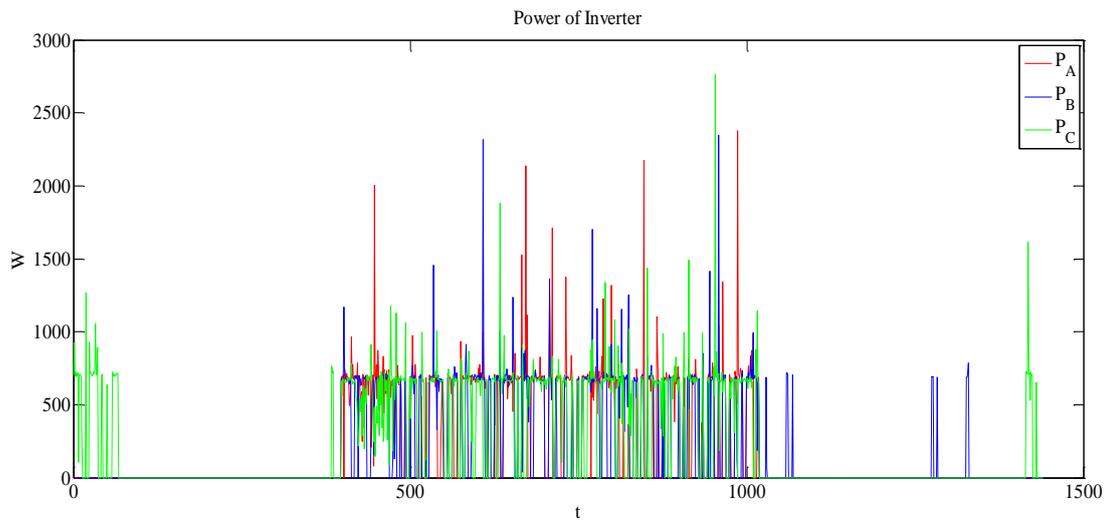


圖 7-3 Inverter_1 三相功率波形圖 (20160221)

在這 7 天的資料中，可以明顯觀察到 Inverter 端電壓有兩個位準，造成的主要因素可能是來自於柴油發電機，原因有以下兩點：

1. 柴油發電機的發電量為島上最大宗，約占了8成以上，故其影響電壓能力是最大的。
2. 兩個位準發生的時間，為Inverter開始輸出功率以及島上柴油發電機交替運轉的時間。發現Inverter開始輸出功率時，端電壓反而下降，與常理相悖，故推測其下降的原因乃是受到島上的主要發電設備柴油發電機的影響。

(二) Inverter 阻抗計算

欲建立電網模型，需先得知電網線路阻抗參數，目前已知的資料為 V_1 ，如上述只能得知 4 台 Inverter 的端電壓，4 台當中只有第 1 台有輸出功率，其餘 3 台雖沒有輸出功率但據觀察應該是有跟電網並聯的，因為其電壓變動會與第 1 台變動的趨勢一樣。可以將沒有輸出功率的 3 台 Inverter 之端電壓作為 V_m ，如下圖 7-4，因為 $I_2 = I_3 = I_4 = 0$ ，則 $V_2 = V_3 = V_4 = V_m$ 。

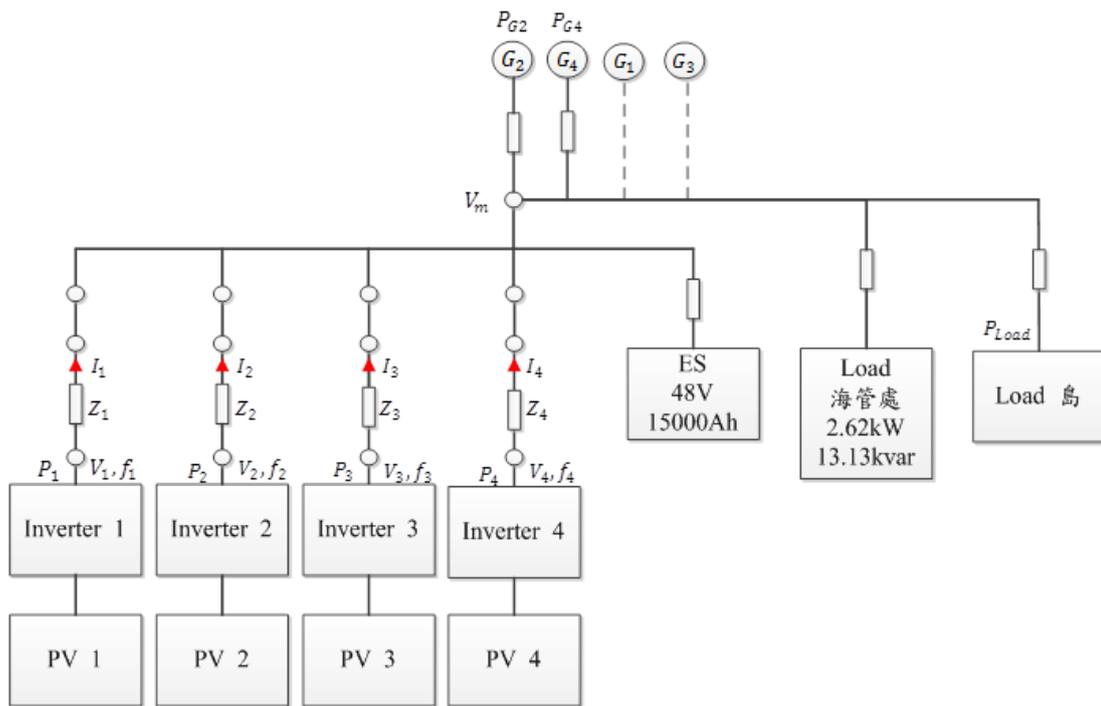


圖 7-4 東吉嶼電網架構圖

$$V_m \angle \theta_m = V_1 - I_1 \angle \theta_i \ell Z_1 \angle \theta_z \quad \text{把 } V_1 \text{ 定在 } 0 \text{ 度}$$

ℓ : 導線長度

Z : 單位阻抗

θ_i : 電流相位角

$$\theta_z = \tan^{-1} \left(\frac{0.083}{0.642} \right) = 7.3666^\circ$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{P_1}{S_1} \right)$$

$$V_m = \frac{(V_2 + V_3 + V_4)}{3}$$

$$\text{假設 } \theta_m^{(0)} = 0$$

$$\ell^{(0)} = \left| \frac{V_1 - V_m \angle \theta_m^{(0)}}{\hat{I}_1 Z_1} \right|$$

$$V_m^{(1)} \angle \theta_m^{(1)} = V_1 - I_1 \angle \theta_i \ell^{(0)} Z_1 \angle \theta_z$$

$$\Delta V_m^{(1)} = V_m - V_m^{(1)}$$

重複疊代直到 ΔV_m 誤差可接受為止。

θ_z 的算法是以下表 7-1，低壓 220V LJ-16 型為準下去計算的，

之後使用 Matlab/Simulink 建島上模型的導線參數也會使用到。

表 7-1 各線路典型線路參數

典型線路	R (Ω/km)	X (Ω/km)
低壓 220V LJ-16型	0.642	0.083
中壓 35kV LJ-120型	0.161	0.190
高壓 110kV LGJ-400/50型	0.06	0.191

經過疊代計算後的 Inverter 之阻抗 Z_1 如表 7-2 所示。

表 7-2 Inverter 之阻抗 Z_1

	A	B	C
Z_1 (Ω)	0.35852005	0.753639542	0.774922604
R_1 (Ω)	0.355560897	0.747419152	0.768526548
X_1 (Ω)	0.045967921	0.096628467	0.099357291

(三) 東吉嶼微電網模型建立及補償量計算

依據核研所提供的微電網東吉嶼低壓配線圖，如圖 7-5 所示，整座島有 42 處負載，電源由兩台發電機提供，依序將各負載處給上編號，在建置的時候原本的 G2、G4 合併成一台三相交流發電機，導線阻抗係數參照表 7-1。

我們將島上的電網利用 MATLAB/Simulink 來建立，當中的 4C250 為導線編號，下面的數字為長度，在負載 30 與 29 之間漏了一段距離，根據下面的相對位置計算後得到 23.6 尺，最後並補齊由電廠到負載 41(海管處)的導線，約 219 尺。完成的模型如圖 7-6 所示。

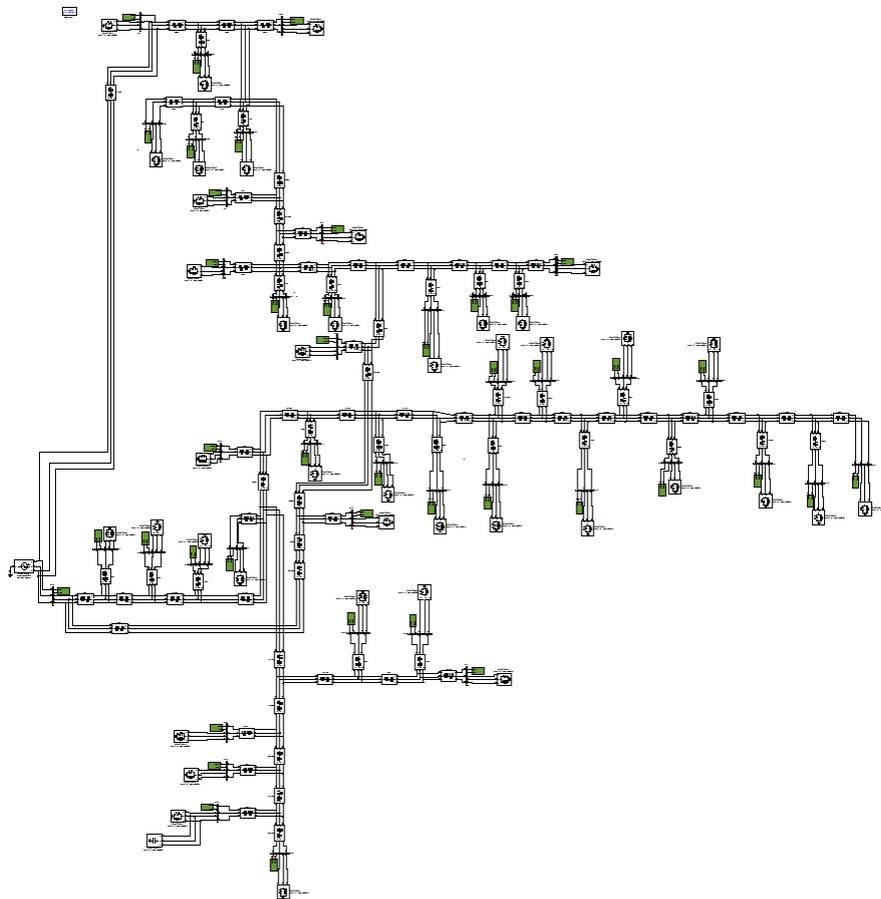


圖 7-6 利用 MATLAB/Simulink 建立的東吉村電網圖

將圖 7-6 縮小如圖 7-7，其中每個負載的 P 與 Q 都為獨立的變數，每個負載端都有裝設三相 V-I 的電表。

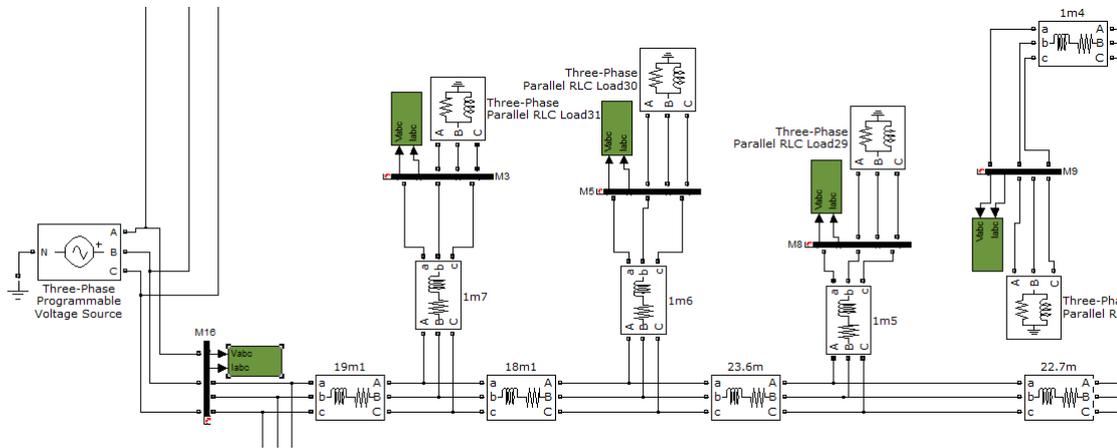


圖 7-7 電源處的 MATLAB/Simulink 架構

電表內如圖 7-8 所示，經由參數的轉換能得到該負載的電壓、電流、功率等參數。

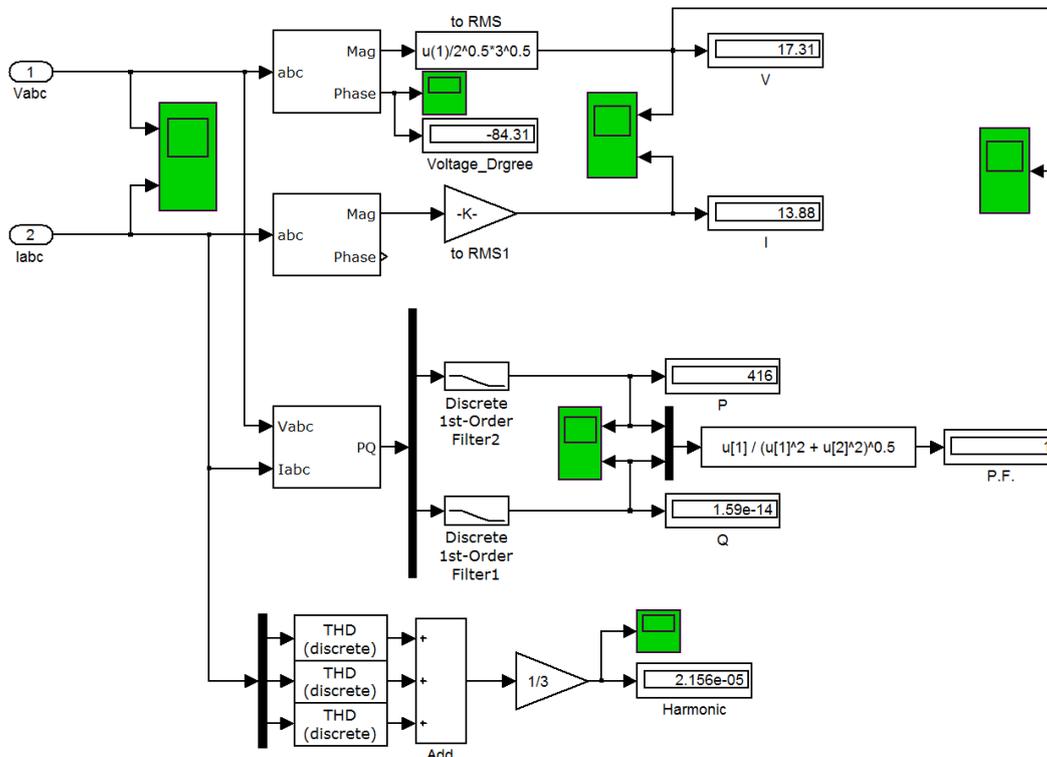


圖 7-8 三相電壓電流功率表內部示意圖

為了達到電廠 120 V，35 kW 之條件我們試著將整個電網的負載平均分配，觀察功率要達到多少時總功率才會達到 35 kW，負載虛功率為 200 Var 代入

表 7-3 各負載平均分配功率後電源處基本參數

電源處參數 負載有效功率	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	虛功率(Var)	功率因數
1000W	120	151.3	3.087×10^4	5948	0.9819
1100W	120	164.2	3.361×10^4	5914	0.9849
1200W	120	176.9	3.63×10^4	5887	0.9871

從表 7-3 可得知將負載功率設置在 1100 W 時可得到 33 kW 的總功率，本研究接著以距離長短為基準，分成 3 個部分，依照距離由近到遠降低負載配重(1500 W-1000 W-500 W)，如

表 7-4 所示。

表 7-4 距離由近到遠降低負載配重

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
距離	385.3	369.3	390.3	344.3	320.3	292.8	288.8	263.8	244.8	266.8	312.8	341.8	220.3	221.7
次序	36	34	38	31	29	25	24	20	18	21	17	30	14	15
實功	500	500	500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1500	1000
虛功	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
編號	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
距離	238.8	254.4	270.9	282.4	301.4	320	517	348	377.5	398.9	419.4	215	119.3	84.3
次序	17	19	22	23	26	28	42	32	35	39	41	13	6	4
實功	1000	1000	1000	1000	1000	1000	500	500	500	500	500	1500	1500	1500
虛功	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
編號	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
距離	61.6	37	20	152.7	119.5	136.5	159.7	103.4	147.7	189.4	232.1	364.8	418.3	386.3
次序	3	2	1	10	7	8	11	5	9	12	16	33	40	37
實功	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1000	500	500	500

虛功	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

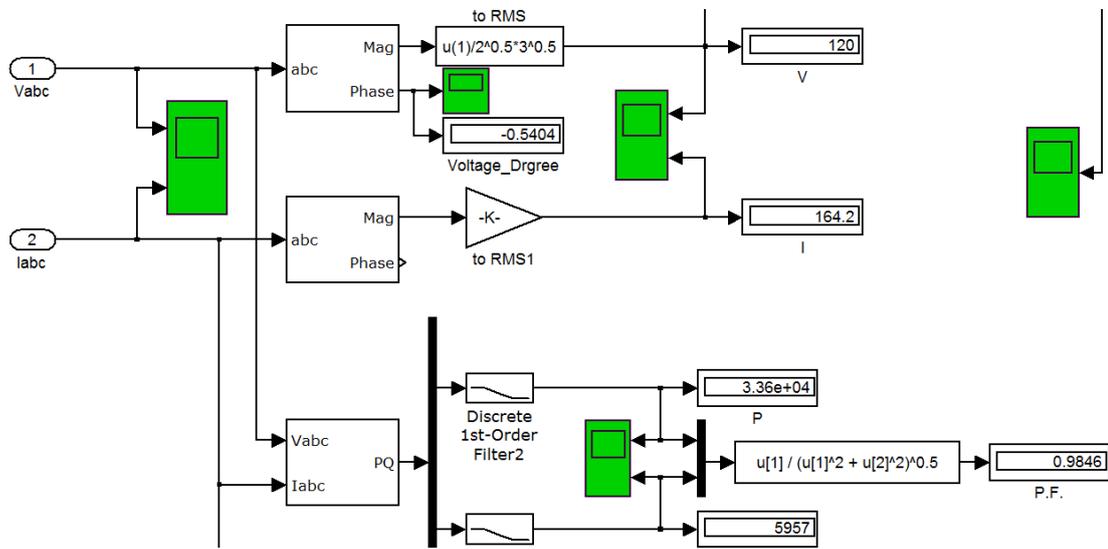


圖 7-9 距離由近到遠降低負載配重後電源端的功率與電壓電流

如圖 7-9 所示，經由這樣的分配與平均分配 1000 W 相比，總功率提升了 $3.36 - 3.087 = 2730 \text{ W}$ 。

另一種方式是將所有的負載距離統計，由近而遠功率遞增 (500 W~1500 W)，會得到以下結果如圖 7-10 所示，功率僅有 27.98

kW

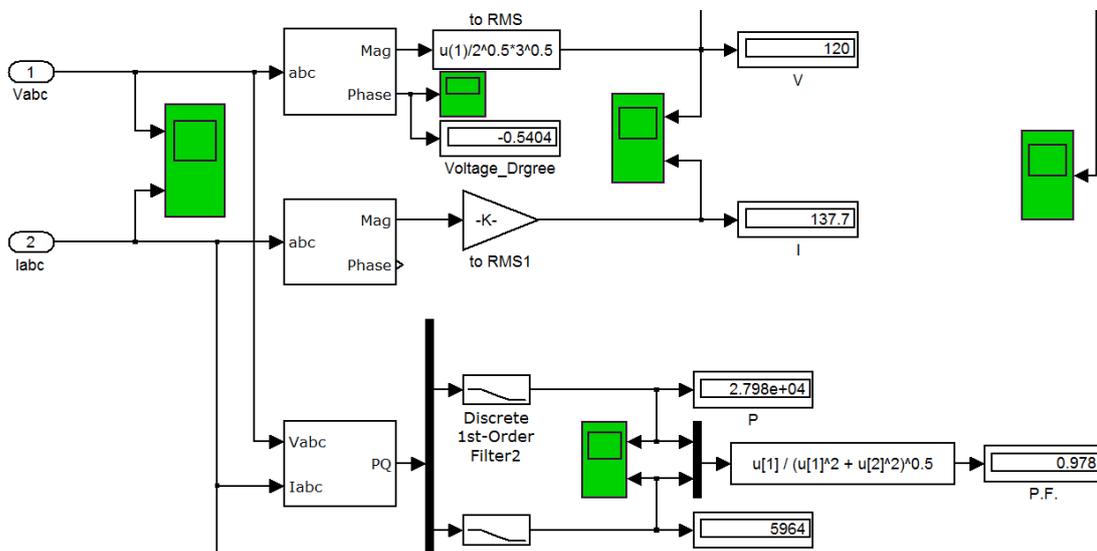


圖 7-10 距離由近到遠提升負載配重

從這三種負載分配的方法來看，離距離電源越近處應具有較大的負載，才能使利用率最高。與觀念相符，離電源越近的負載損失較小本身就應具有較大的功率。

(四) 電壓與虛功補償之最佳裝設地點研究

接下來就是離島電網末端電壓補償，為了解決末端電壓過低的問題，本研究透過兩種主要的方法改善此問題。

1. 將海管處的負載加入電網，並拉線至海管處。透過這個方法過後每個負載平均電壓上升 5 V，總功率下降 7 kW。從結果來看電壓的提升量十分可觀，平均電壓從 101.5 V 提升至 106.55 V，但功率也因此下降了許多，可經由圖 7-11 得知，最左邊為微電網簡化示意圖(每個負載間皆是並聯關係並有壓降)，以兩個負載為例，將高壓端一處拉至低壓端，如圖 7-11 中，經由三角轉換後發現內阻降低，整體功率下降，但隨著阻抗降低，平均電壓也因此得以提升。

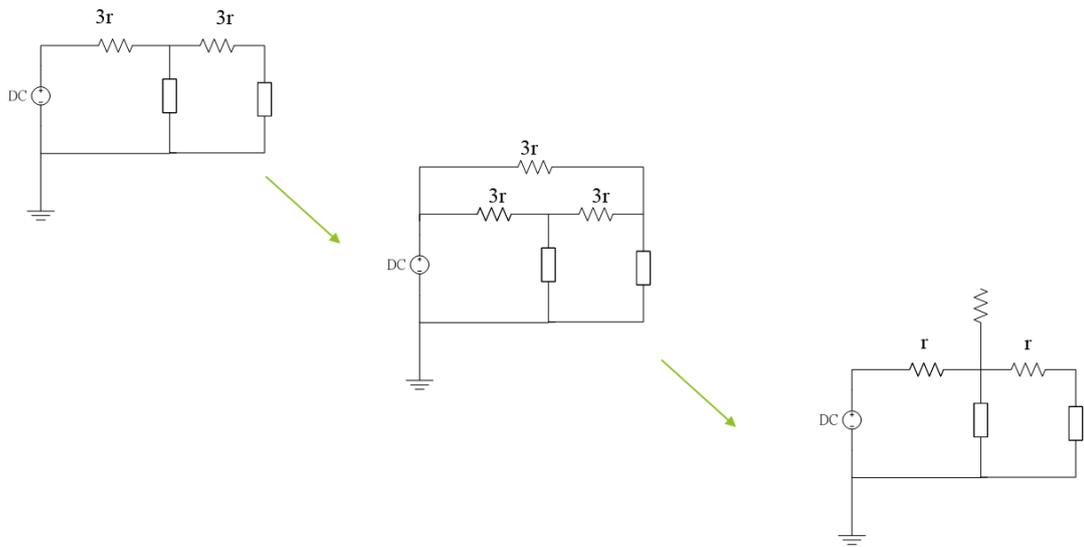


圖 7-11 並接海管處後電壓上升功率下降示意圖

2. 加裝電容器提升末端電壓

本研究採取三種方式進行

- (1) 每個負載平均加上電容
- (2) 依照電壓大小加上電容
- (3) 在匯流排交會處加上電容(分別是負載 28,36,33,27 交界，負載 15,16,17 交界，負載 20,21,22 交界，負載 13,10,9 交界，負載 8,7,6 交界，負載 4,1,41,2 交界)

最後結果如表 7-5 所示，我們可以發現加裝電容器能有效的提升末端電壓。以末段電壓考量，提升的電壓依次為(3)>(2)>(1)，雖然差距並不大但是仍可看出差別(以下增加電容量皆全部相同)。

表 7-5 虛功補償後各項參數

	電壓	電流	功率	虛功率	平均電壓	末段電壓平均	功率因數
1	120	164.2	3.277	9949	106.5589	99.5499	0.9604
2	120	161.6	3.312	-5589	107.2652	100.5785	0.9860
3	120	164.6	3.374	-5621	107.2484	100.8022	0.9864
4	120	161.6	3.313	-5473	107.4393	100.9018	0.9866

全部 Load 的 QL:200 Var

負載分配方式為 1200 W->1000 W->800 W

末段電壓為負載電壓最低之 5 處平均

模式 1:原本未加電容時的參數

模式 2:平均增加電容

模式 3:依照電壓大小增加電容

模式 4:在電路交界處加裝電容

(五) 本章小結

本章節使用 Matlab/Simulink 建立核研所提供的東吉嶼微電網模型，透過適當的負載分配、高壓補低壓、虛功的補償，能將整體微電網的電壓穩定性以及功率消耗降低並能提升功率因數，使電網使用更有效率，最後末端電壓過低問題得以改善。

參、主要發現與結論

本計畫完成收集微電網相關運轉資料文獻、逆送電力影響分析及保護方法開發、太陽光電發電系統換流器異常跳脫分析、傳輸介面系統建置與測試、微電網 SCADA 及保護管理系統之建置、整合及測試以及探討電壓不平衡最佳補償地點及其補償量。

藉由量測柴油發電機輸出功率判定太陽能光電發電系統切離/併入電網容量之多寡，以達成柴油發電機組逆送電保護目的。東吉嶼 PV Inverter 設備問題，造成東吉嶼併網異常以及 RST 三相電壓不穩定。具無線通訊功能的 AP Router 無法滿足 IEC 61850 通訊協定，因此佈置實體線進行通訊傳輸。模擬光纖傳輸介面系統，經測試能順利進行雙端電氣資訊傳輸。

使用 Elipse E3 SCADA 模擬軟體建置東吉嶼微電網 SCADA 平台，蒐集相關電氣資訊，進行 PMS 保護策略規劃以及整合。

電壓不平衡使用 Matlab/Simulink 建立微電網模型，透過適當的負載分配、高壓補低壓、虛功的補償，增加整體微電網的電壓穩定性以及功率消耗降低並能提升功率因數，電網使用更有效率，末端電壓過低問題得以改善。

肆、参考文献

- [1] IEEE Std. 1547a, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2014
- [2] IEEE Std. 1547.2, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2008.
- [3] IEEE Std. 519, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992.
- [4] 再生能源併網技術適用性分析，經濟部能源局，2014年。
- [5] 電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン，資源エネルギー庁，2013年。
- [6] 台灣電力公司，台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點，2009年。
- [7] N. Hatziargyriou, Pilot Sites: Success Stories and Learnt Lessons, Microgrids: Architectures and Control, Wiley-IEEE Press, 2014.
- [8] Steve Bossart, Renewable and Distributed Systems Integration Demonstration Projects, EPRI Smart Grid Demonstration Advisory Meeting, Albuquerque, 12-14 October, 2009.
- [9] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, “Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects,” IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 5, No. 4, pp. 78-94, July 2007.
- [10] European Commission, Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids, More Microgrids Project Final Results, 2009.
- [11] N. Hatziargyriou, The More Microgrids Project, Demonstrations of smart electricity distribution network solutions, Contractors meeting, Brussels, 25 September, 2009.

- [12] EcoGrid, EcoGrid EU: From Implementation to Demonstration: A large scale demonstration of a real-time market for demand side participation, 2015.
- [13] Y. Ding, P. Nyeng, J. Østergaard, etc., “Ecogrid EU – A Large Scale Smart Grids Demonstration of Real Time Market-based Integration of Numerous Small DER and DR,” in Proceeding of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, pp. 1-7, Berlin, 14-17 October, 2012.
- [14] R. G. Verdier,” GRID4EU-NICE GRID project: How to facilitate the integration of Distributed Energy Resources into the local grid? ,” in Proceeding of Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG), pp. 1-3, Jeddah, 14-17 December, 2014.
- [15] GRID4EU, GRID4EU Periodic Report for Year 3, October 2014.
- [16] B. A. Bremdal, EMPOWER: Local Electricity Retail Markets for Prosumer Smart Grid Power Services, NCE Smart and Narvik University College, April 2015
- [17] EMPOWER project website, <http://empowerh2020.eu/>., March 2016.
- [18] Patrick Van Hove, R&D Activities in EU and Microgrids, Aalborg 2015 Symposium on Microgrids, Aalborg, 27-28 August, 2015.
- [19] Kazuyuki Takada, Microgrid Research in Japan & New Mexico Project, Vancouver 2010 Symposium on Microgrids, Vancouver, 21-22 July, 2010.
- [20] Satoshi Morozumi, Smart Community Demonstration in NEDO, The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), 26 May, 2012.

- [21] Zhao Bo, Nanji Island Microgrid Demonstration, Tianjin 2014 Symposium on Microgrids, Tianjin, 13-14 November, 2014.
- [22] N.W.A. Lidula and A.D. Rajapakse, "Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 1, pp. 186-202, January 2011.
- [23] C. S. Wang, X. S. Yang, Z. Wu, Y. B. Che, L. Guo, S. H. Zhang, and Y. X. Liu, "A Highly Integrated and Reconfigurable Microgrid Testbed with Hybrid Distributed Energy Sources," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 7, No. 1, pp. 451-459, January 2016.
- [24] 陳玉濤, 「中新天津生態城微網技術研究」, 碩士學位論文, 天津大學電氣與自動化工學院, 2012年6月。
- [25] H. H. Xu, 10MW class Hydro/PV/Battery Hybrid Microgrid System in Yushu China, Santiago 2013 Symposium on Microgrids, Santiago, 9-10 September, 2013.
- [26] 經濟部能源局, 智慧電網總體規劃方案, 2012年8月。
- [27] 楊金石, 台電智慧電網的推動與應用, 台電綜合研究所, 2011年。
- [28] 台灣電力公司, 微電網試驗場之研製, 2011年。
- [29] 左峻德、林法正, 台灣智慧電網技術產業介紹, 台灣智慧型電網產業協會, 2014年4月。
- [30] 核能研究所, 獨立型微電網計畫, 2014年11月。
- [31] 張永瑞, 「獨立型微電網系統技術發展與應用」, 2015年台灣智慧電網技術研討會, 2015年10月15日。
- [32] 黃仰賢, 「建置以 IEC 61850 為基礎之微電網保護管理系統」, 台灣科技大學電機工程系碩士論文, 2014年7月。