

行政院原子能委員會

委託研究計畫研究報告

儲能系統電站組件與離網應用技術之研究

**Research on Electrical Components of Energy Storage Systems and
Their On- and Off- grid Application Technologies**

計畫編號：110A013

受委託機關(構)：國立聯合大學

計畫主持人：馬肇聰

聯絡電話：037-382482

E-mail address：ctma@nuu.edu.tw

研究期程：中華民國 110 年 4 月至 110 年 12 月

研究經費：新臺幣玖拾貳萬元

核研所聯絡人員：古鴻賢

報告日期：中華民國 110 年 11 月 24 日

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫之相關文獻探討與分析	4
一、充電站之系統架構分析	4
二、充電站之系統規劃文獻探討與分析	7
三、充電站之即時電能控制方案文獻探討與分析	34
貳、EVCS 系統運轉模式規劃與 HESS 硬體系統	66
一、整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式規劃 ...	66
二、HESS 之硬體控制架構與系統控制演算法	73
參、EVCS 之全系統軟體模型與情境案例模擬	79
一、EVCS 之全系統軟體模型	79
二、EVCS 之情境案例規劃與模擬	81
肆、EVCS 之全系統硬體實作測試	108
一、EVCS 之硬體實驗系統	108
二、EVCS 之實驗案例規劃與測試	109
伍、結論.....	129
陸、參考文獻	131

中文摘要

電動車具備高能源使用效率及低排碳特性已成為未來車輛發展的主流趨勢。而先進的充電站系統規劃與發展可行的電能控制方案以降低電網衝擊則是實現車輛全面電動化的重要基礎。有鑒於此，本計畫已針對併網型電動車充電站(electric vehicle charging station, EVCS)提出一個以直流匯流排整合再生能源發電與混合式儲能系統(hybrid energy storage system, HESS)之進階電能控制方案並規劃所需之 HESS 及設計相關電力轉換介面。本計畫所提控制方案可根據 HESS 的電量狀態(state of charge, SOC)進行系統即時運轉模式之控制，以達到最大程度降低電網衝擊之目標。

本計畫已依規劃之時程完成所有的研究工作項目。本研究報告之內容包含研究工作項目 1 之電動車充電站(EVCS)系統電能控制相關文獻探討與分析，混合式儲能系統(HESS)種類、相關系統設計、應用與 EVCS 電能控制方案；研究工作項目 2 之整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 系統運轉模式探討與規劃，EVCS 各運轉模式下 HESS 所需之硬體控制架構、相關控制器與演算法及工作項目 3 之 EVCS 全系統軟體模型、相關控制器程式之撰寫與案例模擬、HESS 之 1kVA 小容量硬體實驗系統實作、全系統測試與驗證結果分析與檢討。

關鍵詞：電動車充電站，混合式儲能系統，系統規劃，即時電能控制

Abstract

Electric vehicles (EVs) have become the mainstream trend of future vehicle development due to their high energy utilization efficiency and low carbon emission characteristics. However, the realization of full electrification of vehicles requires proper charging station (CS) planning and feasible power flow control schemes minimizing the impact of power distribution systems. In view of this, this project proposes an advanced power control scheme that integrates renewable energy power generation and hybrid energy storage system (HESS) on CS's DC bus for grid-connected electric vehicle charging station (EVCS) and designs the required HESS and the related power conversion interface. The proposed control scheme can perform real-time control of the system operation modes according to the state of charge (SOC) of the HESS to achieve the goal of minimizing the impact of the power grid.

All of the research work planned in the original schedule of the project have been completed. The main content of this final report includes the research work item 1: the discussion and analysis of the related literature of EVCS systems, the types of HESS and related system design and EVCS power control scheme; research work item 2, the discussion and planning of the operation mode for the EVCS system integrating renewable energy power generation and HESS, the hardware control architecture required by HESS in the operation of EVCS, and

the development of related controllers and algorithms; finally the research work item 3, modelling the EVCS system, writing the related digital control program and performing case simulation, constructing the 1kVA HESS small capacity hardware and experimental system for overall system verification and performance analysis.

Keywords: electric vehicle charging station, hybrid energy storage system, system planning, real-time electrical energy control

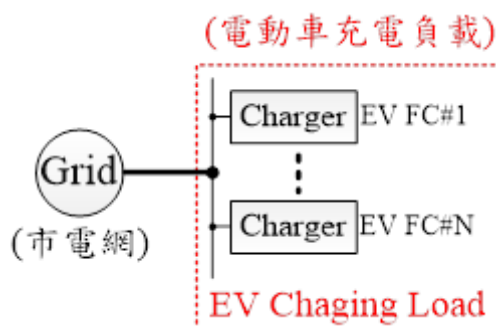
壹、計畫之相關文獻探討與分析

一、電動車充電站之系統架構分析

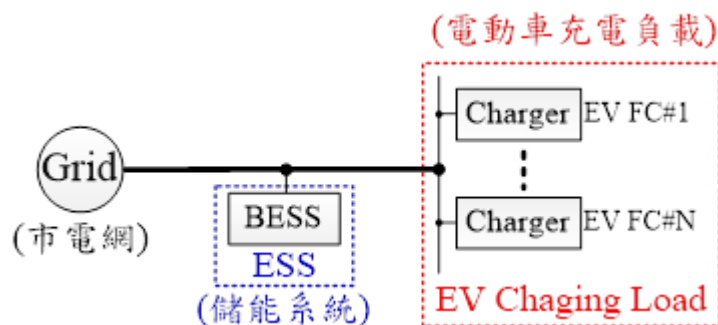
在進行電動車充電站(EVCS)之系統規劃及電能控制相關文獻探討與分析之前必須先介紹一下 EVCS 之系統架構。目前 EVCS 依其電能來源、控制與管理方式可大致分成四種系統架構，第一種架構是 EVCS 直接與外部公共電網連接並單純向電網購電來獲得電動車充電的電力，該 EVCS 系統架構如圖 1-1(a)所示[1,2]。這種 EVCS 架構的優點在於系統簡單，設計容易，而缺點有兩個，第一個是必須支付較昂貴的購電成本，第二個是快速充電站的充電負載通常相當大且具隨機性，不固定出現的尖峰負載會造成市電網頻率波動、線路損耗提升和過載等問題，這些問題往往帶給系統商龐大的設備維護與線路升級成本。第二種 EVCS 架構是將第一種的架構加上儲能系統 (Energy Storage System, ESS)，如圖 1-1 (b)所示[3,4]。這種 EVCS 系統架構的優點在可以利用 ESS 進行電能優化管理，例如尖峰電價限縮及系統之削峰填谷控制，上述相關控制可緩和快速充電負載所造成之能量動態響應，對市電網的影響可有效降低，而適當容量之 ESS 也可以幫助充電站利用不同時段的電價優勢來節省成本。主要缺點在於單獨的 ESS 只能充電和放電，並不能發電，所以該架構的缺點是不能做到較長時間之孤島運轉模式。第三種 EVCS

系統架構是將太陽能、風能和其它再生能源（Renewable Energy System，RES）整合併入充電站，如圖 1-1 (c)[5,6]。EVCS 加裝 RES 的優點在於提高系統之基礎發電能力，因此經由適當的 RES 容量設計和充電站的控制規劃，就可以維持較長時間之獨立運轉。此外，EVCS 系統所加入之 RES 是屬於乾淨的綠色能源，可有效減少 CO₂ 的排放。但問題是再生能源與充電負載都是間歇性，通常必須要有 ESS 的幫助才能獲得較佳之系統性能。ESS 的使用必須考慮它的價格和使用壽命成本。針對對壽命而言，雖然一般由電池組成之 ESS 都具備處理峰值波動功率之能力，但此種快速充放電功率對電池還是有一定程度的傷害，所以為了延長 ESS 之使用壽命會選擇多種儲能裝置組合的混合式儲能系統（Hybrid Energy Storage System，HESS）。HESS 通常是使用高能量密度儲能裝置和高功率密度儲能裝置之組合。高能量密度儲能裝置可用於處理低頻功率變化，高功率密度儲能原件則負責高頻功率變化。常見之高能量密度儲能裝置有鋰離子電池儲能系統(Li-ion Energy Storage System，LESS)和壓縮空氣儲能系統(Compressed Air Energy Storage System，CAESS)等[7]。典型之高功率密度儲能裝置有超導磁儲能系統(Superconducting Magnetic Energy Storage System，SMESS)、超級電容器儲能系統(Supercapacitor Energy Storage System，SCESS)和飛輪儲能系統(Flywheel Energy Storage System，FWESS)等[7]。

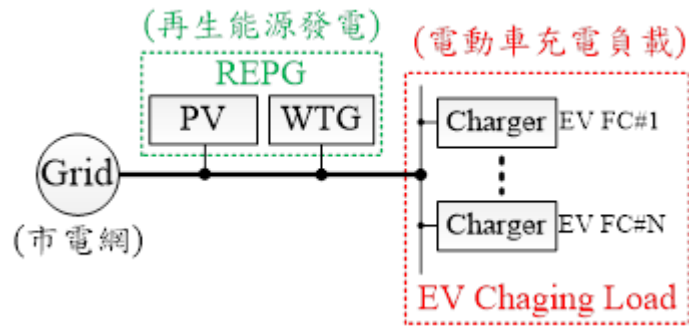
為了得到較佳之電能優化效果及系統控制彈性，第四種 EVCS 架構同時使用 RES 和 ESS，如圖 1-1 (d)所示[8,9]。此種 EVCS 架構可同時增加種 EVCS 自我發電能力，也可同時處理再生能源與充電負載的功率波動問題。這種 EVCS 架構可靈活地在獨立和併網間任意切換，經由規劃適當，此種 EVCS 架構可以在許多意外狀況下長時間工作於獨立模式。這種 EVCS 系統架構在設計時會較複雜，考慮的因素也增加了許多，除了 ESS 和 RES 的容量和壽命成本，還有充電站內部的功率分配與電能優化控制。本進度報告主要將聚焦探討上述第四種 EVCS 架構的系統規劃及電能控制相關文獻。



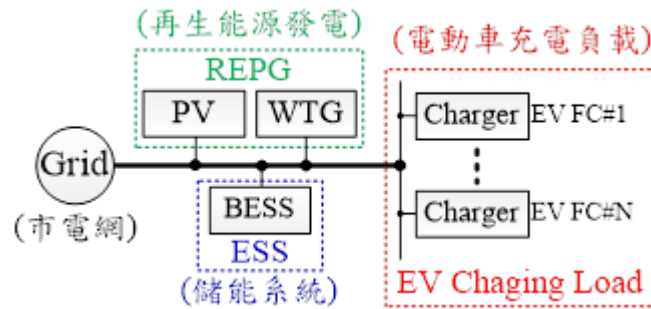
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 1-1. 不同 EVCS 架構: (a)第一種 EVCS 架構；(b)第二種 EVCS 架構；(c)第三種 EVCS 架構；(d)第四種 EVCS 架構。

二、 充電站之系統規劃文獻探討與分析

近年來，充電站最佳系統容量規劃一直是電動車及儲能系統應用領域中極為熱門的研究主題，文獻[8]使用改良的遺傳演算法(GA)嘗試找出最好的系統配置方案，系統優化的目標函數是充電站營運利潤的最大化，此文所探討的充電站架構如圖 1-2 所示。此文作者考慮了非常多影響充電站營運的變量，包括：充電樁的數量和功率、風力發電機的型式和數量(分成三種款式，這三種款式額定功率從高

到低為 16、8 和 3.5kW)、太陽能板的安裝面積、儲能系統的容量和電網的契約功率容量等。此文研究所使用的數據主要是分析歷史資料並依照這些資料的特性進行建模，其中最複雜的是充電負載曲線，此文獻將充電行為用排隊模型(Erlang B Queueing Model)進行解釋，並針對會影響目標函數的幾個特點做詳細分析和建模，例如：電動車的到達時間使用泊松過程(Poisson Process)和指數分佈(Exponential Distribution)、每個車子的種類比例(EV 的電池種類)，當前的電荷狀態數據由對數正態分佈(Lognormal Distribution)建模。由於此文獻已對數據建模和利潤的計算程序進行複雜的設計，所以充電站的運行模式也就相對簡單。最後作者藉由七個案例來模擬和進行結果分析，第一個案例是只有併市電網，第二個案例是只有再生能源和儲能系統，也就是獨立模式，第三個案例是同時有再生能源、儲能系統和併市電網，第四個案例則是使用一組較為詳細的數據作測試，第五個案例與第四個案例基本上一樣，但改成使用粒子群優化算法，第六和第七個案例中充電站與市電網交易的功率有不同的限制。從所有方案的配置與系統優化過的結果來看，前三個案例的結果主要展示再生能源和儲能系統的可能優勢，證明同時整合可再生能源和儲能系統可獲得最佳收益，從第四個案例開始使用較詳細的數據，觀察變動大的數據對算法是否有影響，結果顯示並沒有與案例三的結果有顯著差異，第五個案例選擇另一種優化算

法，可證明所提出算法的結果較優，最後的第六和第七案例證明了較低的市電網的契約容量可使充電站運營的利潤提高。

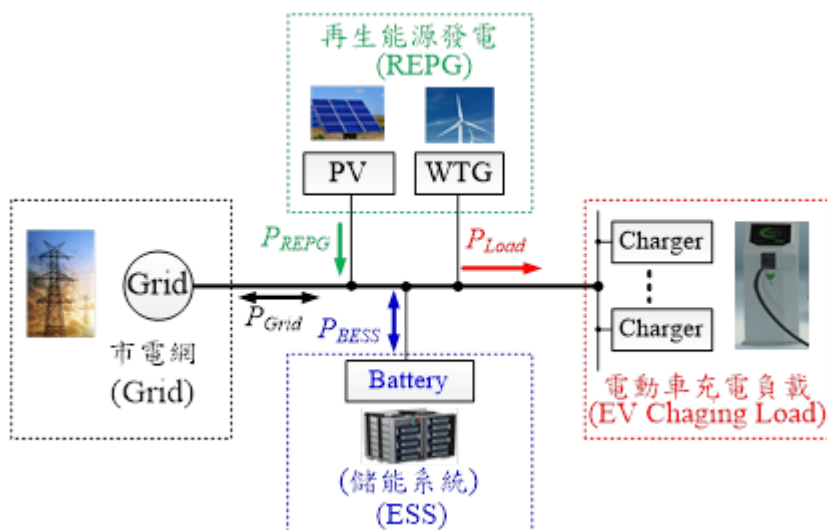


圖 1-2. 文獻[8]的充電站架構。

一般而言，儲能系統能為光伏發電之電動車充電站帶來許多的好處，包括增加光伏發電的平均利用率、夜間低成本電動車充電和作為充電站的緊急備用電源。但是先進儲能系統的容量成本其實不低，因此文獻[9]的作者探討使用已淘汰的電動車電池作為集成再生能源的充電站的儲能系統之可能性，此文獻研究的充電站架構如圖 1-3 所示。由於這種電池不是一般的全新的電池，其單價跟原本的一般電池並不相同，再加上其壽命未確定的情況，不能用平常的估算法評估二次電池的容量成本。基本上二次電池的選擇標準是它的健

康狀況(SOH)，通常 SOH 是可以直接表示電池的循環壽命，而循環壽命則又受到放電深度(DOD)的影響。文獻[9]的作者先使用兩流計數法估算出電池的 DOD，再用四階擬合曲線推出等效循環壽命和判斷 SOH 狀況。如前所述，常規電池的容量成本估算方式不能用在所提二次電池，文獻中使用雙重遞減餘額法進行二次電池的容量成本估算。此文獻也透過基於教學學習的優化算法(TLBO)以淨現值為目標函數找出最佳的充電站的光伏系統和儲能系統容量。文獻中的研究案例分為四個部份，包括：將所提方法運用在不同類型的負載需求(平日與假日)中進而測試所提容量演算、接著在不同的天氣條件下測試充電站的控制方式和將該方案與粒子群優化同時對使用常規電池、二次電池的情境作模擬和使用淨現值法評估所提出的充電站的成本和收益。第一個案例的結果顯示，在平日負載情境下的光伏系統容量為 463 kW，儲能系統容量為 670 kWh，在假日負載情境下的光伏系統容量為 445kW，儲能系統容量為 616kWh。第二個案例的結果顯示即使在不同的天氣條件和負載情境下，儲能系統都能在正常的 SOC 範圍內操作。由第二個案例的結果可顯示所提出的方案的效果比粒子群優化還要好，使用二次電池也比一般全新電池更能夠為充電站帶來利潤，證明二次電池的使用具有效性。最後一個的案例使用淨現值法評估生命週期內(20 年)的淨收入，從結果可發現使用二次儲能系統充電站的累積淨現值高於使用一般電池儲能系統的

充電站。

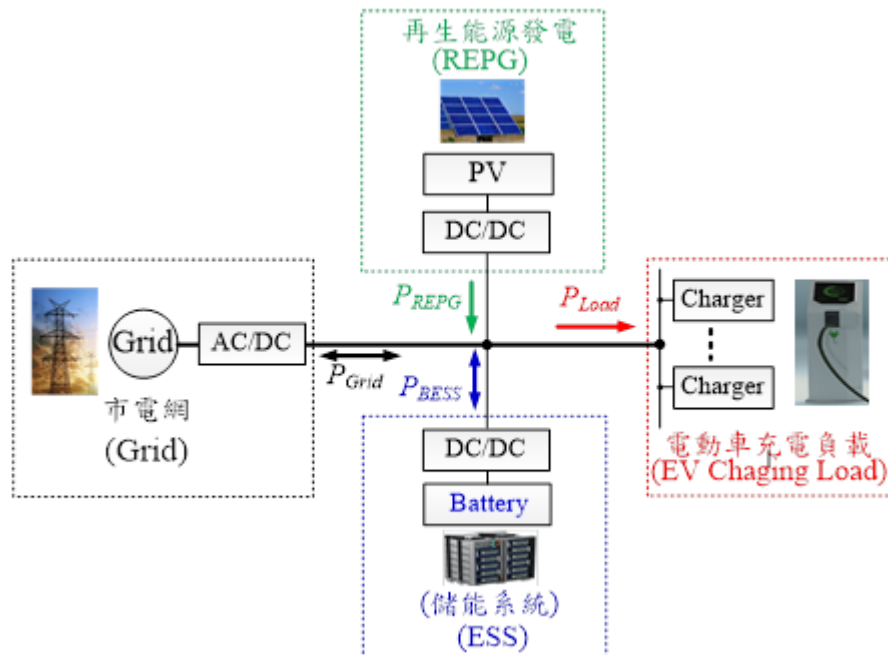


圖 1-3. 文獻[9]的充電站系統架構。

文獻[10]主要是研究具有太陽能、非車載儲能(OVES)與高速率電動汽車充電器(HREVC)的充電站的規劃與設計。該文獻針對此EVCS 系統提出了可以最大化收益和最小化對電網影響的優化模型並使用 GA 算出最佳解。文獻研究所用之的系統架構如圖 1-4 所示，優化模型考慮的變量有充電樁數量、電網連接容量、光伏發電容量、儲能系統的容量以及根據儲能系統的當前電量所能充電的最小功率。該文獻與一般文獻考慮的非常相似，模型中的充電負載構建部份也是將充電行為用排隊理論解釋。但此文獻對充電負載和併網成

本這兩點做了較仔細的研究，作者認為充電站運營的歷程長達 20 年左右，前者可能會有電動車數量增加的情況，後者則是根據各個國家電力公司所發表的併網成本範圍做考慮，因此文獻的案例中將電動車數量增加的情形分為低、中和高，而併網成本也是有低、中和高三種情形，這幾種情境組合起來一共 9 個案例，研究結果如圖 1-5~圖 1-7 所示。圖 1-5~圖 1-7 分別顯示了最佳的太陽能發電場和儲能系統的容量、最小和最大為儲能系統充電的功率以及向市電網售出與購入的功率值。除了這 9 個案例，此文獻也有將目前研究的充電站架構與其他充電站架構做比較的研究，研究的情境跟前面的 9 個案例的情境是一樣的，其他充電站架構包括：只有儲能系統的充電站、只有再生能源的充電站以及不具備儲能和再生能源的充電站架構。模擬結果如圖 1-8 所示，結果顯示文獻所提的充電站規劃方法適合建於併網成本高和電動車數量增加快速的情境。

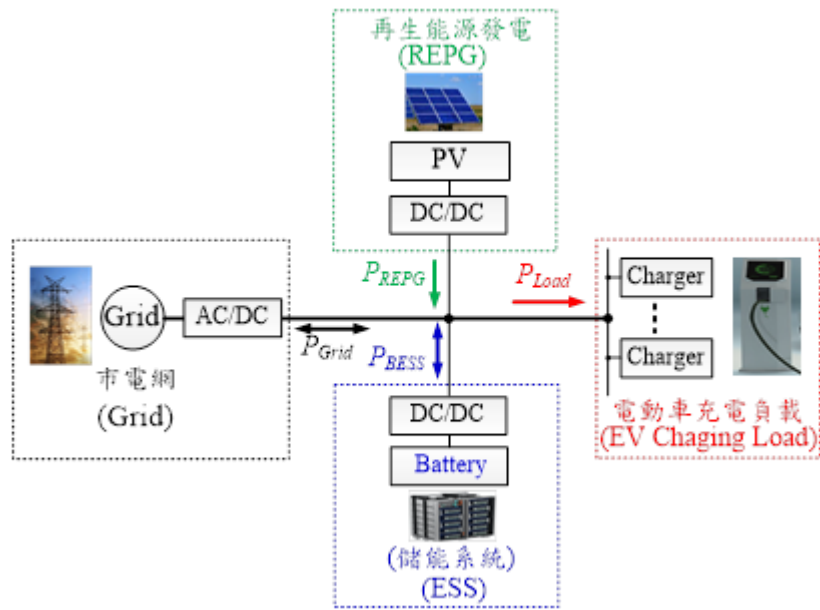


圖 1-4. 文獻[10]的充電站系統架構。

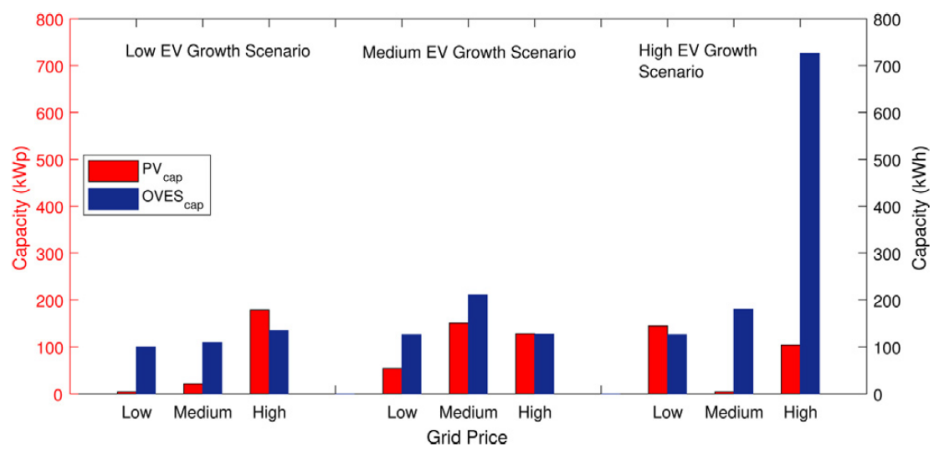


圖 1-5. 太陽能發電場和 OVES 的最佳容量。[10]

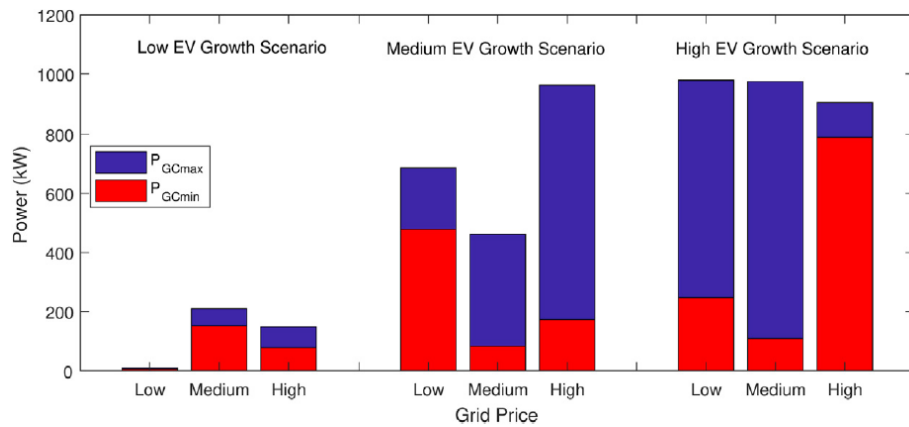


圖 1-6. 最小和最大電網充電功率的最佳值。[10]

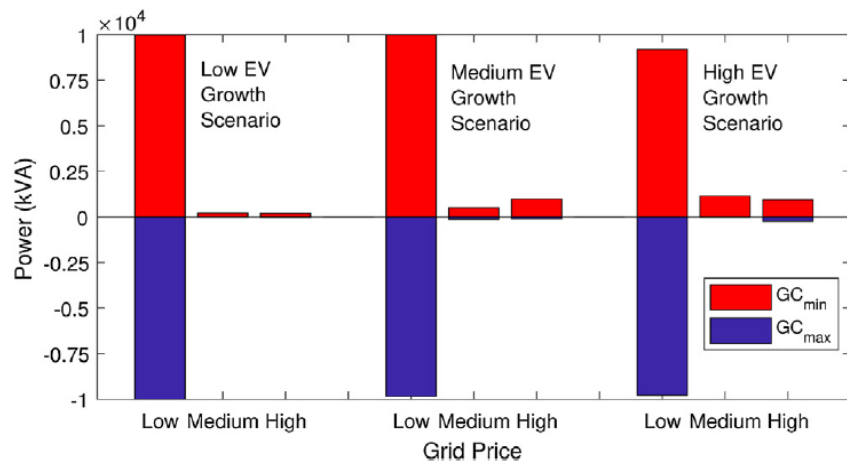


圖 1-7. 導入和導出網格連接的最佳值。[10]

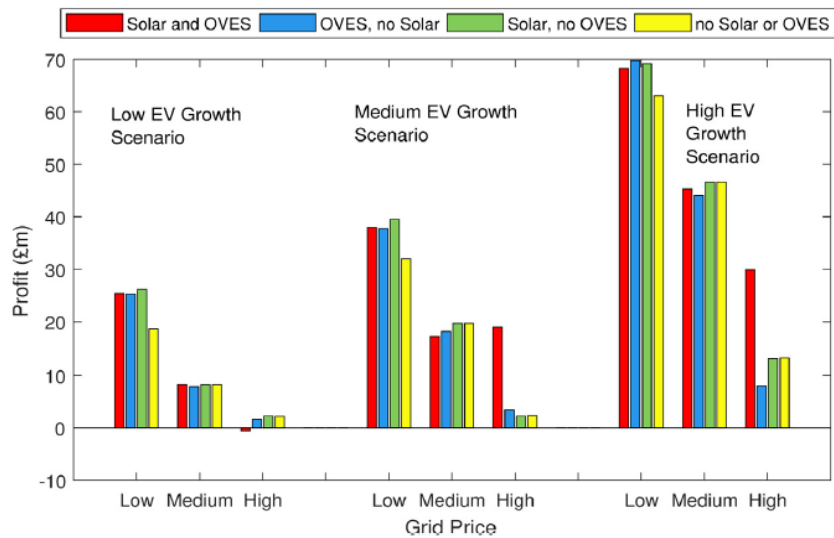


圖 1-8. 針對每種方案找到的最佳解決方案的利潤。[10]

文獻[11]比較特別之處在於它不只是以找出充電站的最佳容量配置和運行方式為目的，同時還要達到低污染的目標，因此作者設計充電站提出電力成本(Cost of electricity, COE)和污染排放最小為目標的多目標優化模型，並使用多目標粒子群優化(MOPSO)算法和“與理想解相似性”的順序偏好技術(TOPSIS)方法混合來求解該模

型，研究的充電站架構如圖 1-9。文獻準備的充電站優化模型分成兩個部份，第一個為成本優化模型，優化的變量分別為風力、太陽能、儲能和與市電網交易的功率，第二個為環境優化模型，優化的變量分別為 CO₂、SO₂ 和 NO_x 的產量。文獻的充電負載模擬模型有考慮到基於使用時間(TOU)的需求響應，也就是在售電電價有變動的情境下，電動車用戶會對當前的售價調整出較有利於自己能降低充電成本的充電方式，該文獻認為這種行為是影響充電負載變化的主要原因，所以將這一想法納入充電負載的模型中，在充電負載模型就有考慮電動車用戶評估自身狀況後選擇自己所期待的充電 SOC。此文獻作者將所提的方案套用在中國內蒙古的充電站建設上，環境的數據是在當地收集，充電站系統有 10 個快速充電樁(每個約 40kW)，充電負載的建模結果和系統參數如圖 1-10、1-11、1-12 和表 1-1 所示。此案例之結果顯示風力、太陽能和儲能的最佳容量分別為 330kW、280.75kW 和 750kWh 且 COE=0.306yuan/kWh 和 CO₂；SO₂；NO_x = 472.38g (圖 1-13)。另外，作者將所提的充電站架構與另外兩種架構做比較研究，第一個是單純靠市電網供電，第二個是再生能源以及儲能供電的架構，第三個的架構與所提的架構一樣，但充電負載沒有 DR 的性質。第一種架構的結果為 COE 為 0.559 yuan / kWh，污染排放為 7710.8 g。第二種架構的優化結果顯示 COE=0.317 yuan/kWh，污染排放為 0，WT、PV 和電池的最佳數量分別為 11、

9 和 22。第三種架構結果顯示 $COE = 0.297 \text{ yuan/kWh}$ ，污染排放為 602.413 g 。從這些結果可發現，第一種架構的結果算是最不好的，第二種架構雖然成本降低許多，污染為 0，但該架構由於太依賴再生能源發電量，因此無法保證能否穩定供電是它最主要的缺點。第三種架構跟所提的方案相比，成本是較小，但污染排放非常高。因此所提的方案可證明所提的架構與 DR 不僅可節省成本也可使環境污染降到最低。投資者偏好(成本節省或是環境優化)對容量的規劃會有何影響也是該文獻討論的一部份，對成本與環境的權重可分成 0.1 至 0.9，越高代表越重視，反之亦然。在不同權重分佈下的容量規劃如表 1-2。結果可發現風力發電機幾乎沒變動，儲能電池容量在越重視環境時會越大，反之亦然，太陽能容量在越重視成本時會越大，反之亦然。作者也將所提的算法與遺傳演算法(GA)和模擬退火法(SA)做比較，比較方式使用兩個比較指標，解決方案的多樣性(Diversity of solutions, D)和間隔度量(Spacing metric, S)，前者越大越好，後者反之，比較結果如表 1-3 所示。此結果可證明所提的方案優於另外兩種。

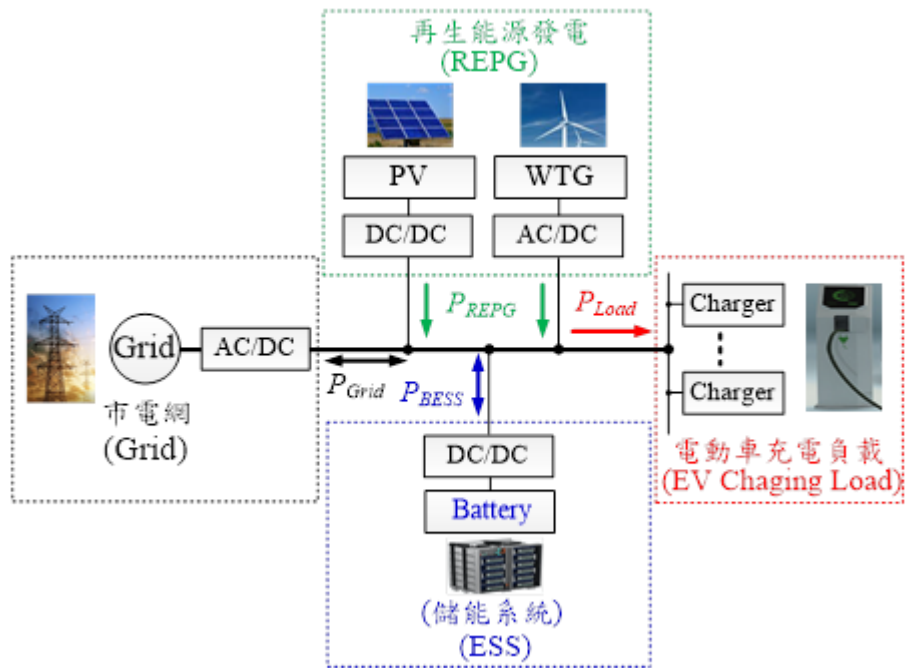


圖 1-9. 文獻[11]的充電站系統架構。

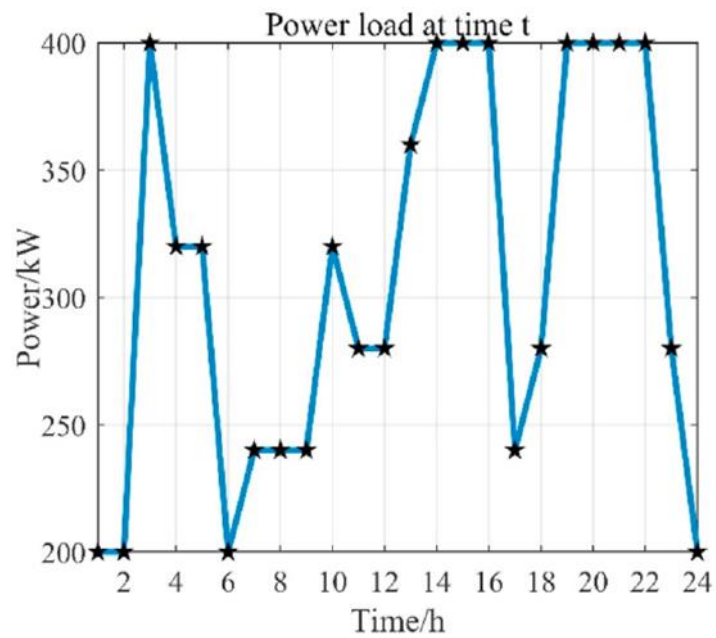


圖 1-10. 充電負載的建模結果[11]。

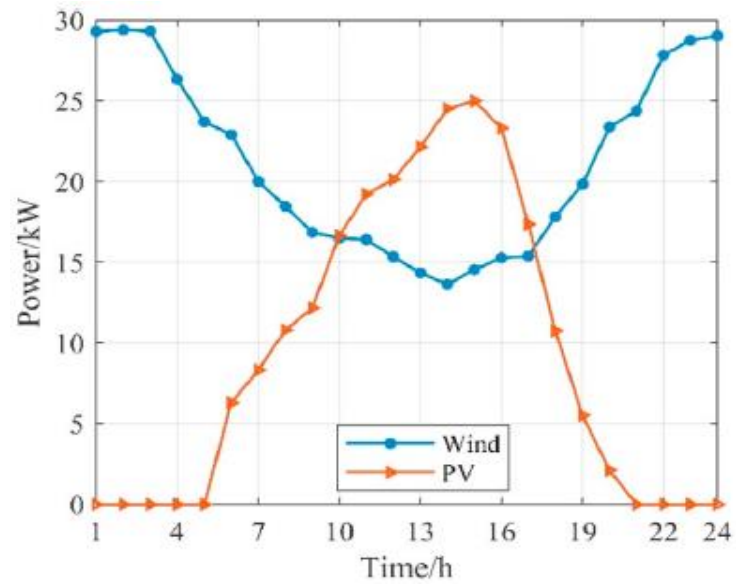


圖 1-11. WT 和 PV 的輸出曲線[11]。

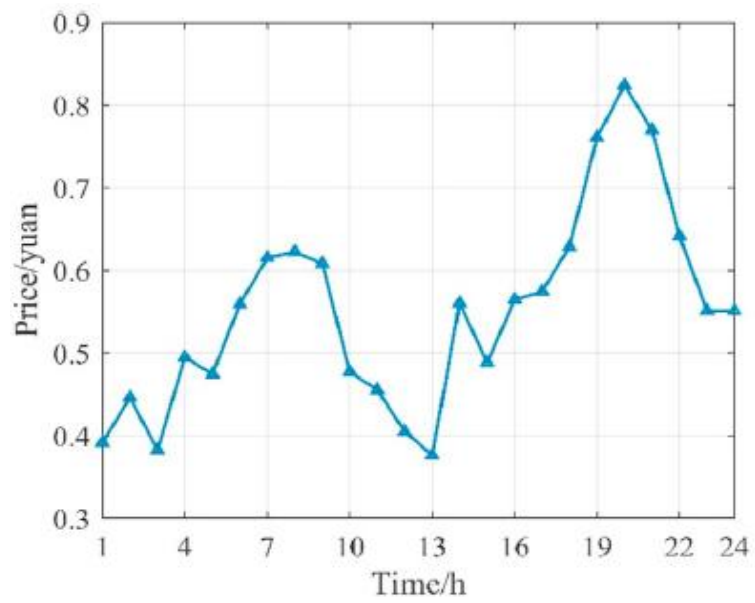


圖 1-12. 與市電網購電的實時電價[11]。

表 1-1. 系統組件的參數[11]。

Component	Parameter	Value	Unit
WT	Rated power	30	kW
	Cut-in speed	2.1	m/s
	Cut-out speed	20	m/s
	Rated speed	9	m/s
	Height of turbine hub	20	m
	Lifetime	25	Year
	IC	400000	Yuan/unit
	RC	300000	Yuan/unit
	OMC	700	Yuan/year
PV	Rated power	25	kW
	IC	250000	Yuan/unit
	OMC	700	Yuan/year
	Lifetime	25	year
	η_{PV}	85	%
	PV temperature coefficient	0.0045	—
	Cell reference temperature	25	°C
	NOCT	55	°C
BESS	Rated capacity	25	kWh
	IC	38000	Yuan/unit
	RC	35000	Yuan/unit
	OMC	700	Yuan/year
	DOD	20	%
	Self-discharge rate	0.002	
	Lifetime	20	Year
	Interest rate	6	%

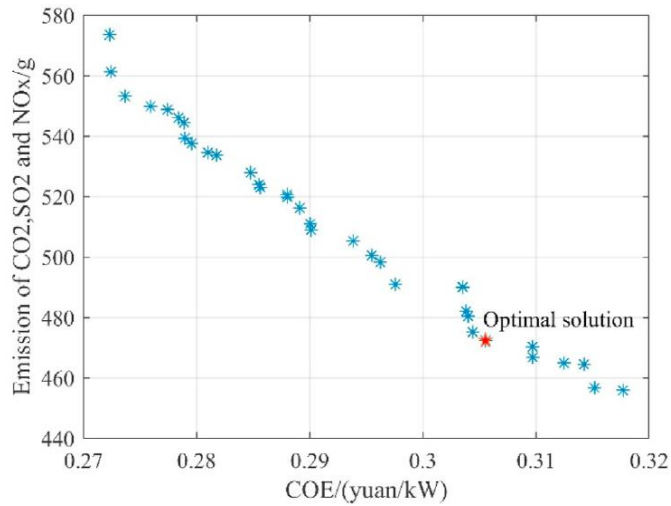


圖 1-13: 優化結果[28]。(由 MOPSO 優化程序得出 36 個 Pareto 解(藍色星型的點)，再由 TOPSIS 選出最佳解(紅色星型的點))

表 1-2. 在不同權重分佈下的容量規劃分析結果[11]。

w_1	w_2	WT	PV	BESS	COE	Pollution emissions
0.1	0.9	11	10.817	35	0.315	456.706
0.2	0.8	11	10.817	35	0.315	456.706
0.3	0.7	11	10.817	35	0.315	456.706
0.4	0.6	11	11.233	30	0.306	472.382
0.5	0.5	11	11.230	30	0.306	472.380
0.6	0.4	11	11.558	20	0.290	508.982
0.7	0.3	11	12.293	11	0.274	553.272
0.8	0.2	11	12.293	11	0.274	553.272
0.9	0.1	11	12.293	11	0.274	553.272

表 1-3. 三種方法的比較指標比較[11]。

	D	S
MOPSO	117.64	2.30
SA	75.73	3.60
GA	117.10	3.62

理論上，EV 充電站可藉由整合再生能源和儲能系統來增加利潤提升運營能力，但這些裝置的價格不便宜，因此有些充電站的運營商也會考慮將電動汽車可也納入到儲能系統的一環，這樣可以降低系統容量，達到節省成本的目的。文獻[12]針對這一目標進行研究，作者改良了傳統的模擬退火算法(SA)和為優化充電調度方案建立了干擾機制(disturbance mechanism)，主要是針對一天 24 小時中每個小時來充電的電動車數量進行調整，也就是制訂一個完善的電動充電調度計畫，該方案不僅降低了系統的容量，也提高了投資者的效益，此文獻的研究的架構如圖 1-14。一般系統是由儲能負責操作調峰的工作，文獻中的作者讓電動車用戶有很高的意願參與這份工作。案

例中，考慮到光伏輸出和負載會受到四季環境的影響而都不同，因此分為夏季、冬季以及春秋季三個情境進行研究，風力發電則是假設一年輸出都固定。另外，此文獻也比較了有電動車和無電動車參與調峰工作的差別，與未使用電動車調峰的案例相比的結果如圖 1-15~圖 1-18 所示，可發現充電站容量可減少 49.80%，儲能容量減少 54.51%，向市電網購電和售電分別減少 9.49%和 55.26%，總收入增長了 6.83%，並且在所提方案的規劃下，功耗的曲線也平緩許多。文獻還使用歐氏距離(Euclidean distance)評估所提方案在優化前與優化後的不同，評估結果可證明所提方案的有效性。

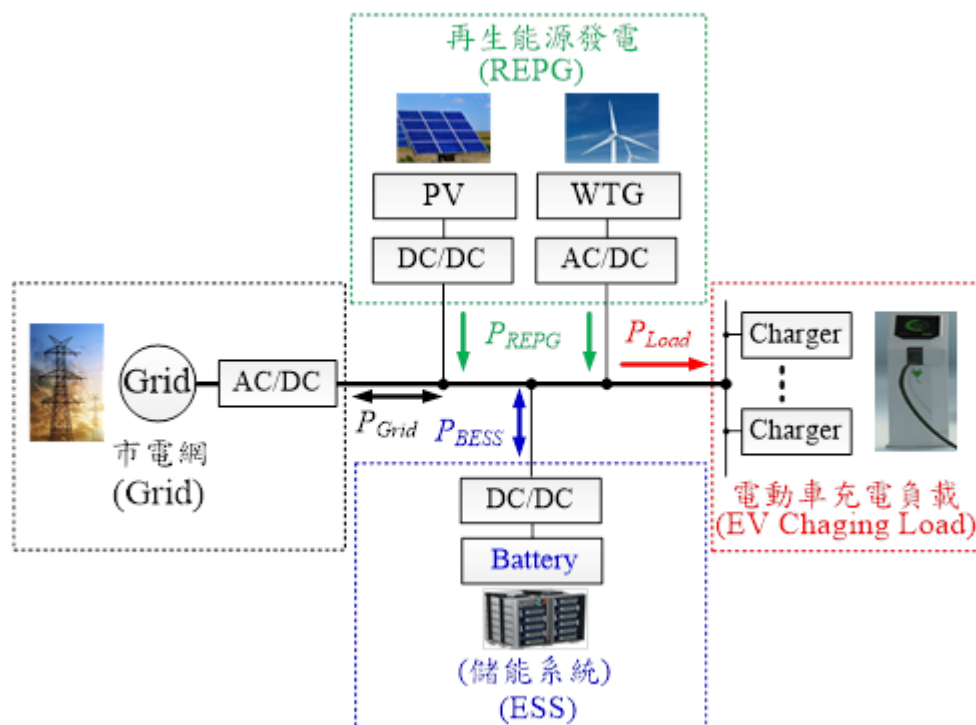


圖 1-14. 文獻[12]的充電站系統架構。

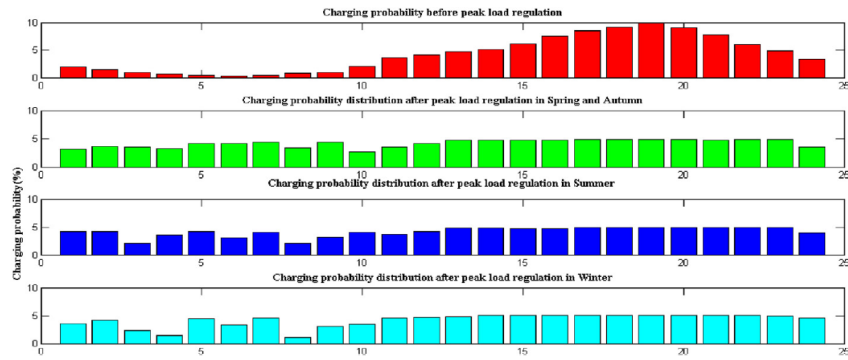


圖 1-15. 三種情況下的充電車數量分佈[12]。

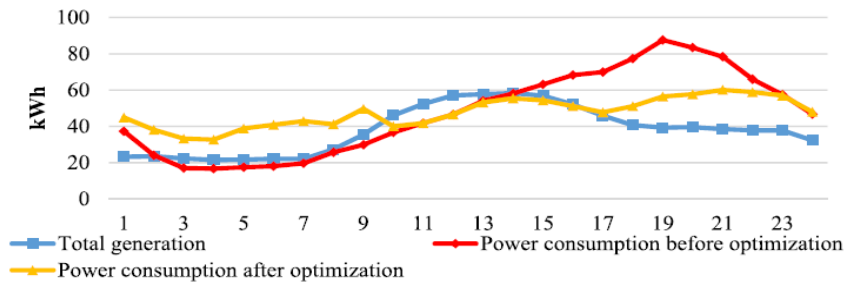


圖 1-16. 在春天和秋天的情況下，EV 車主參與調峰而不參與調峰的充電站優化結果比較[12]。

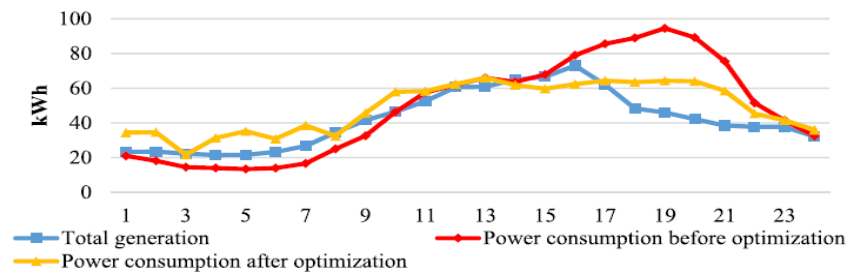


圖 1-17. 在夏天的情況下，EV 車主參與調峰而不參與調峰的充電站優化結果比較[12]。

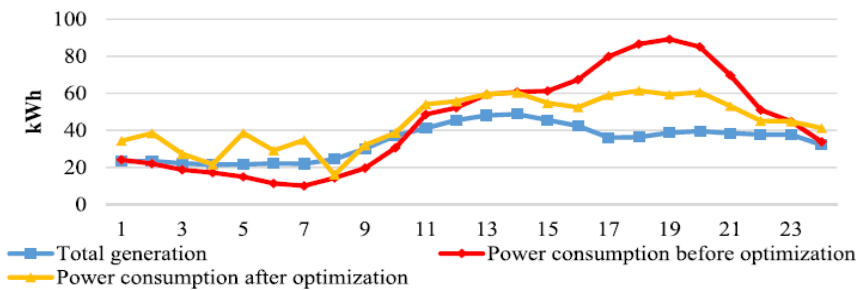


圖 1-18. 在冬天的情況下，EV 車主參與調峰而不參與調峰的充電站優化結果比較[12]。

文獻[13]的作者認為電動車用戶的充電行為是會依自己的利益決定自己是否要去充電站充電以及去充電站充多少電，於是將這充電行為的影響納入充電站的規劃與設計中，並將這種充電站設計問題構建成新型的雙層強健規劃模型，旨在考慮 EV 用戶的自設充電行為下找出充電站最佳的 RCS 規劃/運營方案，其中利用 Karush-Kuhn-Tucker (KKT)和列約束生成(C & CG)演算法來解決此優化問題，目標函數為充電站最大化之收入，優化變量包括儲能和再生能源容量、充電站售電價格和與市電網交易時的電價等。此文獻研究的架構如圖 1-19 所示。文獻裡對於 REG、能源市場價格和 EV 充電需求等不確定性引入了強健優化(RO)策略。案例中，將所提的方案與其他四種方案做比較，其他四種方案中在電價上都是固定，充電負載則有固定和變化的情境，並使用傳統的計劃範式來做規劃。系統參數如表 1-4 所示，光伏輸出、能源價格不確定區間和電動汽車用戶數量分別由圖 1-20、圖 1-21 和圖 1-22 所示。結果表明所提的方案在實際市場環境下可以提供更有效的解決方案。

表 1-4. 系統參數[13]。

Option	Parameter value	
	Technical	Cost
Solar PV [28]	$\zeta^{rdg} = 25 \text{ years}$	$c^{rdg} = \$870/\text{kW}$ $c^{rdgm} = \$12/\text{kW}/\text{year}$
Li-ion battery [29]	$\zeta^{es} = 15 \text{ years};$ $\eta^{esc}/\eta^{esd} = 93\%;$ $SOC_{min}^{es} = 30\%;$ $SOC_{max}^{es} = 90\%$	$c^{esp} = \$200/\text{kW}$ $c^{ese} = \$143/\text{kWh}$ $c^{esm} = \$0.8/\text{kWh}/\text{year}$
CF [30]	$\zeta^{es} = 20 \text{ years};$ $\eta^{cf} = 95\%$	$c^{cf} = \$100/\text{kW}$ $c^{cfm} = \$6/\text{kW}/\text{year}$

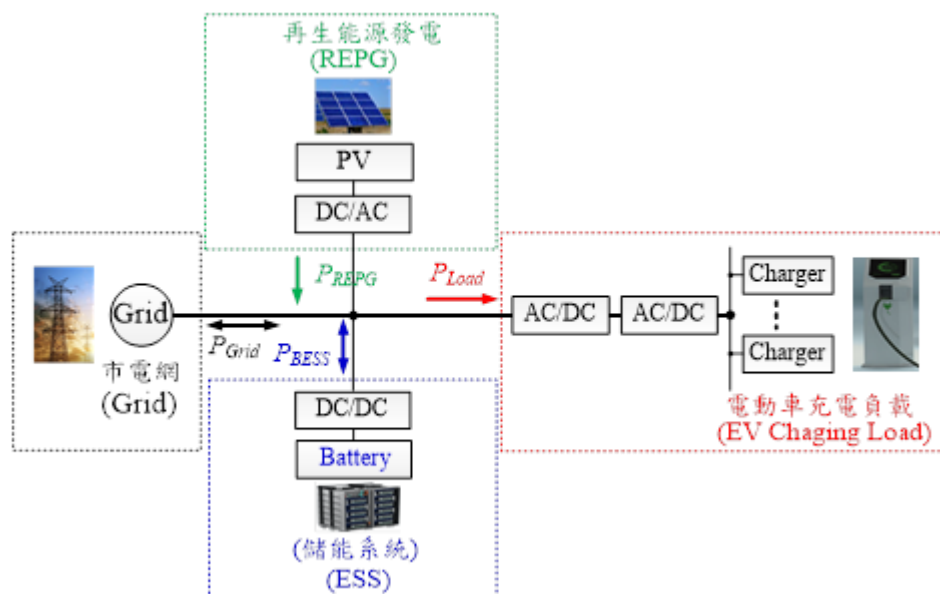


圖 1-19. 文獻[13]的充電站系統架構。

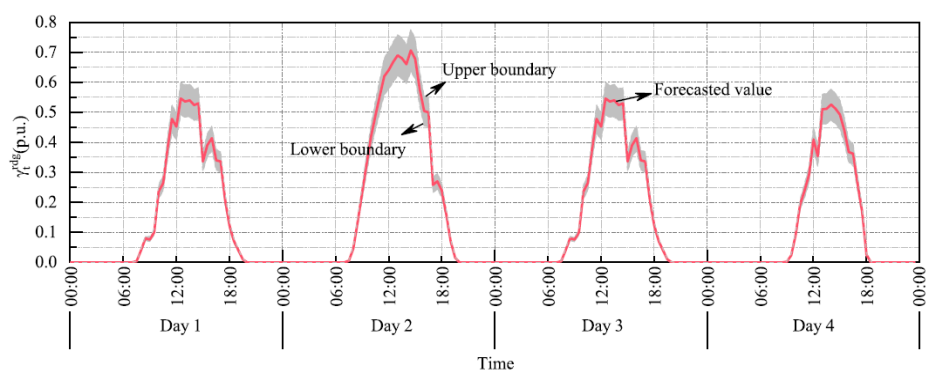


圖 1-20. 光伏輸出[13]。

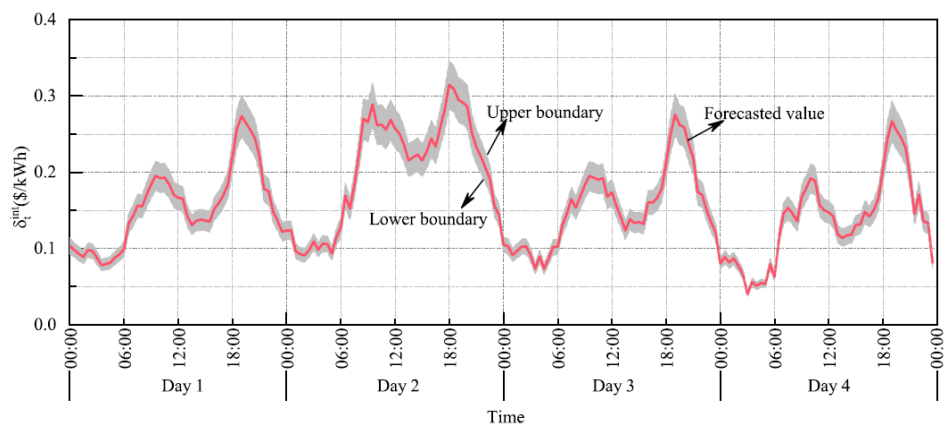


圖 1-21. 能源價格不確定區間[13]。

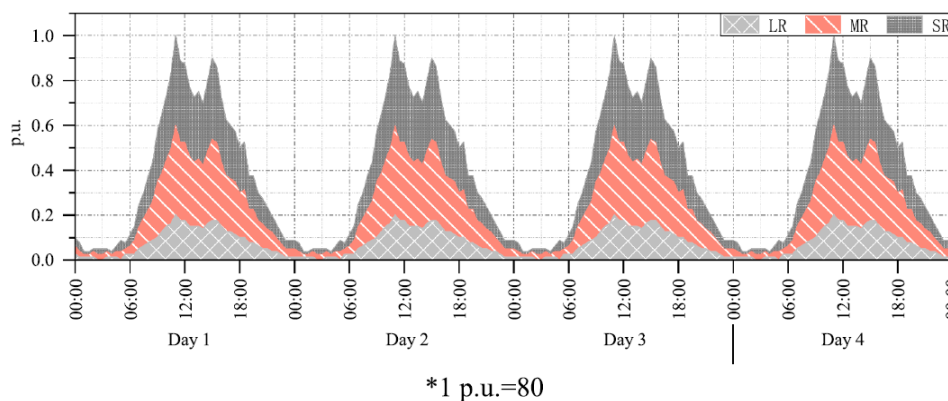


圖 1-22. 電動汽車用戶數量[13]。

文獻[14]提出一個低成本的並網型混合可再生能源充電站的設計程序，該論文所探討的充電站供電來源及方式包含太陽能板、沼氣發電機、儲能系統和市電網，系統架構圖如圖 1-23 所示。文中 EVCS 設計的目標在於與傳統的基於市電網相比可降低更多的成本和溫室氣體的排放，同時降低市電網的電力負擔。此文獻除了在充電站模型的建構和電力電子技術的說明非常豐富之外，還提供許多能夠評估充電站運營的指標例如：能源成本(COE)、內部收益率(IRR)、淨現成本(NPC)、預期投資回收期、盈利能力指數(PI)等，對 EVCS 研究者來說是非常值得參考。案例中使用 HOMER Pro 優化軟件評估充電站在經濟和環境上的可行性。案例中使用的充電負載曲線如圖 1-24 所示。模擬結果顯示各個再生能源發電年產量和比例如圖 1-25 和 1-26 所示。為了證明再生能源可為充電站獲利，模擬案例計算了再生能源的壽命內回收投資成本的可能性，計算結果如圖 1-27 所示。結果證明使用再生能源對充電站的營運是有幫助的。最

後顯示 NPC 為\$ 56,202、COE 為\$ 0.1302/kWh 和運營成本為\$ 2540。

在 CO2 排放量指標上比單純使用市電網的充電站減少了 34.68%。

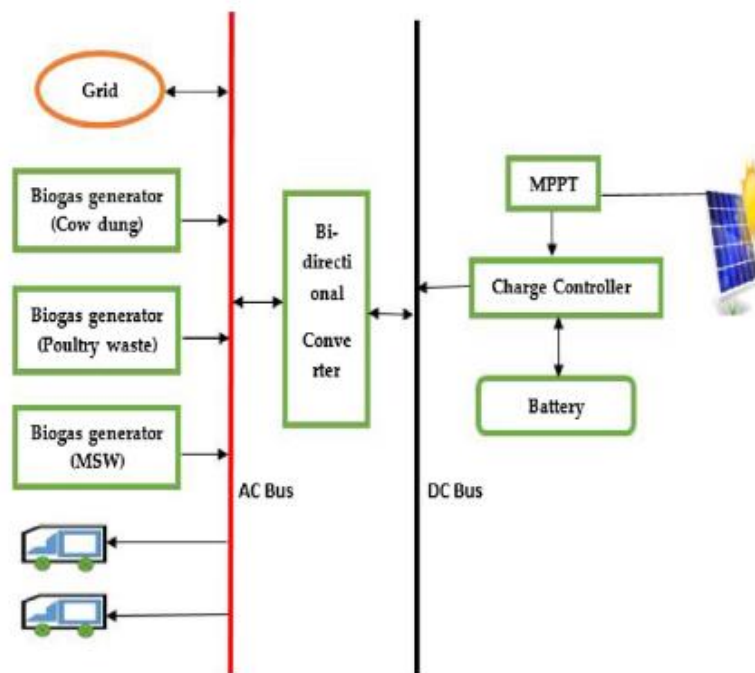


圖 1-23. 文獻[14]的充電站系統架構。

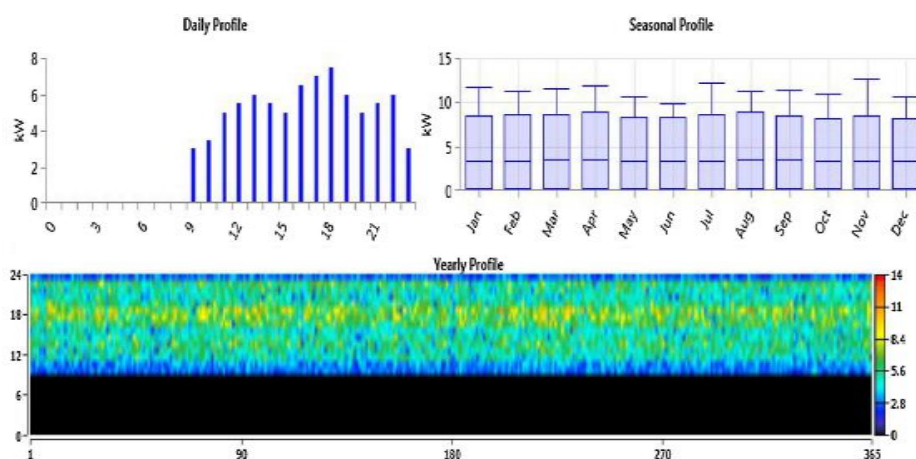


圖 1-24. HOMER 中使用的負載曲線(每日，每個月)[14]。

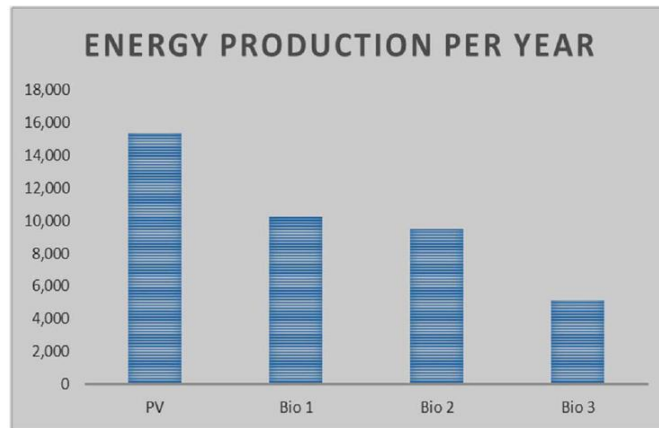


圖 1-25. 按資源類型計算的年發電量 (kWh) [14]。

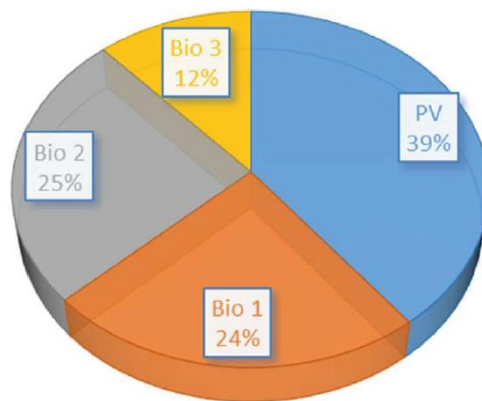


圖 1-26. 資源佔總發電量的百分比[14]。

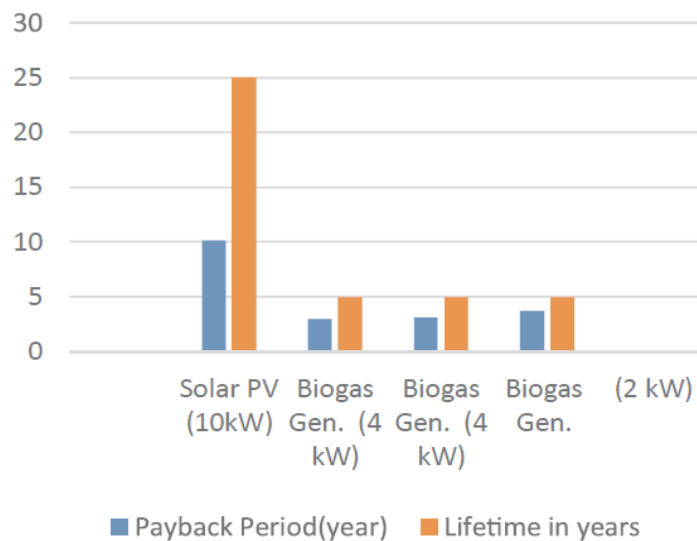


圖 1-27. 系統的投資回收期和使用壽命[14]。

因應電動車充電站的普及化，配電網必須盡快擬定策略來滿足龐大的充電需求，因此對於配電網的容量擴建至為重要，文獻[15]針對此議題提出了一種自適應強健優化(ARO)方法，該方法以投資與運行的成本以及對環境影響最小化為目標，研究的系統架構如圖 1-28 所示。所提方法將影響太陽能、儲能系統和充電站投資的不確定性因素分成長期與短期兩個方向討論，長期的不確定性因素主要有與主電網交換的電力的價格、未來的峰值需求以及未來的電動汽車數量，短期的不確定性因素主要有太陽能的每日間歇性發電量、住宅的負載、電動車用戶的負載與主電網交易時的每日電價變化。值得注意的一點是，作者對短期的不確定性使用歷史數據和 K-均值聚類技術的修正版定義，此方法比起一般隨機編程模型在變量變化的範圍內可避免進入最壞情況。最後，此方案使用改進過的 69 總線配電測試系統進行實驗與分析，並與一般的隨機編程模型的結果做比較，最後的發現文獻所提的方案的结果優於隨機模型的结果。

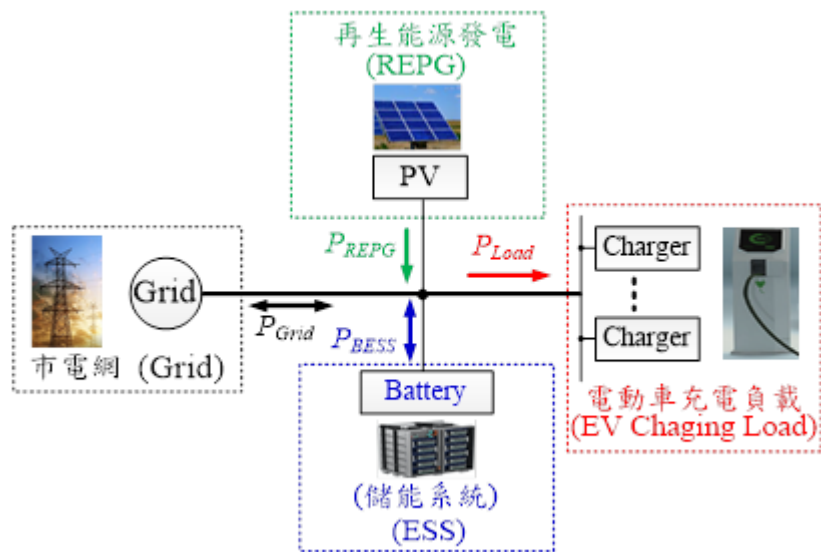


圖 1-28. 文獻[15]的充電站系統架構。

到目前為止，上述大多數文獻在設計充電站的研究中主要是將目標集中在優化系統的裝置容量和運行模式。文獻[16]除了有上述常見充電站設計的考慮變量，還增加了“加強網絡線路”的想法。文獻中的充電站是假設有多級充電器之控制方案(Multi-Level Charger，充電器的功率容量優化結果會分為慢速、中速和快速三種)，其架構圖如圖 1-29 所示。充電站中的儲能系統工作重點為調峰，此工作為減少線路擁堵和成本。作者將所有的可調整變量建立成基於隨機混合整數線性規劃的模型，最後用 GAMS 工具箱求解成本函數的最小化。研究數據包括風力功率、充電負載、電價和系統組件的成本系數。案例中除了直接代入數據進行模擬外，作者也討論了其它影響規劃的因素，例如：沒有儲能的限制、線路升級限制在 150%、電池儲能成本、充電器成本、線路升級成本以及電動車數

量。所提的方案優化後的結果顯示慢速、中速和快速的充電器額定功率定在 52、84 和 116kW。儲能系統的功率和容量優化結果分別為 133.3 kW 和 155.3 kWh，完整模擬儲能系統運行的過程如圖 1-30~1-31 所示。線路及設置優化結果為 183%。案例中得出的充電站一年總成本為 944.5 \$/year。由沒有儲能的優化結果顯示線路升級須提高到 185%，線路升級限制在 150%的優化結果表示儲能系統的規格為 501 kW 和 2683 kWh。在充電器成本上升時，可發現所提規劃程序可為電動車供電的停車位增加至 14，而每個充電器的額定功率都會減小，表示能容納更多電動車，但電動車充電的時間會變長。若線路升級成本上漲時，所提規劃程序則選擇減少線路的升級數量，並安裝更多電池提高儲能容量。

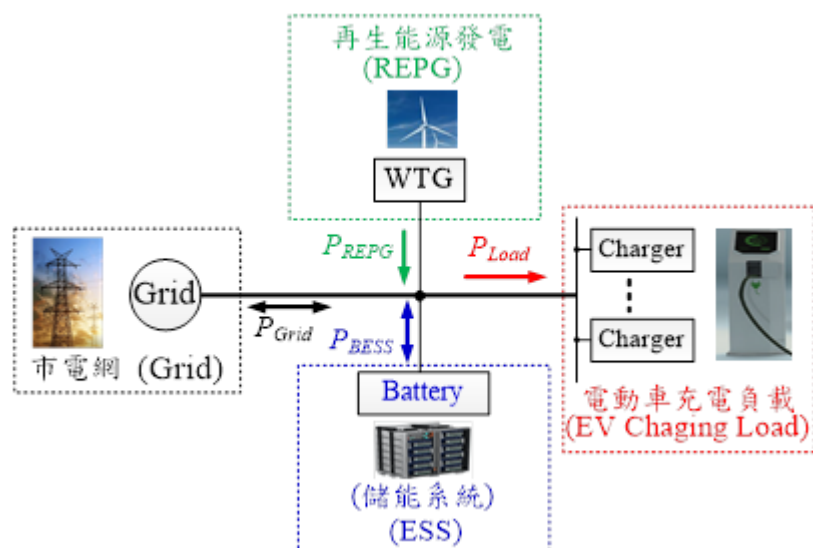


圖 1-29. 文獻[16]的充電站系統架構。

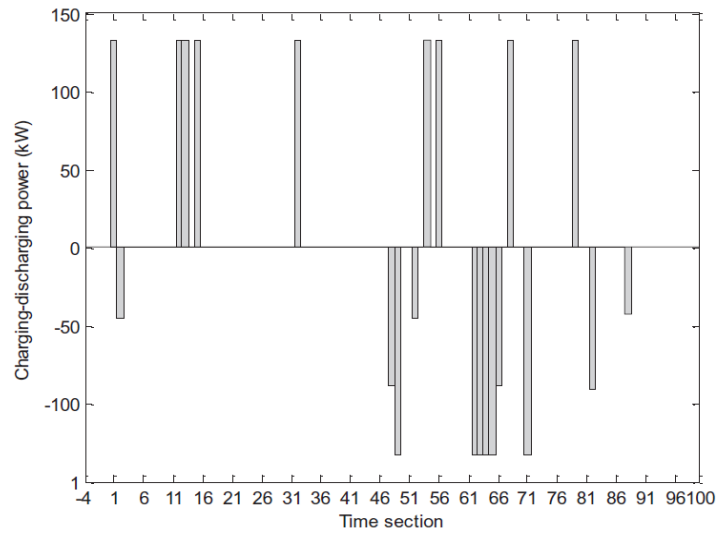


圖 1-30. 多級充電站的儲能系統的最佳運行模式(功率部份)[16]

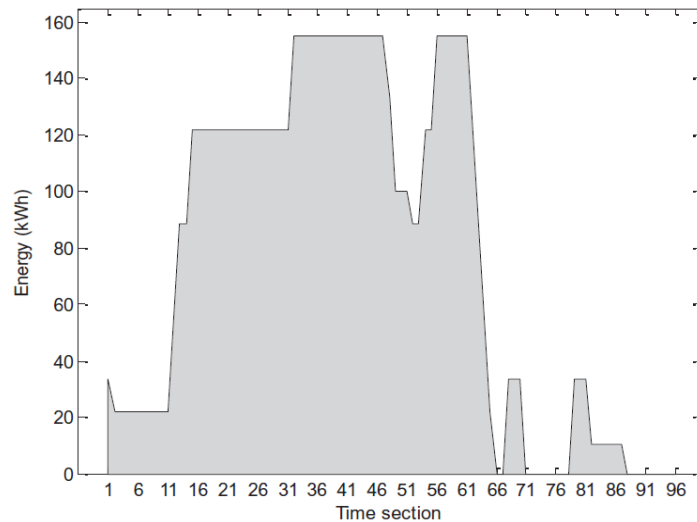


圖 1-31. 多級充電站的儲能系統的最佳運行模式(能量部份)[16]。

文獻[17]的研究動機與文獻[16]幾乎一樣，也在充電站設計的研究方向中考慮網絡擴張時線路升級的優化問題。文獻中系統所使用的分佈式能源是太陽能 and 柴油發電機，如圖 1-32 所示。文獻中規劃柴油發電機和儲能系統一起進行調峰的工作，充電站的充電器也是使用多級充電器。作者首先構建了一個綜合模型，優化的變量包括充電站中所有組件的容量和線路升級的程度，目標函數是 EVCS 系

統成本最小化。研究中太陽能的不確定性功率輸出採用高斯概率分佈(Gaussian Probability Distribution)建模，電動車充電的時間採用歷史數據，在充電前的電量是用正態分佈(Normal Distribution)隨機生成，文中關於充電站的一些營運的成本系數也有詳細交代。研究案例在情境的設定上使用了 IEEE 30 總線配電網路，充電站設置於總線 10 的位置，再將數據代入所提方法後所提出綜合模型並使用 GAMS 軟件求解，案例模擬時程為一整天，並以每 15 分鐘為一個的時間間隔，總共有 96 個時間間隔。每個充電樁優化好的規格，分別為 388、265 和 118 kW，電池存儲系統優化過的容量分別為 223 kW 和 111.5 kWh，柴油發電機的優化過的容量為 10kW，充電站總共有 22 個電動車充電樁。從圖 1-33、圖 1-34 所呈現的結果來看，優化柴油發電機和電池的運作可達到削峰的目的。

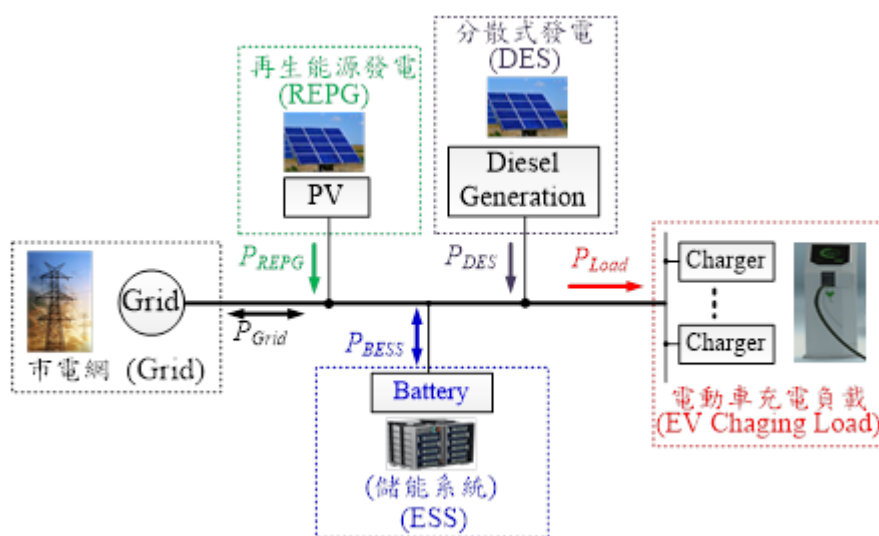


圖 1-32. 文獻[17]的充電站系統架構。

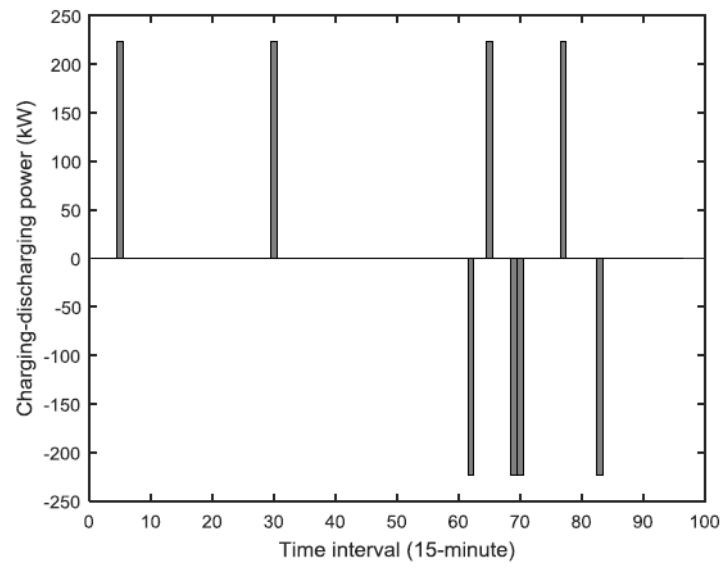


圖 1-33. BESS 在每天的時間間隔內的充放電狀態[17]。

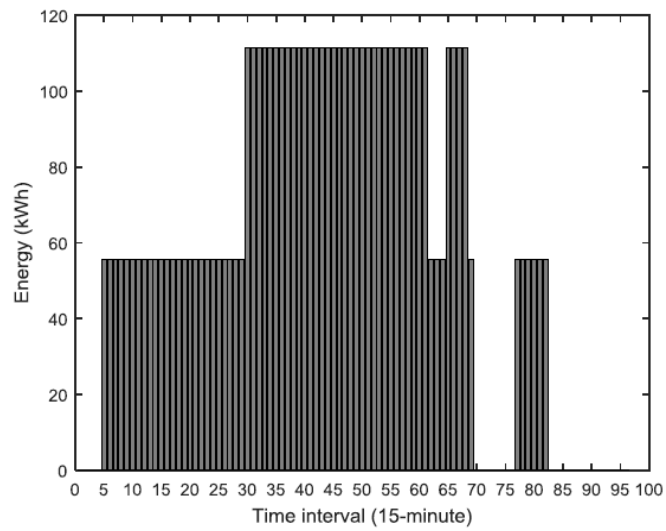


圖 1-34. 每天間隔一段時間在 BESS 中存儲的能量[17]。

三、充電站之即時電能控制方案文獻探討與分析

從系統架構進行分析，含再生能源發電及儲能系統之併網型電動車充電站可視需要控制其與外部配電系統之聯網或離網運轉，具有諸多電能優化彈性。此類充電站系統架構配合適當控制方案可實現許多優點，主要包括使用環境污染低的再生能源、降低新設或升級配電線路的成本、具電壓調節能力、提高電網電力品質及充電站系統可靠度以及增進能源效率等。因此，配合低碳政策下整體能源發展趨勢，適時導入進階系統控制方案與研發相關電能管理技術實為加速實現車輛全面電動化的重要發展方向。考慮再生能源發電具有不確定性及無可避免的輸出功率變動性質，導入適當的儲能裝置、智慧系統的整合運用與相關最佳化彈性控制方案的提出與驗證將是推動以再生能源為基礎的分散式併網型電動車充電站系統重要的工作。本小節之內容將聚焦於充電站之即時電能控制方案文獻探討與分析。

考慮電動車充電站的增加進而造成輸電網的輸電線路擁堵問題，需求響應(DR)的能量管理是一個不可忽視的議題，文獻[18]提出了一種可優化與市電網簽訂的契約容量的能源管理方法，該方法是基於機會約束編程進行調整使用時間(TOU)，此文獻所提出的方案目標在找出合適的契約容量並根據充電負載和分佈式能源的狀況來實施即時功率分配策略。文獻研究的 EVCS 系統架構如圖 1-35 所示。優化過程考量包括負載以及儲能系統的充電/放電優先級計算、不同時段的電價的考量、太陽能輸出功率的不確定性和 V2G 等電力調度模式。此外，文獻還針對此方法提出一個可最小化充本的優化函數。對於充電負載的隨機性描述則使用多次蒙特卡洛法模擬充電

行為。研究的案例依照電動車數量分為 200、400 和 500 三種，與一般的模擬方法相比，本文所提方法可使電動汽車的充電成本降低近 50%。其中系統參數如表 1-5 和表 1-6 所示。模擬的結果如圖 1-36~圖 1-39 所示。

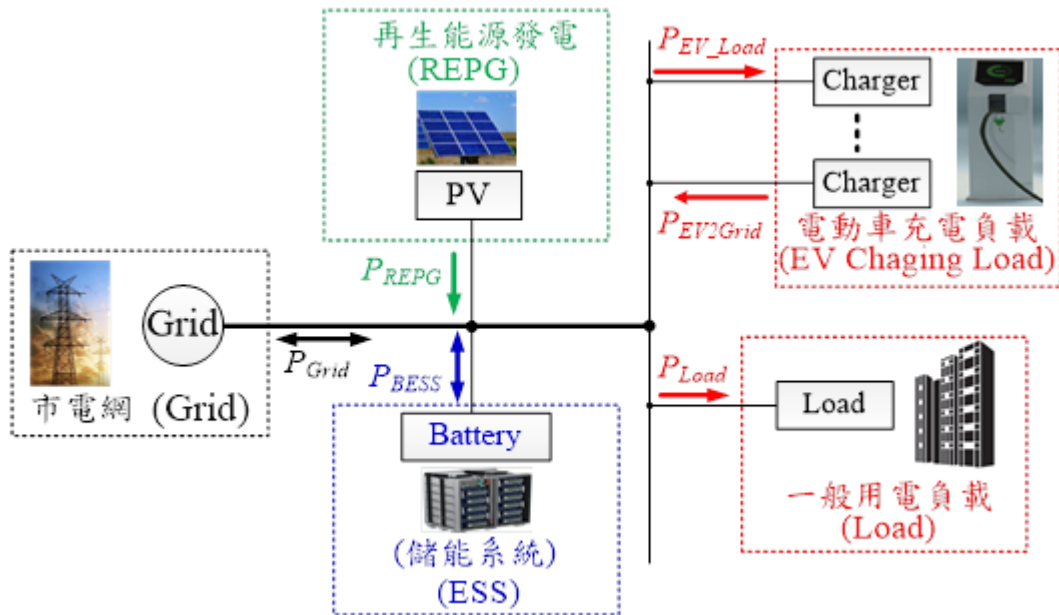


圖 1-35. 文獻[18]的充電站系統架構。

表 1-5. 電動汽車的現狀[18]。

Variables	Distribution	Parameters	
Arrival Time	Weibull	a = 0.9831, b = 16.8	
		Mean	Standard deviation
Departure Time	Normal	6:00	3 h
Minimum SOC	Normal	12%	8%
Maximum SOC	Normal	94%	5%
Initial SOC	Normal	36%	15%
Desired SOC	Normal	86%	14%

表 1-6. EV 和 ESS 的電池規格[18]。

Specification		Values
EV	Capacity (kWh)	44
	Maximum charging power (kW)	-7
	Maximum discharging power (kW)	7
	Purchase cost of EV battery (\$)	8800
	Battery degradation cost (\$/kWh)	1.18
ESS	Capacity (kWh)	500
	Maximum charging power (kW)	-100
	Maximum discharging power (kW)	100
PV	Capacity (kWp)	400

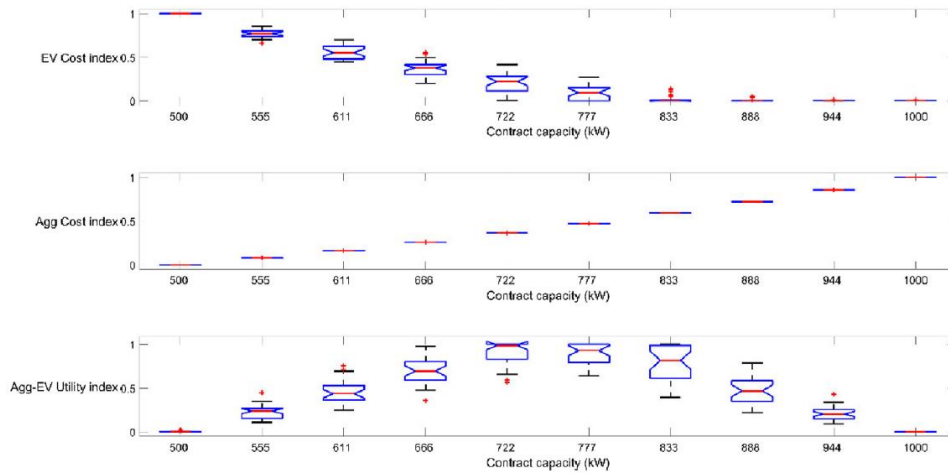


圖 1-36. 200 輛電動汽車車隊的最佳合同容量[18]。

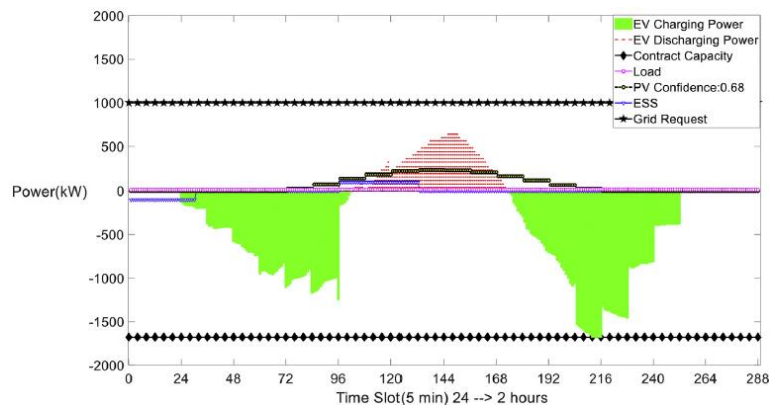


圖 1-37. 使用 1000 kW 作為電網請求和 0.68 的 PV 置信水平的 400 輛電動汽車車隊的計劃系統功率[18]。

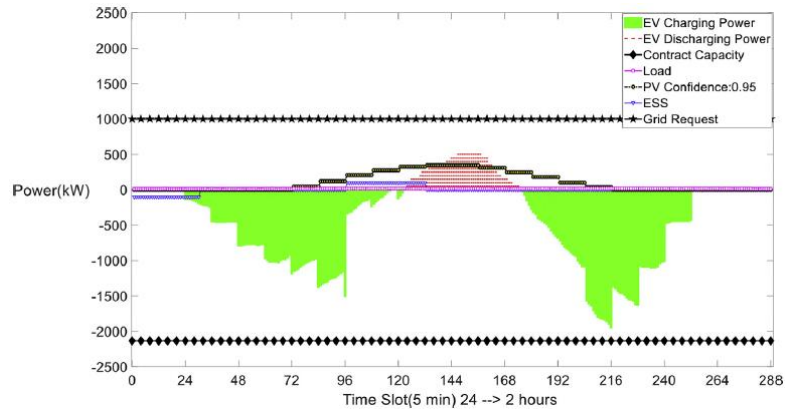


圖 1-38. 使用 1000 kW 作為電網請求和 0.95 的 PV 置信水平的 500 輛電動汽車車隊的計劃系統功率[18]。

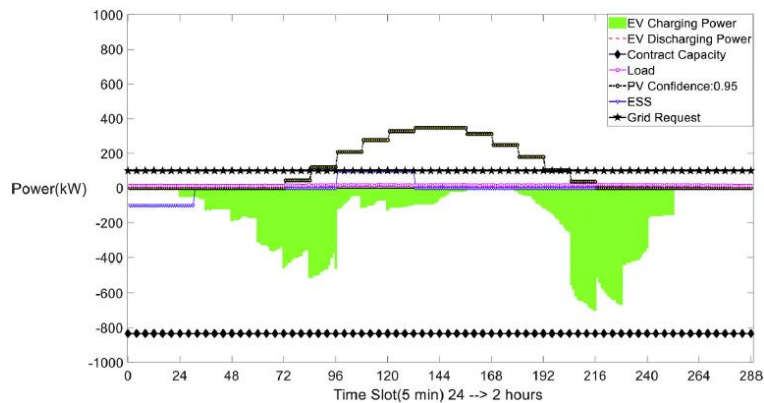


圖 1-39. 使用 100 kW 作為電網請求和 0.95 的 PV 置信水平的 200 輛電動汽車車隊的計劃系統功率[18]。

目前文獻中大多數研究者都將注意力集中在連接公共電網的充電站上，對連接住宅的充電站研究較少，文獻[19]特別針對住宅型的充電站進行分析，作者針對這種系統及運轉情境設計了一個源管理策略。為了呈現該策略之設計概念，作者主要使用兩類重要的參數，第一類是電動車用戶的當前電量(SOC)、離開時的 SOC 和時間以及電池容量等即時訊息參數，第二類是太陽能輸出功率、儲能的 SOC 和電網即時電價訊息。作者根據這些訊息將管理策略設計成有

10 個不同控制模式來決定每輛到來的電動車充電優先級別以並為其分配即時充電功率，目標是以最大利用太陽能來達到長時間並且在獨立模式的狀態下運作整個系統。此文獻所研究的充電站架構如圖 1-40 所示。作者為了測試該方案在不同的天氣條件和初始 SOC 對所提的方案是否產生影響，模擬實驗規劃在兩個季節(夏季和冬季)下進行，兩個情境中電動車充電的行為假設一樣，這些行為如圖 1-41 所示。模擬的結果分別顯示充電站的功率分配、直流總線的電壓變化、儲能系統的 SOC、控制系統中的 10 個控制模式為電動車充電的時間以及電動車充電時的 SOC 和功率情況，從這些結果可判斷所提出的方案對充電站的營運有正面助益，這些結果如圖 1-42~圖 1-44 所示。從圖 1-42~圖 1-44 可證明所提策略能將直流總線電壓和儲能系統的 SOC 穩定控制在期望的範圍。在夏季時完全沒向市電網購電，該結果證明所提方案可降低充電站對市電網的依賴度。從結果可以證明所提策略不僅在不同季節都可以滿足電動車用戶的充電需求，也可視當時的情況為電動車用戶提供兩種不同的充電功率，第一種是電動車用戶所需的充電功率，第二種是根據每輛車的優先級別和目前可用的 PV 輸出功率。

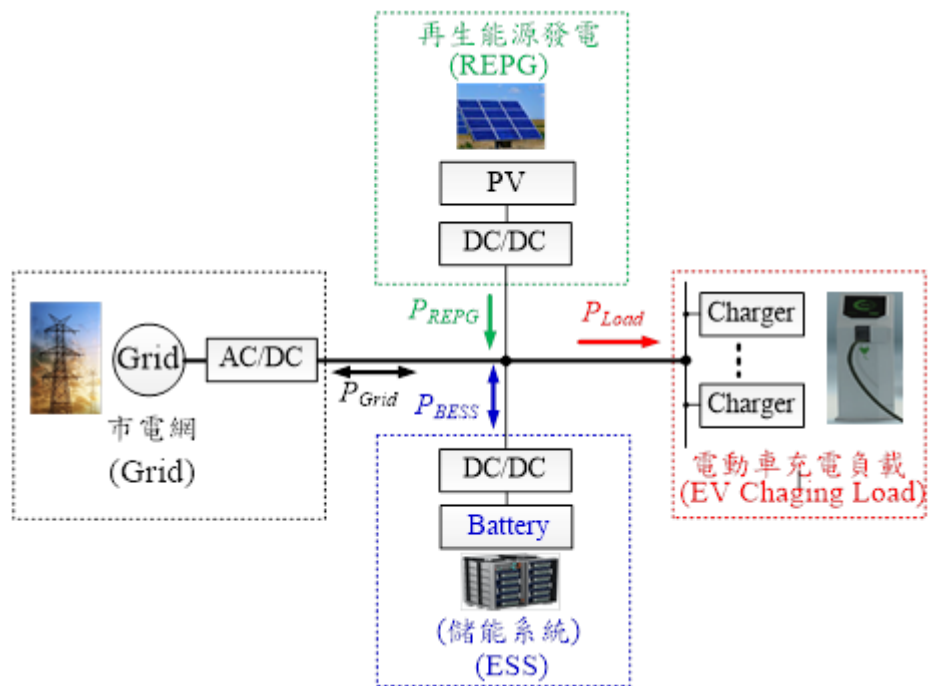


圖 1-40. 文獻[19]的充電站系統架構。

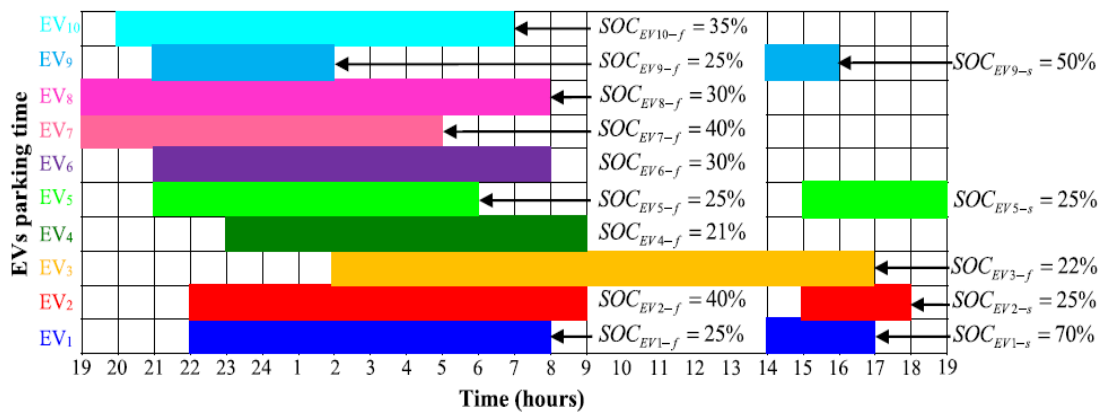


圖 1-41. 每個充電樁來充電的電動車停車方式[19]。

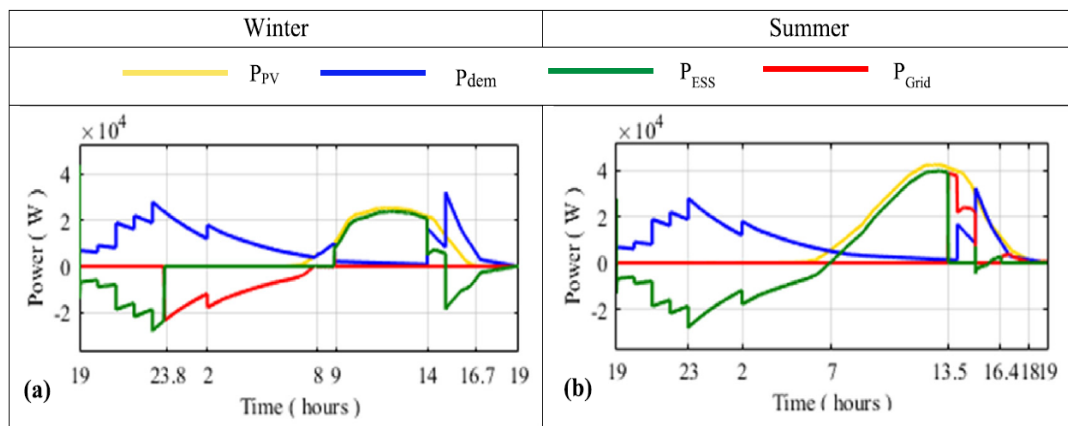


圖 1-42. 兩個季節下充電站的功率分配[19]。

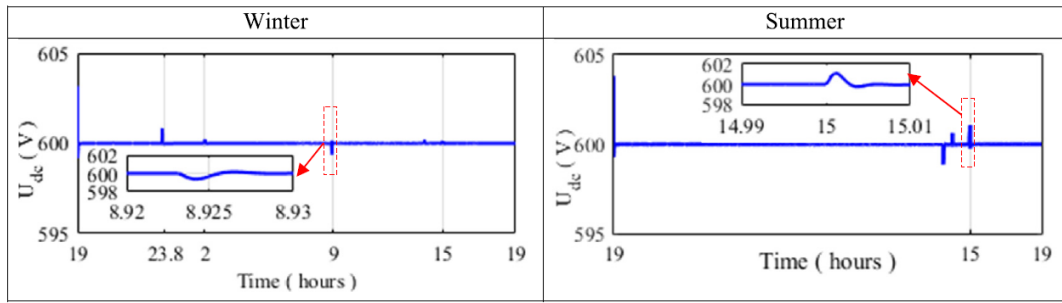


圖 1-43. 兩個季節下充電站的直流母線電壓變化[38]。

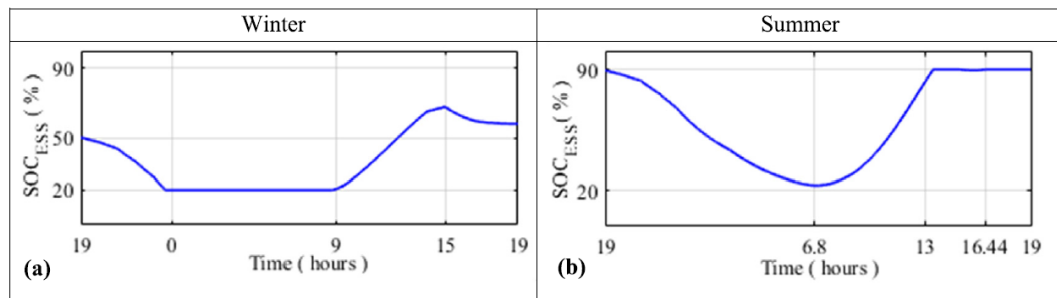


圖 1-44. 兩個季節下充電站的儲能係統 SOC 變化[19]。

微電網的即時電能控制技術是電網智慧電網中不可或缺的一環，文獻[20]對併網的快速充電站微電網系統提出一種基於自適應神經模糊推理系統(Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems, ANFIS)的能源管理策略，作者不使用典型基於預測的能源管理滾動時域(Rolling Time Horizon, RTH)或模型預測控制(Model Predictive Control, MPD)方法)，是因為作者認為典型的預測的方法沒辦法有效呈現充電負載的隨機性。文獻使用的系統架構如圖 1-45 所示。案例中使用混合確定性-隨機過程來模擬充電負載。文獻中的案例依照不同條件(不同的 PV 輸出和數據建立時不同的參數)分為許多個案例，相關結果也與基於遺傳演算法優化的模糊推理系統(Mamdani-FIS)的模擬結果做比較，圖 1-46~圖 1-52 為案例模擬之結果，這些結果可充分驗證所提方案具有較佳表現。

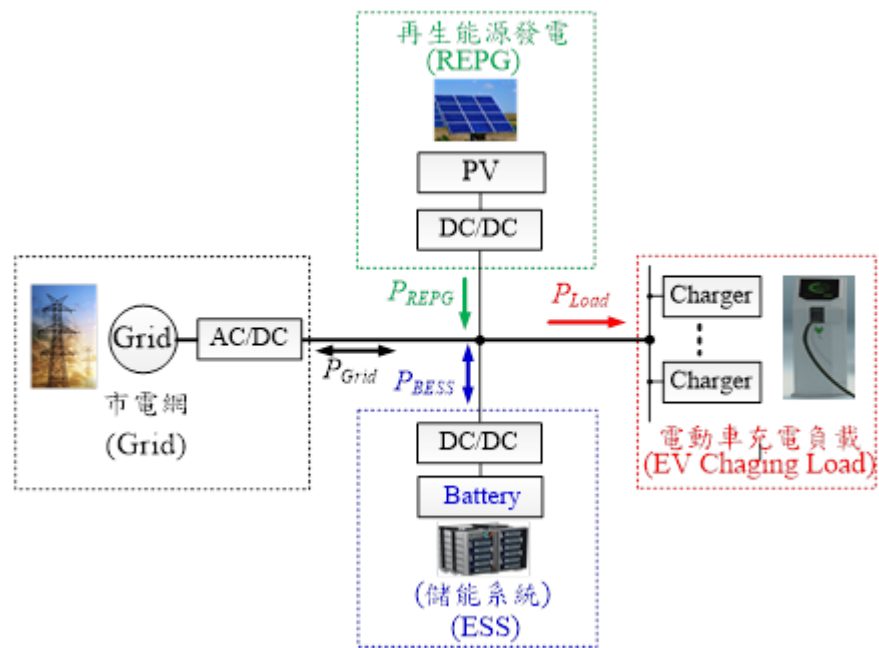


圖 1-45. 文獻[20]的充電站系統架構。

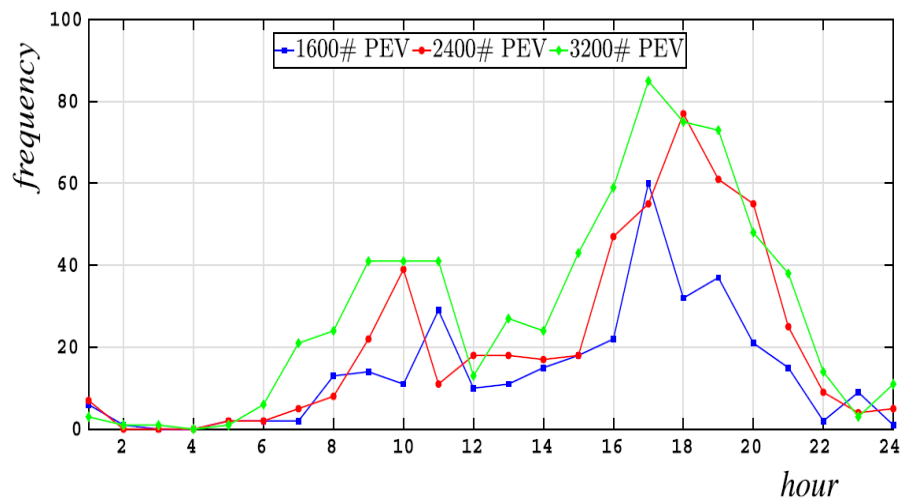


圖 1-46. 每個通勤車隊的 PEV FC 需求直方圖[20]。

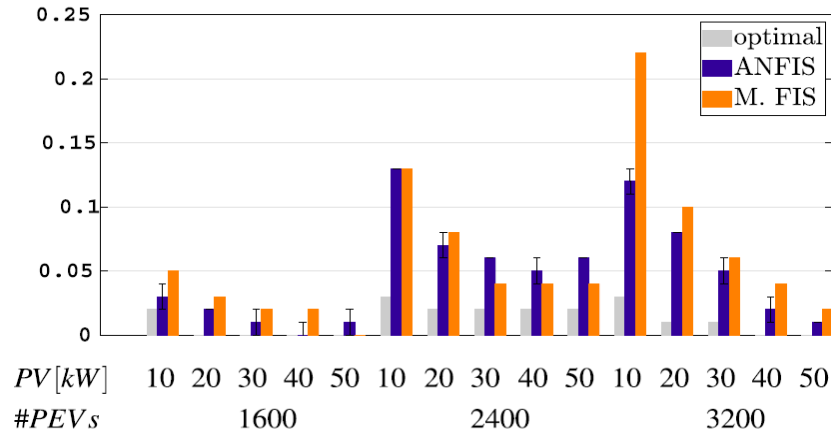


圖 1-47. 在 TS 上實施的每個模擬場景的最佳 ANFIS EMS 和 Mamdani-FIS EMS 解決方案的 FC 性能[20]。

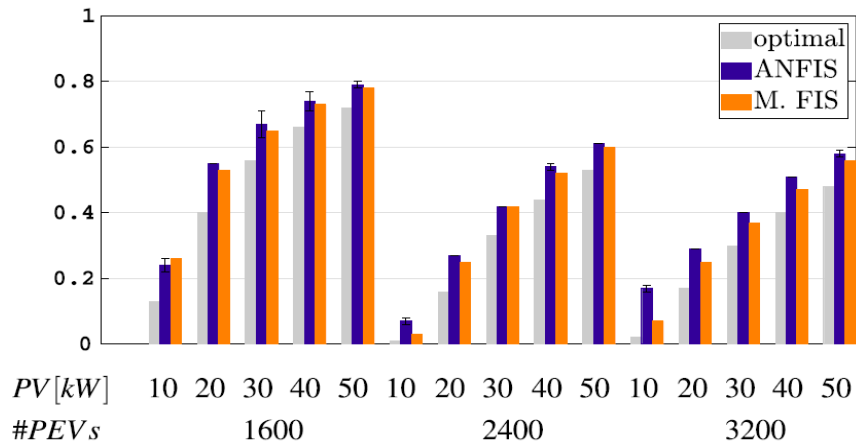


圖 1-48. 最佳的 ANFIS EMS 和 Mamdani-FIS EMS 解決方案在 TS 上的 PV 性能 [20]。

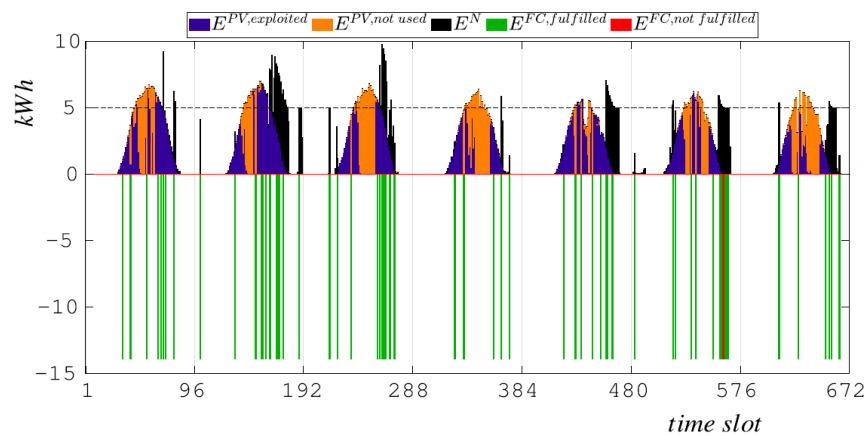


圖 1-49. 考慮到以下模擬場景，參考 TS 的最佳解決方案的能量流：PV 大小 30 kW，車隊 2400 PEV。虛線是指在一个時隙內可以與主電網交換的最大能量 [20]。

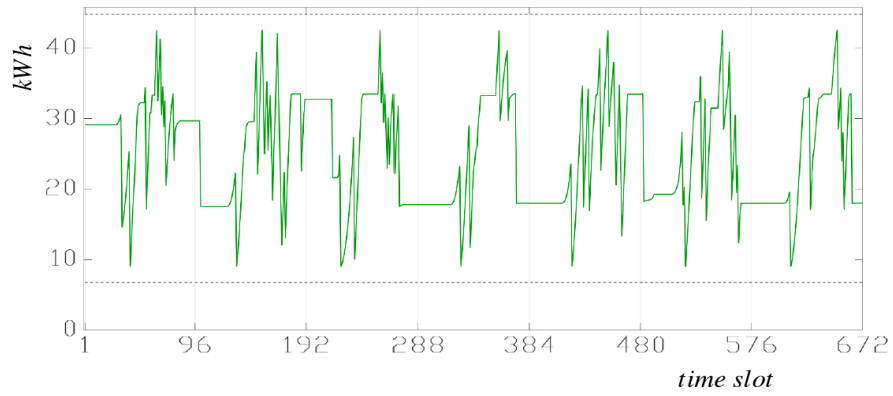


圖 1-50. 考慮圖 54 中最優解的 ESS 能量狀態[20]。

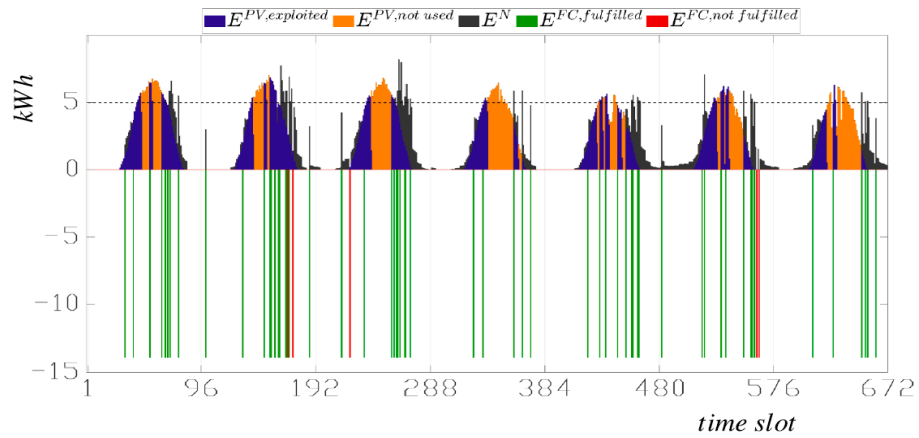


圖 1-51. ANFIS-EMS 解決方案的能量流參考 TS 考慮以下模擬場景：PV 容量為 30 kW，車隊有 2400 個 PEV[20]。



圖 1-52. 考慮圖 56 中的 ANFIS-EMS 解決方案的 ESS 的能量狀態[20]。

目前，大多數的 EVCS 相關文獻較少同時進行充電站的規劃和營運模式之研究，文獻[21]提出一種兩階段的隨機規劃模型，優化容量擴張和探討在面對不確定性的充電負載所需運營決策規則。文獻中使用樣本平均近似(Sample Average Approximation, SAA)與增強型漸進式對沖算法(Progressive Hedging

Algorithm, PHA)結合的混合算法套入模型進行模擬分析。文獻討論的 EVCS 架構主要有電儲能系統、電動車(V2G)、再生能源和市電網，如圖 1-53 所示。依照電動車充電方式又可分為兩種安排，第一種是以電動車、再生能源和市電網作為充電站的能源，第二種則比第一種再多出交換電池。模擬案例中，作者從充電負載的變化、能源的可用量和不同的能源管理策略對模擬結果都做了詳細的比較和分析。有關充電負載變化對充電站的影響，從圖 1-54 和圖 1-55 所示之結果可發現充電負載的變化越大，會導致充電站的能源容量和儲能容量也變大。在測試能源可用性，市電網的可用電量減少 50%，會導致充電站的容量增加 52.94%，如圖 1-56 所示。如圖 1-57 所示，太陽能可用率減少 50%，充電站的容量增加 23.53%。如圖 58 所示，V2G 的可用度減少 50%，充電站的容量增加 14.7%。由於文獻中的 PHA 計算量太大，作者使用滾動地平線(RH)啟發式方法予以增強。一共有三種不同的 RH 方法，分別為 RH1、RH2 和 RH3。這三個啟發式方法在 CPLEX 上的性能比較結果可發現 RH3 計算能力最好。而分析這三種方式對 PHA 的增強效果可發現 PHA + HR + RH3 的效果最好。在能量管理部份針對幾種不同的管理模式做比較，分為 SAA、PHA、SAA 與 PHA 結合(Hybrid-1)、SAA 與增強的 PHA 結合(Hybrid-2)和 SAA 與增強的 PHA 結合(Hybrid-3)，比較結果表示 Hybrid-3 比其他算法都更有效率。

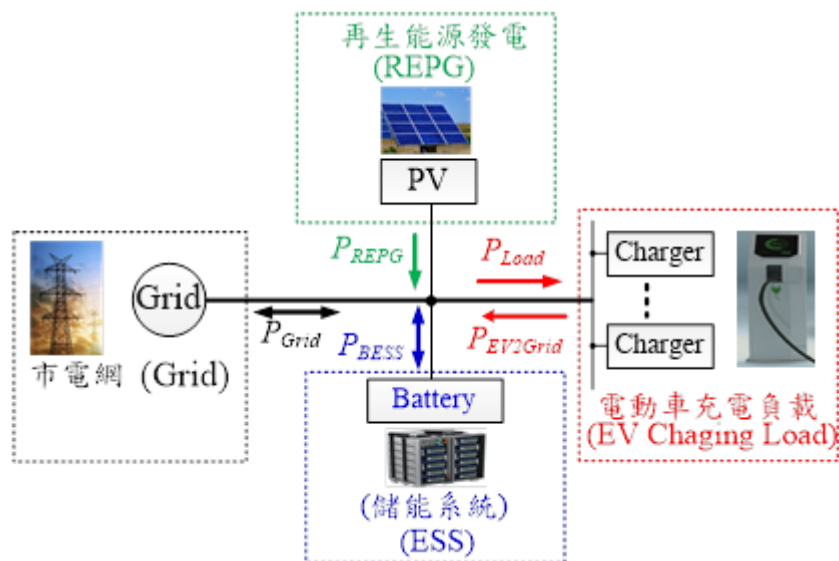


圖 1-53. 文獻[21]的充電站系統架構。

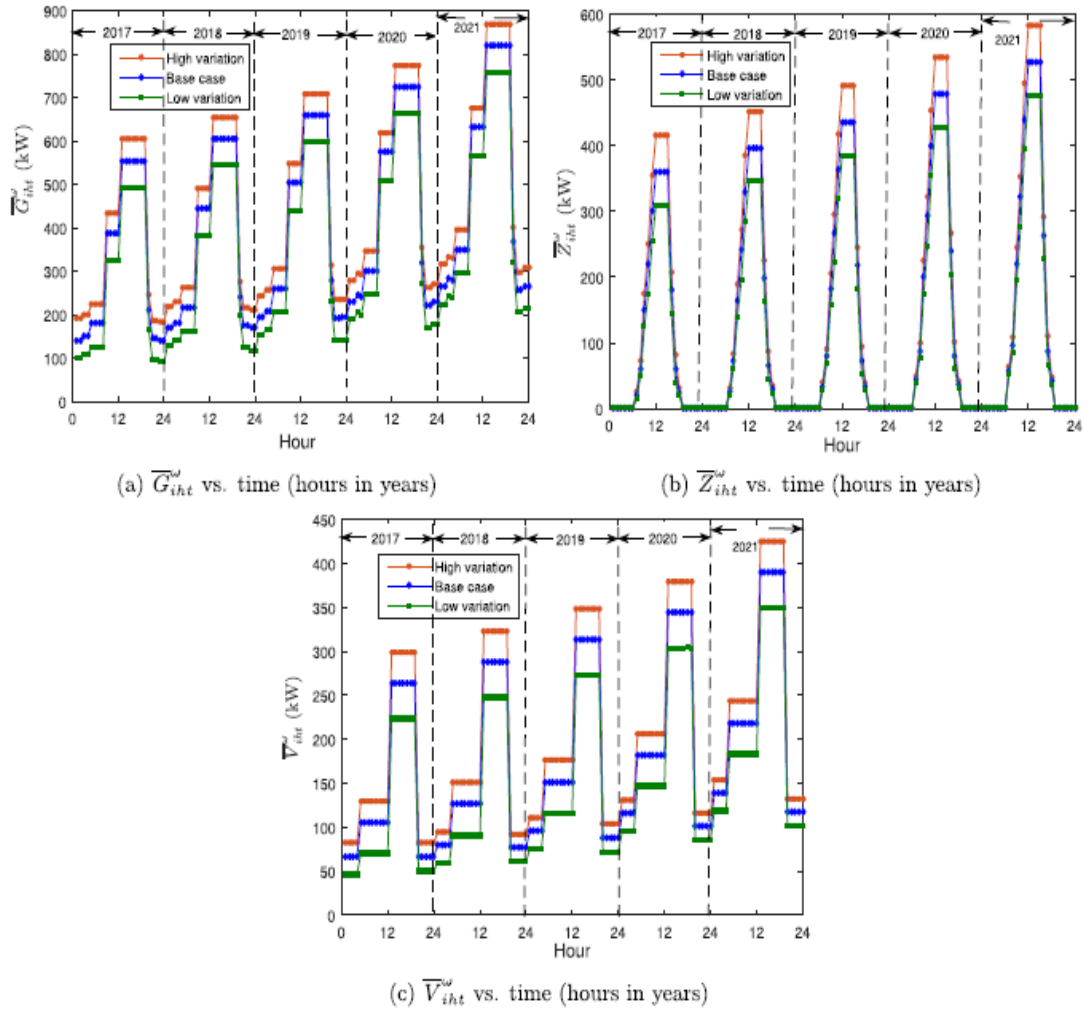
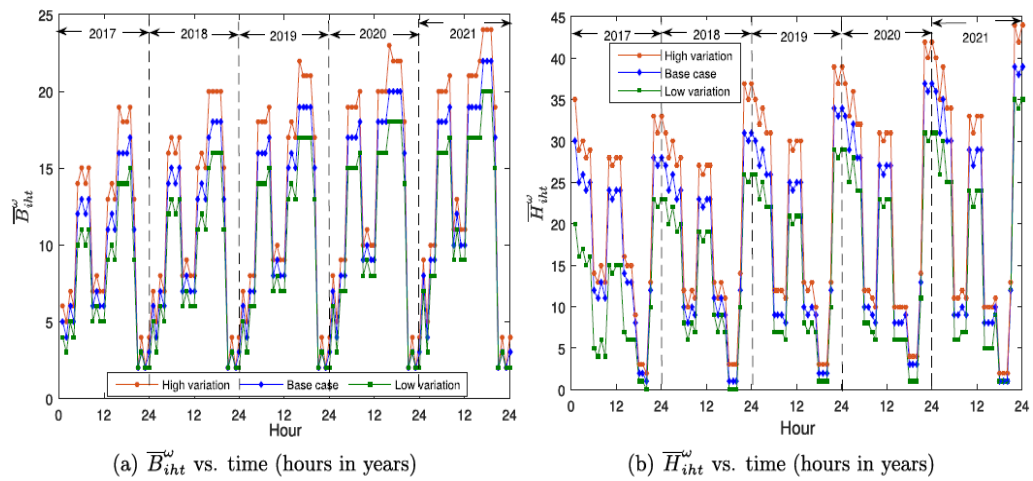
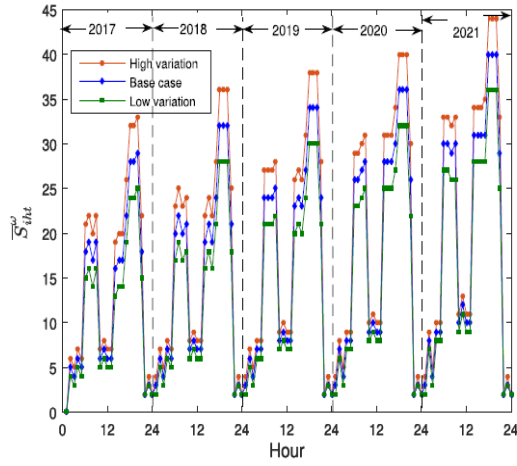
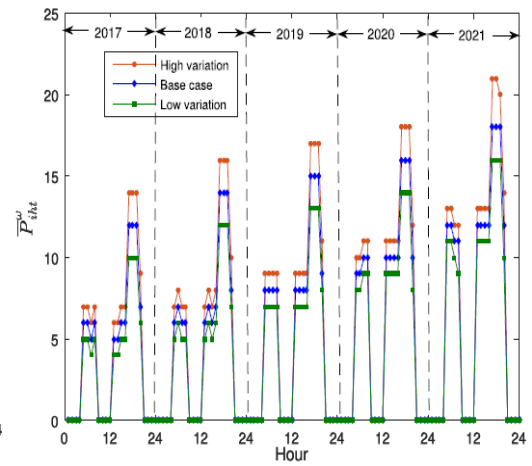


圖 1-54. 汽車充電百分比(η_t^{ω})變異性對資源利用的影響[21]。



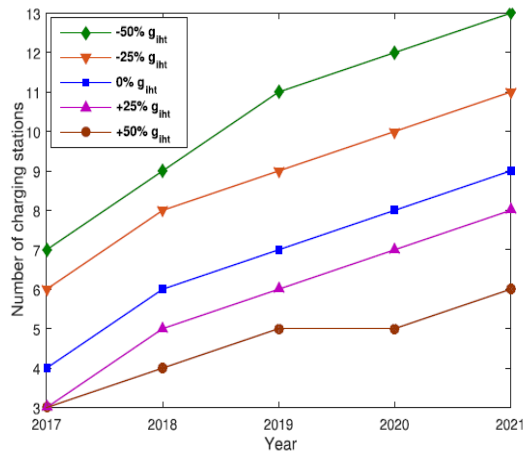


(c) $\bar{S}_{iht}^{\omega}$ vs. time (hours in years)

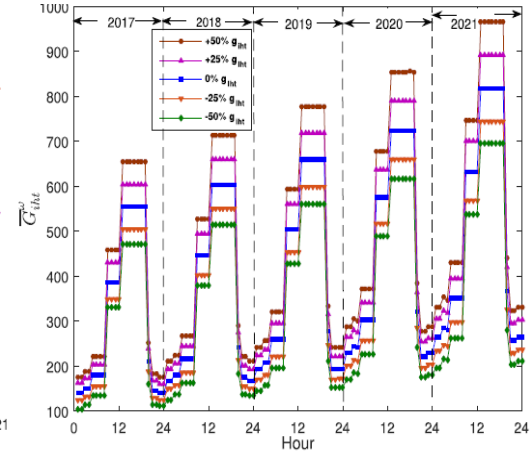


(d) $\bar{P}_{iht}^{\omega}$ vs. time (hours in years)

圖 1-55. 汽車充電百分比($\eta_{t^{\omega}}$)的變化對實時需求響應的影響[21]。

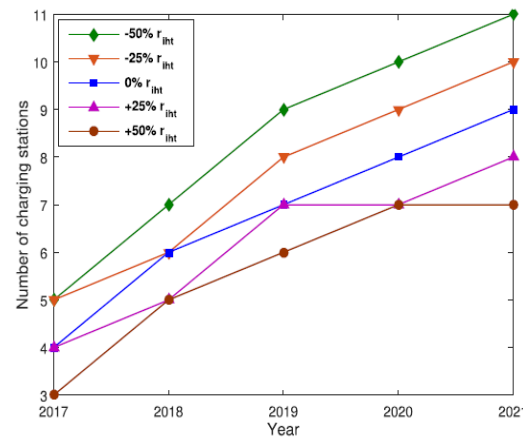


(a)

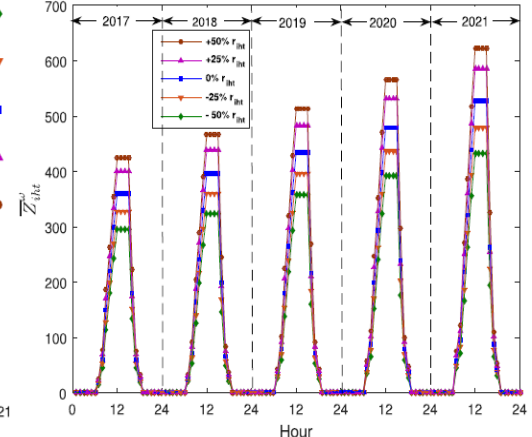


(b)

圖 1-56. PG 可用功率容量對系統性能的影響[21]。



(a)



(b)

圖 1-57. 太陽能可用度(r_{iht})對系統性能的影響[21]。

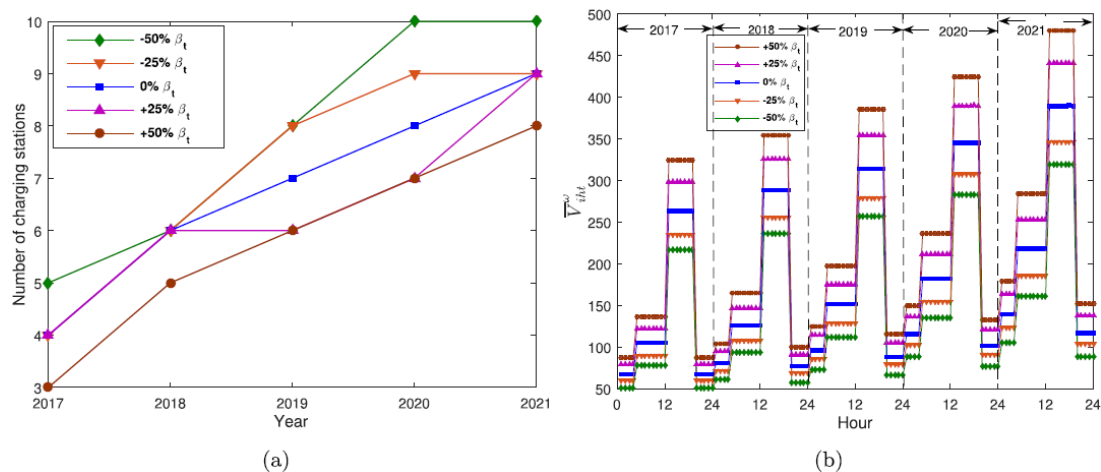


圖 1-58. V2G 電源可用度(β_t)對系統性能的影響[21]。

一般而言，未經協調控制的充電站在充電需求激增的情況下，會導致充電站與電網耦合的裝置，例如變壓器等因過載而影響其正常運作及壽命。文獻[22]提出一種針對集成光伏能源系統和電池儲能系統的充電站之儲能系統協調控制，用來有效減少變壓器過載情況。此文獻研究的充電站架構如圖 1-59 所示。文獻中儲能系統的功能有光伏能源系統的輸出平滑，降低其間歇性對系統的影響，在充電負載高峰時放電，使變壓器輸送的功率在其額定容量內，避免過載，在沒有充電負載時，則將過多的電力售向電網。作者為了證明上述的功能可行，在模擬研究上準備了幾個情境來檢驗每個功能的可行性。每個案例情境的架構都有併市電網，並且準備兩個容量不同變壓器做比較，第一個案例只有儲能系統，先證明是否可助變壓器減少過載，負載的變化、模擬變壓器和儲能系統的運行結果如圖 1-60 和圖 1-61 所示。結果可證明在儲能系統的輔助下，變壓器幾乎沒有過載的情形出現，而且儲能電池的 SOC 也可控制在穩定的範圍內。第二個探討在有光伏能源(假設輸出恆定)的系統下，是否可減少的變壓器過載，結果如圖 1-62 所示。從這結果可觀察到加上光伏

發電後的減少過載能力比第一個案例要再好很多。第三個為在有光伏能源(輸出具有間歇性)和儲能系統下，是否可只對光伏發電進行平滑，結果如圖 1-63 所示。從這結果可發現儲能可以使光伏輸出功率平順。第四個案例主要探討光伏發電輸出平順和減少變壓器過載，結果如圖 1-64 和圖 1-65 所示。從模擬結果可發現儲能系統不只成功地讓光伏輸出功率平順化，也有讓變壓器的過載情降至最低。最後一個案例架構也與第三個一樣但功能方面又再加上電池售電給市電網的功能，結果如圖 1-66 和圖 1-67 所示。結果顯示兩個的變壓器過載的情況均有著明顯的減少，電池除了 SOC 控制在穩定範圍內，售電也能維持在變壓器的額定容量內，案例結果可證明此文獻所提方案具可行性。

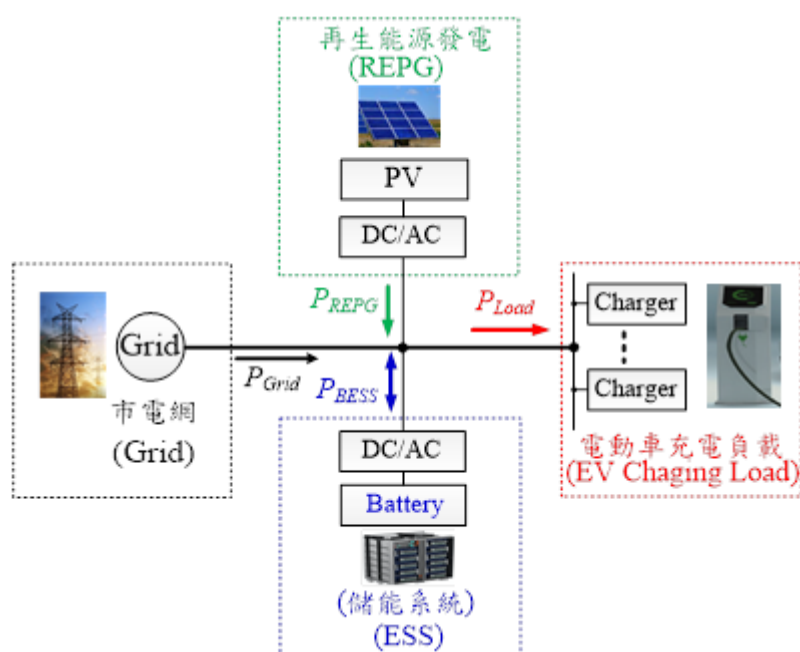


圖 1-59. 文獻[22]的充電站系統架構。

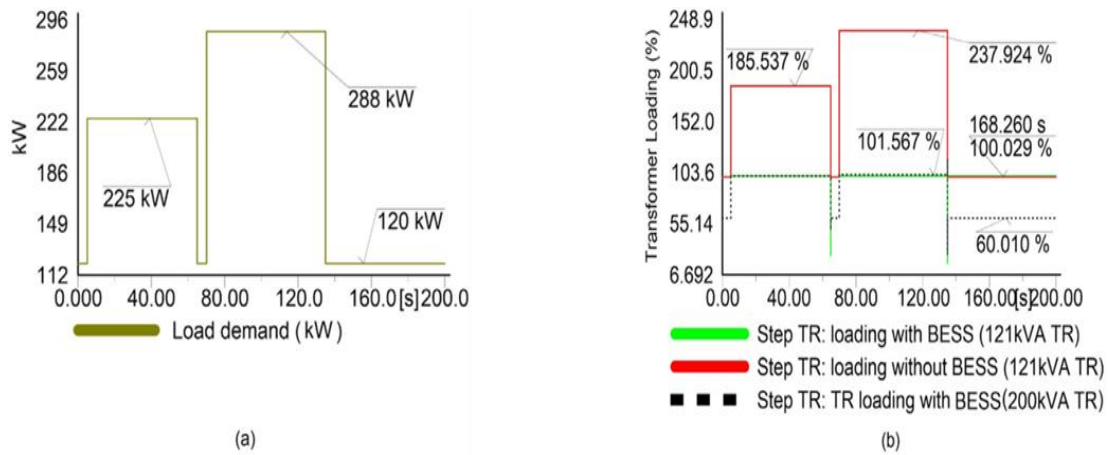


圖 1-60. (a)EVCS 負載需求和(b)各種模式下的變壓器負載狀況[22]。

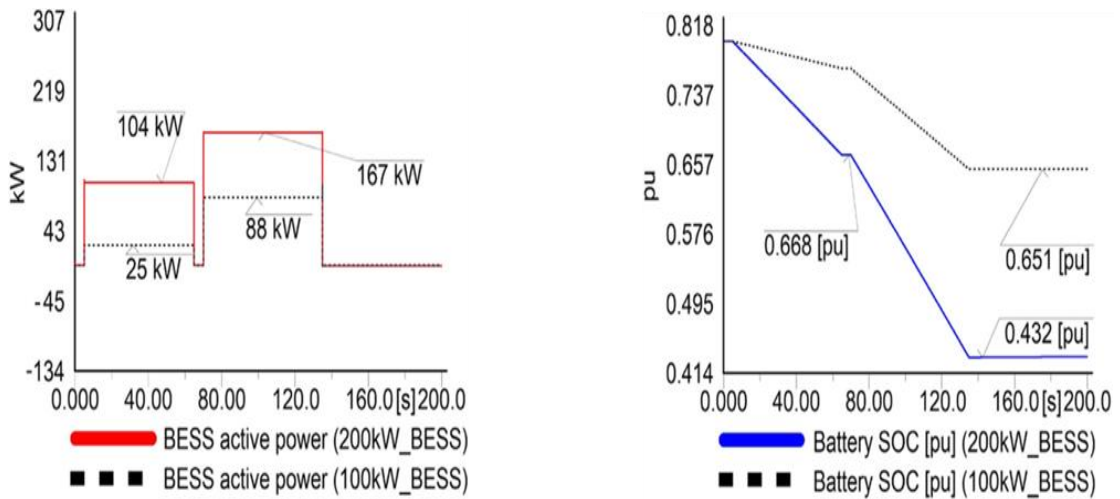


圖 1-61. (a)變壓器過載期間的 BESS 有功功率輸出和(b)電池 SOC[22]。

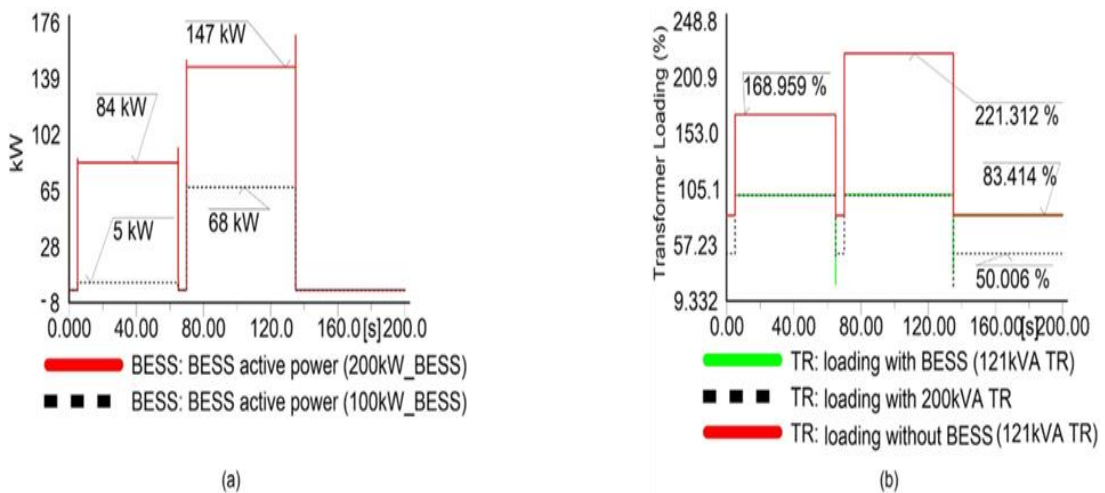


圖 1-62. 在恆定 PV 輸出的過載減少過程中，(a)BESS 有功功率輸出

和(b)變壓器負[22]。

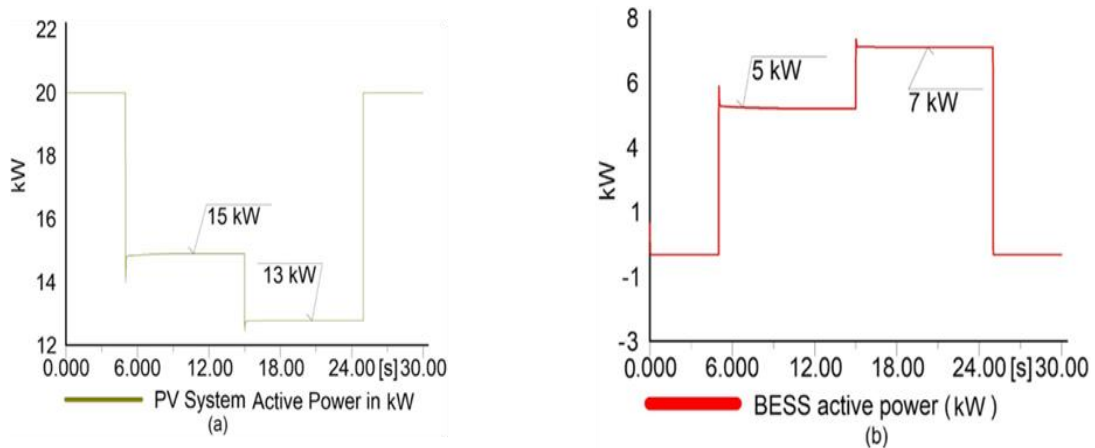


圖 1-63. 在沒有變壓器過載作用的情況下，PV 平滑期間的(a)PV 輸出變化和(b)BESS 有功功率輸出[22]。

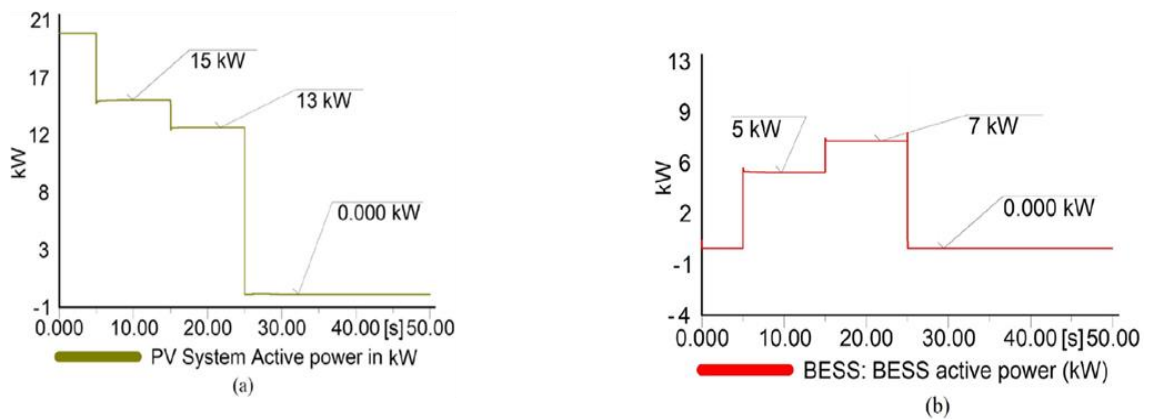


圖 1-64. (a)減少變壓器過載和 PV 平滑期間的 BESS 有功功率輸出和 (b)變壓器負載[22]。

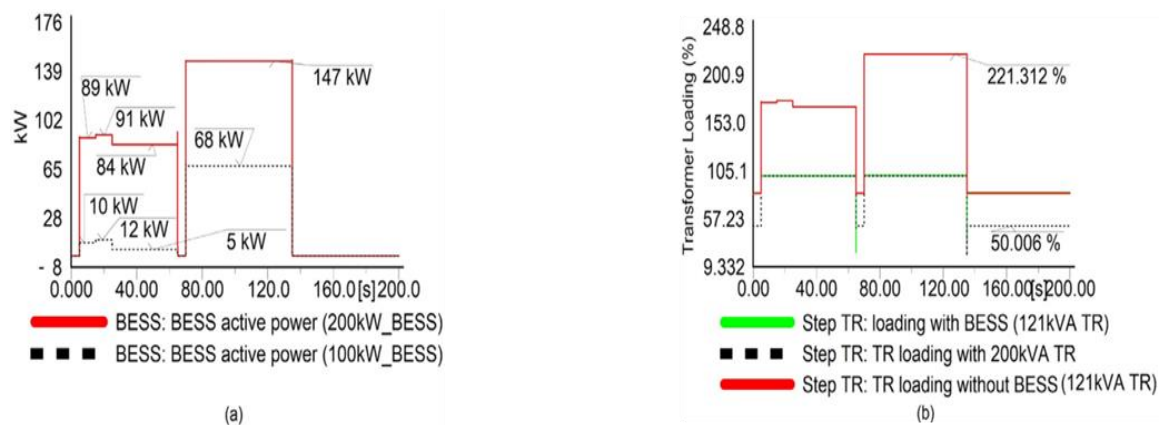


圖 1-65. (a)夜間的 PV 輸出變化和(b)BESS 有功功率輸出[22]。

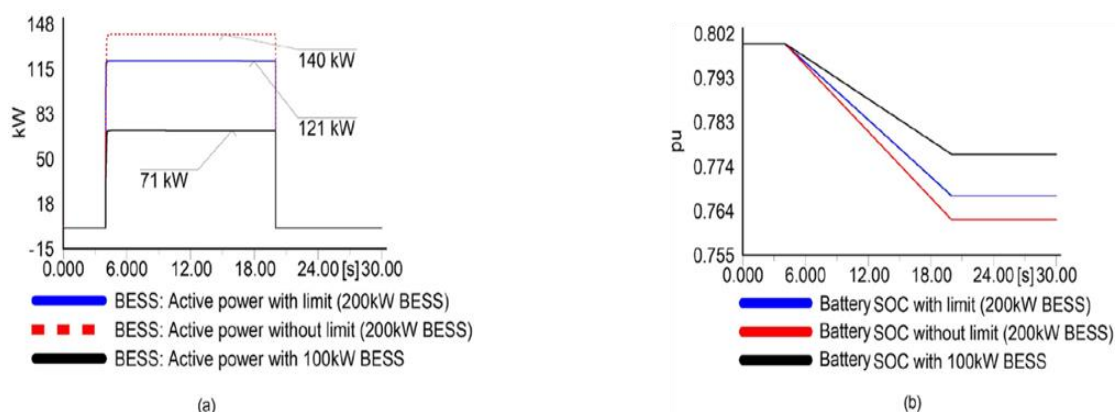


圖 1-66. 在有和沒有變壓器過載約束的情況下，(a)B2G 期間的 BESS 有功功率輸出和(b)電池 SOC[22]。

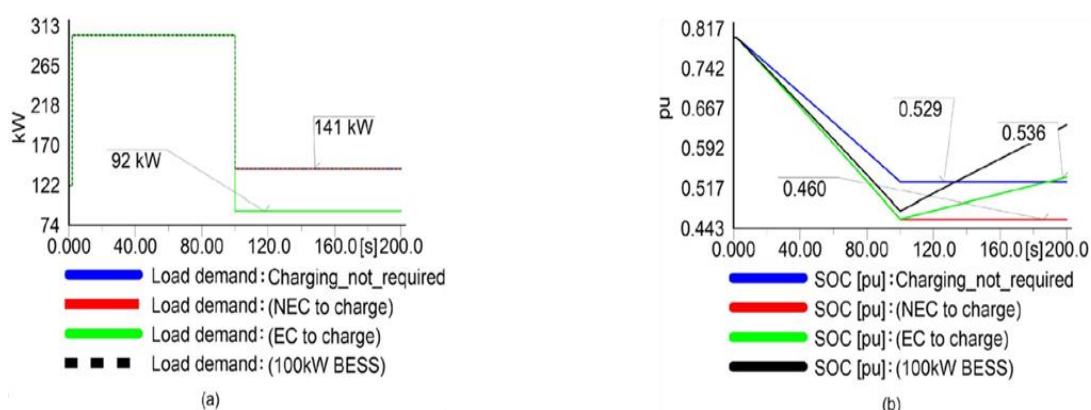


圖 1-67. 在 B2G 期間，在有和沒有變壓器過載約束的情況下，(a)BESS 有功功率輸出和(b)電池 SOC [22]。

一般交流微電網常有有諧波污染、同步和能源效率低等缺點，而直流微電網的結構比交流微電網更容易整合直流發電源或負載。文獻[23]探討快速充電站影響直流微電網的情形。直流微電網的控制主要在於控制內部組件功率合理分配並保持直流總線電壓穩定，通常分散式控制比集中控制還要有優勢，除了達到上述的功率平衡目的外，前者不需要後者所需的通信線路。分散式控制常見的有下垂控制、頻率分配方法和直流母線電壓方法。此文獻提出一種改良的

下垂控制來控制充電站的功率分配，所探討的充電站架構如圖 1-68 所示。此文獻所提的控制方案以總線電壓的變化作為控制信號來動態更改控制迴路的虛擬電阻數值達到更合理的控制。該控制比起傳統的下垂控制更能穩定總線電壓，負載、再生能源和市電網的功率分配，也能將儲能系統的 SOC 維持在一定範圍內。作者除了提出控制方案外，還有提出容量規劃的優化程序，目標函數是最小化充電站整體成本，計算出最佳儲能系統的電池串併聯數量。文獻案例是使用一個有三個充電樁之充電站，最大充電功率為 170 kW，負載曲線如圖 1-69 所示，儲能系統有兩個部份，容量都不一樣，使用的控制方式有所提方式和一般的下垂控制，以此檢驗所提方式是否能夠讓兩個儲能系統合理的分配功率，所提控制方式的模擬結果如圖 1-70 和圖 1-71 所示，從這些結果可證明所提的控制策略更能穩定總線電壓、光伏利用率更高、較少的向市電購電的時間以及兩個儲能系統的功率分配更好。

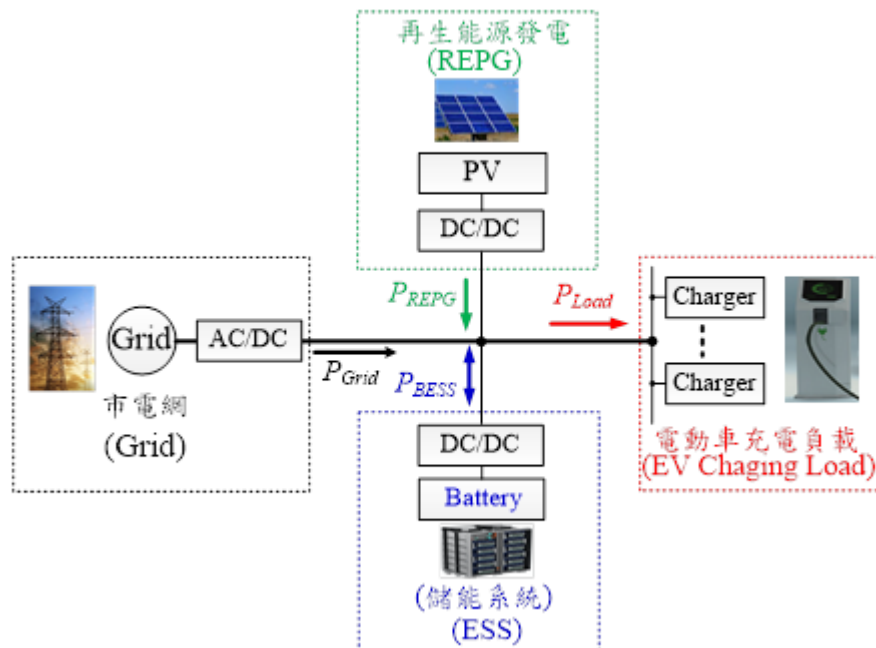


圖 1-68. 文獻[23]的充電站系統架構。

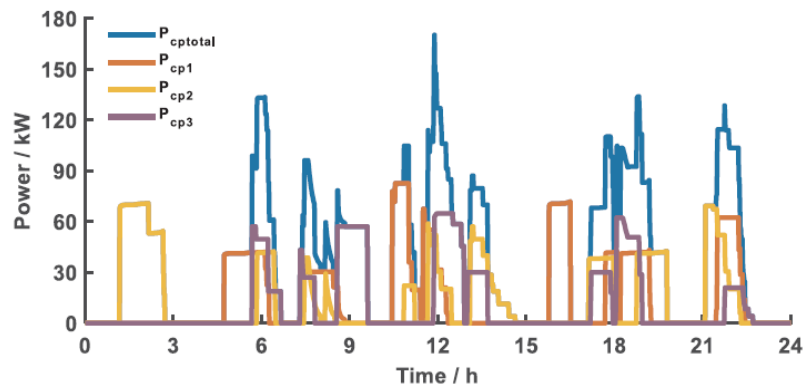


圖 1-69. 來自快速充電站的實際數據的充電功率曲線[23]。

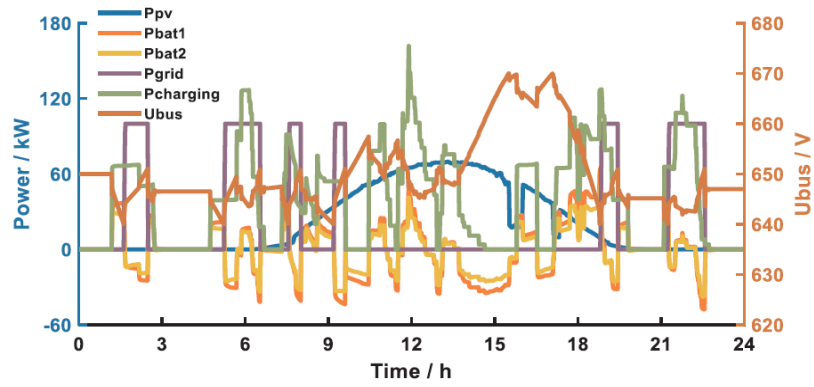


圖 1-70. 在建議的控制策略下，直流微電網的功率分配和母線電壓變化曲線[23]。

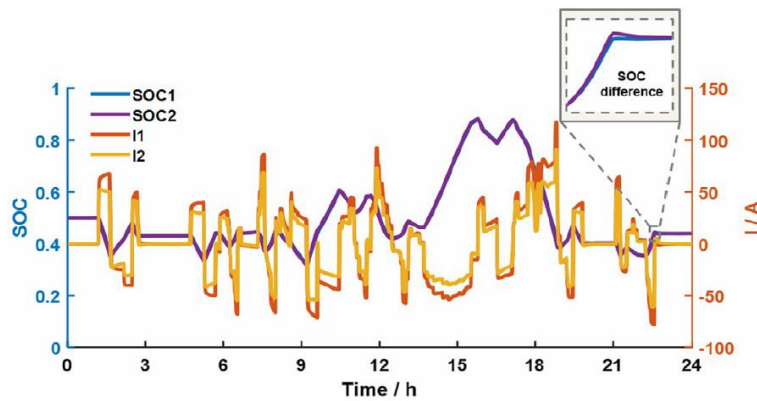


圖 1-71. 在所提出的控制策略下，SOC 變化和 ESS 電流的分佈圖 [23]。

劇烈變動的電動車充電電流會在電網中造成不良的負載峰值，這也會導致系統的諧波增加和供需瞬間失衡。為了避免上述的情況，文獻[24]提出基於確定性方法和基於規則方法組合的優化算法。該算法主要對充電站的儲能進行能量管理，使用之系統架構如圖 1-72 所示。所提能量管理方案可讓充電站的運行成本最小化，它也可針對太陽能、充電負載和電價在不同時區的即時訊息靈活地轉換基於確定性方法和基於規則方法的充電站的控制方式。文獻中的案例總共有三個，第一個的電路架構為不具備儲能系統和光伏能源的充電站，第二個是只有加上儲能系統，第三個則是儲能系統和光伏能源都具備的架構。從第二個架構案例開始使用兩種算法進行模擬，其一為確定性方法，其二為所提的方法。經比較結果可發現，在有儲能系統的情況下更能節省成本，而所提的方案也比確定性控制要來的更好。第一個和第三個相比結果如圖 1-73 及圖 1-74 所示，這些結果顯示補助的比例會對運行成本產生影響。整個模擬過程，如圖 1-75 所示，可發現所提方案使充電站在高峰電價時減少向市電網購電，而低電價時則讓市電網為儲能和充電電力需求供電。最後可發現所提算法可使充電站的運營成本降低，程度取決於當天的負荷分佈和電力市場的波動性，波動越大成本節省效果越好。

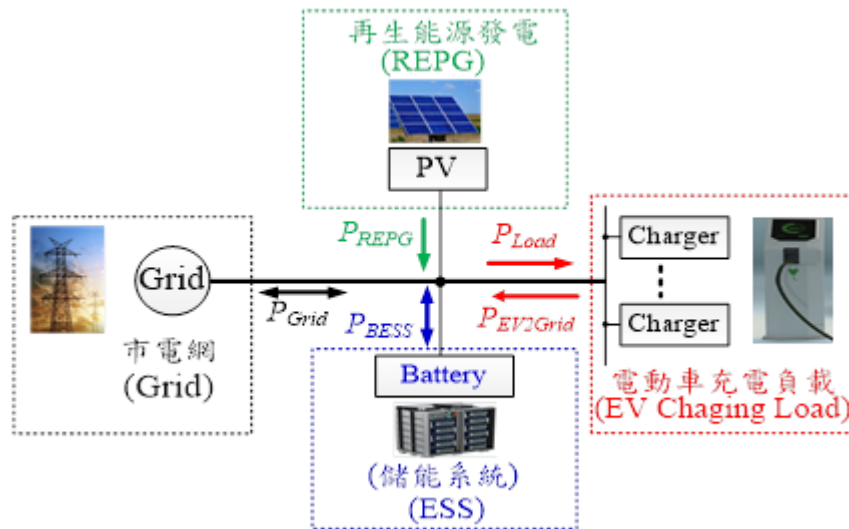


圖 1-72. 文獻[24]的充電站系統架構。

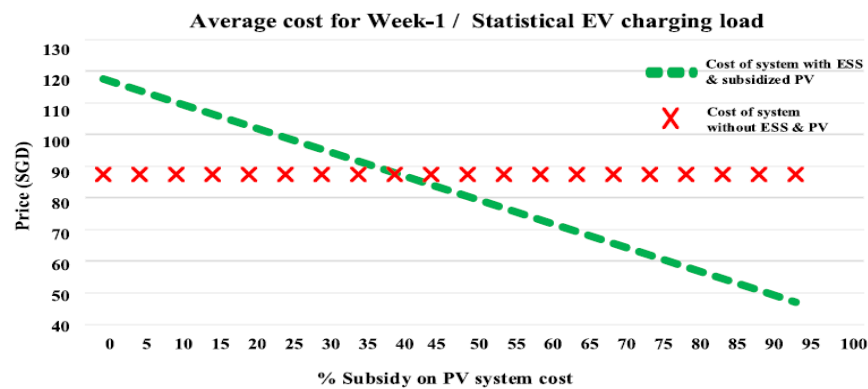


圖 1-73. 不同比例的光伏系統補貼下，統計電動汽車充電負荷的每週運行成本[24]。

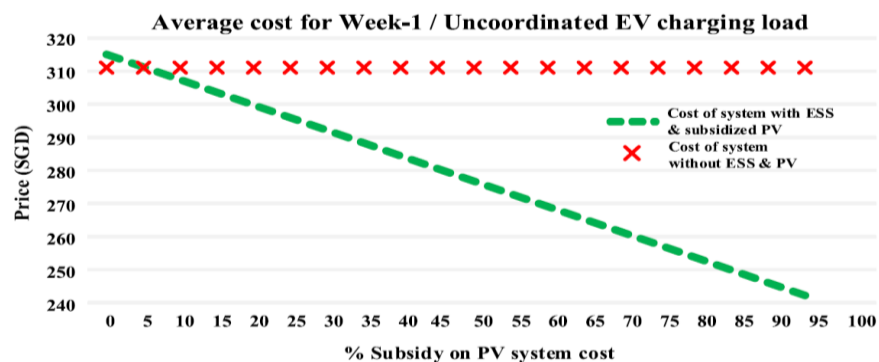


圖 1-74. 不同比例的光伏系統補貼中不協調的電動汽車充電負荷的每週運行成本[24]。

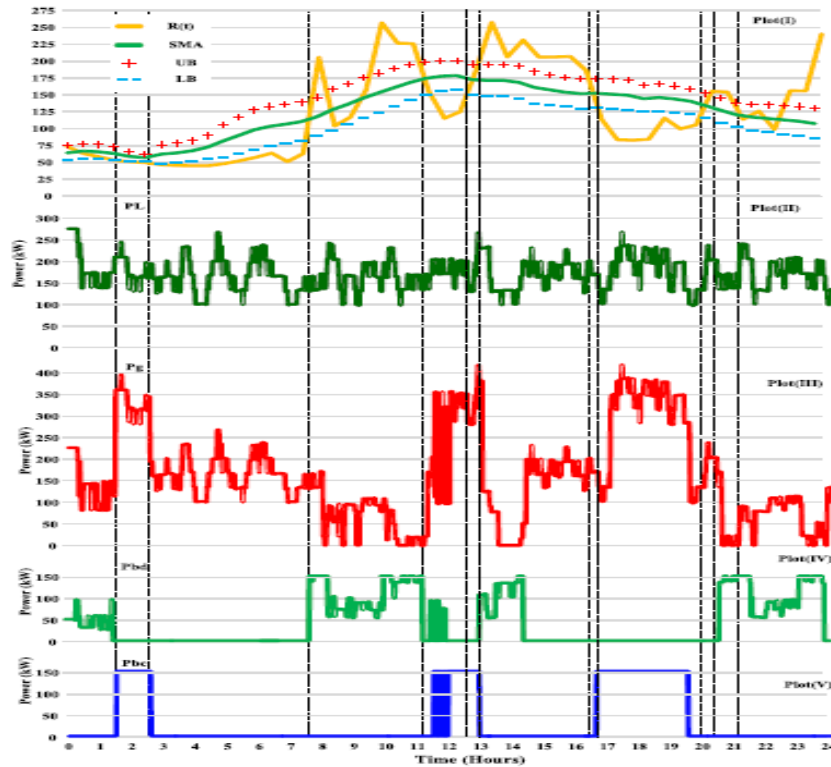


圖 1-75. 一天的小時功率圖。圖（一）：電價。圖（II）：負載要求。曲線（III）：電網功率。曲線（IV）：電池放電功率。曲線（V）：負載和 SMA 不協調時的電池充電功率[24]。

文獻[25]所探討的充電站架構是屬於建構於商業大樓附近的綜合充電站，系統架構如圖 1-76 所示。作者不只使是用一般的電池組之儲能系統，也將電動車納入儲能系統的一部份，並提出一種用於電動車的雙向充電站四階段智能優化控制方案。該方案能有效降低運營成本並滿足電動車用戶的需求，整個控制的過程需考慮調整電動車和儲能的電池充電/放電功率量、電動車用戶在參與放電工作時的獎勵、向電網購電或售電的量和負載與供電的即時功率供需平衡等。作者根據上述這些限制及優化目標，控制方案共分四階段進行，

依照順序分別為日前能源管理、多層電動車充電價格更新、放電參與獎金、每小時能量管理和即時控制。案例安排由上述給定的負載和再生能源數據作為模擬的情境。案例之研究結果呈現於圖 1-77 及圖 1-78。此結果證明規劃電動車用戶參與放電對整體營運是有利的。

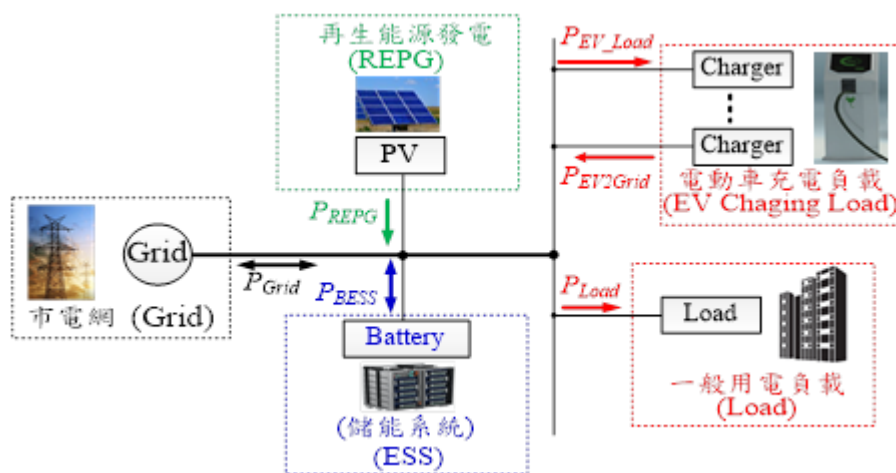


圖 1-76. 文獻[25]的充電站系統架構。

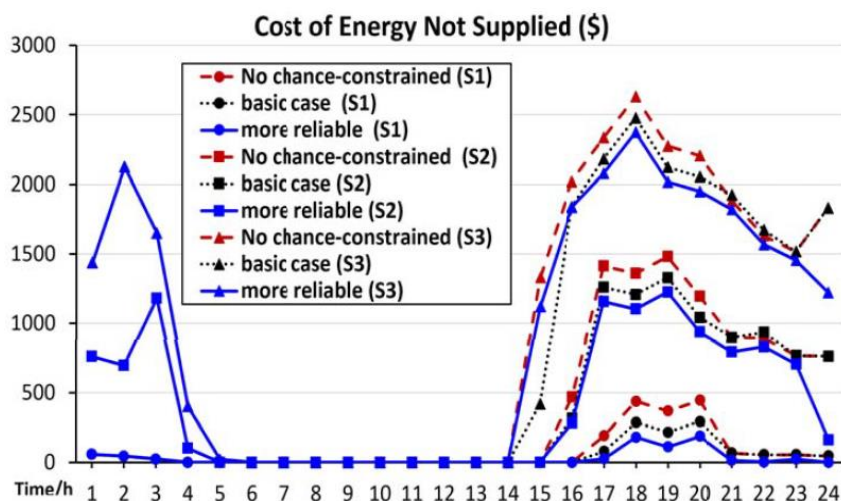


圖 1-77. 在不同情況和情況下未提供的能源成本[25]。

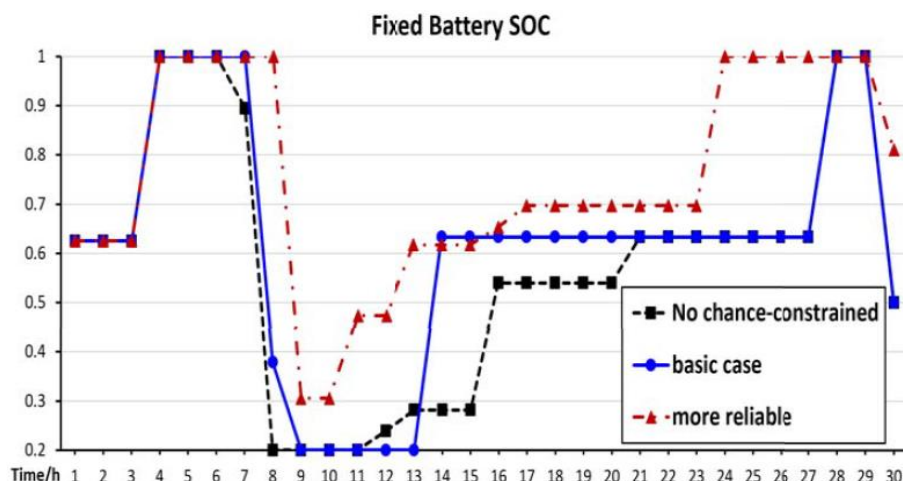


圖 1-78. 實時控制不同情況下固定時間的電池 SOC[25]。

關於分散控制方法的優化，文獻[26]提出了一種基於模糊邏輯控制優化的中壓直流(MVDC)總線充電站的分散控制方法，研究的架構如圖 1-79 所示。控制目標也是將 MVDC 電壓和電池 SOC 保持在適當的限制值內，並使各個組件在隨時都能可保持功率平衡。其中光伏發電系統以最大功率追蹤控制。案例的情境所需數據，如圖 1-80 所示，案例將所提的控制方案的模擬結果與另一個 DCM 作比較。最後又對所提出算法的靈敏度作測試，該測試分為兩個，其一是以蒙特卡羅模擬在多種不同的控制情況下(光伏發電系統功率、充電站充電的電動車數量和儲能系統的初始 SOC)評估所提方案之可行性，模擬方式為每 10 秒進行 200 次的模擬，並以 ITAE、ITSE、MRE、MSE 以及直流總線電壓的平均值和標準偏差評估所提的控制方式之效能。其二為 120 秒的模擬，整個過程包括低、正常和高的儲能

系統 SOC，光伏發電輸出有 0W 和 120kW，充電的電動車需求情況。文獻案例中的 DCM 是使用 PI 控制器、磁滯循環和啟發式規則來進行測試，並將應對的情況分為 A、B 和 C 三種，A 為儲能系統的 SOC 在正常範圍內，充電站在獨立模式下工作，B 為儲能系統的 SOC 過低，充電站視情況在獨立模式工作但由光伏能源系統供電或併網模式工作，C 為儲能系統的 SOC 過高，這時系統在併電網模式下工作。兩種控制方式的功率分配模擬結果如圖 1-81 和圖 1-82 所示，兩種控方式的直流電壓線變化和 SOC 模擬結果如圖 1-83 所示。靈敏度測試結果表明此文所提方案無論在何種情況下均可以使系統保持穩定。

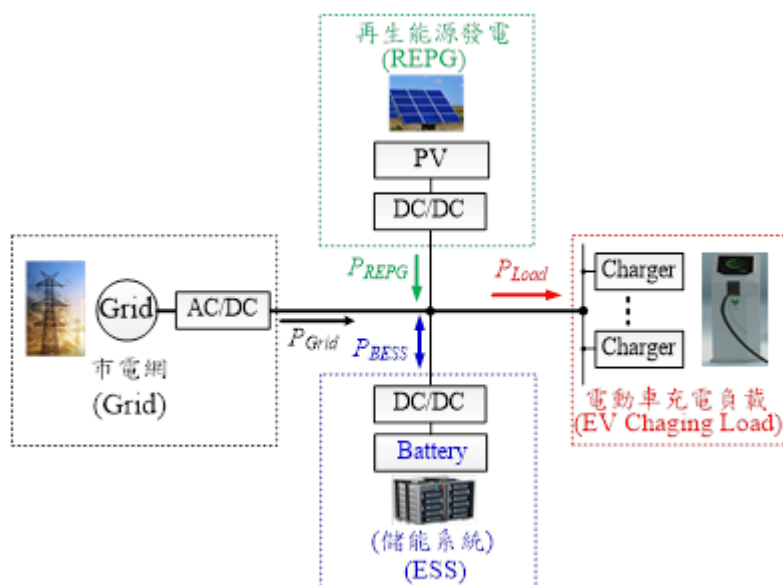


圖 1-79. 文獻[26]的充電站系統架構。

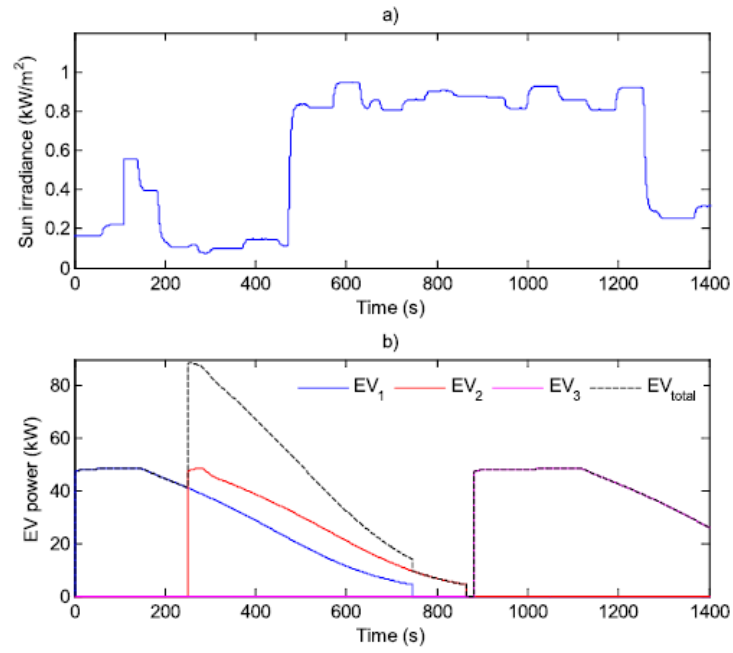


圖 1-80. (a)輻照度分佈圖。(b)電動汽車所需的功率[26]。

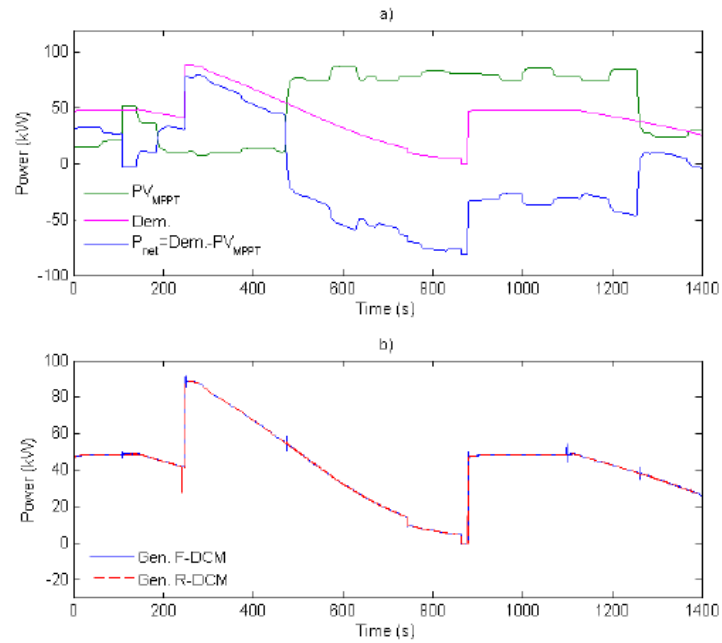


圖 1-81. (a)光伏系統產生的功率，CS 所需的總功率以及淨功率。(b)

兩個 DCM 產生的總功率[26]。

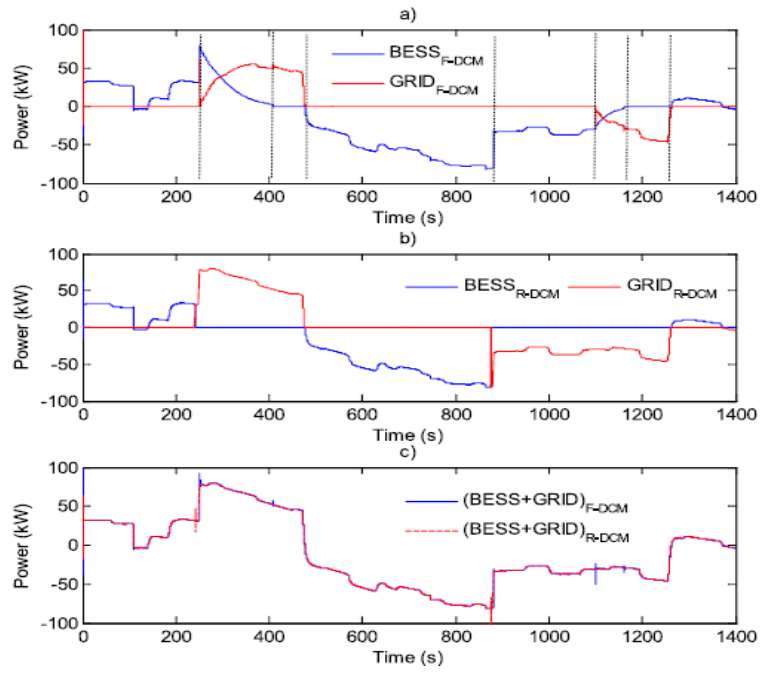


圖 1-82. (a)F-DCM 的 BESS 和電網功率。(b)R-DCM 的 BESS 和電網功率。(c)兩個 DCM 的 BESS 和電網功率之和[26]。

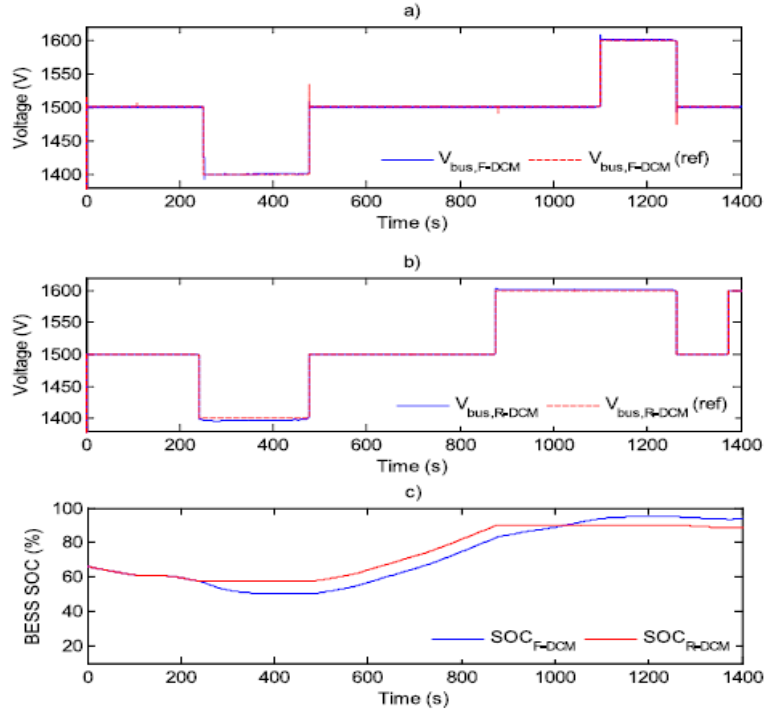


圖 1-83. (a)F-DCM 的 DC 總線電壓和參考電壓。(b)R-DCM 的直流總線電壓和參考電壓。(c)兩個 DCM 的 BESS SOC[26]。

為了使充電站能夠應對市電網的電價波動和充電負載的隨機性，文獻[27]提出了一種基於規則的能源管理方案(REMS)，旨在控制 PV、ESS 和電網之間的功率流動達到不間斷充電，甚至是以恆定的電價售電給電動車用戶，所提控制方案可使充電站的收費與傳統汽車加油站的收費方式相似。文獻研究的系統架構如圖 1-84 所示。作者所提之能源管理除了考慮各個組件的優先處理順序，也針對幾個主要的情況進行充電站的電能即時控制，這些情況有：過載、欠載、空載和空閒。前兩個是代表再生能源是否大於負載，空載是有發電量但沒負載，空閒是指發電量和負載都沒有的情況。作者規劃將該充電站是以低於平均的電價進行不中斷的恆定價格售電，因此除了在控制模式要仔細設計外，對於容量的規劃也需探討，規劃模型的目標函數考慮的有再生能源系統與儲能系統的平均化電力成本、充電站營業收入和投資回報率，該模型使用粒子群演算法(PSO)求解，優化儲能系統和再生能源系統容量。作者為了證明此方法之效果，以只有電網充電做為標準，系統架構加裝 PV 和 ESS 時會在考慮不同的天氣、ESS 設備價格和市電收費的條件下進行實驗。整個實驗是在 Matlab 中模擬，結果如圖 1-85~圖 1-89 所示。由呈現之模擬結果可證明所提方法具可行性。

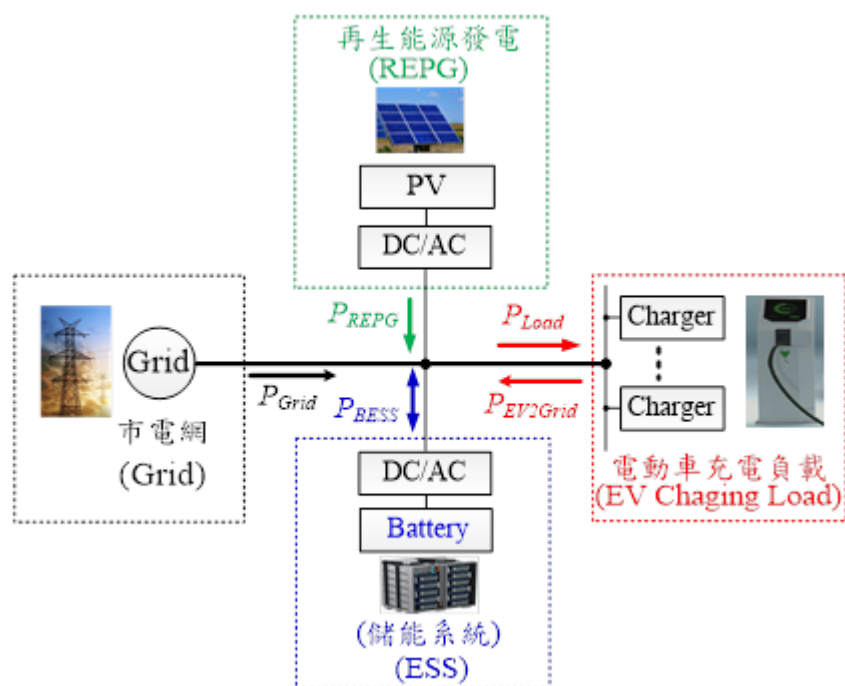


圖 1-84. 文獻[27]的充電站系統架構。

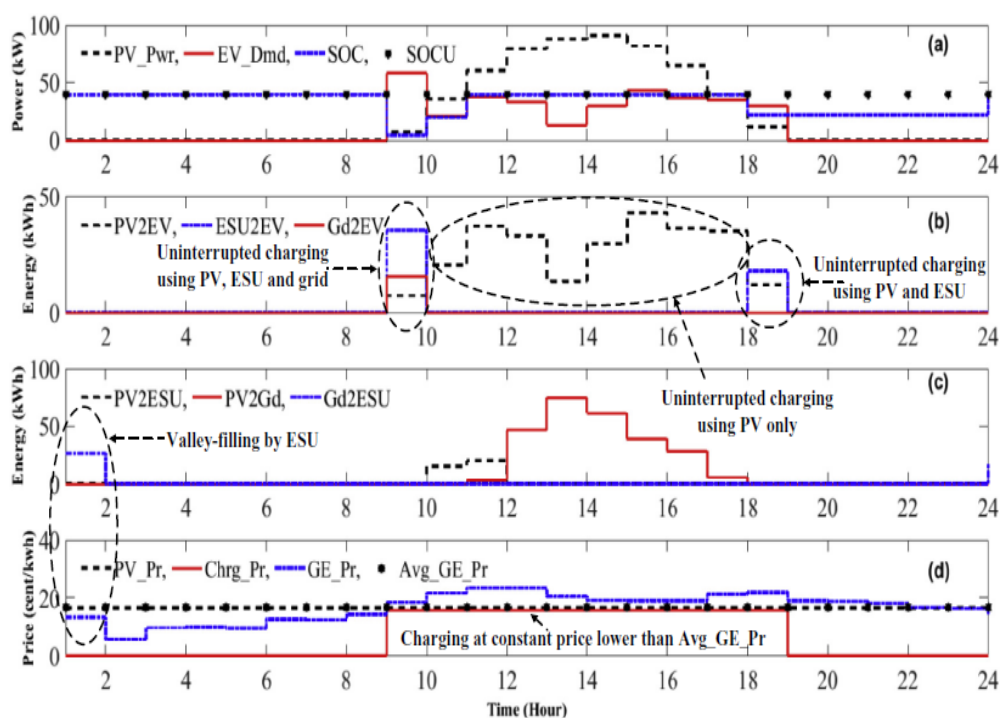


圖 1-85. 1 月 15 日在 PL 為 150 輛電動汽車充電[27]。

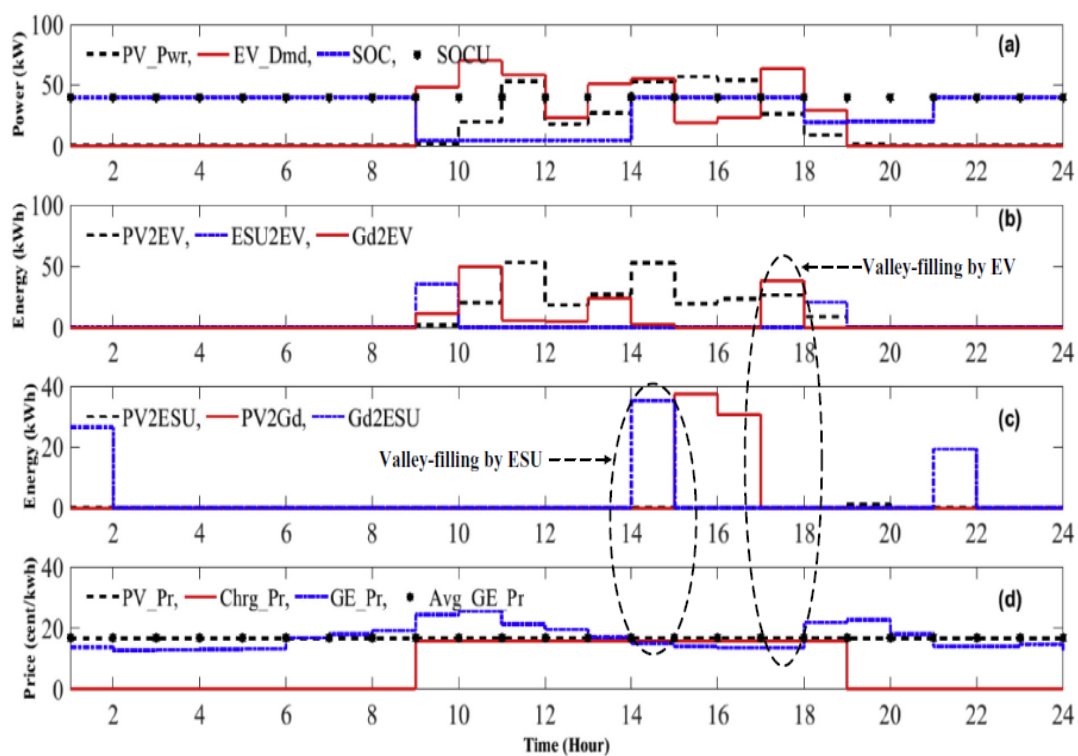


圖 1-86. 2 月 19 日在異常天氣下充電[27]。

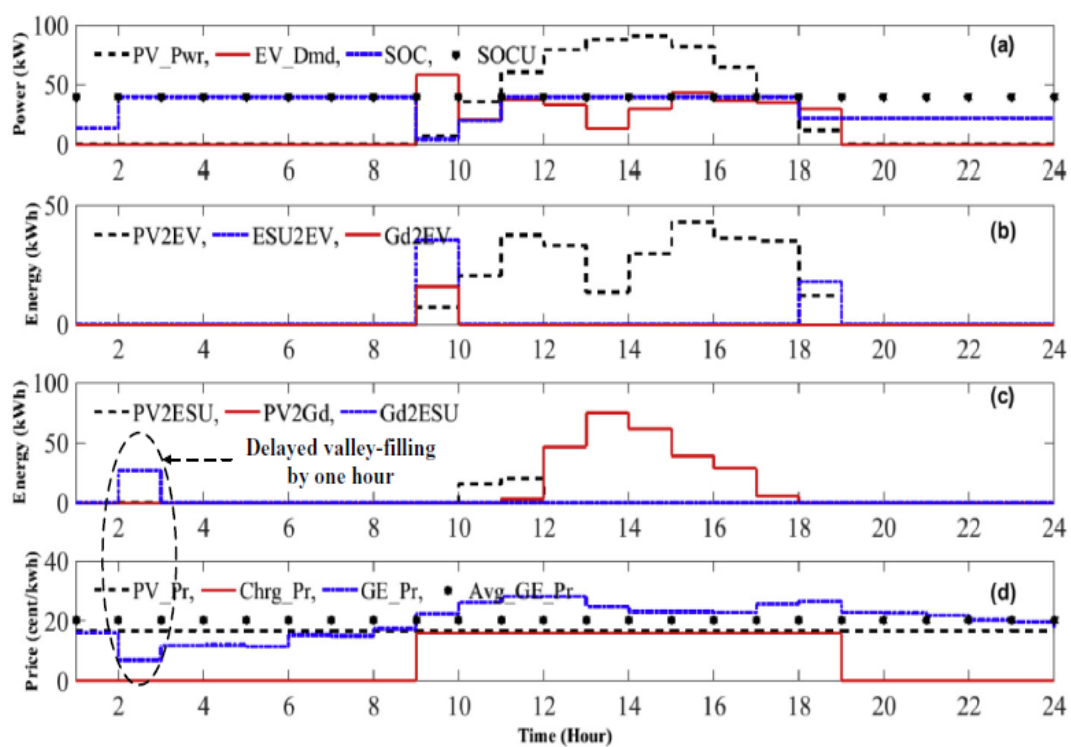


圖 1-87. 1 月 15 日以 0.83 平價為 150 輛 EV 充電[27]。

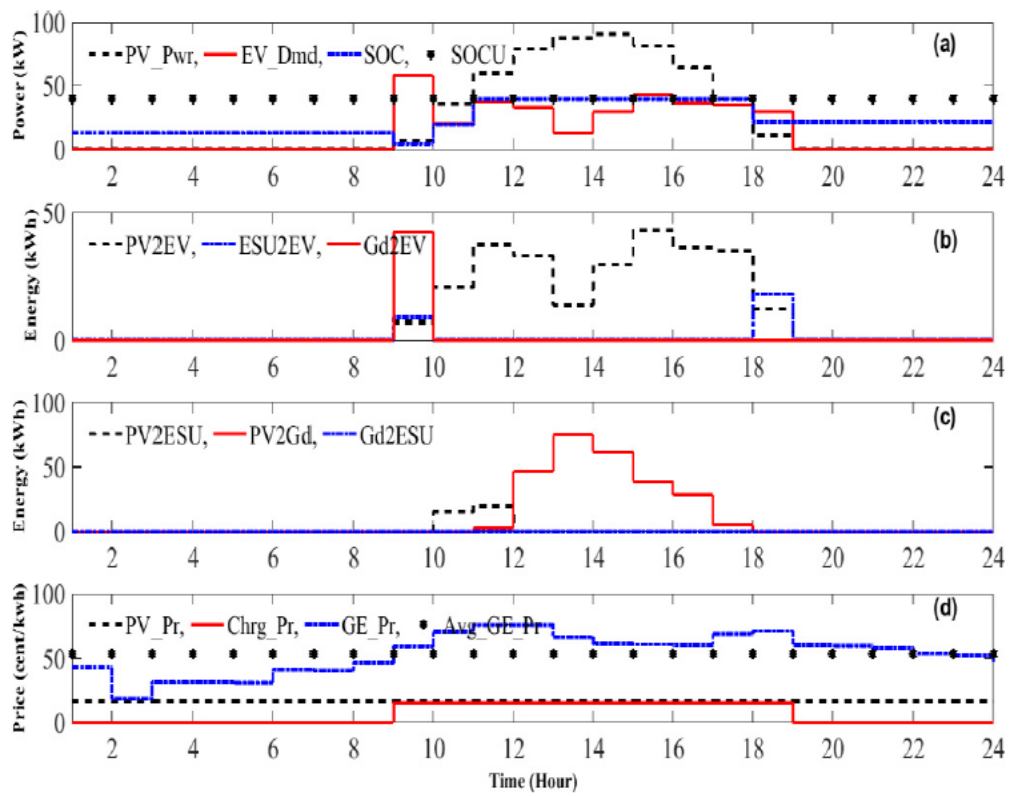


圖 1-88. 1 月 15 日以 0.33 平價為 150 輛 EV 充電[27]。

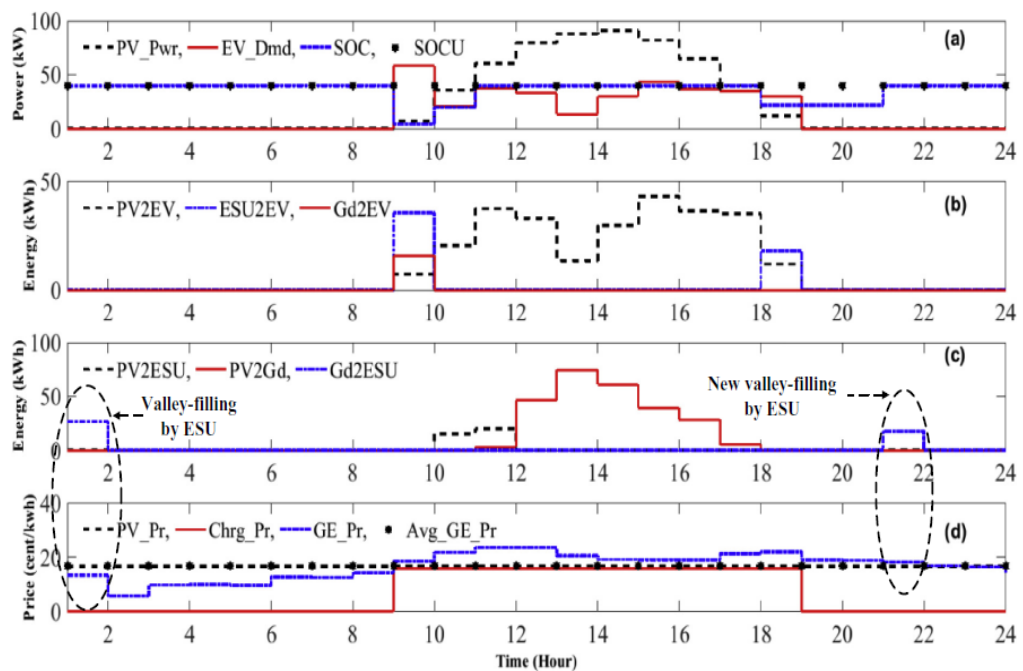


圖 1-89. 當 ESU 的 LCOE 大於 PV 時，REMS 的結果[27]。

貳、EVCS 系統運轉模式規劃與 HESS 硬體系統

一、整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式規劃

本計畫所提整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 架構如圖 2-1 所示。從圖 2-1 可得知所提 EVCS 係由混合式儲能(HESS)、再生能源發電(REPG)、市電網(GRID)、4 個快速充電器和 2 個慢速電器組成之充電負載(EV Charging Load)，及一個系統共用的直流匯流排(DC BUS)所組成。本研究案例所選擇的 HESS 是由全鈦液流電池(VRFB)或鋰離子電池(Lithium-ion battery)整合超級電容(SC)模組之單元。EVCS 與 HESS 工作時其主要電力介面是由一組併網型 AC/DC 換流器及兩組 DC-DC 轉換器所組成，其中 HESS 的兩組 DC-DC 轉換器分別控制 VRFB 與 SC 的充放電功率流達到控制直流匯流排與系統功率平衡的目的，AC-DC 轉換器則是負責於併網模式時控制直流匯流排(DC BUS)電壓與系統功率雙向平衡。系統中的 REPG 是由太陽能光電(Photovoltaic, PV)系統、風力渦輪機(Wind Turbine Generator, WTG)系統及所屬 DC-DC 轉換器和 AC-DC 轉換器組成，其中 REPG 的 DC-DC 轉換器具有最大功率追蹤功能。此充電站在獨立模式時是一個典型的直流微電網，必要時可切換到併網模式，即透過 AC-DC 轉換器和電壓器連接公共市電網。所提 EVCS 之負載規劃有充電站營業時的一般用電負載與供給電動車的充電負載等兩種。一般用電負載又可細分為線性負載和非線性負載，功率因數約在 0.85。

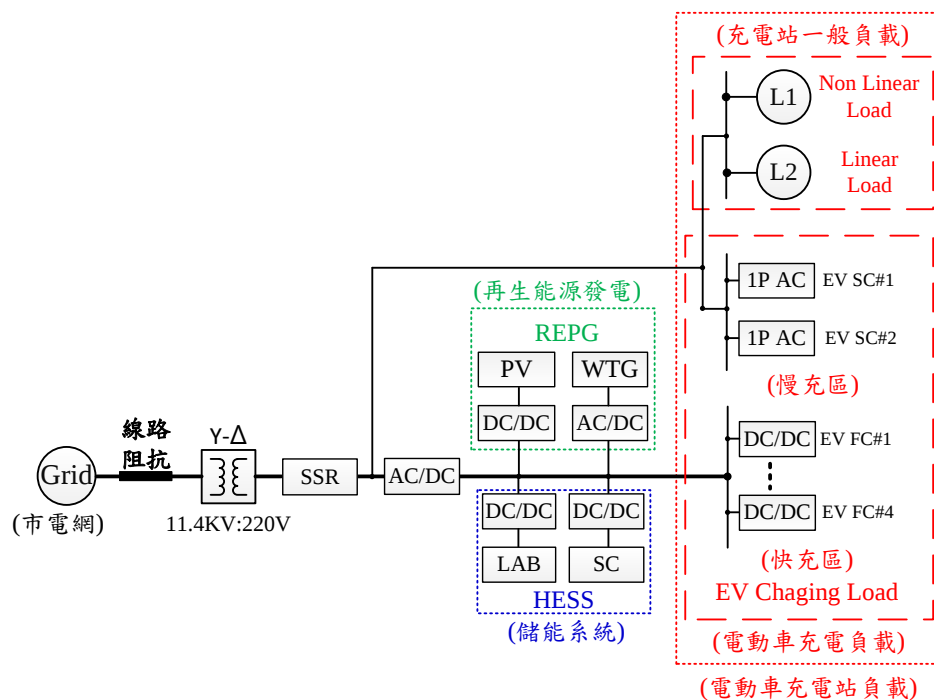


圖 2-1. 整合再生能源發電(REPG)與 HESS 之 EVCS 架構

本計畫所提整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式規劃有併網及孤島運轉兩種。考慮最大程度降低 EVCS 對電網之衝擊 EVCS 的運作控制會希望盡量長時間工作在孤島運轉模式。當 HESS 之儲能系統出現電量(State of charge, SOC)過低或過高的情況時才會切換至併網模式。在併網模式運轉期間會對儲能系統的充放電功率作方向性的調整與限制以達到充電及放電之目的，此運轉模式操作期間，EVCS 會向市電網購買電力或出售電力，當 HESS 儲能系統的電量進入給定之正常範圍後必須立刻將工作模式改為孤島模式。綜上所述，所提 EVCS 可依照 HESS 的儲能系統實際電量分成三種運轉模式；分別為模式 A: 孤島運轉、模式 B: 併網充電和模式 C: 併

網放電。接下來針對上述三種運轉模式作詳細的說明。

模式 A：孤島運轉

EVCS 在這模式下其 HESS 的 SOC 必須是落在 20%~90%之間，此處將這範圍列為孤島運轉時 SOC 之正常範圍。如圖 2-2 所示，SOC 在這範圍時，充電站是運轉於獨立模式，由於再生能源與充電負載都是間歇性，無法期待能夠精準預測這兩者之間的功率差，所以由 HESS 控制直流匯流排電壓和負責系統功率的即時平衡，REPG 則可在最大功率電追蹤(Maximum Power Point Tracking, MPPT)模式下工作。理想的規劃中此孤島模式必須是三種模式中運作時間最久的，因為不但可以減少對市電網的依賴和衝擊，也能減少 EVCS 整體營運成本中高占比的購電和維護成本。

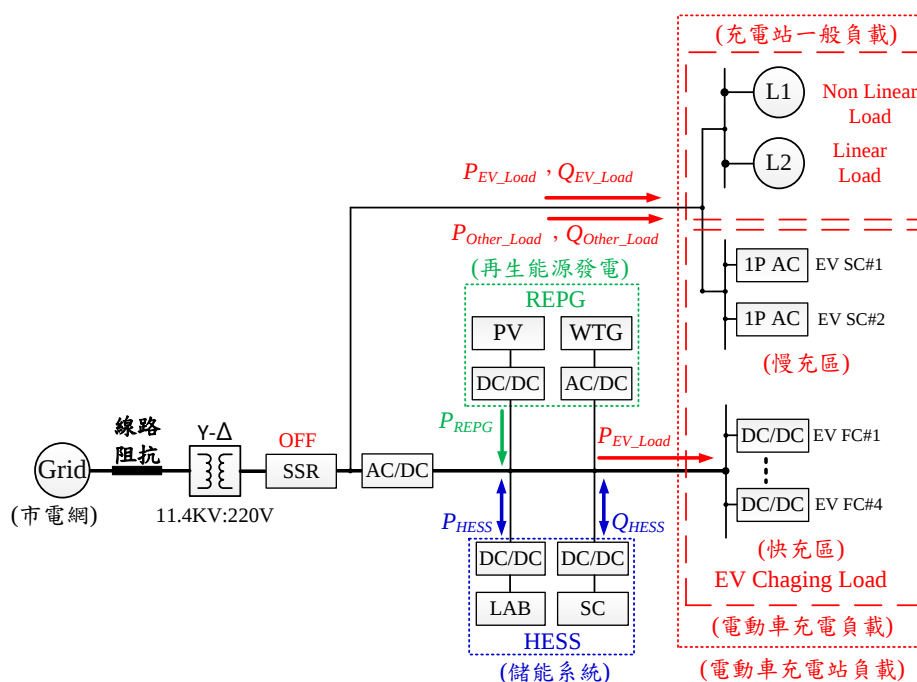


圖 2-2. EVCS 模式 A：孤島運轉之電力潮流示意圖

圖 2-3 說明了上述整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式切換條件與流程。

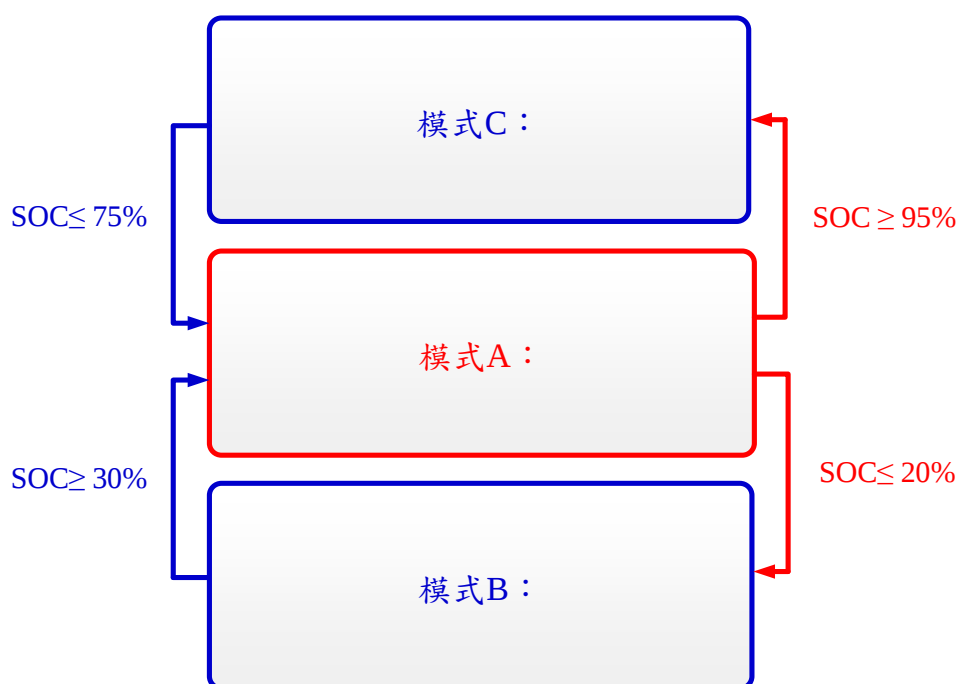


圖 2-3. 整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式切換條件與流程(1)

模式 B: 併網充電

一般而言，如果因天氣的因素導致再生能源的平均輸出電量少於充電負載的平均消耗量時，HESS 電池組的電量會逐漸降低，在電量低於 20%時，EVCS 的控制模式必須從模式 A 切換到模式 B。在這個模式下，HESS 電池組由於電量已太低，放電功率會設定為 0kW，同時，為了使電量回到正常範圍，充電功率則可設定為額定值，而 REPG 則可繼續在 MPPT 模式下工作，此時 EVCS 的運作模式從獨立切換為併網模式，必須並向市電網購電，此運轉模式的

功率流動如圖 2-4 所示。在模式 B 下的操作過程中，如果負載的消耗量低於再生能源的發電量，則多出之電力會優先為 HESS 電池組充電，反之，則需向電網購電以供應電動車之充電需求。當 HESS 電池組的電量高於 30%時，則 EVCS 可切換回 A 模式之孤島運轉。

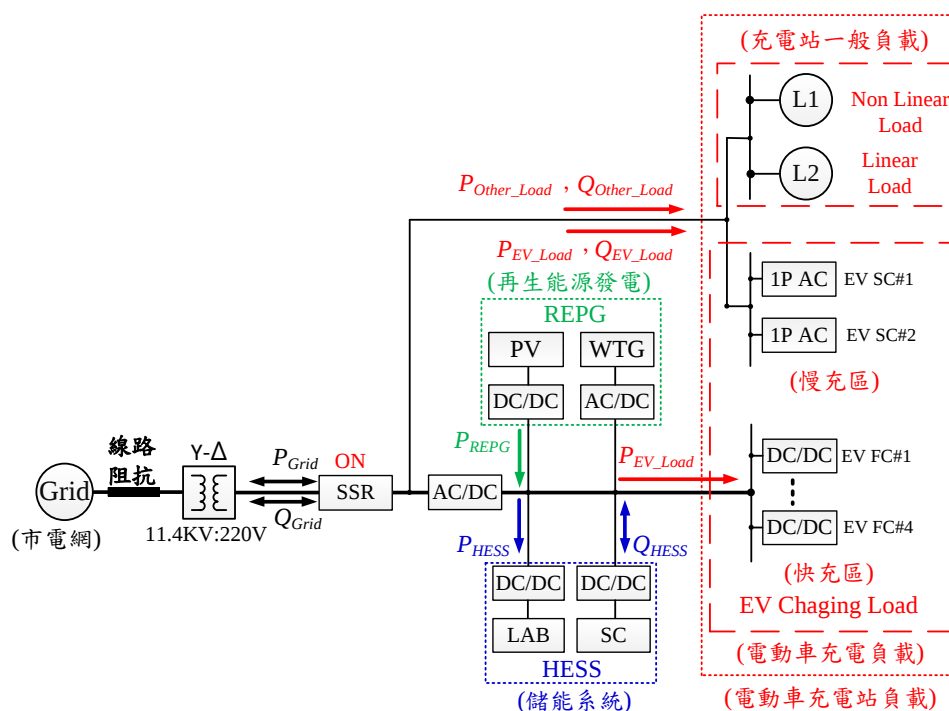


圖 2-4. EVCS 模式 B：併網充電運轉之電力潮流示意圖

圖 2-5 說明了上述整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式切換條件與流程。

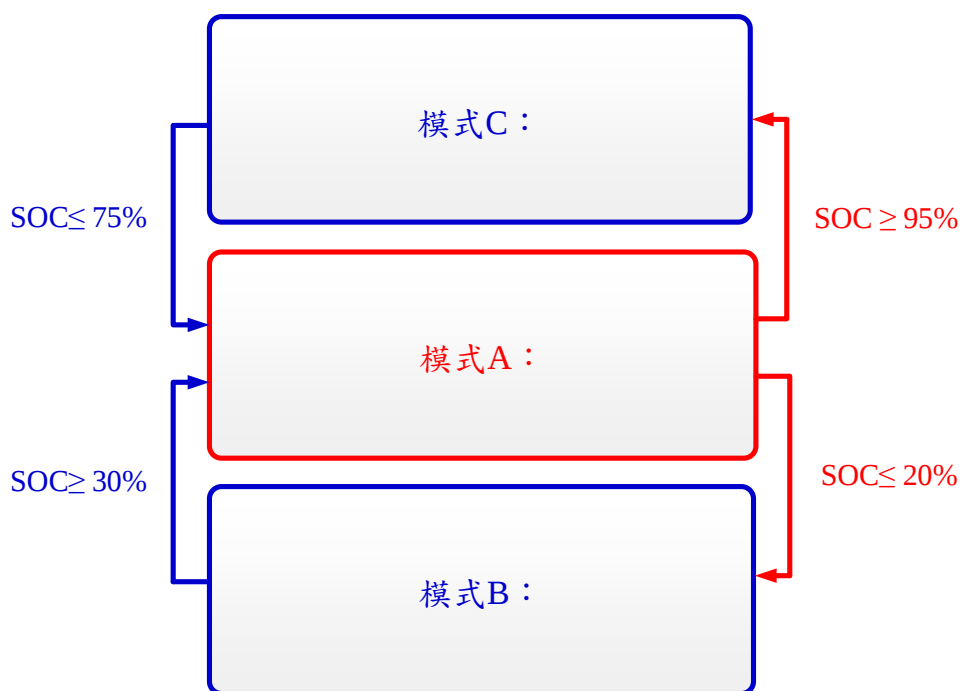


圖 2-5. 整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 運轉模式切換條件與流程(2)

模式 C：併網放電

另一種情況是 EVCS 之充電負載偏低，導致再生能源的平均發電量大於充電負載的平均消耗量時，HESS 電池組的電量會逐漸增加，當電量超過 95% 時，EVCS 的運轉模式會從模式 A 切換到模式 C。在這個模式下，HESS 電池組由於電量已過高，充電功率會設定為 0kW。為了使電池組之電量回到正常範圍，充電功率可設定為額定值，而 REPG 則繼續操作在 MPPT 模式下，EVCS 的運作模式從獨立改為併網，並視需要向市電網售電，此模式的功率流動如圖 2-6 所示。在模式 C 下的操作過程中，如果充電負載的平均消耗量低於再生能源的平均發電量，則會先向市電網販售電力，反之，則由 HESS

二、HESS 之種類、硬體控制架構與系統控制演算法

電池儲能系統(BESS)的設計及選用通常須平衡考慮經濟面及實務之技術面，BESS 在具再生能源發電之 EVCS 典型的應用中，通常需要執行不規則和頻繁的充電/放電，這將縮短 BESS 的使用壽命，造成更換頻繁、運轉成本增加。針對上述問題，混合式儲能系統(Hybrid Energy Storage System, HESS)可以提供合適的解決方案。近年來，許多研究已證明 HESS 比單純的 BESS 具有較高的應用價值。一般而言，儲能系統可被分為高功率存儲元件(HPSD)和高能量存儲元件(HESD)兩種，其中高功率存儲元件能吸收或提供瞬態和峰值功率，而高能量存儲元件能滿足長期能量需求。HESS 即是整合這兩種儲系統的特性與優點。雖然 HESS 具有不少實際應用上之優點，惟工作時通常需配合適當之電力介面及控制方案，其高功率儲存元件與高能量儲存元件與系統連接之方式決定了 HESS 的控制是否具備靈活性、動態性能、效率和壽命。理論上，HPSD 與 HESD 可以直接連接或透過轉換器連接到系統，直接連接可讓系統架構簡單、控制簡單、具低成本但缺乏控制彈性，極少使用。使用轉換器可使兩個儲能系統分別獲得控制及提供所需之功率調節。HESS 之連接方式可分為被動、半主動與完全主動三種架構，簡單說明如下。

A. 被動式 HESS 架構

如圖 2-8 所示，被動式架構是將 HPSPD 和 HESD 連接到系統的直流端，直流端與 HESS 直接連接在一起，無需使用任何轉換器。被動架構類似於並行運行的同步發電機，其工作時僅根據 HESS 內各別 ESS 的內阻及其輸出特性來分擔負載，而其內阻受溫度和瞬時充電狀態的影響很大。

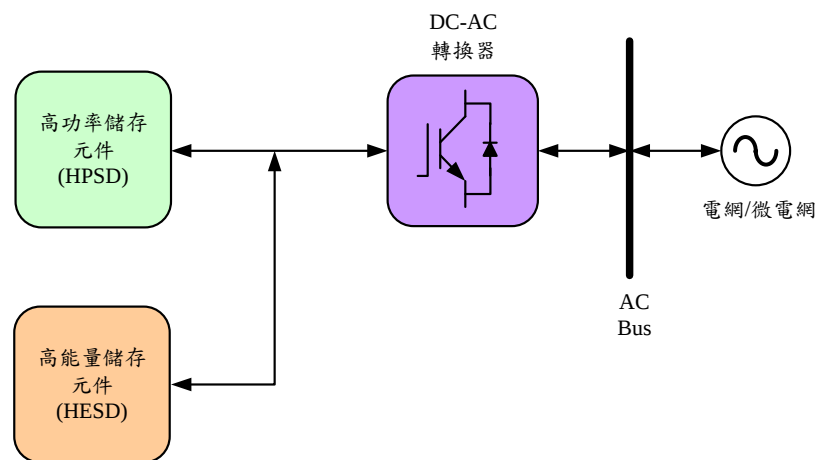


圖 2-8. HESS 的被動式連接架構

圖 2-8 所示之結構經常用於脈衝負載、電池-超級電容(SC)混合的車輛應用，也有具有被動連接的電池-SC 被用於減輕微電網中可再生能源發電系統的間歇性功率。然而，由於以下限制，這種結構後來並沒有得到太多關注：

- 沒有控制靈活性，功率共享根據能源阻抗而變化。
- 由於 ESS 直接連接到直流系統，因此在突發事件期間容易發生故障。
- ESS 的電壓應須與直流母線或負載電壓匹配。

B. 被、主動式 HESS 架構

被、主動架構如圖 2-9 所示，這種架構是被動架構的擴展，帶有一個轉換器來控制 HPSP 或 HESD。圖 2-9 中雙向之 DC-DC 轉換器用於控制 HPSP 交換的功率以及執行適當的控制算法。操作時，系統的峰值功率需求由 HPSP 滿足，其餘需求由 HESD 負責。

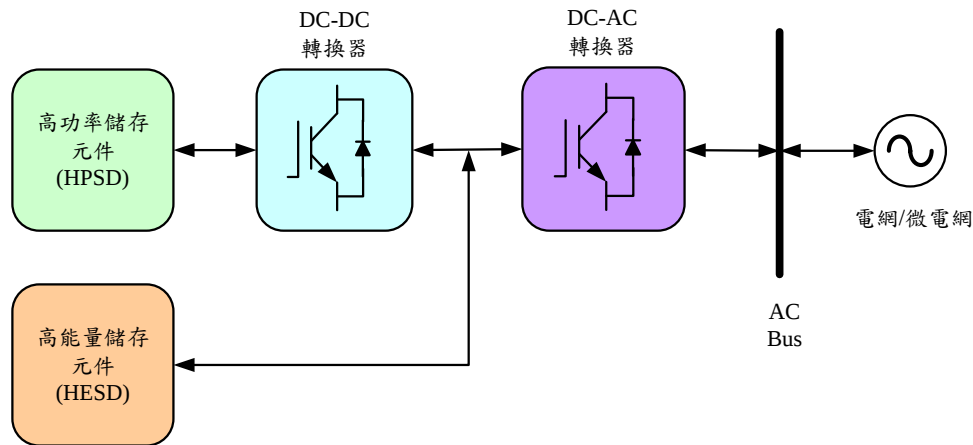


圖 2-9. HESS 之半主動架構

雖然被、主動架構提供了部分靈活性，但也有一些限制：

- 當 HPSP 直接連接到系統時，直流母線電壓會容易發生變化。
- DC-DC 轉換器須設計在與 HPSP 接口以處理大尖峰功率。

B. 全主動式架構

全主動架構如圖 2-10 所示，全主動式架構採用兩個雙向 DC-DC 轉換器來分別控制 HPSP 和 HESD。這種架構可通過對兩個 ESS 單元的解耦控制提供極高系統的可控性，它充分利用了 HPSP 和 HESD 的互補特性達到執行彈性的能源管理策略。此外，它也能方便於使用多種電能優化控制策略。然而，所有這些優勢的代價是功率轉換損耗增加和較高之轉換器成本。

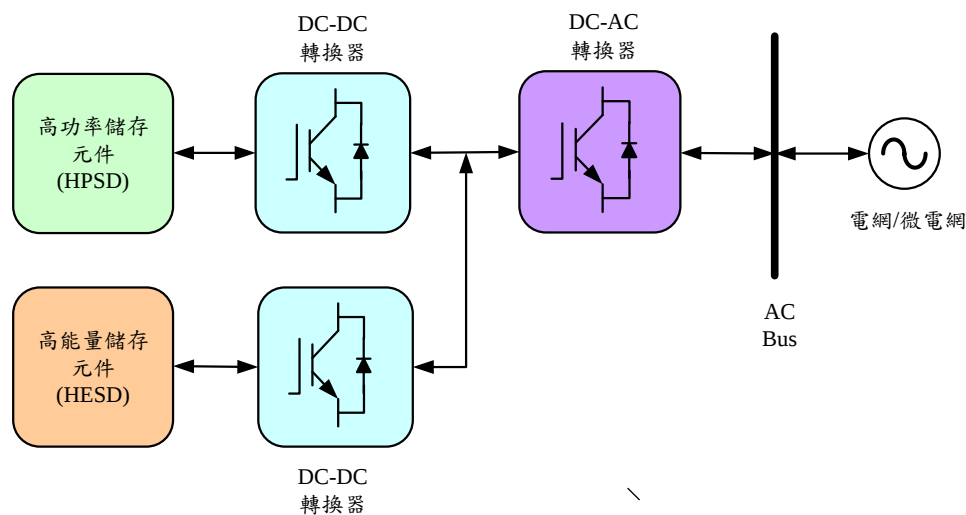


圖 2-10. HESS 的全主動式架構

HESS 之全主動式架構採用兩個雙向 DC-DC 轉換器來分別控制 HPSD 和 HESD。系統控制演算法包括有直流匯流排電壓控制及雙向升、降壓充放電控制。

二、HESS 之硬體控制架構與系統控制演算法

如前所述，EVCS 與 HESS 工作時其主要電力介面是由一組併網型 AC-DC 換流器及兩組 DC-DC 轉換器所組成，其中 HESS 的兩組 DC-DC 轉換器分別控制 VRFB 與 SC 的充放電功率流達到控制直流匯流排與系統功率平衡的目的，AC-DC 轉換器則是負責於併網模式時控制直流匯流排(DC BUS)電壓與系統功率雙向平衡。本計畫所採用之 DC-DC 轉換器為兩開關之同步升降壓電路，硬體實作階段將探討分頻控制效果，AC-DC 轉換器的硬體與控制演算法說明如下：

圖 2-11 所示為所提 EVCS 之 AC-DC 換流器硬體及控制系統方塊圖。本計畫之 EVCS 應用例中，AC-DC 換流器所控制的 EVCS 直流匯流排電壓(EVCS DC BUS)係經由一隔離式電壓感測元件回授至電壓控制器，與電壓命令比較後經誤差放大再與輸入電壓的同步訊號相乘，其輸出信號再經過反相即得到電流命令，此命令信號與回授的輸入電流比較經誤差放大，即可得到弦波命令再與三角波比較得到 PWM 控制信號，控制器硬體會將此 PWM 訊號送至驅動電路操作 AC-DC 換流器之開關。

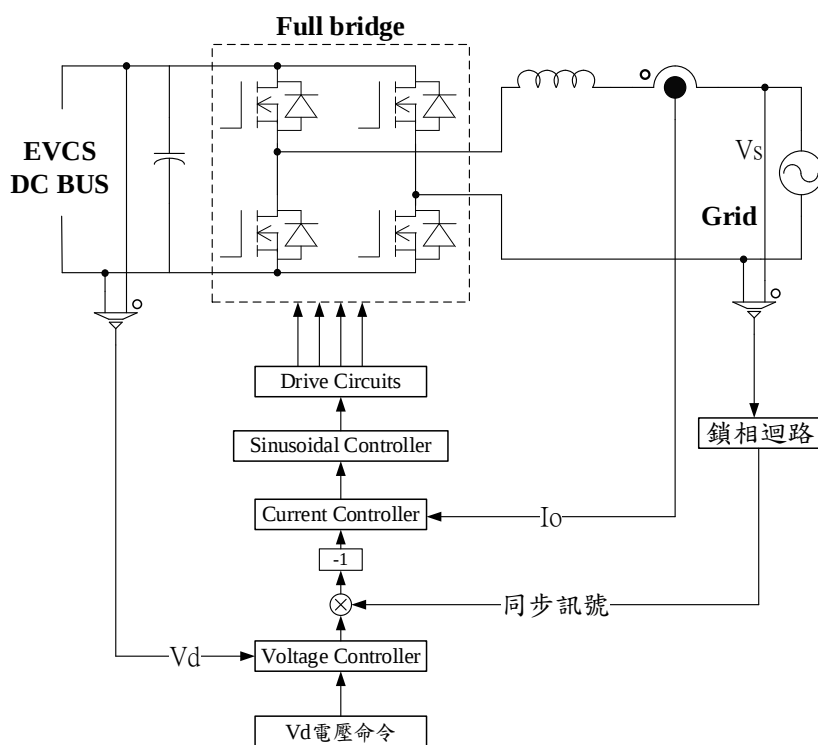


圖 2-11 EVCS 之 AC-DC 換流器硬體及控制系統方塊圖

圖 2-11 之 EVCS AC-DC 換流器控制迴路之控制訊號處理流程如圖 2-12 所示。

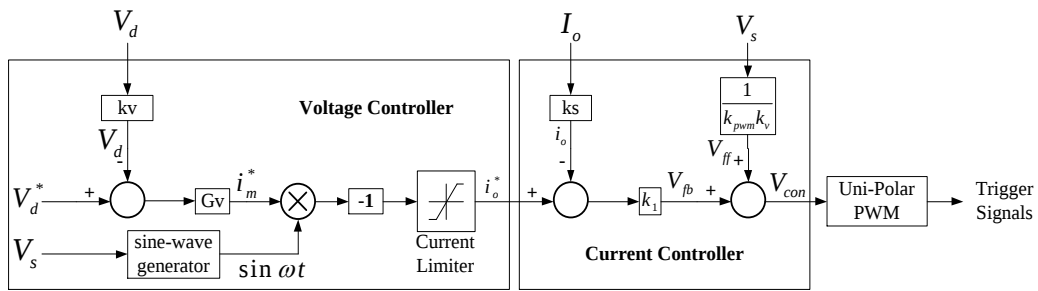


圖 2-11 之 EVCS AC-DC 換流器控制迴路之控制訊號處理流程

EVCS 所屬 AC-DC 換流器控制迴路之控制訊號處理流程簡述如下：

- AC-DC 換流器採雙迴路控制，外迴路調整直流電壓，內迴路調整變流器電流。

- EVCS 之直流電壓誤差經 G_v 調整再與單位正弦波($\sin \omega t$)相乘經過反向及限制後得到電流命令 i_o^* 。

- AC-DC 換流器之內迴路電流控制器之控制目的為使變流器電流 i_o 緊密追隨其命令 i_o^* 。

- 電流控制器用以產生 PWM 之控制電壓。

- I_m^* 相當於 i_o^* 之振幅命令，加限制器之目的乃用以設定變流器之功率容量。

- 單位正弦波用於與輸入電壓 V_s 同相，因此電流命令便與輸入電壓反相，使功率流入變流器同時達到單位功因控制之目的。

參、EVCS 之全系統軟體模型與情境案例模擬

為了證明本計畫所提整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 架構、所規劃之運轉模式及控制方案的可行性，本章節將以電腦軟體模擬之方式呈現四個不同的運轉與控制情境藉以展現所提的 EVCS 工作方式與 HESS 的電能控制過程。所規劃的四個情境分別為模式 A 轉模式 B、模式 B 轉模式 A、模式 A 轉模式 C 和模式 C 轉模式 A。模式 A~模式 C 之運轉條件如前第貳章之說明。

一、EVCS 之全系統軟體模型

如前所述，EVCS 完整之系統包含有配電網路(Grid)，為配合計畫後續的實驗室小型 EVCS 硬體實作，在本小節之模擬案例中，配電網路使用單相 110V 系統，HESS 規劃由電池組(VRFB 或鋰電池)與超級電容(SC)組成，充電站之變動負載使用可程式之電流源進行模擬，再生能源發電包含有風力發電(WTG)及太陽能(PV)兩個系統，此處使用可程式之電源模擬。圖 2-12 所示為以 PSIM 模擬軟體建構之 EVCS 之全系統軟體模型，圖 2-13 為典型之 EVCS 各部分功率規劃之示意圖。由圖 2-12 中可看出所提 EVCS 運轉時其主要電力介面是由一組併網型 AC-DC 換流器及兩組 DC-DC 轉換器所組成，其中 HESS 的兩組 DC-DC 轉換器分別控制 VRFB 與 SC 的充放電功率流達到控制直流匯流排電壓與系統功率平衡的目的，AC-DC 轉換器則是負責於併網模式時控制直流匯流排(DC BUS)電壓與系統功

率雙向平衡。

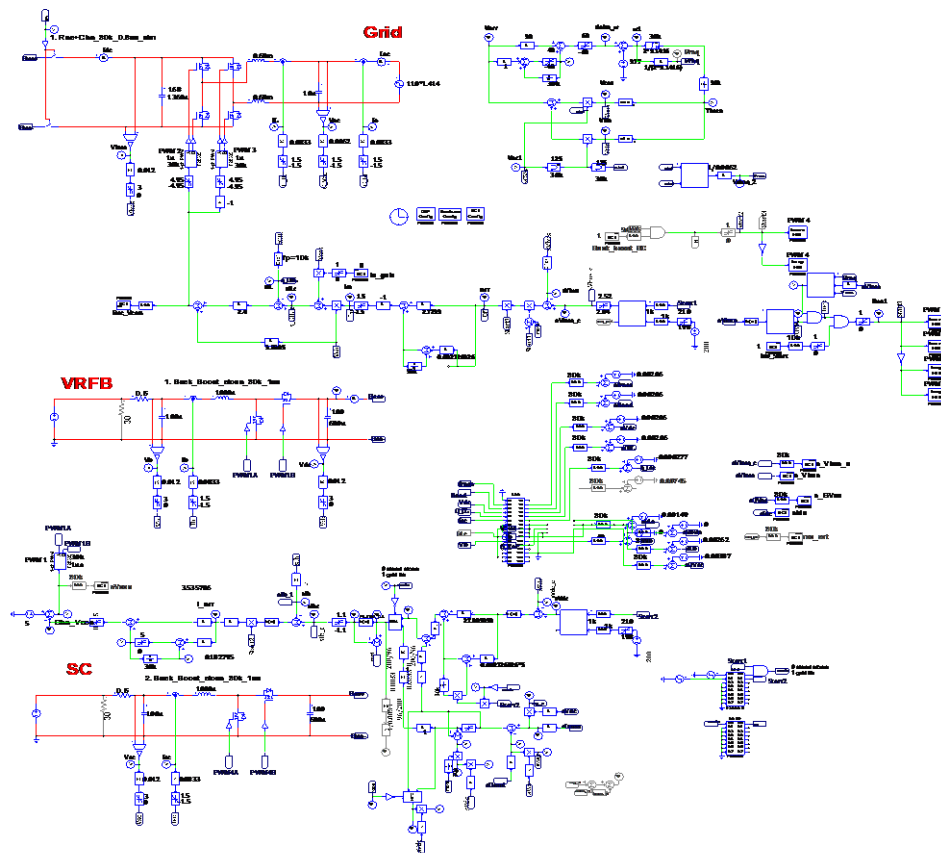


圖 2-12. EVCS 之 PSIM 全系統軟體模型

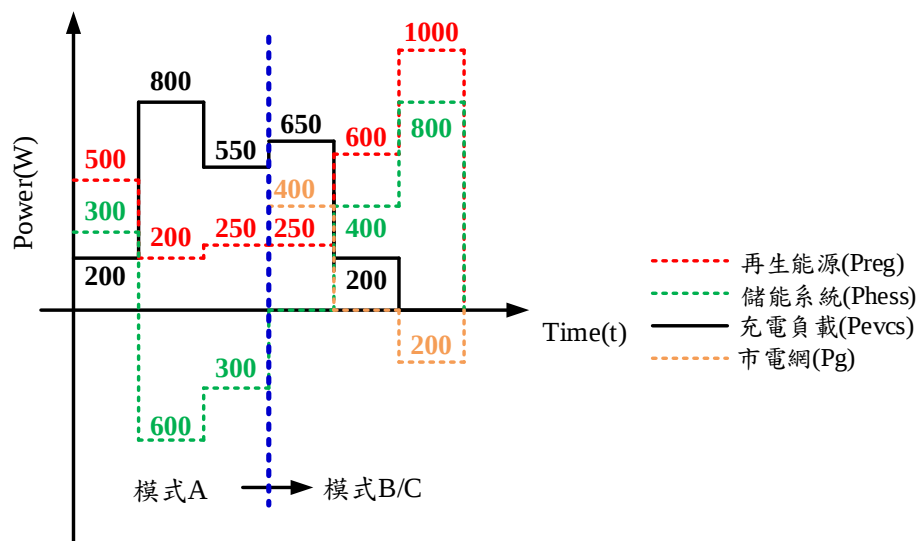


圖 2-13. EVCS 之典型 EVCS 各部分功率規劃之示意圖

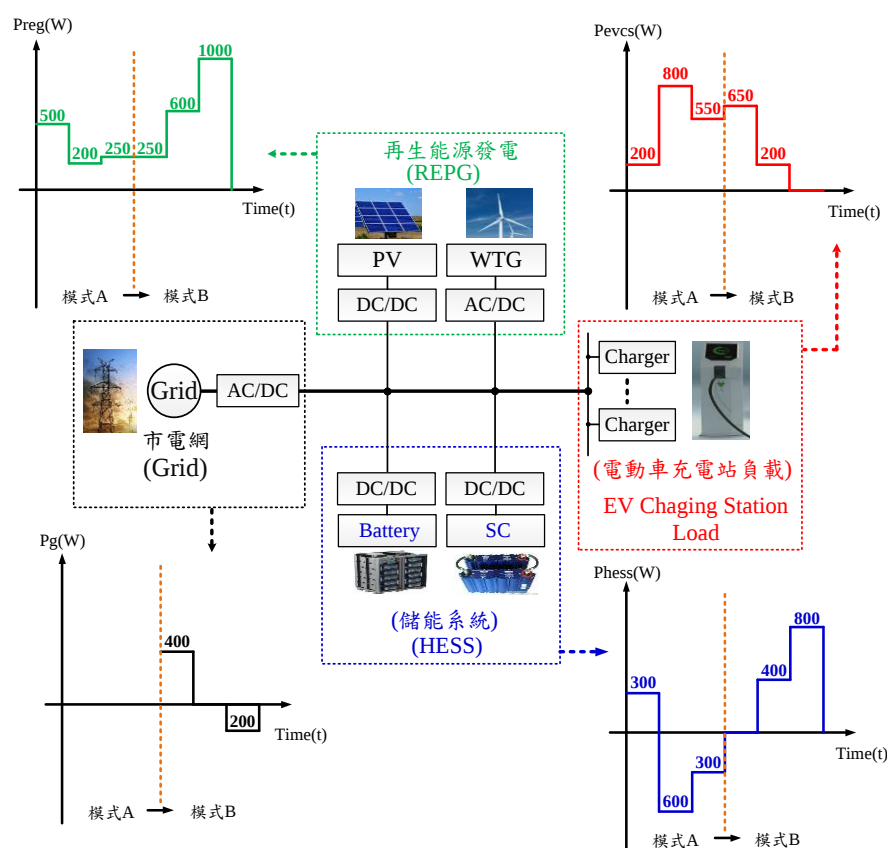
二、EVCS 之情境案例規劃與模擬

本節將以電腦軟體模擬之方式呈現四個不同的運轉與控制情境以展現所提的 EVCS 工作方式與 HESS 的電能控制過程。所呈現的四個情境依序為模式 A 轉模式 B、模式 B 轉模式 A、模式 A 轉模式 C 和模式 C 轉模式 A。

情境 1：模式 A 轉至模式 B

此情境的規劃情境為假設充電站的混合式儲能系統的電池電量一開始處在適中的範圍，EVCS 運轉於獨立模式，此時若陽光及風力不足使再生能源發電量比充電負載還低，混合式儲能系統必須放電以平衡即時功率，當面臨電池電量過低($SOC \leq 20$)時充電站必須切換到模式 B 的併網充電模式，混合式儲能系統由於電池電量過低不宜再進行放電行為，因此讓 HESS 之電池只能充電。這時如果再生能源小於負載基本上全都由市電網供電。本案例所規劃的模擬情境相關功率時序如圖 2-14 所示，圖的中間為系統的 EVCS 整體架構，系統中每個組件都有其功率曲線，再生能源發電系統的功率曲線為 P_{reg} 、EVCS 充電負載的功率曲線為 P_{evcs} 、市電網的功率曲線為 P_g 和混合式儲能系統(HESS)的功率曲線為 P_{hess} 。市電網與混合式儲能系統的功率曲線有正負之分，HESS 的功率曲線正值代表充電，負值代表放電，而市電網則顛倒過來，正值代表供電，負值代表電網正在功率逆向饋送。模式的轉換時間點為功率曲線圖中間的虛線所

標示。此情境的每個功率曲線總共為6個時段，前3個時段假設HESS電池的電量是適中($20 < SOC < 95$)，因此系統運作於模式 A(獨立模式)，後3個時段則假設電池電量過低($SOC \leq 20$)進入模式 B(併網充電模式，混合式儲能系統只充不放)。EVCS 在模式 A 的時段下混合式儲能系統是可以自由地充放電，並且它充放電的功率能補償再生能源和負載的功率差，例如，第1個時段再生能源的功率為500W，負載的功率為200W，再生能源發電比充電負載多了300W，此時HESS必須充電300W，其它於模式 A 的時段則以此類推。進入模式 B 之後，混合式儲能系統只充不放，市電網負責平衡功率，本案例規劃了2個時段來表現。在第4個時段中可發現充電負載比再生能源發電多了400W，但由於電池電量過低無法放電，因此市電網端負責供電400W。然後在第5個時段再生能源發電比充電負載多了400W，此時改由HESS充電400W。最後的時段的規劃是為了模擬應對間歇性的再生能源與負載可能出現的極端情況及應對方式，若無充電負載而再生能源發電大於HESS的最大充電極限，(本案例設定HESS的最大充電極限為800W)，此時HESS的充電命令將設為其極限值800W，改由市電網來平衡剩餘的功率差，案例中最後1個時段，再生能源發電比充電負載多了1000W，此時混合式儲能系統充電800W，而市電網逆向饋電200W。



情境1

圖 2-14. 本案例所規劃的模擬情境相關功率時序如圖 2-14 所示

圖 2-15 到圖 2-23 為情境 1 模擬的波形結果。波形圖中符號分別表示為由電池控制的直流匯流排電壓的量測值(Vdc)、控制命令(sVdc_c)與迴授信號(sVdc)、單相換流器控制的直流匯流排電壓的量測值(Vbus)、控制命令(sVbus_c)及迴授信號(sVbus)、單相換流器控制的電感電流的控制命令(sIL_c)及迴授信號(sIL)、再生能源的電流(Ireg)與功率(Preg)、充電負載的電流(Ievcs)與充電功率(Pevcs)、市電網的電流(Ig)與功率(Pg)、混合式儲能系統的電流(Ihess)與功率(Phess)、HESS 電池電流(低壓側)的量測值(Ib)、控制命令(sIb_c)及迴授信號(sIb)。

授信號(sIb)、超級電容電流(低壓側)的量測值(Isc)、控制命令(sIsc_c)及迴授信號(sIsc)、市電網端交流電壓(Vac)與電流(Iac)，模擬的時間規劃為 1.2s，0-0.3s 為系統從開機的啟動到電壓穩態，從 0.3s 開始照情境規劃模擬，每個時段為 0.1s，模式切換的時間點為 0.6s。模擬情況一開始是模式 A 時，由連接電池的 Buck-Boost 轉換器控制直流電壓匯流排的電壓，這段期間，換流器也同時將其直流輸出控制在 200V，等換到模式 B 時，換流器會直接用預設的開關直接接上直流匯流排並接手控制其電壓。由於模擬時 EVCS 直流匯電壓已經被控制 200V，因此除了觀察功率的方向和大小是否正確，也可順便觀察電流的方向和大小是否正確。從圖 2-15 到圖 2-19 也可觀察出電池的電流變化方式雖然與混合式儲能的電流變化方式相同，但數值上比 HESS 的電流還要來的大上許多，原因是個別儲能系統的電流是 Buck-Boost 轉換器低壓側的電流，而混合儲式儲能的量測電流則是高壓側的電流，如果將電池的電流換算成高壓側的電流，就會與混合式儲能電流非常接近，只是較為平順，這是因為超級電容將瞬間變化電流給吸收掉，所以超級電容的電流全程都在靠近 0 的位置，只有在混合式儲能電流變化的時間點有工作。圖 2-20 到圖 2-23 的交流端電壓與電流也可發現，在模式 A 時，因直流匯流排沒連接，電壓與電流幾乎沒波動，而進入模式 B 時，才開始有動作。在 0.6s 到 0.7s 時電壓與電流同相，在 0.7s 到 0.8s 時沒功率，在 0.8s 到 0.9s

時電壓與電流反相，這些全都符合案例之規劃，量測到的交流電流值推算回去的功率值也一樣。從模擬結果可得知系統在模式 A 時，確實可由 Buck-Boost 轉換器控制直流匯流排的電壓，並負責吸收再生能源與充電站負載的功率差，在模式 B 時直流電壓的電壓改由換流器控制，Buck-Boost 轉換器只控制 HESS 之充放電，市電網於 HESS 到達極限時可自動平衡系統的即時功率。

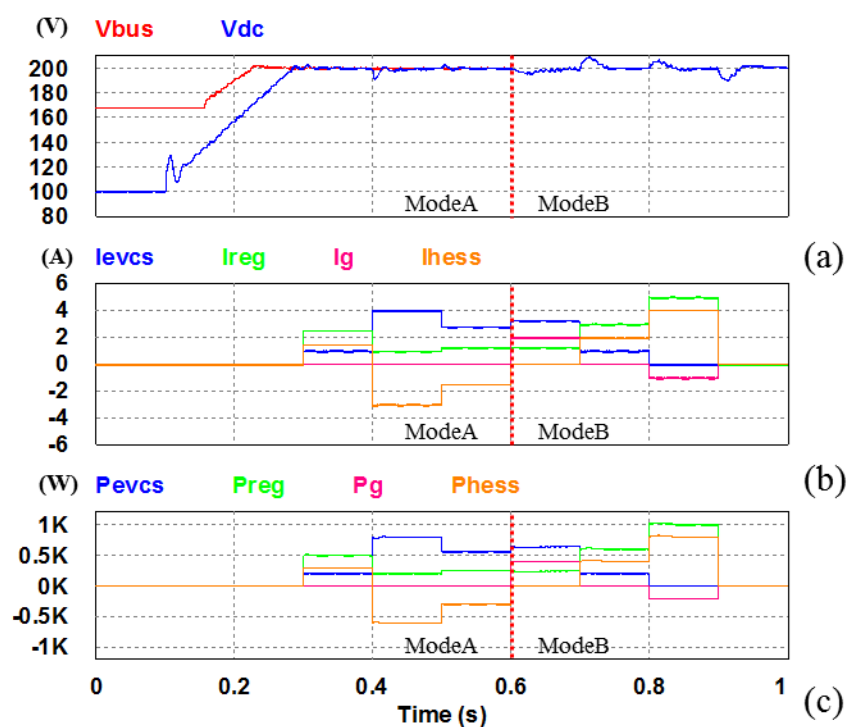


圖 2-15. 模擬過程中 EVCS 直流匯流排電壓(a)/每個組件的功率(b)/每個組件的電流(c)。

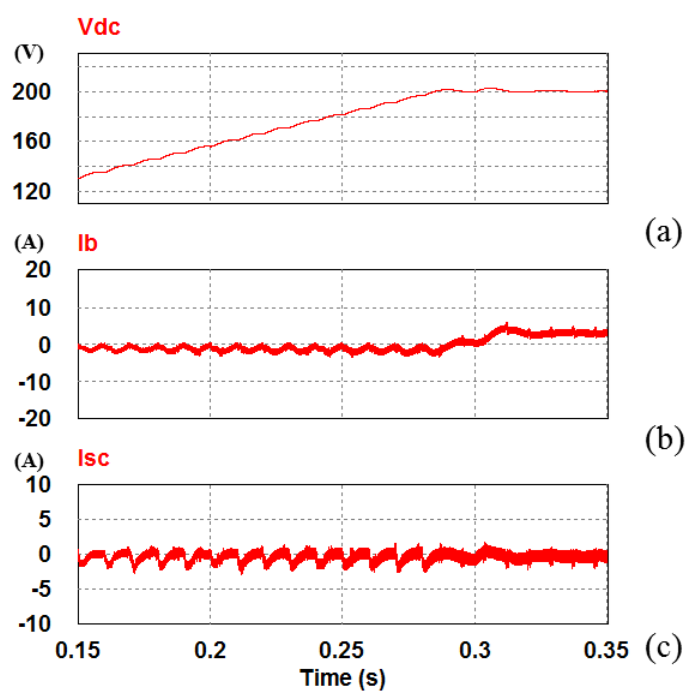


圖 2-16. EVCS 啟動時直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流(c)

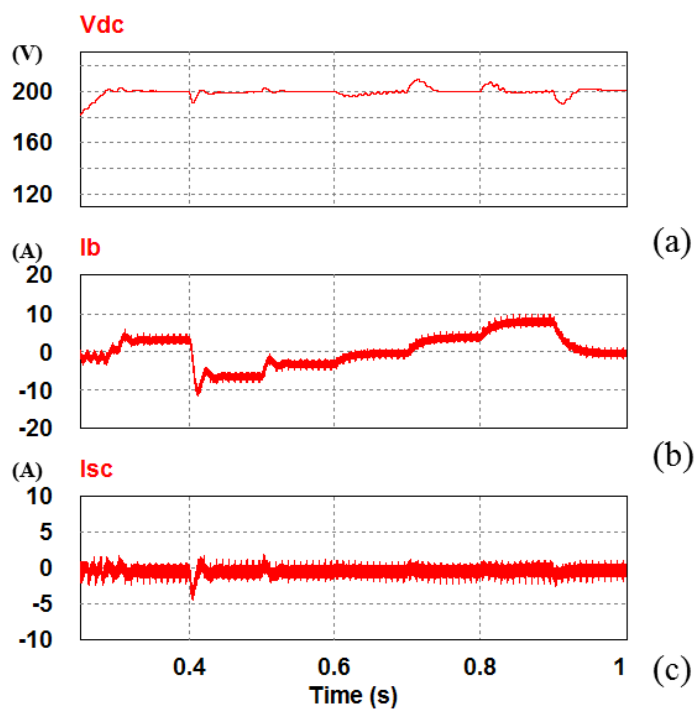


圖 2-17. 模擬中直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流(c)

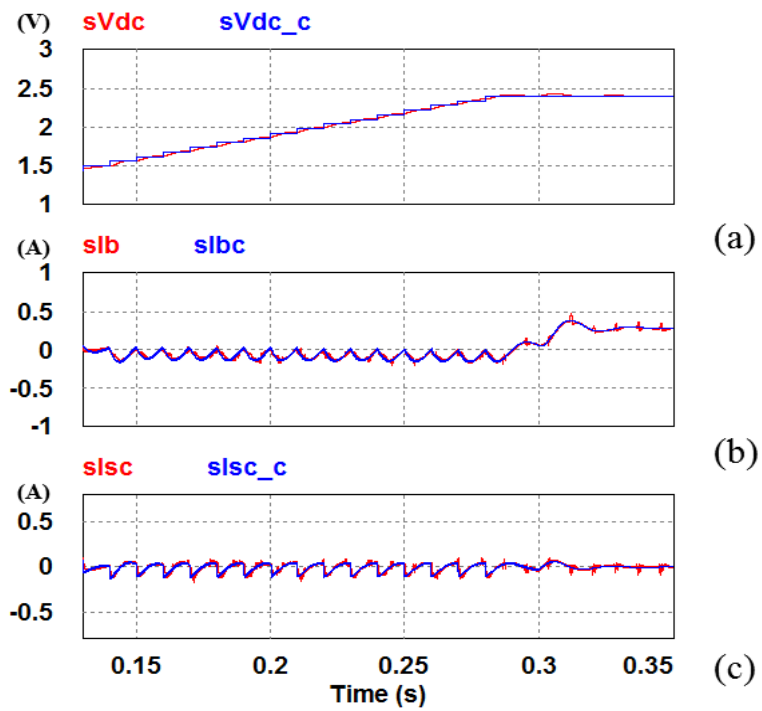


圖 2-18. EVCS 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

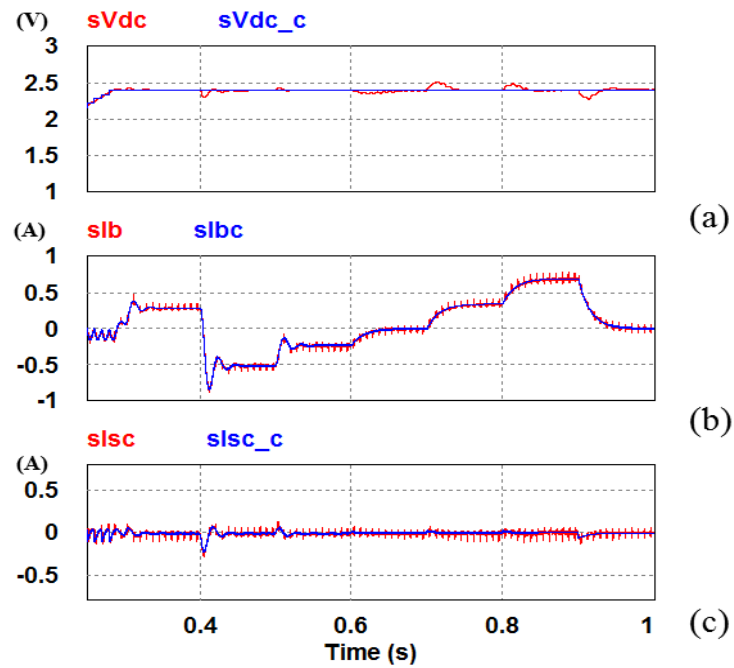


圖 2-19. 模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與回授信號(c)

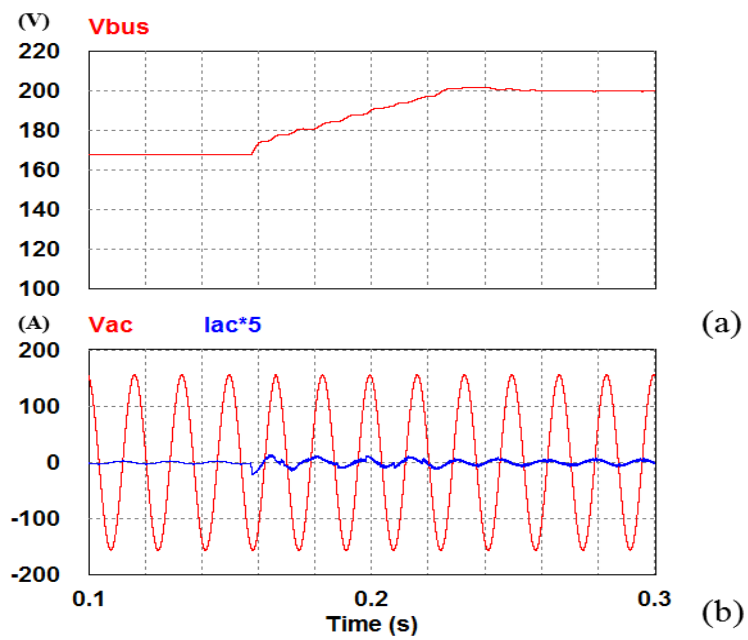


圖 2-20. EVCS 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓(b)/電流的量測值(c)

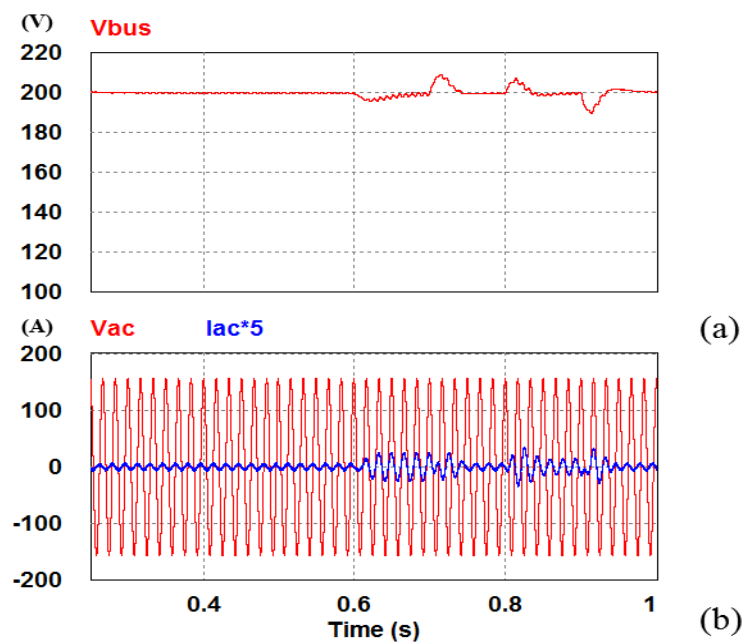


圖 2-21. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓(b)/電流的量測值(c)

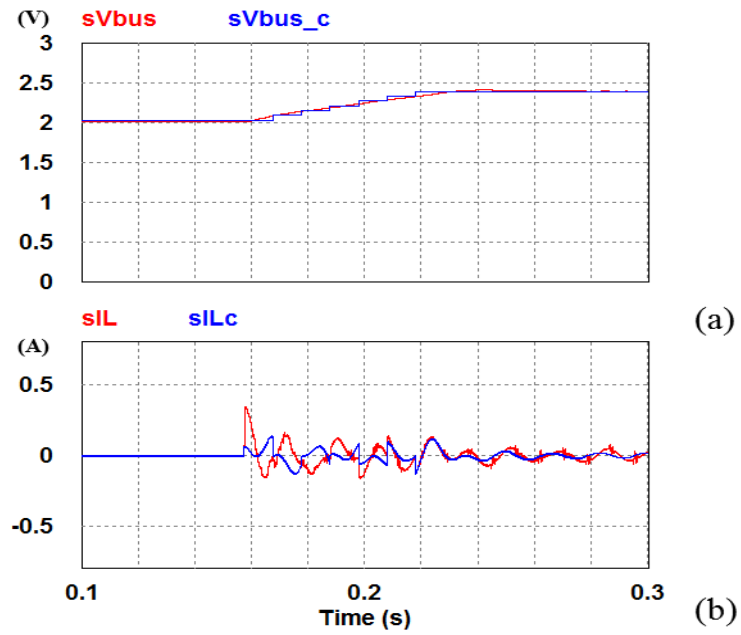


圖 2-22. EVCS 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和回授信號(b)

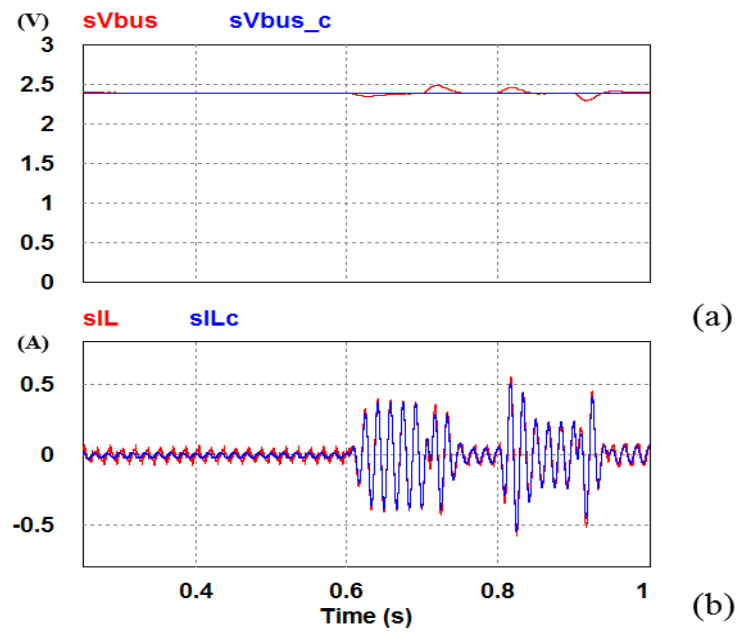
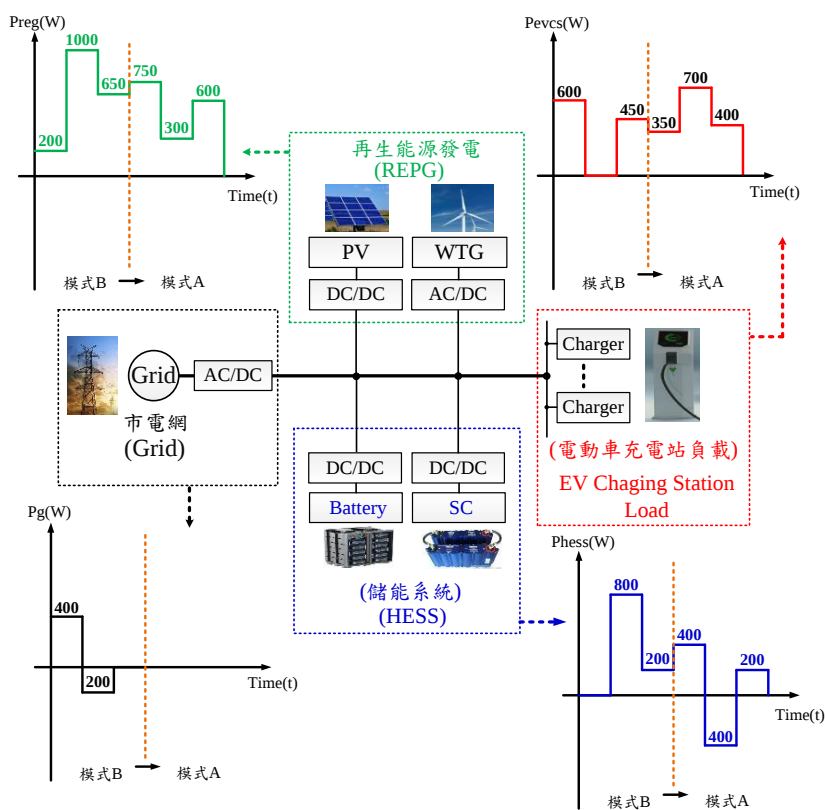


圖 2-23. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和回授信號(b)

情境 2：模式 B 轉至模式 A

此情境的規劃為的 EVCS 之 HESS 電池電量原先處在過低的範圍 ($SOC \leq 20$)，此時 EVCS 必須由併網換流器(DC-AC Inverter)執行啟動程序。假設風力及陽光量非常充足，使再生能源發電量比充電負載還多，此時 HESS 必須優先執行充電，當 HESS 之電池電量(SOC)回到 30%時，充電站將由模式 B 切換到模式 A。此情境中市電網適時為充電負載供電，在 HESS 電池達到其充電功率極限時會將剩餘的再生能源發電量逆送回市電網。此情境的模擬規劃也是將每個裝置運作方式共分為 6 個時段，前 3 個時段假設 HESS 電池電量過低，充電站處於模式 B 的運作方式，因此 HESS 只能充電。後 3 個時段則假設 HESS 之電池電量已回升到 30%，運轉模式切換至模式 A，此情境之功率時序圖如圖 2-24 所示。

圖 2-25 到圖 2-33 為情境 2 模擬後的波形結果，圖中符號與模擬總時間與情境一的模擬方式一樣。從圖 2-25 到圖 2-29 的直流電壓部份可發現一開始是在模式 B，所以只有換流器在控制直流電壓，而切至模式 A 改由 Buck-Boost 轉換器控制，而換流器此時也同步在繼續工作，因此圖 2-25 中 V_{bus} 和 V_{dc} 在 0.6s 以前完全一樣，而在 0.6s 以後有些微的不同。從圖 2-25 到圖 2-29 可以看到 HESS 之電池電流也是轉換器低壓側的電流，將其換算成高壓側的電流時可發現其直相當接近。整個 EVCS 的運轉與控制相當平順。



情境2

圖 2-24. 情境 2 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃

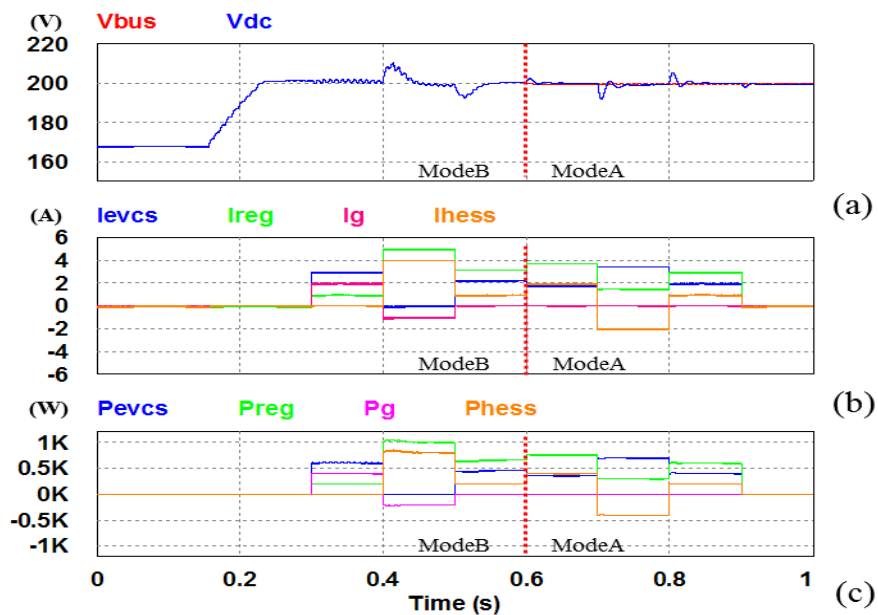


圖 2-25. 模擬過程中電池和換流器控制的直流匯流排電壓(a)/每個組件的功率(b)/每個組件的電流(c)

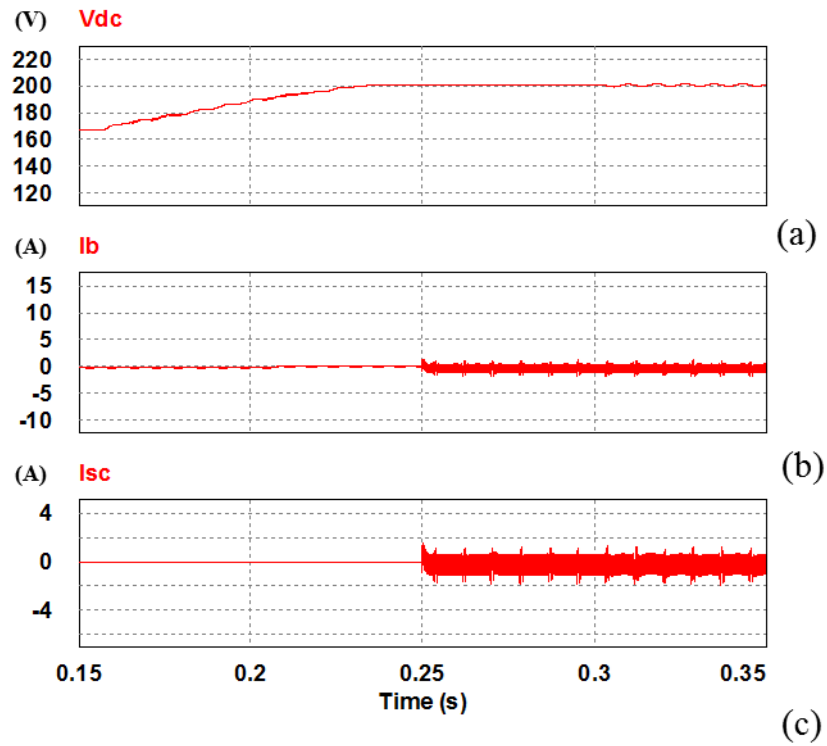


圖 2-26. 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流(c)

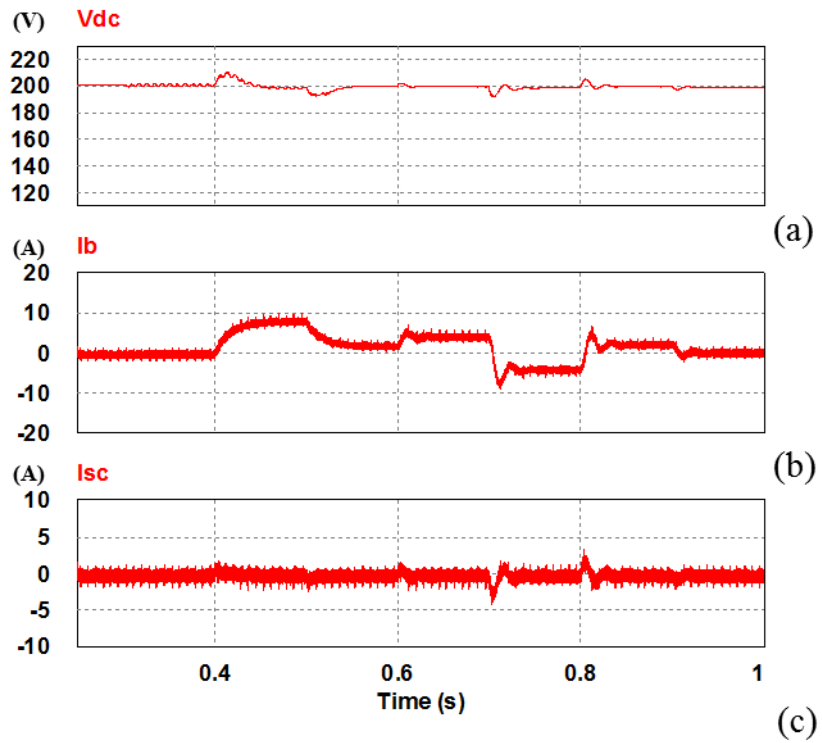


圖 2-27. 情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流的過程(c)

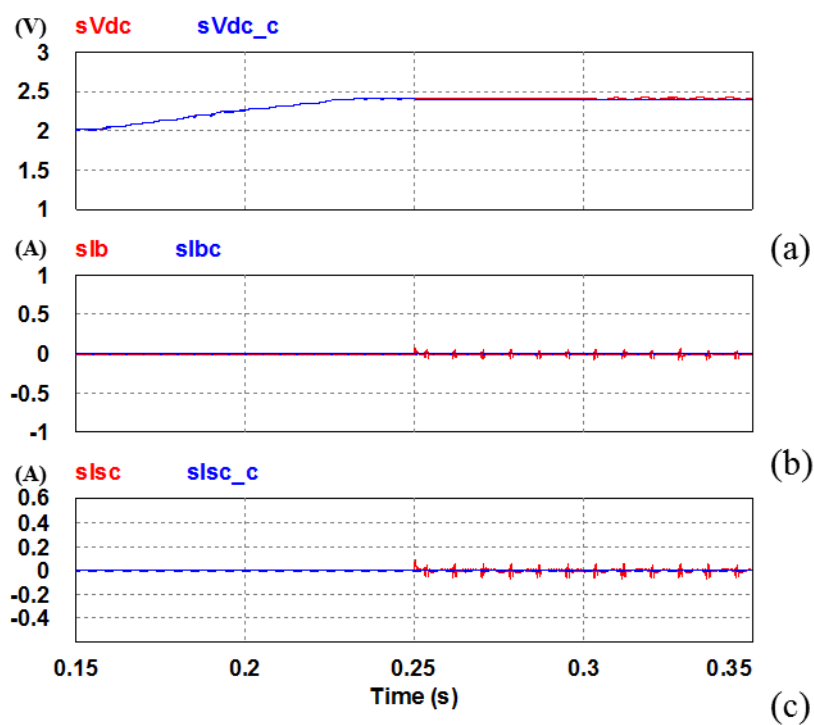


圖 2-28. 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

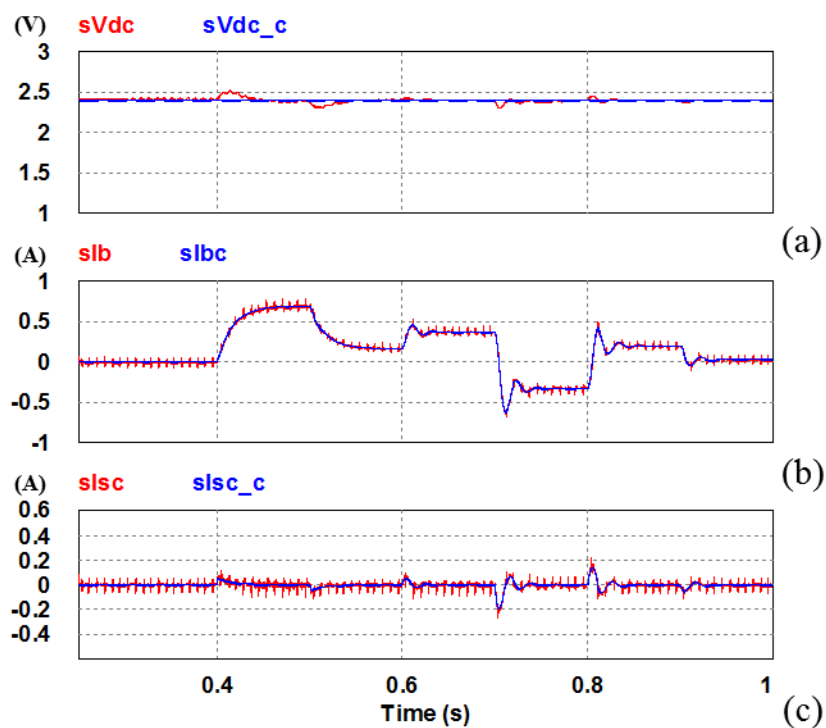


圖 2-29. 在情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

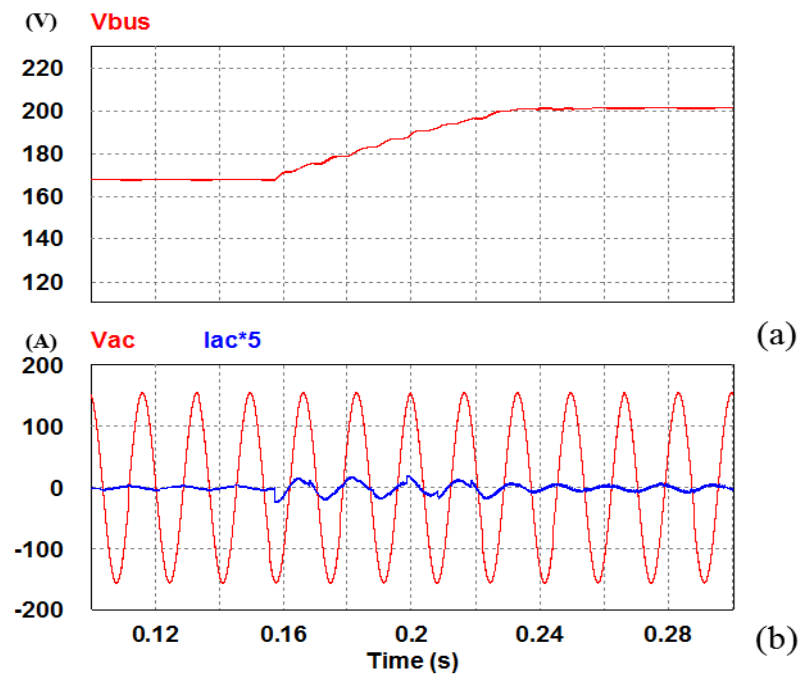


圖 2-30. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓/電流的量測值(b)

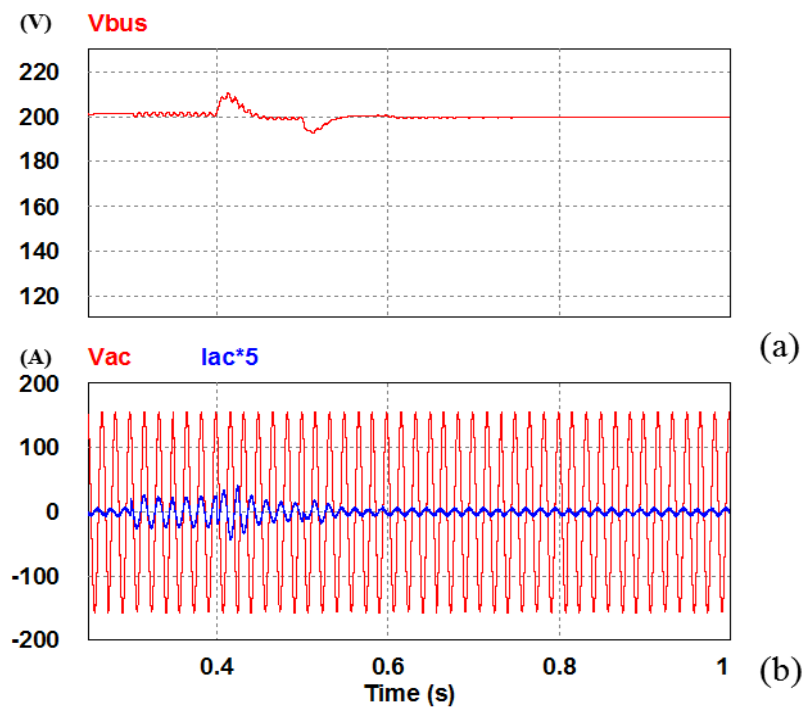


圖 2-31. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓(b)/電流的量測值(c)

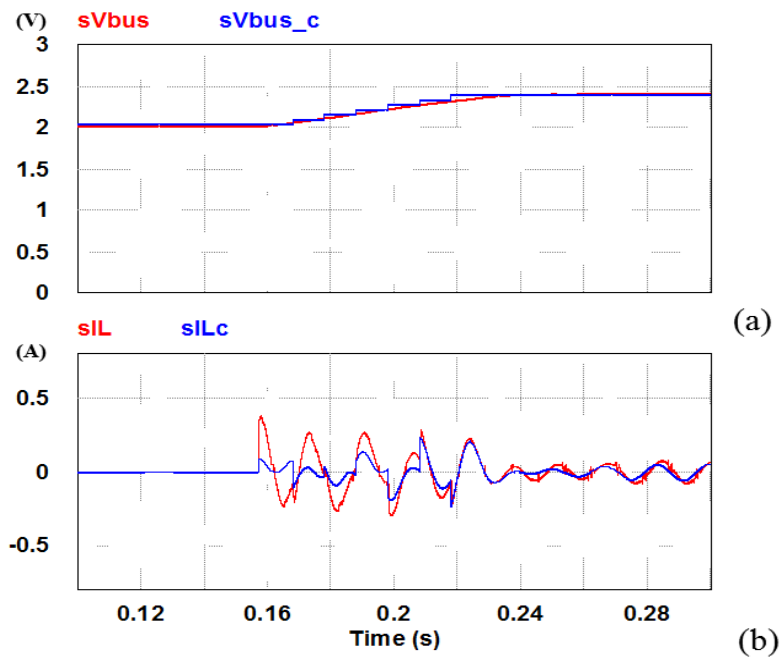


圖 2-32. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和迴授信號(b)

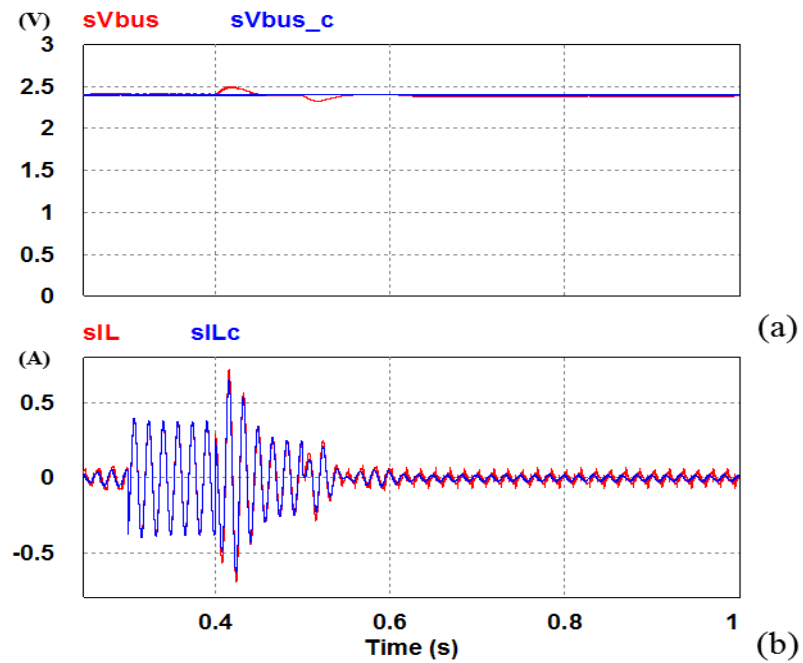
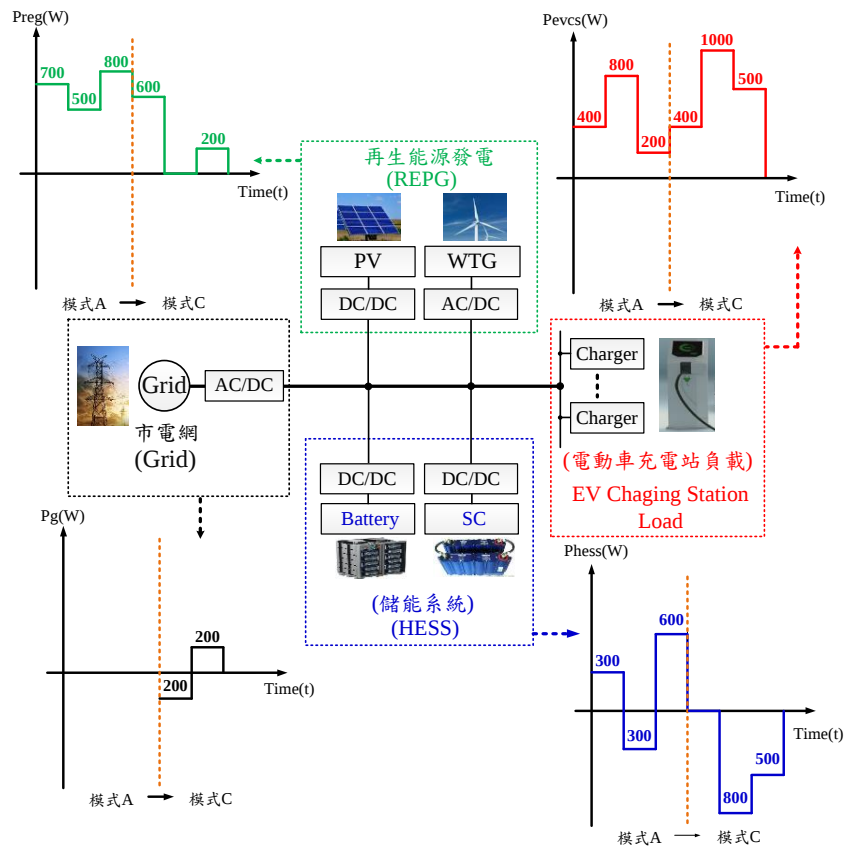


圖 2-33. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和迴授信號(b)

情境 3：模式 A 轉至模式 C

此情境的規劃為 EVCS 的 HESS 電池電量處在適中的範圍，EVCS 由獨立運轉啟動，此時若風力及陽光充足，再生能源發電量比負載還多，混合式儲能系統充電時間長，當面臨電池電量過高時 ($SOC \geq 95$) EVCS 須切換到模式 C 之併網放電模式運轉，因此時混合式儲能系統由於電池電量過高不宜再進行充電，因此規劃只讓 HESS 之電池視需要只為負載放電。此時如果再生能源發電大於充電負載基本上全都逆送回去給市電網，當電池達到自身的放電功率極限時市電網須即時負責滿足負載所需電力。此情境的模擬規劃也是將每個裝置之運作方式分為 6 個時段，前 3 個時段假設電池電量適中，充電站處於模式 A 的運作方式。後 3 個時段則假設混合式儲能系統的電池電量過高進入模式 C，情境 3 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃如圖 2-34 所示。

圖 2-35 到圖 2-43 為情境 3 模擬之結果。從圖 2-35 到圖 2-43 可以發現直流電壓 V_{bus} 和 V_{dc} 在 0.6s 以前有些微的差異，在 0.6s 以後完全一樣，這證明 EVCS 是由模式 A 啟動，由 Buck-Boost 轉換器在控制直流電壓，而 0.6s 切換成模式 C 則改由換流器控制直流匯流排電壓，藉由控制直流匯流排電壓 V_{bus} 達到平衡 EVCS 之即時電功率。



情境3

圖 2-34. 情境 3 之再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃

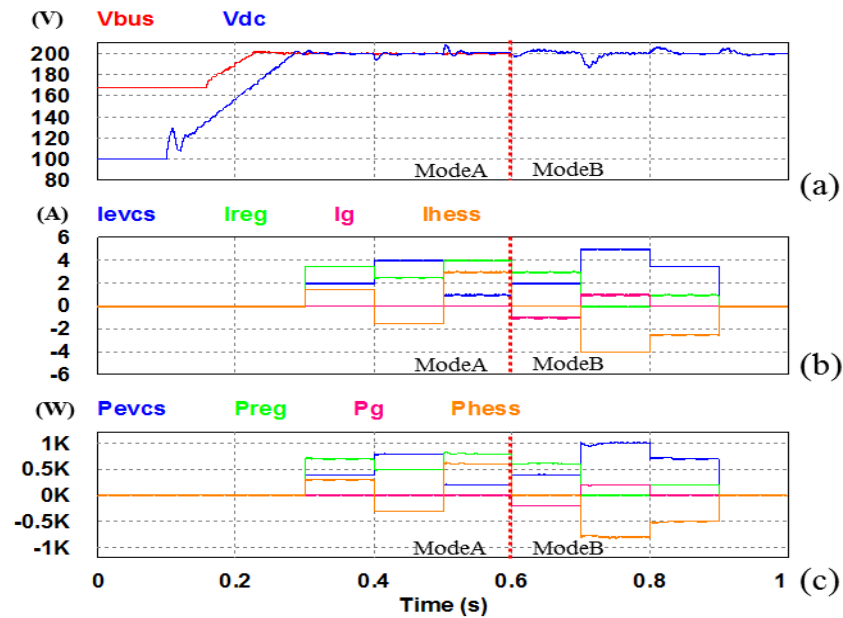


圖 3-35. 整個模擬過程中電池和換流器控制的直流匯流排電壓(a)/每個組件的功率(b)/每個組件的電流(c)

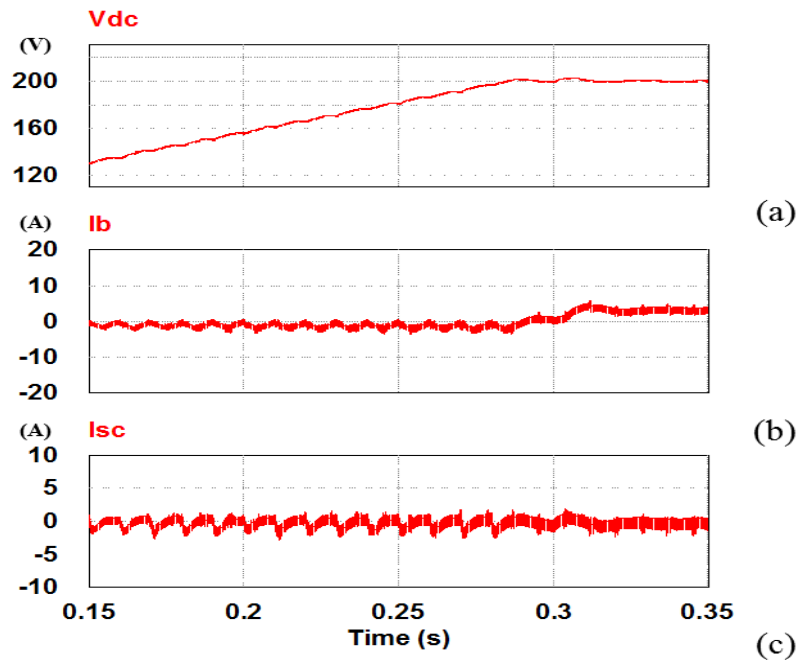


圖 3-36. 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流(c)

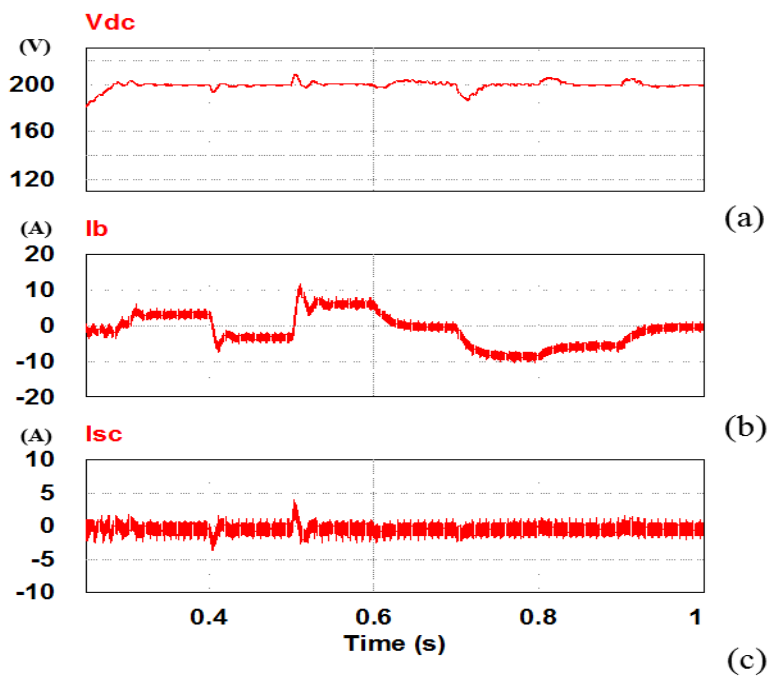


圖 3-37. 情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a0/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流的過程(c)

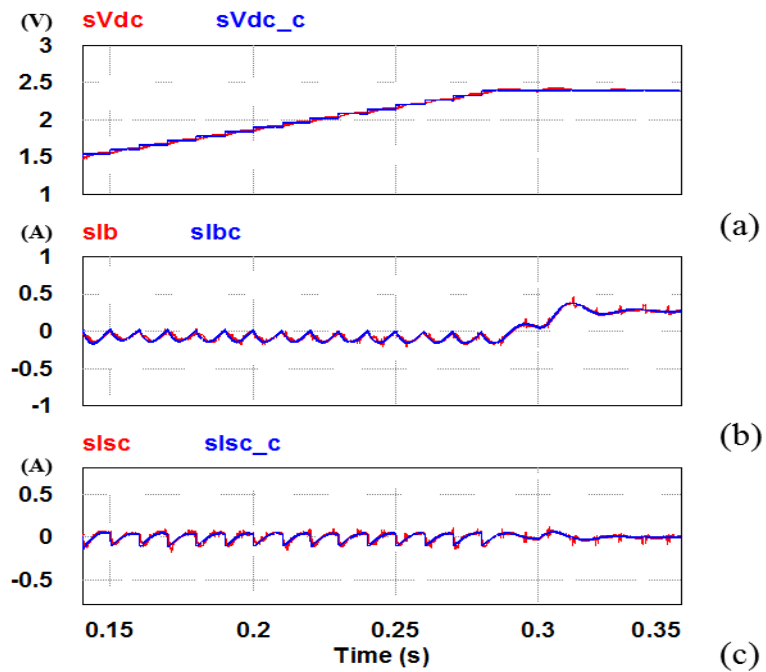


圖 3-38.啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

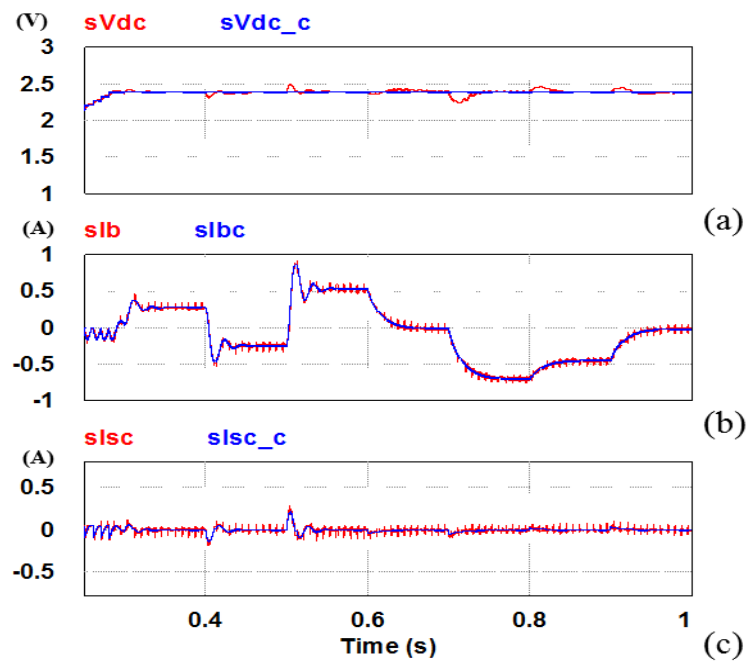


圖 3-39. 情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

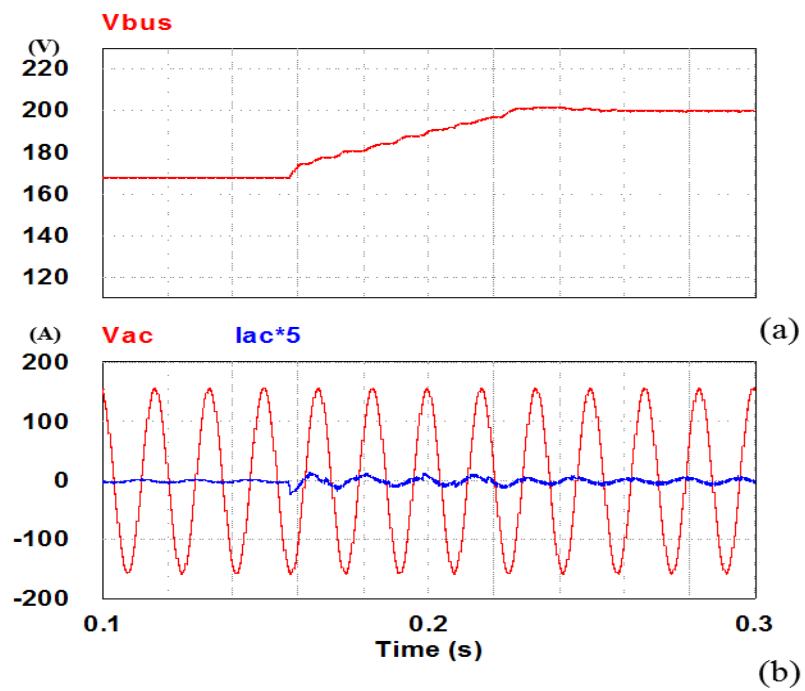


圖 3-40. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓/電流的量測值(b)

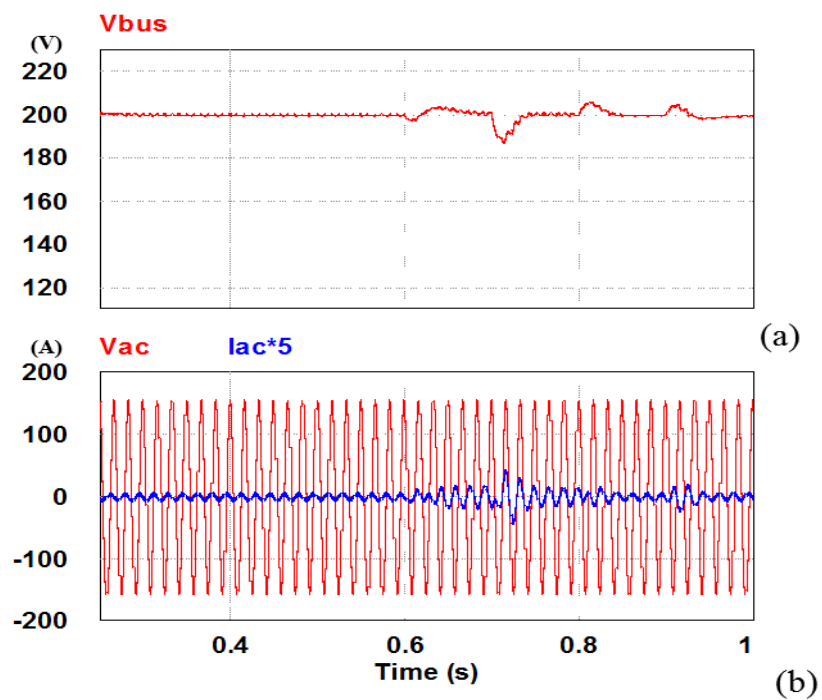


圖 3-41. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓/交流端的電壓(a)/電流的量測值(b)

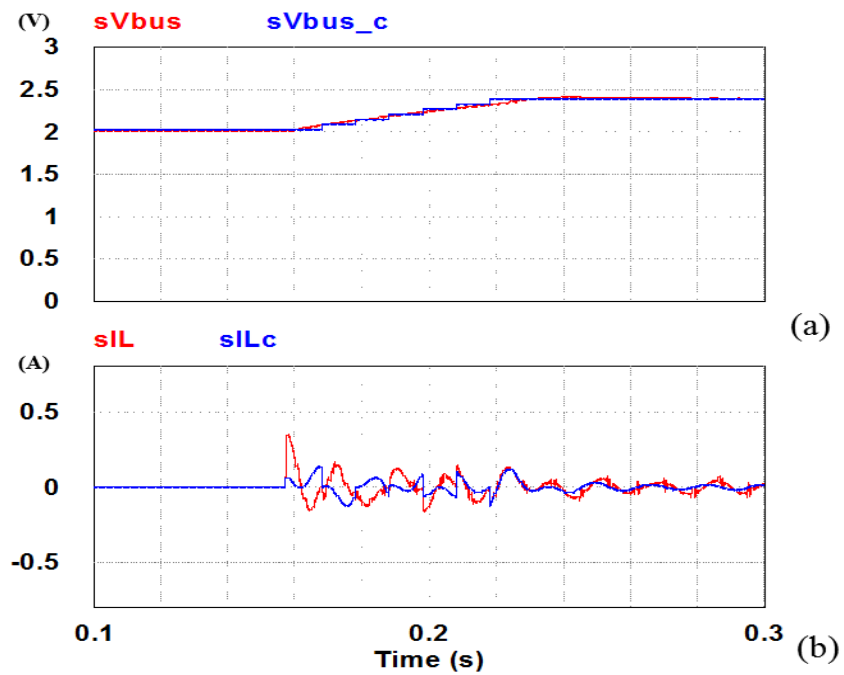


圖 3-42. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和迴授信號(b)

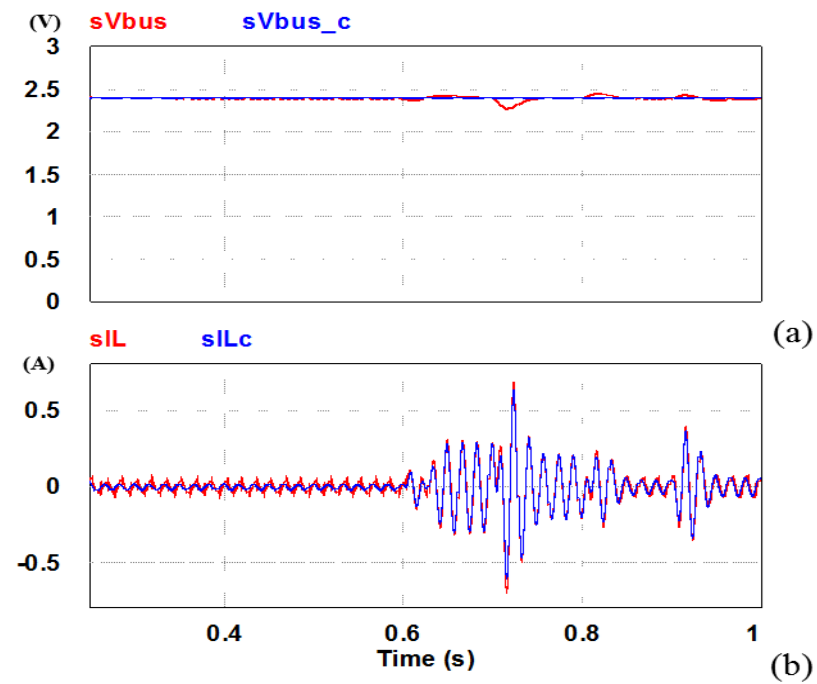
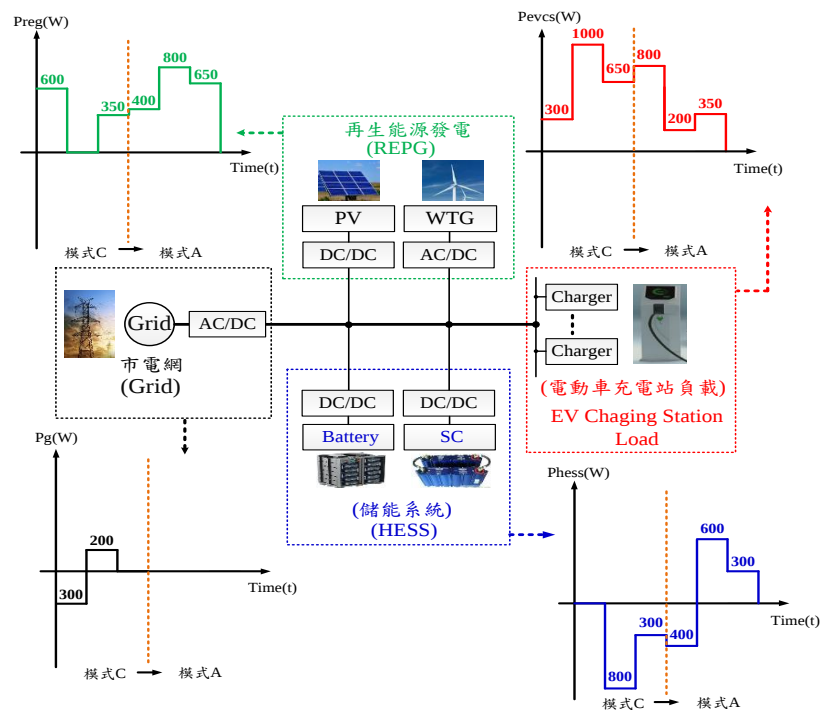


圖 3-43. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和迴授信號(b)

情境 4：模式 C 轉至模式 A

此情境案例之的規劃為上述 EVCS 情境案例 3 之逆向運轉程序模擬，EVCS 混合式儲能系統的電池電量一開始假設處於高的範圍 ($SOC \geq 95$) 區，無法執行獨立運轉，必須工作於模式 C 之併網放電模式。在模擬時間 0.6s 時 HESS 之電池電量降到 75% 時，充電站會自動切換到模式 A 之獨立運轉並進行自由充放電行機制，由 HESS 控制直流匯流排之電壓進而即時平衡 EVCS 之充電負載與再生能源發電。情境 4 之再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃如圖 3-44 所示。圖 3-45 到圖 3-53 為情境 4 模擬之結果。



情境4

圖 3-44. 情境 4 之再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃

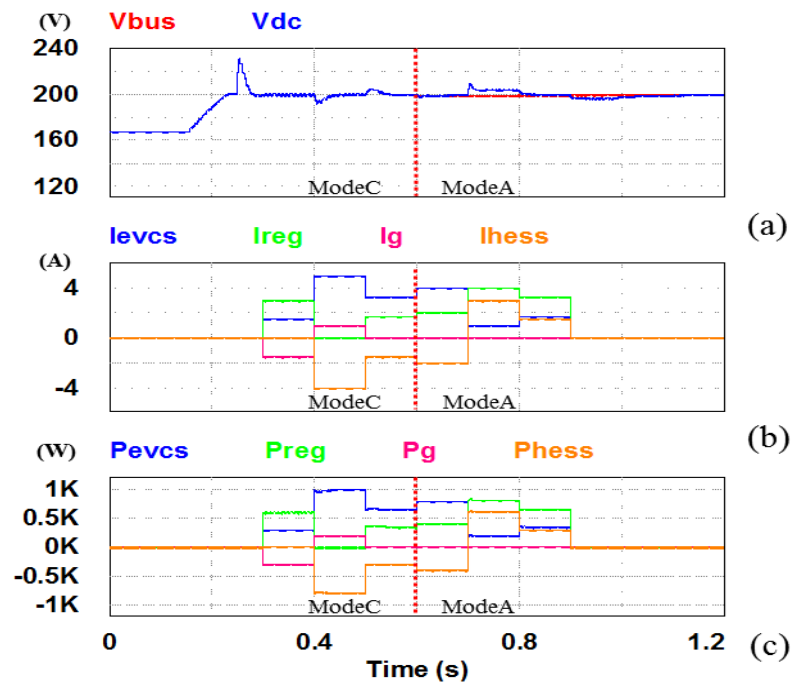


圖 3-45. 整個模擬過程中電池和換流器控制的直流匯流排電壓(a)/每個組件的功率(b)/每個組件的電流(c)

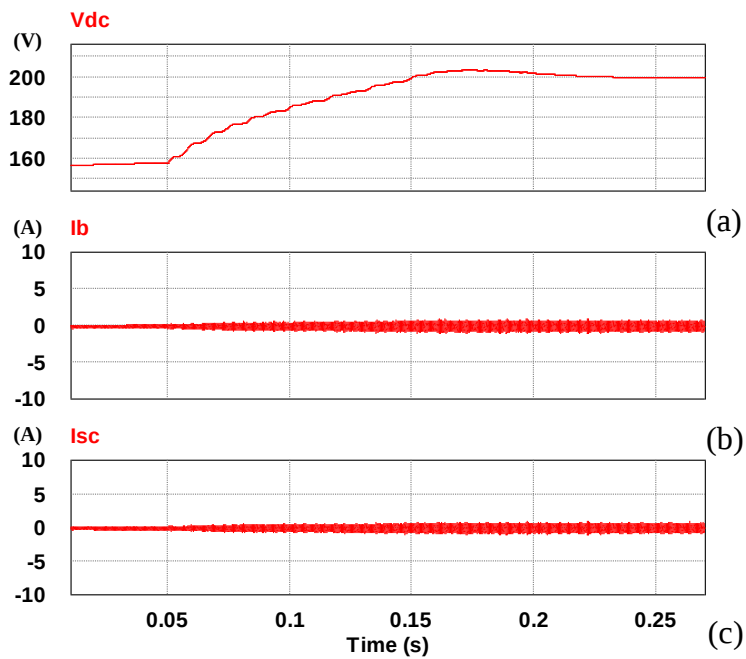


圖 3-46. 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流(c)

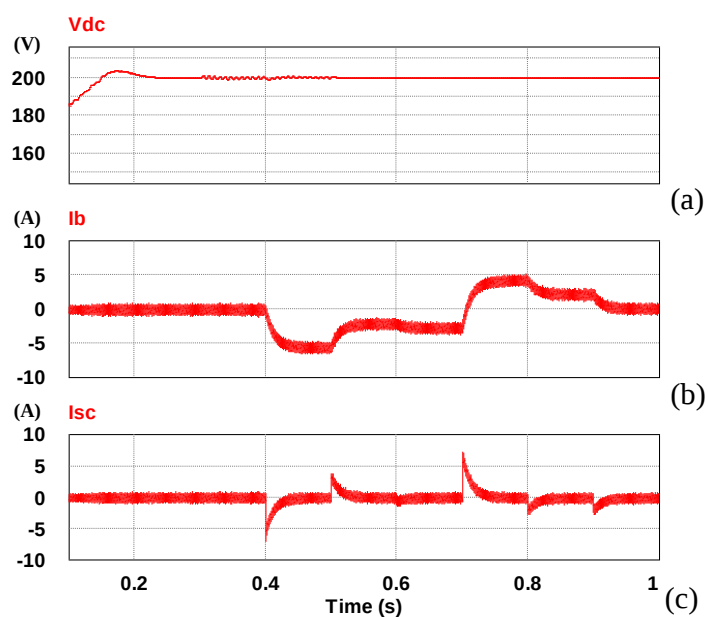


圖 3-47. 情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的量測電流的過程(c)

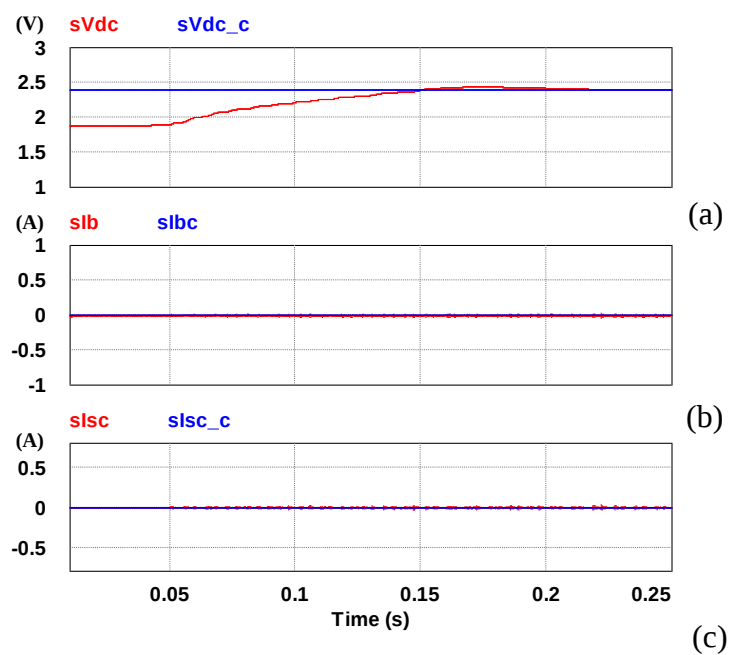


圖 3-48. 啟動時電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流(b)/超級電容的電流的控制命令與回授信號(c)

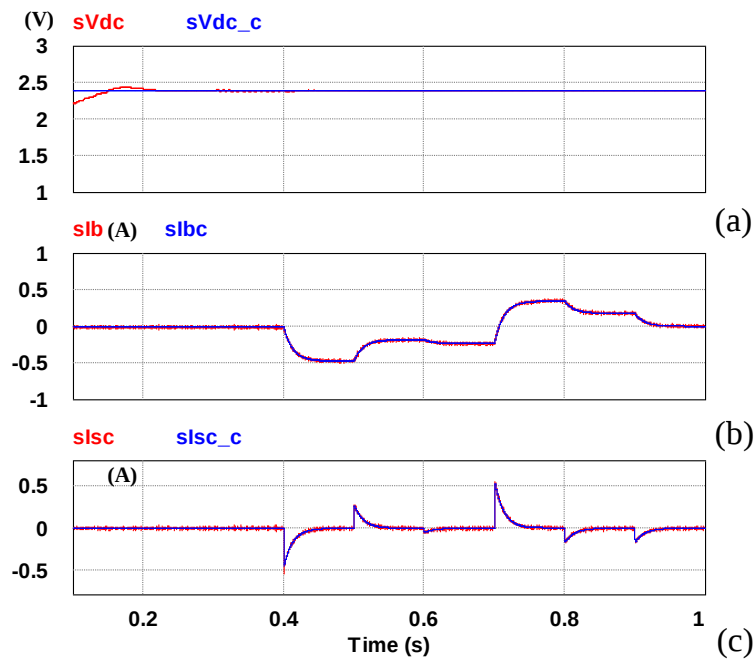


圖 3-49. 情境模擬中電池控制的直流匯流排電壓(a)/電池的量測電流
(b)/超級電容的電流的控制命令與迴授信號(c)

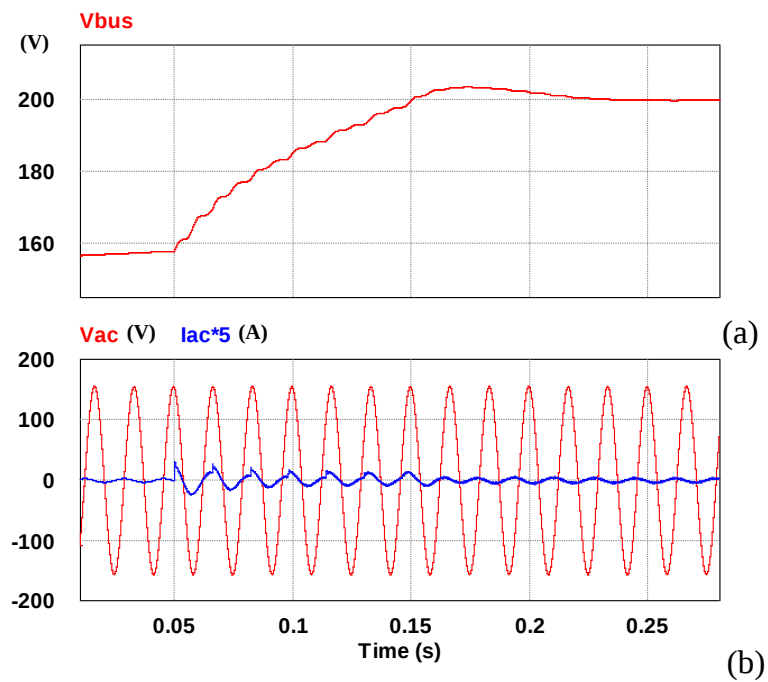


圖 3-50. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓/電
流的量測值(b)

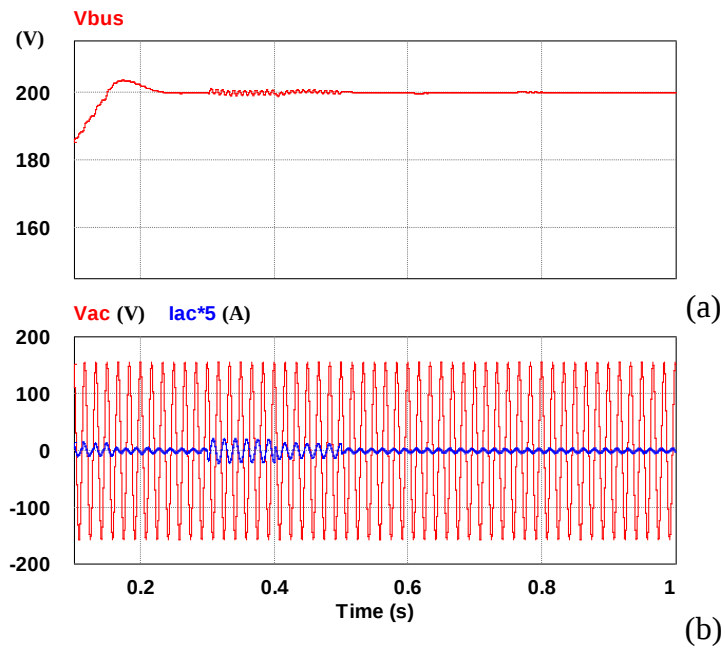


圖 3-51. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電壓/電流的量測值(b)

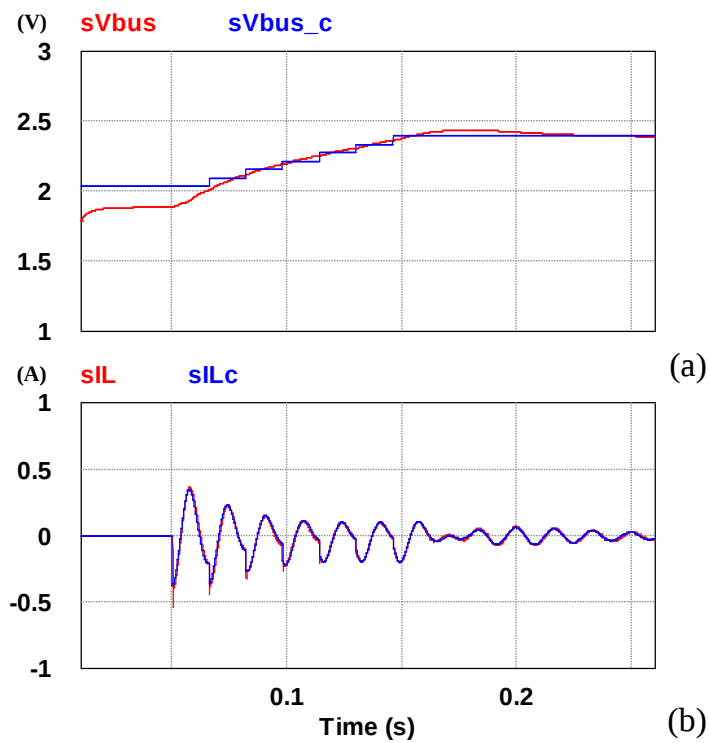


圖 3-52. 啟動時換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和回授信號(b)

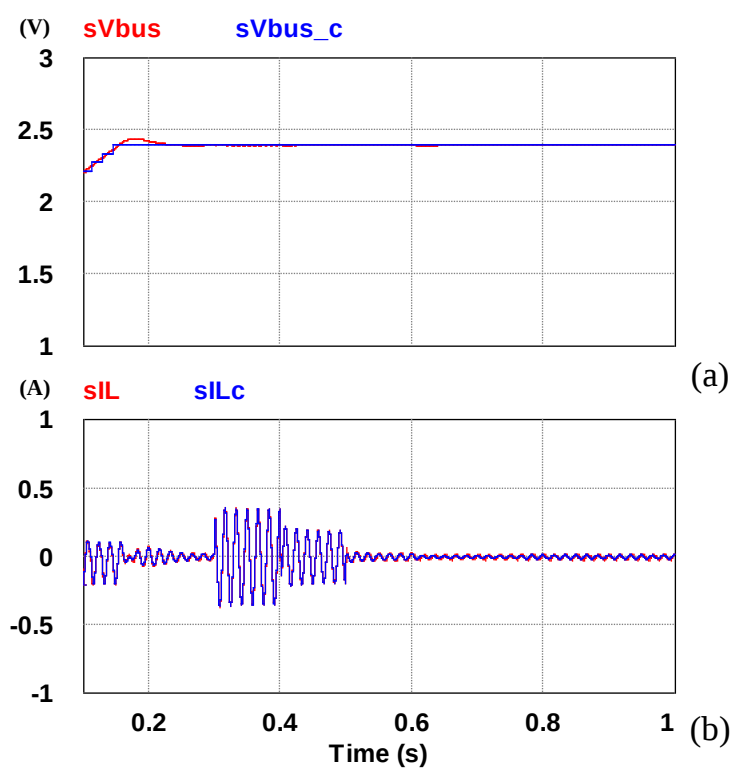


圖 3-53. 情境模擬中換流器控制的直流匯流排電壓(a)/交流端的電感電流的控制命令和回授信號(b)

肆、EVCS 之全系統硬體實作與測試

為了進一步證明本計畫所提之併網型 EVCS 架構、所規劃之運轉模式及控制方案的可行性，本章節將參照第肆章電腦軟體模擬所呈現之四個不同的運轉條件與控制情境，以小容量 1kVA 之硬體系統進行實作驗證所提的 EVCS 工作方式與 HESS 的即時電能控制表現。所規劃的四個實作測試情境分別為：

- 情境 1: 模式 A(獨立運轉模式)轉模式 B(併網充電模式)之實作測試
- 情境 2: 模式 B(併網充電模式)轉模式 A(獨立運轉模式)實作測試
- 情境 3: 模式 A(獨立運轉模式)轉模式 C(併網放電模式)實作測試
- 情境 4: 模式 C(併網放電模式)轉模式 A(獨立運轉模式)實作測試

模式 A~模式 C 之系統運轉條件也一併參照前第貳章之說明進行實作測試。

一、EVCS 之硬體實驗系統

在呈現實作情境案例及結果之前先說明 EVCS 硬體實驗系統之規畫，如報告前面章節所述，本計畫所提併網型 EVCS 完整之系統包含有配電網路(Grid)模組，為配合實驗室電源系統及 EVCS 硬體實作，在所有實作測試案例中，配電網路使用單相 110V/60Hz 之系統，HESS 則規劃由電池組(鋰電池)與超級電容(SC)組成，充電站之變動負載使用可程式之電子負載進行模擬，再生能源發電一般包含有風力發電(WTG)及太陽能(PV)兩個系統，此處使用可程式之直流電源及實驗室中的 DC-DC 降壓轉換器進行模擬。圖 3-1 所示為實驗測試所建構之 EVCS 全系統方塊圖。由圖 3-1 中可看出所提 EVCS 運轉

時其主要電力介面是由一組併網型 AC-DC 換流器及 HESS 的兩組 DC-DC 轉換器所組成，其中 HESS 的兩組 DC-DC 轉換器分別控制電池組與 SC 的充放電功率流達到控制直流匯流排電壓與系統功率平衡的目的，AC-DC 轉換器則是負責於併網模式時控制直流匯流排 (DC BUS) 電壓與系統功率雙向平衡。

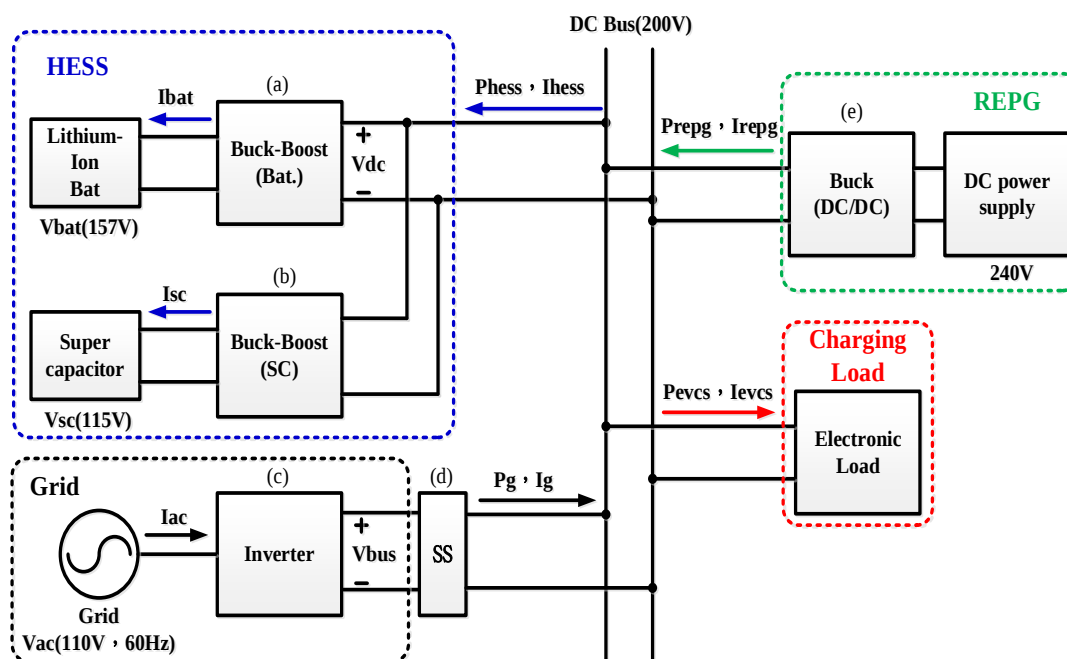


圖 3-1. 實驗測試所建構之各硬體單元與 EVCS 全系統方塊圖

二、EVCS 之實驗案例規劃與測試

本節將以硬體實驗測試所量測之各式波形呈現四個不同的運轉條件與模式轉換控制情境，藉以展現所提的 EVCS 工作方式與 HESS

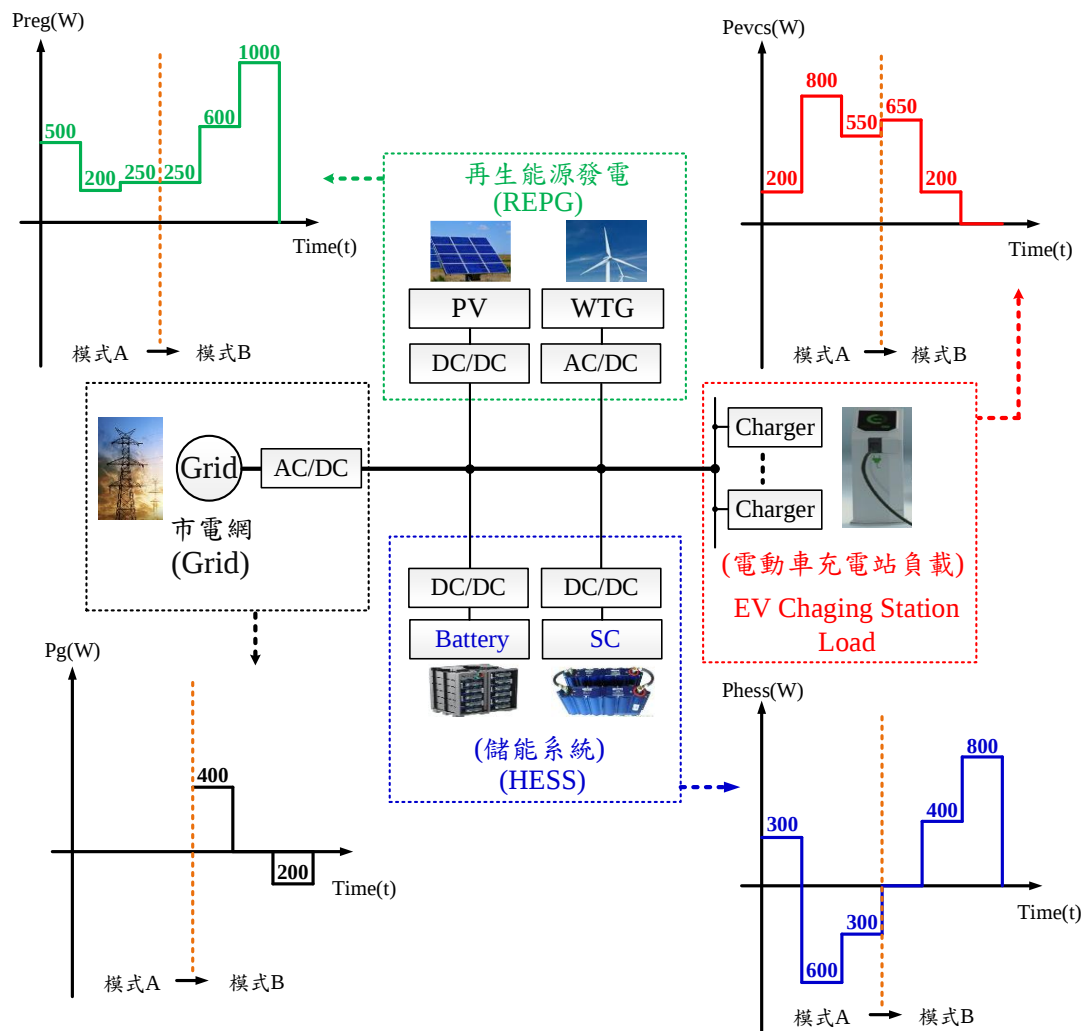
的電能控制特性。所呈現的四個情境依序為情境 1、情境 2、情境 3 及情境 4，各別依序對應到：模式 A 轉模式 B、模式 B 轉模式 A、模式 A 轉模式 C 和模式 C 轉模式 A。

情境 1：模式 A 轉模式 B

此情境的規劃情境為假設充電站的混合式儲能系統的電池電量一開始處在適中的範圍，EVCS 可運轉於獨立模式，此時若陽光及風力不足使再生能源發電量比充電負載還低，混合式儲能系統必須放電以平衡即時功率，當面臨電池電量過低($SOC \leq 20$)時充電站必須切換到模式 B 的併網充電模式，混合式儲能系統由於電池電量過低不宜再進行放電行為，因此讓 HESS 之電池只能充電。這時如果再生能源小於負載基本上全都由市電網供電。本實作案例所規劃的模擬情境相關功率變動及時序如圖 3-2 所示，圖中包含系統的 EVCS 架構及各硬體單元體，系統中每個硬體單元都有其功率曲線，再生能源發電系統的功率曲線為 P_{repg} 、EVCS 充電負載的功率曲線為 P_{evcs} 、市電網的功率曲線為 P_g 和混合式儲能系統(HESS)的功率曲線為 P_{hess} 。

市電網與混合式儲能系統的功率曲線有正負之分，HESS 的功率曲線正值代表充電，負值代表放電，而市電網則顛倒過來，正值代表供電，負值代表電網正在功率逆向饋送。模式的轉換時間點為功率曲線圖中間的虛線所標示。此情境的每個功率曲線總共為 6 個

時段，前 3 個時段(t_1-t_2 ， t_2-t_3 ， t_3-t_4)假設 HESS 電池的電量是適中 ($20 < SOC < 95$)，因此系統運作於模式 A(獨立模式)，後 3 個時段 (t_4-t_5 ， t_5-t_6 ， t_6-t_7) 則假設電池電量過低($SOC \leq 20$)進入模式 B(併網充電模式，混合式儲能系統只充不放)。EVCS 在模式 A 的時段下混合式儲能系統是可以自由地充放電，並且它充放電的功率能補償再生能源和負載的功率差，例如，第 1 個時段再生能源的功率為 500W，負載的功率為 200W，再生能源發電比充電負載多了 300W，此時 HESS 必須充電 300W，其它於模式 A 的時段則以此類推。進入模式 B 之後，混合式儲能系統只充不放，市電網負責平衡功率，本案例規劃了 3 個時段來表現。在第 4 個時段中可發現充電負載比再生能源發電多了 400W，但由於電池電量過低無法放電，因此市電網端負責供電 400W。然後在第 5 個時段再生能源發電比充電負載多了 400W，此時改由 HESS 充電 400W。最後的時段的規劃是為了模擬應對間歇性的再生能源與負載可能出現的極端情況及應對方式，若無充電負載而再生能源發電大於 HESS 的最大充電極限，(本案例設定 HESS 的最大充電極限為 800W)，此時 HESS 的充電命令將設為其極限值 800W，改由市電網來平衡剩餘的功率差，案例中最後 1 個時段，再生能源發電比充電負載多了 1000W，此時混合式儲能系統充電 800W，而市電網逆向饋電 200W。



情境1

圖 3-2. 情境 1 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率規劃。

本實作案例主要呈現的實驗量測波形結果分別為：

1. Boost 及 Inverter 之啟動及建立 EVCS 的直流電壓之程序
2. EVCS 的直流電壓與系統相關單元的四個電流
3. 電池和超級電容在不同模式下的電流
4. 市電網在不同模式下的電壓和電流

為方便觀察，所有實做結果及實驗量測波形圖上皆標有 7 個時間點：t1-t7。其中 t1-t4 為獨立模式，t4-t7 為併網模式。

此情境一開始是以獨立模式運轉，啟動分別為 Boost 和 Inverter 的啟動。Boost 的啟動量測的參數為 I_{bat} 、 I_{sc} 和 V_{dc} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2 和 V_{dc} 為 Ch3，如圖 3-3 所示。Inverter 的啟動量測的參數為 I_{ac} 、 V_{ac} 和 V_{bus} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2 和 V_{bus} 為 Ch3，如圖 3-4 所示。

EVCS 的直流電壓(V_{dc})與系統相關單元的四個電流(I_{hess} 、 I_g 、 I_{repg} 和 I_{evcs})的量測主要分成 2 個部份，第 1 個部份為 I_{evcs} 、 I_{repg} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{evcs} 為 Ch1、 I_{repg} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-5 所示。第 2 個部份為 I_g 、 I_{hess} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_g 為 Ch1、 I_{hess} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-6 所示。

在不同模式下電池和超級電容的電流與 EVCS 的直流電壓為 I_{bat} 、 I_{sc} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-7 所示。

市電網在不同模式下的交流電壓和交流電流配合 EVCS 的直流電壓的量測為 I_{ac} 、 V_{ac} 、 V_{bus} 和 V_{dc} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2、 V_{bus} 為 Ch3 和 V_{dc} 為 Ch4，如圖 3-8 所示。

情境 2：模式 B 轉至模式 A

此情境的規劃為的 EVCS 之 HESS 電池電量初始條件處在過低的範圍($SOC \leq 20$)，此時 EVCS 必須由併網換流器(DC-AC Inverter)執行啟動程序。假設風力及陽光量非常充足，使再生能源發電量比充電負載還多，此時 HESS 必須優先執行充電，當 HESS 之電池電量(SOC)回到 30%時，充電站將由模式 B 切換到模式 A。此情境中市電網適時為充電站之負載供電，在 HESS 電池達到其充電功率極限時會將剩餘的再生能源發電量逆送回市電網。此情境的實作規劃也是將 EVCS 之運作過程分為 6 個時段(t_1 - t_7)，前 3 個時段(t_1 - t_4)假設 HESS 電池電量過低，充電站處於模式 B 的運作方式，因此 HESS 只能充電。後 3 個時(t_4 - t_7)段則假設 HESS 之電池電量已回升到 30%，運轉模式切換至模式 A，此情境之各裝置功率時序圖如圖 3-9 所示。

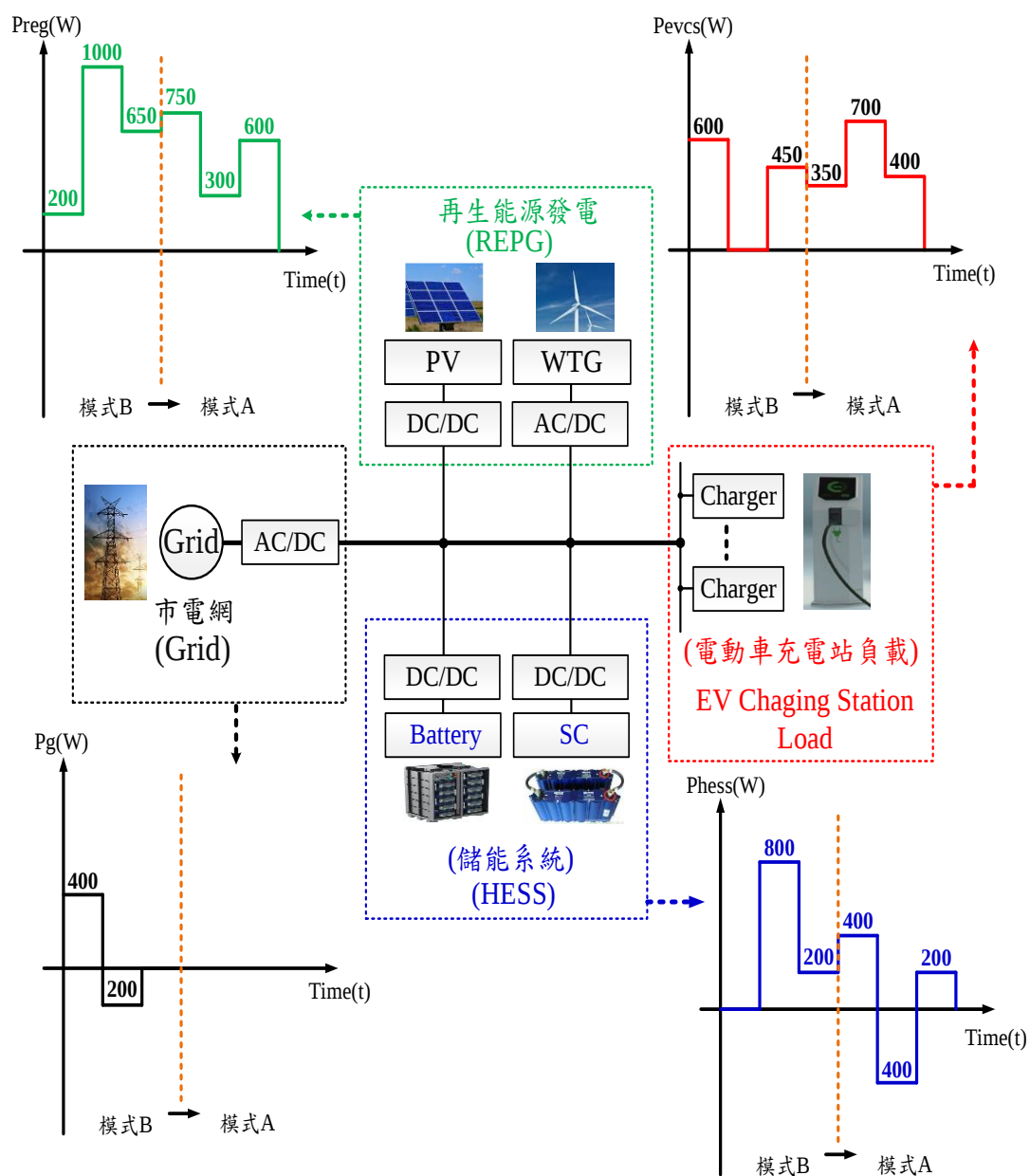


圖 3-9. 情境 2 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率規劃。

本情境所有實做結果及實驗量測波形圖上皆標有 7 個時間點：
t1-t7。其中 t1-t4 為併網模式， t4-t7 為獨立模式。

此情境一開始是以併網模式運轉，單獨啟動 Inverter 建立以建立

EVCS 的直流電壓(V_{dc})。Inverter 的啟動量測的參數為 I_{ac} 、 V_{ac} 和 V_{bus} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2 和 V_{bus} 為 Ch3，如圖 3-10 所示。

EVCS 的直流電壓(V_{dc})與系統相關單元的四個電流(I_{hess} 、 I_g 、 I_{repg} 和 I_{evcs})的量測與前一情境之安排相同，分成 2 個部份，第 1 個部份為 I_{evcs} 、 I_{repg} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{evcs} 為 Ch1、 I_{repg} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-11 所示。第 2 個部份為 I_g 、 I_{hess} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_g 為 Ch1、 I_{hess} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-12 所示。

在不同模式下電池和超級電容的電流與 EVCS 的直流電壓為 I_{bat} 、 I_{sc} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-13 所示。3-14

市電網在不同模式下的交流電壓和交流電流配合 EVCS 的直流電壓的量測為 I_{ac} 、 V_{ac} 、 V_{bus} 和 V_{dc} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2、 V_{bus} 為 Ch3 和 V_{dc} 為 Ch4，如圖 3-14 所示。

情境 3：模式 A 轉至模式 C

此情境的規劃為 EVCS 的 HESS 電池電量處在適中的範圍，EVCS 由獨立運轉(模式 A)啟動，此時若風力及陽光充足，再生能源發電量比負載還多，混合式儲能系統充電時間長，當面臨電池電量過高時($SOC \geq 95$) EVCS 須切換到模式 C 之併網放電模式運轉。此情境的模擬規劃也是將每個裝置之運作方式分為 6 個時段，情境 3 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃如圖 3-15 所示。

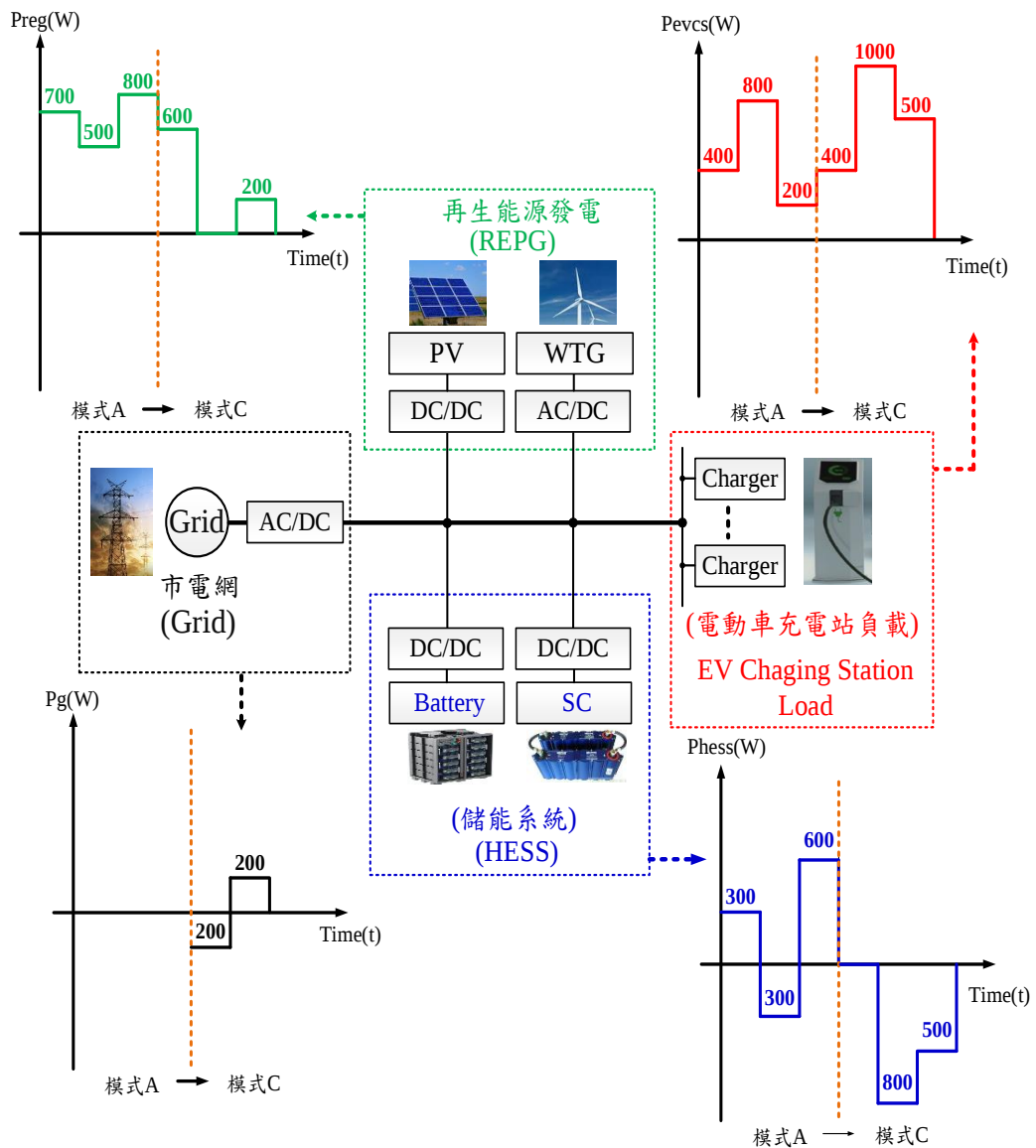


圖 3-15. 情境 3 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率流規畫。

此情境一開始是以獨立模式運轉，啟動分別為 Boost 和 Inverter 的啟動。Boost 的啟動量測的參數為 I_{bat} 、 I_{sc} 和 V_{dc} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2 和 V_{dc} 為 Ch3，如圖 3-16 所示。Inverter 的啟動量測的參數為 I_{ac} 、 V_{ac} 和 V_{bus} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2

和 V_{bus} 為 Ch3，如圖 3-17 所示。

EVCS 的直流電壓(V_{dc})與系統相關單元的四個電流(I_{hess} 、 I_g 、 I_{reg} 和 I_{evcs})的量測主要分成 2 個部份，第 1 個部份為 I_{evcs} 、 I_{reg} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{evcs} 為 Ch1、 I_{reg} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-18 所示。第 2 個部份為 I_g 、 I_{hess} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_g 為 Ch1、 I_{hess} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-19 所示。

在不同模式下電池和超級電容的電流與 EVCS 的直流電壓為 I_{bat} 、 I_{sc} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-20 所示。

市電網在不同模式下的交流電壓和交流電流配合 EVCS 的直流電壓的量測為 I_{ac} 、 V_{ac} 、 V_{bus} 和 V_{dc} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2、 V_{bus} 為 Ch3 和 V_{dc} 為 Ch4，如圖 3-21 所示。

情境 4：模式 C 轉至模式 A

此情境案例之的規劃為上述 EVCS 情境案例 3 之逆向運轉程序切換，EVCS 混合式儲能系統的電池電量一開始假設處於高的範圍 ($SOC \geq 95$) 區，無法執行獨立運轉，必須工作於模式 C 之併網放電模式。當 HESS 之電池電量降到 75% 時，充電站會自動切換到模式 A 之獨立運轉並進行自由充放電行機制，由 HESS 控制直流匯流排之電壓進而即時平衡 EVCS 之充電負載與再生能源發電。情境 4 之再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率時序規劃如圖 3-22 所示。此情境一開始是以併網模式運轉，單獨啟動 Inverter 建立以建立 EVCS 的直流電壓 (V_{dc})。Inverter 的啟動量測的參數為 I_{ac} 、 V_{ac} 和 V_{bus} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2 和 V_{bus} 為 Ch3，如圖 3-23 所示。EVCS 的直流電壓 (V_{dc}) 與系統相關單元的四個電流 (I_{hess} 、 I_g 、 I_{reg} 和 I_{evcs}) 的量測與前一情境之安排相同，分成 2 個部份。其中， I_{evcs} 為 Ch1、 I_{reg} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-24 所示。第 2 部份之 I_g 為 Ch1、 I_{hess} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-25 所示。在不同模式下電池和超級電容的電流與 EVCS 的直流電壓為 I_{bat} 、 I_{sc} 、 V_{dc} 和 V_{bus} 。其中， I_{bat} 為 Ch1、 I_{sc} 為 Ch2、 V_{dc} 為 Ch3 和 V_{bus} 為 Ch4，如圖 3-26 所示。市電網在不同模式下的交流電壓和交流電流配合 EVCS 的直流電壓的量測為 I_{ac} 、 V_{ac} 、 V_{bus} 和 V_{dc} 。其中， I_{ac} 為 Ch1、 V_{ac} 為 Ch2、

V_{bus} 為 Ch3 和 V_{dc} 為 Ch4，如圖 3-27 所示。

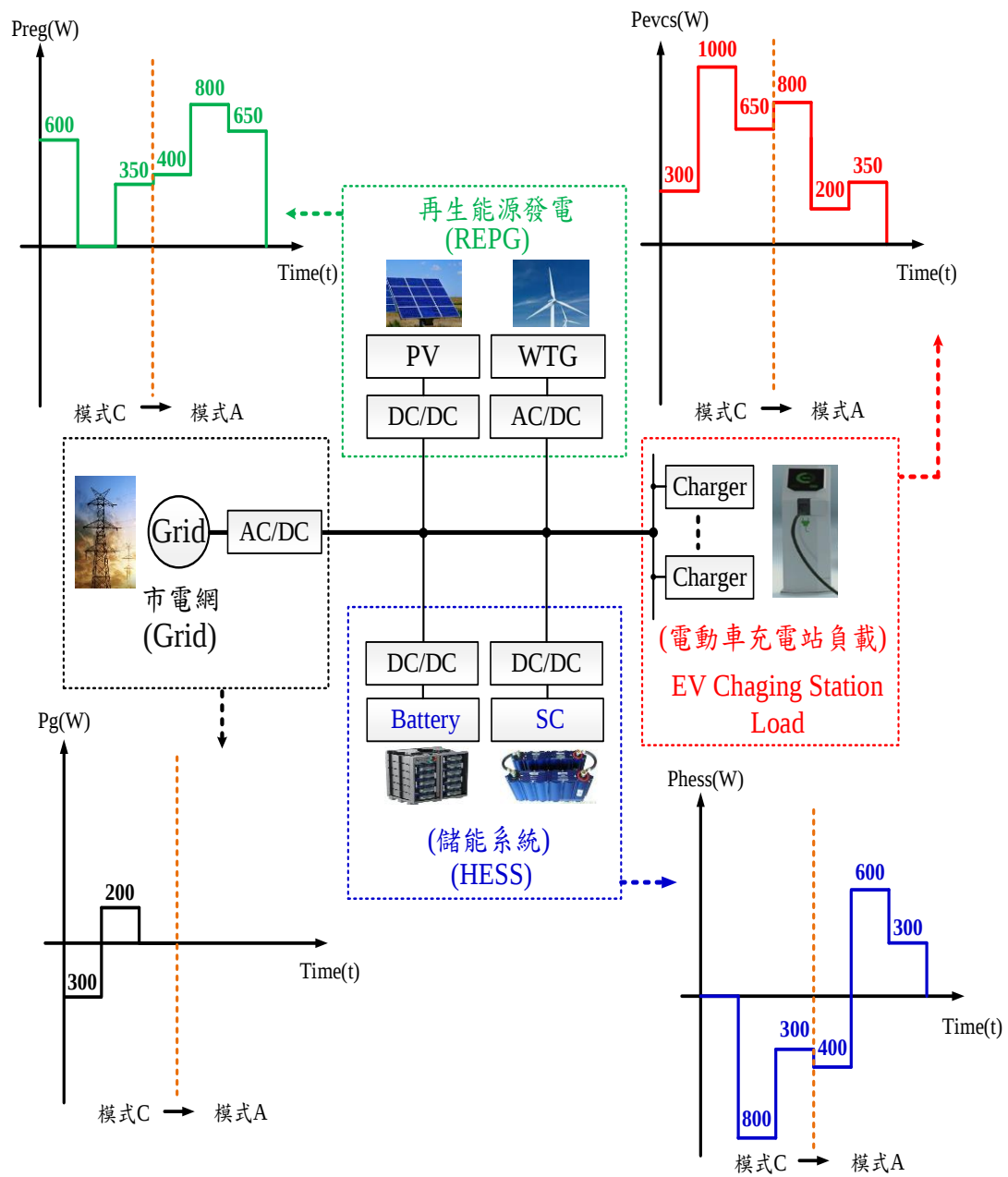


圖 3-22. 情境 4 的再生能源/充電站負載/混合式儲能系統/市電網的功率流規畫。

伍、結論

近年來，燃油汽車及交通運輸工具所帶來的空氣污染問題日益嚴重，從工程技術面來看，發展電動車是改善傳統內燃機驅動車輛高排碳問題極為合適的解決方案。而適當的充電站系統規劃與發展先進的電能控制方案以降低電網衝擊是實現車輛全面電動化的重要基礎。從文獻之發表情況可以發現電動車充電站電能管理與控制技術的發展一直都是電能領域中熱門研究主題之一，舉凡進階儲能系統、電力電子技術與數位化控制之整合應用於含再生能源發電及電動車充電站之即時電能優化管理與運轉控制近幾年都吸引不少學者及政府單位投入研究能量。目前國內學界各大學的電能所屬研究群針對整合再生能源發電及儲能系統之電動車快速充電站之進階運轉與電能優化控制並無標竿性之論述。國外的部份，相關研究報告及文獻已發表甚多，惟與本計畫所提考慮之併網型 EVCS 系統運轉模式、電能優化及整合混合型儲能與電能控制策略之類似進階電能控制方案則較少發現突破性之研究成果。充電站系統架構可分為獨立型及併網型，以應用廣度及運轉彈性來看併網型是主要的發展趨勢。

本研究報告內容分有五個章節，已完整呈現計畫預計完成之研究工作及結果。主要內容有研究工作項目 1 之電動車充電站(EVCS)系統電能控制相關文獻探討與分析，混合式儲能系統(HESS)種類、相關系統設計、應用與 EVCS 電能控制方案；工作項目 2 之整合再生能源發電與 HESS 之 EVCS 系統運轉模式探討與規劃，EVCS 各運轉模式下 HESS 所需之硬體控制架構、相關控制器與演算法及工作項目 3 之 EVCS 全系統軟體模型、相關控制器程式之撰寫與案例模

擬、HESS 之 1kVA 小容量硬體實驗系統實作、全系統測試與驗證結果分析與檢討。

本計畫已依契約規範完成全部之研究工作項目及其他與本計畫相關之論文撰寫、投稿及發表等事項。從本計畫之情境模擬與硬體實驗結果足以證明所提併網型 EVCS 電能控制方案及模式轉換策略具可行性。

陸、参考文献

1. L.G. González, E. Siavichay and J.L. Espinoza, "Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.107, pp.309-318
2. Liu Jian, Zhao Yongqiang and Kim Hyoungmi, "The potential and economics of EV smart charging: A case study in Shanghai," *Energy Policy*, Vol.119, pp.206-214, 2018
3. Sebastian Rivera and Bin Wu, "Electric Vehicle Charging Station With an Energy Storage Stage for Split-DC Bus Voltage Balancing," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, Vol. 32, No. 3, pp.1-11, 2017
4. Daniel Kucevic, Stefan Englberger, Anurag Sharma, Anupam Trivedi, Benedikt Tepe, Birgit Schachler, Holger Hesse, Dipti Srinivasan and Andreas Jossen, "Reducing grid peak load through the coordinated control of battery energy storage systems located at electric vehicle charging parks," *Applied Energy*, Vol.295, No.116936, pp.1-14, 2021
5. Shakti Singh, Shubhangi Jagota and Mukesh Singh, "Energy management and voltage stabilization in an islanded microgrid through an electric vehicle charging station," *Sustainable Cities and Society*, Vol.41, pp.679-694, 2018
6. Tao Rui, Cungang Hu, Guoli Li, Jisheng Tao, Weixiang Shen, "A distributed charging strategy based on day ahead price model for PV-powered electric vehicle charging station," *Applied Soft Computing Journal*, Vol.76, pp.638-648, 2019
7. Reza Hemmati and Hedayat Saboori, "Emergence of hybrid

- energy storage systems in renewable energy and transport applications – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.65, pp.11-23, 2016
8. J.A. Domínguez-Navarro, R. Dufo-López, J.M. Yusta-Loyo, J.S. Artal-Sevil and J.L. Bernal-Agustín, “Reducing grid peak load through the coordinated control of battery energy storage systems located at electric vehicle charging parks,” *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.105, pp.46-58, 2019
 9. Xiaojuan Han, Yubo Liang, Yaoyao Ai and Jianlin Li, “Economic evaluation of a PV combined energy storage charging station based on cost estimation of second-use batteries,” *Energy*, Vol.165, pp.326-329, 2018
 10. George Hiltona, Mahdi Kiaee, Thomas Bryden, Andrew Cruden and Alan Mortimerb, “The case for energy storage installations at high rate EV chargers to enable solar energy integration in the UK – An optimised approach,” *Journal of Energy Storage*, Vol.21, pp.435-444, 2019
 11. Baojun Sun, “A multi-objective optimization model for fast electric vehicle charging stations with wind, PV power and energy storage,” *Journal of Cleaner Production*, Vol.288, No.125564, pp.1-17, 2021
 12. Tao Yi, Xiaobin Cheng, Yaxuan Chen and Jinpeng Liu, “Joint optimization of charging station and energy storage economic capacity based on the effect of alternative energy storage of electric vehicle,” *Energy*, Vol.208, No.118357, pp.1-15, 2020
 13. Houqi Dong, Liying Wang, Xuan Wei, Yanbin Xu, Weikang Li, Xiaochun Zhang and Ming Zeng, “Capacity planning and pricing design of charging station considering the uncertainty of user behavior,” *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.125, No.106521, pp.1-13, 2021
 14. Ashish Kumar Karmakera, Md. Raju Ahmed, Md. Alamgir Hossain, Md. Mamun Sikder, “Feasibility assessment & design of hybrid renewable energy based electric vehicle charging station in Bangladesh,”

- Sustainable Cities and Society, Vol.39, pp.189-202, 2018
15. Luis Baringoa, Luigi Boffino and Giorgia Oggioni, "Robust expansion planning of a distribution system with electric vehicles, storage and renewable units," *Applied Energy*, Vol.265, No.114679, pp.1-25, 2020
 16. Hasan Mehrjerdi and Reza Hemmati, "Stochastic model for electric vehicle charging station integrated with wind energy," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol.37, No.100577, pp.1-6, 2020
 17. Hasan Mehrjerdi and Reza Hemmatib, "Electric vehicle charging station with multilevel charging infrastructure and hybrid solar-battery-diesel generation incorporating comfort of drivers," *Journal of Energy Storage*, Vol.26, No.100924, pp.1-9, 2019
 18. Desheng Li, Adama Zouma, Jian-Tang Liao and Hong-Tzer Yang, "An energy management strategy with renewable energy and energy storage system for a large electric vehicle charging station," *eTransportation*, Vol.6, No.100076, pp.1-15, 2020
 19. Karima Kouka, Abdelkarim Masmoudi, Achraf Abdelkafi and Lotfi Krichen, "Dynamic energy management of an electric vehicle charging station using photovoltaic power," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Vol.24, No.100402, pp.1-10, 2020
 20. Stefano Leonori, Giorgio Rizzoni, Fabio Massimo Frattale Mascioli and Antonello Rizzi, "Intelligent energy flow management of a nanogrid fast charging station equipped with second life batteries," *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.127, No.106602, pp.1-19, 2021
 21. Md Abdul Quddus, Mohannad Kabli and Mohammad Marufuzzaman, "Modeling electric vehicle charging station expansion with an integration of renewable energy and Vehicle-to-Grid sources," *Transportation Research Part E*, Vol.128, pp.251-279, 2019
 22. Ujjwal Datta, Akhtar Kalam and Juan Shi, "Smart control of BESS in PV integrated EV charging station for reducing transformer overloading and providing battery-to-grid service," *Journal of Energy Storage*, Vol.28, No.101224, pp.1-10, 2020
 23. Shuoqi Wang, Languang Lu, Xuebing Han, Mingguo Ouyang and Xuning

- Feng,“Virtual-battery based droop control and energy storage system size optimization of a DC microgrid for electric vehicle fast charging station,” *Applied Energy*,Vol.259,No.114146,pp.1-12,2020
24. Kalpesh Chaudhari, Abhisek Ukil, K Nandha Kumar, Ujjal Manandhar and Sathish Kumar Kollimalla,“Hybrid Optimization for Economic Deployment of ESS in PV-Integrated EV Charging Stations,” *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, Vol.14, No.1,pp.1-11,JANUARY 2018
 25. Qin Yan, Bei Zhang and Mladen Kezunovic,“Optimized Operational Cost Reduction for an EV Charging Station Integrated With Battery Energy Storage and PV Generation,” *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, Vol.10, No.2,pp.1-11,MARCH 2019
 26. Pablo García-Triviño, Juan P. Torreglosa, Luis M. Fernández-Ramírez and Francisco Jurado,“Decentralized Fuzzy Logic Control of Microgrid for Electric Vehicle Charging Station,” *IEEE JOURNAL OF EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER ELECTRONICS*,Vol.6, No.2,pp.1-12,JUNE 2018
 27. Abdul Rauf Bhatti and Zainal Salam,“A rule-based energy management scheme for uninterrupted electric vehicles charging at constant price using photovoltaic-grid system,” *Renewable Energy*,Vol.125,pp.384-400,2018