

以粒子群演算法求解低壓微電網最佳儲能排程

Optimal Battery Energy Storage Schedule in Low Voltage Microgrid by PSO Algorithm

黃維澤¹ 蕭耀賢¹ 林韋辰¹ 陳良瑞²
Wei-Tzer Huang Chai-Hsien Hsiao Wei-Chen Lin Liang-Rui Chen
粘為鈞¹
Wei-Chun Nien

¹ 國立彰化師範大學 工業教育與技術學系
Department of Industrial Education and Technology, National Changhua University of Education
Changhua City, Taiwan, R.O.C.
* vichuang@cc.ncue.edu.tw

² 國立彰化師範大學 電機工程學系
Department of Electrical Engineering, National Changhua University of Education
Changhua City, Taiwan, R.O.C.
lrchen@cc.ncue.edu.tw

摘要

過去電廠集中式電源產生數百或是數千百萬瓦電力，再透過輸電與配電網路提供在遠處的用戶可負擔的電力。而今日追求規模小、模組化的小型發電系統，其優點為電力的產生者不再只有電力公司，用戶可化為生產者，自行建置太陽光電，透過管理相互連結的電源和負載，整合為微電網，配合儲能系統智慧管理，達到最小化能源成本。本文應用粒子群演算法探討太陽能與儲能系統對電網成本最佳化研究，成果可提供微電網經濟調度相關研究之參考。

關鍵詞：粒子群演算法、經濟調度、再生能源。

Abstract

In the past, power plants used centralized power generation to generate hundreds or thousands of megawatts of power, and then provided power to users in the distance through transmission and distribution grids. Today, the pursuit of small-scale, modular power generation systems has the advantage that the generator of the power supply is no longer only the power company. The user can be turned into a producer, build the solar photovoltaic by itself, and integrate by managing the interconnected power supply and load. For the microgrid, cooperate with the intelligent management of the energy storage system to minimize energy costs. In this paper, the particle swarm optimization (PSO) algorithm is used to discuss the optimization of solar power and energy storage systems to the cost of the power grid. The results can provide reference for the research on microgrid economic dispatch.

Keywords: PSO, economic dispatch, renewable energy

I. 簡介

過去配電系統分析僅需考慮負載模型，其結構單純，主

要分為住宅、商業、工業類型，由於工商業蓬勃發展，發電方式也不僅僅限於一種，人類對電力的需求量與日俱增，用電量屢創新高。以目前台灣地區電力吃緊的情況而言，開源節流是最好解決方法，但電廠用地取得不易，且環保意識高漲，因此在「節流」方面，更顯得其重要性。微電網系統改變了過去傳統電網的架構模式，改進以前電網的可靠度、安全性、穩固性、能源效率、環境衝擊及財務效益，達到運用現有電力能源，做最適當的調度與運用，在最經濟有效的前提下，供應穩定而可靠的電力給用戶，實為解決了現代電力供應業者的當務之急。本文將以彰化師大寶山校區為例，運用 python 龐大資料庫撰寫粒子群演算法，觀察各發電機組於各規劃時段之發電狀態及發電量，決定經濟調度問題，同時滿足系統各項限制條件，以使得總發電成本最低為目標。

II. 系統介紹及參數設定

2.1 系統描述

微電網系統乃分散式發電設備與負載連結而成，透過負載管理及儲能技術的整合，導入資訊與通訊，將高滲透率的再生能源發電系統有效整合至電網，使得電網更具彈性、互動、即時反饋，進而達成預期的成果與目標。近來政府大力推動，以預計 2025 年達成再生能源佔比 20% 為目標。當這些綠能裝置容量成長至一定占比後，將會造成電力潮流逆送到配電系統，再生能源的間歇發電勢必對電網運轉帶來配電饋線電壓擾動與調度不易的衝擊，亦影響區域電力系統供電品質與電網運轉穩定性。此時微電網削峰填谷的特性，就是再生能源的後盾，可以有效減少綠能併入電網造成的電壓浮動影響區域電網供電，減低電網負荷及降低尖峰用電的系統設備需求規格及成本，配合時間電價制度，抑制用電行為，達到節能減碳之目的。

P_{BESS}^t : 時間 t 電池儲能系統輸入輸出功率(kW)

III. PSO 演算法

3.1 PSO 簡述

粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)此方法由 James Kennedy 和 Russell Eberhart 所提出[2]，概念為模擬鳥類群體覓食的最佳化探索，圖形化不可預測的運動。透過對動物社會行為的觀察，藉以推得在進行遷移或覓食時發生的認知模式及社會模式。演算法中，每一個體都稱作粒子，在空間中都擁有各自的位置與速度，而每個粒子即代表問題的一個隨機可能解，根據模型可以得到適應值優化問題，根據粒子本身移動的最佳經驗，產生認知學習，修正下一次移動的方向；或是粒子間會在個體也會與群體進行當中的最佳經驗比較，選出當前的最優粒子追隨，產生社會學習進行調整，在每一次疊代中，粒子通過跟蹤兩個"極值"來更新自己，直到求出問題的最佳解。

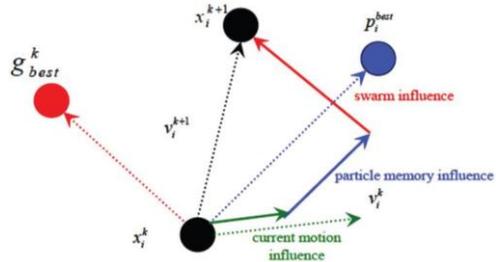


圖 2 PSO 粒子行為模擬示意圖

$$V_n^{i+1} = W * V_n^i + C_1 * rand * (P_{bestn}^i - S_n^i) + C_2 * rand * (G_{bestn}^i - S_n^i) \quad (3)$$

$$S_n^{i+1} = S_n^i + V_n^{i+1} \quad (4)$$

其中，

W : 慣性權重

V_n^i : 粒子 n 在第 i 次迭代時的移動速度

C_1, C_2 : 學習因子，範圍為 0 至 1 之間的隨機亂數

P_{bestn}^i : 粒子 n 在第 i 次迭代時的個體最佳解

S_n^i : 粒子 n 在第 i 次迭代時的位置

G_{bestn}^i : 粒子 n 在第 i 次迭代時的群體最佳解

在粒子群最佳化演算法裡，需要設定的參數少，方法容易實現，適合用於解決分散式能源配電系統之經濟調度最佳化組合問題。因此，本文中以粒子群最佳化演算法為核心，運用在學校的微電網經濟調度，針對問題進行求解工作。

3.2 最佳化目標

以 PSO 運算最佳化電網成本[3][4][5]，目標為準確拿捏電池充放電時段，在離峰時充電，為求不超過契約容量，達到最佳電池電量。本文 PSO 演算法中 V 表電池充放電速度。

目標函數：

$$\text{Min cost} = \sum_{i=1}^{24} (C_i^{BESS} + C_i^{PV} + C_i^{Grid}) \quad (5)$$

其中，

C_i^{BESS} = 儲能充放電成本

C_i^{PV} = 太陽能躉售價格

C_i^{Grid} = 購入市電成本

表 1 PSO 參數設定表

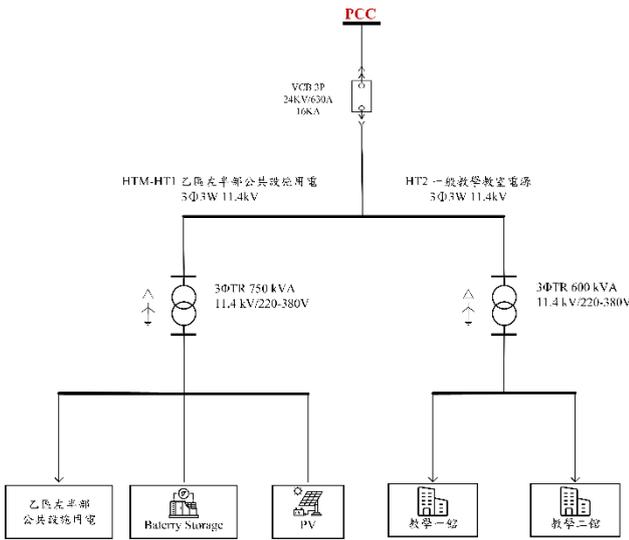


圖 1 系統架構

2.2 太陽光電

利用來自太陽輻射出的光發展而成的能量之一，實驗證實太陽所傳到地球的總能量(到達上大氣層之總量)每年達 1.551 百萬度之多。其中大約 35% 被反射回太空去，18% 被大氣層所吸收，47% 到達地面。因為資源豐富，取得容易且無需運輸，其特點在於普遍性、永久性、低汙染，所以是再生能源之中發展相對成熟的一種能源供應模式。太陽能板蒐集太陽光電的技術已經大幅應用於日常生活，相關電池的組件，板子追蹤太陽角度的計算，各式型態設計改善效率等都已有的研究依據，在產品的開發上更是多元。

2.3 電池儲能系統

當前的電網效率系統低，大量浪費生產出的電力，因為在消費者所需的能量數與從發電源產生的能量數之間存在誤差。因此發電廠通常會產生超過需量的功率，確保足夠的電力品質。然而透過電池儲能系統可以立即對電網需求做出反應，達到利用電網內的能量存儲可以準確地監視和控制，改善電網穩定性，減少電源間斷性。[1]目前已經成功進入商業化的能源系統。

儲能系統電能殘量限制：

$$SoC_{min} \leq SoC_{BESS}^t \leq SoC_{max} \quad (1)$$

其中，

SoC_{BESS}^t : 時間 t 電池電能殘量(kW)

SoC_{min} : 電池電能殘量最小值(kW)

SoC_{max} : 電池電能殘量最大值(kW)

2.4 負載

情境上必須配合電力傳輸、資通訊控制及能源管理技術，整合分散式電源的供應狀況預估發電、調度電能。本文以汙水處理廠的微電網為例，根據每日的用電所需去進行負載預測，像是四季差異，工作日與非工作日。

功率平衡限制：

$$P_{Grid}^t + P_{PV}^t = P_{Load}^t - P_{BESS}^t \quad (2)$$

其中，

P_{Grid}^t : 時間 t 市電貢獻功率(kW)

P_{PV}^t : 時間 t 太陽能發電量(kW)

P_{Load}^t : 時間 t 負載量(kW)

參數名稱			
粒子數量	迭代次數	C1	C2
400	100	2	2



圖 3 PSO 程式流程圖

IV. 模擬情境&分析探討

4.1 模擬情境

依據 2017 一整年度資料，我們切分成春夏秋冬四季，再加上工作與非工作的時段用電差異，探討 8 種模擬情境的最佳電池電量。

表 2 模擬情境設定表

Scenario	Season	day	Sell PV
#1	Spring	workday	○
#2			×
#3	Spring	weekend	○
#4			×
#5	Summer	workday	○
#6			×
#7	Summer	weekend	○
#8			×
#9	Fall	workday	○
#10			×
#11	Fall	weekend	○
#12			×
#13	Winter	workday	○
#14			×
#15	Winter	weekend	○
#16			×

4.2 模擬結果分析&探討

(a) Spring

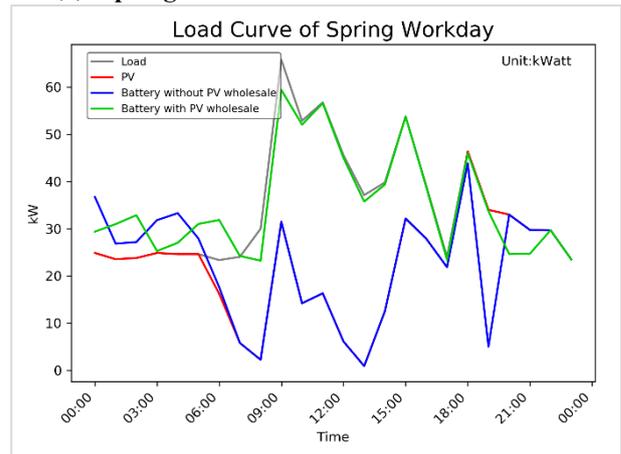


圖 4 春季工作日負載曲線

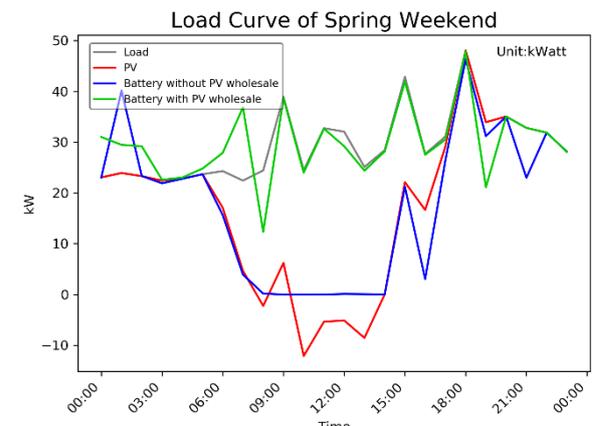


圖 5 春季假日負載曲線

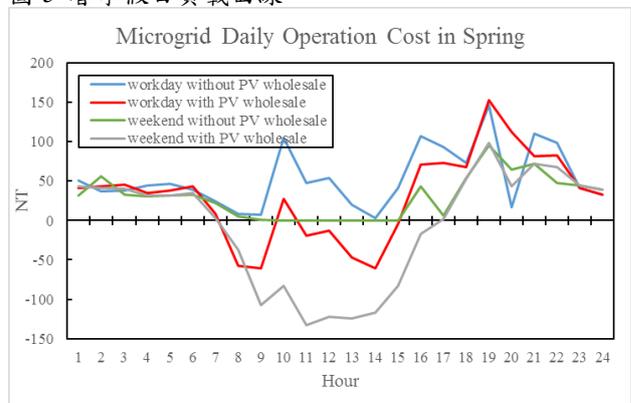


圖 6 春季微電網每日運轉花費

圖表顯示，工作日不賣 PV 情況下其電池於晚間五點離峰時段進行充電作業，效益發揮大，而太陽能是關鍵原因之一。中午日照強所產生的大量電能由上圖可見賣比不賣來的划算，若採用不賣情況，則將 PV 納入電網中，整題而言成本提高

(b) Summer

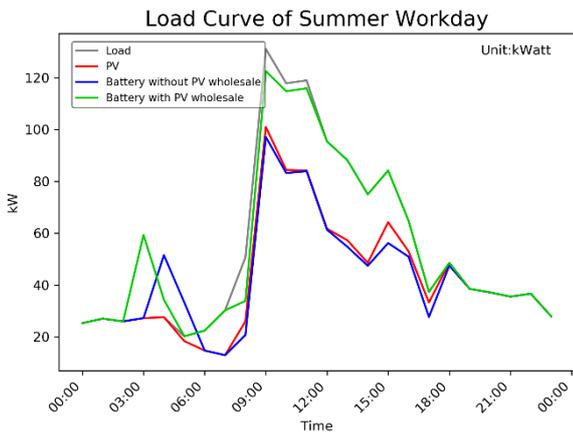


圖 7 夏季工作日負載曲線

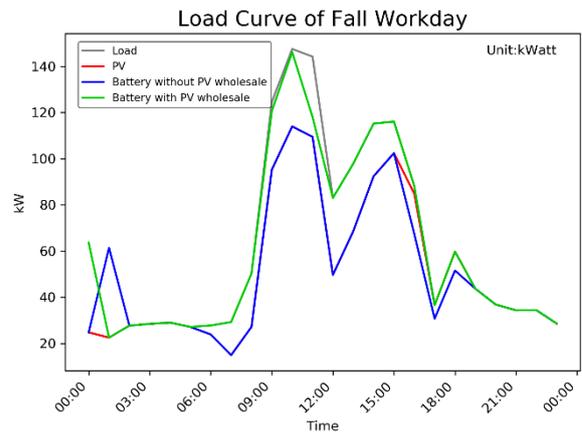


圖 10 秋季工作日負載曲線

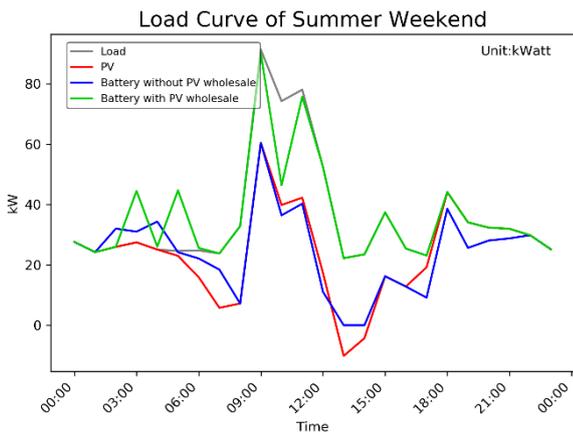


圖 8 夏季假日負載曲線

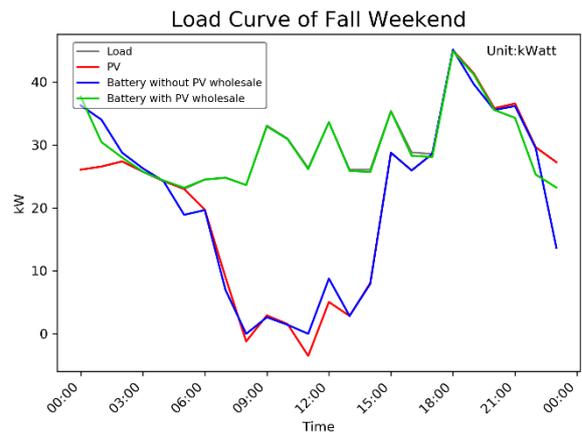


圖 11 秋季假日負載曲線

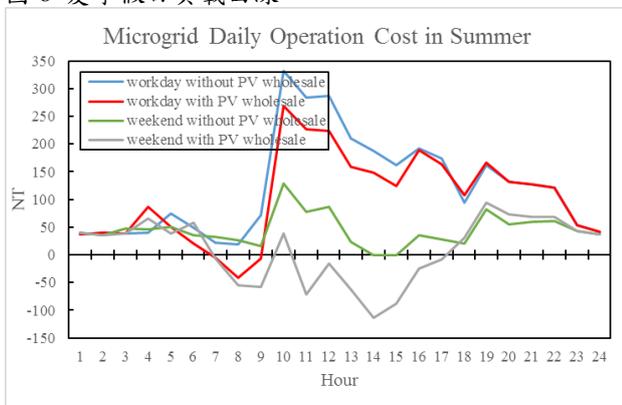


圖 9 夏季微電網每日運轉花費

夏、秋二季，太陽光能量強，所產生之 PV 電量大，可以供給電網較好的使用。而圖表上說明自早上八點起至晚上十一點的較春、冬季花費龐大，尤其工作日更為明顯，可想而知天氣因素會大量影響電能消耗。賣太陽光電稍微佔有優勢。

(c) Fall

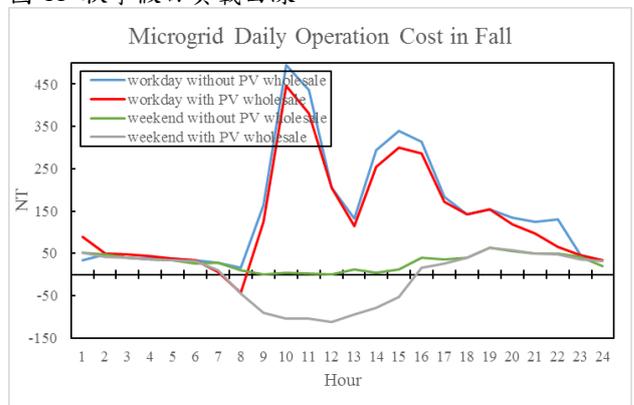


圖 12 秋季微電網每日運轉花費

對照其他三季，電池充放電次數增加許多，且於尖峰時段進行充電，導致電池效益不佳，其原因為天氣因素所造成用電大增而影響。與夏季圖表呈現一樣趨勢，工作日成本可觀，假日僅維持基本電力運作下，在中午時段選擇賣出 PV 可從中獲利。

(d) Winter

誌謝

本論文承蒙科技部在綠能科技聯合研發計畫之"跨維智慧綠能整合系統及智慧電能轉換技術及電能調節系統模組" MOST 109-3116-F-006-020-CC1 所支持。

參考文獻

- [1] Michael Ross, Chad Abbey, François Bouffard, Géza Joós, "Microgrid Economic Dispatch With Energy Storage Systems", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 9, No. 4, pp. 3039 - 3047, July 2018
- [2] J. Kennedy ; R. Eberhart, "Particle swarm optimization", *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, 1995
- [3] Mishel Mahmoodi, Pourya Shamsi, Babak Fahimi, "Economic Dispatch of a Hybrid Microgrid With Distributed Energy Storage", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 6, No. 4, pp. 2607 - 2614, Nov. 2015
- [4] Ghulam Abbas, Jason Gu, Umar Farooq, et al., "Solution of an Economic Dispatch Problem Through Particle Swarm Optimization: A Detailed Survey - Part I", *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 15105 - 15141, July 2017
- [5] Juan Ospina, Nikhil Gupta, Alvi Newaz, et al., "Sampling-Based Model Predictive Control of PV-Integrated Energy Storage System Considering Power Generation Forecast and Real-Time Price", *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, Vol. 6, No. 4, pp.195 - 207, Dec. 2019
- [6]

Load Curve of Winter Workday

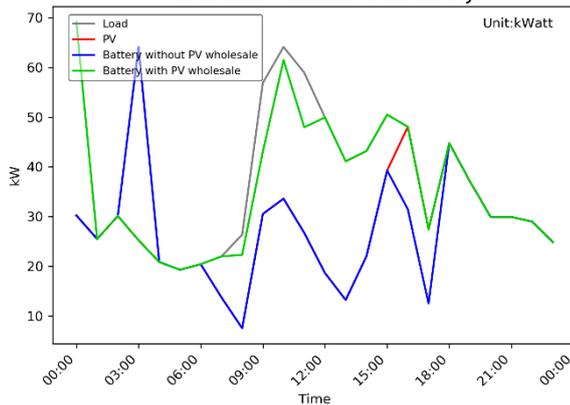


圖 13 冬季工作日負載曲線

Load Curve of Winter Weekend

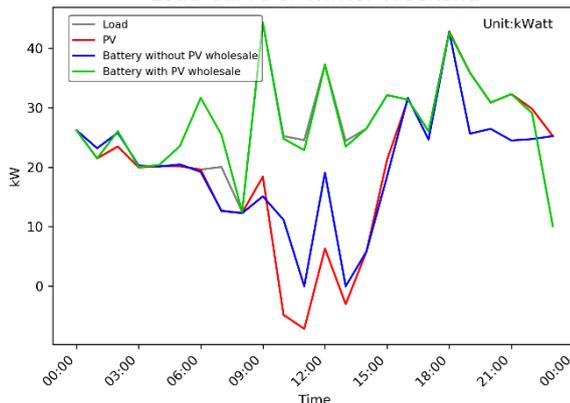


圖 14 冬季假日負載曲線

Microgrid Daily Operation Cost in Winter

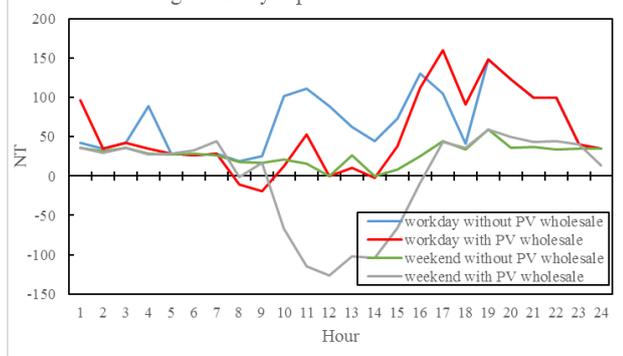


圖 15 冬季微電網每日運轉花費

模擬情況與夏季有呈現對比趨勢，太陽光弱，PV 電量隨之下降，但工作之電力仍須提供，因此得花費成本購買電力維持。以圖表看來，電池充放電時間相對延後，PV 少的情況下，選擇賣與不賣，對電網幫助性不大。

V. 結論

縱使太陽能會有雲遮、季節等不穩定因素，目前躉售價格仍然占有優勢。若是想要有自給自足微電網，勢必得依賴儲能系統，在選擇電能提供上用戶會使用成本較低者，若能將電池容量放大，將可以提高電池使用效率，當然此時成本也會同時提高。本文是能將電網上的電力做良好的調動，精準計算電池的充放電時間，達到成本最佳化，未來可供各用戶調整作業參考。