

儲能最佳化可行性分析

柯延鴻/ 工研院 綠能所 太陽光電技術組，副工程師

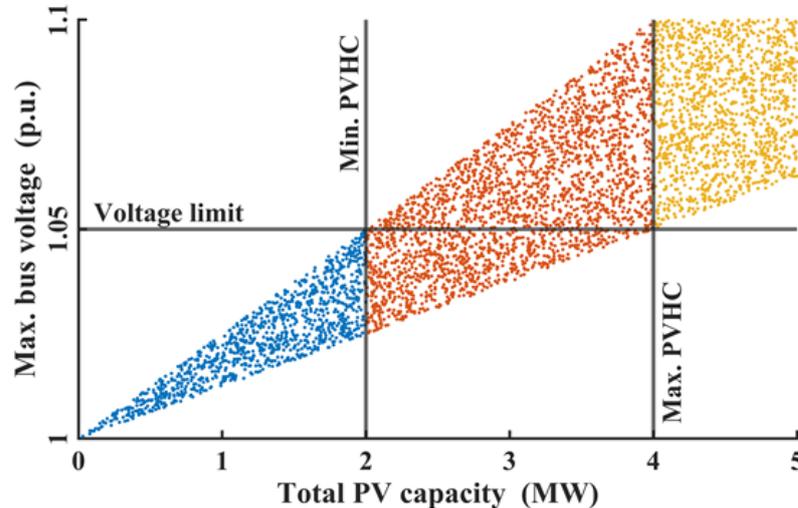
在現代社會中，電力是日常生活中不可或缺的資源，亦是經濟發展中必要的部分。但因為全球環保意識的提升，各個國家對進口商品生產中所使用的再生能源比例皆有一定要求；再加上我國政府於2009年公布再生能源發展條例，陸續於2012年推動促進再生能源發展之計畫，並規劃於2025年達到「非核家園」之目標，因此有大量的再生能源併入電網。但隨著低壓系統中的再生能源的占比升高，諸如電壓上升、逆送電、饋線過載、穩定度降低等問題逐漸浮上檯面[1], [2]。

依據以上這些問題提出以太陽光電結合儲能的方式解決，將儲能視作太陽光電的附屬設施概念進行系統模擬，透過不同負載曲線、太陽能發電曲線、儲能控制曲線的模擬，可以觀察出在不同的負載類型配合不同的光伏發電曲線模擬下，所計算得到的最大承載容量不同，透過加入儲能系統所改善的程度也有所不同，最後對太陽光電結合儲能用於饋線不足區位之效益提出分析，未來可作為配置規劃參考。

一、配電饋線結合太陽光電及儲能系統

太陽光電承載能力被定義為可以在沒有“負面影響”的情況下，整合到電力系統中的最大太陽光電總容量。因此，系統或饋線的太陽光電承載能力不是一個固定值。承載能力取決於各種考慮因素，例如太陽光電裝置之規劃、系統運行限制、和定義的負面衝擊等。關於太陽光電承載能力，有一個最小和最大承載能力的概念。假設可以測試系統中每個可能的太陽光電單元的裝設組合，則最小承載能力顯示了低於它的任何太陽光電加入量，是完全可以接受的極限。另一方面，最大承載能力代表任何高於它的PV加入量，是不可接受的限制。最小和最大PV承載力之間的區域，是部分可以接受的特定區域，例如特定的 PV 發電單元總數或容量。實際上，測試每個可能的太陽光電單元部署組合是不可行的。因此，尋找最大的太陽光電承載能力是關於分散式發電(DG)規劃的最佳化問題。目標是找到最佳的太陽光電單元的安裝位置和容量大小，在不影響系統運轉的情況下，最大限度地提高太陽光電加入容量。如果對上述的假設系統中，每個可能的太陽光電部署進行模擬，則可以產生圖一[3]。每個部署都由一個點表示。這些點可以根據其部署的太陽光電總容量分為三個區域。藍點總是可行的，

因為總太陽光電容量不高。黃點永遠不可行，因為總太陽光電容量過多。僅當電壓在限制範圍內時，橙色點才可行。藍色和橙色由最小 PVHC 分隔（即：在特定部署變得重要之前的最高可行總PVHC），而橙色和黃色由最大 PVHC 分隔（即，在每次部署變得過度之前的最高可行總PVHC）。



圖一、針對系統中最大值的假設 PVHC 靈敏度分析

二、 模擬分析方法

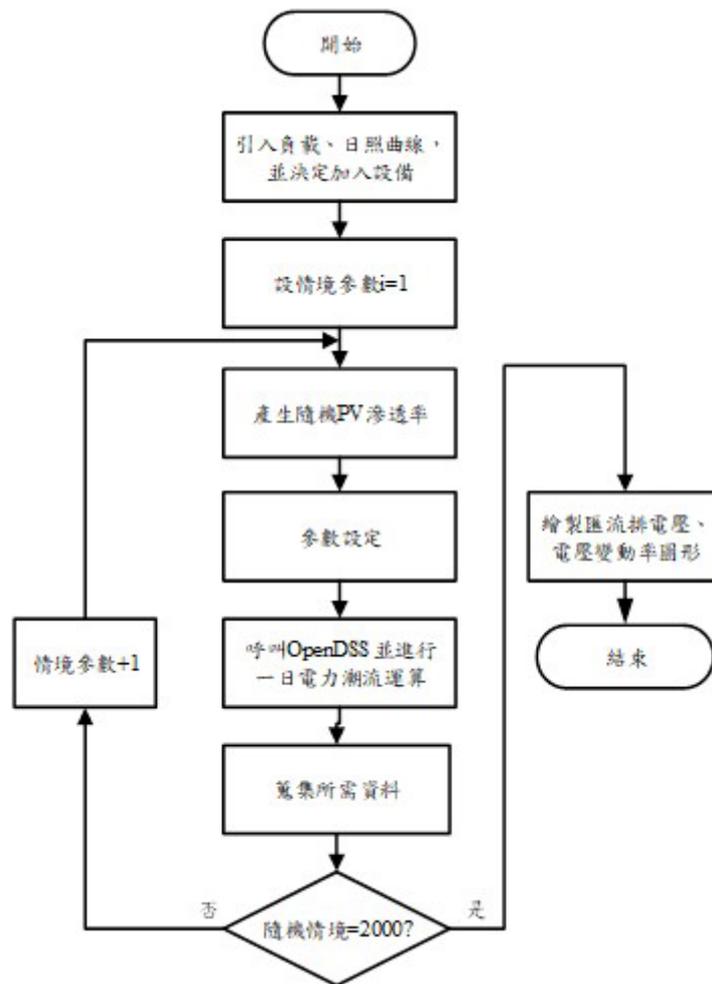
使用EPRI的OpenDSS與Matlab軟體進行分析，分析低壓配電系統中饋線的太陽光電承載量，亦即饋線中能裝設最大的太陽光電容量，而不會對系統的運轉限制造成影響。饋線的太陽光電承載容量受到許多系統運轉限制的影響，在本文中，主要為匯流排電壓變動率及逆送電情形作為運轉的限制參考，此方法可以有效地估算區域能裝設的最大太陽光電容量。在模擬時，選定五個匯流排裝設太陽光電系統與儲能系統。接著，考量到不同位置裝設太陽光電系統的不確定性，再以隨機的方式裝設太陽光電系統與儲能於選定五個匯流排，隨機變數為各匯流排裝設的容量。使用電壓變動率與允許逆送電程度為衡量是否有效併網的限制條件，在參考台電公司再生能源發電系統併聯技術要點[4]之後，得到的併網規範如表一，計算公式如(2.1)式：

表一、併網規範

標準	定義	規範值
逆送電	允許逆送至上一電壓等級之總計最大電力容量	變壓器額定容量之百分之八十
電壓變動率	饋線最大電壓變動率	3%

$$V_{\text{電壓變動率}} = \frac{|V_{\text{加入前電壓}} - V_{\text{加入後電壓}}|}{V_{\text{加入前電壓}}} \times 100\% \quad (2.1)$$

圖二為隨機分析法於Matlab中的流程圖。在步驟一，先取得一天中每個小時的日照及負載資料。接著，決定是否要在有裝設太陽光電系統的匯流排裝設儲能系統；步驟二為隨機產生太陽光電滲透率，設定太陽光電發電額定容量範圍為裝有太陽光電匯流排之負載大小為100%~2000%；步驟三為設定模擬系統的參數並呼叫OpenDSS進行一天中每小時的負載潮流運算[5], [6]，此次模擬時長為一天24小時，其運算流程圖如圖二。其次，依據標準蒐集所需資料，再重新生成一組新的隨機太陽光電滲透率，並進行負載潮流計算後，紀錄所需資料。重覆此步驟至有2000組不同的太陽光電滲透率。



圖二、分析 MATLAB 流程圖

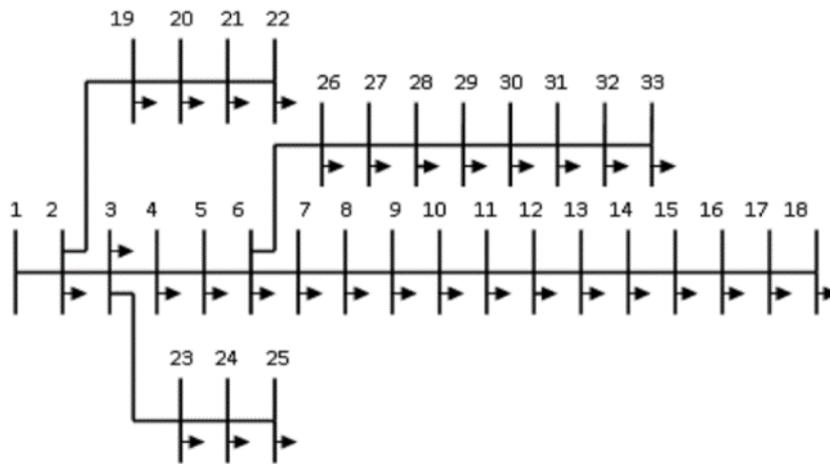
三、光儲最佳配比-以 IEEE 33 buses 為例

以IEEE 33 buses為例[7], [8]，先選定一匯流排裝設太陽光電，並算出在沒有搭配儲能的情況下可以加入最大的太陽光電容量。在確定裝設的匯流排後，使用粒子演算法

找出最適的光儲配比。圖三為IEEE 33-bus系統單線圖，表二 為PSO最適光儲配比結果，若在系統中選定一匯流排裝設太陽光電系統，在不違反電壓變動率的標準下，可裝設的最大容量為2050.3756kW；接著加入儲能系統，並將儲能系統與太陽光電裝設在同一匯流排上，得到的最適配比為裝設在6號匯流排，且在加入1304.4014kW的儲能後，太陽光電容量可以提升至3422.9215kW。

表二、最適光儲配比結果

	PV capacity(kW)	ESS capacity(kW)
裝設 PV	2050.3756	-
裝設 PV+ESS	3422.9215	1304.4014



圖三、IEEE 33-bus 系統單線圖

透過不同負載曲線、太陽能發電曲線、儲能控制曲線的模擬，可以觀察出在不同的負載類型配合不同的光伏發電曲線模擬下，所計算得到的最大承載容量不同，透過加入儲能系統所改善的程度也有所不同，在每種曲線下，儲能對於承載容量的改善邊際效應的程度也可能有所不同，因此，挑選適合的工業負載區域安裝太陽光電系統，可以減小因光伏加入造成的電網影響。

根據允許不同逆送電程度的比較，可以觀察到若允許部分程度逆送電，也能在特定情境獲得更大的承載容量，在規劃時，可以根據實際情形討論是否容許逆送電情形，並作出規劃及應對，以裝設更大的光電容量。透過記錄每次迭代於各匯流排安裝太陽光電系統的容量，以得到在最大承載量時，各匯流排各自安裝的光電系統容量，作為實際規劃的參考。

四、 總結

儲能最佳化可行性分析是一個綜合性的過程，通常包括多個方面的考慮和分析。首先，需要對應用場景進行深入的了解，包括能源需求特徵、負載特性、供電穩定性要求等。然後，需要對可用的儲能技術進行評估，包括其性能、壽命、效率和成本等方面的比較。接下來，可以通過經濟評估來評估儲能系統的投資回報情況，包括成本和收益的分析，以及可能的補助和稅收優惠等因素的考慮。同時，也需要考慮到實施過程中可能面臨的各種風險和不確定性，並對其進行風險評估。此外，儲能系統的可持續性也是一個重要考慮因素，需要評估其對環境的影響以及對可持續發展目標的貢獻。最終，需要根據評估結果制定儲能系統的具體實施方案，並在實施後持續監測其性能和效益，並根據實際運行情況進行調整和優化。整個過程需要多方面的專業知識和技能，包括工程技術、經濟學、風險管理等，以確保最終的實施能夠取得預期的效果並實現可持續發展目標。

參考文獻

- [1] "Renewable energy directive," Energy - European Commission, https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en. Jul. 16, 2014.
- [2] T. de Atholia, G. Flannigan, and S. Lai, "Renewable energy investment in Australia – March Quarter 2020," Bulletin, no. March, 2020. Accessed: Jun. 28, 2021. [Online]. Available: <https://www.rba.gov.au/publications/bulletin/2020/mar/renewable-energy-investment-in-australia.html>
- [3] Chang G.W., Chinh N.C., Sinatra C., "Equilibrium Optimizer-Based Approach of PV Generation Planning in a Distribution System for Maximizing Hosting Capacity," IEEE Access.2022, 10, 118108-118122
- [4] 台電公司,「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」, 107 年 11 月, 取自: <https://www.taipower.com.tw/upload/228/2023080714012018919.pdf>
- [5] OpenDSS PVSystem Element Model, Electric Power Research Institute, 2011
- [6] OpenDSS DOC 資料夾: ComDoc、Storage、Manual、LOADSHAPE Usage
- [7] W. H. Kersting, "Radial distribution test feeders," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 6, no. 3, pp. 975-985, Aug. 1991
- [8] N. Shi, R. Cheng, Q. Zhang and Z. Wang, "Analyzing Impact of BESS Allocation on Hosting Capacity in Distribution Networks," 2022 North American Power Symposium (NAPS), Salt Lake City, UT, USA, 2022, pp. 1-6