

PHÂN TÍCH KINH TẾ - KỸ THUẬT HỆ THỐNG LƯU TRỮ NĂNG LƯỢNG ẮC QUY - ỨNG DỤNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM – VOLTAGE MANAGEMENT SOLUTION IN POWER SYSTEM

Nguyễn Thị Anh*, Lê Thị Minh Châu, Lê Việt Tiến

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội¹

*Tác giả liên hệ: anh.nguyenthi@hust.edu.vn

(Nhận bài: 19/1/2022; Chấp nhận đăng: 11/3/2022)

Tóm tắt - Bài báo này đề xuất chiến lược xác định dung lượng cần thiết và lập kế hoạch vận hành tối ưu cho một hệ thống lưu trữ năng lượng ắc quy (BESS) tập trung với mục đích giải quyết hiện tượng vi phạm điện áp trong lưới điện phân phối có sự xâm nhập cao của điện mặt trời. Chiến lược được thực hiện qua hai bước. Bước một nhằm xác định dung lượng cần thiết của BESS có xét đến sự thay đổi của nhu cầu phụ tải và biểu đồ phát của điện mặt trời trong một năm. Với dung lượng đã được xác định, bước hai lập kế hoạch vận hành tối ưu trong ngày để chi phí cho BESS nhỏ nhất đồng thời thỏa mãn yêu cầu về điện áp. Hiệu quả của phương pháp được mô phỏng trên lưới điện hạ áp điển hình của Thái Lan, sử dụng phần mềm Matlab 2016a và Matpower 6.0. Bên cạnh đó, kết quả mô phỏng cũng so sánh hiệu quả kinh tế của hai loại ắc quy phổ biến là Lithium-ion và ắc quy Axit-Chì.

Từ khóa - Hệ thống lưu trữ năng lượng ắc quy (BESS); Tích hợp PV; Lưới điện hạ áp

1. Giới thiệu chung

Tại Việt Nam, cơ chế biểu giá điện hỗ trợ và các ưu đãi về thuế được ban hành đã dẫn tới sự phát triển bùng nổ của điện mặt trời. Theo số liệu của Cục Điện lực và Năng lượng tái tạo, tính đến hết năm 2020, tổng công suất lắp đặt điện mặt trời trên cả nước đạt 16526,5 MWp chiếm khoảng 25% tổng công suất đặt của hệ thống điện Việt Nam, trong đó điện mặt trời mái nhà đóng góp 7900 MWp. Sự gia tăng của nguồn năng lượng này đã góp phần đáp ứng được nhu cầu tăng trưởng của phụ tải. Tuy nhiên, do công suất phát bất định, phụ thuộc vào thời tiết nên sự gia tăng công suất đặt của điện mặt trời có thể gây ra các vấn đề kỹ thuật không mong muốn đến lưới điện như quá điện áp, dao động điện áp, dòng công suất ngược và quá tải dây dẫn... [1]-[3].

Nhằm đảm bảo các chỉ số kỹ thuật khi sử dụng nguồn năng lượng mặt trời, hệ thống lưu trữ năng lượng ắc quy là một giải pháp được cân nhắc sử dụng. Tuy nhiên, chi phí ắc quy vẫn còn khá cao nên các chỉ số kinh tế cũng phải được nghiên cứu song song với vấn đề kỹ thuật. Đã có nhiều nghiên cứu đánh giá tính kinh tế - kỹ thuật khi sử dụng BESS trong hệ thống điện. Trong nghiên cứu [4], [5], dung lượng BESS và chiến lược nạp/xả được lựa chọn nhằm làm tối đa hóa giá trị hiện tại ròng (Net present value, NPV) của hệ thống điện mặt trời nối lưới. Đối với dung lượng BESS đã được xác định, bài báo [6] xác định chiến lược vận hành nhằm tối đa hóa lợi ích ròng dưới điều kiện định giá động. Trong nghiên cứu [7], công ty điện lực sẽ đầu tư và lên kế hoạch vận hành BESS trong một ngày

Abstract - This paper proposes a strategy for sizing and optimal operation planning of a centralized Battery Energy Storage System (BESS) which is installed in the distribution power grid to solve voltage violations as the main result of high penetration of solar generation. The strategy is implemented in two steps. The first step is to determine the minimum size of the BESS considering the change of load demand and the solar generation profile over a year. The second step is optimal operation planning of the BESS for a day with cost minimization while satisfying the voltage requirements of the power grid. The efficiency of the method is simulated on a typical low voltage grid of Thailand, using Matlab 2016a and Matpower 6.0 software. In addition, the simulation results also compare the economic efficiency of two popular battery types, Lithium-ion and Lead-Acid batteries.

Key words - Battery Energy Storage System (BESS); PV intergration; Low-voltage network

nhằm đảm bảo các điều kiện kỹ thuật và tối đa hóa giá trị thặng dư cho xã hội trong thị trường điện. Hiệu quả của phương pháp được chứng minh thông qua mô phỏng trên lưới điện IEEE-13 nút dựa trên mô hình quy hoạch số nguyên (Mixed-integer linear programming, MILP). Bên cạnh đó, vấn đề tối thiểu chi phí cho BESS cũng được đề cập đến trong [8] nhưng áp dụng cho lưới truyền tải, vốn có nhiều điểm khác biệt so với lưới phân phối.

Bài báo này sẽ xây dựng phương pháp nhằm áp dụng BESS mà đơn vị điện lực là chủ đầu tư, để điều chỉnh điện áp lưới điện có xét đến độ suy hao dung lượng, vốn là một yếu tố phức tạp ít khi được đề cập đến. Trong đó, bài toán tối ưu dung lượng của BESS thông qua mô phỏng trong vòng một năm được nghiên cứu đánh giá, đồng thời đề xuất lịch vận hành trong một ngày nhằm đạt được chi phí cho BESS thấp nhất.

2. Bài toán vận hành tối ưu BESS trong hệ thống điện

2.1. Mô hình lão hóa tuyến tính của BESS

Việc lựa chọn mô hình của BESS phụ thuộc vào ứng dụng, cần cân nhắc giữa độ chính xác và tính linh hoạt do mô hình càng chính xác thì càng phức tạp và tính linh hoạt trong ứng dụng càng kém. Trong bài báo này, mô hình lão hóa được sử dụng dựa trên các nghiên cứu [9]-[11] nhằm ước lượng tuổi thọ trong vận hành của BESS, thông số ảnh hưởng trực tiếp đến tính chính xác khi đánh giá hiệu quả kinh tế của giải pháp. Theo mô hình này, quá trình lão hóa được đo lường bằng sự suy hao dung lượng của BESS

¹ Hanoi University of Science and Technology (Nguyễn Thị Anh, Lê Thị Minh Châu, Lê Việt Tiến)

trong quá trình vận hành. Dung lượng suy hao được giả định là giảm tuyến tính trong quá trình phóng điện đặc trưng bởi hệ số suy hao [10]. Mô hình dựa trên kết quả thực nghiệm do Viện INES thực hiện.

$$\Delta C = Z \cdot C_B \cdot (SOC_{\text{trước}} - SOC_{\text{sau}}) \quad (1)$$

Trong đó:

ΔC : Dung lượng suy hao do lão hóa;

Z : Hệ số suy hao;

C_B : Dung lượng định mức của BESS;

$SOC_{\text{trước}}$: Mức năng lượng trước khi phóng điện;

SOC_{sau} : Mức năng lượng sau khi phóng điện.

Ưu điểm của mô hình này là tiêu chí kết thúc vòng đời có thể được định nghĩa bởi người sử dụng. Thông thường, khi dung lượng của BESS bị suy hao chỉ còn 80% dung lượng định mức được coi là kết thúc vòng đời [12].

2.2. Bài toán chế độ xác lập của lưới điện và phương pháp giải

Khi BESS tham gia vào điều khiển hệ thống điện, các thông số vận hành của hệ thống bao gồm điện áp sẽ phụ thuộc và công suất phát của các loại nguồn, công suất tiêu thụ của phụ tải và công suất nạp, xả của BESS. Các thông số chế độ hệ thống điện sẽ tìm được bằng việc giải bài toán chế độ xác lập.

Xét lưới phân phối hình tia có $N = \{1, 2, \dots, n\}$ là tập hợp các nút. Tổng dẫn giữa nút i với đất ký hiệu là y_{ii} . Tổng dẫn giữa các nút i và j ký hiệu là y_{ij} và thỏa mãn $y_{ij} = y_{ji}$. Nếu i và j không được nối với nhau thì $y_{ij} = 0$. Ma trận tổng dẫn $Y = [Y_{ij}]$ là ma trận vuông đối xứng bậc $n \times n$ với các phần tử được xác định như sau:

$$Y_{ij} = \begin{cases} y_{ii} + \sum_{m \neq i}^n y_{im} & \text{với } i=j \\ -y_{ij} & \text{với } i \neq j \end{cases} \quad (2)$$

Xem xét với bước thời gian rời rạc $t = 1, 2, \dots$ Áp dụng định luật Kirchhoff 1 cho nút k bất kỳ, ta có:

$$I_{k(t)} = \sum_{j=1}^n V_{j(t)} Y_{kj} \quad (3)$$

Trong đó, $V_{k(t)}$ và $I_{k(t)}$ là giá trị điện áp và dòng điện phức tại nút k ở thời điểm t .

Phương trình cân bằng công suất tại nút k được biểu diễn như sau:

$$P_{k(t)} + jQ_{k(t)} = V_{k(t)} \hat{I}_{k(t)}^* = V_{k(t)} \left(\sum_{j=1}^n V_{j(t)} \hat{Y}_{kj}^* \right) \quad (4)$$

Với j là đơn vị ảo, $(\cdot)^*$ biểu thị giá trị phức liên hợp. $P_{k(t)}$ và $Q_{k(t)}$ biểu thị công suất tác dụng và công suất phản kháng bơm vào nút k tại thời điểm t . Trong đó, công suất bơm vào nút được xác định bằng tổng đại số công suất bơm vào của PV, công suất nạp, xả của BESS và công suất của tải được biểu diễn bởi phương trình (5). Biểu thức được viết cho trường hợp tổng quát, khi thiếu thành phần nào (ví dụ như nguồn PV hay BESS) thì công suất của thành phần đó bằng 0.

$$P_{k(t)} + jQ_{k(t)} = (P_{PV k(t)} + jQ_{PV k(t)}) + (\eta(P_{xa k(t)} + jQ_{xa k(t)}) - \frac{P_{\text{nạp } k(t)} + jQ_{\text{nạp } k(t)}}{\eta}) - (P_{L k(t)} + jQ_{L k(t)}) \quad (5)$$

Nút 1 được giả định là nút hệ thống có điện áp và góc pha giữ không đổi, còn gọi là nút điện áp tham chiếu.

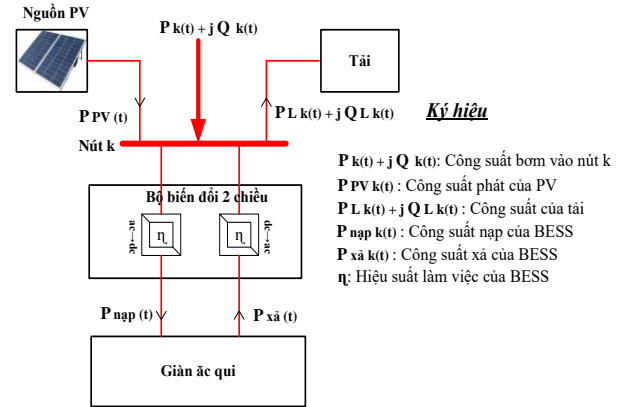
$V_{1(t)}$ là giá trị biết trước cho mọi thời điểm t . Các nút còn lại là nút P, Q. Điện áp các nút thay đổi theo chế độ của hệ thống, là nghiệm bài toán chế độ xác lập, bằng việc giải phương trình (4). Trong nghiên cứu này, PV và BESS không hỗ trợ phát công suất phản kháng do chưa có chính sách rõ ràng cho dịch vụ phụ trợ này. Do đó, trong biểu thức (5) các công suất phản kháng của PV và BESS bằng 0. Mặt khác, BESS được giả thiết lắp đặt tập trung ở nút k nào đó trong lưới điện với quy ước về chiều của đại lượng công suất được biểu diễn trên Hình 1. Nếu biết công suất phát của PV và công suất tiêu thụ của tải thì phương trình (4) trở thành mối quan hệ giữa điện áp các nút và công suất nạp, xả của BESS, được biểu diễn bởi phương trình (6).

$$[V_{(t)}] = f(P_{\text{nạp } k(t)}, P_{\text{xả } k(t)}) \quad (6)$$

Điều kiện vận hành lưới điện là độ lớn điện áp các nút $|V_{(t)}|$ phải nằm trong giới hạn cho phép được biểu diễn bởi quan hệ (7).

$$[V_{\min}] \leq [|V_{(t)}|] \leq [V_{\max}] \quad (7)$$

Như vậy, tại mỗi thời điểm t , ứng với cặp giá trị $P_{\text{nạp } k(t)}, P_{\text{xả } k(t)}$, ta sẽ tính được điện áp ở các nút theo phương trình (6) và kiểm tra điều kiện biên độ điện áp (7).



Hình 1. Cân bằng công suất tại nút k

2.3. Bài toán vận hành tối ưu BESS

Bài toán vận hành tối ưu BESS nhằm đảm bảo chất lượng điện áp lưới điện phân phối hình tia, xét trong khoảng thời gian D (thường xét trong 1 ngày làm việc với T bước thời gian rời rạc) được xây dựng với hàm mục tiêu là cực tiểu chi phí tính toán của BESS.

2.3.1. Hàm mục tiêu

Chi phí tính toán (CPTT) của BESS được mô tả với hàm toán học bao gồm hai thành phần là chi phí đầu tư khấu hao và chi phí vận hành tính cho khoảng thời gian D .

$$CPTT = \sum_1^T \lambda \cdot \Delta C_{(t)} + \beta \cdot C_B \quad (8)$$

Trong hàm mục tiêu (8), thành phần thứ nhất là chi phí đầu tư khấu hao, tính dựa dung lượng hao hụt do lão hóa của BESS. Trong đó, λ (\$/kWh) là suất chi phí khấu hao, $\Delta C_{(t)}$ (kWh) là dung lượng suy hao trong bước thời gian t . Nếu BESS vận hành tối ưu thì chi phí này sẽ là nhỏ nhất. Mô hình lão hóa trong bài báo này dựa trên các nghiên cứu [9]-[11]. Tuổi thọ của BESS được định nghĩa là khoảng thời gian từ lúc bắt đầu sử dụng cho đến khi dung lượng của BESS giảm xuống còn 80% dung lượng ban đầu [12].

Thành phần thứ 2 là chi phí vận hành bao gồm chi phí bảo trì hệ thống BESS và các chi phí khác như lãi vay ngân hàng. Thông thường chi phí này tỉ lệ với công suất lắp đặt của hệ thống BESS và khoảng thời gian vận hành. Trong thành phần này, β (\$/kWh) là suất chi phí vận hành trong khoảng thời gian D và C_B (kWh) là dung lượng lắp đặt của BESS.

2.3.2. Các ràng buộc của bài toán

Khi BESS được lắp đặt tập trung ở một nút xác định trước để tham gia vào điều chỉnh điện áp của hệ thống điện thì các ràng buộc liên quan đến hệ thống và ràng buộc liên quan đến thông số vận hành của BESS phải được xem xét.

a. Ràng buộc về thông số vận hành của BESS

Năng lượng $E_{(t)}$ (kWh), và mức năng lượng $SOC_{(t)}$ của BESS tại thời điểm t thay đổi sau mỗi bước thời gian Δt và đảm bảo quay về trạng thái ban đầu sau mỗi ngày vận hành. Sự thay đổi $E_{(t)}$ được mô tả bởi phương trình (9), định nghĩa về $SOC_{(t)}$ và ràng buộc của nó trong quá trình vận hành được miêu tả bởi biểu thức (10), (11), (12):

$$E_{(t)} = E_{(t-1)} + P_{\text{nap}}(t) \cdot \Delta t - P_{\text{xả}}(t) \cdot \Delta t \quad (9)$$

$$SOC_{(t)} = \frac{E_{(t)}}{C_{(t)}} \cdot 100\% \quad (10)$$

$$SOC_{\min} \leq SOC_{(t)} \leq SOC_{\max} \quad (11)$$

$$SOC_{(0)} = SOC_{(T)} = SOC_{\min} \quad (12)$$

Trong đó, $P_{\text{nap}}(t)$, $P_{\text{xả}}(t)$ là công suất nạp, xả của BESS. Đồng thời, các công suất này cũng cần thỏa mãn các ràng buộc về giới hạn công suất nạp, xả lớn nhất, không diễn ra đồng thời, được mô tả bởi các ràng buộc (13), (14), (15). Công suất nạp, xả lớn nhất được tính thông qua dung lượng thực của BESS tại thời điểm t , $C_{(t)}$ và thời gian nạp T_{nap} , thời gian xả $T_{\text{xả}}$ được cho bởi nhà sản xuất.

$$P_{\text{nap}}(t) \leq P_{\text{nap max}(t)} = \frac{C_{(t)}}{T_{\text{nap}}} \quad (13)$$

$$P_{\text{xả}}(t) \leq P_{\text{xả max}(t)} = \frac{C_{(t)}}{T_{\text{xả}}} \quad (14)$$

$$P_{\text{nap}}(t) \cdot P_{\text{xả}}(t) = 0 \quad (15)$$

b. Mô hình lão hóa của BESS

Dựa trên mô hình lão hóa được trình bày ở Phần 2, dung lượng suy hao $\Delta C_{(t)}$ tính được theo biểu thức (16) và biểu diễn gần đúng theo biểu thức (17) và (18).

$$\Delta C_{(t)} = Z \cdot C_B \cdot (SOC_{(t-1)} - SOC_{(t)}) \quad (16)$$

$$\approx Z \cdot C_B \cdot \left(\frac{E_{(t-1)} - E_{(t)}}{C_{(t-1)}} \right) \quad (17)$$

$$\approx Z \cdot C_B \cdot \left(\frac{P_{\text{xả}}(t-1) \cdot \Delta t}{C_{(t-1)}} \right) \quad (18)$$

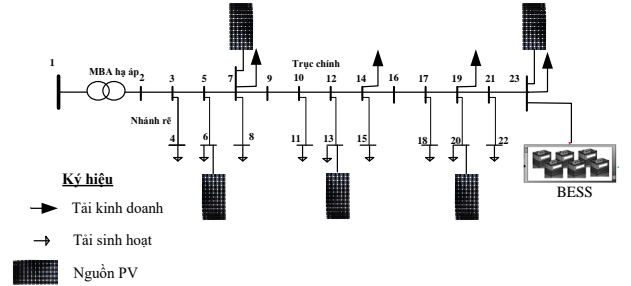
c. Ràng buộc về điện áp vận hành của lưới điện

Như đã trình bày phần trên, điện áp vận hành của lưới điện là hàm phụ thuộc vào công suất nạp, xả của BESS được biểu diễn bởi phương trình (6) và ràng buộc trong suốt thời gian vận hành là nằm trong giới hạn cho phép, được biểu diễn bởi ràng buộc (7). Trong nghiên cứu này, trong mỗi vòng lặp để tìm nghiệm của bài toán tối ưu, phương pháp Newton Raphson được sử dụng để giải bài toán chế độ xác lập, điều kiện về điện áp được kiểm tra ứng với nghiệm là công suất nạp, xả của BESS ở bước lặp đó.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Thông số lưới điện mô phỏng

Bài toán tìm dung lượng và vận hành tối ưu BESS được mô phỏng trên lưới điện hạ áp đô thị điển hình 23 nút của Thái Lan [13]. Lưới phân phối được cấp nguồn từ trạm biến áp 22/0,4kV, 160kVA bao gồm 23 nút, 13 nút tải và 5 hệ thống điện mặt trời. Tải sinh hoạt và tải kinh doanh, nguồn PV phân bố ngẫu nhiên dọc theo xuất tuyến. Công suất đặt của tải và PV trên các nút được cho trong Phụ lục. BESS được giả thiết lắp đặt ở nút 23. Cấu hình của lưới điện được mô tả trên Hình 2. Các công nghệ BESS được xem xét trong mô phỏng với các giả thiết đầu vào được cho trong Bảng 1.



Hình 2. Cấu hình lưới điện mô phỏng

Bảng 1. Thông số đầu vào của mô phỏng

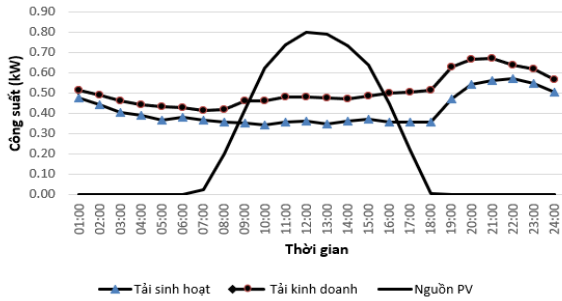
Thông số	Ký hiệu	Công nghệ BESS	
		Axit-chì	Li-ion
Thông số kỹ thuật của BESS	Z	3.10^{-4} [9]-[11]	$1.7.10^{-5}$ [10], [14]
	η	0,90	0,98
	SOC_{\min}	0,20	0,15
	SOC_{\max}	0,90	0,95
	$T_c = T_d$ (h)	3	1,00
	$SOC_{(0)} = SOC_{(T)}$	0,20	0,15
Các tham số tính toán kinh tế của BESS	Hệ số công suất	1,00	1,00
	r	0,06	0,06
	OM	0,02	0,02
Giới hạn điều chỉnh điện áp yêu cầu	C_0 (\$/kWh)	600	1400
	V_{\min} (p.u)	0,9	
	V_{\max} (p.u)	1,1	

3.2. Xác định dung lượng cần thiết và hiệu quả điều chỉnh điện áp của BESS

Để xác định dung lượng tối thiểu cần thiết của BESS, bài toán tối ưu trình bày ở Mục 2.3 được chạy cho 365 ngày, tương ứng với 365 kịch bản để xét đến tính ngẫu nhiên của phụ tải và nguồn PV cũng như quy luật thời gian của chúng. Dữ liệu về phụ tải được cung cấp bởi cơ quan quản lý lưới điện đô thị Thái Lan và đồ thị công suất phát lấy từ hệ thống PV lắp đặt trên tòa nhà 4 của Đại học Chulalongkorn năm 2013. Dung lượng cần thiết của BESS được xác định là dung lượng lớn nhất trong 365 kịch bản mô phỏng, tương ứng với kịch bản xấu nhất về điện áp. Trong nghiên cứu này, BESS công nghệ axit-chì có hệ số suy hao Z bằng $3.10^{-4.00}$ [9]-[11] được lựa chọn cho mô phỏng. Các giả thiết về giới hạn điều chỉnh điện áp, tham số kỹ thuật và kinh tế đầu vào của BESS được cho trong Bảng 1.

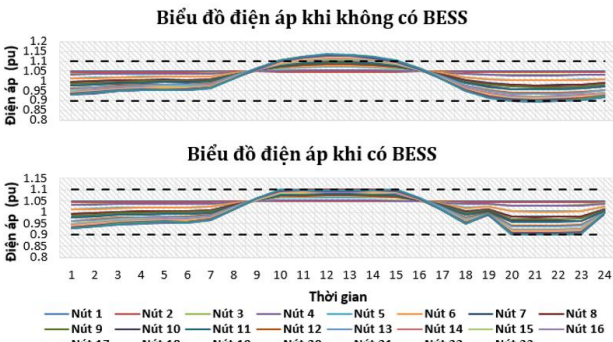
Kết quả mô phỏng cho thấy, dung lượng BESS cần thiết lắp đặt ở nút 23 là 123kWh. Hình 3 biểu diễn biểu đồ phụ

tải và công suất phát của ngày ứng với dung lượng BESS lớn nhất.

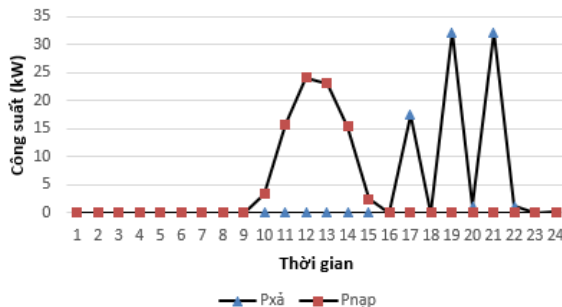


Hình 3. Biểu đồ phụ tải và nguồn PV của kịch bản xấu nhất về điện áp lưới điện

Với kết quả mô phỏng kịch bản xấu nhất về điện áp trong năm, chi phí tính toán tối thiểu bao gồm chi phí đầu tư khấu hao và chi phí vận hành là 93,8 \$. Hình 4 so sánh điện áp của lưới điện khi không lắp đặt và có lắp đặt BESS. Hiệu quả điều chỉnh điện áp của BESS được thấy rõ trong kết quả này. Nhờ có hỗ trợ của BESS, quá điện áp xảy ra ở các nút 12 đến cuối xuất tuyến vào giờ cao điểm phát của mặt trời đã được ngăn chặn bằng việc nạp BESS. Đồng thời thấp áp xảy ra ở các nút 20, 21, 22, 23 vào ban đêm khi tải đỉnh đã được khắc phục với việc xả của BESS. Biểu đồ nạp, xả của BESS được thể hiện trên Hình 5.



Hình 4. Điện áp các nút khi không và có BESS

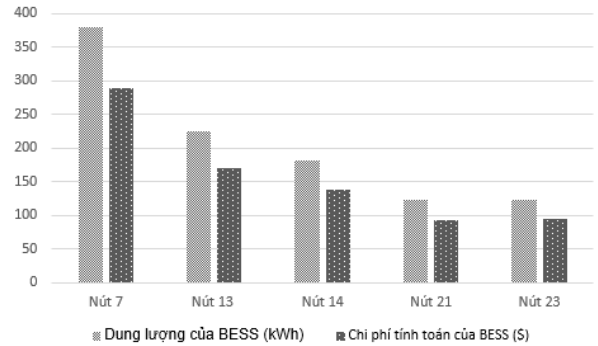


Hình 5. Biểu đồ công suất nạp, xả của BESS

3.3. Ảnh hưởng của vị trí lắp đặt đến chi phí tính toán của hệ thống BESS

Vị trí đặt BESS rất quan trọng quyết định đến hiệu quả làm việc cũng như dung lượng yêu cầu và chi phí tính toán của BESS. Tùy thuộc vị trí mà độ nhạy đối với việc điều chỉnh điện áp của BESS khác nhau, do đó yêu cầu về dung lượng và biểu đồ làm việc của BESS khác nhau. Để thấy được điều đó, mô phỏng được thực hiện cho ngày có kịch bản điện áp xấu nhất với các giả thiết BESS được lắp đặt ở

các nút khác nhau gồm: Nút 7, 13, 14, 21 và 23. Kết quả so sánh về dung lượng và chi phí tính toán của BESS khi lắp đặt ở các vị trí khác nhau được thể hiện trên Hình 6.

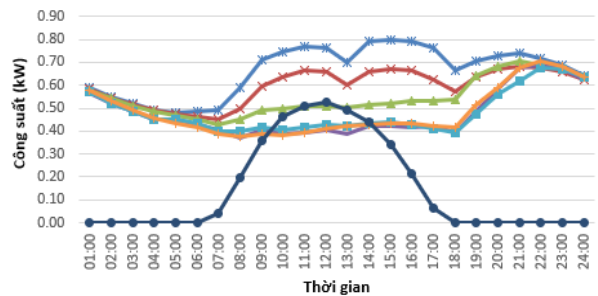


Hình 6. Dung lượng và chi phí tính toán của BESS

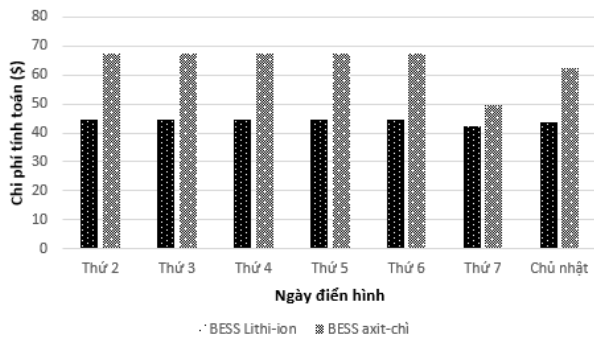
Từ kết quả có thể thấy, trong kịch bản này BESS lắp đặt ở nút 7 có yêu cầu về dung lượng và chi phí tính toán gần gấp 3 lần BESS lắp đặt ở nút 21 và 23. Do đó, việc lựa chọn vị trí lắp đặt cũng có ý nghĩa vô cùng quan trọng. Để có thể xác định được vị trí tối ưu ta phải so sánh được chi phí tính toán của BESS trong một năm để xét được sự biến động ngẫu nhiên của tải cũng như công suất phát của PV. Để không làm tăng số biến cũng như mức độ phức tạp của phương pháp, trước tiên, với mỗi vị trí tiềm năng ta có thể xác định được dung lượng BESS cần thiết tối thiểu. Sau khi dung lượng BESS được xác định, bài toán sẽ trở thành vận hành tối ưu BESS để có chi phí tính toán nhỏ nhất. Với dữ liệu thu thập được trong quá khứ, ta có thể tính chi phí tính toán cho 365 ngày và so sánh giữa các vị trí với nhau để tìm ra vị trí tối ưu. Tuy nhiên, thời gian chạy mô phỏng có thể lâu nhưng có thể chấp nhận được do bài toán xác định vị trí không yêu cầu khắt khe về tiêu chí thời gian.

3.4. So sánh chi phí tính toán của hai công nghệ BESS phổ biến

Trong phần này, nghiên cứu sẽ được thực hiện để so sánh chi phí tính toán của hai công nghệ BESS phổ biến là Axit-chì và Lithion dựa trên hệ số lão hóa có được từ các tài liệu tham khảo [9]-[11], [14]. Mô phỏng được thực hiện để tính toán chi phí BESS trong 1 tuần với biểu đồ phụ tải của các ngày điển hình và đường cong công suất phát của PV được biểu diễn trên Hình 7. Giả thiết BESS có dung lượng 123 kWh được lắp đặt ở nút 23 và trong tuần đầu sử dụng. Thông số kinh tế, kỹ thuật đầu vào của BESS phục vụ mô phỏng được cho trong Bảng 1.



Hình 7. Biểu đồ phụ tải và nguồn PV các ngày điển hình



Hình 8. Chi phí tính toán của BESS cho các ngày điển hình

Chi phí tính toán của BESS trong 1 tuần sử dụng có giá trị 447,42 \$ cho công nghệ Axit-chì và 308,32 \$ cho công nghệ Lithion với chi phí cho từng ngày được biểu diễn trên Hình 8. Kết quả này cho thấy, mặc dù BESS công nghệ Lithion có chi phí đầu tư ban đầu cao hơn nhưng chi phí tính toán lại nhỏ hơn do công nghệ này có đặc điểm vượt trội về hiệu suất làm việc, tốc độ nạp, xả và quá trình lão hóa chậm hơn công nghệ Axit-chì.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả đã đề xuất phương pháp xác định dung lượng và lập kế hoạch vận hành tối ưu cho BESS có xét đến sự suy hao dung lượng của ắc quy trong quá trình vận hành do quá trình lão hóa. Các kết quả phân tích kinh tế, kỹ thuật cũng đã được mô phỏng, tính toán. Theo lịch vận hành đề xuất cho BESS, biên độ điện áp đã được kiểm soát trong giới hạn cho phép. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy dung lượng cần thiết và chi phí tính toán của BESS có sự chênh lệch khi được lắp đặt tại các vị trí khác nhau. Điều này cần được nghiên cứu cho vào mô hình toán trong tương lai do đây là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quyết định đầu tư cho dự án lắp đặt hệ thống lưu trữ năng lượng. Bên cạnh đó, ắc quy Lithium-ion cũng đã chứng minh được hiệu quả kinh tế lâu dài so với ắc quy Axit-chì do có hàm chi phí tính toán nhỏ hơn. Mặt hạn chế của phương pháp là quá trình mô phỏng áp dụng cho một vị trí BESS lắp đặt tập trung, để tìm vị trí tối ưu sẽ mất nhiều thời gian để so sánh khi lưới có nhiều nút.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin gửi lời cảm ơn đến trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã cấp kinh phí cho nghiên cứu này, theo đề tài mã số T2021 PC-008.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Tourneboeuf, "Learning lessons from the European Experience with large scale solar", 2013, Available: http://www.aie.org.au/aie/documents/solar_scholarship_report.pdf.
- [2] M. Q. Duong, N. T. N. Tran, G. N. Sava, and M. Scripcariu, "The impacts of distributed generation penetration into the power system", in *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIEMEN)*, 2017, pp. 295–301.
- [3] Silva H, Castro R, Almeida ME. "A battery based solution to overvoltage problems in low voltage distribution networks with

micro generation". *International Journal on Electrical Engineering and Informatics* 2014; 6(1):53–64.

- [4] Korpaas, M.; Holen, A.T.; Hildrum, R. "Operation and Sizing of Energy Storage for Wind Power Plants in a Market System". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2003, 25, 599–606.
- [5] Y. Ru, J. Kleissl, and S. Martinez, "Storage Size Determination for Grid-Connected Photovoltaic Systems", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Jan. 2013, vol. 4, no. 1, pp. 68–81.
- [6] Telaretti, E.; Ippolito, M.; Dusonchet, L. "A Simple Operating Strategy of Small-Scale Battery Energy Storages for Energy Arbitrage under Dynamic Pricing Tariffs", *Energies* 2016, 9, 12.
- [7] M. Faqiry, L. Edmonds, H. Zhang, A. Khodaei, and H. Wu, "Transactive-Market-Based Operation of Distributed Electrical Energy Storage with Grid Constraints", *Energies*, Nov. 2017, vol. 10, no. 11, p. 1891.
- [8] S. Hashemi, J. Østergaard, and G. Yang, "A Scenario-Based Approach for Energy Storage Capacity Determination in LV Grids With High PV Penetration", *IEEE Trans. Smart Grid*, May 2014, vol. 5, no. 3, pp. 1514–1522.
- [9] B. Ansari, D. Shi, R. Sharma, and M. G. Simoes, "Economic analysis, optimal sizing and management of energy storage for PV grid integration", *2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T & D)*, May 2016, pp. 1–5.
- [10] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, and S. Ploix, "Optimal power flow management for grid connected PV systems with batteries", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2011, vol. 2, no. 3, pp. 309-320.
- [11] Y. Ru, J. Kleissl, and S. Martinez, "Storage size determination for grid-connected photovoltaic systems", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 68-81.
- [12] J. Xiao, Z. Zhang, L. Bai, and H. Liang, "Determination of the optimal installation site and capacity of battery energy storage system in distribution network integrated with distributed generation", *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 601-607.
- [13] Metropolitan Electricity Authority. Data of the Electrical Networks. Metropolitan Electricity Authority: Bangkok; 2016.
- [14] G. L. Kyriakopoulos and G. Arabatzi, "Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Apr. 2016., vol. 56, pp. 1044–1067.

PHỤ LỤC

Công suất đặt của phụ tải và PV trên các nút

Nút	Tải		Nguồn phát PV	
	Công suất danh định (kW)	Hệ số công suất	Công suất danh định (kWp)	Hệ số công suất
4	12	0,98		
6	10	0,98	30	1
7	15	0,9	45	1
8	7	0,98		
11	9	0,98		
13	20	0,98	60	1
14	20	0,9		
15	12	0,98		
18	5	0,98		
19	10	0,9		
20	10	0,98	30	1
22	12	0,98		
23	20	0,98	60	1