

JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0013

TIẾT KIỆM CHI PHÍ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG NHỜ VÀO BỘ LƯU ĐIỆN

Manuscript ID	JIST-2022-0013
Full title	Tiết Kiệm Chi Phí Sử Dụng Năng Lượng Nhờ Vào Bộ Lưu Điện
Summary	<p>Việc sử dụng năng lượng hiệu quả với hiệu suất cao và tìm ra các phương pháp sử dụng năng lượng mới là vấn đề cấp thiết được quan tâm trên thế giới. Cùng với xu hướng đó, bài báo nghiên cứu bài toán kinh tế khi sử dụng hệ thống lưu trữ năng lượng điện để nạp tại những thời điểm giá điện rẻ và sử dụng ở những thời điểm giá cao hơn, khi tồn tại chính sách hai giá điện. Bên cạnh bài toán được khảo sát, bài báo này còn đề xuất phương pháp tính toán tối ưu các thông số (công suất) của các thiết bị sử dụng trong hệ thống bao gồm các thiết bị biến đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều và ngược lại. Từ đó bài toán tối ưu chi phí đầu tư của hệ thống cũng có thể đạt được.</p>
Research Topic	Điện tử
Keywords	Tối ưu hóa; bài toán lập trình tuyến tính; thiết bị lưu trữ năng lượng phương pháp đơn hình
Authors	<ul style="list-style-type: none">- Đức Phan Văn, Email: duc.pv@vlu.edu.vn, School: Trường Đại học Văn Lang, Faculty: .- Minh Phan Thanh, Email: , School: Trường Đại học Văn Lang, Faculty: .- Sỹ Vũ Quang, Email: , School: Trường Đại học Văn Lang, Faculty: .- Đồng Đoàn Văn, Email: , School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .- Bình Nguyễn Văn, Email: , School: Trường Đại học Văn Lang, Faculty: .
Corresponding author	Đức Phan Văn, Email: duc.pv@vlu.edu.vn, School: Trường Đại học Văn Lang, Faculty: .
Funding	NO

Tiết kiệm chi phí sử dụng năng lượng nhờ vào bộ lưu điện

The cost savings of energy based on the uninterruptible power supply

Phan Văn Đức^{1,*}, Phan Thanh Minh², Vũ Quang Sỹ¹, Đoàn Văn Đồng², Nguyễn Văn Bình¹

¹Trường Đại học Văn Lang

²Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

*Email liên hệ: duc.pv@vlu.edu.vn

Tóm tắt:

Việc sử dụng năng lượng hiệu quả với hiệu suất cao và tìm ra các phương pháp sử dụng năng lượng mới là vấn đề cấp thiết được quan tâm trên thế giới. Cùng với xu hướng đó, bài báo nghiên cứu bài toán kinh tế khi sử dụng hệ thống lưu trữ năng lượng điện để nạp tại những thời điểm giá điện rẻ và sử dụng ở những thời điểm giá cao hơn, khi tồn tại chính sách hai giá điện. Bên cạnh bài toán được khảo sát, bài báo này còn đề xuất phương pháp tính toán tối ưu các thông số (công suất) của các thiết bị sử dụng trong hệ thống bao gồm các thiết bị biến đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều và ngược lại. Từ đó bài toán tối ưu chi phí đầu tư của hệ thống cũng có thể đạt được.

Từ khóa: Tối ưu hóa; bài toán lập trình tuyến tính; thiết bị lưu trữ năng lượng phương pháp đơn hình.

Abstract:

Nowadays, using energy efficiently with high efficiency and finding new energy use methods are urgent issues of concern around the world. Along with that trend, in this paper, we propose and consider the economic problem of using an energy storage system for electricity at times when electricity is cheaper and using it at more expensive times when there is a policy of two electricity prices. Along with the investigated problem, this paper also proposes a method to optimize the parameters (power) of the devices using the system, including devices that convert alternating current into a direction and vice versa. From there, the problem of optimizing the investment cost of the system can also be achieved.

Keywords: Optimization; linear programming problem; energy storage; simplex-method.

1. Giới thiệu

Bài báo trình bày hướng giải quyết bài toán xác định chi phí nhỏ nhất của việc tiêu thụ năng lượng khi có cơ chế điện hai giá, nhờ vào việc sử dụng các bộ lưu trữ năng lượng. Giả sử rằng các đối tượng tiêu thụ năng lượng chỉ tiêu thụ công suất tác dụng. Đặc tuyến của tải có giá trị cực đại vào ban ngày và khác nhau giữa các ngày trong tuần. Công suất của tải bao gồm hai phần, thành phần cố định bao gồm các phụ tải quan trọng và thành phần có thể thay đổi được,

tức là có thể dịch chuyển thời điểm sử dụng. Bộ lưu điện, tải và nguồn từ lưới được nối với hệ thống điều khiển phân phối (bao gồm bộ điều khiển nạp/xả và biến đổi điện). Để giải quyết bài toán này, nhóm nghiên cứu đưa vấn đề cần giải quyết về bài toán lập trình tuyến tính với số biến lên đến hàng ngàn. Chế độ làm việc của hệ thống được đưa vào mô phỏng trong thời gian một tuần với khoảng cách giữa các điểm rời rạc bằng 12 phút. Kết quả bài toán đã chứng minh được rằng, việc sử dụng thiết bị lưu điện mang

lại hiệu quả kinh tế 05-25%, khi chưa tính đến chi phí của hệ thống, các thiết bị lưu trữ và biến đổi năng lượng kèm theo. Việc đánh giá hiệu quả kinh tế tổng thể của chủ thể này phải được khảo sát tất cả các yếu tố kể trên. Trong kết luận chung của bài báo khẳng định rằng tại thời điểm hiện nay do giá cả của các thiết bị biến đổi và lưu trữ năng lượng còn cao so với việc tiết kiệm chi phí do cơ chế hai giá mang lại, nên việc sử dụng các thiết bị như vậy là không hiệu quả. Tuy nhiên, nghiên cứu mở ra một kết quả có ý nghĩa vô cùng lớn, trong đó bao gồm việc đưa ra mô hình toán học để tính toán mô phỏng tối ưu hóa công suất lắp đặt của các thiết bị trong hệ thống điện đa nguồn, cũng như lợi ích ổn định điện áp và năng lượng.

Vấn đề trong bài báo này liên quan đến dự án nghiên cứu nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật trong giai đoạn hiện nay của Liên Bang Nga. Trường hợp thực tế với tồn tại cơ chế hai giá (giá điện khác nhau giữa những thời điểm cao điểm và thấp điểm) có thể nhận được sự tiết kiệm chi phí năng lượng ở một mức độ nào đó, khi lắp đặt các bộ lưu trữ năng lượng [1], [2], [3]. Tuy nhiên, nhóm mong muốn làm rõ một số vấn đề như sau:

- Mức độ tiết kiệm chi phí sử dụng năng lượng đạt được như thế nào và làm thế nào để điều khiển vận hành các bộ lưu điện nhằm tiết kiệm chi phí;
- Sự tương quan giữa các thành phần công suất của phụ tải, công suất của mạng cung cấp, công suất của bộ biến đổi và dung lượng của bộ lưu trữ năng lượng như thế nào để tiết kiệm tối đa chi phí;
- Và khả năng ổn định điện áp trong hệ thống.

Việc đầu tư và vận hành một thiết bị lưu trữ năng lượng là một việc có ý nghĩa đối với chủ sở hữu các phụ tải, nếu nó có thể làm giảm chi phí năng lượng. Hơn nữa nếu được tài trợ bởi hệ thống cung cấp điện, thiết bị lưu trữ năng lượng

còn giúp giảm sự không đồng đều của mạng. Rõ ràng là các yếu tố này không mâu thuẫn (mặc dù không tương đương), và sự cải thiện của bất kỳ yếu tố nào trong số chúng đều mang lại những tác dụng tích cực. Trong công việc tối ưu hóa chi phí tiêu thụ năng lượng, nghĩa là nhóm sẽ xem xét vấn đề sử dụng năng lượng hiệu quả từ góc độ của chủ sở hữu [4], [5].

Việc khảo sát được thực hiện trên mô hình toán của một đối tượng tiêu thụ năng lượng, với một loạt những giả thuyết sau:

- Tải chi tiêu thụ công suất tác dụng, đồ thị tải $P_{load}(t)$ có giá trị cực đại vào ban ngày và khác nhau giữa các ngày, khoảng thời gian được mô phỏng – một tuần, giá điện khác nhau giữa ngày và đêm;
- Công suất tải gồm hai phần, thành phần cố định $P_{const}(t)$ và $P_{var}(t)$ thành phần không cố định, tức là có thể thay đổi thời điểm sử dụng;
- Các thiết bị biến đổi điện và thiết bị lưu điện được giả sử không tổn hao (giả thuyết được chấp nhận để không làm phức tạp hóa việc trình bày ý tưởng chính của bài toán, nó có thể được gỡ bỏ một cách đơn giản bằng cách đưa vào một hệ số tổn hao nhất định đối với từng loại thiết bị cụ thể), trạng thái năng lượng ban đầu $W_{bat}(0)$ và cuối cùng $W_{bat}(T)$ của thiết bị lưu điện được xem như giống nhau tại đầu và cuối khoảng thời gian được mô phỏng.

Một hoặc một số tòa nhà chung cư, trung tâm văn phòng, trang trại và một doanh nghiệp công nghiệp nhỏ với mức tiêu thụ công suất tác dụng chủ yếu có thể trở thành những đối tượng nghiên cứu lý tưởng để giải quyết bài toán tiêu thụ năng lượng.

2. Mô tả toán học của vấn đề cần giải quyết

Nhóm đưa ra các đại lượng mô tả vấn đề cần giải quyết và các giới hạn của chúng. Trước tiên, để rõ ràng về cách trình bày, nhóm giới

thiệu các đại lượng này là các hàm liên tục theo thời gian, sau đó lấy một bước rời rạc theo thời gian và tất cả các đại lượng mô tả vấn đề trở thành vectơ mà các thành phần của chúng sẽ là giá trị tại các thời điểm rời rạc.

Đối với thiết bị lưu điện $P_{\text{bat max}}$, $P_{\text{bat}}(t)$, $W_{\text{bat max}}$, $W_{\text{bat}}(t)$ - tương ứng với công suất của các bộ biến đổi điện phù hợp để kết nối giữa bộ lưu điện và lưới. Công suất phát/thu tức thời của bộ lưu điện phải đảm bảo đồng bộ với công suất của bộ biến đổi điện.

Các đại lượng cơ bản mô tả cụ thể phần lưu trữ điện:

$$-P_{\text{bat max}} \leq P_{\text{bat}}(t) \leq P_{\text{bat max}}, \quad (1)$$

$$0 \leq W_{\text{bat}}(t) \leq W_{\text{bat max}}, \quad (2)$$

Với

$$W_{\text{bat}}(t) = \int_0^t P_{\text{bat}}(t)dt + W_{\text{bat}}(0)$$

Phải lưu ý rằng, dung lượng và công suất pin cực đại phải được lấy theo giới hạn nạp/xả của pin, mà trong giới hạn này thiết bị lưu điện hoạt động hoàn hảo, tức là phụ thuộc vào đặc tính nạp/xả theo trạng thái năng lượng hiện tại của bộ lưu. Các giới hạn này có giá trị khác nhau đối với từng loại pin được sử dụng [6].

$$\text{Nếu } W_{\text{bat}}(0) = 0, \text{ thì } W_{\text{bat}}(t) = \int_0^t P_{\text{bat}}(t)dt \quad (3)$$

Đối với công suất lấy từ lưới $P_{\text{net max}}$, $P_{\text{net}}(t)$ - tương ứng với công suất cực đại cho phép lấy từ lưới (công suất cực đại lấy từ lưới đóng vai trò quyết định trong việc lựa chọn kích thước dây tải điện; tại một số nơi chẳng hạn như Nga, việc đăng ký trước công suất tối đa cũng ảnh hưởng đến giá điện) và công suất tức thời, ta có:

$$0 \leq P_{\text{net}}(t) \leq P_{\text{net max}} \quad (4)$$

Đối với tải, $P_{\text{load}}(t)$ - công suất tức thời của tải ban đầu. Như đã nói ở trên, gồm hai thành phần $P_{\text{const}}(t)$ và $P_{\text{var}}(t)$:

$$P_{\text{load}}(t) = P_{\text{const}}(t) + P_{\text{var}}(t) \quad (5)$$

Với $P_{\text{const}}(t)$ - thành phần tải luôn luôn hiện hữu và không thể thay đổi thời điểm sử dụng, tức là đồ thị của nó không thay đổi sau quá trình tối ưu hóa; $P_{\text{var}}(t)$ - thành phần có thể thay đổi thời điểm sử dụng, tức là đồ thị của nó bị thay đổi sau quá trình tối ưu hóa.

Năng lượng tải tiêu thụ W_{load} từ thời điểm $t = 0$ đến $t = T$, với T khoảng thời gian mô phỏng, trong bài toán này nhóm mô phỏng hệ thống hoạt động trong vòng một tuần, ta có [7]:

$$W_{\text{load}} = \int_0^T P_{\text{load}}(t)dt = \int_0^T P_{\text{const}}(t)dt + \int_0^T P_{\text{var}}(t)dt = W_{\text{const}} + W_{\text{var}} \quad (6)$$

Với

$$W_{\text{var}} = \int_0^T P_{\text{var}}(t)dt \quad (7)$$

Phương trình cân bằng công suất:

$$P_{\text{bat}}(t) + P_{\text{net}}(t) = P_{\text{load}}(t)$$

$$\text{Hay: } -P_{\text{var}}(t) + P_{\text{bat}}(t) + P_{\text{net}}(t) = P_{\text{const}}(t) \quad (8)$$

Nhóm đưa vào khảo sát các vectơ P_{var} , P_{bat} , P_{net} , mà các phần tử của nó là các giá trị tương ứng với các đại lượng $P_{\text{var}}(t)$, $P_{\text{bat}}(t)$, $P_{\text{net}}(t)$ tại các thời điểm rời rạc $t_k : \{t_1 = 0; t_k = t_{k-1} + h; t_N = T\}$, với h - bước quan sát trong quá trình mô phỏng - 12 phút. Tiếp theo, để việc viết các đại lượng đơn giản hơn, nhóm ký hiệu $P_{\text{var},k} = P_{\text{var}}(t_k)$, $P_{\text{bat},k} = P_{\text{bat}}(t_k)$, $P_{\text{net},k} = P_{\text{net}}(t_k)$.

Khi đó:

$$\mathbf{P}_{\text{var}} = \begin{bmatrix} P_{\text{var},1} \\ P_{\text{var},2} \\ \vdots \\ P_{\text{var},N} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{P}_{\text{bat}} = \begin{bmatrix} P_{\text{bat},1} \\ P_{\text{bat},2} \\ \vdots \\ P_{\text{bat},N} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{P}_{\text{net}} = \begin{bmatrix} P_{\text{net},1} \\ P_{\text{net},2} \\ \vdots \\ P_{\text{net},N} \end{bmatrix}$$

Giả sử $K(t)$ – giá mua điện từ lưới thay đổi theo thời điểm sử dụng theo quy luật đã biết. Trong bài toán này, nhóm lấy theo giá điện tại thành phố Saint-Petersburg, tháng 05-2019. Giá điện ban ngày 4.6 Rub/kWh (hay 7.6 cents/kWh) và ban đêm 2.8 Rub/kWh (hay 4.4 cents/kWh). Tương tự, nhóm đưa vào vector giá điện $\mathbf{K} = [K_1, K_2, \dots, K_N]^T$, để có thể viết các phương trình ở dạng ma trận.

Hàm mục tiêu, ở đây nhóm tác giả xét riêng giá điện. Còn chi phí cho bộ phận lưu trữ năng lượng sẽ tính được từ công suất và dung lượng pin được tối ưu nhận được trong các phép mô phỏng.

$$f = \mathbf{K}'\mathbf{P}_{\text{net}} \rightarrow \min \quad (9)$$

Rõ ràng, việc giải quyết bài toán (9) tương ứng với việc cực tiểu hóa chi phí tiêu thụ điện. Sau đây, nhóm sẽ viết lại các giới hạn, phương trình, bất phương trình ở dạng vector mà các phần tử của chúng tương ứng với các thời điểm t_k . Các giới hạn (8) cho thấy thực tế là tổng công suất lấy từ lưới và bộ lưu điện bằng công suất tải tại thời điểm bất kỳ. Từ đó suy ra ở dạng vector, (7) được viết như sau [7]:

$$W_{\text{var}} = \int_0^T P_{\text{var}}(t)dt = \sum_{n=1}^N P_{\text{var},n} h = h \cdot \mathbf{1}' \cdot \mathbf{P}_{\text{var}} = B_1 = W_{\text{load}} - W_{\text{const}}$$

Với $\mathbf{1}$ – vector một, có kích thước tương ứng. Từ giả thuyết mà trạng thái bộ lưu điện ban đầu $W_{\text{bat}}(0)$ và $W_{\text{bat}}(T)$ cũng như $W_{\text{bat},N}$ – năng lượng còn lại của bộ lưu điện bằng nhau, ta nhận được giới hạn:

$$W_{\text{bat}} = W_{\text{bat}}(0) + h \cdot \mathbf{1}' \cdot \mathbf{P}_{\text{bat}} = W_{\text{bat},1} + B_2 = W_{\text{bat},N} \quad \text{hay}$$

$$h \cdot \mathbf{1}' \cdot \mathbf{P}_{\text{bat}} = B_2 = W_{\text{bat},N} - W_{\text{bat}}(0)$$

Khi đó có thể viết được (8) ở dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} -\mathbf{E} & -\mathbf{E} & \mathbf{E} \end{bmatrix} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{P}_{\text{var}} \\ \mathbf{P}_{\text{bat}} \\ \mathbf{P}_{\text{net}} \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} P_{\text{const},1} \\ P_{\text{const},2} \\ \vdots \\ P_{\text{const},N} \end{bmatrix} = \mathbf{B}_3$$

Với \mathbf{E} – ma trận đơn vị. Cuối cùng, ở dạng ma trận ta có:

$$\begin{bmatrix} h \cdot \mathbf{1}' & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & h \cdot \mathbf{1}' & \mathbf{0} \\ -h \cdot \mathbf{E} & -h \cdot \mathbf{E} & h \cdot \mathbf{E} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{\text{var}} \\ \mathbf{P}_{\text{bat}} \\ \mathbf{P}_{\text{net}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \mathbf{B}_3 \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{B} \quad (10)$$

Với $\mathbf{0}$ – vector không có kích thước tương ứng. Đối với (3), giả sử bộ lưu điện và thiết bị biến đổi không tổn hao:

$$0 \leq W_{\text{bat},n} = W_{\text{bat}}(0) + \sum_{i=1}^n P_{\text{bat},i} h \leq W_{\text{bat max}}; \quad n = \overline{1, N}$$

Hay ở dạng ma trận:

$$-\mathbf{1} \cdot W_{\text{bat}}(0) \leq h \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{S}} \begin{bmatrix} P_{\text{bat},1} \\ P_{\text{bat},2} \\ \vdots \\ P_{\text{bat},N} \end{bmatrix} \leq \mathbf{1} \cdot (W_{\text{bat max}} - W_{\text{bat}}(0))$$

$$\text{Hay } -\mathbf{1} \cdot \frac{W_{\text{bat}}(0)}{h} \leq \mathbf{S} \cdot \mathbf{P}_{\text{bat}} \leq \mathbf{1} \cdot \frac{W_{\text{bat max}} - W_{\text{bat}}(0)}{h},$$

$$\text{từ đó } \begin{bmatrix} \mathbf{S} \\ -\mathbf{S} \end{bmatrix} \mathbf{P}_{\text{bat}} \leq \frac{1}{h} \begin{bmatrix} \mathbf{1} \cdot (W_{\text{bat max}} - W_{\text{bat}}(0)) \\ \mathbf{1} \cdot W_{\text{bat}}(0) \end{bmatrix}.$$

Như vậy:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{S} \\ -\mathbf{S} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{\text{var}} \\ \mathbf{P}_{\text{bat}} \\ \mathbf{P}_{\text{net}} \end{bmatrix} \leq \frac{1}{h} \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \cdot (W_{\text{bat max}} - W_{\text{bat}}(0)) \\ \mathbf{1} \cdot W_{\text{bat}}(0) \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{C}\mathbf{X} \leq \mathbf{D} \quad (11)$$

Để rõ ràng hơn, nhóm liệt kê lại toàn bộ mô hình toán học của vấn đề cần giải quyết:

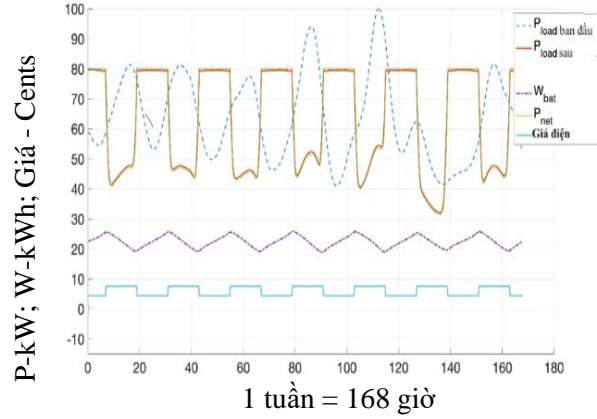
$$\begin{cases} 0 \leq P_{\text{var}}(t) \leq P_{\text{net max}} - P_{\text{load max}} \\ -P_{\text{bat max}} \leq P_{\text{bat}}(t) \leq P_{\text{bat max}} \\ 0 \leq P_{\text{net}}(t) \leq P_{\text{net max}} \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\mathbf{1} \cdot P_{\text{bat max}} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} P_{\text{var}} \\ P_{\text{bat}} \\ P_{\text{net}} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \mathbf{1} \cdot (P_{\text{load}} - P_{\text{const}}) \\ \mathbf{1} \cdot P_{\text{bat max}} \\ \mathbf{1} \cdot P_{\text{net max}} \end{bmatrix}$$

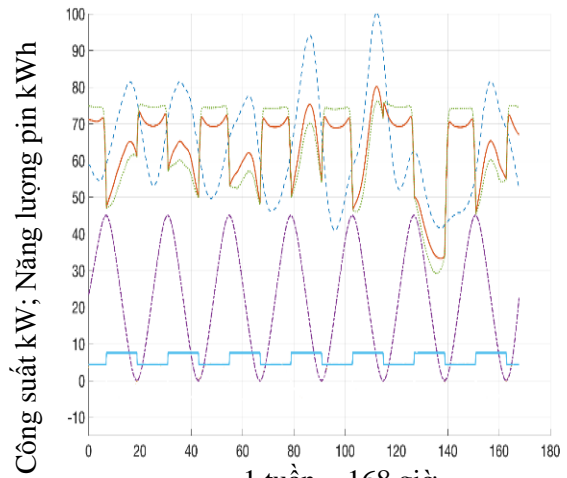
Bài toán (12) được hình thành từ bài toán (9) với các điều kiện ở dạng đẳng thức (10) và các bất đẳng thức (11) liên quan đến bài toán lập trình tuyến tính và để giải quyết bài toán loại này, nhóm áp dụng các phương pháp đơn (simplex method) [4], [8]-[11]. Tổng số biến khi mô phỏng hệ thống trong vòng một tuần với bước quan sát bằng 12 phút là 2520 biến.

3. Kết quả mô phỏng

Nghiệm của bài toán nhận được đối với hàm mục tiêu (9), được biểu diễn như là những hàm theo thời gian đối với các tỉ lệ của phần tải hằng và tải thay đổi, công suất bộ biến đổi điện và công suất lưới, được biểu diễn như hình 1. Những sự phụ thuộc này thể hiện đặc tính rất tốt của các thành phần tải, được đặt ra trong quá trình nghiên cứu. Hình 1a tương ứng với trường hợp khi $P_{\text{var}}(t) = P_{\text{const}}(t)$, tức là khi phần công suất thay đổi và không thay đổi bằng nhau. Có thể thấy, bộ lưu điện thực tế gần như không được sử dụng đến (đường cong $W_{\text{bat}}(t)$). Dung lượng bộ lưu điện khi đó có thể giảm xuống 10 kWh. Lợi ích về kinh tế vào khoảng 20% so với ban đầu. Hình 1b tương ứng với trường hợp $P_{\text{var}}(t) = 0.2P_{\text{const}}(t)$. Có thể thấy rằng, bộ lưu điện được sử dụng rất tích cực (dung lượng pin cực đại 45kWh và công suất đạt 15kW), các hoạt động tiêu thụ năng lượng dễ dàng hơn đối với người tiêu dùng.



(a)



(b)

Hình 1. Tối ưu hóa chi phí tiêu thụ điện.

Để giải thích kết quả bằng đồ thị, nhóm chuyển đến các giá trị tương đối:

$$\hat{P}_{\text{net max}} = \frac{P_{\text{net max}}}{P_{\text{load max}}}, \quad \hat{P}_{\text{load var}} = \frac{P_{\text{load var}}}{P_{\text{load max}}}, \quad \hat{P}_{\text{bat max}} = \frac{P_{\text{bat max}}}{P_{\text{load max}}} \quad (13)$$

Hình 1(a) - $P_{\text{var}}(t) = P_{\text{const}}(t)$

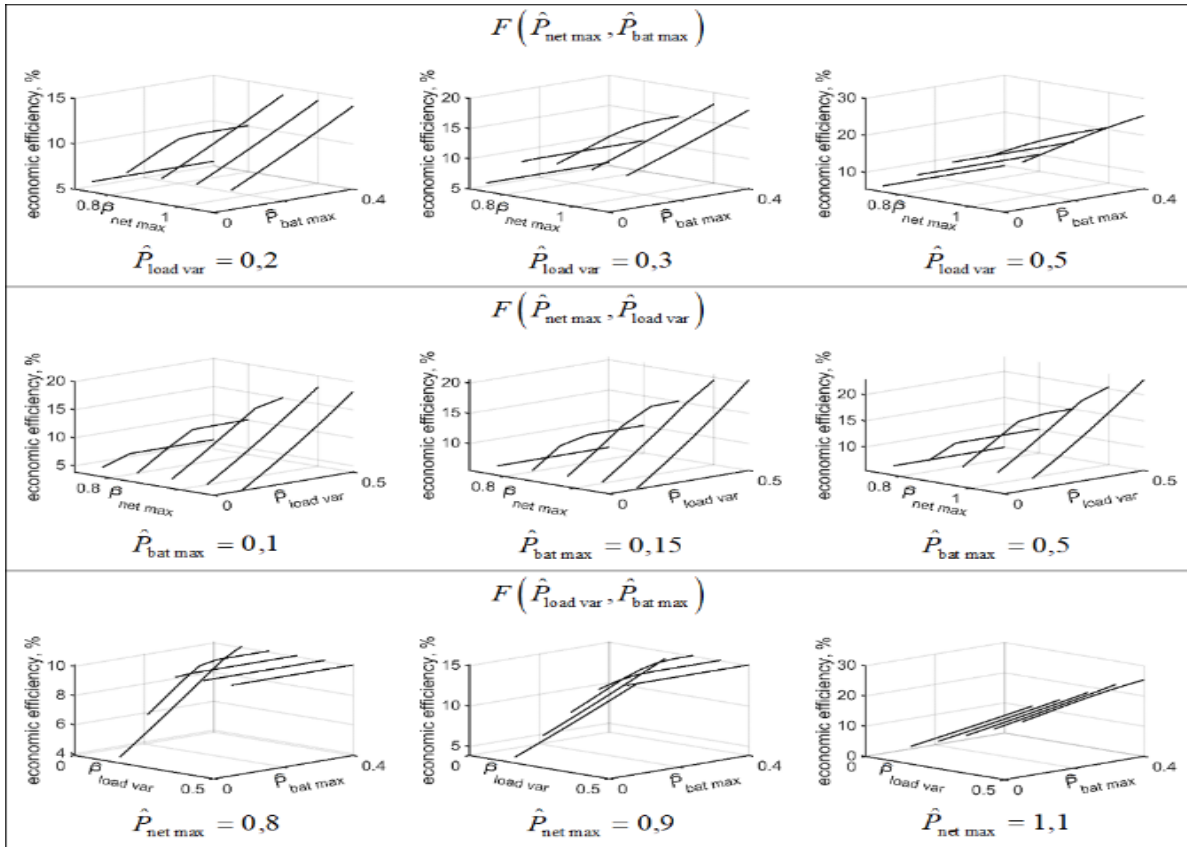
Hình 1(b) - $P_{\text{var}}(t) = 0.2P_{\text{const}}(t)$

Ở bảng 1, nhóm trình bày kết quả của vài phép tính được thực hiện cho các tỷ lệ khác nhau đối với các giá trị tương đối ở trên. Trên trục tung của tất cả các đồ thị, tỷ lệ phần trăm tiết kiệm chi phí quả năng lượng (sau đây là F) được tiêu thụ từ mạng.

Dòng thứ ba trong mỗi ô của bảng 1 đưa ra các tỉ lệ của các thông số từ (13). Có thể thấy được từ các đồ thị, sự gia tăng công suất bộ biến đổi (tương ứng là công suất của bộ lưu điện), làm giảm chi phí tiêu thụ điện (F tăng). Kết quả này

có thể dự đoán được dễ dàng. Tuy nhiên, có thể thấy từ các biểu đồ (ô thứ nhất của bảng 1), chẳng hạn $F = 25\%$ khi công suất tải 100 kW dung lượng pin hơn 150 kWh.

Bảng 1. Mức độ hiệu quả kinh tế phụ thuộc vào các đại lượng tương đối (13).



Việc phân tích ô thứ nhất của bảng 1 đã cho thấy rằng F giảm khi công suất cực đại từ lưới giảm. Điều này được giải thích bởi thực tế, ở mức công suất tối đa lấy từ lưới thấp, không có đủ năng lượng cho mỗi lần sạc trên bộ lưu điện, như vậy, hiệu quả sử dụng của nó thấp ngay cả với công suất của bộ biến đổi cũng như của bộ lưu điện rất lớn. Khi công suất tối đa có thể lấy từ lưới tăng, F tăng tuyến tính với công suất bộ lưu điện.

Ô thứ hai đã cho thấy sự ảnh hưởng của các đại lượng $P_{load\ var}$ lên hiệu quả của việc sử dụng các bộ lưu điện. Ở đây F cũng giảm khi công suất tối đa được lấy từ lưới giảm, và khi cùng mức công suất tối đa của lưới, thành phần không đổi $P_{load\ var}$ giảm.

Một phân tích về ô cuối cùng của bảng cũng cho thấy một kết quả tương tự. Như vậy, có thể đưa ra được kết luận chung, để tiết kiệm đáng kể chi phí năng lượng chỉ có thể đạt được với công suất tối đa của lưới cao.

4. Kết luận và khuyến nghị

Kết quả cho thấy ngay cả với các giả định khá đơn giản, việc sử dụng bộ lưu điện giúp giảm 05 - 25% chi phí hiệu quả năng lượng. Đồng thời, chi phí vốn của thiết bị bổ sung (bộ lưu điện và bộ chuyển đổi kết nối nó với mạng) được ước tính là đáng kể. Hiệu quả chi phí năng lượng thu được đáng kể (10% trở lên) khi thành phần công suất thay đổi của tải chiếm từ 10% trở lên so với công suất tối đa lấy từ lưới. Do đó, bài toán về hiệu quả tiết kiệm chi phí năng lượng khi sử

dụng bộ lưu điện nhờ vào cơ chế hai giá có thể giải quyết, bởi vì chi phí vận hành và các chi phí đầu tư các thiết bị để lưu điện của người tiêu dùng tương đương với chi phí tiết kiệm nhờ vào việc tăng mức tiêu thụ điện (bao gồm cả việc lưu lại điện) vào thời điểm giá thấp và giảm mức tiêu thụ điện ở thời điểm giá cao.

Tình hình có thể sẽ thay đổi đáng kể nếu chủ sở hữu có cơ hội sử dụng các nguồn năng lượng thay thế (tái tạo). Đây có thể là hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm.

Cũng cần lưu ý tác động tích cực của bộ lưu điện liên quan đến sự ổn định mức độ tiêu thụ năng lượng từ mạng. Đối với hầu hết tất cả các kết hợp tham số được xem xét, chế độ tối ưu về chi phí tiêu thụ điện cũng đi kèm với mức tiêu thụ năng lượng thống nhất trên thực tế từ lưới. Điều này, theo quan điểm của nhóm, tác động lưu tâm nhất là việc sử dụng của bộ lưu điện, có thể thấy được trên hình 1, công suất tiêu thụ của tải trở nên ổn định hơn và điều này cũng dẫn đến là điện áp sẽ ổn định hơn.

Ngoài ra trong bài báo này, nhóm đã đề xuất việc áp dụng bài toán lập trình tuyến tính để tính toán tối ưu các thiết bị có trong hệ thống. Đây là một trong những điểm mới đáng chú ý nhất của bài báo này. Trong các tài liệu trước đây [3], [5], [12]-[18], các tác giả hầu như chỉ áp dụng các thuật toán điều khiển để tối ưu công suất của hệ thống năng lượng độc lập mà không hoặc ít đề cập đến vấn đề tính toán tối ưu, trong khi điều này đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa chi phí đầu tư hệ thống.

Khi chỉ sử dụng năng lượng từ lưới, hiệu quả của việc lưu trữ năng lượng thấp về chi phí đầu tư, nhưng với sự kết hợp của các nguồn năng lượng như gió và năng lượng mặt trời, hiệu quả này rất đáng kể. Kết quả của sự kết hợp này, cũng như một số vấn đề liên quan đến các nguồn năng lượng tái tạo, mà nhóm tiếp tục nghiên cứu, sẽ được trình bày trong bài viết tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] H. Chen et al.; “Energy storage and management system with carbon nanotube supercapacitor and multidirectional power delivery capability for autonomous wireless sensor nodes”. IEEE Transactions on Power Electronics. 2010; 25(12):2897-2909. DOI: 10.1109/TPEL.2010.2081380.
- [2] V. Subramanian et al.; “Printed electronics for low-cost electronic systems: Technology status and application development”. In Proc. The 34th European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC 2008); 15-19 September, 2008; Edinburgh, UK. IEEE; 2008; pp. 17-24. DOI: 10.1109/ESSCIRC.2008.4681785.
- [3] A. V. Boicea; “Energy Storage Technologies: The Past and the Present”. In Proc. The IEEE. 2014; 102(11):1777 - 1794. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2359545.
- [4] R. E. Stone, C. A. Tovey; “Erratum: The simplex and projective scaling algorithms as iteratively reweighted least squares methods”. SIAM Review. 1991; 33(3):461-461. DOI: 10.1137/1033100.
- [5] S. Vazquez et al., “Energy storage systems for transport and grid applications”. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2010; 57(12):3881-3895. DOI: 10.1109/TIE.2010.2076414.
- [6] IEEE Guide for Selecting, Charging, Testing, and Evaluating Lead-Acid Batteries Used in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems; IEEE Standard 1361; 2014. DOI: 10.1109/IEEEESTD.2014.6837414.
- [7] К. Демирчян, Л. Нейман, Н. Коровкин; “Теоретические основы электротехники”. С.П.Б: Питер. 2009.
- [8] I. Adler, P. Christos, A. Rubinstein; “On Simplex Pivoting Rules and Complexity Theory”. In Proc. The 17th International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization (IPCO 2014); June 23-25, 2014; Bonn, Germany. Cham: Springer;

- 2014; pp. 13–24. DOI: 10.1007/978-3-319-07557-0_2.
- [9] T. D. Hansen, U. Zwick; “An Improved Version of the Random-Facet Pivoting Rule for the Simplex Algorithm”. In Proc. The Forty-seventh Annual ACM Symposium on Theory of Computing; 14 – 17 June, 2015; Portland Oregon USA. , New York, USA: Association for Computing Machinery; 2015; pp.209–218. DOI: 10.1145/2746539.2746557.
- [10] V. Klee, G. J. Minty; “How good is the simplex algorithm?”. In Proc. The Third Symposium on Inequalities; September 1-9, 1969; University of California. Los Angeles, California: Academic Press; 1972; pp.159-175.
- [11] A.Schrijver; “Theory of Linear and Integer Programming”. Journal of the Operational Research Society. 2000; 51(7): 892-893.
- [12] B. Mirshekarpour, S. A. Davari,; “Efficiency Optimization and Power Management in a Stand-Alone Photovoltaic (PV) Water Pumping System. In Proc. 2016 7th Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference (PEDSTC); 16-18 February, 2016; Tehran, Iran. IEEE; 2016. pp. 427-433. DOI: 10.1109/PEDSTC.2016.7556899.
- [13] W. Priyono, D. F. Wijaya, E. Firmansyah; “Study and Simulation of a Hybrid Stand-alone PV System for Rural Telecommunications System”. In Proc. 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE); 13-14 November, 2018; Yogyakarta, Indonesia. IEEE; 2018; pp.418-422. DOI: 10.1109/ICITISEE.2018.8721000.
- [14] V. H. Tran, and M. Coupechoux; “Cost-constrained Viterbi Algorithm for Resource Allocation in Solar Base Stations”. IEEE Transactions on Wireless Communications PP. 2017; (99):1-1. DOI: 10.1109/TWC.2017.2692223.
- [15] V. A. Boicea; “Energy Storage Technologies: The Past and the Present”. In Proc. the IEEE. 2014; 102(11):1777-1794. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2359545.
- [16] H. Pan et al.; “Nanoscale Patterning and Electronics on Flexible Substrate by Direct Nanoimprinting of Metallic Nanoparticles”. Advanced Materials. 2008; 20(3):489 – 496. DOI: 10.1002/adma.200702326.
- [17] K. Yang, A. Walid; “Outage-storage tradeoff in frequency regulation for smart grid with renewables”. IEEE Transactions on Smart Grid. 2013; 4(1):245–252. DOI: 10.1109/TSG.2012.2232683.
- [18] P. F Ribeiro et al.; “Energy storage systems for advanced power applications”. In Proc. the IEEE. 2002; 89(12):1744 – 1756. DOI: 10.1109/5.975900.

Ngày nhận bài: 07/09/2021
Ngày chuyển phản biện: 10/09/2021
Ngày hoàn thành sửa bài: 01/10/2021
Ngày chấp nhận đăng: 08/10/2021