

TỐI ƯU HÓA LỊCH TRÌNH SỬ DỤNG TẢI ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ TRÊN CƠ SỞ CÁC BỘ TỔNG HỢP TẢI

Hà Thanh Tùng

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này thiết lập mô hình tối ưu hóa lịch trình sử dụng năng lượng của tải điều hòa không khí (*Air Conditioning Load, ACL*) trên cơ sở các bộ tổng hợp tải (*Load Aggregator, LA*). Mô hình LA có xét đến chiến lược bù đắp chi phí (bù đắp ứng nhu cầu) cho người sử dụng, yếu tố nhiệt độ và mô hình xác suất của điện gió. Hàm mục tiêu của mô hình là tổng doanh thu tối đa của LA có xét đến các ràng buộc về nhiệt độ, biến động điện gió, giới hạn công suất hệ thống và hạn chế chi phí (doanh thu của bộ tổng hợp tải). Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy mô hình tối ưu đề xuất đem lại lợi ích về mặt kinh tế và cải thiện đáng kể các đường đặc tính tải trong hệ thống.

Từ khóa: *Tải điều hòa; đáp ứng nhu cầu; năng lượng tái tạo; bộ tổng hợp tải*

Ngày nhận bài: 19/4/2020; Ngày hoàn thiện: 19/5/2020; Ngày đăng: 21/5/2020

OPTIMIZING THE USAGE SCHEDULE FOR AIR CONDITIONING LOAD BASED ON LOAD AGGREGATOR

Ha Thanh Tung

TNU – University of Technology

ABSTRACT

This paper constructs the model to optimize the usage schedule air conditioning load (ACL) based on load aggregator (LA). The LA model takes into account cost compensation (demand-compensation) strategies, temperature factors, and wind power probabilities. The model's objective function is the maximum total revenue of LA, considering the constraints on temperature; wind power fluctuations, system capacity limits and cost constraints (load aggregator revenue). The simulation results show that the proposed optimal model brings economic benefits and significantly improves the load characteristic in the system.

Keywords: *air conditioning load; demand response; renewable energy; load aggregator*

Received: 19/4/2020; Revised: 19/5/2020; Published: 21/5/2020

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, nguồn phân tán (Distributed Generation, DG) như năng lượng gió và các thiết bị quang điện sử dụng năng lượng tái tạo để phát điện đã được phát triển mạnh mẽ trước nguy cơ cạn kiệt và thiếu hụt nghiêm trọng của các dạng năng lượng hóa thạch. Tuy nhiên, năng lượng đầu ra của DG do phụ thuộc rất lớn vào không gian và thời gian nên thường biến động và gián đoạn mạnh, gây nên tác động không nhỏ đến lưới điện [1].

Sự xuất hiện của công nghệ năng lượng thông minh đã đề xuất các giải pháp mới để giải quyết các vấn đề về tiêu thụ năng lượng tái tạo. Là một phần quan trọng của lưới điện thông minh, công nghệ năng lượng thông minh có thể tăng cường hiệu quả việc trao đổi và tương tác thông tin, năng lượng và kinh doanh giữa lưới điện và người dùng [2]. Loại hình này dễ dàng nhận ra sự thay đổi phụ tải, kiểm soát tốt, phát hành và thanh toán hóa đơn tiền điện nhanh chóng.

Điều khiển phụ tải là một trong những giải pháp sử dụng tiết kiệm và hiệu quả năng lượng. Vấn đề đặt ra khi triển khai mô hình điều tiết tải chính là phản ứng ở phía người dùng. Một giải pháp được đưa ra trong những năm gần đây là sử dụng các bộ tổng hợp tải (Load Aggregator, LA) [3]. LA đơn giản là một tổ chức bên thứ 3 độc lập, có thể tích hợp và điều tiết thống nhất giữa phụ tải và nhà cung cấp là các công ty điện lực [4].

Một trong những đối tượng phụ tải mà LA hướng đến áp dụng chính là điều hòa không khí (Air Conditioning Load, ACL). Trước hết, ACL chiếm tỷ lệ cao trong nhu cầu tiêu thụ điện ở khu vực dân cư. Trong giai đoạn cao điểm, ACL có thể chiếm đến 40% tổng tải dân cư và tỷ lệ này có xu hướng tăng dần đều theo năm [1]. Cảm nhận của người dùng về nhiệt độ trong nhà có một khoảng nhiệt độ không nhảy cảm nhất định [5]. Khi nhiệt độ trong nhà thay đổi ở khu vực này, sự thoải

mái của người dùng không thay đổi đáng kể [6]. Hơn nữa, ACL có quán tính nhiệt, và toàn bộ điều hòa không khí và tòa nhà có thể được coi là một thiết bị dự trữ nhiệt, giúp điều chỉnh ACL trong thời gian ngắn.

Hiện nay, có rất nhiều tài liệu về mô hình hóa và lập kế hoạch vận hành đối với ACL: [5] đã đề xuất một mô hình lưu trữ năng lượng ảo của ACL và phân tích khả năng *max* của lưu trữ năng lượng xem xét các đặc điểm thoải mái của cơ thể con người; [7] Đề xuất mô hình hóa ACL trung tâm và phương pháp triệt tiêu sự biến động của điện gió; [8] phân tích phương pháp giảm ACL trung tâm và các yếu tố ảnh hưởng; [9] đã thiết lập một mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu nhằm tối ưu hóa hóa đơn tiền điện và sự thoải mái của người dùng thông qua ACL và đề xuất giải pháp để đối phó với sự không chắc chắn của nhiệt độ ngoài trời.

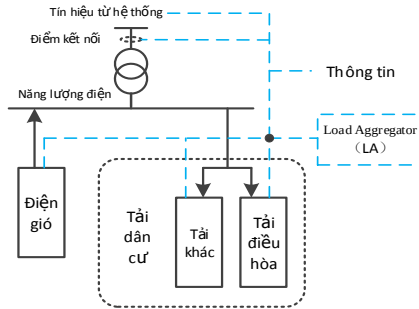
Nhìn chung, mô hình tối ưu của ACL thường áp dụng phương pháp điều khiển bước hoặc điều khiển nhiệt độ không đổi. Các phương pháp này không thể khai thác triệt để tiềm năng của ACL. Hơn nữa, chiến lược bồi thường đối với người dùng hiện tại thường được xác định theo tình huống loại bỏ trực tiếp tải mà không thể phản ánh chính xác tác động đáp ứng nhu cầu đối với người dùng. Do đó, bài báo này dựa trên nghiên cứu mô hình thay đổi nhiệt độ của ACL tiến hành xem xét chiến lược giá điện theo thời gian thực trên thị trường điện, đồng thời đề xuất mô hình vận hành tối ưu để kiểm soát tải điều hòa của LA có xét đến sự tham gia của điện gió. Chức năng mục tiêu của mô hình này là lợi nhuận tối đa của LA, có tính đến các ràng buộc về nhiệt độ môi trường và sự dao động năng lượng tái tạo, v.v., nhằm thúc đẩy việc tiêu thụ năng lượng tái tạo trong lưới điện.

2. Mô hình và lợi ích của LA

2.1. Cấu trúc

Là một mắt xích quan trọng, LA phải duy trì liên lạc đầy đủ giữa công ty điện lực (cung

cấp điện) và người sử dụng điện để có được thông số tải thay đổi theo thời gian thực, thông tin giá điện và trạng thái kiểm soát tải linh hoạt trong điều kiện thị trường điện nhằm lên kế hoạch vận hành cho chiến lược kiểm soát tiếp theo. Cấu trúc của hệ thống được giới thiệu như hình 1 [10].



Hình 1. Cấu trúc của LA

LA sẽ thu thập thông tin cần thiết của ACL phía người dùng [11] theo thời gian thực để lên kế hoạch vận hành. Đồng thời, LA giám sát nguồn điện tại điểm kết nối giữa lưới điện cục bộ và lưới điện cấp cao hơn trong thời gian thực và có thể đánh giá lợi ích của việc cắt giảm phụ tải đỉnh và san bằng đồ thị phụ tải.

2.2. Chi phí mua điện và lợi ích bán điện

Chi phí của LA chủ yếu bao gồm chi phí mua điện (bao gồm chi phí vận hành) và chi phí bồi thường cho người dùng. Trong thị trường điện, chi phí LA mua điện từ hệ thống phụ thuộc vào chi phí phát điện, truyền tải và phân phối của lưới điện. Trong đó, chi phí phát điện chủ yếu phụ thuộc vào đặc tính tiêu thụ của máy phát [12]. Theo đặc điểm tiêu thụ máy phát điện thông thường, mức tiêu thụ nhiên liệu đầu vào của thiết bị phát điện và năng lượng điện đầu ra là hàm bậc hai, cụ thể là [13]:

$$C_{\text{fuel}}(L_t) = aL_t^2 + bL_t + c \quad (1)$$

Trong đó: $C_{\text{fuel}}(L_t)$ là chi phí phát điện tại thời điểm t , a , b , c là hệ số đặc tính tiêu thụ nhiên liệu của máy phát. Nếu tính đến chi phí truyền tải và phân phối, tổng chi phí mua điện của LA được xác định như sau:

$$C_{\text{LA}}(L_t) = \tilde{a}L_t^2 + \tilde{b}L_t \quad (2)$$

Có thể thấy từ công thức (2), giá điện thị trường được LA chấp nhận tỷ lệ thuận với mức tải [13], cụ thể:

$$p(L_t) = \frac{C_{\text{LA}}(L_t)}{L_t} = \tilde{a}L_t + \tilde{b} \quad (3)$$

Lưu ý rằng đối với giá điện được LA mua từ nguồn điện phân tán, bài báo này sẽ dựa trên giá điện lưới thống nhất, thường là 0,06 USD/kWh [12], [13]. Doanh thu trực tiếp của LA chủ yếu đến từ các khoản tính chi phí điện của người dùng. Phương pháp tính toán doanh thu trực tiếp như sau:

$$R_{\text{LA}}(L_t) = L_t \cdot c_t \quad (4)$$

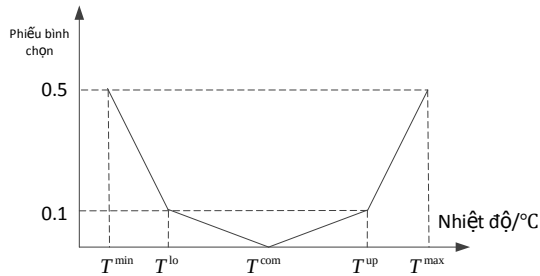
Trong đó, $R_{\text{LA}}(L_t)$ là tổng chi phí điện tương ứng với công suất L_t của LA và giá điện, c_t là giá điện tại thời điểm t .

Giả thiết rằng LA tính giá điện không đổi cho người dùng, tổng chi phí điện khi đó về cơ bản sẽ giữ nguyên nếu tổng mức tiêu thụ điện của phụ tải không thay đổi. Do đó, xét tại các thời điểm cao điểm, san bằng (lấp đầy) đồ thị phụ tải có thể làm giảm tổng chi phí mua điện dẫn đến làm tăng tổng thu nhập của LA.

2.3. Chiến lược bồi thường đáp ứng nhu cầu của người sử dụng

Kiểm soát tải trực tiếp cần quan tâm đến mức bồi thường dành cho người sử dụng. Mức bồi thường này chủ yếu được tính toán dựa trên thông số của tải [14] mà không xét đến phản ứng thực tế của người dùng. Trong một số trường hợp, tải ở trong trạng thái được kiểm soát nhưng người dùng lại không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố tiêu cực tương ứng. Tương tự như vậy, trong một số trường hợp tải của người dùng không được kiểm soát bởi LA nhưng nhiệt độ thực tế lại không nằm trong giới hạn tương ứng. Theo quan điểm của người sử dụng, cần phải đưa ra một mức bù nhất định. Do đó bài báo này đề xuất một chiến lược bù kiểm soát tải trực tiếp dựa trên kinh nghiệm thực tế của người dùng.

Tài liệu tham khảo [15] sử dụng khái niệm chỉ báo cảm biến nhiệt (Thermal Sensation Vote, TSV) để đo trải nghiệm thoải mái của người dùng về thay đổi nhiệt độ trong nhà. Mối quan hệ giữa TSV và nhiệt độ trong nhà là quan hệ chức năng tuyến tính từng phần (hình 2):



Hình 2. Hình ảnh chức năng chỉ báo cảm biến nhiệt

Trong hình, T^{up} và T^{lo} là giới hạn trên và dưới của vùng nhiệt độ không nhạy cảm của người dùng, nghĩa là khi nhiệt độ trong nhà thay đổi trong phạm vi này, người dùng sẽ không có cảm giác rõ ràng. T^{max} và T^{min} là giới hạn trên và dưới của nhiệt độ mà người dùng có thể chịu được. Nghĩa là khi nhiệt độ trong nhà vượt quá giới hạn này, người dùng sẽ có cảm giác khó chịu. T^{com} đó là nhiệt độ thoải mái nhất cho người dùng, nghĩa là khi nhiệt độ trong nhà ở giá trị này, người dùng cảm thấy thoải mái nhất.

Hàm giá trị biểu quyết cảm giác nhiệt là một hàm trù tượng về nhiệt độ của người sử dụng ACL trên cơ sở trải nghiệm trực quan của nó, vì vậy chức năng này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho việc tính toán bù cho người dùng. Do hàm giá trị biểu quyết cảm giác nhiệt rất gần với đường cong hàm bậc hai nên trong bài toán tối ưu hóa, sử dụng hàm bậc hai để biểu thị hàm mục tiêu và tối ưu hóa giải pháp:

$$C_i^{comp} = \sum_{t=1}^T k_i^{comp} (T_{i,t}^{in} - T_i^{com})^2 \quad (5)$$

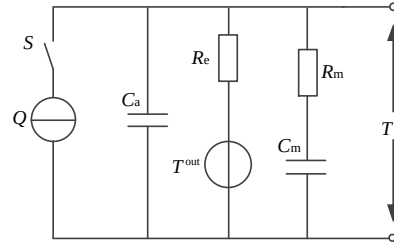
Trong công thức trên, C_i^{comp} là chi phí bồi thường của nhóm người dùng i trong giai đoạn lên kế hoạch điều khiển tải điều hòa,

$T_{i,t}^{in}$ là nhiệt độ trong nhà của nhóm người dùng i tại thời điểm t , T_i^{com} là nhiệt độ thoải mái nhất của nhóm người dùng i và nhóm người dùng i , k_i^{comp} là hệ số bù, T biểu thị tổng số thời gian trong khoảng thời gian lên kế hoạch.

3. Mô hình ACL và điện gió

3.1. Mô hình thay đổi nhiệt độ ACL

Ảnh hưởng của ACL đến sự thay đổi nhiệt độ trong phòng phụ thuộc vào các yếu tố như kích thước và cấu trúc, nhiệt độ ngoài trời và thậm chí là vị trí lắp đặt của điều hòa. Mô hình mạch nhiệt tương đương thường được sử dụng ACL gia đình được trình bày trong hình 3 [6].



Hình 3. Mô hình tải điều hòa (ACL)

Trong đó: Q là công suất nhiệt, C_a là công nhiệt dung riêng của không khí, R_e là điện trở nhiệt, T^{in} là nhiệt độ ở trong nhà, R_m là thành phần điện trở nhiệt của chất rắn, C_m là nhiệt dung riêng của chất rắn, T^{out} là nhiệt độ ngoài trời. S là biến chỉ trạng thái của điều hòa, $S=[0, 1]$ cho biết điều hòa đang ở trạng thái bật hoặc tắt.

Việc đo được nhiệt độ ngoài trời và các thông số khác của mô hình, phương trình vi phân bậc hai thể hiện mối quan hệ giữa ACL với nhiệt độ trong nhà được thiết lập như sau:

$$C_m R_m C_a \frac{d^2 T^{in}}{dt^2} + \left(C_m + C_a + \frac{C_m R_m}{R_e} \right) \frac{dT^{in}}{dt} + \frac{T^{in}}{R_e} = \begin{cases} Q + \frac{T^{out}}{R_e}, & S=1 \\ \frac{T^{out}}{R_e}, & S=0 \end{cases} \quad (6)$$

Đơn giản hóa công thức (6), mối quan hệ tuyến tính gần đúng giữa nhiệt độ và thời gian có thể tính như sau [16]:

$$T_{t+1}^{\text{in}} = \begin{cases} \xi T_t^{\text{in}} + (1-\xi) T_{t+1}^{\text{out}}, & S_t = 0 \\ \xi T_t^{\text{in}} + (1-\xi) T_{t+1}^{\text{out}} - (1-\xi) Q_c / K, & S_t = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó: T_t^{in} là nhiệt độ trong nhà tại thời điểm t ; T_{t+1}^{in} , T_{t+1}^{out} lần lượt biểu thị nhiệt độ trong nhà và ngoài trời tại thời điểm $t + 1$; ξ là hệ số tản nhiệt; Q_c là công suất làm lạnh định mức của ACL; K - hệ số tản nhiệt; St là biến thể hiện trạng thái của ACL tại thời điểm t .

Vì St là biến nhị phân, nên công thức (7) có thể viết lại:

$$T_{t+1}^{\text{in}} = \xi T_t^{\text{in}} - S_t (1 - \xi) Q_c / K + (1 - \xi) T_{t+1}^{\text{out}} \quad (8)$$

Giả thiết nhiệt độ ngoài trời không thay đổi trong một khoảng thời gian nhất định. Gọi T_0^{in} là giá trị nhiệt độ ban đầu trong nhà, khi đó:

$$d_t = -S_t(1-\xi)Q_c / K + (1-\xi)T_{t+1}^{\text{out}} \quad (9)$$

Nhiệt độ trong nhà tính được theo đạo hàm:

$$\begin{aligned} T_1^{\text{in}} &= \xi T_0^{\text{in}} + d_1 \\ T_2^{\text{in}} &= \xi T_1^{\text{in}} + d_2 = \xi^2 T_0^{\text{in}} + \xi d_1 + d_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (10)$$

$$T_t^{\text{in}} = \xi^t T_0^{\text{in}} + \sum_{i=1}^t \xi^{t-i} d_i$$

$$\mathbf{T}^{\text{in}} = \boldsymbol{\Xi} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{T}_0^{\xi} \quad (11)$$

Viết dưới dạng ma trận:

$$\mathbf{T}^{\text{in}} = [T_1^{\text{in}}, T_2^{\text{in}}, \dots, T_t^{\text{in}}]^T \quad (12)$$

$$\mathbf{T}_0^\xi = [\xi T_0^{\text{in}}, \xi^2 T_0^{\text{in}}, \dots, \xi^t T_0^{\text{in}}]^T \quad (13)$$

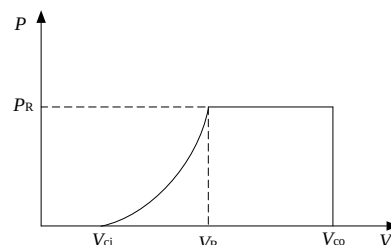
$$\mathbf{D}=[d_1, d_2, \cdots d_t]^T \quad (14)$$

$$\Xi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \xi & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \xi^2 & \xi & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \xi^{t-1} & \xi^{t-2} & \xi^{t-3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

3.2. Mô hình điện gió

Hiện nay, quang điện và năng lượng gió là hai hình thức năng lượng tái tạo chiếm sản lượng lớn nhất. Trong số đó, công suất lắp đặt của năng lượng gió vượt xa quang điện, và mức độ dao động của nó cũng lớn hơn nhiều so với pin quang điện [17]. Do đó, bài báo này sử dụng năng lượng gió như một đại diện của năng lượng tái tạo để mô hình hóa và phân tích mô phỏng [18].

Đầu ra của tuabin gió phụ thuộc vào giá trị của tốc độ gió thời gian thực. Mô hình đầu ra thường được sử dụng của tuabin gió được trình bày như hình 4 [15]:



Hình 4. Quan hệ giữa tốc độ gió và năng lượng đầu ra
Mô hình xác suất của tốc độ gió thường áp dụng phân phối Weibull:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (16)$$

Trong đó, $p(v)$ là hàm mật độ xác suất của tốc độ gió; c và k là tham số tỷ lệ và tham số hình dạng của phân phối Weibull. V_{ci} , V_{co} là tốc độ cắt, V_R là tốc độ gió định mức, P_R là công suất định mức.

4. Mô hình tối ưu ACL

Mô hình toán được xây dựng trên cơ sở hàm mục tiêu và các ràng buộc, *hàm mục tiêu là:*

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T k_i \left(T_{i,t}^{\text{in}} - T_i^{\text{com}} \right)^2 - \sum_{t=1}^T \left(l_t^{\text{base}} + \sum_{i=1}^M s_{t,i} Q_{Ci} \right) \cdot c \\ & + \sum_{t=1}^T \left[\tilde{a} \left(l_t^{\text{base}} - P_t^{\text{wind}} + \sum_{i=1}^M s_{t,i} Q_{Ci} \right)^2 \right. \\ & \left. + \tilde{b} \left(l_t^{\text{base}} - P_t^{\text{wind}} + \sum_{i=1}^M s_{t,i} Q_{Ci} \right) \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Trong đó, l_t^{base} - tổng các tải không kiểm soát (tải cơ bản) tại thời điểm t ; P_t^{wind} - sản lượng điện gió tại thời điểm t ; $S_{t,i}$ - trạng thái của điều hòa thứ i tại thời điểm t ; Q_{ci} - năng lượng điều hòa thứ i ; T là tổng thời gian trong chu trình lập kế hoạch; M là tổng số nhóm ACL.

Ràng buộc toán học bao gồm:

1) Hạn chế nhiệt độ điều hòa

Trong quy trình lập kế hoạch, để ngăn nhiệt độ đặt không bị chênh lệch quá xa so với nhiệt độ tối ưu gây ảnh hưởng đến người dùng, điều này có thể khiến người dùng từ bỏ tham gia kế hoạch thống nhất của LA, nhiệt độ trong nhà phải được giữ ở mức chấp nhận được trong phạm vi cho phép. Do đó, các ràng buộc của nó thể hiện như sau:

$$T_i^{\min} \leq T_{i,t}^{\text{in}} \leq T_i^{\max} \quad (18)$$

Trong đó, $T_i^{\min}$, $T_i^{\max}$ - giới hạn nhiệt độ min, max của điều hòa thứ i ; $T_{i,t}^{\text{in}}$ - nhiệt độ của điều hòa thứ i tại thời điểm t .

2) Giới hạn công suất đường dây

Biến động quá mức của sản lượng điện gió sẽ có tác động bất lợi đối với lưới điện. Do đó, các ràng buộc đối với công suất đường dây như sau:

$$0 \leq -P_t^{\text{wind}} + I_t^{\text{base}} + \sum_{i=1}^M S_{t,i} Q_{ci} \leq P_{\text{tie}}^{\max} \quad (19)$$

3) Ràng buộc tổng thu nhập (chi phí)

LA phải đảm bảo rằng thu nhập ròng của nó lớn hơn 0 sau khi lên kế hoạch. Ràng buộc có thể được thể hiện như sau:

$$\begin{aligned} & -\sum_{t=1}^T \left[\tilde{a} \left(I_t^{\text{base}} - P_t^{\text{wind}} + \sum_{i=1}^M S_{t,i} Q_{ci} \right)^2 - \tilde{b} \left(I_t^{\text{base}} - P_t^{\text{wind}} + \sum_{i=1}^M S_{t,i} Q_{ci} \right) \right] - \sum_{i=1}^M C_i^{\text{comp}} + \sum_{t=1}^T \left(I_t^{\text{base}} + \sum_{i=1}^M S_{t,i} Q_{ci} \right) \cdot c_t - \\ & \gamma \sum_{t=1}^T P_t^{\text{wind}} \geq 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Trong đó, γ là giá điện gió mua vào của LA.

5. Mô phỏng và phân tích ví dụ tính toán

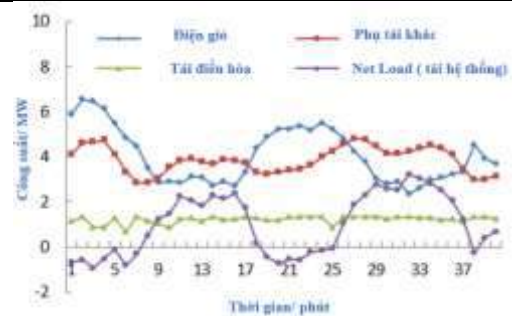
Bài toán đặt ra LA tiến hành điều phối cho 2770 máy điều hòa với 80% người dùng đã tham gia vào dự án. Thời gian lên lịch điều phối là 40 phút, nhiệt độ ngoài trời không đổi ở mức 34°C. Trong thời gian này, công suất tiêu thụ điện khi bật điều hòa là 2,8kW, giới hạn trên và dưới của điều chỉnh nhiệt độ trong nhà của người dùng là 27°C và 23°C, nhiệt độ dễ chịu nhất là 25°C. Các hệ số giá bán điện

lần lượt là 19,8 và 452. Giá điện cho người sử dụng điện là 0,103 USD / kWh. Công suất tối đa 2MW và hệ số chi phí bù nhiệt độ được là 0,0024 USD/°C cho mỗi nhóm máy ACL. LA thu thập tất cả các tham số ACL của người dùng và chia chúng thành 15 nhóm. Các thông số đặc trưng của từng nhóm được thể hiện trong bảng 1. Tải trọng cơ bản, tải ACL, sản lượng điện gió và đường cong tải trước khi tham gia điều phối được thể hiện trong hình 5.

Dữ liệu cho thấy, tải hệ thống (net load) nhỏ hơn 0 tại 1 ~ 7 phút, 19 ~ 25 phút và 38 phút, cho thấy dòng công suất lúc này chảy ngược về phía hệ thống trước nó trong các khoảng thời gian này. Nếu tải khu vực không được lập kế hoạch điều phối tối ưu trong các khoảng thời gian này, điện gió sẽ không được khai thác tại chỗ, làm giảm việc sử dụng năng lượng phân tán.

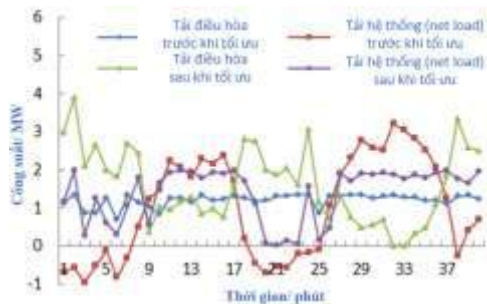
Bảng 1. Thông số nhóm tải điều hòa

STT	$T_0^{\text{in}} / ^\circ\text{C}$	ξ	Q_c / K	Số lượng/ nhóm
1	26,94	0,958	39,38	136
2	26,47	0,965	39,93	147
3	24,58	0,953	35,26	112
4	26,36	0,964	39,98	132
5	24,73	0,959	38,29	171
6	25,50	0,952	35,08	198
7	26,17	0,955	36,17	133
8	25,72	0,966	37,78	187
9	24,82	0,969	40,24	109
10	26,23	0,967	40,28	199
11	25,55	0,955	35,44	171
12	26,02	0,951	40,32	135
13	24,26	0,967	40,24	127
14	23,25	0,961	37,41	115
15	24,77	0,969	39,30	144



Hình 5. Thông số phụ tải và điện gió trước khi tiến hành điều phối tải

Do đó, mô hình tối ưu hóa được đề xuất trong bài viết này được sử dụng để tối ưu hóa việc lập lịch trình ACL nhằm cải thiện đường cong tải. Trong bài báo này, bộ giải CPLEX của hộp công cụ trong MATLAB được sử dụng để giải bài toán tối ưu hóa. Kết quả tính toán được thể hiện trong hình 6. Net load đã được cải thiện. Vì công suất hệ thống là có giới hạn nên mặc dù công suất của đường dây dao động ở mức cao, nó vẫn được duy trì trong một phạm vi nhất định.



Hình 6. So sánh đặc tính tải

Bảng 2 cho thấy giá trị tối đa/ tối thiểu của tải hệ thống tại các thời điểm tương ứng với các ràng buộc tải max được đưa ra. Có thể thấy trước khi tối ưu hóa, tải hệ thống min là -0,94 MW, dòng công suất chảy ngược về phía hệ thống. Sau khi tối ưu hóa, mặc dù phụ thuộc và giới hạn công suất hệ thống nhưng dòng công suất sẽ không giảm và luôn nhận giá trị dương. Khi ràng buộc tối đa công suất đường dây thay đổi, các giá trị tải tối đa và tối thiểu tương ứng cũng sẽ thay đổi và thời gian xuất hiện các giá trị tối đa và tối thiểu sẽ bị ảnh hưởng theo.

Bảng 2. Dòng công suất hệ thống max/min

$P_{\text{tie}}^{\text{max}}$	Công suất Max/MW	Thời gian tương ứng/phút	Công suất min/MW	Thời gian tương ứng/phút
Trước tối ưu	3,213	32	-0,940	3
2MW	1,998	38	0,016	21
3MW	2,910	40	0,075	4
4MW	3,952	38	0,092	4
5MW	4,644	38	0,092	4
6MW	5,052	40	0,109	22

Mục tiêu tối ưu của bài viết này là tối đa hóa lợi ích chi phí của LA trên cơ sở các ràng

buộc giới hạn công suất đường dây khác nhau, tổng hợp chi phí của LA được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Phân tích lợi ích chi phí của LA

$P_{\text{tie}}^{\text{max}}$	Doanh thu bán điện/USD	Chi phí mua điện/USD	Chi phí bồi thường/USD	Thu nhập/USD
Trước tối ưu	349,33	242,52	32,35	74,47
2MW	375,24	243,46	23,32	108,47
3MW	385,83	252,35	22,65	109,24
4MW	386,53	253,02	23,35	110,15
5MW	388,21	253,82	23,41	110,98
6MW	386,48	253,99	20,80	111,69

Bảng 3 cho thấy lợi ích chi phí LA sau khi tiến hành điều phối lớn hơn nhiều so với thu nhập trước đó. Khi hạn chế công suất tối đa của tải tăng lên, lợi ích chi phí cũng được cải thiện, nhưng hiệu quả cải thiện này không nhiều. Trong thực tế, cần xem xét tác động của tải cực đại lên thiết bị và hạn chế tối đa công suất tải phù hợp.

6. Kết luận

Bài viết này đã đề xuất một chiến lược kiểm soát tải điều hòa trên cơ sở LA có xét đến bù chi phí cho người sử dụng. Trong phương pháp bù đáp ứng nhu cầu cho phía người dùng, bài viết này đề xuất phương pháp bù dựa trên sự thoải mái về thể chất thực tế. Mục tiêu của đáp ứng nhu cầu là để tối đa hóa lợi nhuận của bộ LA, đồng thời trên cơ sở các ràng buộc biến động công suất đường dây. Kết quả tính toán cho thấy hiệu quả và tính khả thi cho hoạt động điều phối tải điều hòa sử dụng các LA.

Kết quả nghiên cứu của bài báo này có thể được áp dụng với các đối tượng phụ tải khác như xe điện và máy nước nóng (có đặc điểm tương tự như ACL). Vì vậy, việc xây dựng một hệ thống điều phối tải thống nhất nhiều loại hình phụ tải khác nhau cần được tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. S. Yinbiao, Z. Zhigang, and G. Jianbo, "Study on Key Factors and Solution of Renewable Energy Accommodation," Proceedings of the CSEE, 2017, vol. 37, no. 01, pp. 1-9.

- [2]. C. Xu, Y. Yuyao, and Z. Yongjun, "Influence of Illumination Probability of Photovoltaic System on Voltage of Power Distribution Networks," *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, vol. 2015, no. 4, pp. 112-118, 2015.
- [3]. C. Haoyu, H. Shunjie, F. Zhihua, "Demand Response of Multi-Microgrid Based on Game Theory," *Southern Power System Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 34-40, 2017.
- [4]. Z. Kaiyu, S. Yiqun, and Y. Zheng, "Energy Storage Capacity Optimization for Load Aggregators Considering Probability of Demand Response Resources's Breach," *Automation of Electric Power Systems*, vol. 39, no. 17, pp. 127-133, 2015.
- [5]. A. H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, and J. Jatskevich, "Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 3, pp. 320-331, 2010.
- [6]. W. Qianggang, L. Chao, and L. Yong, "A Reactive Power Optimization Model of High Voltage Distribution Network Considering DLC Cycle Control of Air-conditioning Loads," *Proceedings of the CSEE*, 2018, vol. 38, no. 06, pp. 1684-1694.
- [7]. G. Ciwei, L. Qianyu, and L. Yang, "Bi-level Optimal Dispatch and Control Strategy for Air-conditioning Load Based on Direct Load Control," *Proceedings of the CSEE*, 2014, vol. 34, no. 10, pp. 1546-1555.
- [8]. G. Ciwei, Z. Liangjie, and Y. Xiaomei, "Research on Load Aggregation of Central Air Conditioning and Its Participation in the Operation of Power System," *Proceedings of the CSEE*, 2017, vol. 37, no. 11, pp. 3184-3191+3373.
- [9]. Z. Zhidan, H. Xiaoqing, and C. Yijia, "Research on Active Response Policy for Grid Friendly Air Conditioning Load," *Proceedings of the CSEE*, 2014 vol. 34, no. 25, pp. 4207-4218.
- [10]. Z. Yanyu, Z. Peng, and L. Zhongwen, "A Multi-Objective Optimal Control Algorithm for Air Conditioning System in Smart Grid," *Power System Technology*, vol. 38, no. 7, pp. 1819-1826, 2014.
- [11]. L. Zhou, Y. Zhang, and X. Lin, "Optimal sizing of PV and BESS for a smart household considering different price mechanisms," *IEEE Access*, vol. 2018, pp(99). 1-1, 2018.
- [12]. T. C. Chiu, Y. Y. Shih, and A. C. Pang, "Optimized Day-Ahead Pricing With Renewable Energy Demand-Side Management for Smart Grids," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 374-383, 2017.
- [13]. M. Li, L. Nian, and Z. Jianhua, "Optimal Operation Model of User Group With Photovoltaic in the Mode of Automatic Demand Response," *Proceedings of the CSEE*, 2016 vol. 36, no. 13, pp. 3422-3432+3361.
- [14]. L. Dongdong, X. Lianlian, and L. Xiang, "Optimal dispatching of microgrid considering the participation of reducible loads, distributed generators (DG) and energy storage units," *Power System Protection and Control*, vol. 45, no. 2, pp. 35-41, 2017.
- [15]. C. Defu, C. Jinfu, and S. Dongyuan, "Impact of Wind Speed Correlation on Operation Characteristics of Distribution Network," *Power System Technology*, vol. 37, no. 01, pp. 150-155, 2013.
- [16]. W. Yilan, T. Yibin, and H. Mei, "Research on Virtual Energy Storage Model of Air Conditioning Loads Based on Demand Response," *Power System Technology*, vol. 41, no. 02, pp. 394-401, 2017.
- [17]. H. M. Soliman, and A. Leon-Garcia, "Game-Theoretic Demand-Side Management With Storage Devices for the Future Smart Grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 3, pp. 1475-1485, 2014.
- [18]. L. Xiaofeng, G. Bingtuan, and L. Jing, "Non-cooperative Game Based Hierarchical Dispatch Model of Residential Loads," *Automation of Electric Power Systems*, 2017, vol. 41, no. 14, pp. 54-60, 2017.