

# TÍNH TOÁN TỐI ƯU ĐIỀU PHỐI ĐIỆN NĂNG TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG ĐIỆN MẶT TRỜI NỐI LƯỚI DÙNG CPLEX KẾT NỐI MATLAB

## OPTIMAL CALCULATIONS OF ELECTRICAL POWER FLOW CONTROL FOR GRID-TIED SOLAR SYSTEM BY USING CPLEX – MATLAB CONNECTOR

Giáp Quang Huy<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Thanh Quỳnh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; gqhuy@dut.udn.vn

<sup>2</sup>Viện Bách khoa Quốc gia Grenoble; thi-thanh-quynh.nguyen@g2elab.grenoble-inp.fr

**Tóm tắt** - Ở Việt Nam hiện nay, các hệ thống điện năng lượng mặt trời đang rất được khuyến khích phát triển, góp phần giảm chi phí năng lượng cho các hộ gia đình, xóa đói giảm nghèo, đồng thời tăng nguồn cho lưới điện quốc gia, góp phần bảo vệ môi trường. Tuy nhiên, việc khai thác các hệ thống năng lượng pin mặt trời sao cho hiệu quả nhất cũng là vấn đề đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Bài báo này giới thiệu phương pháp điều phối điện năng tối ưu cho hệ thống năng lượng điện mặt trời nối lưới. Hệ thống bao gồm pin năng lượng mặt trời, pin tích trữ, có kết nối với nguồn điện lưới để đáp ứng được yêu cầu công suất của tải. Công cụ điều phối tối ưu điện năng giữa nguồn-tải cho phép tối thiểu giá thành tiêu thụ điện trong bối cảnh năng lượng từ pin mặt trời dư thừa có thể được bán lên lưới. Giá bán điện từ lưới được áp dụng theo biểu mức ba giá vào các thời điểm khác nhau trong ngày, áp dụng cho các hộ kinh doanh, dịch vụ.

**Từ khóa** - tối ưu dự báo; năng lượng mặt trời; pin mặt trời; pin tích trữ; MILP; CPLEX.

### 1. Giới thiệu

Quyết định số 2068/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ cũng đặc biệt quan tâm đến việc phát triển năng lượng điện từ pin mặt trời để cung cấp điện cho hệ thống điện quốc gia và khu vực biên giới, hải đảo, vùng sâu, vùng xa (những vùng chưa thể được cấp điện từ nguồn điện lưới quốc gia). Cụ thể, điện năng sản xuất từ năng lượng mặt trời tăng từ khoảng 10 triệu kWh năm 2015 lên khoảng 1,4 tỷ kWh vào năm 2020; khoảng 35,4 tỷ kWh vào năm 2030 và khoảng 210 tỷ kWh vào năm 2050 (chiếm 20% tổng sản lượng điện). Quyết định này được phê duyệt cho thấy việc phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam hiện đang là một đòi hỏi cấp bách. Đi đôi với việc nâng cao tỷ lệ điện mặt trời trong tổng sản lượng điện là phát triển các thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời, trong đó có các hệ thống điện năng lượng mặt trời. Trong bài báo này, cấu trúc hệ thống được đề cập đến bao gồm: pin mặt trời - nguồn tích trữ - lưới điện - tải. Bài báo đề cập cụ thể phương pháp tính toán tối ưu điều phối điện năng trong hệ thống năng lượng điện mặt trời nối lưới sử dụng phần mềm CPLEX [1]. Các tính năng điều phối điện năng bao gồm:

- Có thể hoạt động ở 2 chế độ độc lập/nối lưới.
- Cho phép thực hiện việc trao đổi năng lượng hai chiều giữa nguồn pin mặt trời - nguồn tích trữ - lưới điện - tải trực tiếp. Hệ thống biến đổi năng lượng mặt trời cung cấp năng lượng trực tiếp cho tải. Trong trường hợp không sử dụng hết sẽ có thể tích trữ vào pin hay cung cấp lên lưới điện. Khi năng lượng điện thu được từ pin mặt trời không đủ cấp cho tải thì sẽ lấy bổ sung từ nguồn pin tích trữ hay từ lưới.

**Abstract** - In Vietnam, solar power systems are currently encouraged to develop, which helps to reduce energy consumption costs, alleviate poverty, increase the electricity supply resources for the national grid, and contribute to the protection of the environment. However, the most efficient use of solar systems is an interesting problem to many scientists. This article introduces an optimal management method for power flow control of grid connected solar power systems. The considered system includes solar cells, storage batteries, which are connected to a grid to meet the power requirements of the load. The optimal power sources-to-load distribution between the source and load allows minimizing the cost of electricity consumption in the context that the surplus power from solar cells may be sold to the grid. The 3 selling price levels of electricity taken at different time intervals of the day are applied to manufacturing industries, services and trading.

**Key words** - anticipative optimization; solar system; solar cells; storage batteries; MILP (Mixed-integer linear programming); CPLEX.

- Cho phép tự động tính toán tối ưu điều phối điện năng giữa pin mặt trời, nguồn pin tích trữ và lưới điện để cung cấp cho tải nhằm mục đích tối ưu giá thành tiêu thụ điện khi xét đến các mức giá điện khác nhau vào lúc cao điểm, bình thường và thấp điểm.

Đã có nhiều bài báo khoa học giới thiệu về vấn đề tối ưu trong hệ thống lai gió - mặt trời - pin nhiên liệu [2, 3], các hệ thống điện mặt trời độc lập/nối lưới [4-6]. Trong đó, có nhiều giải thuật tính toán tối ưu khác nhau, các phương pháp được quan tâm nhiều như DP (Dynamic programming) hay MILP (Mixed Integer Linear Programming). CPLEX là một công cụ do công ty IBM phát triển cho phép giải các bài toán MILP với tốc độ cao. Trong khi đó, Matlab/Simulink với thư viện Simpower System là công cụ cho phép mô phỏng, nghiên cứu rất hiệu quả trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Tận dụng ưu thế này, báo cáo hướng đến việc mô phỏng hệ thống điều phối điện năng trên Matlab kết nối với CPLEX [7]. Kết quả này cho phép mở rộng nghiên cứu sâu hơn nữa trong một hệ thống hoàn chỉnh bao gồm cả phần tối ưu, phần điều khiển giám sát và phần thiết bị công suất.

Trong phần tiếp theo của bài báo, cấu trúc của một hệ thống pin năng lượng mặt trời bao gồm pin mặt trời - nguồn tích trữ - lưới điện - tải sẽ được giới thiệu (phần 2). Trong phần 3, bài toán điều phối điện năng trong hệ thống sẽ được tổ chức dưới dạng một bài toán tối ưu bao gồm các điều kiện ràng buộc về hoạt động của hệ thống, các điều kiện ràng buộc về giá điện lưới được xem xét ở các thời điểm khác nhau trong ngày (thời gian cao điểm, bình thường, thấp điểm). Việc điều phối điện năng được thực hiện với hàm

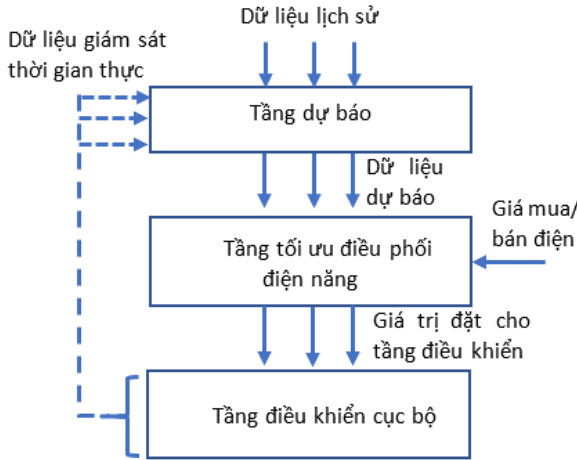
mục tiêu nhằm tối thiểu giá thành tiêu thụ điện trong ngày. Mô phỏng và đánh giá kết quả được thực hiện trong phần 4. Cuối cùng là phần kết luận chung về các kết quả đạt được.

## 2. Cấu trúc của hệ thống năng lượng điện mặt trời nổi lưới có tích trữ

### 2.1. Cấu trúc hệ thống điều khiển

Cấu trúc điều khiển của hệ thống có thể được chia thành 3 tầng điều khiển khác nhau như **Hình 1** [5]:

- Tầng dự báo (Forecasting stage);
- Tầng tối ưu điều phối điện năng (Optimization stage);
- Tầng điều khiển cục bộ (Local control).



**Hình 1.** Cấu trúc hệ thống giám sát, điều khiển

Tầng dự báo có nhiệm vụ cung cấp dữ liệu đầu vào cho tầng tối ưu để thực hiện các tính toán ở tầng tối ưu. Các dữ liệu đầu vào dự báo này bao gồm nhiệt độ, cường độ bức xạ mặt trời, tải tiêu thụ. Các dữ liệu dự báo này được tính toán từ các dữ liệu lịch sử lưu trữ trong hệ thống cơ sở dữ liệu và dựa vào các phương pháp trí tuệ nhân tạo để ước lượng trước.

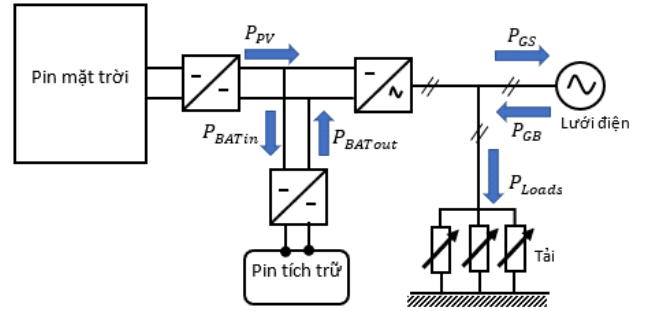
Tầng tối ưu có nhiệm vụ điều phối dòng năng lượng từ pin mặt trời, lưới điện hay từ pin tích trữ nhằm đáp ứng nhu cầu của tải. Kết quả tính toán tối ưu ở tầng này cho phép thỏa mãn hàm mục tiêu của bài toán, đó là tối thiểu hóa giá thành năng lượng tiêu thụ. Trong [6], tầng tối ưu được chia thành: Tầng tối ưu dự báo (Anticipation layer) và Tầng tối ưu phản kháng (Reactive layer). Tầng tối ưu dự báo nhằm tạo ra một lịch biểu điều phối điện năng theo dự báo của tải. Tuy nhiên trong thực tế, tải tiêu thụ ở một thời điểm bất kỳ có thể khác so với giá trị dự báo của tải. Tầng tối ưu phản kháng có nhiệm vụ cập nhật lại lịch biểu theo thời gian thực.

Tầng điều khiển cục bộ (Local control) bao gồm các thiết bị phân cứng và thuật toán điều khiển để điều khiển các thiết bị biến đổi công suất, các thiết bị đóng cắt nhằm đáp ứng lịch biểu được tạo ra ở tầng tối ưu (**Hình 2** – tầng tối ưu). Các kết quả tính toán ở tầng tối ưu chính là các giá trị đặt cho tầng điều khiển cục bộ.

Bài báo này tập trung vào tầng tối ưu dự báo, giới thiệu phương pháp tính toán điều phối điện năng ở tầng này bằng cách thành lập bài toán MILP (Mixed Integer Linear Programming) kết hợp với solver CPLEX của IBM. Việc mô phỏng tính toán được thực hiện trên nền của Matlab.

## 2.2. Các thành phần của hệ thống

### 2.2.1. Cân bằng công suất của hệ thống



**Hình 2.** Cấu trúc tầng điều khiển cục bộ

Trong hệ thống, công suất tải được cung cấp bởi nhiều nguồn khác nhau bao gồm: pin mặt trời, lưới điện và pin tích trữ, được thể hiện như **Hình 2**. Do đó, ta có phương trình cân bằng công suất:

$$P_{Grid}(t) + P_{PV}(t) + P_{BAT}(t) = P_{Loads}(t) \quad (1)$$

$P_{Grid}(t)$  là công suất cung cấp của lưới được xác định bởi:

$$P_{Grid}(t) = P_{GB}(t) - P_{GS}(t) \quad (2)$$

Trong đó:

- $P_{GB}(t)$  là công suất mua từ lưới điện để cung cấp cho tải;
- $P_{GS}(t)$  là công suất dư thừa được bán lên lưới.

Công suất cung cấp bởi pin tích trữ được xác định bởi:

$$P_{BAT}(t) = P_{BATout}(t) - P_{BATin}(t) \quad (3)$$

Trong đó:

- $P_{BATout}(t)$  là công suất của pin tích trữ được xả ra (discharge);
- $P_{BATin}(t)$  là công suất được sạc cho pin (charge).

Vậy ta có:

$$P_{GB}(t) - P_{GS}(t) + P_{PV}(t) + P_{BATout}(t) - P_{BATin}(t) = P_{Loads}(t) \quad (4)$$

### 2.2.2. Pin tích trữ

Trạng thái hoạt động của pin được đặc trưng bởi điện năng tích trữ của pin, ký hiệu bởi SOC (State of charge of the batteries), đơn vị là %. Phương trình cân bằng năng lượng:

$$SOC(t) \cdot C_{BAT} = SOC(t-1) \cdot C_{BAT} + P_{BATin}(t) \cdot \Delta t - P_{BATout}(t) \cdot \Delta t \quad (5)$$

Trong đó,  $C_{BAT}$  là dung lượng của pin, có thể được tính theo Ah hoặc đơn vị tương đương Wh.

SOC được giới hạn bởi:

$$0\% \leq SOC(t) \leq 100\% \quad (6)$$

### 2.2.3. Pin mặt trời

Pin mặt trời được xem tương đương như một nguồn dòng, trong đó công suất sẽ phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường và cường độ bức xạ mặt trời. Có nhiều mô hình pin mặt trời khác nhau được khảo sát trong [5, 8]. Mô hình tương đương của pin mặt trời được chọn:

$$P_{PV} = \left[ P_{PV,STC} \cdot \frac{G_T}{1000} \cdot [1 - \gamma \cdot (T_j - 25)] \cdot N_{PVs} \cdot N_{PVp} \right] \quad (7)$$

Trong đó:

- $P_{PV}$  là công suất cực đại của pin. Điểm công suất cực

đại này được xác định trên đường đặc tính của pin mặt trời. Điểm công suất cực đại này có thể đạt được bằng các phương pháp điều khiển bám điểm công suất cực đại (MPPT).

$P_{PV,STC}$  là giá trị công suất cực đại của pin đạt được ở điều kiện tiêu chuẩn. Điều kiện tiêu chuẩn được xác định ở nhiệt độ  $T = 25^\circ\text{C}$ , cường độ bức xạ mặt trời  $G_T = 1.000 \text{ W/m}^2$  tốc độ gió  $1\text{m/s}$ .

$G_T$ : cường độ bức xạ ở điều kiện tiêu chuẩn;

$\gamma$ : hiệu suất nhiệt ở điểm cực đại;

$T_j$ : nhiệt độ của cell pin mặt trời;

$N_{PVs}$ : số lượng các mô-đun được mắc nối tiếp;

$N_{PVp}$ : số lượng các mô-đun được mắc song song.

Nhiệt độ của cell pin mặt trời phụ thuộc vào: Nhiệt độ môi trường nơi đặt pin  $T_{amb}$ ; Cường độ bức xạ mặt trời  $G_T$  và nhiệt độ hoạt động định mức của cell NOCT (nominal operating cell temperature), cho bởi:

$$T_j = T_{amb} + \frac{G_T}{800} \cdot [NOCT - 20] \quad (8)$$

### 3. Thành lập bài toán tối ưu

#### 3.1. Bài toán tối ưu tuyến tính

Tối ưu tuyến tính (hay còn gọi là quy hoạch tuyến tính) là phương pháp thường dùng để giải các bài toán trong kinh tế cũng như trong kỹ thuật. Một bài toán tối ưu tuyến tính thường có dạng:

Hàm mục tiêu:  $f(x)$

Ràng buộc:  $A_{eq} \cdot X = B_{eq}$

$$A_{ineq} \cdot X \leq B_{ineq}$$

Giới hạn:  $lb \leq X \leq ub$

Trong đó,  $X$  là một véc-tơ có kích thước  $k$  bao gồm các biến theo thời gian. Mỗi biến  $x_i \in X$  được giới hạn bởi cận dưới  $lb$  (lower bound) và cận trên  $ub$  (upper bound),  $lb_i \leq x_i \leq ub_i$ .  $A_{eq}$ ,  $A_{ineq}$  lần lượt là các ma trận có kích thước  $m.k$  và  $n.k$ . Trong đó  $m$ ,  $n$  lần lượt là số các ràng buộc biểu diễn dưới dạng các đẳng thức và các bất đẳng thức.  $B_{eq}$ ,  $B_{ineq}$  là các véc-tơ cột các thông số có kích thước lần lượt là  $m$  và  $n$ .

Trong phần tiếp theo, bài toán tối ưu điều phối điện năng được thành lập dưới dạng bài toán tối ưu tuyến tính.

#### 3.2. Các điều kiện ràng buộc

Trong phần này, các điều kiện ràng buộc được xem xét để đảm bảo hoạt động về mặt vật lý của hệ thống.

##### 3.2.1. Nạp - xả pin tích trữ

Tại mỗi thời điểm, pin tích trữ chỉ có thể hoạt động ở một trong hai trạng thái: Trạng thái sạc pin tương ứng với  $P_{BATin}(t) > 0$  và  $P_{BATout}(t) = 0$ , trạng thái xả pin tương ứng với  $P_{BATin}(t) = 0$  và  $P_{BATout}(t) > 0$ . Do đó ta có điều kiện ràng buộc:

$$P_{BATin}(t) \cdot P_{BATout}(t) = 0 \quad (9)$$

Tuy nhiên, phương trình (9) không có dạng tuyến tính. Để tuyến tính hóa điều kiện ràng buộc (9), ta đặt biến nhị phân  $BatSt(t) \in \{0;1\}$  thể hiện trạng thái nạp/xả của pin tích trữ.

- $BatSt(t) = 1$ : Pin tích trữ ở trạng thái nạp với công suất nạp  $P_{BATin}(t)$ ,  $P_{BATin}(t) \geq 0$

- $BatSt(t) = 0$ : Pin tích trữ ở trạng thái xả với công suất khi xả  $P_{BATout}(t)$ ,  $P_{BATout}(t) \geq 0$

Điều kiện ràng buộc trên có thể chuyển thành:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{BATin}(t) \leq BatSt(t) \cdot P_{PV}(t) \\ 0 \leq P_{BATout}(t) \leq (1 - BatSt(t)) \cdot P_{BATout}^{max} \\ 0 \leq BatSt(t) \leq 1 \\ P_{BATout}(t) \leq P_{BATout}^{max} \end{cases} \quad (10)$$

Như vậy, khi pin tích trữ được nạp,  $BatSt(t) = 1$ , ta có:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{BATin}(t) \leq P_{BATin}^{max} \\ P_{BATout}(t) = 0 \end{cases}$$

Khi pin tích trữ ở trạng thái xả,  $BatSt(t) = 0$  ta có:

$$\begin{cases} P_{BATin}(t) = 0 \\ 0 \leq P_{BATout}(t) \leq P_{BATout}^{max} \end{cases}$$

Để đưa về bài toán tối ưu tuyến tính trình bày ở Mục 3.1, các điều kiện ràng buộc (10) có thể được viết thành:

$$\begin{cases} P_{BATin}(t) - P_{PV}(t) \cdot BatSt(t) \leq 0 \\ P_{BATout}(t) + P_{BATin}^{max} \cdot BatSt(t) \leq P_{BATin}^{max} \\ 0 \leq BatSt(t) \leq 1 \\ 0 \leq P_{BATin}(t) \leq P_{BATin}^{max} \\ 0 \leq P_{BATout}(t) \leq P_{BATout}^{max} \end{cases} \quad (11)$$

##### 3.2.2. Trạng thái hoạt động nối lưới

Vào mỗi thời điểm, dòng công suất tại điểm kết nối lưới chỉ có một trong hai trạng thái: Bán điện lên lưới tương ứng với  $P_{GS}(t) > 0$  và  $P_{GB}(t) = 0$ ; Mua điện trực tiếp từ lưới tương ứng với  $P_{GB}(t) > 0$  và  $P_{GS}(t) = 0$ . Do đó, ta có điều kiện ràng buộc sau:

$$P_{GB}(t) \cdot P_{GS}(t) = 0$$

Để tuyến tính hóa điều kiện ràng buộc này, ta đặt  $GridSt(t) \in \{0;1\}$  thể hiện trạng thái dòng năng lượng tại điểm kết nối lưới.

- $GridSt(t) = 1$ : Công suất của lưới được cấp cho tải.

- $GridSt(t) = 0$ : Năng lượng điện từ hệ thống được bán lên lưới.

Điều kiện ràng buộc trên có thể chuyển thành:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{GB}(t) \leq GridSt(t) \cdot P_{GB}^{max} \\ 0 \leq P_{GS}(t) \leq (1 - GridSt(t)) \cdot P_{PV}(t) \\ 0 \leq GridSt(t) \leq 1 \end{cases} \quad (12)$$

Như vậy, khi công suất từ lưới được cấp cho tải, ta có  $GridSt(t) = 1$ :

$$\begin{cases} 0 \leq P_{GB}(t) \leq P_{GB}^{max} \\ P_{GS}(t) = 0 \end{cases}$$

Năng lượng điện từ hệ thống được bán lên lưới, ta có  $GridSt(t) = 0$ :

$$\begin{cases} P_{GB}(t) = 0 \\ 0 \leq P_{GS}(t) \leq P_{PV}(t) \end{cases}$$

Để đưa về dạng bài toán tối ưu tuyến tính, các ràng buộc (12) có thể được chuyển thành:

$$\begin{cases} P_{GB}(t) - P_{GB}^{max} \cdot GridSt(t) \leq 0 \\ P_{GS}(t) + P_{PV}(t) \cdot GridSt(t) \leq P_{PV}(t) \\ 0 \leq GridSt(t) \leq 1 \\ 0 \leq P_{GB}(t) \leq P_{GB}^{max} \\ 0 \leq P_{GS}(t) \leq P_{PV}(t) \end{cases} \quad (13)$$

### 3.3. Thiết lập bài toán tối ưu

Đến đây, bài toán tối ưu được thành lập bao gồm các biến:  $P_{GB}(t)$ ,  $P_{GS}(t)$ ,  $P_{BATout}(t)$ ,  $P_{BATin}(t)$ ,  $SOC(t)$ ,  $BatSt(t)$ ,  $GridSt(t)$ .

Từ các ràng buộc về các phương trình cân bằng năng lượng, các trạng thái hoạt động của pin và lưới, ta có các đẳng thức, các bất đẳng thức đã được tuyến tính hóa và các giới hạn của các biến tự do:

- Các phương trình:

$$P_{GB}(t) - P_{GS}(t) + P_{BATout}(t) - P_{BATin}(t) = P_{Loads}(t) - P_{PV}(t)$$

$$P_{BATout}(t) - P_{BATin}(t) + SOC(t) \cdot C_{BAT} - SOC(t-1) \cdot C_{BAT} = 0$$

- Các bất phương trình:

$$P_{BATout}(t) + P_{BATin}^{max} \cdot BatSt(t) \leq P_{BATin}^{max}$$

$$P_{BATin}(t) - P_{PV}(t) \cdot BatSt(t) \leq 0$$

$$P_{GB}(t) - P_{GB}^{max} \cdot GridSt(t) \leq 0$$

$$P_{GS}(t) + P_{PV}(t) \cdot GridSt(t) \leq P_{PV}(t)$$

- Các giới hạn:

$$0 \leq P_{GB}(t) \leq P_{GB}^{max}$$

$$0 \leq P_{GS}(t) \leq P_{PV}(t)$$

$$0 \leq P_{BATout}(t) \leq P_{BATout}^{max}$$

$$0 \leq P_{BATin}(t) \leq P_{BATin}^{max}$$

$$SOC^{min} \leq SOC(t) \leq SOC^{max}$$

$$0 \leq BatSt(t) \leq 1$$

$$0 \leq GridSt(t) \leq 1$$

- Hàm mục tiêu:

$$Min(Pay) = Min \sum_{t=1}^{24} [C_{GB}(t) \cdot P_{GB}(t) - C_{GS}(t) \cdot P_{GS}(t)]$$

Trong đó:  $C_{GB}(t)$ : Giá mua điện từ lưới vào thời điểm  $t$ ;

$C_{GS}(t)$ : Giá bán điện vào lưới vào thời điểm  $t$ .

Ở đây, bài toán tối ưu toàn cục được xem xét trong 24 giờ. Các biến tự do được rời rạc hóa trong 24 giờ, với mỗi bước thời gian là 1 giờ. Bài toán tối ưu có thể được giải với bước thời gian bé hơn 1 giờ, và cho kết quả tối ưu hơn. Tuy nhiên, khi đó số lượng các ràng buộc, số biến sẽ bị tăng lên, tăng thời gian tính toán.

## 4. Mô phỏng trên phần mềm Matlab kết hợp với phần mềm CPLEX và đánh giá kết quả

### 4.1. Phần mềm CPLEX và gói kết nối với Matlab

“IBM ILOG CPLEX Optimization Studio” (hay thường được gọi tắt là CPLEX) là một phần mềm chuyên dụng để giải các bài toán tối ưu, được phát triển bởi công ty IBM. Phần mềm được Công ty cung cấp gồm hai phiên bản dành cho thương mại và cho giáo dục. Hiện nay, nhiều hệ thống giám sát, điều khiển, tối ưu trong công nghiệp đã được tích hợp phần mềm CPLEX (ví dụ các hệ thống giám sát, tối ưu năng lượng trong tòa nhà). Ưu điểm của CPLEX là thời gian tính toán nhanh. CPLEX cung cấp giao diện trên nền ngôn ngữ C++, C# và Java. Ngoài ra, “IBM ILOG CPLEX

Optimization Studio” cung cấp gói kết nối với Microsoft Excel and MATLAB nhằm phục vụ các tính toán tối ưu trong thương mại cũng như cho việc nghiên cứu mô phỏng trên Matlab. Bài báo này sử dụng công cụ kết nối với Matlab để thực hiện mô hình hóa và mô phỏng trên Matlab.

Trong bài báo này, các biến tự do được rời rạc hóa trong 24 giờ, với mỗi bước thời gian là 1 giờ. Do đó, bài toán tối ưu được giải với 168 biến và 144 điều kiện ràng buộc.

### 4.2. Các thông số mô phỏng

#### ➤ Pin mặt trời

Trong bài báo này, các tấm pin mặt trời được chọn xem xét là loại Polychristalline CS6P-260P với công suất cực đại đạt được ở điều kiện tiêu chuẩn của mỗi tấm pin là  $P_{PV,STC} = 260 W$ . Với 58 tấm pin sẽ cho công suất tối đa là 15,08 KW.

#### ➤ Pin tích trữ

Pin tích trữ được chọn xem xét là loại Crown 12V, 195Ah. Với 12 pin được đấu 4x3 cho điện áp 48V đảm bảo dòng tải tối đa của pin. Tổng dung lượng pin  $C_{BAT} = 2.340Ah$ , cho phép tiêu thụ ở 50% tải cực đại thiết kế trong 4h. Để giới hạn dòng điện nạp và xả của pin tích trữ, công suất nạp và xả của dây pin tích trữ được giới hạn 5 KW.

#### ➤ Giá bán điện lên lưới

Bài báo xem xét khả năng bán điện lên lưới với giá điện là 2.086 đồng/kWh theo quyết định số 11/2017/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ được ban hành ngày 11/4/2017 về cơ chế khuyến khích phát triển các dự án điện mặt trời tại Việt Nam.

#### ➤ Giá mua điện từ lưới điện

Việc tối ưu giá thành tiêu thụ điện được xem xét với nhóm khách hàng kinh doanh, dịch vụ theo biểu giá điện bán lẻ 3 giá do EVN quy định:

- Giờ bình thường: 2.320 (đồng/kWh);

- Giờ thấp điểm: 1.412 (đồng/kWh);

- Giờ cao điểm: 3.991 (đồng/kWh).

Các mốc giờ theo biểu giá được xác định như sau:

- Giờ bình thường:

Gồm các ngày từ thứ Hai đến thứ Bảy:

+ Từ 04 giờ 00 đến 9 giờ 30 (05 giờ và 30 phút);

+ Từ 11 giờ 30 đến 17 giờ 00 (05 giờ và 30 phút);

+ Từ 20 giờ 00 đến 22 giờ 00 (02 giờ).

Ngày Chủ nhật:

+ Từ 04 giờ 00 đến 22 giờ 00 (18 giờ).

- Giờ cao điểm:

Gồm các ngày từ thứ Hai đến thứ Bảy:

+ Từ 09 giờ 30 đến 11 giờ 30 (02 giờ);

+ Từ 17 giờ 00 đến 20 giờ 00 (03 giờ).

Ngày Chủ nhật: không có giờ cao điểm.

- Giờ thấp điểm:

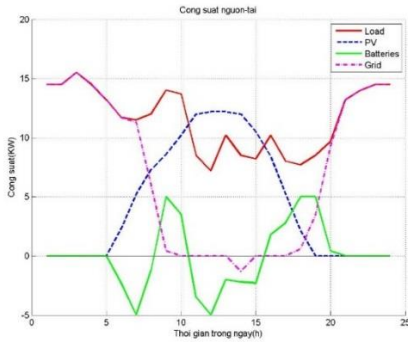
+ Tất cả các ngày trong tuần: từ 22 giờ 00 đến 04 giờ 00 sáng ngày hôm sau (06 giờ).

Ngoài ra, công suất cung cấp của pin mặt trời có thể

được ước lượng từ bức xạ, nhiệt độ bằng công cụ trực tuyến PVGIS [9]. Tải tiêu thụ được giả lập trong 24 giờ.

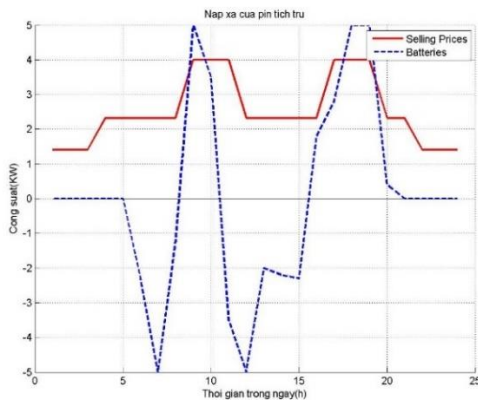
### 4.3. Kết quả mô phỏng

Kết quả quá trình trao đổi công suất được thể hiện trên Hình 3. Công suất có thể được trao đổi năng lượng hai chiều với nguồn tích trữ và với lưới điện.  $P_{BAT}(t)$  có giá trị dương, thể hiện pin tích trữ đang được xả.  $P_{BAT}(t)$  có giá trị âm thể hiện pin đang được nạp. Đối với công suất lưới  $P_{Grid}(t)$ , giá trị dương thể hiện dòng công suất được cấp từ lưới cho tải, giá trị âm thể hiện công suất được bán lên lưới. Đồ thị Hình 3 thể hiện hoạt động điều phối điện năng theo giá bán.



Hình 3. Trao đổi công suất nguồn - tải

Trước thời điểm  $t = 9h30$ , giá điện được tính theo mức “Thấp điểm” và “Bình thường” nên hệ thống ưu tiên sử dụng điện áp lưới. Năng lượng thu được từ pin mặt trời được nạp vào pin tích trữ. Từ  $t = 9h30$ , giá điện ở mức cao điểm nên lưới được ngắt kết nối. Năng lượng từ pin tích trữ và pin mặt trời được cung cấp cho tải.



Hình 4. Trạng thái nạp xả của pin tích trữ

Trong khoảng thời gian  $t = 11h00 - 12h00$ , công suất dư thừa từ pin mặt trời được nạp vào pin tích trữ, công suất dư thừa khi pin được nạp đầy sẽ được bán lên lưới. Tải

được xem xét ở đây là công suất tiêu thụ của một hộ sản xuất kinh doanh, có công suất tiêu thụ tối đa 15 KW. Công suất tiêu thụ được xác định và lấy mẫu theo mỗi bước thời gian là 1 giờ.

Hình 4 thể hiện quan hệ giữa giá bán điện và trạng thái nạp - xả của pin. Pin sẽ ưu tiên được nạp khi giá điện lưới thấp và xả ra cho tải tiêu thụ khi giá điện lưới cao (giờ cao điểm). Với ví dụ mô phỏng nêu trên, giá thành mua điện thấp nhất là 327.733,00 đồng.

### 5. Kết luận

Bài báo giới thiệu thuật toán tối ưu điều phối điện năng cho hệ thống pin năng lượng mặt trời nối lưới. Giải thuật tối ưu được thành lập dựa trên bài toán tối ưu tuyến tính. Kết quả được mô phỏng trên phần mềm Matlab kết hợp với phần mềm CPLEX của IBM. Đóng góp chính của bài báo là xây dựng lại mô hình bài toán tối ưu MILP trên ngôn ngữ Matlab, dựa trên các công trình khoa học đã được công bố, để có thể kết nối mô phỏng với CPLEX. Việc kết nối giữa CPLEX và Matlab một mặt cho phép tận dụng tốc độ tính toán nhanh của công cụ tính toán tối ưu chuyên dụng CPLEX, mặt khác cho phép khai thác môi trường linh hoạt của Matlab để tiếp tục những mô phỏng phức tạp hơn như kết hợp kiểm nghiệm với các mô phỏng điều khiển ở tầng điều khiển cục bộ.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] CPLEX, I., *ILOG CPLEX Homepage 2009*, Available at [online]: <http://www.ilog.com>, 2009.
- [2] Thanaa, F., M.N. Eskander, and M.T. El-Hagry, “Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system”, *Energy Conversion and Management*, 47(9), 2006, pp. 1264-1280.
- [3] Wang, C. and M.H. Nehrir, “Power management of a stand-alone wind/photovoltaic/fuel cell energy system”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(3), 2008, pp. 957-967.
- [4] Lu, B. and M. Shahidehpour, “Short-term scheduling of battery in a grid-connected PV/battery system”, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 2005, pp. 1053-1061.
- [5] Riffonneau, Y., et al., “Optimal power flow management for grid connected PV systems with batteries”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2(3), 2011, pp. 309-320.
- [6] Pham, T.T.H., F. Wurtz, and S. Bacha., *Optimal operation of a PV based multi-source system and energy management for household application*, 2009 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009.
- [7] Taddonki, C., *Using cplex with matlab*, 2003.
- [8] Skoplaki, E. and J. Palyvos, “On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations”, *Solar energy*, 83(5), 2009, pp. 614-624.
- [9] Commission, J.E., *Photovoltaic Geographical Information system (PVGIS)*, 2013.

(BBT nhận bài: 01/12/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 18/12/2017)