

# ỔN ĐỊNH CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP TRONG MẠNG ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ TÍCH HỢP TRẠM SẠC XE ĐIỆN

Võ Minh Thiện<sup>1,2</sup>, Đoàn Thị Kiều Tiên<sup>2</sup>, Trần Thị Lan Anh<sup>3</sup>, Diệp Chấn Hoàng<sup>2</sup>  
Trần Anh Nguyễn<sup>4</sup> và Võ Ngọc Điều<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Không gian nghiên cứu phát triển năng lượng mới, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

<sup>3</sup>Sinh viên Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

<sup>4</sup>Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ

Email: vndieu@hcmut.edu.vn

## Thông tin chung:

Ngày nhận bài:

22/5/2025

Ngày nhận bài sửa:

28/7/2025

Ngày duyệt đăng:

5/8/2025

## Từ khóa:

BESS, EVCS, Hệ thống phát điện phân tán, tối ưu CHIO, Xe điện.

## TÓM TẮT

Phương tiện giao thông sử dụng điện đang phát triển nhanh do những ưu điểm về môi trường, điều này dẫn đến sự tăng công suất, tạo ra nhiều áp lực cho mạng điện phân phối về hiện tượng tải đỉnh, sụt áp, dao động tải, ảnh hưởng đến chất lượng phục vụ. Việc nghiên cứu các giải pháp để giảm thiểu các tác động tiêu cực nêu trên là vấn đề cần phải quan tâm. Nghiên cứu này đề xuất giải pháp ổn định điện áp cho mạng phân phối tích hợp nguồn phân tán (DG) và lưu trữ pin (BESS) khi phát triển trạm sạc xe điện (EVCS), hướng đến mục tiêu giảm tổn thất công suất. Thuật toán Miễn dịch Cộng đồng Virus Corona (CHIO) được áp dụng để tìm lời giải tối ưu, thử nghiệm trên mạng IEEE 33 và 69 nút bằng phần mềm Matlab R2022a. Bài toán được đánh giá qua 3 trường hợp và so sánh với thuật toán CEO đã công bố. Kết quả nghiên cứu góp phần quan trọng trong mô hình tích hợp DG và BESS khi phát triển EVCS trong thực tiễn, tạo ra một công cụ tính toán mạnh mẽ, phục vụ các nghiên cứu về EVCS trong tương lai.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nhiều thập kỷ qua, ngành công nghiệp ô tô đã đóng vai trò then chốt trong tăng trưởng kinh tế toàn cầu, đồng thời thúc đẩy đổi mới công nghệ trong lĩnh vực giao thông vận tải. Ngày nay, các phương tiện hiện đại không chỉ hướng đến sự tiện nghi và tốc độ mà còn được tích hợp các hệ thống an toàn tiên tiến để bảo vệ người tham gia giao thông. Tuy nhiên, mặt trái của sự phát triển này là lượng khí thải gây ô nhiễm ngày càng gia tăng, đặc biệt tại các khu vực đô thị, nơi thường xuyên ghi nhận nồng độ cao của các chất độc hại như bụi mịn PM, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), CO, sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>). Theo thống kê từ Liên minh Châu Âu, khoảng 28% lượng phát thải CO<sub>2</sub> toàn cầu bắt nguồn từ ngành giao thông vận tải, trong đó riêng vận tải

đường bộ đã chiếm hơn 70% [1]. Trước thực trạng đó, việc chuyển dịch sang các giải pháp giao thông xanh, tiêu biểu là xe điện (EV), đang được chính phủ các nước phát triển tích cực thúc đẩy như một hướng đi tất yếu nhằm giảm thiểu khí thải nhà kính và cải thiện chất lượng không khí đô thị [2]. Việc triển khai nhanh chóng các phương tiện sử dụng điện (EV) có thể gây ra nhiều tác động tiêu cực đến hệ thống lưới điện hiện hữu, đặc biệt là trong bối cảnh lưới điện chưa được chuẩn bị đầy đủ để tiếp nhận tải trọng lớn và không ổn định từ các EVCS. Trước thực trạng đó, nhiều nghiên cứu đã tập trung đánh giá các vấn đề kỹ thuật và tìm kiếm cơ hội tích hợp EV vào hệ thống lưới điện thông minh nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực và khai thác tiềm năng hỗ trợ lưới. Một nghiên cứu đã phân tích tác động

của việc triển khai EV dưới góc độ công nghệ xe-lưới điện (vehicle-to-grid - V2G), trong đó nhấn mạnh vai trò của EV như một nguồn năng lượng linh hoạt giúp giảm thiểu sự gián đoạn trong cung cấp điện từ các nguồn tái tạo [3]. Trong khi đó, một nghiên cứu khác đã phân tích tổng thể về tất cả các khía cạnh liên quan đến hoạt động sạc EV, bao gồm cơ chế truyền năng lượng và tích hợp với các nguồn phát điện phân tán (DG), nhằm đảm bảo tính ổn định và hiệu quả của hệ thống điện [4]. Một số nghiên cứu đã được công bố nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực của EV lên hệ thống điện. Trong công trình của [5], các tác giả đề xuất một phương pháp điều khiển cân bằng tải nhằm giảm tổn thất công suất cũng như cải thiện chất lượng điện áp trong hệ thống. Bên cạnh đó, nghiên cứu của [6] đã khai thác khả năng điều chỉnh công suất phản kháng tại các EVCS như một giải pháp hiệu quả để nâng cao cấu hình điện áp và tăng cường độ ổn định của lưới điện.

Các nghiên cứu gần đây đã tập trung vào việc tối ưu hóa hệ thống trạm sạc xe điện nhằm nâng cao hiệu quả vận hành và giảm thiểu tác động đến lưới điện. Tối ưu hóa vị trí của EVCS cho hệ thống phân phối tập trung không cân bằng bằng cách sử dụng Tối ưu hóa bầy hạt (PSO), kết hợp với tích hợp DG, nhằm mục đích giảm thiểu tổn thất công suất [6]. Vị trí tối ưu của EVCS với khả năng cung cấp V2G bằng thuật toán Tìm kiếm sinh vật cộng sinh (SOS) giúp nâng cao hiệu quả vận hành, giảm thiểu tổn thất công suất và tối ưu hóa nguồn cung cấp lưới điện thông qua các kỹ thuật V2G [7]. Nghiên cứu [8] trình bày phương pháp tối ưu vị trí và vận hành của DG trong hệ thống điện phân phối có xét đến hàm mục tiêu chi phí của tổn thất năng lượng bằng cách sử dụng thuật toán di truyền (GA). Ứng dụng thuật toán tối ưu hóa Whale (WOA) trong quá trình tích hợp nguồn phát điện phân tán (DG) và tái cấu trúc lưới phân phối trong việc nâng cao hiệu suất vận hành hệ thống,

đáp ứng linh hoạt nhu cầu sạc EV, đồng thời giảm thiểu tổn thất công suất và tăng cường độ ổn định cho lưới điện [9].

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử dụng thuật toán CHIO để tối ưu hóa triển khai DG và BESS trong các hệ thống phân phối tích hợp với EVCS [10]. Mục tiêu giảm thiểu tổn thất công suất và duy trì điện áp vận hành ở mức ổn định. Mô hình đã được mô phỏng trên 2 mạng điện phân phối chuẩn IEEE-33 và 69 nút bằng Matlab R2022a, với 3 trường hợp thử nghiệm và ba mức phối hợp công suất khác nhau. Những đóng góp chính của nghiên cứu có thể được tóm tắt như sau:

- Mô hình ổn định chất lượng điện áp tích hợp DG và BESS khi phát triển EVCS.
- Kỹ thuật áp dụng CHIO để tìm lời giải cho nghiên cứu được đề xuất.

## 2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

### 2.1. Hàm mục tiêu

$$F = \min(P_{LT}) \quad (1)$$

Trong đó  $P_{LT}$  là tổng tổn thất công suất của hệ thống.

### 2.2. Ràng buộc

#### Cân bằng công suất

$$P_{SUB} + \sum_{j=1}^{N_b} P_{DG,j} = \sum_{j=1}^{N_b} (P_t) \quad (2)$$

$$P_t = P_{L,j} + P_{EVCS,j} + P_{BESS,j} + P_{LT,j}$$

$$j = 1, 2, \dots, N_b;$$

$$Q_{SUB} + \sum_{j=1}^{N_b} Q_{DG,j} = \sum_{j=1}^{N_b} (Q_t) \quad (3)$$

$$Q_t = Q_{L,j} + Q_{EVCS,j} + Q_{BESS,j} + Q_{LT,j}$$

$$j = 1, 2, \dots, N_b;$$

Trong đó,  $N_b$  là nút:

$P_{SUB}$ ,  $Q_{SUB}$  lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng phát ra từ lưới điện.

$P_{DG,j}$ ,  $Q_{DG,j}$  lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng từ DG.

$P_{L,j}$ ,  $Q_{L,j}$  là tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng của tải.

$P_{EVCS,j}, Q_{EVCS,j}$  là tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng của EVCS.

$P_{BESS,j}, Q_{BESS,j}$  là tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng của BESS.

$P_{LT,j}, Q_{LT,j}$  là tổng tổn thất công suất tác dụng và công suất phản kháng.

### Ràng buộc điện áp

Giới hạn điện áp:

$$\begin{aligned} V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}; i = 1, 2, \dots, N_b \\ 0.95 \leq V_i \leq 1.05 \end{aligned} \quad (4)$$

Trong đó,  $V_i^{min}, V_i^{max}$  là điện áp thấp và điện áp cao.

### Ràng buộc công suất

$$P_{EVCS,i}^{min} \leq P_{EVCS,i} \leq P_{EVCS,i}^{max}; i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$P_{DG,i}^{min} \leq P_{DG,i} \leq P_{DG,i}^{max}; i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$P_{BESS,i}^{min} \leq P_{BESS,i} \leq P_{BESS,i}^{max}; i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$P_{EVCS,i}^{min} = P_{EVCS,i} = P_{EVCS,i}^{max}$  khi  $P_{CS}$  giới hạn điều chỉnh của CS tại nút  $i$ ;

$P_{DG,i}^{min} = P_{DG,i} = P_{DG,i}^{max}$  khi  $P_{DG}$  giới hạn điều chỉnh của nguồn DG tại nút  $i$ ;

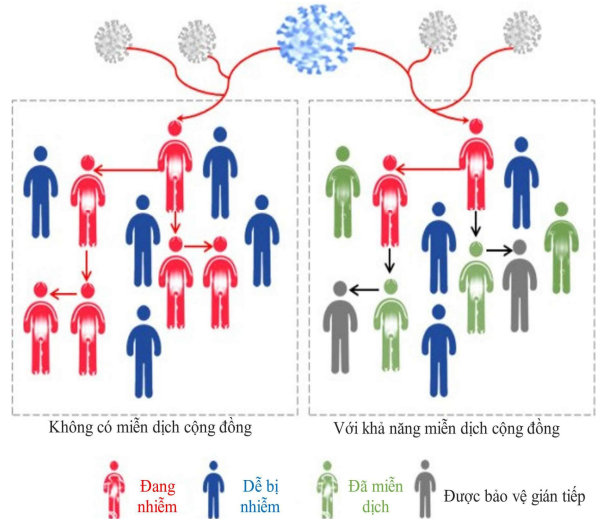
$P_{BESS,i}^{min} = P_{BESS,i} = P_{BESS,i}^{max}$  khi  $P_{BESS}$  giới hạn điều chỉnh của hệ thống lưu trữ năng lượng pin (BESS) tại nút  $i$ ;

$n$  là Số lượng EVCS, nguồn DG và hệ thống BESS.

### 2.3. Thuật toán CHIO

Trong nghiên cứu này, một thuật toán tối ưu hóa mới lấy cảm hứng từ hiện tượng tự nhiên liên quan đến con người, có tên là CHIO. Ý tưởng chủ đạo của CHIO bắt nguồn từ khái niệm miễn dịch cộng đồng - một phương pháp kiểm soát và giảm thiểu sự lây lan của đại dịch virus corona (COVID-19) [10]. Tốc độ lây lan của virus corona phụ thuộc vào mức độ tiếp xúc trực tiếp giữa các cá nhân nhiễm bệnh với những người khác trong cộng đồng. Để hạn chế sự lây nhiễm,

các chuyên gia y tế khuyến cáo áp dụng giãn cách xã hội. Miễn dịch cộng đồng xảy ra khi phần lớn dân số có khả năng miễn dịch, từ đó ngăn cản virus lan truyền rộng rãi. Những khái niệm trên được trừu tượng hóa và mô hình hóa dưới dạng bài toán tối ưu hóa. CHIO mô phỏng lại chiến lược miễn dịch cộng đồng và cơ chế giãn cách xã hội thông qua ba loại trạng thái cá thể: dễ bị nhiễm, đang nhiễm và đã miễn dịch. Cấu trúc này nhằm định hình cách thuật toán cập nhật bộ gen của từng cá thể thông qua các chiến lược mô phỏng giãn cách như được trình bày ở hình 1. Thuật toán CHIO được đánh giá hiệu quả bằng cách áp dụng trên 23 hàm benchmark tiêu chuẩn trong lĩnh vực tối ưu hóa.



**Hình 1. Phân bố cá thể trong CHIO**

Có 6 bước chính trong việc triển khai CHIO, được trình bày ở Hình 2:

#### Bước 1: Khởi tạo

Hàm mục tiêu của thuật toán như sau:

$$\text{Min } f(x); x \in \{LB, UB\} \quad (8)$$

Trong đó  $f(x)$  là hàm mục tiêu (hoặc tỷ lệ nhiễm) được tính toán cho mỗi cá thể  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  khi đó  $x_i$  là  $i_{th}$  gen (hoặc biến điều khiển) và  $n$  là tổng số gen cho mỗi cá thể. Lưu ý rằng phạm vi giá trị cho mỗi gene  $x_i$   $[LB_i, UB_i]$  trong đó  $LB_i$  và  $UB_i$  đại diện cho giới hạn dưới và giới hạn trên của gene  $x_i$ .

CHIO có bốn tham số thuật toán và hai tham số điều khiển. Bốn tham số thuật toán là:

- $C_0$ : số ca nhiễm ban đầu do một cá thể gây ra.
- $HIS$ : kích thước quần thể.
- $Max\_Iter$ : số lần lặp tối đa.
- $n$ : số lượng biến điều khiển của bài toán đang xét.

CHIO có hai tham số điều khiển chính được khởi tạo trong bước này:

- Tỷ lệ tái sinh cơ bản ( $BR_r$ ) điều khiển hoạt động của CHIO thông qua sự lây lan của đại dịch virus trong quần thể.
- Tuổi tối đa của các ca nhiễm ( $Max\_Age$ ) xác định trạng thái của các ca nhiễm, trong đó các ca đạt đến  $Max\_Age$  được coi là đã hồi phục hoặc đã qua đời.

**Bước 2:** Tạo quần thể miễn dịch đàn

Trong quần thể miễn dịch đàn ( $HIP$ ), các ca nhiễm được lưu trữ dưới dạng ma trận hai chiều có kích thước  $n \times HIS$ :

$$HIP = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^{HIS} & x_2^{HIS} & \dots & x_n^{HIS} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Trong đó, mỗi hàng  $j$  đại diện cho một ca nhiễm  $x^j$ , được tạo ra như sau:

$$x_i^j = LB_i + (UB_i - LB_i) \times U(0,1), \quad \forall i=1,2,\dots,n \quad (10)$$

Hàm mục tiêu (cho mỗi ca nhiễm) được tính toán bằng công thức (10).  $U(0,1)$  biểu thị một số ngẫu nhiên được chọn ra từ một phân phối đồng đều trong phạm vi  $[0,1]$  và đảm bảo rằng  $x_i^j$  được chọn ngẫu nhiên trong khi vẫn nằm trong giới hạn dưới  $UB_i$  và giới hạn trên  $LB_i$ . Vector trạng thái ( $S$ ) có độ dài  $HIS$  cho tất cả các ca nhiễm trong  $HIP$  được khởi tạo là zero (cho các ca dễ bị nhiễm) hoặc một (cho

các ca nhiễm). Lưu ý rằng số đơn vị trong ( $S$ ) được khởi tạo ngẫu nhiên lên đến  $C_0$ .

**Bước 3:** Tiến hóa quần thể miễn dịch virus corona

Đây là giai đoạn tiến hóa chính của CHIO. Gen ( $x_i^j$ ) của ca nhiễm  $x^j$  sẽ được giữ nguyên hoặc bị ảnh hưởng bởi biện pháp giãn cách xã hội dựa trên ba quy tắc dựa trên tỷ lệ tái sinh  $BR_r$  như sau:

$$x_i^j(t+1) \leftarrow \begin{cases} x_i^j(t) & r \geq BR_r \\ C(x_i^j(t)) & r < \frac{1}{3} \cdot BR_r; \\ N(x_i^j(t)) & r < \frac{2}{3} \cdot BR_r; \\ R(x_i^j(t)) & r < BR_r; \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó,  $r$  tạo ra một số ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 đến 1. Ba quy tắc gồm:

**Ca nhiễm:** Trong phạm vi này,  $r \in [0, \frac{1}{3} BR_r]$ , giá trị gen mới  $x_i^j(t+1)$  bị ảnh hưởng bởi yếu tố giãn cách xã hội được tạo ra từ sự khác biệt giữa gen hiện tại và gen được lấy từ một ca nhiễm  $x^c$ :

$$x_i^j(t+1) = C(x_i^j(t)) \quad (12)$$

Trong đó:

$$C(x_i^j(t)) = x_i^j(t) + r \cdot (x_i^j(t) \cdot x_i^c(t)) \quad (13)$$

Lưu ý rằng giá trị  $x_i^c(t)$  được chọn ra ngẫu nhiên từ bất kỳ ca ổn định  $x^c$  nào dựa trên vector trạng thái ( $S$ ) sao cho  $c = \{i | S(i) = 1\}$ .

**Ca dễ bị nhiễm:** Trong phạm vi này, giá trị gene mới của ca dễ bị nhiễm bị ảnh hưởng bởi yếu tố giãn cách xã hội được tạo ra từ sự khác biệt giữa gen hiện tại và gene lấy từ một ca nhiễm  $r \in [\frac{1}{3} BR_r, \frac{2}{3} BR_r]$ , giá trị gen mới  $x_i^j(t+1)$  dễ bị nhiễm bị ảnh hưởng bởi yếu tố giãn cách xã hội được tạo ra từ sự khác biệt giữa gen hiện tại và gen lấy từ một ca nhiễm  $x^m$ :

$$x_i^j(t+1) = N(x_i^j(t)) \quad (14)$$

Trong đó:

$$N(x_i^j(t)) = x_i^j(t) + r \cdot (x_i^j(t) - x_i^m(t)) \quad (15)$$

Lưu ý rằng giá trị  $x_i^m(t)$  được chọn ngẫu nhiên từ bất kỳ ca ổn định nào  $x^m$  dựa trên vector trạng thái ( $S$ ) như  $m = \{i | S(i) = 0\}$ .

**Ca miễn dịch:** Trong khoảng giá trị xác định,  $r \in \left[ \frac{2}{3} BR_r, BR_r \right]$ , giá trị gene mới của cá thể được ảnh hưởng bởi một yếu tố giãn cách xã hội, được tính từ sự khác biệt giữa gene hiện tại và một gen lấy từ một cá thể đã miễn dịch  $x^v$ :

$$x_i^j(t+1) = R(x_i^j(t)) \quad (16)$$

$$R(x_i^j(t)) = x_i^j(t) + r \cdot (x_i^j(t) - x_i^v(t)) \quad (17)$$

Lưu ý rằng giá trị tức là cá thể miễn dịch tốt nhất  $x^v$  dựa trên vector trạng thái ( $S$ ) như:  $f(x_i^v) = \arg \min_{j(k|S(k)=2)} f(x_i^j)$ .

**Bước 4:** Cập nhật quần thể miễn dịch

Tỷ lệ miễn dịch của mỗi cá thể bị nhiễm được tạo mới sẽ được tính toán. Nếu cá thể mới có giá trị hàm mục tiêu tốt hơn, nó sẽ thay thế cá thể nhiễm hiện tại  $f(x^j(t+1))$  của mỗi ca nhiễm được tạo mới sẽ được tính toán,  $x^j(t+1)$  được tính toán và trường hợp nhiễm bệnh hiện tại  $x^j(t)$  là ca nhiễm hiện tại sẽ được thay thế bởi ca mới,  $x^j(t+1)$ , nếu ca nhiễm mới có giá trị hàm mục tiêu tốt hơn:  $f(x^j(t+1)) < f(x^j(t))$  tăng thêm một đơn vị nếu  $S_j = 1$ . Vector trạng thái ( $S_j$ ) được cập nhật cho từng cá thể  $x^j$  dựa trên ngưỡng miễn dịch cộng đồng theo công thức sau:

$$S_j = \begin{cases} 1) \frac{f(x^j(t+1))}{\Delta f(x)} \Delta S_j < is\_Corona(x^j(t+1)) \\ 2) \frac{f(x^j(t+1))}{\Delta f(x)} \Delta S_j = 1 \end{cases} \quad (18)$$

Trong đó  $is\_Corona(x^j(t+1))$  là một giá trị nhị phân bằng một khi ca mới ( $x^j(t+1)$ ) kế thừa giá trị từ bất kỳ ca nhiễm nào.  $\Delta f(x)$  là tỷ lệ miễn dịch trung bình của

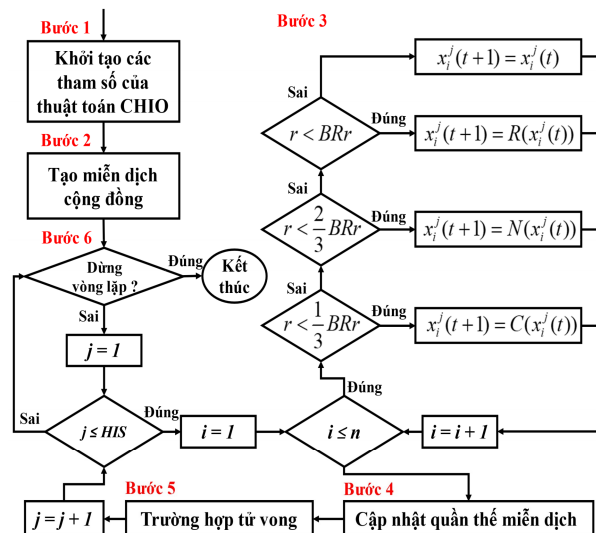
quần thể, ví dụ như:  $\frac{\sum_{i=1}^{HIS} f(x_i)}{HIS}$ .

**Bước 5:** Các ca tử vong

Nếu tỷ lệ miễn dịch  $f(x^j(t+1))$  của ca nhiễm hiện tại  $S_j = 1$  không thể cải thiện sau một số vòng lặp nhất định, như được xác định bởi tham số  $Max\_Age$ , ( $A_j \geq Max\_Age$ ) trường hợp này được coi là "chết". Sau đó, nó sẽ được thiết lập lại bằng cách sử dụng  $x_i^j = LB_i + (UB_i - LB_i) \cdot U(0,1), \forall i = 1, 2, \dots, n$  Hơn nữa,  $A_j$  và  $S_j$  được thiết lập bằng không. Phương pháp này có thể hữu ích trong việc đa dạng hóa quần thể hiện tại và do đó giúp thoát khỏi tối ưu cục bộ.

**Bước 6:** Dừng vòng lặp

Tiêu chí dừng của CHIO bao gồm việc lặp lại các bước 3 đến 5 cho đến khi đạt được tiêu chí kết thúc, thường là khi số vòng lặp tối đa được hoàn thành. Trong trường hợp này, tổng số ca dễ bị nhiễm và miễn dịch chiếm ưu thế trong quần thể, trong khi số ca nhiễm giảm dần.



Hình 2. Lưu đồ của thuật toán CHIO

## 2.4 Áp dụng thuật toán CHIO giải quyết bài toán EVCS

**Bước 1:** Xác định dữ liệu đầu vào, thiết lập số lượng trạm sạc xe điện (EVCS).

**Bước 2:** Khởi tạo thuật toán CHIO với các tham số gồm:  $HIS$ ,  $Max\_age$ ,  $BRr$  và  $Iteration_{max}$ .

**Bước 3:** Tạo quần thể miễn dịch gồm các cá nhân với kích thước  $n \times HIS$ .

**Bước 4:** Tính giá trị hàm mục tiêu cho từng cá thể theo công thức (8), tạo ra  $x_i^j$  ngẫu nhiên theo (10), và thực hiện giai đoạn miễn dịch.

**Bước 5:** Cập nhật quần thể miễn dịch theo công thức (17).

**Bước 6:** Tăng số vòng lặp và xác định các cá thể dựa vào tham số  $Max\_Age$ .

**Bước 7:** Lặp lại các bước từ 2 đến 5. Khi vòng lặp kết thúc, thu lại kết quả cuối cùng.

## 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô hình được triển khai qua ba trường hợp như sau:

**Trường hợp 1:** Hệ thống chỉ tích hợp nguồn DG.

**Trường hợp 2:** Hệ thống tích hợp cả DG và hệ thống BESS.

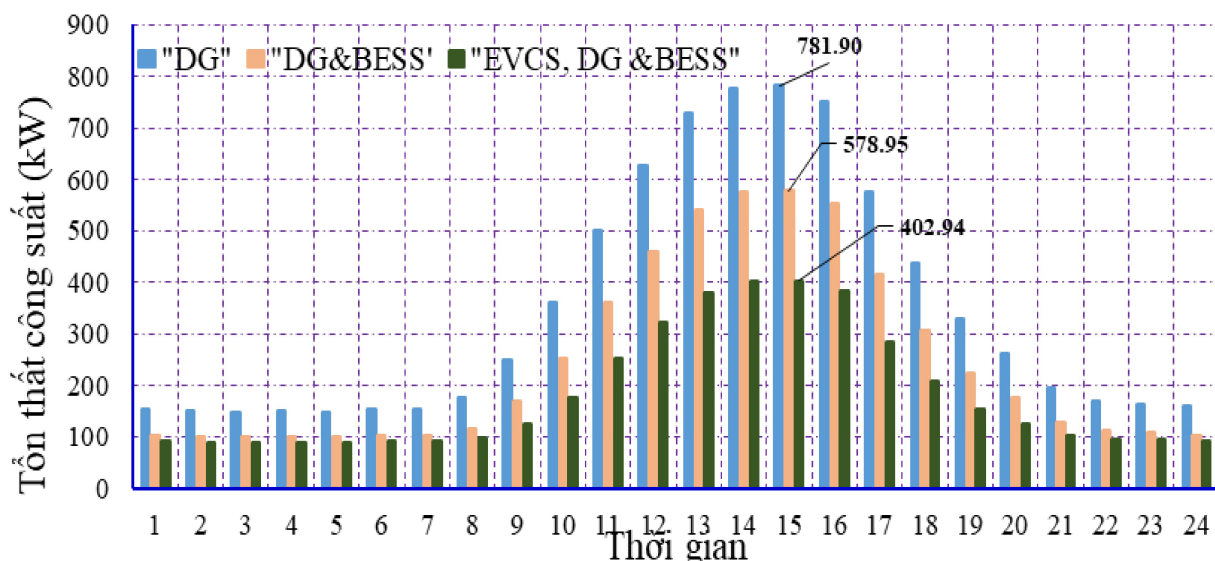
**Trường hợp 3:** Hệ thống tích hợp EVCS, DG và BESS.

### 3.1. Mạng phân phối IEEE 33 nút

Hệ thống điện bao gồm 33 nút, với tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng của phụ tải lần lượt là 3,715 MW và 2,300 MVar [11].

Công suất của 7 trạm sạc EVCS được cố định tại các nút 3, 7, 9, 19, 22, 24 và 26. Đồng thời, 3 đơn vị DG được đặt tại các nút 14, 18 và 32, trong khi hệ thống lưu trữ BESS được bố trí tại các nút 8 và 27. Cấu hình này nhằm mục tiêu giảm thiểu tổn thất công suất, ổn định điện áp, tối ưu hóa việc khai thác năng lượng từ DG và các nguồn tái tạo, đồng thời nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống [12], [13].

Công suất của các nguồn năng lượng mặt trời (PV) và năng lượng gió (WT) trong khoảng thời gian 24 giờ để mô phỏng và kiểm tra quá trình phân phối công suất, với các thông số của nguồn WT và PV được tham khảo từ bộ dữ liệu thông số [14].



Hình 3. Tổn thất công suất trong ba trường hợp khảo sát

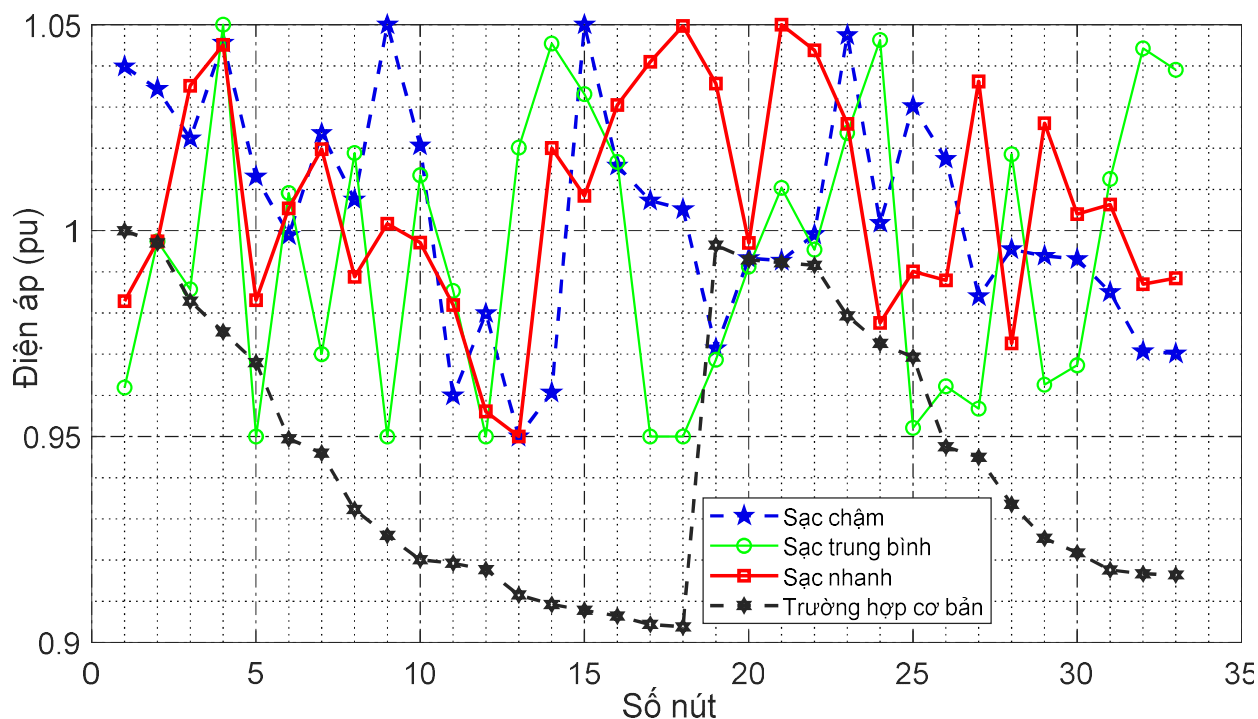
Kết quả mô phỏng trong hình 3 cho thấy :

**Trường hợp 1 (chỉ sử dụng DG):** Gây tổn thất công suất lớn nhất trong hệ thống, đặc biệt là vào các khung giờ từ 11 giờ đến 17 giờ. Tổng tổn thất gần như gấp đôi so với trường hợp 3. Việc chỉ dựa vào DG khiến hệ thống không ổn định và tổn thất tăng mạnh trong các khung giờ tải cao.

**Trường hợp 2 (DG kết hợp BESS):** Giảm tổn thất đáng kể so với trường hợp 1 trong hầu hết các khung giờ. BESS giúp cung cấp thêm công suất nhanh chóng trong giờ cao điểm, làm giảm tải cho DG. Tuy nhiên, do dung lượng hạn chế nên BESS vẫn gặp khó khăn khi tải biến động lớn.

**Trường hợp 3 (kết hợp EVCS, DG, BESS):** Là giải pháp hiệu quả nhất, với tổn thất công suất thấp nhất trong tất cả các khung giờ, đặc biệt là trong khung giờ từ 13 giờ đến 16 giờ. Sự phối hợp giữa EVCS và BESS giúp điều phối tải tốt hơn, giảm áp lực cho DG và tối ưu hóa hiệu quả vận hành. Điều này chứng minh giải pháp tích hợp này không chỉ mang lại hiệu quả thiết thực, ổn định mà còn phù hợp để triển khai ứng dụng phát triển hệ thống EVCS trong thực tiễn.

Ngoài ra, các giá trị điện áp trong 3 mức thử nghiệm: sạc chậm, sạc trung bình, sạc nhanh được cải thiện đáng kể trong phạm vi giới hạn 0,95 pu đến 1,05 pu được trình bày ở hình 4.

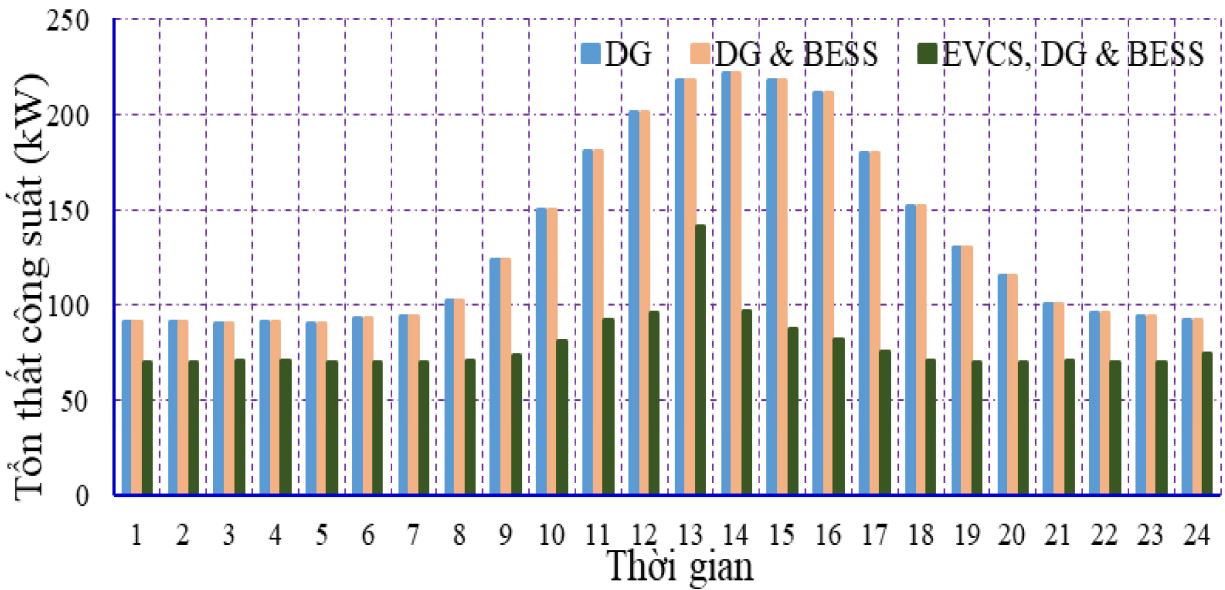


Hình 4. Giá trị điện áp mô phỏng trên mạng IEEE 33 nút

### 3.2. Mạng phân phối IEEE 69 nút

Hệ thống điện bao gồm 69 nút, với tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng của phụ tải lần lượt là 3,8 MW và 2,69 MVar [11].

Công suất của 7 trạm sạc EVCS được cố định tại các nút 4, 5, 28, 29, 43, 47, 69. Đồng thời, 4 đơn vị phát điện DG được đặt tại các nút 12, 19, 59, 62, trong khi hệ thống lưu trữ BESS được bố trí tại các nút 11, 18, 61.



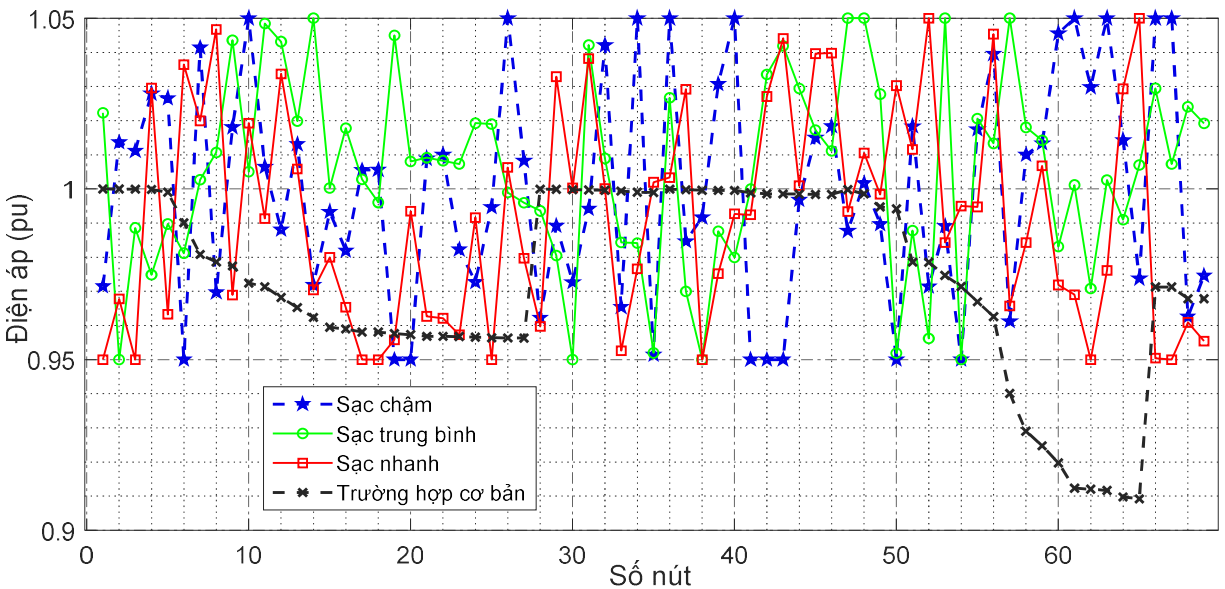
Hình 5. Tổng thất công suất trong ba trường hợp khảo sát

**Trường hợp 1 (chỉ sử dụng DG):** Luôn ở mức tổn thất cao nhất trong cả 24 giờ. Đặc biệt trong khoảng 10 giờ -17 giờ, tổn thất vượt trên 200 kW, cho thấy hiệu suất hoạt động kém trong giờ cao điểm.

**Trường hợp 2 (DG kết hợp BESS):** Tổng thất công suất được khảo sát không chênh lệch với trường hợp 1 do mạng lưới IEEE 69 nút là một mạng lưới lớn, với ràng buộc cân bằng công suất, BESS đóng vai trò sạc/xả hướng đến mục tiêu cực tiểu tổn thất.

**Trường hợp 3 (kết hợp EVCS, DG, BESS):** Cho thấy hiệu quả vượt trội với tổn thất thấp nhất trong tất cả các khung giờ. Đặc biệt trong khung giờ (9 giờ - 20 giờ), tổn thất giảm mạnh còn dưới 100–150 kW. Điều này chứng tỏ EVCS không chỉ giúp tối ưu phân phối công suất mà còn giảm tải cho DG và tận dụng linh hoạt BESS.

- Giá trị điện áp được trình bày ở hình 6 ở cả 3 mức thử nghiệm vẫn đáp ứng yêu cầu trong phạm vi giới hạn 0,95 pu đến 1,05 pu.



Hình 6. Giá trị điện áp mô phỏng trên mạng IEEE 69 nút

**Bảng 1. Kết quả tổn thất công suất trên 2 mạng lưới IEEE 33 và 69 nút**

IEEE 33 nút		Sạc chậm	Sạc trung bình	Sạc nhanh
Tổn thất công suất (kW)	CEO	94.05847	95.23819	108.5799
	CHIO	72.758846	72.755846	72.388466
IEEE 69 nút		Sạc chậm	Sạc trung bình	Sạc nhanh
Tổn thất công suất (kW)	CEO	73.3826	73.2003	74.6812
	CHIO	70.514372	70.403869	72.652285

Số liệu so sánh từ Bảng 1 cho thấy thuật toán CHIO luôn cho kết quả tổn thất công suất thấp hơn so với CEO [11] ở cả hai hệ thống IEEE 33 nút và 69 nút, trong mọi mức độ sạc. Đặc biệt, sự chênh lệch rõ rệt nhất là ở mức sạc nhanh tại IEEE 33 nút, với CHIO giảm tổn thất từ 108.5799 kW xuống chỉ còn 72.388466 kW. Điều này chứng tỏ CHIO có khả năng tìm kiếm hiệu quả hơn trong điều kiện hệ thống tải cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Qua những kết quả mô phỏng, đánh giá có thể khẳng định rằng, thuật toán CHIO đã đề xuất là giải pháp tối ưu và hiệu quả cho bài toán ổn định chất lượng điện áp trong mạng điện phân phối có tích hợp DG và BESS khi phát triển hệ thống EVCS. Mô hình bài toán đã chứng minh tính hiệu quả của kỹ thuật áp dụng kết hợp huy động nguồn DG và hệ thống BESS để giữ ổn định, giảm tổn thất công suất trong mạng điện khi nguồn, tải và điện áp có sự dao động. Giải pháp kết hợp này mang lại hiệu quả tích cực trong việc giảm thiểu những áp lực lên mạng điện phân phối khi phát triển hệ thống EVCS.

#### Tài liệu tham khảo

[1] U. Europea. EU transport IN FIGURES. Publications office of the European Union; 2011

[2] OECD. Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: AN IGNORED ENVIRONMENTAL POLICY CHALLENGE. 2020. [Online].

[3] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy,

K. M. Tan et al. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renew. Sustain. energy Rev.* 2015; 49: 365–385.

[4] K. Mahmud, G. E. Town, S. Morsalin et al. Integration of electric vehicles and management in the internet of energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018; 82: 4179-4203.

[5] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses et al. Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile. *IEEE Trans. Smart Grid.* 2011; 2(3): 456–467.

[6] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan et al. Bi-directional electric vehicle fast charging station with novel reactive power compensation for voltage regulation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2015; 64: 300–310.

[7] M. S. K. Reddy and K. Selvajyothi. Optimal placement of electric vehicle charging station for unbalanced radial distribution systems. *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 2020; 1–15.

[8] M. Farsadi, T. Sattarpour, and A. Y. Nejadi. Optimal placement and operation of BESS in a distribution network considering the net present value of energy losses cost. 9th International Conference on Electrical and

Electronics Engineering (ELECO), IEEE. 2015; 434–439.

[9] W. Zhang and S. Wang, Optimal allocation of BESS in distribution network based on improved equilibrium optimizer. *Front. Energy Res.* 2022; 10: 936592.

[10] M. A. Al-Betar, Z. A. A. Alyasseri, M. A. Awadallah and I. Abu Doush, Coronavirus herd immunity optimizer (CHIO), vol. 33, no. 10. Springer London; 2021.

[11] T. V. Minh, L. Diep, H. Van Pham et al. A Chaotic Equilibrium Optimization for Electric Vehicle Charging Scheduling in Distribution Networks with Integrated Battery Energy Storage Systems. *International Conference on Green Technology and Sustainable Development,*

Springer. 2024; 240–251.

[12] M. Kowsalya. Optimal size and siting of multiple distributed generators in distribution system using bacterial foraging optimization. *Swarm Evol. Comput.* 2014; 15: 58–65.

[13] D. B. Prakash and C. Lakshminarayana. Multiple DG placements in radial distribution system for multi objectives using Whale Optimization Algorithm. *Alexandria Eng. J.* 2018; 57(4): 2797–2806.

[14] D. Q. Hung and N. Mithulananthan. Alternative analytical approaches for renewable DG allocation for energy loss minimization. *IEEE Power and energy society general meeting, IEEE.* 2012; 1–10.

## VOLTAGE QUALITY STABILITY IN DISTRIBUTION NETWORK WITH INTEGRATED ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

### ABSTRACT

*Electric vehicles (EVs) are rapidly developing due to their environmental advantages. However, this growth leads to a significant increase in power demand, creating pressure on the distribution power network in terms of peak load phenomena, voltage drops, and load fluctuations, which negatively affect power quality and service reliability. Therefore, researching solutions to mitigate these adverse impacts is a matter of concern. In this study, we propose a solution to maintain voltage quality stability in distribution networks integrated with Distributed Generation (DG) and Battery Energy Storage Systems (BESS), in the context of expanding Electric Vehicle Charging Station (EVCS) systems, with the objective of minimizing power losses. The Coronavirus Herd Immunity Optimization (CHIO) algorithm is applied to determine the optimal solution to the problem. Standard IEEE 33-bus and 69-bus distribution test systems are used for simulation and validation using Matlab R2022a. The performance of the proposed approach is evaluated under three different case and compared with the previously published An improved Chaotic Equilibrium*

**Keywords:** BESS, CHIO algorithm, electric vehicle, EVCS, distributed generation