

GIẢI BÀI TOÁN HUY ĐỘNG NGUỒN CHO LƯỚI ĐIỆN SIÊU NHỎ SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

GENETIC ALGORITHM-BASED APPROACH FOR UNIT COMMITMENT IN MICROGRID

Nguyễn Đức Tuyên^{1*}, Đỗ Văn Long¹,
Trần Quốc Ngự¹, Nguyễn Quang Thuận²

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật ứng dụng trong hệ thống điện đã thay đổi việc vận hành và cấu trúc của hệ thống điện truyền thống thành các hệ thống điện với các nguồn phân tán (DER-Distributed Energy Resources). Bài báo này đề xuất một phương án giải quyết vấn đề quan trọng trong hệ thống điện là huy động tổ máy (UC-Unit Commitment) dựa trên thuật toán di truyền (GA-Genetic Algorithm) nhằm đưa ra lịch trình phát điện tối ưu cho một lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) có nhiều nguồn phân tán. Các kết quả đạt được chứng minh tính khả thi của phương án.

Từ khóa: Huy động nguồn; thuật toán di truyền; lưới điện siêu nhỏ.

ABSTRACT

In recent years, the advancement of applied science and technology in the power system has changed the traditional operation and structure of the centralized power system into distributed power systems. This paper proposes a novel approach to address the unit commitment (UC) problem based on the genetic algorithm (GA) which provides the optimal generation schedule for a microgrid with several distributed energy resources. The achieved results prove the feasibility of the proposed approach.

Keywords: Unit commitment; Genetic Algorithm; microgrid.

¹Viện Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Thủy Lợi

*Email: tuyen.nguyenduc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/01/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2022

1. GIỚI THIỆU

Huy động tổ máy (UC) là một bài toán tối ưu quan trọng trong vận hành hệ thống điện. Đầu ra của bài toán là một lịch trình bật/tắt các tổ máy phát điện và phân bổ công suất của các nguồn đó một cách tối ưu. Hàm mục tiêu của bài toán thường là hàm chi phí sản xuất điện với ràng buộc cơ bản nhất của hệ thống điện về cân bằng công suất. Tuy nhiên các tổ máy phát điện còn phải bắt buộc tuân theo những ràng buộc kỹ thuật vật lý cũng như môi trường khác. Điều này làm cho bài toán được chứng minh là một bài toán thuộc NP-hard (non-deterministic polynomial-time

hardness) về lý thuyết độ phức tạp tính toán, tức là không thể giải trong thời gian đa thức xác định [1]. Các nghiên cứu về bài toán huy động tổ máy được thực hiện từ nhiều thập kỉ trước với rất nhiều công thức, cách tiếp cận và kỹ thuật giải quyết được đưa ra.

Đầu những năm 1960, hàng loạt các nghiên cứu về lập kế hoạch vận hành sản xuất nguồn điện được công bố, bắt đầu với nghiên cứu của Garver [2] vào năm 1963. Từ đó, các tác giả đã tiến hành nghiên cứu và đưa ra một loạt các cách tiếp cận cũng như kỹ thuật giải quyết bài toán huy động tổ máy, có thể kể đến như quy hoạch động (Dynamic programming), thứ tự ưu tiên (Priority list), quy hoạch tuyến tính (Linear programming), quy hoạch tuyến tính hỗn hợp nguyên (Mixed interger linear programming), quy hoạch toàn phương (Mixed interger quadratic programming), nhân tử Lagrange (Lagrange relaxation), vét cạn (Exhaustive enumeration), nhánh cận (Branch and bound) hay mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial neural networks). Các nghiên cứu tổng hợp các phương pháp tiếp cận và kỹ thuật giải quyết bài toán có thể tìm thấy ở nghiên cứu [3]. Trong những năm gần đây chứng kiến một làn sóng chuyển dịch tập trung vào nghiên cứu bài toán huy động tổ máy bằng cách tiếp cận bài toán theo quy hoạch tuyến tính hỗn hợp nguyên (MILP-Mixed interger linear programming) với sự phát triển của các công cụ giải tối ưu như CPLEX của IBM hay Gurobi, cách tiếp cận này cũng được các hệ thống điện tiên tiến trên thế giới áp dụng [4]. Mặc dù đây là một phương pháp giải chính xác theo mô hình toán tuy nhiên cách tiếp cận này có một nhược điểm đáng lưu ý đó là khối lượng và thời gian tính toán rất lớn với hàng trăm nghìn biến. Để giải quyết vấn đề này, có nhiều nghiên cứu phát triển theo hướng MILP đã được đưa ra, bên cạnh đó còn có một hướng đi khác cũng rất hiệu quả đó là sử dụng các thuật toán tiến hoá, điển hình là thuật toán di truyền (GA-Genetic algorithm). Hiệu quả của thuật toán di truyền so với MILP được trình bày tại nghiên cứu [5]. Nghiên cứu đầu tiên về việc áp dụng thuật toán di truyền được công bố tại nghiên cứu [6], các nghiên cứu để cải thiện hiệu quả của thuật toán di truyền áp dụng cho bài toán huy động tổ máy sau đó tiếp tục được phát triển. Trong [7], một nghiên cứu kết hợp việc sử dụng thuật toán di truyền

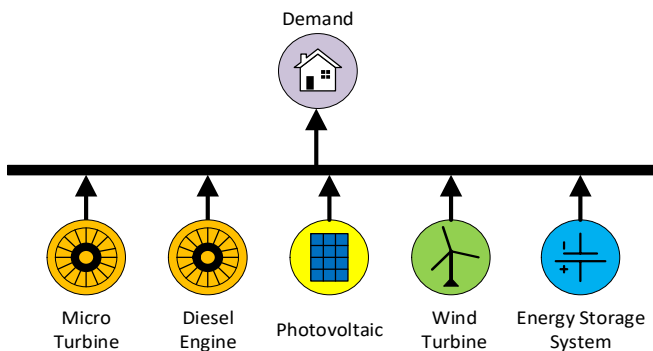
và quy hoạch toàn phương được áp dụng cho một microgrid để giải quyết bài toán huy động tổ máy. Một thuật toán di truyền nâng cao (EGA) được đề xuất trong [8] đã cho thấy ưu điểm về thời gian tính toán cũng như hiệu suất nếu được áp dụng cho một microgrid có nối lưới. Các nghiên cứu khác nâng cao hiệu quả của thuật toán di truyền hay kết hợp thuật toán di truyền với phương pháp mô phỏng luyện kim có thể tìm thấy ở nghiên cứu [9, 10].

Nghiên cứu này tập trung vào việc giải quyết bài toán huy động tổ máy, lập kế hoạch bật/tắt tổ máy và phân bổ tối ưu công suất bằng việc sử dụng thuật toán di truyền cho một microgrid hoạt động ở chế độ tách đảo (islanded mode) dưới hai chế độ vận hành chính là chế độ tối ưu về chi phí sản xuất điện năng và chế độ tối ưu về lượng khí thải của các tổ máy phát, ngoài ra chế độ nâng cao có xét đến sự sai lệch do dự bảo phụ tải cũng được nghiên cứu. Các dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu là dữ liệu thực tế được thu thập từ đảo Côn Cỏ, Quảng Trị, Việt Nam.

2. MÔ TẢ BÀI TOÁN

2.1. Cấu trúc Microgrid

Trong nghiên cứu này, mô hình Microgrid được xét đến bao gồm bốn loại tổ máy phát điện: tuabin gió (WT), hệ thống pin quang điện (PV), máy phát diesel (DE) và microturbine (MT). Một hệ thống pin lưu trữ năng lượng (BESS) cũng được kết nối cho phép sử dụng nó như một máy phát điện hoặc tải để giảm thiểu chi phí vận hành.



Hình 1. Cấu trúc Microgrid trong nghiên cứu

2.2. Các ràng buộc

2.2.1. Cân bằng công suất

Tổng công suất của tất cả các nguồn phát, gồm nguồn có thể điều độ (WT, DE), nguồn must-run (PV, WT) và BESS phải cân bằng với phụ tải.

$$P_{DM,t} = P_{PV,t} + P_{WT,t} + P_{DE,t} + P_{MT,t} + P_{BESS,t}, \forall t. \tag{1}$$

Khi xét đến độ sai lệch của dự báo phụ tải, sai số dự báo phải được xét đến để đảm bảo độ tin cậy của giải pháp đưa ra. Độ tin cậy phải đáp ứng được khả năng của dự phòng quay. Do đó điều kiện sau được xét tới trong bài toán.

$$R_{DE,t} + R_{MT,t} \geq n_r \sigma_t \tag{2}$$

trong đó, σ_t là độ lệch chuẩn của sai số dự báo và n_r là hệ số đánh giá độ tin cậy của giải pháp đưa ra.

2.2.2. Giới hạn công suất

Với DE, MT:

$$P_{DE}^{min} \leq P_{DE,t} \leq P_{DE}^{max}, \forall t \tag{3}$$

$$P_{MT}^{min} \leq P_{MT,t} \leq P_{MT}^{max}, \forall t \tag{4}$$

trong đó, P_{DE}^{min} và P_{DE}^{max} lần lượt là giá trị công suất cực tiểu và cực đại của máy phát diesel trong mọi thời điểm, tương tự P_{MT}^{min} và P_{MT}^{max} lần lượt là giá trị công suất cực tiểu và cực đại của microturbine trong mọi thời điểm.

Với BESS:

Công suất của BESS tại thời điểm t ký hiệu là $P_{BESS,t}$. Giá trị của $P_{BESS,t}$ có thể là dương hoặc âm. Nếu $P_{BESS,t} > 0$, BESS đang cung cấp năng lượng cho Microgrid, nếu $P_{BESS,t} < 0$, BESS đang sạc và hoạt động như một phụ tải. Công suất $P_{BESS,t}$ bị giới hạn như sau:

$$P_{BESS}^{min} \leq P_{BESS,t} \leq P_{BESS}^{max} \tag{5}$$

2.2.3. Giới hạn lưu trữ năng lượng

SOC_t là trạng thái sạc của BESS ở thời điểm t (SOC-State Of Charge). SOC_t nằm trong khoảng giới hạn bởi trạng thái sạc tối thiểu và trạng thái sạc tối đa được chấp nhận để đảm bảo tuổi thọ của pin.

$$SOC^{min} \leq SOC_t \leq SOC^{max} \tag{6}$$

trong đó, SOC^{min} và SOC^{max} lần lượt là giới hạn trạng thái sạc của BESS. Ta có mối liên hệ giữa SOC và dòng công suất đi qua các đầu cực của pin:

$$SOC_{t+1} = SOC_t - \begin{cases} P_{BESS,t} \times \Delta t \times \eta_c, & P_{BESS,t} < 0 \\ \frac{P_{BESS,t} \times \Delta t}{\eta_d}, & P_{BESS,t} > 0 \end{cases} \forall t \tag{7}$$

trong đó, η_c và η_d lần lượt là hiệu suất sạc và xả, Δt là thời gian lấy mẫu. Nếu $P_{BESS,t} > 0$, BESS đang xả, giá trị SOC_{t+1} giảm. Ngược lại, nếu $P_{BESS,t} < 0$, BESS đang sạc, giá trị SOC_{t+1} tăng.

2.2.4. Dự phòng quay

Dự phòng quay là tổng công suất khả phát của các tổ máy đang vận hành trừ đi công suất phát hiện tại của các tổ máy. Dự phòng quay được cung cấp bởi các tổ máy có thể điều phối được (MT, DE). Nó có thể đáp ứng với sự biến thiên lớn của công suất phụ tải và các sự cố bất ngờ gây dao động về công suất. Thời gian đáp ứng của dự phòng quay phải nhanh.

Gọi $R_{DE,t}$ và $R_{MT,t}$ theo thứ tự là dự phòng quay của máy phát diesel và microturbine ở thời điểm t . Ta có:

$$R_{DE,t} \leq P_{DE}^{max} - P_{DE,t}, \forall t \tag{8}$$

$$R_{MT,t} \leq P_{MT}^{max} - P_{MT,t}, \forall t \tag{9}$$

2.3. Dự báo phụ tải

Dự báo phụ tải không thể chính xác tuyệt đối và có sai lệch so với thực tế. Nghiên cứu này đề xuất hướng tiếp cận

bằng cách xem xét một đường cong ước tính của phụ tải tiêu thụ điện bị ảnh hưởng bởi một sai lệch. Sai lệch này tuân theo phân phối chuẩn tại thời điểm t , $N(\mu_t, \sigma_t)$ có giá trị trung bình μ_t bằng 0 và độ lệch chuẩn σ_t thay đổi tùy theo mức độ tin cậy cần thiết của vấn đề. Nếu giá trị của σ_t lớn, sự không chắc chắn trong dự báo phụ tải sẽ lớn hơn và cần có một giải pháp mạnh mẽ hơn để đảm bảo việc cung cấp điện bình thường. Gọi $\tilde{P}_{DM,t}$ và $P_{DM,t}$ lần lượt là công suất dự báo và công suất thực tế mà phụ tải yêu cầu tại thời điểm t , $e_{DM,t}$ là sai lệch ước tính của dự báo nhu cầu phụ tải tại thời điểm t . Như vậy ta có mối quan hệ giữa công suất dự báo và công suất thực tế như phương trình (10):

$$\tilde{P}_{DM,t} + e_{DM,t} = P_{DM,t}, \forall t \tag{10}$$

Trong đó, $e_{DM,t} \sim N(0, \sigma_t)$

Đáng chú ý rằng, với phân phối chuẩn $N(\mu_t, \sigma_t)$, các giá trị nhỏ hơn 3 lần độ lệch chuẩn σ_t so với giá trị trung bình μ_t chiếm 99,7% tập hợp. Do đó, nếu giải pháp đưa ra đảm bảo yêu cầu công suất $\tilde{P}_{DM,t} \in [\tilde{P}_{DM,t} - 3\sigma_t, \tilde{P}_{DM,t} + 3\sigma_t]$ sẽ có độ tin cậy cao.

2.4. Hàm chi phí

2.4.1. Chi phí vận hành

Chi phí vận hành thường được mô hình hóa dưới dạng đa thức bậc hai như trong phương trình bên dưới:

$$C_{DE,t} = a_{DE} + b_{DE}P_{DE,t} + c_{DE}P_{DE,t}^2, \forall t \tag{11}$$

$$C_{MT,t} = a_{MT} + b_{MT}P_{MT,t} + c_{MT}P_{MT,t}^2, \forall t \tag{12}$$

trong đó, $C_{DE,t}$ và $C_{MT,t}$ là giá nhiên liệu (\$/h) ở thời điểm t , $P_{DE,t}$ và $P_{MT,t}$ lần lượt là công suất của máy phát DE và MT ở thời điểm t , a_{DE} (\$/h), b_{DE} (\$/kWh), c_{DE} (\$/kW²h) là các hệ số chi phí của máy phát DE và a_{MT} (\$/h), b_{MT} (\$/kWh), c_{MT} (\$/kW²h) là các hệ số chi phí của máy phát MT.

2.4.2. Chi phí bảo dưỡng

Chi phí bảo dưỡng của mỗi tổ máy có khả năng điều phối được giả định là tỷ lệ với công suất phát của nó.

$$C_{OMDE} = k_{OMDE} \sum_{\forall t} P_{DE,t} \Delta_t, \forall t \tag{13}$$

$$C_{OMMT} = k_{OMMT} \sum_{\forall t} P_{MT,t} \Delta_t, \forall t \tag{14}$$

trong đó, k_{OMDE} (\$/kWh) và k_{OMMT} (\$/kWh) lần lượt là chi phí bảo dưỡng cho DE và MT trên một đơn vị lượng điện năng tiêu thụ.

2.4.3. Chi phí khởi động

Chi phí khởi động của máy phát phụ thuộc vào khoảng thời gian mà tổ máy đó đã tắt trước đó để khởi động lại. Do đó, chi phí khởi động tại bất cứ thời điểm nào có thể được dự báo như sau.

$$C_{SUDE} = d_{DE} + e_{DE} \left[1 - e^{-\frac{T_{DE}}{f_{DE}}} \right], \forall t \tag{15}$$

$$C_{SUMT} = d_{MT} + e_{MT} \left[1 - e^{-\frac{T_{MT}}{f_{MT}}} \right], \forall t \tag{16}$$

trong đó, d_{DE} (\$) và d_{MT} (\$) là các chi phí khởi động nóng và e_{DE} (\$) và e_{MT} (\$) là các chi phí khởi động nguội, f_{DE} (\$) và f_{MT} (\$) là các hằng số thời gian làm nguội của tổ máy và T_{DE} và T_{MT} biểu diễn thời gian mà mỗi tổ máy đã tắt.

2.4.4. Chi phí xử lý khí thải

Chi phí của việc xử lý các tác nhân gây ảnh hưởng đến môi trường trong quá trình hoạt động của các tổ máy (các khí thải CO₂, SO₂, hay NO_x) được giả thiết là hàm số tuyến tính với công suất phát của tổ máy đó.

$$C_{EMDE} = \sum_{i=1}^N \sum_{\forall t} \alpha_i \beta_{DE,i} P_{DE,t} \Delta_t, \forall t \tag{17}$$

$$C_{EMMT} = \sum_{i=1}^N \sum_{\forall t} \alpha_i \beta_{MT,i} P_{MT,t} \Delta_t, \forall t \tag{18}$$

trong đó, N là số loại khí thải, α_i là chi phí xử lý khí thải loại i (\$/kg), $\beta_{DE,i}$ và $\beta_{MT,i}$ là hệ số khí thải của tổ máy có khả năng điều phối của khí thải i .

2.5. Các chế độ vận hành của Microgrid

2.5.1. Chế độ vận hành tối ưu chi phí

Chế độ vận hành này tập trung vào việc giảm chi phí tổng cộng cho cả hệ thống Microgrid được xét đến. Do đó, hàm chi phí có xét đến cả chi phí vận hành, chi phí bảo dưỡng và chi phí khởi động của tổ máy có khả năng điều phối là DE và MT. Hàm chi phí do đó được biểu diễn như sau:

$$C_1 = C_{OMDE} + C_{OMMT} + C_{SUDE} + C_{SUMT} + \sum_{\forall t} (C_{DE,t} + C_{MT,t}) \tag{19}$$

2.5.2. Chế độ vận hành an toàn với môi trường

Mục đích chính của chế độ này là đảm bảo được lượng điện cung cấp cho hệ thống Microgrid, đồng thời tối thiểu hóa các khí thải độc hại phát thải ra môi trường. Do đó dựa trên các chế độ đã được định nghĩa trong các mục trước, chế độ vận hành an toàn với môi trường, hàm chi phí được đánh giá như sau:

$$C_2 = C_{EMDE} + C_{EMMT} \tag{20}$$

2.5.3. Chế độ vận hành nâng cao

Trong chế độ này sự bất định của dự báo phụ tải được xét đến. Vấn đề này cần được đặc biệt quan tâm khi vận hành Microgrid ở kiểu độc lập, không kết nối với lưới hệ thống. Do đó, một chế độ vận hành nâng cao đảm bảo độ tin cậy của Microgrid được nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, sai số dự báo phụ tải sẽ tuân theo phân phối chuẩn với trung bình bằng 0 và độ lệch chuẩn tại thời điểm t được kí hiệu là σ_t . Giải pháp đưa ra bao gồm thiết kế dự phòng quay cho các tổ máy có khả năng điều phối phải nằm trong khoảng sai số dự báo với các độ tin cậy cho trước dựa theo giá trị n_r , như đã được giới thiệu ở phương trình (2). Chế độ vận hành này bao gồm cả các điều kiện ràng buộc sẵn có của bài toán huy động tổ máy và tiêu chuẩn độ lệch chuẩn. Hàm chi phí vẫn được giữ nguyên như phương trình (19).

3. ÁP DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

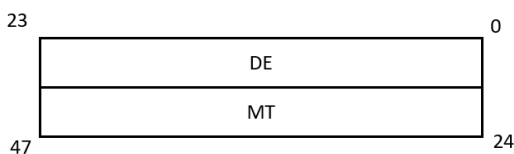
Thuật toán di truyền - Genetic Algorithm (GA) là một trong những phương pháp tối ưu hóa lấy cảm hứng từ các

nguyên tắc của cơ chế di truyền và tiến hóa trong tự nhiên, chi tiết có thể xem tại nghiên cứu [6]. Ý tưởng ban đầu là đưa ra một bộ những cách giải quyết tiềm năng, được gọi là quần thể (population), quần thể này tiến hóa qua một số thế hệ (generation) bằng việc sử dụng những toán tử di truyền như chọn lựa (selection), di truyền chéo (crossover), đột biến (mutation). Để tìm kiếm giải pháp tốt nhất, người ta cần mã hóa cách giải quyết ban đầu vào các chuỗi (nhiễm sắc thể) và chạy quá trình tiến hóa một số lần trước lúc quá trình dừng lại khi giải pháp đáp ứng một trong các tiêu chí hội tụ. Một nhiễm sắc thể hay còn được gọi là một cá thể (individual) và một biến thiết kế thể hiện 1 gen.

Có rất nhiều cách thực hiện thuật toán di truyền đơn mục tiêu. Ban đầu ta khởi tạo một quần thể. Mỗi một cá thể trong quần thể ban đầu phải hợp lệ. Điều này phù hợp với bài toán nhiều điều kiện như huy động tổ máy. Sau đó, nhiễm sắc thể (NST) con được tạo bởi việc sử dụng phương thức trao đổi chéo và đột biến, p_{cx} và p_{mut} là ký hiệu cho xác suất trao đổi chéo và xác suất đột biến. Cả p_{cx} và p_{mut} là những thông số quan trọng của thuật toán, chúng nên được lựa chọn cẩn thận để đảm bảo tính hội tụ của thuật toán. Tiếp theo, NST con được đánh giá và quần thể mới được tạo thành từ những NST con và các cá thể của thế hệ trước. Cách tiếp cận này đảm bảo một mức độ tinh túy cao bởi vì cả NST cha mẹ và NST con cạnh tranh với nhau để được lựa chọn cho thế hệ tiếp theo. Sau khi hoàn thành, thuật toán đưa ra cá thể tốt nhất thu được qua các thế hệ.

3.1. Cá thể trong bài toán huy động tổ máy

Mỗi cá thể thể hiện một mảng chứa giá trị công suất phát của MT và DE trong thời gian 24 giờ, với chu kỳ 1 giờ. Do đó, kích thước của mỗi cá thể là 48 gen. Công suất phát và công suất tiêu thụ của BESS có thể suy ra được từ cân bằng công suất, và các nguồn năng lượng tái tạo sẽ luôn phát để đáp ứng yêu cầu của tải miễn là điều kiện môi trường phù hợp. Hình 2 chỉ ra việc mã hóa được sử dụng để biểu diễn những cá thể của thuật toán.



Hình 2. Biểu diễn một cá thể

3.2. Hàm mục tiêu

Ba chế độ vận hành đều sử dụng hàm tối ưu đơn mục tiêu. Trong chế độ vận hành tối ưu chi phí, hàm mục tiêu là phương trình (19). Trong chế độ vận hành an toàn với môi trường, hàm mục tiêu được sử dụng như trong phương trình (20). Trong chế độ vận hành năng cao, hàm tối ưu giống với chế độ vận hành tối ưu chi phí, phương án đưa ra có xét đến sai lệch của dự báo phụ tải, đáp ứng khả năng của dự phòng quay.

3.3. Toán tử di truyền

Cơ chế lựa chọn giải đấu (tournament selection mechanism) được sử dụng. Trong mỗi tournament, một số

cá thể được lựa chọn ngẫu nhiên, chúng cạnh tranh lẫn nhau để được lựa chọn trở thành NST cha mẹ. Cá thể tốt nhất được lựa chọn và trở thành NST cha mẹ sau đó được sử dụng để trao đổi chéo và đột biến. Dựa theo hoạt động trao đổi chéo, hai phương pháp đã được đánh giá: Hai điểm (Two-Point) và Trao đổi chéo nhị phân (Simulated Binary Crossover - SBX) được mô tả. Trao đổi chéo Two-Point bao gồm việc hoán đổi thông tin di truyền của hai cha mẹ bằng cách sử dụng hai điểm làm chỉ số trao đổi di truyền. SBX là một phương pháp mô phỏng một điểm trao đổi chéo dùng cho các biến liên tục. Phương pháp sử dụng hệ số eta (η) biểu diễn sự tương đồng giữa những NST cha mẹ và NST con được lựa chọn. Phương thức đột biến được sử dụng là một thuật toán đột biến Gaussian được tùy chỉnh, trong đó mỗi biến có thể thay đổi dựa theo phép phân phối Gaussian với giá trị trung bình μ và độ lệch chuẩn σ . Sự thay đổi của một gen cho trước sau khi đột biến phụ thuộc vào giá trị của σ .

4. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

Ứng dụng của phương pháp lên kế hoạch huy động tổ máy cho microgrid sử dụng thuật toán tiến hóa đã đề xuất sẽ được trình bày. Kết quả sẽ được biểu diễn đồng thời cùng với giá trị hàm chi phí ứng với từng chế độ vận hành tương ứng 3 case studies. Mô hình và chương trình được lập trình trên phần mềm Python.

4.1. Dữ liệu đầu vào

Dữ liệu sử dụng cho bài toán này được lấy từ phụ tải thực tế từ đảo Cồn Cỏ, Quảng Trị vào ngày 15/7/2020 (bảng 2) cùng với công suất phát khả dụng cực đại của tổ máy diesel là 550kW. Bên cạnh đó, các dữ liệu khác bao gồm: chi phí vận hành, khởi động, bảo trì của DE và MT sẽ được giả sử để tương thích với yêu cầu của bài toán đặt ra. Các tham số được liệt kê ở bảng 1.

Bảng 1. Các tham số đặc trưng của MT và DE

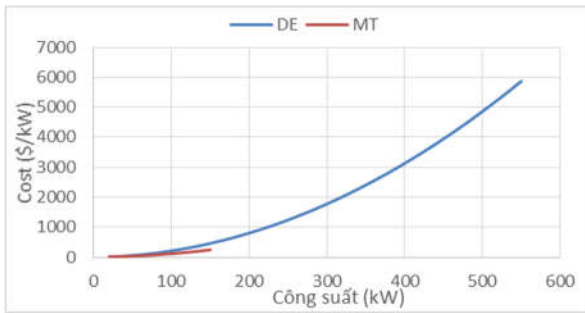
i	P_i^{min} (kW)	P_i^{max} (kW)	d_i (€/h)	e_i (€/kWh)	f_i (€/kW ² h)
DE	10	550	2,41	0,2124	0,0190
MT	10	150	4,28	0,1762	0,0097
i	a_i (€)	b_i (€)	c_i (€)	K_{OMI} (€/kWh)	
DE	0,54	0,62	4,8	0,0275	
MT	0,35	0,47	8,6	0,0221	

Bảng 2. Công suất phụ tải đảo Cồn Cỏ ngày 15/7/2020

t	0	1	2	3	4	5	6	7
P(kW)	92	86,3	82,53	83,07	85,06	82,69	72,39	100,98
t	8	9	10	11	12	13	14	15
P(kW)	92,68	89,36	119,25	94,27	80,36	97,35	140,42	116,50
t	16	17	18	19	20	21	22	23
P(kW)	130,73	109,28	101,80	122,86	144,06	150,79	123,62	133,29

Hình 3 thể hiện chi phí vận hành và chi phí khởi động cho các tổ máy có khả năng điều chỉnh. Chi phí vận hành

của máy phát Diesel thấp hơn so với MT khi cung cấp một lượng công suất nhỏ, cụ thể là 35kW. Hệ số chi phí cho các tổ máy diesel và MT được trình bày trong bảng 3. Hệ số của hệ thống BESS được định nghĩa như ở bảng 4.



Hình 3. Chi phí vận hành của DE và MT theo công suất phát

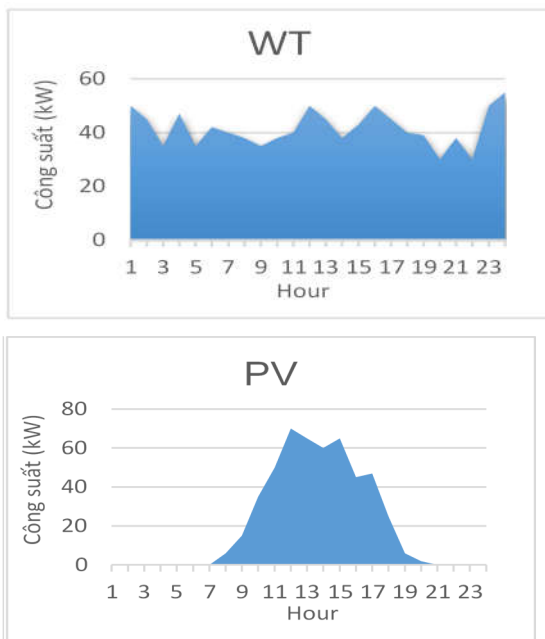
Bảng 3. Các hệ số chi phí của DE, MT và các hệ số phát thải khí của DE và MT

Loại phát thải	α_k	$\beta_{DE,k}$	$\beta_{MT,k}$
CO ₂	0,0365	0,7463	0,5285
SO ₂	2,1526	0,4391	0,0462
NO _x	5,3627	13,3422	0,2383

Bảng 4. Thông số đặc tính BESS

P _{BESSmin} (kW)	P _{BESSmax} (kW)	SOC _{initial} (kWh)	SOC _{min} (kWh)	SOC _{max} (kWh)	η_c	η_d
-312,5	312,5	200	62,5	250	0,8	0,8

Các trường hợp xét đến trong nghiên cứu này bao gồm các kế hoạch vận hành cho microgrid trong vòng 24 giờ. Khoảng thời gian giữa các lần liên tiếp được xét trong mô phỏng là 1 giờ. Hai giá trị phụ tải được áp dụng cho từng kế hoạch vận hành bao gồm tải thực tế với $P_{MT}^{max} = 70kW$ và phụ tải tăng 2 lần so với thực tế. Công suất phát của hệ thống WT và PV được chỉ ra ở hình 4.



Hình 4. Biểu đồ thể hiện công suất hệ thống WT và PV

4.2. Thông số của thuật toán di truyền sử dụng

Kế hoạch vận hành của microgrid được thiết kế dựa trên hoạt động của thuật toán di truyền, sử dụng các quy tắc lựa chọn, lai hóa và đột biến. Bảng 5 chứa các thông số của thuật toán di truyền được sử dụng trong bài toán.

Bảng 5. Thông số của thuật toán

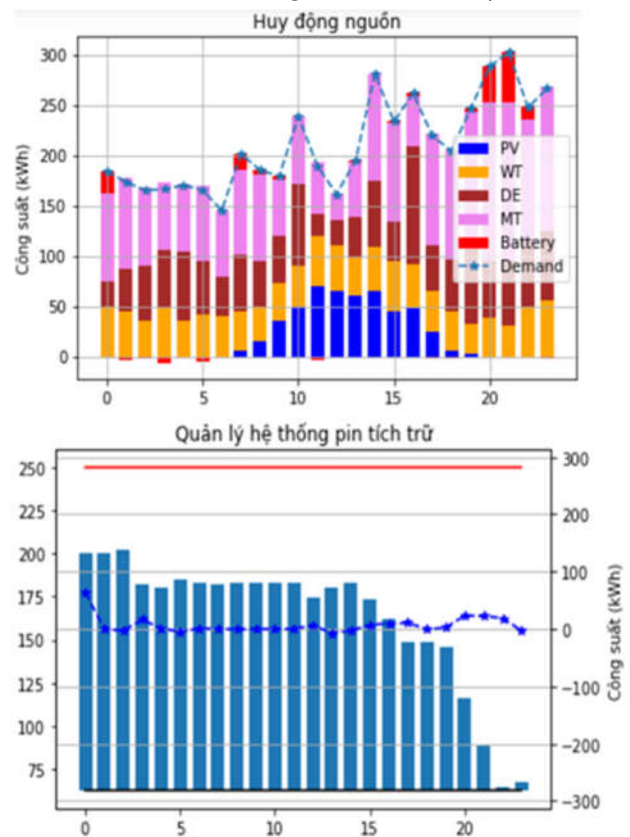
Thông số	Giá trị
λ	3000
μ	3000
Cá thể (đa mục tiêu)	3000
Thế hệ	200
Chọn lựa	Kích thước giải đấu = 3
Trao đổi chéo	Hai điểm và SBX $p_{cx} = [0,9; 0,7; 0,5]$
Đột biến	Gauss $p_{mut} = [0,1; 0,05; 0,01], \sigma = 30$
Số lần thử	50

Để chỉ ra sự hội tụ của thuật toán di truyền đề xuất, quá trình mô phỏng với 200 thế hệ được thực hiện để đảm bảo chắc chắn thuật toán hội tụ. Độ hội tụ của thuật toán có thể bị ảnh hưởng bởi giá trị đột biến σ . Tất cả các case-studies được xét đều sử dụng cùng một giá trị σ .

4.3. Kết quả cho các Case Studies

4.3.1. Chế độ vận hành tối ưu chi phí

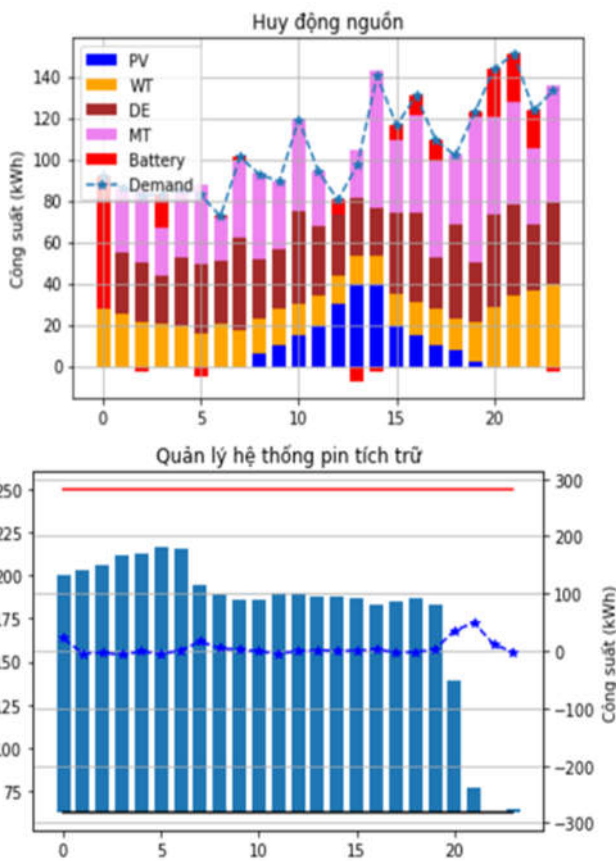
Giải pháp tốt nhất khi sử dụng thuật toán di truyền cho case-study 1 trong trường hợp $P_{MT}^{max} = 70kW$ được trình bày ở bảng 6. Bên cạnh đó, ở hình 5, giải pháp tốt nhất đối với việc lên kế hoạch cho Microgrid được trình bày.



Hình 5. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 1 phụ tải thực tế

Bảng 6. Kết quả Case-study 1 (\$) với $P_{MT}^{max} = 70kW$

	SBX						Two-points					
P_{cx}	0,9	0,7	0,5	0,9	0,7	0,5	0,9	0,7	0,5	0,9	0,7	0,5
P_{mut}	0,1	0,05	0,01	0,1	0,05	0,01	0,1	0,05	0,01	0,1	0,05	0,01
eta		0,05			1			5			-	
Best(C_1)	1421,93	1461,65	1483,49	1423,63	1476,08	1512,94	1466,38	1464,56	1512,94	1348,13	1423,89	1406,51
Mean(C_1)	1568,36	1574,76	1577,38	1571,70	1582,55	1594,41	1574,64	1586,91	1598,62	1475,98	1507,07	1536,64
$\sigma(C_1)$	48,24	52,07	40,22	54,03	50,78	39,04	50,84	49,94	39,20	48,26	52,69	52,29

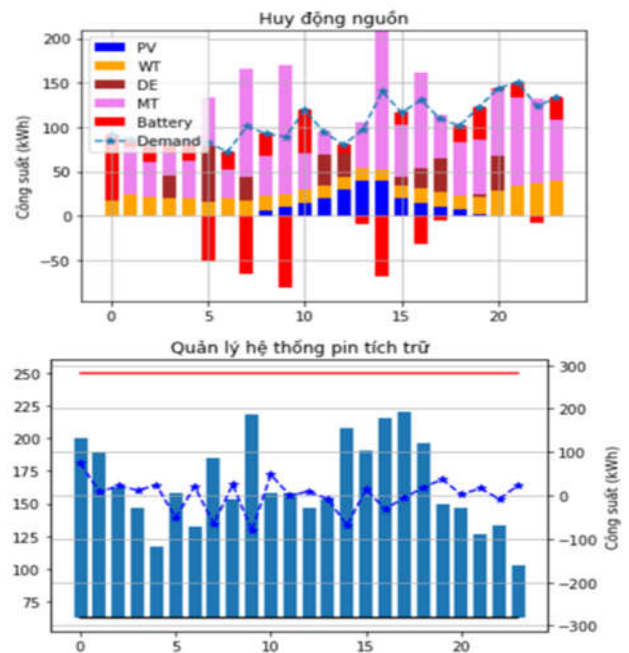


Hình 6. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 1 phụ tải gấp 2 lần thực tế

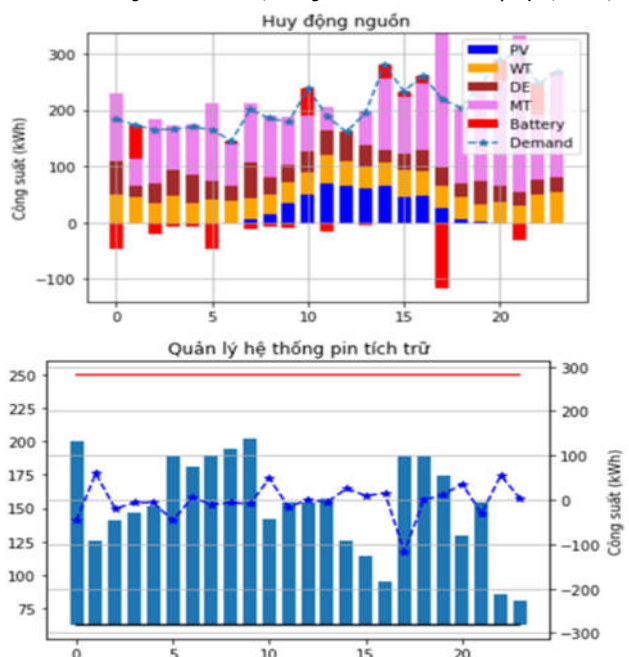
Trong bảng 6, kết quả tối ưu đạt được dưới mô hình Two-Points với $P_{cx} = 0,9$, $P_{mut} = 0,1$. Trong hình 5, khi MT kết nối với hệ thống sẽ phát một lượng công suất lớn tương ứng với chi phí vận hành. SOC và lượng công suất cung cấp từ hệ thống BESS cũng được chỉ ra. Ở trường hợp tải gấp 2 lần thực tế, kết quả tối ưu dưới mô hình SBX với $P_{cx} = 0,9$, $P_{mut} = 0,1$ và $\eta = 1$. Trong hình 6, khi tải đã tăng lên gấp đôi, công suất của nhà máy DE bắt buộc phải tăng trong một số giờ để đáp ứng nhu cầu phụ tải (> 35kW) kể cả khi chi phí vận hành của DE có lớn hơn MT.

4.3.2. Chế độ vận hành an toàn với môi trường

Ở chế độ vận hành an toàn với môi trường, DE phát ra lượng công suất ít hơn so với Case-Study 1 trong các trường hợp, BESS cũng phát một lượng công suất lớn hơn.

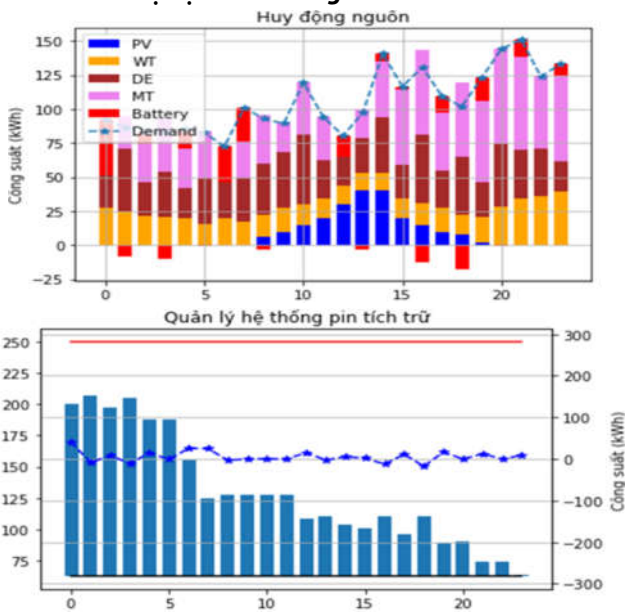


Hình 7. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 2 phụ tải thực tế

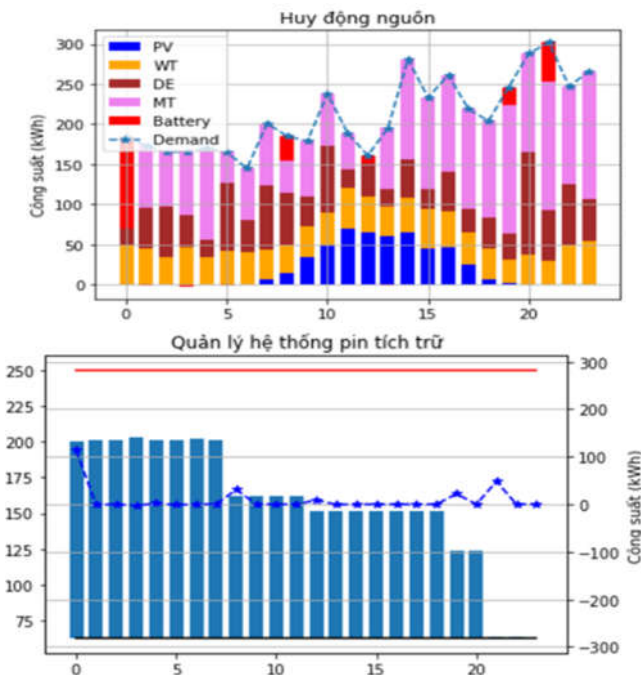


Hình 8. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 2 phụ tải gấp 2 lần thực tế

4.3.3. Chế độ vận hành nâng cao



Hình 9. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 3 phụ tải thực tế



Hình 10. Phương án cho UC và hệ thống BESS đối với Case Study 3 phụ tải gấp 2 lần thực tế

Trong chế độ vận hành này, một mức $n_f = 3$ của độ tin cậy được đảm bảo. Điều này có nghĩa là chế độ vận hành có lập được đảm bảo trong 99,7% các kịch bản. Đối tượng của bài toán giống như trong chế độ vận hành tối ưu chi phí, tối thiểu hóa tổng chi phí vận hành và bảo dưỡng trong Microgrid.

Bảng 7. Kết quả các trường hợp trong 3 Case-Study

	Tải thực tế	Tải tăng 2 lần tải thực tế
Case-study 1	1348,13	4296,59
Case-study 2	22089,26	65829,36
Case-study 3	1398,80	4376,02

Từ bảng 7, chi phí của chế độ vận hành an toàn với môi trường lớn hơn đáng kể so với chi phí của hai chế độ còn lại.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực hiện đã xây dựng kế hoạch huy động các tổ máy trong một microgrid một cách tối ưu sử dụng thuật toán di truyền. Trong chế độ vận hành tối ưu chi phí, ưu tiên sử dụng DE thay vì MT trong trường hợp công suất phụ tải yêu cầu nhỏ. Với chế độ vận hành an toàn với môi trường, Microgrid sẽ tối thiểu hóa sử dụng DE vì mức phát tải của tổ máy này lớn. Hệ thống BESS cũng được quản lý để điều phối giúp Microgrid đạt được các hàm mục tiêu tối ưu. Bên cạnh đó, việc tìm ra một bộ số thích hợp để điều chỉnh thuật toán GA trong từng trường hợp và một mô hình chi tiết hơn về hệ thống BESS xét đến sự già hóa pin có thể xem xét đến phát triển bài toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. B. F. Hobbs, M. H. Rothkopf, R. P. O'Neill, H. Chao, 2001. *The Next Generation of Electric Power Unit Commitment Models*. International Series in Operations Research & Management Science vol. 36. Boston, MA: Springer US.

[2]. L. L. Garver, 1962. *Power Generation Scheduling by Integer Programming-Development of Theory*. Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part III Power Appar. Syst., vol. 81, no. 3, pp. 730–734, doi: 10.1109/AIEEPAS.1962.4501405.

[3]. B. Saravanan, S. Das, S. Sikri, D. P. Kothari, 2013. *A solution to the unit commitment problem - a review*. Front. Energy, vol. 7, no. 2, pp. 223–236, doi: 10.1007/s11708-013-0240-3.

[4]. B. Knueven, J. Ostrowski, J. P. Watson, 2020. *On Mixed-Integer Programming Formulations for the Unit Commitment Problem*. INFORMS J. Comput., p. ijoc.2019.0944, doi: 10.1287/ijoc.2019.0944.

[5]. M. Nemati, M. Braun, S. Tenbohlen, 2018. *Optimization of unit commitment and economic dispatch in microgrids based on genetic algorithm and mixed integer linear programming*. Appl. Energy, vol. 210, pp. 944–963, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.007.

[6]. S. A. Kazarlis, A. G. Bakirtzis, V. Petridis, 1996. *A genetic algorithm solution to the unit commitment problem*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 11, no. 1, pp. 83–92, doi: 10.1109/59.485989.

[7]. H. Li, C. Zang, P. Zeng, H. Yu, Z. Li, 2015. *A genetic algorithm-based hybrid optimization approach for microgrid energy management*. in 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), pp. 1474–1478, doi: 10.1109/CYBER.2015.7288162.

[8]. M. Nemati, K. Bennimar, S. Tenbohlen, L. Tao, H. Mueller, M. Braun, 2015. *Optimization of microgrids short term operation based on an enhanced genetic algorithm*. in 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, pp. 1–6, doi: 10.1109/PTC.2015.7232801.

[9]. A. Askarzadeh, 2018. *A Memory-Based Genetic Algorithm for Optimization of Power Generation in a Microgrid*. IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 9, no. 3, pp. 1081–1089, doi: 10.1109/TSTE.2017.2765483.

[10]. H. Z. Liang, H. B. Gooi, 2010. *Unit commitment in microgrids by improved genetic algorithm*. in 2010 Conference Proceedings IPEC, pp. 842–847, doi: 10.1109/IPEC.2010.5697083.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Tuyen¹, Do Van Long¹,
Tran Quoc Ngu¹, Nguyen Quang Thuan²

¹School of Electrical Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²ThuyLoi University