

NGHIÊN CỨU BÀI TOÁN HUY ĐỘNG TỔ MÁY TRONG THỊ TRƯỜNG ĐIỆN VÀ CARBON KẾT HỢP PHƯƠNG PHÁP GEN DI TRUYỀN VÀ TỐI ƯU BẦY ĐÀN

Nguyễn Minh Ý
Trường Đại học Thủy lợi, email: ynm@tlu.edu.vn

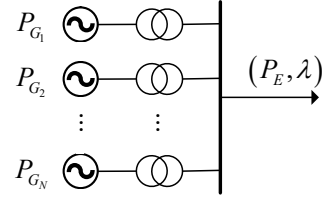
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Huy động tổ máy (Unit commitment, UC) là một bài toán quan trọng trong hệ thống điện (HTĐ) nhằm lập kế hoạch vận hành tối ưu của các tổ máy bao gồm cả việc bật/tắt và phân bổ công suất các tổ máy [1]. Trong HTĐ truyền thống, mục tiêu của bài toán là tối thiểu hóa chi phí (nhiên liệu, tổn thất, vận hành, v.v...) mà vẫn đáp ứng nhu cầu phụ tải hệ thống. Tuy nhiên trong thị trường điện, các nhà máy điện là các công ty độc lập, phải cạnh tranh bán điện thông qua việc đấu giá: đặt giá và sản lượng nhà máy muốn bán (Bidding). Bên cạnh đó với thị trường carbon, nhà máy còn phải chịu chi phí khi phát thải khí nhà kính (GHG) vào môi trường gồm CO₂ và quy đổi tương đương của các khí GHG khác (NO_x, SO_x). Mục tiêu của bài toán UC trở thành tối đa hóa lợi nhuận nhà máy trong thị trường điện và carbon [2].

Nghiên cứu này mô hình bài toán UC trong thị trường điện và carbon nhằm tối đa hóa lợi nhuận của nhà máy với các ràng buộc kinh tế, kỹ thuật như giới hạn công suất tổ máy, giới hạn thời gian bật/tắt, giới hạn điều chỉnh (tăng/giảm) công suất, v.v. Thuật giải cho bài toán được xây dựng kết hợp hai phương pháp: thuật toán gen di truyền (GA) sử dụng để mô phỏng kế hoạch bật/tắt các tổ máy trong ngày bằng chuỗi biến nhị (1 = bật, 0 = tắt), và thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tính toán phân bổ công suất tối ưu cho các tổ máy được huy động (Economic dispatch, ED).

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN VÀ THUẬT GIẢI

2.1. Mô hình bài toán UC



Hình 1. Bài toán huy động tổ máy (UC)

Xét nhà máy điện gồm nhiều tổ máy phát hoạt động trong thị trường điện và carbon, bài toán UC nhằm xây dựng kế hoạch vận hành để tối đa hóa lợi nhuận với các ràng buộc kinh tế, kỹ thuật của các tổ máy.

Hàm mục tiêu:

$$\max_{u_i} \left\{ \max_{P_{it}} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left[\lambda_t^E u_{it} P_{it} - \lambda_t^F u_{it} F_i(P_{it}) - \lambda_t^C u_{it} E_i(P_{it}) - SU_i(1-u_{it-1})u_{it} - SD_i u_{it-1}(1-u_{it}) \right] \right\} \quad (1)$$

Các ràng buộc:

$$\begin{aligned} P_{Gi}^{\min} &\leq P_{it} \leq P_{Gi}^{\max} \\ P_{it} - P_{it-1} &\leq RU_i^{\max} \\ P_{it-1} - P_{it} &\leq RD_i^{\max} \\ u_{it} &= \begin{cases} 0 & -t_{OFF}^{\min} < x_{it-1} < 0 \\ 1 & 0 < x_{it-1} < t_{ON}^{\min} \\ 0/1 & \text{kha'c} \end{cases} \\ i &= 1 \dots Ng, t = 1 \dots Nt \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó: i là chỉ số tổ máy, N là tổng số tổ máy, t là chỉ số thời gian, T là tổng số chu kỳ thời gian trong ngày (48 chu kỳ với thị trường 30 phút), λ^E , λ^F , λ^C là giá điện, giá nhiên liệu và giá tín chỉ carbon, P_{it} là công suất phát tổ

máy, $F_i(P_{it})$ là hàm tiêu hao nhiên liệu, $E_i(P_{it})$ là hàm phát thải, P^{min} , P^{max} là giới hạn công suất phát, u_{it} là quyết định bật/tắt tổ máy [$0 = \text{tắt}$, $1 = \text{bật}$], x_{it} là trạng thái thời gian tổ máy duy trì bật (x_{it} dương) hoặc tắt (x_{it} âm).

Hàm mục tiêu là lợi nhuận của nhà máy được tính bằng doanh thu trong thị trường điện trừ chi phí nhiên liệu, chi phí phát thải carbon, chi phí khởi động và tắt máy các tổ máy trong ngày (1).

Điều kiện ràng buộc bao gồm giới hạn công suất phát tổ máy, giới hạn tăng/giảm công suất, giới hạn thời gian bật/tắt tối thiểu (các tổ máy phải duy trì trạng thái bật/tắt tối thiểu trước khi có thể tắt/bật lại) (2).

$$\begin{aligned} F_i(P_i) &= a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \\ E_i(P_i) &= \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \\ x_{it} &= \begin{cases} \min(-1, x_{i,t-1} - 1) & , u_{i,t} = 0 \\ \max(1, x_{i,t-1} + 1) & , u_{i,t} = 1 \end{cases} \quad (3) \\ i &= 1 \dots N, t = 1 \dots T \end{aligned}$$

trong đó: a , b , c , α , β , γ là các hệ số mô hình xác định thông qua thực nghiệm.

2.2. Thuật giải GA-PSO

Thuật giải cho bài toán UC được đề xuất bằng cách kết hợp hai phương pháp: thuật toán gen di truyền (GA) và tối ưu bầy đàn (PSO). Trong bài toán UC, thuật toán GA được sử dụng để xác định quyết định bật/tắt tổ máy ($u_{it} = 1/0$) trong khi thuật toán PSO dùng để tính toán phân bổ công suất tối ưu giữa các tổ máy được huy động ($u_{it} = 1$). Quy trình thuật giải như sau:

Bước 1. Nhập giá trị đầu vào thuật toán GA: số cá thể, số vòng lặp tối thiểu/tối đa, số cá thể bảo tồn, sắc xuất lai, đột biến; và thuật toán PSO: số cá thể, hệ số quán tính, giá tốc theo giá trị toàn thể/cục bộ và chỉ số hội tụ (ϵ).

Bước 2. Khởi tạo giá trị ban đầu cho GA: chuỗi gen các cá thể (u_{it}) là chuỗi nhị phân (0,1). Để giảm khối lượng tính toán (số lượng cá thể), thuật toán đề xuất kỹ thuật khởi tạo theo chuỗi ngẫu nhiên (stochastic process) với phân bố sắc xuất dựa vào đánh giá chi phí biên (Marginal cost) tối thiểu của các tổ máy với giá điện, và sử dụng các điều kiện ràng buộc

tạo chuỗi gen, để từ đó hạn chế đưa ra các giá trị không khả thi gây tốn thời gian tính toán.

Bước 3. Xác định phân bổ công suất tối ưu (P_{it}). Với giá trị (u_{it}) từ Bước 2, thuật toán PSO được sử dụng để tính toán phân bổ công suất cho các tổ máy được huy động ($u_{it} = 1$) nhằm tối đa hóa lợi nhuận của nhà máy.

Bước 4. Đánh giá chọn lọc cá thể tốt trong quần thể. Tính toán giá trị hàm mục tiêu của các cá thể theo (1) và sắp xếp theo thứ tự tốt nhất đến xấu nhất.

Bước 5. Tạo cá thể cho thế hệ mới bằng các cơ chế bảo tồn (giữ lại những gen tốt nhất trong quần thể), lai ghép (tạo ra gen mới thông qua lai ghép từ gen bố/mẹ), đột biến (tạo ra đột biến tại những vị trí ngẫu nhiên để tăng tính đa dạng nguồn gen, tránh thuật toán hội tụ quá sớm tại vị trí tối ưu cục bộ).

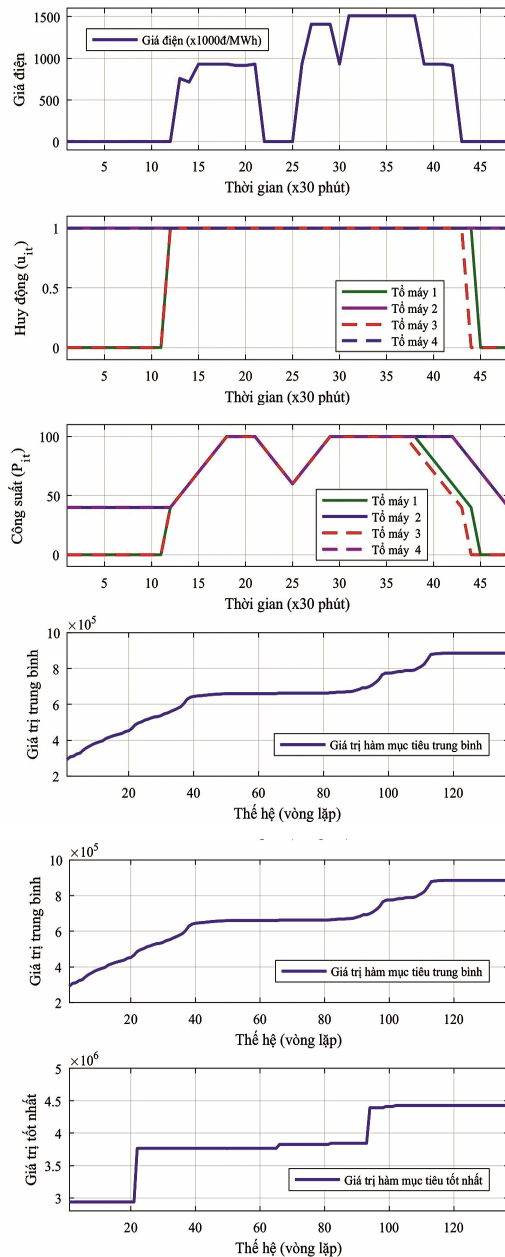
Bước 6. Kiểm tra điều kiện hội tụ: nếu đạt, dừng thuật toán, chuỗi gen tốt nhất là giá trị tối ưu của bài toán; nếu không đạt, quay lại Bước 3.

3. MÔ PHỎNG BÀI TOÁN VÀ THUẬT GIẢI

Bài toán UC và thuật giải GA-PSO được mô phỏng với một nhà máy điện hoạt động trong thị trường điện và carbon. Nhà máy gồm 4 tổ máy phát, kết nối với thanh cái truyền tải qua máy biến áp hai dây cuộn. Thông số bài toán được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật tổ máy phát

Thông số	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
P^{max} (MW)	100	100	100	100
P^{min} (MW)	40	40	40	40
SU (x1000đ)	42464	96128	56709	85655
SD (x1000đ)	42464	96128	56709	85655
t_{ON}^{min} (h)	4	4	4	4
t_{OFF}^{min} (h)	4	4	4	4
RU^{max} (MW/h)	20	20	20	20
RD^{max} (MW/h)	20	20	20	20
$a\lambda^F + \alpha\lambda^C$ (đ/MWh ²)	3.2369	3.5444	3.3393	3.1597
$b\lambda^F + \beta\lambda^C$ (đ/MWh)	117.42	130.19	136.63	145.50
$c\lambda^F + \gamma\lambda^C$ (đ/h)	5044.6	6671.2	6670.9	6024.5



Hình 2. Kết quả mô phỏng bài toán UC và thuật giải GA-PSO

Tham số thuật toán GA được lựa chọn theo thực nghiệm, số liệu phù hợp là: số cá thể là 500, vòng lặp tối thiểu là 20, tối đa là 100, số cá thể được bảo tồn là 15%, số cá thể chọn lọc để lại ghép là 30%, tỷ lệ đột biến là $1/(N \times T)$, xác suất lai ghép bố-mẹ là 50%. Thuật toán PSO có hệ số quán tính 0,5, giá tốc là 0,2, chỉ số hội tụ là $\varepsilon = 10^{-4}$. Số liệu giá điện là giá điện thị trường EVN, Việt Nam ngày 22/7/2024 (thị trường 30 phút) [3]. Thuật toán hội tụ sau 136 vòng lặp, thời gian chạy là 38,45 s, lợi nhuận nhà máy là $4,4264 \cdot 10^9$ đ.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu mô hình bài toán UC và thuật giải bằng cách kết hợp phương pháp GA và PSO. Đặc biệt nghiên cứu đề xuất kỹ thuật khởi tạo quần thể ban đầu bằng chuỗi ngẫu nhiên với đánh giá sơ bộ về chi phí biên và giá điện, kết hợp với các điều kiện ràng buộc của bài toán. Kỹ thuật này giúp hạn chế đưa ra những phương án không khả thi, giảm quy mô quần thể, tăng tính hội tụ mà vẫn đảm bảo được tính tối ưu của kết quả. Với nhà máy bốn tổ máy, thuật toán mất 38,45 s để hội tụ sau 136 vòng lặp. Kết quả tương tự như phương pháp truyền thống đã được chạy thử.

5. 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. Int. Series in Operations Research and Management Sciencevol. Springer US.
- [2] G. E. Alvarez, M. G. Marcovecchio, P. A. Aguirre. 2016. Unit Commitment Scheduling Including Transmission Constraints: a MILP Formulation. Computer Aided Chemical Engineering, 38: 2157-2162.
- [3] Thị trường điện. <https://www.nldc.evn.vn> (truy cập ngày 22/7/2024).