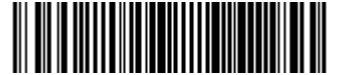




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0002917

(51)⁷ **G05F 1/66; G05B 11/01; G05B 15/02**

(13) **Y**

(21) 2-2018-00501

(22) 05/12/2018

(45) 25/06/2022 411

(43) 25/06/2020 387AHI

(73) Viện Khoa học Năng lượng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VN)
Nhà A9, số 18, đường Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, thành
phố Hà Nội

(72) Nguyễn Quang Ninh (VN); Đoàn Văn Bình (VN).

(54) QUY TRÌNH VẬN HÀNH NGUỒN PHÁT TRONG LƯỚI ĐIỆN SIÊU NHỎ
(MICROGRID) 3 PHA KHÔNG CÂN BẰNG, VẬN HÀNH ĐỘC LẬP

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất quy trình vận hành nguồn phát trong lưới điện siêu nhỏ
(microgrid) 3 pha không cân bằng, vận hành độc lập bao gồm các công đoạn:

(i) xác định giá trị tổn hao công suất nhỏ nhất theo thuật toán Glowworm Swarm
Optimization (GSO); và

(ii) điều khiển công suất của các nguồn phát theo các giá trị K_{Gi} tương ứng với giá trị
tổn hao công suất nhỏ nhất P_{loss_min} thu được từ thuật toán GSO.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích thuộc lĩnh vực điều khiển vận hành lưới điện trong ngành điện. Cụ thể, giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình vận hành nguồn phát trong lưới điện siêu nhỏ (microgrid) ba pha không cân bằng, vận hành độc lập, dựa trên thuật toán Glowworm Swarm Optimization (GSO).

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Theo Hội đồng quốc tế về hệ thống lưới điện lớn (Conseil international des grands réseaux électriques-CIGRÉ), lưới Microgrid được định nghĩa là các hệ thống phân phối điện bao gồm các phụ tải và các nguồn năng lượng phân tán (các nguồn phát), ví dụ như các máy phát điện phân tán, các thiết bị lưu trữ hoặc các phụ tải có thể điều khiển được, có thể được phối hợp vận hành điều khiển trong trường hợp nối lưới với hệ thống điện quốc gia hoặc vận hành độc lập, tự vận hành điều khiển trong trường hợp không nối lưới với hệ thống điện quốc gia.

Đặc biệt đối với lưới điện siêu nhỏ 3 pha không cân bằng, vận hành độc lập thì việc tối ưu hóa vận hành của lưới điện này là vô cùng phức tạp. Mỗi sự thay đổi về phụ tải sẽ đòi hỏi cần phải thay đổi thiết lập của nguồn phát để lưới điện hoạt động ổn định, hiệu quả. Tuy nhiên, việc này chưa được tiếp cận một cách tổng thể, mối quan hệ giữa các công suất tác dụng của các nguồn phát với tần số, điện áp trong từng nhánh của lưới điện chưa được đánh giá và định lượng chính xác. Để tiếp cận việc này, nhiều phương pháp mô tả dưới đây được đề xuất nhưng chưa đáp ứng được nhu cầu.

Đã biết có nhiều thuật toán, kỹ thuật tính toán tối ưu hóa đã được sử dụng và đề xuất, có thể kể đến phương pháp tối ưu sử dụng nhân tử Lagrange (Phương pháp Lagrange), Phương pháp nhánh dốc nhất (The steepest

descent), Phương pháp quy tắc mờ (Fuzzy rules method), Phương pháp Quy hoạch động (Dynamic programming method).

Phương pháp tối ưu sử dụng nhân tử Lagrange (đặt theo tên của nhà toán học Joseph Louis Lagrange) là một phương pháp để tìm cực tiểu hoặc cực đại địa phương của một hàm số chịu các điều kiện giới hạn. Trong lĩnh vực phân tích lưới điện, phương pháp tối ưu sử dụng nhân tử Lagrange (Phương pháp Lagrange) thường được kết hợp với phương pháp Newton raphson (giải bài toán trào lưu công suất trong lưới điện truyền tải và phân phối, trong đó công suất phát là hằng số, không được mô tả như là hàm phụ thuộc vào điện áp và tần số) và phương trình Kron để giải bài toán tính tối ưu trào lưu công suất trong lưới điện truyền tải và phân phối dựa trên cực tiểu hóa tổn thất công suất (được tính theo công thức Kron). Trong phương pháp này, các biến là các công suất tác dụng của các nguồn phát, các biến này không phụ thuộc vào tần số, điện áp mà chỉ đơn thuần là các giá trị số học.

Theo phương pháp nhánh dốc nhất (The steepest descent), mỗi nguồn khu vực có thể thay đổi lặp đi lặp lại các giá trị dòng điện bơm vào hệ thống từ các nguồn này nhằm mục đích đạt được mục tiêu tối ưu hóa tổng chi phí vận hành của hệ thống. Tuy nhiên, trong bài toán mà các tác giả đề xuất cũng chỉ đơn thuần coi công suất phát của các nguồn là các biến đại số, không phải là hàm số phụ thuộc vào điện áp và tần số, do vậy cũng vẫn chưa phản ánh được hết các đặc điểm vốn có của lưới Microgrid.

Phương pháp quy tắc mờ (Fuzzy rules method) dùng để tối ưu vận hành phát công suất của kho lưu trữ năng lượng (Energy Storage Systems- ESS) trong hệ thống lưới điện có sử dụng các kho lưu trữ năng lượng. Mặc dù phương pháp này có nhiều ưu điểm nhưng mới chỉ xét tới tối ưu chi phí vận hành của riêng ESS, tính theo quan điểm của chủ đầu tư nhà máy mà không xét chung cho toàn hệ thống, theo quan điểm của người điều hành hệ thống.

Phương pháp quy hoạch động (Dynamic programming method) dùng để giải quyết bài toán tối ưu hóa trào lưu công suất tại điểm PCC (đầu nối của MGs với lưới quốc gia) của toàn hệ thống lưới MGs có sử dụng các kho lưu trữ năng lượng vận hành ở chế độ nối lưới. Phương pháp quy hoạch động sẽ quét tất cả các giải pháp tối ưu nhằm xác định điểm tối ưu toàn cục. Tuy nhiên, để thực hiện quét trực tiếp tất cả các không gian giải pháp sẽ có số lượng tính toán rất lớn và không khả thi. Hơn nữa, phương pháp này không giải quyết được các trường hợp công suất máy phát phụ thuộc vào điện áp và tần số do vẫn sử dụng thuật toán tính toán trào lưu công suất truyền thống là Newton-Raphson.

Có thể thấy rằng, trong các nghiên cứu đã biết ở trên, tối ưu hóa trào lưu công suất 3 pha cân bằng và không cân bằng trong lưới MGs được tính toán với các biến là các giá trị công suất thực của các máy phát. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào quan tâm đến tính toán tối ưu trào lưu công suất trong lưới điện MGs vận hành độc lập có xét tới sự phụ thuộc của công suất máy phát và phụ tải vào điện áp và tần số và tần số trong lưới điện được giới hạn trong giá trị cho phép. Trên thực tế, hàm mục tiêu của bài toán là rất không tuyến tính do sự không tuyến tính trong mối liên hệ giữa tổng tổn thất công suất và công suất phát của các nguồn phát. Chính vì sự phi tuyến tính phức tạp này mà phương pháp truyền thống thường được áp dụng trước đây như Newton Raphson không phù hợp để giải quyết bài toán này, nhất là lại có xem xét cả các ràng buộc không cân bằng hay trạng thái không cân bằng phụ tải giữa các pha với nhau. Hơn nữa, khi hàm mục tiêu rất không tuyến tính, không gian nghiên cứu tìm kiếm kết quả của bài toán thường chứa nhiều cực trị địa phương. Điều này càng gây khó khăn, phức tạp cho việc tìm ra lời giải đúng cho bài toán, tìm được điểm tối ưu toàn cục, nhất là đối với các phương pháp truyền thống.

Glowworm Swarm Optimization (GSO) là một phương pháp tính toán

tối ưu hóa theo bày đàn dựa trên kinh nghiệm, được trình bày từ năm 2006, hứa hẹn sẽ là một phương pháp xử lý các bài toán phi tuyến tính và nhiều ứng dụng khác trong tương lai. Trước tiên, các đại diện (glowworm) được phân bố ngẫu nhiên trong khoảng không gian nghiệm. Mỗi glowworm quyết định hướng dịch chuyển tới các glowworm khác có sức thu hút biểu thị ở giá trị glowworm bé hơn trong các glowworm lân cận của nó. Nguyên lý này gần giống với hiện tượng các con đom đóm đực bị thu hút bởi những con đom đóm cái có ánh sáng phát ra mạnh hơn vào ban đêm. Con đom đóm cái nào càng sáng, sức thu hút càng cao, các con đom đóm đực sẽ có xu hướng dịch chuyển dần tới gần. Và glowworm nào có giá trị tốt nhất theo tiêu chí sẽ là kết quả của phương pháp. Do vậy, nguyên lý con đom đóm được ứng dụng đưa vào trong thuật toán này để giải bài toán tối ưu. Trong nghiên cứu này, vấn đề tối ưu hóa trào lưu công suất nhằm đạt được giá trị tổn thất công suất trong lưới Microgrid vận hành độc lập là nhỏ nhất được xem xét cùng với các ràng buộc về tần số và dòng điện truyền tải trên các nhánh đường dây của lưới điện.

Đã biết một số sáng chế như US 2016/0064932 A1 đề cập đến phương pháp, hệ thống, thiết bị dùng để tối ưu hóa trào lưu công suất trong lưới điện 3 pha không cân bằng, sáng chế WO 2016/146526 A1 đề cập đến phương pháp kiểm soát, cải thiện chất lượng điện trong hệ thống phân phối điện trong lưới điện MGs cách biệt hoặc hệ thống phân phối điện của tàu biển, sáng chế US 2017/0262007 A1 đề cập đến phương pháp sử dụng tiết kiệm, hiệu quả năng lượng trong lưới điện MGs. Tuy nhiên, các sáng chế này không sử dụng thuật toán GSO để tối ưu hóa trào lưu công suất trong lưới điện MGs 3 pha không cân bằng.

Đã biết có một số sáng chế sử dụng thuật toán GSO trong lĩnh vực giao thông, vật liệu nhưng chưa có sáng chế nào sử dụng thuật toán GSO nhằm tối ưu hóa trào lưu công suất trong các vấn đề, lĩnh vực về điện.

Có 1 bài viết về thuật toán này được sử dụng để tối ưu hóa trào lưu công suất trong lưới điện microgrid có tiêu đề “Frequency constrained optimal power Flow based on Glow-worm Swarm Optimization in Islanded Microgrids” công bố năm 2015 trong đó có tên một tác giả cũng chính là một trong những tác giả của đơn đăng ký này. Đọc qua, có thể thấy bài viết này có vẻ phần nào tương tự như giải pháp được đề cập tại sáng chế. Tuy nhiên, nó chỉ được ứng dụng cho lưới điện 3 pha cân bằng chứ không áp dụng cho lưới điện 3 pha không cân bằng.

Tóm lại, chưa có sáng chế, bài báo, giải pháp nào được đề xuất, thiết kế để tối ưu hóa trào lưu công suất trong lưới điện microgrid 3 pha không cân bằng vận hành độc lập dựa trên thuật toán Glowworm Swarm Optimization, trên cơ sở đó đề xuất được quy trình vận hành các nguồn phát trong lưới điện này.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Để khắc phục các nhược điểm nêu trên, giải pháp hữu ích đề xuất quy trình tính tối ưu trào lưu công suất trong lưới điện microgrid 3 pha không cân bằng vận hành độc lập dựa trên thuật toán GSO bao gồm các công đoạn:

Quy trình vận hành nguồn phát trong lưới điện siêu nhỏ (microgrid) 3 pha không cân bằng, vận hành độc lập bao gồm các công đoạn:

(i) xác định giá trị tối ưu trào lưu công suất theo thuật toán Glowworm Swarm Optimization (GSO) bao gồm các bước:

Bước 1. Thiết lập các thông số ban đầu của thuật toán GSO:

- Số lần lặp lớn nhất: m , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 200;
- Số lượng glowworm trong mỗi lần lặp: n , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 500;
- Alpha nằm trong khoảng từ 0 đến 1;

- Gamma nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- Delta nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- Giới hạn các biến,
- Thiết lập các ràng buộc không cân bằng;

Bước 2. Khởi tạo các glowworm: căn cứ vào số lượng biến K_{gi} và P_{gi} , thông số giới hạn của các biến này, thiết lập ngẫu nhiên các glowworm, mỗi glowworm là một tập hợp:

$$x_i(0) = \{K_{g1}(0), K_{g2}(0), \dots, K_{gn_{gdr}}(0), P_{g1}(0), P_{g2}(0), \dots, P_{gn_{gPQ}}(0)\}$$

trong đó $i = 1 \div n$ và các giá trị thuộc tập $x_i(0)$ nằm trong giới hạn được thiết lập ở Bước 1 và K_{gi} và P_{gi} là hệ số điều khiển công suất tác dụng của vòng Droop và công suất tác dụng tại mỗi nguồn phát thứ i .

Bước 3. Tính tổn thất công suất Ploss tương ứng với giá trị các glowworm được khởi tạo theo các bước nhỏ:

- Tính trào lưu công suất,
- Tính tổn thất công suất,
- Kiểm tra các điều kiện ràng buộc về tần số và dòng điện trên các pha của các nhánh đường dây;

Bước 4. Sắp xếp thứ hạng các glowworm:

- Sắp xếp các glowworm theo thứ tự từ trên xuống dưới theo tiêu chí Ploss từ nhỏ tới lớn,
- Kiểm tra ràng buộc về tần số và dòng điện trên các pha của các nhánh đường dây của glowworm đứng đầu;

Bước 5. Dịch chuyển và khởi tạo lại các glowworm;

Bước 6. Quay trở lại tiếp tục thực hiện các bước 3, 4, 5 cho tới khi số lần lặp

bằng m ;

Bước 7. Kết thúc:

giá trị tổn hao công suất nhỏ nhất P_{loss_min} là giá trị P_{loss} ứng với glowworm xếp hạng 1 ở lần lặp thứ m ; và

(ii) điều khiển công suất của các nguồn phát theo các giá trị K_{Gi} tương ứng với giá trị tổn hao công suất nhỏ nhất P_{loss_min} thu được ở bước 7.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1. Kết quả dòng điện tối ưu trên từng pha của các nhánh đường dây.

Hình 2. Kết quả chạy mô phỏng tính tối ưu lưới điện microgrid 6 nút 3 pha không cân bằng bằng phần mềm ứng dụng thuật toán GSO.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Quy trình vận hành lưới điện theo giải pháp hữu ích sẽ được mô tả dưới đây.

Trước hết, theo công đoạn (1), cần xác định được giá trị tối ưu trào lưu công suất, dựa trên việc xác định giá trị tổn hao công suất nhỏ nhất P_{loss_min} . Phương pháp xác định được sử dụng là phương pháp dựa trên thuật toán GSO. Thuật toán này được lập trình và vận hành tự động, dựa trên các thông số mà người sử dụng thiết lập trước.

Bước 1. Thiết lập các thông số ban đầu của thuật toán GSO:

- Số lần lặp lớn nhất: m , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 200;
- Số lượng glowworm trong mỗi lần lặp: n , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 500;
- Alpha nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- Gamma nằm trong khoảng từ 0 đến 1;

- Delta nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- Giới hạn các biến, trong đó các biến này là các tham số điều khiển phát công suất tác dụng K_{Gi} của các inverter tại các nguồn phát điện trong lưới microgrid có sử dụng inverter (Droop generator) và công suất phát tác dụng P của các nguồn phát kiểu PQ (PQ generator) như sau:

$$K_{gimin} \leq K_{gi} \leq K_{gimax}, i = 1 \div n_{gdr} \quad (1)$$

$$P_{PQi,specmin} \leq P_{PQi,spec} \leq P_{PQi,specmax}, i = 1 \div n_{gPQ} \quad (2)$$

Trong đó: n_{gdr} là số nguồn phát điện kiểu Droop generator; n_{gPQ} là số nguồn phát điện kiểu PQ generator.

- Thiết lập các ràng buộc không cân bằng, trong đó các ràng buộc không cân bằng được xét đến trong bài toán này là giới hạn tần số vận hành f của lưới microgrid và giới hạn dòng điện chạy trên các đường dây điện $I^{ph}_{branchi}$ trong lưới microgrid cụ thể như sau:

$$\Delta f = f - f_0 \leq \Delta fmax \quad (3)$$

$$I^{ph}_{branchi} \leq I^{ph}_{maxbranchi}, i = 1 \div n_{br} \quad (4)$$

Trong đó: f_0 là tần số tham chiếu chuẩn, có giá trị 50Hz trong hệ đơn vị thực hoặc 1 trong hệ đơn vị tương đối; n_{br} là số nhánh đường dây điện trong lưới microgrid;

Bước 2. Khởi tạo các glowworm:

Tại bước này, căn cứ vào số lượng biến K_{gi} và P_{gi} , thông số giới hạn của các biến này, ta thiết lập ngẫu nhiên các glowworm, mỗi glowworm là một tập hợp

$$x_i(0) = \{K_{g1}(0), K_{g2}(0), \dots, K_{gn_{gdr}}(0), P_{g1}(0), P_{g2}(0), \dots, P_{gn_{gPQ}}(0)\} \quad (5)$$

trong đó $i = 1 \div n$ và các giá trị thuộc tập $x_i(0)$ nằm trong giới hạn được thiết lập ở Bước 1 và K_{gi} và P_{gi} là hệ số điều khiển công suất tác dụng của vòng Droop và công suất tác dụng tại mỗi nguồn phát thứ i .

Bước 3. Tính tổn thất công suất Ploss tương ứng với giá trị các glowworm được khởi tạo:

- *Tính trào lưu công suất thông qua giải hệ các phương trình phi tuyến, trong đó việc tính trào lưu công suất trong lưới microgrid vận hành độc lập ba pha không cân bằng có xét tới sự phụ thuộc của nguồn phát và phụ tải vào điện áp và tần số:*

Giả sử trong lưới điện microgrid đang xét gồm 2 loại nút Droop-bus và PQ-bus. Với mỗi nút PQ-bus ta có tập các phương trình như sau:

$$\begin{cases} P_{PQi,spec}^{a,b,c} = P_{Li}^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|) \\ \quad + P_i^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|, |V_j^{a,b,c}|, \delta_i^{a,b,c}, \delta_j^{a,b,c}) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} Q_{PQi,spec}^{a,b,c} = Q_{Li}^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|) \\ \quad + Q_i^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|, |V_j^{a,b,c}|, \delta_i^{a,b,c}, \delta_j^{a,b,c}) \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó:

$P_{PQi,spec}^{a,b,c}$ và $Q_{PQi,spec}^{a,b,c}$ là các giá trị công suất phát tác dụng và phản kháng ở mỗi pha (a, b, c) của các nguồn phát tại nút PQ-bus thứ i .

$V_i^{a,b,c}$ là điện áp pha (a, b, c) tại nút thứ i .

$\delta_i^{a,b,c}$ là góc pha của điện áp pha (a, b, c) tại nút thứ i .

$P_{Li}^{a,b,c}$ và $Q_{Li}^{a,b,c}$ là công suất tác dụng và phản kháng pha của phụ tải tại nút i .

$P_i^{a,b,c}$ và $Q_i^{a,b,c}$ là công suất tác dụng và phản kháng của mỗi pha bơm vào lưới microgrid tại nút i , được tính theo công thức sau:

$$P_i^a = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_{br}} \sum_{ph=a,b,c} \left[|V_i^a| |Y_{ij}^{a(ph)-n}| |V_i^{(ph)}| \cos(\theta_{ij}^{a(ph)} + \delta_i^{(ph)} - \delta_i^a) - |V_i^a| |Y_{ij}^{a(ph)-n}| |V_j^{(ph)}| \cos(\theta_{ij}^{a(ph)} + \delta_j^{(ph)} - \delta_i^a) \right] \quad (8)$$

$$Q_i^a = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_{br}} \sum_{ph=a,b,c} \left[|V_i^a| |Y_{ij}^{a(ph)-n}| |V_j^{(ph)}| \sin(\theta_{ij}^{a(ph)} + \delta_i^{(ph)} - \delta_i^a) - |V_i^a| |Y_{ij}^{a(ph)-n}| |V_i^{(ph)}| \sin(\theta_{ij}^{a(ph)} + \delta_i^{(ph)} - \delta_i^a) \right] \quad (9)$$

trong đó $Y_{ij}^{a(ph)-n}$ là tổng dẫn nhánh đường dây nối 2 nút i và j

Công thức tính cho pha b và c có thể suy ra tương tự như trên.

Với mỗi nút PQ-bus i , ta có tập các biến như sau:

$$x_{PQi} = [\delta_i^{a,b,c} | V_i^{a,b,c}]^T \quad (10)$$

Và với n_{pq} nút PQ-bus ta có tổng các biến:

$$x_{PQ} = [x_{PQ1} \dots x_{PQn_{pq}}]^T \quad (11)$$

Với mỗi nút Droop-bus, i , ta có tập các phương trình như sau:

$$\begin{cases} 0 = P_{Li}^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|) - P_{Gi}^{a,b,c} \\ \quad + P_i^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|, |V_j^{a,b,c}|, \delta_i^{a,b,c}, \delta_j^{a,b,c}) \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} 0 = Q_{Li}^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|) - Q_{Gi}^{a,b,c} \\ \quad + Q_i^{a,b,c}(f, |V_i^{a,b,c}|, |V_j^{a,b,c}|, \delta_i^{a,b,c}, \delta_j^{a,b,c}) \end{cases} \quad (13)$$

$$0 = |V_i^a| - |V_i^b| \quad (14)$$

$$0 = |V_i^a| - |V_i^c| \quad (15)$$

$$0 = \delta_i^a - \delta_i^b - \left(\frac{2\pi}{3}\right) \quad (16)$$

$$0 = \delta_i^a - \delta_i^c + \left(\frac{2\pi}{3}\right) \quad (17)$$

$$0 = P_{Gi}^a + P_{Gi}^b + P_{Gi}^c - P_{Gi}(f) \quad (18)$$

$$0 = Q_{Gi}^a + Q_{Gi}^b + Q_{Gi}^c - Q_{Gi}(|V_i^{a,b,c}|) \quad (19)$$

Với mỗi nút Droop-bus i , ta có tập các biến:

$$x_{Di} = [\delta_i^{a,b,c} | V_i^{a,b,c} | P_{Gi}^{a,b,c} Q_{Gi}^{a,b,c}]^T \quad (20)$$

Và với n_d nút Droop-bus, ta có tổng các biến:

$$x_D = [x_{D1} \dots x_{Dn_d}]^T \quad (21)$$

Như vậy ta có tổng số phương trình, n , và tổng số biến X tương ứng như sau:

$$n = 12 \times n_d + 6 \times n_{pq} \quad (26)$$

$$X = [x_D \ x_{pq} \ f] \quad (27)$$

- *Tính tổn thất công suất:* đây cũng chính là hàm mục tiêu của bài toán trong đó tổn thất công suất của lưới microgrid được xác định theo công thức sau:

$$O_{(Kg, P_{PQ})} = P_{Loss} = \sum_{i=1}^{n_{bus}} (P_{i(Kg, P_{PQ})}^a + P_{i(Kg, P_{PQ})}^b + P_{i(Kg, P_{PQ})}^c) \quad (28)$$

- *Kiểm tra các điều kiện ràng buộc:*

Tính độ lệch tần số:

$$\Delta f = f - f_0 \quad (29)$$

Tính dòng điện trên từng pha của các đường dây $I^{ph}_{branchi}$ (ph là ký hiệu của các pha a, b, c): Gọi Del là biến nhận diện vi phạm ràng buộc dòng điện nhánh, nếu tồn tại bất kỳ nhánh i nào đó mà $I^{ph}_{branchi} > I^{ph}_{maxbranchi}$ thì biến Del=1; $I^{ph}_{branchi} \leq I^{ph}_{maxbranchi}$ thì Del=0.

$$Del = \begin{cases} 1 & \text{nếu } I_{branchi}^{ph} > I_{maxbranchi}^{ph} \\ 0 & \text{nếu } I_{branchi}^{ph} \leq I_{maxbranchi}^{ph} \end{cases} \quad (30)$$

Bước 4. Sắp xếp thứ hạng các glowworm: các glowworm được sắp xếp từ trên xuống dưới dựa trên tiêu chí-glowworm nào có Ploss nhỏ hơn sẽ xếp hạng trên các glowworm có Ploss lớn hơn, glowworm đứng đầu phải thỏa mãn điều kiện ràng buộc được mô tả trong phương trình (3) và phương trình (4), như sau:

- *Sắp xếp các glowworm theo thứ tự từ trên xuống dưới theo tiêu chí Ploss từ nhỏ tới lớn,*
- *Kiểm tra ràng buộc (3) và (4) của glowworm đứng đầu theo các bước nhỏ:* nếu các ràng buộc này được thỏa mãn, giữ nguyên thứ tự sắp xếp của các glowworm, nếu có một trong các ràng buộc này bị vi phạm, tiếp tục kiểm tra ràng buộc (3) và (4) của glowworm thứ 2, nếu các ràng buộc này thỏa mãn, đổi vị trí của glowworm thứ 2 và vị trí của glowworm thứ 1, nếu các ràng buộc này bị vi phạm, tiếp tục kiểm tra các ràng buộc (3) và (4) đối với các glowworm kế tiếp theo thứ tự từ trên xuống dưới cho tới khi tìm được glowworm thỏa mãn các ràng buộc (3) và (4) thì kết thúc việc sắp xếp thứ hạng các glowworm;

Bước 5. Dịch chuyển và khởi tạo lại các glowworm: các glowworm sẽ tìm kiếm các glowworm_brighter có giá trị Ploss nhỏ hơn và thỏa mãn các ràng buộc (3) và (4) để dịch chuyển dần về hướng các glowworm đó thông qua việc tái khởi tạo hay thay đổi các giá trị K_{gi} và P_{PQi} (gọi chung là các $x(t)$) thành các giá trị mới hay thiết lập, khởi tạo các glowworm mới theo công thức sau:

$$x(t+1) = x(t).(1 - \text{beta}) + x(t)_{\text{brighter}}.\text{beta} + \text{alpha} . (\text{rand} - 0.5) \quad (31)$$

Trong đó:

- $rand$ là 1 giá trị bất kỳ, ngẫu nhiên nằm trong khoảng (0,1)
- $beta$ được tính theo công thức sau:

$$beta = e^{-gamma.r^2} \quad (32)$$

$$r = \sum_{i=1}^{nvar} (x_i(t) - x_i(t)_{brighter})^2 \quad (33)$$

Cập nhật giá trị alpha mới theo công thức:

$$alphanew = alpha * delta$$

Bước 6. Quay trở lại tiếp tục thực hiện các bước 3, 4, 5 cho tới khi số lần lặp bằng m;

Bước 7. Kết thúc: giá trị tổn hao công suất nhỏ nhất Ploss_min là giá trị Ploss ứng với glowworm xếp hạng 1 ở lần lặp thứ m.

Sau khi xác định được giá trị tổn thất Ploss_min, công suất phát của các nguồn trong lưới điện sẽ được tự động điều chỉnh tương ứng với giá trị tổn thất Ploss_min này.

Trong quá trình vận hành lưới điện, mỗi khi có sự thay đổi về phụ tải hoặc sau một khoảng thời gian hoạt động nhất định, quy trình bao gồm các công đoạn (i) và (ii) nêu trên được thực hiện để đảm bảo lưới điện luôn được vận hành một cách hiệu quả, an toàn nhất.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Để đưa ra ví dụ vận hành lưới điện bao gồm công đoạn (i) và công đoạn (ii) với đầy đủ các bước tính toán thì rất dài, đòi hỏi nhiều dữ liệu và không cần thiết do mô tả về phương pháp GSO đã được nêu chi tiết ở trên. Ở đây chỉ đưa ra thông số đầu vào như bước 1 và đồ thị kết quả mô tả quá trình dịch chuyển đến giá trị tối ưu thôi.

Phần dưới đây sẽ trình bày một ví dụ tính toán trên lưới điện microgrid 6 nút ba pha không cân bằng với số glowworm là 40, số lần lặp là 40, giá trị các thông số: Alpha = 0,5; Gamma = 0,9; Delta = 0,97.

Thông số đường dây lưới điện và phụ tải được trình bày trong bảng 1 và bảng 2 bên dưới.

Bảng 1. Dữ liệu các nút của lưới microgrid thử nghiệm 6 nút ba pha không cân bằng, PU

Bus number	Pha A		Pha B		Pha C		Kdi	Voi	Kgi	foi	Alpha	Beta
	P,pu	Q,pu	P,pu	Q,pu	P,pu	Q,pu						
1	160	45	100	40	130	35	15	1,01	-	1	0,18	6
2	135	25	170	30	155	32	5	1,01	-	1	0,92	4,04
3	150	35	130	40	160	45	5	1,01	-	1	1,51	3,4
4	160	55	150	80	150	65	0	0	0	1	0,18	6
5	133,3	80	133,3	70	133,3	60	0	0	0	1	0,92	4,04
6	135	85	140	70	145	52	0	0	0	1	1,51	3,4

BẢNG 2. DỮ LIỆU ĐƯỜNG DÂY CỦA LƯỚI MICROGRID THỬ NGHIỆM 6 NÚT BA PHA KHÔNG CÂN BẰNG, PU

Bus nl	Bus nr	Chiều dài, mile	Imax pha A, pu	Imax pha B, pu	Imax pha C, pu	Loại dây
4	5	0,28939394	0,1	0,1	0,1	1
5	6	0,19469697	0,1	0,1	0,1	1
3	6	0,19469697	0,1	0,1	0,1	2
1	4	0,19469697	0,1	0,1	0,1	1
2	5	0,19469697	0,1	0,1	0,1	2

Ma trận trở kháng cho đường dây 3 pha loại 1, ohms/mile

$$Z1 = \begin{bmatrix} 0,3686 + i*0,6852 & 0,0169 + i*0,1515 & 0,0155 + i*0,1098 \\ 0,0169 + i*0,1515 & 0,3757 + i*0,6715 & 0,0188 + i*0,2072 \\ 0,0155 + i*0,1098 & 0,0188 + i*0,2072 & 0,3723 + i*0,6782 \end{bmatrix};$$

Ma trận trở kháng cho đường dây 3 pha loại 2, ohms/mile

$$Z2 = \begin{bmatrix} 0,9775 + i*0,8717 & 0,0167 + i*0,1697 & 0,0152 + i*0,1264 \\ 0,0167 + i*0,1697 & 0,9844 + i*0,8654 & 0,0186 + i*0,2275 \\ 0,0152 + i*0,1264 & 0,0186 + i*0,2275 & 0,9810 + i*0,8648 \end{bmatrix};$$

Ma trận trở kháng cho đường dây 3 pha loại 3, ohms/mile

$$Z3 = \begin{bmatrix} 1,9280 + i*1,4194 & 0,0161 + i*0,1183 & 0,0161 + i*0,1183 \\ 0,0161 + i*0,1183 & 1,9308 + i*1,4215 & 0,0161 + i*0,1183 \\ 0,0161 + i*0,1183 & 0,0161 + i*0,1183 & 1,9337 + i*1,4236 \end{bmatrix};$$

Giới hạn các biến K_{Gi} của các máy phát cho trong bảng 3. Trong Bảng 4, giá trị tối ưu của các K_{Gi} , giá trị tổn thất công suất tương ứng với các giá trị K_{Gi} tối ưu được trình bày và so sánh với giá trị của các K_{Gi} và tổn thất công suất trước khi tính tối ưu. Từ Bảng 4 có thể nhận thấy ứng với các giá trị K_{Gi} tối ưu, tổn thất công suất giảm 46,43% so với ban đầu trước tính tối ưu. Sự thay đổi về công suất các nguồn phát khi thay đổi giá trị của các K_{Gi} từ ban đầu sang giá trị tối ưu được trình bày trong Bảng 5. Hình 1 trình bày dòng điện truyền tải trên các pha của các nhánh đường dây của phương án tối ưu. Hình 2 trình bày kết quả chạy tính toán tối ưu của chương trình sử dụng thuật toán GSO.

Bảng 3. Giới hạn của các biến K_{Gi} , PU

Case 1			
	MF1	MF2	MF3
K_{gmax}	5	3	5
K_{gmin}	38	35	41

BẢNG 4. KẾT QUẢ TỶ SỐ TỒN THẤT TỐI ƯU HÓA VÀ TRƯỚC KHI TỐI ƯU, PU

	KG1	KG2	KG3	F	Ploss	
Trước khi tối ưu, pu	19,147	16,728	31,233	0,9886	0,0084	100,00%
Sau khi tối ưu, pu	29,147	23,728	21,233	0,9897	0,0045	53,57%

BẢNG 5. KẾT QUẢ CÔNG SUẤT PHÁT TỐI ƯU HÓA VÀ TRƯỚC KHI TỐI ƯU, PU

	Máy phát	Công suất phát tác dụng pha a, P _{Ga} , pu	Công suất phát tác dụng pha b, P _{Gb} , pu	Công suất phát tác dụng pha c, P _{Gc} , pu	Công suất phát phản kháng pha a, Q _{Ga} , pu	Công suất phát phản kháng pha b, Q _{Gb} , pu	Công suất phát phản kháng pha c, Q _{Gc} , pu	Tổng công suất phát tác dụng, P _{Gto} , pu
Trước khi tối ưu	1	0,08327	0,06514	0,06982	0,05558	0,06030	0,05440	0,21824
	2	0,05896	0,06850	0,06320	0,02910	0,03046	0,02617	0,19067
	3	0,11769	0,11147	0,12684	0,01156	0,00677	0,00720	0,35600
Sau khi tối ưu	1	0,10822	0,09098	0,09974	0,04381	0,04486	0,04296	0,29893
	2	0,07617	0,08534	0,08185	0,02240	0,02291	0,01908	0,24335
	3	0,07397	0,06724	0,07656	0,02892	0,02874	0,02443	0,21777

Hình 2 trình bày kết quả tính toán của phần mềm cho bài toán được đặt ra ở trên với số glowworm là 40 và số lần lặp là 40. Qua mỗi lần lặp qua hình có thể nhận thấy sự dịch chuyển của các glowworm ở lần lặp sau so với lần lặp trước theo xu hướng đổ dồn về glowworm có giá trị hàm mục tiêu thấp nhất (được xếp theo thứ tự bé nhất trong số các glowworm).

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Quy trình vận hành nguồn phát trong lưới điện siêu nhỏ (microgrid) 3 pha không cân bằng, vận hành độc lập dựa trên thuật toán GSO theo giải pháp hữu ích đã khắc phục được các thiếu sót nêu trong tình trạng kỹ thuật. Cụ thể, nhờ việc hàm số hóa mối quan hệ giữa tổn thất công suất nhỏ nhất với tần số và dòng điện truyền tải trên các nhánh đường dây, kết quả tính toán sát với thực tế vận hành của lưới điện, từ đó đưa ra được phương án phân chia công suất phát giữa các nguồn phát trong lưới microgrid vận hành độc lập, để đạt được mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất mà vẫn đảm bảo lưới điện vận hành ổn định ở tần số cho phép và không vi phạm giới hạn dòng điện trên các pha của các nhánh đường dây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình vận hành nguồn phát trong lưới điện siêu nhỏ (microgrid) 3 pha không cân bằng, vận hành độc lập bao gồm các công đoạn:

(i) xác định giá trị tối ưu trào lưu công suất theo thuật toán Glowworm Swarm Optimization (GSO) bao gồm các bước:

bước 1. thiết lập các thông số ban đầu của thuật toán GSO:

- số lần lặp lớn nhất: m , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 200;
- số lượng glowworm trong mỗi lần lặp: n , là số nguyên dương nằm trong khoảng từ 5 đến 500;
- α nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- γ nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- δ nằm trong khoảng từ 0 đến 1;
- giới hạn các biến,
- thiết lập các ràng buộc không cân bằng;

bước 2. khởi tạo các glowworm: căn cứ vào số lượng biến K_{gi} và P_{gi} , thông số giới hạn của các biến này, thiết lập ngẫu nhiên các glowworm, mỗi glowworm là một tập hợp:

$$x_i(0) = \{K_{g1}(0), K_{g2}(0), \dots, K_{gn_{gdr}}(0), P_{g1}(0), P_{g2}(0), \dots, P_{gn_{gPQ}}(0)\}$$

trong đó $i = 1 \div n$ và các giá trị thuộc tập $x_i(0)$ nằm trong giới hạn được thiết lập ở Bước 1 và K_{gi} và P_{gi} là hệ số điều khiển công suất tác dụng của vòng Droop và công suất tác dụng tại mỗi nguồn phát thứ i ;

bước 3. tính tổn thất công suất Ploss tương ứng với giá trị các glowworm được khởi tạo theo các bước nhỏ:

- tính trào lưu công suất,

- tính tổn thất công suất,
- kiểm tra các điều kiện ràng buộc về tần số và dòng điện trên các pha của các nhánh đường dây;

bước 4. sắp xếp thứ hạng các glowworm:

- sắp xếp các glowworm theo thứ tự từ trên xuống dưới theo tiêu chí Ploss từ nhỏ tới lớn,
- kiểm tra ràng buộc về tần số và dòng điện trên các pha của các nhánh đường dây của glowworm đứng đầu;

bước 5. dịch chuyển và khởi tạo lại các glowworm;

bước 6. quay trở lại tiếp tục thực hiện các bước 3, 4, 5 cho tới khi số lần lặp bằng m;

bước 7. kết thúc:

giá trị tổn thất nhỏ nhất Ploss_min là giá trị Ploss ứng với glowworm xếp hạng 1 ở lần lặp thứ m; và

(ii) điều khiển công suất của các nguồn phát theo các giá trị tương ứng với giá trị tổn thất nhỏ nhất Ploss_min thu được ở bước 7.

2. Quy trình theo điểm 1, khác biệt ở chỗ, tại *bước 1. thiết lập các thông số ban đầu*, việc thiết lập giới hạn các biến trong đó các biến này là các tham số điều khiển phát công suất tác dụng Kg của các inverter tại các nguồn phát điện trong lưới siêu nhỏ có sử dụng inverter (Droop generator) và công suất phát tác dụng P của các nguồn phát kiểu PQ (PQ generator)) được thể hiện như sau:

$$K_{gimin} \leq K_{gi} \leq K_{gimax}, i = 1 \div n_{gdr} \quad (1)$$

$$P_{PQi,specmin} \leq P_{PQi,spec} \leq P_{PQi,specmax}, i = 1 \div n_{gPQ} \quad (2)$$

trong đó: n_{gdr} là số nguồn phát điện kiểu Droop generator; n_{gPQ} là số

nguồn phát điện kiểu PQ generator.

3. Quy trình theo điểm 1 hoặc 2, khác biệt ở chỗ, tại *bước 1. thiết lập các thông số ban đầu*, việc thiết lập các ràng buộc không cân bằng, trong đó các ràng buộc không cân bằng là giới hạn tần số vận hành f của lưới microgrid và giới hạn dòng điện chạy trên các đường dây điện $I^{ph}_{branchi}$ trong lưới microgrid được thể hiện như sau:

$$\Delta f = f - f_0 \leq \Delta f_{max} \quad (3)$$

$$I^{ph}_{branchi} \leq I^{ph}_{maxbranchi}, i = 1 \div n_{br} \quad (4)$$

trong đó: f_0 là tần số tham chiếu chuẩn, có giá trị 50Hz trong hệ đơn vị thực hoặc 1 trong hệ đơn vị tương đối; n_{br} là số nhánh đường dây điện trong lưới microgrid.

4. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, khác biệt ở chỗ, tại *bước 3. tính tổn thất công suất P_{loss} tương ứng với giá trị các glowworm được khởi tạo*, việc *tính tổn thất công suất*, trong đó tổn thất công suất của lưới siêu nhỏ được xác định theo công thức sau:

$$O_{(Kg, P_{PQ})} = P_{Loss} = \sum_{i=1}^{n_{bus}} \left(P^a_{i(Kg, P_{PQ})} + P^b_{i(Kg, P_{PQ})} + P^c_{i(Kg, P_{PQ})} \right)$$

5. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, khác biệt ở chỗ, tại *bước 3. tính tổn thất công suất P_{loss} tương ứng với giá trị các glowworm được khởi tạo*, việc *kiểm tra các điều kiện ràng buộc* được thực hiện như sau:

- tính độ lệch tần số:

$$\Delta f = f - f_0$$

- tính dòng điện trên từng pha của các đường dây $I^{ph}_{branchi}$ (ph là ký hiệu của các pha a, b, c): Gọi Del là biến nhận diện việc vi phạm ràng buộc dòng điện nhánh, nếu tồn tại bất kỳ nhánh i nào đó mà

$I_{branchi}^{ph} > I_{maxbranchi}^{ph}$ thì biến $Del=1$;

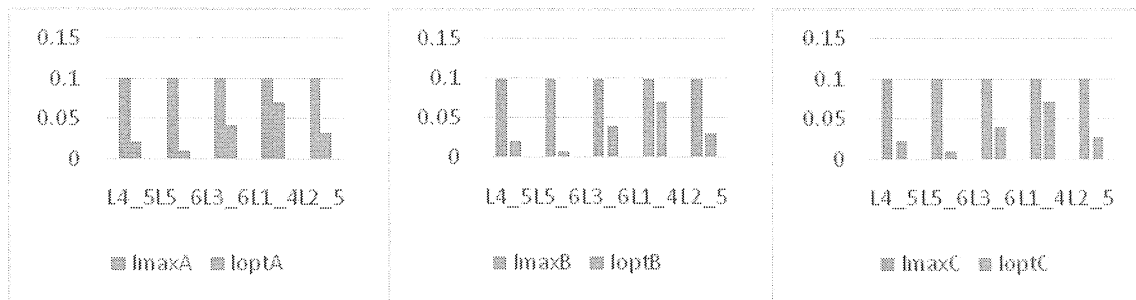
$I_{branchi}^{ph} \leq I_{maxbranchi}^{ph}$ thì $Del=0$,

$$Del = \begin{cases} 1 & \text{nếu } I_{branchi}^{ph} > I_{maxbranchi}^{ph} \\ 0 & \text{nếu } I_{branchi}^{ph} \leq I_{maxbranchi}^{ph} \end{cases}$$

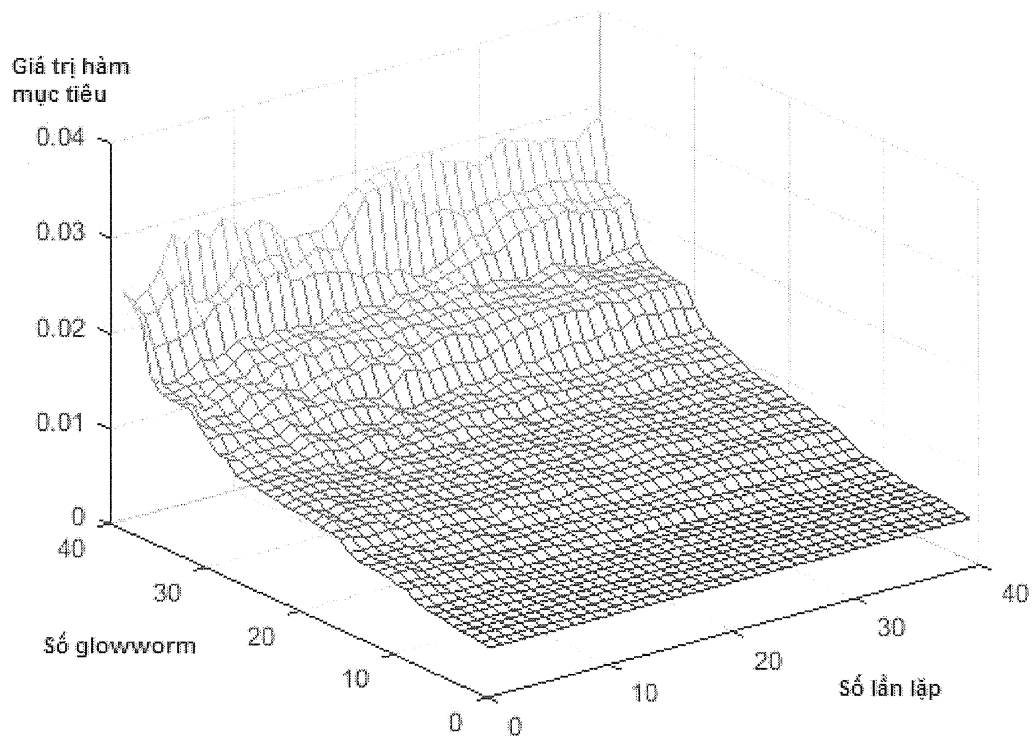
6. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, khác biệt ở chỗ, tại bước 4. sắp xếp thứ hạng các glowworm, các glowworm được sắp xếp từ trên xuống dưới dựa trên tiêu chí: glowworm nào có Ploss nhỏ hơn sẽ xếp hạng trên các glowworm có Ploss lớn hơn, glowworm đứng đầu phải thỏa mãn điều kiện ràng buộc được mô tả trong phương trình (3) và phương trình (4), như sau:

- sắp xếp các glowworm theo thứ tự từ trên xuống dưới theo tiêu chí Ploss từ nhỏ tới lớn,
- kiểm tra ràng buộc (3) và (4) của glowworm đứng đầu theo các bước nhỏ: nếu các ràng buộc này được thỏa mãn, giữ nguyên thứ tự sắp xếp của các glowworm, nếu có một trong các ràng buộc này bị vi phạm, tiếp tục kiểm tra ràng buộc (3) và (4) của glowworm thứ 2, nếu các ràng buộc này thỏa mãn, đổi vị trí của glowworm thứ 2 và vị trí của glowworm thứ 1, nếu các ràng buộc này bị vi phạm, tiếp tục kiểm tra các ràng buộc (3) và (4) đối với các glowworm kế tiếp theo thứ tự từ trên xuống dưới cho tới khi tìm được glowworm thỏa mãn các ràng buộc (3) và (4) thì kết thúc việc sắp xếp thứ hạng các glowworm.

7. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó lặp lại các công đoạn (i) và (ii) sau mỗi khoảng thời gian vận hành hoặc khi có sự thay đổi đột ngột về phụ tải.



Hình 1. Kết quả dòng điện tối ưu trên từng pha của các nhánh đường dây



Hình 2. Kết quả chạy mô phỏng tính tối ưu lưới điện microgrid 6 nút 3 pha không cân bằng bằng phần mềm ứng dụng thuật toán GSO