

Áp dụng thuật toán mô phỏng luyện kim cho bài toán tái cấu trúc lưới điện có xét đến ảnh hưởng của nguồn điện phân tán

Application of Algorithm Simulated Annealing for Reconfiguration of Distribution Network is Consider the Impact of Distributed Generators

Nguyễn Tùng Linh⁽¹⁾, Phạm Thượng Cát⁽²⁾

(1) Đại học Điện lực, (2) Viện hàn lâm khoa học Việt Nam

E-Mail: linhnt@epu.edu.vn, phamthuongcat@yahoo.com

Tóm tắt

Lưới điện phân phối chiếm đa số trong hệ thống điện nói chung, những năm gần đây, các nghiên cứu về lưới điện phân phối được đề cập đến nhiều hơn và hướng tới một lưới điện thông minh. Bài toán tái cấu trúc lưới điện là bài toán trong vấn đề nghiên cứu này, nhằm đưa ra các phương pháp, giải thuật để giải quyết. Bài toán tái cấu trúc được xem xét dưới nhiều hàm mục tiêu khác nhau, điều kiện ràng buộc cũng như các yếu tố tác động đến bài toán tái cấu trúc. Trong bài báo này, tác giả đề phương pháp sử dụng thuật toán mô phỏng luyện kim để giải quyết bài toán tái cấu trúc, có xét đến ảnh hưởng của nguồn điện phân tán (DG). Mục tiêu chính của bài toán tái cấu trúc xét đến là giảm tổn thất công suất và có xét đến ảnh hưởng của các nguồn phân tán. Phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên lưới điện mẫu của IEEE và so sánh với các phương pháp khác, cho kết quả đáng tin cậy.

Từ khóa: Lưới điện phân phối, tái cấu trúc, tổn thất điện năng, thuật toán mô phỏng luyện kim, nguồn điện phân tán.

Abstract: Distribution networks take the majority in the power system in general, and in recent years, there are more and more studies about the distribution network, towards a smart electricity grid. This study aims at finding out the methods and algorithms to solve the problem of restructuring network distribution. The distribution reconfiguration problem is considered under different objective functions, constraints and factors affecting the issue. In this paper, the authors use the method of simulated Annealing to solve reconfiguration problem, and the main objective of the study is to reduce the power loss with the consideration of the impact of distributed generation (DG). The proposed method is qualified varified on the IEEE

sample grid and compared with other methods to give out reliable results.

Keywords: Distribution network, reconfiguration, Power losse, simulated annealing

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$C(x)$		Hàm năng lượng
P_{losse}	kW	Tổn thất công suất
P_i, Q_i	kW, kVAr	Công suất tác dụng và phản kháng tại nút i
R, X, L	Ω	Điện trở, điện kháng đường dây
U_i	kV	điện cảm dọc trục và ngang trục của stator
I	A	Dòng điện trên nhánh
T	oC	Nhiệt độ tính
ΔC		Độ chênh lệch hàm năng lượng

Chữ viết tắt

LĐPP	Lưới điện phân phối
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
TPM	Topology-based perturbation mechanism
EVN	Tập đoàn điện lực Việt Nam
DG	Nguồn điện phân tán

1. Giới thiệu

Lưới điện phân phối là một bộ phận chiếm tỉ lệ lớn trong hệ thống điện của các quốc gia, có nhiệm vụ truyền tải điện năng trực tiếp đến các phụ tải dùng điện. Trong hệ thống điện, tổn thất điện năng trên lưới điện phân phối (LĐPP) chiếm tỷ lệ đáng kể. Theo thống kê của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) tổn thất điện năng hàng năm chiếm 9-13,5% tổng công suất sản xuất, trong đó tổn thất công suất trên lưới điện phân phối chiếm 4-6,7% [1]. Lý do làm cho tổn thất điện năng trên lưới phân phối chiếm tỷ lệ cao do các yếu tố,

như nhiều cấp điện áp, phương thức vận hành chưa tốt, đường dây phức tạp, các hộ phụ tải có tính chất khác nhau v.v.... Mặt khác lưới điện phân phối có tính chất: Thiết kế kín - mạch vòng, vận hành hở. Do đó mục tiêu của bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối là tìm ra được cấu trúc phương thức vận hành hình tia đảm bảo yêu cầu mục tiêu giảm tổn thất trên lưới điện và đảm bảo được yêu cầu kỹ thuật để hệ thống vận hành bình thường.

Trong thực tế, lưới điện phân phối là hệ thống cung cấp điện trực tiếp đến các phụ tải tiêu thụ điện. Trong hệ thống điện, ngoài các nhà máy thủy điện, nhiệt điện,... là các nguồn chính có công suất lớn cung cấp điện năng được kết nối trên lưới điện truyền tải, thì các nhà máy thủy điện, nhiệt điện có công suất nhỏ được kết nối trực tiếp vào lưới điện phân phối. Việc xây dựng các nhà máy thủy điện, nhiệt điện lớn kết nối vào lưới điện truyền tải đang dần gặp nhiều khó khăn như, nguồn năng lượng sơ cấp tập trung không còn, ảnh hưởng môi trường, chi phí đầu tư lớn,... Mặt khác, sự hình thành thị trường điện cạnh tranh của các quốc gia trên thế giới mang lại triển vọng phát triển cho các nguồn điện phân tán kết nối vào lưới điện phân phối. Thông thường các *DG* có công suất nhỏ từ 5kW đến 10 kW, được kết nối trực tiếp vào lưới phân phối, nhằm nhiệm vụ cung cấp điện năng và nâng cao chất lượng điện năng.

Hiện nay có rất nhiều phương pháp để giảm tổn thất công suất trên lưới phân phối, tuy nhiên phương pháp tái cấu trúc lưới điện là phương pháp hiệu quả và ít tốn kém về mặt đầu tư nhất. Để giải quyết bài toán này thường có hai hướng, hướng giải tích và hướng sử dụng trí tuệ nhân tạo để thực hiện giải bài toán tối ưu phi tuyến. Merlin và Back [2] đầu tiên đề xuất phương pháp thay đổi lần lượt các khóa thông qua việc tính toán dòng chảy qua nhánh là bé nhất và thỏa mãn các ràng buộc đối với hệ thống phân phối và sau này được Shirmohammadi và Hong [3], Aoki và các cộng sự [5] cải tiến sử dụng kỹ thuật bom và rút một lượng công suất vào các nút để thay đổi trạng thái của các khóa, kết quả được cải thiện tốt hơn. Civanlar và các cộng sự [6] sử dụng kỹ thuật đổi nhánh bằng cách xuất phát từ cấu trúc hình tia và thực hiện đóng một khóa này và mở một khóa khác sao cho đảm bảo hình tia, sau đó được Baran-Wu [7] đề xuất phương pháp cải tiến bằng cách sử dụng các công thức gần đúng. Tuy nhiên các phương pháp này bị rơi vào cực trị địa phương, sau đó để khắc

phục nhược điểm này Liu et và các cộng sự [8] chứng minh và đề xuất sử dụng hệ thống chuyên gia để giải quyết vấn đề tái cấu trúc cho hệ thống phân phối, kết quả nghiên cứu đã cải tiến được nhược điểm trước đó gặp phải. Các phương pháp trên kết hợp với các luật "heuristic" đã thay thế phần nào các phương pháp giải tích nhằm giảm thiểu thời gian tính toán và cũng cho kết quả chính xác. Tuy nhiên trong một số phương pháp đưa ra kết quả nghiệm của bài toán tuy nhiên vẫn rơi vào tối ưu cục bộ. Nhóm tác giả SDai-Seub Choi; Chang-Suk Kim; Hasegawa [9] đưa ra ý tưởng sử dụng giải thuật di truyền (Genetic Algorithms) sử dụng các phép đột biến và lai tạo để tìm ra cấu trúc tối ưu cho bài toán tái cấu trúc lưới điện. Kết quả nghiên cứu đã giảm được thời gian tính toán và kết quả chính xác. Nhóm tác giả Charles Daniel L, Hafeezulla Khan and Ravichandran [10] đã đề xuất việc áp dụng giải thuật đàn kiến (ACS) cho bài toán tái cấu trúc. Việc áp dụng giải thuật đã tìm ra trong các cấu trúc có thể của lưới điện phân phối có một cấu trúc có tổn thất công suất là nhỏ nhất. Các tham số trong bài toán tái cấu trúc được tham số hóa thành các thông số trong thuật toán đàn kiến. Nhóm tác giả Xiaoling Jin, Jianguo Zhao, Ying Sun, Kejun Li, Bqin Zhang [11] đã đề xuất việc áp dụng giải thuật tối ưu bầy đàn (PSO) cho bài toán tái cấu trúc lưới điện. Chiang và Jean-Jumeau [12], [13] sử dụng giải thuật mô phỏng luyện kim để giải quyết bài toán tái cấu trúc lưới điện.

Đối với bài toán xác định công suất của *DG* khi kết nối vào lưới điện phân phối, cũng được một số tác giả đề xuất như: Rosehart và Nowicki [20] trình bày một cách tiếp cận dựa vào phương pháp Lagrange để xác định vị trí, và dung lượng tối ưu cho việc đặt *DG* trong hệ thống phân phối có xét đến điều kiện ràng buộc giới hạn kinh tế và giới hạn ổn định, Celli và các cộng sự [21] trình bày thuật toán đa mục tiêu sử dụng giải thuật Gen (GA) để xác định vị trí và công suất của *DG* trong khi kết nối vào hệ thống phân phối. Wang và Nehrir [22] đề xuất một phương pháp phân tích để xác định vị trí tối ưu để kết nối *DG* trong hệ thống phân phối cho tổn thất điện năng giảm thiểu. Agalgaonkaret al. [23] đã trình bày phương pháp xác định vị trí và khả năng đáp ứng công suất của *DG* thông qua sử dụng SMD. M. Padma Latitha và các cộng sự cũng đã trình bày việc sử dụng thuật toán PSO để tìm vị trí và công suất của *DG*. Việc lựa chọn vị trí và điều khiển dòng công suất của *DG* là

bài toán tối ưu hóa tổ hợp phức tạp. Việc kết hợp bài toán tái cấu trúc lưới điện với việc xét đến kết nối của DG sẽ mang lại giá trị thực tiễn cao. Trong bài báo này tác giả đề xuất việc sử dụng thuật toán mô phỏng luyện kim để giải quyết bài toán tái cấu trúc có xét đến kết nối của DG vào lưới điện phân phối. Bài báo chia làm 3 phần: Trong phần 1 giới thiệu bài toán, phần 2 trình bày về mô hình bài toán tái cấu trúc lưới điện có xét đến kết nối DG, và trình bày thuật toán SA và áp dụng cho bài toán tái cấu trúc lưới điện có xét đến kết nối DG, phần 3 tác giả kiểm chứng phương pháp trên lưới điện mẫu IEEE, phần 4 kết luận.

2. Áp dụng thuật toán mô phỏng luyện kim cho bài toán tái cấu trúc lưới điện có xét đến nguồn phân tán.

A. Mô hình bài toán tái cấu trúc lưới điện có xét đến nguồn điện phân tán

Bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối là bài toán quy hoạch phi tuyến rời rạc theo dòng công suất chạy trên các nhánh [15], nhằm mục tiêu đưa ra cấu trúc vận hành tối ưu để giảm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối mà vẫn đảm bảo các yếu tố kỹ thuật của lưới điện. Việc kết nối DG vào lưới điện phân phối nhằm mục tiêu nâng cao chất lượng điện năng, tăng độ tin cậy cung cấp điện và giảm chi phí truyền tải điện năng so với việc phải cung cấp điện từ lưới điện truyền tải đến phụ tải. Công suất tối ưu của mỗi DG kết nối vào lưới điện phân phối khi thay đổi cấu trúc sẽ được xác định để đảm bảo các mục tiêu trên.

Đầu vào:

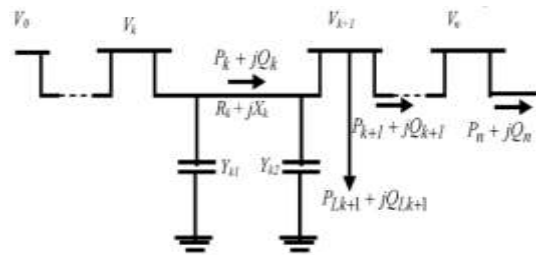
- Sơ đồ lưới điện.
- Các thông số của các thiết bị, như đường dây, máy biến áp, nguồn, phụ tải, các thiết bị bù, các thiết bị đóng cắt vv...
- Trạng thái của các thiết bị đóng cắt trên lưới.
- Tổn thất công suất của cấu trúc đang vận hành
- Vị trí các DG kết nối vào lưới điện phân phối, các thông số chính của DG.

Kết quả:

- Trạng thái mới của các thiết bị đóng cắt
- Công suất của các DG kết nối vào lưới điện phân phối
- Tổn thất công suất thỏa mãn hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc.

Xây dựng hàm mục tiêu:

Xét trong trường hợp không có DG



H1: Sơ đồ lưới điện không có nguồn phân tán

- Xét tổn thất lưới trước khi tái cấu trúc lưới điện

Tổn thất công suất của lưới hình tia được tính như sau

$$P_{Loss} = \sum_{k=1}^n P_{Loss(k,k+1)}$$

Trong đó:

$$P_{Loss(k,k+1)} = R_k \cdot \frac{(P_k^2 + Q_k^2)}{U_k^2}$$

Là tổn thất trên từng nhánh

P_k, Q_k là công suất tác dụng và công suất phản kháng tại nút k

U_k là điện áp tại nút k

- Xét tổn thất lưới sau khi tái cấu trúc lưới điện

$$P'_{Loss} = \sum_{k=1}^n P'_{Loss(k,k+1)} \tag{1}$$

Trong đó:

$$P'_{Loss(k,k+1)} = R_k \cdot \frac{(P'_k{}^2 + Q'_k{}^2)}{U'_k{}^2}$$

Là tổn thất trên từng nhánh

P'_k, Q'_k là công suất tác dụng và công suất phản kháng tại nút k

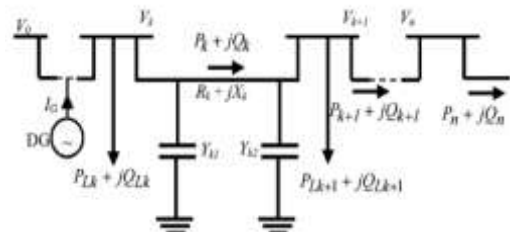
U'_k là điện áp tại nút k

Do đó phần công suất giảm được do tái cấu trúc lưới điện:

$$\Delta P_{RO, Loss} = \sum_{k=1}^n P_{Loss(k,k+1)} - \sum_{k=1}^n P'_{Loss(k,k+1)} \tag{2}$$

$$= \sum_{k=1}^n R_k \cdot \frac{(P_k^2 + Q_k^2)}{U_k^2} - \sum_{k=1}^n R_k \cdot \frac{(P'_k{}^2 + Q'_k{}^2)}{U'_k{}^2}$$

Xét trong trường hợp có kết nối DG



H2: Sơ đồ lưới điện có kết nối nguồn phân tán

Giả sử với cấu trúc hình tia tìm được, DG được kết nối vào nhánh tia l tại nút m ($m \in l$), khi DG hoạt động, dòng điện trên các nhánh thuộc tia l thay đổi:

$$I_{li}^{new} = I_{li} + D_i \cdot I_{DG}$$

Trong đó: I_{li} là dòng điện khi chưa kết nối DG

I_{DG} là dòng khi DG hoạt động

$D_i = 1$ nếu nhánh $i \in l$, $D_i = 0$ nếu nhánh $i \notin l$

$$I_{ID} = \frac{P_{DG}}{U_m}$$

Tổn thất của trong trường hợp có kết nối DG

$$\Delta P_{DG, Loss} = \sum_{k=1}^n P''_{Loss(k,k+1)} = \sum_{j=1}^k I_j^2 R_j + \sum_{i=1}^m (I_{li} + D_i \cdot I_{DG})^2 \cdot R_i \quad (3)$$

Trong đó:

- $j = 1-k$ là tập các nhánh không có kết nối DG

- $i = 1-m$ là tập các nhánh có kết nối DG

Công suất của DG được kết nối tại nút k xác định

$$P_{k,DG} = \frac{R_k}{U_k^2} (P_i^2 + Q_i^2) + \frac{R_k}{U_k^2} (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_k \cdot P_G - 2Q_k \cdot Q_G) \frac{G}{L} \quad (4)$$

Hàm mục tiêu của bài toán tái cấu trúc lưới điện khi có kết nối DG được mô tả như sau:

$$\text{Min}(P_{\text{losse}}) = \text{Min}(\Delta P_{RO, \text{Losse}} + \Delta P_{DG, \text{Losse}}) \quad (5)$$

Các điều kiện ràng buộc:

Điều kiện đảm bảo về điện áp cho phép

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}$$

Điều kiện đảm bảo về dòng điện cho phép

$$I_i \leq I_{\max}$$

Điều kiện cân bằng công suất khi kết nối DG vào nút k

$$P_{k,DG} = \sum_{k=1}^n P_k + \sum_{k=1}^n \Delta P_{k, \text{losse}}$$

Điều kiện ràng buộc công suất của DG

$$P_{\min DG} < P_{DG} < P_{\max DG}$$

Bài toán tái cấu trúc lưới điện trở thành tìm nghiệm $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n, P_{DG1}, P_{DG2}, \dots, P_{DGm})$ để hàm mục tiêu

(5) đạt giá trị Min

Trong đó:

$(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$ là trạng thái đóng/mở của các nhánh

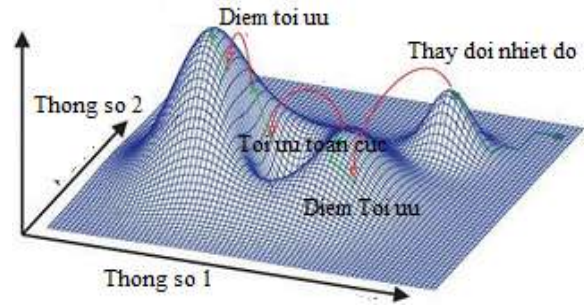
ij có giá trị là 0 hoặc 1

$P_{DG1}, P_{DG2}, \dots, P_{DGm}$ là công suất của DG khi kết nối vào nút k.

B. Thuật toán mô phỏng luyện kim

Thuật toán mô phỏng luyện kim là một giải thuật tìm kiếm xác suất, là phương pháp tối ưu hóa có thể áp dụng để tìm kiếm tối ưu toàn cục của hàm giá và tránh được tối ưu hóa cục bộ bằng việc chấp nhận một lời giải tốt hơn thông qua xác suất phụ thuộc vào nhiệt độ T.

Mô hình không gian thể hiện tối ưu toàn cục của thuật toán SA được mô phỏng như H3



H3: Mô hình không gian của thuật toán SA

Thuật toán mô phỏng luyện kim dựa trên quá trình nóng chảy và làm mát để đạt về cấu trúc bền vững của vật rắn, quá trình này có thể được mô tả qua hai giai đoạn như sau [16].

Quá trình đầu: Tăng nhiệt độ của chất rắn lên nhiệt độ cao để chất rắn nóng chảy, quá trình sau giảm nhiệt độ để cho chất rắn đạt được cấu trúc bền vững, khi đó năng lượng các phân tử ở trạng thái nhỏ nhất

Phương pháp mô phỏng luyện kim thực hiện dựa trên quá trình luyện kim của chất rắn và được xây dựng tương tự với mô hình của bài toán tối ưu, được so sánh trong bảng 1. [17], [18].

Bảng 1: So sánh quá trình vật lý và bài toán tối ưu

Quá trình vật lý	Bài toán tối ưu
Trạng thái	Cấu trúc
Năng lượng	Hàm tối ưu
Trạng thái ổn định	Nghiệm tối ưu
Quá trình chuyển trạng thái	Tìm kiếm cục bộ

Các bước thực hiện của thuật toán mô phỏng luyện kim (SA) được mô tả như sau:

Bước 1: Khởi tạo bộ đếm $i = 0$, lựa chọn nhiệt độ T_0 ban đầu (đủ lớn để đảm bảo được không gian tìm kiếm), tìm trạng thái ban đầu $x \in N$ trong đó N là không gian tìm kiếm.

Bước 2: (Quá trình Metropolis TPM): Tạo trạng thái x' theo cơ chế nhiễu loạn TPM (được trình bày ở dưới đây). Tạo một tập x' ngẫu nhiên sao cho $x' \in N$, tính toán độ chênh lệch của hàm năng lượng $\Delta C = C(x') - C(x)$ và xét dấu độ chênh lệch của hàm năng lượng. Trong đó $C(x)$ là hàm năng lượng ở trạng thái x , $C(x')$ là hàm năng lượng ở trạng thái x' . Nếu $\Delta C < 0$ thì khi đó trạng thái x' là cấu trúc tối ưu cục bộ tương ứng với hàm năng lượng $C(x')$, $x := x'$. Nếu $\Delta C > 0$, khởi tạo giá trị $R \in (0,1)$, trạng thái x' được chấp nhận nếu thỏa mãn phân bố xác suất Boltzmann

$$\exp\left(-\frac{\Delta C}{T_i}\right) > R \quad (6)$$

Bước 3: Nếu thỏa mãn bước 2, hệ thống đạt trạng thái cân bằng thì chuyển sang bước 4, ngược lại thì quay về bước 2.

Bước 4: Quá trình giảm nhiệt độ để hệ thống đạt trạng thái cân bằng tính theo công thức: $T_{i+1} = \alpha T_i$ (7)

Trong đó: α là hằng số thích nghi, T_i là nhiệt độ tại lần tính thứ i .

Bước 5: Quá trình hội tụ: Quá trình đạt được khi trạng thái cân bằng được giữ, xác định được nhiệt độ tại trạng thái cân bằng và cho kết quả nghiệm, ngược lại tăng $i = i+1$ và quay về thực hiện bước 2.

C. Áp dụng thuật toán luyện kim cho bài toán tái cấu trúc có xét đến nguồn phân tán.

Trạng thái ban đầu

Trạng thái ban đầu trước khi cấu hình lại được chọn như trạng thái ban đầu, công suất của nguồn điện kết nối vào $P_{DG}=0$

Nhiệt độ ban đầu

Để tính nhiệt độ ban đầu T_o , ta lựa chọn ngẫu nhiên 30 cấu hình khả thi x_i . Tương ứng với mỗi cấu hình đó, tính các hàm giá C_i . Tính hiệu số $\Delta C = \max$, trong đó, $\max C$, $\min C$ lần lượt tương ứng với giá trị hàm giá đạt giá trị lớn nhất và bé nhất trong số 30 cấu hình khả thi trên. Theo điều kiện Metropolis, nhiệt độ ban đầu T_o được tính như sau [19]:

$$T_o = -\Delta C / \ln(0.95)$$

Tỉ số chấp nhận. Theo [18] ta thực hiện quá trình Metropolis với số lần bằng $10(n+m)$ với $(n+m)$ trong đó n là tổng số khóa trong hệ thống và m là số lượng DG kết nối vào lưới sau đó kiểm tra tỉ số chấp nhận ở mỗi nhiệt độ. Nếu tỉ số chấp nhận tại một trạng thái nhỏ hơn 0,1 thì trạng thái đó là trạng thái cân bằng tại nhiệt độ đang khảo sát. Ngược lại, quá trình Metropolis được thực hiện tiếp tục theo công thức sau (8)

$$\text{tỉ số chấp nhận} = \frac{\text{Tổng số trường hợp được chấp nhận}}{\text{Tổng số quá trình Metropolis đã được thực hiện}} \quad (8)$$

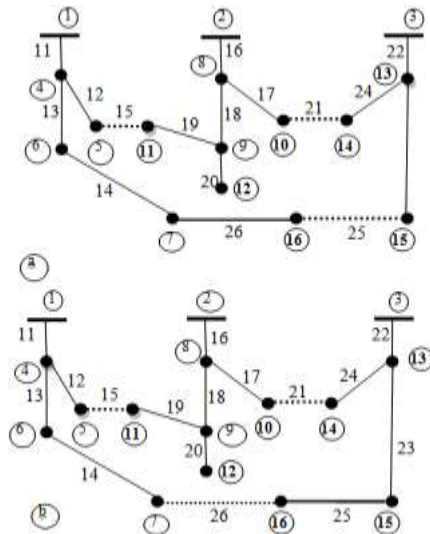
Cơ chế nhiễu loạn

Trong các hệ thống phân phối, có hai tập các khóa: tập “Tie witch” là Ω_{tie} , tập “Sectional swich” là Ω_{sec} và tập Ω_{DG} . Tập Ω_{tie} gồm các khóa ở trạng thái mở, còn tập Ω_{sec} là tập các khóa ở trạng thái đóng và Ω_{DG} là tập giá trị công suất của các DG kết nối vào lưới tương ứng. Tổ hợp các trạng thái của các khóa và công suất của DG sẽ tạo ra một cấu hình của hệ thống phân phối tại thời điểm đang xét. Để tạo ra một cấu hình mới của hệ thống phân phối, một cơ chế nhiễu loạn được sử dụng. sử dụng cơ chế nhiễu loạn của Chiang và Jean-Jumeau [12], [13] được đề xuất để thay đổi các cấu trúc tại mỗi nhiệt độ khác nhau như sau:

1. Lựa chọn ngẫu nhiên một “Switch” từ tập “Switch tie” Ω_{tie} rồi đóng nó. Switch này được chuyển từ tập Ω_{tie} sang Ω_{sec} và các giá trị của tập Ω_{DG} được giữ nguyên. Điều này tạo ra một vòng kín trong mạng phân phối.

2. Để đảm bảo tính chất hình tia của hệ thống phân phối, một trong số các “Switch” thuộc Ω_{sec} trong vòng kín phải được mở ra.

3. Cơ chế nhiễu loạn này phù hợp cho một bài toán tái cấu trúc nhưng nó lại không tận dụng được những lý thuyết về cấu trúc (Topology) của hệ thống. Giả sử tất cả các khóa thuộc tập Ω_{tie} được lựa chọn với xác suất bằng nhau. Hệ quả là quá trình tìm kiếm sẽ không được thực hiện đầy đủ trong vòng kín có kích thước lớn hơn, và ngược lại, quá trình này sẽ cho các kết quả trùng nhau trong các vòng kín có kích thước nhỏ hơn. Bởi vậy, xác suất lựa chọn các khóa thuộc tập Ω_{tie} sẽ được liên hệ với kích thước của vòng kín được hình thành tương ứng.



H4. Lưới điện IEEE 3 nguồn. (a,b trước, sau khi tái cấu trúc)

Tiếp theo, trong hình 3 nếu khóa 25 được đóng, vòng kín gồm nguồn Feeder 1, nguồn Feeder 3, các khóa 22, 23, 25, 26, 14, và 13 được tạo thành và một trong số các khóa đó phải được mở để đảm bảo tính chất hình tia của lưới điện phân phối. Ở nhiệt độ cao, cơ chế nhiễu loạn mở khóa 13 vẫn có thể được chấp nhận bởi tiêu chuẩn Metropolis, mặc dù hàm giá bị tăng. Nhưng ở nhiệt độ thấp, điều này bị từ chối. Do đó, việc tìm ra một cơ chế nhiễu loạn mà nó có thể tạo ra một cấu hình mới, được chấp nhận ở nhiệt độ thấp, là cần thiết. Từ đây, cơ chế nhiễu loạn TPM [14] được đề nghị để lựa chọn các khóa tie và sec như sau:

1. Đối với mỗi khóa *tie*, một vòng kín sẽ được hình thành sau khi đóng nó. Kích thước của vòng kín này được tính theo số lượng các khóa *sec* có trong vòng này. Xác suất lựa chọn các khóa *tie* để chuyển trạng thái (*opened* → *closed*) tỉ lệ với kích thước của vòng kín Ω_{loop} được hình thành tương ứng.
2. Từ tất cả các khóa *sec* trong Ω_{loop} , bậc của mỗi khóa *sec* S_{L_i} được tính theo khoảng cách (số lượng switch ở giữa) từ khóa *tie* tới nó. Ví dụ, khi khóa 25 được đóng, bậc của khóa 26 là 1, bậc của 14 là 2, vv..
3. Xác suất để lựa chọn các khóa *sec* để chuyển trạng thái (*closed* → *open*) được tính:

$$SW_i = \frac{S_{L_i}}{\sum_{j \in \Omega_{loop}} S_{L_j}} \quad (9)$$

Hàm giá

Các cơ cấu hình mới được tạo từ cơ chế nhiễu ở trên phải thỏa mãn các ràng buộc cấu hình. Các ràng buộc này được chia làm 3 loại: ràng buộc nguồn cung cấp - hình tia, ràng buộc về khả năng tải của đường dây, ràng buộc về giới hạn tổng số lần chuyển trạng thái từ cấu hình ban đầu sang cấu hình hiện tại và ràng buộc về điều kiện giới hạn của nguồn phát *DG*

Hàm giá được tính theo công thức (10)

$$C(x) = \begin{cases} \sum P_{loss} + \alpha A(x) + \beta B x + \gamma C(x) & n \leq L_s \\ \left[1 + \delta \frac{n - L_s}{n} \right] \sum P_{loss} + \alpha A(x) + \beta B x + \gamma C(x) & n > L_s \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ là các hệ số phạt các vi phạm ràng buộc, $A(x)$ và $B(x)$ $C(x)$ là các hàm tương ứng với các ràng buộc về nguồn cấp, khả năng tải của đường dây và ràng buộc về điều kiện nguồn cung cấp

Quá trình giảm nhiệt độ

Trong hệ thống cấu trúc chất rắn, khi ở nhiệt độ cao, chất rắn ở trạng thái thể lỏng, quá trình nguội dần của chất rắn sẽ tạo ra các cấu trúc tinh thể, khi ở nhiệt độ cao, quá trình làm mát có thể được diễn ra nhanh hơn mà không ảnh hưởng đến cấu trúc hình thành, sau đó khi các cấu trúc bắt đầu hình thành thì việc làm mát được diễn ra chậm hơn để các cấu trúc bắt đầu hình thành không bị lỗi và đạt được cấu trúc bền vững. Do đó trong bài báo này tác giả đề xuất quá trình giảm nhiệt độ như công thức (11), tại thời các thời điểm ban đầu khi $i = 1, 2, 3, \dots$ quá trình giảm nhiệt độ sẽ diễn ra nhanh, khi sắp đạt đến trạng thái cân bằng, quá trình giảm nhiệt độ sẽ chậm dần. Chính vì vậy tại thời điểm ban đầu giảm nhiệt độ, quá trình luyện kim sẽ diễn ra nhanh hơn, thuật toán sẽ nhanh hơn ở giai đoạn đầu.

$$T_{i+1} = e^{-\frac{2}{i+10}} T_i \quad (11)$$

Trong đó i là số lần giảm nhiệt độ của chất rắn

Điều kiện hết thúc:

VCCA-2015

Nếu trong quá trình giảm nhiệt độ, biểu thức sau được thỏa mãn:

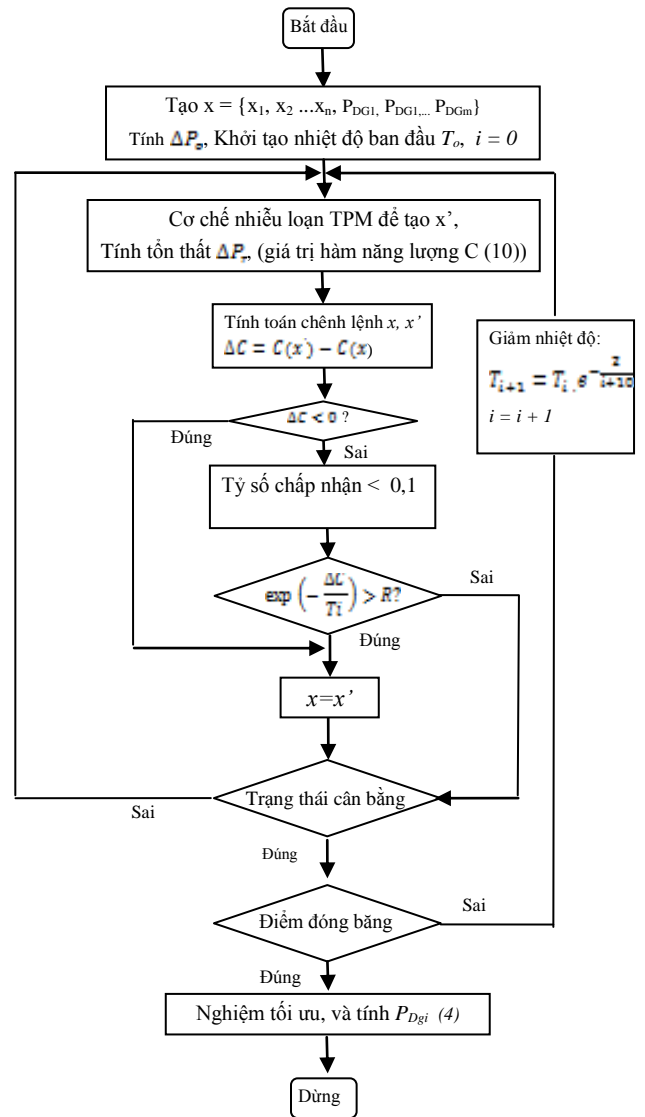
$$\left| \frac{\partial C}{\partial T} \right|_{T=T_{k-2}} + \left| \frac{\partial C}{\partial T} \right|_{T=T_{k-1}} + \left| \frac{\partial C}{\partial T} \right|_{T=T_k} < \varepsilon \quad (12)$$

với ε là một số rất nhỏ có thể được chọn tùy ý,

$\left| \frac{\partial C}{\partial T} \right|_{T=T_k}$ là trị tuyệt đối của đạo hàm riêng của hàm

giá theo T tại giá trị T_k , thì thuật toán sẽ kết thúc và cấu hình x tại thời điểm T_k chính là nghiệm tối ưu của thuật toán mô phỏng luyện kim.

Sơ đồ thuật toán đề xuất được mô tả như trong H5



H5: Lưu đồ thuật toán SA cho bài toán tải cấu trúc lưới điện có xét nguồn phân tán

Từ đó ta có thể mô hình các bước để áp dụng thuật toán mô phỏng luyện kim cho bài toán tải cấu trúc lưới điện như sau:

Bước 1: Nhập dữ liệu của lưới điện, khởi tạo một cấu trúc ban đầu của hệ thống x_0 , xác định nhiệt độ ban đầu

của thuật toán mô phỏng luyện kim, giá trị T_o đủ lớn để đảm bảo không gian nghiệm, tính toán T_o theo công thức (5)

Bước 2: Sử dụng cơ chế nhiễu loạn TPM để tạo ra lân cận x_0 là x

Bước 3: Xác định độ chênh lệch hàm năng lượng (hàm tối ưu) theo công thức: $\Delta C = C(x) - C(x_0)$

Trong đó: $C(x)$ là hàm năng lượng tương ứng (10) và kiểm tra được các điều kiện ràng buộc của hệ thống.

Bước 4: Kiểm tra điều kiện $\Delta C < 0$, nếu $\Delta C < 0$ thì thực hiện bước 6, nếu ngược lại thì thực hiện bước 5

Bước 5: Kiểm tra điều kiện xác suất phân bố Metropolis, nếu biểu thức phân bố xác suất $\exp(-\Delta C/T_i) > R$

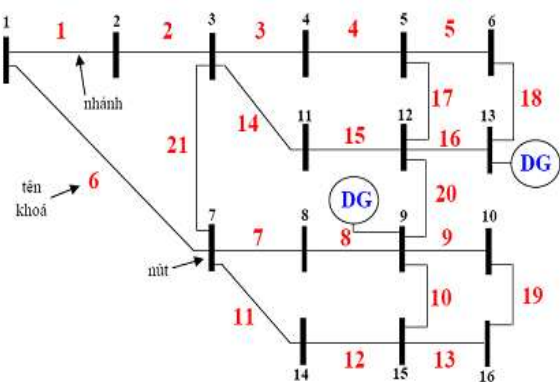
trong đó $R \in (0,1)$. Nếu biểu thức đúng thì thực hiện bước 6, nếu sai thì quay lại thực hiện bước 2.

Bước 6: (Điểm cân bằng). Cập nhật cấu hình mới của hệ thống. Nếu tỷ số chấp nhận (8) trong cấu hình mới bé hơn 0,1 thì trạng thái tại nhiệt độ đó được chấp nhận và chuyển sang bước 7, ngược lại thì quay lại bước 2

Bước 7: Kiểm tra điều kiện kết thúc (điểm đóng băng), Nếu thỏa mãn công thức (12) thì cấu hình tìm được là nghiệm của bài toán, tính toán giảm nhiệt độ theo công thức (11) và quay lại bước 2.

3. Kiểm tra trên ví dụ mẫu của IEEE

Kiểm tra trên lưới điện 16 nút, điện áp danh định 6 kV có 21 nhánh và 6 khóa mở có 2 DG do G.Cellli đề xuất được mô tả tại hình 3, số liệu nhánh và nút cho trong [3]. Trong LDTA có 2 DG, công suất phát lần lượt là 450kW ở nút 9 và 630kW ở nút 13. Quá trình tìm cấu hình vận hành giảm tổn thất công suất tác dụng được khảo sát trong 2 trường hợp không có DG và có DG. Kết quả trình tìm kiếm cấu hình tối ưu được so sánh với kết quả của [3] và đối chiếu với trình TOPO trong PSS/ADEPT 5.0 để kiểm chứng ưu điểm của thuật toán. Kết quả tổng hợp cho trong bảng 2



H6: Sơ đồ lưới điện 16 nút – IEEE

Sử dụng Matlab để xây dựng chương trình mô phỏng thuật toán mô phỏng luyện kim cho bài toán tái cấu trúc, được chạy trên Matlab R2012, cấu hình máy tính Intel® Core™ i5, RAM 4Gb, Windows 8, kết quả tính toán đáng tin cậy, hàm mục tiêu đạt giá trị cực tiểu, đưa ra được cấu hình tối ưu cho mạng điện, kết quả được so sánh với một số phương pháp khác.

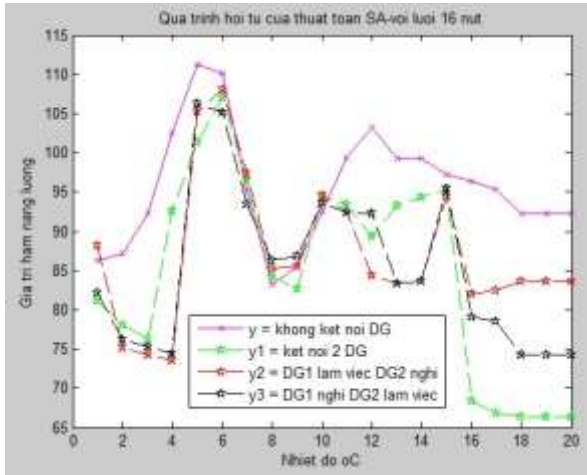
Lựa chọn các thông số $\alpha = 750; \beta = 800; \gamma = 0,1; \varepsilon = 0,1; \delta = 1;$

Kết quả tính toán được so sánh với thuật toán do G.Cellli[4] đề xuất và với công cụ tính toán Topo trong phần mềm PSS/ADEPT. Ta nhận thấy các kết quả so sánh đối với các trường hợp không có DG, có 1 DG kết nối lần lượt ở các nút số 9, số 13 và trường hợp kết nối cả 2 nút, thì kết quả nghiên cứu của thuật toán SA do nhóm tác giả đề xuất cho kết quả chính xác so với kết quả của thuật toán G.Cellli và của phần mềm PSS/ADEPT.

Bảng 2: Kết quả và so sánh G.Cellli và PSS/ADEPT

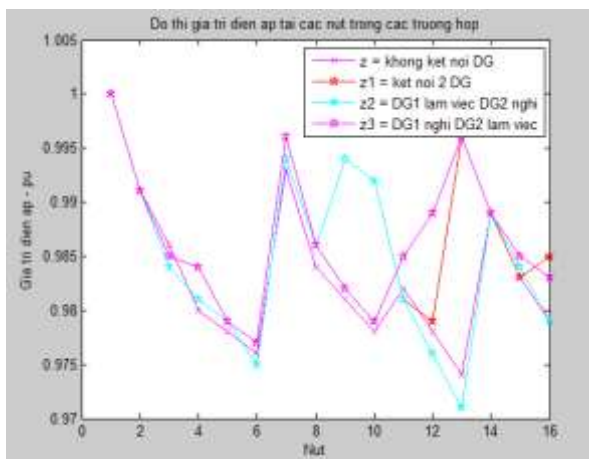
STT	Khoá mở	$\Delta P(W)$	Phương pháp	DG1 (nút 9)	DG2 (nút 13)	Ghi chú
1	2,8,9,15,16,20	114.71	GCelli[4]	0	0	Không có DG
2	2,16,17,20,10,19	93.3	Topo (PSS/ADEPT)	0	0	Không có DG
3	2,16,17,20,10,19	94.1	SA	0	0	Không có DG
4	2,8,10,15,18,20	76.1	GCelli[4]	450	630	Có cả 2 DG
5	2,17,18,20,10,19	66.5	Topo (PSS/ADEPT)	450	630	Có cả 2 DG
6	2,17,18,15,10,9	66.3	SA	450	630	Có cả 2 DG
7	2,8,10,15,16,20	102.4	GCelli[4]	450	0	DG1 làm việc, DG2 nghỉ
8	2,17,16,15,10,9	83.5	Topo (PSS/ADEPT)	450	0	DG1 làm việc, DG2 nghỉ
9	2,17,16,15,10,9	83.5	SA	450	0	DG1 làm việc, DG2 nghỉ
10	2,9,10,15,18,20	82.9	GCelli[4]	0	630	DG1 nghỉ, DG2 làm việc
11	2,17,17,20,10,19	72.1	Topo (PSS/ADEPT)	0	630	DG1 nghỉ, DG2 làm việc
12	2,17,17,20,10,19	72.1	SA	0		DG1 nghỉ, DG2 làm việc

Hình 7 mô phỏng quá trình hội tụ của thuật toán SA đối với các trường hợp không có DG, có 1 DG và 2 DG kết nối vào lưới điện phân phối, quá trình hội tụ đạt được tại nhiệt độ từ 18 đến 20 độ.



H7: Quá trình hội tụ của thuật toán SA

Hình 8 mô phỏng đồ thị điện áp tại các nút trong các trường hợp. Nhận thấy giá trị U_{min} trong các trường hợp đều nằm trong giới hạn điện áp cho phép. Tuy nhiên trong trường hợp khi có cả hai nguồn phân tán tham gia thì điện áp của các nút đảm bảo nhất và có giá trị $U_{min} = 0.85pu$.



H8: Đồ thị điện áp của các nút

4. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một giải thuật sử dụng nguyên lý mô phỏng luyện kim cho bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có xét đến ảnh hưởng của nguồn điện phân tán khi kết nối vào lưới điện. Trong nội dung trình bày, các đóng góp của bài báo đã cải tiến phần nào thuật toán mô phỏng luyện kim để kết quả tốt hơn, cụ thể: Trong cơ chế nhiễu loạn, việc lựa chọn vòng kín để mở, đã sử dụng bậc của khóa để thực hiện quá trình đóng/mở vòng kín, hàm giá của hệ thống được đưa vào (10) đảm bảo được hàm mục tiêu (5) đạt giá trị min và đảm bảo được các yếu tố ràng buộc của bài toán, thông qua các hệ số “phạt”, quá trình giảm nhiệt độ được nhóm tác giả đề xuất sử dụng theo (11), rút ngắn được thời gian khi nhiệt độ đang ở mức cao thì giảm nhanh và khi đến một mức nhiệt độ có thể VCCA-2015

đạt được cấu hình tối ưu thì nhiệt độ sẽ giảm chậm, đảm bảo không bị sai sót (lỗi) và tạo điều kiện để cho điểm cực tiểu cục bộ dễ dàng thoát ra khỏi điểm tối ưu cục bộ để tiến tới tối ưu toàn cục trong quá trình hình thành cấu trúc. Bài báo cũng đề xuất tiêu chuẩn dừng của hệ thống khi đạt được cấu trúc tối ưu (12) để bài toán hội tụ. Kết quả nghiên cứu được kiểm tra trên lưới điện mẫu của G.Celli [4] và so sánh với công cụ tính toán Topo trong phần mềm PSS/ADEPT

Tài liệu tham khảo

- [1] Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN); Báo cáo tổng kết kế hoạch năm 2014.
- [2] A. Merlin and H. Back, “Search for a Minimum Loss Operating Spanning Tree Configuration for Urban Power Distribution System,” in Proc. 5th Power Syst. Computation Conf. (PSCC), Cambridge, U.K., 1975, Paper 1.2/6.
- [3] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, “Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Losses Reduction,” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4, pp. 1402–1498, Apr. 1989.
- [4] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, and F. Pilo, “A multi-objective evolutionary algorithm for the sizing and the sitting of distributed generation,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 750–757, May 2005
- [5] K. Aoki, T. Ichimori, and M. Kanazashi, “Normal State Optimal Load Allocation in Distribution Systems,” IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-2, pp. 147–155, Jan. 1987
- [6] S. Civanlar, J. J. Grainger, and S. H. Lee, “Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction,” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, pp. 1217–1223, July 1988
- [7] M. E. Baran and F. F. Wu, “Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4, pp. 1401–1407, Apr. 1989.
- [8] C. C. Liu, S. J. Lee, and S. S. Venkata, “An Expert System Optimal Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems,” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, pp. 619–625, May 1988
- [9] S. Dai-Seub Choi; Chang-Suk Kim; Hasegawa, J; “An Application of Genetic Algorithms to The Network Reconfiguration in Distribution for Loss Minimization and Load Balancing Problem”, 1995. Proceedings of EMPD '95., 1995 International Conference on 21-23 Nov 1995 pp 562-56

- [10] Charles Daniel L., Hafeezulla Khan 1. 2 and Ravichandran S. 3, “*Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm*” - IEEE Indicon 2005 Conference. Chennai. India. Pp 619-625 II 1 3 Dec. 2005
- [11] Xiaoling Jin, Jianguo Zhao, Ying Sun, Kejun Li, Bqin “*Distribution Network Reconfiguration for Load Balancing Using Binary Particle Swarm*” Zhang 2004 International Conference on Power System Technology - POWERCON 2004 Singapore, 21-24 November 2004 pp 507-510
- [12] H. D. Chiang and R. M. Jean-Jumeau, “*Optimal Network Reconfiguration Distribution System: Part 1: A New Formulation and a Solution Methodology*,” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, pp. 1902–1909, Nov. 1990
- [13] H. D. Chiang and R. M. Jean-Jumeau “*Optimal Network Reconfigurations in Distribution System: Part 2: A Solution Algorithm and Numerical Results*”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, pp. 1568–1574, July 1990
- [14] Young-Jae Jeon*, Jae-Chul Kim, “*Application of Simulated Annealing and Tabu Search for Loss Minimization in Distribution Systems*” Sliver, Electrical Power and Energy Systems 26 (2004) pp 9 –18
- [15] Demck Bouchard and Aziz Chikhani, V.L John, M.M.A. Salama “*Applications of Hopfield Neural Networks to Distribution Feeder Reconfiguration*”, Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, ANNPS '93, pp 331-316. 1993
- [16] P.J.M. van Laarhoven and E.H.L.Aarts, *Simulated Annealing: Theory and Applications*, Reidel, Dordrecht, 1987
- [17] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatto, and M. P. Vecchi, “*Optimization by Simulated Annealing*,” Science, vol. 220, pp. 671–680, May 1983.
- [18] V. Cerny, “*Thermodynamical Approach to The Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulated Algorithm*,” J. Optim. Theory Applicat., vol. 45, no. 1, pp. 41–51, 1985.
- [19] Hong-Chan Chang and Cheng-Chien Kuo, “*Network Reconfiguration in Distribution Systems Using Simulated Annealing*” Electric Power Systems Research, pp. 227-238 Vol 29 (1994)
- [20] S. K. Goswami and S. K. Basu, “*A New Algorithm for The Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization*,” IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 3, pp. 1484–1491, Jul. 1992
- [21] W. Rosehart and E. Nowicki, “*Optimal placement of distributed generation*,” in Proc. 14th Power Systems Computation Conf., Sevilla, 2002, pp. 1–5, Section 11, paper 2
- [22] (10B1) C. Wang and M. H. Nehrir, “*Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems*,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 4, pp. 2068–2076, Nov. 2004
- [23] P. Agalgaonkar, S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, and S. A. Soman, “*Placement and penetration of distributed generation under standard market design*,” Int. J. Emerg. Elect. Power Syst., vol. 1, no. 1, p. 2004



Pham Thuong Cat is a Honorary Research Professor in Computational Sciences of Computer and Automation Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. He is the Editor-in-Chief of the Journal of

Computer Science and Cybernetics of the Vietnamese Academy of Science and Technology (VAST) and a Vice President of the Vietnamese Association of Mechatronics. His research interests include robotics, control theory, cellular neural networks and embedded control systems. He co-authored 4 books and published over 150 papers on national and international journals and conference proceedings.



Nguyen Tung Linh is born 1982. He is BS. Degree in electric industry. MS degrees in electric power system, all Ha Noi University of Technology of Viet Nam in 2005 and 2009. He has been working for Information Technology Faculty at Electric Power University from 2006 –

2015. He working in postgraduate department of Electric power university. His current research interests include: Power system, application information for power system, intelligent power system, automatic grid distribution, reconfiguration distribution network.