

GIẢI THUẬT HEURISTIC MỜ CÂN BẰNG TẢI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

Quyền Huy Ánh
Nguyễn Nhân Bôn
Dương Thanh Long
Nguyễn Ngọc Phúc Diễm

ABSTRACT

In the operation of a distribution system, transformer and feeder load balancing is important since it can reduce the risk of overloads due to load change or service restoration following a fault. To achieve load balancing, the operators must change configuration of the distribution network by change the open/close states of the switch on distribution feeders. In this paper, the new algorithm based on fuzzy approach with heuristic are proposed to reach the best configuration load balancing in very short time.

TÓM TẮT

Trong vận hành hệ thống điện phân phối, việc cân bằng tải giữa các đường dây và máy biến áp là một vấn đề rất quan trọng bởi vì nó có thể giảm rủi ro quá tải khi tải thay đổi hay khi khôi phục lưới sau sự cố. Để đạt được cân bằng tải, các điều độ viên phải thay đổi cấu trúc lưới điện vận hành bằng các thao tác đóng/mở các cặp khoá điện hiện có trên lưới. Bài báo này trình bày một giải thuật sử dụng quan hệ mờ kết hợp với Heuristic xác định các trạng thái vận hành khoá điện để nhanh chóng đạt được một cấu trúc lưới điện cân bằng nhất.

I. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện phân phối là lưới điện chuyển tải điện năng trực tiếp từ các trạm biến áp trung gian đến khách hàng. Do đó, trên đường dây phân phối luôn có nhiều loại phụ tải khác nhau (ánh sáng sinh hoạt, thương mại dịch vụ, công nghiệp, ...). Các phụ tải này được phân bố không đồng đều giữa các đường dây. Mỗi loại tải lại có thời điểm đỉnh tải khác nhau và luôn thay đổi trong ngày, trong tuần và trong từng mùa. Vì vậy, trên các đường dây, đồ thị phụ tải không bằng phẳng và luôn có sự chênh lệch về công suất tiêu thụ. Điều này gây ra quá tải đường dây và mất cân bằng trên lưới điện phân phối.

Để chống quá tải xảy ra trên lưới, điều độ viên sẽ thay đổi cấu trúc lưới điện vận hành bằng các thao tác đóng/mở các cặp khoá điện hiện có trên lưới, tải sẽ được chuyển từ đường dây hay máy biến áp

mang tải nặng sang đường dây hay máy biến áp mang tải nhẹ. Do đó, tải trên đường dây và máy biến áp sẽ cân bằng, rủi ro quá tải có thể được giảm.

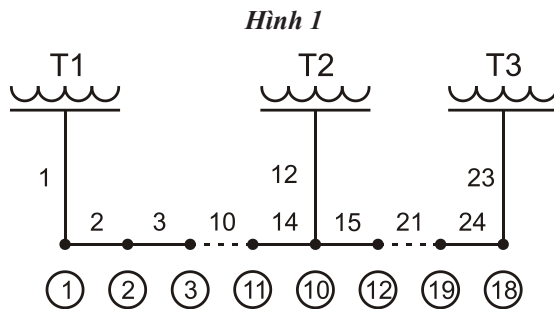
Có nhiều phương pháp tái cấu trúc lưới điện phân phối chống quá tải được đề nghị như: giải thuật tối ưu [1], quy tắc Heuristic [3], và hệ chuyên gia [4]. Bên cạnh những ưu điểm như có thể giảm không gian tìm kiếm, kết quả khá chính xác, còn có các hạn chế như phải giải lại bài toán phân bố công suất nhiều lần, thời gian giải lâu, số vòng lặp nhiều, dễ rơi vào cực tiểu địa phương.

Bài báo này trình bày một giải thuật heuristic mờ xác định các trạng thái vận hành khoá điện để nhanh chóng đạt được một cấu trúc lưới điện vận hành cân bằng nhất. Giải thuật này có ưu điểm: Chỉ giải bài toán phân bố công suất một lần duy nhất, thời gian tính toán nhanh, có khả năng tránh được cực tiểu địa phương và nhanh chóng tiến tới cực trị toàn cục.

II. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

1. Mô tả lưới điện phân phối

Xét một lưới điện phân phối đơn giản gồm có 3 nguồn và nhiều khoá điện như hình 1.



Việc chuyển tải giữa các đường dây và máy biến áp được thực hiện bằng cách đóng khóa điện thường mở và mở khóa điện thường đóng. Ví dụ, để chống quá tải trên máy biến áp T2, ta có thể chuyển tải từ máy biến áp T2 sang máy biến áp T1 hoặc T3 bằng cách đóng khóa điện 21 mở khóa 15 hoặc đóng khóa điện 10 mở khóa 14. Do đó, việc chuyển tải là cần thiết để chống quá tải tạo cân bằng tải khi tái cấu trúc lưới sau sự cố.

2. Hàm đánh giá mức độ cân bằng tải

Cấu trúc lưới điện có mức độ quá tải lưới hay máy biến thế nguồn bé nhất là cấu trúc lưới có mức độ cân bằng tải tốt nhất. Theo Tim Taylor [4] đề nghị một hàm mục tiêu chỉ xem xét đến cân bằng tải giữa các máy biến áp nguồn của lưới điện phân phối. H. Yuan-Yih Hsu [3] cũng sử dụng hàm mục tiêu tương tự ở [4] nhưng áp dụng cho toàn bộ phần tử lưới điện gồm máy biến áp, khoá điện, đường dây.

Nhưng đơn giản và hiệu quả nhất có lẽ là giải thuật của Baran [5]. Ông đã thành lập được mối quan hệ giữa cân bằng tải và cực tiểu tổn thất. Baran cho rằng khi tổn thất công suất nhỏ nhất thì tương ứng với cân bằng tải tốt nhất. Baran đề nghị hàm mục tiêu cân bằng tải như sau:

Min C_b :

$$C_b = \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{S_i^{max}} \right)^2 = \sum_{i=1}^N \frac{P_i^2 + Q_i^2}{S_i^{max2}} = \sum_{i=1}^N \frac{I}{S_i^{max2}} (P_i^2 + Q_i^2) = \sum_{i=1}^N A_i (P_i^2 + Q_i^2) \quad (1)$$

$$\text{với } A_i = \frac{I}{S_i^{max2}} \text{ và } \frac{I}{S_i^{max2}}$$

là khả năng mang tải của nhánh thứ i . Hàm mục tiêu cân bằng tải như sau, với

$$\left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \text{ đã chứng minh [6].}$$

Min S_{cb} :

$$S_{cb} = \sum_{h=1}^K (P_h^2 + Q_h^2) \times \left[\left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \right]^2$$

với P_h, Q_h : là công suất bơm vào/rút ra tại khoá điện mở.

III. GIẢI THUẬT HEURISTIC MỜ

1. Các điều kiện vận hành trong quan hệ Mờ

Một cấu trúc lưới điện phân phối được gọi là cân bằng tải nếu tải trên máy biến áp và đường dây không vượt quá công suất định mức của máy biến áp và đường dây đó. Để nhanh chóng đạt được một cấu trúc có độ cân bằng tải tốt ta cần phải xem xét đồng thời đến tất cả các điều kiện như: mức độ cân bằng tải, lượng công suất chuyển tải và mức độ quá tải. Suy ra luật mờ chọn cặp khoá đóng/mở tốt nhất cho từng bước lặp được xác định như sau:

NẾU ΔS_{cb} lớn VÀ S_i lớn VÀ γ lớn THÌ chuyển tải μ (cặp khoá đóng/mở được chọn) = $\text{Max} \{ \text{Min}(\mu(\Delta S_i), \mu(S_i), \mu(\gamma)) \mid i = 1, \dots, K \}$.

2. Biến ngôn ngữ

a. Mức độ cân bằng tải

Nếu một cấu trúc lưới điện có độ lệch công suất theo công thức (3) mà lớn nhất thì cấu trúc lưới đó có mức độ cân bằng tải tốt. Điều này được thể hiện bằng hàm quan hệ mờ như hình 2.

$$\Delta S_{cb,h} = \sum_{i=1}^n S_{cbi} - \sum_{j=1}^n S_{cbj} \quad (3)$$

(i, j lần lượt là cấu trúc trước và sau khi chuyển tải)

b. Công suất chuyển tải

Nếu một cấu trúc lưới điện có khả năng chuyển tải một lượng công suất lớn nhất (β_i) trên nhánh quá tải sang nhánh không quá tải mà không gây ra quá tải trên các nhánh khác thì cấu trúc đó nhanh chóng cân bằng tải khi tải cấu trúc lưới sau sự cố.

$$\text{Max}(\beta_i) = S_i - S_j \quad (4)$$

β_i : Lượng công suất chuyển tải.

S_i : Lượng công suất lớn nhất chạy qua khoá điện mở ban đầu.

S_j : Lượng công suất bé nhất chạy qua khoá điện kín.

Điều này được thể hiện bằng hàm quan hệ mờ như hình 3.

c. Mức độ quá tải

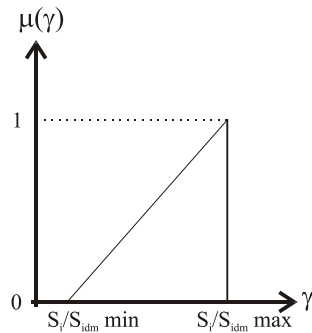
Nếu một tuyến dây có $\gamma = S_i/S_{idm}$ lớn nhất thì tuyến dây đó bị quá tải nhiều nhất.

$$\text{Max}(\gamma) = S_i/S_{idm} \quad (5)$$

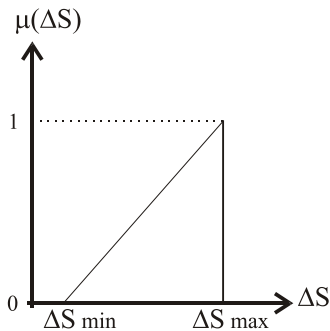
S_{idm} : công suất định mức trên nhánh i .

S_i : công suất thực trên nhánh i .

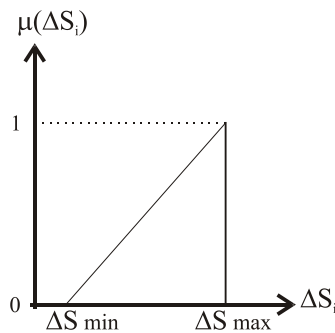
Điều này được thể hiện bằng hàm quan hệ mờ như hình 4.



Hình 2: Hàm mờ quá tải



Hình 3: Hàm mờ mức độ cân bằng tải



Hình 4: Hàm mờ chuyển tải công suất

3. Trình tự giảm hàm S_{cb}

Trong đó MN, KL lần lượt là khoá điện mở và đóng

$$S_{MN_h} = \sum_{h=1}^K \left[P_{MN_h} \left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \right]^2 + \sum_{h=1}^K \left[Q_{MN_h} \left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \right]^2$$

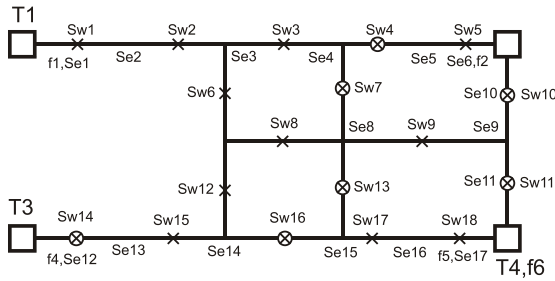
$$S_{KL_h} = \sum_{h=1}^K \left[P_{KL_h} \left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \right]^2 + \sum_{h=1}^K \left[Q_{KL_h} \left(\frac{I}{S_h^{max2}} \right)^{loop} \right]^2$$

Phát biểu Heuristic giảm giá trị hàm S từng bước: “Thay lần lượt giá trị S_{MN_h} bằng S_{KL_h} bé hơn khi nhánh MN_h và KL_h cùng vòng độc lập h , khoá điện trên nhánh KL_h đủ khả năng thao tác Mở trong khi chuyển

tải, xét K vòng độc lập cùng lúc. Quá trình kết thúc khi S_{MNH} là bé nhất.

IV. VÍ DỤ KIỂM TRA

Để kiểm tra tính đúng đắn của giải thuật heuristic mờ, bài toán kiểm tra dựa trên mạng mẫu 4 nguồn được trích từ tạp chí IEEE Vol.8 May 1993. Sơ đồ lưới điện ví dụ tại hình 5.



- Máy biến áp chính
- ⊗ Khóa điện mở
- × Khóa điện đóng
- f_i Đường dây f_i
- Se_i Đoạn dây Se_i
- Sw_i Khóa điện Sw_i

Trong lưới điện này gồm có:

- Máy biến áp nguồn ($T_j, j = 1, 2, 3, 4$)
- Lộ ra ($f_i, i = 1, 2, \dots, 6$)
- Đường dây với các phụ tải phân bố đều và có công suất tải: 1 MVA ($sek, k = 1, 2, \dots, 17$)
- Khóa điện liên kết trong mạng ($SW_i, i = 1, 2, \dots, 18$)

Máy biến áp và nhánh	Công suất định mức (RC)
T_1, T_2, T_3, T_4	6MVA
$f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$	4MVA

Sau khi nhập kết quả và chạy chương trình, được kết quả trình bày trong bảng 1.

Nhận xét:

1. Kết thúc lần lặp 1 và 2, cả hai giải thuật heuristic mờ và Yuan-Yih-Hsu đều cho cấu trúc có khả năng chống quá tải như

nhau. Riêng giải thuật Yuan-Yih-Hsu đã chấm dứt chuyển tải sau khi kết thúc lần lặp 2. Trong khi giải thuật heuristic mờ còn đề nghị thêm 1 lần lặp nữa (bước 3) để chuyển tải nâng cao mức độ cân bằng tải.

2. Mặc dù giải thuật của Yuan-Yih-Hsu đề nghị là giải thuật cân bằng tải nhưng nó không chỉ ra được cấu trúc cân bằng tải mà chỉ dừng lại ở cấu trúc chống quá tải. Điều này chứng tỏ rằng, giải thuật của Yuan-Yih-Hsu bị rơi vào cực trị địa phương còn giải thuật đề nghị có khả năng tiến tới cực trị toàn cục.

3. Ở giải thuật đề nghị, có thể dừng lại trong lần lặp 2 nếu như điều độ viên muốn số lần chuyển tải là ít nhất mà vẫn đảm bảo chống quá tải. Hơn nữa, số lượng tính toán trong giải thuật đề nghị ít hơn vì chỉ giải bài toán phân bố công suất mạch kín một lần duy nhất.

Như vậy, so sánh với kết quả của Yuan – Yih - Hsu thì giải thuật đề nghị cho kết quả chống quá tải hay cân bằng tải giữa các tuyến dây và máy biến áp tốt hơn, nhanh chóng tiến tới cực trị toàn cục trong khi giải thuật của Yuan–Yih–Hsu bị rơi vào cực trị địa phương.

V. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày giải pháp biến đổi hàm mục tiêu để tận dụng ưu thế giải thuật heuristic vòng kín kết hợp với quan hệ mờ có thể nhanh chóng tìm ra được cấu trúc lưới điện cân bằng tải tốt nhất. Kết quả kiểm tra ở ví dụ của Yuan – Yih – Hsu đã chứng tỏ điều này. Kết quả cụ thể thực tế trên lưới điện của Điện lực Phú Thọ – Công ty Điện Lực TP.HCM đã mang lại kết quả bước đầu.

Trong quá trình chuyển tải, giải thuật còn xét đến mức độ quá tải của từng nhánh, điều này làm lưới vừa đạt được mức độ cân bằng tải tốt và hạn chế được quá tải cục bộ trên từng nhánh dây.

Lần lặp	Khóa mở thay đổi	Tuyển dây						
		Yuan - Yih - Hsu						
		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	
1	14 → 6	1	0.5	0.25	1.5	0.75	0.25	Còn quá tải
2	10 → 8	1	0.25	0.75	1	0.75	0.25	Hết quá tải
Khóa mở		6, 11, 13, 16, 7, 8, 4						
Thao tác	Khóa mở thay đổi	Heuristic mở						
1	10 → 6	1	0.5	1.5	0.25	0.75	0.25	Còn quá tải
2	14 → 12	1	0.5	1	0.75	0.75	0.25	Hết quá tải
3	4 → 3	0.75	0.75	1	0.75	0.75	0.25	Cân bằng tải
Khóa mở		6, 11, 13, 16, 7, 12, 3						

Bảng 1: So sánh kết quả của ví dụ trong hình 3

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Aoki, K., H. Kuwabara, T. Satoh and M. Kanezashi, "An Efficient Algorithm for Load Balancing of Transformers and Feeders by Switch Operation in Large Scale Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, 3-4, October 1988, pp. 1865-1872.
- [2] Shirmohammadi, Q. Zhou D. and Liu W.H. E, "Distribution Feeder Reconfiguration For Service Restoration And Load Balancing", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [3] Hsu, Y.-Y., J.-H. Yi, S. S. Liu, Y. W. Chen. H. C. Feng and Y. M. Lee, "Transformer and Feeder Load Balancing Using Heuristic Search Approach", IEEE Transactions on Power Systems, 8-1, February 1993, pp. 184-190.
- [4] Taylor, T. and D. Lubkeman, "Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration", IEEE Transactions on Power Delivery, 5-1, January 1990, pp. 239-246
- [5] Baran, M. E. and F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Transactions on Power Delivery, 4-2, April 1989, pp. 1401- 1407.
- [6]. Trương Việt Anh - Quyền Huy Anh - Nguyễn Bội Khuê, "Hàm F và giải thuật Heuristic vòng kín tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất công suất", Tạp chí Khoa học & Công nghệ 48+49/2004.