

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

TRẦN THẾ TÙNG

**TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI
SỬ DỤNG CÁC THUẬT TOÁN TỐI ƯU**

Ngành: Kỹ thuật điện

Mã số ngành: 60520202

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn: Phó Giáo sư – Tiến sĩ Võ Ngọc Điều

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

CHƯƠNG 1 GIỚI THIỆU

1.1 Đặt vấn đề

Lưới điện phân phối (LĐPP) là hệ thống trực tiếp cung cấp điện cho khách hàng, có tổng chiều dài lớn nhất trong toàn bộ lưới điện Việt Nam. Do đó, giảm tổn thất trên LĐPP có ý nghĩa rất quan trọng trong việc giảm tổn thất trên toàn bộ hệ thống điện. Nhiều phương pháp để giảm tổn thất công suất và nâng cao độ tin cậy trên LĐPP đã được thực hiện nhưng lại tốn các chi phí đầu tư và lắp đặt thiết bị như: nâng cao điện áp vận hành lưới điện phân phối, tăng tiết diện dây dẫn, hoặc lắp đặt tụ bù nhằm giảm truyền tải công suất phản kháng trên lưới điện. Trong khi đó, tái cấu trúc lưới là phương pháp không cần chi phí để cải tạo lưới điện, bằng cách đóng hoặc mở các cặp khóa điện có sẵn trên lưới cũng làm giảm tổn thất công suất và đảm bảo các yêu cầu vận hành lưới điện.

Nguồn phân tán thường được sử dụng như những nguồn phát nhỏ có công suất từ vài kW đến khoảng 50 MW và được đặt gần nơi tiêu thụ điện năng. Việc kết nối DG vào LĐPP trở nên phổ biến hơn bởi vì những tác động tích cực đến LĐPP mà nó đem lại chẳng hạn như giảm tổn thất công suất, tăng cường độ tin cậy và cải thiện chất lượng điện áp của hệ thống. Hiện nay, đã có rất nhiều phương pháp từ cổ điển đến trí tuệ nhân tạo được áp dụng cho các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối, các phương pháp với nhiều cải tiến để giải các bài toán phức tạp hơn về hàm mục tiêu, về các ràng buộc và độ lớn của hệ thống. Do đó, cần tìm ra một phương pháp hiệu quả để giải quyết bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán với các hàm mục tiêu và kịch bản khác nhau.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Luận án nghiên cứu tập trung vào các mục tiêu chính:

- Xây dựng bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối với các hàm mục tiêu (đơn mục tiêu và đa mục tiêu) có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán.
- Xây dựng thuật toán SFS, SFS cải tiến, SOS và NSSFS để áp dụng thành công giải bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối.

1.3 Phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu áp dụng giải bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất tác dụng.
- Nghiên cứu áp dụng giải bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm đa mục tiêu: giảm tổn thất công suất tác dụng, giảm độ lệch điện áp, và tăng chỉ số ổn định điện áp.
- Nghiên cứu áp dụng cho bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất công suất tác dụng có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán.

1.3.1 Phương pháp nghiên cứu

- Đối với bài toán tái cấu trúc LĐPP đơn mục tiêu, Luận án nghiên cứu sử dụng các phương pháp meta-heuristic như là: phương pháp Stochastic Fractal Search (SFS); Chaotic SFS (CSFS); và Phương pháp Symbiotic Organisms Search (SOS) để giải các bài toán đề ra.
- Đối với bài toán tái cấu trúc LĐPP đa mục tiêu, Luận án phát triển giải thuật đa mục tiêu Nondominated sorting SFS (NSSFS) bằng cách kết hợp kỹ thuật sắp xếp nhanh không vượt trội (fast non-dominated sorting), phương pháp dùng khoảng cách mật độ (crowding distance), và cơ chế lựa chọn (selection mechanism) vào thuật toán SFS để tìm kiếm lời giải Pareto tốt nhất. Bên cạnh đó, các thuật toán MOPSO, NSGA-II và MOMVO cũng được áp dụng để so sánh với thuật toán NSSFS.

1.4 Các đóng góp của Luận án

Luận án có những đóng góp chính như sau:

- Áp dụng thành công các phương pháp thông minh nhân tạo SFS, SOS, và CSFS để giải bài toán cấu trúc đơn mục tiêu, đặc biệt cho mạng điện lớn và phức tạp.
- Phát triển thành công thuật toán thông minh nhân tạo đa nhiệm vụ là Nondominated Sorting Stochastic Fractal Search Algorithm (NSSFS) để giải

bài toán tối ưu đa mục tiêu. Áp dụng để giải bài toán tái cấu trúc đa mục tiêu có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán DG.

- Xây dựng thành công bài toán “Tái cấu trúc lưới điện phân phối” xét đến nguồn điện phân tán DG với nhiều kịch bản khác nhau áp dụng cho các mạng điện lớn phức tạp.

1.5 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

1.5.1 Ý nghĩa khoa học

Luận án đóng góp các thuật toán thông minh là SFS, CSFS, và SOS để giải bài toán cấu trúc đơn mục tiêu, và thuật toán NSSFS để giải bài toán cấu trúc đa mục tiêu. Việc tìm được một thuật toán có khả năng tìm ra được lời giải toàn cục luôn là một thách thức mang ý nghĩa khoa học cao.

1.5.2 Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng làm tài liệu tham khảo cho các Công ty điện lực, Công ty Tư vấn thiết kế Điện, các học viên cao học, nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật Điện khi quan tâm đến bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối.

1.6 Bố cục của Luận án

Luận án được trình bày gồm 6 chương, với nội dung chính như sau: Giới thiệu; Tổng quan; Các phương pháp tối ưu; Tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm đơn mục tiêu; Tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm đa mục tiêu có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán; Kết luận và hướng phát triển

CHƯƠNG 2 TỔNG QUAN

2.1 Giới thiệu

Giải bài toán tái cấu trúc LĐPP là việc đi tìm cấu trúc tối ưu mới của lưới điện bằng cách thay đổi trạng thái đóng/mở của các khóa điện để từ đó tổn thất công suất là ít nhất nhưng vẫn đảm các điều kiện ràng buộc vận hành của hệ thống.

2.2 Các phương pháp nghiên cứu bài toán tái cấu trúc LĐPP

Bài toán tái cấu trúc LĐPP được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau, tập trung vào hai nhóm phương pháp chính: heuristic và meta-heuristic.

- Các nghiên cứu giải bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối: Phương pháp đổi nhánh, phương pháp kỹ thuật vòng kín, phương pháp Tabu Search, phương pháp di truyền (GA), phương pháp logic mờ, phương pháp tối ưu hóa bầy đàn (PSO) ...
- Các nghiên cứu giải bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có xét ảnh hưởng của nguồn phân tán: Phương pháp harmony search, firework algorithm, Cuckoo search, Artificial Bees Colony...
- Các nghiên cứu giải bài toán tái cấu trúc LĐPP với hàm đa mục tiêu: Phương pháp Multi-Objective Invasive Weed Optimization, Runner-root, Honey Bee Mating Optimization và Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO-HBMO), ...

2.3 Các vấn đề giải quyết trong luận án

Tổng quan các nghiên cứu giúp xác định vấn đề cần giải quyết trong luận án:

2.3.1 Hàm mục tiêu

Các nghiên cứu về bài toán tái cấu trúc LĐPP thường xây dựng bài toán với hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất tác dụng. Các hàm mục tiêu khác như là chỉ số ổn định điện áp (VSI), sai lệch điện áp nút, cân bằng tải giữa các nhánh, số khóa mở, chi phí vận hành, phát thải ô nhiễm,... Giải của bài toán đa mục tiêu sẽ giúp cho các nhà quản lý có nhiều sự lựa chọn để quy hoạch LĐPP hiệu quả hơn. Do đó, Luận án mô hình bài toán tái cấu trúc LĐPP với hàm đơn và đa mục tiêu có xét ảnh hưởng của nguồn điện phân tán.

2.3.2 Phương pháp giải

Bài toán tái cấu trúc LĐPP là bài toán tối ưu phức tạp khi có đến 2^n lời giải khả thi (n là tổng số khóa điện). Tìm được lời giải tối ưu trong khi vẫn thỏa mãn điều kiện ràng buộc hình tia và vận hành là một thách thức với các phương pháp giải. Hơn nữa, vấn đề tìm vị trí đặt và công suất tối ưu của các nguồn điện phân tán DG là vấn đề tối ưu hóa phi tuyến và số nguyên kết hợp. Do đó bài toán tái cấu trúc có xét đến nguồn phân tán DG càng phức tạp hơn

Hiện nay, các phương pháp meta-heuristic có ưu điểm tìm được lời giải tối ưu toàn cục tốt với tốc độ hội tụ nhanh, phù hợp với các bài toán tối ưu phức tạp. Trong luận án, hai thuật toán tối ưu mạnh mẽ là SFS và SOS sẽ được giới thiệu để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP có xét đến nguồn điện phân tán DG.

Về việc giải bài toán tái cấu trúc đa mục tiêu, đa số các phương pháp giải hiện nay dựa vào phương pháp tổng trọng số (weighted sum) và phương pháp Pareto (Pareto front). Trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu đa nhiệm vụ, phương pháp Pareto front thì phù hợp hơn nhiều so với phương pháp tổng trọng số. Luận án này sẽ phát triển thuật toán SFS thành phiên bản đa nhiệm vụ dựa vào phương pháp Pareto để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP đa mục tiêu.

2.4 Tổng kết

Chương này trình bày các nghiên cứu trên thế giới tính đến thời điểm hiện nay về các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối được xem xét trong luận án. Các nghiên cứu được thực hiện với nhiều hàm mục tiêu, ràng buộc, và các kịch bản khác nhau. Chương này cũng trình bày các luận điểm quan trọng về phương pháp giải bài toán tái cấu trúc sẽ được dùng trong Luận án.

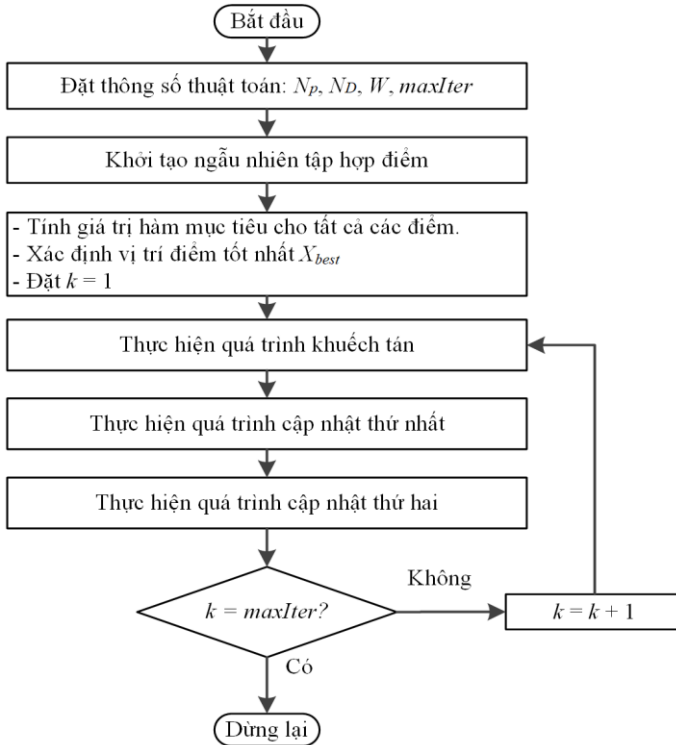
CHƯƠNG 3 CÁC PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU

3.1 Giới thiệu

Chương này giới thiệu các thuật toán tối ưu để giải bài toán tái cấu trúc LDPP. Các thuật toán SFS, SFS cải tiến, SOS và thuật toán NSSFS được trình bày.

3.2 Thuật toán Stochastic Fractal Search

Thuật toán SFS bao gồm hai quá trình chính là quá trình khuếch tán (diffusion) và quá trình cập nhật (updating).



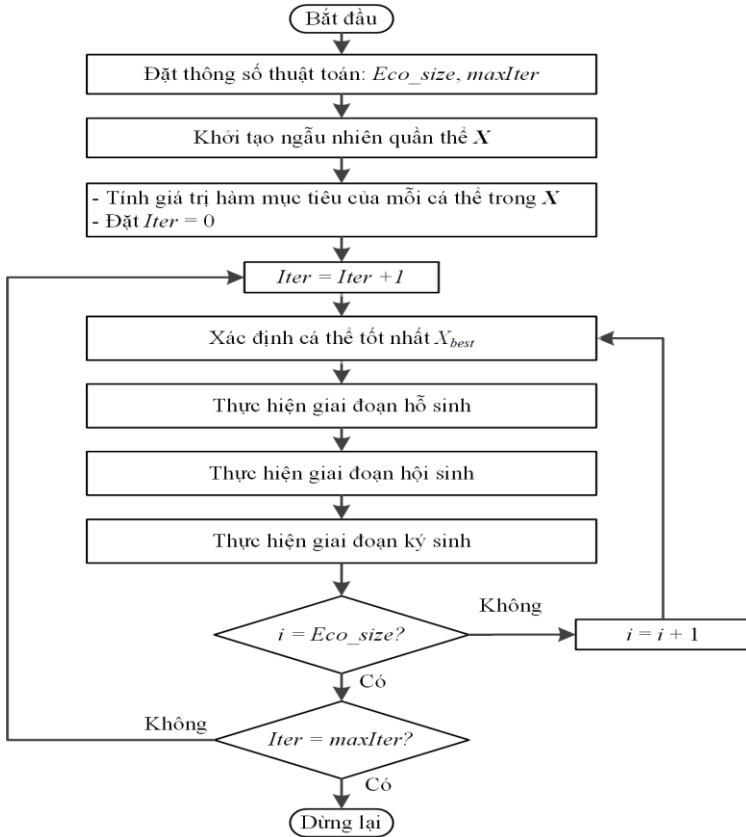
Hình 3.1 Lưu đồ giải thuật SFS

3.3 Thuật toán SFS cải tiến dựa trên Chaotic

Thuật toán Chaotic Stochastic Fractal Search (CSFS) được cải tiến từ SFS khi thay các hệ số ngẫu nhiên trong quá trình khuếch tán và cập nhật của SFS bằng biến x của các bản đồ hỗn loạn (Chaotic map).

3.4 Thuật toán Symbiotic Organism Search

Thuật toán tìm kiếm dựa trên quan hệ sinh vật cộng sinh (SOS) là thuật toán mô phỏng các quan hệ cộng sinh (hỗ sinh, hội sinh, và ký sinh) giữa hai cá thể để tìm ra lời giải tối ưu.



Hình 3.2 Lưu đồ giải thuật SOS

3.5 Thuật toán Non-dominated Sorting Stochastic Fractal Search

Thuật toán Non-dominated Sorting Stochastic Fractal Search (NSSFS) được phát triển để giải quyết các bài toán tối ưu đa mục tiêu bằng cách kết hợp kỹ thuật sắp xếp nhanh không vượt trội (fast non-dominated sorting), phương pháp dùng khoảng cách mật độ (crowding distance), và cơ chế lựa chọn (selection mechanism) từ thuật toán NSGA-II để tìm kiếm lời giải Pareto tốt nhất.

Thuật toán 1: Pseudocode của thuật toán NSSFS

```
1: Cài đặt các thông số điều khiển: Số điểm ( $N_p$ ), số khuếch tán ( $N_D$ ), số vòng lặp tối đa ( $G$ ), và số bước Gaussian ( $W$ ).
2: Khởi tạo ngẫu nhiên tập quần thể ( $\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_{N_p}]^T$ );
3: Tính toán giá trị hàm mục tiêu cho từng điểm  $X_i$  ( $i = 1, \dots, N_p$ ) trong tập quần thể;
4: Xác định điểm tốt nhất ( $X_{best}$ ) là điểm có khoảng cách mật độ tốt nhất từ front không vượt trội đầu tiên;
5: Set  $g = 0$ ;
6: While ( $g < G$ )
    % Quá trình khuếch tán %
7:   for  $i = 1 : N_p$ 
8:     for  $m = 1 : N_D$ 
9:       Tạo ra điểm mới theo biểu thức (3.1);
10:      Lờ giải tốt nhất được tạo ra từ quá trình khuếch tán cho mỗi điểm ( $X_i$ ) được giữ lại như là  $X_{new}$  và các lờ giải còn lại được thêm vào tập quần thể phụ;
11:    end
12:    Cập nhật điểm tốt nhất ( $X_{best}$ );
13:  End
  % Quá trình cập nhật thứ nhất %
14:  Tất cả các điểm được xếp hạng theo biểu thức (3.3);
15:  for  $i = 1 : N_p$ 
16:    if  $rand(0,1) > Pa_i$ 
17:      Cập nhật thành phần  $j$  trong  $X_i$  theo biểu thức (3.4);
18:    else
19:      Không làm gì;
20:    end
21:  end
22:  Nếu điểm mới vượt trội điểm hiện tại, thì điểm mới sẽ thay thế ngay lập tức trong tập quần thể hiện tại và điểm hiện tại sẽ được thêm vào tập quần thể phụ. Ngược lại, điểm mới sẽ được thêm vào tập quần thể phụ;
23:  Cập nhật điểm tốt nhất ( $X_{best}$ );
  % Quá trình cập nhật thứ hai %
24:  Tất cả các điểm được tạo ra trong quá trình cập nhật thứ nhất được xếp hạng theo biểu thức (3.3);
25:  for  $i = 1 : N_p$ 
26:    if  $rand(0,1) > Pa_i$ 
27:      Cập nhật vị trí theo biểu thức (3.5);
28:    else
29:      Không làm gì;
30:    end
31:  end
32:  Nếu điểm mới vượt trội điểm hiện tại, thì điểm mới sẽ thay thế ngay lập tức trong tập quần thể hiện tại và điểm hiện tại sẽ được thêm vào tập quần thể phụ. Ngược lại, điểm mới sẽ được thêm vào tập quần thể phụ;
33:  Cập nhật điểm tốt nhất ( $X_{best}$ );
34:  Hợp nhất quần thể hiện tại và quần thể phụ. Chọn số lờ giải tốt nhất  $N_p$  từ tập quần thể sau hợp nhất để tạo ra tập quần thể mới dựa vào cơ chế lựa chọn;
35:   $g = g + 1$ ;
36: End
```

Hình 3.3 Pseudocode của thuật toán NSSFS

3.6 Tổng kết

Chương này đã trình bày các phương pháp tối ưu là thuật toán SFS, CSFS, và SOS để giải bài toán tái cấu trúc LDPP đơn mục tiêu. Thuật toán SFS gồm hai quá trình chính là quá trình khuếch tán (diffusion) và quá trình cập nhật (updating). Quá trình khuếch tán giúp tăng khả năng khai thác (exploitation) của thuật toán. Trong khi quá trình cập nhật với các bước tiếp cận ngẫu nhiên giúp thuật toán tìm kiếm (exploration) lời giải tối ưu hiệu quả hơn. Sự cân bằng giữa khả năng khai thác (exploitation) và khả năng tìm kiếm (exploration) giúp SFS thành thuật toán tối ưu mạnh mẽ. Tuy nhiên tham số bước Gaussian có tác động đáng kể đến hiệu suất của thuật toán SFS. Để khắc phục điều này, các tham số ngẫu nhiên được thay bằng số chaotic để cải thiện sự hội tụ và độ chính xác của hàm mục tiêu. Thuật toán SFS được cải tiến thành thuật toán CSFS dựa trên phương pháp Chaotic map. Đối với thuật toán SOS, đây là thuật toán tối ưu mạnh mẽ mô phỏng các quan hệ cộng sinh (hỗ sinh, hội sinh, và ký sinh) giữa hai cá thể trong một hệ sinh thái tự nhiên để tìm ra lời giải tối ưu. SOS có ưu điểm là cấu trúc đơn giản với ít thông số điều chỉnh. Điều này giúp thuật toán SOS dễ ứng dụng giải các vấn đề tối ưu khác nhau.

Chương này cũng giới thiệu một thuật toán đa mục tiêu mới là thuật toán NSSFS để giải các bài toán tối ưu đa mục tiêu. Thuật toán NSSFS này hợp kỹ thuật sắp xếp nhanh không vượt trội (fast non-dominated sorting), phương pháp dùng khoảng cách mật độ (crowding distance), và cơ chế lựa chọn (selection mechanism) để tìm kiếm và duy trì lời giải Pareto tốt nhất. Nhờ vào các phương pháp này mà lời giải Pareto tìm ra có sự phân bố và dàn trải đồng đều, mang lại lời giải Pareto chất lượng cho vấn đề tối ưu đa mục tiêu đặt ra.

CHƯƠNG 4 TÁI CẤU TRÚC LĐPP VỚI HÀM ĐƠN MỤC TIÊU

4.1 Giới thiệu

Chương này sẽ áp dụng 3 thuật toán CSFS, SOS và SFS để tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm đơn mục tiêu theo hai bài toán sau: Tái cấu trúc lưới điện phân phối để giảm tổn thất công suất tác dụng; Tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất công suất tác dụng có xét đến ảnh hưởng của nguồn phân tán

4.2 Mô hình toán học bài toán tái cấu trúc LĐPP

4.2.1 Hàm mục tiêu tối thiểu tổn thất công suất

Hàm mục tiêu chính của bài toán tái cấu trúc LĐPP là cực tiểu tổn thất công suất của mạng điện được xác định như sau:

$$F = \text{Min}(P_L) = \text{Min} \left(\sum_{k=1}^{N_L} R_k I_k^2 \right) \quad (4.1)$$

4.2.2 Các điều kiện ràng buộc

- Ràng buộc cân bằng công suất:

$$P_{SS} + \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_B} P_{D,j} + \sum_{k=1}^{N_L} P_{L,k} \quad (5.5)$$

$$(5.6) \quad Q_{SS} + \sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG,i} = \sum_{j=1}^{N_B} Q_{D,j} + \sum_{k=1}^{N_L} Q_{L,k} \quad (4.3)$$

- Giới hạn điện áp:

$$V_{\min,i} \leq V_i \leq V_{\max,i}; \quad i = 1, \dots, N_B \quad (4.4)$$

- Giới hạn dòng điện

$$|I_k| \leq |I_{\max,k}|; \quad k = 1, \dots, N_L \quad (4.5)$$

- Công suất nguồn DG:

$$P_{DG\min,i} \leq P_{DG,i} \leq P_{DG\max,i}; \quad i = 1, \dots, N_{DG} \quad (4.6)$$

- Giới hạn tổng công suất phát của DG:

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG,i} \leq \sum_{j=1}^{N_B} P_{D,j} \quad (4.7)$$

- Cấu trúc mạng điện hình tia:

$$\det(A) = 1 \text{ or } -1 \quad (4.8)$$

4.3 Áp dụng thuật toán CSFS cho bài toán tái cấu trúc LDPP với hàm đơn mục tiêu và không xét ảnh hưởng DG

4.3.1 Mạng điện 33 nút

Kết quả thu được của CSFS được so sánh với kết quả từ các phương pháp khác. Tổng thất công suất và sai lệch điện áp từ phương pháp CSFS là 138,91 kW và 0,0576 p.u, thấp hơn 0,64 kW và 0,0046 p.u. so với các phương pháp khác như RRA, HBB-BC. Theo đó, CSFS cũng cho kết quả tốt hơn so với các phương pháp khác về tổn thất công suất và sai lệch điện áp.

Bảng 4.1 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho mạng điện 33 nút

Phương pháp	P_L (kW)	VD (p.u.)	V_{min} (p.u.)	CPU Time (s)
Ban đầu	203.68	0.0891	0.91081	-
RRA [1]	139.55	0.0622	0.9378	74.69
HBB-BCA [2]	139.55	0.0622	0.9378	3.05
CSFS	138.91	0.0576	0.94235	49.59

4.3.2 Mạng điện 84 nút

Tổn thất công suất thu được theo phương pháp CSFS là 469,878 kW so với trường hợp ban đầu là 531,99 kW, giảm 11,68% tổn thất điện năng. CSFS đã cải thiện cấu hình điện áp tại các nút với điện áp nút thấp nhất tăng từ 0,9285 p.u. đến 0,95931 p.u.

Bảng 4.2 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho mạng điện 84 nút

Phương pháp	P_L (kW)	VD (p.u.)	V_{min} (p.u.)	CPU Time (s)
Ban đầu	531.99	0.0715	0.9285	
BB-BCA [2]	471.62	0.0468	0.9531	13.25
AIS-ACO [3]	471.14	0.0521	0.9479	-
CSFS	469.87	0.0468	0.9531	748.95

4.3.3 Mạng điện 119 nút

Các kết quả thu được từ CSFS cho mạng điện 119 nút được so sánh với các kết quả từ các phương pháp khác ITS [4], CSA [5]. Sau khi tái cấu hình, tổn thất

công suất thu được từ CSFS là 854.04 kW giảm 32,86% so với trường hợp ban đầu.

Bảng 4.3 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho mạng điện 119 nút

Phương pháp	P_L (kW)	VD (p.u.)	V_{min} (p.u.)	CPU Time (s)
Ban đầu	1298.09	0.1312	0.8688	
ITS [4]	865.86	0.0677	0.9323	-
CSA [5]	855.04	0.0702	0.9298	-
CSFS	854.04	0.0677	0.9323	4678.4

4.3.4 Mạng điện 136 nút

Sau khi tái cấu trúc mạng điện, tổn thất công suất thu được từ CSFS là 278,9 kW, giảm 41,76 kW so với trường hợp ban đầu. Điện áp nút thấp nhất của mạng điện được cải thiện từ 0,9307 p.u. đến 0,9616 p.u.

Bảng 4.4 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho mạng điện 136 nút

Phương pháp	P_L (kW)	VD (p.u.)	V_{min} (p.u.)	CPU Time (s)
Ban đầu	320.66	0.0693	0.9307	
UVDA [6]	280.18	0.0411	0.9589	-
NRGA [7]	280.19	0.0411	0.9589	-
CSFS	278.9	0.0384	0.9616	370.91

4.4 Áp dụng thuật toán SFS cho bài toán tái cấu trúc có xét ảnh hưởng của DG với hàm đơn mục tiêu

Số lượng DG đặt vào lưới là 3, và giới hạn dung lượng DG được xác định như sau [8]:

$$0.1 \times \sum P_{Li} \leq P_{DG} \leq 0.6 \times \sum P_{Li} \quad (4.9)$$

Nghiên cứu này xem xét 7 trường hợp như sau [9]:

Nghiên cứu xét 7 trường hợp: Xét cấu hình lưới điện mặc định ban đầu; chỉ áp dụng tái cấu trúc mạng điện; phân bố và tối ưu dung lượng DG vào trường hợp mạng điện ở trạng thái mặc định ban đầu; phân bố và tối ưu dung lượng DG sau khi đã thực hiện tái cấu trúc mạng điện; thực hiện tái cấu trúc mạng điện sau khi đã phân bố và tối ưu dung lượng DG; thực hiện đồng thời tái cấu trúc lưới điện

và tối ưu dung lượng; thực hiện đồng thời tái cấu trúc, phân bố và tối ưu dung lượng DG.

4.4.1 Mạng điện 33 nút

Kết quả thu được bằng SFS tương ứng với bảy trường hợp với tỷ lệ giảm tổn thất công suất tương ứng của các trường hợp là 31,15%, 64,74%, 70,95%, 71,59%, 72,73% và 73,85%. SFS thu được kết quả tốt hơn các phương pháp khác và gần với kết quả từ ACSA.

Bảng 4.5 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho mạng điện 33 nút

TH	Chỉ số	ACSA [10]	FWA [8]	SFS
1	Khóa mở	-	-	33-34-35-36-37
	P_L (kW)	-	-	202.68
	V_{min} (p.u.)	-	-	0.913
2	Khóa mở	7-14-9-32-28	7-14-9-32-28	7-9-14-32-37
	P_L (kW)	139.98	139.98	139.55
	PLR (%)	30.93	30.93	31.15
	V_{min} (p.u.)	0.9413	0.9413	0.9378
3	Khóa mở	33-34-35-36-37	33-34-35-36-37	33-34-35-36-37
	Dung lượng DG/ (nút)	0.7798 / (14)	0.5897 / (14)	0.7540 / (14)
		1.1251 / (24)	0.1895 / (18)	1.0994 / (24)
		1.3496 / (30)	1.0146 / (32)	1.0714 / (30)
	P_L (kW)	74.26	88.68	71.47
	PLR (%)	63.26	56.24	64.74
	V_{min} (p.u.)	0.9778	0.9680	0.9687
4	Khóa mở	7-14-9-32-28	7-14-9-32-28	7-9-14-32-37
	Dung lượng DG/ (nút)	1.7536 / (29)	0.5996 / (32)	1.0682 / (24)
		0.5397 / (12)	0.3141 / (33)	0.9503 / (30)
		0.5045 / (16)	0.1591 / (18)	0.9317 / (8)
	P_L (kW)	58.79	83.91	58.88
	PLR (%)	71.00	58.59	70.95
V_{min} (p.u.)	0.9802	0.9612	0.9741	

5	Khóa mở	33-9-8-36-27	7-34-9-32-28	7-8-32-34-37
	Dung lượng DG/ (nút)	0.7798 / (14)	0.5897 / (14)	0.7540 / (14)
		1.1251 / (24)	0.1895 / (18)	1.0994 / (24)
		1.3496 / (30)	1.0146 / (32)	1.0714 / (30)
	P_L (kW)	62.98	68.28	57.57
	PLR (%)	68.93	66.31	71.59
	V_{min} (p.u.)	0.9826	0.9712	0.9717
6	Khóa mở	7-10-13-32-27	7-14-11-32-28	6-34-11-32-28
	Dung lượng DG/ (nút)	0.4263 / (32)	0.5367 / (32)	0.6951 / (8)
		1.2024 / (29)	0.6158 / (29)	1.5718 / (25)
		0.7127 / (18)	0.5315 / (18)	0.6318 / (13)
	P_L (kW)	63.69	67.11	55.28
	PLR (%)	68.58	66.89	72.73
	V_{min} (p.u.)	0.9786	0.9713	0.9724
7	Khóa mở	33-34-11-31-28	-	7-9-14-27-30
	Dung lượng DG/ (nút)	0.8968 / (18)	-	0.7753 / (22)
		1.4381 / (25)	-	0.7356 / (33)
		0.9646 / (7)	-	1.2858 / (25)
	P_L (kW)	53.21	-	53.01
	PLR (%)	73.75	-	73.85
	V_{min} (p.u.)	0.9806	-	0.972

4.4.2 Mạng điện 69 nút

Kết quả thu được bằng phương pháp SFS đối với mạng điện 69 nút với 7 trường hợp khác nhau, tỷ lệ tổn thất công suất tương ứng giảm lần lượt là 56,17%, 69,14%, 84,37%, 82,59%, 80,94% và 84,37%; điện áp nút thấp nhất đã tăng từ 0,9092 p.u. đến 0,9810 p.u. Kết quả thu được của SFS được so sánh với kết quả từ các thuật toán khác.

4.4.3 Mạng điện 84 nút

Phương pháp SFS cũng đã được thử nghiệm cho bảy trường hợp, tỷ lệ giảm tổn thất công suất tương ứng cho các trường hợp 2 đến 7 lần lượt là 11,68%, 32,38%, 35,07%, 37,15%, 35,91% và 38,38%. Điện áp nút thấp nhất đã được SFS cải thiện từ 0,9285 p.u. đến 0,9532 p.u.

4.4.4 Mạng điện 119 nút

Kết quả thu được bởi SFS cho 7 trường hợp được, tỷ lệ giảm tổn thất tương ứng là 34,21%, 48,59%, 52,48%, 52,34%, 52,40% và 56,31%. Chất lượng điện áp của mạng điện đã được cải thiện đáng kể, điện áp nút thấp nhất được tăng từ 0,8688 p.u. đến 0,9595 p.u.

4.4.5 Mạng điện 136 nút

Kết quả tính toán thu được từ thuật toán SFS cho mạng điện 136 nút cho tất cả các trường hợp, tỷ lệ giảm tổn thất công suất là 13,03%, 47,23%, 49,97%, 58,24%, 51,64% và 62,98% đối với các trường hợp từ 2 đến 7. Điện áp nút thấp nhất được cải thiện từ 0,9307 lên 0,9662 p.u.

4.5 Áp dụng thuật toán SOS cho bài toán tái cấu trúc có xét ảnh hưởng của DG với hàm đơn mục tiêu

Thuật toán SOS chỉ có hai thông số cài đặt bao gồm kích thước quần thể (*Eco_size*) và số lần lặp tối đa (*maxIter*). Nghiên cứu này xem xét 7 trường hợp tương tự phần 4.4 với mạng điện 33 nút, 69 nút và 119 nút. Kết quả tính toán của phương pháp SOS được so sánh với các phương pháp khác ở tất cả các trường hợp.

4.6 Áp dụng các thuật toán SFS, CSFS, và SOS cho bài toán tái cấu trúc với LDPP Tân Châu, Tây Ninh

4.6.1 Kết quả áp dụng các thuật toán SFS, CSFS, và SOS cho bài toán tái cấu trúc không xét ảnh hưởng DG

LDPP huyện Tân Châu, Tây Ninh với 2 XT 475TH và 477TH với 272 nút và 271 nhánh. Số khóa thường mở là 12 khóa. Tổng công suất phụ tải là 24.5656 MW và 7.9729 MVar. Tổng tổn thất công suất tác dụng của mạng điện là 1834.96 kW. Sau khi tái cấu trúc, thuật toán SFS, CSFS, và SOS tìm được cấu hình mới

với tổn thất công suất tác dụng lần lượt là 1556.35 kW, 1544.35 kW, và 1543.48 kW. Kết quả này tương tự như kết quả khi dùng TOPO của phần mềm PSS/Adept.

Bảng 4.6 Tổng hợp kết quả tối ưu của các thuật toán cho vấn đề tái cấu trúc cho mạng điện 272 nút

Phương pháp	Khóa mở	P_L (kW)	Tỷ lệ giảm tổn thất (%)
Ban đầu	272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283	1834.96 1834.69 (PSS/ADEPT)	-
SFS	128-109-112-59-276-277-79-279-195-256-241-231	1556.35	15.18
CSFS	126-103-112-79-276-277-59-279-193-262-282-238	1544.35	15.84
SOS	61-91-93-109-117-192-197-224-242-262-275-279	1543.48	15.88
TOPO (PSS/ADEPT)	61-91-93-109-117-192-197-224-242-262-275-279	1543.11	15.88

4.6.2 Kết quả áp dụng các thuật toán SFS, CSFS, và SOS cho bài toán tái cấu trúc xét ảnh hưởng DG

Luận án này xét các nguồn phân tán DG có công suất 1 MW để kết nối vào LĐPP và giả định rằng có 07 nguồn phân tán DG 1 MW kết nối vào LĐPP. Sau khi tái cấu trúc có xét DG, tổn thất công suất tác dụng lần lượt là 741.1842 kW, 725.5346 kW, và 724.6352 kW lần lượt bởi các thuật toán SFS, CSFS, và SOS.

Bảng 4.7 Tổng hợp kết quả thu được của các thuật toán cho bài toán tái cấu trúc LĐPP Tân Châu 272 nút có xét đến ảnh hưởng của các nguồn phân tán DG.

Phương pháp	SFS	CSFS	SOS
Khóa mở	145-117-103-55-87-210-112-205-244-260-236-223	126-104-111-52-148-212-84-271-196-253 241-224	272-109-93-89-276-213-56-279-193-260-227-223

Vị trí đặt DG	129, 187, 188, 124, 108, 197, 72	70, 52, 133, 208, 193, 90, 110	272, 187, 64, 192, 112, 191, 272
P_L (kW)	741.1482	725.5346	724.6352
Tỷ lệ giảm tổn thất (%)	59.60	60.46	60.51

4.7 Tổng kết

Ở chương này, các phương pháp CSFS, SFS, SOS đã được áp dụng để giải các bài toán tải cấu trúc với hàm đơn mục tiêu. Các phương pháp được áp dụng cho nhiều mạng điện khác nhau và so sánh với các phương pháp khác.

Phương pháp SFS, CSFS và SOS đã được áp dụng thành công để giải quyết bài toán tải cấu trúc có xét tối ưu vị trí và dung lượng của các DG trong mạng điện phân phối, đặc biệt là lưới điện thực thể có quy mô rất lớn. Đây là một bài toán tối ưu hóa quy mô lớn, phức tạp và phi tuyến tính với các biến rời rạc và liên tục.

CHƯƠNG 5 TÁI CẤU TRÚC LĐPP CÓ XÉT NGUỒN PHÂN TÁN VỚI HÀM ĐA MỤC TIÊU

5.1 Giới thiệu

Ở chương này, thuật toán đa mục tiêu Non-dominated Sorting Stochastic Fractal Search (NSSFS) được dùng để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP đa mục tiêu có xét đến nguồn điện phân tán DG.

5.2 Mô hình bài toán

5.2.1 Các hàm mục tiêu:

Bài toán tái cấu trúc LĐPP đa mục tiêu có xét nguồn phân tán DG có ba hàm mục tiêu như sau:

- Hàm cực tiểu tổn thất công suất tác dụng (Real power loss P_L):

$$F_1 = \text{Min}(P_L) = \text{Min} \left(\sum_{k=1}^{N_L} R_k I_k^2 \right) \quad (5.1)$$

- Hàm cực tiểu độ lệch điện áp (Voltage deviation (VD)):

$$F_2 = \text{Min}(VD) = \text{Min} \left[\sum_{i=1}^{N_B} (V_i - V_{ref})^2 \right] \quad (5.2)$$

- Hàm cực đại chỉ số ổn định điện áp (Voltage stability index (VSI)):

$$F_3 = \text{Max}(VSI_{i+1}) = \text{Min} \left(\frac{1}{VSI_{i+1}} \right) \quad (5.3)$$

5.2.2 Các điều kiện ràng buộc:

Bài toán tái cấu trúc với hàm đa mục tiêu có xét ảnh hưởng của DG thỏa các ràng buộc tại mục 4.2.2

5.3 Kết quả tính toán và nhận xét

5.3.1 Các hàm đa mục tiêu tiêu chuẩn

Thuật toán NSSFS trước tiên được kiểm tra với tám hàm đa mục tiêu tiêu chuẩn: (ZDT1, ZDT2, ZDT3, và ZDT6), hàm Kursawe (KUR), hàm Laumanns (LAU), hàm Murata (MUR), và hàm Poloni (POL). Kết quả thu được được so sánh với kết quả từ thuật toán NSGA-II [16], MOPSO [17], và MOMVO [18].

Kết quả của các chỉ số GD, SP, và Δ cho các thuật toán NSSFS, NSGA-II, MOPSO, và MOMVO. Theo chỉ số GD, ta có thể thấy rằng thuật toán NSSFS vượt trội hơn các thuật toán khác, chứng minh sự hội tụ tốt hơn các thuật toán còn lại, nhất là về chỉ số GD.

Bảng 5.1 Kết quả chỉ số GD, SP, và Δ của các thuật toán đa mục tiêu

Thuật toán	GD		SP		Δ	
	Average	SD	Average	Average	SD	Average
ZDT1						
NSSFS	3.4924E-04	1.0782E-04	6.8976E-03	1.2153E-03	0.4764	3.5008E-02
NSGA-II	1.7379E-01	8.0688E-03	3.8312E-02	1.1318E-02	0.7582	3.5549E-02
MOPSO	9.8342E-02	2.0910E-02	3.1625E-02	1.8863E-02	0.8594	4.5138E-02
MOMVO	1.8729E-02	5.7416E-03	1.3706E-02	3.9621E-03	0.9378	5.6372E-02
ZDT2						
NSSFS	3.5047E-04	1.1329E-04	6.8281E-03	9.7193E-04	0.4667	3.6285E-02
NSGA-II	2.4868E-01	5.8042E-03	4.2047E-02	8.3046E-03	0.8307	4.0518E-02
MOPSO	1.2987E-01	7.6977E-02	1.6041E-02	2.6287E-02	0.9331	7.9101E-02
MOMVO	2.5871E-02	9.0512E-03	3.4432E-02	3.1352E-02	1.0357	5.0408E-02
ZDT3						
NSSFS	4.0931E-04	1.2244E-04	7.9861E-03	1.3756E-03	0.6816	2.1543E-02
NSGA-II	1.5827E-01	9.4133E-03	3.6036E-02	9.7661E-03	0.7517	3.2576E-02
MOPSO	1.1522E-01	2.7497E-02	3.4803E-02	1.3565E-02	0.8821	3.2618E-02
MOMVO	1.5197E-02	7.8896E-03	2.7471E-02	7.1647E-03	0.9585	7.0493E-02
ZDT6						
NSSFS	8.7560E-04	8.6079E-05	7.3959E-03	1.7995E-03	0.4616	2.5479E-02
NSGA-II	5.3467E-01	5.3694E-03	5.3084E-02	1.6892E-02	0.8650	4.0281E-02
MOPSO	6.7379E-01	2.7311E-01	2.7517E-01	1.9551E-01	1.0073	7.3178E-02
MOMVO	1.5929E-01	9.1610E-02	1.8520E-01	1.3259E-01	1.0757	1.1420E-01
KUR						
NSSFS	1.7650E-03	1.9376E-04	8.6902E-02	1.9891E-02	0.5128	3.0131E-02

NSGA-II	5.4968E-03	1.6607E-03	9.3080E-02	3.4372E-02	0.6723	4.8597E-02
MOPSO	1.2043E-02	4.3226E-03	1.4447E-01	6.3492E-02	0.6902	1.1214E-01
MOMVO	4.0129E-03	6.9309E-04	1.1576E-01	3.0256E-02	0.9266	6.4492E-02
LAU						
NSSFS	3.1322E-03	9.0650E-05	3.0497E-02	5.4926E-03	0.5606	5.9600E-02
NSGA-II	5.0307E-03	5.8411E-03	4.1044E-02	8.3596E-02	1.3172	9.8168E-02
MOPSO	3.1971E-03	2.3021E-04	3.6111E-02	1.3438E-02	0.4670	3.9501E-02
MOMVO	3.1846E-03	1.6359E-04	4.5949E-02	6.5992E-03	0.7591	4.4917E-02
MUR						
NSSFS	4.7949E-04	1.2667E-05	2.1203E-02	2.4248E-03	0.4601	4.3902E-02
NSGA-II	6.3278E-04	1.6361E-03	2.2789E-02	1.2927E-02	0.4193	4.3942E-02
MOPSO	1.7177E-03	6.9557E-04	1.8243E-02	3.2174E-03	0.4374	4.3754E-02
MOMVO	1.4261E-03	2.9123E-03	4.4461E-02	2.1436E-02	1.3302	4.3489E-02
POL						
NSSFS	1.7230E-03	2.5106E-04	0.1056	1.1257E-02	0.9561	1.9904E-02
NSGA-II	2.0110E-02	2.0514E-02	0.1199	4.0498E-02	0.9841	3.1525E-02
MOPSO	1.8498E-02	1.5407E-02	0.1947	1.2153E-01	1.0065	2.9527E-02
MOMVO	1.8770E-02	3.1453E-02	0.1951	5.8515E-02	1.4341	3.4362E-02

5.3.2 Bài toán đa mục tiêu có xét DG

Thuật toán NSSFS được ứng dụng trên mạng điện IEEE 33 và 69 nút với 3 trường hợp: Tối ưu đồng thời hàm tổn thất công suất tác dụng (F1) và hàm độ lệch điện áp (F2); Tối ưu đồng thời hàm tổn thất công suất tác dụng (F1) và hàm chỉ số ổn định điện áp (F3); Tối ưu đồng thời ba hàm tổn thất công suất tác dụng (F1), độ lệch điện áp (F2), và hàm chỉ số ổn định điện áp (F3).

5.3.2.1 Mạng điện 33 nút

❖ Trường hợp 1:

Kết quả tối ưu thu được bởi thuật toán NSSFS cho mục tiêu riêng (kết quả mục tiêu P_L và VD tốt nhất) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất của hai mục tiêu này.

Bảng 5.2 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L và VD) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất ở Trường hợp 1 cho mạng điện 33 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VD tốt nhất	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Khóa mở	33-34-11-31-28	33-12-11-31-28	33-34-11-31-28
DG	17 (0.9583)	9 (1.1693)	7 (1.0995)
	25 (1.2785)	30 (1.7450)	25 (1.5317)
	7 (0.7528)	18 (0.8007)	17 (1.0331)
P_L (kW)	50.7176	82.8434	57.2425
VD (p.u.)	0.0078144	0.0005475	0.0022377

❖ Trường hợp 2:

Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (kết quả mục tiêu P_L và VSI^{-1} tốt nhất) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất của hai mục tiêu này tìm được bởi thuật toán NSSFS.

Bảng 5.3 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L và VSI^{-1}) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất ở Trường hợp 2 cho mạng điện 33 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VD tốt nhất	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Khóa mở	7-14-9-30-27	7-14-9-30-25	7-14-9-30-27
DG	25 (1.2906)	29 (1.8323)	25 (1.4951)
	18 (0.7954)	17 (1.2013)	18 (1.0152)
	12 (0.5709)	12 (0.6782)	12 (0.5948)
P_L (kW)	52.8798	73.0682	56.9306
VSI^{-1} (p.u.)	1.1262	1.0339	1.0632

Bảng 5.4 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L , VD, và VSI^{-1}) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất ở trường hợp 3 cho mạng điện 33 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VD tốt nhất	Mục tiêu VSI^{-1} tốt	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Khóa mở	33-34-11-31-28	33-13-35-30-28	33-13-35-30-28	33-34-11-31-28
DG	17 (0.7529) 25 (1.2791) 7 (0.9588)	18 (1.0501) 30 (1.4724) 9 (1.1919)	18 (1.0482) 29 (1.5676) 9 (1.0986)	17 (1.0831) 29 (1.4465) 7 (1.1621)
P_L (kW)	50.7176	84.9654	79.0634	61.0672
VD (p.u.)	0.0078071	0.00049619	0.00059821	0.0015971
VSI^{-1} (p.u.)	1.1119	1.0315	1.0267	1.0573

5.3.2.2 Mạng điện 69 nút

❖ Trường hợp 1:

Kết quả tối ưu thu được cho mục tiêu riêng và lời giải thỏa hiệp tốt nhất thu được bởi thuật toán NSSFS.

Bảng 5.5 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L và VD) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất ở Trường hợp 1 cho mạng điện 69 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VD tốt nhất	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Khóa mở	69-70-14-58-61	69-15-14-72-61	69-18-14-58-61
DG	64 (0.4905) 61 (1.4339) 11 (0.5377)	65 (0.5903) 61 (1.8305) 12 (1.0447)	64 (0.4564) 61 (1.7811) 12 (0.8298)
P_L (kW)	35.1624	73.8018	41.6990
VD (p.u.)	0.0040274	0.00015317	0.00095180

❖ Trường hợp 2:

Giá trị mục tiêu riêng tốt nhất và lời giải thỏa hiệp tốt nhất thu được bởi thuật toán NSSFS cho Trường hợp 2.

Bảng 5.6 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L và VSI^{-1}) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất cho Trường hợp 2 với mạng điện 69 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VSI^{-1} tốt nhất	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Số khóa mở	69-70-14-57-63	9-14-12-72-63	69-70-14-58-63
DG	61 (1.4668)	61 (1.9994)	61 (1.9194)
	27 (0.5329)	25 (0.7486)	27 (0.5819)
	11 (0.5374)	11 (1.0539)	11 (0.5508)
P_L (kW)	35.5914	66.0568	40.0405
VSI^{-1} (p.u.)	1.0800	1.0222	1.0434

❖ *Trường hợp 3*

Kết quả tối ưu cho hàm mục tiêu riêng và lời giải thỏa hiệp thu được bởi thuật toán NSSFS, cả 3 hàm mục tiêu được tối ưu tốt nhất.

Bảng 5.7 Kết quả tối ưu cho mục tiêu riêng (P_L , VD, và VSI^{-1}) và kết quả thỏa hiệp tốt nhất ở Trường hợp 3 cho mạng điện 69 nút

Thông số	Mục tiêu P_L tốt nhất	Mục tiêu VD tốt nhất	Mục tiêu VSI^{-1} tốt	Lời giải thỏa hiệp tốt nhất
Khóa mở	10-70-13-58-62	10-18-12-72-63	35-13-12-72-62	69-17-14-57-61
DG	61(1.4671)	61 (1.8760)	61 (1.8683)	12 (0.9516)
	27 (0.4750)	26 (0.7332)	27 (0.6420)	62 (0.5176)
	43 (0.6626)	44 (1.1917)	44 (1.2114)	61 (1.9986)
P_L (kW)	35.1624	73.9341	139.4720	49.7107
VD (p.u.)	0.0040278	0.00011574	0.00027253	0.00068338
VSI^{-1} (p.u.)	1.0783	1.0222	1.0112	1.0413

5.3.2.3 *So sánh và phân tích kết quả mang tính thống kê*

Để tính giá tính ứng dụng của thuật toán NSSFS, các thuật toán NSGA-II, MOPSO, và MOMVO cũng được ứng dụng vào cùng bài toán tái cấu trúc LĐPP có xét nguồn phân tán DG. Kết quả mang tính thống kê của các chỉ số SP và HV của các thuật toán NSSFS, NSGA-II, MOPSO, và MOMVO cho mạng điện 33 nút. Do đó, thuật toán NSSFS cung cấp front Parato tối ưu với sự phân bố tốt cho tất cả trường hợp ở mạng điện 33 nút.

Bảng 5.8 So sánh kết quả của các thuật toán đa mục tiêu dựa trên chỉ số HV và SP cho mạng điện 33 nút

Thuật toán	SP		HV	
	Average	SD	Average	SD
Trường hợp 1				
NSSFS	0.2236	0.0619	0.9102	0.0272
NSGA-II	2.5775	2.6177	0.7123	0.0174
MOPSO	0.3631	0.3969	0.8459	0.0344
MOMVO	0.3489	0.2223	0.8888	0.0427
Trường hợp 2				
NSSFS	0.1971	0.2947	30.4346	0.3273
NSGA-II	4.0279	3.3422	26.1267	0.5894
MOPSO	0.5038	0.5036	28.3043	1.1903
MOMVO	0.2454	0.1853	29.6101	0.9595
Trường hợp 3				
NSSFS	0.3333	0.0963	-	-
NSGA-II	4.0933	2.4830	-	-
MOPSO	1.5299	1.6161	-	-
MOMVO	0.8103	0.7418	-	-

Kết quả mang tính thống kê của các chỉ số SP và HV của các thuật toán NSSFS, NSGA-II, MOPSO, và MOMVO cho mạng điện 69 nút. Chỉ số SP trung bình bởi thuật toán NSSFS xếp hạng đầu tiên. Do đó thuật toán NSSFS cung cấp front Pareto tối ưu có sự phân bố đồng đều tốt hơn các thuật toán so sánh khác. Tương tự, thuật toán NSSFS cũng cung cấp kết quả tốt nhất đối với chỉ số HV Do đó, thuật toán NSSFS thu được lời giải Pareto với sự dàn trải đồng đều cho cả ba trường hợp với mạng điện 69 nút.

Bảng 5.9 So sánh kết quả của các thuật toán đa mục tiêu dựa trên chỉ số HV và SP cho mạng điện 69 nút

Thuật toán	SP		HV	
	Average	SD	Average	SD
Trường hợp 1				
NSSFS	0.1992	0.0424	1.2132	0.0278
NSGA-II	1.8794	1.1493	1.1001	0.0147
MOPSO	0.5698	1.4181	1.1348	0.0460
MOMVO	0.3657	0.3647	1.2062	0.0311
Trường hợp 2				
NSSFS	0.2167	0.0746	39.4501	0.3243
NSGA-II	3.0382	2.1226	37.2145	0.4841
MOPSO	1.3226	2.6240	37.1660	1.2296
MOMVO	0.3062	0.1282	39.3065	0.7039
Trường hợp 3				
NSSFS	0.4311	0.1028	-	-
NSGA-II	2.6718	1.6744	-	-
MOPSO	3.8535	4.2420	-	-
MOMVO	0.7742	0.8450	-	-

5.4 Tổng kết

Chương này giới thiệu phiên bản đa mục tiêu mới của thuật toán SFS là NSSFS để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu tái cấu trúc LĐPP có xét nguồn phân tán DG. Các hàm mục tiêu được xét đến là giảm tổn thất công suất tác dụng, cải thiện chất lượng điện áp, và nâng cao ổn định điện áp. Các thuật toán đa mục tiêu khác như là NSGA-II, MOPSO, và MOMVO cũng được ứng dụng vào cùng bài toán tái cấu trúc đa mục tiêu để so sánh với kết quả từ thuật toán NSSFS. Sự so sánh kết quả cho thấy thuật toán NSSFS cung cấp lời giải tốt hơn thuật toán NSGA-II, MOPSO, và MOMVO, chứng minh tính hiệu quả của thuật toán NSSFS trong việc giải bài toán tái cấu trúc đa mục tiêu.

CHƯƠNG 6 KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

6.1 Kết luận

Luận án này đã xây dựng bài toán tái cấu trúc LDPP có xét đến nguồn điện phân tán DG với hàm đơn và đa mục tiêu. Về phương pháp giải, Luận án này đã đề xuất các thuật toán tối ưu meta-heruristic (SFS, CSFS, và SOS) và phát triển thuật toán đa nhiệm vụ NSSFS để giải quyết các vấn đề tối ưu đã được xây dựng.

Đối với bài toán tái cấu trúc LDPP không xét đến ảnh hưởng của nguồn điện phân tán DG, Luận án đã ứng dụng thành công thuật toán CSFS với mục tiêu giảm tổn thất công suất và cải thiện chất lượng điện áp. Với sự kết hợp của lý thuyết hỗn độn (chaos theory), thuật toán CSFS đã chứng minh hiệu quả của quá trình khuếch tán (diffusing) và quá trình cập nhật (updating) được cải thiện đáng kể về khả năng tìm kiếm lời giải toàn cục. Thuật toán CSFS được kiểm tra trên mạng điện 33 nút, 84 nút, và mạng điện lớn bao gồm 119 nút và 136 nút. Kết quả thu được cho thấy thuật toán CSFS cung cấp lời giải tốt hơn các phương pháp so sánh khác về tổn thất công suất và cải thiện điện áp, đặc biệt đối với hệ thống lớn và phức tạp.

Đối với bài toán tái cấu trúc LDPP có xét đến nguồn điện phân tán DG, Luận án đã áp dụng thành công thuật toán SFS và SOS với mục tiêu giảm tổn thất công suất tác dụng. Các thuật toán được kiểm tra trên mạng điện 33 nút, 69 nút, 84 nút, 119 nút, và 136 nút. Bảy trường hợp khác nhau của vấn đề tái cấu trúc và vị trí đặt DG được đưa ra để đánh giá tính hiệu quả của các thuật toán. Các kết quả thu được cho thấy rằng Trường hợp 7 (tối ưu đồng thời tái cấu trúc LDPP và vị trí đặt DG) mang lại tổn thất công suất thấp nhất so với các trường hợp khác. Cụ thể cho trường hợp này, thuật toán SOS đã cung cấp tỷ lệ giảm công suất tác dụng lần lượt là 73.91%, 84.35%, 38.38%, và 55.98% cho mạng điện 33 nút, 69 nút, 84 nút, và 119 nút. Hơn nữa, sự so sánh kết quả cho thấy kết quả từ phương pháp SFS, SOS tốt hơn kết quả từ các phương pháp khác về tổn thất công suất. Đặc biệt, hiệu quả của phương pháp SFS đã được kiểm chứng thông qua mạng điện quy mô lớn lên đến 136 nút, phương pháp SFS có thể là một phương pháp triển

vọng để giải quyết tái cấu trúc LDPP phức tạp và cũng có thể áp dụng cho các bài toán tối ưu hóa khác trong hệ thống điện.

Đối với bài toán tái cấu trúc LDPP thực tế, Luận án sử dụng LDPP thực tế ở huyện Tân Châu, tỉnh Tây Ninh, Việt Nam với quy mô rất lớn lên đến 272 nút cho cả hai trường hợp: không xét và xét ảnh hưởng nguồn điện phân tán DG. Khi áp dụng cả ba thuật toán SFS, CSFS, và SOS, tỷ lệ giảm tổn thất công suất tác dụng cho hai trường hợp: không xét và xét ảnh hưởng nguồn điện phân tán DG là khoảng 16% và 60%. Cả 3 phương pháp đều cung cấp lời giải tốt. Trong 3 phương pháp thì phương pháp SOS là phương pháp cung cấp lời giải và thời gian tính toán tốt hơn phương pháp SFS và CSFS. Do đó, phương pháp SOS có thể xem là một phương pháp triển vọng để giải quyết tái cấu trúc phức tạp trong mạng điện phân phối và cũng có thể áp dụng cho các bài toán tối ưu hóa khác trong hệ thống điện.

Đối với bài toán tái cấu trúc LDPP đa mục tiêu có xét đến nguồn điện phân tán DG, Luận án này phát triển thành công thuật toán đa mục tiêu NSSFS. Thuật toán NSSFS tích hợp kỹ thuật sắp xếp nhanh không vượt trội (fast non-dominated sorting) và khoảng cách mật độ (crowding distance) để xác định thứ hạng không vượt trội của lời giải thu được. Cơ chế lựa chọn (selection mechanism) cũng được sử dụng để duy trì các ứng viên lời giải tiềm năng cho thế hệ tiếp theo. Thuật toán NSSFS đã được kiểm tra với tám hàm đa mục tiêu tiêu chuẩn với kích thước và loại khác nhau. Kết quả so sánh dựa trên các chỉ số (GD, SP, và Δ) cho thấy rằng thuật toán NSSFS tốt hơn các thuật toán đa mục tiêu khác như là NSGA-II, MOPSO, và MOMVO về chất lượng lời giải. Sau khi xác thực, thuật toán NSSFS được ứng dụng hiệu quả để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu tái cấu trúc LDPP có xét nguồn phân tán DG. Bài toán tái cấu trúc đa mục tiêu được xây dựng với ba hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất tác dụng, cực tiểu độ lệch điện áp, và cực đại chỉ số ổn định điện áp. Thuật toán NSSFS được thi hành trên LDPP hình tia 33 và 69 nút với ba trường hợp khác nhau của các hàm mục tiêu. Kết quả thu được cho thấy rằng chất lượng của mạng điện được nâng cao khi cả ba hàm mục tiêu được tối ưu đồng thời. Điều này có thể thấy qua Trường hợp 3 cho mạng điện 69 nút, tổn thất công suất, độ lệch điện áp, và giá trị VSI⁻¹ giảm lần lượt

77.91%, 99.31%, và 28.75%. Sự so sánh kết quả với các thuật toán đa mục tiêu NSGA-II, MOPSO, và MOMVO cũng chỉ ra rằng thuật toán NSSFS cung cấp lời giải tốt hơn các thuật toán này về chỉ số SP và HV. Do đó, thuật toán NSSFS chứng minh mình là thuật toán đa mục tiêu hiệu quả để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu tái cấu trúc LĐPP có xét nguồn phân tán DG.

Các thuật toán SFS, CSFS, và SOS có ưu điểm là dễ ứng dụng, cung cấp lời giải toàn cục tốt, ổn định, và có thể ứng dụng cho mạng điện lớn và phức tạp. Ngoài ra, phiên bản đa mục tiêu của SFS (NSSFS) cũng được phát triển để giải quyết các vấn đề tối ưu đa mục tiêu. Thuật toán NSSFS đã chứng minh khả năng cung cấp tốt lời giải thỏa hiệp Pareto fronts. Theo đó có thể kết luận chung rằng, các thuật toán SFS, CSFS, SOS, và NSSFS rất hứa hẹn trong việc giải bài toán lớn và phức tạp tái cấu trúc LĐPP có xét đến nguồn điện phân tán DG bao gồm cả hàm đơn và đa mục tiêu.

6.2 Hướng phát triển luận án

Các nghiên cứu tiếp theo như sau:

- ❖ Cải tiến thuật toán SFS, SOS để đáp ứng các bài toán tái cấu trúc lớn và phức tạp.
- ❖ Xét đến các năng lượng mới như mặt trời, pin nhiên liệu, các trạm sạc điện cho xe ô tô điện.
- ❖ Áp dụng các thuật toán mới và kết hợp các thuật toán khác nhau để giải bài toán tái cấu trúc LĐPP
- ❖ Nghiên cứu các bài toán tái cấu trúc LĐPP mới: nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, khôi phục cung cấp điện thông qua thao tác đóng mở các khóa điện trên LĐPP có cấu trúc mạch vòng, bài toán tái cấu trúc xét đến ảnh hưởng của DG và hiệu quả kinh tế.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. **Tran The Tung**, Truong Hoang Bao Huy, Dang Tuan Khanh, Vo Ngoc Dieu, "A Nondominated Sorting Stochastic Fractal Search Algorithm for Multiobjective Distribution Network Reconfiguration with Distributed Generations", *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2021, Article ID 6638559, 20 pages, 2021 (**SCIE, IF: 1.305, Scopus, Q3**)
2. **Tran The Tung**, Truong Hoang Khoa, and Vo Ngoc Dieu, "Stochastic fractal search algorithm for reconfiguration of distribution networks with distributed generations," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 389–407, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.015. (**SCIE, IF: 3.091, Scopus, Q2**)
3. **Tran The Tung**, Nguyen Quoc Sy, and Vo Ngoc Dieu, "Symbiotic Organism Search Algorithm for Power Loss Minimization in Radial Distribution Systems by Network Reconfiguration and Distributed Generation Placement," *Mathematical Problems in Engineering*, Jun. 22, 2020. (**SCIE, IF: 1.305, Scopus, Q3**)
4. **Tran The Tung**, Vo Ngoc Dieu, and Tran Anh Nguyen, "Distribution Network Reconfiguration for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using Chaotic Stochastic Fractal Search Algorithm," *Complexity*, Mar. 21, 2020. (**SCIE, IF: 2.833, Scopus, Q1**)
5. Phan Van Hong Thang, **Tran The Tung**, "Economic Dispatch in Microgrid using Stochastic Fractal Search Algorithm," *GMSARN International Journal*, vol. 11, no.3, pp. 102 - 115, Sep. 2017. (**Scopus, Q4**)
6. **Tran The Tung** and Vo Ngoc Dieu, "Transient Stability Constrained Optimal Power Flow Using Improved Particle Swarm Optimization," *GMSARN International Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 87 - 94, Sept. 2016. (**Scopus, Q4**)

7. **Tran The Tung**, Vo Ngoc Dieu, and Pandian Vasant, “Distribution Network Reconfiguration Using One Rank Cuckoo Search Algorithm,” *GMSARN International Journal*, vol. 10, no.1, pp. 33 - 40, Mar. 2016. (**Scopus, Q4**)

8. Vo Ngoc Dieu, **Tran The Tung**, “Pseudo-gradient Based Particle Swarm Optimization with Constriction Factor for Multi Objective Optimal Power Flow,” *Global Journal of Technology & Optimization*, vol. 06, no. 03, 2015, doi: 10.4172/2229-8711.1000181.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Tối ưu vị trí đặt nguồn phân tán trong lưới điện phân phối sử dụng thuật toán Symbiotic Organisms Search, Đề tài cấp trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Mã số đề tài: T-ĐĐT-2017-22

2. Áp dụng phương pháp dựa trên PSO cải tiến để tính toán phân bố công suất tối ưu có ràng buộc ổn định quá độ trong hệ thống điện, Đề tài cấp trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Mã số đề tài: T-ĐĐT-2015-15