

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRẦN HỮU TÍNH

ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP THÔNG MINH NHÂN TẠO
TÍNH TOÁN QUY HOẠCH MỞ RỘNG TỐI ƯU LƯỚI ĐIỆN

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 7/2023

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS TS. VÕ NGỌC ĐIỀU

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS TS. QUYỀN HUY ÁNH

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án Cấp Cơ sở họp tại
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM
vào ngày tháng năm 2023

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Tran, H.**, Vo, N., Quyen, H., & Pham, T. (2021, November). Transmission System Expansion Planning in Consideration of Reliability Criteria and Optimal Reserve. *In International Conference on Advanced Mechanical Engineering, Automation and Sustainable Development* (pp. 918-923). Cham: Springer International Publishing.
2. **Huu Tinh Tran**, Ngoc Dieu Vo, and Huy Anh Quyen, ‘A Pseudo-Gradient Particle Swarm Optimization Approach Applied to Transmission Expansion Planning’, *12th GMSARN Int. Conf. Ener. Connect. Environ. Develop. ECED 2017*, Energy – E76, 2017.
3. Dieu Ngoc Vo, Tri Phuoc Nguyen, **Tinh Huu Tran**, and Hai Minh Nguyen, ‘A Hybrid Particle Swarm Optimization and Differential Evolution for Security-Constrained Optimal Power Flow’, *12th GMSARN Int. Conf. Ener. Connect. Environ. Develop. ECED 2017*, Energy – E75, 2017.
4. Quy Truong Xuan, Dieu Vo Ngoc, and **Huu Tinh Tran**, ‘Pseudo-Gradient Integrated in Particle Swarm Optimization for Solving Security Constrained Optimal Power Flow Problem’, *12th GMSARN Int. Conf. Ener. Connect. Environ. Develop. ECED 2017*, Energy – E82, 2017.
5. **Huutinh Tran**, Ngocdieu Vo, Huyanh Quyen, ‘Optimal Transmission Expansion Planning Using Crow Search Algorithm’, *The 4th Inter. Conf. on Engi. Technolo. Innov. Resear. ICETIR 2022*, pp.1-6, 2022.
6. **Huutinh Tran**, Ngocdieu Vo, Huyanh Quyen, ‘A Search Method for Power Transmission System Planning Problem in Ben Tre Province, Viet Nam’, *The 7th Inter. Conf. Advan. Engi. Theor. Appli. ICAETA 2022*, pp. 411-419, 2022.
7. **Huutinh Tran**, Ngocdieu Vo, Huyanh Quyen, ‘A Cuckoo Search Algorithm for Transmission Expansion Planning’, *Proceedings of 2023 International Conference on System Science and Engineering ISBN: 979-8 3503-2294-1*, 2023.
8. **Tính, T. H.**, Hiều, T. N., & Thiện, V. M. (2019), ‘Đánh Giá Độ Tin Cậy Hệ Thống Điện Có Xét Đến Cường Độ Cắt Cường Bức’, *TNU Journal of Science and Technology*, 195(02), 89-94.(ĐH Thái Nguyên)
9. **Tính, T. H.**, Điều, V. N., & Ánh, Q. H. (2020), ‘Tổng Quan Quy Hoạch Mở Rộng Lưới Điện Truyền Tải’, *TNU Journal of Science and Technology*, 225(06), 223-228.(ĐH Thái Nguyên)
10. **Tính, T. H.**, Điều, V. N., & Ánh, Q. H. (2021), ‘Quy Hoạch Hệ Thống Điện Có Xét Đến Tối Ưu Hóa Độ Dự Trữ’, *Tạp chí khoa học đại học Sài*, No. 75, pp. 89-95.

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Nhiệm vụ của hệ thống điện là sản xuất, truyền tải và phân phối điện năng đáp ứng yêu cầu của phụ tải một cách liên tục, chất lượng với giá thành hợp lý. Các nhà máy điện thường đặt ở xa các trung tâm phụ tải. Để có thể truyền tải điện năng từ nhà máy điện đến các hộ tiêu thụ và phân phối điện năng cho chúng ta cần thiết phải có lưới điện truyền tải và phân phối. Bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện là trả lời những câu hỏi “nơi nào cần quy hoạch và mở rộng?”, “công suất cần mở rộng là bao nhiêu?”, “tổng chi phí cho quy hoạch là bao nhiêu?”, “độ tin cậy của hệ thống điện được cải thiện như thế nào sau khi tiến hành quy hoạch?”, v.v... Trong 3 thập kỷ qua, đã có rất nhiều giải thuật và phương pháp chứng minh hiệu quả giải bài toán quy hoạch hệ thống điện cũng như lưới truyền tải như: Tối ưu hóa đàn kiến, thuật toán di truyền, tối ưu hóa bầy đàn, tìm kiếm Tabu, liệt kê ẩn 0 - 1, tìm kiếm hòa điệu, tìm kiếm phân tán, ... Các phương pháp thông minh nhân tạo được áp dụng nhằm rút ngắn thời gian tìm kiếm và tìm nghiệm tối ưu toàn thể chính xác. Các phương pháp mở rộng lưới điện dựa trên phương pháp mô hình hóa bài toán về dạng toán học rồi sử dụng các giải thuật toán học tìm ra lời giải tối ưu dựa trên các ràng buộc có trước. Để giải bài toán quy hoạch lưới điện thì giải các bài toán về quy hoạch tuyến tính, quy hoạch phi tuyến tính, quy hoạch động... Tuy nhiên, cũng còn có một số hạn chế trong tính toán khi ứng dụng vào thực tế.

Luận án này sẽ nghiên cứu giải các bài toán quy hoạch mở rộng hệ thống truyền tải, chọn lựa các phương pháp có ưu điểm để giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện có xét các ràng buộc trong quy hoạch trong thời gian ngắn và nghiệm tìm được tốt nhất. Ngoài ra, nghiên cứu này đã tìm hiểu phương pháp xây dựng thuật toán thông minh nhân tạo dựa vào sự tìm kiếm của các loài động vật trong tự nhiên chim tu hú, con quạ vào giải bài toán quy hoạch mở rộng hệ thống truyền tải có sự kết hợp các ràng buộc vào cùng một phương pháp.

2. Các mục tiêu nghiên cứu

a. Mục tiêu chung

Áp dụng các phương pháp thông minh nhân tạo để tính toán tối ưu bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải.

b. Mục tiêu cụ thể

Nghiên cứu các hoạt động và hành vi của các loài động vật trong tự nhiên được con người phát triển thành thuật toán tìm kiếm tối ưu được áp dụng tính toán bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải trong hệ thống điện.

Xây dựng thuật toán tìm kiếm tối ưu mới dựa các hành vi tìm kiếm con quạ, tìm kiếm chim tu hú nhằm tiến đến tìm được giải pháp tối ưu trong bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải.

Giải thuật và phần mềm Matlab sẽ được kiểm chứng qua tính toán và ứng dụng trên mạng điện chuẩn IEEE, mạng điện chuẩn được công bố quốc tế.

3. Nhiệm vụ nghiên cứu

Quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải là một trong những nhiệm vụ rất quan trọng cho công tác quản lý và vận hành hệ thống điện nhằm đáp ứng nhu cầu phụ tải. Thuật toán tối ưu thông minh nhân tạo được áp dụng cho quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải phục vụ cho quản lý và vận hành thị trường điện cạnh tranh.

4. Phạm vi và giới hạn

Các vấn đề được xem xét khi quy hoạch: chi phí đầu tư, chi phí vận hành và độ tin cậy sau khi quy hoạch mở rộng lưới điện.

Hệ thống điện chuẩn IEEE, mạng điện chuẩn được công bố quốc tế và hệ thống điện thực tế trong khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long được áp dụng vào quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải.

Khi quy hoạch lưới điện không xét đến nhu cầu dự báo phụ tải.

Các giới hạn về điều kiện ràng buộc khi quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải.

5. Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Áp dụng các phương pháp nghiên cứu tham khảo tài liệu, tính toán lý thuyết kết hợp mô phỏng.

Xử lý thống kê với sự hỗ trợ của Microsoft Excel.

Mô phỏng bằng chương trình Matlab, Powerworld, Fortran.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Xây dựng được các phương pháp thông minh nhân tạo giải bài toán quy hoạch mở rộng tối ưu lưới điện.

Kết quả tối ưu sẽ đáp ứng được yêu cầu của hàm mục tiêu đề ra là tối thiểu tổng chi phí đầu tư, chi phí vận hành và đồng thời sẽ thỏa mãn điều kiện ràng buộc đánh giá được chỉ số độ tin cậy sau khi quy hoạch.

Thuật toán đơn giản và có tính hiệu quả có thể giải được nhiều bài toán quy hoạch trong hệ thống điện.

7. Cấu trúc của luận án

Luận án được sắp xếp thành 5 chương

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải xét đến độ tin cậy

Chương 3: Quy hoạch lưới điện truyền tải DC

Chương 4 Quy hoạch lưới điện phân phối

Chương 5: Kết luận và hướng phát triển

Chương 1: TỔNG QUAN

1.1. Khái quát về bài toán quy hoạch tối ưu lưới điện truyền tải

Nghiên cứu này khảo sát các quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải (LĐTT) [1] xét ở nhiều khía cạnh khác nhau.

1.2. Các bài toán quy hoạch lưới điện truyền tải

1.2.1. Quy hoạch mở rộng LĐTT ràng buộc an toàn

Quy hoạch mở rộng LĐTT là vấn đề hết sức quan trọng không những cần phải có chi phí đầu tư lớn mà còn kết hợp với vấn đề an toàn. Có rất nhiều sự nghiên cứu quy hoạch mở rộng LĐTT có ràng buộc an toàn [2].

1.2.2. Quy hoạch mở rộng LĐTT được kết hợp với đường dây tắc nghẽn

Ở thị trường điện cạnh tranh thì LĐTT tắc nghẽn là vấn đề quan trọng điều này cần thiết để hợp nhất trong vận hành hệ thống điện (HTĐ) và quy hoạch mở rộng hệ thống kết nối [3].

1.2.3. Quy hoạch mở rộng LĐTT trong thị trường điện cạnh tranh

Trong thị trường điện cạnh tranh mục tiêu chính của quy hoạch mở rộng LĐTT là cung cấp điện không phân biệt khách hàng và các nhà đầu tư cạnh tranh nhau về độ tin cậy hệ thống cung cấp [4-5].

1.2.4. Độ tin cậy trong quy hoạch mở rộng LĐTT

Quy hoạch mở rộng LĐTT thì cần phải thực hiện phân tích độ tin cậy và thích hợp trước khi phân tích lỗi và ổn định. Quy hoạch HTĐ cũng như quy hoạch mở rộng LĐTT nói riêng cần phải phân tích độ an toàn [6-7] hoặc tin cậy [8-9].

1.2.5. Sự không chắc chắn trong quy hoạch mở rộng LĐTT

Theo điều kiện không chắc chắn của HTĐ thì quy hoạch mở rộng LĐTT trong được chia ra thành hai phương pháp là phương pháp xác định và phương pháp không xác định. Trong phương pháp xác định thì quy hoạch mở rộng LĐTT trong được xét ở điều kiện xấu nhất và không tính đến xác suất xuất hiện [10].

1.2.6. Quy hoạch mở rộng LĐTT được kết hợp với quy hoạch công suất phản kháng

Trong HTĐ thì công suất phản kháng của tải được cung cấp thông qua nguồn phát. Quy hoạch mở rộng LĐTT kết hợp với quy hoạch CSPK; Khi không có sự kết hợp này thì sẽ dẫn đến xây dựng thêm nhiều đường dây mới [11].

1.2.7. Quy hoạch mở rộng LĐTT từ thiết bị điều khiển linh hoạt xoay chiều

Trong quy hoạch mở rộng LĐTT thì sự mở rộng mạng điện luôn gặp theo cách bổ sung các đường dây mới vào mạng điện để tăng công suất lưới điện truyền tải. Mặt khác, có thể sử dụng thiết bị điều khiển linh hoạt LĐTT xoay chiều [12] để tăng thêm công suất cho hệ thống đang vận hành.

1.3. Các phương pháp đã được áp dụng

1.3.1. Thuật toán đàn kiến (ACO)

Tối ưu đàn kiến là phương pháp mở rộng được áp dụng cho cả tính đối xứng và tính không đối xứng. Phương pháp hệ thống đàn kiến được áp dụng thành công các vấn đề tối ưu tổ hợp [13].

1.3.2. Thuật toán kết nối mạng nơon nhân tạo với thuật toán di truyền

Phương pháp này trình bày ý tưởng kết nối mạng nơon nhân tạo với thuật toán di truyền được đưa vào trong tạo ra trạng thái ban đầu để cải thiện tính chính xác mạng nơon khi áp dụng vào quy hoạch mở rộng lưới điện [14].

1.3.3. Thuật toán con ong (ABC)

Thuật toán đàn ong là một thuật toán metaheuristic dựa vào hành vi thông minh của ong mật. Các con ong đang chờ chọn một nguồn thức ăn dựa trên thông tin cung cấp của con ong thợ gọi là các ong đứng xem và một con ong thực hiện tìm kiếm ngẫu nhiên xung quanh đàn thì gọi là con ong thăm dò [15].

1.3.4. Thuật toán tiến hóa vi phân (DEA)

Thuật toán tiến hóa vi phân được sử dụng rất nhiều vì khả năng đơn giản khi việc giải quyết nhiều bài toán kỹ thuật. Phương pháp tiến hóa vi phân giải quyết bài toán tối ưu phi tuyến tính với nhiều ràng buộc [16-17].

1.3.5. Thuật toán bước nhảy con ếch (SFLA)

Thuật toán bước nhảy con ếch với các thuật toán dựa trên tiến hóa gần đây khác như thuật toán di truyền, thuật toán PSO và thuật toán đàn kiến chứng tỏ tốc độ hội tụ nhanh của thuật toán bước nhảy con ếch [18].

1.3.6. Thuật toán di truyền (GA)

Thuật toán GA được giả định rằng giải pháp tiềm năng của vấn đề là cá thể và có thể diễn tả bởi tập hợp các thông số [19]. Thuật toán GA phụ thuộc nhiều vào hàm tương thích, nhạy với tỉ lệ lai và đột biến, sơ đồ mã hóa các bit và độ dốc của đường cong không gian dò tìm dẫn đến lời giải [20]. Thuật toán di truyền có mô hình toán học tổng quát hơn so với phương tìm kiếm Tabu [21].

1.3.7. Thuật toán tìm kiếm tabu (TSA)

Thuật toán tìm kiếm tabu đã cho thấy có hiệu quả trong việc khám phá loại cảnh quan tối ưu này [22]. Thuật toán là thủ tục tìm kiếm tabu thế hệ thứ ba với một số tính năng nâng cao.

1.3.8. Thuật toán liệt kê ẩn 0-1 (Zero - One)

Thuật toán liệt kê ẩn không chỉ được áp dụng cho một bài toán con số nguyên mà còn được giải vấn đề tổng quát hơn để có được một giải pháp tối ưu cho quy hoạch mở rộng lưới điện bởi sự phân tích Benders theo thứ bậc [23].

1.3.9. Thuật toán bầy đàn (PSO)

Sự thông minh bầy đàn là một phần của trí thông minh nhân tạo nghiên cứu hành vi tập thể của các hệ thống phân cấp phức tạp, tự tổ chức và có cơ cấu xã hội. Thuật toán tối ưu bầy đàn được phát triển là một thuật toán tối ưu ngẫu nhiên dựa trên các mô hình mô phỏng xã hội [24].

1.4. Đặc điểm các phương pháp đã áp dụng

Các nhược điểm được chú ý trong quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải sử dụng các phương pháp [25-28].

- Các nhà nghiên cứu đã không quan tâm đến vấn đề quy hoạch công suất phản kháng trong quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải, mặc dù nó là thông tin rất quan trọng.
- Điều kiện không chắc chắn khi thay đổi nguồn phát không được xét đến và luôn giả định rằng đáp ứng được.
- Các phương pháp quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải đều được mô phỏng trong mô hình HTĐ một chiều.
- Các ràng buộc về độ tin cậy và chuẩn an toàn không được xét đến trong nhiều phương pháp trước.
- Thiết bị điều khiển linh hoạt hệ thống điện xoay chiều trong quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải không được xem xét phù hợp.

Thật vậy, các nghiên cứu được công bố gần đây được đánh giá từ nhiều quan điểm khác nhau nhằm mục đích chung là đáp ứng nhu cầu phát triển phụ tải trong tương lai.

1.5. Các vấn đề nghiên cứu

Trong luận án này xây dựng mới các thuật toán tìm kiếm con quạ và thuật toán tìm kiếm chim tu hú áp dụng giải bài toán quy hoạch lưới điện nhằm giải quyết nhanh và chính xác nhất bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện có xét độ tin cậy, bài toán tối ưu quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải DC.

- Nghiên cứu này sẽ áp dụng thuật toán cận biên và nhánh để giải bài toán quy hoạch và mở rộng lưới điện truyền tải có ràng buộc về độ tin cậy vào lưới điện thực ở tỉnh Bến Tre, Hậu Giang và vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long.
- Nghiên cứu sẽ tìm ra các điểm mạnh của phương pháp CS, CSA nhằm tìm giải pháp tối ưu bài toán quy hoạch lưới điện truyền tải DC được chứng minh trên hệ thống điện chuẩn;
- Nghiên cứu thuật toán di truyền và PSO cải tiến giải bài toán quy hoạch lưới điện phân phối có nhiều ràng buộc vào hệ thống mạng điện chuẩn.

Chương 2. QUY HOẠCH MỞ RỘNG LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI CÓ XÉT ĐỘ TIN CẬY

2.1. Giới thiệu bài toán

Bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải phải đạt được các điều kiện mô hình nguồn phát điện và đáp ứng nhu cầu phụ tải sử dụng điện trong tương lai và cần tập hợp các đường dây kết nối mới để giảm thiểu tổng chi phí đầu tư và phải phụ thuộc vào các ràng buộc về độ tin cậy. Xây dựng kế hoạch mở rộng lưới điện truyền tải có thể được xây dựng dưới dạng bài toán lập trình số nguyên có xét đến độ tin cậy được trình bày nội dung dưới đây.

2.2. Mô hình bài toán về quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải xét đến độ tin cậy

2.2.1. Hàm mục tiêu

Thông thường bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải là hàm tối thiểu tổng chi phí đầu tư C^T cùng với việc đầu tư mới đường dây truyền tải [29] được mô tả như sau:

$$\text{minimize } C^T = \sum_{(x,y) \in \rho} \left[\sum_{i=1}^{m(x,y)} C_{(x,y)}^{(i)} U_{(x,y)}^{(i)} \right] \quad (2.1) \quad U_{(x,y)}^{(i)} = \begin{cases} 1 & P_{(x,y)} = P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(i)} \\ 0 & P_{(x,y)} \neq P_{(x,y)}^{(0)} + P_{(x,y)}^{(i)} \end{cases} \quad (2.2) \quad P_{(x,y)}^i = \sum_{j=1}^i \Delta P_{(x,y)}^j \quad (2.3)$$

2.2.2. Điều kiện ràng buộc về tiêu chuẩn chỉ số độ tin cậy của lưới điện

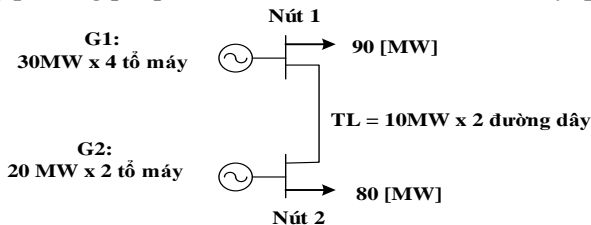
$$LOLE_{SYS}(P_{(x,y)}^{(i)}, \Phi) \leq_R LOLE \quad (2.4) \quad LOLE_{SYS} = \sum_{i=1}^n K_i P_i (C_i - L_i) \quad (2.5)$$

$$LOLE_{SYS} = \sum_{i=1}^n P_k t_k \quad (2.6) \quad LOLE_{SYS} = \sum_{i=1}^n (t_k - t_{k-1}) P_k \quad (2.7)$$

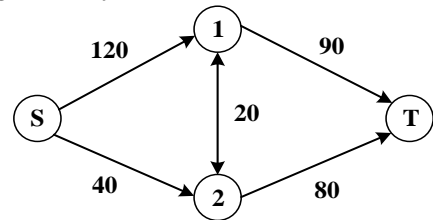
2.3. Phương pháp cận biên và nhánh áp dụng vào bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải

2.3.1. Mô hình hóa lưới điện

Hệ thống điện (HTĐ) bao gồm nhiều phần tử rời rạc. Để xác định tập hợp tối ưu quy hoạch hệ thống truyền tải bằng phương pháp toán, mô hình hóa HTĐ là cực kỳ quan trọng của công việc này[30].



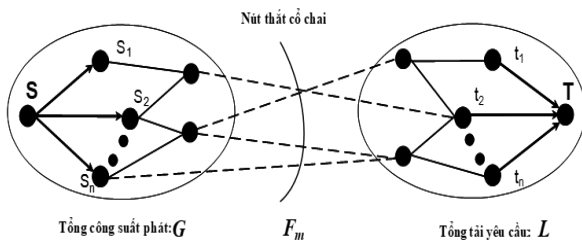
Hình 2.1 Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện



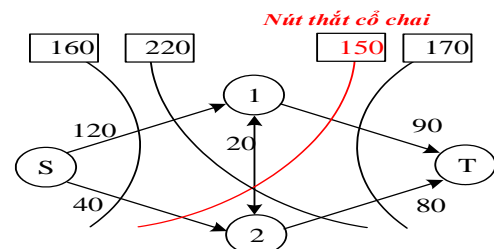
Hình 2.2 Sơ đồ mạng tương đương

2.3.2. Lý thuyết dòng cực đại và mặt cắt tối thiểu

Để xác định mặt cắt tối thiểu nằm ở đâu trong mạng, nơi ấy sẽ cần được mở rộng. Do đó, công tác quy hoạch cũng như vận hành cần phải xác định được nút thắt cổ chai như trình bày ở Hình 2.3.



Hình 2.3 Sơ đồ mô phỏng hệ thống điện tổng quát



Hình 2.4 Mặt cắt tối thiểu

2.3.3. Thuật toán tối ưu hóa số nguyên

Phương pháp cận biên và nhánh là phương pháp kỹ thuật cơ bản để giải quyết các vấn đề quy hoạch số nguyên [31]. Phương pháp này dựa trên sự quan sát các giải pháp liệt kê của số nguyên có một cấu trúc cây.

$$\text{minimize: } z = \sum_{j=1}^r c_j x_j + \sum_{j=r+1}^n c_j x_j$$

$$\text{subject to: } \sum_{j=1}^r a_{ij} x_j + \sum_{j=r+1}^n a_{ij} y_j \leq b_i \quad i=1,2,\dots,m$$

$$x_j \geq 0, \quad y_j \geq 0$$

(2.8)

2.4. Kết quả tính toán và thảo luận

2.4.1. Kết quả tính toán cho lưới điện Đồng bằng sông Cửu Long

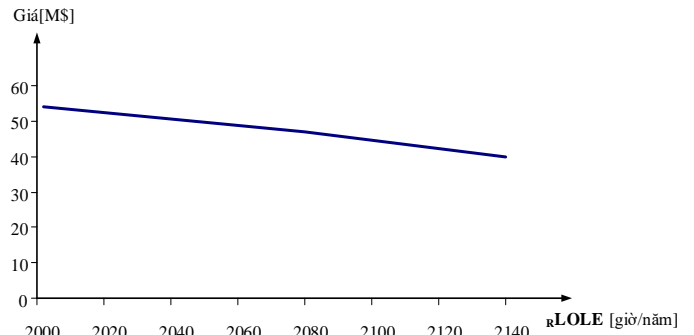
Áp dụng thuật toán giải bài toán quy hoạch lưới điện có mức điện áp từ 220KV trở lên trong vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) trên cơ sở kế hoạch xây dựng và vận hành những đường dây 500 KV. Kết quả đạt được cho thấy tất cả các chỉ số độ tin cậy như trình bày tại Bảng 2.1.

Bảng 2.1 Chỉ tiêu độ tin cậy của hệ thống

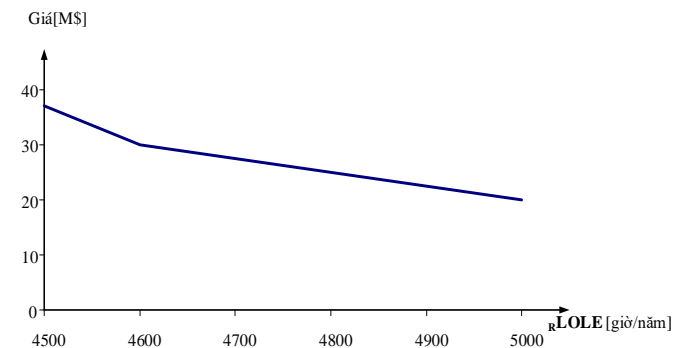
TH	rLOLE giờ/năm	EENS MWh/năm	ELC MW/Cu r.năm	LOLE _{sys} giờ/năm	EIR pu
N-1TL	2.140	10.710.400	5.013	2.136	0,867
	2.080	10.074.200	4.871	2.068	0,875
	2.002	9.454.600	4.724	2.001	0,883
N-2TL	5.000	24.498.900	4.954	4.945	0,696
	4.600	19.943.700	4.383	4.550	0,753
	4.500	19.119.200	4.268	4.479	0,763

Bảng 2.2 Tối ưu hóa quy hoạch hệ thống truyền tải

TH	rLOLE giờ/năm	Yêu cầu mở rộng đường dây	Giá M\$
N-1TL	2.140	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ² ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀ , T ¹ ₁₁₋₁₂	40
	2.080	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ² ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀ , T ¹ ₁₁₋₁₂ , T ¹ ₆₋₇	47
	2.002	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ² ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀ , T ¹ ₁₁₋₁₂ , T ¹ ₆₋₇ , T ¹ ₁₅₋₁₆	54
N-2TL	5.000	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀	20
	4.600	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀ , T ¹ ₁₁₋₁₂	30
	4.500	T ¹ ₃₂₋₁₄ , T ¹ ₉₋₁₀ , T ¹ ₁₁₋₁₂ , T ¹ ₆₋₇	37

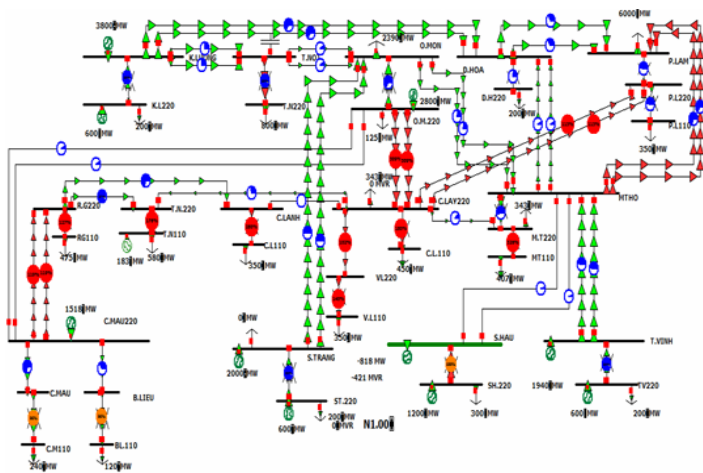


Hình 2.5 Mối quan hệ của chỉ tiêu độ tin cậy và tổng chi phí ở trường hợp 1

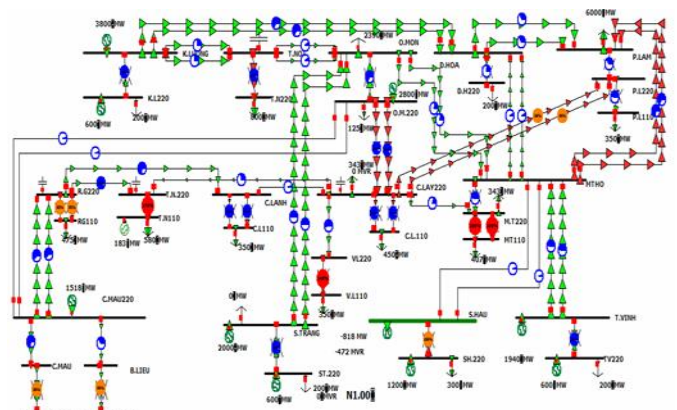


Hình 2.6 Mối quan hệ của chỉ tiêu độ tin cậy và tổng chi phí ở trường hợp 2

Sử dụng phần mềm *PowerWorld* nhằm kiểm tra độ ổn định và khả năng tải của đường dây và máy biến áp sau khi cải tạo có bị quá tải như trước khi cải tạo hay không, thông số điện áp sau khi cải tạo.



Hình 2.7 Hệ thống điện trước khi quy hoạch



Hình 2.8 Hệ thống sau mở rộng thêm 3 tuyến với rLOLE = 4.500 (giờ/năm)

2.4.2. Kết quả tính toán cho lưới điện tỉnh Bến Tre

Thực hiện quy hoạch mở rộng tối ưu lưới điện tỉnh Bến Tre cấp điện áp 220kV và 110kV. Kết quả đạt được cho thấy tất cả các chỉ số độ tin cậy của hệ thống điện sau khi quy hoạch.

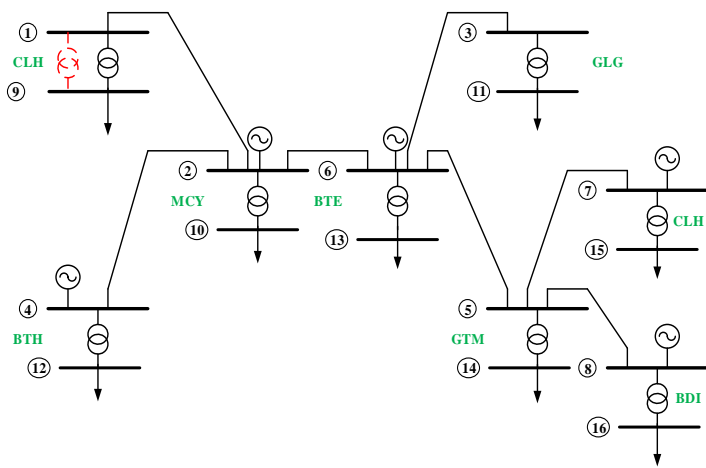
Bảng 2.3 Chỉ tiêu độ tin cậy của hệ thống

TH	Năm	rLOLE giờ/năm	EENS MWh/năm	ELC MW/ Cur.năm	LOLE _{sys} giờ/năm	EI R pu
N-1TL	2024	2.003	0	0	0	1
	2032	2.003	60.284,8	100.000	602,848	0,988
	2042	2.003	54.693,2	100.000	564,932	0,990
N-2TL	2024	2.003	0	0	0	1
	2032	2.003	0	0	0	1
	2042	2.003	0	0	0	1

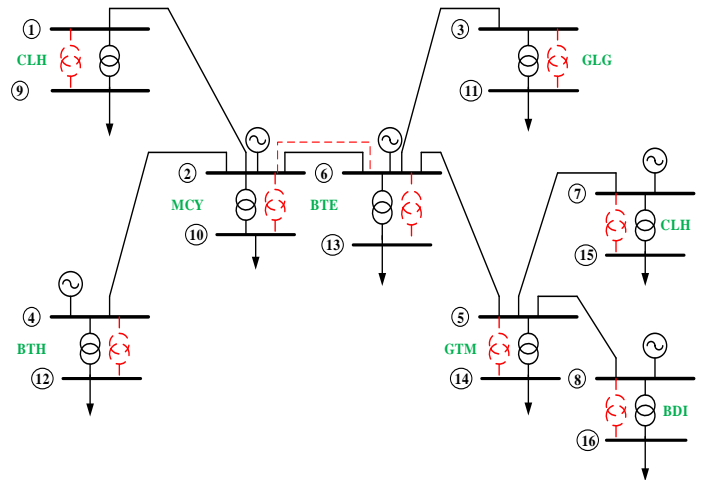
Bảng 2.4 Tối ưu quy hoạch hệ thống truyền tải

TH	Năm	rLOLE giờ/năm	Yêu cầu mở rộng đường dây	Chi phí M\$
N-1TL	2024	2.003	T ¹ ₁₋₉	1
	2032	2.003	T ¹ ₁₋₉	1
	2042	2.003	T ¹ ₁₋₉	1
N-2TL	2024	2.003	T ¹ ₁₋₉	1
	2032	2.003	T ¹ ₁₋₉ , T ¹ ₂₋₁₀ , T ¹ ₃₋₁₂ T ¹ ₄₋₁₁ , T ¹ ₅₋₉ , T ¹ ₁₋₁₄ , T ¹ ₆₋₁₃ , T ¹ ₇₋₁₅ , T ¹ ₈₋₁₆ , T ¹ ₆₋₂ .	10
	2042	2.003	T ¹ ₁₋₉ , T ¹ ₂₋₁₀ , T ¹ ₃₋₁₂ T ¹ ₄₋₁₁ , T ¹ ₅₋₉ , T ¹ ₁₋₁₄ , T ¹ ₆₋₁₃ , T ¹ ₇₋₁₅ , T ¹ ₈₋₁₆ , T ¹ ₆₋₂ .	10

Sơ đồ lưới điện sau khi quy hoạch trường hợp hệ thống điện *N-1TL* thể hiện theo Hình 2.9 đến Hình 2.12; các đường vẽ nét liền thể hiện đường dây, trạm biến áp hiện hữu và các đường nét đứt khúc màu đỏ thể hiện đường dây, trạm biến áp cần đầu tư mở rộng thêm đáp ứng nhu cầu phụ tải.

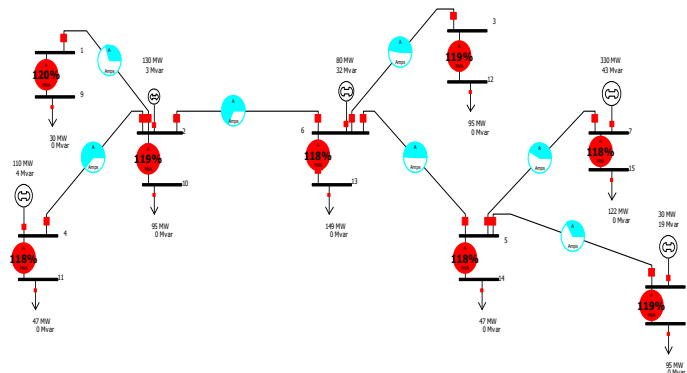


Hình 2.9 Lưới điện sau quy hoạch dài hạn năm 2042 trường hợp *N-1TL*

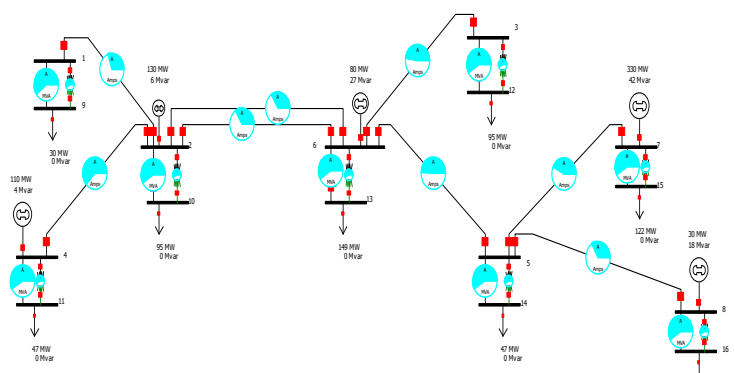


Hình 2.10 Lưới điện sau quy hoạch dài hạn năm 2042 trường hợp *N-2TL*

Kiểm tra độ ổn định của hệ thống lưới điện Hình tròn màu xanh trên đường dây và trạm biến áp: mang tải dưới 100%. Hình tròn màu đỏ trên đường dây và trạm biến áp: cảnh báo bị quá tải.



Hình 2.11 Hệ thống điện trước khi quy hoạch năm 2042



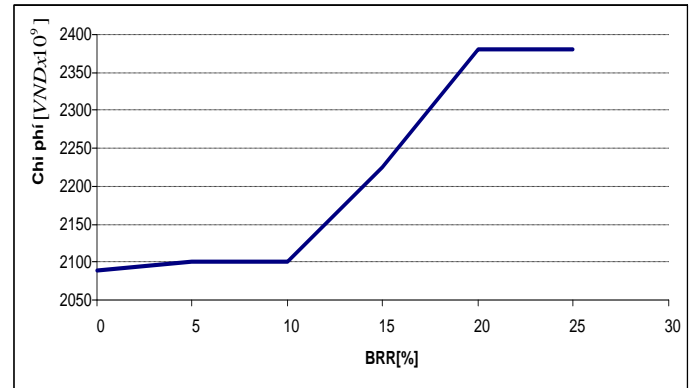
Hình 2.12 Hệ thống điện sau mở rộng trường hợp *N-2TL* vào năm 2042

2.4.3. Kết quả tính toán cho lưới điện tỉnh Hậu Giang

Nghiên cứu này sẽ áp dụng cho lưới điện có mức điện áp từ 110kV đến 220kV trên cơ sở kế hoạch xây dựng và vận hành hệ thống điện cùng với phát triển hệ thống nguồn. Nghiên cứu này đã sử dụng kết quả dự báo nhu cầu phụ tải dài hạn. Kết quả đạt được tại Bảng 2.5. bằng phần mềm máy tính được viết trên ngôn ngữ lập trình *Visual Fortran 6.0* theo thuật toán trình bày ở trên. Nếu độ dự trữ nút thanh cái càng tăng tức là hệ thống điện càng tin cậy. Điều này sẽ tăng chi phí đầu tư. Do đó, nếu yêu cầu độ dự trữ nút thanh cái tăng thì chi phí đầu tư thực hiện quy hoạch mở rộng lưới điện sẽ tăng theo như trình bày tại Hình 2.13.

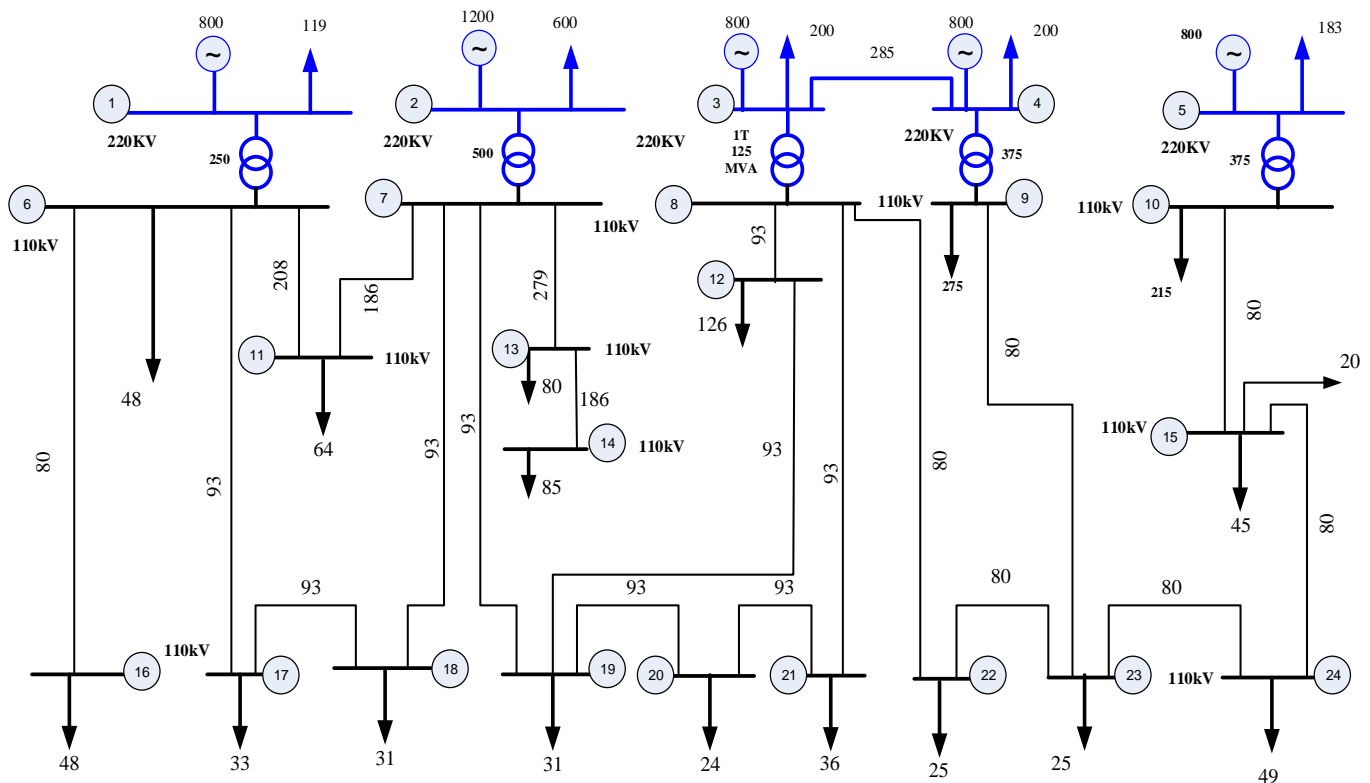
Bảng 2.5 Kết quả quy hoạch và mở rộng lưới điện theo độ dự trữ

TH	BRR (%)	ĐẦU TƯ THÊM	Chi phí VNĐ.10 ⁹
1	0	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.089
2	5	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.099
3	10	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₂₀₋₂₁ ¹ , T ₁₉₋₂₀ ¹ , T ₈₋₂₁ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.099
4	15	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.225
5	20	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₇₋₁₉ ³ , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.381
6	25	T ₃₋₈ ¹ , T ₃₋₈ ² , T ₃₋₈ ³ , T ₃₋₄ ¹ , T ₇₋₁₉ ¹ , T ₇₋₁₉ ² , T ₇₋₁₉ ³ , T ₈₋₁₂ ¹ , T ₈₋₁₂ ² , T ₁₂₋₁₉ ¹ , T ₁₂₋₁₉ ² , T ₁₀₋₁₅ ¹	2.381



Hình 2.13 Đường cong tổng chi phí đầu tư theo yêu cầu độ dự trữ BRR(%)

Sơ đồ đơn tuyến hệ thống truyền tải sẽ được mở rộng nhằm đáp ứng yêu cầu phụ tải tăng như trình bày tại Hình 2.14.

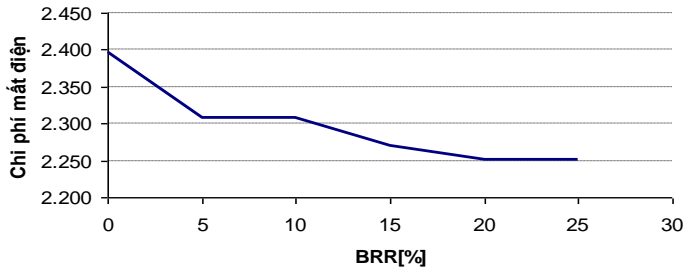


Hình 2.14 Sơ đồ đơn tuyến hệ thống truyền tải (BRR=5%)

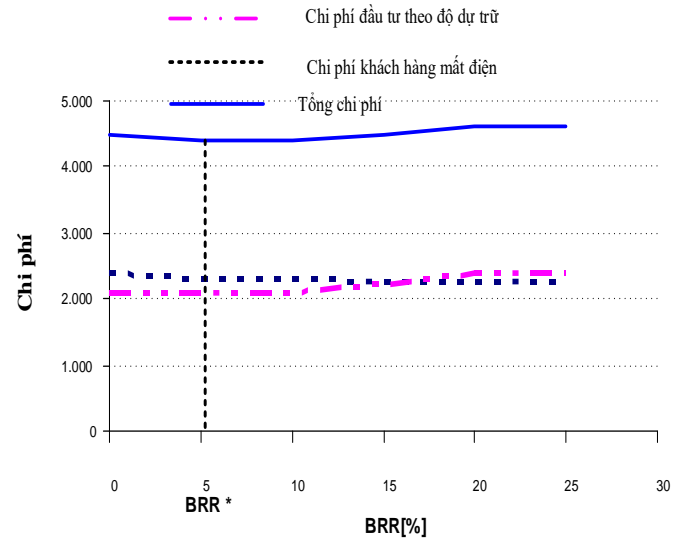
Đánh giá, đường cong chi phí mất điện và BRR tối ưu, IEAR = 3.000 (VNĐ/kWh)

Bảng 2.6 Chỉ tiêu độ tin cậy và tổng chi phí

TH	BRR	Chi phí xây dựng VNĐ.10 ⁹	EENS MWh/ngày	EENS MWh/năm	Chi phí cúp điện VNĐ10 ⁹	Tổng chi phí VNĐ.10 ⁹
1	0	2.089	218,878	79.890,47	2.396,71	4.485,71
2	5	2.099	210,855	76.962,08	2.308,86	4.407,86
3	10	2.099	210,855	76.962,08	2.308,86	4.407,86
4	15	2.225	207,285	75.659,03	2.269,77	4.494,77
5	20	2.381	205,524	75.016,26	2.250,49	4.631,49
6	25	2.381	205,524	75.016,26	2.250,49	4.631,49



Hình 2.15 Đường cong chi phí mất điện khách hàng

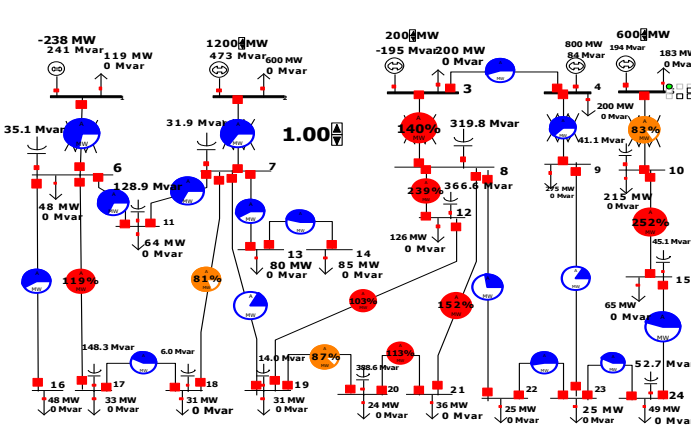


Hình 2.16 Đường cong tổng chi phí và điểm tối ưu độ tin cậy

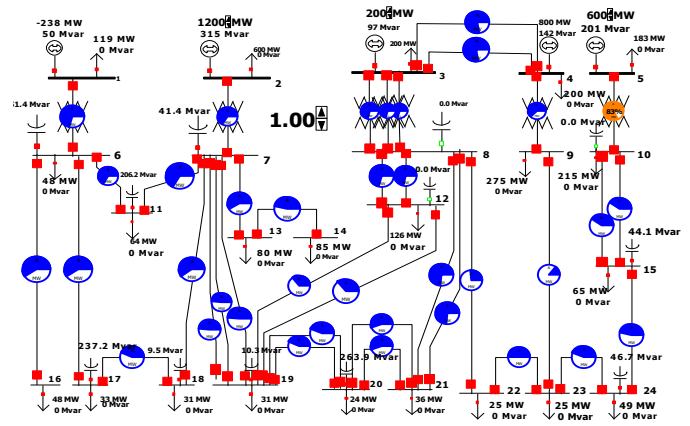
Như vậy, qua áp dụng thuật toán trên kiểm tra giá trị tối ưu trong quy hoạch hệ thống truyền tải của tỉnh Hậu Giang, giá trị độ dự trữ tối ưu của hệ thống điện quy hoạch tại BRR= 5% và 10%.

d. Kiểm tra phân bố công suất bằng phần mềm PowerWorld

Hình 2.17. chỉ ra đường dây và trạm biến áp mang quá tải trên 90%. Hình 2.18. là hình thể hiện lưới điện đã được đầu tư mở rộng theo yêu cầu của độ dự trữ BRR = 5%.



Hình 2.17 Hệ thống trước khi kiểm tra quy hoạch



Hình 2.18 Hệ thống sau khi kiểm tra quy hoạch với độ dự trữ BRR=5%

2.5. Kết luận chương 2

Nội dung trên tập trung giải quyết bài toán TEP xét đến độ tin cậy trong quy hoạch hệ thống truyền tải bằng phương pháp cận biên và nhánh. Sử dụng công cụ phần mềm PowerWorld để kiểm chứng lại hệ thống sau khi quy hoạch.

Nghiên cứu này còn xét thêm độ dự trữ trong quy hoạch hệ thống truyền tải kết quả đã được chứng minh trên hệ thống điện thực tại tỉnh Hậu Giang thuộc ĐBSCL.

Nghiên cứu không chỉ ứng dụng hiệu quả thuật toán tìm được giải pháp tối ưu độ tin cậy và độ dự trữ trong quy hoạch hệ thống truyền tải mà còn xét thêm nhiều chỉ số như chi tiêu thiếu, chỉ số mất điện trong năm,...trong hệ thống điện nhằm chứng minh tính khả thi trên quy hoạch dài hạn lưới điện cao áp.

Chương 3. QUY HOẠCH MỞ RỘNG LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI DC

3.1. Giới thiệu bài toán

Mô hình DC là mô hình phổ biến nhất được sử dụng để mô hình hóa bài toán TEP vì nó ít phức tạp hơn và giải quyết dễ dàng hơn, không cần nhiều thời gian; đồng thời, mô hình DC có độ chính xác tương đối cao.

3.2. Mô hình bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải DC

3.2.1. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu của quy hoạch mở rộng lưới điện là tối thiểu tổng chi phí đầu tư nhằm thỏa ràng buộc về kinh tế và vận hành. Mô hình DC cổ điển được sử dụng cho TEP [32] được định dạng như sau:

$$TC = \sum_{i,j \in \Omega} \beta \times cl_{ij} \times n_{ij} \quad (3.1) \quad cl_{ij} = (clf_{ij} + clv_{ij}) \times l \quad (3.2)$$

4.2.2. Các ràng buộc

$$P_i = \sum_{j=1}^{NB} P_{ij} + d_i \quad (i=1,2,\dots,NB), \quad (\forall i, j \in \Omega) \quad (3.3) \quad |(\theta_i - \theta_j)| \times |\gamma_{ij}| \leq P_{ij}^{max} \quad (3.6)$$

$$\sum_{y=1}^{N_{u_i+N_{c_i}}} P_{yi} = d_i + \sum_{j=1}^{NB} \gamma_{ij} \times (n_{ij}^0 + n_{ij}) \times (\theta_i - \theta_j) \quad (3.4) \quad 0 \leq n_{ij} \leq n_{ij}^{max} \quad (3.7)$$

$$(n_{ij}^0 + n_{ij}) \times |(\theta_i - \theta_j)| \times |\gamma_{ij}| \leq (n_{ij}^0 + n_{ij}) \times P_{ij}^{max} \quad (3.5) \quad |\theta_i| \leq |\theta_i^{max}| \quad (3.8)$$

3.3. Phương pháp thông minh nhân tạo vào bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải

3.3.1. Mô tả các thuật toán

Thuật toán Tìm kiếm chim tu hú là một trong những thuật toán tự nhiên ra đời gần đây nhất được phát triển bởi Yang và Deb vào tháng 12/2009 [34]. Ngoài ra, thuật toán này được nâng cao bởi cái gọi là các chuyến bay Lévy, hơn nữa bởi quãng đường đẳng hướng đơn giản ngẫu nhiên. [35].

Thuật toán Tìm kiếm con quạ là một trong những thuật toán tìm kiếm trong tự nhiên được xây dựng thuật toán bởi Alireza Askarzadeh vào tháng 3/2016 [36]. CSA là thuật toán về cách giấu thức ăn và có thể nhớ lại nơi cất giấu thức ăn từ vài tháng trước; con quạ có khả năng đánh lừa kẻ khác để bảo vệ thức ăn bằng cách dẫn đến một nơi khác.

3.3.2. Mô hình toán áp dụng các thuật toán

3.3.2.1. Thuật toán Tìm kiếm chim tu hú

Hệ thống tự nhiên thì rất phức tạp, do đó không thể xây dựng được mô hình chính xác bởi thuật toán máy tính trong sự hình thành cơ bản. Một quả trứng đại diện cho một giải pháp và được lưu trữ trong cùng một tổ.

i. Chim tu hú tìm kiếm tổ cho phù hợp nhất để đẻ trứng để tối đa hóa tỉ lệ sống sót. Một chiến lược lựa chọn tinh hoa được áp dụng để có những quả trứng tốt nhất (giải pháp tốt nhất gần giá trị tối ưu) để những quả trứng loài chim khác có cơ hội phát triển và trở thành (thế hệ kế tiếp) chim tu hú trưởng thành.

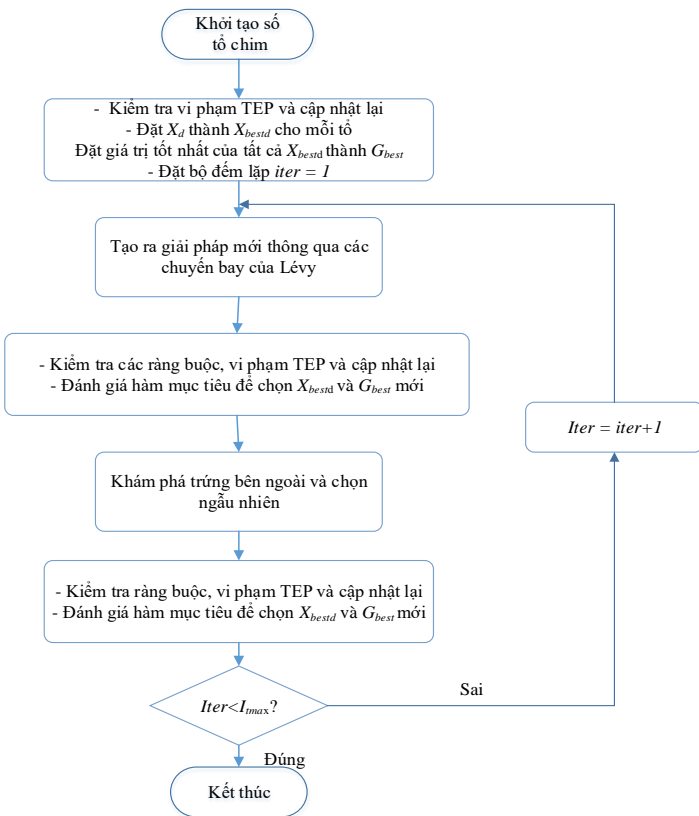
ii. Số lượng của tổ loài chim khác được đặt vào. Các loài chim khác phát hiện ra những quả trứng không phải của chúng (giải pháp không tốt từ giá trị tối ưu) với xác suất của $p_a \in [0,1]$ và các quả trứng này được ném ra ngoài hoặc tổ được bỏ lại và một tổ mới hoàn thiện được xây dựng ở vị trí mới. Quả trứng trưởng thành và sống ở thế hệ tiếp theo.

3.3.2.2. Thuật toán Tìm kiếm con quạ

Các nguyên tắc của CSA được liệt kê gồm: các con quạ sống trong sự hình thành của một đàn, các con quạ nhớ nơi cất giấu của chúng, các con quạ đuổi theo các loài khác để trộm cắp và các con quạ sẽ bảo vệ chỗ giấu của chúng khỏi bị trộm cắp trong điều kiện có thể.

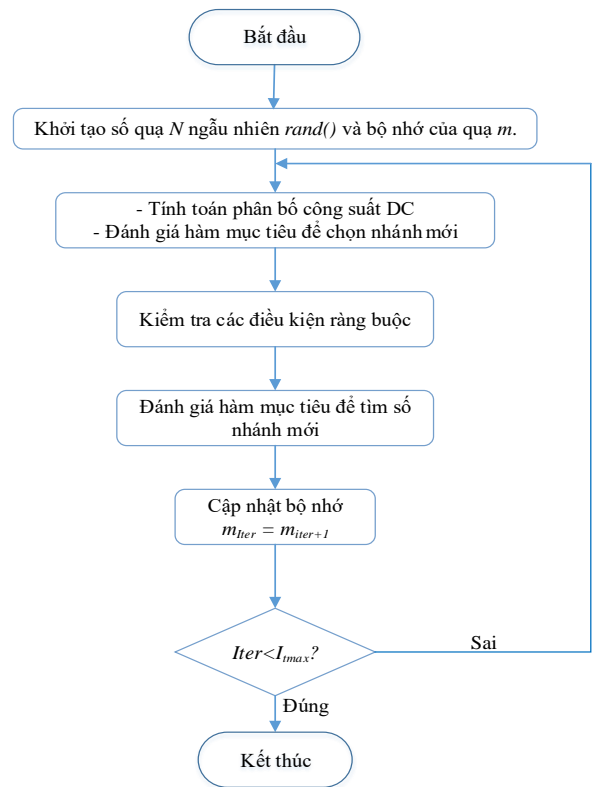
3.3.3. Áp dụng các thuật toán giải bài toán quy hoạch mở rộng hệ thống điện truyền tải

3.3.3.1. Áp dụng thuật toán Tìm kiếm chim tu hú



Hình 3.1 Lưu đồ giải thuật áp dụng thuật toán tìm kiếm CS - TEP

3.3.3.2. Áp dụng thuật toán Tìm kiếm con quạ



Hình 3.2 Lưu đồ giải thuật áp dụng thuật toán Tìm kiếm CSA – TEP

3.4. Kết quả tính toán và thảo luận

3.4.1. Áp dụng thuật toán Tìm kiếm con quạ vào bài toán TEP

a. Thông số hệ thống điện Garver 6 nút

Áp dụng thuật toán Tìm kiếm CSA giải bài toán TEP được kiểm tra trên hệ thống Garver 6 nút được thể hiện theo hệ thống điện (HTĐ) chuẩn Garver có 6 nút và 15 nhánh liên kết [13]. Tổng nhu cầu phụ tải là 760MW và thông số được cho trong Bảng 3.1. thể hiện thông số nguồn và các vị trí tải; Bảng 3.2. thể hiện số nhánh liên kết giữa các nút.

Bảng 3.1 Thông số nguồn phát và nhu cầu tải của HTĐ Garver 6 nút.

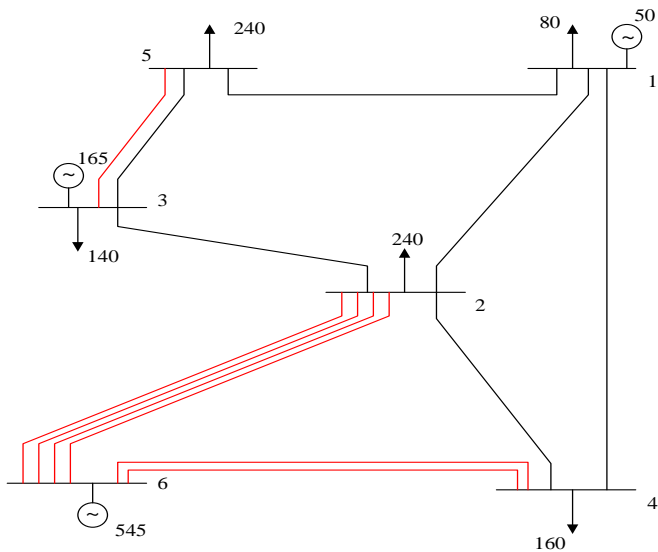
Nút	Công suất nguồn phát (MW)		Công suất nhu cầu tải (MW)
	Tối đa	Mức độ	
1	150	50	80
2	-	-	240
3	360	165	40
4	-	-	160
5	-	-	240
6	600	545	-

Bảng 3.2 Thông số các nhánh của HTĐ Garver 6 nút.

Nhánh	n_{ij}^0	r (p.u)	x (p.u)	P_{ij}^{\max} (MW)	Chi phí (10 ³ \$)
1-2	1	0,10	0,40	100	40
1-3	0	0,09	0,38	100	38
1-4	1	0,15	0,60	80	60
1-5	1	0,17	0,20	100	20
1-6	0	0,05	0,68	70	68
2-3	1	0,10	0,20	100	20
2-4	1	0,08	0,40	100	40
2-5	0	0,01875	0,31	100	31
2-6	0	0,15	0,30	100	30
3-4	0	0,15	0,59	82	59
3-5	1	0,25	0,20	100	20
3-6	0	0,12	0,48	100	48
4-5	0	0,16	0,63	75	63
4-6	0	0,0375	0,30	100	30
5-6	0	0,15	0,61	78	61

b. Các bước áp dụng thuật toán tìm kiếm con quạ vào TEP và kết quả

Các bước của thuật toán tìm kiếm CSA có thể được mô tả như sau: biến x sẽ là vị trí cất giấu thức ăn sẽ chọn một vị trí khả thi như một giải pháp. Số dân số được cố định là 15 cho tất cả các hệ thống, xác suất dự phòng được đặt 0,1 và chiều dài chuyển bay fl là 2. Số vòng lặp tối đa cho CSA là 500 đối với hệ thống. Sơ đồ hình 3.3. thể hiện các đường màu đỏ cần đầu tư mở rộng mới. Kết quả tối ưu được so sánh với các thuật toán thông minh nhân tạo [13].



Hình 3.3 Hệ thống điện Garver 6 nút sau khi quy hoạch

Bảng 3.3 Kết quả tối ưu chi phí đầu tư

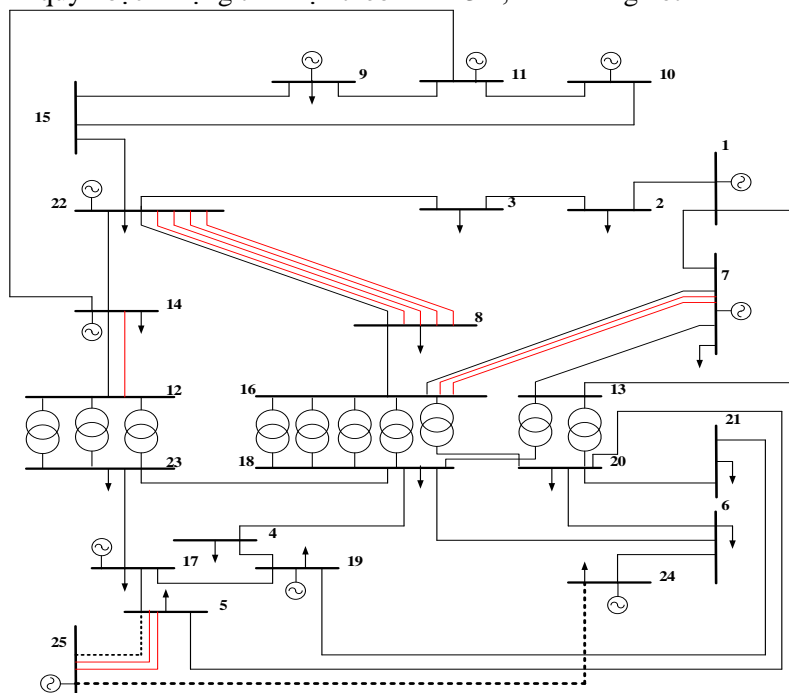
Phương pháp	n_{ij}	Chi phí đầu tư ($10^3\$$)			Độ lệch chuẩn	Thời gian tính (s)
		Xấu	Trung bình	Tốt		
GA	7	368	227	200	41,27	46,686
TS	7	244	218	200	26,56	36,983
CSA	7	200	200	200	0	15,72

Các kết quả thu được đều có các chi phí đầu tư thu được bằng phương pháp CSA thấp hơn, thời gian tính toán ngắn hơn. Điều này chứng minh rằng phương pháp CSA có tìm được giải pháp tối ưu hơn các phương pháp khác.

3.4.2. Áp dụng thuật toán Tìm kiếm chim tu hú vào bài toán TEP

a. Các bước áp dụng thuật toán tìm kiếm chim tu hú vào TEP và kết quả hệ thống điện chuẩn IEEE 25 nút

Thuật toán Tìm kiếm CS để có được giải pháp tối ưu cho mạng điện chuẩn IEEE 25 nút, có bốn tham số chính phải xác định trước là số lượng tổ 36, số lần lặp lại tối đa các nhánh liên kết 4, hệ số phân phối 1,5 và xác suất trùng ngoại lai được phát hiện trong tổ giá trị của nó thay đổi từ 0,1 đến 0,9 với kích thước bước là 0,1. Số vòng lặp tối đa cho CS là 5000. Hệ thống điện sau khi quy hoạch mạng thể hiện theo Hình 3.4, các đường nét liền màu đỏ là cần đầu tư mở rộng.



Hình 3.4 Hệ thống điện chuẩn IEEE 25 nút sau khi quy hoạch

Kết quả thống kê so sánh phương pháp CS và phương pháp ABC cùng mạng điện chuẩn IEEE 25 nút được quan tâm đến chi phí đầu tư, độ lệch chuẩn thể hiện trong Bảng 3.5. Bên cạnh đó, kết quả của phương pháp còn được so sánh với các phương pháp ANN, GA&TS, DEA, CGA về chi phí đầu tư được thể hiện trong Bảng 3.6.

Bảng 3.5 Kết quả tối ưu chi phí đầu tư mạng điện chuẩn IEEE 25 nút

TT	Kết quả quy hoạch	Phương pháp ABC	Phương pháp CS
		Chi phí đầu tư (\$)	Chi phí đầu tư (\$)
1	Tốt (\$)	112.046.000	111.371.000
2	Trung bình (\$)	113.847.250	111.371.000
3	Xấu (\$)	115.201.000	111.371.000
4	Độ lệch chuẩn	1.095.358	0

Bảng 3.6 So sánh các kết quả các phương pháp được kiểm tra cùng mạng điện chuẩn IEEE 25 nút

TT	Phương pháp	Chi phí đầu tư tối ưu (\$)
1	ANN,GA&TS	114.560.000
2	DEA	114.383.000
3	CGA	114.526.000
4	ABC	112.046.000
5	CS	111.371.000

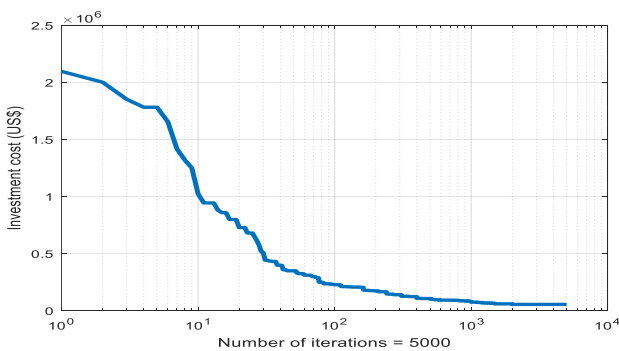
Các kết quả thu được điều có các chi phí đầu tư thu được bằng phương pháp CS đều thấp hơn. Điều này chứng minh rằng phương pháp CS có chất lượng giải pháp tốt hơn.

b. Các bước áp dụng thuật toán tìm kiếm chim tu hú vào TEP và kết quả hệ thống điện miền nam Brazil 46 nút

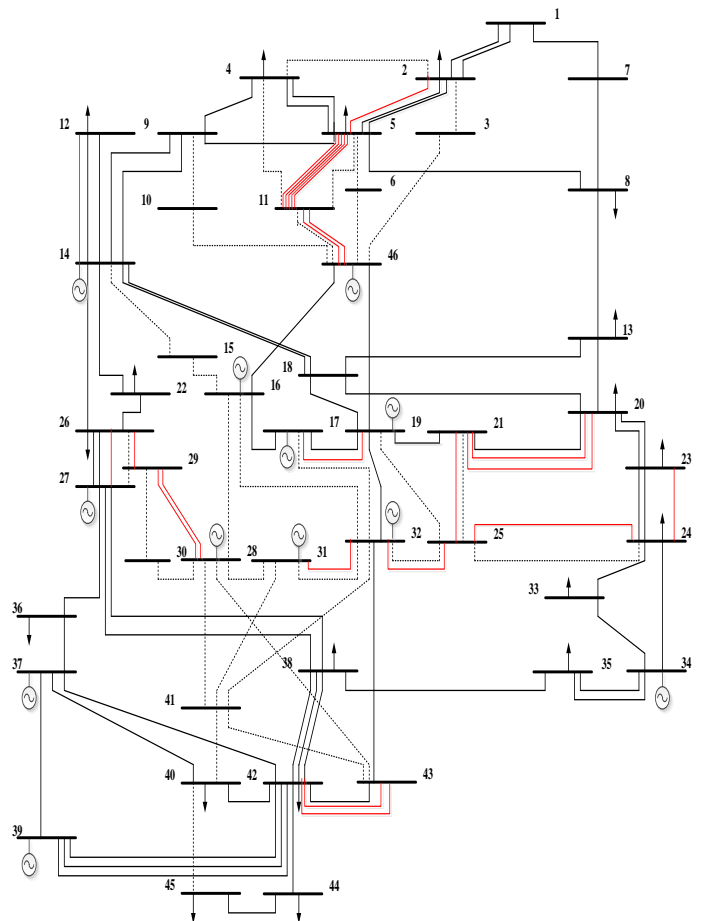
Thuật toán tìm kiếm CS để có được giải pháp tối ưu cho mạng điện Brazil 46 nút, có bốn tham số chính phải được xác định trước là số lượng tổ 79, số lần lặp lại tối đa các nhánh liên kết khoảng từ 5000 đối với hệ thống, hệ số phân phối 1,5 và xác suất trúng ngoại lai được phát hiện trong tổ giá trị của nó thay đổi từ 0,7 đến 0,9 với kích thước bước là 0,1.

Bảng 3.7 Kết quả hệ thống quy hoạch mở rộng lưới điện Brazil 46 nút

Từ nút	Đến nút	Đường dây thêm mới	Chi phí (10 ³ \$)	Chi phí đầu tư(10 ³ \$)
2	5	1	2.581	2.581
5	11	5	6.167	30.835
11	46	2	8.178	16.356
12	14	1	5.106	5.106
17	19	1	8.715	8.715
20	21	2	8.178	16.356
23	24	1	5.308	5.308
24	25	1	8.178	8.178
25	32	1	37.109	37.109
26	27	1	5.662	5.662
29	30	2	8.178	16.356
31	32	1	7.052	7.052
42	43	2	8.178	8.178
Tổng chi phí đầu tư (10³\$)			175.970	



Hình 3.5 Tổng chi phí đầu tư so với số vòng lặp



Hình 3.6 Hệ thống điện Brazil 46 nút sau khi quy hoạch

Kết quả thống kê thuật toán Tìm kiếm CS được áp dụng giải bài toán TEP về chi phí đầu tư, độ lệch chuẩn thể hiện trong Bảng 3.8. Bên cạnh đó, kết quả của phương pháp còn được so sánh với các phương pháp BF-DEA, GA về chi phí đầu tư được thể hiện trong Bảng 3.9 và so sánh giải thuật HS [33] .

Bảng 3.8 Kết quả tối ưu chi phí đầu tư mạng điện Brazil 46 nút

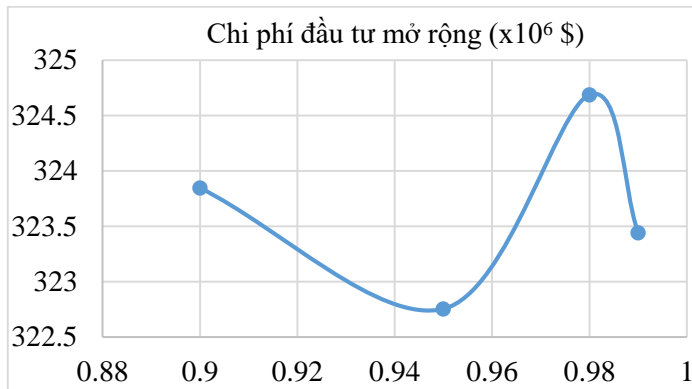
TT	Kết quả quy hoạch	Phương pháp CS
		Chi phí đầu tư ($10^3\$$)
1	Tốt (\$)	175.970.000
2	Trung bình (\$)	175.970.000
3	Xấu (\$)	175.970.000
4	Độ lệch chuẩn	0

Bảng 3.9 So sánh các kết quả các phương pháp được kiểm tra cùng mạng điện Brazil 46 nút

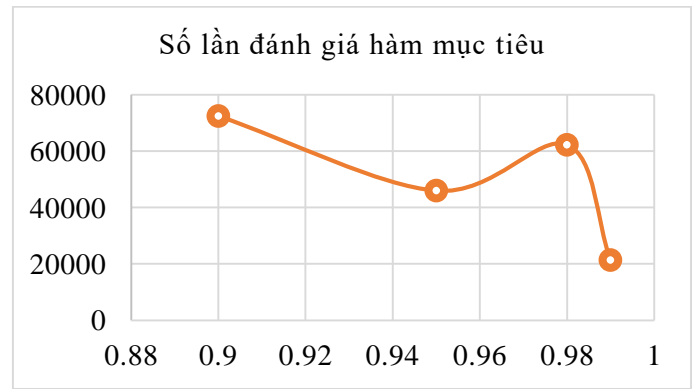
TT	Phương pháp	Số lần đánh giá hàm mục tiêu	Chi phí đầu tư tối ưu ($10^3\$$)
1	HS	$2,40 \cdot 10^5$	337.809.000
2	BF-DEA	$2,98 \cdot 10^5$	361.863.000
3	GA	$2,67 \cdot 10^6$	432.350.000
5	CS	$5,40 \cdot 10^4$	175.970.000

Bảng 3.10 So sánh kết quả của phương pháp HS và CS số cá thể là 50

Phương pháp	HS				CS				
	P_a	0,99	0,98	0,95	0,9	0,99	0,98	0,95	0,9
Chi phí đầu tư mở rộng ($\times 10^6 \$$)		337,809	337,809	337,809	340,679	323,443	324,687	322,755	323,847
Độ lệch chuẩn		21,39	18	15,55	48	19,2	18,7	13,4	36,67
Số lần đánh giá hàm mục tiêu		239.550	96.800	172.600	230.700	21.380	62.242	45.966	72.416



Hình 3.7 Đồ thị thể hiện chi phí mở rộng hệ thống điện của CS số cá thể là 50

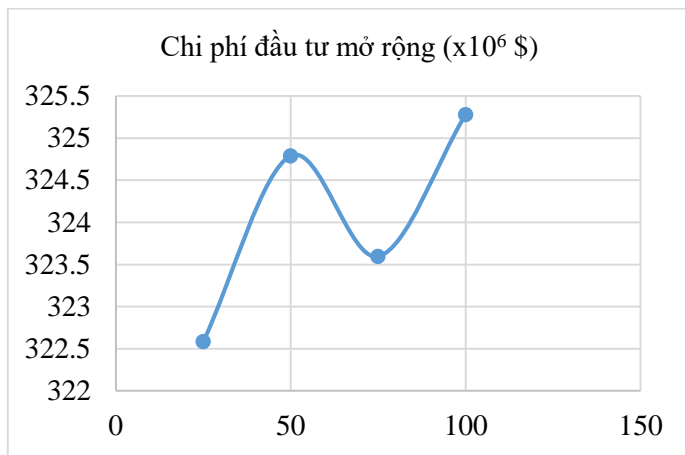


Hình 3.8 Đồ thị thể hiện đánh giá hàm mục tiêu hệ thống điện của CS số cá thể là 50

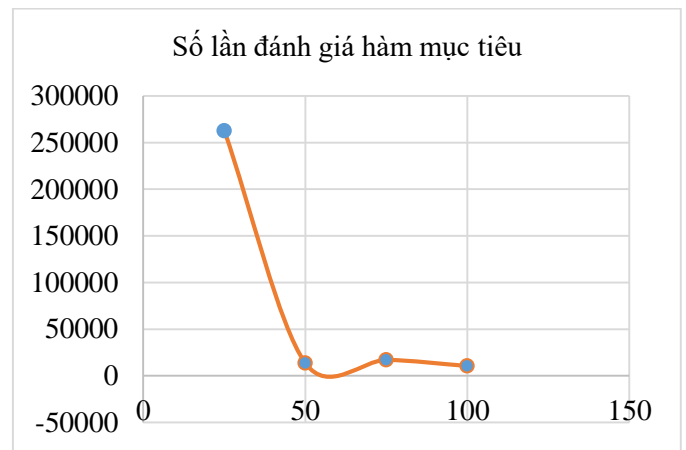
Nghiên cứu này chọn số lượng được thay đổi từ 25 đến 100 cá thể là 50, xác suất tối ưu có giá trị 0,98 cho các bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải. Kết quả tính toán thuật toán tìm kiếm CS được so sánh giải thuật HS [33]

Bảng 3.11 So sánh kết quả của phương pháp HS và CS với p_a là 0.98

Phương pháp	HS				CS				
	Số cá thể	25	50	75	100	25	50	75	100
Chi phí đầu tư mở rộng ($\times 10^6 \$$)		340,679	337,809	337,809	337,809	322,588	324,791	323,597	325,280
Độ lệch chuẩn		42	18	29,5	17,809	39,5	17,6	25,6	16,2
Số lần đánh giá hàm mục tiêu		79.900	96.800	117.975	155.300	262.996	13.787	16.900	10.620



Hình 3.9 Đồ thị thể hiện chi phí mở rộng hệ thống điện của CS với p_a là 0,98



Hình 3.10 Đồ thị thể hiện đánh giá hàm mục tiêu hệ thống điện của CS với p_a là 0,98

3.5. Kết luận chương 3

Kết quả cho thấy rằng thuật toán Tìm kiếm CSA và CS áp dụng cho bài toán TEP được đề xuất cung cấp giải pháp đạt tốt hơn trong tất cả các trường hợp với số lần đánh giá hàm mục tiêu.

Phương pháp thuật toán Tìm kiếm CSA đã áp dụng giải bài toán TEP chứng minh qua mạng điện chuẩn Garver 6 nút, các kết quả cho chứng minh tính hiệu quả phương pháp CSA tối ưu hơn các phương pháp khác giải cùng mạng điện.

Bên cạnh đó, phương pháp Tìm kiếm CS cũng đã giải bài toán TEP được chứng minh trên các hệ thống mạng điện IEEE 25 nút, và Brazil 46 nút các kết quả đạt được chi phí tối thiểu nhất. Hơn thế nữa, các kết quả tính toán được bằng phương pháp Tìm kiếm CS đã so sánh với nhiều phương pháp khác giải cùng mạng điện cho thấy hiệu quả tối ưu chi phí đầu tư thấp, thời gian tính toán ngắn hơn. Điều này chứng minh rằng phương pháp CSA, CS có chất lượng giải pháp tốt hơn.

Chương 4. QUY HOẠCH LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

4.1. Giới thiệu bài toán

Quy hoạch lưới điện phân phối có hai loại quy hoạch theo quy hoạch kinh nghiệm hiểu biết: quy hoạch ngắn hạn và dài hạn. Mục đích của quy hoạch ngắn hạn là đảm bảo rằng hệ thống có thể liên tục cung cấp điện cho khách hàng bằng cách bổ sung hệ thống phân phối để được thực hiện trong tương lai gần [38].

4.2. Mô hình bài toán quy hoạch tối ưu lưới điện phân phối

4.2.1. Quy hoạch tối ưu lưới điện phân phối AC

4.2.1.1. Hàm mục tiêu

a. Tối thiểu chi phí đầu tư và vận hành

Chi phí đầu tư và vận hành được xây dựng theo công thức

(5.1) và (5.2) được biểu diễn như sau:

$$Cost_{Investment}(X) = \sum_{t=1}^{N_{Stage}} C_{NPV}^t \left(\sum_{k=1}^{N'_B} IC_k + \sum_{S=1}^{N'_S} IC_S + \sum_{dg=1}^{N'_D} IC_{dg} \right) \quad (4.1)$$

$$Cost_{Operation}(X) = \sum_{t=1}^{N_{Stage}} C_{NPV}^t \left(\sum_{k=1}^{N'_B} OC_k + \sum_{S=1}^{N'_S} OC_S + \sum_{dg=1}^{N'_D} OC_{dg} \right) \quad (4.2)$$

$$F_1(X) = Cost_{investment} + Cost_{Operation} \quad (4.3)$$

b. Tối thiểu năng lượng không được phân phối

$$END_i = P_i \sum_{i,j \in V, j \neq i} (U_{j,i} + U'_{j,i}) \quad (4.4)$$

$$END(X) = \sum_{t=1}^{N_{Stage}} \sum_{j=1}^{N_{bus}^t} END_j^t \quad (4.5)$$

$$F_2(X) = END \quad (4.6)$$

d. Tối thiểu chỉ số ổn định điện áp dựa trên công suất ngắn mạch

$$S_{sc,j} = \frac{E_{th,j}}{Z_{th,j}} \quad (4.9)$$

$$I_{SCC,j} = \frac{S_{sc \min,j}}{S_{SC}} \quad (4.10)$$

c. Tối thiểu tổn thất công suất

$$P_{Loss}(X) = \sum_{t=1}^{N_{Stage}} \sum_{k=1}^{N_{branch}^t} (R_k^t \times |I_k^t|^2) \quad (4.7)$$

$$F_3 = P_{Loss} \quad (4.8)$$

$$F_4 = \sum_{t=1}^{N_{Stage}} \frac{1}{N_{bus}^t} \sum_{i=1}^{N_{bus}^t} I_{SCC,i}^t \quad (4.11)$$

5.2.1.2. Các ràng buộc

$$v_j^{min} \leq v_j \leq v_j^{max} \quad (4.12)$$

$$PF_k \leq PF_k^{max} \quad (4.13)$$

Cấu trúc của hệ thống phân phối nên được bố trí xuyên tâm do sơ đồ bảo vệ đơn giản của mạng phân phối. Với mục đích này, ma trận tỷ lệ nhánh - thanh cái được sử dụng để kiểm tra cấu trúc của mạng.

4.2.2. Quy hoạch tối ưu lưới điện phân phối dài hạn với nguồn phát phân tán

4.2.2.1. Hàm mục tiêu

$$J = \min \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{(1+R)^t} \left(\sum_{i \in N} (C_t^{DG} \cdot P_{i,t}^{DGcap} + C_t^{DG,r} \cdot P_{i,t}^{DG}) + \sum_{i \in SS} (C_t^{SS} \cdot z_{i,t}^{SS} + C_t^{SS,v} \cdot P_{i,t}^{SS} + \rho \cdot P_{i,t}^{lm} - C_t^{Ex} \cdot P_{i,t}^{Ex}) + \sum_{i,j \in N: \exists(i,j)} (C_t^{Fdr,f} \cdot Ge.Le.z_{(i,j),t}^{Fdr} + P_{(i,j),t}^{Fdr,C.A} \cdot C_t^{Fdr,v}) \right) \right) \quad (4.14)$$

4.2.2.2. Cân bằng công suất các nút

$$\sum_{i,j \in N: \exists(i,j)} (1 - Lf) \cdot P_{(j,i),t}^{Fdr} - P_{(i,j),t}^{Fdr} + P_{i,t}^{lm} - P_{i,t}^{DG} + P_{i,t}^{Ex} = (1 + Rs) \cdot Pd_t \quad (4.15)$$

4.2.2.3. Giới hạn dung lượng của đường dây

$$P_{(i,j),t}^{Fdr} \leq \sum_{t'=1}^t \left(P_{(i,j),t'}^{Fdr,cap} + P_{(i,j),t'}^{Fdr,C,A} + P_{(j,i),t'}^{Fdr,C,A} \right) \quad \forall (i,j) \in N: \exists(i,j), t \in T \quad (4.16)$$

$$P_{(i,j),t}^{Fdr,C,A} \leq M \cdot z_{(i,j),t}^{Fdr} \quad \forall (i,j) \in N: \exists(i,j), t \in T \quad (4.17)$$

4.2.2.4. Giới hạn công suất trạm

$$P_{i,t}^{lm} \leq \sum_{t'=1}^t (P_{i,t'}^{SScap} + P_{i,t'}^{SS}) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.18)$$

$$P_{i,t}^{Ex} \leq \sum_{t'=1}^t (P_{i,t'}^{SScap} + P_{i,t'}^{SS}) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.19)$$

$$P_{i,t}^{SS} \leq M \cdot z_{i,t}^{SS} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.20)$$

4.2.2.5. Giới hạn công suất nguồn phát phân tán

$$P_{i,t}^{DG} \leq P_i^{DG,ini} + \sum_{t'=1}^t P_{i,t'}^{DGcap} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.21)$$

$$\sum_t P_i^{DG,ini} + P_{i,t}^{DG_CAP} \leq P^{DG_MAX} \quad (4.22)$$

4.2.2.6. Giới hạn ngân sách

$$\frac{1}{(1+R)^t} \left(\sum_{i \in N} C_t^{DG,f} \cdot P^{DG_CAP} + \sum_{i \in SS} (C_t^{SS,f} \cdot z_{i,t}^{SS} + C_t^{SS,v} \cdot P^{SS}) \right) + \sum_{i,j \in N: \exists(i,j)} (C_t^{FDR,f} \cdot Ge. Le. z_{(i,j),t}^{fdr} + P^{FDR} \cdot C_t^{FDR,v}) \leq BL_t \quad \forall t \in T \quad (4.23)$$

4.3. Phương pháp thông minh nhân tạo áp dụng vào giải bài toán quy hoạch lưới điện phân phối

4.3.1. Các thuật toán thông minh nhân tạo

4.3.1.1. Thuật toán di truyền

Các phương pháp dựa trên thuật toán di truyền đã được đề xuất để giải quyết vấn đề quy hoạch mở rộng lưới điện phân phối. Vấn đề các phương pháp này là sự thể hiện khả năng giải quyết kém và các nhà quản lý di truyền.

4.3.1.2. Thuật toán PSO

Trong thuật toán PSO ban đầu, mỗi phần tử riêng lẻ được gọi là "hạt" và có thể chuyển động trong không gian đa chiều. Thuật toán dựa trên mô phỏng các hoạt động tìm kiếm nguồn thức ăn của một đàn chim [37-38].

4.3.2. Áp dụng thuật toán thông minh nhân tạo vào bài toán quy hoạch lưới điện phân phối

4.3.2.1. Thuật toán di truyền

$$\text{Hàm số thích đáng} = \text{Hàm mục tiêu} + \text{hàm số phạt} = \frac{\sum(\text{chi phí cố định} + \text{chi phí biến đổi})}{M} + \text{hàm số phạt} \quad (4.24)$$

$$\text{Hàm số phạt} = \alpha * s(\text{cây}) + \beta * l(\text{cây}) + \gamma * v(\text{cây}) \quad (4.25)$$

4.3.2.2. Thuật toán PSO cải tiến

a. Thuật toán PSO cải tiến

$$v_i^{iter+1} = k \cdot [\omega \cdot v_i^{iter} + c_1 \cdot \text{rand}(\cdot) \cdot (x_i^{best} - x_i^{iter}) + c_2 \cdot \text{rand}(\cdot) \cdot (x^{Gbest} - x_i^{iter})] \quad (4.26)$$

$$x_i^{iter+1} = x_i^{iter} + v_i^{iter+1} \quad (4.27)$$

b. Chiến lược đa mục tiêu

$$\forall m \in \{1, 2, \dots, N_{Obj}\}, F_m(X_1) \leq F_m(X_2), \quad (4.28)$$

$$\exists n \in \{1, 2, \dots, N_{Obj}\}, F_n(X_1) < F_n(X_2), \quad (4.29)$$

$$\mu_{F_m}(X) = \begin{cases} 1, & F_m(X) \leq F_m^{min} \\ 0, & F_m(X) \geq F_m^{max} \\ \frac{F_m^{max} - F_m(X)}{F_m^{max} - F_m^{min}}, & F_m^{min} \leq F_m(X) \leq F_m^{max} \end{cases} \quad m = 1, 2, \dots, N_{Obj} \quad (4.30)$$

$$N_\mu(i) = \frac{\sum_{m=1}^{N_{Obj}} w_m \times \mu_{F_m}(X_i)}{\sum_{i=1}^{N_{rep}} \sum_{m=1}^{N_{Obj}} w_m \times \mu_{F_m}(X_i)} \quad (4.31)$$

4.4. Kết quả tính toán và thảo luận

4.4.1. Quy hoạch mở rộng lưới điện phân phối

Nghiên cứu vấn đề đa mục tiêu quy hoạch mở rộng lưới điện phân phối có xét đến nguồn phát phân tán được áp dụng cho hệ thống phân phối gồm 2 nguồn cung cấp, 32 thanh cái, 5 nhánh, 5 dây chuyển mạch, 32 thiết bị chuyển

mạch [58]. Hệ thống này ban đầu có một trạm biến áp với công suất 2.600 kW có thể nâng cấp lên tới 4.355 kW. Ngoài ra, nó còn chứa 15 nhánh có thể nâng cấp và 12 tuyến để lắp đặt các nhánh mới đã được liệt kê trong Bảng 4.1.

Bảng 4.1 Thông số các nhánh liên kết mới

Số nhánh mới	Từ thanh cái	Đến thanh cái	R (Ω)	X (Ω)	U (giờ/năm)	U' (giờ/năm)
1	19	34	0.1	0.2	0.5	0.08
2	20	34	0.15	0.2	0.7	0.07
3	21	34	0.1	0.3	0.9	0.05
4	22	34	0.2	0.25	1	0.05
5	23	35	0.1	0.2	0.6	0.02
6	24	35	0.1	0.3	0.8	0.04
7	25	35	0.15	0.2	0.7	0.01
8	26	35	0.2	0.25	0.1	0.05
9	21	36	0.2	0.25	1	0.07
10	22	36	0.1	0.2	1	0.07
11	23	36	0.1	0.3	1	0.04
12	24	36	0.15	0.2	0.8	0.03

Bảng 4.2 Thông tin nhu cầu của các thanh cái mới

Số thanh cái mới	Nhu cầu công suất tác dụng (kW)	Nhu cầu công suất phản kháng (kVAr)
34	300	250
35	100	30
36	200	80

Bảng 4.3 Tối ưu hóa công suất của nguồn phát phân

tán trong trường hợp $w_1 = w_2 = w_3 = 0,33$ và $w_4 = 0$

Công suất phân phối nguồn phát (kW)			
Giai đoạn	Thanh cái 18	Thanh cái 32	Thanh cái 33
1	210	180	120
2	210	180	80
3	210	180	30

Bảng 4.4 Giá trị hàm mục tiêu trong tất cả các trường hợp

Trường hợp	Số trường hợp phụ	Hệ số quan trọng				F1	F2	F3	F4
		w1	w2	w3	w4				
Trường hợp I		-	-	-	-	1020303	48527	432,5161	0,009
Trường hợp II		-	-	-	-	12432000	13290,3	151,3026	0,0088
Trường hợp III		-	-	-	-	12973000	15846	95,49416	0,0088
Trường hợp IV		-	-	-	-	7541700	30148	200,1479	0,008496
Trường hợp V	1	0,33	0,33	0,33	-	2820899	46063,98	373,5442	-
	2	0,2	0,4	0,4	-	2550602	46093,13	362,3144	-
	3	0,4	0,2	0,4	-	3527097	41248,43	250,3062	-
	4	0,4	0,4	0,2	-	3163899	42670,78	322,403	-
Trường hợp VI	1	0,33	-	0,33	0,33	8773060	-	174,8745	0,009013
	2	0,2	-	0,4	0,4	8773060	-	174,8745	0,009013
	3	0,4	-	0,2	0,4	8773060	-	174,8745	0,009013
	4	0,4	-	0,4	0,2	8773060	-	174,8745	0,009013
Trường hợp VII	1	-	0,33	0,33	0,33	-	31545,28	187,5481	0,00864
	2	-	0,2	0,4	0,4	-	30746,8	186,3287	0,008646
	3	-	0,4	0,2	0,4	-	27239,08	158,1417	0,008741
	4	-	0,4	0,4	0,2	-	31545,28	187,5481	0,00864
Trường hợp VIII	1	0,33	0,33	-	0,33	3878294	43919,7	-	0,009134
	2	0,2	0,4	-	0,4	3878294	43919,7	-	0,009134
	3	0,4	0,2	-	0,4	6927673	30970	-	0,009091
	4	0,4	0,4	-	0,2	4190294	48861,78	-	0,008934
Trường hợp IX	1	0,25	0,25	0,25	0,25	9066164	47032,6	146,4991	0,008831
	2	0,1	0,3	0,3	0,3	9264262	41338,4	141,6119	0,008835
	3	0,3	0,1	0,3	0,3	8824665	30993,68	166,3473	0,008925
	4	0,3	0,3	0,1	0,3	8824665	30993,68	166,3473	0,008925
	5	0,3	0,3	0,3	0,1	9066164	47032,6	146,4991	0,008831

Bảng 4.3 Giá trị GD, SP và DM cho các thuật toán tối ưu khác nhau trong 2 & 3 chiều mặt trước Pareto

Thuật toán	MPSO			PSO			GA		
	GD	SP	DM	GD	SP	DM	GD	SP	DM
Cost-Loss	0,0022	0,0153	3,36.10 ¹⁴	0,0037	0,0218	3,33.10 ¹⁴	0,0082	0,0279	5,49.10 ¹³
Cost-END	0,0168	0,0822	1,20.10 ¹⁴	0,0109	0,0461	4,25.10 ¹³	0,0129	0,053	3,61.10 ¹³
Cost-VSI	0,0352	0,1152	1,95.10 ¹³	0,0381	0,0992	1,05.10 ¹³	0,2683	0,3678	5,10.10 ¹²
Cost-END-Loss	4,75.10 ⁻⁴	0,0064	6,50.10 ¹⁴	0,0049	0,0241	1,97.10 ¹³	0,0052	0,021	1,84.10 ¹³
Cost-END-VSI	0,0039	0,0168	1,06.10 ¹⁴	0,0068	0,0225	4,05.10 ¹³	0,0121	0,0225	3,17.10 ¹³
Cost-Loss-VSI	0,0027	0,0113	8,81.10 ¹³	0,0036	0,0242	1,03.10 ¹⁴	0,0039	0,0228	8,59.10 ¹³
END-Loss-VSI	0,0382	0,0830	7,44.10 ⁷	0,3057	0,5257	7,30.10 ⁷	0,4005	0,5787	4,13.10 ⁶

4.4.2. Quy hoạch tối ưu lưới điện phân phối dài hạn với nguồn phát phân tán

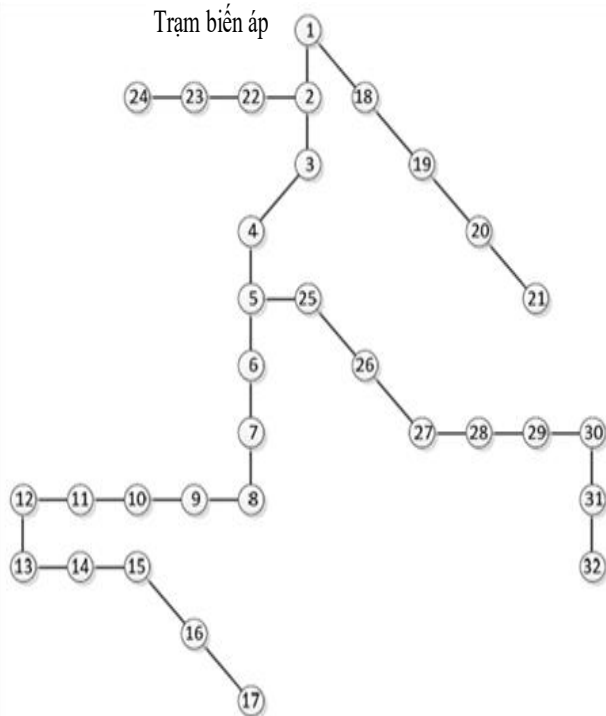
Mô hình đề xuất được áp dụng cho hệ thống phân phối xuyên tâm 32 nút [38] thể hiện trong Hình 4.2. Hệ thống bao gồm 32 thanh cái, chia thành 4 nhánh với trạm biến áp kết nối lưới tại nút 1. Tổng nhu cầu tối đa của hệ thống là 37 MW trong năm 0 và giả định tăng 3% mỗi năm.

Bảng 4.4 Chi phí đầu tư các nguồn có ích

Thành phần	Chi phí EPC		Chi phí vốn	
	Ký hiệu	Chi phí \$/km	Ký hiệu	Chi phí \$/MW
Nguồn cấp	C_f^{FDR}	150,000	C_v^{FDR}	1,000
Trạm biến áp	C_f^{SS}	200,000	C_v^{SS}	50,000
Tua bin khí DG	-	-	C_f^{DG}	825,000

Bảng 4.5 Từ giá điện và đến các nguồn có ích

TT	Nguồn	Chi phí \$/MWh
1	Thị trường, ρ	110
2	Xuất khẩu, C_e^x	108
3	Tua bin khí DG, C_r^{DG}	75



Hình 4.1 Hệ thống phân phối xuyên tâm 32 nút

Bảng 4.6 Công suất tác dụng và công suất phản kháng

Nút	P (p.u)	Q(p.u)	Nút	P (p.u)	Q (p.u)
1	1	0,6	17	0,9	0,4
2	0,9	0,4	18	0,9	0,4
3	1,2	0,8	19	0,9	0,4
4	0,6	0,3	20	0,9	0,4
5	0,6	0,2	21	0,9	0,4
6	2	1	22	0,9	0,5
7	2	1	23	4,2	2
8	0,6	0,2	24	4,2	2
9	0,6	0,2	25	0,6	0,25
10	0,45	0,3	26	0,6	0,25
11	0,6	0,35	27	0,6	0,2
12	0,6	0,35	28	1,2	0,7
13	1,2	0,8	29	2	6
14	0,6	0,1	30	1,5	0,7
15	0,6	0,2	31	2,1	1
16	0,6	0,2	32	0,6	0,4

Bảng 4.7 Thông số bộ phận cấp nguồn

Nút A	Nút B	R (10 ⁻⁴ , p.u)	X (10 ⁻⁴ , p.u)	Nút A	Nút B	R (10 ⁻⁴ , p.u)	X (10 ⁻⁴ , p.u)
1	2	3,076	1,567	1	18	1,023	0,976
2	3	2,284	1,163	18	19	9,385	8,457
3	4	2,378	1,211	19	20	2,555	2,985
4	5	5,11	4,411	20	21	4,423	5,848
5	6	1,168	3,861	2	22	2,815	1,924
6	7	4,439	1,467	22	23	5,603	4,424
7	8	6,258	4,617	23	24	5,59	4,374
8	9	6,514	4,617	5	25	1,267	0,645
9	10	1,227	0,406	25	26	1,773	0,903
10	11	2,336	0,81	26	27	6,607	5,826
11	12	9,159	7,206	27	28	5,018	4,371
12	13	3,379	4,448	28	29	3,166	1,613
13	14	3,687	3,282	29	30	6,08	6,008
14	15	4,656	3,4	30	31	1,937	2,258
15	16	8,042	10,74	31	32	2,128	3,308
16	17	4,567	3,581				

Trong phần này, quy hoạch lưới điện phân phối từ phương pháp tiếp cận heuristic đề xuất được so sánh với mô hình thu được bằng cách sử dụng mô hình tối ưu cùng một lưới điện phân phối [38]. Kế hoạch đầu tư, tổng chi phí đầu tư và tổn thất hệ thống cho các phương pháp này được trình bày trong Bảng 4.8. Cần lưu ý rằng phương pháp tiếp cận heuristic đề xuất trong kế hoạch mở rộng lưới điện phân phối chi phí cao hơn (56,8) so với cách tiếp cận tối ưu (54,6). Hơn nữa, quan sát thấy rằng sự mất mát năm cuối cùng trong cách tiếp cận heuristic được đề xuất thấp hơn so với phương pháp tối ưu hóa đầy đủ. Lý do là phương pháp tiếp cận heuristic được đề xuất sử dụng phương pháp truyền lại, dẫn đến kết hợp các nâng cấp và đầu tư tương thích vào cuối thời điểm lập kế hoạch.

Bảng 4.8 So sánh kế hoạch đầu tư

Năm	Quy mô đầu tư (MW) và địa điểm đầu tư (nút)	
	Phương pháp đề xuất	Tối ưu hóa đầy đủ
1	DG:5 (17)	DGs: 3.7 (13), 3.3 (17), 2.9 (31), 2 (32)
4	-	
6	DG: 2 (24)	Nguồn cấp: 0.5 (16-17)
7	DG: 4 (16)	Trạm biến áp: 4 (1)
9	DG: 1 (21)	Nguồn cấp: 2 (2-22)
10	Nguồn cấp: 1 (26-27) và (29-30)	- Nguồn cấp: 0.5 (1-18) Nguồn cấp: 1.5 (1-2), 0.5 (22-23)
Tổng chi phí (M\$)	56,8	54,6
Tổn thất cuối năm (MW)	3,361	3,393
Các tổn thất của giai đoạn quy hoạch	35,202	25,509

4.5. Kết luận chương 4

Xây dựng được các phương pháp tối ưu hóa thông minh nhân tạo giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện phân phối.

Ứng dụng phần mềm Matlab để tính toán bài toán tối ưu hóa quy hoạch lưới điện phân phối bằng phương pháp thông minh nhân tạo.

Kết quả tính toán được so với các phương pháp khác cùng mô hình bằng cách sử dụng mô hình tối ưu cùng một lưới điện phân phối khi xét nguồn cung cấp điện và trạm biến áp trên lưới phân phối đạt được kết quả tối thiểu là tổng chi phí 54,6(M\$), tổn thất cuối năm 3,393 (MW), các tổn thất của giai đoạn quy hoạch 25,509.

Thuật toán đơn giản và có tính hiệu quả có thể giải được nhiều bài toán quy hoạch trong lưới điện phân phối và có thể phát triển mở rộng ứng dụng vào mạng điện phức tạp hơn.

Chương 5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1. Kết luận

Trong luận án này, nghiên cứu xây dựng mới các thuật toán giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải, lưới điện phân phối hiện nay đã giải quyết nhanh và chính xác.

- Nghiên cứu áp dụng các thuật toán cận biên và nhánh để giải bài toán quy hoạch và mở rộng hệ thống truyền tải có ràng buộc về chuẩn độ tin cậy và độ dự trữ vào lưới điện thực ở ĐBSCL. Hơn thế nữa, nghiên cứu đã áp dụng các thuật toán cận biên và nhánh để giải bài toán quy hoạch và mở rộng hệ thống truyền tải có ràng buộc về chuẩn độ tin cậy vào lưới điện thực ở tỉnh Bến Tre thuộc khu vực ĐBSCL và đã giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện có ràng buộc chuẩn độ tin cậy và độ dự trữ vào lưới điện thực Hậu Giang thuộc khu vực ĐBSCL.

- Nghiên cứu đã áp dụng các thuật toán cận biên và nhánh để giải bài toán quy hoạch và mở rộng hệ thống truyền tải có ràng buộc về độ tin cậy và độ dự trữ vào lưới điện thực ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. Đây cũng chính là cơ sở để định hướng xây dựng bài toán đa mục tiêu với nhiều điều kiện ràng buộc để phát triển phù hợp với lưới điện trong tương lai. Đặc biệt, điều này rất quan trọng để áp dụng các phương pháp thông minh nhân vào giải bài toán quy hoạch lưới điện truyền tải sẽ được chứng minh trên mạng điện chuẩn IEEE và mạng điện thực Đồng Bằng Sông Cửu Long.

- Thuật toán tìm kiếm CSA áp dụng cho bài toán quy hoạch ở các mạng điện chuẩn Garver 6 nút; Kết quả đã so sánh chi phí đầu tư, độ lệch chuẩn, thời gian tính toán với các phương pháp GA, TS cho thấy được hiệu quả của phương pháp đạt được giá trị tối ưu hơn.

- Thuật toán tìm kiếm CS áp dụng cho bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải được chứng minh trên mạng điện chuẩn IEEE 25 nút; mạng điện miền nam Brazil 46 nút.; Kết quả đã thu được chi phí đầu tư, độ lệch chuẩn có giá trị tối ưu.

Điểm mạnh của phương pháp CS, CSA được áp dụng là ít nguồn dữ liệu đầu vào, có nhiều điều kiện ràng buộc, tìm được các vị trí cần đầu tư mở rộng và giải được bài toán quy hoạch hệ thống truyền tải với hệ thống điện phức tạp; trong thời gian tới sẽ áp dụng vào hệ thống điện thực tế lớn.

- Quy hoạch tối ưu lưới điện phân phối dài hạn với nguồn phát phân tán được áp dụng cho hệ thống phân phối xuyên tâm 32 nút. Quy hoạch lưới điện phân phối từ phương pháp tiếp cận heuristic đề xuất được so sánh với mô hình thu được bằng cách sử dụng mô hình tối ưu đầy đủ cùng một lưới điện phân phối.

Tóm lại, luận án tập trung nghiên cứu chỉ tập trung nghiên cứu giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải xét đến độ tin cậy, xây dựng được phương pháp thông minh nhân tạo mới được áp dụng bài toán quy hoạch lưới điện truyền tải DC, và giải bài toán quy hoạch lưới điện phân phối. Các kết quả được so sánh với các phương pháp khác đã được áp dụng để chứng minh rằng kết quả các giải pháp tìm được đạt được độ tin cậy cao.

5.2. Hướng phát triển

Phát triển thuật toán thông minh nhân tạo để giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải có kết hợp với bài toán dự báo phụ tải dài hạn; Nghiên cứu này sẽ phát triển bài toán quy hoạch lưới điện truyền tải với nhiều ràng buộc được kết hợp nhằm tìm được giải pháp tối ưu nhất sẽ chứng minh trên các mạng điện chuẩn IEEE và áp dụng để giải quyết vấn đề quy hoạch lưới điện truyền tải thực tế, cụ thể dự kiến sẽ giải quyết bài toán ở khu vực ĐBSCL

Nghiên cứu sẽ xây dựng mới thêm các thuật toán thông minh nhân tạo khác giải bài toán quy hoạch mở rộng lưới điện truyền tải, xem xét thêm điều kiện thêm vào nguồn phát từ năng lượng tái tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Reza Hemmati, Rahmat-Allah Hooshmand and Amin Khodabakhshian, “*State-of-the-art of transmission exPansion planning: Comprehensive review*” *Renew Sustainable Energy Rev.*, vol 23, March 2013, pp.312–319.
- [2]. Sousa, Aldir Silva, and Eduardo N. Asada. “*Combined heuristic with fuzzy system to transmission system exPansion planning.*” *Electr Power Sys Res*, 81.1 (2011): 123-128.
- [3]. Haryono, T. “*Novel binary PSO algorithm based optimization of transmission exPansion planning considering power losses.*” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 128. No. 1. IOP Publishing, 2016.
- [4]. Gallego, Luis A., et al. “*High-performance hybrid genetic algorithm to solve transmission network exPansion planning.*” *IET Generation, Transmission & Distribution* 11.5 (2016): 1111-1118.
- [5]. López, Jaime Andrés López, Jesús María López-Lezama, and Nicolás Muñoz-Galeano. “*A Hybrid Genetic Algorithm Applied to the Transmission Network ExPansion Planning Considering Non-conventional Solution Candidates.*” *Journal of Applied Science and Engineering* 22.3 (2019): 569r578.
- [6]. Mehrtash, Mahdi, Amin Kargarian, and Ali Mohammadi. “*Distributed optimisation-based collaborative security-constrained transmission exPansion planning for multi-regional systems.*” *IET Generation, Transmission & Distribution* 13.13 (2019): 2819-2827.
- [7]. Mehrtash, Mahdi, Amin Kargarian, and Mohsen Rahmani. “*Security-constrained transmission exPansion planning using linear sensitivity factors.*” *IET Generation, Transmission & Distribution* 14.2 (2019): 200-210.
- [8]. da Silva, Armando M. Leite, et al. “*Constructive metaheuristics applied to transmission exPansion planning with security constraints.*” 2017 19th international conference on intelligent system application to power systems (ISAP). IEEE, 2017.
- [9]. Poubel, R. P. B., et al. “*Tree searching heuristic algorithm for multi-stage transmission planning considering security constraints via genetic algorithm.*” *Electric Power Systems Research* 142 (2017): 290-297.
- [10]. Macedo, Leonardo H., et al. “*MILP branch flow model for concurrent AC multistage transmission exPansion and reactive power planning with security constraints.*” *IET Generation, Transmission & Distribution* 10.12 (2016): 3023-3032.
- [11]. Soleimani, Koosha, and Jalil Mazloum. “*Considering facts in optimal transmission exPansion planning.*” *Engineering, Technology & Applied Science Research* 7.5 (2017): 1987-1995.
- [12]. Blanco, Gerardo. “*Optimal transmission exPansion planning with FACTS.*” *Electrical Engineering: National University of San Juan, Argentina* 10 (2010).
- [13]. Leeprechanon, N., Limsakul, P., & Pothiya, S. (2010). “*Optimal transmission exPansion planning using ant colony optimization.*” *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 1(2), 71-76.
- [14]. Yoshimoto, Katsuhisa, Keiichiro Yasuda, and Ryuichi Yokoyama. “*Transmission exPansion planning using neuro-computing hybridized with genetic algorithm.*” *Evolutionary Computation*, 1995., Vol. 1. IEEE, 1995.
- [15]. Rathore, Chandrakant, et al. “*Artificial Bee Colony Algorithm based static transmission exPansion planning.*” *Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2013 International Conference on.* IEEE, 2013.
- [16]. Georgilakis, Pavlos S. “*Market-based transmission exPansion planning by improved differential evolution.*” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 32.5 (2010): 450-456.
- [17]. Alhamrouni, Ibrahim, et al. “*Transmission exPansion planning using AC-based differential evolution algorithm.*” *IET Gener. Transm. Distrib.*, 8.10(2014):1637-1644.
- [18]. Alaei, S., Hooshmand, R. A., & Hemmati, R. (2016). “*Stochastic transmission exPansion planning incorporating reliability solved using SFLA meta-heuristic optimization technique.*” *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2(2), 79-86.

- [19].Abdelaziz, Ahmd R. "*Genetic algorithm-based power transmission exPansion planning.*" Electronics, Circuits and Systems, 2000. ICECS 2000. The 7th IEEE International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2000.
- [20].Gallego, R. A., A. Monticelli, and R. Romero. "*Transmission system exPansion planning by an extended genetic algorithm.*" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 145.3 (1998): 329-335.
- [21].Sadegheih, A., and P. R. Drake. "*System network planning exPansion using mathematical programming, genetic algorithms and tabu search.*" Energy Conv. Mana. 49.6(2008):1557-1566.
- [22].Gallego, Ramon A., Rubén Romero, and Alcir J. Monticelli. "*Tabu search algorithm for network synthesis.*" IEEE Trans. Power Syst 15.2 (2000): 490-495.
- [23].Romero, R., and A. Monticelli. "*A zero-one implicit enumeration method for optimizing investments in transmission exPansion planning.*" IEEE Trans. Power Syst 9.3 (1994): 1385-1391.
- [24].Kavitha, D., and K. Shanti Swarup. "*Transmission exPansion planning using LP-based Particle swarm optimization.*" Power India Conference, 2006 IEEE.
- [25].Hemmati, Reza, Rahmat-Allah Hooshmand, and Amin Khodabakhshian. "*Comprehensive review of generation and transmission exPansion planning.*" IET Gener. Transm. Distrib., 7.9 (2013): 955-964.
- [26].Verma, Sumit, and Vivekananda Mukherjee. "*Transmission exPansion planning: A review.*" Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2016 International Conference on. IEEE, 2016.
- [27].Alhamrouni, Ibrahim, et al. "*Review on Transmission ExPansion Planning Models.*" Applied Mechanics and Materials. Vol. 818. Trans Tech Publications, 2016.
- [28].Mahdavi, Meisam, and Hassan Monsef. "*Review of static transmission exPansion planning.*" J. Electr. Control Eng 1.1 (2011): 11-18.
- [29].Zoppei, Reinaldo T., et al. "*A Branch and Bound Algorithm for Transmission Network Expansion Planning Using Nonconvex Mixed-Integer Nonlinear Programming Models.*" IEEE Access 10 (2022): 39875-39888.
- [30].Al-Hamouz, Z. M., and A. S. Al-Faraj. "*Transmission exPansion planning using nonlinear programming.*" Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES. Vol. 1. IEEE, 2002.
- [31].Al-Hamouz, Zakariya Mahmoud, and Ali Sadiq Al-Faraj. "*Transmission-expansion planning based on a nonlinear programming algorithm.*" Applied energy 76.1(2003): 69-177.
- [32].Romero, R., et al. "*Constructive heuristic algorithm for the DC model in network transmission exPansion planning.*" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 152.2 (2005): 277-282.
- [33].Eghbal, Mehdi, TaPan Kumar Saha, and Kazi Nazmul Hasan. "*Transmission expansion planning by meta-heuristic techniques: a comParison of shuffled frog leaping algorithm, PSO and GA.*" Power and energy society general meeting, 2011 IEEE.
- [34].Yang, X.-S., Deb, S.: "*Cuckoo search via Lévy flights*". Proc. World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), India, 2009, pp. 210–214.
- [35].Cuevas, Erik, and Adolfo Reyna-Orta. "*A cuckoo search algorithm for multimodal optimization.*" The Scientific World Journal 2014 (2014).
- [36].Askarzadeh, Alireza. "*A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm.*" Computers & Structures 169 (2016): 1-12.
- [37].Aghaei, Jamshid, et al. "*Distribution expansion planning considering reliability and security of energy using modified PSO (Particle Swarm Optimization) algorithm.*" Energy 65 (2014): 398-411.
- [38].S. Wong, K. Bhattacharya and J. D. Fuller, "*Electric power distribution system design and planning in a deregulated environment.*" IET Generation Transmission and Distribution, vol. 3, pp. 1061-1078, 2009.